

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MIKE 21 SW PROGRAMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE
SPEKTRAL DALGA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatmanur AKDOĞAN

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MIKE 21 SW PROGRAMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE
SPEKTRAL DALGA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatmanur AKDOĞAN
(517121002)**

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 517121002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Fatmanur AKDOĞAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MIKE 21 SW PROGRAMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE SPEKTRAL DALGA ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mehmet ÖZGER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ali Osman PEKTAŞ
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **19 Ocak 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca desteklerini üzerimden esirgemeyen aileme, yüksek lisans tezim ile yakından ilgilenen ve yardımları ile ilerlediğim Doç. Dr. Abdüsselam ALTUNKAYNAK'a, tezimde çok emeği geçen ve destekleri ile ilerlediğim Yasin ABDOLLAHZADEH'e, okul hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren bütün hocalarıma, madden ve manen yanımda olan tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

MIKE 21 SW programının öğrenci lisansı ile kullanılmasına izin veren DHI Software grubuna teşekkür ederim.

Aralık 2014

Fatmanur Akdoğan
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması.....	1
2. KULLANILAN VERİ VE YÖNTEMLER.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri.....	6
2.3 Kullanılan Programlar.....	7
2.3.1 Global mapper.....	7
2.3.2 MIKE Zero.....	8
2.3.2.1 MIKE Zero programının kullandığı araçların tanıtılması.....	9
2.3.3 MIKE 21 SW.....	9
2.3.3.1 Spektral formülasyonlar.....	11
2.3.3.2 Zaman formülasyonları.....	12
2.3.3.3 Basit eşitlikler.....	12
2.3.4 Yapay sinir ağları (ANN-Artificial Neural Network).....	21
2.4 Model Performansı Değerlendirme Yöntemleri.....	23
2.4.1 Korelasyon katsayısı.....	23
2.4.2 Hataların karelerinin ortalamasının karekökü (Root mean square error, RMSE).....	23
2.4.3 Hata karelerinin ortalaması (Mean squared error, MSE).....	24
2.4.4 Saçılım indeksi (Scatter index, SI).....	24
2.4.5 Verimlilik katsayısı (Coefficient of efficiency, CE).....	24
3. UYGULAMA VE ANALİZLER.....	27
3.1 Çalışmanın Uygulama Alanı.....	27
3.2 Bölgenin Batimetrisi.....	28
3.3 Çalışma Alanında Spektral Dalga Analizi.....	36
3.3.1 MIKE 21 SW programı ile kalibrasyon sonucu.....	36
3.3.2 Yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile kalibrasyon sonucu.....	53
3.3.3 MIKE 21 SW programı ve yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile spektral dalga analizi.....	56
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	121

KISALTMALAR

ANN	: Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
DHI	: Danish Hydrolic Instuties (Danimarka Hidrolik Enstitüsü)
NAD83	: The North American Datum 1983 (1983 yılı enlem verisi)
NAVD88	: The North American Vertical Datum of 1988 (1988 yılı düşey derinlik verileri)
NSW	: Nearshore Spectral Wind- Wave module (Yakın kıyı Spektral rüzgar dalga modülü)
SFWMD	: South Florida Water Management District
SOFIA	: South Florida Information Access
SPM84	: Shore Protection Manual
UTM	: Universal Transverse Mercator
WMO	: World Meteorology Organisation (Dünya Meteoroloji Örgütü)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Varsayılan değer senaryosu.....	37
Çizelge 3.2 : Tüm senaryoların karşılaştırılması.....	40
Çizelge 3.3 : Dalga kırılma parametrelerinden α 'nın değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).....	41
Çizelge 3.4 : Dalga kırılma parametrelerinden γ 'nın değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).....	41
Çizelge 3.5 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden δ_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).....	41
Çizelge 3.6 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden C_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).....	41
Çizelge 3.7 : Dalga kırılması parametrelerinden α 'nın değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).....	42
Çizelge 3.8 : Dalga kırılması parametrelerinden γ 'nın değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).....	42
Çizelge 3.9 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden δ_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).....	43
Çizelge 3.10 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden C_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).....	43
Çizelge 3.11 : Δt 'nin değişimi ile oluşturulan modeller ve sonuçları.....	44
Çizelge 3.12 : Rüzgar üretim formüllerinin karşılaştırılması.....	47
Çizelge 3.13 : Kalibrasyon değerleri ve sonuçları.....	48
Çizelge 3.14 : Varsayılan değerdeki formülasyon ile sonuçlar.....	49
Çizelge 3.15 : Bütünüyle Spektral formülasyon (Fully Spectral Formulation) ve yarı-durağan (quasi-stationary) zaman formülasyonu ile kurulan modeller ve sonuçları.....	50
Çizelge 3.16 : Dörtlü dalga (Quadruplet wave) etkileşimi ile Üçlü dalga (Triad wave) etkileşimi karşılaştırılması.....	50
Çizelge 3.17 : γ 'nın değişimi ile senaryoların karşılaştırılması.....	51
Çizelge 3.18 : Nöron sayısının değişimi ile senaryoların karşılaştırılması (rüzgar hızı).....	54
Çizelge 3.19 : Nöron sayısının değişimi ile senaryoların karşılaştırılması (rüzgar hızı ve rüzgar yönü).....	55
Çizelge 3.20 : Yapay Sinir Ağları (ANN) modeli ile rüzgar hız ve yönü kullanılarak ve yalnızca rüzgar hızı kullanılarak yapılan model karşılaştırması....	56
Çizelge 3.21 : MIKE 21 SW programı ile akıntı verisi dikkate alınarak yapılan spektral dalga analizi sonuçları.....	62
Çizelge 3.22 : MIKE 21 SW programı ile akıntı verisi dikkate alınmadan yapılan spektral dalga analizi sonuçları.....	63
Çizelge 3.23 : MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) sonuçlarının karşılaştırılması.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 :	Okeechobee Gölü Google Earth görüntüsü.....	4
Şekil 2.2 :	Okeechobee Gölü LZ40, L006, L005 ve L001 ölçüm istasyonları.....	5
Şekil 2.3 :	Global Mapper programı.....	6
Şekil 2.4 :	MIKE Zero Ağ Örgüsü Hazırlayıcı programı.....	8
Şekil 2.5 :	Newton-Raphson iterasyon yöntemi.....	13
Şekil 2.6 :	Dalga tankında üretilen iki dalga modeli.....	15
Şekil 2.7 :	Dörtlü dalga etkileşimi.....	16
Şekil 2.8 :	Dörtlü dalga enerji değişimi (Hasselman, 1962).....	16
Şekil 2.9 :	3 Tabakalı Yapay Sinir Ağının yapısı (Beale ve diğ., t. y ikinci baskı).....	28
Şekil 3.1 :	Okeechobee Gölü LZ40, L006, L005 ve L001 ölçüm istasyonlarına ait Google Earth görüntüsü.....	28
Şekil 3.2 :	Enlem ve boylama göre batimetri verileri.....	29
Şekil 3.3 :	Okeechobee gölü için uydu görüntüsü.....	29
Şekil 3.4 :	Uydu görüntüsü üzerinde batimetri verilerinin dağılımı.....	30
Şekil 3.5 :	Batimetri haritası sınır çizgisi.....	30
Şekil 3.6 :	Uydu görüntüsü üzerinde sınır çizgisi.....	31
Şekil 3.7 :	Okeechobee gölü için batimetri haritası.....	31
Şekil 3.8 :	Sınır verilerinin Ağ örgüsü hazırlayıcı programındaki haritası.....	32
Şekil 3.9 :	Üçgensel ağ örgüsü.....	33
Şekil 3.10 :	Üçgensel ağ örgüsüne göre interpolasyon yapılarak elde edilen batimetri haritası.....	34
Şekil 3.11 :	Ağ Örgüsü Hazırlayıcı ile hazırlanan Okeechobee gölü için batimetri haritası.....	35
Şekil 3.12 :	Varsayılan değer senaryosu model sonuçları.....	38
Şekil 3.13 :	L006 istasyonu için kalibre edilen dalga yüksekliği ile ölçülmüş dalga yüksekliği saçılım grafiği.....	38
Şekil 3.14 :	L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar hızları ve ölçülmüş rüzgar hızları grafiği.....	45
Şekil 3.15 :	L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar hızları ve ölçülmüş rüzgar hızları saçılım grafiği.....	45
Şekil 3.16 :	L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar yönleri ve ölçülmüş rüzgar yönleri grafiği.....	46
Şekil 3.17 :	L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar yönleri ve ölçülmüş rüzgar yönleri saçılım grafiği.....	46
Şekil 3.18 :	Kalibrasyon sonucu elde edilen ANN modelin mimari yapısı.....	52
Şekil 3.19 :	Kalibrasyon sonucu elde edilen ANN modelin mimari yapısı.....	53
Şekil 3.20 :	(Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	60

Şekil 3.21: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	59
Şekil 3.22: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	60
Şekil 3.23: (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması: (a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).....	65
Şekil 3.24: 45 derecelik doğru üzerinde, 500 test için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW. b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	67
Şekil A.1 : (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test	77
Şekil A.2 : (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için göre zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	78
Şekil A.3 : (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	79
Şekil A.4 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	80
Şekil A.5 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	81
Şekil A.6 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	82
Şekil A.7 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	83
Şekil A.8 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için göre zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	84
Şekil A.9 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için göre zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	85
Şekil A.10 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	86
Şekil A.11 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	87
Şekil A.12 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	88

Şekil A.13 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	89
Şekil A.14 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	90
Şekil A.15 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	91
Şekil A.16 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	92
Şekil A.17 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	93
Şekil A.18 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	94
Şekil A.19 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	95
Şekil A.20 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	96
Şekil A.21 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	97
Şekil A.22 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	98
Şekil A.23 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	99
Şekil A.24 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e)Eğitme, (f)Test.....	100
Şekil B.1 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması: (a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).....	102
Şekil B.2 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması: (a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).....	104
Şekil B.3 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması: (a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).....	106

Şekil B.4 :	(Akıntısız) L001 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması: (a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).	108
Şekil C.1 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	109
Şekil C.2 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	110
Şekil C.3 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	111
Şekil C.4 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	112
Şekil C.5 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	113
Şekil C.6 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	114
Şekil C.7 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	115
Şekil C.8 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	116
Şekil C.9 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	117
Şekil C.10 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	118
Şekil C.11 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....	119
Şekil C.12 :	45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait	

ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım
grafığı : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).....120

MIKE 21 SW PROGRAMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE SPEKTRAL DALGA ANALİZİ

ÖZET

Açık denizlerde rüzgar ile deniz yüzeyinin bozulması sonucu düzensiz dalgalar oluşur. Rüzgarın esme şiddeti ne kadar uzun mesafede olursa dalga yüksekliği de o kadar fazla olur ancak dengesi bozulan su yüzeyi rüzgara karşı ve ona ters oluşan sırtları arasında basınç farkına neden olur. Böylece rüzgardan sağlanan enerjinin deniz yüzeyine aktarılması ile oluşan düzensiz dalgaların analizi oldukça zordur. Çünkü düzensiz dalgaların oluşumunda rastgele değişkenler rol oynar ve belirsiz yöntemler ile hesabı mümkündür.

Belirsiz metotların yanı sıra MIKE gibi nümerik modelleme yapmaya imkan tanıyan programlar ile bir çok parametreye bağlı olarak spektral dalga analizi yapmak ve model kurmak mümkündür. Açık deniz, göl, sulak alanlar ve kıyı alanları gibi bölgelerdeki rüzgar etkisi ile oluşan dalgaların birbiriyle etkileşimi, köpüklenme etkisi, taban sürtünme etkisi, derinlik etkisi ile kırılma, yansıma, sığlaşma ve dalga akıntı etkileşimi gibi fiziksel olayların modellenmesi büyük önem arz etmektedir.

Diğer bir yöntem olarak ise Yapay Sinir Ağları (ANN) kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları her türlü mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılabilmesinin yanı sıra fiziksel bilgilere ihtiyaç duymadan da etkili bir şekilde çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada Okeechobee gölü için MIKE21 SW ve Yapay Sinir Ağları (ANN) yöntemi ile Spektral Dalga analizi modelleri geliştirilmiştir. Modellerin sonuçları karşılaştırılarak, dalga yükseklik verilerinin doğruluğu kontrol edilmiş olup ve hangi parametrelere bağlı olarak çalışılması gerektiği incelenmiştir.

Batimetrimin tanımlanması için Global Mapper adlı program kullanılmıştır. Okeechobee gölünde bulunan LZ40, L006, L005 ve L001 istasyonlarına ait rüzgar hızları, belirgin dalga yüksekliği ve akıntı verileri kullanılarak MIKE21 yazılımı ve Yapay Sinir Ağları yöntemi ile Spektral dalga modelleri geliştirilmiştir.

Bölüm 2’de kullanılan veri ve yöntemler açıklanmıştır. Kullanılan programlar tanıtılmış ve modelin performansını değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır. Bölüm 3’de ise yapılan uygulama ile spektral dalga analizi yapılarak; ölçülmüş değerler ile MIKE21 programı ve Yapay Sinir Ağları ile çeşitli kalibrasyonlar sonucu elde ettiğimiz belirgin dalga yükseklikleri karşılaştırılmış ve çeşitli istatistiksel yöntemler ile doğruluğu kontrol edilmiştir. Bölüm 4’de ise sonuçlar yorumlanmıştır.

SPECTRAL WAVE ANALYSIS OF USING MIKE 21 SW AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

SUMMARY

Degradation of the marine surface with offshore wind causes irregular waves. The longer blowing wind speed, the greater the wave height. However, surface of water against the wind, inducing the pressure difference between the back made him wrong. Thus, analysis of irregular waves formed by transferring the energy provided by wind is difficult, because random variables play a role in the generation of irregular waves and it is possible to calculative for uncertainty methods.

Spectral wave analysis is one of the most important factors for the use of applications of coastal and ocean engineering such as, design of coastal and marine structure, water supply, navigation, wildlife habitat and commercial fishery.

MIKE 21 SW software and Artificial Neural Network (ANN) were used for spectral wave analysis of multi-stations in the lake Okeechobee. Similarly, C. P. Tsai, C. Lin & J.-N. Shen (2002) applied the ANN technique to forecast among multi-stations. A. Altunkaynak and K.-H. Wang (2012) have used Artificial Neural Network (ANN) and integrated Geno-Kalman Filtering techniques to estimate the significant wave height at stations LZ40, L006, L005 and L001 in Lake Okeechobee. ANN model and GKF model compared. The results showed that expert system techniques can perform successfully to estimate the significant wave height in shallow lakes which has multi-stations. A. Altunkaynak (2013) studied on geno-multilayer perceptron to predict the significant wave height in multi-stations located in the Lake Okeechobee. The results were divided into two training algorithms which is named genetic algorithm and back propagation algorithms. To predict the suspended solid concentration in one of multi-stations located in the Lake Okeechobee, Florida, triple diagrams model was developed by A. Altunkaynak and K.-H. Wang (2010).

In this research, MIKE 21 SW and Artificial Neural Network (ANN) have been used for prediction of significant wave height. Spectral wave analysis and generating model is possible to MIKE 21 SW. With program that allows you to make numerical modelling as well as uncertainty methods, depending on many parameters. MIKE 21 SW supplies modelling of physical phenomena such as foaming effects, bottom friction effects, refraction caused by depth, reflection and waves caused by wind effects. Generating model, wind speed and wind direction were considered, especially.

Also, Artificial Neural Network (ANN) is used for prediction of significant wave height from wind speed and direction. ANN could be used for the solution of most of engineering problems as well as it offers an effective way to solution without physical information requirements.

In this study, ANN and MIKE 21 SW was applied to four stations (LZ40, L006, L005 and L001) located in the Lake Okeechobee, Florida. A comparison between the result of two different spectral wave model shows that MIKE 21 SW can perform very well in predicting the significant wave height and produce stronger correlation coefficient and coefficient of efficiency than Artificial Neural Network.

With programs such as MIKE that allows to make numerical modeling besides uncertainty methods, depending on many parameters and spectral wave analysis and generating model becomes possible. Modeling of physical phenomena such as foaming effects, bottom friction effects, refraction caused by depth, reflection and waves caused by wind effects in areas such as wetlands and coastal areas, seas, lakes interact with each other, is important.

Alternatively, the Artificial Neural Networks (ANN) is used. Artificial Neural Networks could be used for the solution of most of engineering problems as well as it offers an effective way to solution without physical information requirements.

In this study, spectral wave analysis is developed using MIKE21 SW programming and Artificial Neural Networks (ANN) for Lake Okeechobee. Comparison of model results, the accuracy of wave height data were verified and examined, depending on which parameters should be studied.

Global Mapper program was used to identify the bathymetry. Bathymetry information is the important process of model set up to obtain reliable calculating the results by minimising the errors. Creating the mesh network, triangular mesh was chosen to find the best result for lake Okeechobee by using iteration. Bathymetry map was obtained by interpolating based on triangular mesh network. The wind speed and wind direction data, the significant wave height data and current data were used for LZ40, L006, L005 and L001 stations in the lake Okeechobee and spectral wave analysis was developed using MIKE21 software and artificial neural networks (ANN) method.

Lake Okeechobee is located in the US state of Florida which is located south central of Florida between 26° 41' and 27° 12' North, 80° 36' and 81° 05' West (Jin et al., 2003). Lake Okeechobee is one of the most important water resource. Lake surface area is 1890.7 km² (730 mi²) and an average depth is 2.74 m (9 feet) ((SFWMD), 2014). It is the largest fresh water lake in the southeastern United States ((SFWMD), 2014) and Kissimmee river is the most important water resource of Okeechobee lake. Wind is one the most important parameter in terms of mixtures and movement of water for Okeechobee lake where is a quite shallow. In this study, bathymetry data were taken from website of (sofia.usgs.gov/publications/maps/lakeokeebathy/index.html) South Florida Information Access (SOFIA) to prepare the bathymetry map. Raw data file (ptokeeft.xyz) containing longitude, latitude depth data was downloaded. Wind, significant wave height (Altunkaynak, 2013) and current data (Altunkaynak and Wang, 2010) were taken from respectively, LZ40 where it is located at 26°52' 56.00"N ve 80°47'15.01"W longitude and latitude, L006 where it is located at 26° 49' 24" N ve 80° 47' 16" W longitude and latitude, L005 where it is located at 26°57'32.97"N ve 80°58'40.02"W longitude and latitude and L001 where it is located at 27° 8'24.00"N ve 80°47'24.00"W longitude and latitude in the lake Okeechobee.

Section 2 describes the data and methods used in this study. The programs used and the evaluation of model performance methods are explained. In Section 3, the spectral wave analysis application is performed and measured values were compared with

predicted wave heights using by MIKE 21 SW and ANN. The prediction of significant wave height were verified in terms of accuracy based on statistical criteria. In Section 4, the results are evaluated.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı; çalışma alanı Okeechobee gölünde MIKE 21 SW yazılımı ve Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, ANN) yöntemi kullanılarak spektral dalga modelleri geliştirmektir. MIKE 21 SW yazılımı ile spektral dalga analizi yapılmış; rüzgar etkisi ile oluşan dalgaların birbiriyle etkileşimi, köpüklenme, taban sürtünme, derinlik etkileri ile kırılma, yansıma, sığlaşma ve dalga-akıntı etkileşimi gibi fiziksel olayların dalga iklimine etkisi incelenmiştir. Yapay Sinir Ağları model tahmin sonuçları ölçülmüş dalga yükseklikleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı kalibrasyonlardan elde ettiğimiz modellerin performansı kontrol edilmiştir. MIKE 21 SW model sonuçları ile ANN model sonuçları istatistiksel parametrelere göre değerlendirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

MIKE 21 SW ile Nöro-Fuzzy modelleri kullanılarak Ontorio gölü için dalga tahminleri yapılmıştır. Derin bir göl olan Ontorio için, belirgin dalga yükseklik ve rüzgar hızı verileri kullanılmış olup, ilk olarak 26 günlük eğitim (kalibre) verisi geri kalan 14 günlük veri ise test verisi (tahmin) olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak; köpüklenme (whitecapping) parametresinin kalibrasyonda büyük önem arz ettiği gözlemlenmiştir. Nöro-fuzzy ve MIKE 21 SW modellerinin mukayese edilmesi sonucu ise; nöro-fuzzy modelinin hata oranı MIKE 21 SW ile elde edilen nümerik modelin hata oranına göre daha fazladır (Kazeminezhad ve diğ., 2007).

Yapay Sinir Ağları yöntemi (ANN) ve MIKE 21 SW programı kullanılarak Tayvan için Tayfun modellemesi yapılmıştır. Eksik ve zayıf olan veriyi iyileştirmek için ANN yöntemi kullanılmıştır. Dalga yükseklik verileri MIKE 21 SW programı ile simule edilmiş; ve bu simule edilen dalgalar ile oluşturulan yeni veriler Yapay Sinir Ağları yönteminde girdi olarak kullanılarak iyileştirme yapılmıştır. Çalışma sonucu ANN modeli ile MIKE 21 SW model sonuçları karşılaştırılmıştır. ANN model

sonuçlarına ait korelasyon katsayısı daha yüksek ve Ortalama hata kareleri karekökü (RMSE) ise daha düşük çıkmıştır (Chang ve diğ., 2010).

Altunkaynak ve Wang tarafından, (2012), Florida’da bulunan Okeechobee gölü için Geno-Kalman Filtreleme (GKF) yöntemi ile Yapay Sinir Ağları (ANN) yöntemini kullanarak rüzgar hızından dalga yüksekliği tahmini yapılmıştır. Okeechobee gölündeki LZ40, L006, L005 ve L001 istasyonları için belirgin dalga yükseklikleri tahmin modelleri geliştirilmiş ve iki yönteme göre tahmin sonuçları mukayese edilmiştir. Geno-Kalman Filtreleme (GKF) yöntemi ile tahmin edilen belirgin dalga yüksekliği, Yapay Sinir Ağları (ANN) yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

D. Akin (2011); açık denizdeki rüzgar türbinlerinin eş zamanlı rüzgar ve dalga yüklerine tepkisi adlı çalışmasında nümerik dalga modellemesi için MIKE 21 SW kullanılmıştır. Çalışma bölgesinde kurulması planlanan ya da kurulmuş ve çalışmakta olan açık deniz rüzgar türbinlerine etki eden dalganın tahmini için kullanılmıştır.

M.H. Moeini ve A.Etemad-Shahidi tarafından, SWAN ve MIKE 21 SW spektral modelleri ile Erie gölü’nün dalga tahmini yapılmıştır. Rüzgar ve dalga verileri kullanılarak yapılan çalışmada H_s (Belirgin dalga yüksekliği) ve T_p (en yüksek spektral periyod) parametreleri tahmin edilmiştir. SWAN modeli belirgin dalga yüksekliği tahmininde, MIKE 21 SW modeli ise en yüksek spektral periyodun tahmininde daha başarılı olmuştur (2007).

