

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL BOĞAZI AKINTI YAPISININ İSTATİSTİK VE
BELİRSİZLİK YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ**

BURAK AYDOĞAN

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KIYI VE LİMAN MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ESİN ÇEVİK**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL BOĞAZI AKINTI YAPISININ İSTATİSTİK VE
BELİRSİZLİK YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

Burak AYDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 13.05.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER

Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bedri ALPAR

İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Şükrü ERSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması süresince gösterdiği maddi, manevi destek ve kıymetli rehberlikleri için tez danışmanlarım, hocalarım Sayın Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL ve Sayın Prof. Dr. Esin Özkan ÇEVİK'e teşekkür ederim. Kıymetli katkıları, yol göstericilikleri ve manevi destekleri için tez izleme jürimde yer alan hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER ve Sayın Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU'na teşekkür ederim. Her türlü katkıları, paylaşımları ve özverisi için sevgili dostum Dr. Berna AYAT'a teşekkür ederim.

Çalışmanın amaçlarına ulaşabilmesi için gerekli olan verileri Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Son olarak sonsuz sevgi, sabır ve destekleri ile bu çalışmayı gerçekleştirmemdeki maddi ve manevi katkıları için annem Selma AYDOĞAN, babam Alaettin AYDOĞAN'a ve adlarını tek tek sayamadığım tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Burak AYDOĞAN

Şubat 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez	10
BÖLÜM 2	
ÇALIŞMA ALANI: İSTANBUL BOĞAZI	12
BÖLÜM 3	
İSTANBUL BOĞAZI'NDA AKINTI MODELLEMESİ AMACIYLA KULLANILAN ÖLÇÜMLER VE SAYISAL DEĞERLENDİRMELER.....	17
3.1 Giriş.....	17
3.2 Veri Setleri	19
3.3 Veri Setlerinin İstatistiksel Parametreleri	20
3.3.1 Meteorolojik Veriler.....	20
3.3.1.1 G İstasyonu Verileri.....	20
3.3.1.2 F İstasyonu Verileri	22
3.3.2 Su Seviyesi Ölçümleri	24
3.3.3 Akıntı Hızı Ölçümleri	26

3.3.3.1	-1m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	26
3.3.3.2	-5m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	28
3.3.3.3	-10m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	28
3.3.3.4	-15m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	31
3.3.3.5	-18m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	31
3.3.3.6	-20m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	34
3.3.3.7	-22m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	34
3.3.3.8	-24m Akıntı Hızı Ölçümleri.....	37
3.3.4	Ölçüm Verilerinin Toplu Değerlendirmesi	37
3.4	Ölçülen Parametrelerin Birbirleri ile İlişkileri	37
3.5	Çok Değişkenli Doğrusal Akıntı Hızı Modelleri	42
3.6	Ölçüm Verileri ile Yapılmış Diğer Çalışmalar	50

BÖLÜM 4

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE AKINTI PROFİLİNİN MODELLENMESİ		57
4.1	Giriş.....	57
4.2	Yapay Sinir Ağları ile İlgili Çalışmalar	58
4.3	Yapay Sinir Ağları ile Modelleme Esasları	59
4.4	İleri Besleme Geri Yayılım (İBGY) Yönteminin Hesap Adımları	60
4.5	Model Kurulumu.....	64
4.5.1	Uygun Model Girdilerinin Seçimi	64
4.5.2	Model Hücre Sayısının Belirlenmesi	68
4.5.3	Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi	71
4.5.4	İleri Zamanlı Tahmin Modelleri.....	75
4.6	Sonuçlar ve Öneriler	77

BÖLÜM 5

BULANIK MANTIK İLE AKINTI PROFİLLERİNİN MODELLENMESİ		78
5.1	Giriş.....	78
5.2	Bulanık Kümeler	79
5.3	Hesap Yöntemleri	81
5.4	ANFIS ile İstanbul Boğazı'nın Akım Yapısının Modellenmesi	82
5.4.1	İki Girdili Modeller	83
5.4.1.1	Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Rüzgâr V Hız Bileşeni (V_F) ile Kurulan Modeller.....	84
5.4.1.2	Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Rüzgâr U Hız Bileşeni (U_F) ile Kurulan Modeller.....	88
5.4.1.3	Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Atmosfer Basıncı (P_F) ile Kurulan Modeller.....	90
5.4.1.4	İki Girdili ANFIS Modellerinin Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi.....	94
5.4.2	Üç Girdili Modeller	98
5.4.2.1	Su Seviyesi Farkı (ΔH), Basıncı (P_F) ve Rüzgâr V Hız Bileşeni (V_F) ile Akıntı V Hız Bileşeni Tahmini.....	98
5.5	Sonuç, Karşılaştırma ve Öneriler	100

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER	105
6.1 Sonuçlar ve Değerlendirmeler	105
6.2 Öneriler	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGE LİSTESİ

Q	Debi
U	Hızın doğu-batı doğrultusundaki bileşeni
V	Hızın kuzey-güney doğrultusundaki bileşeni
H	Su seviyesi
ΔH	Su seviyesi farkı
S	Bileşke hız
P	Basınç
R	Korelasyon katsayısı
R^2	Determinasyon katsayısı
ΔP	Basınç farkı
w	Weight (ağırlık katsayısı)
b	Bias (hücre sabit değeri)
$g(V)$	Aktivasyon fonksiyonu
T	Zaman
ΔT	Zaman farkı
n	Veri sayısı
O_i	i. model çıktısı
T_i	i. model hedefi (ölçüm)
J	Jakobiyen
I	Birim matris
μ	İteratif hesapta kullanılan uyarlamalı katsayı
E	Performans fonksiyonu
X'	Model sonuçları dizisi
$\bar{O}$	Model sonuçlarının ortalaması
$\bar{T}$	Hedeflerin (ölçüm değerlerinin) ortalaması
S_O	Model sonuçlarının standart sapması
S_T	Hedeflerin standart sapması
U_F	F İstasyonu rüzgâr hızı U bileşeni
U_G	G İstasyonu rüzgâr hızı U bileşeni
V_F	F İstasyonu rüzgâr hızı V bileşeni
V_G	G İstasyonu rüzgâr hızı V bileşeni
S_F	F İstasyonu bileşke rüzgâr hızı
S_G	G İstasyonu bileşke rüzgâr hızı
P_F	F İstasyonu atmosfer basıncı
P_G	G İstasyonu atmosfer basıncı
H_E	E İstasyonu su seviyesi
H_D	D İstasyonu su seviyesi

KISALTMA LİSTESİ

K	Kuzey
KKB	Kuzey Kuzey Batı
KB	Kuzey Batı
BKB	Batı Kuzey Batı
B	Batı
BGB	Batı Güney Batı
GB	Güney Batı
GGB	Güney Güney Batı
G	Güney
GGD	Güney Güney Doğu
GD	Güney Doğu
DGD	Doğu Güney Doğu
D	Doğu
DKD	Doğu Kuzey Doğu
KKD	Kuzey Kuzey Doğu
ADCP	Aquatic Doppler Current Profiler
CTD	Conductivity- Temperature- Depth
DLH	Demiryolları Limanlar Havameydanları
YSA	Yapay Sinir Ağları
İBGY	İleri Besleme Geri Yayılım
OMH	Ortalama Mutlak Hata
OKH	Ortalama Kare Hata
OKHK	Ortalama Kare Hataların Karekökü
NOMH	Normalleştirilmiş Ortalama Mutlak Hata
NOKHK	Normalleştirilmiş Ortalama Kare Hataların Karekökü
LM	Levenberg-Marquardt
ANFIS	Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems (Uyumlu Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Motoru)
Ki	i. Kural
ECMWF	European Center for Medium Range Weather Forecasts (Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 İstanbul Boğazı akıntıları	2
Şekil 1.2 Boğaz'ın üst tabaka akımı debisi (Q_1) (içi boş semboller), Boğaz'ın alt tabaka akımı debisine (Q_2) (içi dolu semboller) karşılık net taşınım Q . Şekilde daire ve kareler sırasıyla [2] ve [34]'dan alınan verileri göstermektedir. ____: [33] tarafından hesaplanan değerler	4
Şekil 1.3 [33]tarafından geliştirilen model sonuçlarına göre, Boğaz'ın üst tabaka debisi Q_1 ve alt tabaka debisine Q_2 karşılık Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkı (ΔH).	5
Şekil 2.1 İstanbul Boğazı	13
Şekil 2.2 İstanbul Boğazı batimetrisi	14
Şekil 2.3 Kumköy Meteoroloji İstasyonu uzun dönemli rüzgar hızlarının eklenik aşılma olasılıkları [51]	16
Şekil 2.4 Göztepe Meteoroloji İstasyonu uzun dönemli rüzgar hızlarının eklenik aşılma olasılıkları [51]	16
Şekil 3.1 Ölçüm istasyonları, konumları ve koordinat sistemi (Şeklin sol üst köşesinde hız vektörlerinin yön tanımları yapılmıştır)	18
Şekil 3.2 G İstasyonu kuzey hız bileşeni (V_G) verilerinin frekans histogramı	21
Şekil 3.3 G İstasyonu doğu hız bileşeni (U_G) verilerinin frekans histogramı	21
Şekil 3.4 G İstasyonu basınç (P_G) verilerinin frekans histogramı	22
Şekil 3.5 F İstasyonu kuzey hız bileşeni (V_F) verilerinin frekans histogramı	23
Şekil 3.6 F İstasyonu doğu hız bileşeni (U_F) verilerinin frekans histogramı	23
Şekil 3.7 F İstasyonu basınç (P_F) verilerinin frekans histogramı	24
Şekil 3.8 Marmara Denizi su seviyesi (H_D) verilerinin frekans dağılımı	24
Şekil 3.9 Karadeniz su seviyesi (H_E) verilerinin frekans dağılımı	25
Şekil 3.10 Su seviyesi farkı (ΔH) verilerinin frekans dağılımı	25
Şekil 3.11 -1m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	27
Şekil 3.12 -5m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	29
Şekil 3.13 -10m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	30
Şekil 3.14 -15m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	32

Şekil 3.15	-18m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları.....	33
Şekil 3.16	-20m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları.....	35
Şekil 3.17	-22m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	36
Şekil 3.18	-24m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları	38
Şekil 3.19	Üç girildi modellerin sonuçları ile ölçüm değerlerinin birlikte zaman serileri	47
Şekil 3.20	Model sonuçlarına karşılık ölçüm değerleri dağılım grafikleri	49
Şekil 3.21	B istasyonunda farklı derinliklerde ölçülmüş kuzey ve güney yönündeki akıntı hızları [45].....	50
Şekil 3.22	İstanbul Boğazı'nda oluşan farklı akıntı profilleri [45]	51
Şekil 3.23	B istasyonunda sırasıyla yüzeyden -1, -5, -10, -15, -18, -20, -23 ve -25 m derinliklerde elde edilmiş akıntı gülleri [45]	52
Şekil 3.24	Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki seviye farklarının sıklık analizi [44].....	54
Şekil 3.25	İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde su seviyesine karşılık aylık ortalama Tuna Nehri debisi [44], [46]	55
Şekil 3.26	İstanbul Boğazı'nın Karadeniz ve Marmara Denizi girişleri arasındaki mevsimsel ortalama su seviyesi farkının değişimi [44].....	56
Şekil 3.27	İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişindeki su seviyesi ölçüm ve model zaman serilerinin karşılaştırılması [46].....	56
Şekil 4.1	Gerçek bir sinir hücresi (a) ile yapay sinir hücresi (b).....	58
Şekil 4.2	Çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağları mimarisi.....	59
Şekil 4.3	Aktivasyon fonksiyonları: a)Tan-sigmoid b)Lineer c) Log-Sigmoid d)Eşik Fonksiyonu	60
Şekil 4.4	Aşırı öğrenmeye maruz kalmış ve genelleme yeteneğini kaybetmiş bir model (düz çizgi kalibrasyon verisindeki, kesikli çizgi test verisindeki hataları göstermektedir)	63
Şekil 4.5	Genelleme yeteneğini kaybetmeden önce iterasyonu durdurulmuş bir model (düz çizgi kalibrasyon verisindeki hatayı, kesikli çizgi kontrol veri setindeki hatayı göstermektedir).....	63
Şekil 4.6	Model alanı ve akıma etkili temel parametreler	64
Şekil 4.7	İki adet gizli katmana sahip İBGY şeması.....	66
Şekil 4.8	Girdi değişkeni sayısına karşılık model korelasyonu	68
Şekil 4.9	Gizli hücre sayısına karşılık korelasyon	70
Şekil 4.10	Gizli hücre sayısına karşılık doğrulama verisinde OKHK (m/s)	71
Şekil 4.11	-1 m derinlikte ölçülen ve modellenen U ve V akıntı hız bileşenleri zaman serileri	71
Şekil 4.12	Model ve ölçümlerden elde edilen akıntı U ve V hız bileşenlerinin sırası ile -1m, -5m, -10m, -15m, -20m ve -24m derinliklerdeki 2000 saatlik zaman serileri ile aynı bileşenlerin dağılım grafikleri	72
Şekil 4.13	Modellerin OKHK değerlerinin zaman farkı ile değişimi	76

Şekil 5.1	a) Gauss b) Üçgen c)Trapez d) Sigmoid şeklindeki üyelik fonksiyonları ...	80
Şekil 5.2	Durulaştırmalı ve durulaştırmaz sistemlere ait akış şemaları.....	82
Şekil 5.3	İstanbul Boğazı için öngörülen Sugeno tipi bulanık mantık modelinin çalışma şeması	83
Şekil 5.4	Örnek bir kural tabanı ve girdi verilerinin girdi düzlemindeki konumları. Burada K1,... K16, bulanık altkümelerin kesişimlerine atanmış kuralları göstermektedir.....	84
Şekil 5.5	Akıntı hızı modellerinin zaman serileri ve saçılım diyagramları a) Yüzey V b) Ara derinlik (-15m) V c) Taban (-24m) V d) Yüzey U e) -15m U f) -24m U	96
Şekil 5.6	$\Delta H + V_F$ girdisi ile yüzey akıntı hızını elde eden 16 kurallı model için ANFIS sonuç yüzeyi (a) ve düzeltilmiş sonuç yüzeyi (b)	101
Şekil 5.7	Düzeltilmiş modelden elde edilen farklı V_F değerleri için ΔH 'a karşılık yüzey akıntı V hız bileşeni değerleri	102
Şekil 5.8	Tekrar düzeltilmiş modelden elde edilen farklı V_F değerleri için ΔH 'a karşılık yüzey akıntı V hız bileşeni değerleri	103
Şekil 5.9	-1, -15 ve -24m derinlikler için ANFIS, İBGY YSA ve Doğrusal model sonuçları ile ölçüm verilerinin bir arada değerlendirilmesi	104

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Boğaz'ın kuzey ve güney girişlerindeki debiler, [47].	7
Çizelge 2.2 Kısa süreli ölçüm istasyonlarına ait parametreler [48].	8
Çizelge 3.1 Veri toplama istasyonları ve ölçüm karakteristikleri	18
Çizelge 3.2 Ölçümlerde kullanılan akıntı ölçerin özellikleri	19
Çizelge 3.3 Veri setleri ve özellikleri	19
Çizelge 3.4 Ölçüm verilerinin istatistiksel parametreleri	40
Çizelge 3.5 Akıntı hızlarının meteorolojik ölçümlere doğrusal korelasyon değerleri (R)	41
Çizelge 3.6 Meteorolojik ve su seviyesi ölçümlerinin karşılıklı çizgisel korelasyon değerleri	42
Çizelge 3.7 Akıntı hızlarının kendi içinde doğrusal korelasyon katsayıları (R).	44
Çizelge 3.8 İki girdili model sabiti ve katsayıları ile %95 güvenlikli alt ve üst sınır denklemlerinin sabit değerleri ve katsayıları	45
Çizelge 3.9 İki girdili doğrusal modellerin performans değerleri	45
Çizelge 3.10 Üç girdili modellere ait model sabitleri ve katsayıları ile %95 güvenlikli alt ve üst sınır denklemlerinin sabit değerleri ve katsayıları	46
Çizelge 3.11 Üç girdili doğrusal modellerin performans değerleri	46
Çizelge 4.1 Seçilmiş model fonksiyonları	65
Çizelge 4.2 Model tanımlarında kullanılan değişken isimleri ve açıklamaları	65
Çizelge 4.3 Girdi verilerine ait yapay sinir ağları modeli korelasyon katsayısı (R) değerleri	67
Çizelge 4.4 Model sonuçlarının korelasyon (R), OKHK (m/s), ve NOKHK (%) değerleri	75
Çizelge 4.5 İleri zamanlı tahmin modelleri	76
Çizelge 5.1 Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin karşılaştırılması	81
Çizelge 5.2 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H + V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	85
Çizelge 5.3 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H + V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	87
Çizelge 5.4 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H + U_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	89
Çizelge 5.5 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H + P_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	91

Çizelge 5.6 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H+P_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	93
Çizelge 5.7 Her derinlik için en iyi model ve modellerin performans değerleri	95
Çizelge 5.8 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H+P_F+V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri	99

İSTANBUL BOĞAZI AKINTI YAPISININ İSTATİSTİK VE BELİRSİZLİK YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

Burak AYDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Esin ÇEVİK
Eş Danışman: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

İstanbul Boğazı'nda belirli bir konumdaki akım yapısı çok değişkenli doğrusal modelleme, ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları (İBGY YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım motoru (ANFIS) yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen modellerin kurulumu ile eğitim ve doğrulama aşamalarında İstanbul Boğazı'nın güneyindeki bir konumda, bir yıl boyunca toplanan eş zamanlı akıntı hızı, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı ve yönü ile su seviyesi verileri kullanılmıştır. Veri setlerinin istatistiksel analizi yapılmış ve frekans histogramları oluşturulmuştur. Çok değişkenli doğrusal modeller ve İBGY YSA modelleri ile derinlik boyunca beş metre aralıklarla akıntı hızları tahmin edilmiştir. İBGY YSA modellerinde çok sayıda farklı girdi kombinasyonlarının değerlendirilmesiyle, girdi kombinasyonu ile model doğrulukları arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca modellerde kullanılan gizli hücre sayısının model doğruluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunlara ilaveten aynı konumda 12 saate kadar ileri zamanlı tahmin yapan modeller geliştirilmiştir. ANFIS modelleme tekniği kullanılarak yine aynı konumda yüzey, taban ve ara derinliği temsil eden üç farklı derinlikteki akıntı hızlarını tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Girdi kümelerinin bulanık alt küme sayılarının model doğruluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Modellemede kullanılan veri setlerinin analizi sonucunda Boğaz'da akıntı hızları üzerinde etkili parametrenin Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki su seviyesi farkı olduğu görülmüştür. İBGY YSA modelleri ile tabakalı akıma sahip boğazlarda seçilen bir konumdaki her derinlikteki vektörel akıntı hız bileşenlerinin çok yüksek doğrulukta, gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Geliştirilen ileri zamanlı tahmin modelleri değerlendirildiğinde ise, özellikle üç saate kadar ileri zamanlı tahminlerin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. ANFIS modelleri YSA modellerine göre çok daha az girdiye sahip olmakla birlikte, model başarıları YSA modellerine yakın bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, yapay sinir ağları, bulanık mantık, ANFIS, akıntı profili, ileri zamanlı tahmin.

ABSTRACT

MODELLING OF THE BOSPHORUS CURRENT STRUCTURE USING STATISTICAL AND STOCHASTIC MODELING TECHNIQUES

Burak AYDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Esin ÇEVİK
Eş Danışman: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Current structure in a specific location in the Strait of Istanbul is modeled using the methods; multivariate linear modeling, feed-forward back propagation artificial neural networks (FFBP ANN) and adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS). A yearly concurrent measurements of current speeds, atmospheric pressures, water levels, wind speeds and directions collected at a station located at the south of Bosphorus, were used for creation, training and verification of the developed models. Statistical analysis of data sets, and frequency histograms were created. Current speeds from multivariate linear models and FFBP ANN models were estimated along the depth with five meter intervals. In the FFBP ANN models, the relationship between input combinations and the model accuracy was examined by evaluation of number of different input combinations. Also the effect of the used number of hidden cells on the model accuracy was investigated. In addition up to 12 hours forecast models were developed for the same location. Also ANFIS models predicting the current speeds were developed for three different depths representing surface, base and intermediate depth. The effect of the number of fuzzy sub-sets of input sets on the model accuracy was investigated. By the analysis of the data sets used in the modeling, the most influential parameter on the Bosphorus current velocities was found as the water level difference between the Marmara Sea and the Black Sea. It was concluded that the real-time and high accuracy prediction of the current velocities for all depths at a given location in straits with a stratified flow system is possible by using FFBP ANN models. By the evaluation of forecast models, especially up to 3 hours forecast models were found to be quite successful. ANFIS models according to the ANN models gave good results, although they have much less input.

Keywords: Bosphorus, artificial neural networks, fuzzy logic, ANFIS, current profiles, forecast.

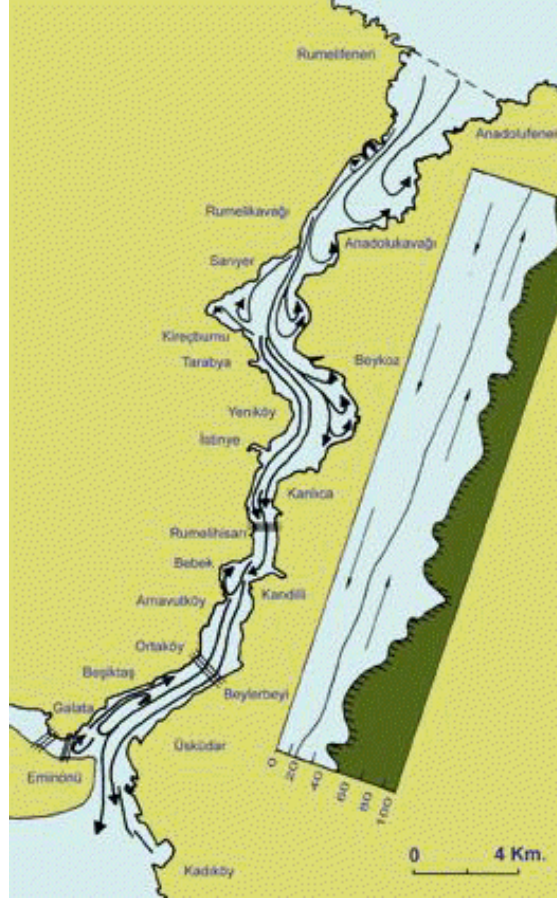
YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ile birlikte Karadeniz'i önce Marmara Denizi'ne sonrasında da Ege Denizi'ne ve Akdeniz'e bağlayan Türk Boğazlar Sistemi'nin bir parçasıdır. İstanbul Boğazı genellikle iki tabakalı hidrodinamik akım yapısına sahiptir. Karadeniz'in az tuzlu (~ 18 psu) suları üst akıntı ile Marmara Denizi'ne ve buradan Çanakkale Boğazı yoluyla Ege Denizi'ne ulaşırken, Akdeniz'in daha tuzlu (~ 38 psu) suları alt akıntı ile Karadeniz'e taşınmaktadır. Yoğunluk farkından doğan yatay basınç gradyanı (baroklinik kuvvet), az yoğunluklu üst tabaka akımının Marmara Denizi'ne ve daha yoğun olan alt tabaka akımının ise Karadeniz'e doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Yine Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkının oluşturduğu yatay basınç gradyanı (barotropik kuvvet) su akışının Karadeniz'den Marmara'ya doğru yönlenmesine neden olmaktadır. Barotropik kuvvet derinlikle sabittir ve sadece yerel yüzey eğimine bağlıdır. Alt ve üst tabakaları birbirinden ayıran arakesit kalınlığı ile derinliği meteorolojik ve hidrolojik etkilerle değişkenlik göstermektedir. İstanbul Boğazı'nın karakteristik akım yapısı Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 İstanbul Boğazı akıntıları [1]

Boğaz'daki iki tabakalı akıntı yapısına dair ilk yazılı kaynak 1681 yılında Cont Marsilli'nin İsveç Kraliçesi Christina'ya yazdığı mektuplardır [2]. Cont Marsilli yüzeydeki akıntının tersi yönde bir alt akıntının fiziksel bir zorunluluk olduğu tezini öne sürmüş ve Marmara Denizi'ndeki su seviyesi değişimleri ile Boğaz'ın yüzey akıntıları üzerinde gözlemler yapmıştır. Üst tabaka akıntısı ile bazı koy ve körfezlerdeki eddyleri gösteren akıntı haritaları hazırlamıştır. Daha sonra 1870 yılında Captain Spratt Boğaz'daki tuzluluğu da ölçerek boğazlarda böylesi bir alt akıntının olmasının mümkün olmayacağı sonucuna varmıştır. Boğaz'ın alt tabakasındaki çok tuzlu suyun ise ancak şiddetli rüzgârların etkisi ile sonbahar ve kış aylarında Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru taşınan bir su kütlesi olduğunu bildirmiştir. Daha sonra 1872 yılında İngiliz denizci W.J.L. Wharton Boğaz'da 3 farklı kesitte yoğunluk ve sıcaklık ölçümleri yaparak alt tabaka akıntısının kesinlikle var olduğunu ve bu akıntının hızı ve şiddetinin de üst tabaka akıntısına bağlı olarak değiştiğini bildirmiş ve ara tabakanın Boğaz'ın her iki girişindeki derinliğini tanımlamıştır. 1881 yılında benzer şekilde Boğaz'da binlerce ölçüm yapan Rus Ordusu'ndan Makaroff da benzer sonuçlar elde etmiştir. O günlerden bugüne Boğaz'ın karmaşık hidrodinamik yapısı, bu yapı üzerinde etkili rüzgâr

sistemleri, Boğaz'daki akıntı sistemleri ve bunların mevsimsel değişimleri farklı araştırmacılar tarafından oldukça yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Bunlar; [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31].

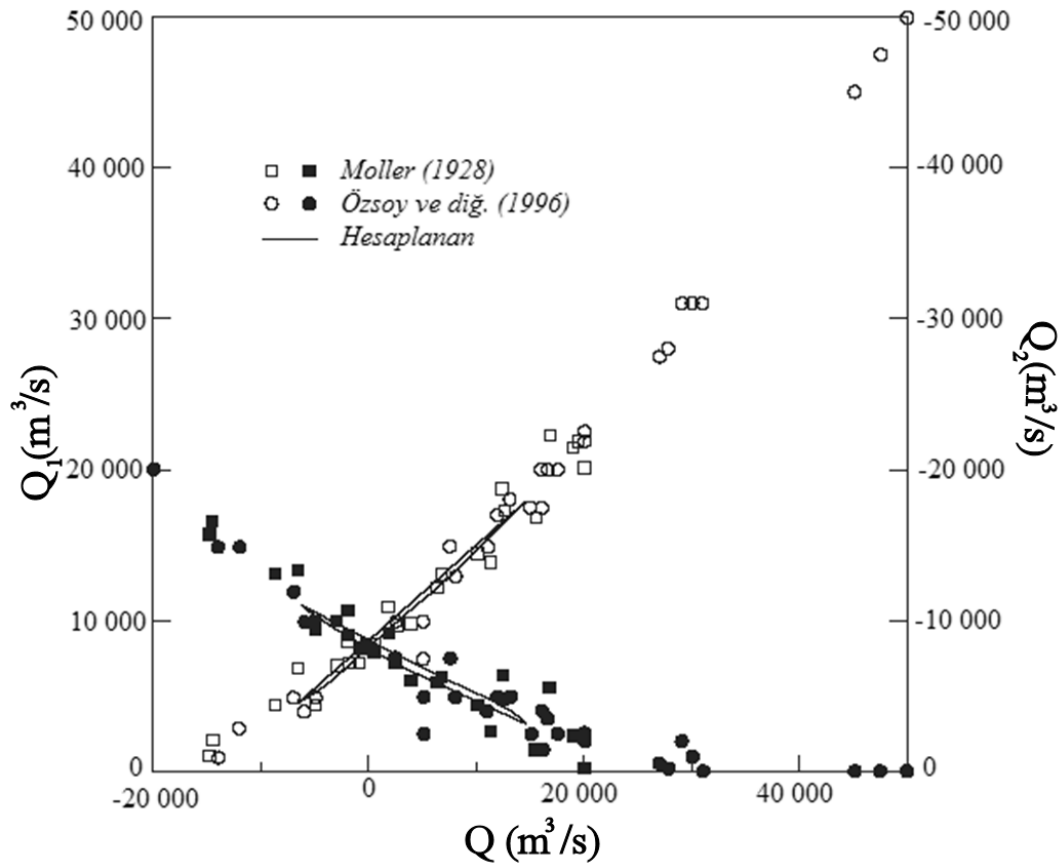
Ulyott ve Pektaş, [32], 1944-1952 yılları arasında topladıkları sıcaklık ve tuzluluk verilerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacıların gözlemleri Marmara Denizi'nden boşalan suyun miktarında yaz ve kış ayları arasında önemli farklılık olduğunu göstermektedir. Daha sonra Sümer ve Bakioğlu [11], Boğaz'daki iki tabakalı akım yapısını daha iyi anlamak için Boğaz'ın Karadeniz girişi yakınında 4 farklı kesitte ölçümler yapmış ve Marmara Denizi'nden kaynaklanan alt tabaka akımının tüm yıl boyunca Karadeniz'e ulaşmadığını bildirmişlerdir. Özellikle Karadeniz'e tatlı su girişinin arttığı ve bunun da Boğaz'a giren su debisini arttırdığı bahar aylarında Boğaz'ın alt tabaka akımının Karadeniz'e ulaşmadığını rapor etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar bu çalışmada hem ara tabaka hem de taban sürtünmesini dikkate alan Boğaz için ilk iki tabakalı akım modelini geliştirmiş ve model sonuçlarının ölçümlerle iyi bir uyum sergilediğini bildirmişlerdir.

Tolmazin, [33]'te Karadeniz'in oşinografik rejiminin öncelikle tatlı su fazlalığı tarafından kontrol edildiğine işaret etmektedir. Akarsuların taşıdığı tatlı su ve yağış, buharlaşmadan kaynaklı tatlı su kaybından çok daha fazladır. Ancak Karadeniz'e giren tatlı su kaynakları üzerinde inşa edilen çeşitli yapılar giren net tatlı su değerlerini azaltmıştır. [33] Karadeniz'e su girişinde meydana gelen bu azalmanın denizin yüzey eğimini, dolayısıyla da Boğaz'da üst akıntıya neden olan zorlayıcı kuvveti azaltacağını belirtmiştir.

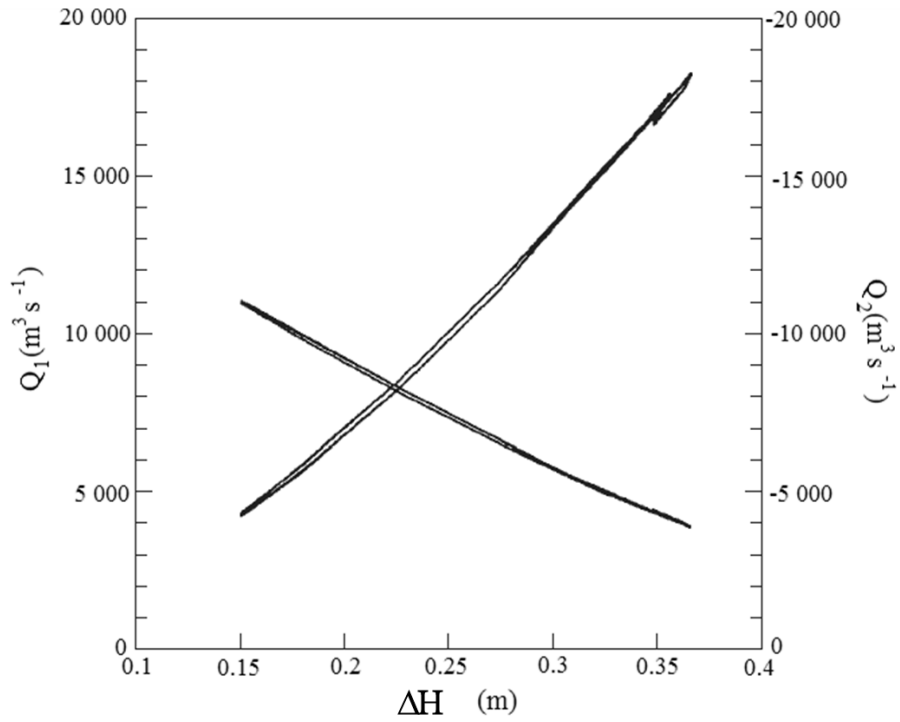
Maderich ve Konstantinov [34] Karadeniz-İstanbul Boğazı sisteminin mevsimsel davranışını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında Karadeniz için kurdukları modelde mevsimsel rüzgârlar, ısı akısı, tatlı su girişi ve Boğaz'ın alt akıntısını etkili parametreler olarak dikkate almışlardır. Yine Boğaz'ın iki tabakalı akım yapısını benzeştiren yarı kararlı bir hidrolik model kullanmış, arakesit ve taban sürtünmelerini de dikkate almışlardır. Elde edilen benzetim sonuçları modelin soğuk ara tabaka oluşumu da dâhil olmak üzere Karadeniz'deki mevsimsel düşey yapılanmayı benzeştirebildiğini göstermiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bir dizi deneylerden elde edilen sonuçlara göre, Karadeniz'deki su seviyesi değişimi, tatlı su girişini 2 aylık bir gecikme ile takip etmektedir. Yine bu çalışma kapsamında yapılan benzetimlerden Boğaz'daki su

seviyesi değişiminin Marmara Denizi'ndeki mevsimsel su seviyesi değişimlerine de bağlı olduğu görölmüştür.

Maderich ve Konstantinov [34] yaptıkları çalışmada Karadeniz-İstanbul Boğazı sistemi için bir model geliştirmişler ve Boğaz'ın alt ve üst tabaka akım debileri (Q_1 ve Q_2) ile net barometrik debinin değişimini Şekil 2.6'da göröldüğü gibi literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Yine model sonuçlarını Boğaz'ın alt ve üst tabaka akım debilerine (Q_1 ve Q_2) Karadeniz-Marmara Denizi arasında oluşacak su seviyesi farklarını da Şekil 2.7'de göröldüğü gibi ifade etmişlerdir. Hem Şekil 2.6 hem de Şekil 2.7'den göröldüğü gibi, Boğaz'ın üst ve alt tabakalarının sahip olduğu debiler ile Boğaz'ın her iki ucu arasındaki su seviyesi farkı arasında lineere yakın bir ilişki mevcuttur.



Şekil 1.2 Boğaz'ın üst tabaka akımı debisi (Q_1) (içi boş semboller), Boğaz'ın alt tabaka akımı debisine (Q_2) (içi dolu semboller) karşılık net taşınım Q . Şekilde daire ve kareler sırasıyla [3] ve [35]'dan alınan verileri göstermektedir. ____: [34] tarafından hesaplanan değerler.



Şekil 1.3 [34]tarafından geliştirilen model sonuçlarına göre, Boğaz'ın üst tabaka debisi Q_1 ve alt tabaka debisine Q_2 karşılık Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkı (ΔH).

İstanbul Boğazı'nda su seviyesi zamana bağlı olarak salınım göstermektedir. Boğaz'ın su seviyesinde meydana gelen düşük frekanslı değişimler 5-30 günlük salınımlar yapmaktadır [36]. Uzun süreli salınımlar Karadeniz'e tatlı su girişiyle, 5 günlük salınımlar ise orta ölçekli meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmektedir. Boğaz'daki akım deniz seviyesi değişimlerine tedrici yanıtlar verirken, rüzgâr yönündeki değişimlere ani yanıtlar vermekte ve su kütlesi bloke olmaktadır [37]. Karadeniz'den gelen net barotropik akımın artması durumunda veya devamlı meydana gelen kuzey rüzgârlarının etkisi ile Boğaz'ın alt tabakası bloke edilmektedir. Benzer şekilde güneyli rüzgârlar üst tabakanın bloke edilmesine, Marmara Denizi sularının Boğaz'a doğru ve hatta daha da ileri itilmesine neden olmaktadır. Böylece bloke edilen üst yüzeyin altındaki akış üç tabakalı bir akımın oluşmasına neden olmaktadır. Üst tabakada bloke edilen bu akım her iki uçtaki su seviyesi farkının azalmasıyla dengelenmektedir. Kuzeydoğulu rüzgarlar Boğaz'ın iki ucu arasındaki su seviyesi farkını arttırmaktadır [38].

Karadeniz yüzey sularının tuzluluğu 17.5 ile 18.5 psu arasında değerler alırken Batı Karadeniz'de yüzey tuzluluğu nehir girişlerinin etkisiyle 16-17 psu değerlerine kadar düşmektedir [28]. Dipte gözlenen yüksek sıcaklık ve tuzluluk Akdeniz suyunun

göstergesidir. Akdeniz suyu 95-100 m derinlikte, yaklaşık 8.36°C sıcaklık ve 19.73 psu tuzluluk değerlerinde kendini göstermektedir [23], [39], [25].

Karadeniz'in üst tabaka tuzluluk değeri 18 psu'dur. Bu değer kademeli olarak artarak, Boğaz'ın güney çıkışında 23 ile 25 psu değerine ulaşmaktadır. Alt tabakadaki tuzluluk Boğaz'ın güney ucunda Marmara Denizi'nde 38 psu'dur. Bu değer kuzeydeki eşğin bulunduğu bölgede 33 psu değerine düşmektedir. Bu azalmanın nedeni düşey yöndeki karışımdır. İstanbul Boğazı'nda akımın güneydeki daralan kesitten geçerken hızlanması nedeniyle alt tabakadan üst tabakaya girişimin artmasıyla üst tabakanın tuzluluğu artarken, Boğaz'ın kuzey ucunda alt tabakanın tuzluluğu azalmaktadır [40]. Bunun başlıca nedenleri Boğaz boyunca meydana gelen tedrici girişim ve daha sonra akımın Karadeniz'e ulaştığı yerdeki geniş ve düz kıta sahanlığında su hacminin artmasıdır, [40]. Yine bu bölgede su seviyesi farkı 40 cm'ye ulaştığında Akdeniz suyunun bloke olduğu gözlemlenmiştir [41].

Özsoy vd. [35]; Ünlüata vd. [18] tarafından yapılan uzun dönemli tuzluluk ölçümlerine dayanarak, İstanbul Boğazı boyunca iki tabakalı akıma ait kütle dengesini hesaplamışlardır. Buna göre ortalama üst tabaka debisi $\sim 600 \text{ km}^3/\text{yıl}$, alt tabaka debisi ise $\sim 300 \text{ km}^3/\text{yıl}$ civarındadır. Karadeniz'in kararlı tuz bütçesi, Q_1 ve Q_2 sırasıyla Karadeniz girişindeki üst ve alt tabaka debileri ve S_1 ve S_2 de yine Karadeniz girişindeki sırası ile üst ve alt tabaka tuzlulukları olmak üzere, $Q_1/Q_2=S_2/S_1=2$ oranını gerektirmektedir.

İstanbul Boğazı'nın yerel topoğrafik özellikleri de akım üzerinde oldukça etkilidir ve akım yapısını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Her iki uç bölgesindeki eşikler Boğaz'daki akım karakteristiklerini etkilemektedir. Eşiklerden biri Marmara Denizi'nin kuzeyinde hemen Boğaz girişinde 28-34 m derinlikleri arasında bulunmakta olup her iki yanında bir kanal akımı oluşmasına neden olmaktadır. Eşğin Anadolu tarafında Üsküdar kıyıları boyunca 40 m derinliğindeki kanal, mansabındaki 34 m derinlikteki eşik tarafından bloke edilmektedir. Bu kanal eşğin ötesinde güneye doğru gittikçe derinleşerek Marmara Denizi ile Boğaz'ın birleşme bölgesindeki denizaltı kanyonuna eklenmektedir. Diğer eşik Boğaz'ın Karadeniz girişinin 3-4 km kuzeyinde olup 60 m derinlikte bulunmaktadır ve yaklaşık 2 km uzunluğa sahiptir. Bu eşik Boğaz'ın Karadeniz'deki doğal bir uzantısı gibi dar bir kanal şeklinde uzanmaktadır [1], [50].

Boğaz'ın her iki yakasında da Emirgan-Kanlıca ve Arnavutköy-Vanıköy arasında küçük

koılar ve daralma bölgeleri vardır. Her iki tabakadaki akım hızları daralma bölgelerinde artmakta ve yüzey akıntıları Boğaz'ın dar kesimlerinde en yüksek 2 m/s'ye kadar çıkabilmektedir [1]. Yine Özsoy vd. [50]'de 3-6 Eylül 1998, 4-22 Mart 1999 ve 22 Temmuz-3 Ağustos 1999 tarihlerinde yaptıkları ADCP ve CTD ölçümleri ile Boğaz'da ana kanal ve şevlerindeki akıntı yapısını detaylı bir şekilde belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre yüzey akıntıları Boğaz'ın güneyindeki dar kesimlerde yoğunlaşmakta ve ilk olarak doğu kesimdeki dar kanalı izlemekte, ardından da ana kanalı izleyerek batı kesime geçtikten sonra Marmara Denizi çıkışı yakınlarında bir su jeti oluşturmaktadır. Sığ kesimlerdeki sürekli gözlemlerle akıntıların çok sayıda eddyler ve geri dönüş akımları içerdiği belirlenmiştir. Yüzey akıntılarının şiddetindeki en büyük artış daralma bölgesinde ve Boğaz'ın güneyinde meydana gelmektedir [42].

Doğan vd. [43] Ağustos ayında üst tabaka hızı ve kalınlığının arttığını buna karşılık alt tabaka hızı ve kalınlığının ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Tabakaların kalınlığı, fiziksel özellikleri ve arakesit düzleminin konumundaki değişimler atmosfer koşullarına bağlı olarak ve Boğaz'a giren akımların etkisiyle değişmektedir. Kuzeyde Karadeniz'in suyu Boğaz'a ağustos ayında 50 m kalınlıkta ve 10-90 cm/s'lik bir akıntı hızı ile girerken, Temmuz ve Eylül ayları boyunca 40 m civarında bir kalınlık ve 5-60 cm/s'lik bir akıntı hızı ile girmektedir. Marmara'nın suyu Karadeniz'e Ağustos ayında 50 m'nin altında ve 5-80 cm/s'lik hızla akmakta iken, Temmuz ve Eylül aylarında 40 m'nin altında ve 5-100 cm/s'lik hızla akmaktadır. Boğaz'ın güney girişinde, Marmara'dan Boğaz'a giren alt tabaka akıntısının kalınlığı Temmuz ve Eylüde 20 m'den fazla gerçekleşmektedir. Alt ve üst tabaka hızları bu kısımda 3 ay boyunca (Temmuz, Ağustos, Eylül) 100 cm/s'yi aşmıştır. Ağustosta Marmara'ya ulaşan üst tabaka akıntısının kalınlığı artarak (30 m), hızı 5-150 cm/s arasında değişirken alt tabakanın hızı 110 cm/s'den az olmuştur [43]. Boğaz'ın kuzey ve güney girişlerinde ADCP kullanılarak belirlenen debiler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Boğaz'ın kuzey ve güney girişlerindeki debiler, [43].

Tabaka	Bölüm	Temmuz	Ağustos	Eylül
Üst (m ³ /s)	Kuzey	12627	14865	9744
Alt (m ³ /s)	Kuzey	7245	3379	7849
Üst (m ³ /s)	Güney	7965	17926	11951
Alt (m ³ /s)	Güney	6007	5656	6337

Boğaz'ın kıvrımlı geometrisi, Boğaz akımında rüzgâr yapısının kararsız etkileri, komşu havzalardaki değişiklikler, Boğaz boyunca yoğunluk farklılıkları ve tabakalar arası kütle alışverişinden kaynaklı karmaşık yapısı ikincil çevrimlerin ve eddy çevrimlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Güler vd. [44] tarafından uzun süreli sürekli ölçümler elde edebilmek amacıyla çalışmalara başlanmıştır. Ölçümler ADCP akıntı ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz kuzey-güney (V) ve doğu-batı (U) doğrultularında yatay hızları, düşey doğrultudaki hızı ve tabandaki sıcaklığı ölçmüş, bileşke hız vektörünün doğrultusunu da vererek, akıntının yönünü belirlemiştir.

Sürekli ölçümlerden önce, Boğaz'ın güneyindeki dört farklı istasyonda (Dolmabahçe Sarayı, Galatasaray Üniversitesi, Sarayburnu açığı ve Paşalimanı açığı) kısa süreli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm istasyonlarına ait parametreler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Araştırmacılar ölçüm sonuçlarından; Boğaz'ın geometrisinin akıntı yapısı üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu, akıntının meteorolojik etkilere son derece duyarlı olduğunu, akımın genişleme bölgelerinde ters döndüğünü ve akımın doğrultusunun derinlik boyunca saat yönünde döndüğünü belirlemişlerdir. Ölçüm süresi boyunca dip akımının sıcaklığının da 8 ila 14 °C arasında değiştiği bildirilmiştir.

Çizelge 1.2 Kısa süreli ölçüm istasyonlarına ait parametreler [44].

İstasyonlar			Ölçüm Zamanı (saat)			Derinlik (m.)	Tarih
İstasyon	Koordinatlar	Yer	Başlama zamanı	Kurulma zamanı	Bitiş zamanı		
1	N 41°22'15" E 29°00'48"	Dolmabahçe Sarayı	13:16	13:24	14:50	-24.8	08/05/2003
4	N 41°26'42" E 29°14'08"	Galatasaray Üniversitesi	14:51	15:03	15:18	-42.8	08/05/2003
2	N 41°08'57" E 28°59'32"	Sarayburnu	16:26	16:28	17:13	-25.4	08/05/2003
3	N 41°08'85" E 29° 11'13"	Paşa Limanı	17:57	17:57	18:15	-24.6	08/05/2003
1(*)	N 41°21'69" E 28°59'95"	Dolmabahçe Sarayı	11:00	10:00	13:00	-25.0	09/05/2003 02/07/2003 02/09/2003

*Her saat için 3 dakikalık örnek alınmıştır.

İstanbul Boğazı akıntı yapısına dair en uzun süreli ölçüm verileri ise Marmaray Tüp Geçiş Projesi kapsamında Ulaştırma Bakanlığı DLH Marmaray Bölge Müdürlüğü tarafından toplanmıştır. Bu veriler kullanılarak [45], [46], [47], [48] çalışmaları

yapılmıştır. Çalışmalar detaylı olarak Bölüm 3'te incelenecektir.