Kanada Jeolojik Araştırma kapsamında, Manson tarafından hazırlanan çalışmada, Prince Edward adasının kuzey kıyılarındaki Brackley Bight bölgesi için MIKE 21 programı kullanılarak spektral dalga analizi, hidrodinamik modelleme ve sediment taşınımı modelleri kurulmuştur. Dalga, Hidrodinamik ve Sediment taşınımı modelleri birleştirilerek iklim değişikliğinin olası etkileri incelenmiştir. 4 günlük kuzey doğulu orta dereceli fırtına verileri kullanılarak akıntı, dalga ve gelgit sonuçları karşılaştırılmıştır (2013).

Rusya Baydara Koy’unun Ural kıyısındaki kıyı erozyonunu modellemek için MIKE21 programı kullanılmıştır. Öncelikle spektral dalga analizi yapılmış, daha sonra ise hidrodinamik model ile kalibrasyonları yapılmıştır. Son işlem olarak ise sediment taşınımı modellemesi yapılmıştır. Modeli özetleyecek olursak; 2006

Ağustos ayına ait veriler ile kalibrasyon yapılmış ve sınır koşulları bulunduğundan sonra Ural kıyısına ait spektral dalga analizi yapılarak dalga iklimi bulunmuş ve Hidrodinamik modelin kalibrasyonları tamamlanmıştır. Test kısmında ise 2011 Temmuz ve Kasım ayları arasındaki veriler kullanılmıştır. Sonuç kısmında akıntı ve dane yarıçapının sediment taşınımı üzerine etkisi tespit edilerek, gel-git akıntısının da belirgin bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır (Kulkarni, 2013).

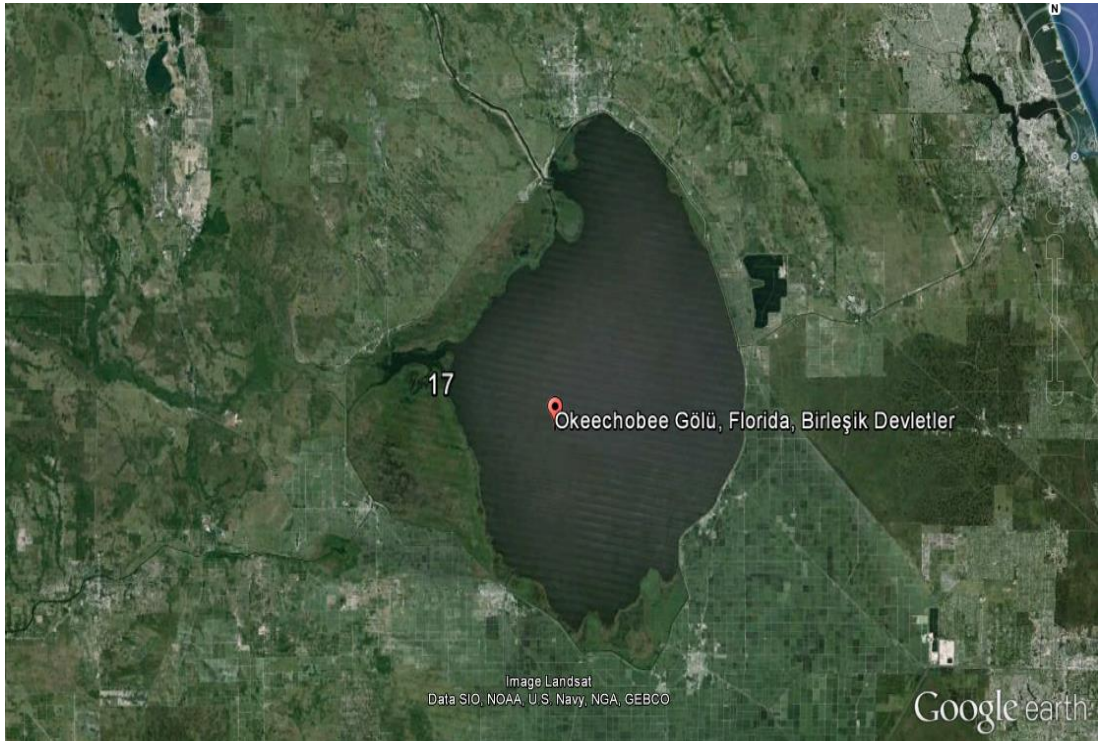
Avustralya'nın Gold Coast bölgesi için SWAN ve MIKE 21 SW ile kıyıya yakın dalga modelleri kurulmuş ve karşılaştırılmıştır. Her iki model de 23- 31 Ocak tarihleri arasındaki dalga verileri kalibre edilerek kullanılmıştır. Modellerin karşılaştırılması sonucu SWAN ile kurulan modelin MIKE 21 SW ile kurulan modele göre rüzgar dalgalanmalarına karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür. Dalga akıntı etkileşimi ise dikkate alınmamıştır (Mirferendesk ve diğ., 2007).

N. Quero Prat, Sisimiut limanının genişletme çalışması için MIKE 21 SW programı ile bölgedeki spektral dalga analizi için önce ağ (grid) analizi yapılmıştır. Ağa dayalı çeşitli kalibrasyonlar sonucu gerçeğe en yakın olan modeller kurulmuştur. Yapılan analizler sonucu çalışmaya akıntı dahil edilmemiştir ancak rüzgar hızı ve yönü dikkate alınarak model kurulmuştur (2010).

2. KULLANILAN VERİ VE YÖNTEMLER

2.1 Giriş

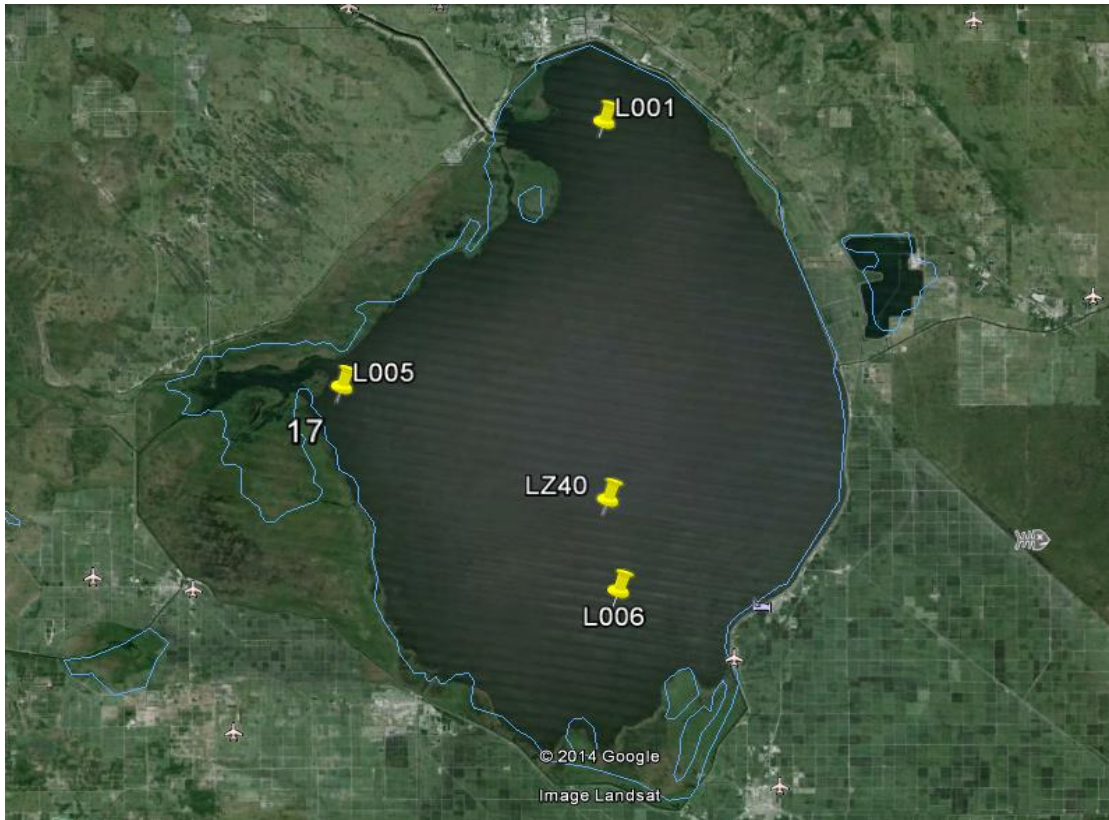
Bu çalışmanın amacı; MIKE 21 SW yazılımı ve Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak Okeechobee gölünde bulunan 4 istasyon için dalga tahmin modelleri geliştirmektir. Bu amaç için çalışma bölgesi olarak ABD'nin Florida eyaletinde bulunan Okeechobee gölü ele alınmıştır (Şekil 2.1). Modellerin doğruluğu ve uygulanabilirliği açısından bölgenin batimetrisi çıkartılmış ve elimizde bulunan rüzgar ve belirgin dalga yüksekliği verileri ile spektral dalga analizi yapılmıştır. Çalışma bölgesi, sığ suda en verimli spektral dalga modelinin ortaya konulabilmesi için farklı senaryolar denenmiş olup bunların içerisinde en uygun model için farklı parametreler ile kalibrasyonlar yapılmıştır.



Şekil 2.1 : Okeechobee Gölü Google Earth görüntüsü.

2.2 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

Okeechobee gölünün batimetri haritasını çıkartabilmek için Güney Florida Bilgi Erişimi (sofia.usgs.gov/publications/maps/lakeokeebathy/index.html) sitesinden batimetri verisi alınmıştır. Download raw data file (ptokeeft.xyz) dosyası indirilmiştir. Verinin formatındaki 1. Kolondaki boylam verisi (GPRS80/NAD83), 2. Kolondaki enlem verisi (GPRS80/NAD83) ve derinlik için 6. Kolondaki derinlik verisi metre cinsinden (NAVD88=Kuzey Amerika 1988 yılı düşey veriler) kullanılmıştır. Rüzgar hızı , belirgin dalga yüksekliği (Altunkaynak, 2013) ve akıntı verileri (Altunkaynak ve Wang, 2010) ise Okeechobee gölünde bulunan sırasıyla, 26°52' 56.00"K ve 80°47'15.01"B enlem ve boylamında bulunan LZ40, 26° 49' 24" K ve 80° 47' 16" B enlem ve boylamında bulunan L006, 26°57'32.97"K ve 80°58'40.02"B enlem ve boylamında bulunan L005, 27° 8'24.00"K ve 80°47'24.00"B enlem ve boylamında bulunan L001 istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır (Şekil 2.2).

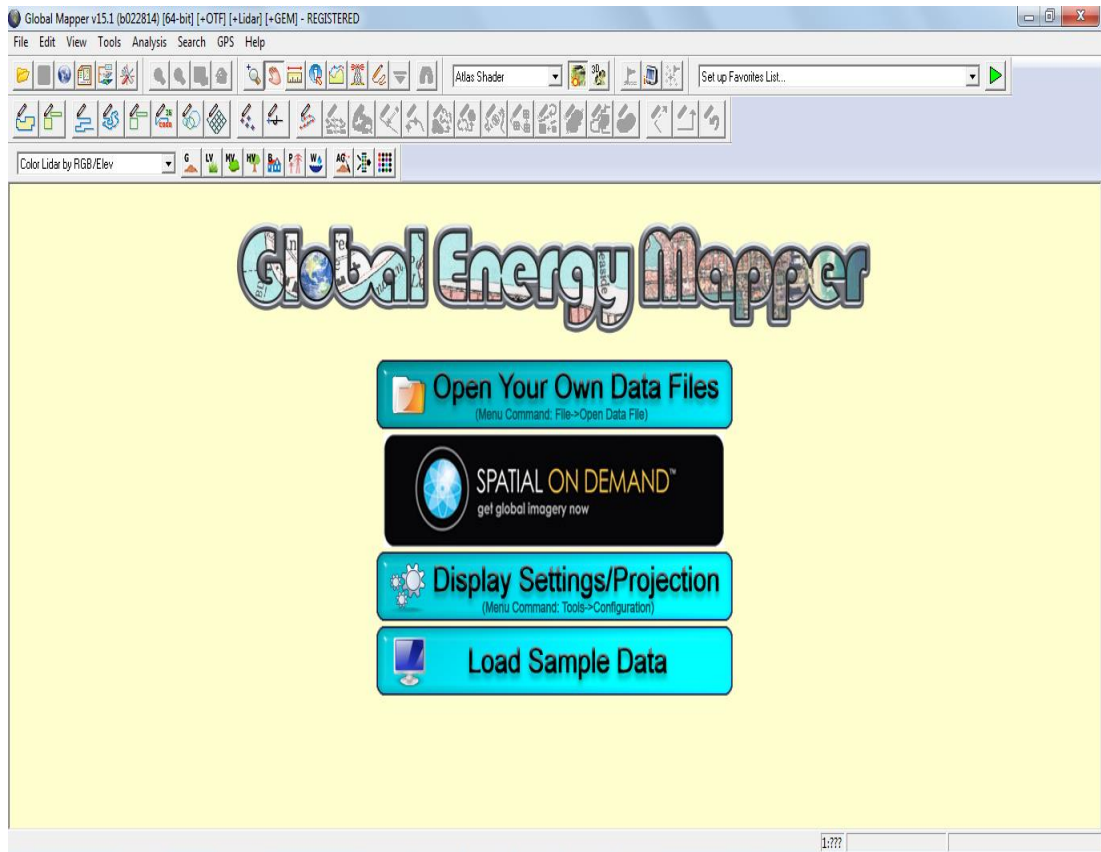


Şekil 2.2 : Okeechobee Gölü LZ40, L006, L005 ve L001 ölçüm istasyonları.

2.3 Kullanılan Programlar

2.3.1 Global Mapper

Global Mapper programı ile birçok vektör ve raster dosya formatını görüntüleyebilir ve bu verileri birçok formata dönüştürebilir, düzenlenebilir ve çıktı alınabilir. Aynı zamanda GPS ile verilerimizi takip edebiliriz (Blue Marble Geographics, 2013). Bu program sayesinde batimetri haritamızı oluşturabiliriz (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Global Mapper programı.

Global Mapper Genel Özellikleri (Blue Marble Geographics, 2013);

- Katman mantığı ile çalışması sebebiyle verilerimizi katmanlar halinde (rastır, vektör, dem vs.) açabilir ve farklı projeksiyon sistemlerindeki verileri bile tek bir projeksiyon altında toplayarak üst üste gösterebilir ya da istediğimiz katmanda çalışıp diğer katmanları kapatabiliriz.
- Verilerimizi çalışma sayfası olarak kaydedip ileride üzerinde oynayabilir kaldığımız yerden devam edebiliriz.

- Verilerimizin projeksiyonunu deęiřtirip istediğimiz formatta kaydedip çalıřabiliriz.
- Veri üzerinde bölgenin alanı, çevresi ya da uzaklığını ölçüp işlem yapılabilir.
- Üç boyutlu nokta veri setlerini (enlem, boylam ve yükseklik) otomatik olarak üçgenleme (triangulation) ile gridlenmesini yapabilir. İstenilen formatta kaydedilebilir olup bir çok uzantıyı da tanımaktadır.

Bu program MIKE21 SW programında kullanılacak olan batimetri haritasını hazırlamak ve MIKE Zero programı aę örgüsü hazırlayan Mesh Generator programında kullanılmak üzere uygun formatta harita ve sınır verilerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Gerekli şekiller ve veriler 3. Bölümde incelenecektir.

2.3.2 MIKE Zero

MIKE Zero, simülasyon, geçmiş ve gelecek süreçlerin analizi ve çevreye yönelik projelerin görselleştirilmesi ve sunumuna imkan sağlayan, Danimarka Hidrolik Enstitüsü'nün Windows'a entegre edilmiş grafiksel kullanıcı arayüzünün ortak adıdır. Çevresel ve Deniz Hidrodinamiğine ait çeşitli çalışmaların çözümü için uzmanlık ve tecrübe ile oluşturulmuş araçları ile sayısal modelleme yapılabilmektedir (DHI, 2012).

Bu araçlar;

MIKE SHE : Bütünleşik yer altı suyu ve yüzey suyu kaynakları için modelleme sistemidir.

MIKE HYDRO : Su tutma havzaları, akarsular ve taşkın planları için fiziksel ve kavramsal model sistemidir.

MIKE 11 : Akarsu ve kanallarda bir boyutlu modelleme sistemidir.

MIKE21 : Sulak alanlar, kıyı alanları ve denizler için iki boyutlu modelleme sistemidir.

MIKE 3 : Derin sulardaki, sulak alanlardaki ve kıyı alanları için modelleme sistemidir.

MIKE 21/3 : Bütünleşik modelleme sistemidir. Dalga, akış ve sediment taşınımı modelleri dinamik modelleri arasında dinamik modeller yapar.

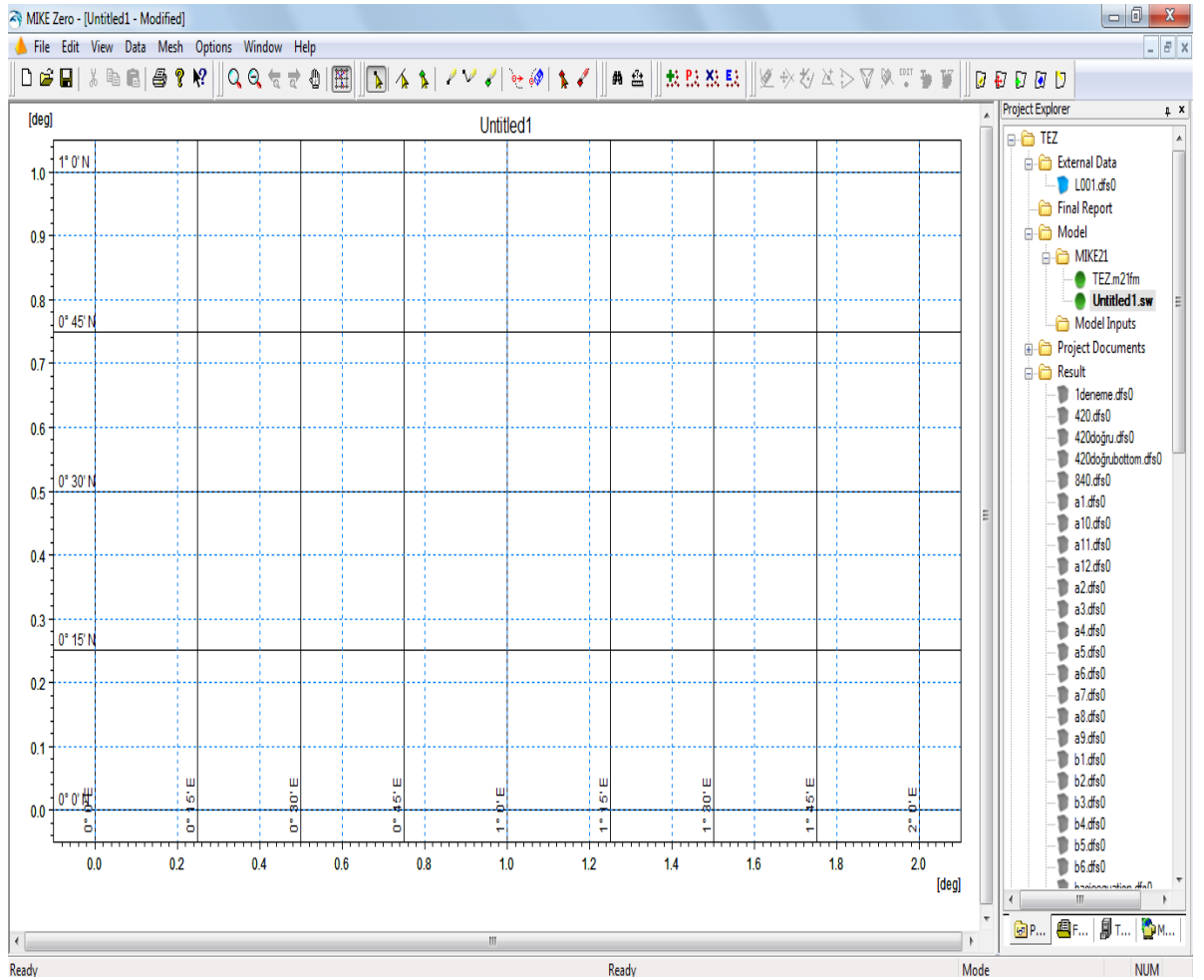
MIKE FLOOD : Denizden uzak kısımlardaki taşkın ve şehir taşkın çalışmaları için bir ve iki boyutlu modelleme sistemidir.

LITPACK : Kıyısal süreçler ve kıyı çizgisi hareketi için modelleme sistemidir.

2.3.2.1 MIKE Zero programının kullandığı araçların tanıtılması

Ağ Örgüsü Hazırlayıcı (Mesh Generator)

Ağ örgüsünün oluşturulması, modellenecek uygun alanın seçimi, yeterli çözünürlükteki batimetri, akış, rüzgar ve açık ya da sınır alanındaki kodların tanımı ve değerlendirmesi altındaki dalga alanını içerir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : MIKE Zero Ağ Örgüsü Hazırlayıcı programı.

Batimetri ve meş dosyası (DHI, 2012);

1. Model alanındaki su derinliğini tarif etmeli,
2. Geçerli doğruluktaki model sonuçlarını sağlamalı,
3. Kullanıcıya uygun simulasyon zamanı tanımalıdır.

Bu koşulları sağlamak için ise ağ örgüsü (DHI, 2012);

1. Üçgenin iki kenarı arasındaki açı küçük olmamalı (En iyi ağ eşkenar üçgenle sağlanır.)
2. Yumuşatılmış sınırları olmalı,
3. Alandaki özel bölge yüksek çözünürlükte olmalı,
4. Aynı harita verisine bağlı xyz verileri kullanılmalıdır.

2.3.3 MIKE 21 SW

Programın amacı; kıyı alanlarındaki ve açık denizdeki dalga iklimini değerlendirmektir. Meş ağına dayalı yeni nesil spektral rüzgar-dalga modeli uygulamaları için kullanılmaktadır. Model; rüzgar dalgalarının gelişimi, bozunumu ve taşınımı ile rüzgar kesilince dalganın yoluna devam etmesi sonucu denizin kabarması durumunu simule eder (DHI, 2012).

MIKE21 şu fiziksel olayları içermektedir;

- Rüzgar hareketi ile dalga gelişimi
- Lineer olmayan Dalga-Dalga etkileşimi
- Köpüklenme (White capping) ile enerji kaybı
- Taban sürtünmesi ile enerji kaybı
- Derinliğe bağlı dalga kırılması ile enerji kaybı
- Derinliğin çeşitliliğine bağlı olarak kırılma ile sapma ve sığlaşma
- Dalga-Akıntı etkileşimi
- Zamanla değişimin su derinliğine etkisi

MIKE21 SW iki farklı formül içerir.

1. Yönsel Ayrıştırılmış Parametrik Formülasyon (Directionally Decoupled Parametric Formulation)
2. Bütünüyle Spektral Formülasyon (Fully Spectral Formulation)

Prensip olarak bütünüyle spektral dalga formülasyonunu kullanan dalgalar da dalga gelişimi, bozunumu ve açık denizdeki ve kıyı alanlarındaki rüzgar kaynaklı dalga

transferi ve swell olayları incelenebilmektedir. Ancak yönsel ayrıştırılmış parametrik formülasyonu daha kısa sürmesine rağmen tercih edilmez çünkü doğruluğu bütünüyle spektral formülasyonuna göre daha azdır. Küçük ölçekteki dalga taşınımı uygulamalarında (10-50 km arasındaki ve daha küçük bölgeler için), tam gelişmiş deniz durumunun baskın olduğu durumlarda ve swell'in ihmal edilebildiği durumlarda kullanılabilir (DHI, 2012).

2.3.3.1 Spektral formülasyonlar

Yönsel ayrıştırılmış parametrik formülasyon (Directionally Decoupled Parametric Formulation)

Dalga hareketinin korunumu eşitliğinin parametrelendirilmesine dayanır. Parametrelendirme frekans bölgesindeki bağımlı değişkenlerin (Holthuijsen, 1989) sıfırinci ve birinci momentleri tanımlanarak yapılmıştır. Benzer yaklaşım MIKE21 yakın kıyı spektral rüzgar-dalga modülü (NSW-Nearshore Spektral Wind-Wave Module) de kullanılmıştır (DHI, 2012).

Bütünüyle spektral formülasyon (Fully Spectral Formulation)

Komen ve diğerleri (1994) ve Young (1999) tarafından yönsel frekans dalga hareketi spektrumunun bağımlı değişkenler olarak tanımlandığı dalga hareketinin korunumu eşitliğine dayanır (DHI, 2012).

Bu yöntemde hesaplama daha uzun sürmesine rağmen, dalganın gelişimi, bozunumu ve rüzgar kaynaklı dalganın taşınımı ile dalga analizinde kullanılır ve açık deniz ve kıyı alanlarındaki dalganın rüzgarla kabarmasının analizinde kullanılır. Bu yüzden rüzgar bu alanlardaki ana faktördür.

Basit korunum eşitlikleri küçük ölçekteki uygulamalar için kartezyen koordinat sistemi ve büyük ölçekteki uygulamalar için polar küresel koordinat sistemi ile kesin ve açık olarak ifade edilmiştir (DHI, 2012).

2.3.3.2 Zaman formülasyonları

Spektral dalga modülü iki zaman formülasyonu içerir (DHI, 2012);

1. Yarı-Durağan (Quasi-stationary) formülasyonu
2. Durağan (Instationary) formülasyon

Yarı-durağan (Quasi-stationary) formülasyon

Yarı-durağan formülasyonunda, zaman bağımsız bir değişken olarak alınır ve kararlı durum çözümü tüm zaman aralığında hesaplanır.

Yarı-durağan formülasyonu iki şekilde çözüm yapar (DHI, 2012);

1. Newton Raphson iterasyon yöntemi
2. Zaman alanında iterasyon yöntemi

Durağan (Instationary) formülasyon

İlk olarak dalga yayılım aralığının çözümünü yalnızca basit korunum eşitliği ile kaynak (source function) fonksiyonlarını hesaba katmadan çalışarak ulaşır.

Durağan yönsel parametrik (Instationary directionally parametric) formülasyonda ise rüzgar kuvveti uygulamaya dahil edilmez (DHI, 2012).

2.3.3.3 Basit eşitlikler

Genel

Dalga hareketi yoğunluğun taşınım eşitliği yer çekimi dalgalarının dinamiği ile açıklanır. Model formülasyonu dalga yönüne, θ , ve göreceli (relatif) açısal frekansa, σ , bağlıdır (DHI, 2012).

Hareket yoğunluğu, $N(\sigma, \theta)$,

Enerji yoğunluğu, $E(\sigma, \theta)$,

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \sqrt{g \cdot k \cdot \tan(kd)} = w \cdot \vec{k} \cdot \vec{u} \quad (2.2)$$

w = kesin açısal frekans.

$$C_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k}, \quad (2.3)$$

C_g = grup hızı .

$$C = \frac{\sigma}{k}, \quad (2.4)$$

C = faz hızı.

Dalga hareketi korunum eşitliği

Kartezyen koordinatlarda dalga hareketinin korunum eşitliği (DHI, 2012);

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V} \cdot N) = \frac{S}{\sigma}, \quad (2.5)$$

$N(x, \sigma, \vartheta, c) =$ Hareket yoğunluğu,

$t =$ Zaman.

$\vec{x}(x,y) =$ Kartezyen Koordinat.

$\vec{V}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\vartheta) = 4$ farklı fazdaki dalga grubunun dağılma hızları.

$$\sigma = 2\pi f_r \quad (2.6)$$

$\sigma =$ Relatif açısal frekans

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{u} \quad (2.7)$$

$$c_\sigma = \frac{d\vec{\sigma}}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial k} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{u} \nabla \vec{x} d \right] - \vec{c}_g \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} \quad (2.8)$$

$$c_\vartheta = \frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = \frac{-1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial k} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \frac{d\vec{u}}{dm} \right] \quad (2.9)$$

Enerji dengesi eşitliği

Sıgı sudaki Eulerian enerji denge eşitliği (DHI, 2012):

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \underbrace{\frac{\partial (cx E)}{\partial x}}_{\text{Sığlaşmayı}} + \underbrace{\frac{\partial (cy E)}{\partial y}}_{\text{Sığlaşmayı}} + \underbrace{\frac{\partial (c\vartheta E)}{\partial \vartheta}}_{\text{Kırılmayı}} = S \quad (2.10)$$

temsil eder. temsil eder. temsil eder.

Tümüyle spektral formülasyon $E(\sigma, \vartheta)$

Hareket denge eşitliğine bağlıdır (DHI, 2012). Hareket,

$$N = N(x, y, \sigma, \vartheta) = \frac{E}{\sigma} \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \underbrace{\frac{\partial (cxN)}{\partial x} + \frac{\partial (cyN)}{\partial y}}_{\substack{\text{Sığlaşma} \\ \text{(derinlik)} \\ \text{(akıntı)}}} + \underbrace{\frac{\partial (c \sigma N)}{\partial \sigma}}_{\substack{\text{Frekans} \\ \text{ötelemesi}}} + \underbrace{\frac{\partial (c\theta N)}{\partial \theta}}_{\substack{\text{Kırılma (akıntı, derinlik)} \\ \text{Yansıma (derinlik, engel)}}} = S \quad (2.12)$$

Akıntının olması durumunda;

Hareket N korunur, enerji korunmaz.

Dalga yayılımı lineer dalga teorisine göre;

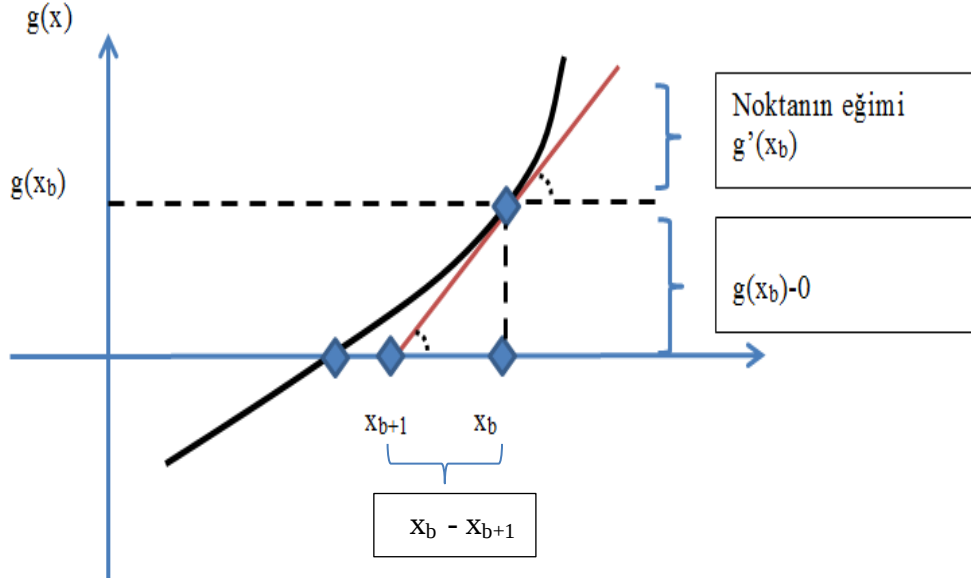
Dağılma ilişkisi,

$$\sigma^2 = gktanh \, , \, \sigma = w-k.u \quad (2.13)$$

ile hesaplanır.

Newton-Raphson iterasyon yöntemi

Lineer olmayan denklemlerin çözümünde köklerinin kullanılan yöntemlerden birisi de Newton-Raphson yöntemidir. Newton-Raphson yönteminin amacı; başlangıç değerinin fonksiyonu kestiği noktadan çizilen teğetin yatay eksenini kestiği yeni nokta başlangıç değeri ile değiştirilerek köke yaklaştırılmaya çalışılmasıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Newton-Raphson iterasyon yöntemi.

Bulunan yeni nokta genellikle başlangıç değerine göre 0'a daha yakın bir köktür.

$$g'(x_b) = \frac{g(x_b) - 0}{x_b - x_{b+1}} \quad (x_b - x_{b+1}) g'(x_b) = g(x_b) \quad (2.14)$$

$$x_{b+1} = x_b - [g(x_b) / g'(x_b)] \quad x_{b+1} - x_b = - [g(x_b) / g'(x_b)]$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\epsilon \text{ (hata)}}$

ϵ hata olarak tanımlansın.

$$-g(x_b) = \epsilon g'(x_b) \quad (2.15)$$

Kaynak fonksiyonları (Source Functions)

Enerji kaynağı terimi, S, fiziksel olayların üst üste bindirilmesini (süperpozisyon) temsil eder (DHI, 2012).

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (2.16)$$

S_{in} = Rüzgar kaynaklı dalga enerjisi

S_{nl} = Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi nedeniyle dalga enerji transferi

S_{ds} = Köpüklenme sonucu enerji kaybı

S_{bot} = Taban sürtünmesi sonucu enerji kaybı

S_{surf} = Derinliğe bağlı dalga kırılması ile enerji kaybı

Rüzgar kuvvetinin sağladığı enerjiyi dalga-dalga etkileşimi ve çeşitli nedenlerle enerji kaybı sayesinde dengeler bu sayede rüzgar ile sonsuza dek gelişen dalgalar oluşmaz. Baskın dalga hızı rüzgar hızına yaklaştığında gelişme oranında düşüş meydana gelir. Bu lineer olmayan ilişki alanın yakınında çok önemlidir, rüzgar dalgasından swell'e geçiş yapar.

Dalga-dalga etkileşimi sürecinde; verilen frekans bandından diğer düşük frekanslara lineer olmayan enerji transferi vardır. Enerji kaybı özellikle köpüklenmeden (whitecapping) dolayı meydana gelir, dalga dikliği 1/7'ye ulaştığında white cap şeklindeki derin suda dalga boyundan daha küçük ölçekte kırılır.

Sığ suda dalgalar taban etkisini hisseder ve sığlaşmaya neden olur. Taban sürtünmesi $d/L=1/2$ olduğunda etkisini göstermeye başlar. Kırılma, kıyı çizgisine ulaşan dalgaların azalan derinliğe doğru yön değiştirmesi ve kıyıya dik gelmesi olayıdır.

Dağılma, kırılma ile beraber meydana gelir, dalganın yönüyle birlikte büyüklüğü de değişir.

Rüzgar verileri

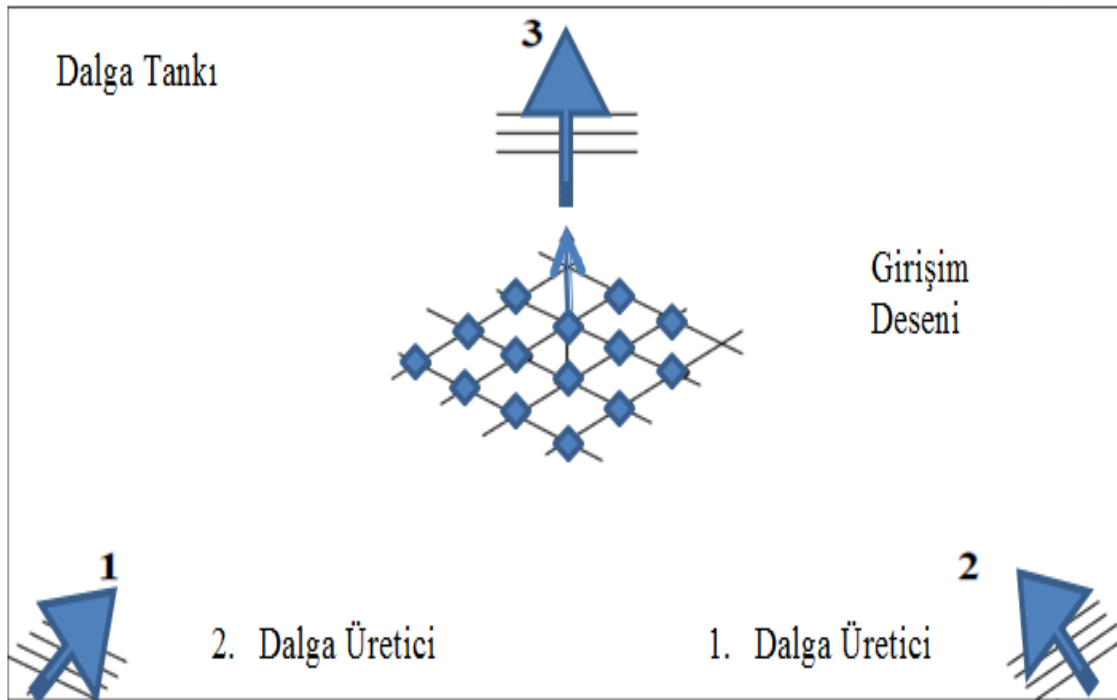
Hava akımındaki türbülans ile dalga etkileşimi ele alınarak çalışılmıştır. 1980'lerin sonuna doğru iki görüş ortaya çıkmıştır; birincisi küçük ölçekteki türbülansın dalga gelişimine etkisi, ikincisi ise büyük ölçekteki türbülansın dalga gelişimine etkisidir. İkinci yaklaşımın rüzgar hızındaki ani değişimlerden dolayı (hamle değerlerinden dolayı) enerji transferini arttırdığı keşfedilmiştir, özellikle de 10 metredeki rüzgar hızı için faz hızına sahip dalgalar için (DHI, 2012).

Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi

Dörtlü dalga etkileşimleri

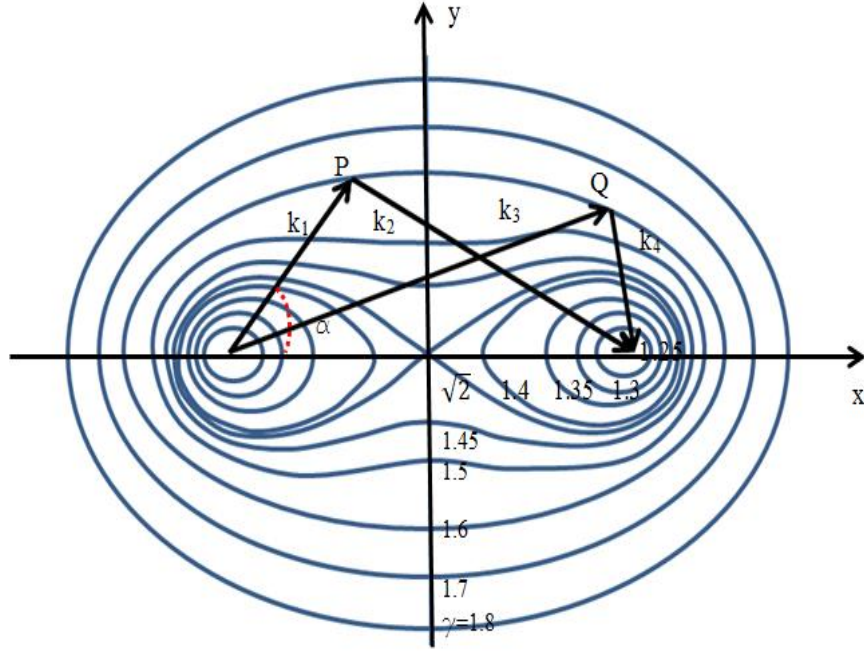
Dalga bileşenleri dalga-dalga rezonansı boyunca kendi aralarında enerji transferi yapabilirler (DHI,2012). Örneğin;

Bir tankta iki dalga üretelim, normal şartlarda onların girişim deseni ile üçüncü dalga oluşturulabilir (Şekil 2.6).



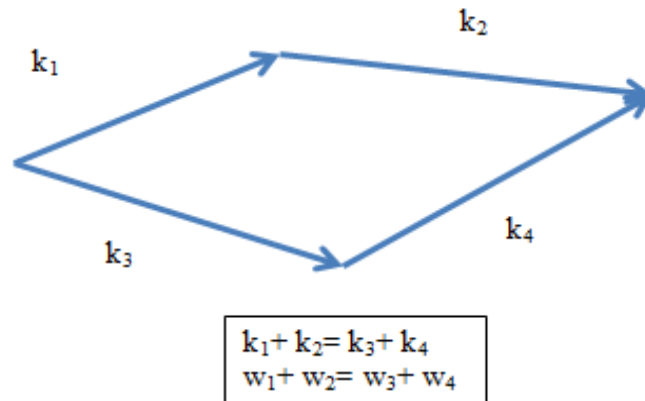
Şekil 2.6 : Dalga tankında üretilen iki dalga modeli.

Kendi dalga boyuna, hızına ve yönüne sahip olan girişim modeli serbest yüzey dalga enerji transferi ile rezonans üretecektir. Ayrıca derin suda bu sadece dördüncü dalgayı üreten üç dalganın bileşenleri için gerçekleşir, buna dörtlü dalga etkileşimi denir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Dörtlü dalga etkileşimi (Hasselman, 1962).

Hasselmann (1962)' a göre dört dalga içinde enerji değişimi olabilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Dörtlü dalga enerji değişimi (Hasselman, 1962).

Üçlü dalga etkileşimleri

Dörtlü dalga etkileşimi derin sularda etkili iken üçlü dalga etkileşimi sığ sularda etkilidir (DHI, 2012). Bu da üç dalga bileşeninin enerji değişimine neden olması ile dalga etkileşimi arasında açıklanabilir. Dalganın yapı üzerinde ya da eğimli kumsalda kırılmasında ve kırılmamasında önemli bir etkiye sahiptir.

Köpüklenme (White Capping) ile enerji kaybı

Hasselmann (1973), white cap dağılım mekanizmasını basınçtaki bozunma ile açıklamış ve bir dağılım kaynak fonksiyonu elde etmiştir. Lineerdir ve hem spektral yoğunluğu içermekte hem de frekansa bağlıdır.

$$S_{ds} = -wE \quad (2.17)$$

Daha sonra diğer mekanizmalarında önemli olduğunun farkına varmıştır. White capping dalga dikliği ile kontrol edilmektedir. C_{dis} ve Δ_{dis} parametrelerini içermektedir (DHI, 2012).

C_{dis} : Oransal bir parametredir ve kaynak fonksiyonundaki enerji kaybını göstermektedir. Bütün dağılım oranlarını kontrol eder.

Δ_{dis} katsayısı: Enerji ya da hareket spektrumundaki dağılımın ağırlığını kontrol eder (Hasselmann, 1973).

$$S_{ds}(\sigma, \nu) = -C_{ds}(k^{-2}m_o)^2 \left\{ (1 - \delta) \frac{k}{\bar{k}} + \delta \left(\frac{k}{\bar{k}} \right)^2 \right\} \bar{\sigma} N(\sigma, \nu) \quad (2.18)$$

$\bar{\sigma}$ = ortalama açısal frekans

$\bar{k}$ = ortalama dalga sayısı

Programda varsayılan değerler (Komen ve diğ., 1994):

$$C_{dis} = 4.5, \quad \delta_{dis} = 0.5$$

C_{dis} 'in azalması dalganın büyümesini azaltır.

$0 < \delta_{dis} < 1$ arasında değişir.

$0.5 > \delta_{dis}$ ise daha düşük frekanstaki dalgaların dağılımının artması daha küçük dalga periyoduna neden olur.

$0.5 < \delta_{dis}$ ise daha yüksek frekanstaki dalgaların dağılımının artması daha yüksek dalga periyoduna neden olur.

Genel olarak Köpüklenme enerji kaybına neden olur.

Taban sürtünmesi ile enerji kaybı

Sığ sularda, yörünge eliptik bir hal alır. Taban etkisi hissedilir. Taban sürtünme katsayısının artması enerji kaybının artmasına neden olur. Bu da dalga boyunun ve dalga periyodunun azalmasına neden olur (DHI, 2012).

Derin sularda, taban sürtünmesi ihmal edilebilir çünkü dalgalar tabanı hissetmez.

- C_{fw} Sürtünme katsayısı
 - 0.0077 m/s
 - Dalga hidrodinamiğine ve sediment şartlarına bağlı değildir.
- f_w Sürtünme faktörü
 - 0.0212
 - Dalga hidrodinamiğine ve sediment şartlarına bağlı değildir.
- k_N Nikuradse pürüzlülüğü
 - 0.04 (açıkdeniz için geçerli)
 - Dalga hidrodinamiğine ve sediment şartlarına bağlıdır.
- d_{50} Kum tane boyutu
 - 0.00025 m (ortalama tane boyutu)
 - Dalga hidrodinamiğine ve sediment şartlarına bağlıdır.
 - Shemdin ve diğerlerine göre, sediment iyi kumdan oluşmuşsa taban sürtünmesi baskındır, $d_{50} = 0.1-0.4$ mm
 - Deniz yatak formu yok ise Nikuradse pürüzlülüğü
 $k_N = 2d_{50}$ olarak tahmin edilebilir.

Derinliğe bağlı dalga kırılması ile enerji kaybı

$L/25 < d < L/2$ olması durumunda, dalga derinlikten etkilenecek taban sürtünmesini hissetmeye başlar. Kalibrasyonda kullanacağımız derinlik parametreleri önemlidir, dikkatle modele uydurulmaya çalışılmalıdır.

İki parametreye bağlıdır;

γ , derinliğe bağlı kırılma miktarını kontrol ederken,

α , dalganın kırılma olayından sonraki enerji kaybı oranını kontrol eder (DHI, 2012).

α 'daki artış enerji kaybında artışa neden olur (DHI, 2012).

γ 'daki artış derinliğe bağlı dalga kırılımını azaltır.

$$S_{\text{surf}}(\sigma, \vartheta) = \frac{-\alpha Q_b \bar{\sigma} H_m^2}{8\pi} \cdot \frac{E(\sigma, \vartheta)}{E_{\text{tot}}} \quad (2.19)$$

α = kalibrasyon sabiti

Q_b = dalga kırılma fraksiyonu

$\bar{\sigma}$ =ortalama relatif frekans

E_{tot} = toplam dalga enerjisi

$H_m = \gamma \cdot d$ Maksimum dalga yüksekliği

γ = kırılma sabiti

γ özellikle dalga şartlarına ve batimetriye bağlıdır.