İstanbul Boğazı'ndaki akım yapısını oluşturan belli başlı kuvvetler Karadeniz'e giren net tatlı su kaynakları, barometrik basınç farklılıkları ve rüzgâr kabarmasıdır. Söz konusu etkilerdeki doğrusal olmayan değişimler ve belirgin çeşitliliklere bağlı olarak, Boğaz'daki akım yapısı da mevsimsel ve yıllık ölçeklerde oldukça değişken ve doğrusal olmayan tepkiler vermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Karadeniz limanlarının tek ulaşım yolu olan İstanbul Boğazı'nın gemi trafiği de bu duruma bağlı olarak çok yoğundur. Ayrıca İstanbul Boğazı ticari, ulaşım, dinlence ve eğlence açılarından da bir cazibe merkezi olduğundan kıyılarında pek çok inşaat faaliyeti yapılmaktadır. Gerek seyir emniyeti (ulaşımın aksamadan sağlanması, gemi kazalarının önlenmesi) gerekse inşaat çalışmalarının sağlıklı yürütülebilmesi için Boğaz'daki akıntıların tahmini büyük önem arz etmektedir. Günümüze kadar bu amaçla farklı sayısal modeller kullanılmıştır. Bunlar arasında en kapsamlı ve doğruya en yakın çözümü üç boyutlu sayısal modeller verdiğinden günümüzde boğaz hidrodinamiğinin benzeştirilmesinde kullanımı en yaygın olan bu tür modellerdir. Ancak, Boğaz'ın karmaşık hidrodinamik yapısını yeteri kadar benzeştirebilecek bir sayısal çözüm için yeterli çözünürlükteki çözüm ağı, karmaşık batimetri nedeniyle çok fazla düğüm noktası içerecektir. Bu yüksek sayıdaki düğüm noktasının çözümü de çok fazla bilgisayar zamanı ve hafızası gerektirecektir. Ayrıca mevcut üç boyutlu hidrodinamik modellerin çoğu hidrostatik basınç kabulü yaptığından düşey yönde momentum denklemi çözmemektedirler. Dolayısı ile bu modeller; derinliği ekseni boyunca oldukça değişken olan İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı hidrodinamik yapıyı doğal yapısına tam uyumlu olarak yansıtamamaktadırlar. Düşeyde momentum denklemi çözebilen üç boyutlu hidrodinamik modeller ise, zaman adımları çok fazla küçültülmediği sürece stabilize sorunu yaşamakta, zaman adımının yeterince küçültülmesi halinde ise, yatayda sayısal difüzyona sebep olmakta ve hesap süreleri de 100 kata kadar artış gösterebilmektedir. Bu da bu modelleri günümüz bilgisayar teknolojisi ile bile pratik bir araç olmaktan çok uzak kılmaktadır. Bu çalışmada mevcut hidrodinamik yöntemlerin hantal kaldığı gerçek zamanlı akıntı tahminine uygun hızlı çalışan ve yüksek doğrulukta sonuçlar veren bir akıntı modeli kurulması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

İstanbul Boğazı'nın son derece karmaşık olan tabakalı hidrodinamik yapısını yeterli doğrulukla benzeştiren daha pratik ve hızlı yöntemler kullanmak mümkündür. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki ilgi duyulan bir konumda akım yapısının modellenmesi için farklı yöntemleri esas alan çok sayıda modeller geliştirilmiştir. Kullanılan yöntemler; çok değişkenli doğrusal modelleme, ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları ve bulanık mantık esasına dayanan ANFIS (Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım motoru) yöntemleridir. Veri esasına dayanan bu yöntemlerle geliştirilen modellerin kurulumunda, eğitiminde ve doğrulanmasında, Marmaray Projesi tüp-tünel inşaatı kapsamında toplanan eş zamanlı akıntı hızı, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı ve yönü ile su seviyesi verileri kullanılmıştır. Çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde; İstanbul Boğazı'nın, meteorolojik, batimetrik, hidrolojik ve hidrodinamik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik yapısına ilişkin günümüze değin yapılmış modelleme çalışmaları değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde; ham olarak elde edilen ölçüm verilerinden, çalışmanın esasını oluşturan veri setleri oluşturulmuştur. Veri setlerinin istatistiksel analizleri yapılmış, birbirleri ile olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bölümde İstanbul Boğazı'nın güneyindeki bir konumda beş metre aralıklarla farklı derinliklerdeki akıntı hızlarını tahmin eden çok değişkenli doğrusal modeller kurulmuştur. Yine bu bölümde çalışmada kullanılan verileri değerlendiren ve esas alan geçmiş çalışmalara da yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde; İstanbul Boğazı'nın güneyindeki bir konumda beş metre aralıklarla farklı derinliklerdeki akıntı hızlarını tahmin etmek üzere ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları modelleri geliştirilmiştir. Modellerde çok farklı girdi kombinasyonları üzerinde çalışılmıştır ve girdi kombinasyonu ile model doğrulukları arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca modellerde kullanılan gizli hücre sayısının model doğruluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunlardan başka aynı konumda 12 saate kadar ileri zamanlı tahmin yapan modeller geliştirilmiştir. Modellerin doğrulukları; korelasyon ve ortalama kare hatanın karekökü ölçütleri ile değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın beşinci bölümünde; yine aynı konumda yüzey, taban ve ara derinliği temsil eden üç farklı derinlikteki akıntı hızlarını tahmin etmek üzere ANFIS modelleri kurulmuştur. Model performansının girdi sayısı ve kombinasyonu ile ilişkisi

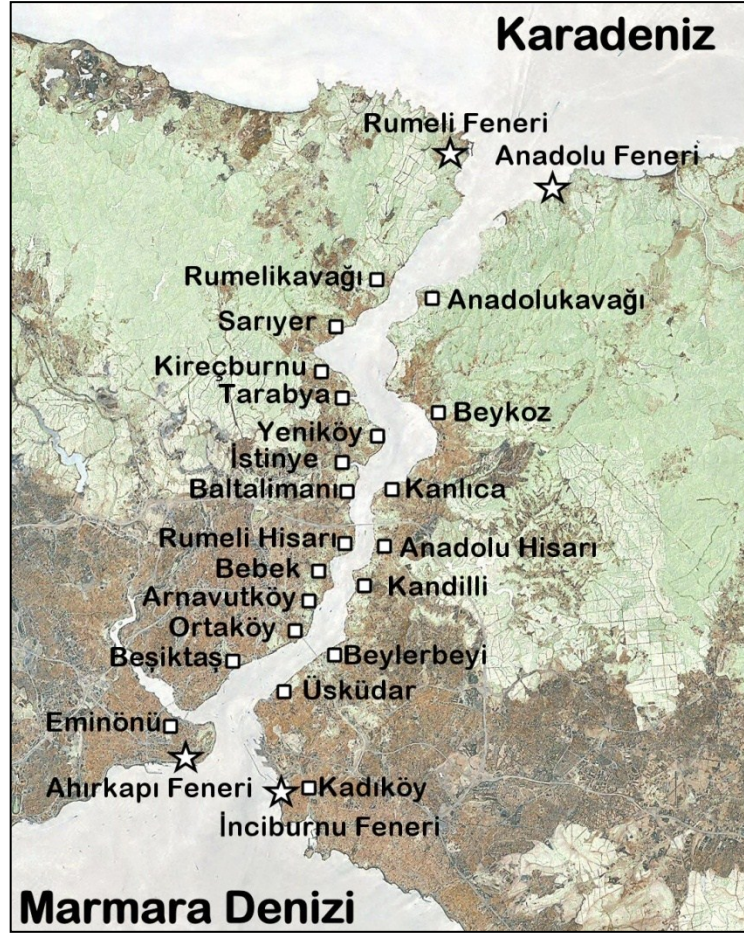
araştırılmıştır. Ayrıca girdi kümelerinin bulanık alt küme sayılarının model doğruluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Model doğrulukları; korelasyon, ortalama kare hatanın karekökü, ortalama mutlak hata, normalleştirilmiş ortalama kare hatanın karekökü ve normalleştirilmiş ortalama mutlak hata ölçütleri ile değerlendirilmişlerdir.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise tüm modelleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar toplu halde değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan modelleme yöntemlerinin böylesi problemler için üstünlük ve uygunlukları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

BÖLÜM 2

ÇALIŞMA ALANI: İSTANBUL BOĞAZI

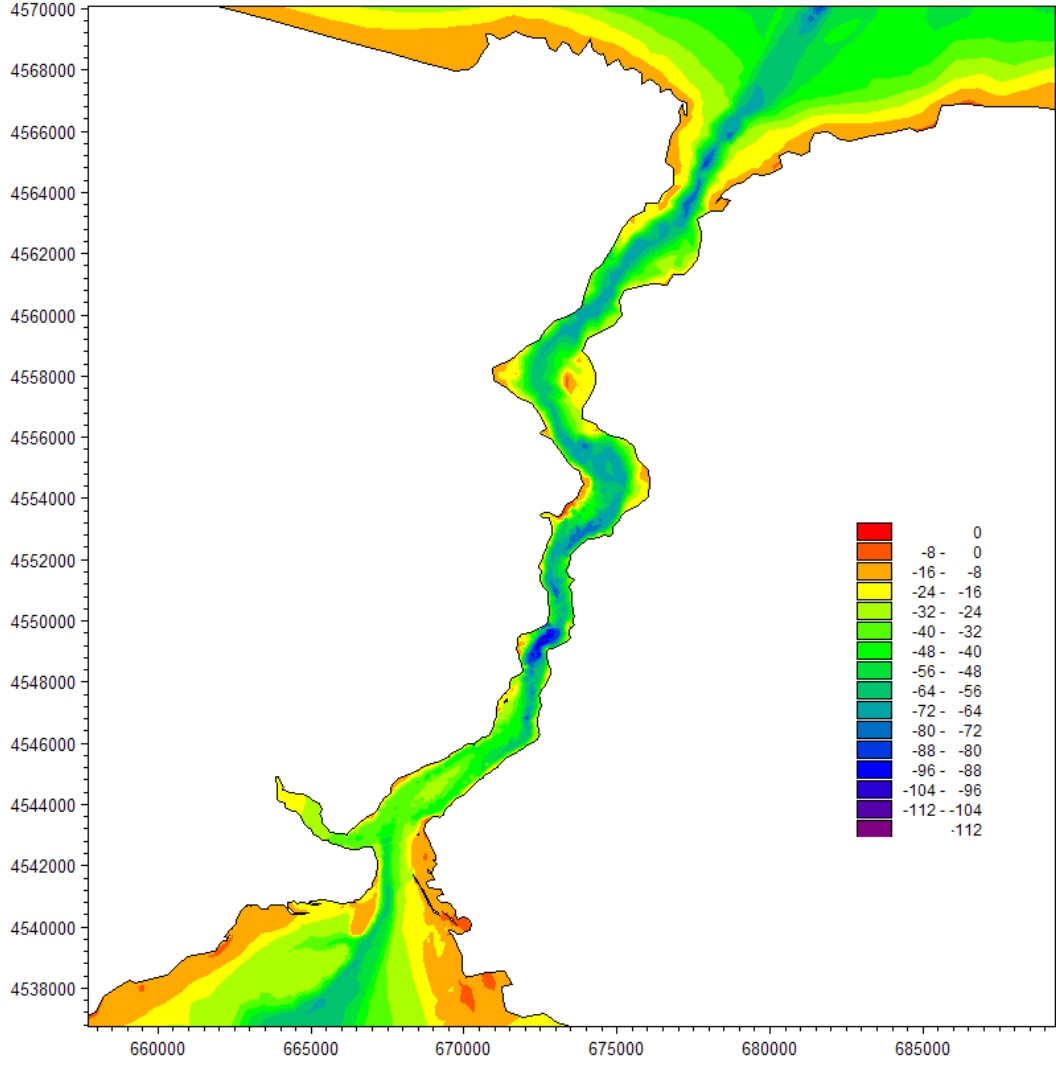
Dar, derin ve kıvrımlı bir su yolu olan İstanbul Boğazı, Karadeniz'i Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı ve Ege Denizi yoluyla Akdeniz'e bağlamaktadır. Şekil 2.1'de gösterilen İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı ile birlikte "Türk Boğazlar Sistemi"ni oluşturmaktadır. 01.05.1982 tarihinde yürürlüğe giren İstanbul Liman Tüzüğü'ne göre İstanbul Boğazı'nın sınırları Kuzey'de Anadolu Feneri ve Rumeli Feneri'ni birleştiren hat ile, Güneyde Ahırkapı Feneri'ni Kadıköy İnciburnu Feneri'ne birleştiren hat olarak kabul edilmektedir. Dünya üzerinde deniz taşımacılığının yapılabildiği en dar doğal su yolu olma özelliğine sahip olan Boğaz yaklaşık 30 km uzunluğundadır. Boğaz'ın en geniş yerleri olan kuzey ve güney sınırları sırasıyla 3600 m ve 3220 m genişlikte iken, en dar yeri 698 m genişliğindeki Anadolu Hisarı ile Rumeli Hisarı arasındaki kesittir. Boğaz'ın derinliği ana kanal boyunca 30 m ile 110 m arasında değişmektedir. En derin yeri Kandilli açıklarındadır. Boğaz'da ortalama derinlik 60 m'dir.



Şekil 2.1 İstanbul Boğazı

İstanbul Boğazı kıyıları oldukça girintili ve çıkıntılıdır. Boğaz boyunca 12 civarında keskin kıvrım mevcuttur ve bu kıvrımlı yapı nedeniyle kıyıların uzunluğu Avrupa yakasında 55 km, Asya yakasında ise 35 km'yi bulmaktadır.

Şekil 2.2'de İstanbul Boğazı batimetrisi görülmektedir. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz ve Marmara Denizi ile birleştiği kesitlerde iki adet eşik bulunmaktadır. Eşikler Boğaz'daki akıntı yapısını kontrol eden doğal oluşumlardır. Eşiklerden biri Marmara Denizi'nin kuzeyinde hemen Boğaz girişinde bulunmakta olup, her iki yanında birer kanal akımı oluşmasına neden olmaktadır. Diğer eşik Boğaz'ın Karadeniz girişinin 3-4 km kuzeyinde olup 60 m derinlikte bulunmaktadır ve yaklaşık 2 km uzunluğa sahiptir [1], [50].



Şekil 2.2 İstanbul Boğazı batimetrisi

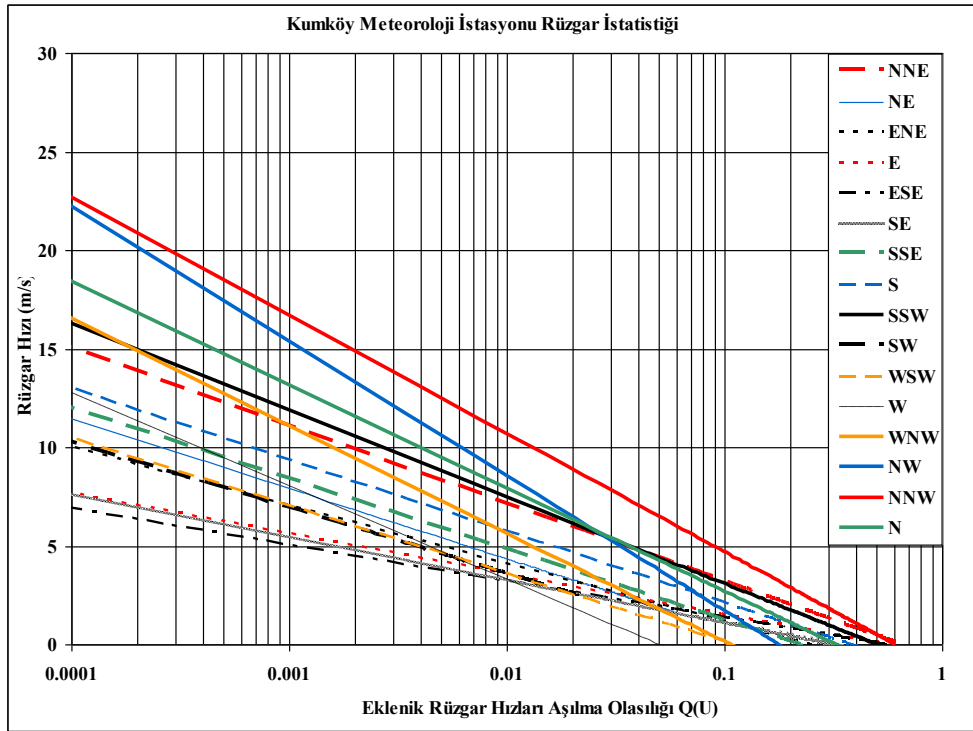
Bu eşiklerden başka İstanbul Boğazı boyunca çeşitli adalar ve sığlıklar da mevcuttur. Boğaz'ın Avrupa kıyıları boyunca; Kuruçeşme, Dimi, Bebek, Dikilikaya, Sarayburnu, Ortaköy, Yeniköy, Büyükliman, Baltalimanı, Sarıyer ve Anadolu kıyıları boyunca da Kız Kulesi, Göksu, Macar, Poyraz, İncirköy, Paşabahçe, bankları özellikle büyük gemiler için tehlike oluşturan oluşumlardır.

İstanbul Boğazı'nda Akdeniz iklimi hâkimdir. Yazları nispeten kısa süreli olmak üzere sıcak ve kuraktır. Kışlar ılıman ve soğuktur. Hava sirkülasyonu bakımından oldukça hareketlidir ve rüzgârın etkin yönü kuzeydoğu-güneybatı doğrultusundadır. İstanbul Boğazı'nda Eylül ayından itibaren fırtınalar görülmeye başlamakta olup, Ocak ayında fırtınalar daha yoğun görülmektedir. Genellikle Mart ayında yoğun sis oluşabilmektedir. İstanbul Boğazı'ndaki iklimsel koşullar ve yağış Boğaz'daki hidrodinamik yapıyı önemli boyutta etkilemektedir.

İstanbul'un hâkim rüzgârı kuzeydoğu yönünden esen poyrazdır. Rüzgâr hızı Karadeniz kıyılarından güneye inildikçe azalmaktadır. İstanbul'da ölçülen en şiddetli rüzgar 42.4 m/s olarak Şile Meteoroloji istasyonunda kaydedilmiştir. Yazları genel olarak poyraz, kışları karayel, yıldız ve lodos esmektedir. Kible ve lodos ile birlikte genellikle yağışlar görülmektedir. Lodos Marmara Denizi'nde poyraz, karayel ve yıldız rüzgârları ise Karadeniz'de fırtınalara neden olmaktadır.

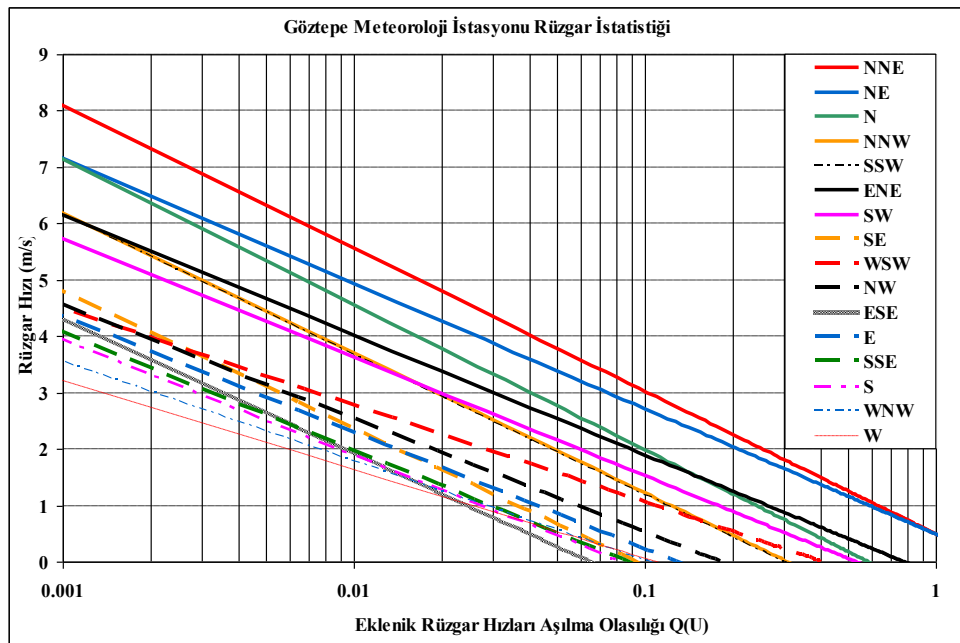
Yeşilköy ve Sarıyer Meteoroloji İstasyonlarından alınan veriler ile yapılan uzun dönem rüzgar istatistiği sonuçları hakim rüzgar yönünün Boğaz'ın güney ucunda güney-güneybatı (GGB), kuzey ucunda ise kuzey-kuzeydoğu (KKD) olduğunu göstermektedir [51].

Yüksel vd. [52] İstanbul Büyükşehir Belediyesi için İstanbul Master Plan çalışmaları kapsamında hazırladıkları raporda İstanbul'un farklı bölgelerindeki hâkim rüzgâr karakteristiklerini belirlemişlerdir. Bu çalışma kapsamında Özhan ve Abdalla [53] tarafından hazırlanan Türkiye Kıyıları için Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndan faydalanmış ve ayrıca İstanbul kıyılarındaki rüzgâr istasyonlarından toplanan verileri de analiz etmişlerdir. Kumköy Meteoroloji İstasyonu'nun bulunduğu kuzeydoğu kıyıları için ölçümlere dayanarak elde edilen eklenik rüzgar hızları aşılma grafiği Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Buna göre bölgede rüzgârlar en fazla %15.4 kuzeydoğu, %9.8 kuzey-kuzeydoğu ve %7.6 doğu-kuzeydoğu doğrultularından esmektedir. Bu sonuçlar [53]'te verilen rüzgârgülü ile de uyumlu bulunmuştur.



Şekil 2.3 Kumköy Meteoroloji İstasyonu uzun dönemli rüzgar hızlarının eklenik aşılma olasılıkları [52]

İstanbul'un güney doğu kıyıları için Göztepe Meteoroloji İstasyonu verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen uzun dönemli rüzgar hızlarının eklenik aşılma olasılıkları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Bu bölgede rüzgarlar en fazla Batı-Güney-Batı (%7.0), Batı (%5.6) ve Güney-Batı (%6.5) doğrultularında oluşmaktadır.



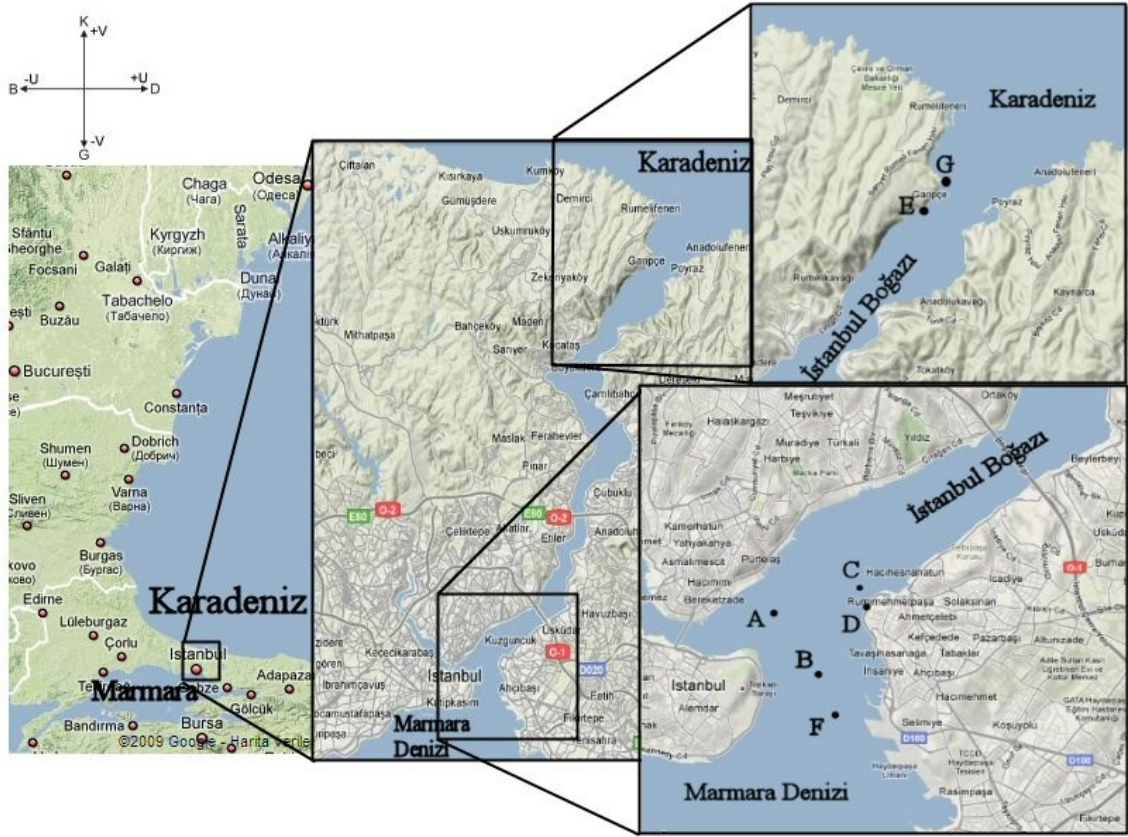
Şekil 2.4 Göztepe Meteoroloji İstasyonu uzun dönemli rüzgar hızlarının eklenik aşılma olasılıkları [52]

İSTANBUL BOĞAZI'NDA AKINTI MODELLEMESİ AMACIYLA KULLANILAN ÖLÇÜMLER VE SAYISAL DEĞERLENDİRMELER

3.1 Giriş

Yapay sinir ağları veya bulanık mantık gibi belirsizlik yöntemleri veri esasına dayanan modelleme teknikleridir. İstanbul Boğazı'nda bu yöntemler ile yapılacak çalışma için önemli miktarda veriye gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, Marmaray Projesi tüp-tünel inşaatı kapsamında toplanan akıntı hızı, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı ve yönü ile su seviyesi verileri kullanılmıştır. İstanbul Boğazı'nda ölçüm yapılan istasyonlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. İstasyonların konumları ile ölçüm dönemleri ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. Akıntı ölçümleri için kullanılan ekipmanların özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Hız ölçümlerinin vektörel bileşenlerine verilen isimler ve pozitif doğrultuları Şekil 3.1'deki pusulada gösterilmiştir.

Akıntı hızlarının ölçüldüğü A, B ve C istasyonlarının konumları değerlendirildiğinde C istasyonunun bir burnun arkasında kaldığı ve A istasyonunun ise Haliç'in ağzında, akıntıların döndüğü noktada konumlandırıldığı görülmektedir. Bu iki istasyonda ölçülen akıntı hızı değerlerinin modellemede sağlıklı bir sonuç vermeyeceği düşünülerek, bu çalışmada her ne kadar kesitin en derin noktasında olmasa da B istasyonunda toplanan akıntı verileri esas alınmıştır. Çalışmada ihtiyaç duyulan meteorolojik veriler F ve G, su seviyesi verileri ise D ve E istasyonlarından sağlanmıştır.



Şekil 3.1 Ölçüm istasyonları, konumları ve koordinat sistemi (Şeklin sol üst köşesinde hız vektörlerinin yön tanımları yapılmıştır)

Çizelge 3.1 Veri toplama istasyonları ve ölçüm karakteristikleri

İstasyonlar	Koordinat	Ölçüm Dönemi	Parametre	Ölçüm Aralığı
A	41° 05' 26.7" N 28° 59' 20.9" E	24.09.04-03.01.06	Akıntı hızı, yönü (ADCP)	Saatlik
B	41° 00' 52.4" N 28° 59' 53.6" E	24.09.04-03.01.06	Akıntı hızı, yönü (ADCP)	Saatlik
C	41° 01' 35.1" N 29° 00' 30.1" E	24.09.04-03.01.06	Akıntı hızı, yönü (ADCP)	Saatlik
D	41° 01' 31.4" N 29° 00' 30.3" E	25.09.04-05.01.06	Su seviyesi	Saatlik
E	41° 12' 13" N 29° 05' 54" E	22.09.04-05.01.06	Su seviyesi	Saatlik
F	41° 00' 32.2" N 29° 00' 07.2" E	18.11.04-04.01.06	Rüzgâr hızı, yönü, Atmosfer basıncı	10 dakikalık
G	41°24'00.0" N 29°06'00.0" E	19.11.04-05.01.06	Rüzgâr hızı, yönü, Atmosfer basıncı	10 dakikalık

Çizelge 3.2 Ölçümlerde kullanılan akıntı ölçerin özellikleri

Akıntı Ölçer (Aanderaa Recording Doppler Current Profiler)	
Akustik merkezi frekans	600 kHz
Bim sayısı	4
Veri işleme	ARMA parametrik model
Hız Aralığı	0-500 cm/s
Yatay Doğruluk	0.5 cm/s
Düşey Doğruluk	1.0 cm/s
Gürültü	4.0 cm/s
Hücre Büyüklüğü	2 m
Hücre Kesişimi	%50
Yatay Yön ve Yatıklık Sensörü	
Yatay yön doğruluğu	$\pm 4^\circ$
Yatıklık doğruluğu	$\pm 1.5^\circ$

3.2 Veri Setleri

Toplanan tüm veriler değerlendirilerek Çizelge 3.3'te düzenlenmiş veri setlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Veri setlerinin oluşturulmasında eş zamanlılık esas alınmıştır. Bu ilkeler doğrultusunda oluşturulan setlerin her biri bir saatlik aralıklarla toplanmış 7039 adet veriden oluşmaktadır.

Çizelge 3.3 Veri setleri ve özellikleri

Veri Seti	Ölçüm İstasyonu	İçerdiği Veri Periyodu	Veri Sayısı
Rüzgâr hız bileşeni, U (m/s)	F, G	1 saat	7039
Rüzgâr hız bileşeni, V (m/s)			
Atmosfer basıncı (hPa)			
Su seviyesi (m)	D, E		
Su seviyesi farkı (m)	H _E -H _D		
Akıntı hızı bileşeni, U (m/s)	B		
Akıntı hızı bileşeni, V (m/s)	(-1m, -5m, -10m, -15m, -18m, -20m, -22m, -24m derinliklerde)		
Bileşke akıntı hızı, S (m/s)			

Hız içeren tüm veri setlerinin, yön parametresinden bağımsız hale getirilebilmesi için kuzey pozitif olmak üzere kuzey-güney doğrultusundaki bileşen (V) ve doğu pozitif olmak üzere doğu-batı doğrultusundaki hız bileşeni (U) olacak şekilde dikkate alınmıştır. Çalışmada bileşke hız (S) olarak isimlendirilmiştir. Meteorolojik verilerin toplandığı iki istasyondan F istasyonu İstanbul Boğazı'nın güneyinde Marmara Denizi

ile birleştigi yerde ve G istasyonu ise kuzeyde Boğaz'ın Karadeniz ile birleştigi yerde konumlandırılmıştır. Meteorolojik veriler 10 dakikalık aralıklar ile toplanmıştır. Ancak modellemede eşzamanlı verilerin kullanılması gerektiğinden akıntı hızları ile eş zamanlı olacak şekilde saatlik verilere dönüştürülmüştür. Bu düzenleme yapılırken anlık değerler değil, saatlik ortalama değerler hesaplanmıştır.

3.3 Veri Setlerinin İstatistiksel Parametreleri

Yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi veri odaklı modelleme tekniklerinde modelde kullanılacak en büyük ve en küçük değerlerin, verilerin değişim aralığının ve dağılımlarının bilinmesi model kurulumunda önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında, oluşturulan veri setlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. İncelemesi yapılan parametreler; en büyük, en küçük ve ortalama değerler, standart sapma, artı ve eksi değerlerin sayıları ve ayrı ayrı ortalamaları ile çarpıklık parametresidir. Veri setleri üç kısma ayrılmıştır. İlk kısımda meteorolojik parametreler; rüzgâr hız bileşenleri, bileşke hız ve atmosfer basıncı, ikinci kısımda D ve E istasyonlarından elde edilen Karadeniz ve Marmara Denizi su seviyeleri ile iki deniz arasındaki su seviyesi farkı, son olarak da B istasyonundan elde edilen akıntı hızı bileşenleri ve bileşke akıntı hızları yedi ayrı derinlik için incelenmiştir.

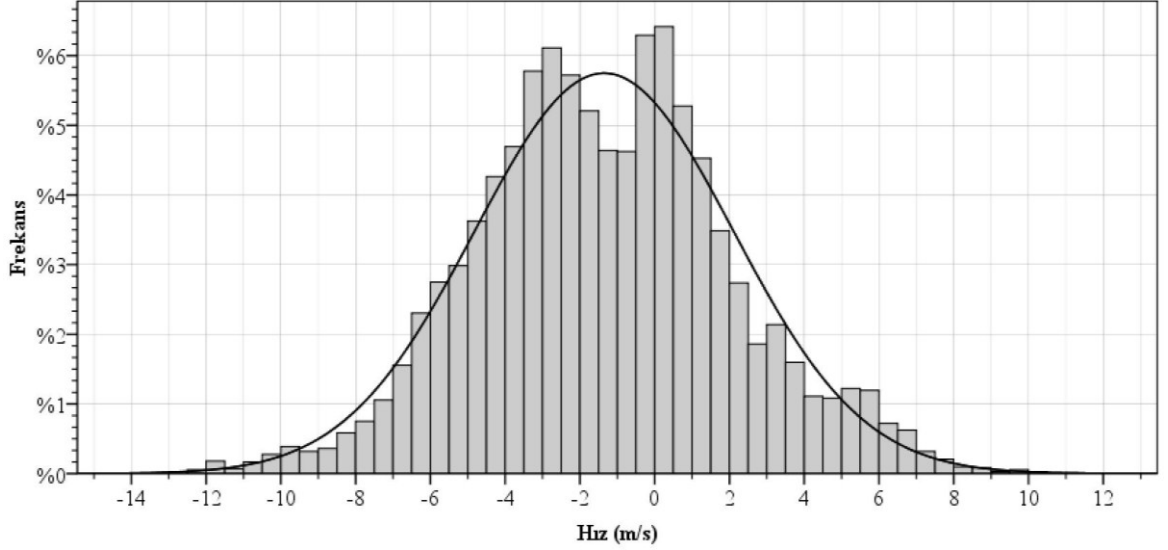
3.3.1 Meteorolojik Veriler

Meteorolojik veriler F ve G olmak üzere iki ayrı istasyonda ölçülmüşlerdir. Ölçülen meteorolojik parametreler; rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve atmosfer basıncı değerleridir. Rüzgar hızı Bölüm 3.2'de belirtildiği şekilde hız bileşenlerine ayrılmış ve kuzey pozitif yön olmak üzere kuzey-güney doğrultusundaki hıza (V), doğu pozitif olmak üzere doğu – batı doğrultusundaki hıza (U) denilmiştir. Bileşke hız ise (S) olarak isimlendirilmiştir.

3.3.1.1 G İstasyonu Verileri

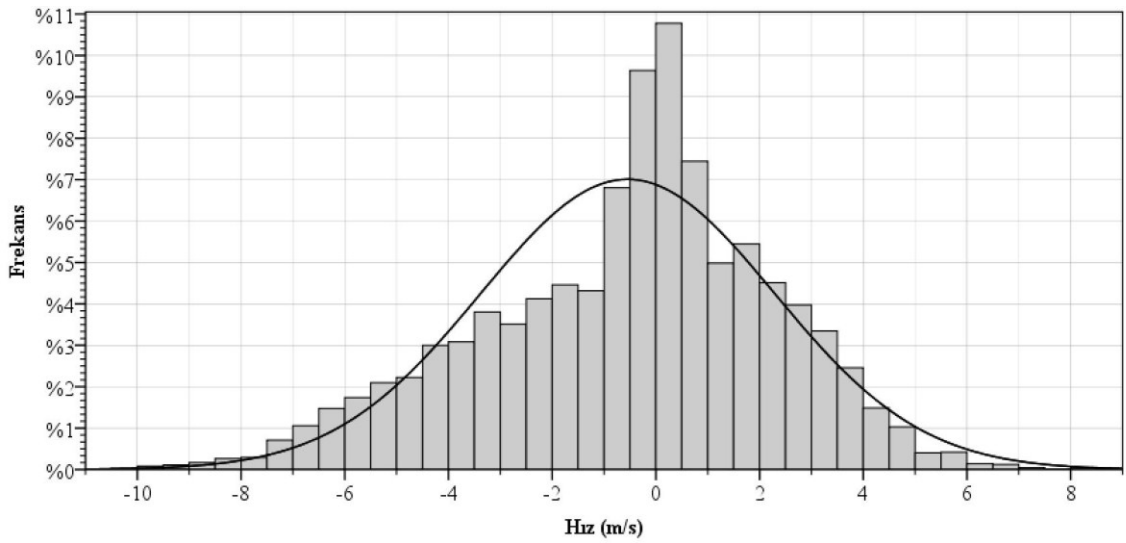
Şekil 3.2'de İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde yer alan G istasyonunda ölçülen rüzgâr hızının V bileşenine ait frekans histogramı gösterilmiştir. Histogram incelendiğinde; V hız bileşeninin 0m/s değerlerinde pik yaptığı, ikinci pik değerin ise -3m/s (kuzeyden güneye) değerinde olduğu görülmektedir. Serinin ortalaması -1.35m/s ve standart sapması 3.46m/s olarak elde edilmiştir. Rüzgâr zamanın %65'inde kuzeyli yönlerden esmiş ve bu sürede V bileşeninin ortalama değeri -3.3m/s olmuştur. Zamanın

%35’inde ise güneyli yönlerden esmiş ve V hız bileşeninin bu süre içerisindeki ortalama değeri 2.3m/s olmuştur. Görüldüğü gibi rüzgâr hızı V bileşeninin frekans dağılımı normal dağılıma uymaktadır.



Şekil 3.2 G İstasyonu kuzey hız bileşeni (V_G) verilerinin frekans histogramı

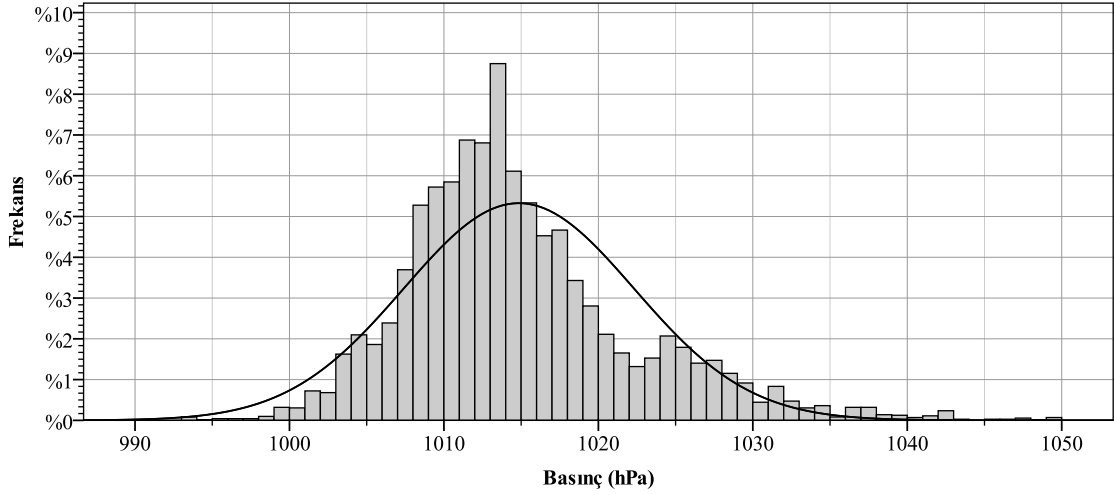
Şekil 3.3’te U rüzgar hız bileşenine ait (normalleştirilmiş) frekans histogramı verilmiştir. Verilerin yaklaşık %20’si -0.5 ila 0.5m/s arasında kalırken, ortalamasının -0.54m/s ve standart sapmasının 2.8m/s olduğu görülmektedir. Rüzgârın; ölçüm periyodunun %53’ünde doğulu yönlerden estiği ve U hız bileşeninin ortalamasının -2.59m/s olduğu görülmektedir. Zamanın %47’sinde ise rüzgârın batılı yönlerden estiği ve U hız bileşeninin ortalama değerinin 1.78m/s olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 G İstasyonu doğu hız bileşeni (U_G) verilerinin frekans histogramı

Şekil 3.4’te G istasyonu atmosfer basıncı ölçümlerinin frekans histogramı verilmiştir.

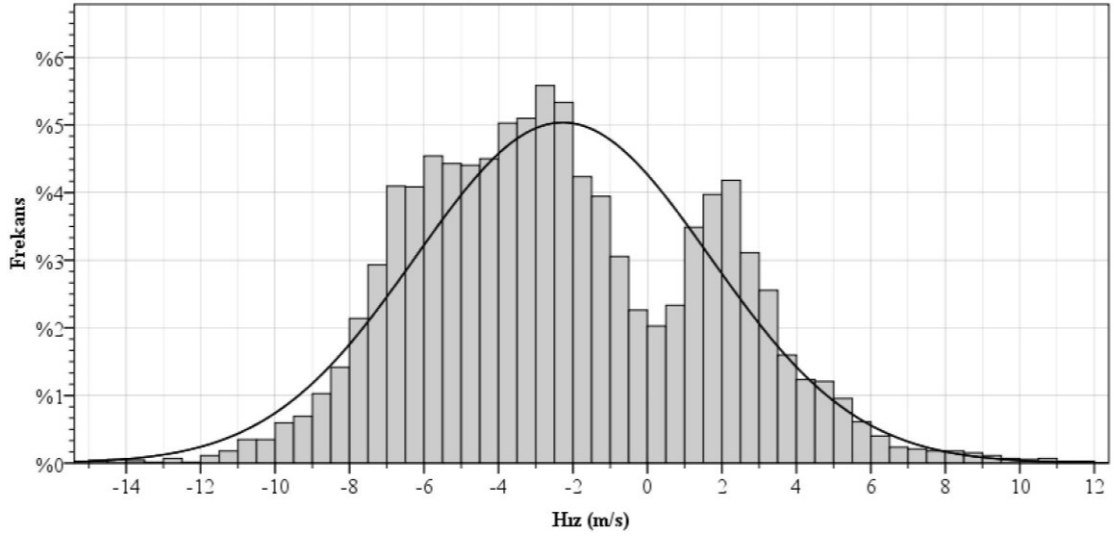
Histogram incelendiğinde ortalamanın 1014.85hPa ve standart sapmasının 7.46hPa olduğu ve histogramın 1013hPa ile 1014hPa arasında pik yaptığı görülmektedir.



Şekil 3.4 G İstasyonu basınç (P_G) verilerinin frekans histogramı

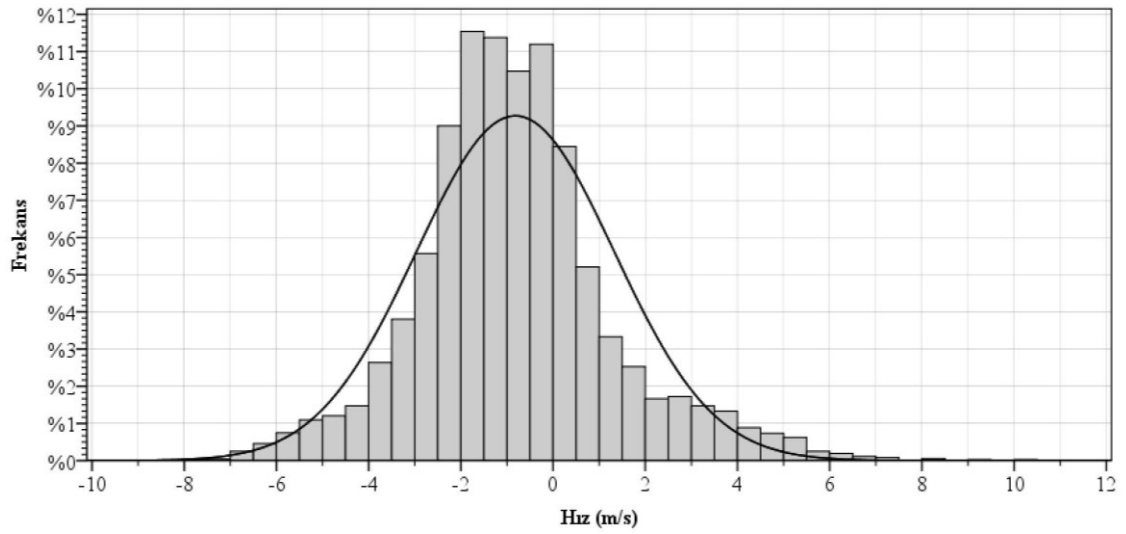
3.3.1.2 F İstasyonu Verileri

Şekil 3.5'te İstanbul Boğazi'nin Marmara Denizi girişinde yer alan F istasyonunda ölçülen rüzgar hızının V bileşenine ait frekans histogramı gösterilmiştir. Histogram incelendiğinde; V hız bileşeninin -3m/s değerlerinde geniş yüzeyli bir pik yaptığı ve pikin frekansının bir miktar düşmesi ile birlikte -7m/s değerine kadar ilerlediği, ikinci pikin ise 2m/s değerinde olduğu görülmektedir. G istasyonundan farklı olarak burada 0 değerinde histogramın bir minimum yaptığı görülmektedir. Serinin ortalaması -2.3m/s ve standart sapması 3.9m/s olarak bulunmuştur. Rüzgâr zamanın %71'inde kuzeyli yönlerden esmiştir. Bu süre boyunca V hız bileşeninin ortalaması -4.3m/s olmuştur. Zamanın %29'unda ise rüzgâr güneyli yönlerden esmiş ve bu süre içerisinde V hız bileşeninin ortalaması 2.7m/s olmuştur.



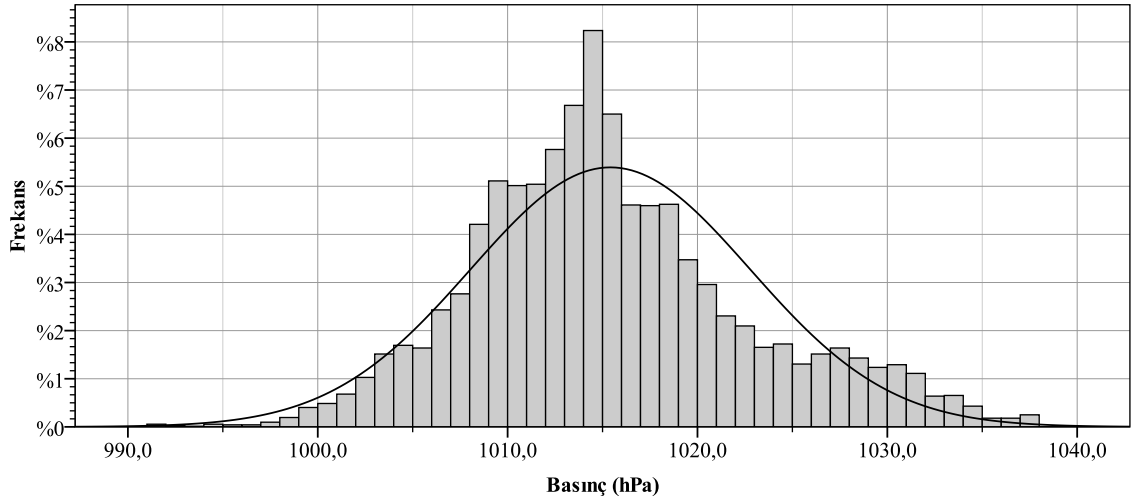
Şekil 3.5 F İstasyonu kuzey hız bileşeni (V_F) verilerinin frekans histogramı

Şekil 3.6'da U rüzgar hız bileşenine ait frekans histogramı verilmiştir. U hız bileşeninin -2m/s ile 0 arasında geniş bir pik yaptığı ortalamasının -0.82m/s ve standart sapmasının 2.1m/s olduğu görülmektedir. Rüzgâr ölçüm periyodunun %71'inde doğulu yönlerden esmiş ve U hız bileşeninin ortalama değeri -1.83m/s olmuştur. Zamanın %29'unda ise rüzgâr batılı yönlerden esmiş ve U hız bileşeninin ortalama değeri 1.68m/s olmuştur.



Şekil 3.6 F İstasyonu doğu hız bileşeni (U_F) verilerinin frekans histogramı

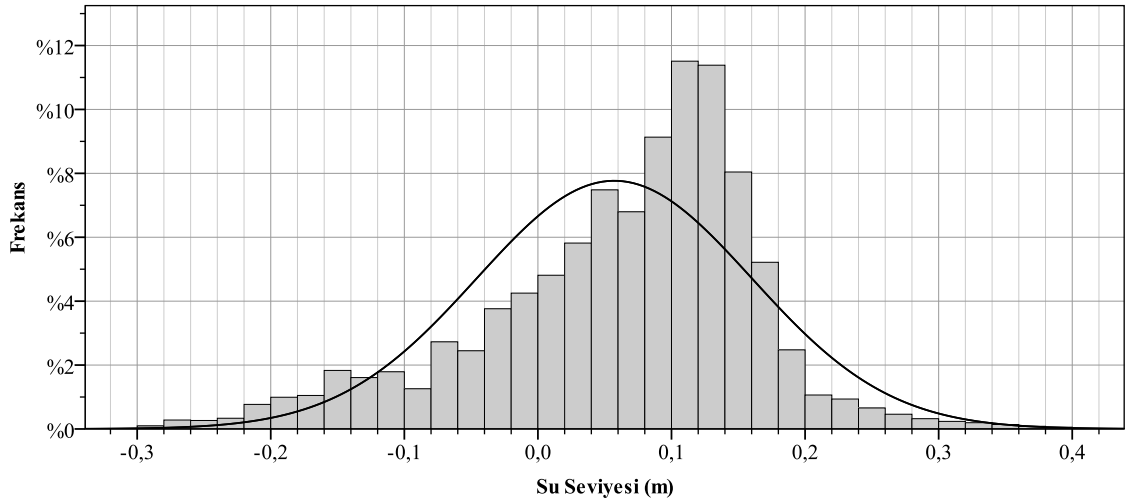
Şekil 3.7'de aynı istasyondaki basınç değerlerinin frekans histogramı verilmiştir. Bu istasyondaki basınç ölçümlerinin ortalaması 1015.41hPa standart sapması 7.37 hPa olarak bulunmuştur. Histogramın 1014hPa ile 1015hPa değeri arasında pik yaptığı görülmektedir.



Şekil 3.7 F İstasyonu basınç (P_F) verilerinin frekans histogramı

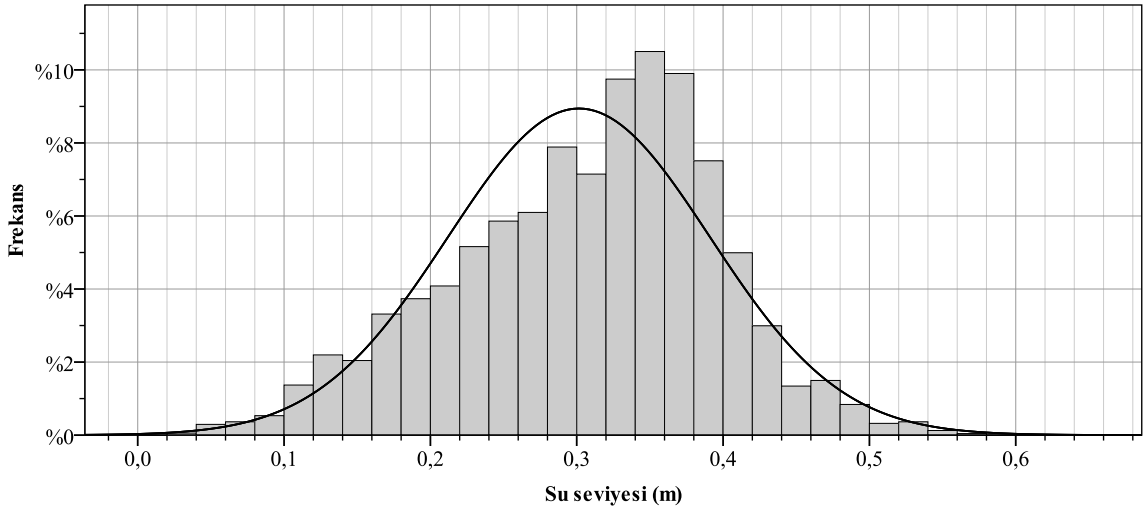
3.3.2 Su Seviyesi Ölçümleri

Şekil 3.8’de İstanbul Boğazı’nın Marmara Denizi ile birleştiği yerde bulunan D istasyonuna ait su seviyesi verilerinin histogramı gösterilmiştir. Histogramın 0.1m ile 0.14m arasında pik yaptığı görülmektedir. D istasyonu su seviyesi ölçümlerinin değerlendirilmesi ile su seviyesinin en düşük değerinin -0.30m, en yüksek değerinin 0.42m, ortalamasının 0.06m ve standart sapmasının 0.103m olduğu hesaplanmıştır.



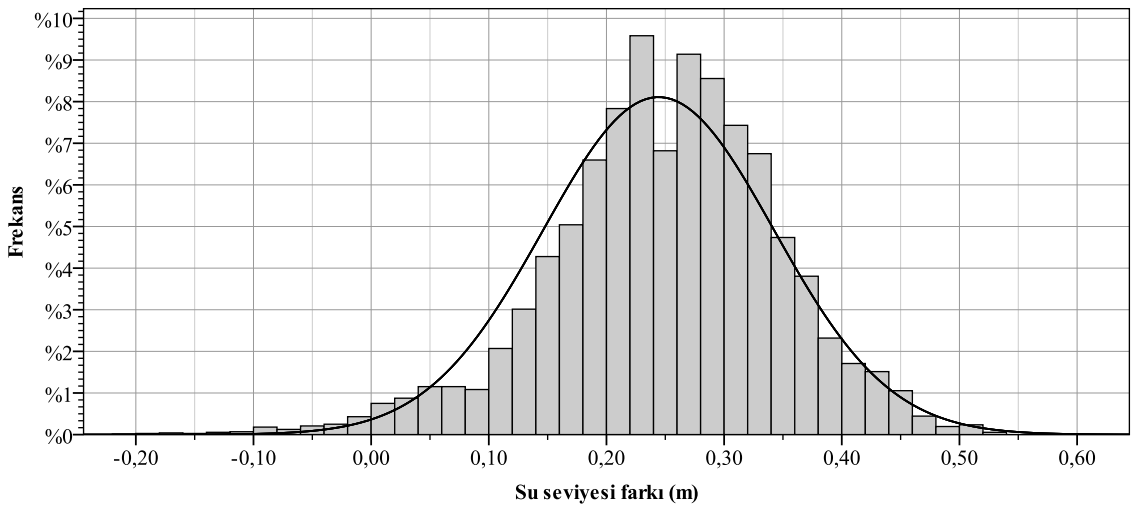
Şekil 3.8 Marmara Denizi su seviyesi (H_D) verilerinin frekans dağılımı

Şekil 3.9’da İstanbul Boğazı’nın Karadeniz ile birleştiği yerde bulunan E istasyonuna ait su seviyesi verilerinin histogramı gösterilmiştir. Histogramın 0.32 ila 0.36m arasında pik yaptığı görülmektedir. E istasyonu su seviyesi verileri değerlendirildiğinde en düşük su seviyesi değeri 0.02m ve en yüksek su seviyesi değeri 0.57m olarak bulunmuş, ortalamasının 0.30m ve standart sapmasının 0.09m olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3.9 Karadeniz su seviyesi (H_E) verilerinin frekans dağılımı

İstanbul Boğazı'nın akıntı yapısı üzerinde etkili olduğu bilinen iki deniz arasındaki su seviyesi farkı için de benzer istatistiksel inceleme gerçekleştirilmiş ve frekans histogramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Su seviye farkları eş zamanlı olarak Karadeniz su seviyesinden Marmara Denizi su seviyesi çıkartılarak elde edilmiştir. İki deniz arasındaki su seviyesi farklarının en küçük değeri -0.21m, en büyük değeri 0.53m, ortalaması 0.24m ve standart sapması 0.10m olarak belirlenmiştir. Ölçüm döneminin %98.4'ünde Karadeniz su seviyesi Marmara Denizi'ne göre daha yüksekte kalmış, %1.4'ünde Marmara Denizi su seviyesi Karadeniz su seviyesinin üzerine çıkmıştır. Dağılım normal dağılıma oldukça yakın çıkmakla birlikte tam ortalama değerde bir yersel minimum değeri göze çarpmaktadır.



Şekil 3.10 Su seviyesi farkı (ΔH) verilerinin frekans dağılımı

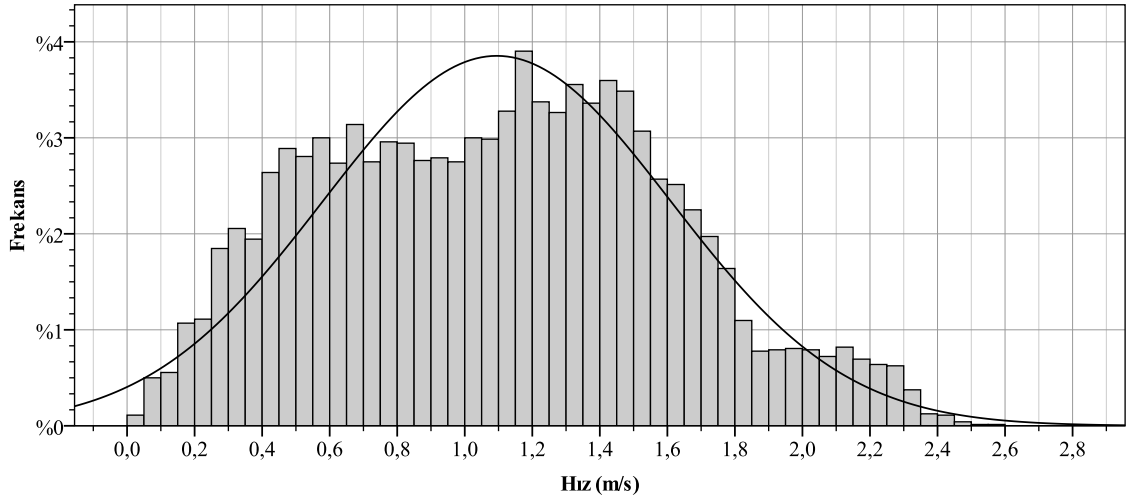
3.3.3 Akıntı Hızı Ölçümleri

Akıntı hızları derinlik boyunca tabandan yüzeye kadar belirli yükseklikteki hücrelere bölünerek ölçülmüştür. Hücre numaraları tabanda 1'den başlayıp yüzeyde 24'te son bulmaktadır. Her bir hücrenin yüksekliği 2m'dir ve birbiriyle kısmen örtüşen hücrelerin merkezleri arasında 1 m mesafe vardır. Bu şekilde her hücrenin bir metresi komşu hücre ile çakışmıştır. Bunlara karşılık derinlikler tabanda -24m'den başlayıp yüzeyde -1m'de sonlanmaktadır.

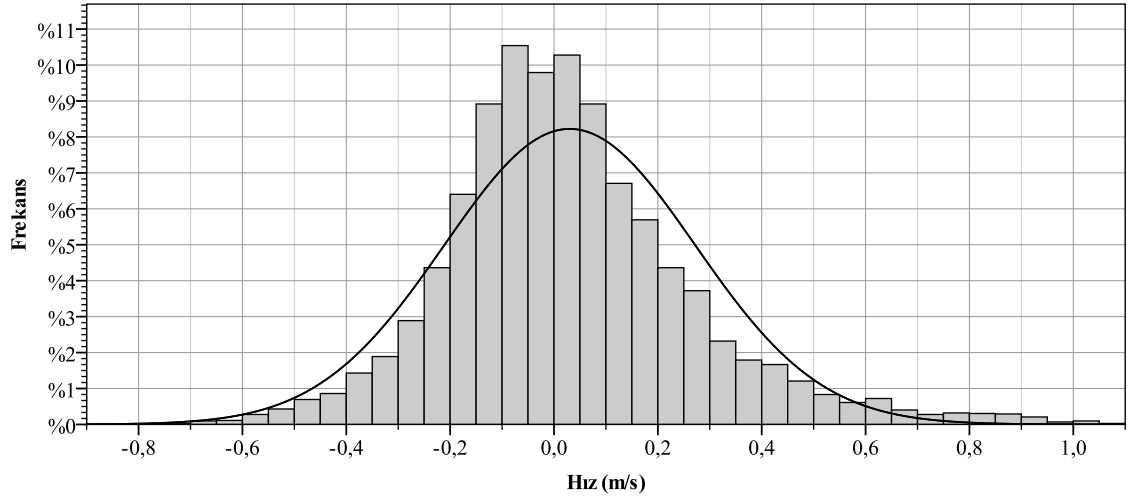
Ölçümlerde U; doğu pozitif yön olmak üzere doğu-batı doğrultusundaki akıntı hızının bileşenini, V; ise kuzey pozitif yön olmak üzere kuzey-güney doğrultusundaki akıntı hız bileşenini göstermektedir. Bileşke hız ise S ile gösterilmiştir.

3.3.3.1 -1m Akıntı Hızı Ölçümleri

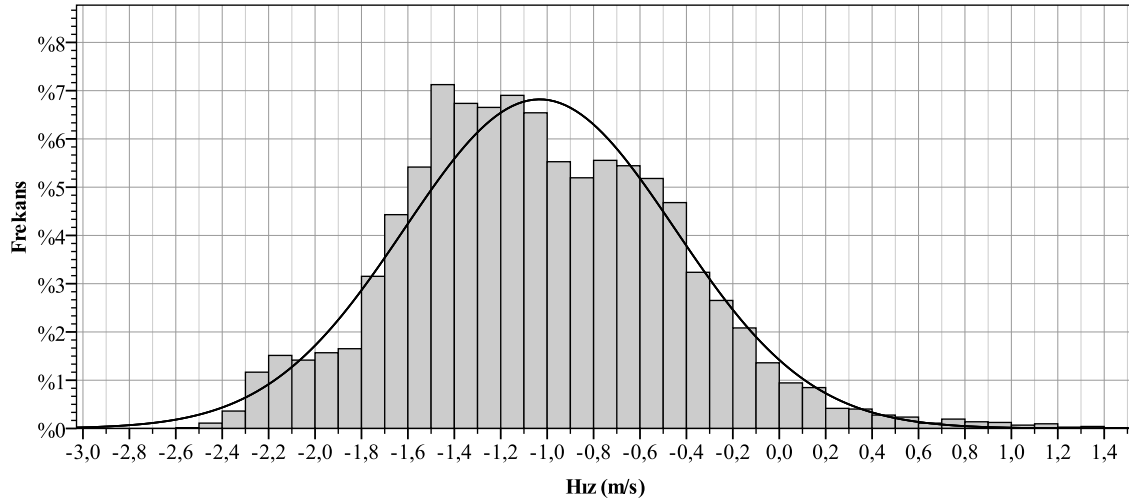
Şekil 3.11 (a)'da su yüzeyinden -1 m derinlikte ölçülen bileşke akıntı hızı değerlerinin histogramı verilmiştir. Histograma göre, bileşke hızın ölçüm dönemi içerisindeki ortalama değeri 1.1m/s olmuştur. Şekil 3.11 (b)'de ise doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin histogramı verilmiştir. Buna göre doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.2m/s ve -0.15m/s olmuştur. Şekil 3.11 (c)'de kuzey-güney doğrultusundaki akıntı hızı ölçümlerinin histogramı gösterilmiştir. Kuzey-güney yönlü hız bileşeninin pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.36m/s ve -1.09m/s olarak belirlenmiştir. Doğu ve batı yönündeki akıntıların süreleri yaklaşık olarak eşit iken, kuzey-güney yönündeki akıntının neredeyse tamamı %96 gibi bir oranla kuzeyden güneye doğru oluşmaktadır. Bileşke hızın en büyük değeri 2.55 m/s olurken, bileşenlerin en büyük değerleri doğu-batı yönünde -0.73m/s ve 1.21m/s, kuzey-güney yönünde ise -2.51m/s ve 1.49m/s olmuştur.



(a) Bileşke hız (S)



(b) U hız bileşeni



(c) V hız bileşeni

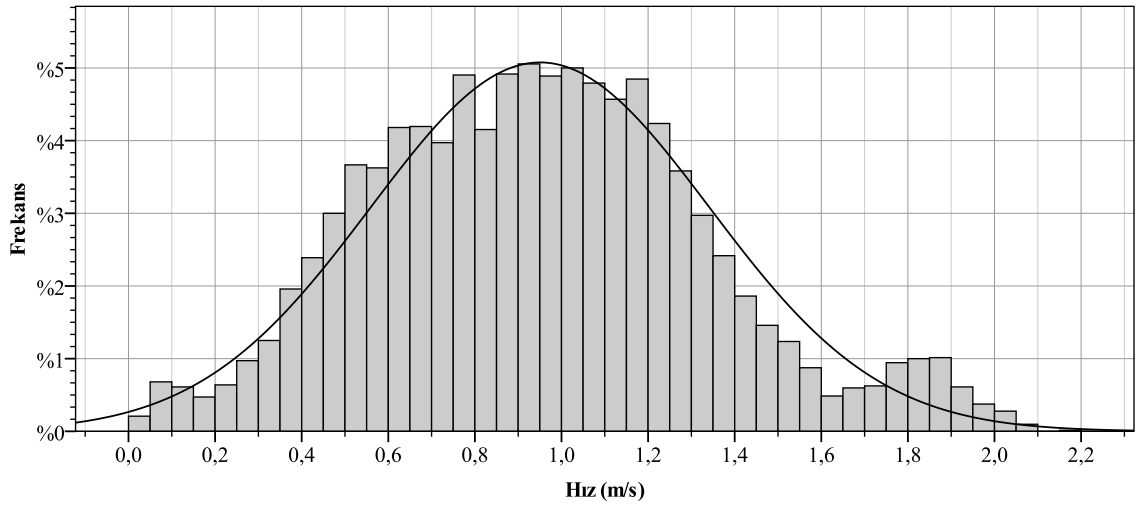
Şekil 3.11 -1m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları

3.3.3.2 -5m Akıntı Hızı Ölçümleri

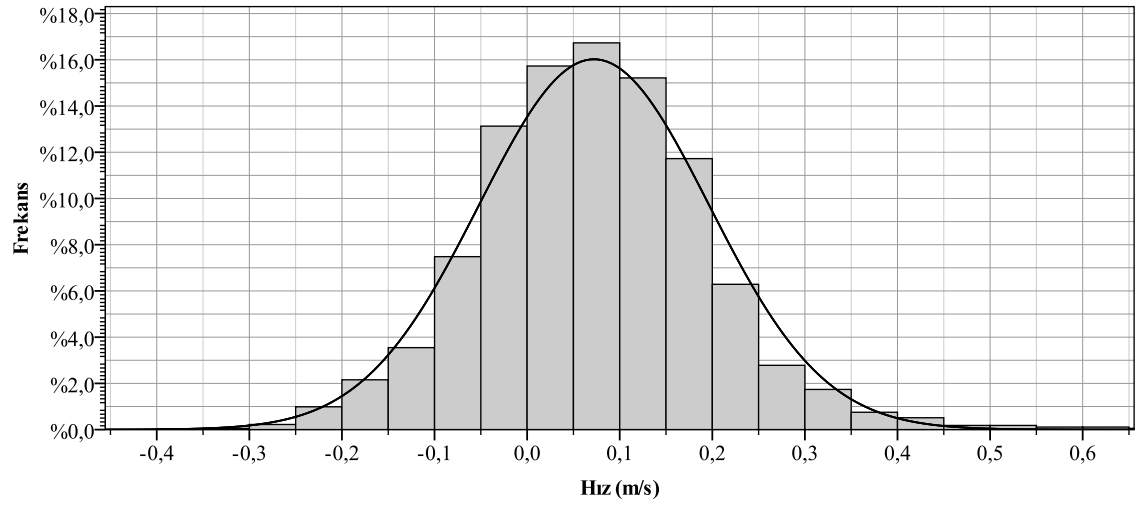
Şekil 3.12 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -5 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.95m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.13 ve -0.07m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile -0.47 ve -0.95m/s olarak belirlenmiştir. Doğru-batı yönündeki akıntının %72'si pozitif iken, kuzey-güney yönündeki akıntının neredeyse tamamı %98 gibi bir oranla kuzeyden güneye doğru oluşmuştur. Bileşke hızın en büyük değeri 2.18 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri; doğu-batı yönünde -0.37m/s ve 0.73m/s, kuzey-güney yönünde ise -2.16 ve 1.07m/s, değerlerini almıştır.

3.3.3.3 -10m Akıntı Hızı Ölçümleri

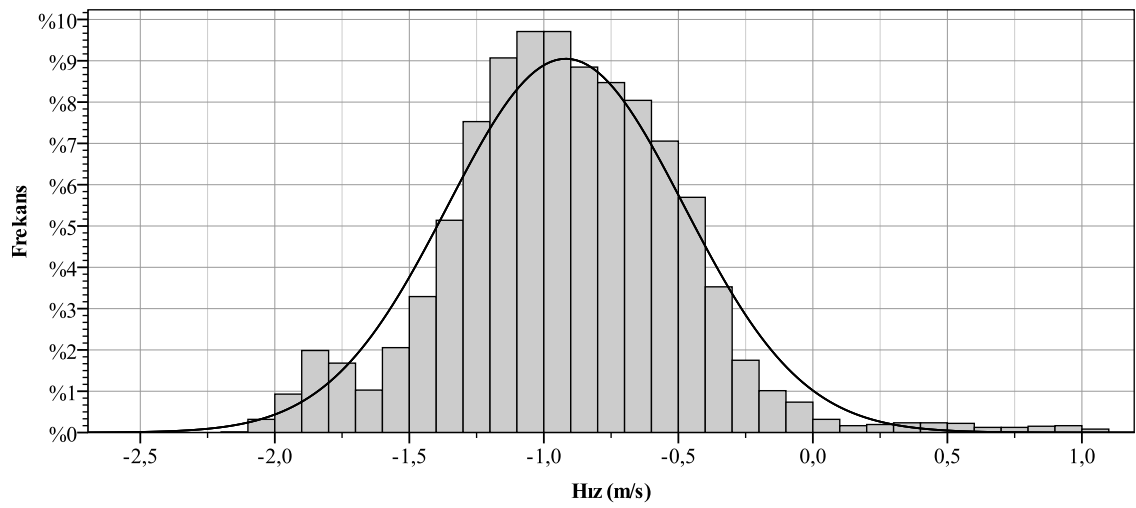
Şekil 3.13 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -10 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.85m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.24m/s ve -0.06m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.35m/s ve -0.82 m/s olarak belirlenmiştir. Doğru-batı yönündeki akıntının %93.5'i pozitif yönde; benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntının %95.5'i negatif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 2.06 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri doğu-batı yönünde -0.27m/s ve 1.08m/s kuzey-güney yönünde ise -2.06m/s ve 1.08m/s değerlerini almıştır.



(a) Bileşke hız (S)

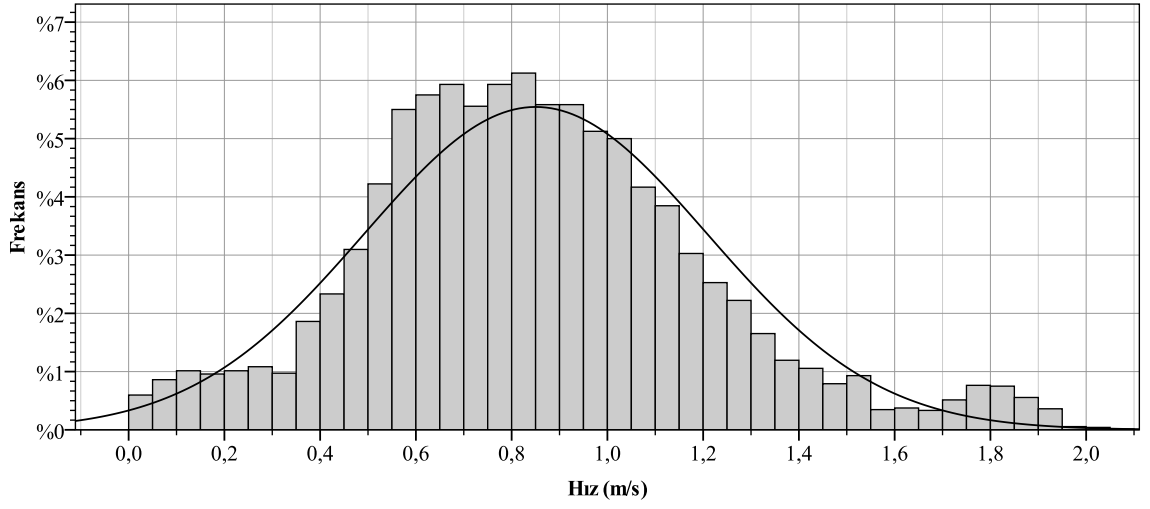


(b) U hız bileşeni

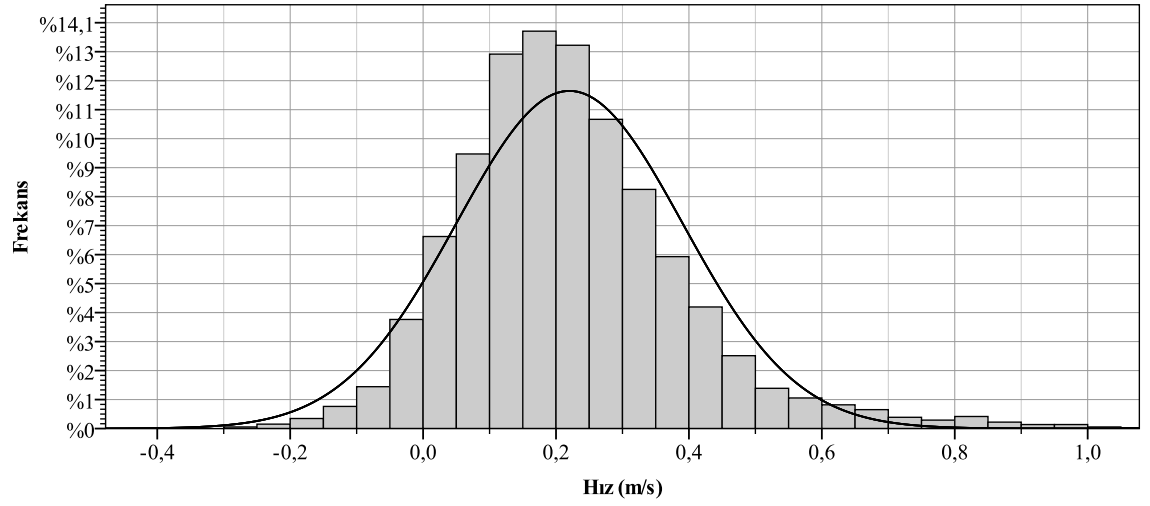


(c) V hız bileşeni

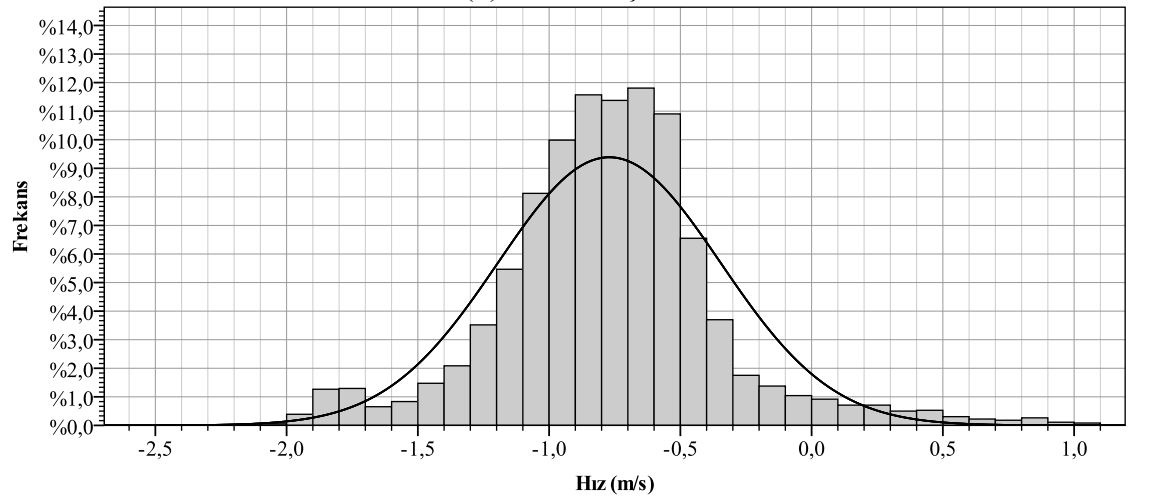
Şekil 3.12 -5m derinlikte a) Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları



(a)Bileşke hız (S)



(b)U hız bileşeni



(c)V hız bileşeni

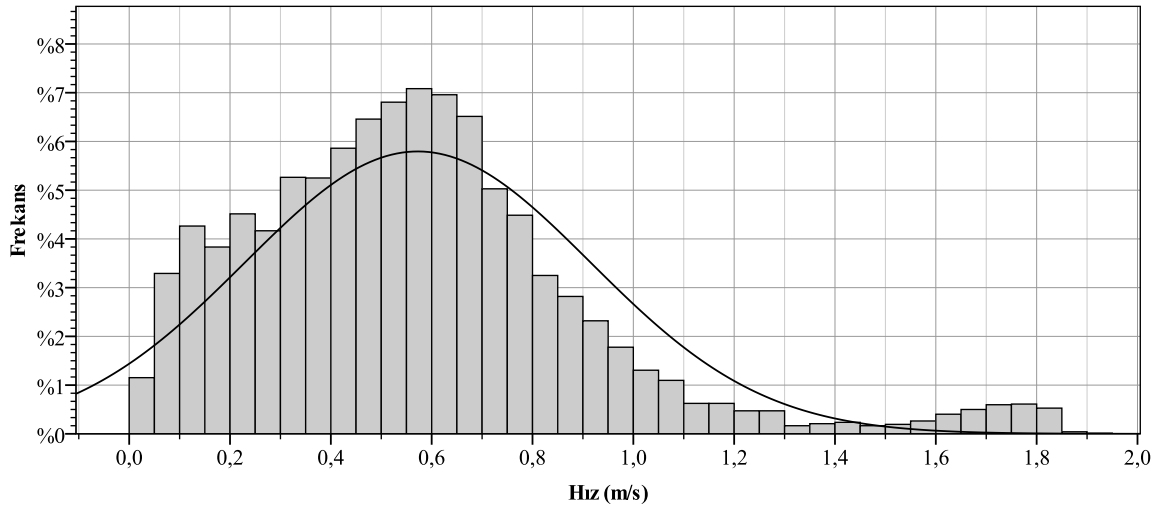
Şekil 3.13 -10m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları

3.3.3.4 -15m Akıntı Hızı Ölçümleri

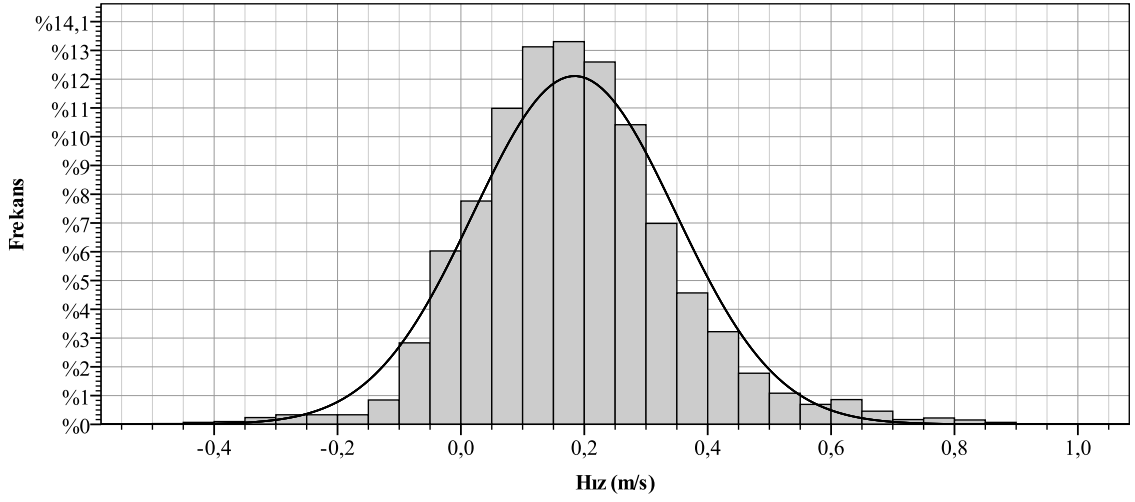
Şekil 3.14 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -15 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.57m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.21m/s ve -0.07m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.33m/s ve -0.54 m/s olarak belirlenmiştir. Doğru-batı yönündeki akıntının %88.8'i pozitif yönde; benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntının %88.4'ü negatif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 1.90 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri doğu-batı yönünde -0.46m/s ve 0.96m/s, kuzey-güney yönünde ise -1.90m/s ve 1.13m/s değerlerini almıştır.

3.3.3.5 -18m Akıntı Hızı Ölçümleri

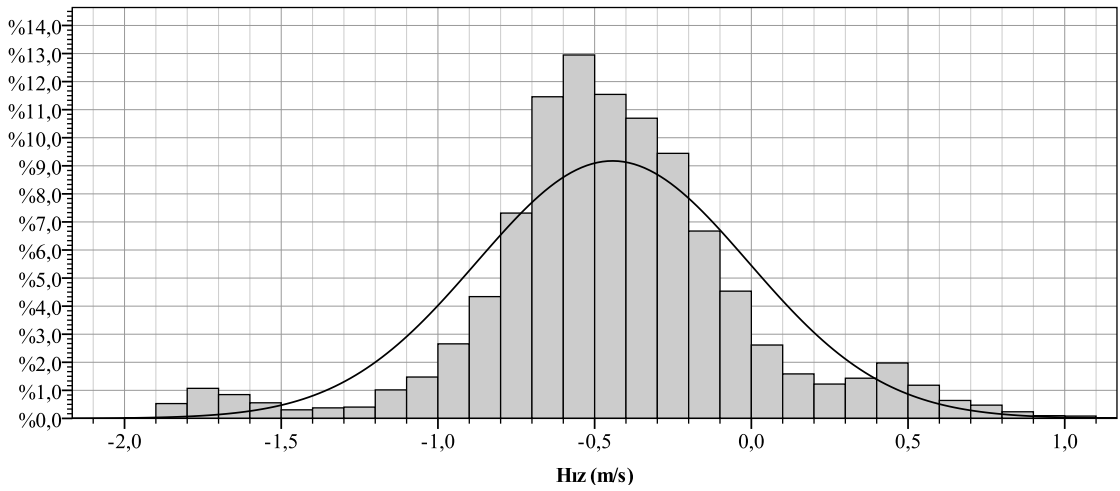
Şekil 3.15 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -18 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.41m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.16m/s ve -0.07m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.42m/s ve -0.28 m/s olarak belirlenmiştir. Doğru-batı yönündeki akıntının %75.5'i pozitif yönde; benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntının %73'ü negatif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 1.84 m/s olmuş bileşenlerin en büyük değerleri; doğu-batı yönünde -0.47m/s ve 0.77m/s, kuzey-güney yönünde ise -1.83m/s ve 1.05m/s değerlerini almıştır.



(a) Bileşke hız (S)

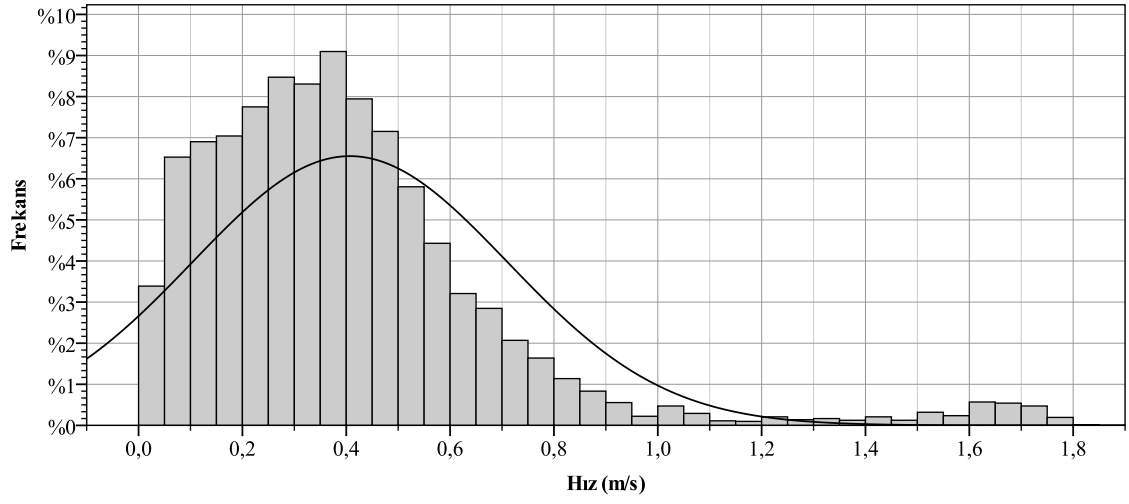


(b) U hız bileşeni

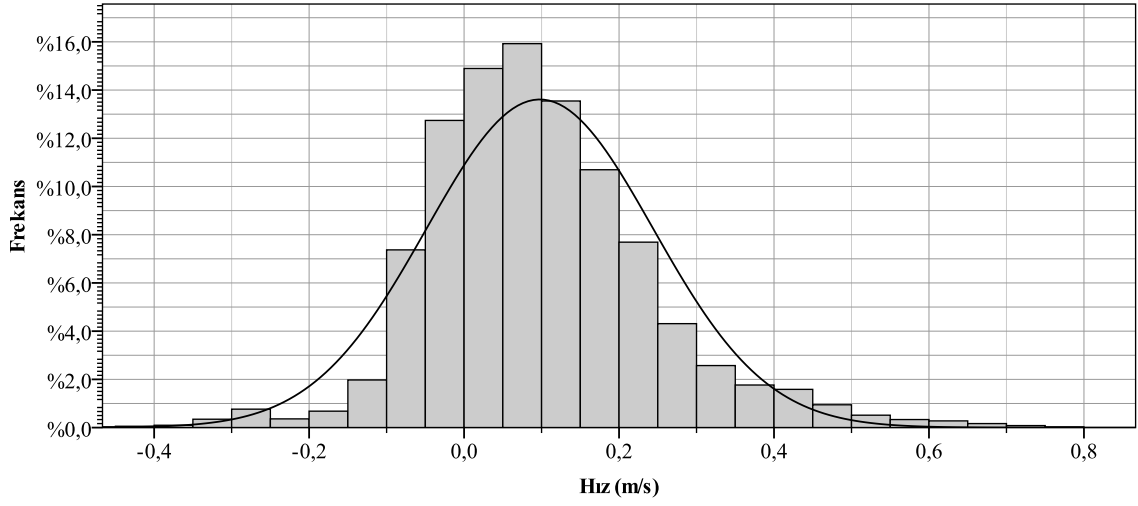


(c) V hız bileşeni

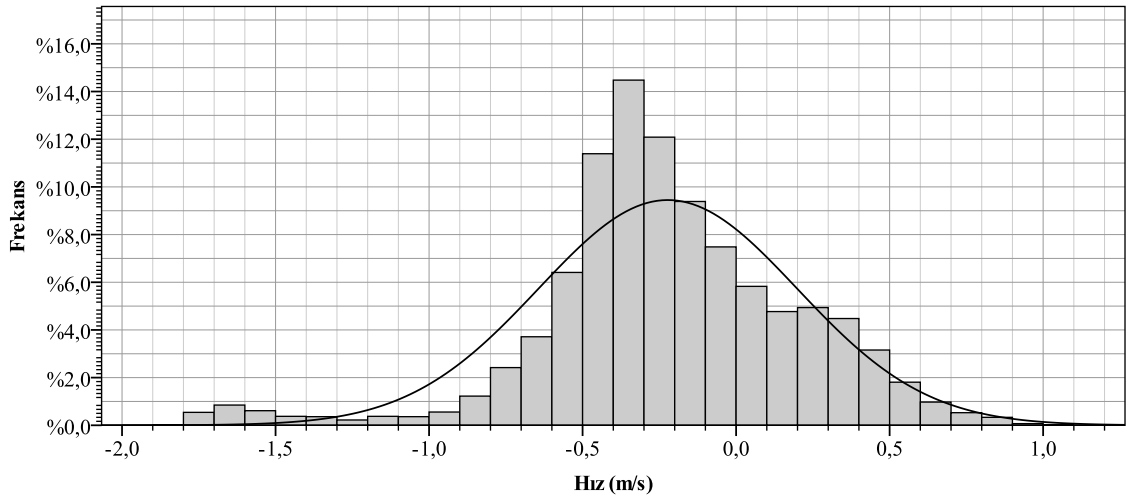
Şekil 3.14 -15m derinlikte a) Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları



(a) Bileşke hız (S)



(b) U hız bileşeni



(c) V hız bileşeni

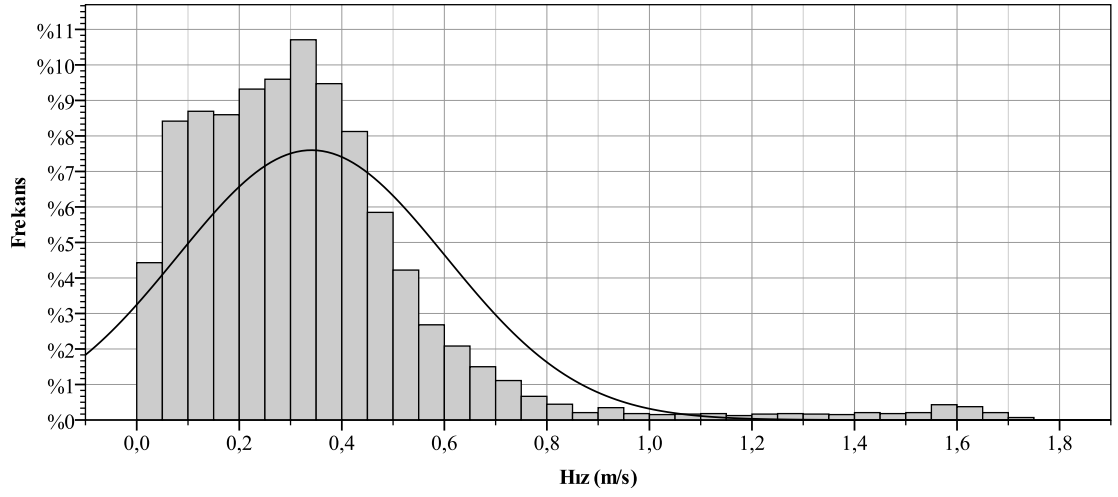
Şekil 3.15 -18m derinlikte a) Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları

3.3.3.6 -20m Akıntı Hızı Ölçümleri

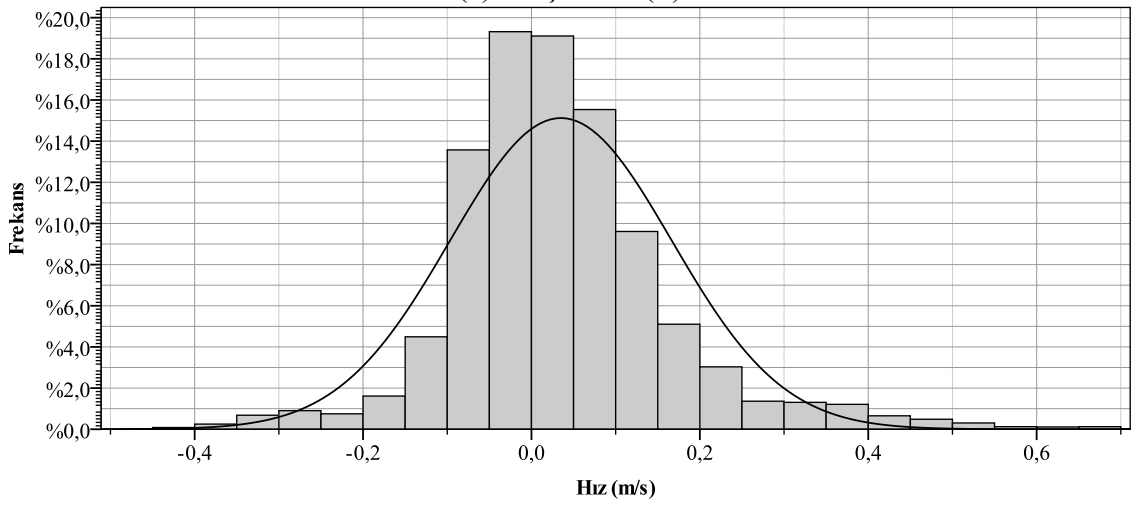
Şekil 3.16 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -20 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.34m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.11m/s ve -0.07m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.28m/s ve -0.35 m/s olarak belirlenmiştir. Doğu-batı yönündeki akıntının %58.2'si pozitif yönde; benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntıların %57.6'sı negatif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 1.74 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri; doğu-batı yönünde -0.44m/s ve 0.75m/s, kuzey-güney yönünde ise -1.73m/s ve 0.83m/s değerlerini almıştır.

3.3.3.7 -22m Akıntı Hızı Ölçümleri

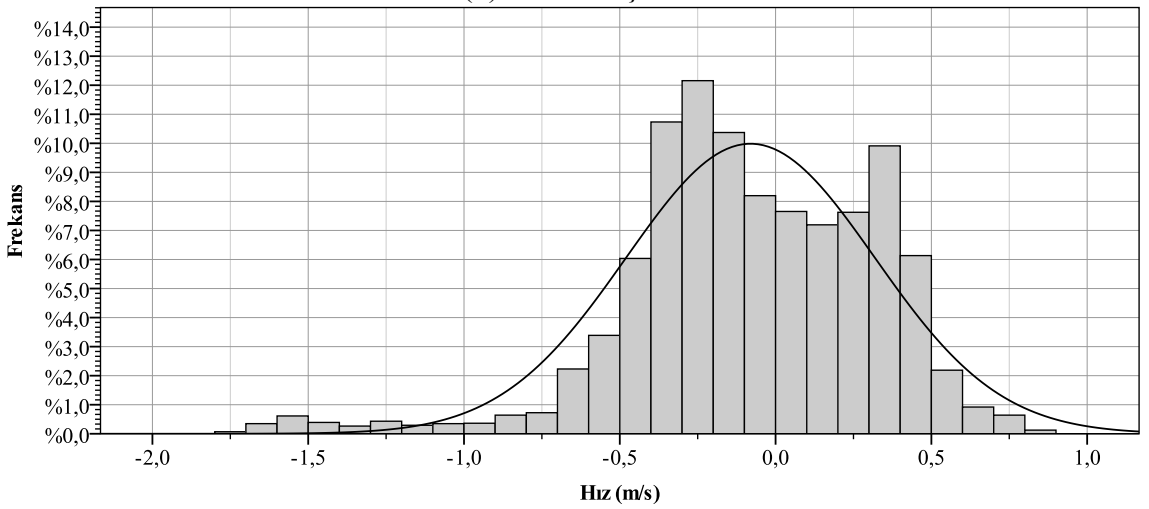
Şekil 3.17 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -22 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hız değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.31m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.08m/s ve -0.08m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.28m/s ve -0.31 m/s olarak belirlenmiştir. Doğu-batı yönündeki akıntının %59.3'ü negatif yönde; benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntının %61.6'sı pozitif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 1.62 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri; doğu-batı yönünde -0.46m/s ve 0.73m/s, kuzey-güney yönünde ise -1.61m/s ve 0.77m/s değerlerini almıştır.



(a)Bileşke hız (S)

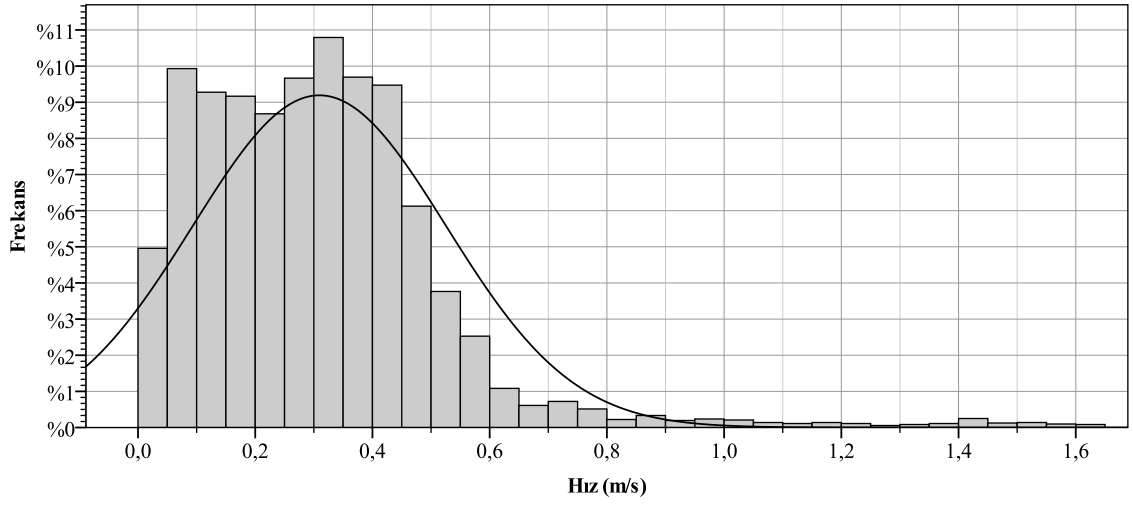


(b)U hız bileşeni

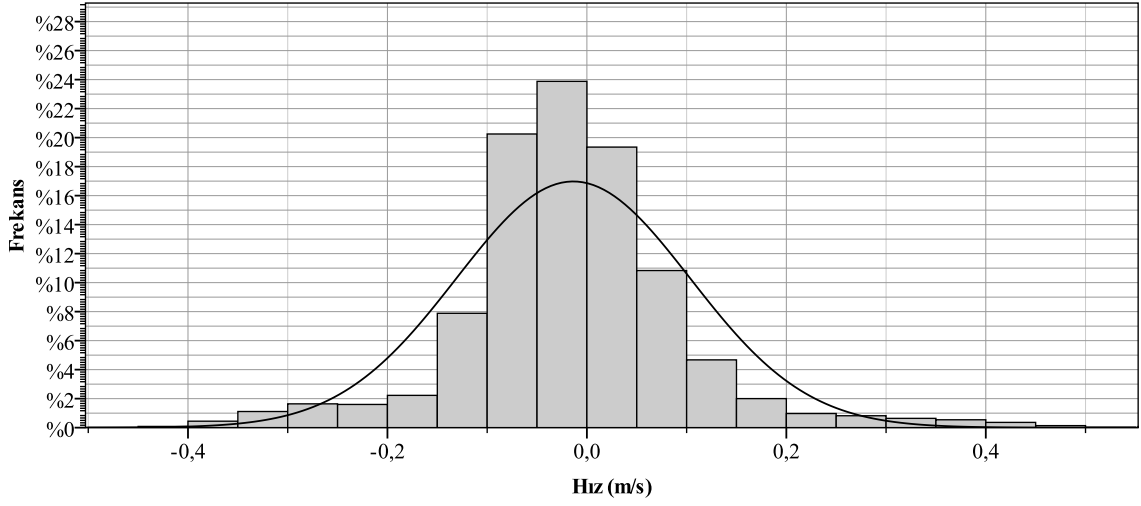


(c)V hız bileşeni

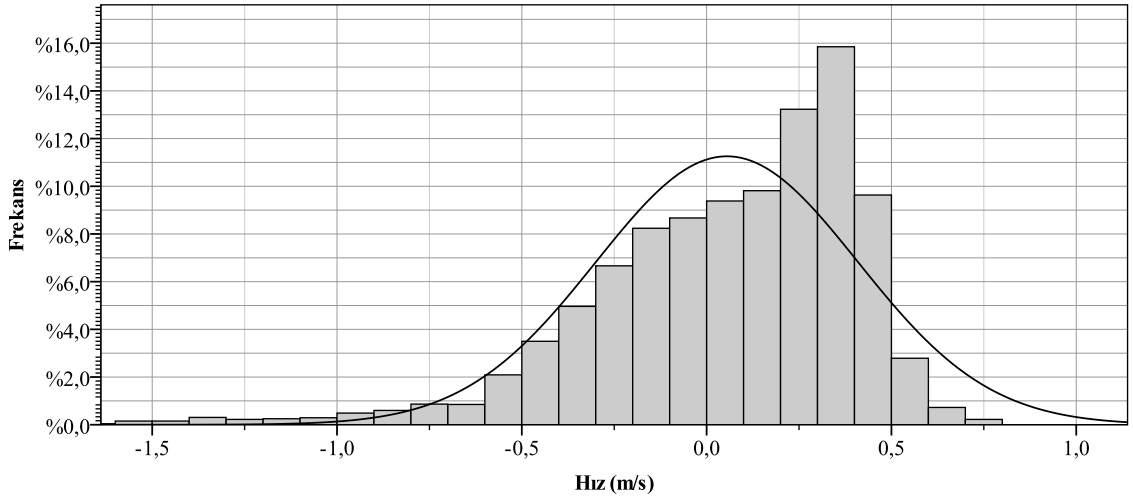
Şekil 3.16 -20m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları



(a)Bileşke hız (S)



(b)U hız bileşeni



(c)V hız bileşeni

Şekil 3.17 -22m derinlikte a)Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları

3.3.3.8 -24m Akıntı Hızı Ölçümleri

Şekil 3.18 (a), (b) ve (c)'de su yüzeyinden -24 m derinlikte ölçülen sırasıyla bileşke akıntı hızı değerlerinin, doğu-batı yönündeki akıntı hızı değerlerinin ve kuzey-güney yönündeki akıntı hızı değerlerinin histogramları verilmiştir. Bileşke hızın ortalama değeri 0.29m/s, doğu-batı yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları sırası ile 0.07m/s ve -0.08m/s; kuzey-güney yönündeki akıntı hızının pozitif ve negatif ortalamaları ise sırası ile 0.26m/s ve -0.29 m/s olarak belirlenmiştir. Doğru-batı yönündeki akıntının %69'u negatif yönde, benzer şekilde kuzey-güney yönündeki akıntının %78.7'si pozitif yönde çıkmıştır. Bileşke hızın en büyük değeri 1.36 m/s olmuş, bileşenlerin en büyük değerleri; doğu-batı yönünde -0.42m/s ve 0.56m/s, kuzey-güney yönünde ise -1.33m/s ve 0.66m/s değerlerini almıştır.

3.3.4 Ölçüm Verilerinin Toplu Değerlendirmesi

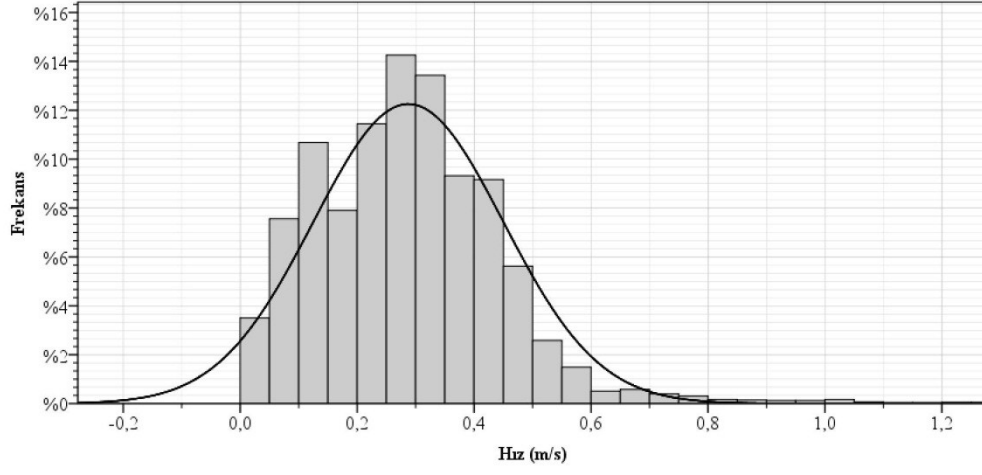
Bölüm 3.3.3'te detaylı olarak verilen tüm istasyonlardaki ölçüm değerlerinin istatistiksel parametreleri Çizelge 3.4'te toplu olarak görülmektedir. Dikkate alınan istatistiksel parametreler sırası ile minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, pozitif değerlerin ortalaması, negatif değerlerin ortalaması, pozitif ve negatif veri dağılım yüzdeleri ile veri serilerinin çarpıklık katsayılarıdır. Çizelge 3.4'te kuzey yönü pozitif olmak üzere kuzey-güney doğrultusundaki hız bileşenleri V, doğu yönü pozitif yön olmak üzere doğu-batı doğrultusundaki hız bileşenleri U, bileşke hızlar S ve basınç değerleri P ile gösterilmiştir. Su seviyeleri H ve su seviyesi farkı ΔH ile gösterilmiştir. Alt indisler ise istasyon isimlerini göstermektedir.