- Kaminsky ve Kraus γ değerini 0.6 - 1.59 arasında bulmuştur. Ortalama 0.79'dur (DHI, 2007).
- Battjes ve Stive (1985) γ değerini, derin sulardaki dalga dikliğinin zayıflığı ile ilişkilendirmiştir.

$$\gamma = 0.5 + 0.4 \tanh(33S_o) \quad S_o = H_o/L_o \text{ (Dalga dikliği)}$$

- Nelson (1987)

$$\gamma = 0.5 + 0.88 \exp(-0.012 \cotan(\frac{\partial d}{\partial s})) \quad d \leq 100$$

$$\gamma = 0.55 \quad d > 100$$

- Ruessink ve diğerleri (2003),

$$\gamma = 0.76kh + 0.29$$

k= bölgesel dalga sayısı, d= su derinliği

2.3.4 Yapay sinir ağları (ANN- Artificial neural network)

Yapay Sinir Ağları paralel olarak faaliyet gösteren basit yapılardan oluşur. Bu basit yapı biyolojik sinir sisteminden esinlenmiştir. İnsan beyninden ilham alınarak tasarlanmış ve bunu da basit programlama yöntemleri geliştirerek farklı mühendislik problemlerine ortak çözüm sunabilmektedir. Bir çok mühendislik probleminin yanı sıra; tıp, ekonomi, endüstri, sosyal bilimler vb. bir çok alana da çözüm sunmaktadır (Beale ve diğ., t.y (ikinci baskı)).

Farklı formdaki sayısal veriler arasında bağlantı kurabilmekte ve aynı insan beyninde gerçekleştirdiği rutin ama bir o kadar da karmaşık işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

Yapay Sinir Ağlarının çalışma prensibi, biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi sinir hücresi ve bu hücreyi oluşturan nöronlardır.

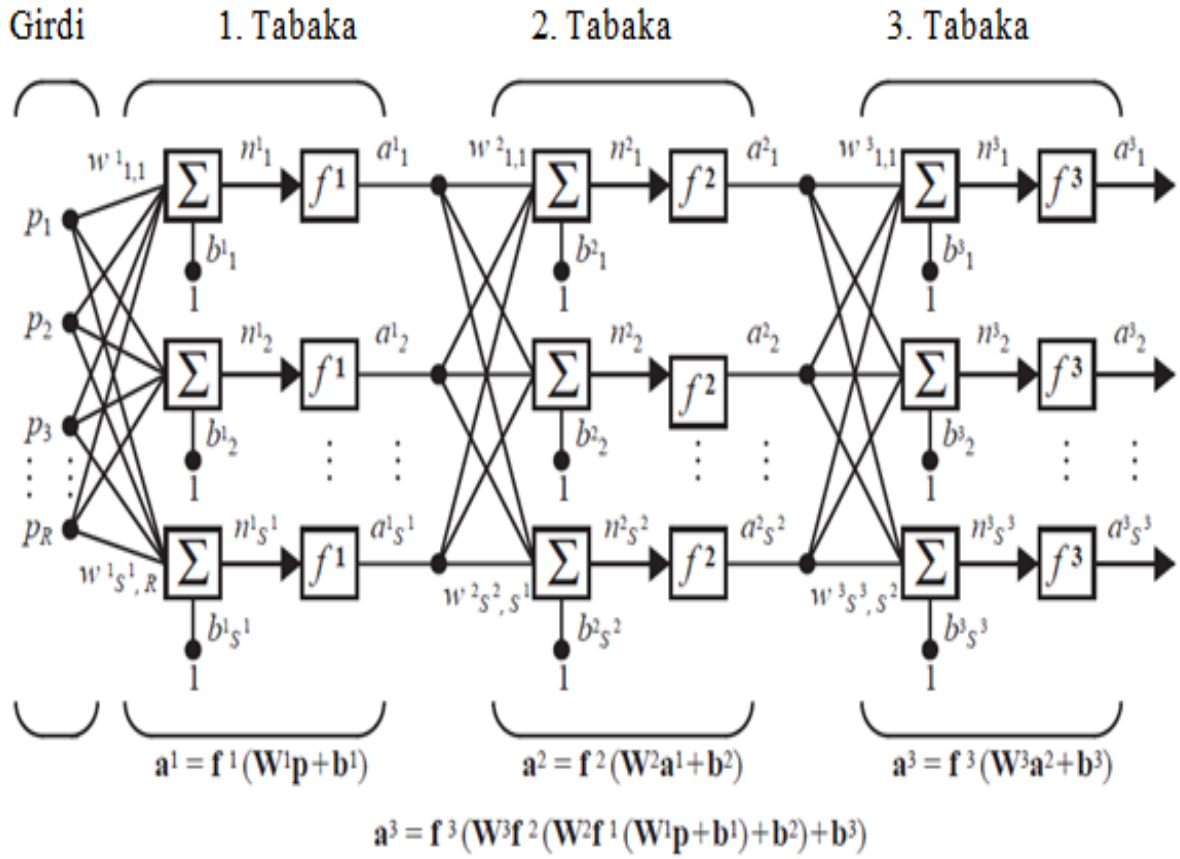
Yapay Sinir Ağlarına birden fazla girdi girerek, tek bir sonuca ulaşılabilir. Burada önemli olan, problemin çözümüne dayalı, en iyi sonucun alınabileceği fonksiyonların seçilmesi ve nöron sayısının ayarlanmasıdır.

Şekil 2.9’de 3 tabakalı bir Yapay Sinir Ağının modellenmesi gösterilmiştir. Yapay Sinir Ağı modelinde görüldüğü üzere p girdi sayısıdır ve n tane girdi için p_n ’e kadar gitmektedir.

W^1 1. Tabaka için girdinin işlem gördüğü sayıyı temsil etmektedir. n^1 , 1. Tabakadaki nöron sayısını temsil ederken, n^1_1 , 1 nöron sayısı alındığını belirtmektedir.

1. Tabakadaki n tane nöron sayısı için n^1_n ’e kadar devam etmektedir.

b^1 , 1. Tabakadaki verinin bias vektörünü temsil etmektedir (ağırlık olarak geçmektedir). f^1 1. Tabakadaki seçilen transfer fonksiyonunu temsil etmektedir. a ise çıktıyı temsil etmektedir. N tane veri için 3 tabakalı n tane nöron için seçilen model Şekil 2.9’de ifade edilmektedir.



Şekil 2.9: 3 Tabakalı Yapay Sinir Ağının yapısı (Beale ve diğ.,t.y (ikinci baskı)).

1. Tabaka için (Beale ve diğ.,t.y (ikinci baskı),

$$a^1 = f^1(W^1 p + b^1) \quad (2.20)$$

2. Tabaka için (Beale ve diğ.,t.y (ikinci baskı),

$$a^2 = f^2(W^2 a^1 + b^2) \quad (2.21)$$

3. Tabaka için (Beale ve diğ.,t.y (ikinci baskı),

$$a^3 = f^3(W^3 a^2 + b^3) \quad (2.22)$$

Bu durumda 3 tabakalı bir modelden bulunan sonuç;

$$a^3 = f^3(W^3 f^2(W^2 f^1(W^1 p + b^1) + b^2) + b^3) \quad (2.23)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Yapay Sinir ağları ile oluşturulan model 3. Bölüm’de bahsedilmiştir.

2.4 Model Performansı Değerlendirme Yöntemleri

2.4.1 Korelasyon katsayısı

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve eğilimini ölçer. Doğrusal korelasyon katsayısı Karl Pearson tarafından keşfedilmiş olup matematiksel formülü şekildedir:

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (2.24)$$

$-1 \leq r \leq +1$ + ve – işaretleri pozitif ve negatif doğrusal korelasyonu gösterir.

Pozitif Korelasyon: x ile y arasında güçlü bir pozitif ilişki varsa pozitif korelasyon vardır ve $r \rightarrow 1$ 'e yakın olur. Pozitif değerler x ve y arasındaki ilişkiyi gösterir ; x artarsa y'de artar.

Negatif Korelasyon: x ile y arasında güçlü bir negatif ilişki varsa negatif korelasyon vardır. $r \rightarrow -1$ 'e yaklaşır ve aralarındaki ilişki; y artıyorsa x azalıyordur şeklinde ters ilişki vardır.

Korelasyon yoksa ya da zayıf ise korelasyon $r \rightarrow 0$ a yakın olur. 0'a yakın olması demek rastgele bir dağılım olduğunu gösterir. İki değişkenin arasında bir ilişki yoktur.

Korelasyon 0.8'den büyükse güçlü bir ilişki, 0.5'den küçükse zayıf bir ilişki olarak tanımlanır (Dancey ve Reidy's, 2004).

R^2 , Belirleme katsayısı: İki değişken arasındaki bağımlılığı gösteren parametredir. Belirleme Katsayısı toplam dağılımın çeşitliliğini gösteren bir katsayıdır.

$0 \leq R^2 \leq +1$ arasında ise güçlü bir ilişki vardır.

$r = 0.922$ ise $R^2 = 0.850$ olur. Bu da y'deki toplam değişikliğın % 85'inin x ve y arasındaki lineer ilişkisi olarak tanımlanabilir.

2.4.2 Hataların karelerinin ortalamasının karekökü (Root mean square error, RMSE)

Genellikle model tarafından tahmin edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki farkı ölçmek için kullanılır. Hataların kareleri toplamı ortalamasının kareköküdür.

Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (T - G)^2} \quad (2.25)$$

Burada T: tahmini değerini, G: gözlem değerini gösterir ve N: veri sayısını ifade eder. RMSE değerinin 0' a yaklaştığı durumda x ile y arasında çok güçlü bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

2.4.3 Hata karelerinin ortalaması (Mean squared error, MSE)

Tahmin ile gözlem arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan kriterlerden biridir. Hataların kareleri ortalamasıdır.

Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (T - G)^2 \quad (2.26)$$

MSE değerinin 0' a yaklaştığı durumda x ile y arasında çok güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

2.4.4 Saçılım indeksi (Scatter Index, SI)

Saçılım indeksi, standart sapmanın ortalama değere bölünmesi ile elde edilir.

Diğer bir ifade ile RMSE'un ortalamaya oranıdır.

Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{G}} \quad \text{veya} \quad SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (T - G)^2}}{\bar{G}} \quad (2.27)$$

SI < 0.30 olmalı ancak 0.20 değeri de çok iyi bir sonuçtur (Schmith ve Borch, 2013).

WMO (World Meteorology Organisation) ve Avrupa hava tahmin merkezine göre bu değer uluslararası kabul edilen standarttır. R = 0.8 in üstünde SI de < 0.30 olduğu zaman en iyi sonuca ulaşıldığı kabul edilebilir (Schmith ve Borch, 2013).

2.4.5 Verimlik katsayısı (Coefficient of efficiency, CE)

Model sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek amacı ile kullanılır.

Hataların ortalamasının gözlemin varyansına oranının 1'den çıkartılması ile bulunur.

Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$CE = [1 - (\frac{1}{N} \sum (T - G)^2) / \text{Var}(G)] \quad (2.28)$$

Verimlilik katsayısı, CE, 1'e ne kadar yaklaşırsa, sonuç da gözlem değerlerine o derece yakındır.

3. UYGULAMA VE ANALİZLER

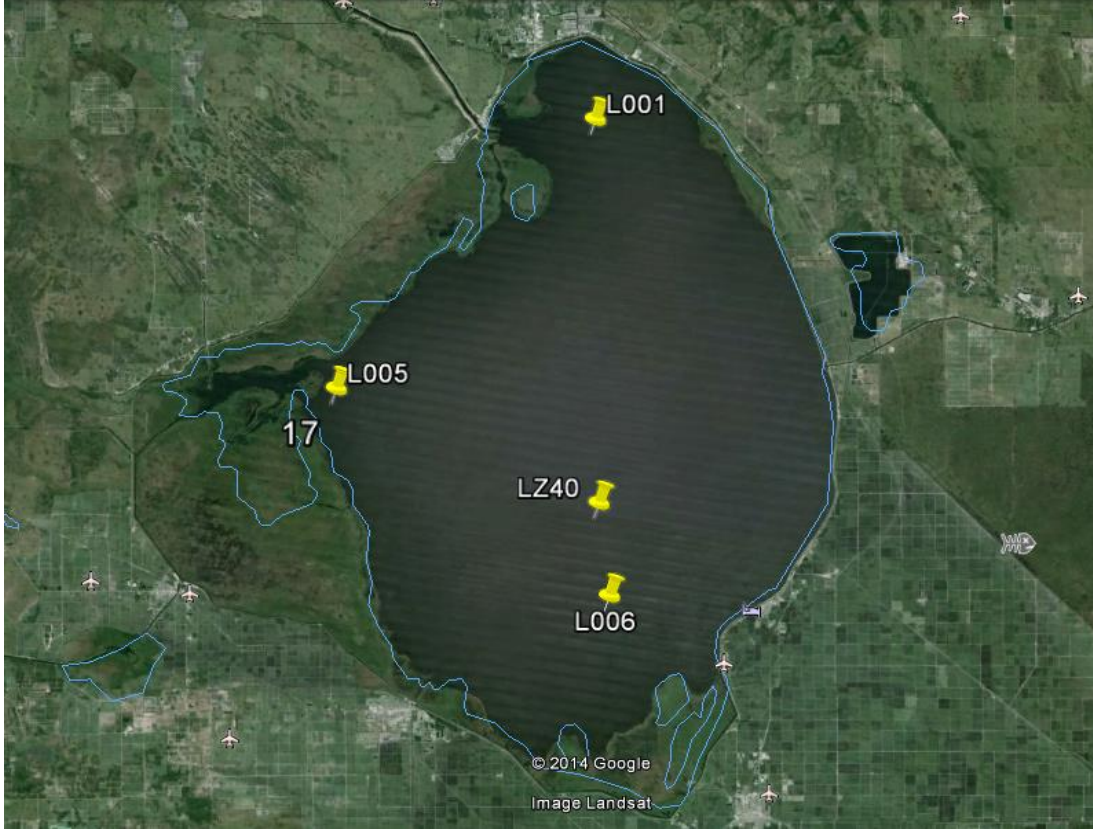
3.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Okeechobee gölü, ABD'nin Florida Eyaletinde bulunmakta olup, merkezi güney Florida'da $26^{\circ} 41'$ ve $27^{\circ} 12'$ Kuzey, $80^{\circ} 36'$ ve $81^{\circ} 05'$ Batı enlem ve boylamlarında yer almaktadır (Jin ve diğ., 2003). Bölgenin en önemli su kaynaklarından biridir. Su temini, deniz taşımacılığı, doğal vahşi yaşam alanı ve balıkçılık gibi farklı amaçların kullanımına uygundur. Gölün yüzölçümü 1890.7 km^2 (730 mi^2) ve ortalama derinliği 2.74 m (9 feet)'dir ((SFWMD), 2014). Ülkenin güney doğusundaki en büyük tatlı su gölüdür ve en önemli su kaynağı da Kissimmee ırmağıdır ((SFWMD), 2014). Oldukça sığ olan bu göl için suyun karışımı ve hareketi açısından rüzgar çok önemli bir parametredir.

Okeechobee gölünde bulunan istasyonlar ve koordinatları:

- **LZ40** $26^{\circ}52' 56.00''\text{K}$ ve $80^{\circ}47'15.01''\text{B}$,
- **L006** $26^{\circ} 49' 24'' \text{K}$ ve $80^{\circ} 47' 16'' \text{B}$,
- **L005** $26^{\circ}57'32.97''\text{K}$ ve $80^{\circ}58'40.02''\text{B}$,
- **L001** $27^{\circ} 8'24.00''\text{K}$ ve $80^{\circ}47'24.00''\text{B}$ enlem ve boylamında bulunan ölçüm istasyonlarında dalga analizi yapılmıştır.

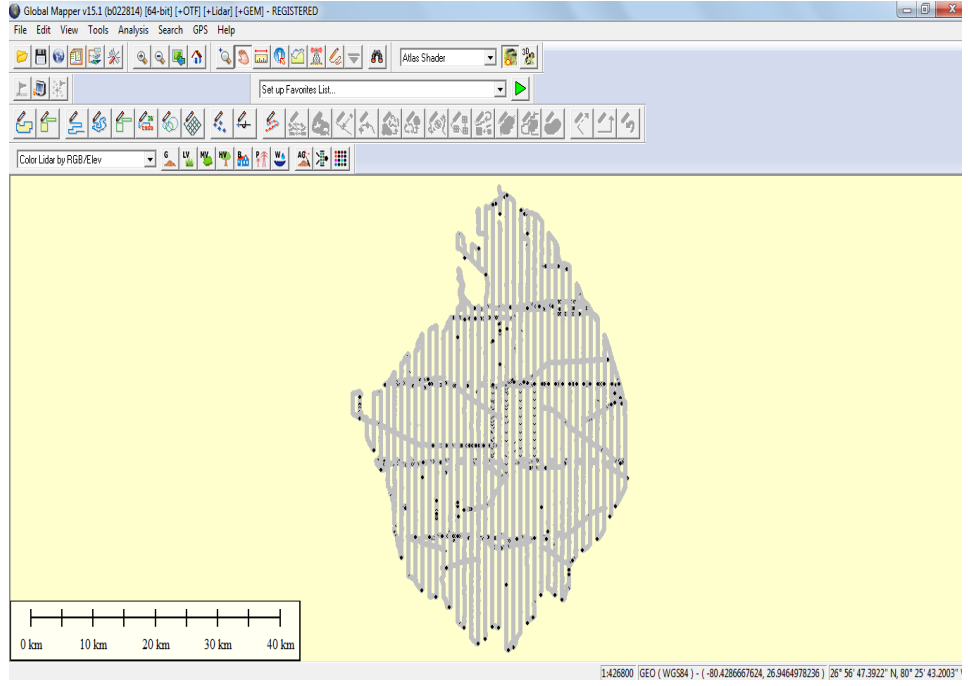
Okeechobee gölü LZ40, L006, L005 ve L001 ölçüm istasyonlarına ait Google Earth görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Okeechobee Gölü LZ40, L006, L005 ve L001 ölçüm istasyonlarına ait Google Earth görüntüsü.

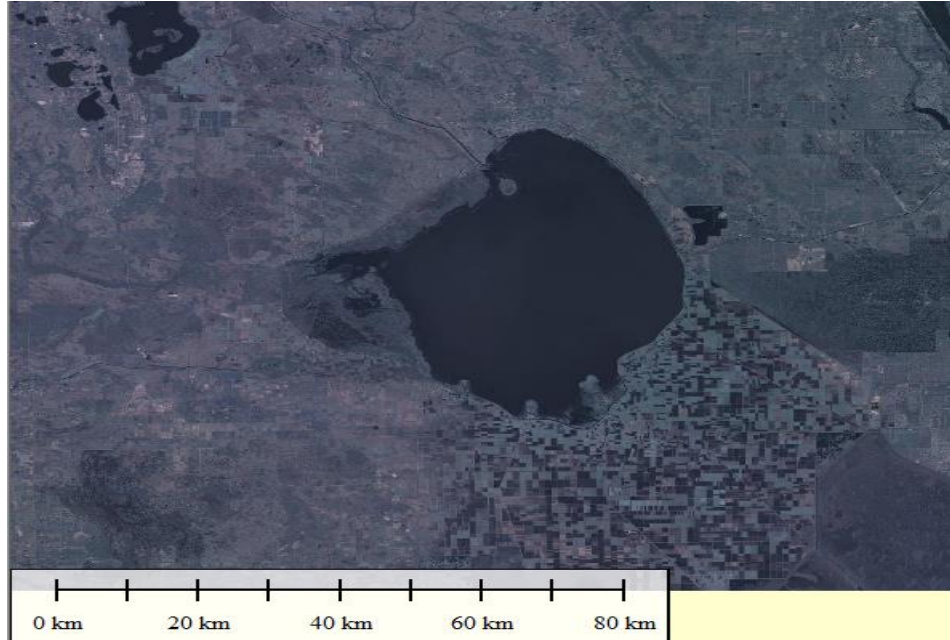
3.2 Bölgenin Batimetrisi

Güney Florida Bilgi Erişimi ([sofia.usgs.gov / publications / maps / lakeokeebathy / index.html](http://sofia.usgs.gov/publications/maps/lakeokeebathy/index.html)) sitesinden alınan ptokeeft.xyz adlı dosya .txt uzantılıdır. Notepad++ yardımı ile batimetri verileri Global Mapper’de kullanılmak üzere .xyz uzantılı hale getirildi. 1988 yılına ait batimetri verileri kullanılmıştır. Global mapper programı yardımı ile .xyz uzantılı veriler tanımlandı. Ekranı çıkan veri alma çeşidi seçeneğinde yalnızca nokta denildi çünkü veriler yalnızca koordinatlardaki derinlik verilerine sahiptir herhangi bir çizgi ya da uydu görüntüsü içermemektedir. Projeksiyon birimi enlem boylam ya da UTM (Universal Transverse Mercator)’ye göre seçildi. Daha sonra program derinlik verilerimizi enlem boylama göre yerleştirir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Enlem ve boylama göre batimetri verileri.

Verilerin gerçek uydu görüntüsüne uyup uymadığını anlamak için internetten veri yükle seçeneği ile güncel uydu görüntülerinden bölgeye uygun olanı seçildi (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Okeechobee gölü için uydu görüntüsü.

Okeechobee gölü için verileri üzerine online olarak Worldwide'dan MapQuest OpenAerial Worldwide Imaginary seçilerek uydu görüntüsü yüklendi (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Uydu görüntüsü üzerinde batimetri verilerinin dağılımı.

Daha sonra sınırı belirlemek için öncelikle bölge seçilmeli ve kapalı bir poligon olarak tanımlanması gerekmektedir. Poligon olarak tanımladığında ise hassasiyetinin ayarlanması gerekir, bire bir olması istenildiğinden yumuşatma yapmadan çizdirildi. Böylelikle sınır belirlenmiş olur ve seçilen alan için çiz seçeneği ile sınır çizgisi çizilmiş olur (Şekil 3.5).



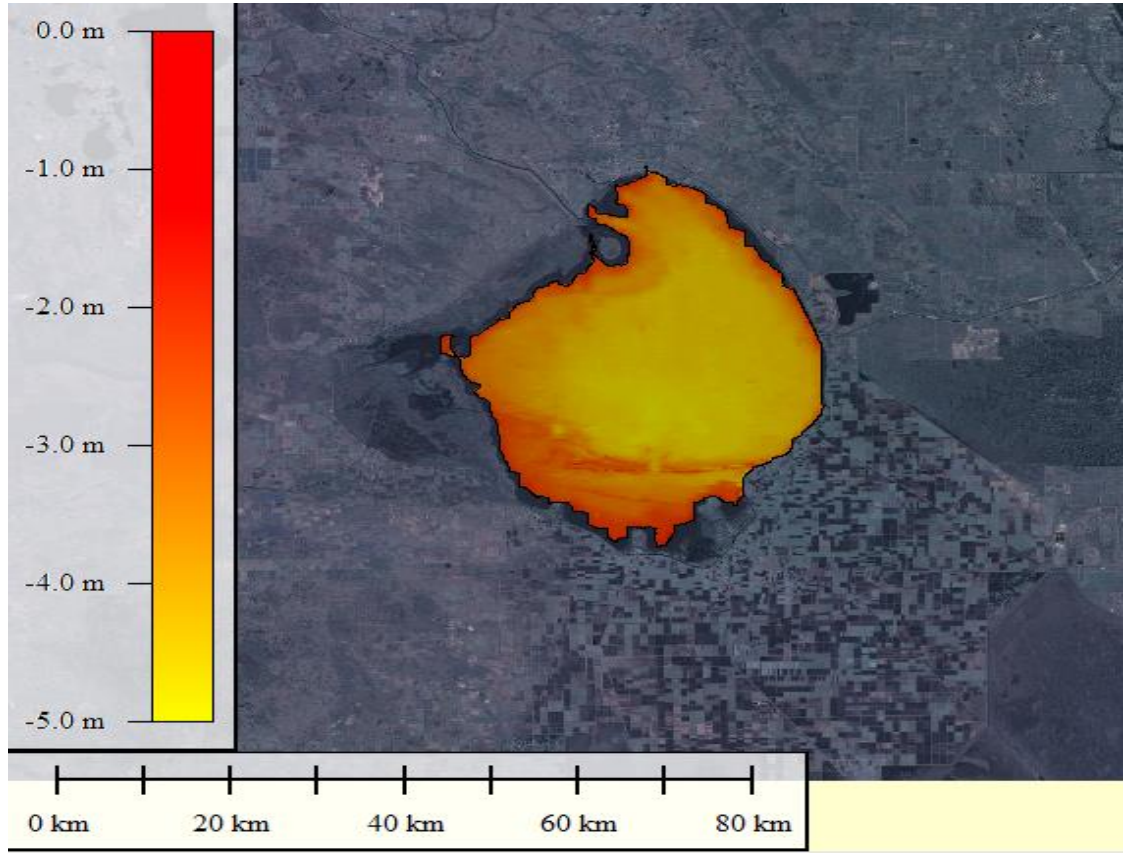
Şekil 3.5 : Batimetri haritası sınır çizgisi.

Katmanlar arasında geçiş yapılarak uydu görüntüsü üzerinde sınır çizgisinin uyup uymadığı kontrol edilebilir ( ekil 3.6).



Şekil 3.6 : Uydu görüntüsü üzerinde sınır çizgisi.

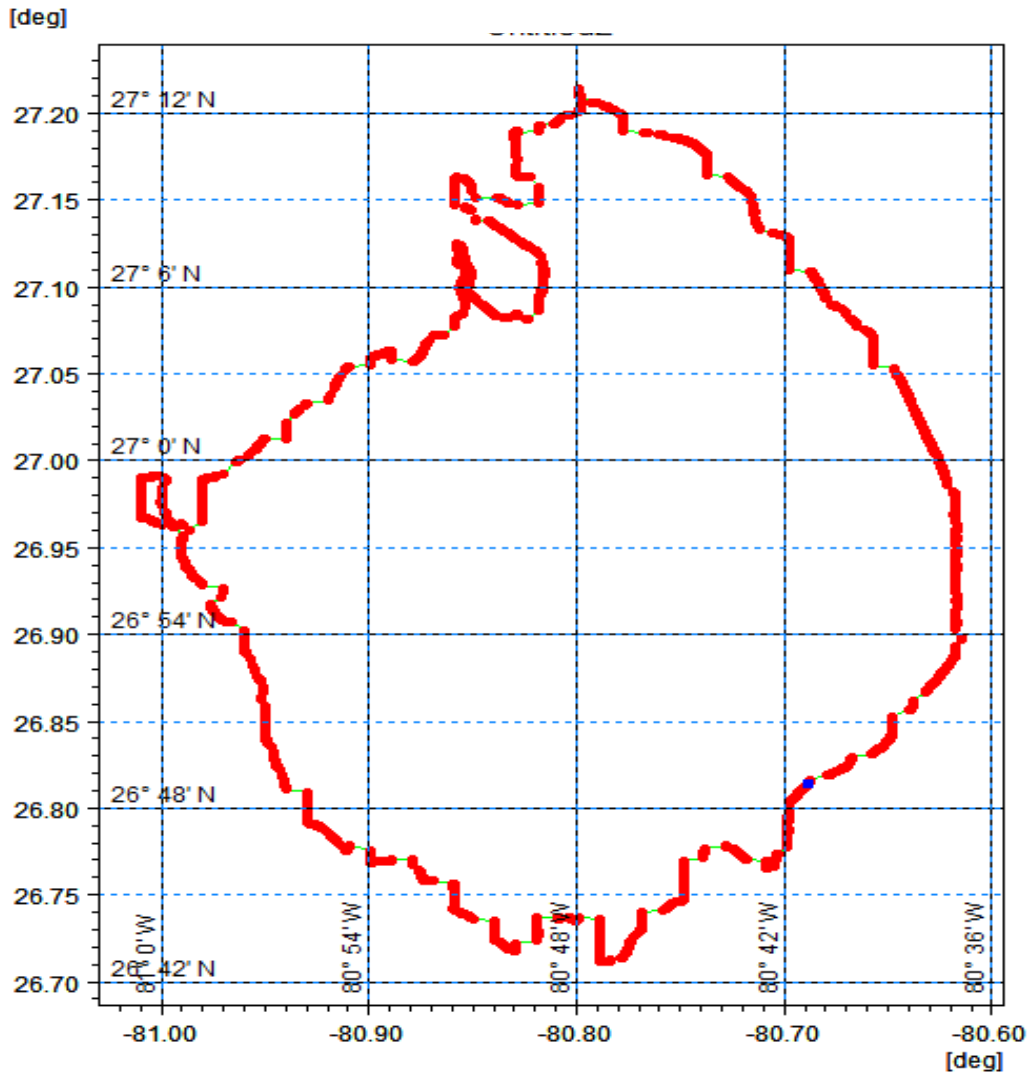
Programda yer alan katman kontrol merkezinden grid oluşturmak için yükseklik oluştur denilerek otomatik olarak üçgensel gridleme yapılarak batimetri haritası elde edilir ( ekil 3.7).



Şekil 3.7 : Okeechobee g l  için batimetri haritası.

Global Mapper ile elde edilen sınır verileri MIKE Zero programına geçişte kullanılacaktır. Verilerimizin .xyz uzantılı olması MIKE Zero Ağ örgüsü hazırlayıcı (Mesh Generator) programına geçişte kolaylık sağlayacaktır.

Ağ Örgüsü hazırlayıcı programına geçildiğinde ise sınır verisi çağrılırken öncelikle çalışma projeksiyonunu belirtmek gerekmektedir. Enlem boylam ya da UTM projeksiyonu seçilerek çalışma sayfası açılır. Daha sonra .xyz uzantılı sınır verisi alınır ancak özelliklerini belirtilmelidir. Verideki kolonun özellikleri, yay özellikleri ve başlangıçta seçilen projeksiyonun seçili olması gerekmektedir. Sınıra ait verilerin çizdirilmesi ile oluşan harita Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

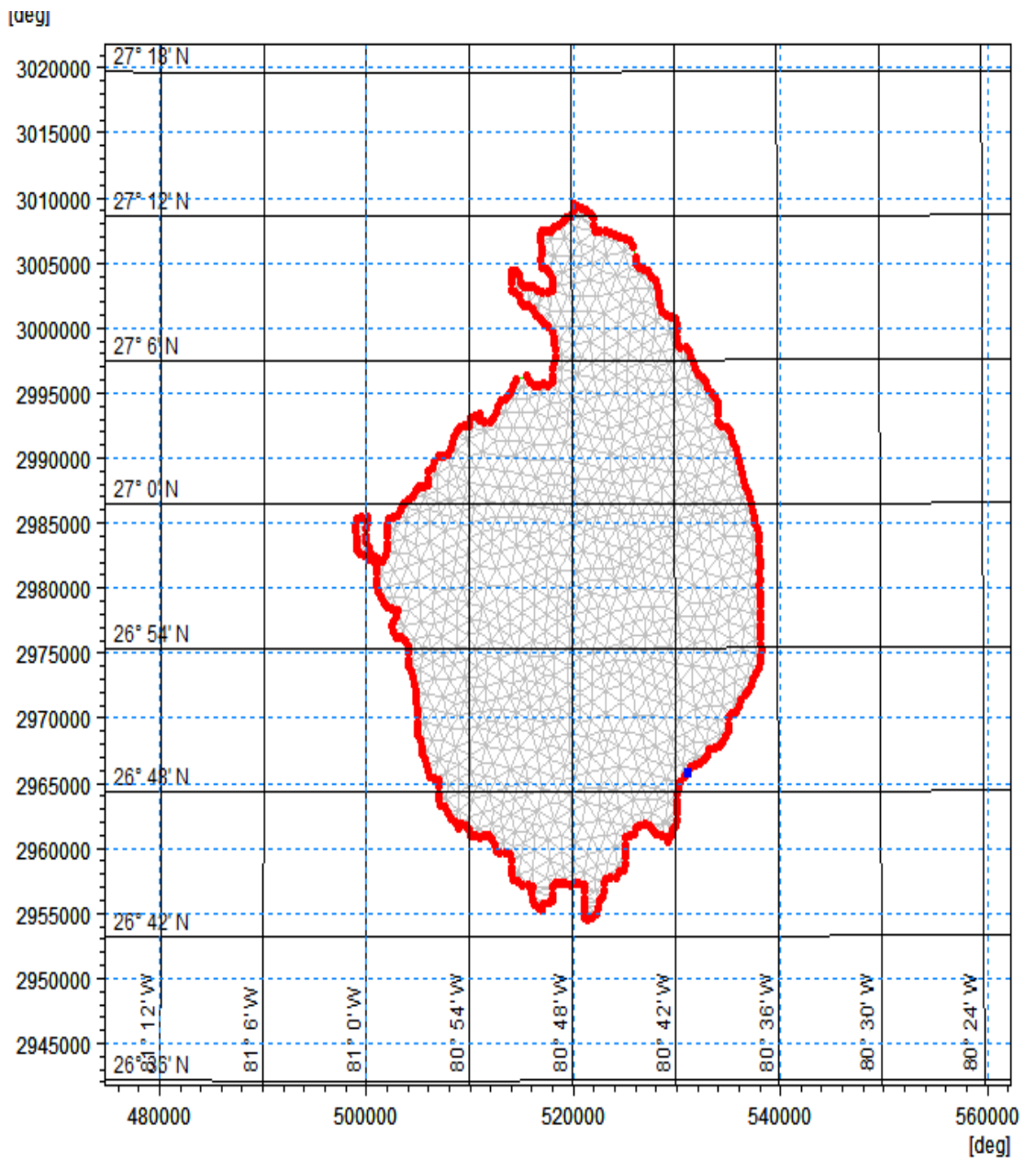


Şekil 3.8 : Sınır verilerinin Ağ örgüsü hazırlayıcı programındaki haritası.

Daha sonra batimetri verileri programda çağrıldı ve projeksiyon ayarlanarak eklendi. Batimetri verilerinin görünümü kapatılıp sınır çizgisi seçilerek oluşturacağımız

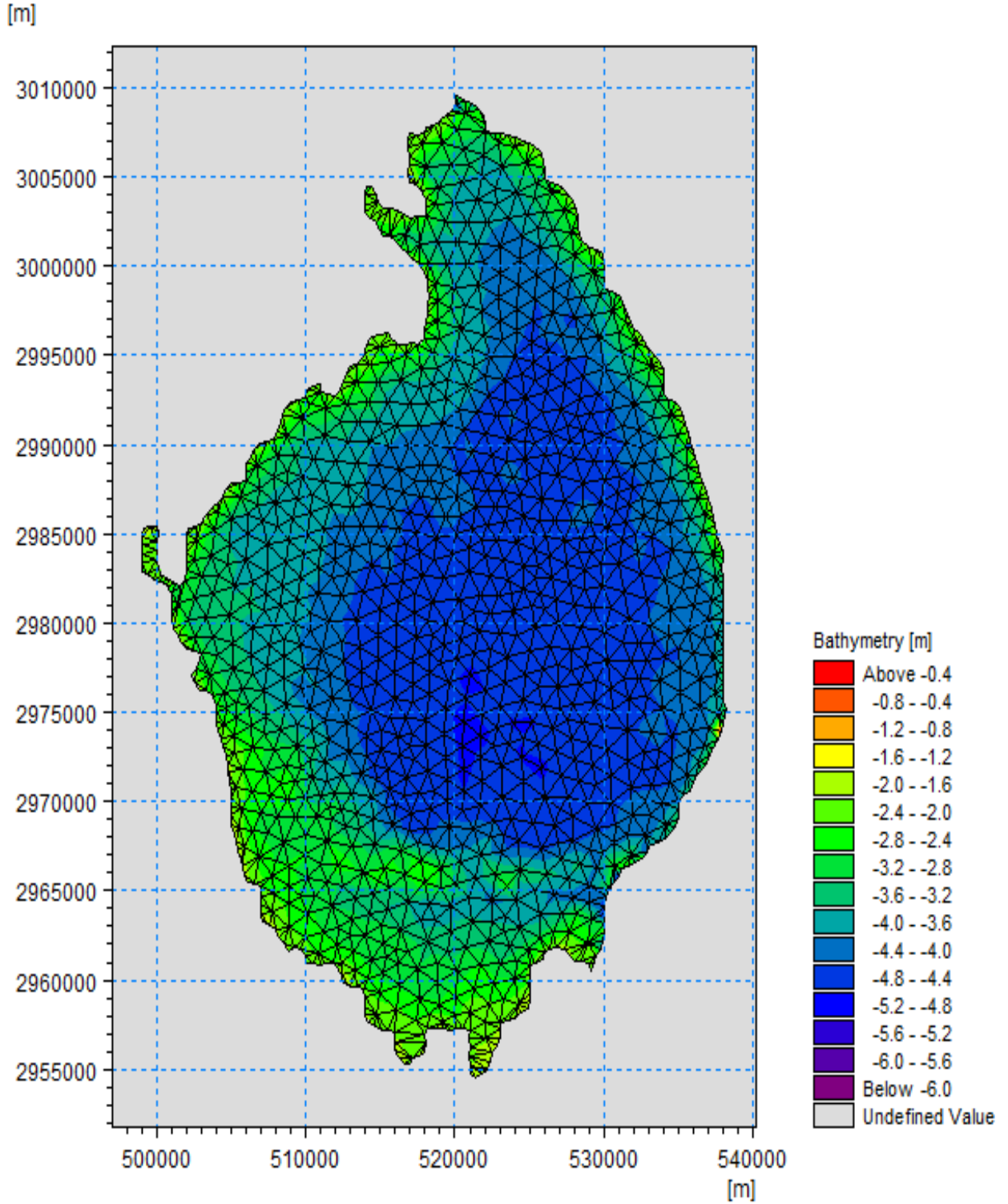
meşlerin köşe noktaları arasındaki mesafe alana göre belirlendi. 500 olarak seçilen köşe noktaları sayesinde daha homojen ağ örgüsü oluşturulmuştur. Daha sonra poligon olarak belirlenen alan için ağ çeşidi olarak üçgensel ağ seçildi. Üçgensel ağ en iyi sonucu veren ağ çeşitidir.

Batimetri verilerinin üzerine ağ oluşturmak için ağ oluşturma seçeneği ile ağ için uygun en küçük açı seçildi. 10° olarak seçilen açıya göre alana en uygun ağ çizdirildi daha sonra ise ağ yumuşatılarak daha homojen hale gelmesi sağlandı. Okeechobee gölü sıg bir göl olduğu için homojen özellikte ağ oluşturuldu. 100 kez iterasyon yapıldıktan sonra en iyi ağ örgüsü kurulmuş oldu (Şekil 3.9).



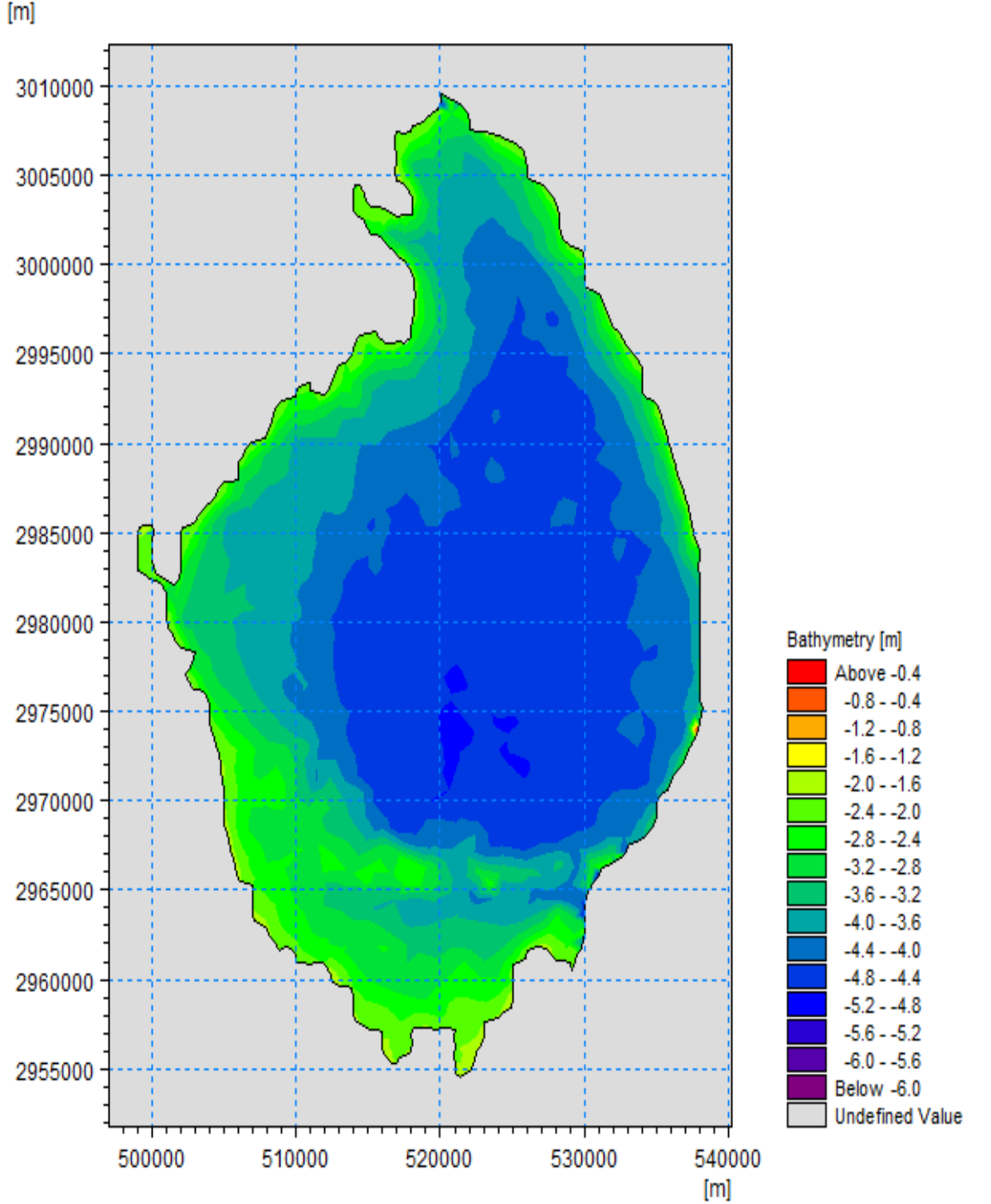
Şekil 3.9 : Üçgensel ağ örgüsü.

Ağ örgüsü kurulduktan sonra interpolasyon yaparak ağ alanına uygun batimetri haritası çıkartıldı. Lineer olarak interpolasyon seçeneği seçildi (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Üçgensel ağ örgüsüne göre interpolasyon yapılarak elde edilen batimetri haritası.

İnterpolasyon sonucu elde edilen harita istenilen yere MIKE21 SW programında kullanılmak üzere kaydedildi. Haritanın son hali Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Ağ örgüsü hazırlayıcı ile hazırlanan Okeechobee gölü için batimetri haritası.

3.3 Çalışma Alanında Spektral Dalga Analizi

3.3.1 MIKE 21 SW ile kalibrasyon sonuçları

Harita hazırlandıktan sonra rüzgar yönü ve hızı verilerini ve belirgin dalga yüksekliklerini programa tanımlamak için MIKE Zero programından (zaman serileri) .dfs0 dosyası açıldı. Veriler dosya özelliklerinden girildi ve eksen bilgisi olarak eksen çeşidi eşit aralıklı takvim seçildi ve başlangıç tarihi olarak 01.01.2000 girildi. Zaman aralığı ise 00:13:59 olarak belirlendi çünkü verilerde tekrarlayan zaman aralığı bu şekilde, zaman aralığı sayısı ise 1667 olarak belirlendi.

Zaman aralığı ve zaman serileri tanımlandıktan sonra MIKE21 programından (spektral dalga) .sw dosyası açıldı. Sığ olan Okeechobee gölü için çeşitli senaryolar ve karşılaştırmaları yapıldı. Kalibrasyon değerleri değiştirilerek ve kullanılan yöntemler değiştirilerek bu model için hata payının en az olacak şekilde optimum çözüm elde edildi.

Öncelikle çalışma alanı için önceden hazırlanan batimetri haritası çağrıldı. Daha sonra zaman aralığı uygun olarak ayarlandı ve kalibrasyon için L006 istasyonuna ait verilerin 01.01.2000 tarihinden 05.01.2000 tarihine kadar olan belirtilen zaman aralığındaki verileri kullanılmak üzere ayarlandı.

Spektral dalga modülünden, basit eşitliklerden Spektral formülasyon için bütünüyle spektral formülasyon (Fully spectral formulation) seçildi ve zaman formülasyonu için de durağan (Instationary) formülasyonu seçildi.

Spektral ayrıştırma bölümünde ise;

Frekans ayrıştırma çeşidi logaritmik, frekans sayısı 25, minimum frekans 0.055 Hz, frekans faktörü 1.1 olarak varsayılan değerler seçildi.

Yönsel ayrıştırma çeşidi olarak 360° rüzgar gülü seçildi. Yön sayısı ise 16 olarak rüzgar verilerimize göre ayarlandı.

Çözüm tekniği ise düşük dereceli, hızlı algoritma olarak seçildi.

Okeechobee gölü sığ bir göl olduğu için dalgayı etkileyen parametreler olarak köpüklenme (white capping), dalga kırılması (wave breaking parameters), taban sürtünmesi (bottom friction) olarak belirlendi. Diğer faktörler değiştirilmedi ve dikkate alınmadı.

Son olarak program çıktısı kısmında verilerin alındığı istasyonun koordinatları girilerek tanımlandı.