3.4 Ölçülen Parametrelerin Birbirleri ile İlişkileri

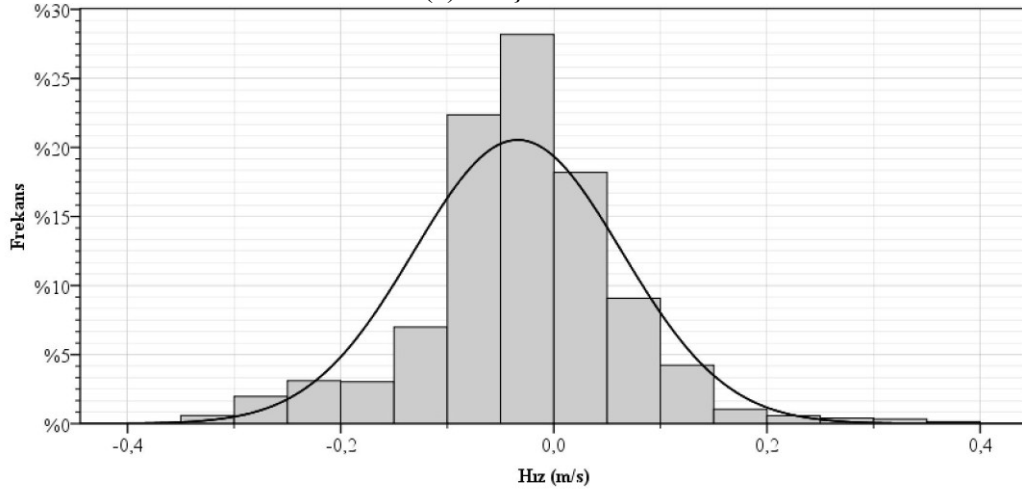
Kurulacak modellere bir altlık oluşturması ve model girdilerine karar vermede yardımcı olması amacı ile ölçülen parametrelerin birbirleri ile lineer korelasyonları çıkartılmıştır. Sonuçlar korelasyon katsayıları (R) ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.5'te su seviyesi ve meteorolojik faktörlerin; -1, -5, -10, -15, -20 ve -24m derinliklerdeki akıntı hızlarının U ve V bileşenleri ve bu derinliklerdeki bileşke hız (S) üzerindeki etkilerini görebilmek amacı ile korelasyon katsayıları gösterilmiştir. Dikkate alınan su seviyeleri İstanbul Boğazı'nın Karadeniz (E İstasyonu) ve Marmara Denizi (D İstasyonu) girişlerinde ölçülen su seviyeleri ve bunların farkı ile elde edilen su seviyesi farkıdır (ΔH). Meteorolojik faktörler; yine Boğaz'ın her iki girişinde (G ve F

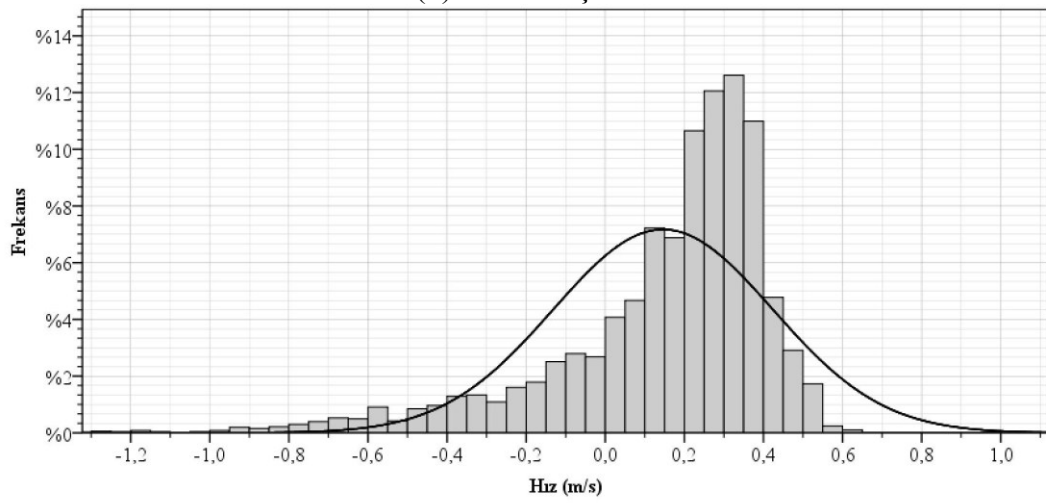
İstasyonları) ölçülmüş olan rüzgâr hızı, rüzgâr hızının V ve U bileşenleri ve atmosfer basıncı (P) değerleridir.



(a) Bileşke hız



(b) U hız bileşeni



(c) V hız bileşeni

Şekil 3.18 -24m derinlikte a) Bileşke hız b) U hız bileşeni c) V hız bileşeni verilerinin frekans dağılımları

Çizelge 3.5 incelendiğinde; -1m derinliğinde akıntı U hız bileşeninin en yüksek korelasyonu rüzgar hızı U bileşenlerine karşı olduğu görülmektedir. -1m akıntı V hız bileşeni en yüksek korelasyonu rüzgâr V hızı ile, ikinci en yüksek değerini ise ΔH su seviyesi farkı ile vermektedir. Bileşke akıntı hızının Çizelge 3.5’deki korelasyon değerleri yüzeyden ilk 15m’de akıntı hızının V bileşenlerine benzer fakat daha düşük değerlerde çıkmıştır. Bileşke hızın girdi parametresi olarak kullanılması bir başka girdi parametresi olan akıntı yönünü de zorunlu kılacağından bileşke hızın girdi parametreleri dışında bırakılması uygun görülmüştür.

Bileşke hızların korelasyon değerleri; yüzeyde akıntı hızının genelde tek doğrultuda olduğu üst tabaka boyunca V hızlarına ait korelasyon değerleri ile yakın iken, ara tabakada ve alt tabakada düşmüştür. Genelde V hızlarının korelasyon değerleri U hızlarına göre çok daha yüksek çıkmıştır. Alt tabakaya doğru U hız bileşenlerinin korelasyon değerleri artış göstermiştir. U hız bileşenlerinin korelasyonlarının üst tabakalarda düşük olma sebeplerinin; üst tabaka akıntısının kuzey-güney doğrultusunda etkin olması, U hızının sıfıra çok yakın küçük değerler göstermesi ve buna bağlı olarak gürültünün içerisinde kalmasıdır. Bunlara ek olarak U hız bileşeninin ikincil akımdan kaynaklanması ve korelasyonu kurulan girdi verileri ile doğrusal bir ilgisinin olmaması bir başka neden olabilir. Alt tabakada akıntı U hız bileşenlerinin meteorolojik etkiler ve su seviyesi ölçümleri ile korelasyonu daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3.6’da meteorolojik ve su seviyesi ölçümlerinin kendi aralarında korelasyon değerleri görülmektedir. Çizelgeden görülmektedir ki her iki meteoroloji istasyonundan elde edilen basınç ölçümleri birbirleri ile çok yüksek oranda doğrusal bağlıdırlar. Yine çizelgede dikkat çeken ikinci değer ise Marmara denizi su seviyesinin (H_D) ile atmosfer basınçları arasındaki yüksek korelasyondur. Buradan Marmara denizindeki su seviyesi değişimlerinin büyük oranda atmosfer basıncındaki değişimlerden ileri geldiği söylenebilir. Marmara Denizi’nin küçük olması ve iki büyük denize boğazlar ile bağlı olması sayesinde basınçtaki değişimlere karşılık su seviyesini değiştirerek tepki verebilmektedir. Basıncın artması ile birlikte su seviyesi düşmekte ve benzer şekilde basınç düşmesi durumunda ise su seviyesi yükselmektedir. Su seviyesini değiştirmek için gerekli su hacmi boğazlar vasıtası ile komşu denizlerden sağlanmakta veya komşu denizlere tahliye edilmektedir. Ancak benzer ilişki Karadeniz su seviyesi ölçümleri için görülmemiştir.

Çizelge 3.4 Ölçüm verilerinin istatistiksel parametreleri

		En küçük	En büyük	Standart sapma	Ortalama			Veri Dağılımı		Çarpıklık.
						(+)	(-)	% (+)	% (-)	
G Rüzgar İstasyonu (m/s) (hPa)	V_G	-12.8	11.1	3.46	-1.36	2.30	-3.31	34.9	65.1	0.09
	U_G	-10.3	8.45	2.84	-0.55	1.80	-2.59	46.7	53.3	-0.39
	S_G	0.02	14.2	2.53	3.97	3.97		100	0.0	0.72
	P_G	993	1050	7.46	1015	1022	1010	40.4	59.6	0.93
F Rüzgar İstasyonu (m/s) (hPa)	V_F	-14.7	11.7	3.94	-2.27	2.72	-4.32	29.1	70.9	0.27
	U_F	-7.4	10.7	2.14	-0.82	1.68	-1.83	28.8	71.2	0.58
	S_F	0.02	14.7	2.55	4.41	4.41		100	0.0	0.60
	P_F	991	1038	7.37	1015	1022	1010	46.6	53.4	0.45
Su Seviyeleri (m)	H_D	-0.30	0.42	0.10	0.06	0.10	-0.09	75.6	24.3	-0.68
	H_E	0.02	0.57	0.09	0.30	0.30		100	0.0	-0.34
	ΔH	-0.21	0.53	0.10	0.24	0.25	-0.06	98.4	1.6	-0.46
Akıntı Hızı (m/s)	-1m U	-0.73	1.21	0.24	0.03	0.20	-0.15	51.1	48.9	0.79
	-5m U	-0.37	0.72	0.12	0.07	0.13	-0.07	72.3	27.7	0.41
	-10m U	-0.27	1.08	0.17	0.22	0.24	-0.06	93.5	6.5	0.94
	-15m U	-0.46	0.96	0.16	0.18	0.22	-0.07	88.8	11.2	0.43
	-18m U	-0.47	0.77	0.15	0.10	0.15	-0.07	75.5	24.5	0.61
	-20m U	-0.44	0.75	0.13	0.04	0.11	-0.07	58.2	41.8	0.81
	-22m U	-0.46	0.72	0.12	-0.01	0.08	-0.08	40.7	59.3	0.80
	-24m U	-0.42	0.56	0.10	-0.03	0.07	-0.08	31	69	0.31
	-1m V	-2.51	1.49	0.58	-1.03	0.36	-1.09	4.0	96.0	0.36
	-5m V	-2.16	1.07	0.44	-0.92	0.47	-0.95	2.0	98.0	0.37
	-10m V	-2.06	1.08	0.42	-0.77	0.35	-0.82	4.5	95.5	0.41
	-15m V	-1.90	1.13	0.43	-0.44	0.33	-0.54	11.6	88.4	-0.11
	-18m V	-1.83	1.05	0.42	-0.22	0.28	-0.41	27.0	73.0	-0.55
	-20m V	-1.73	0.83	0.40	-0.08	0.28	-0.35	42.4	57.6	-0.80
	-22m V	-1.61	0.77	0.35	0.05	0.28	-0.31	61.6	38.4	-1.14
	-24m V	-1.33	0.66	0.28	0.15	0.26	-0.29	78.7	21.3	-1.62
	-1m S	0.00	2.55	0.52	1.10	1.10		100	0.0	0.17
	-5m S	0.01	2.18	0.39	0.95	0.95		100	0.0	0.30
	-10m S	0.00	2.06	0.36	0.85	0.85		100	0.0	0.44
	-15m S	0.01	1.90	0.34	0.57	0.57		100	0.0	1.17
	-18m S	0.00	1.84	0.30	0.41	0.41		100	0.0	1.98
	-20m S	0.00	1.74	0.26	0.34	0.34		100	0.0	2.30
	-22m S	0.00	1.62	0.22	0.31	0.31		100	0.0	1.98
	-24m S	0.00	1.36	0.16	0.29	0.29		100	0.0	1.24

Karadeniz oldukça büyük bir yüzey alanına sahip ve pek çok nehir ile beslenen bir iç deniz olduğundan su seviyelerindeki değişimler büyük oranda hidrolojik etkilerden kaynaklanmakta ancak fırtına zamanlarında fırtına kabarması ile birlikte su seviyelerinde değişimlere neden olmaktadır. Rüzgâr V hız bileşenleri ile Karadeniz su seviyesinin (H_E) korelasyon katsayılarının düşük olmakla birlikte eksi değerde olması, bu belirtilen etkiyi doğrulamaktadır (Kuzeyli rüzgârlarda su seviyesi yükselmekte, güneyli rüzgârlarda su seviyesi düşmektedir).

Çizelge 3.5 Akıntı hızlarının meteorolojik ölçümlere doğrusal korelasyon değerleri (R)

B ist. V, U, S	G Meteoroloji ist.			F Meteoroloji ist.			Su seviyeleri		
	V_G	U_G	P_G	V_F	U_F	P_F	H_D	H_E	ΔH
-1m V	0.69	0.47	-0.38	0.82	0.42	-0.36	0.38	-0.39	-0.75
-5m V	0.42	0.30	-0.37	0.46	0.20	-0.34	0.29	-0.46	-0.73
-10m V	0.45	0.33	-0.46	0.48	0.22	-0.46	0.43	-0.41	-0.82
-15m V	0.48	0.36	-0.48	0.50	0.25	-0.49	0.45	-0.42	-0.85
-20m V	0.45	0.33	-0.50	0.46	0.23	-0.49	0.46	-0.37	-0.82
-25m V	0.37	0.27	-0.45	0.38	0.21	-0.43	0.43	-0.27	-0.69
-1m U	0.01	0.34	0.15	0.04	0.40	0.19	-0.13	-0.10	0.05
-5m U	0.04	0.06	0.14	0.06	0.02	0.11	-0.14	-0.16	0.01
-10m U	-0.11	-0.05	0.36	-0.09	-0.06	0.35	-0.44	-0.11	0.36
-15m U	-0.32	-0.22	0.46	-0.30	-0.16	0.45	-0.50	0.12	0.63
-20m U	-0.40	-0.29	0.39	-0.38	-0.21	0.37	-0.36	0.30	0.64
-25m U	-0.29	-0.28	0.15	-0.27	-0.21	0.07	-0.07	0.39	0.42
-1m S	-0.69	-0.45	0.36	-0.79	-0.41	0.34	-0.36	0.33	0.68
-5m S	-0.42	-0.28	0.36	-0.43	-0.17	0.32	-0.27	0.43	0.67
-10m S	-0.44	-0.30	0.48	-0.43	-0.19	0.48	-0.45	0.32	0.76
-15m S	-0.38	-0.26	0.43	-0.35	-0.18	0.43	-0.40	0.24	0.64
-20m S	-0.18	-0.12	0.25	-0.17	-0.07	0.25	-0.22	-0.01	0.22
-25m S	-0.08	-0.05	0.04	-0.06	-0.01	0.06	-0.06	-0.22	-0.13

Çizelge 3.7’de her derinlikteki akıntı hızlarının diğer derinliklerdeki akıntı hızlarına korelasyonları görülmektedir. Burada akıntı hızlarının ve bileşenlerinin birbirleri ile ilişkilerinin olup olmadığı, var ise ilişkinin büyüklüğünün görülmesi amaçlanmıştır.

U hız bileşenlerinin yüzeyden ilk 10 metrede V hız bileşenlerinden bağımsız olduğu, daha derinlerde ise aynı derinliklerdeki U hız bileşeni ile V hız bileşeni arasında -15m’de orta, -20m’de yüksek ve -24m’de orta ilişki olduğu görülmektedir.

U hız bileşenleri kendi aralarında -5 ile -10 m arasında yüksek ilişki göstermektedir. Bunun dışında belirli bir derinlikteki U hız bileşenleri yalnızca kendisinden 5 m

mesafedeki derinliklerde kaydedilen U hız bileşenleri ile orta seviyede bir ilişki sergilemektedir.

V hız bileşenlerinin kendi aralarındaki ilişkileri değerlendirildiğinde yüzey dışında tüm derinlikler komşu 5m mesafedeki derinliklerle çok yüksek bir bağıntı göstermektedir. Yüzeyde ise 5m mesafedeki V hızları ile yüksek bağıntı gözlenmektedir. Tüm derinliklerdeki V hız bileşenleri 10m mesafedeki ölçümlerle yüksek ilişki gösterirken 15m de orta ilişki sergilemektedir.

Bileşke hızların ilk 15 m’de V hız bileşeni ile arasında orta ve yüksek ilişki bulunmuş -20m’de düşük, -24m’de ise diğer derinliklerdeki V hızları ile korelasyonu olmadığı ortaya çıkmıştır. Tabana yakın korelasyonların düşük çıkmasının akıntının o derinliklerde zaman zaman kuzey, zaman zaman güney yönünde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bileşke hızın U hız bileşenleri ile ilişkisi, V hız bileşeninin U hız bileşeni ile olan ilişkisine yakın çıkmıştır. İlişki bileşke hızlar ile V hızının düşük ilişki gösterdiği derinliklerde düşük çıkmıştır. -24m de yine ilişki bulunamamıştır.

Çizelge 3.6 Meteorolojik ve su seviyesi ölçümlerinin karşılıklı çizgisel korelasyon değerleri

	V _G	U _G	P _G	V _F	U _F	P _F	H _D	H _E	ΔH
V _G		0.486	-0.180	0.752	0.393	-0.157	0.202	-0.332	-0.513
U _G	0.486		-0.145	0.463	0.647	-0.092	0.209	-0.139	-0.344
P _G	-0.180	-0.145		-0.215	-0.102	0.924	-0.718	-0.267	0.508
V _F	0.752	0.463	-0.215		0.496	-0.187	0.182	-0.356	-0.514
U _F	0.393	0.647	-0.102	0.496		-0.036	0.168	-0.081	-0.249
P _F	-0.157	-0.092	0.924	-0.187	-0.036		-0.744	-0.288	0.517
H _D	0.202	0.209	-0.718	0.182	0.168	-0.744		0.484	-0.606
H _E	-0.332	-0.139	-0.267	-0.356	-0.081	-0.288	0.484		0.403
ΔH	-0.513	-0.344	0.508	-0.514	-0.249	0.517	-0.606	0.403	

3.5 Çok Değişkenli Doğrusal Akıntı Hızı Modelleri

Çizelge 3.5, 3.6 ve 3.7 dikkate alınarak -1, -5, -10, -15, -20 ve -24m derinlikteki V hız bileşenlerinin tahmini için çizgisel modeller kurulmuştur. Model parametreleri en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır. Kurulan modellerin denklemleri ve %95 güvenliğe sahip alt ve üst limitleri verilmiştir. Modellerde kullanılacak bağımsız değişkenler

Çizelge 3.5 yardımı ile ΔH , V_F , P_F olarak belirlenmiştir. Modeller önce iki girdili olarak ΔH , V_F ile daha sonra üç girdili olarak ΔH , V_F , P_F girdileri ile kurulmuştur. İki girdili ve üç girdili model için model sabiti ve her model girdisine ait katsayı sırası ile Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.10'da, yine aynı modellere ait Korelasyon (R), Ortalama Kare Hatanın Karekökü (OKHK), Ortalama Mutlak Hata (OMH), ve bu değerlerin büyüklükleri hakkında fikir vermesi açısından, bu değerleri değişim aralığında normalleştirilerek; Normalleştirilmiş OKHK (NOKHK) ve Normalleştirilmiş OMH (NOMH) performans değerleri ile Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.11'de verilmiştir. Bundan sonra bu değerler topluca performans değerleri olarak anılacaktır. Performans değerlerinin matematiksel ifadeleri sırasıyla (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), ve (3.5)'te verilmiştir.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(T_i - \bar{T})}{(n-1)s_O s_T} \quad (3.1)$$

$$OKHK = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(O_i - T_i)^2}{n}} \quad (3.2)$$

$$OMH = \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - T_i|}{n} \quad (3.3)$$

$$NOKHK = \frac{OKHK(X')}{X_{maks} - X_{min}} \times 100 \quad (3.4)$$

$$NOMH = \frac{OMH(X')}{X_{maks} - X_{min}} \times 100 \quad (3.5)$$

İfadelerde O_i , i. model sonucunu; T_i , i. ölçüm değerini; n, veri sayısını; X' model sonuçları dizisini; X_{maks} , X_{min} ölçülen değerlerin en büyük ve en küçük değerlerini; $\bar{O}$ ve $\bar{T}$ model ve ölçüm sonuçlarının ortalama değerlerini; s_O ve s_T ise model sonuçlarının ve ölçüm verilerinin standart sapmalarını ifade etmektedir.

Çizelge 3.7 Akıntı hızlarının kendi içinde doğrusal korelasyon katsayıları (R).

B ist. V, U, S	AKINTI HIZI																	
	-1m V	-5m V	-10m V	-15m V	-20m V	-25m V	-1m U	-5m U	-10m U	-15m U	-20m U	-25m U	-1m S	-5m S	-10m S	-15m S	-20m S	-25m S
-1m V	✕	0.77	0.78	0.76	0.68	0.58	0.08	0.05	-0.19	-0.46	-0.57	-0.38	-0.94	-0.72	-0.70	-0.55	-0.24	-0.03
-5m V	0.77	✕	0.93	0.85	0.76	0.67	0.18	0.16	-0.03	-0.34	-0.57	-0.49	-0.67	-0.93	-0.79	-0.61	-0.31	-0.02
-10m V	0.78	0.93	✕	0.94	0.85	0.73	0.08	0.06	-0.21	-0.47	-0.62	-0.48	-0.68	-0.86	-0.89	-0.68	-0.31	0.00
-15m V	0.76	0.85	0.94	✕	0.94	0.82	0.11	0.14	-0.18	-0.54	-0.70	-0.52	-0.68	-0.81	-0.88	-0.79	-0.39	0.00
-20m V	0.68	0.76	0.85	0.94	✕	0.90	0.08	0.16	-0.14	-0.52	-0.77	-0.58	-0.65	-0.76	-0.85	-0.87	-0.50	0.01
-25m V	0.58	0.67	0.73	0.82	0.90	✕	0.10	0.17	-0.08	-0.43	-0.73	-0.63	-0.59	-0.70	-0.78	-0.86	-0.68	-0.11
-1m U	0.08	0.18	0.08	0.11	0.08	0.10	✕	0.60	0.51	0.25	-0.01	-0.17	-0.06	-0.18	-0.01	-0.08	-0.12	-0.07
-5m U	0.05	0.16	0.06	0.14	0.16	0.17	0.60	✕	0.72	0.25	-0.11	-0.17	-0.06	-0.17	0.00	-0.17	-0.21	-0.09
-10m U	-0.19	-0.03	-0.21	-0.18	-0.14	-0.08	0.51	0.72	✕	0.67	0.15	-0.02	0.16	-0.01	0.27	0.08	-0.18	-0.19
-15m U	-0.46	-0.34	-0.47	-0.54	-0.52	-0.43	0.25	0.25	0.67	✕	0.57	0.29	0.44	0.34	0.52	0.47	0.02	-0.22
-20m U	-0.57	-0.57	-0.62	-0.70	-0.77	-0.73	-0.01	-0.11	0.15	0.57	✕	0.62	0.57	0.61	0.67	0.73	0.44	0.00
-25m U	-0.38	-0.49	-0.48	-0.52	-0.58	-0.63	-0.17	-0.17	-0.02	0.29	0.62	✕	0.36	0.51	0.48	0.52	0.40	-0.09
-1m S	-0.94	-0.67	-0.68	-0.68	-0.65	-0.59	-0.06	-0.06	0.16	0.44	0.57	0.36	✕	0.72	0.72	0.62	0.33	0.09
-5m S	-0.72	-0.93	-0.86	-0.81	-0.76	-0.70	-0.18	-0.17	-0.01	0.34	0.61	0.51	0.72	✕	0.87	0.70	0.41	0.06
-10m S	-0.70	-0.79	-0.89	-0.88	-0.85	-0.78	-0.01	0.00	0.27	0.52	0.67	0.48	0.72	0.87	✕	0.83	0.45	0.07
-15m S	-0.55	-0.61	-0.68	-0.79	-0.87	-0.86	-0.08	-0.17	0.08	0.47	0.73	0.52	0.62	0.70	0.83	✕	0.67	0.16
-20m S	-0.24	-0.31	-0.31	-0.39	-0.50	-0.68	-0.12	-0.21	-0.18	0.02	0.44	0.40	0.33	0.41	0.45	0.67	✕	0.55
-25m S	-0.03	-0.02	0.00	0.00	0.01	-0.11	-0.07	-0.09	-0.19	-0.22	0.00	-0.09	0.09	0.06	0.07	0.16	0.55	✕

Çizelge 3.8 İki girdili model sabiti ve katsayıları ile %95 güvenlikli alt ve üst sınır denklemlerinin sabit değerleri ve katsayıları

Model Çıktısı		Sabit	ΔH	V_F
-1 m V	Model	-0.170	-2.859	0.072
	Alt sınır (%95)	-0.190	-2.946	0.070
	Üst sınır (%95)	-0.149	-2.772	0.074
-5 m V	Model	-0.184	-2.911	0.010
	Alt sınır (%95)	-0.204	-2.998	0.008
	Üst sınır (%95)	-0.163	-2.824	0.012
-10m V	Model	0.042	-3.268	0.006
	Alt sınır (%95)	0.025	-3.341	0.004
	Üst sınır (%95)	0.059	-3.195	0.008
-15m V	Model	0.397	-3.350	0.009
	Alt sınır (%95)	0.380	-3.423	0.007
	Üst sınır (%95)	0.414	-3.278	0.011
-20m V	Model	0.675	-3.048	0.005
	Alt sınır (%95)	0.658	-3.119	0.003
	Üst sınır (%95)	0.691	-2.977	0.006
-24m V	Model	0.465	-1.274	0.004
	Alt sınır (%95)	0.449	-1.342	0.002
	Üst sınır (%95)	0.480	-1.207	0.005

Çizelge 3.9 İki girdili doğrusal modellerin performans değerleri

Performans Değerleri	-1 m V	-5 m V	-10 m V	-15 m V	-20 m V	-24 m V
R	0.903	0.735	0.827	0.850	0.821	0.694
OMH (m/s)	0.203	0.240	0.186	0.168	0.165	0.149
OKHK (m/s)	0.253	0.299	0.240	0.231	0.230	0.209
NOMH (%)	5.069	7.440	5.937	5.528	6.448	7.504
NOKHK (%)	6.332	9.269	7.649	7.610	8.976	10.482

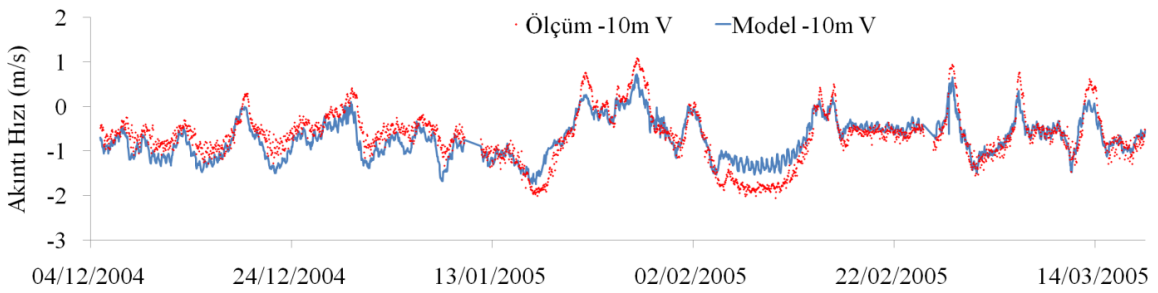
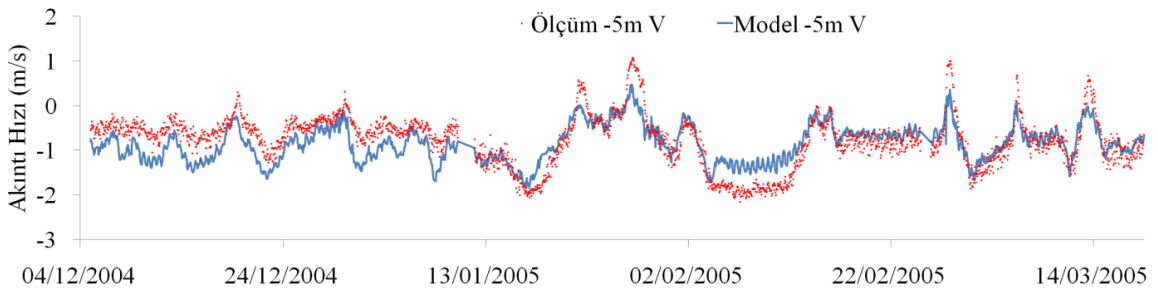
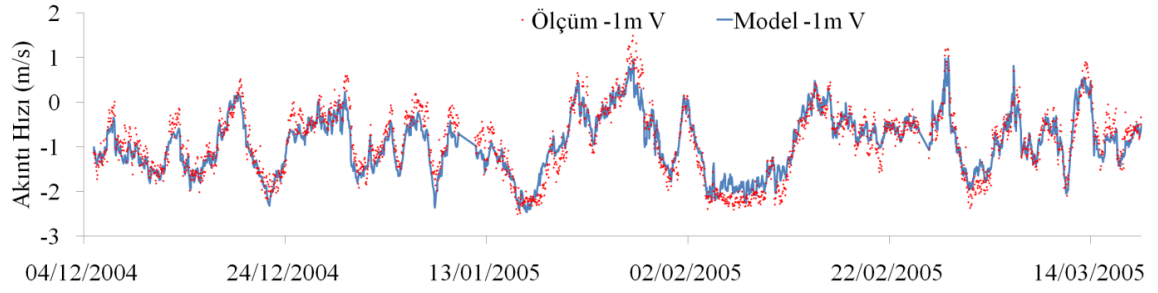
Çizelge 3.10 Üç girdili modellere ait model sabitleri ve katsayıları ile %95 güvenlikli alt ve üst sınır denklemlerinin sabit değerleri ve katsayıları

Model Çıktısı	Sabit	ΔH	P_F	V_F
-1 m V Model	-0.195	-2.745	-0.003	0.073
-1 m V Alt sınır (%95)	-0.219	-2.845	-0.004	0.071
-1 m V Üst sınır (%95)	-0.172	-2.645	-0.002	0.075
-5 m V Model	-0.165	-2.993	0.002	0.009
-5 m V Alt sınır (%95)	-0.189	-3.094	0.001	0.007
-5 m V Üst sınır (%95)	-0.142	-2.893	0.003	0.012
-10m V Model	0.006	-3.107	-0.004	0.007
-10m V Alt sınır (%95)	-0.013	-3.191	-0.005	0.005
-10m V Üst sınır (%95)	0.026	-3.024	-0.003	0.009
-15m V Model	0.346	-3.120	-0.005	0.010
-15m V Alt sınır (%95)	0.327	-3.203	-0.006	0.009
-15m V Üst sınır (%95)	0.365	-3.038	-0.004	0.012
-20m V Model	0.611	-2.762	-0.007	0.006
-20m V Alt sınır (%95)	0.592	-2.843	-0.008	0.004
-20m V Üst sınır (%95)	0.630	-2.681	-0.006	0.008
-24m V Model	0.429	-1.117	-0.004	0.004
-24m V Alt sınır (%95)	0.411	-1.195	-0.005	0.003
-24m V Üst sınır (%95)	0.447	-1.040	-0.003	0.006

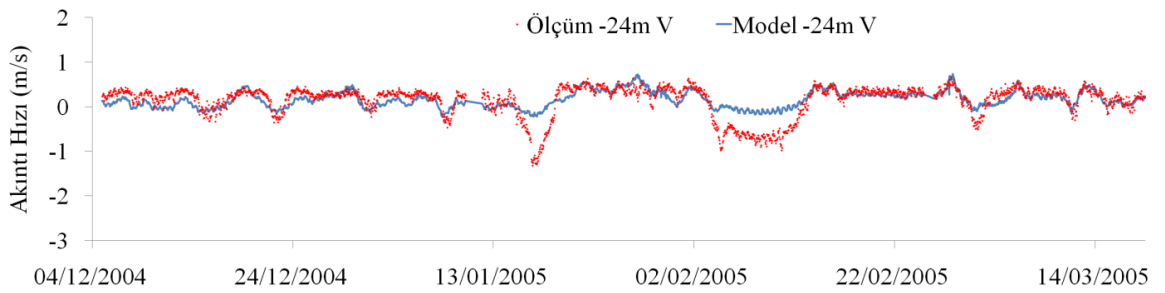
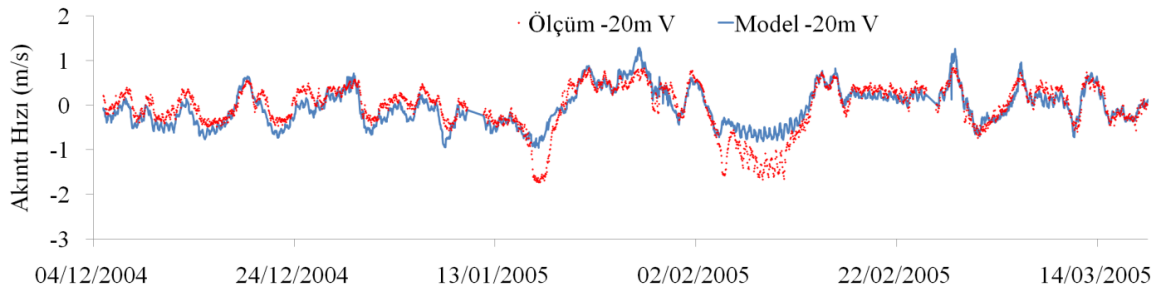
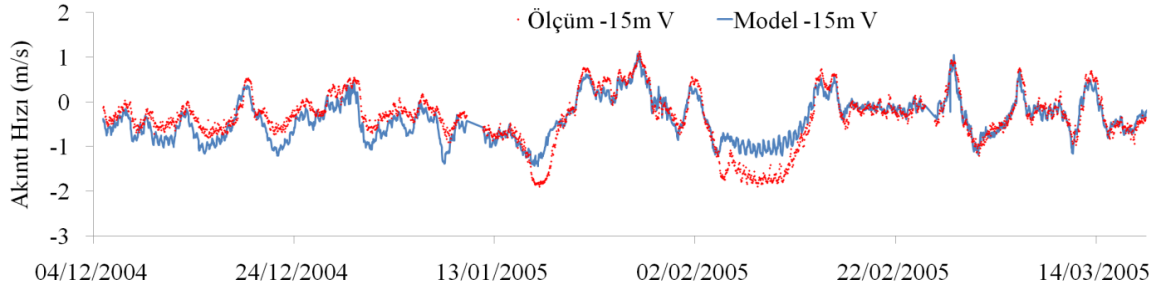
Çizelge 3.11 Üç girdili doğrusal modellerin performans değerleri

Performans Değerleri	-1 m V	-5 m V	-10 m V	-15 m V	-20 m V	-24 m V
R	0.903	0.735	0.828	0.852	0.825	0.699
OMH (m/s)	0.202	0.240	0.187	0.168	0.167	0.150
OKHK (m/s)	0.253	0.299	0.239	0.229	0.227	0.207
NOMH (%)	5.060	7.435	5.940	5.550	6.519	7.533
NOKHK (%)	6.324	9.263	7.618	7.560	8.880	10.394

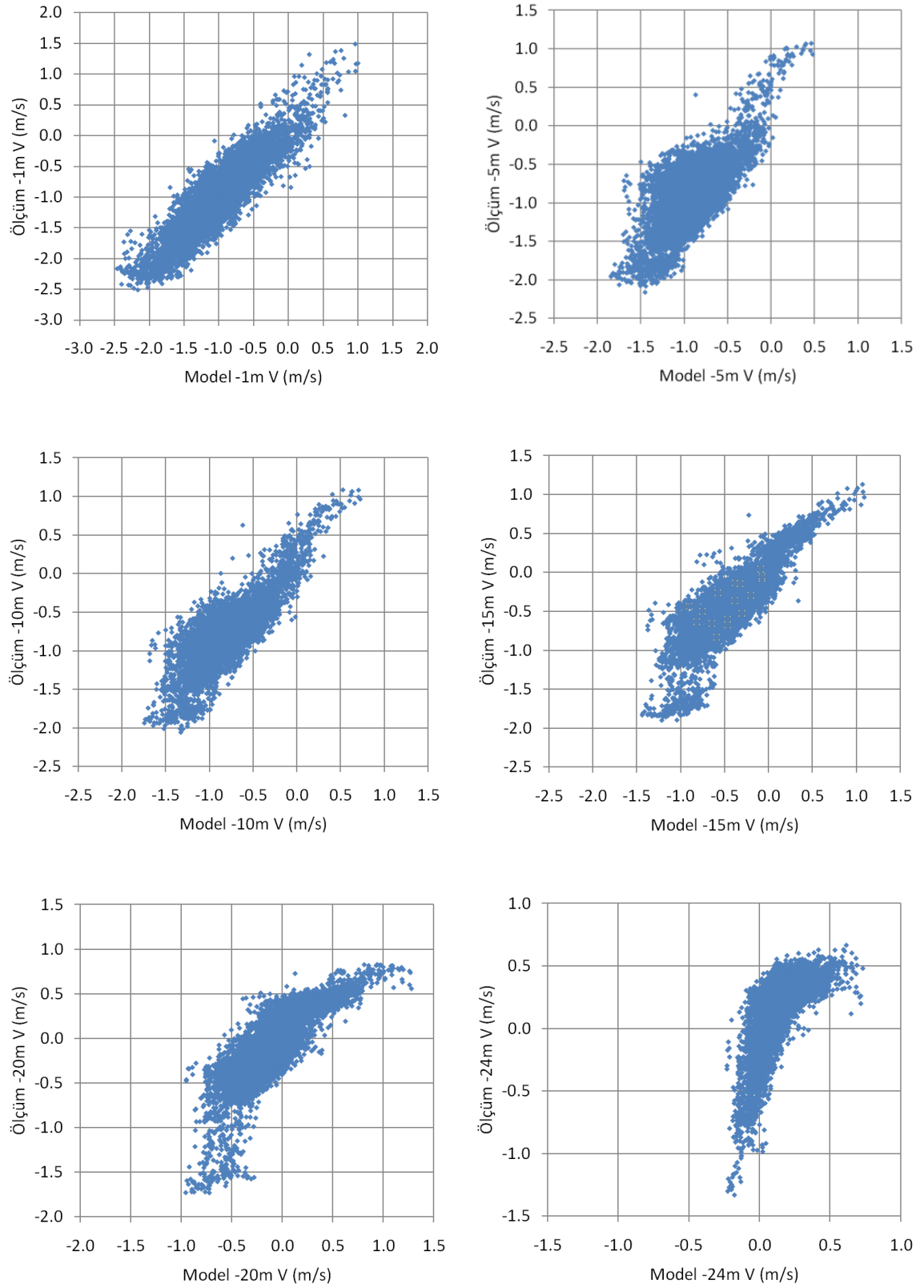
Model sonuçlarından görüldüğü gibi üç girildi modellerin performans değerleri iki girdili modellerinkinden bir miktar daha iyi çıkmıştır. Ancak her performans değerinde ve her derinlikte durum aynı değildir. Yüzeye yakın derinliklerde (-1 ve -5m) modele basınç değerinin eklenmesi sonuçları neredeyse hiç değiştirmez iken, diğer derinliklerde basıncın eklenmesi R ve OKHK değerlerinde iyileşmeye neden olur iken OMH değerleri az da olsa olumsuz etkilenmiştir. Üç girdili modele ait model sonuçlarının ilk dört aylık bölümü zaman serisi şeklinde tamamı ise dağılım grafikleri olarak, modellenmiş tüm derinlikler için sırası ile Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Üç girildi modellerin sonuçları ile ölçüm değerlerinin birlikte zaman serileri



Şekil 3.19 Üç girildi modellerin sonuçları ile ölçüm değerlerinin birlikte zaman serileri
devamı



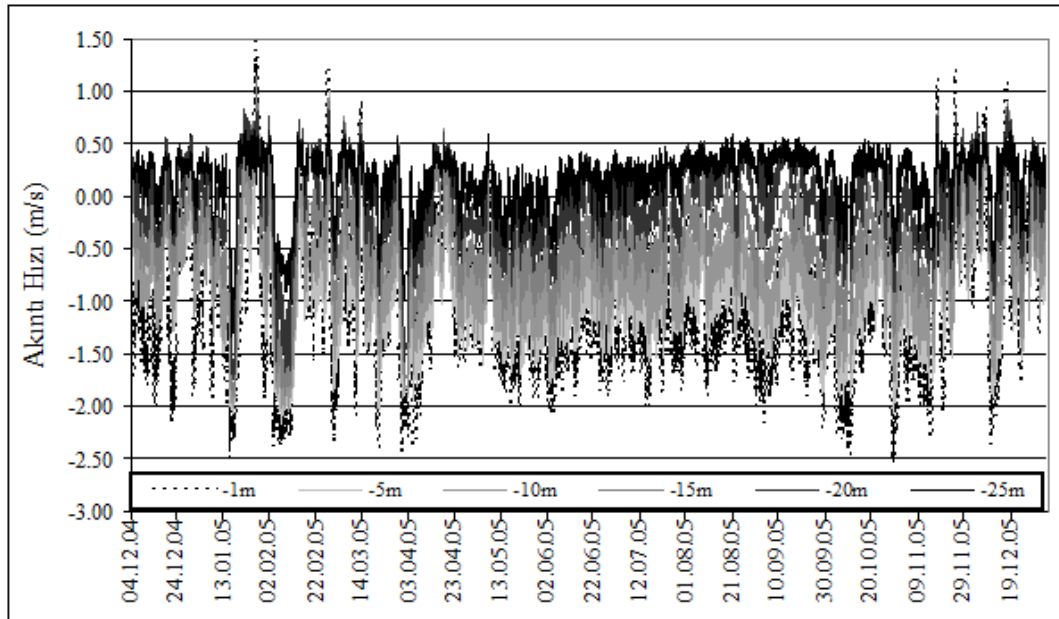
Şekil 3.20 Model sonuçlarına karşılık ölçüm değerleri dağılım grafikleri

Şekil 3.19 ve 3.20’den görüldüğü gibi modeller yüzeyde en iyi sonucu verirken -15m

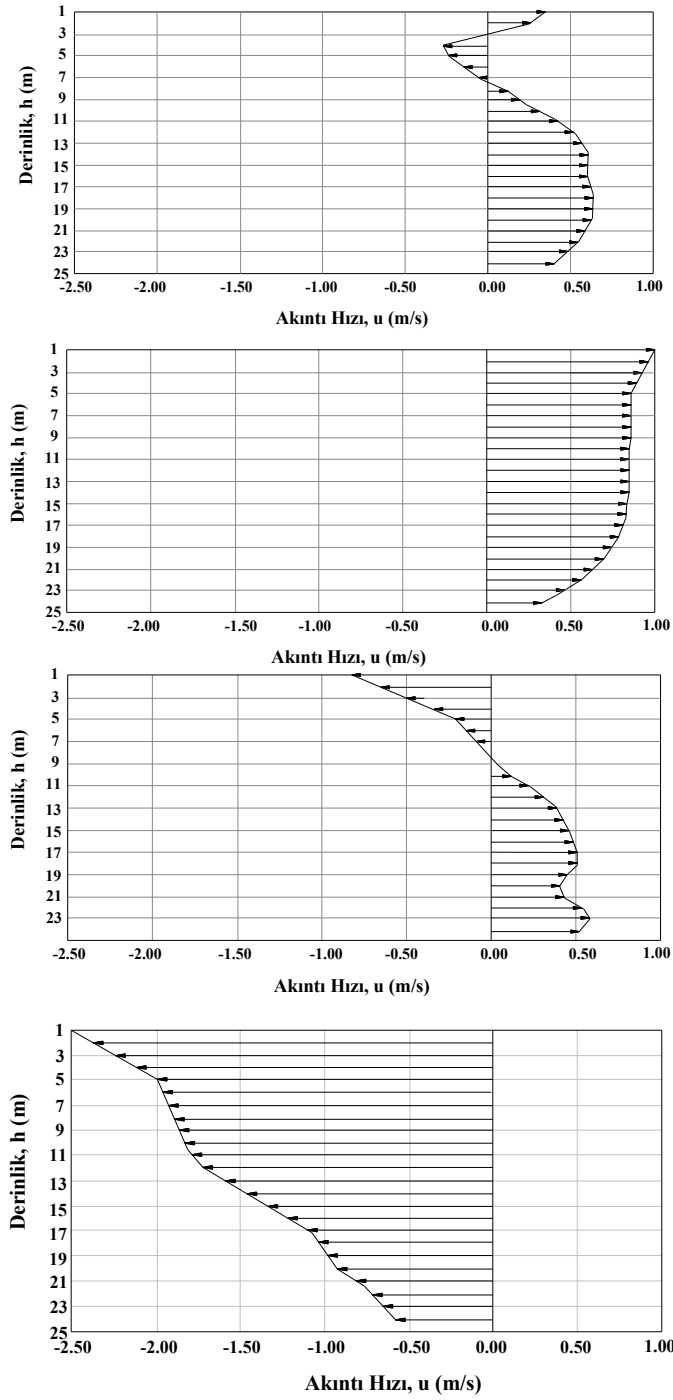
derinlikten itibaren tabana doğru, dağılım grafiklerinde doğrusallığın bozulduğu görülmekte ve bununla birlikte modelin doğruluğu azalmaktadır. İlişkinin doğrusal ilişkiden uzaklaştığı derinliklerde doğrusal olmayan yöntemlerle kurulacak modellerin daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

3.6 Ölçüm Verileri ile Yapılmış Diğer Çalışmalar

Akıntı hızı ölçüm verilerinin ilk incelenmesi [46] ile yapılmıştır. Çalışmada tabakalı akımların sınır şartlarının değişimine verdikleri cevap incelenmiştir. B istasyonu verileri kullanılarak hazırlanmış olan çeşitli derinliklerdeki akıntı hızlarının yıl içerisindeki değişimi çalışmada gösterildiği şekli ile Şekil 3.21’de ve belli başlı akıntı profilleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Şekil 3.21’de B istasyonunda farklı derinliklerde ölçülmüş kuzey ve güney yönündeki akıntı hızları gösterilmiştir. Şekilde güney doğrultusundaki hızlar (-) işaretli ve kuzey doğrultusundaki hızlar ise (+) işaretlidir. En yüksek hızlar yüzeyde (-1m derinlikte) gözlemlenmiştir. Üst tabakadaki akıntı hızları zaman zaman 2.5m/s ye kadar çıkabilmektedir. Alt tabaka akıntı hızları ise 1.5 m/s ye ulaşabilmektedir. Boğaz’a özgü çift tabakalı akım yapısının hâkim olduğu durumlarda akıntı hızı üst tabakadan başlayarak ara tabakaya kadar derinlikle azalmakta ve ara tabakadan itibaren tabana kadar aksi doğrultuda yeniden artmaktadır. Bunun dışında Boğaz’da belirli koşullar altında tek tabakalı ve üç tabakalı (tek yönlü ve 3 yönlü) akım yapıları da gözlemlenmiştir. Bu akım profillerine ait örnekler Şekil 3.22’de verilmiştir.

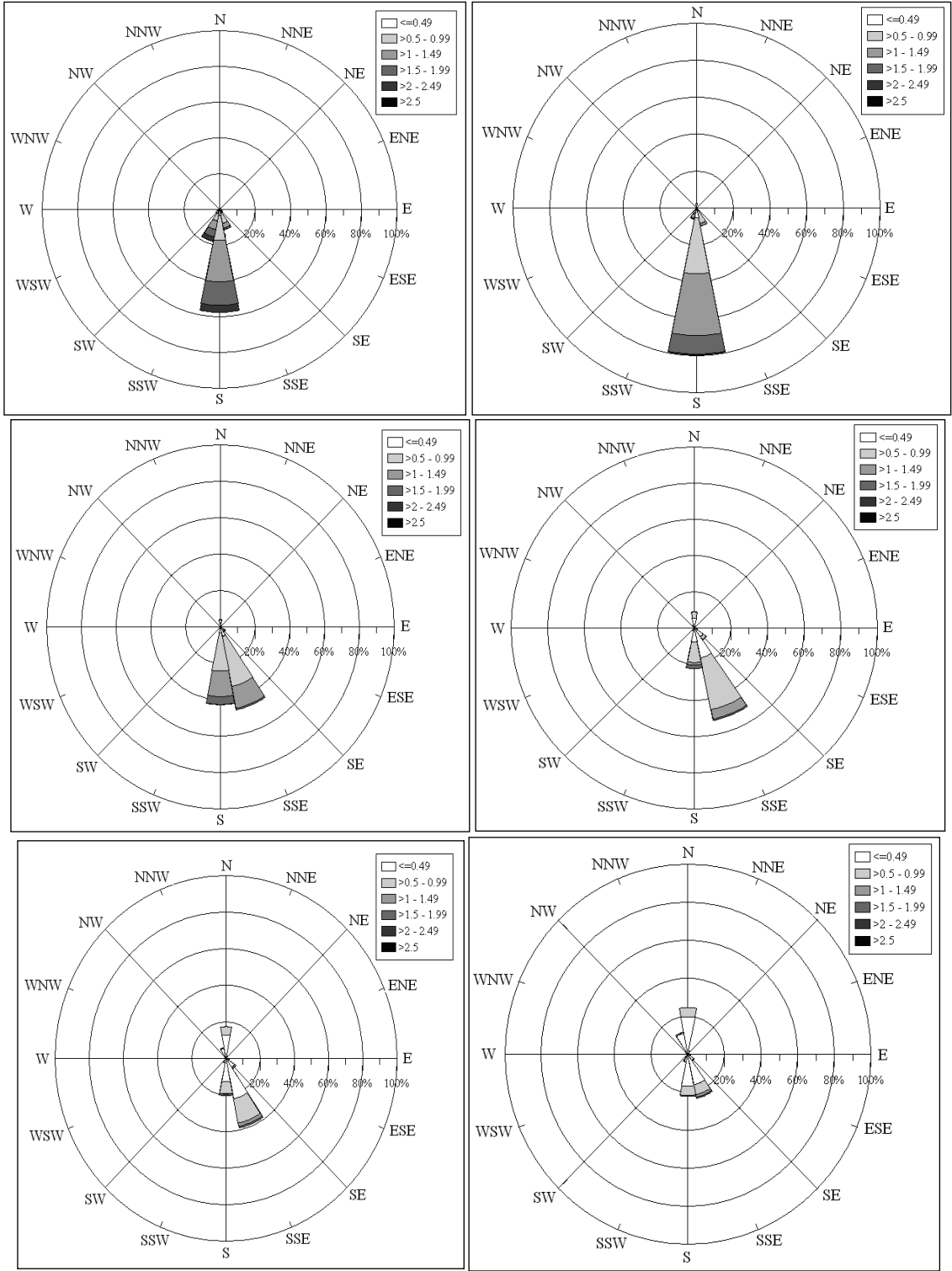


Şekil 3.21 B istasyonunda farklı derinliklerde ölçülmüş kuzey ve güney yönündeki akıntı hızları [46]

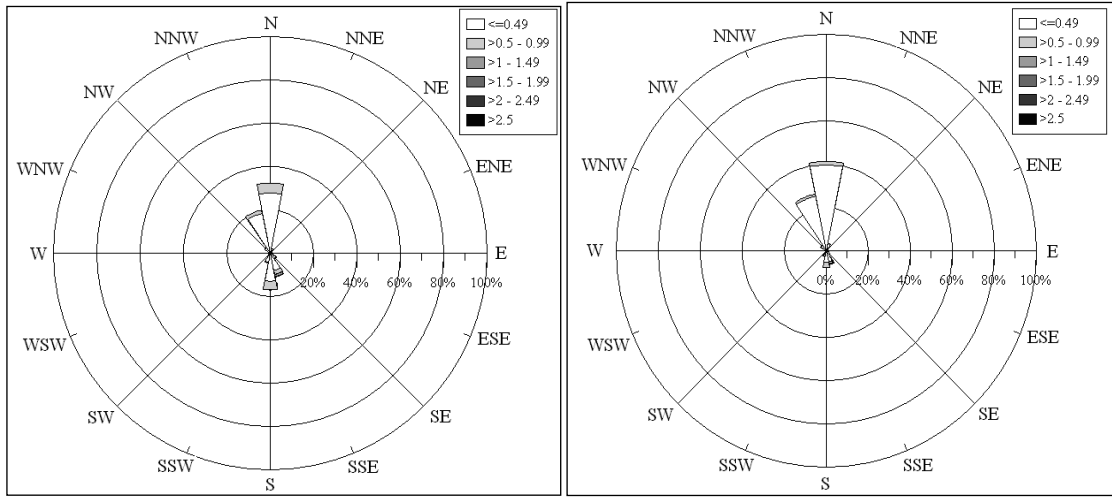


Şekil 3.22 İstanbul Boğazı'nda oluşan farklı akıntı profilleri [46]

Ayrıca çalışma kapsamında çeşitli derinliklerdeki akıntı gülleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan akıntı gülleri çalışmada sunuldukları şekli ile Şekil 3.23'te görülmektedir.



Şekil 3.23 B istasyonunda sırasıyla yüzeyden -1, -5, -10, -15, -18, -20, -23 ve -25 m derinliklerde elde edilmiş akıntı gülleri [46]



Şekil 3.23 B istasyonunda sırasıyla yüzeyden -1, -5, -10, -15, -18, -20, -23 ve -25 m derinliklerde elde edilmiş akıntı gülleri [46] devamı

Şekil 3.23'te verilen akıntı gülleri her derinlikteki doğrultusal oluşma frekanslarını göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi -20 m derinliğe kadar üst tabaka hâkimiyetini korumaktadır. Ara tabakayı temsil eden bu derinliğe kadar akım, kuzeyden güneye iken bu derinlikten itibaren güney-güneydoğu (GGD) yönünde dönmekte ve alt tabakanın hâkim olmaya başlamasıyla birlikte akıntı kuzey-kuzeybatı (KKB) – kuzey (K) doğrultusunda oluşmaktadır.

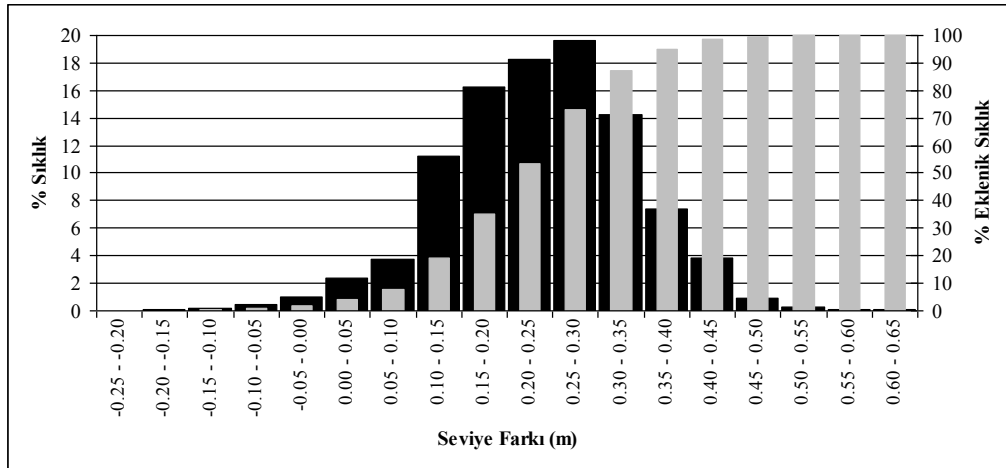
Ölçüm dönemi içerisinde yüzeyde (-1 m derinlikte) akıntı %19 GGB, %58 güney (G) ve %10 GGD yönünde oluşmuştur. -5 m derinlikte akıntı %80 G, %10 GGD ve %5 GB yönünden oluşmuştur. -10 m derinlikte akıntı yönü %42 G ve %45 GGD yönlerindedir. Şekilden de görüldüğü gibi -5m derinlikten -15 m derinliğe inerken hâkim akıntı yönü G'den GGD yönüne dönmekte ve yılın % 50'sinde bu derinlikte etkin yön GGD olmaktadır. Derinlik arttıkça tabakalı akım yapısına uygun olarak, akıntı yönleri de değişmektedir. -18 m'de akıntı %20 G, %38 GGD ve %19 K yönünde olurken, -20 m'de %28 K ve %10 KKB yönlerinde olmaktadır. -22 m derinlikte kuzeyli yönlerin hâkimiyeti artmaya devam etmekte ve akıntı %30 K ve %20 KKB yönlerinde olmaktadır. Ancak bu derinlikte halen G yönünde akıntı olduğu da görülmektedir. -25 m derinliğinde akıntılarının %70'i kuzeyli yönlerde gerçekleşmiştir.

Akıntı güllerindeki değişim incelendiğinde ara tabakanın yıl boyunca değişmekle birlikte B istasyonunda gerçekleştirilen ölçüm döneminde çoğunlukla -15/-20 m derinliklerde olduğu görülmektedir.

Ölçümler üst tabaka akıntı hızının yüzeyde yılın 183 gününde 1 m/s'yi aştığını

göstermiştir. Tabanda hem kuzey hem de güney yönündeki akıntı hızları yine ölçüm dönemi içerisinde sadece 14.6 gün için 0.5 m/s nin üzerine çıkmıştır [46].

Diğer bir çalışma ise D ve E istasyonlarındaki su seviyelerinin bileşenlerine ayrılması ve bir su seviyesi modeli kurulması çalışmasıdır [45]. Çalışmadaki model çalışması sonradan iyileştirilmiş ve [47]'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında özellikle Boğaz'ın Karadeniz girişinde toplanan veriler harmonik analizlerle kısa ve uzun dönemli bileşenlerine ayrılarak, su seviyeleri üzerinde gel-git ve rüzgâr kabarması gibi etkiler kadar Karadeniz'in tatlı su kaynaklarının da etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Aydoğan vd. [45] tarafından Karadeniz girişi ile Marmara Denizi girişi arasında su seviyesi farkının ölçüm süresi boyunca -0.25 ile 0.65 m arasında değiştiği rapor edilmiştir. Su seviyesi farkının ortalama değeri 0.24m ve standart sapması 0.10m olarak bulunmuştur. İstanbul Boğazı'nın her iki girişinde ölçülen su seviyelerinden yola çıkılarak farklarının sıklık analizi yapılmıştır. İki deniz arasındaki su seviyesi farkı için Şekil 3.24'te verilen analiz sonuçlarına göre, ölçüm süresinin %1.73'ünde Marmara Denizi'nin Karadeniz'den daha yüksek su seviyesine sahip olduğu bildirilmiştir. Ancak bu fark 0.21m'nin üzerine çıkmamaktadır. Yine ölçüm süresinin %0.44'ünde su seviyesi farkı 0.50 m'nin üzerine çıkmıştır.

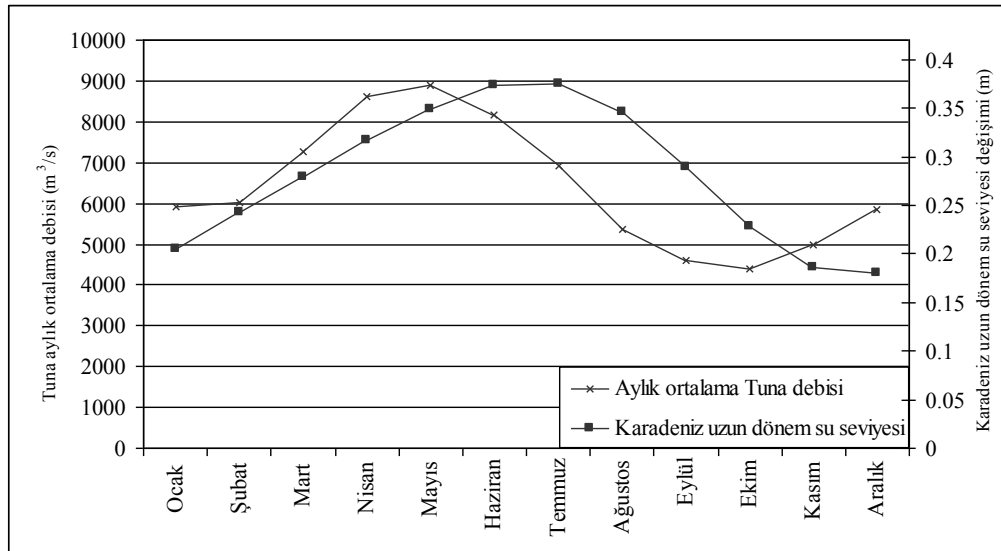


Şekil 3.24 Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki seviye farklarının sıklık analizi [45]

Aydoğan vd. [45], [47]'de Boğaz'ın Karadeniz girişinde ölçülen su seviyesinin sinüzoidal bileşenlerini Mike21 gel-git yazılımı kullanarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak 68 gel-git bileşenine ait faz ve genlik değerlerini tanımlamış, uzun dönem bileşenlerini belirlemiş ve kısa dönemli ana gel-git bileşenlerini tanımlamışlardır. Araştırmacılar İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde kısa periyotlu gel-gitten ileri

gelen su seviyesi değişiminin 6cm mertebesinde olduğunu bildirmişlerdir.

Aydoğan vd. [45], [47]'de gel-git analizi sonucunda belirlenen 68 adet bileşen içerisinde yıllık ve yarım yıllık periyoda sahip olan bileşenlerin toplamını Tuna Nehri'nin debisi ile karşılaştırılmışlardır. Araştırmacılar Şekil 3.25'te gösterilen sonuçlara dayanarak Karadeniz'e giren tatlı su debilerindeki mevsimsel artışların 1.5-2 aylık bir faz farkı ile İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde su seviyesinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Su seviyesindeki uzun dönemli değişim incelendiğinde su seviyesinin en düşük ve en yüksek değerleri arasında 20cm'lik bir fark olduğu görülmektedir. İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde su seviyesi en yüksek değerini Haziran – Temmuz aylarında alırken, en düşük su seviyesi de Kasım – Aralık aylarında oluşmaktadır.

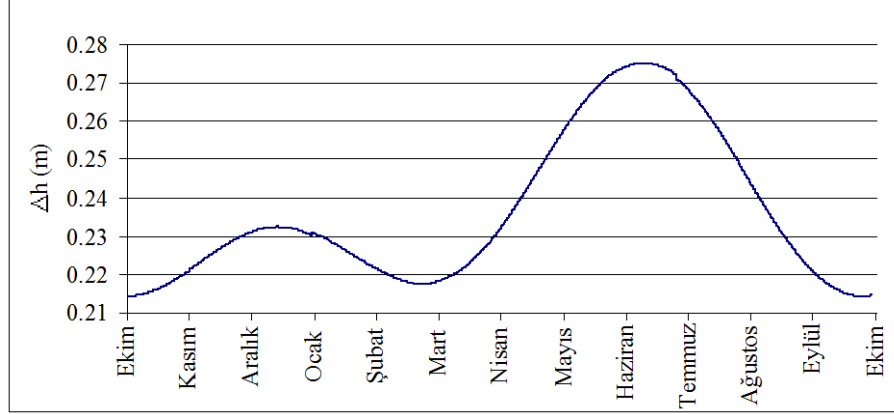


Şekil 3.25 İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde su seviyesine karşılık aylık ortalama Tuna Nehri debisi [45], [47]

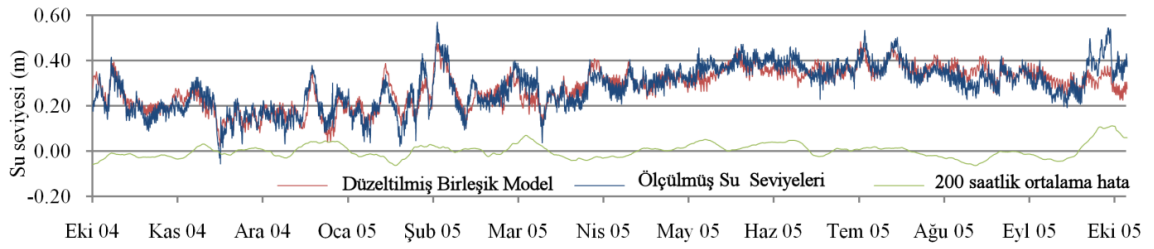
Aydoğan vd. [45] ayrıca Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki mevsimsel ortalama su seviyesi farklarını da Şekil 3.26'da gösterildiği gibi hesaplamışlardır. Şekle göre mevsimsel ortalama su seviyesi farkları Haziran – Temmuz döneminde en büyük değerine ulaşmıştır. Mevsimsel ortalama su seviyesi farkının en büyük değeri 27.5 cm'ye ulaşırken ortalama değeri 23.6cm ve en düşük değeri de 21.4 cm olmuştur.

Aydoğan vd. [45] ve [47]'de su seviyeleri üzerinde etkili olan rüzgâr kabarması sırası ile Mike 21 HD ve Mike 21 HD FM sayısal modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Modelde Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi'nden (ECMWF) alınan rüzgâr ve basınç haritaları kullanılmıştır. Hidrodinamik model ile harmonik modeller

birleştirilerek bir birleşik su seviyesi modeli elde edilmiştir. Aydoğan vd. [47]'deki sonuçlar oldukça başarılı bulunmuştur.



Şekil 3.26 İstanbul Boğazı'nın Karadeniz ve Marmara Denizi girişleri arasındaki mevsimsel ortalama su seviyesi farkının değişimi [45]



Şekil 3.27 İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişindeki su seviyesi ölçüm ve model zaman serilerinin karşılaştırılması [47]

Ayrıca Aydoğan vd. [48]'de yapay sinir ağları tekniğini kullanarak İstanbul Boğazı'nda akıntı hızlarının tahmin edilmesi amacıyla bir model sistemi geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirilen modelin 1-12 saat sonraki akıntı hızlarını başarı ile tahmin ettiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda bu çalışma yapay sinir ağları yönteminin Boğaz akımlarında akıntı tahmini için kullanıldığı dünyada ilk çalışma özelliğini de taşımaktadır. Çalışma Bölüm 4'te detaylı olarak ele alınacaktır.

Öztürk [54]'te Mike 3 HD FM kullanarak İstanbul Boğazının 3 boyutlu hidrodinamik modelini yapmış ve genetik algoritma kullanarak -5, -10 ve -15m'ler için kalibre etmiştir. Ayat [55]'te ayrıca Mike 3 HD FM yazılımını Ecolab yazılımı ile birlikte kullanarak hidrodinamik ve su kalitesi birleşik modelini kurmuş ve duyarlılık analizi yaparak geleneksel yöntemlerle kalibre etmiştir.

YAPAY SINIR AĞLARI İLE AKINTI PROFİLİNİN MODELLENMESİ

4.1 Giriş

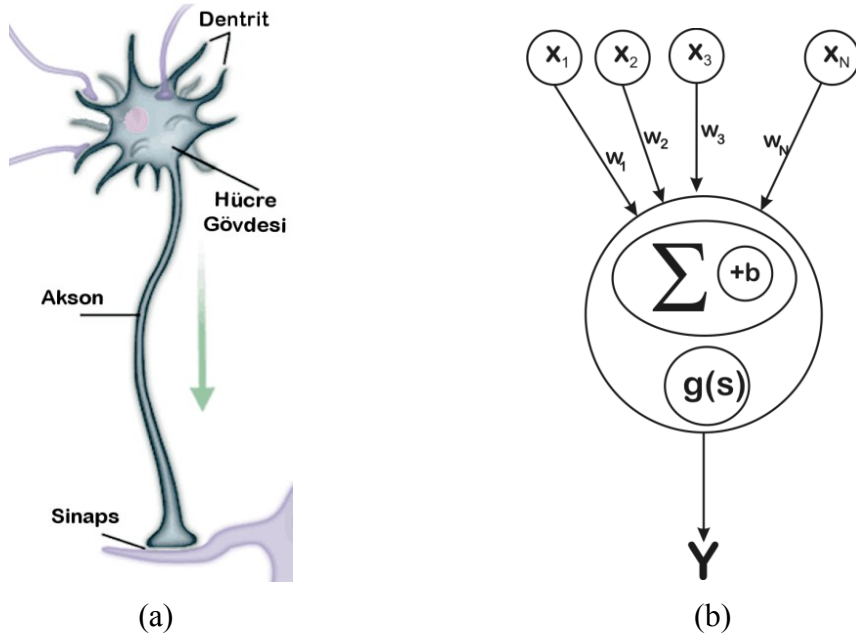
Yapay sinir ağları (YSA) son yıllarda hemen her bilim dalında yaygın olarak kullanılmakta olan bir veri işleme ve modelleme tekniğidir. Beynin çalışma şekline benzetilerek tasarlanmış, öğrenebilen ve genelleyebilen özgün yapısı sayesinde fiziksel ve matematiksel olarak henüz çözülememiş karmaşık problemlerin çözümünde dahi başarı ile kullanılabilmektedir. Ses, görüntü, desen tanıma, kontrol, olay işleyişini tanıma veri analizi gibi pek çok amaç için kullanılmakta ve her gün yeni kullanım alanları bulmaktadır.

Biyolojik sinir hücrelerinden (Şekil 4.1a) esinlenerek 1940'lı yıllarda tasarlanan yapay sinir hücre (Şekil 4.1b) modeli ile VE, VEYA gibi mantıksal işlemler sayısal olarak modellenebilmiştir. Modele girilen veriler sonucunda, çıktılar üretildiğinden gelişmiş bir kara kutu modeli olarak da düşünülebilir.

Yapay sinir ağlarında model insan beynine benzer şekilde sinir hücreleri ve sinir hücrelerini birbirine bağlayan akson ve dentritlerden (verici ve alıcı bağlantılardan) oluşur. Bunun modeldeki tanımı ise aşağıdaki üç bileşenden oluşmaktadır.

- 1) Girdi değerlerine (x_j) ağırlıklarını (w_j) veren hücreleri birbirlerine bağlayan sinapslar veya bağlantılar ($j=1, \dots, m$) (Şekil 4.1b),
- 2) Bütün girdileri (x_j) ağırlıkları (w_j) ile çarpıp toplayan ve hücreye ait bir sabite (b) ekleyen, aktivasyon fonksiyonunun (g) girdisini (s) oluşturan toplama fonksiyonu (Σ),
- 3) Hücresinin çıktısını (Y) veren aktivasyon fonksiyonu $g(s)$ (Şekil 4.1b). Aktivasyon

fonksiyonu monoton bir fonksiyondur. Basit bir eşik fonksiyonu, sürekli lineer veya sigmoid fonksiyonu olabilmektedir.

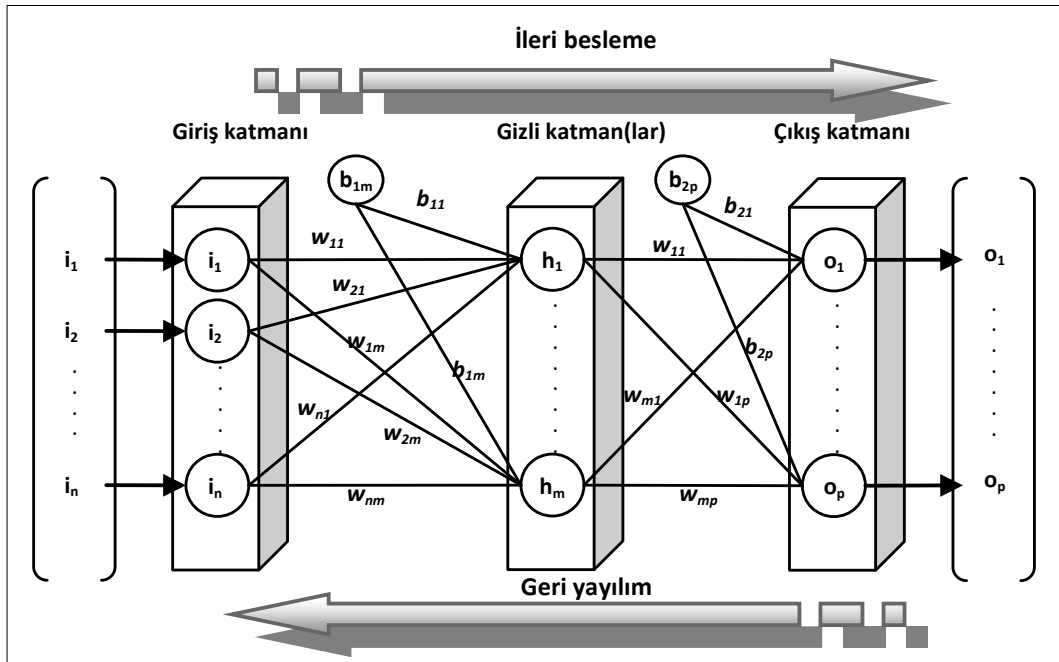


4.2 Yapay Sinir Ağları ile İlgili Çalışmalar

Yapay sinir ağları tekniğinin en karmaşık problemleri bile öğrenebilen yapısı diğer bilim dallarında olduğu gibi kıyı mühendisliğinde de bilim insanlarının dikkatini çekmiş ve özellikle son yıllarda pek çok çalışma yapılmıştır. Malekmohamadi vd. [56]'da yapay sinir ağlarını ve sayısal yöntemleri bir arada kullanan yeni bir dalga tahmin modeli geliştirmişlerdir. Chen vd. [57] Tayvan ve Güney Çin Denizi'nde gel-git tahmininde yapay sinir ağlarını dalgacık analizleri ile birlikte kullanmışlardır. Tseng vd. [58] ve Lee [59] yapay sinir ağlarını Tayvan'daki fırtına kabarmalarını hesaplamak için kullanmışlardır. Huang vd. [60] yerel su seviyelerini tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Liang [61] yapay sinir ağları ile farklı bölgelerdeki çeşitli gel-git tiplerini tahmin etmişlerdir. Günaydın [62] aylık ortalama dalga yüksekliklerini yapay sinir ağları ve regresyon yöntemleri ile tahmin etmeye çalışmış ve yapay sinir ağlarının en iyi performansa sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Van Gent vd. [63] ise dalga aşması için bir tahmin modeli geliştirmişlerdir.

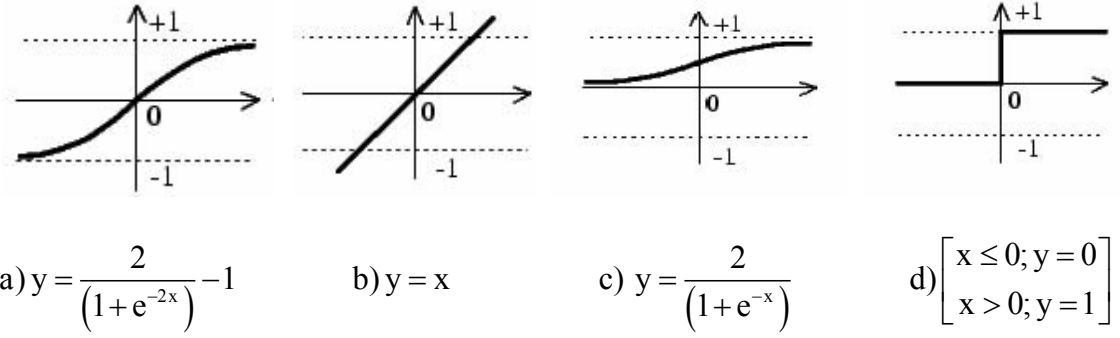
4.3 Yapay Sinir Ağları ile Modelleme Esasları

Her ne kadar araştırmacılar tarafından pek çok yapay sinir ağları mimarisi geliştirilmiş olsa da veri işlemede bunların en başarılısı çok katmanlı ileri beslemeli sistemlerdir (Şekil 4.2). Bu sistemlerde ilk katman dışarıdan verileri kabul eden bir girdi katmanıdır sonraki katmanlar ise Şekil 4.1’de gösterilen hücrelerden oluşmaktadır. Son katman çıkış katmanı olup çıktı sayısı kadar hücreden oluşur ve her bir hücre bir çıktıyı verir. Ara katmanlar ise gizli katmanlar olarak isimlendirilir.



Şekil 4.2 Çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağları mimarisi

Hücrede girdiler basit bir toplama işlemiyle ağırlıklı olarak toplanır üzerine bir sabit değer eklenir. Sabit değer aktivasyon fonksiyonunun girdisini arttırmak veya azaltmak için kullanılan bir terimdir (pozitif veya negatif olabilir). Aktivasyon fonksiyonu (Şekil 4.3) bu değere uygulanır ve sonuç genellikle hücrenin çıktı değeridir. Sigmoid fonksiyonları orta değer aralıklarında lineere çok yakın değerler vermekle birlikte uç değerlere gittikçe lineerden uzaklaşırlar. Genellikle kullanılan eğrisel fonksiyonlar sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Ancak hiperbolik tanjant fonksiyonu hesaplaması sigmoid fonksiyonlara göre yavaş olduğundan, uygulamada yaklaşık olarak aynı sonuçları veren tanjant sigmoid fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Çıkış katmanında genellikle kullanılan fonksiyon lineer fonksiyondur.



Şekil 4.3 Aktivasyon fonksiyonları:
a)Tan-sigmoid b)Lineer c) Log-Sigmoid d) Eşik Fonksiyonu

Hücreler genellikle katmanlar şeklinde organize edilirler. Tipik bir ağ birbirine tam veya kısmi bağlı belli sayıda katmandan oluşur. Öğrenme algoritmaları, hücrelerin girdi ağırlıklarına ve sabit değerlerine başlangıç değerleri atar ve bu değerleri sonuç hatalarını en aza indirecek şekilde değiştirirler. İleri besleme geri yayılım (Feed Forward Back Propagation) (İBGY) yönteminde ve pek çok diğer yöntemde kullanılan geri yayılım ilkesi hataların geri yönde iletilmesini göstermektedir. Geri yayılım yönteminin bulunması ile birlikte yapay sinir ağları pratik bir araç haline gelmiş ve bugünkü popülerliğine kavuşmuştur.

Eğitim için modele girdi verileri ve bu girdi verilerine karşılık hesaplanması gereken çıktı verileri temin edilir. Girdi verilerine karşılık çıktı verilerinin (hedeflerin) mevcut olduğu eğitim şekli denetimli eğitim olarak isimlendirilmektedir. Eğitim işlemi başlatıldığında model bir dizi iteratif işlemde geçer. Her bir çevrim (epok) sırasında modele verilen tüm veri girdisi modelde çalıştırılır. Çıktı katmanından elde edilen sonuçlar ile modelin bulması gereken sonuç verilerinden modelin hatası hesaplanır. Geri yayılım (Back Propagation) ilkesi ile bu hata hücrelere dağıtılarak her hücrenin bağlantı katsayıları ve sabit değeri tekrar hesaplanır ve bir sonraki çevrime geçilir.

4.4 İleri Besleme Geri Yayılım (İBGY) Yönteminin Hesap Adımları

- 1) İleri Besleme: Model girdileri ilk katmandaki her hücreye iletilir. Hücre içerisinde her girdi kendi ağırlığı ile çarpılıp hücre sabit değeri ile toplanır. Hücrenin aktivasyon fonksiyonu aktive edilir ve hücrenin sonucu bulunur. Bulunan sonuçlar bir sonraki katmana iletilir ve aynı işlemler burada da tekrarlanır. Sonuç katmanından elde edilen sonuç modelin verilen girdi için tahmini sonucudur. Burada modelin ilk hesap sırasında kullandığı hücresel ağırlık katsayıları (-0.05) – (+0.05)

aralığında değişen rastgele sayılardan oluşmaktadır. Bunlar geri yönde hesap sırasında değiştirilir.

- 2) Geri Yayılım: Bu faz çıktı katmanındaki her hücreye ait hata teriminin hesaplanmasıyla başlamaktadır. En popüler hata fonksiyonlarından bir tanesi ortalama kare hata yöntemidir.

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - T_i)^2}{n} \quad (4.1)$$

Burada E ortalama kare hatayı (OKH) veya diğer bir değişle modelin performansını, O_i modelin çıktısını, T_i ise modelin bulması gereken değeri, n ise toplam veri sayısını göstermektedir. Burada bulunan hatalar bu hücre ile bağlı olduğu önceki katmandaki hücreler arasındaki bağlantıların ağırlık değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu içi yapan pek çok öğrenme algoritması mevcuttur. Bu çalışmada seçilen yöntem popüler yöntemlerden biri olan Levenberg-Marquardt (LM) yöntemidir [64], [65]. Bu yöntemin seçilme sebebi diğer yöntemlere göre çok daha çabuk minimuma yaklaşması ve diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermesidir. Yöntemin tek dezavantajı daha fazla hafızaya ihtiyaç duymasıdır ancak bu dezavantaj günümüz bilgisayarları için pek çok uygulamada bir sorun oluşturmamaktadır. Yöntemde kullanılan ifade, denklem 4.2’de gösterilmiştir.

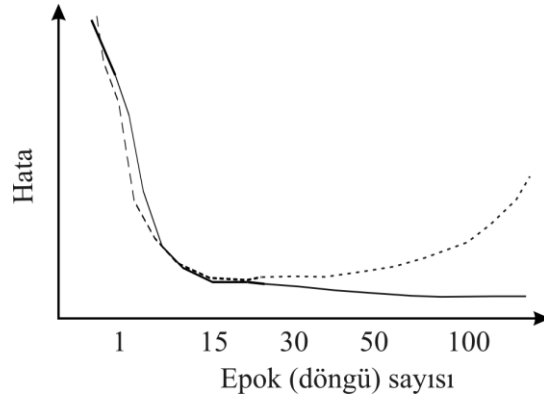
$$w_{new} = w_{old} - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T E(w_{old}) \quad (4.2)$$

Burada J , E hata fonksiyonunun jakobiyenini, I birim matrisi, μ ise iteratif hesapta kullanılan uyarlamalı (adaptive) bir katsayıyı göstermektedir. Bu katsayı hata fonksiyonunu minimum yapacak şekilde iteratif olarak arttırılır veya azaltılır. Bir katmandaki ağırlıkların hesabı tamamlandıktan sonra benzer işlem bir önceki katmandaki hücreler ile onlara bağlı katmanlardaki hücreler arasında tekrarlanır. Bu işlem girdi verilerine ulaşana kadar veya diğer bir deyişle tüm hücreler yeni ağırlıklarına kavuşana kadar tekrarlanır. Bu noktada yeni bir ileri hesap adımına geçilir.

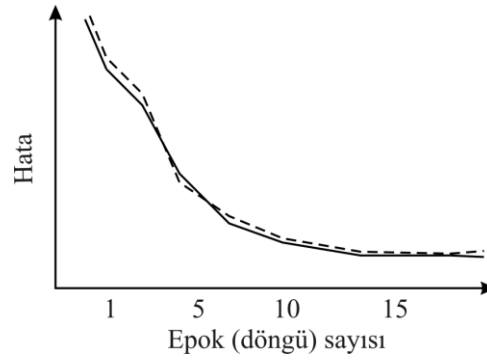
Yukarıda grldğ üzere işlem oldukça karmaşıktır ve modele öğretilmesi gereken parametre sayısı oldukça fazladır. Bu sebeplerden eğitim sonucunda elde edilecek ağırlık değerlerinin o model için en az hatayı verecek ağırlıklar olacağına dair hiçbir garanti söz konusu değildir. Modellerin genellikle yerel minimumlara takıldığı

gözlenmektedir. Özellikle tüm veri setinin bir kerede eğitim verisi olarak girildiği durumlarda bu duruma daha sık rastlandığı görülmüştür. Bu durumun önüne geçebilmek için farklı durumları göz önüne alan birbirinden farklı veri setleri ile çalışmak ve eğitim sürecinde veri setlerinin sırasını değiştirmek faydalı olabilmektedir. Bir veri setinin tamamının eğitim sırasında gözden geçirilmesi bir çevrim olarak isimlendirilmektedir. İleri beslemeli geri yayımlı bir modelin optimum ağırlıklarına kavuşmadan önce pek çok çevrimi tamamlaması gerekmektedir. Çevrim sayılarını azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi eğitim fonksiyonuna momentum teriminin ilavesidir. Bu terim sayesinde ağırlık katsayılarının değişim yönünde bir atalet meydana getirerek bir sonraki değişimin etkilenmesi sağlanmaktadır. Matematiksel olarak ise bir önceki değişim miktarının (momentum parametresi) bir sonraki değişime belli bir oranda eklenmesi olarak açıklanabilir. Bir diğer yöntem ise artan çevrim sayısı ile ağırlıklardaki değişim miktarının azaltılmasıdır. Bu ise çevrim sayısı arttıkça ortaya çıkma riski artan bir durum olan “aşırı öğrenmenin” önüne geçmek için etkili bir yöntemdir.

Yapay sinir ağlarının zayıf bir tarafı ise kolayca aşırı öğrenmeye maruz kalabilmeleridir. Eğitim sırasında her çevrimle birlikte eğitim veri setindeki hatalar azalma eğilimi gösterirler. İlk çevrimlerde kontrol veri setinde de hatalar aynı eğilimi gösterir ve hatalar kontrol veri setinde de azalır. Ancak çevrimler geçtikçe öğrenme veri setinde hataların düşmesine karşın kontrol veri setlerindeki hatalar yükselmeye başlar ve sürekli artmaya devam eder (Şekil 4.4). Başka bir deyişle model genelleme özelliğini kaybetmektedir. Bunun önüne geçebilmek için ise çevrim sayısını doğru seçmek gerekmektedir. Kontrol verilerindeki hataların sürekli bir artım gösterdiği noktada eğitimin durdurulması önem taşımaktadır. Model için en uygun ağırlıklar; kontrol verisinde minimum hataya karşılık gelen çevrimdeki ağırlıklar olarak düşünülebilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Aşırı öğrenmeye maruz kalmış ve genelleme yeteneğini kaybetmiş bir model (düz çizgi kalibrasyon verisindeki, kesikli çizgi test verisindeki hataları göstermektedir)



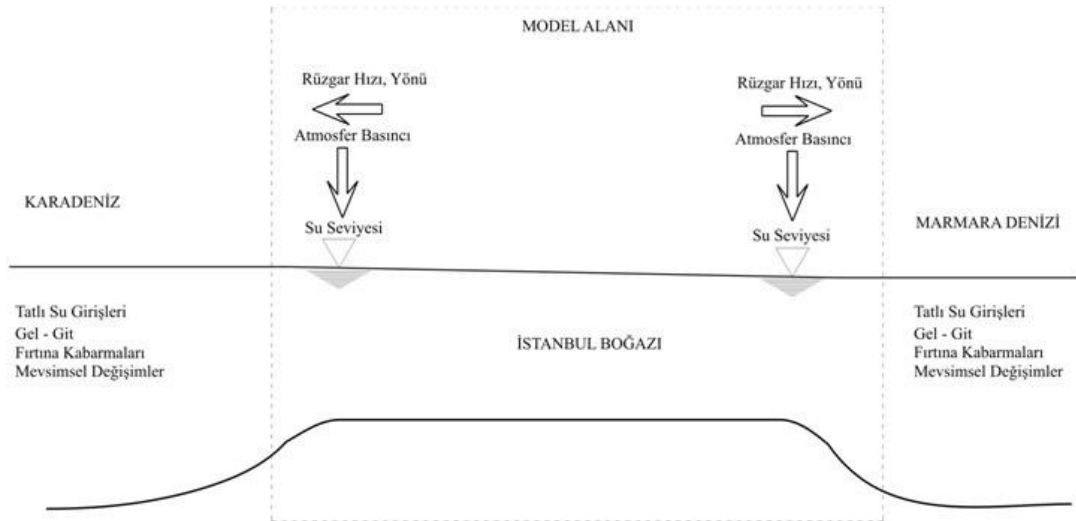
Şekil 4.5 Genelleme yeteneğini kaybetmeden önce iterasyonu durdurulmuş bir model (düz çizgi kalibrasyon verisindeki hatayı, kesikli çizgi kontrol veri setindeki hatayı göstermektedir)

Yapay sinir ağlarında modelin seçilmesine ve eğitilmesine çok fazla zaman harcanmaktadır. Buna karşın model kurulduktan sonra farklı veri setleri ile modeli tekrar çalıştırmak oldukça hızlı bir işlemdir. Model kurmanın uzun zaman almasının sebebi modelle ilgili pek çok parametrenin deneme yanılma yöntemi kullanılarak karar verilmesi gerekliliğindendir. Bunlar hücre sayısı, katman sayısı, model mimarisi, aktivasyon fonksiyonları, eğitim fonksiyonudur. Bu parametrelerden hücre sayısı, katman sayısı, model mimarisi, aktivasyon fonksiyonu, modelin sonuçlarını ve model eğitimi sonunda elde edilen matematiksel denklemleri etkilerken, eğitim fonksiyonu eğitim sırasında bilinmeyenleri bulmaya yarayan bir fonksiyondur ve modelin genellikle eğitim süresini etkiler. Bu parametrelerde herhangi bir en iyi olmadığı gibi uygulamaya göre de değişiklik göstermektedir. Şimdiye kadar yapılmış çalışmalardan edinilen tecrübeler ve tavsiyelere göre en etkili ve basit yöntem deneme yanılma yöntemidir. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için genetik algoritma veya başka yöntemlerle birleştirmeler denenmiş ancak beklenen başarı yakalanamamıştır.

4.5 Model Kurulumu

4.5.1 Uygun Model Girdilerinin Seçimi

İstanbul Boğazı akıntı hızlarının tahmini için kurulan modelde Marmaray Projesi çerçevesinde yapılmış olan rüzgâr, basınç, su seviyesi ve akıntı hızı ölçüm verileri kullanılmıştır. Tasarlanan model ile kullanılan girdi verileri Şekil 4.6’da görülmektedir. Modelde Boğaz’ın Marmara Denizi ve Karadeniz girişlerindeki rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, atmosfer basıncı ve su seviyesi ölçümleri girdi olarak kullanılmıştır. Girdilerden biri olan denizlerdeki su seviyelerini etkileyen tatlı su girişleri, yağış, buharlaşma, fırtına, gel-git gibi etkiler model dışarısında bırakılmışlardır. Bu kapsamda ölçüm verilerinden eş zamanlı veri setleri oluşturulmuştur. Yapay sinir ağları modeli kurarken başlangıç olarak ileri besleme geri yayılım (İBGY) algoritması yaygınlığı, hızı ve kullanım kolaylığı açısından tercih edilmiştir.



Şekil 4.6 Model alanı ve akıma etkili temel parametreler

Bu yöntemle modelin çeşitli girdi verilerine ve girdi verilerinin çeşitli kombinasyonlarına karşı hassasiyetinin incelenmesi ve en uygun veri seti kombinasyonuna karar verilmesi amaçlanmıştır. Girdi verileri seçildikten sonra farklı modellerde en iyi sonucu veren veri seti denenmiş ve en uygun modele karar verilmiştir (Burada ayrıca çalışmanın 5. Bölümünde anlatılacak olan bulanık mantık modeli için en uygun girdi kombinasyonunun seçimi de gerçekleştirilmiştir). Yapay sinir ağları modelinin parametre seçiminde kıstas, tüm veri setinde en küçük hatayı veya en büyük korelasyon değerini yakalamak iken, bulanık mantık modelinde kullanılacak verileri seçerken model kurulumunun daha kolay olması açısından girdi sayısı ve model hatası

birlikte değerlendirilecek ve en ekonomik sonucu veren veri kombinasyonu kullanılacaktır (burada ekonomi; modelin verdiği hata ile modeli kurmak ve kalibre etmek için gerekli süre arasında kurulacaktır ki bu süre de modelde kullanılan girdi sayısına bağlı olarak değişiklik gösterecektir).

Bu bölümde üretilmiş olan tüm modeller tek gizli katmanlı olarak İBGY algoritması ile inşa edilmişlerdir. Hornik vd. [66], Cybenko [67], ve Hartman vd. 'nin [68] çalışmaları sonucunda ortaya çıkartılmış olan evrensel yaklaşım teoremine (Universal Approximation Theorem) göre; gizli katmanında doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu bulunan tek gizli katmana sahip ileri beslemeli yapay sinir ağları modelleri, yeteri kadar gizli nörona sahip oldukları sürece sonlu sayıda süreksizlik içeren her tür fonksiyonu istenilen doğruluk derecesinde tahmin etme yeteneğine sahiptir. Bu sebeple birden fazla sayıda katman denemesine gidilmemiştir.

Modelin eğitilmesi için oldukça hızlı sonuca varabilen bir yöntem olan LM geri besleme yöntemi kullanılmıştır [64], [65].

Modelde kullanılmasına karar verilen fonksiyonlar Çizelge 4.1'de görülmektedir. Modelde kullanılan temel değişkenler ile bunlara ait kısaltmalar ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Seçilmiş model fonksiyonları

Eğitim Şeması	Levenberg-Marquardt geri beslemesi (trainlm)
Aktivasyon Fonksiyonu (Gizli katman)	Tanjant-Sigmoid
Aktivasyon Fonksiyonu (Çıkış katmanı)	Lineer
Performans Fonksiyonu	Ortalama kare hata (OKH)

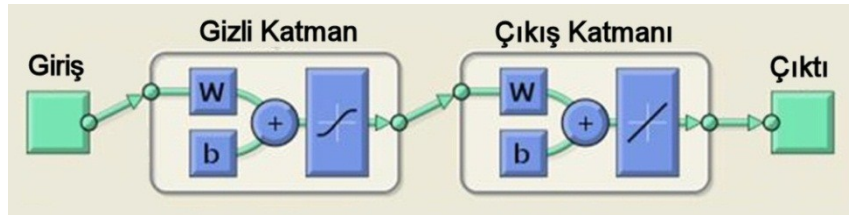
Çizelge 4.2 Model tanımlarında kullanılan değişken isimleri ve açıklamaları

Değişken	Değişken ismi
Su seviyesi farkı	ΔH
Basınç farkı	ΔP
Marmara (F ist.) rüzgar U hızı	U_F
Karadeniz (G ist.) rüzgar U hızı	U_G
Marmara (F ist.) rüzgar V hızı	V_F
Karadeniz (G ist.) rüzgar V hızı	V_G
Marmara (F ist) basınç	P_F
Karadeniz (G ist) basınç	P_G
Karadeniz (E ist.) su seviyesi	H_E
Marmara (D ist.) su seviyesi	H_D

Çizelge 4.2’de verilmiş olan girdilerden üretilmiş çeşitli girdi kombinasyonları kullanılarak -1, -5, -10, -15, ve -24m derinliklerindeki kuzeyli (V) ve doğulu (U) yönlerdeki akıntı hızı bileşenlerini çıktı olarak veren modeller kurulmuştur (Kullanılan girdi verileri akıntı ölçümleri ile aynı saat içinde ölçülmüş değerlerdir). Toplam 7039 saatlik veri setleri %60 (4223 veri) kalibrasyon, ve %20’şer (1408 veri) kontrol ve test veri seti olarak rastgele ayrılmıştır. Tüm modellerde aynı kalibrasyon, kontrol ve test veri setleri kullanılmıştır. Modeller kalibrasyon veri seti ile eğitilirken, kontrol verisi ile herhangi bir aşırı öğrenme durumuna karşı kontrol edilmiş ve kontrol verisinde performans fonksiyonunu minimum yapan değerde eğitim durdurulmuştur.

Modellerin her biri İBGY şeması ile hazırlanmıştır. Tüm modellerde her gizli katmanda 10’ar adet sinir hücresi bulunmaktadır. Her modelde kullanılan girdiler ve modellerden elde edilen U ve V akıntı hız bileşenleri ile ölçülen U ve V akıntı hız bileşeni değerleri arasındaki korelasyon katsayıları ile ortalama kare hatanın karekökü (OKHK) değerleri eğitim, kontrol ve test veri setleri için ayrı ayrı Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Kurulan modellere ait İBGY şeması Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 İki adet gizli katmana sahip İBGY şeması

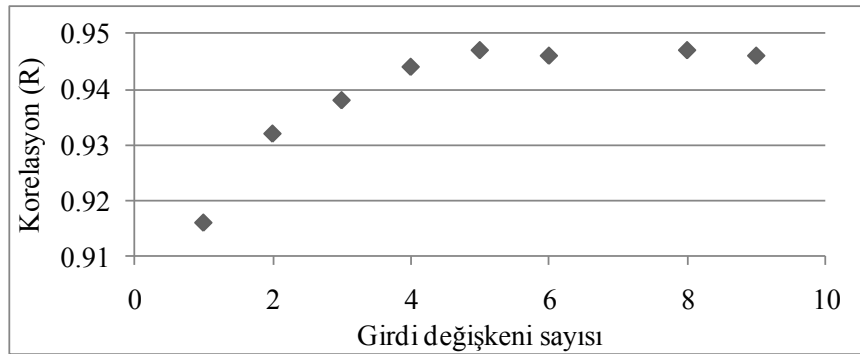
Çizelge 4.3 Girdi verilerine ait yapay sinir ağıları modeli korelasyon katsayısı (R) değerleri

Model No	Girdi Verileri	Eğitim	R		OKHK (m/s)		
			Kontrol	Test	Eğitim	Kontrol	Test
1.1	ΔH	0.918	0.916	0.924	0.217	0.218	0.206
1.2	ΔP	0.831	0.815	0.830	0.305	0.315	0.300
1.3	U_F	0.817	0.818	0.827	0.315	0.312	0.303
1.4	U_G	0.829	0.829	0.837	0.306	0.304	0.295
1.5	V_F	0.871	0.870	0.873	0.269	0.268	0.263
1.6	V_G	0.857	0.858	0.858	0.282	0.279	0.277
1.7	H_E	0.832	0.829	0.834	0.303	0.304	0.298
1.8	H_D	0.842	0.835	0.851	0.296	0.299	0.283
1.9	P_G	0.851	0.843	0.854	0.287	0.292	0.280
1.10	P_F	0.848	0.839	0.849	0.290	0.295	0.285
1.11	S_F	0.818	0.810	0.825	0.315	0.318	0.305
1.12	S_G	0.815	0.805	0.822	0.318	0.322	0.307
2.1	$\Delta H + P_F$	0.925	0.925	0.929	0.208	0.206	0.199
2.2	$\Delta H + V_F$	0.936	0.932	0.939	0.192	0.197	0.186
2.3	$\Delta H + \Delta P$	0.929	0.924	0.931	0.202	0.208	0.197
2.4	$H_E + H_D$	0.928	0.925	0.931	0.204	0.206	0.197
3.1	$H_E + H_D + V_F$	0.943	0.938	0.943	0.183	0.188	0.179
3.2	$\Delta H + V_F + U_F$	0.940	0.937	0.942	0.187	0.190	0.181
3.3	$H_E + H_D + \Delta P$	0.935	0.930	0.937	0.194	0.199	0.188
3.4	$\Delta H + \Delta P + V_F$	0.944	0.938	0.944	0.181	0.188	0.178
3.5	$H_E + H_D + P_F$	0.935	0.931	0.935	0.194	0.198	0.191
4.1	$H_E + H_D + P_F + P_G$	0.939	0.934	0.937	0.188	0.193	0.188
4.2	$\Delta H + \Delta P + V_F + U_F$	0.946	0.942	0.946	0.177	0.183	0.175
4.3	$H_E + H_D + P_F + V_F$	0.949	0.944	0.948	0.172	0.179	0.172
5.1	$H_E + H_D + P_F + V_F + U_F$	0.950	0.947	0.949	0.170	0.175	0.169
6.1	$H_E + H_D + P_F + P_G + V_F + U_F$	0.951	0.946	0.949	0.170	0.175	0.170
8.1	$H_E + H_D + P_F + P_G + V_F + U_F + V_G + U_G$	0.953	0.947	0.951	0.166	0.174	0.166
9.1	$H_E + H_D + P_F + P_G + V_F + U_F + V_G + U_G + \Delta H$	0.952	0.946	0.950	0.167	0.175	0.168

Modelde hangi girdi parametrelerinin kullanılması gerektiğinin belirlenebilmesi için

model sonuçları değerlendirildiğinde en iyi sonuçların Boğaz'ın Karadeniz ve Marmara Denizi girişlerindeki istasyonlarda ölçülmüş; rüzgâr hızı doğu (U) ve kuzey (V) bileşenleri, atmosfer basıncı ile su seviyesi verilerinin birlikte kullanılması sonucu (toplam sekiz değişken) elde edildiği görülmektedir. Her ne kadar su seviyesi farkı tek girdili modeller arasında en yüksek korelasyona sahip olsa da; Boğaz'ın her iki ucundaki su seviyesi ölçümlerinin ayrı ayrı aynı modelde kullanılması tek başına su seviyesi farkının kullanılmasından daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca Boğaz'ın her iki ucundaki su seviyeleri ile su seviyesi farkının birlikte kullanılmasının sadece su seviyelerinin kullanılmasına göre daha iyi sonuç vermediği görülmüş bu sebepten seçilen modelde su seviyesi farkına yer verilmemiştir. Ayrıca rüzgâr hızı bileşke değeri tek başına kullanılan bileşenlerden daha düşük değer verdiği için çok girdili modellerde dikkate alınmamışlardır.

Ayrıca Çizelge 4.3 incelendiğinde girdi değişken sayısının artması ile oluşturulan modellerin korelasyon değerlerinde artma eğilimi olduğu görülmektedir. Eğilimi daha iyi görebilmek amacı ile her değişken sayısı grubundan seçilen en iyi modellerin korelasyon değerleri kullanılarak Şekil 4.8 oluşturulmuştur. Daha açık bir ifade ile, Şekil 4.8'de verilen değerler; 1.1, 2.7, 3.7, 4.1, 6.2 ve 8.1 modellerine ait korelasyon değerleridir. Şekilden korelasyonun girdi değişkeni sayısının artmasıyla beş girdili modele kadar arttığı görülmektedir. Beş girdili model ile 8 girdili model arasındaki fark grafikten görülemeyecek ölçüde küçüktür.



Şekil 4.8 Girdi değişkeni sayısına karşılık model korelasyonu

4.5.2 Model Hücre Sayısının Belirlenmesi

Önceki bölümde F ve G meteoroloji istasyonlarından elde edilen rüzgar hızının doğu pozitif yön olmak üzere doğu-batı doğrultusundaki U hız bileşeni, kuzey pozitif yön olmak üzere, kuzey-güney doğrultusundaki V hız bileşeni, S ile isimlendirilen bileşke rüzgar hızları, yine bu istasyonlarda ölçülmüş atmosfer basınçları ve basınçların farkları

alınarak oluşturulmuş ΔP basınç farkı; D ve E su seviyesi istasyonlarından elde edilen iki ayrı su seviyesi ve bunların farklarından oluşturulan ΔH su seviyesi farkı olarak belirlenen model değişkenleri tek tek ve çeşitli kombinasyonlarda girdi verisi olarak kullanılması ile elde edilen, her katmanında 10 adet hücre bulunan ve M1, M2 ve M3 olarak isimlendirilmiş sırası ile 1, 2 ve 3 adet gizli katmana sahip İBGY modelleri kurulmuştur. Bu modellerden çıktı olarak B akıntı ölçüm istasyonunda, -5m derinlikte ölçülmüş akıntı hızının kuzey pozitif olmak üzere kuzey-güney doğrultusundaki V hız bileşeni tahmin edilmiştir. Üretilen tüm modellerin bir arada sunulduğu Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi en iyi benzeşimi Model 8.1 sağlamıştır. Böylece çalışmanın devamında geliştirilecek modellerde Model 8.1'in girdi değişken kombinasyonunun kullanılmasına karar verilmiştir. Model 8.1'in girdi değişken kombinasyonu: F ve G istasyonlarında toplanmış verilerden hesaplanmış olan U ve V rügar hızı bileşenleri, yine aynı istasyonlarda ölçülmüş olan atmosfer basınçları ile D ve E su seviyesi istasyonlarında ölçülmüş olan su seviyelerinden oluşmaktadır.