Daha sonra programda olan geçerli değerlerle senaryo kuruldu. Hazırlanan varsayılan değer (default value) adlı senaryoya göre (Çizelge 3.1):

- Köpüklenme (White Capping) Parametreleri:

$$C_{dis}=4.5$$

$$Deltadis= 0.5$$

- Taban Sürtünmesi (Bottom Friction) parametresi:

$$d_{50}=0.00025 \text{ m}$$

- Dalga kırılması (Wave Breaking) parametreleri:

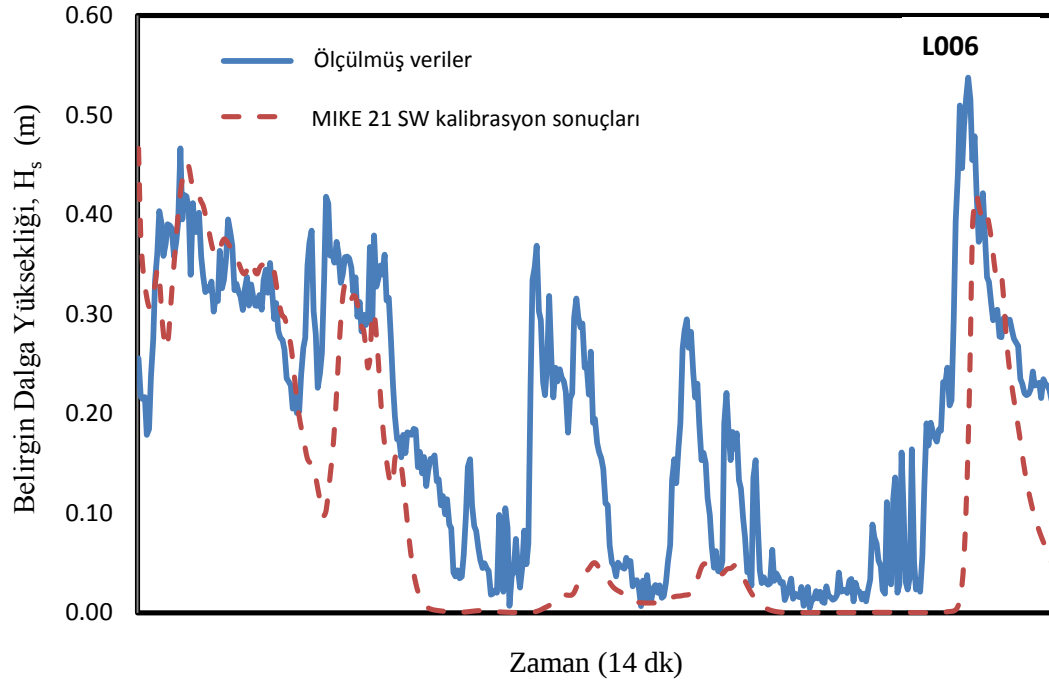
$$\text{Gamma}=\gamma=0.8$$

$$\text{Alfa}=\alpha=1 \text{ seçilir.}$$

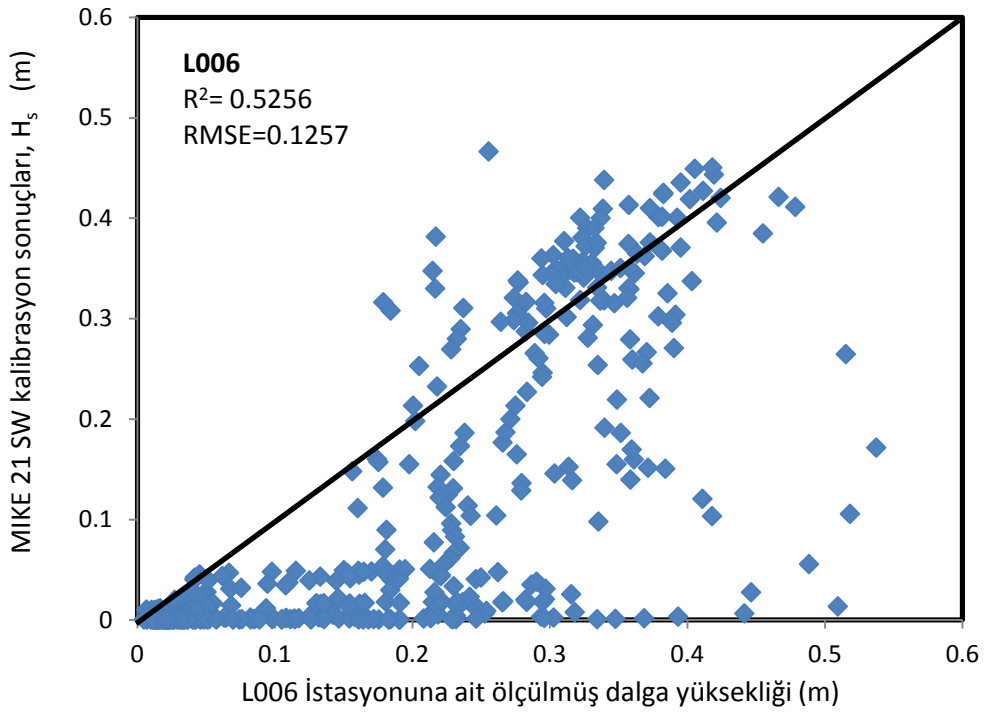
Çizelge 3.1 : Varsayılan değer senaryosu.

Varsayılan Değer						
Köpüklenme (White Capping) Parametresi		Taban Sürtünmesi (Bottom Friction) Parametresi	Dalga Kırılması (Wave Breaking) parametreleri		R^2	RMSE (m)
C_{diss}	δ_{diss}	d_{50}	γ	α	0.5256	0.1257
4.5	0.5	0.00025	0.8	1		

Çizelge 3.1’ de de görüldüğü üzere R^2 değeri düşük çıkmıştır. Bu da şu anlama geliyor; model sonuçları gözlem verilerini yakalayamamıştır (Şekil 3.12). Dolayısıyla tahmin ile gözlem arasındaki fark yüksektir (Şekil 3.13).



Şekil 3.12 : Varsayılan değer senaryosu model sonuçları.



Şekil 3.13 : L006 İstasyonu için kalibre edilen dalga yüksekliği ile ölçülmüş dalga yüksekliği saçılım grafiği.

Şekil 3.13 de açıklandığı üzere model kurulurken öncelikle bölge ve zaman kriterleri belirlendi daha sonra ise Spektral dalga modülü olarak Bütünüyle spektral (Fully spektral formulation) formülasyonu kullanılmıştır.

Zaman için ise Instationary formülasyonu kullanıldı. Zaman için kullanılan instationary formülasyonu için coğrafik aralık düşük dereceli ve hızlı algoritma seçildi. Böylelikle eğitime süresi düşürülmüş oldu.

Okeechobee sığ bir göl olduğu için taban sürtünmesi, derinliğe bağlı kırılma ve köpüklenme (white capping) parametreleri değiştirilerek farklı senaryolar denenmiş olup her bir parametrenin etkisinin belirlenebilmesi için her bir parametrenin en düşük, orta ve en yüksek değerlerine göre program çalıştırıldı.

Edinilen sonuçlara göre köpüklenme (White capping) Cdis parametresi dalga yüksekliğini etkilemiştir.

Cdiss'in artması verileri olumlu yönde etkilemiştir ve kalibre edilen model sonuçları gözlenen verilere daha da yaklaşmıştır.

Her bir parametre için ayrı ayrı tablolar ve grafiklerde gösterilmiştir.

Öncelikle hata oranlarının görülebilmesi için tek bir tabloda tüm senaryolar özetlenmiştir. Tüm senaryolar ve sonuçlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Daha sonra aynı şekilde kurulan ikinci spektral dalga modülünde ise düşük dereceli coğrafik aralık yerine yüksek dereceli zaman kriteri seçildi. Bu iki modülde kullanılan senaryolardaki karşılaştırmalar daha sonra her bir parametre için ayrı ayrı incelendi.

Çizelge 3.2 : Tüm senaryoların karşılaştırılması.

Varsayılan Değer Senaryosu						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.548	0.126
4.5	0.5	0.00025	0.8	1		
Senaryo-0						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.548	0.1257
4.5	0.5	0.0004	0.8	1		
Senaryo-1						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01		
Senaryo-2						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.001	0.0004	0.6	0.5		
Senaryo-3						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.001	0.0004	0.6	1		
Senaryo-4						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.001	0.0004	1	0.001		
Senaryo-5						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.001	0.0004	1.59	0.001		
Senaryo-6						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	0.5	0.0004	0.6	0.001		
Senaryo-7						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.538	0.129
0.001	1	0.0004	0.6	0.001		
Senaryo-8						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE(m)
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.547	0.126
5	0.001	0.0004	0.6	0.001		
Senaryo-9						
Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R ²	RMSE
C _{diss}	δ _{diss}	d ₅₀	γ	α	0.543	0.133
10	0.001	0.0004	0.6	0.001		

Çizelge 3.3 : Dalga kırılma parametrelerinden α 'nın değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.129
2	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.5	0.538	0.129
3	0.001	0.001	0.0004	0.6	1	0.538	0.129

Çizelge 3.4 : Dalga kırılma parametrelerinden γ 'nın değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.129
4	0.001	0.001	0.0004	1	0.01	0.538	0.129
0	0.001	0.001	0.0004	1.59	0.01	0.538	0.129

Çizelge 3.5 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden δ_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Düşük dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.129
6	0.001	0.5	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.129
7	0.001	1	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.128598

Çizelge 3.6 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden C_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar(Düşük dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.538	0.128
8	5	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.547	0.126
9	10	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.543	0.133

Düşük dereceli analiz yapıldığında daha az veri kullanılmış olur bu nedenle programın daha kısa çalışma süresi bulunur. Yukarıdaki Tablolara göre parametrelerin değişimi sonucu Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden C_{diss} 'in veriler üzerinde duyarlılığının en fazla olduğuna karar verilmiştir ve C_{diss} 'in artması hata oranını düşürmüş simule edile dalgaların gerçeğe yaklaşmasına neden olmuştur.

Bu sefer dalga spektral modülünde yüksek dereceli zaman aralığı alınarak hem çalışma süresi hem de kullanılan verilerin sayısı arttırılmış oldu. Hassasiyetin artması modelin kurulmasında tam tersi etki yaptı ve hata oranını arttırdı.

Yüksek dereceli seçilen veriler ile kalibrasyon yapıldı. Parametreler ve etkileri aşağıdaki çizelgelerde gösterildi.

Çizelge 3.7 : Dalga kırılması parametrelerinden α 'nın değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.401	0.140
2	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.5	0.402	0.140
3	0.001	0.001	0.0004	0.6	1	0.401	0.140

Çizelge 3.8 : Dalga kırılması parametrelerinden γ 'nın değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.400	0.140
4	0.001	0.001	0.0004	1	0.01	0.401	0.140
5	0.001	0.001	0.0004	1.59	0.01	0.401	0.140

Çizelge 3.9 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden δ_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.400	0.140
6	0.001	0.5	0.0004	0.6	0.01	0.402	0.140
7	0.001	1	0.0004	0.6	0.01	0.401	0.140

Çizelge 3.10 : Köpüklenme (White Capping) parametrelerinden C_{diss} 'in değişimine göre sonuçlar (Yüksek dereceli zaman aralığında).

Senaryo	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}		γ	α		
1	0.001	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.401	0.140
8	5	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.505	0.136
9	10	0.001	0.0004	0.6	0.01	0.502	0.143

Yüksek dereceden zaman aralığı alındığında hata oranı arttı buna göre verilerin düşük dereceli zaman aralığında alınmasına karar verilmiştir. Her iki durum için de etkili parametre C_{diss} oldu. Buna göre C_{diss} 'in değiştirilmesi ile kalibrasyondan olumlu sonuçlar alınması nedeniyle modeli kurarken bu parametre üzerinde değişikliğin yapılması ile en iyi model sonuçlarının elde edilebileceğine karar verilmiştir.

Kalibrasyon için en iyi modeli bulma yolunda Δt 'nin değişiminin modele etkisini incelemek için 5 günlük veriler 00:14:00 zaman aralığı ile devam ettirildi. Ancak zaman aralığı değiştirilip, frekansı arttırıp azaltarak yine aynı tarihlerdeki veriler için ancak farklı Δt ve farklı zaman aralığı sayısı ile çalışması sağlanmıştır.

Çizelge 3.11’de de gösterildiği üzere zaman aralığı sırasıyla 14 dk, 7 dk ve 3.5 dk aralıklarla bir önceki modelden elde ettiğimiz en iyi sonucu veren parametrelerle simule edilmiştir.

Çizelge 3.11 : Δt ’nin değişimi ile oluşturulan modeller ve sonuçları.

Δt	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga Kırılma Parametreleri		R^2	RMSE (m)
	C_{diss}	δ_{diss}	d_{50}	γ	α		
840	5	1	0.0004	0.8	0.5	0.559	0.125
420	5	1	0.0004	0.8	0.5	0.559	0.125
210	5	1	0.0004	0.8	0.5	0.556	0.126

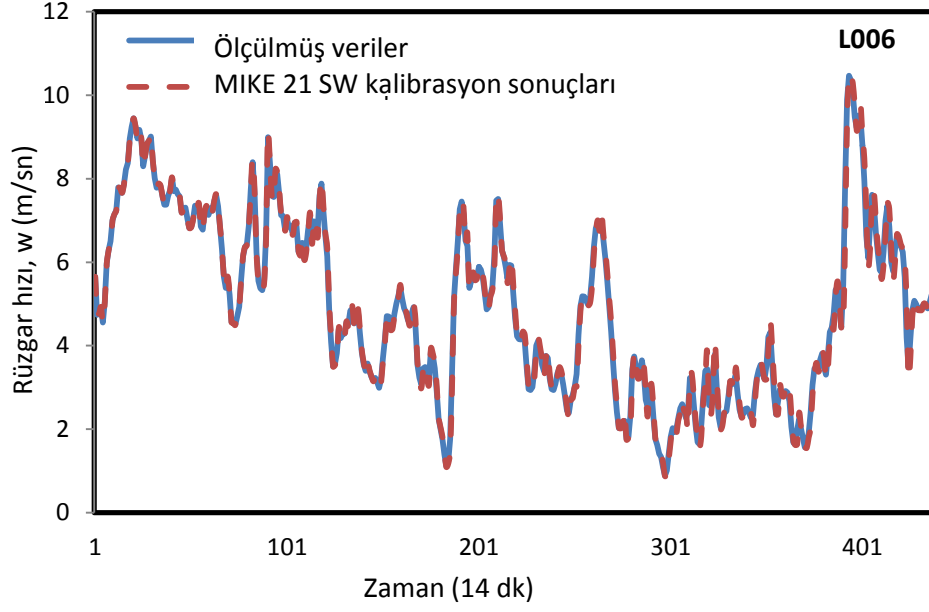
$\Delta t = 840$ için yani 14 dk aralıklarla veri okuması sırasında zaman aralığı sayısı belirtilen tarihe uyması için 438 olarak kullanıldı, frekans ise 1 seçilmiştir.

$\Delta t = 420$ için yani 7 dk aralıklarla veri okunması sırasında zaman aralığı sayısı belirtilen tarihe uyması açısından 877 olarak kullanıldı, frekans ise 2 seçildi.

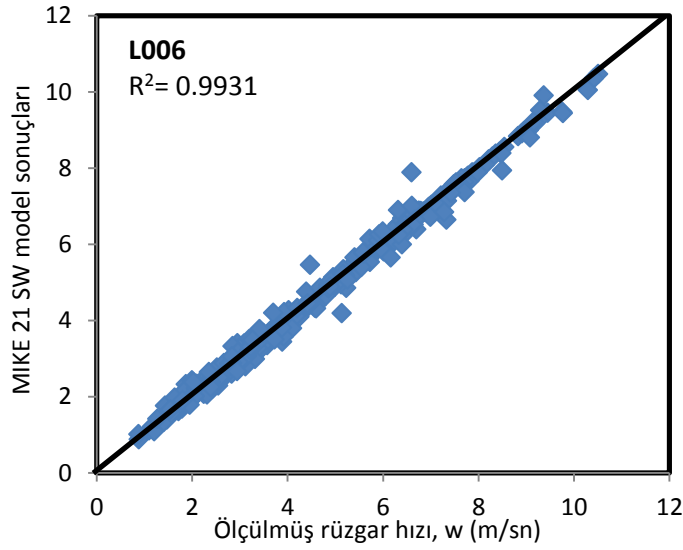
$\Delta t = 210$, yani 3.5 dk aralıklarla veri okuması için zaman aralığının sayısı belirtilen 5 günlük tarihe ve saate uyması için 1755 olarak alındı, frekans burada 4 alındı.

Sonuçlar incelendiğinde en iyi sonucun $\Delta t = 840$ ile alındığı görülmüştür. Bundan sonraki modeller bu zaman aralığı için kalibre edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar dahilinde rüzgar verileri ile modelin kullandığı verilerin mukayese edilmesine karar verilmiştir. Şekil 3.14’te tahmin edilen rüzgar hızları ile gözlenmiş rüzgar hızları gösterilmiştir. Şekil 3.15’de modelin sonuçları ile ölçülmüş rüzgar verileri 45 derecelik diagonal doğru (1:1) üzerinde saçılmaları gösterilmiştir.



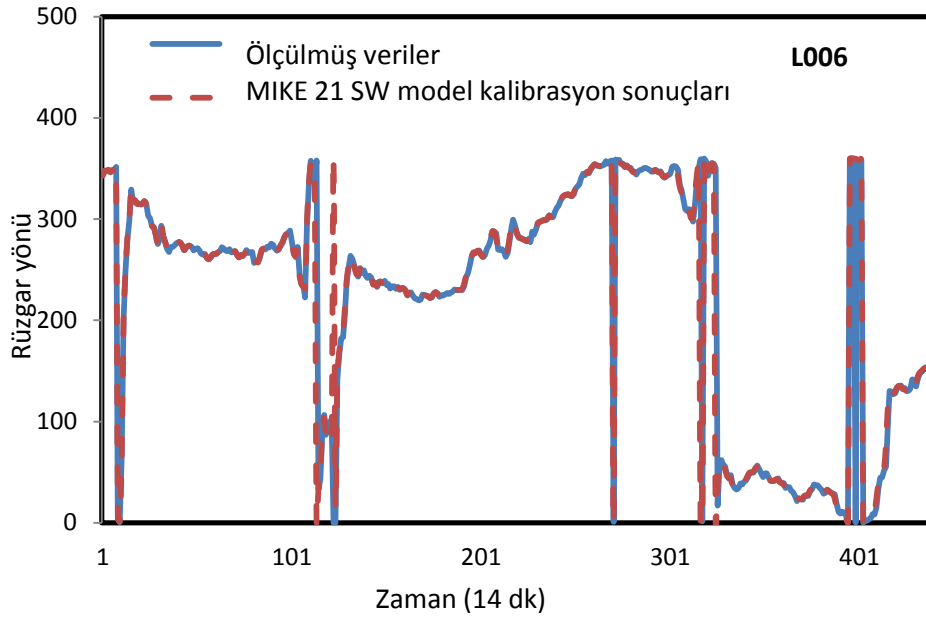
Şekil 3.14 : L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar hızları ve ölçülmüş rüzgar hızları grafiği.



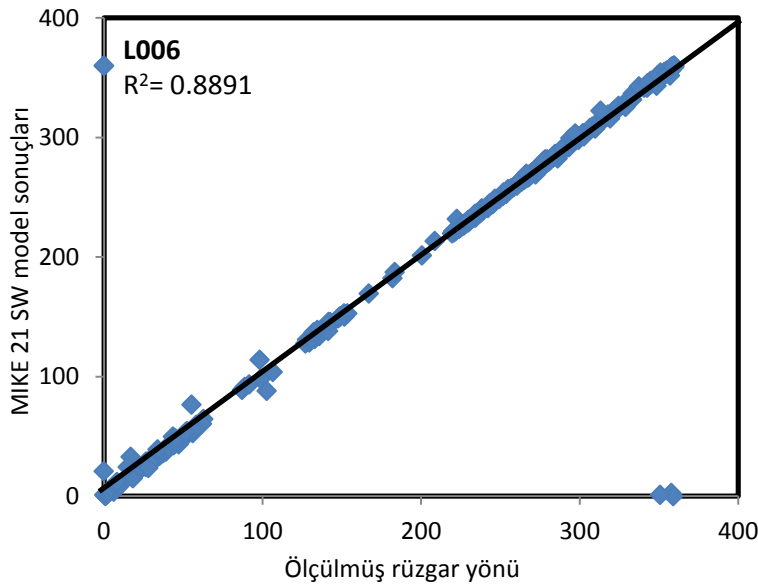
Şekil 3.15 : L006 istasyonu için 45 derecelik doğru üzerinde modelin simule ettiği rüzgar hızları ile ölçülmüş rüzgar hızları saçılım grafiği.

Ölçülmüş rüzgar verileri ile model sonuçları arasında çok güçlü bir uyum olduğu Şekil 3.15'ten net olarak görülmektedir. Aynı şekilde rüzgar yönleri içinde gözlem değerleri ile model sonuçlarının zamansal değişimi Şekil 3.16 da verilmiştir. Aynı sonuçların 45 derecelik doğru üzerindeki saçılmaları Şekil 3.17 gösterilmiştir. Aynı

şekilde ölçülmüş rüzgar yönleri ile model sonuçları arasında güçlü bir uyum görülmüştür (Bknz: Şekil 3.16 ve Şekil 3.17).



Şekil 3.16 : L006 istasyonu için modelin simule ettiği rüzgar yönleri ve ölçülmüş rüzgar yönleri grafiği.



Şekil 3.17 : L006 istasyonu için 45 derecelik doğru üzerinde modelin simule ettiği rüzgar yönleri ile ölçülmüş rüzgar yönleri saçılım grafiği.

Rüzgar hızları ve yönleri verileri incelendiğinde de kullanılan verilerde bir problem olmadığı anlaşılmıştır. Spektral dalga modülünde; spektral formülasyonu bütünüyle spektral formülasyon (fully spectral formulation), zaman formülasyonunu da durağan

(instationary) formülasyon aldığımız durumda, çözüm tekniği olarak düşük dereceli hızlı algoritma kullanıldığında daha iyi sonuç vermiştir. Kaynak fonksiyonundaki parametrelerden ise en iyi sonuca köpüklenme (White capping) parametrelerinden biri olan C_{diss} 'in değiştirilmesi ile ulaşıldı. Diğer parametreler dikkat çeken bir değişime neden olmamıştır.

Zaman aralığı değiştirildiğinde ise en iyi sonuca 14 dk aralıklarla veri okunmasında rastlanmıştır.