Girdi veri kombinasyonunun belirlenmesinden sonra bir diğer kalibrasyon parametresi olan hücre sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Hücre sayısının uygun değerinin bulunması amacıyla seçilmiş olan girdiler kullanılarak Model 8.1 çeşitli hücre sayıları için geliştirilmiştir.

Hücre sayısı birden başlayarak ikiden itibaren ikişer ikişer 10'a kadar arttırılmış, 10'dan sonra ise beşer beşer 40'a ve 40'tan sonra onar onar 100 hücreye ulaşılmıştır. Son olarak 150 hücre için model çalıştırılmıştır. Böylece 19 farklı hücre sayısı için modeller kurulmuştur.

Kurulan modeller İBGY tekniği temel alınarak kurulmuş ve eğitimleri LM öğrenme algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada model aynı anda altı derinlikteki doğu (U) ve kuzey (V) hız bileşenlerini tahmin edecek şekilde düzenlenmiştir. Model 7039 saatlik veri seti ile kalibre edilmiştir. Veri setinin %60'ı eğitimde geri kalan %40'ı %20'şerlik test ve doğrulama verisi olarak ayrılmış ve kontrol için kullanılmıştır.

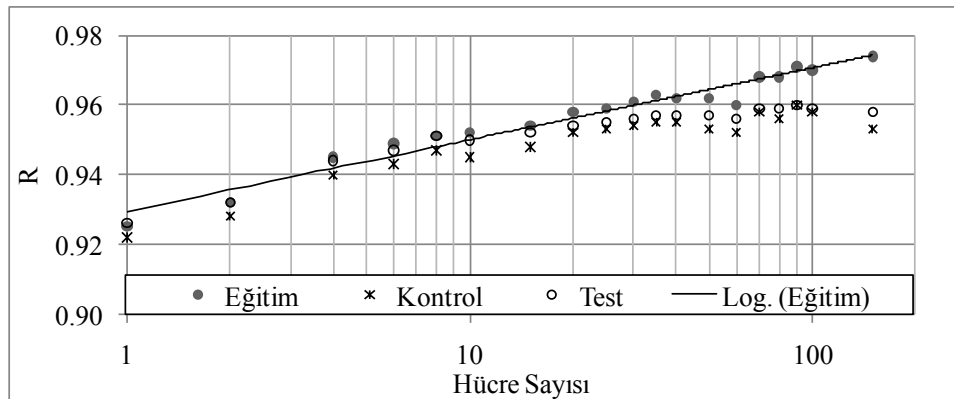
Model eğitimi aşağıda belirtilen her iki koşuldan biri gerçekleşene kadar devam ettirilmiştir.

1- Maksimum çevrim sayısı olarak belirlenen 1000'e ulaşılması (sadece 1 nöronlu modelde ulaşılmıştır) durumunda eğitim kesilmiştir.

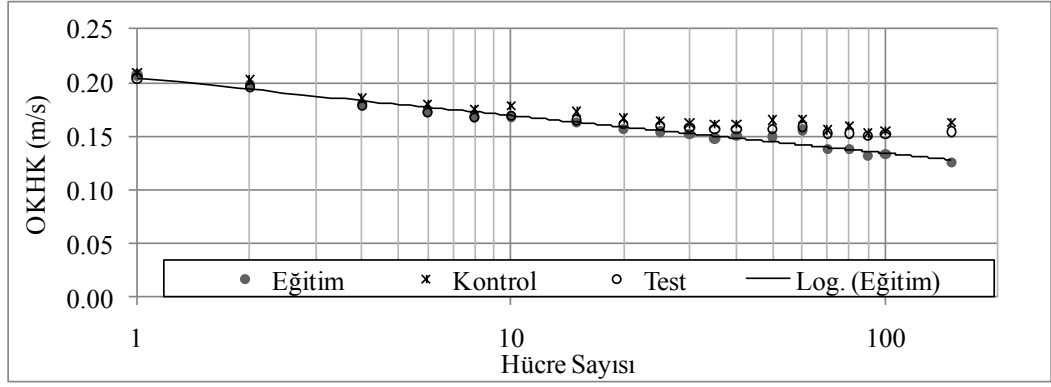
2- Doğrulama verisindeki hataların artması durumunda; altı çevrim süresince hataların artıştan önceki değerine düşmesi beklenmiş, düşme gerçekleşmez ise eğitim durdurulup artıştan önceki duruma geri dönmüştür.

Bu yöntemle model aşırı öğrenmeye maruz kalmadan eğitimin durdurulması amaçlanmıştır. Farklı hücre sayılarına göre kurulmuş her modelin eğitim, test ve doğrulama veri setlerindeki korelasyon değerleri ve yine eğitim, test ve doğrulama serilerindeki ortalama kare hatanın karekökü (OKHK) değerleri Şekil 4.9 ve 4.10’da verilmiştir. Hücre sayısı arttıkça hataların (OKHK) düşmekte olduğu (Şekil 4.10) ve korelasyon değerinin artmakta olduğu (Şekil 4.9) görülmektedir. Grafiklerden hem korelasyon değerleri için hem de OKHK değerleri için bağıntının logaritmik olduğu belirlenmiştir. Ancak eğitim serileri için logaritmik dağılım sürekli iken kontrol ve test veri setlerinde hücre sayısının yüksek değerlerinde belli bir değer civarında sabitleme görülmüştür. 150 hücre sayısına ulaşıldıktan sonra hücre sayısının artırılması, eğitim süresinin çok uzaması ve kontrol verisinde hatalarda bir düşme görülmemesi sebeplerinden durdurulmuştur. Seçilen model, 150 hücreye kadar en yüksek korelasyonu ve en düşük OKHK’yı veren model olan 90 hücreli model olmuştur. Her ne kadar eğilim daha yüksek korelasyona daha yüksek hücre sayılarında ulaşılabilceğini gösterse de kontrol verilerinde hata fonksiyonu 70 hücre sayısına ulaşıldıktan sonra fazla bir değişim göstermemiştir. Daha yüksek hücre sayılarında daha iyi kontrol verisi sonuçları elde edilememesinin nedeninin aşağıdaki gibi olduğu düşünülmektedir.

Hücre sayısının artması ile hesap denklemindeki katsayılar matrisi büyümekte ve hesaplanması gereken katsayı miktarı artmaktadır. Model eğitim sırasında tüm veriler için uygun olan bir minimuma ulaşmadan eğitim serisini daha çok ifade eden yerel bir minimuma yaklaşmaktadır.



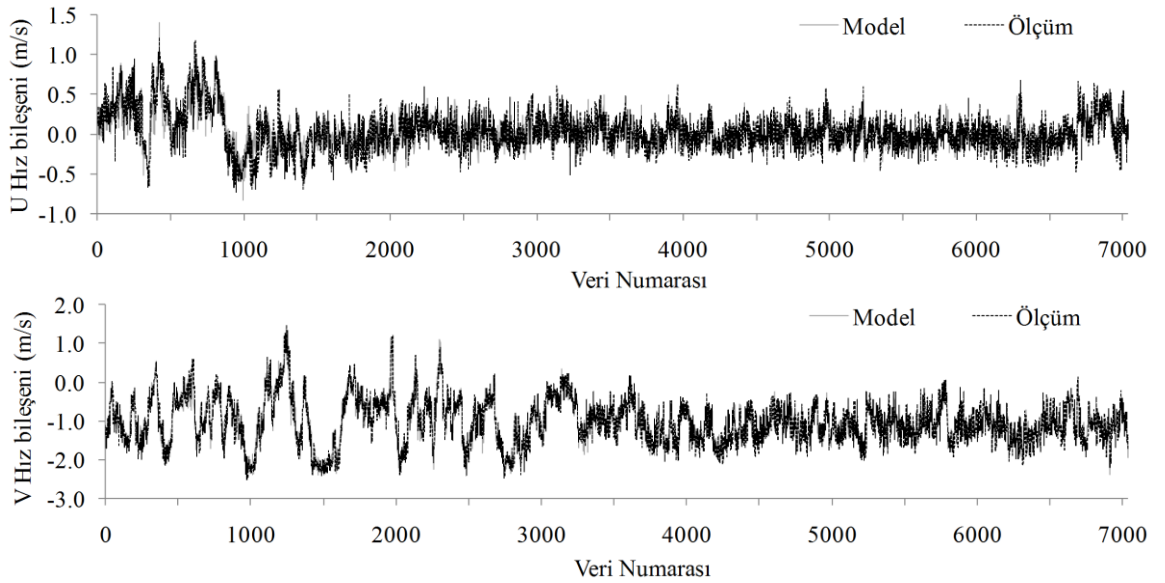
Şekil 4.9 Gizli hücre sayısına karşılık korelasyon



Şekil 4.10 Gizli hücre sayısına karşılık doğrulama verisinde OKHK (m/s)

4.5.3 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

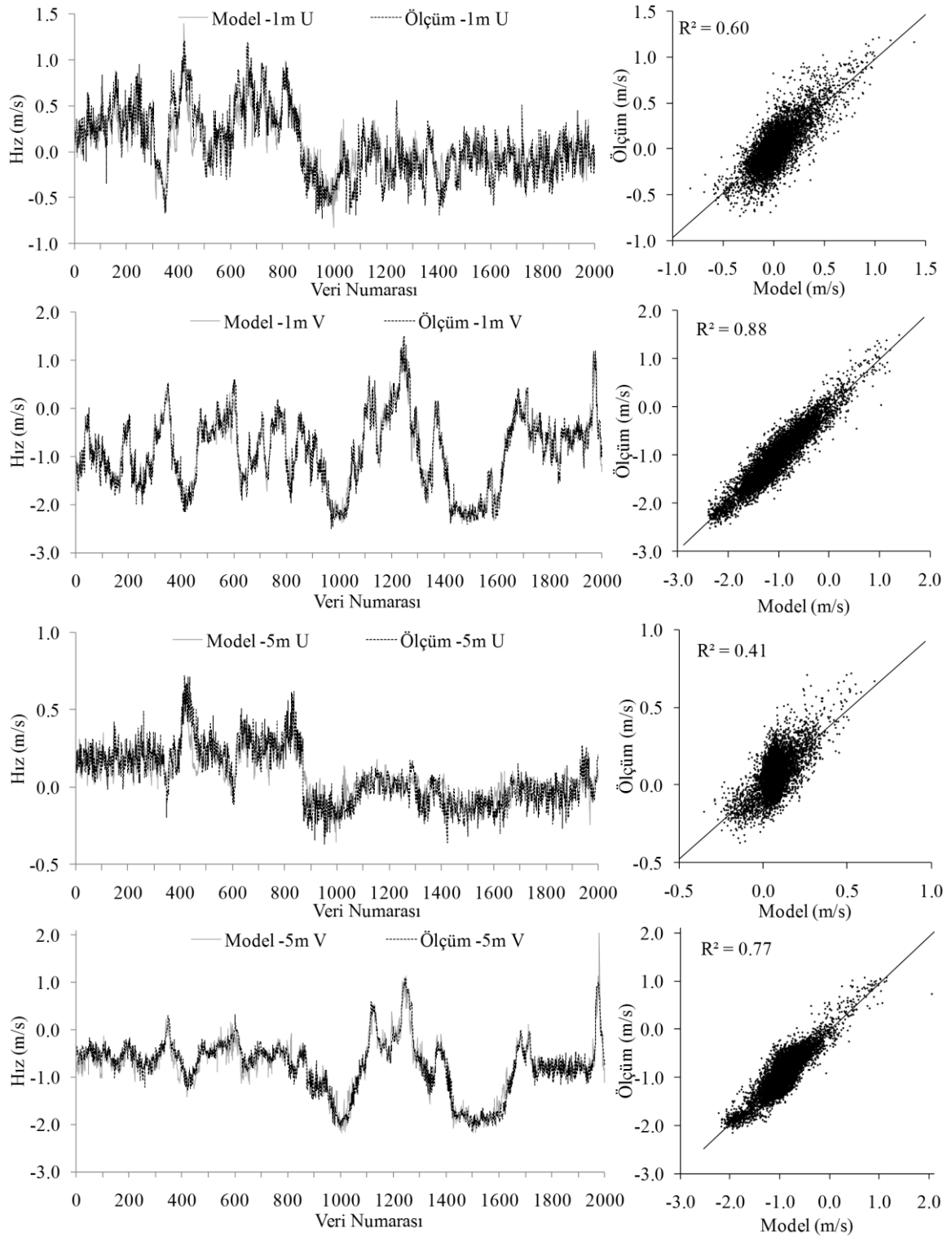
Bölüm 4.5.1 de girdi kombinasyonu seçilmiş, Bölüm 4.5.2’de kullanılacak hücre sayısı belirlenmiştir. Kontrol veri setinde en düşük OKHK değerini ve en yüksek korelasyon değerini veren 90 hücreye sahip model seçilmiştir. Bu modelden tahmin edilen U ve V akıntı hız bileşenleri, B istasyonunda -1m derinlikte, 7039 adetlik tüm veri seti için ölçümlerle birlikte Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekilden uyumun oldukça iyi olduğu görülmektedir.



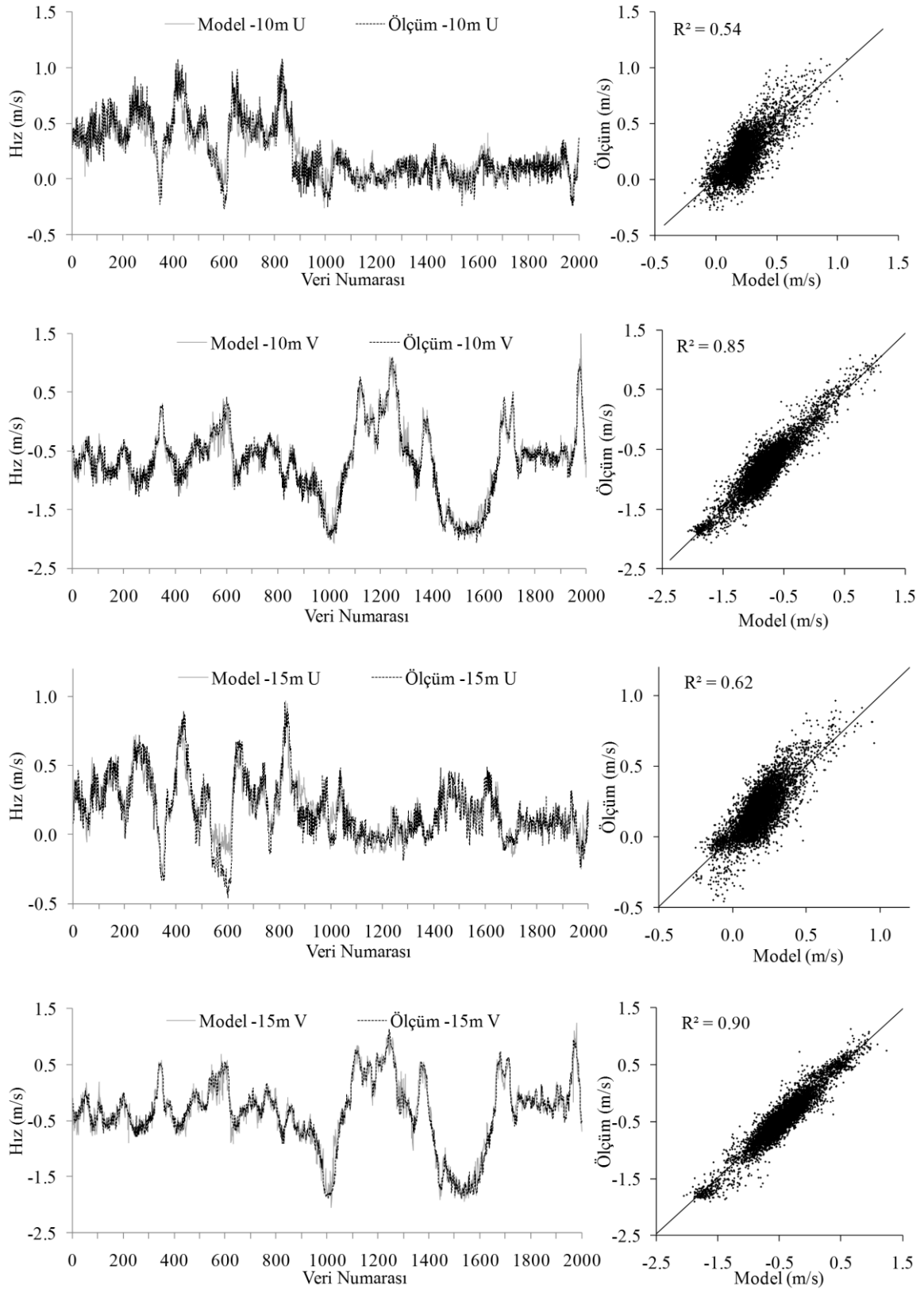
Şekil 4.11 -1 m derinlikte ölçülen ve modellenen U ve V akıntı hız bileşenleri zaman serileri

Uyumun daha iyi görülebilmesi amacı ile ölçümlerin pik değerlerini içeren başlangıçtaki ilk 2000 verinin zaman serileri -1, -5, -10, -15, -20 ve -24m derinlikleri için ölçülmüş ve modellenmiş U ve V hız bileşenleri ayrı ayrı Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.12’de ayrıca 7039 saatlik verinin tamamını içeren dağılım

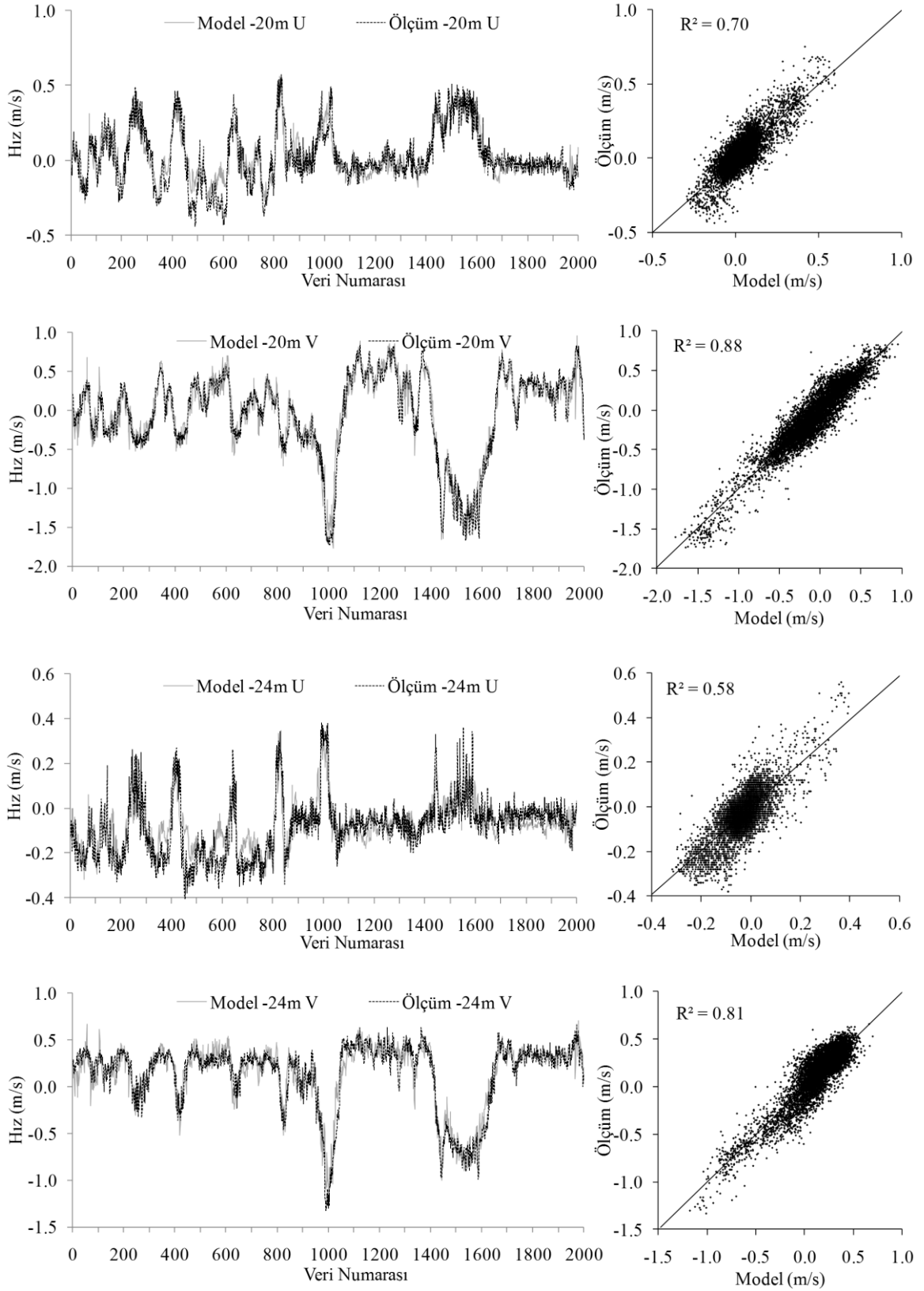
grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.12 Model ve ölçümlerden elde edilen akıntı U ve V hız bileşenlerinin sırası ile -1m, -5m, -10m, -15m, -20m ve -24m derinliklerdeki 2000 saatlik zaman serileri ile aynı bileşenlerin dağılım grafikleri



Şekil 4.12 Model ve ölçümlerden elde edilen akıntı U ve V hız bileşenlerinin sırası ile -1m, -5m, -10m, -15m, -20m ve -24m derinliklerdeki 2000 saatlik zaman serileri ile aynı bileşenlerin dağılım grafikleri devamı



Şekil 4.12 Model ve ölçümlerden elde edilen akıntı U ve V hız bileşenlerinin sırası ile -1m, -5m, -10m, -15m, -20m ve -24m derinliklerdeki 2000 saatlik zaman serileri ile aynı bileşenlerin dağılım grafikleri devamı

Gerek zaman serisi üzerinde gerekse dağılım grafiklerinden uyumun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Genel olarak V hız bileşenlerinde uyum daha yüksek çıkmıştır. V hız bileşeni ana akıntı doğrultusunda olduğundan sonuç beklentiyi karşılamaktadır. Ayrıca V hız bileşenlerinin girdilerle olan doğrusal korelasyonlarının U hız bileşenlerine göre daha büyük olduğu Çizelge 3.2’den görülmektedir. Su seviyeleri ve meteorolojik ölçümler ile akıntı hızlarının korelasyonlarına bakıldığında en yüksek korelasyonlar V hız bileşenlerinde, en düşük korelasyonlar ise U hız bileşenlerinde görülmüştü (Çizelge 3.5). Model sonuçlarında da benzer durum söz konusudur. Çizelge 4.4’te her derinlikte hız bileşenleri için elde edilen OKHK ve korelasyon değerleri görülmektedir. Çizelgeden görüldüğü üzere model en iyi sonuçları sırası ile -20m, -15m, -1m, -24m, -10 ve -5m de elde etmiştir. OKHK değerleri U hızlarında, V hızlarında olduğuna oranla daha düşük çıkmalarına rağmen, korelasyon değerleri daha düşüktür. Bu sonuç U değerlerinin merteye olarak V değerlerinden çok daha küçük olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.4 Model sonuçlarının korelasyon (R), OKHK (m/s), ve NOKHK (%) değerleri

	-1m		-5m		-10m		-15m		-20m		-24m	
	U	V	U	V	U	V	U	V	U	V	U	V
R	0.77	0.94	0.64	0.88	0.73	0.92	0.79	0.95	0.84	0.94	0.76	0.90
OKHK	0.15	0.21	0.10	0.21	0.12	0.17	0.10	0.14	0.07	0.14	0.06	0.12
NOKHK	8.11	5.25	9.17	6.48	8.45	5.61	7.04	4.62	7.14	7.04	6.12	6.03

Sonuçlardan görüldüğü gibi model tüm derinliklerde gerçek zamanlı tahmin yapmakta oldukça başarılıdır. Modelin bir sonraki aşaması ileriye yönelik tahminler yapmaktır.

4.5.4 İleri Zamanlı Tahmin Modelleri

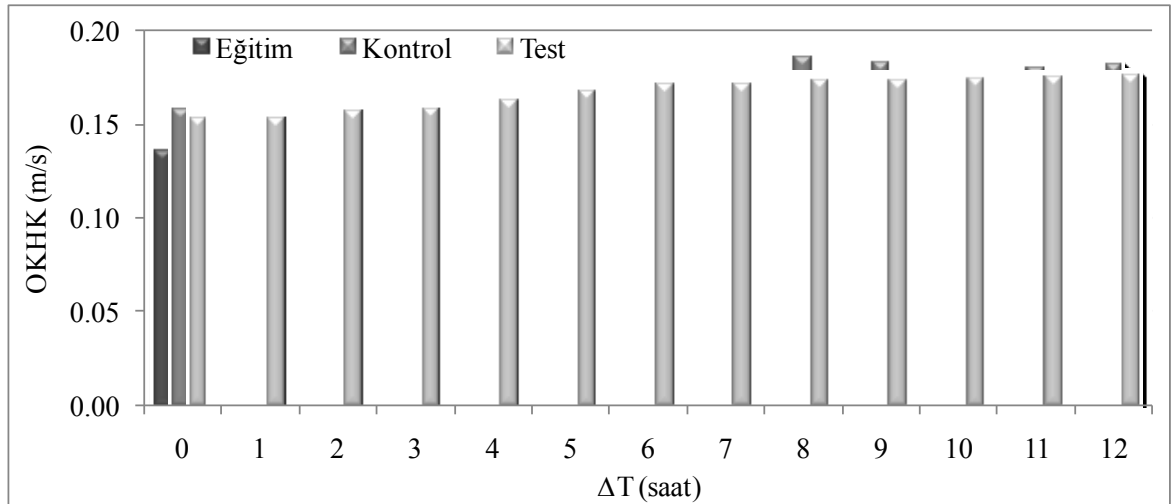
Bir önceki bölümde açıklanan gerçek zamanlı tahmin modelinde herhangi bir anda elde edilen akıntı hızları o anda ölçülmüş olan rüzgâr, atmosfer basıncı ve su seviyesi bilgilerinin kullanılması ile tahmin edilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında belirli bir andaki aynı girdi verileri kullanılarak 1 saatten 12 saat sonrasına kadar değişen zamanlı ileriye yönelik tahminler yapılması amaçlanmıştır. Oluşturulan ileri zamanlı tahmin modellerinin isimleri ve zaman farkları Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 İleri zamanlı tahmin modelleri

Model ismi	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Zaman farkı ΔT (saat)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Modeller aşağıdaki adımlar izlenerek kurulmuştur.

- 1- Önceki bölümde seçilmiş olan model girdilerinden ve o koşullar altında oluşan akıntı hızlarından 1,2,3, ... ,12 saat sonraki akıntı hızlarının zaman serileri oluşturulmuştur.
- 2- Her bir model 90 hücreli İBGY yöntemi ve LM öğrenme algoritması ile kurulmuştur.
- 3- Modellerde veriler, %60 eğitim, geri kalan %40'ı; %20'şerlik kontrol ve test verisi olarak ayrılmış ve modeller önceki bölümdeki gibi eğitime tabi tutulmuşlardır.
- 4- Elde edilen model sonuçları ile girdiler karşılaştırılmış, tüm sonuçların OKHK değerleri ileri yöndeki zaman farkına bağlı olarak Şekil 4.13'te çizilmiştir.



Şekil 4.13 Modellerin OKHK değerlerinin zaman farkı ile değişimi

İleri yönlü tahmin modelleri oldukça iyi sonuç vermiştir. Bir saat sonrasının tahmini anlık tahminlerle aynı doğrulukta iken, T0 modeline göre T2 modelinin OKHK değeri %2.44, T3 modelinin OKHK değeri ise %4 artmıştır. Hatalar T4 modelinde %8.7, T6 modelinde %12 ve T12 modelinde %16, T0 modeline göre yüksek çıkmıştır. Sonuçlardan modelin 1 saat sonrasını en iyi doğrulukta, 3 saate kadar da iyi sonuç verdiği görülmektedir. Kontrol ve test veri setindeki ortalama hata T0 ve T1 için 0.155, T2 ve T3 için yaklaşık 0.16 olmuştur.

4.6 Sonuçlar ve neriler

Bu bölümde yapay sinir ağları tekniği İstanbul Boğaz’ında seçilen bir konumdaki vektörel akıntı hız profillerinin belirlenmesinde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Farkı model girdileri ile modeller kurulmuş ve sonrasında gizli hrce sayısının model performansına etkisi incelenmiştir. En iyi model alternatifi ile ileri zamanlı tahminler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bu kısmında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. İBGY YSA modelleri ile tabakalı akımların söz konusu olduğu boğazlarda seçilen bir noktadaki her derinlikteki vektörel akıntı hız bileşenlerinin çok yüksek doğrulukta, gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesi mümkündür.
2. Modele girdi olarak akıntıyı etkileyen ne kadar çok parametre girilirse kurulan modelin başarısı o kadar artmaktadır. Yapılan modeller içerisinde en yüksek başarıyı Boğaz’ın her iki ucundaki su seviyelerini ve meteorolojik parametrelerini (rzgr hızı bileşenleri ve atmosfer basıncı) içeren model göstermiştir.
3. Meteoroloji istasyonlarından sadece birinin verisini kullanmak, her iki istasyonu birlikte kullanmaya göre model performansında çok az bir iyileşmeye sebep olmuştur.
4. Gizli katmandaki hrce sayısının belli bir değere kadar arttırılması model sonuçlarını olumlu etkilemiştir. Ancak bu değer dikkatli seçilmeli ve aşırı öğrenmeye sebep olmamak için kontrol edilmelidir. Güvenli tarafta kalmak için uygun sonuç veren en düşük gizli hrce sayısı dikkate alınabilir.
5. Aynı girdiler ile ileri zamanlı tahminde bulunacak modeller kurmak mümkün olmuştur.  saate kadar ileri zamanlı tahminlerde hataların çok az arttığı görülmüştür. Girdiler anlık olduğundan bu sonuç, Boğaz’daki herhangi bir hidrodinamik yapının en çok aynı saatte ve bir saat öncesinde ölçülmüş sınır şartlarına bağlı olduğunu, ancak herhangi bir anda oluşmuş olan sınır şartları değerlerinin etkisinin, zamanla azalmakla birlikte, en az 12 saat sürdüğünü göstermektedir. İleride bu etkiyi dikkate alan modellerin kurulması ile daha iyi sonuçlar veren modeller üretmek mümkündür.

BULANIK MANTIK İLE AKINTI PROFİLLERİNİN MODELLENMESİ

5.1 Giriş

Bulanık Mantık Aristo'nun binlerce yıldır kullanılmakta olan sınırları keskin mantık anlayışına alternatif olarak geliştirilen, belirsizlikleri tarifleyebilen ve daha esnek veya yumuşak sınırlara sahip bir mantık sistemidir. Uzman sistemler, kontrol sistemleri gibi karar verme süreçlerinde günümüzde sıkça kullanılan bulanık mantık modelleme tekniği; karmaşık sistemlere basit çözümler üretmesi bakımından oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bulanık Mantık Yöntemi kesin olmayan bilgilerin işlenebilmesi için ortaya atılan bulanık kümeler [69] teorisinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Bulanık mantık ile, Aristo mantığındaki kesin sınırları olan doğru ve yanlış kavramları yumuşatılmış, doğruluk ve yanlışlık derecelendirilerek, üyelik dereceleri oluşturulmuştur. Bu tür bir yumuşatma mantık modellerinin temelini oluşturan kural tabanlarında komşu kurallar arasında geçişlerin yumuşamasına ve kurallar arasında süreklilik sağlanmasına olanak tanımaktadır. Bu teknik günümüzde karmaşık sistemlerin, tanımlanması zor ve matematik analizi yapılamayan sistemlerin modellenmesinde oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Yöntem, sözel veriye dayanmakta, sayısal veriler de sözelleştirilmektedir ve bulanık mantık yönteminde bu işlem bulanıklaştırma olarak anılmaktadır. Modelin kalbi kural tabanı; “.... ve ise” şeklinde koşul ve sonuca dayanan ifadelerden oluşmaktadır. Bulanık mantık yöntemi bu yapısı nedeniyle anlaşılması kolaydır ve az bilinen konularda dahi bu şekilde model kurmak mümkündür. Ancak iyi bir model için uzman görüşüne veya ölçüm verilerine ihtiyaç vardır.

Modelleme sistemi yonteme bağı olarak dört temel bileşenden oluşabilmektedir.

Bunlar; bulanıklaştırıcı, kural tabanı, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırıcı modülleridir. Modelin çalışma prensibi kısaca şu şekilde özetlenebilir.

1. Girdiler sayısal ise, girdilerin bulanıklaştırıcı tarafından bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri belirlenir (bulanıklaştırma). Girdiler sözel ise bu işleme gerek yoktur.
2. Bulanıklaştırılmış olan girdiler bulanık çıkarım motoruna gönderilir.
3. Bulanık çıkarım motoru girdilere bağlı olarak bulanık kural tabanında tanımlanmış olan uygun kuralları çalıştırır ve sonuçları işler.
4. Bulanık çıkarım motoru sonuçları sayısal ise doğrudan çıktı olarak verilir, bulanık (sözel) ise durulaştırıcı modülüne gönderilir ve sayısallaştırıldıktan sonra çıktıları verilir.

5.2 Bulanık Kümeler

Bulanık mantık modellerinin temeli bulanık kümelere dayanmaktadır. Bulanık kümelerde herhangi bir kümeye üyelik; klasik kümelerdeki ‘üye’ veya ‘üye değil’den farklı olarak derecelendirilmiştir. Üyelik her eleman için $[0,1]$ arasında bir değer ile ifade edilmektedir. ‘0’ kümeye üye olmama, ‘1’ tam üyeliği, aradaki değerler ise kısmi üyelik derecelerini göstermektedir.

Örneğin suyun sıcaklığı için bulanık alt kümeleri; {‘çok soğuk’, ‘soğuk’, ‘ılık’, ‘sıcak’, ‘çok sıcak’, ‘kaynar’} şeklinde tanımlansın. Bu durumda $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki suyun ‘kaynar’ kümesine üyelik derecesi ‘1’,ve diğer tüm kümelere üyelik derecesi ‘0’ olabilirken, $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki su ‘sıcak’ ve ‘çok sıcak’ bulanık alt kümelerinin ikisine birden 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinde üye olabilecektir. Hatta model kurucunun inisiyatifinde olmak üzere ikiden fazla bulanık alt kümeye aynı anda farklı derecelerde üye olabilecektir. Bu üyelik dereceleri farklı üyelik fonksiyonları ile tanımlanabilmektedir. Literatürde çok sayıda farklı üyelik fonksiyonu mevcut olmakla birlikte en yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları Gauss, üçgen, trapez ve tek taraflı Gauss eğrisidir (Şekil 5.1). Üyelik fonksiyonları şu özelliklere sahip olmalıdır:

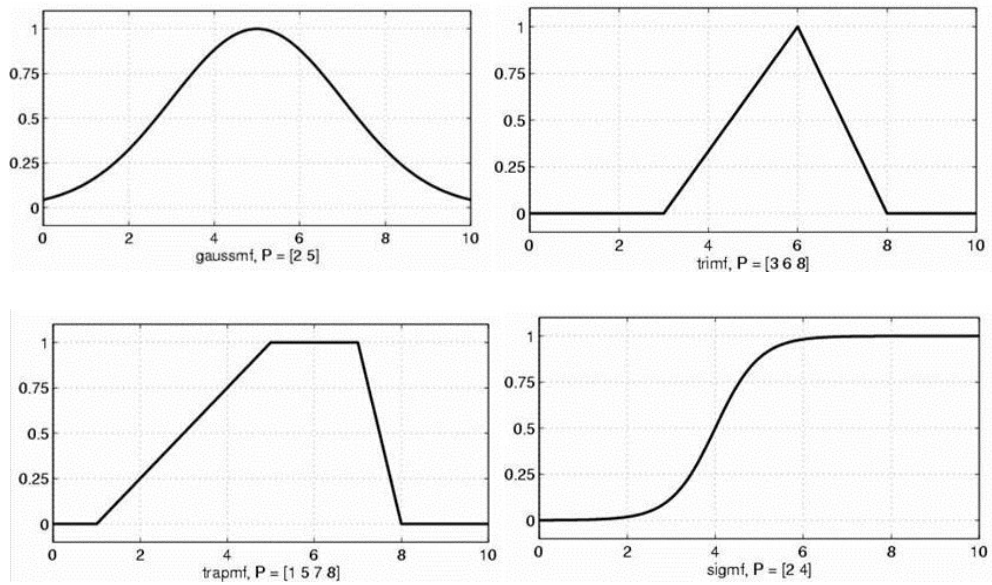
1. Normal olmalıdır; yani bulanık kümenin en az bir elemanı ‘1’ üyelik derecesine sahip olmalıdır.
2. Monoton olmalıdır; yani üyelik dereceleri ‘1’ değerine kadar sürekli artmalı veya ‘1’ üyelik derecesinden sonra sürekli azalmalıdır.

Üyelik fonksiyonlarının simetrik olma koşulu yoktur. Herhangi bir veri setinin en küçük

ve en büyük değerlerine karşılık gelen bulanık alt kümelerin üyelik fonksiyonları üyelik derecesi '1'de bitmelidir. Şekil 5.1'de çeşitli üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

Kural tabanı bulanık çıkarım motoru tarafından işletilirken ilgili bulanık kümelerde çeşitli işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler kurallarda kullanılan sözel işlemciye göre uygulanmaktadır. Genel kural formatındaki “A VE B ise sonuç C’dir” veya “A VEYA B ise sonuç C’dir” gibi kurallarda işlemci “VE” ve “VEYA” kelimeleridir.

“VE” işlemcisinin karşılığı kesişim kümesidir. Bulanık mantık modellerinde ise bulanık çıkarım motorunda bu işlem “en küçükleme” veya çarpım işlemi ile çalıştırılmaktadır. Başka bir deyişle, herhangi bir değerin $A \cap B$ kümesindeki üyelik derecesi, A ve B kümelerindeki üyelik derecelerinin en küçüğü alınarak veya bu üyelik dereceleri çarpılarak bulunabilmektedir. Hangi işlemcinin seçileceği modeli kuran kişinin inisiyatifindedir.



Şekil 5.1 a) Gauss b) Üçgen c)Trapez d) Sigmoid şeklindeki üyelik fonksiyonları

Benzer şekilde “VEYA” işlemcisinin karşılığı ise birleşim kümesidir. Bu işlemci bulanık çıkarım motoru tarafından “en büyükleme” işlemi ile çalıştırılır. Yine, $A \cup B$ kümesi için herhangi bir değerin bu kümedeki üyelik derecesi bulunmak istendiğinde; A kümesindeki ve B kümesindeki üyelik derecelerinden büyük olanı alınır.

Bulanık mantık yönteminde kural tabanı oluşturulurken burada belirtilenler dışında da çeşitli işlemciler kullanmak mümkündür.

5.3 Hesap Yöntemleri

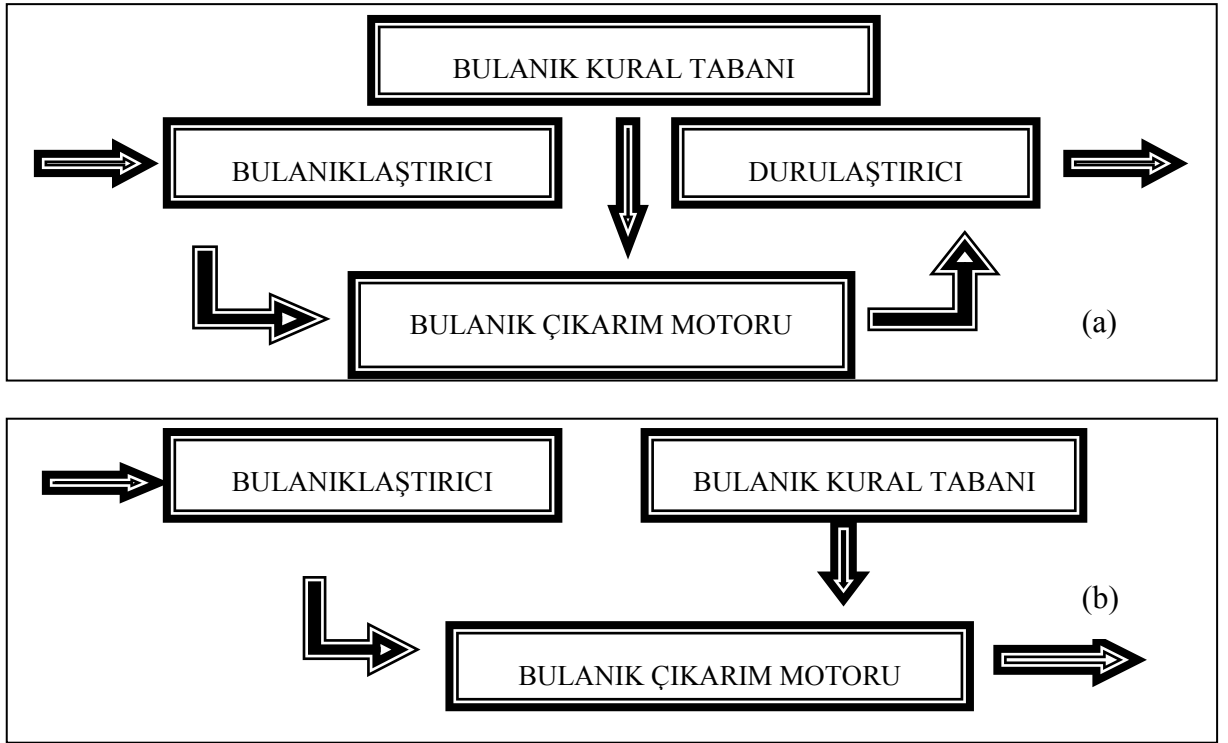
Literatürde pek çok bulanık hesap yöntemi olmakla birlikte, burada en çok bilinen iki yöntem olan Mamdani [70] ve Sugeno [71] yöntemlerinden bahsedilecektir. Mamdani yönteminde elde edilen model sonuçları bulanıktır ve durulaştırma tekniklerinden biri ile durulaştırılması gerekmektedir. Buna karşılık Sugeno yönteminde model sonuçları durulaştırma gerektirmemekte, doğrudan sayısal değerler olarak elde edilmektedir. Bu durum modelin kalibrasyonunda ANFIS gibi optimizasyon tekniklerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. ANFIS, Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems'in (Uyumlu Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Motoru) kısaltmasıdır ve bulanık mantık modelinin kalibrasyonunun yapay sinir ağları yardımı ile yapılmasını sağlayan bir sistemdir.

Çizelge 5.1'de Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin genel bir karşılaştırmasına yer verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi modellenecek sisteme dair sayısal veriler mevcut ise Sugeno yönteminin seçilmesi daha uygundur.

Çizelge 5.1 Mamdani ve Sugeno yöntemlerinin karşılaştırılması

Mamdani Yöntemi	Sugeno Yöntemi
Sezgiseldir	Hesap hızlı ve verimlidir
Yaygın olarak kabul görmüştür	Doğrusal yöntemlerle iyi çalışır (uyumludur)
İnsan düşünce yapısına uygundur	Optimizasyon tekniklerine iyi uyum sağlar (ANFIS kullanılabilir)
Sonuçlar bulanıktır	Sonuç yüzeyi her zaman süreklidir
Durulaştırma gerektirir	Matematiksel analizlere uygundur

Şekil 5.2'de durulaştırmalı (Mamdani) ve durulaştırmaz (Sugeno) bulanık mantık model sistemlerine ait akış şeması gösterilmiştir. Sisteme girilen sayısal veriler önce bulanıklaştırıcı yardımı ile bulanık kümelerle indirgenir, ardından bulanık çıkarım motoru bulanık kural tabanını kullanarak sonuç bulanık kümelerini elde eder ve son olarak durulaştırıcı bulanık sonuç kümelerini sayısal çıktılara dönüştürür. Durulaştırmaz sistemde ise bulanık çıkarım motoru doğrudan sayısal sonuçlar vermektedir.

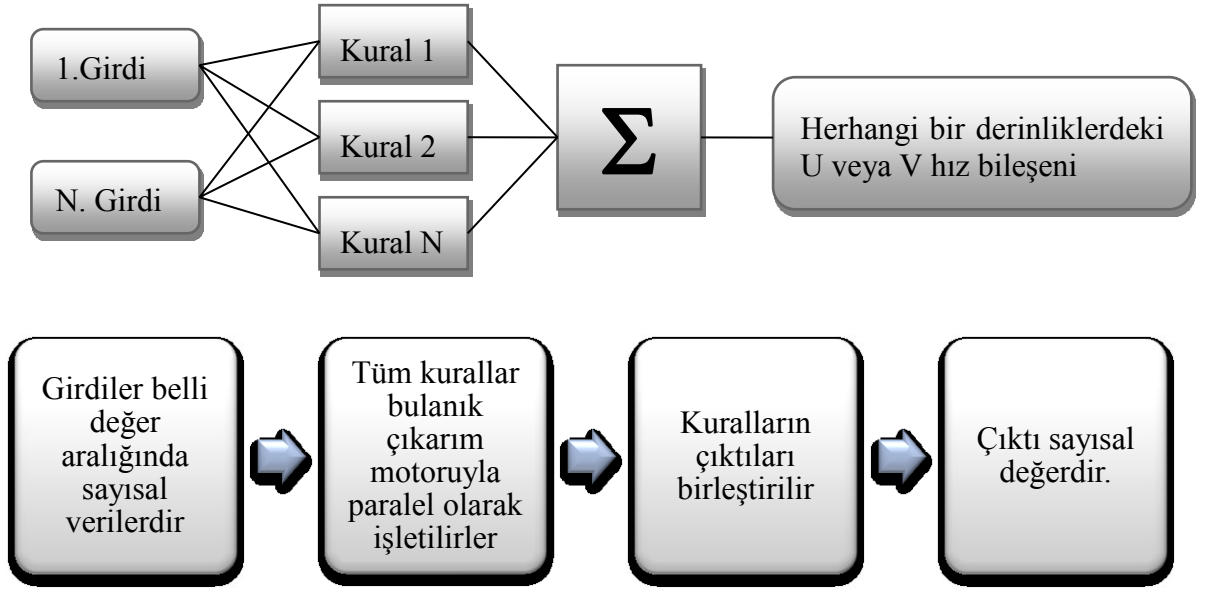


Şekil 5.2 Durulaştırmalı ve durulaştırmaz sisteme ait akış şemaları

5.4 ANFIS ile İstanbul Boğazı'nın Akım Yapısının Modellenmesi

İstanbul Boğazı için doğru bir sayısal model kurulması, Boğaz'ın sahip olduğu karmaşık geometri ve tabakalı akıntı yapısı nedeniyle günümüz teknolojisi ile dahi oldukça zahmetli bir iştir. Bu yüzden bulanık mantık ile modellenmesinin uygun ve hızlı bir alternatif olabileceği düşünülmüştür. Bulanık mantık çözüm yöntemi yukarıda anlatılan özellikleri sebebi ile tek noktada model kurmaya daha uygundur. Bu nedenle modelin amacı bir önceki bölümdekine benzer şekilde İstanbul Boğazı'ndaki seçilen bir konumda çeşitli derinliklerdeki akıntı hızı bileşenlerinin hesaplanması olarak belirlenmiştir.

İstanbul Boğazı akıntı modelini kalibre etmek için gerekli veriler mevcut olduğundan sayısal verilerle daha rahat çalıştığı bilinen Sugeno yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 5.3). Modelde en az sayıda girdi parametresini dikkate alarak en başarılı sonucu elde etmek hedeflenmiştir. Bu girdilerin seçilmesinde Bölüm 3'te verilen istatistiksel değerlendirmeler ile Bölüm 4'te geliştirilen modellerden elde edilen tecrübeden yararlanılmıştır. Sugeno yönteminde model kalibrasyonunda ANFIS tekniğinin kullanılabilecek olması kalibrasyon zamanından tasarruf edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 5.3 İstanbul Boğazı için öngörülen Sugeno tipi bulanık mantık modelinin çalışma şeması

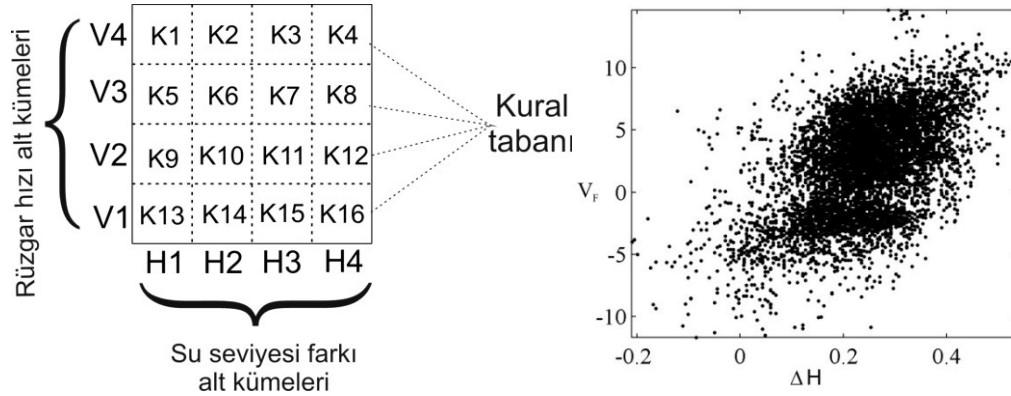
Bulanık mantık modellerinde her çıktı için ayrı bir kural tabanı yazmak gerektiğinden ve bu da pratikte ayrı bir modele eşdeğer olduğundan her çıktı için ayrı bir model kurulmuştur. Yüzey (-1m), ara derinlik (-15m) ve taban (-24m) akıntı U ve V hız bileşenlerini çıktı olarak veren modellerin kurulmasına karar verilmiştir.

Tüm ANFIS modellerinde girdilerin bulanık altkümeleri üçgen üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış, ve çeşitli sayılarda bulanık altkümeler kullanılarak kalibrasyon, kontrol ve test verileri için; R, OKHK, OMH, NOKHK ve NOMH performans değerleri elde edilmiş ve bu değerlerin değişimleri incelenmiştir. Performans değerlerinin matematiksel ifadeleri sırasıyla (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), ve (3.5)'te verilmiştir.

5.4.1 İki Girdili Modeller

İki girdili modellerde her iki girdi verisi için aynı sayıda bulanık altküme kullanılmış ve bulanık altküme sayısı iki ila on arasında birer artırılarak değişik modeller kurulmuştur. Kurallar ağa bölme yöntemi ile oluşturulmuştur. Ağa bölme yönteminde, her girdi verisi kombinasyonu için bir kural tanımlanmaktadır. İki girdili ve her girdi için dört bulanık altkümeleri olan örnek bir sistem için oluşturulan kural tabanı ağı Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Her bir kural eğitim veri setine ait saçılım diyagramında karşılık düştüğü alanlardan otomatik olarak elde edilmiştir. Her model için kural sayısı, her bir girdi değişkeninin bulanık altküme sayılarının çarpımı ile hesaplanabilmektedir. Kuralların hepsinde “VE” operatörü kullanılmış ve “VE” operatörü çarpma işlemi olarak

tanımlanmıştır. Modeller, kural sayılarına göre değerlendirilmiştir. Böylece farklı girdi sayısına sahip modellerin performansları karşılaştırılabilecektir.



Şekil 5.4 Örnek bir kural tabanı ve girdi verilerinin girdi düzlemindeki konumları. Burada K1,... K16, bulanık altkümelerin kesişimlerine atanmış kuralları göstermektedir

5.4.1.1 Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Rüzgâr V Hız Bileşeni (V_F) ile Kurulan Modeller

İki girdili modellere su seviyesi farkı (ΔH) ve rüzgâr V hız bileşenlerini (V_F) kullanan model ile başlanmıştır. Yüzey (-1m), ara derinlik (-15m) ve tabanda (-24m) akıntı U ve V hız bileşenlerinin herbiri için çeşitli modeller kurulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Modellerin tamamında bulanık altkümeler üçgen üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış ve sonuçlar sabit değerler olarak elde edilmiştir. Modellerin tamamı ANFIS yöntemi ile kalibre edilmiş; kalibrasyon, kontrol ve test verileri bir önceki yapay sinir ağları bölümünde elde edilmiş veri setlerinden alınmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de performans değerleri ile özetlenmiştir. Çizelge 5.2’de modellerde kullanılan girdi verilerinin bulanık altküme sayıları değiştirilerek, altküme sayısının, buna bağlı olarak da kural sayısının ve aynı zamanda girdi düzlemi çözünürlüğünün sonuçlar üzerindeki etkisi görülmektedir. Kurulan modellerde girdi düzlemindeki her kesişime her iki girdiyi “VE” işlemi ile bağlayan bir kural atanmıştır.

Çizelge 5.2’den görüldüğü gibi farklı derinliklerde eğilim farklı olmuştur. Yüzey hızları için girdi başına beş bulanık altkümeden (toplam 25 kuraldan) fazlası sonuçlardaki hatayı azaltmamış hatta genellikle arttırmış, -15 ve -24 m derinliklerde ise bulanık altküme sayısının artması ile sonuçlarda çok az iyileşme gözlemlenmiştir. Kontrol veri setindeki hatalar dikkate alındığında, -15m için 25, -24 m için 36 kuraldan daha fazla kural kullanımı sonuçlarda belirgin bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Çizelge 5.2 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H + V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme		R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)						
	Sayısı	Kural Sayısı	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test					
Yüzey (-1m)	2	4	0.906	0.911	0.900	0.247	0.246	0.250	6.18	6.16	6.26	0.197	0.197	0.198	4.93	4.93	4.95
	3	9	0.909	0.913	0.901	0.244	0.244	0.249	6.09	6.10	6.22	0.194	0.195	0.197	4.86	4.88	4.93
	4	16	0.913	0.914	0.906	0.239	0.242	0.243	5.97	6.06	6.08	0.190	0.192	0.193	4.75	4.81	4.82
	5	25	0.911	0.913	0.906	0.241	0.244	0.243	6.02	6.10	6.07	0.191	0.194	0.192	4.78	4.86	4.81
	6	36	0.915	0.909	0.905	0.237	0.248	0.244	5.92	6.21	6.09	0.188	0.193	0.193	4.70	4.84	4.82
	7	49	0.915	0.907	0.907	0.236	0.251	0.242	5.91	6.28	6.05	0.188	0.195	0.192	4.69	4.87	4.80
	8	64	0.915	0.904	0.903	0.236	0.255	0.246	5.89	6.39	6.15	0.187	0.195	0.193	4.67	4.88	4.83
	9	81	0.916	0.914	0.900	0.234	0.242	0.251	5.85	6.06	6.26	0.186	0.192	0.194	4.64	4.81	4.85
	10	100	0.916	0.907	0.898	0.234	0.251	0.253	5.86	6.27	6.34	0.186	0.196	0.195	4.64	4.90	4.89
	Ara Derinlik (-15 m)	2	4	0.852	0.841	0.860	0.231	0.233	0.219	6.99	7.07	6.63	0.169	0.170	0.165	5.12	5.16
3		9	0.857	0.841	0.864	0.227	0.233	0.216	6.89	7.07	6.54	0.164	0.167	0.159	4.98	5.05	4.82
4		16	0.862	0.841	0.868	0.223	0.233	0.213	6.76	7.07	6.45	0.161	0.165	0.156	4.88	5.01	4.74
5		25	0.866	0.843	0.871	0.220	0.232	0.210	6.67	7.03	6.37	0.158	0.163	0.156	4.80	4.95	4.72
6		36	0.869	0.840	0.873	0.218	0.234	0.209	6.61	7.09	6.33	0.157	0.162	0.154	4.75	4.91	4.68
7		49	0.867	0.823	0.874	0.219	0.246	0.208	6.64	7.45	6.32	0.157	0.165	0.153	4.77	4.99	4.65
8		64	0.870	0.841	0.872	0.218	0.234	0.210	6.59	7.08	6.36	0.156	0.163	0.155	4.73	4.93	4.71
9		81	0.874	0.844	0.876	0.214	0.231	0.207	6.50	6.99	6.27	0.154	0.161	0.152	4.66	4.89	4.62
10		100	0.875	0.847	0.874	0.213	0.229	0.209	6.46	6.94	6.32	0.153	0.162	0.154	4.63	4.90	4.67
Taban (-24m)		2	4	0.758	0.749	0.766	0.181	0.184	0.177	9.12	9.26	8.90	0.134	0.134	0.134	6.72	6.74
	3	9	0.774	0.761	0.787	0.176	0.181	0.170	8.86	9.08	8.56	0.129	0.131	0.128	6.48	6.56	6.41
	4	16	0.781	0.759	0.790	0.174	0.181	0.169	8.73	9.11	8.49	0.128	0.131	0.127	6.44	6.59	6.38
	5	25	0.787	0.760	0.789	0.172	0.181	0.170	8.63	9.08	8.52	0.126	0.130	0.128	6.34	6.54	6.42
	6	36	0.788	0.767	0.793	0.171	0.179	0.168	8.60	8.97	8.44	0.126	0.128	0.126	6.33	6.42	6.35
	7	49	0.789	0.747	0.795	0.171	0.186	0.168	8.60	9.33	8.42	0.126	0.130	0.126	6.32	6.53	6.32
	8	64	0.795	0.761	0.797	0.169	0.180	0.167	8.48	9.07	8.38	0.124	0.129	0.126	6.23	6.47	6.32
	9	81	0.797	0.767	0.800	0.168	0.178	0.166	8.45	8.97	8.32	0.123	0.127	0.125	6.20	6.38	6.27
	10	100	0.800	0.769	0.799	0.167	0.178	0.166	8.39	8.94	8.34	0.122	0.128	0.125	6.15	6.43	6.29

Yüzey akıntı V hız bileşeni modelinde en iyi sonucu veren 16 kural sayısına sahip olan model olmuş ve bu modelin kontrol verisindeki R değeri 0.914 ve OKHK değeri 0.242m/s olarak hesaplanmıştır. Bu OKHK değeri normalleştirildiğinde %6'lık bir hataya karşılık gelmektedir.

Ara derinlikte (-15m) kontrol verisine göre en iyi sonucu veren model 100 kurala sahip model olmuştur. Bu model için R değeri 0.847 ve OKHK değeri 0.229 olarak hesaplanmıştır. Bu hata değeri normalleştirildiğinde %7.5'lik bir hataya karşılık gelmektedir.

Tabanda (-24m) ise yine kontrol veri seti için en iyi sonucu veren model 100 kurala sahip olan model olmuştur. Bu model için R değeri 0.769 ve OKHK değeri 0.178 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu hata normalleştirildiğinde hatanın %9 olduğu görülmektedir.

Kontrol veri seti için tüm modeller göz önüne alındığında en iyi ve en kötü sonuçlar arasında oldukça küçük bir fark olduğu görülmektedir. Yüzey ve ara derinlik için en iyi ve en kötü model sonuçlarına ait NOKHK değerleri arasındaki fark %1'in altında iken, tabanda %3 olmuştur.

Model performansının yüzeyden itibaren derinlikle değişimi incelendiğinde ise R değerlerinin azaldığı, bununla birlikte OKHK değerlerinin de azalırken NOKHK değerlerinin ise arttığı görülmektedir. İki girdili bu model kombinasyonunda kullanılan su seviyesi ve rüzgâr hızı girdileri yüzey akıntı hızlarında iyi sonuç verirken derinlikle birlikte model performansında düşme gözlenmiştir. Bu iki girdiden rüzgâr hızının akıntı hızları üzerindeki etki derecesi yüzeyden itibaren derinlikle azalmaktadır. Bu durum R değerlerinin düşmesine ve NOKHK değerlerinin artmasına neden olmaktadır. OKHK değerlerinin derinlikle düşmesi ise akıntı hız değerlerinin derinlikle düşmesi ile açıklanabilir.

Akıntı U hız bileşenlerinin ANFIS modelleri yine yüzey, ara ve taban derinlikleri için kurulmuştur. Sonuçlar Çizelge 5.3'te yüzey, -15m ve -24m derinlikleri için kurulan çeşitli modellerin sonuçlarının performans değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H+V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme		R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)						
	Sayı	Sayı	Kalibr.	Test	Kalibr.	Test	Kalibr.	Test	Kalibr.	Test	Kalibr.	Test					
Yüzey (-1m)	2	4	0.079	0.095	0.114	0.243	0.250	0.227	12.55	12.89	11.71	0.182	0.186	0.168	9.36	9.58	8.66
	3	9	0.098	0.111	0.138	0.243	0.250	0.227	12.53	12.87	11.68	0.181	0.186	0.167	9.32	9.57	8.62
	4	16	0.131	0.145	0.165	0.242	0.249	0.226	12.48	12.81	11.63	0.180	0.185	0.166	9.30	9.53	8.55
	5	25	0.164	0.169	0.160	0.241	0.248	0.226	12.42	12.76	11.63	0.179	0.183	0.166	9.23	9.46	8.58
	6	36	0.200	0.199	0.172	0.239	0.246	0.225	12.33	12.69	11.62	0.178	0.182	0.166	9.18	9.40	8.54
	7	49	0.217	0.102	0.182	0.238	0.265	0.225	12.29	13.64	11.61	0.177	0.185	0.165	9.14	9.55	8.51
	8	64	0.249	0.209	0.197	0.237	0.246	0.225	12.19	12.68	11.60	0.175	0.180	0.165	9.04	9.30	8.48
	9	81	0.252	0.234	0.198	0.236	0.244	0.225	12.18	12.59	11.59	0.175	0.180	0.164	9.01	9.25	8.43
	10	100	0.276	0.263	0.198	0.235	0.242	0.226	12.10	12.50	11.63	0.173	0.178	0.164	8.94	9.19	8.43
	Ara Derinlik (-15 m)	2	4	0.637	0.631	0.657	0.127	0.131	0.120	8.95	9.23	8.48	0.096	0.097	0.090	6.73	6.83
3		9	0.649	0.647	0.670	0.125	0.129	0.119	8.83	9.07	8.36	0.094	0.096	0.089	6.64	6.75	6.26
4		16	0.656	0.651	0.679	0.124	0.128	0.117	8.76	9.03	8.26	0.094	0.095	0.089	6.59	6.71	6.23
5		25	0.665	0.659	0.677	0.123	0.127	0.118	8.67	8.95	8.28	0.093	0.095	0.089	6.57	6.72	6.26
6		36	0.668	0.659	0.686	0.123	0.127	0.116	8.63	8.95	8.19	0.093	0.095	0.088	6.52	6.71	6.18
7		49	0.668	0.661	0.687	0.123	0.127	0.116	8.64	8.93	8.18	0.093	0.095	0.088	6.54	6.69	6.18
8		64	0.673	0.646	0.688	0.122	0.129	0.116	8.59	9.08	8.17	0.092	0.096	0.088	6.50	6.78	6.18
9		81	0.676	0.626	0.680	0.121	0.133	0.117	8.55	9.34	8.25	0.092	0.097	0.089	6.47	6.83	6.24
10		100	0.675	0.661	0.683	0.122	0.127	0.117	8.57	8.93	8.22	0.092	0.095	0.088	6.48	6.70	6.18
Taban (-24m)		2	4	0.446	0.460	0.479	0.088	0.088	0.082	9.00	8.94	8.38	0.063	0.065	0.060	6.48	6.63
	3	9	0.462	0.486	0.499	0.087	0.086	0.081	8.92	8.79	8.27	0.063	0.064	0.059	6.46	6.54	5.99
	4	16	0.467	0.488	0.505	0.087	0.086	0.081	8.89	8.78	8.24	0.063	0.064	0.059	6.44	6.54	5.99
	5	25	0.473	0.490	0.500	0.087	0.086	0.081	8.86	8.77	8.27	0.063	0.064	0.059	6.45	6.54	6.02
	6	36	0.474	0.495	0.502	0.087	0.086	0.081	8.86	8.74	8.26	0.063	0.064	0.059	6.42	6.51	6.01
	7	49	0.479	0.398	0.505	0.087	0.093	0.081	8.83	9.45	8.24	0.063	0.065	0.059	6.39	6.65	6.01
	8	64	0.479	0.482	0.500	0.087	0.086	0.081	8.83	8.81	8.27	0.063	0.064	0.059	6.40	6.57	6.01
	9	81	0.486	0.479	0.508	0.086	0.087	0.081	8.79	8.84	8.23	0.062	0.064	0.059	6.36	6.52	5.99
	10	100	0.498	0.478	0.490	0.086	0.087	0.082	8.72	8.84	8.33	0.062	0.064	0.059	6.34	6.54	6.06

Çizelge 5.3'ten görüldüğü üzere R değerleri kullanılan girdi kombinasyonu (su seviyesi farkı ve rüzgar V hız bileşeni) ile yüzey akıntı U hız bileşeni için kurulan model için 0.3 değerinin altında kalmıştır. Bu sonuç Bölüm 3'te mevcut Çizelge 3.5 dikkate alındığında şaşırtıcı değildir. Çizelge 3.5'ten yüzey akıntı U hız bileşeninin su seviyesi farkı ve rüzgâr V hız bileşenleri ile bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Yüzey için en iyi sonucu veren model 100 kurala sahip model olmuş ve modelin kontrol verisi için R değeri 0.263 ve OKHK değeri 0.242m/s olarak elde edilmiştir. Bu hata yaklaşık %12'lik bir NOKHK değerine karşılık gelmektedir.

Ara derinlikte (-15m) en iyi sonuç 49 kurala sahip model ile elde edilmiş olup bu modelde kontrol verisine ait R değeri 0.661 ve OKHK değeri 0.127 m/s olarak elde edilmiştir. Bu hata değerinin NOKHK olarak karşılığı %9 olmaktadır.

Tabanda (-24m) ise en iyi sonuç 36 kurala sahip modelden elde edilmiştir. Bu modelde kontrol verisi için R değeri 0.495 ve OKHK değeri 0.086 m/s ve NOKHK değeri ise %9 olarak hesaplanmıştır.

Test edilen tüm akıntı U hızı model alternatiflerinde hata miktarı verilmiş olan en iyi hata yüzdesinden %1'den daha az sapma göstermiştir. Buradan görüldüğü gibi kurulan bu modeller için kural sayısının model doğruluğu üzerindeki etkisi düşüktür.

5.4.1.2 Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Rüzgâr U Hız Bileşeni (U_F) ile Kurulan Modeller

Su seviyesi farkı (ΔH) ve rüzgâr V hız bileşeni (V_F) ile kurulan modeller akıntı U hız bileşenleri için çok iyi sonuç vermediğinden akıntı U hız bileşenleri için girdi olarak rüzgâr U hızlarını içeren bir model kurulmuştur. Bu şekilde model sonuçlarının performansında yükselme beklenmektedir. Model performansları; sırası ile yüzey, -15m ve taban akıntı U hız bileşenleri için, Çizelge 5.4'te, performans değerleri ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H+U_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme		R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)	
	Sayısı	Kural Sayısı	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test
Yüzey (-1m)	2	4	0.426	0.464 0.404	0.221 0.223 0.209	11.39 11.49 10.78	0.160 0.160 0.151	8.24 8.27 7.77				
	3	9	0.431	0.464 0.401	0.220 0.223 0.210	11.36 11.49 10.80	0.160 0.161 0.152	8.23 8.28 7.82				
	4	16	0.439	0.465 0.420	0.219 0.223 0.207	11.31 11.48 10.69	0.159 0.160 0.150	8.22 8.25 7.75				
	5	25	0.445	0.465 0.411	0.219 0.223 0.209	11.27 11.47 10.76	0.159 0.160 0.151	8.19 8.27 7.80				
	6	36	0.460	0.483 0.425	0.217 0.220 0.207	11.17 11.34 10.68	0.158 0.158 0.151	8.13 8.16 7.76				
	7	49	0.470	0.483 0.418	0.216 0.220 0.208	11.11 11.34 10.73	0.157 0.158 0.152	8.08 8.15 7.81				
	8	64	0.467	0.251 0.414	0.216 0.291 0.209	11.13 15.02 10.75	0.157 0.166 0.152	8.09 8.58 7.81				
	9	81	0.468	0.476 0.394	0.216 0.221 0.212	11.13 11.39 10.92	0.157 0.159 0.153	8.07 8.21 7.88				
	10	100	0.482	0.476 0.412	0.214 0.221 0.209	11.03 11.39 10.79	0.155 0.159 0.152	8.01 8.22 7.83				
	Ara Derinlik (-15 m)	2	4	0.634	0.628 0.657	0.127 0.131 0.120	8.97 9.26 8.48	0.096 0.097 0.090	6.75 6.85 6.33			
3		9	0.641	0.636 0.665	0.126 0.130 0.119	8.90 9.18 8.41	0.095 0.096 0.089	6.69 6.79 6.25				
4		16	0.657	0.653 0.684	0.124 0.128 0.117	8.75 9.01 8.21	0.094 0.096 0.088	6.62 6.75 6.18				
5		25	0.661	0.642 0.679	0.124 0.129 0.117	8.71 9.12 8.26	0.093 0.096 0.088	6.58 6.79 6.19				
6		36	0.667	0.660 0.698	0.123 0.127 0.114	8.65 8.93 8.06	0.093 0.095 0.086	6.52 6.69 6.08				
7		49	0.672	0.663 0.695	0.122 0.126 0.115	8.59 8.91 8.09	0.092 0.095 0.087	6.48 6.66 6.10				
8		64	0.672	0.264 0.696	0.122 0.306 0.115	8.59 21.57 8.08	0.092 0.103 0.086	6.46 7.23 6.09				
9		81	0.673	0.657 0.689	0.122 0.127 0.116	8.58 8.97 8.16	0.092 0.095 0.087	6.46 6.69 6.10				
10		100	0.679	0.649 0.690	0.121 0.129 0.116	8.52 9.05 8.15	0.091 0.096 0.087	6.40 6.73 6.13				
Taban (-24m)		2	4	0.465	0.463 0.499	0.087 0.087 0.081	8.91 8.92 8.27	0.063 0.065 0.059	6.44 6.65 6.06			
	3	9	0.487	0.497 0.524	0.086 0.086 0.080	8.78 8.73 8.13	0.062 0.063 0.058	6.35 6.45 5.93				
	4	16	0.500	0.506 0.542	0.085 0.085 0.079	8.71 8.67 8.02	0.062 0.064 0.058	6.33 6.49 5.88				
	5	25	0.513	0.501 0.530	0.085 0.085 0.079	8.63 8.71 8.10	0.062 0.064 0.058	6.33 6.50 5.95				
	6	36	0.526	0.518 0.548	0.084 0.084 0.078	8.56 8.61 7.98	0.061 0.063 0.057	6.27 6.43 5.85				
	7	49	0.521	0.516 0.543	0.084 0.084 0.079	8.59 8.62 8.02	0.061 0.063 0.058	6.27 6.40 5.88				
	8	64	0.527	0.492 0.549	0.084 0.086 0.078	8.55 8.78 7.97	0.061 0.063 0.057	6.24 6.47 5.84				
	9	81	0.526	0.506 0.545	0.084 0.085 0.078	8.56 8.68 8.00	0.061 0.063 0.057	6.25 6.45 5.86				
	10	100	0.542	0.495 0.540	0.083 0.086 0.079	8.45 8.74 8.03	0.061 0.063 0.057	6.18 6.47 5.86				

Sonuçlar Çizelge 5.4'ten incelendiğinde; akıntı U hız bileşeninin tahmininde girdi kombinasyonunda rüzgâr V hızı yerine rüzgâr U hızının kullanılmasının model performansını olumlu etkilediği görülmüştür. Beklendiği üzere rüzgâr yüzeyde etkin bir kuvvet olduğundan, yüzey akıntı U hızlarının tahmininde performans artışı daha yüksek olmuştur. OKHK değeri 0.225'ten 0.207 m/s'ye düşmüş, R değeri ise 0.263'ten 0.483'e yükselmiştir. En iyi yüzey U hızını veren model 36 kurala sahip olan model olmuştur. Bu model için NOKHK ise %11 olarak hesaplanmıştır.

Ara derinlikte en iyi sonuç 49 kurala sahip modelden elde edilmiş, kontrol verisi için R değeri 0.663 ve OKHK değeri 0.126m/s olmuştur. NOKHK ise %9 olarak hesaplanmıştır.

Tabanda en iyi sonuç 36 kurala sahip modelden elde edilmiştir. Modelin R değeri 0.518, OKHK değeri 0.084m/s ve NOKHK değeri ise %8.6 olarak hesaplanmıştır.

Yüzey ve ara derinlikte belirgin olmak üzere tüm derinliklerde model sonuçları 64 kurala sahip model dışında kural sayısına bağlı olarak önemli bir değişim göstermemiştir. Çizelge 5.4 incelendiğinde, 64 kurala sahip modellerde (yüzey, ara derinlik ve taban) kontrol verisi için hatalarda ani bir artış dikkati çekmektedir. Hatalardaki bu ani yükseliş yüzey ve ara derinlikte çok belirgin iken tabanda daha düşüktür. Bu durum model optimizasyonu sırasında, girdi düzleminin süreksizliğinden kaynaklanan hatalardan ileri gelmektedir. Bu süreç bölüm sonundaki değerlendirme kısmında detaylı olarak incelenmiştir.

5.4.1.3 Su Seviyesi Farkı (ΔH) ve Atmosfer Basıncı (P_F) ile Kurulan Modeller

Son olarak su seviyesi farkı ve atmosfer basıncını dikkate alan iki girdili modeller kurulmuştur. Su seviyesi farkı boğaz akıntısını etkileyen en önemli parametre iken atmosfer basıncı ise atmosferik olayları ifade eden bir parametredir. Bu iki parametrenin yardımı ile iyi bir model kurulabileceği düşünülmüştür. Modellemeye yine önce akıntı V hız bileşenlerini tahmin eden modellerle başlanmıştır. Sonuçların analizleri Çizelge 5.5'te sırasıyla yüzey, ara derinlik ve taban için verilmiştir. Analizlerde yine performans değerleri her bir modele ait kalibrasyon, kontrol ve test veri setleri için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.5 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H + P_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme Sayısı	Kural Sayısı	R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)						
			Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test					
Yüzey (-1m)	2	4	0.750	0.764	0.755	0.387	0.385	0.375	9.68	9.64	9.36	0.318	0.315	0.306	7.94	7.87	7.66
	3	9	0.758	0.768	0.758	0.382	0.382	0.373	9.55	9.55	9.32	0.315	0.313	0.307	7.88	7.83	7.66
	4	16	0.759	0.769	0.755	0.381	0.381	0.375	9.53	9.54	9.36	0.315	0.314	0.308	7.87	7.85	7.71
	5	25	0.764	0.773	0.763	0.378	0.378	0.369	9.44	9.46	9.23	0.312	0.311	0.304	7.79	7.78	7.60
	6	36	0.763	0.776	0.764	0.378	0.376	0.369	9.45	9.41	9.21	0.312	0.311	0.302	7.80	7.76	7.56
	7	49	0.766	0.698	0.763	0.376	0.445	0.369	9.40	11.13	9.23	0.310	0.315	0.303	7.74	7.87	7.59
	8	64	0.769	0.782	0.766	0.374	0.371	0.367	9.35	9.29	9.19	0.308	0.306	0.301	7.69	7.66	7.52
	9	81	0.770	0.775	0.767	0.373	0.377	0.367	9.33	9.42	9.16	0.307	0.310	0.301	7.67	7.74	7.52
	10	100	0.771	0.781	0.768	0.373	0.372	0.366	9.32	9.31	9.15	0.306	0.307	0.300	7.65	7.67	7.50
	Ara Derinlik (-15 m)	2	4	0.850	0.841	0.861	0.232	0.233	0.218	7.03	7.06	6.61	0.169	0.169	0.162	5.11	5.13
3		9	0.855	0.844	0.866	0.228	0.231	0.214	6.92	6.99	6.49	0.163	0.163	0.157	4.93	4.95	4.75
4		16	0.856	0.845	0.864	0.228	0.230	0.216	6.91	6.98	6.54	0.162	0.164	0.156	4.92	4.96	4.72
5		25	0.860	0.848	0.867	0.225	0.228	0.213	6.81	6.90	6.46	0.161	0.161	0.155	4.86	4.88	4.71
6		36	0.865	0.859	0.876	0.221	0.220	0.207	6.70	6.68	6.26	0.157	0.158	0.150	4.77	4.80	4.55
7		49	0.871	0.868	0.883	0.217	0.214	0.201	6.56	6.47	6.10	0.155	0.155	0.149	4.70	4.68	4.50
8		64	0.870	0.867	0.881	0.218	0.214	0.203	6.59	6.50	6.15	0.156	0.154	0.148	4.72	4.67	4.49
9		81	0.873	0.227	0.884	0.215	1.108	0.201	6.51	33.58	6.08	0.153	0.183	0.148	4.64	5.55	4.49
10		100	0.874	0.867	0.883	0.214	0.214	0.201	6.49	6.48	6.09	0.153	0.154	0.147	4.63	4.66	4.46
Taban (-24m)		2	4	0.750	0.740	0.754	0.184	0.187	0.181	9.25	9.40	9.10	0.135	0.137	0.134	6.77	6.87
	3	9	0.768	0.762	0.779	0.178	0.180	0.173	8.96	9.04	8.71	0.129	0.130	0.128	6.50	6.52	6.45
	4	16	0.771	0.766	0.784	0.177	0.179	0.171	8.90	8.98	8.61	0.129	0.129	0.128	6.48	6.50	6.41
	5	25	0.776	0.774	0.786	0.175	0.176	0.171	8.81	8.84	8.57	0.127	0.128	0.127	6.40	6.44	6.36
	6	36	0.782	0.781	0.797	0.173	0.173	0.167	8.71	8.72	8.38	0.126	0.126	0.125	6.32	6.34	6.27
	7	49	0.790	0.762	0.803	0.171	0.180	0.164	8.57	9.06	8.26	0.124	0.126	0.123	6.25	6.33	6.18
	8	64	0.788	0.788	0.803	0.171	0.171	0.164	8.61	8.61	8.26	0.124	0.125	0.123	6.24	6.28	6.18
	9	81	0.792	0.757	0.809	0.170	0.182	0.162	8.54	9.15	8.15	0.123	0.125	0.121	6.19	6.30	6.10
	10	100	0.794	0.791	0.807	0.169	0.170	0.163	8.50	8.55	8.18	0.122	0.123	0.122	6.15	6.20	6.11

Sonuçlar incelendiğinde yüzey ve ara derinlikte model doğruluğunun kural sayısından önemli ölçüde etkilenmediği görülmektedir. Model sonuçlarında dikkati çeken bir diğer özellik ise yüzeyde 49 kurallı modelde, ara derinlikte 81 kurallı modelde ve tabanda hem 49 hem de 81 kurallı modelde kontrol verisinde hataların büyümüş olmasıdır. Burada her ne kadar “hataların” olarak bahsetsek de OKHK ve R parametrelerinin her ikisinin de tekil hatalardan çok etkilendiği hesaba katıldığında, bir iki veriden kaynaklanma olasılıkları da vardır. Bu durum ayrıca bulanık mantık modellerinin sonuç bölümünde incelenecek ve tartışılacaktır.

Yüzey hızları için kontrol verisinde en yüksek R değeri 0.782 ile 64 kurallı modelde elde edilmiş, modelin OKHK değeri 0.371m/s ve NOKHK değeri %9 olarak hesaplanmıştır.

Ara derinlikte ise en iyi sonuç 0.868 R değeri ile 49 kurala sahip modelden elde edilmiştir. Modelin OKHK değeri 0.214 m/s olmuş ve NOKHK değeri de %7 olarak hesaplanmıştır.

Tabanda en iyi sonuç R değeri 0.791 olan 100 kurala sahip modelden elde edilmiştir. Modelin OKHK değeri kontrol veri seti için 0.170m/s olarak hesaplanmıştır. Bu hata değeri %8.5’lik NOKHK değerine karşılık gelmektedir.

Yine su seviyesi farkı (ΔH) ve atmosfer basıncından (P_F) faydalanılarak ikinci bir set olarak yüzey, ara derinlik ve taban akıntı hızları U bileşenleri modellenmiştir. Aynı yöntem ile model sonuçlarının performans değerleri kalibrasyon, kontrol ve test veri setleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 5.6’da yüzey, ara derinlik ve taban için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı U hız bileşeninin $\Delta H + P_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme		R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)						
	Sayısı	Kural Sayısı	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test					
Yüzey (-1m)	2	4	0.185	0.229	0.190	0.240	0.245	0.224	12.37	12.62	11.57	0.181	0.183	0.167	9.32	9.44	8.60
	3	9	0.231	0.275	0.218	0.238	0.242	0.223	12.25	12.46	11.50	0.178	0.180	0.165	9.18	9.27	8.51
	4	16	0.243	0.299	0.213	0.237	0.240	0.224	12.21	12.36	11.53	0.178	0.179	0.167	9.16	9.23	8.59
	5	25	0.287	0.315	0.280	0.234	0.238	0.219	12.06	12.29	11.31	0.175	0.178	0.164	9.03	9.19	8.45
	6	36	0.306	0.343	0.274	0.232	0.236	0.220	11.98	12.16	11.34	0.174	0.176	0.164	8.97	9.08	8.45
	7	49	0.335	0.299	0.300	0.230	0.243	0.218	11.86	12.50	11.24	0.174	0.177	0.163	8.95	9.11	8.42
	8	64	0.335	0.334	0.291	0.230	0.237	0.219	11.86	12.21	11.28	0.173	0.176	0.164	8.90	9.10	8.44
	9	81	0.376	0.015	0.336	0.226	1.784	0.216	11.67	91.96	11.11	0.171	0.221	0.161	8.79	11.41	8.32
	10	100	0.357	0.391	0.297	0.228	0.231	0.219	11.76	11.92	11.29	0.172	0.174	0.164	8.84	8.98	8.43
	Ara Derinlik (-15 m)	2	4	0.651	0.646	0.662	0.125	0.129	0.120	8.81	9.09	8.43	0.093	0.095	0.088	6.58	6.67
3		9	0.665	0.660	0.680	0.123	0.127	0.117	8.67	8.94	8.25	0.092	0.094	0.087	6.48	6.62	6.13
4		16	0.673	0.666	0.687	0.122	0.126	0.116	8.59	8.87	8.18	0.091	0.093	0.086	6.41	6.54	6.09
5		25	0.683	0.677	0.697	0.120	0.124	0.115	8.48	8.76	8.07	0.091	0.092	0.086	6.37	6.49	6.06
6		36	0.694	0.694	0.705	0.119	0.122	0.113	8.35	8.58	7.99	0.089	0.091	0.085	6.28	6.42	6.00
7		49	0.703	0.693	0.717	0.117	0.122	0.111	8.25	8.57	7.84	0.089	0.090	0.084	6.25	6.37	5.94
8		64	0.708	0.710	0.713	0.116	0.119	0.112	8.20	8.39	7.89	0.088	0.089	0.085	6.20	6.29	5.97
9		81	0.716	0.184	0.717	0.115	0.362	0.111	8.10	25.49	7.84	0.088	0.099	0.084	6.16	6.99	5.94
10		100	0.711	0.705	0.715	0.116	0.120	0.112	8.16	8.44	7.87	0.088	0.090	0.085	6.17	6.35	5.98
Taban (-24m)		2	4	0.493	0.5328	0.515	0.086	0.083	0.080	8.75	8.52	8.18	0.062	0.062	0.059	6.34	6.34
	3	9	0.529	0.5844	0.530	0.084	0.080	0.079	8.53	8.16	8.10	0.060	0.058	0.057	6.12	5.94	5.83
	4	16	0.528	0.5761	0.533	0.084	0.081	0.079	8.54	8.22	8.08	0.060	0.059	0.057	6.14	6.04	5.83
	5	25	0.537	0.5922	0.543	0.083	0.079	0.079	8.49	8.10	8.01	0.060	0.058	0.057	6.08	5.92	5.77
	6	36	0.542	0.5934	0.537	0.083	0.079	0.079	8.46	8.10	8.05	0.059	0.058	0.057	6.06	5.90	5.79
	7	49	0.552	0.5097	0.559	0.082	0.087	0.078	8.39	8.85	7.91	0.059	0.059	0.056	6.06	6.02	5.75
	8	64	0.550	0.5687	0.543	0.082	0.081	0.079	8.40	8.29	8.01	0.059	0.058	0.056	6.02	5.93	5.76
	9	81	0.553	0.0705	0.553	0.082	0.564	0.078	8.38	57.56	7.95	0.059	0.073	0.056	6.01	7.47	5.75
	10	100	0.574	0.5927	0.559	0.081	0.079	0.078	8.24	8.10	7.92	0.058	0.058	0.057	5.94	5.89	5.78

Tüm derinliklerde kurulan modeller için 81 kurallı modellerde kontrol verisindeki OKHK değerlerinin kurulmuş olan diğer modellere göre aşırı yüksek olduğu görülmektedir. Benzer olgu aynı girdilerle akıntı V hızı bileşenlerinin tahmininde ara derinlik ve taban modellerinde de görülmüştü. Bunların değerlendirmesi ile yapılan tahmin; bu oluşumun girdi verilerinin 9'ar bulanık altkümeyle ayrılmasının kontrol verisinde diğer veri setlerinde olmayan bazı veri kombinasyonları meydana getirdiği doğrultusundadır. Bu durum bulanık mantık modellerinin sonuçları bölümünde incelenecektir.

Yüzey modellerinde en iyi sonuç 100 kurala sahip modelden elde edilmiş, kontrol verisine göre modelin R değeri 0.391 ve OKHK değeri ise 0.231m/s olarak hesaplanmıştır. Bu OKHK değeri %12'lik NOKHK değerine karşılık gelmektedir.

Ara derinlikte en iyi sonuç 64 kurallı modelden elde edilmiş olup bu modelin kontrol veri seti için R değeri 0.710, OKHK değeri 0.119m/s ve NOKHK değeri de %8 olarak hesaplanmıştır.

Taban akıntı U hız bileşeni için ise, en iyi sonuç 25 kurallı modelden elde edilmiş olup, bu modelin kontrol veri seti için R değeri 0.592, OKHK değeri 0.079m/s ve NOKHK değeri de %8 olarak hesaplanmıştır.

Bu girdi kombinasyonu için, yüzey akıntı U hızlarını tahmin eden modeller hariç, model performansının, kural sayısından bağımsız olduğu görülmektedir. Yüzey modellerinde her ne kadar OKHK değeri tüm modeller için yaklaşık aynı olsa da R değerinin değiştiği Çizelge 5.6'dan görülmektedir.

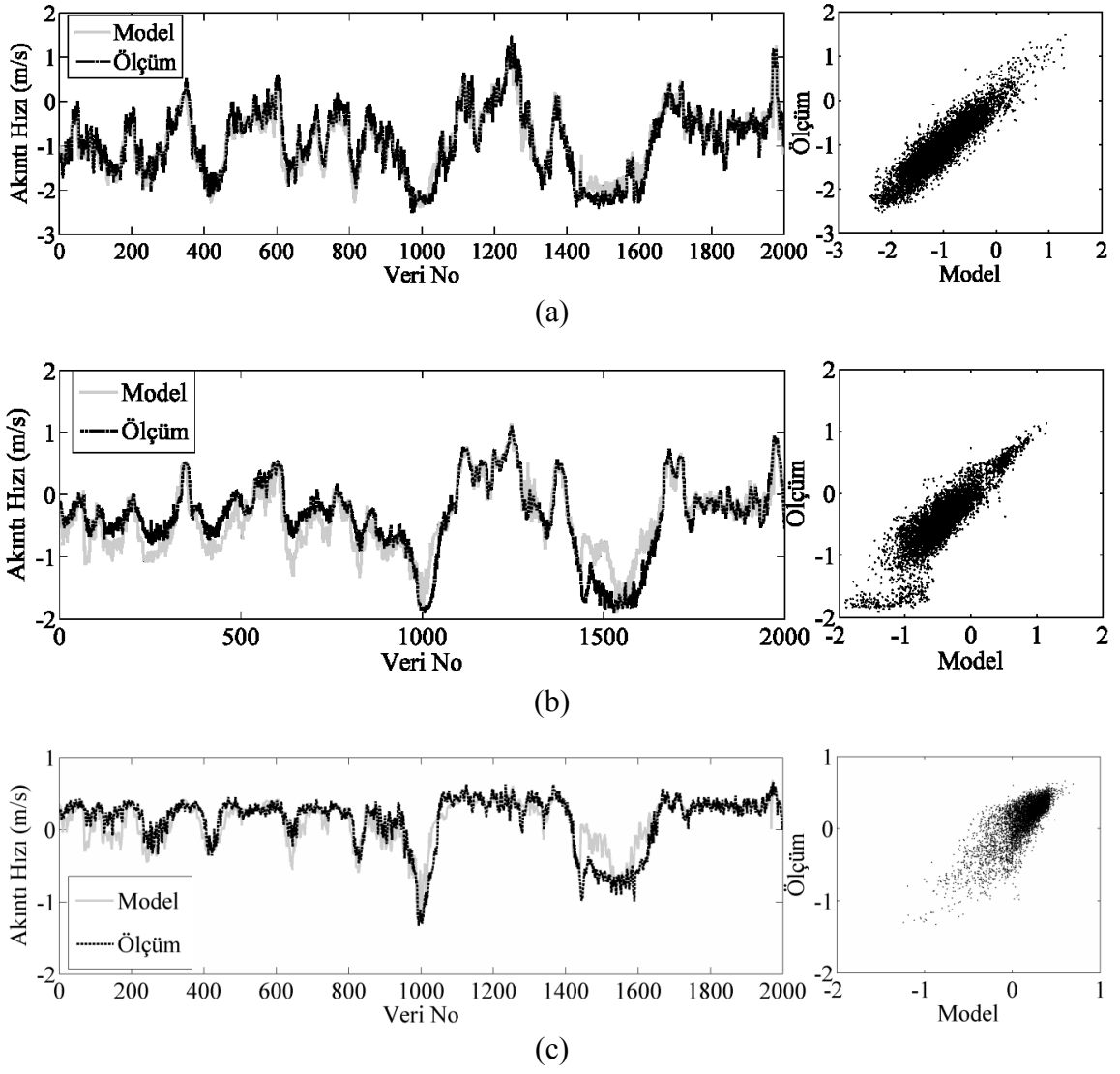
5.4.1.4 İki Girdili ANFIS Modellerinin Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi

İki girdiye sahip modeller akıntı hız bileşenlerinin tahmininde oldukça iyi bir başarı göstermişlerdir. Her bir akıntı hızı bileşeni için en iyi performans gösteren model, performans değerleri ile birlikte Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. Bu çizelgede gösterilen tüm performans değerleri kontrol veri setine aittir.

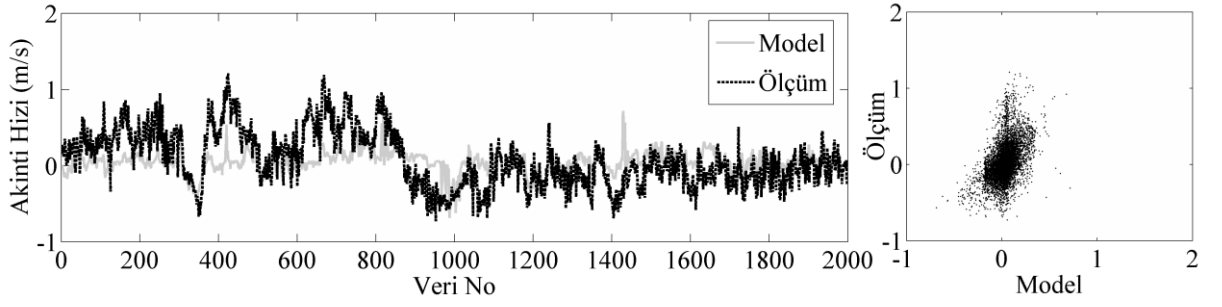
Çizelge 5.7 Her derinlik için en iyi model ve modellerin performans değerleri

Modellenen Parametre	Model Girdileri	Kural Sayısı	R	OKHK (m/s)	NOKHK (%)	OMH (m/s)	NOMH (%)
Yüzey V	$\Delta H + V_F$	16	0.914	0.242	6.1	0.192	4.8
-15m V	$\Delta H + P_F$	49	0.868	0.214	6.5	0.155	4.7
-24m V	$\Delta H + P_F$	100	0.791	0.170	8.6	0.123	6.2
Yüzey U	$\Delta H + U_F$	36	0.483	0.220	11.3	0.158	8.2
-15m U	$\Delta H + P_F$	64	0.710	0.119	8.4	0.089	6.3
-24m U	$\Delta H + P_F$	36	0.593	0.079	8.1	0.058	5.9

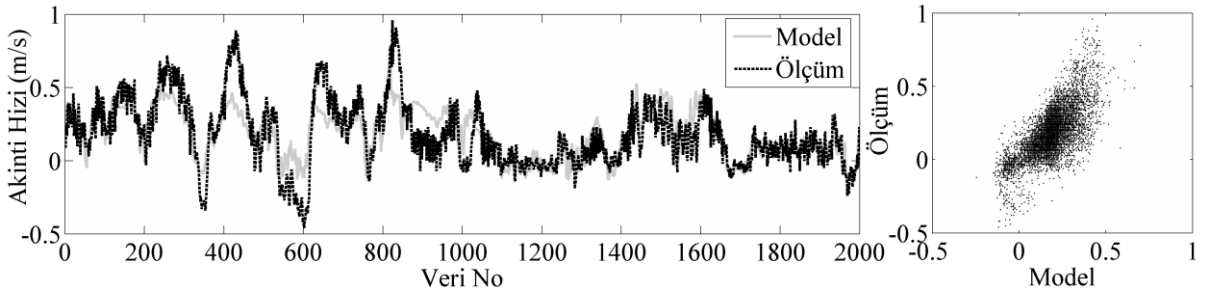
Çizelge 5.7’den görüldüğü gibi modeller sadece iki parametreye bağlı olmalarına rağmen sonuçlar tatmin edicidir. Ayrıca yine çizelgeden; su seviyesi farkı ve rüzgâr hızlarını içeren modeller, rüzgâr hızı ile aynı doğrultudaki yüzey akıntı hızı bileşenlerinin modellenmesinde en iyi sonucu vermişken, ara derinlik ve taban yakınında ise atmosfer basıncı ve su seviyesi farkı ile kurulan modellerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 5.7’de seçilen modellerin sonuçlarından oluşturulan ilk 2000 saatlik zaman serisi ile, verilerin tamamından elde edilen saçılım diyagramları Şekil 5.5a,b,c,d,e,f’de sırası ile yüzey, ara derinlik ve taban akıntı U ve V hız bileşenleri için gösterilmiştir.



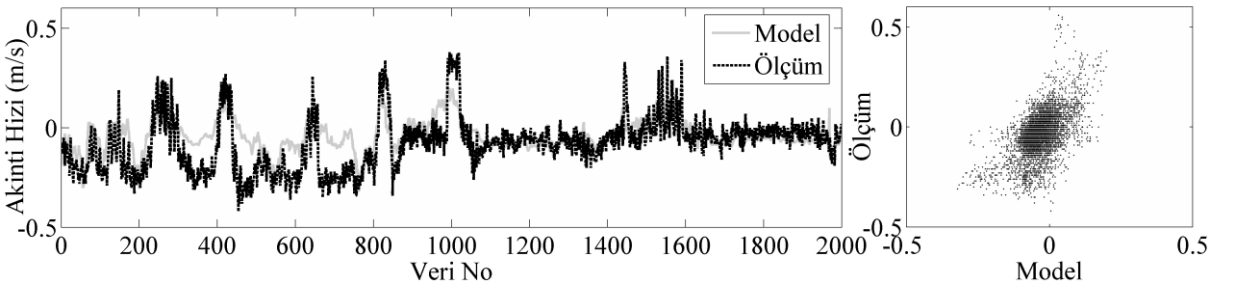
Şekil 5.5 Akıntı hızı modellerinin zaman serileri ve saçılım diyagramları a) Yüzey V b) Ara derinlik (-15m) V c) Taban (-24m) V d) Yüzey U e) -15m U f) -24m U



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.5 Akıntı hızı modellerinin zaman serileri ve saçılım diyagramları a) Yüzey V b) Ara derinlik (-15m) V c) Taban (-24m) V d) Yüzey U e) -15m U f) -24m U devamı

Şekil 5.5 dikkate alındığında; ana akım doğrultusundaki akıntı V hız bileşenlerinin tahmininde model sonuçları ile ölçüm verileri arasındaki uyumun çok iyi olduğu görülürken, akıntı U hız bileşenlerinin tahmininde model biraz daha düşük bir başarı yakalamıştır. Bu durum akıntı U hızının doğrultusunun, Boğaz'ın ölçüm yapılan kesitinde kanalın geometrik doğrultusuna dik olmasından kaynaklanmaktadır. Boğaz'ın bu kesitinde ölçülen akıntı hızlarının daha çok batimetrik etkiler ve/veya ikincil akımlar nedeni ile oluştuğu düşünülmektedir. Bu etkiler bulanık mantık modelinde tariflenemediğinden modellerin başarıları akıntı U hızı bileşenleri için düşük olmuştur.

5.4.2 Üç Girdili Modeller

İki girdili modellerin performanslarının ölçülmesinin ardından girdi sayısının üçe çıkarılmasının model performansına etkisi araştırılmıştır. Girdi sayısının ikiden üçe yükseltilmesi girdi düzlemini girdi uzayına dönüştürmüş ve bu girdi uzayında oluşturulabilecek kural sayısı, girdilerin bulanık altküme sayılarının çarpımına eşit olduğundan ve her girdi için eşit sayıda bulanık altküme kullanıldığından, girdiler için kullanılan bulanık altküme sayısının karesinden, küpüne yükselmiştir. Kural sayısını iki girdili modellerle kıyaslanabilir ölçüde tutmak amacıyla, her bir girdi değişkeni için en fazla beş bulanık altküme kullanılmış, böylece oluşturulan kural sayısı 125 ile sınırlandırılmıştır.

5.4.2.1 Su Seviyesi Farkı (ΔH), Basınç (P_F) ve Rüzgâr V Hız Bileşeni (V_F) ile Akıntı V Hız Bileşeni Tahmini

Üç girdili modellere su seviyesi farkı, basınç ve rüzgâr V hız bileşenini girdi alan modeller ile başlanmıştır. Tabanda ve ara derinlikte en iyi sonucu veren su seviyesi farkı ve basınç modeli ile yüzeyde en iyi sonucu vermiş olan su seviyesi farkı ve rüzgâr V hız bileşeni modellerinin girdilerinin bir arada kullanılması sonucu model çıktılarında iyileşme yakalanması hedeflenmiştir. Modellerde çıktı olarak yüzeyde, ara derinlikte ve tabandaki akıntı V hızı bileşenleri seçilmiştir. Modellerin performans değerleri Çizelge 5.8’de görülmektedir.

Yüzey modellerinde kontrol verisi için en iyi sonuçlar 64 kurallı modelden elde edilmiştir. Modelin R değeri 0.916 ve OKHK değeri ise 0.239m/s olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç en başarılı iki girdili modelden ($R=0.914$ ve $OKHK=0.242$ m/s) küçük bir miktar daha iyidir.

-15m derinlikte kurulan model için en iyi sonuç $R=0.866$ ve $OKHK=0.215$ m/s ile 125 kurallı modelden elde edilmiştir. Model bu derinlik için, en başarılı iki girdili model olan 49 kurallı su seviyesi farkı (ΔH) ve atmosfer basıncı (P_F) modelinin ($R=0.868$ ve $OKHK = 0.214$ m/s) performans açısından az bir miktar gerisinde kalmıştır.

Tabanda en iyi performans 125 kurallı modelden elde edilmiştir. Modelin R değeri 0.791 değerini alırken OKHK değeri 0.170m/s olarak hesaplanmıştır. Bu performans değerleri ile model, en iyi iki girdili model olan 100 kurallı ΔH ve P_F modeli ile eşit performans yakalamıştır.

Çizelge 5.8 -1, -15 ve -24m derinliklerdeki akıntı V hız bileşeninin $\Delta H + P_F + V_F$ girdi kombinasyonlu modellerdeki performans değerleri

	Altküme Kural Sayısı	R		OKHK (m/s)		NOKHK (%)		OMH (m/s)		NOMH (%)							
	Sayısı	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test	Kalibr.	Kontrol Test						
Yüzey (-1m)	2	8	0.908	0.912	0.902	0.24	0.25	0.25	6.116	6.135	6.195	0.195	0.196	0.194	4.87	4.90	4.85
	3	27	0.913	0.915	0.903	0.24	0.24	0.25	5.965	6.010	6.139	0.190	0.193	0.193	4.75	4.82	4.83
	4	64	0.918	0.916	0.909	0.23	0.24	0.24	5.797	5.985	5.984	0.184	0.189	0.188	4.61	4.73	4.69
	5	125	0.919	0.910	0.909	0.23	0.25	0.24	5.754	6.174	5.961	0.182	0.190	0.187	4.56	4.75	4.68
Ara Derinlik (-15 m)	2	8	0.866	0.849	0.866	0.22	0.23	0.21	6.682	6.883	6.507	0.162	0.164	0.161	4.92	4.96	4.87
	3	27	0.875	0.859	0.870	0.21	0.22	0.21	6.466	6.668	6.421	0.154	0.155	0.153	4.66	4.70	4.63
	4	64	0.882	0.864	0.882	0.21	0.22	0.20	6.284	6.587	6.121	0.151	0.155	0.149	4.56	4.69	4.51
	5	125	0.892	0.866	0.885	0.20	0.21	0.20	6.045	6.512	6.039	0.145	0.151	0.147	4.39	4.57	4.46
Taban (-24m)	2	8	0.786	0.776	0.784	0.17	0.18	0.17	8.637	8.814	8.609	0.126	0.128	0.128	6.34	6.42	6.42
	3	27	0.796	0.782	0.795	0.17	0.17	0.17	8.460	8.712	8.414	0.123	0.126	0.125	6.20	6.33	6.26
	4	64	0.807	0.784	0.803	0.16	0.17	0.16	8.258	8.681	8.264	0.122	0.126	0.124	6.11	6.31	6.23
	5	125	0.821	0.791	0.811	0.16	0.17	0.16	7.992	8.551	8.114	0.117	0.124	0.122	5.89	6.21	6.13

Tüm derinlikler için sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, model girdi sayısını ikiden üçe çıkarmanın model performansı üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir mertebede olduğu görülmektedir. Burada gösterilmiş olan $\Delta H + P_F + V_F$ girdili model haricinde de farklı kombinasyonda ($HE + HD + VF$, $DH + VF + UF$) modeller kurulmuş ancak hiçbirisi iki girdili modellerin üzerinde bir başarı sergileyememişlerdir. Bu nedenle üç girdili modellerin denemelerine son verilmiştir. Daha fazla girdi durumunda modeller çok karmaşıkleştığından ve eğitilmeleri çok fazla zaman ve hafıza gerektirdiğinden kurulmamışlardır.

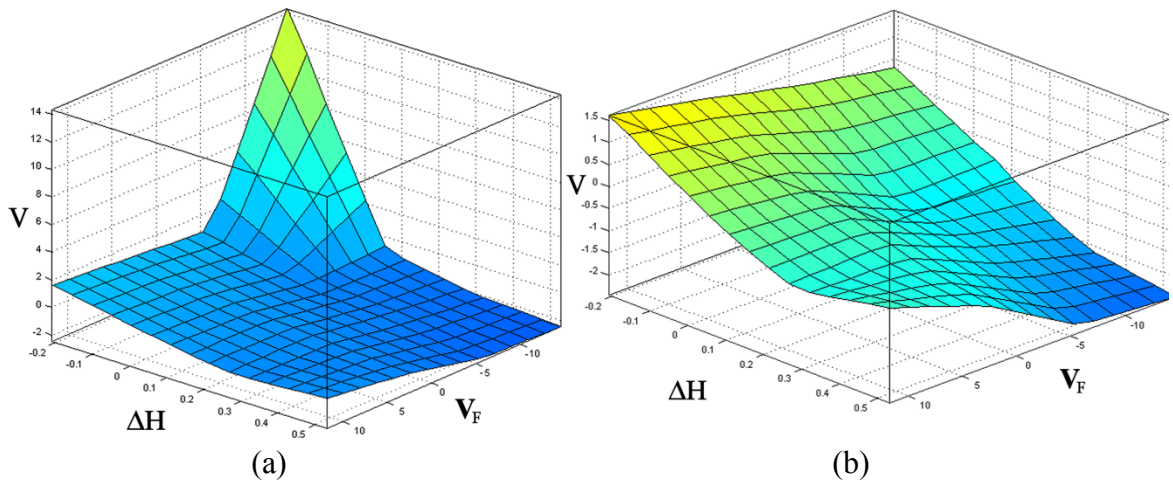
5.5 Sonuç, Karşılaştırma ve Öneriler

Karmaşık problemlere hızlı çözümler üretebilen bir yöntem olarak ANFIS yönteminin kullanılması ile, İstanbul Boğazı'ndaki akıntı profillerinin tahmininde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sadece iki girdinin kullanılması durumunda bile model sonuçları doğayla oldukça iyi bir uyum sergilemiştir.

Ancak her aracın kullanımında olduğu gibi ANFIS yönteminin kullanılmasında da oluşturulmuş olan modelin uygunluğunun uzman tarafından kontrol edilmesi şarttır. Şunu unutmamak gerekir ki; ANFIS ile yapılan iş bulanık mantık kuralları çerçevesinde girdiler ile çıktılar arasındaki üyelik fonksiyonları ve kurallar dizisinin, yapay sinir ağları kullanılarak optimizasyonu ile en uygun modelin elde edilmeye çalışılmasıdır. Bu bölümde modellerin üretilmesinde girdi uzayının veya düzleminin ağa bölme yöntemi ile parçalanarak her bir parçaya bir kural atanması yoluna gidilmiştir. Bu yöntem belli avantajları ve dezavantajları birlikte getirmektedir. En büyük avantaj; üretilen modeldeki girdilerin her birinin üyelik fonksiyonlarının sayısı, yaklaşık büyüklükleri ve dağılımının önceden model kurucu tarafından belirlenmesidir. Bu yöntem ile sonuç yüzeyi veya uzayı sürekli olmaktadır. Bu durum avantaj gibi görülmesine karşılık kendi içinde dezavantaj barındırmaktadır. Nedeni ise model girdi düzleminin veya uzayının sürekli olmama olasılığıdır. Örnek olarak modelde kullanılan girdilerden rüzgar V hızı ve su seviyesi farkına ait girdi düzlemi Şekil 5.4'te verilmişti. Bu şekilde dikkat çeken bir durum, düzlemdeki veri yoğunluğunun homojen olmamasıdır. Veriler belli bölgelerde yoğun iken belli bölgelerde veri sayısı çok azdır ve bazı bölgelerde hiç veri yoktur. Ancak, ağa bölme yöntemi istisnasız belli aralıklarla tüm girdi uzayını ağa böldüğünden, bazı ağ parçalarına hiç veri düşmeme veya en azından eğitim verisi düşmeme olasılığı ortaya çıkmaktadır. Eğitim verisinin bulunmadığı hücrelerde, en

kritik noktalar veriye komşu olan hücrelerdir. Çünkü ağa bölmede kullanılan ağların sınırları keskin değil, bulanık mantık kuralları çerçevesinde bulanıktır. Optimizasyon düşük üyelik derecesine sahip bir hücredeki değeri az bir miktar değiştirmek için böyle bir kurala büyük değerler atamak zorunda kalabilmektedir. O kuralın üyelik derecesinin yüksek olduğu hücrede de herhangi bir eğitim verisi olmadığından, kural uygun olmayacak büyüklüklerde değerler alabilmektedir. Bu durumun kontrol edilmesi ve böyle bir durum oluşmuş ise modeli kullanıma geçirmeden önce düzeltilmesi, modelin başka veriler ile çalışırken mantıklı sonuçlar vermesi açısından önemlidir.

Örnek bir durum yüzey akıntı V hız bileşenini tahmin eden su seviyesi farkını (ΔH) ve rüzgâr V hız bileşenini (V_F) kullanan 16 kurallı modelde görülmektedir. Şekil 5.6 modelin sonuç yüzeyini göstermektedir.



Şekil 5.6 $\Delta H+V_F$ girdisi ile yüzey akıntı hızını elde eden 16 kurallı model için ANFIS sonuç yüzeyi (a) ve düzeltilmiş sonuç yüzeyi (b)

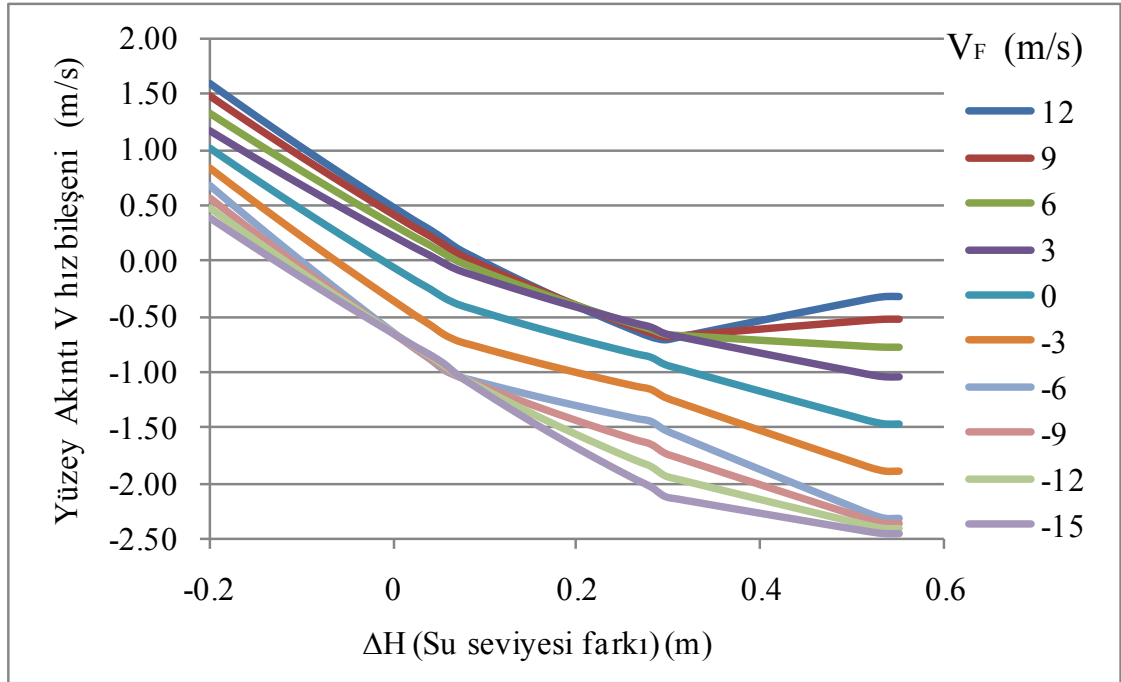
Şekil 5.6a'dan görüldüğü gibi modelin sonuç yüzeyinde bir noktada yüzey uygun olmayan bir şekilde bükülmüş ve sonuç akıntı hızı o nokta için 14m/s değerine ulaşmıştır. Kural tabanına bakıldığında ise kuralın akıntı hızını o girdi kombinasyonu için 14.32 m/s olarak hesapladığı görülmektedir. Bu hatanın giderilmesi, o kuralın silinmesi ile veya kuralın öngördüğü değeri mantıklı bir değer ile değiştirmekle mümkün olabilecektir. Kuralın 14.32 m/s olan akıntı hızı değeri uzman tarafından 0.4 m/s olarak değiştirildiğinde Şekil 5.6b'deki düzeltilmiş sonuç yüzeyi elde edilmektedir.

Ayrıca bu düzeltme ile modelin kontrol veri setindeki R değeri 0.914'ten 0.915'e yükselirken OKHK değeri de 0.242 m/s'den 0.241 m/s'ye düşmektedir. Benzer durumun kurulmuş olan çoğu modelde olduğu ve kural sayısı arttıkça her bir olaydaki

uygunsuz deęer sayısının arttıęı dūřūnūlebilir. Ve tabi kural sayısı arttıķa bu tūr hataların gūrūlmesi ve dūzeltilmesi daha zor olacak ve daha uzun zaman alacaktır. Girdi sayısının ikiye geētięi durumlarda ise sonuē yūzeyi sōz konusu olmayacaęından hataların fark edilmesi her bir kuralın tek tek incelenmesi ile mūmkūn olacaktır.

Bu sebeplerle ANFIS her ne kadar gūēlū bir araē olsa da bilinēli ve uzman kiřiler tarafından kullanılması, sonuēlarının doęruluęunun ve modellerin geēerlilik bōlgelerinin iyi deęerlendirilmesi gerekmektedir.

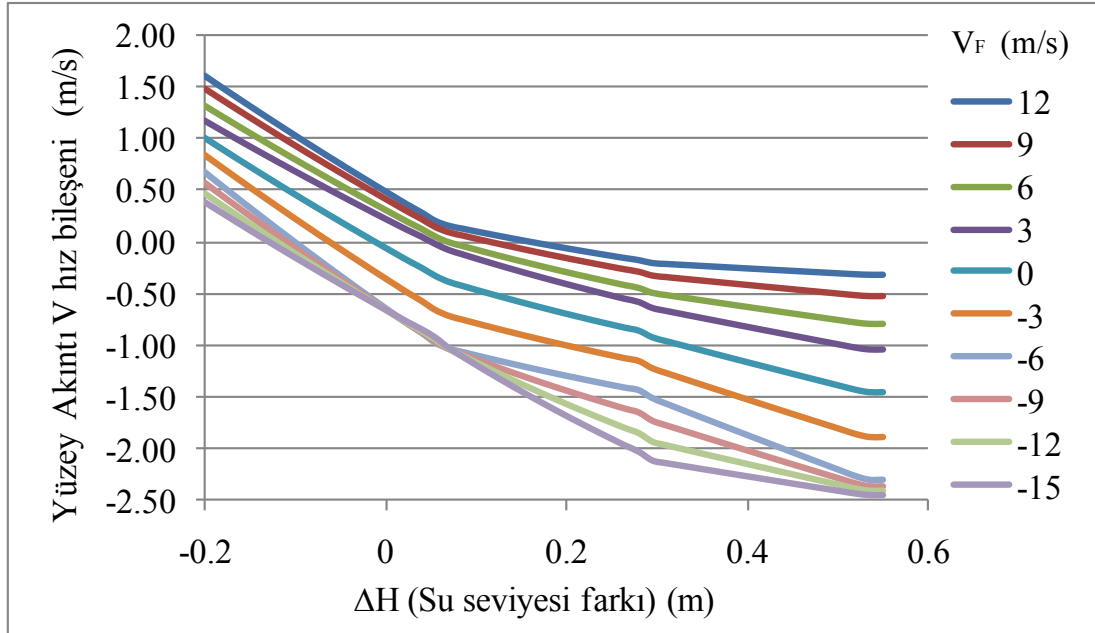
Modeli kontrol etmek iēin model girdilerine baęlı sonuē grafikleri ēizmek de mūmkūndūr. Yukarıda dūzeltilmiř olan model kullanılarak farklı V_F deęerleri iēin ΔH 'a karřılık yūzey akıntı V hız bileřeni deęerleri řekil 5.7'de gōsterilmiřtir.



řekil 5.7 Dūzeltilmiř modelden elde edilen farklı V_F deęerleri iēin ΔH 'a karřılık yūzey akıntı V hız bileřeni deęerleri

řekilde V_F 'nin 9 ve 12 m/s deęerleri iēin ΔH 'ın 0.3m deęerini aldıęı noktada bir minimum yaptıęı gūrūlmektedir. Hız deęerlerindeki bu dūřme ve tekrar yūkselme ēok mantıklı gūrūlmedięinden bu noktaya mūdahale edilmiř ve ANFIS tarafından tanımlanmıř olan kural deęiřtirilmiř ve ANFIS'ten elde edilen -0.73m/s'lik hız deęeri -0.2m/s olarak deęiřtirilmiřtir. Bu deęiřiklik modelin performans deęerlerini arttırmıř, OKHK deęeri 0.241m/s'den 0.240m/s deęerine dūřmūřtūr. Performanstaki bu iyileřme

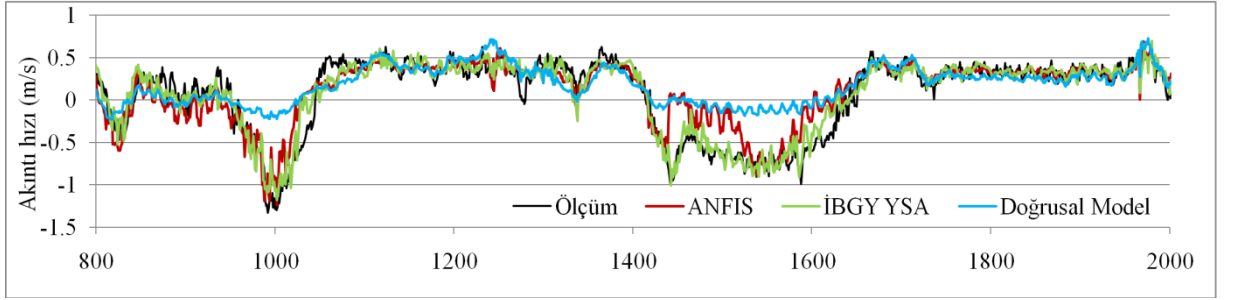
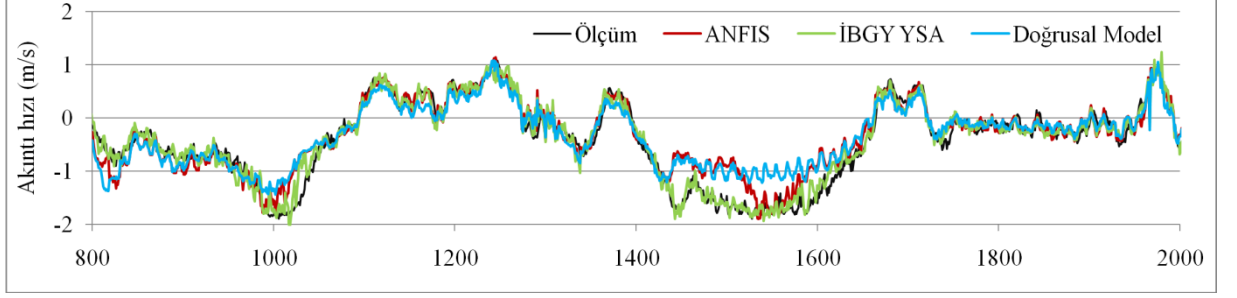
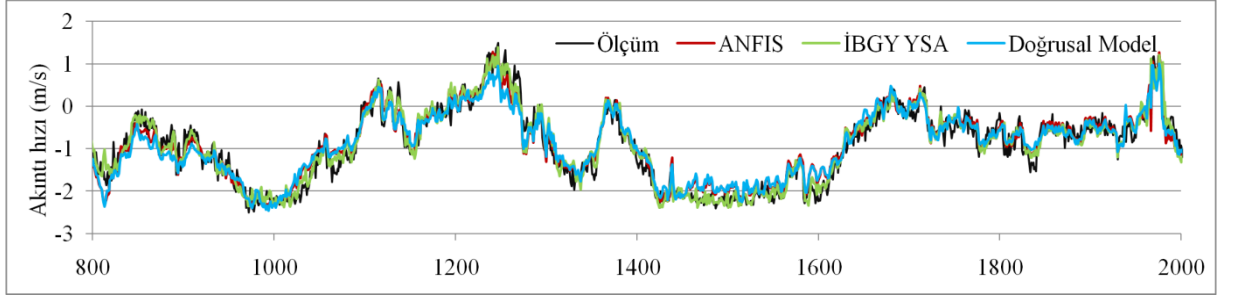
yapılan değişikliğin doğayla uyumlu bir değişiklik olduğunu gösterdiğinden bu değişiklikler modele kalıcı olarak aktarılmıştır. Bu değişiklik sonucunda ise Şekil 5.7’de çizilmiş olan grafik Şekil 5.8’deki şekle dönüşmüştür.



Şekil 5.8 Tekrar düzeltilmiş modelden elde edilen farklı V_F değerleri için ΔH 'a karşılık yüzey akıntı V hız bileşeni değerleri

Bu uygulamadan görülmektedir ki ANFIS yönteminin her zaman en iyi model parametrelerini bulacağı garanti değildir. Bir uzman tarafından modelin incelenmesi ve düzeltilmesi ile modelin iyileştirilmesi mümkündür.

ANFIS modellerinden elde edilen sonuçlar, -1m, -15m ve -24m derinlikler için İBGY YSA model sonuçları, doğrusal model sonuçları ve ölçümler ile bir arada Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her üç model de akıntı hızlarının tahminini çok yüksek bir başarı ile gerçekleştirmiştir. Yüzeyde her üç modelin performansları arasında gözle görülür bir fark yok iken -15m ve -24m derinliklerde bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Ölçümlerle en uyumlu sonuçları YSA modeli verirken ANFIS modeli hızın yüksek olduğu bir dönemdeki hızları daha düşük tahmin etmiştir. Doğrusal model ise veri setindeki iki ayrı dönemde ölçülmüş yüksek hız değerlerini daha düşük hesaplamıştır.



Şekil 5.9 -1, -15 ve -24m derinlikler için ANFIS, İBGY YSA ve Doğrusal model sonuçları ile ölçüm verilerinin bir arada değerlendirilmesi

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul Boğazı akıntı yapısı ile ilgili önceki çalışmalar değerlendirilmiş, Marmaray projesi kapsamında yapılmış olan ölçümler değerlendirilerek ve Boğaz'da belli bir konumda çeşitli derinliklerde anlık akıntı hız değerlerinin tahmini için hızlı çalışan çeşitli model alternatifleri ortaya konmuş ve bunların performansları karşılaştırılmıştır.

6.1 Sonuçlar ve Değerlendirmeler

1. Boğaz'da akıntı hızları üzerinde en etkili parametre su seviyesi farkıdır. İkinci en etkili parametre rüzgâr hızı V bileşeni, hemen arkasından atmosfer basıncı ve sonrasında su seviyeleridir.
2. Marmara Denizi su seviyesi büyük oranda atmosfer basıncına bağlı olarak değişim gösterirken Karadeniz su seviyesi daha çok hidrolojik olaylara bağlıdır.
3. Doğrusal korelasyon modelleri yüzeyden ilk 15 metre derinlikte, -5m hariç, iyi sonuçlar verirken derinlikle birlikte hatalarda artmalar olmuş ve girdi – çıktı ilişkisinin doğrusaldan uzaklaştığı görülmüştür.
4. Doğrusal modellerin OKHK değerleri -1, -5, -10, -15, -20 ve -24m derinlikler için sırası ile 0.253, 0.299, 0.239, 0.229, 0.227, 0.207 m/s değerlerini almıştır.
5. İBGY YSA modelleri ile tabakalı akımların söz konusu olduğu boğazlarda seçilen bir konumdaki her derinlikteki vektörel akıntı hız bileşenlerinin çok yüksek doğrulukta, gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesi mümkündür. İBGY YSA modelleri doğrusal modellerde iyi sonuç vermeyen -5, -20 ve -24m derinliklerinde de çok daha iyi sonuçlar vermiştir.
6. YSA modellerinin V hız bileşeni için OKHK değerleri -1, -5, -10, -15, -20 ve -24m derinlikler için sırası ile 0.21, 0.21, 0.17, 0.14, 0.14, 0.12 m/s değerlerini alırken

aynı derinliklerdeki U hız bileşenleri için sırası ile 0.15, 0.10, 0.12, 0.10, 0.07, 0.06 m/s değerlerini almıştır.

7. Girdi verileri ile yüksek lineer korelasyona sahip hız değerlerinin modelleri de daha iyi sonuç vermiştir.
8. Modele girdi olarak akıntıyı etkileyen ne kadar çok parametre girilirse kurulan modelin başarısı o kadar artmaktadır. Yapılan modeller içerisinde en yüksek başarıyı boğazın her iki ucundaki su seviyelerini ve meteorolojik parametreleri (rüzgâr hızı bileşenleri ve atmosfer basıncı) içeren model göstermiştir.
9. Meteoroloji istasyonlarından sadece birinin verisini kullanmak, her iki istasyonu birlikte kullanmaya göre model performansında çok az bir iyileşmeye sebep olmuştur. Bu durumun her iki meteoroloji istasyonundaki ölçüm değerlerin birbirleri ile yüksek korelasyon göstermesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.
10. Gizli katmandaki hücre sayısının belli bir değere kadar artırılması model sonuçlarını olumlu etkilemiştir. Ancak bu değer dikkatli seçilmeli ve aşırı öğrenmeye sebep olmamak için kontrol edilmelidir. Güvenli tarafta kalmak için uygun sonuç veren en düşük gizli hücre sayısı dikkate alınabilir. Bu çalışmada yöntemin potansiyelini ortaya koyması açısından kontrol veri setinde en iyi sonucu veren model olan 90 gizli hücreye sahip modelin sonuçları verilmiştir.
11. Aynı girdiler ile zamansal olarak ileri yönde tahminde bulunacak modeller kurmak mümkün olmuştur. Üç saate kadar ileri zamanlı tahminlerde hataların çok az arttığı görülmüştür. Girdiler anlık olduğundan bu sonuç, Boğazdaki herhangi bir hidrodinamik yapının en çok aynı saatte ve bir saat öncesinde ölçülmüş sınır şartlarına bağlı olduğunu, ancak herhangi bir anda oluşmuş olan sınır şartları değerlerinin etkisinin, zamanla azalmakla birlikte, en az 12 saat sürdüğünü göstermektedir. İleride bu etkiyi dikkate alan modellerin kurulması ile daha iyi sonuçlar veren modeller üretmek mümkündür.
12. ANFIS modelleri az girdiye sahip olmalarına rağmen iyi sonuçlar vermişlerdir.
13. Yüzeyde en iyi sonuç rüzgâr hızı doğrultusal bileşeni ve su seviyesi farkı ile kurulan modellerden elde edilirken ara derinlik ve tabanda basınç ve su seviyesi farkı ile kurulan modellerden elde edilmiştir. Burada doğrultusal hız bileşeni ile kastedilen akıntı hız bileşeni ile aynı doğrultudaki rüzgâr hız bileşenidir.
14. Çalışmada kullanılan tüm modelleme teknikleri bir arada değerlendirildiğinde yüzey akıntı hızları için aralarında önemli bir fark olmadığı ve tüm modellerin yüksek doğrulukla yüzey akıntı hızlarını benzeştirdiği görülmüştür. Diğer derinlikler için

ise en başarılı sonuçlar sırası ile YSA, ANFIS ve doğrusal modellerden elde edilmiştir.

15. ANFIS ve YSA modelleri kendilerine verilen eğitim verilerindeki girdi kombinasyonları için geçerlidirler. Eğitim verilerinde benzerinin hiç olmadığı durumlarda yanlış sonuç verebilirler. Bu durumdaki hatları en aza indirmek için eğitim süresini mümkün olduğunca kısa tutmak ve gizli hücre sayısı veya kural sayısını çok arttırmamak fayda sağlayabilir.
16. Bu çalışmada İBGY YSA modelleri kullanılmıştır. Bu model en temel YSA bileşenlerini içeren, en yaygın olarak kullanılan, anlaşılması en kolay modeldir. Ancak literatüre geçmiş 10'larca farklı model mevcuttur. Diğer modeller ile de modeli üretmek ve uygulamak mümkündür. Bu çalışmada ortaya çıkmış olan uygun girdi kombinasyonları diğer YSA modelleme teknikleri için de kullanılabilir.
17. Aynı girdi sayısı için ANFIS veya YSA modelleri benzer doğrulukta sonuçlar vermişlerdir. ANFIS modellerinin her derinlik ve hız bileşeni için ayrı kurulması gerekirken YSA modellerinde bir kerede çeşitli derinliklere ait sonuçları elde etmek mümkün olmuştur. Bu özellik model kurmada ve sonuç alırken zaman kazandırmaktadır.
18. ANFIS modellerinde girdi değişkenleri için kullanılan alt kümeler üçgen olmasından ötürü sonuç fonksiyonlarında kırıklar görülebilirken YSA modellerinde fonksiyonlar doğrusal olmayan nitelikte ve kıraksız olarak elde edilmiştir.

6.2 Öneriler

1. Modellerde verinin %60'ının eğitim verisi olarak kullanılmasına rağmen çok daha az veri ile de benzer sonuçlar almak mümkün olmuştur. En az bir yılı kapsayan sistematik bir ölçüm programı ile daha az veri kullanarak benzer modellerin tüm Boğaz boyunca kurulması mümkün olabilecektir.
2. Çalışmada ANFIS modellerinde yalnızca ağa bölme tekniği ile kurallar oluşturulmuştur. Kural üretme için de farklı teknikler de mevcuttur. Başka tekniklerin kullanılmasının kural sayısını ve sonuç fonksiyonlarını değiştirmekle birlikte performansı çok etkilemediği ön çalışmalarda görülmüştür. Model kurucunun tercihinine bağlı olarak diğer tekniklerle de modeller kurulabilir.
3. Önceki saatlerdeki su seviyeleri ve meteorolojik değerleri de girdi olarak kullanan modeller kurulmalı ve performansları değerlendirilmelidir.

4. Modelde girdi olarak kullanılan her bir parametre için veri sayısı ile model doğruluğu arasındaki ilişki araştırılmalıdır. Böylesi bir çalışma ileride benzer modeller kurmak amacı ile yapılacak ölçümlerin süresini belirlemek için önemlidir.
5. Kurulması planlanan herhangi bir model mutlaka uzman denetiminde kurulmalı, kurulduktan sonrada yine uzmanlar tarafından kontrol edilmeli, değerlendirilmeli ve geçerlilik analizleri yapılmalıdır.
6. Bu çalışmada modeller yalnızca akıntıya etki eden parametreler ile akıntı hızları arasında kurulmuştur. İleride birden fazla noktadaki akıntı hızı ölçümleri ile bir veya birden fazla konumdaki akıntı hızı bilgisi ile diğer konumlardaki akıntı hızını tahmin eden modeller kurulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Istanbulu-seviyorum.org web sitesi, <http://www.istanbulu-seviyorum.org/calismalarimiz/Turkbogazlari/tehlikeliyuk.htm>, Mart, 2011
- [2] Artüz, L., (2005). “A Chronological Review of the Oceanographic Investigations of the Turkish Straits”, Oceanata, DER-MAR.
- [3] Möller, A. M., (1928). “Hydrographische unter Suchungen in Bosphorus and Dardanalten”, Veroff. Insr. Meeresk, Berlin Univ., Neue Folge A., 18:284.
- [4] Ulyott, P. ve Ilgaz, O., (1946). “The Hydrography of the Bosphorus: an Introduction”, Geog. Rev., 36:44-60.
- [5] Mengöl, S., (1950). “Oşinografi”, Ulaştırma Bakanlığı, Yüksek Denizcilik Okulu, Seri:4, Sıra:22.
- [6] Pektaş, H., (1956). “the Influence of the Mediterranean Water on the Hydrology of the Black Sea”, 4th Technical Papers Meeting, Mediterranean General Fisheries Council, s:15.
- [7] Bogdanova, A. B. K., (1961). “the Distribution of Mediterranean Waters in the Black Sea”, Deep Sea Research, 10:665-672.
- [8] Bogdanova, A. B. K., (1965). “Seasonal Fluctuations and Distribution of the Mediterranean Waters in the Black Sea. Basic Futures, Geological Structure of the Hydrologic Regime”, Translition; 1960, Institute of Modern Languages, Washington D.C.
- [9] Filippov, D. M., (1965). “the Cold Intermediate Layer in the Black Sea”, Oceanology, 5(4):47-51.
- [10] Gunnerson, C. G., ve Özturgut, E., (1974). “The Bosphorus. The Black Sea Geology, Chemistry and Biology, Memoir No.20”, The American Association of Petroleum Geologists, 99-113.
- [11] Sümer, B.M. ve Bakioğlu, M., (1982). “Sea-Strait Flow with Special Reference to Bosphorus”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [12] Büyüközden, A., Yüce, H. ve Bayraktar, T., (1983). “Akdeniz Suyunun İstanbul Boğazı Boyunca ve Karadeniz’de İncelenmesi”, Cilt I, II. TÜBİTAK Çevre Araştırmaları Grubu Ara ve Sonuç Raporları.
- [13] Tolmazin, D., (1985). “Changing Coastal Oceanography of the Black Sea II: Mediterranean Effluent.”, Progress in Oceanography, 15:277-316.

- [14] Yüce, H., (1988). "Investigation of the Mediterranean Water in the Black Sea", İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 5:121-157.
- [15] Yüce, H., (1990). "Investigation of the Mediterranean Water in the Strait of Istanbul (Bosphorus) and the Black Sea", *Oceanologica Acta*, 13(2):177-186.
- [16] Yüce, H., (1996). "Mediterranean Water in the Strait of Istanbul (Bosphorus) and the Black Sea Exit", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43:597-616.
- [17] Yüce, H. ve Türker, A., (1991). "Marmara Denizi'nin Oşinografik Özellikleri ve Akdeniz Suyunun Karadeniz'e Girişi", Çevre Sempozyumu Tebliği, Rotary Club, İstanbul.
- [18] Ünlüata, Ü., T. Oğuz, M. A. Latif ve E. Özsoy, (1990). "On the Physical Oceanography of the Turkish Straits", in *The Physical Oceanography of Sea Straits*, L.J. Pratt, editor, NATO/ASI Series, Kluwer.
- [19] Latif, M., Özsoy, E., Oğuz, T. ve Ünlüata, Ü., (1991). "Observations of the Mediterranean Inflow into the Black Sea", *Deep Sea Research*, 38(2):711-733.
- [20] Oğuz, T., Özsoy, E., Latif, M. A., Sur, H. İ. ve Ünlüata, Ü., (1990). "Modelling of Hydraulically Controlled Exchange Flow in the Bosphorus Strait", *Journal of Physical Oceanography*, 20:945-965.
- [21] Oğuz, T., Latun V. S., Latif, M. A., Vladimirov, V. V., Sur, H. İ., Markov, A. A., Özsoy, E. Kotovshchikov, B. B. ve Ünlüata, Ü., (1991). "Circulation in the Surface and Intermediate Layers of the Black Sea", *Deep Sea Research*, 39:312-324.
- [22] Oğuz, T., Violette, P. ve Ünlüata, Ü. (1992). "the Upper Layer Circulation of the Black Sea: Its Variability as Inferred from Hydrographic and Satellite Observations", *Journal of Geophysical Research*, 97:12569-12584.
- [23] Oğuz, T. ve Rozman, L., (1991). "Characteristics of the Mediterranean Underflow in the Southwestern Black Sea Continental Shelf/Slope Region", *Oceanologica Acta*, 14:433-444.
- [24] Özsoy, E., Latif, M. A., Beşiktepe, Ş., Oğuz, T., Salihoğlu, İ., Gaines, A. F., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Saydam, C., Yemenicioğlu, S. ve Yılmaz, A., (1992). "Monitoring Via Direct Measurements on the Modes of Mixing and Transport of Wastewater Discharges into the Bosphorus Underflow", METU, Institute of Marine Sciences, Second Progress Report, Sponsored by İSKİ.
- [25] Özsoy, E., Ünlüata, Ü. ve Top, Z., (1993). "the Evolution of Mediterranean Water in the Black Sea: Interior Mixing and Material Transport by Double Diffusive Intrusions", *Progress in Oceanography*, 31:275-320.
- [26] Akyarlı, A. ve Arısoy, Y., (1994). "Oceanographic Measurements for the Tube Tunnel Crossing of the Bosphorus", 4th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan.
- [27] Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. İ., Özsoy, E., Latif M. A., Oğuz, T. ve Ünlüata, Ü., (1994). "The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea", *Progress in Oceanography*, 34:285-334.
- [28] Sur, H. İ., Özsoy, E. ve Ünlüata, Ü., (1994). "Boundary Current Instabilities, Upwelling, Shelf Mixing and Eutrophication Processes in the Black Sea", *Progress in Oceanography*, 33:249-302.

- [29] Arısoy, Y., (1995). "İstanbul Boğazı'nda Yapılan Uzun Süreli Akıntı ve Deniz Seviyesi Gözlemlerinin Analizi", Tr. J. of Engineering Sciences, 19:75-86.
- [30] Di Iorio, D., Akal, T., Sellschopp, J., Guerrini, P., Yüce, H. ve Gezgın, E., (1995). "Oceanographic Measurements of the West Black Sea", 26th November- 14th December.
- [31] Di Iorio, D. ve Yüce, H., (1997). "Observations of Mediterranean Flow into the Black Sea", Saclantcen Report, SR-269, Saclant Undersea Research Centre Report, 33p.
- [32] Ulliyott, P. ve Pektaş, H., (1952). "A note on the Yearly Temperature and Salinity Cycle in the Dardanelles", Hidrobiologi, Pub. Of the Hydrobiol. Res. Inst. Univ. Istanbul, Seri A Cilt I (Haziran sayı:1 sayfa 19-34), İstanbul.
- [33] Tolmazin, D., (1987). "Relative Effects on the Oceanography and Ecology of the Black Sea due to Ongoing Soviet River Flow Modifications and Bosphorus Tunnel project", Preliminary Report, Parsons Brinckerhoff Int. Inc.
- [34] Maderich, V. ve Konstantinov, S., (2002). "Seasonal Dynamics of the System Sea-Strait: Black Sea- Bosphorus Case Study", Estuarine, Coastal and Shelf Science, 55:183-196.
- [35] Özsoy, E., Latif, M. A., Sur, H.İ., ve Goryachkin, Y., (1996). "A review of the exchange flow regime and mixing in the Bosphorus Strait", Bulletin de l'Institut oceanographique, Monaco, n° special 17: 187-204.
- [36] Yüce, H. ve Alpar, B., (1994). "Investigation of Low Frequency Sea Level Changes at the Strait of Istanbul (Bosphorus)", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 18:233-238.
- [37] Besiktepe, S., E., Özsoy, ve M. A. Latif, (1995). "Seawage Outfall Plume İn The Two-Layer Channel: An Example Of Istanbul Outfall", Water Sci. Tech, 32:69-75.
- [38] Andersen, S., Jakobsen, F. M. ve Alpar, B., (1997). "The Water Level in the Bosphorus Strait and its Dependence on Atmospheric Forcing", German Journal of Hydrography, 49(4):466-475.
- [39] Özsoy, E., Top, Z., White, G. ve Murray, J., (1991). "Double Diffusive Intrusions, Mixing and Deep Sea Convection Processes in the Black Sea", The Black Sea Oceanography, E. İzdar ve J. M. Murray (Ed), Nato/Asi Series, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 17-42.
- [40] Özsoy, E., Di Iorio, D., Gregg, M. C. ve Backhaus, J. O., (2001). "Mixing in the Bosphorus Strait and the Black Sea Continental Shelf: Observations and A Model of the Dense water Outflow", Journal of Marine Systems, 31:99-135.
- [41] Altıok, H., (2001). "İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışında Su Kütlelerinin Mevsimsel Değişimi (1996-2000)", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Fiziksel Oşinografi Anabilim Dalı, İstanbul.
- [42] Özsoy, E., Latif, M. A. ve Beşiktepe, Ş., (2002). "The Current System of The Bosphorus Strait Based on Recent Measurements", The 2nd Meeting on the Physical Oceanography of Sea Straits, 15th-19th April 2002, Villefranche/France.

- [43] Doğan, E., Sur, H.İ., Sarıkaya, H.Z., Öztürk, İ., Güven K.C., Kurter, A., Yüce, H., Okuş, E. ve Alpar, B., (2001). Water Quality Monitoring Annual Report, Istanbul University Institute of Marine Sciences and Management, İstanbul.
- [44] Güler, I., Yüksel, Y., Yalçiner, A.C., Çevik, E. ve Ingerslev, C., (2006). “Measurement and Evaluation of the Hydrodynamics and Secondary Currents in and Near a Strait Connecting Large Water Bodies – A Field Study”, Ocean Engineering, 33:1718-1748.
- [45] Aydoğan, B., Ayat, B., Öztürk, M.N., Yüksel, Y. ve., Çevik, E.Ö., (2007). “İstanbul Boğazı Su Seviyesi Değişimlerinin Modellenmesi”, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 25-28 Ekim 2007, İzmir, Türkiye.
- [46] Yüksel, Y., Ayat, B., Öztürk, M.N., Aydoğan, B., Güler, I., Çevik, E.Ö., Yalçiner, A.C., (2008). “Responses of the Stratified Flows to Their Driving Conditions-A Field Study”, Ocean Engineering, 35(13):1304-1321.
- [47] Aydoğan, B., Ayat, B. ve Yüksel, Y., (2010). “Analysis and Modelling of Water Level Changes in Bosphorus Entrance of the Black Sea”, Proceedings of Water 2010 Conference, 5-7 July 2010, Quebec City.
- [48] Aydoğan, B., Ayat, B., Öztürk, M.N., Çevik, E.Ö. ve Yüksel, Y., (2010). “Current velocity Forecasting in Straits with Artificial Neural Networks, a Case Study:Strait of İstanbul”, Ocean Engineering, 37(5-6):443-453.
- [49] Özsoy, E., Latif, M. A., Beşiktepe, Ş., Çetin, N., Gregg, N. Belokopytov, V., Goryachkin, Y. ve Diaconu, V. (1998). The Bosphorus Strait: Exchange Fluxes, Currents and Sea-Level Changes, in: L. Ivanov and T. Oğuz (editors), Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, NATO Science Series 2: Environmental Security 47, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1:367 + 2:385.
- [50] Özsoy, E., Latif M. A., Beşiktepe Ş. ve Gaines A. F., (1999). “İstanbul Boğazı Atıksu Taşınım ve Karışımının Doğrudan Ölçümleri”, Büyükşehirlerde Atıksu Yönetimi ve Deniz Kirlenmesi Kontrolü Sempozyumu, 18-20 Kasım, İstanbul.
- [51] Yüksel, Y., Yalçiner, A.C., Çevik, E., Güler, I., Öztürk, M. N., Aydoğan, B., Arı, A., (2003). “İstanbul Boğazı için Bir Hidrodinamik Model Araştırması”, YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü
- [52] Yüksel, Y., Çevik, E., Demir, A., Ertek, A., Yalçiner, A.C., Özmen, H.İ., Öngür, T., Eriş, İ., Ayat, B. ve Üzmez, Z., (2006). İstanbul Kıyı ve Liman Alanları (İstanbul Kıyı Alanları Yönetimi), Teknik Rapor, Bimtaş, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi.
- [53] Özhan, E. ve Abdalla, S., (2000). “NATO TU Waves Project”, Middle East Technical University, Ocean Engineering Research Center.
- [54] Öztürk, M. N., (2010). “İstanbul Boğazı Hidrodinamiği ve Sayısal Modellenmesi”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [55] Ayat, B., (2010). “İstanbul Boğazı Su Kalitesinin Modellenmesi”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- [56] Malekmohamadi, I., Ghiassi, R. ve Yazdanpanah, M.J., (2007). "Wave Hind Casting by Coupling Numerical Model and Artificial Neural Networks", *Ocean Engineering*, 35(4):417-425.
- [57] Chen, B., Wang, H. ve Chu, C., (2007). "Wavelet and Artificial Neural Network Analyses of Tide Forecasting and Supplement of Tides Around Taiwan and South China Sea", *Ocean Engineering* 34(16):2161-2175.
- [58] Tseng, C.M., Jan, C.D., Wang, J.S. ve Wang, C.M, (2007). "Application of Artificial Neural Networks in Typhoon Surge Forecasting", *Ocean Engineering*, 34 (12) :1757-1768.
- [59] Lee, T.L., (2005). "Neural Network Prediction of a Storm Surge", *Ocean Engineering*, 33(4):483-494.
- [60] Huang, W., Murray, C., Kraus, N. ve Rosati, J., (2003). "Development of a Regional Neural Network for Coastal Water Level Predictions", *Ocean Engineering*, 30(17): 2275-2295.
- [61] Liang, S.X., Li, M.C. ve Sun, Z.C., (2008). "Prediction Models for Tidal Including Strong Meteorological Effects Using a Neural Network", *Ocean Engineering*, 35(7):666-675.
- [62] Günaydın, K., (2008). "The Estimation of Monthly Mean Significant Wave Heights by Using Artificial Neural Network and Regression Methods", *Ocean Engineering*, 35(14):1406-1415.
- [63] Van Gent, M.R.A., Henk, F.P., van den Boogaard, H.F.P., Pozueta, B. ve Medina, J.R., (2007). "Neural Network Modeling of Wave Overtopping at Coastal Structures", *Coastal Engineering*, 54:586-593.
- [64] Levenberg, K., (1944). "A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares", *the Quarterly of Applied Mathematics* 2:164–168.
- [65] Marquardt, D., (1963). "An Algorithm for Least-Lquares Estimation of Nonlinear Parameters", *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11:431–441.
- [66] Hornik, K., Stinchcombe, M., ve White, H, (1989). "Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators", *Neural Networks*, 2(5):359-366.
- [67] Cybenko, G., (1989). "Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function", *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2(4):303-314.
- [68] Hartman, E. J., Keeler, J. D., ve Kowalski, J. M., (1990). "Layered Neural Networks with Gaussian Hidden Units as Universal Approximations", *Neural Computation* , 2(2):210-215.
- [69] Zadeh, L.A., (1965). "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8:338-353.
- [70] Mamdani, E.H. ve S. Assilian, (1975). "An Experiment in Linguistic Synthesis With a Fuzzy Logic Controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1): 1-13.
- [71] Sugeno, M., (1985). *Industrial Applications of Fuzzy Control*, Elsevier Science Pub. Co.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak AYDOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri :08.06.1978 / İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :burak_aydogan@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	İnşaat Müh.- Kıyı ve Liman Müh.	YTÜ - FBE	2011
Y. Lisans	İnşaat Müh.- Kıyı ve Liman Müh.	YTÜ - FBE	2005
Lisans	İnşaat Mühendisliği	YTÜ	2002
Lise		İstek Belde Lisesi	1996

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2002-	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Burak Aydoğan, Berna Ayat, Mehmet Nuri Öztürk, Esin Özkan Çevik, Yalçın Yüksel, (2010). “Current Velocity Forecasting in Straits With Artificial Neural Networks, a Case Study: Strait of Istanbul”, Ocean Engineering, 37(5-6), 443-453.
2. Yalçın Yüksel, Berna Ayat, Mehmet Nuri Öztürk, Burak Aydoğan, Işıkhan Güler, Esin Özkan Çevik, Ahmet Cevdet Yalçın, (2008), “Responses of the Stratified Flows to their Driving Conditions- A Field Study”, Ocean Engineering, 35(13) 1304-1321.

Bildiri

1. Mehmet Nuri Öztürk, Burak Aydoğan, Yalçın Yüksel, “the Numerical Modelling of the Bosphorus”, Proceedings of the 16th International Offshore and Polar Engineering Conference ISOPE 2006, San Francisco, California/USA, Volume III, pgs: 428-431.
2. Cihan Şahin, Burak Aydoğan, Esin Özkan Çevik, Yalçın Yüksel, “Parametric Wave Modelling, A Case Study”, MEDCOAST 07 INTERNATIONAL CONFERENCE, Alexandria, Egypt, 13-17 November, 2007, Conference Proceedings Volume 2, pgs:1195-1205.
3. Berna Ayat, Burak Aydoğan, Yalçın Yüksel, “Spatial and Temporal Distributions of Water Quality State Variables in Stratified Flows”, Water 2010 Conference, Quebec City, Canada, 5-7 July, 2010, Conference Proceedings, in CD.
4. Burak Aydoğan, Berna Ayat, Yalçın Yüksel, “Analysis and Modelling of Water Level Changes in Bosphorus Entrance of the Black Sea”, Water 2010 Conference, Quebec City, Canada, 5-7 July, 2010, Conference Proceedings, in CD.
5. Burak Aydoğan, Berna Ayat, Esin Özkan Çevik, Yalçın Yüksel, “ANN Current Profile Forecasting in Straits with an Example: Bosphorus”, Water 2010 Conference, Quebec City, Canada, 5-7 July, 2010, Conference Proceedings, in CD.
6. Burak Aydoğan ve Berna Ayat, “Wave Energy Potential of Southern Black Sea”, Water 2010 Conference, Quebec City, Canada, 5-7 July, 2010, Conference Proceedings, in CD.
7. Yalçın Yüksel, Mehmet Nuri Öztürk ve Burak Aydoğan, “İstanbul Boğazı Hidrodinamiğinin Sayısal Modellenmesi”, Kıyı ve Deniz Jeolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, I. Cilt 23-26, İstanbul, 2004.
8. Burak Aydoğan, Mehmet Nuri Öztürk ve Yalçın Yüksel, “İstanbul Boğazı Taban Hendeğinin Boğaz Hidrodinamiğine Etkisinin Sayısal Modellenmesi”, 5. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, I. Cilt 111-124, Bodrum, 2005.
9. Yalçın Yüksel, Mehmet Nuri Öztürk ve Burak Aydoğan, “Tabakalı Akımlar ve İstanbul Boğazı Hidrodinamiğinin Sayısal Modellenmesi”, 5. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, I. Cilt 125-140, Bodrum, 2005.
10. Burak Aydoğan, Berna Ayat, M. Nuri Öztürk, Yalçın Yüksel, Esin Özkan Çevik, “İstanbul Boğazı Su Seviyesi Değişimlerinin Modellenmesi”, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, I. Cilt, syf:271-278, İzmir, 25-28 Ekim 2007.
11. Yalçın Yüksel, Berna Ayat, M. Nuri Öztürk, Burak Aydoğan, Işıkhhan Güler, Esin Özkan Çevik, Ahmet Cevdet Yalçiner, “İstanbul Boğazı’nda Akıntı İklimi Çalışması”, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, I. Cilt, syf:263-270, İzmir, 25-28 Ekim 2007.
12. Cihan Şahin, Burak Aydoğan, Esin Özkan Çevik, Yalçın Yüksel, “Güneybatı Karadeniz Dalga Verileri ile Parametrik Dalga Modellemesi”, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, I. Cilt, syf:249-256, İzmir, 25-28 Ekim 2007.
13. Yalçın Yüksel, Ali Coşar, Esin Özkan Çevik, Burak Aydoğan, Berna Ayat, Anıl Arı, “Dere Ağzlarında Taşkın Sürecinde Tatlı ve Tuzlu Su Girişiminin Modellenmesi”, Su Yapıları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı Syf:21-32, Samsun, 29-30 Mayıs 2009
14. Yalçın Yüksel, Burak Aydoğan, Berna Ayat, M. Nuri Öztürk, Ali Coşar, “Akarsu Ağzlarının Hidrodinamiğinin Modellenmesi”, II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Bildiriler Kitabı Syf:303-313, Afyonkarahisar, 22-24 Mart 2010

Kitap

1. Yalçın Yüksel, Hayrullah Ağaçcıoğlu, Esin Özkan Çevik, Mehmet Emin Birpınar, Yeşim Çelikoğlu, Ali Coşar, Tuba Bostan, Didem Yılmaz, Ayşe Yüksel, Anıl Arı, Mehmet Nuri Öztürk, Burak Aydoğan, Berna Ayat, “Hidrolik Laboratuvar Deneyleri”,YTÜ.İn.Ld-99.0451 İn.İnm-99.002 YTÜ Basım Yayın Merkezi, II. Baskı.
2. Yalçın Yüksel, Hayrullah Ağaçcıoğlu, Esin Özkan Çevik, Mehmet Emin Birpınar, Yeşim Çelikoğlu, Ali Coşar, Tuba Bostan, Didem Yılmaz, Ayşe Yüksel, Anıl Arı, Mehmet Nuri Öztürk, Burak Aydoğan, Berna Ayat, “Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarı Deney Aletleri Bakım ve Kalibrasyon Talimatları”, YTÜ Basım Yayın Merkezi.

Proje

1. 2008-2010 Alaçatı Örneği’nde Sürdürülebilir Kıyı Alanı İzleme Modeli, YTÜ–APK
2. 2008-2010 Düzensiz Dalga Şartlarında Perfore Kıyı Duvarlarının Hidrolik Performansının Araştırılması, YTÜ–APK
3. 2005-2007 İstanbul Boğazı Hidrodinamiğinin Su Kalitesine Etkisinin Modellenmesi, YTÜ–APK