Model ile gözlemler arasında güçlü bir korelasyon elde edilemediğinden farklı bir senaryo uygulanmıştır. Yeni modele göre Spektral formülasyon yönsel ayrıştırılmış parametrik formülasyon (Directionally decoupled parametric formulation) olarak değiştirildi, zaman formülasyonu ise quasi-stationary formülasyon olarak değiştirildi. Çünkü instationary formülasyonu, yönsel ayrıştırılmış parametrik formülasyonda rüzgarın etkisini hesaplara dahil etmediği için bu zaman formülasyonu kullanılmadı. Yeni modelde rüzgarın etkisi hesaplara dahil edilse de köpüklenme (White Capping) etkisi dahil edilemez. Ancak diğer kaynak fonksiyonlarındaki taban sürtünmesi ve dalga kırılması parametrelerinin varsayılan değerlerine göre öncelikle rüzgar üretim formülü değiştirilerek kalibrasyon değerleri incelendi. En iyi sonucu veren rüzgar üretim formülü bulundu (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12 : Rüzgar üretim formüllerinin karşılaştırılması

Rüzgar Üretim Formülasyonu	Taban sürtünmesi	Dalga kırılma Parametreleri	
	d_{50}	γ	α
	0.00025	0.8	1
	R^2	RMSE	
SPM73/HBH	0.416	0.127	
SPM84	0.580	0.097	
Kahma&Calkoen	0.416	0.127	
SPM73	0.515	0.100	
JONSWAP	0.296	0.093	

Rüzgar üretim formülasyonu olarak SPM84 alındı. SPM84 (Shore Protection Manual) feç limitli deniz durumunda kullanılır. Yeni modelde belirlenen rüzgar üretim formülasyonuna göre diğer parametrelerin etkileri incelendi. Ancak bu sefer parametrelerin kendi aralarındaki etkileşimi anlamak için beraber kalibre edildi. Çizelge 3.13’de Kalibrasyon değerleri ve sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 3.13 : Kalibrasyon değerleri ve sonuçları.

Model	Dalga kırılma parametreleri		Taban sürtünmesi	R^2	RMSE
	γ	α	d50		
A1	0.6	0.01	0.00025	0.742	0.090
A2	1	0.01	0.0001	0.764	0.094
A3	1.59	0.5	0.0004	0.764	0.094
A4	0.6	1	0.0004	0.556	0.094
A5	1.59	0.01	0.0004	0.764	0.094
A7	1.59	0.5	0.0001	0.764	0.094
A8	1.59	1	0.0004	0.764	0.098
A9	1.59	1	0.0001	0.764	0.094

Tabloya göre A3 ve A7 modellerine bakıldığında taban sürtünme katsayısının azalması ile korelasyon katsayısı da azalmıştır.

Aynı şekilde A8 ile A9 modellerinde de taban sürtünmesinin artması korelasyon katsayısını arttırmıştır. Ancak çok küçük değişimler olmaktadır.

Bu sonuca göre A1 ve A4 karşılaştırıldığında taban sürtünmesinin artmasına rağmen α ’nın en yüksek değerinde korelasyon katsayısı olumsuz etkilenmiştir ve en düşük değeri almıştır. Bu durumda α ’nın en düşük değerde kalmasına karar verilmiştir.

A7 ve A9 modellerine göre de α ’nın 0.5 ile 1 değerleri arasında değiştirilmesinin herhangi bir etki oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Ancak 0.01 ile 1 değerleri arasında değişimi olumsuz etkiledi ya da taban sürtünmesinin α ile artması olumsuz etkilemiştir.

A9 ile A5 modellerine bakıldığında ise α 1'den 0.01'e düşürülürken taban sürtünmesinin artması ile korelasyon katsayısının çok az azaldığı gözlemlendi. Bu durumda α ile taban sürtünmesi arasında ters ilişki olduğu anlaşıldı.

Bu analizlerden sonra başlangıç koşullarındaki formülasyonun değiştirilmesi ile modeller kuruldu.

A5 modelinde JONSWAP feç gelişimli durumlarda (fetch growth expression) ifade edilen formülasyona ait sonuçlar gözlemlenmiştir.

A6'da ise S.P.M – (1973 Shallow water) sığ suya göre sonuçlar analiz edilmiştir. Buna göre JONSWAP feç gelişimli durumlarda ifade edilen (fetch growth expression) formülünün daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14 : Varsayılan değerlerdeki formülasyon ile sonuçlar.

Model	Dalga kırılması parametreleri		Taban sürtünmesi	R^2	RMSE
	α	γ	d50		
A5	1.59	0.01	0.0004	0.763737	0.093802
A6	1.59	0.01	0.0004	0.758462	0.097698

Tüm uygulamalar sonucu model ile gözlemlenmiş veriler arasında istenen doğrusal ilişkiye ulaşılamadığından yeni bir spektral modül tanımlandı.

Yeni modelde spektral dalga formülasyonu olarak bütünüyle spektral formülasyon (Fully Spectral Formulation) seçildi.

Zaman formülasyonunda ise yarı-durağan (quasi-stationary) formülasyon seçildi. Bu modül ile programın çalışma süresi çok uzamasına rağmen rüzgar parametresi ana faktör olarak alındığından tercih edildi.

Öncelikle sığ olan göle etkisini incelemek için taban sürtünmesi, derinliğe bağlı dalga kırılması ve köpüklenme (white capping) parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

İlk olarak model başlangıç değerleri kullanılarak geliştirilmiştir. Modellere göre her bir parametrenin model sonuçlarını nasıl etkilediği incelenmiştir (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15 : Bütünüyle formülasyon (Spektral Fully Spectral Formulation) ve yarı- durağan (quasi-stationary) zaman formülasyonu ile geliştirilen modeller ve sonuçları.

Model	Köpüklenme Parametreleri		Taban sürtünmesi	Dalga kırılması Parametreleri		R^2	RMSE
	C_{diss}	δ_{diss}	d_{50}	γ	α		
B2	4.5	0.5	0.00025	0.8	1	0.712	0.0996
B3	2.6	0.5	0.00025	0.8	1	0.747	0.1001
B4	3	0.5	0.00025	0.8	1	0.740	0.0996

Yukarıdaki tabloya göre köpüklenme parametrelerinden C_{diss} 'in etkili bir parametre olduğu ve 2.6 değerinde en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.16'da ise enerji transferi için sadece üçlü dalga (triad- wave) etkisi göz önüne alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 3.16 : Dörtlü dalga (Quadruplet wave) etkileşimi ile Üçlü dalga (Triad wave) etkileşimi karşılaştırılması.

Model	Köpüklenme Parametreleri		Taban sürtünmesi	Dalga kırılması parametreleri		R^2	RMSE
	C_{diss}	δ_{diss}	d_{50}	γ	α		
B3	2.6	0.5	0.00025	0.8	1	0.747	0.100
B6	2.6	0.5	0.00025	0.8	1	0.118	0.401

B3 modelinde Dörtlü dalga (Quadruplet wave) etkileşimi incelenirken, B6 modelinde yalnızca Üçlü dalga (Triad wave) etkileşimi ele alınmıştır ve sonuç olarak dörtlü ve üçlü dalga etkileşiminin beraber alınmasına karar verilmiştir.

Çizelge 3.17' de ise dalga kırılması parametrelerinden γ 'nın değişiminin etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.17 : γ 'nın değişimi ile modellerin karşılaştırılması.

Model	Köpüklenme Parametreleri		Taban Sürtünmesi	Dalga kırılması Parametreleri		R^2	RMSE
	C_{diss}	δ_{diss}	d_{50}	γ	α		
B3	2.6	0.5	0.00025	0.8	1	0.747	0.1001
B7	2.6	0.5	0.00025	1	1	0.747	0.0996

B3 ve B7 modellerine göre γ 'nın değişiminin katsayısı model tahmin sonuçları üzerinde olumlu hiç bir etkisi olmamıştır.

Geliştirilen modeller içerisinde en iyi sonucu yönsel ayrıştırılmış (Directionally Decoupled formulation) formülasyonu ile yarı-durağan (Quasi-stationary) zaman formülasyonu beraber kullanıldığında vermektedir.

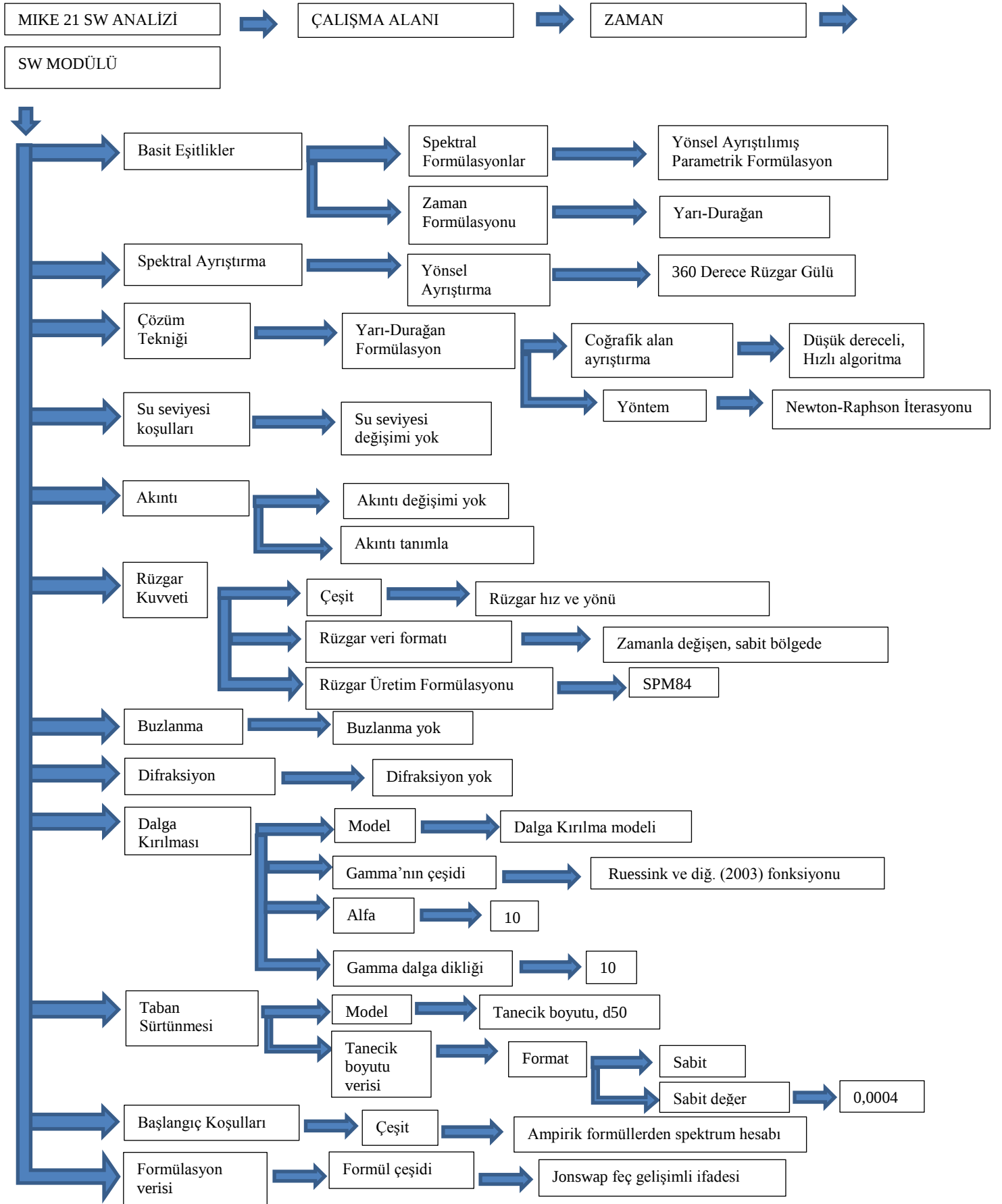
Çözüm tekniği olarak düşük dereceli (low order), hızlı algoritma seçildi ve Newton-Raphson iterasyon yöntemi kullanılarak batimetri tanımlanmıştır.

Akıntı hızı tanımlandığında sonuçlarda iyileşme olup olmadığı kontrol edilmiştir ve akıntı hızı tanımlanarak ve akıntı hızı tanımlanmadan tahminler yapılmıştır.

Rüzgar kuvvetinde ise, ölçülmüş rüzgar yön ve hızları tanımlandı daha sonra araştırmalar sonucu rüzgar üretim fonksiyonu olan SPM84 formülasyonu en iyi sonucu verdiği için bu formülasyon seçilmiştir. Buzlanma (ice coverage) ve kırılma (diffraction) ihmal edildi ve programda dikkate alınmamıştır.

Dalga kırılmasında ise gamma, Ruessink ve diğerleri (2003) tarafından bulunan $\gamma = 0.76kh + 0.29$ formülasyonu ile tanımlanmıştır. α ve γ parametrelerine göre kalibrasyonlar yapılmıştır. Taban sürtünmesi için ise çalışılan bölge sıg su olduğu için $d_{50} = 0.0004$ olarak alınmıştır. Başlangıç koşulları için ise ampirik formüllere dayalı spektrum seçildi ve JONSWAP feç gelişimli ifade edilen formülasyonu (fetch growth expression formulation) kullanılmıştır.

Kalibrasyon sonucu elde edilen MIKE 21 SW modelin mimari yapısı Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Buna göre; kalibrasyonda dikkate alınan L006 istasyonu için, gözlem ile tahmin sonuçları arasındaki korelasyon katsayısının 0.921, CE'nin ise 0.692 olduğu ve SI'in 7.921E-05 bulunduğu durum esas alınmıştır.



Şekil 3.18 : Kalibrasyon sonucu elde edilen MIKE 21 SW modelin mimari yapısı.

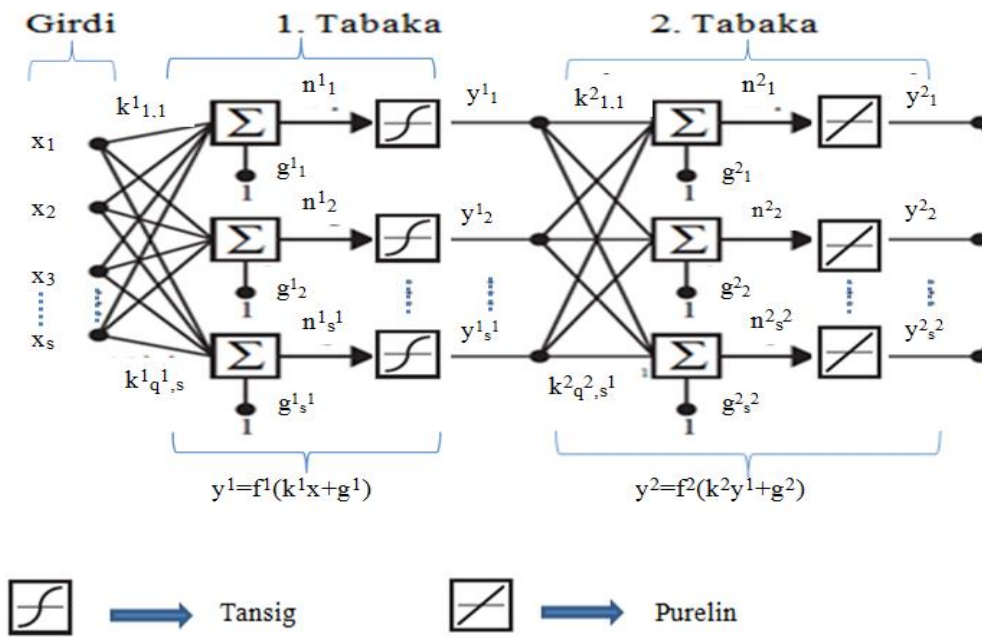
3.3.2 Yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile kalibrasyon sonuçları

Yapay Sinir Ağları (ANN) yöntemi ile Tsai, Lin ve Shen tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak birden fazla istasyon için geliştirilecek model ile rüzgar verileri kullanılarak dalga tahmini yapılmıştır (2002). Dalga tahmininde en doğru sonucu bulmak için çeşitli kalibrasyonlar yapılmıştır.

Matlab’da nntool ile öncelikli olarak veriler girdi olarak tanımlanmıştır. Kalibre aşamasında tek girdi olarak önce rüzgar hızı kullanılarak model geliştirilmiştir. Daha sonraki aşamada MIKE 21 SW ile mukayese edebilmek için, rüzgar hızı ve rüzgar yönü değişkenleri modelin girdisi alınarak model eğitilmiştir. Modelin öğrenme algoritması olarak ileri beslemeli (feed-forward backprop) ağ kullanılmıştır.

MIKE 21 SW programında yapıldığı gibi veriler eğitime (kalibrasyon) ve test (tahmin) olmak üzere; Senaryo 1 (1000-500), Senaryo 2 (750-750) ve Senaryo 3 (500-1000) şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Deneme fonksiyonu olarak TRAINLM, öğrenme fonksiyonunun adaptasyonu için LEARNGDM fonksiyonu seçilmiştir.

2 tabaka seçilmiş olup; 1. tabaka için transfer fonksiyonu olarak TANSIG seçilmiştir. Bu katmanda nöron sayısı değiştirilerek 3’den 7’ye kadar deneme yapılmış (Altunkaynak, 2007) ve en iyi sonucu veren nöron sayısı tespit edilmiştir. 2. Katman için ise transfer fonksiyonu olarak PURELIN seçilmiştir (Şekil 3.19).



Transfer fonksiyonlarından olan Purelin; lineer olup $y=n$ formülü ile işlem yapar.

Bir diğer transfer fonksiyonlardan olan Tansig; Hiperbolik Tanjant Sigmoid olarak adlandırılır ve $y = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$ formülü ile işlem yapar.

Çizelge 3.18’de girdi olarak sadece rüzgar hızı değişkeni alınarak yapılan çalışmada, nöron sayısının 3-7 (Altunkaynak, 2007) arasındaki değişimi ile modelin performansının korelasyon katsayısına (R) göre karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge’den görüldüğü üzere; genelleme yapılırsa, nöron sayısı 3 alındığında iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.18 : Nöron sayısının değişimi ile senaryoların karşılaştırılması (rüzgar hızı).

İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	ANN Model (rüzgar hızı) tahmin sonuçları				
			R				
			Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı
			3	4	5	6	7
LZ40	1000	551	0.918	0.918	0.921	0.917	0.919
	750	801	0.902	0.906	0.910	0.904	0.912
	500	1051	0.921	0.923	0.923	0.926	0.924
L006	1000	593	0.931	0.928	0.927	0.928	0.928
	750	843	0.941	0.937	0.937	0.939	0.937
	500	1093	0.942	0.942	0.943	0.938	0.940
L005	1000	592	0.791	0.785	0.779	0.783	0.786
	750	842	0.786	0.730	0.738	0.780	0.791
	500	1092	0.798	0.766	0.794	0.785	0.788
L001	1000	385	0.452	0.456	0.439	0.445	0.456
	750	635	0.668	0.670	0.670	0.677	0.670
	500	885	0.762	0.753	0.757	0.744	0.733

Benzer şekilde girdi olarak rüzgar hızı ve yönü alınarak elde edilen sonuçlar yine nöron sayısına göre mukayese edilmiştir (Çizelge 3.19).

Çizelge 3.19 : Nöron sayısının değişimi ile modellerin karşılaştırılması (rüzgar hızı ve rüzgar yönü).

İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	ANN Model (rüzgar hızı ve rüzgar yönü) tahmin sonuçları				
			R				
			Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı	Nöron Sayısı
			3	4	5	6	7
LZ40	1000	551	0.926	0.928	0.928	0.922	0.924
	750	801	0.895	0.911	0.854	0.803	0.872
	500	1051	0.892	0.857	0.924	0.891	0.913
L006	1000	593	0.932	0.935	0.929	0.927	0.946
	750	843	0.937	0.944	0.907	0.923	0.875
	500	1093	0.823	0.910	0.932	0.653	0.917
L005	1000	592	0.765	0.758	0.718	0.768	0.711
	750	842	0.524	0.467	0.370	0.492	0.503
	500	1092	0.762	0.782	0.681	0.507	0.426
L001	1000	385	0.468	0.479	0.476	0.441	0.395
	750	635	0.634	0.665	0.659	0.650	0.663
	500	885	0.766	0.760	0.765	0.730	0.768

Bu modellere göre ise genelleme yapılırsa, nöron sayısı 4 alındığında iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu nedenle Yapay Sinir Ağları yöntemini kullanırken genel olarak 3 veya 4 nöronlu modellerde iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Nöron sayısı belirlendikten sonra spektral dalga analizi yapmak için yalnızca rüzgar hızı kullanılarak yapılan ve rüzgar hız ve yönü ile yapılan modellemenin sonuçları incelenmiştir (Çizelge 3.20).

Çizelgeden de görüleceği üzere rüzgar yönünün alınması daha iyi sonuca ulaşmamıza neden olmuştur.

Rüzgar yönünün de belirgin dalga yüksekliğinin tahmininde önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.20 : Yapay Sinir Ağları (ANN) modeli ile rüzgar hız ve yönü kullanılarak ve yalnızca rüzgar hızı kullanılarak yapılan model karşılaştırması.

İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	ANN Model (rüzgar hızı) tahmin sonuçları					ANN Model (rüzgar hızı ve yönü) tahmin sonuçları				
			RMSE	MSE	SI	CE	R	RMSE	MSE	SI	CE	R
LZ40	1000	551	0.058	0.003	0.0001057	0.841	0.921	0.058	0.003	0.0001044	0.845	0.928
	750	801	0.059	0.003	7.405E-05	0.809	0.912	0.081	0.007	0.0001011	0.643	0.803
	500	1051	0.056	0.003	5.332E-05	0.857	0.926	0.077	0.006	7.282E-05	0.732	0.857
L006	1000	593	0.054	0.003	9.148E-05	0.858	0.931	0.057	0.003	9.653E-05	0.842	0.927
	750	843	0.050	0.003	5.953E-05	0.882	0.941	0.078	0.006	9.23E-05	0.717	0.875
	500	1093	0.054	0.003	4.976E-05	0.878	0.943	0.096	0.009	8.744E-05	0.624	0.823
L005	1000	592	0.060	0.004	0.0001009	0.542	0.779	0.073	0.005	1.23E-04	0.325	0.768
	750	842	0.081	0.007	9.58E-05	0.502	0.730	0.102	0.010	1.21E-04	0.208	0.524
	500	1092	0.085	0.007	7.749E-05	0.457	0.766	0.074	0.006	6.84E-05	0.576	0.782
L001	1000	385	0.122	0.015	2.87E-04	-0.040	0.456	0.117	0.014	0.000275	0.047	0.479
	750	635	0.099	0.001	1.47E-04	0.395	0.677	0.103	0.011	0.000153	0.347	0.665
	500	885	0.0939	0.009	0.0001015	0.488	0.733	0.085	0.007	9.19E-05	0.580	0.768

3.3.3 MIKE 21 SW ve yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile spektral dalga analizi

MIKE 21 SW programı ile yapılan kalibrasyonlar sonucu model geliştirilmiş olup ve her bir istasyon için çeşitli senaryolara göre spektral dalga analizi yapılmıştır. Öncelikle veriler eğitme ve test için kullanılmak üzere sırasıyla iki gruba ayrıldı.

3 tip senaryo uygulandı;

- **Senaryo 1:** İlk 1000 veri eğitme için – kalan 500 veri test için ,
- **Senaryo 2:** İlk 750 veri eğitme için – kalan 750 veri test için,
- **Senaryo 3:** İlk 500 veri eğitme için – 1000 veri test için kullanılmak üzere, veriler farklı sayıda gruplara ayrılarak geliştirilen modellerin performansları test edilmiştir.

Ayrıca her senaryo için akıntılı ve akıntısız olmak üzere de dalga tahmin modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada akıntının spektral dalga analizindeki önemi ve sonuçlara etkisi araştırılmıştır.

LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınarak oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1 ; Şekil 3.20 ve ekler kısmında Şekil A.1,
- Senaryo 2 ; Şekil 3.21 ve ekler kısmında Şekil A.2,
- Senaryo 3 ise Şekil 3.22 ve ekler kısmında Şekil A.3'te gösterilmiştir.

LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınmadan oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri (ekler kısmında);

- Senaryo 1; Şekil A.4,
- Senaryo 2 ; Şekil A.5,
- Senaryo 3 ise Şekil A.6'da gösterilmiştir.

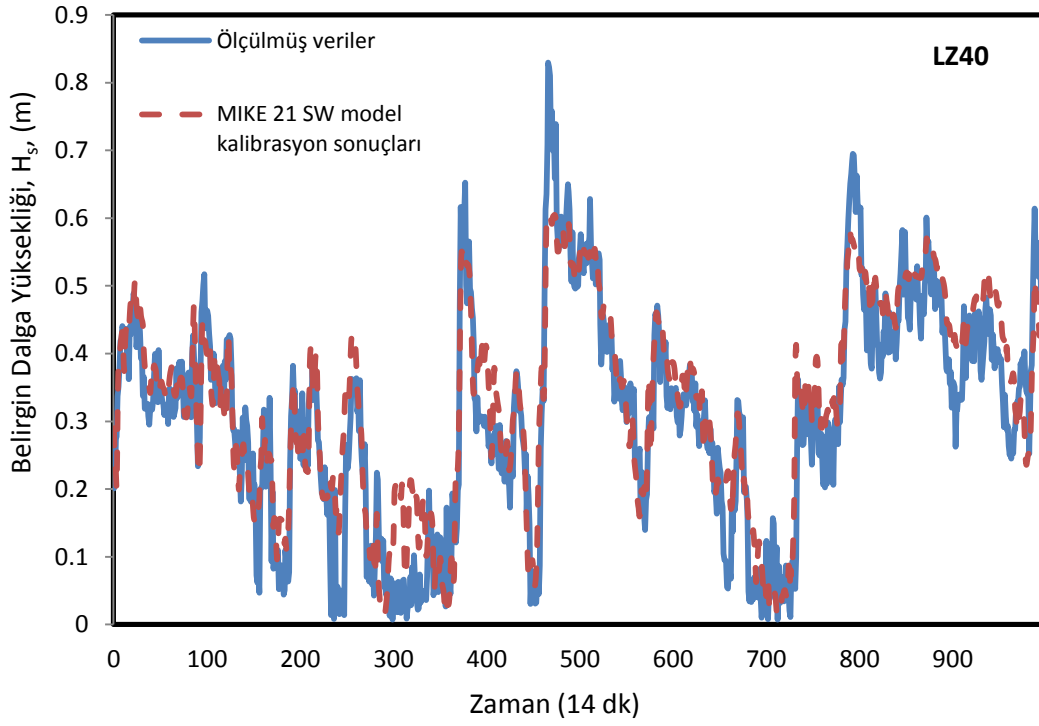
L006 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınarak oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.7,
- Senaryo 2 ; Şekil A.8,
- Senaryo 3 ise Şekil A.9'da gösterilmiştir.

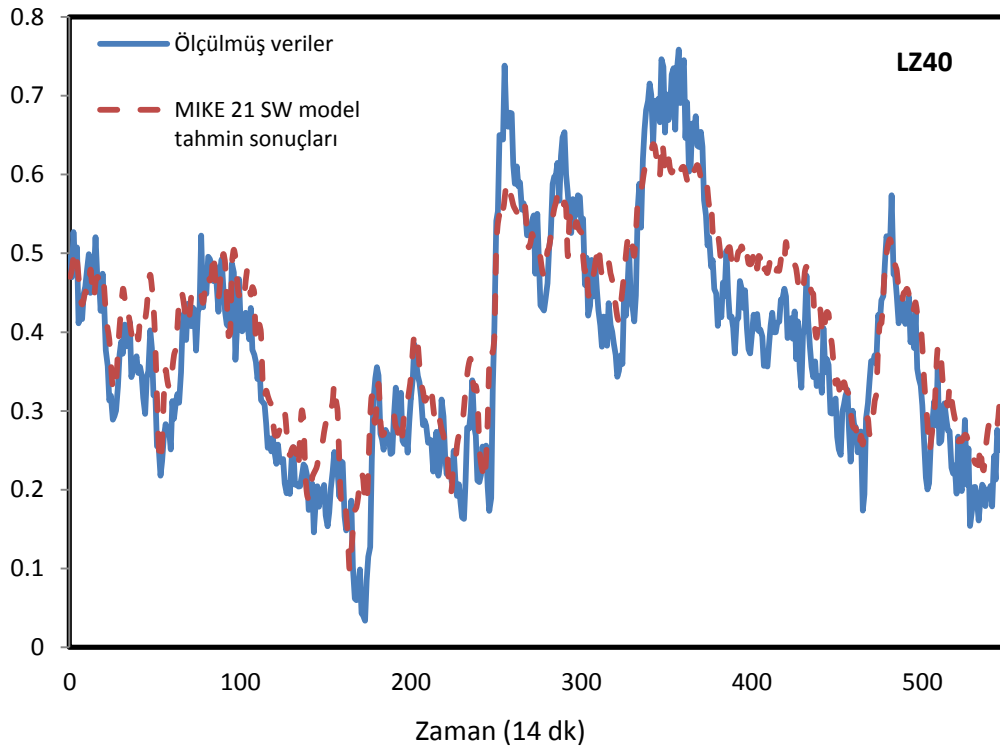
L006 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınmadan oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.10,
- Senaryo 2 ; Şekil A.11,
- Senaryo 3 ise Şekil A.12'de gösterilmiştir.

a)

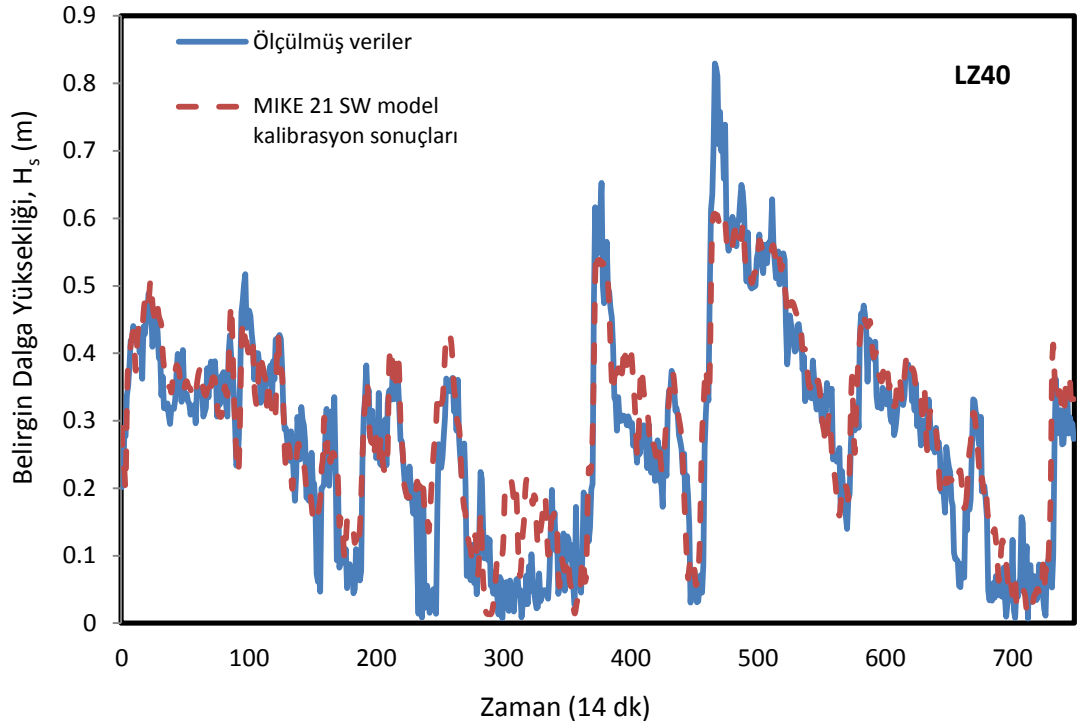


b)

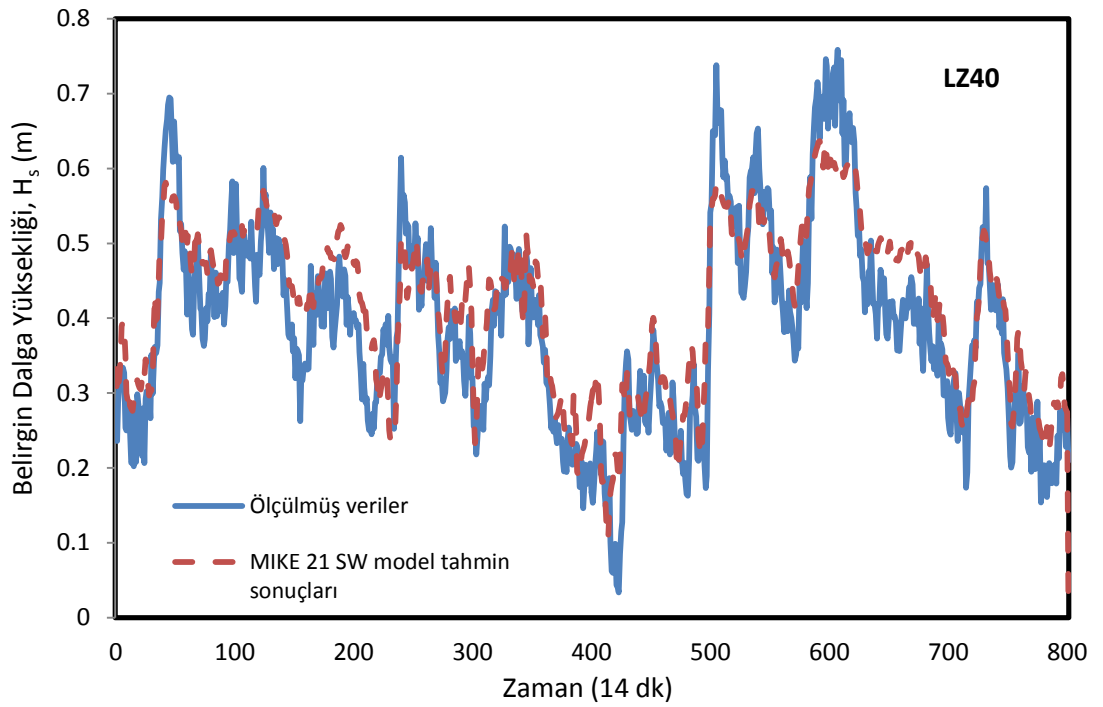


Şekil 3.20: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (a) Eğitim, (b) Test.

c)

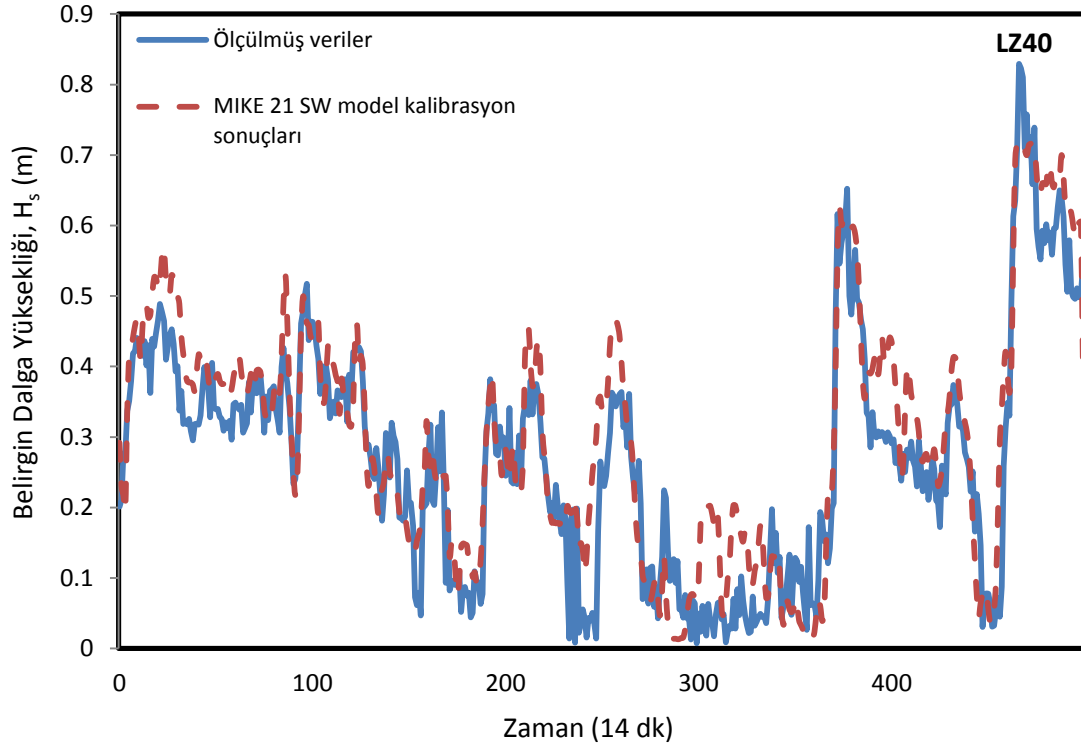


d)

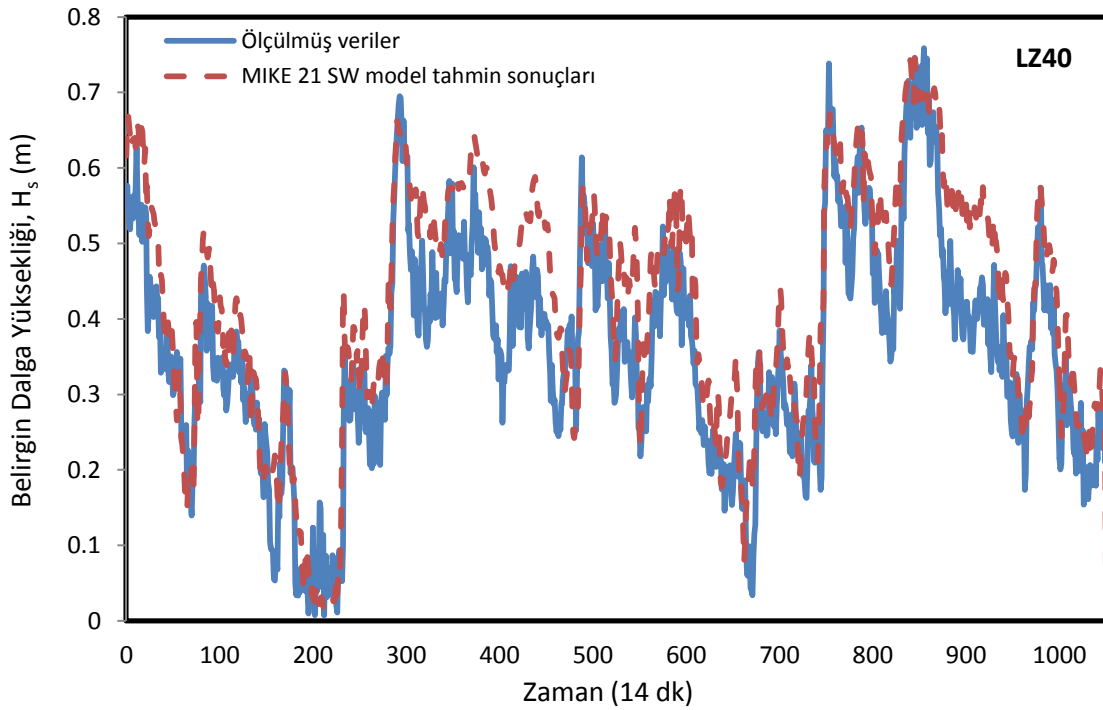


Şekil 3.21: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c)Eğitme, (d) Test.

e)



f)



Şekil 3.22: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği:
(e)Eğitme, (f)Test.

L005 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınarak oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.13,
- Senaryo 2 ; Şekil A.14,
- Senaryo 3 ise Şekil A.15’de gösterilmiştir.

L005 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınmadan oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.16,
- Senaryo 2 ; Şekil A.17,
- Senaryo 3 ise Şekil A.18’de gösterilmiştir.

L001 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınarak oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.19,
- Senaryo 2; Şekil A.20,
- Senaryo 3 ise Şekil A.21’ de gösterilmiştir.

L001 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin zamanla değişimi ile MIKE 21 SW ile akıntı değişkeni dikkate alınmadan oluşturulan 3 senaryoya ait karşılaştırma grafikleri;

- Senaryo 1; Şekil A.22,
- Senaryo 2 ; Şekil A.23,
- Senaryo 3 ise Şekil A.24’de gösterilmiştir.

Oluşturulan model sonuçlarının akıntılı ve akıntısız olarak karşılaştırılması ise Çizelge 3.21 ve 3.22’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Model karşılaştırması yapılmış olup kalibrasyon sonucu, akıntı verilerinin kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmiştir.

Çizelge 3.21 : MIKE 21 SW programı ile akıntı değişkeni dikkate alınarak geliştirilen spektral dalga model sonuçları.

İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	MIKE 21 SW Model (akıntılı) Sonuçları									
			Eğitme (kalibrasyon)					Tahmin (test)				
			RMSE	MSE	SI	CE	R	RMSE	MSE	SI	CE	R
LZ40	1000	551	0.067	0.004	6.66776E-05	0.832	0.921	0.063	0.004	0.0001152	0.811	0.930
	750	801	0.067	0.005	8.96104E-05	0.828	0.917	0.064	0.004	8.005E-05	0.791	0.910
	500	1051	0.075	0.006	0.000126049	0.802	0.922	0.084	0.007	8.022E-05	0.644	0.931
L006	1000	593	0.084	0.007	8.43134E-05	0.764	0.916	0.095	0.009	0.00016	0.564	0.916
	750	843	0.084	0.007	0.000112127	0.730	0.901	0.094	0.009	0.0001119	0.588	0.909
	500	1093	0.091	0.008	0.000181663	0.633	0.879	0.086	0.007	7.9E-05	0.627	0.921
L005	1000	592	0.060	0.004	5.94703	0.750	0.871	0.049	0.002	8.35E-05	0.687	0.844
	750	842	0.066	0.004	8.81E-05	0.677	0.830	0.052	0.003	6.13E-05	0.796	0.894
	500	1092	0.068	0.005	0.00013661	0.070	0.847	0.053	0.003	4.88E-05	0.785	0.886
L001	1000	385	0.086	0.007	8.58E-05	0.581	0.846	0.065	0.004	0.0001699	0.618	0.831
	750	635	0.073	0.005	9.79E-05	0.654	0.864	0.089	0.008	0.00014	0.461	0.778
	500	885	0.071	0.005	0.00014176	0.629	0.839	0.086	0.007	9.18E-05	0.545	0.821

Çizelge 3.21 ve 3.22 incelendiğinde, akıntı verisi dikkate alınarak geliştirilen spektral dalga model sonuçlarında çok az bir iyileşme olduğu görülmüştür. Ancak akıntılı ve akıntısız olarak geliştirilen iki model sonuçları arasında çok az fark olduğundan akıntı değişkenin kullanılmamasına karar verilmiştir. Okeechobee sığ bir göl olduğu için akıntı etkili bir parametre olmasına rağmen dalga yüksekliği tahmininde büyük bir etki oluşturamamıştır. Akıntı parametresinin sediment taşınımında etkisinin yüksek olabileceği öngörülmüştür.

Çizelge 3.22 : MIKE 21 SW programı ile akıntı değişkeni dikkate alınmadan yapılan spektral dalga analizi sonuçları.

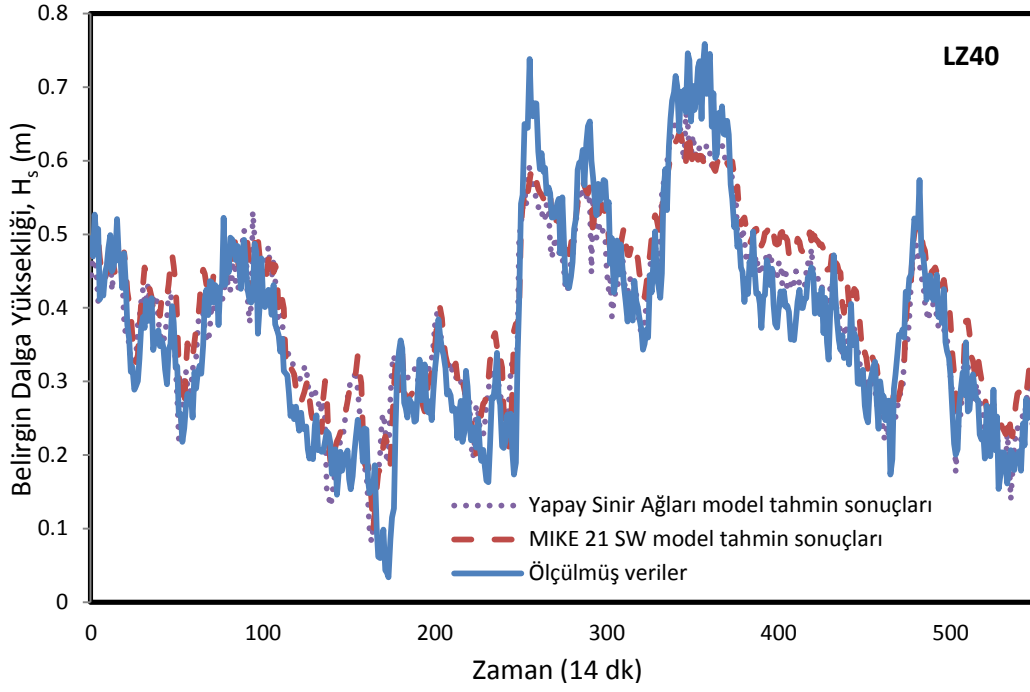
İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	MIKE 21 SW Model (akıntısız) Sonuçları									
			Eğitme (kalibrasyon)					Tahmin (test)				
			RMSE	MSE	SI	CE	R	RMSE	MSE	SI	CE	R
LZ40	1000	551	0.064	0.004	0.000115714	0.809	0.930	0.063	0.004	0.0001152	0.811	0.930
	750	801	0.064	0.004	8.02351E-05	0.775	0.910	0.064	0.004	8.005E-05	0.791	0.910
	500	1051	0.085	0.007	8.04929E-05	0.674	0.931	0.084	0.007	8.022E-05	0.644	0.931
L006	1000	593	0.095	0.009	0.000160079	0.564	0.917	0.095	0.009	0.00016	0.564	0.916
	750	843	0.094	0.009	0.000111943	0.588	0.909	0.094	0.009	0.0001119	0.588	0.909
	500	1093	0.087	0.007	7.92146E-05	0.692	0.921	0.086	0.007	7.9E-05	0.627	0.921
L005	1000	592	0.049	0.002	8.34357E-05	0.688	0.845	0.049	0.002	8.35E-05	0.687	0.844
	750	842	0.052	0.003	6.12E-05	0.797	0.894	0.052	0.003	6.13E-05	0.797	0.894
	500	1092	0.053	0.003	4.87765E-05	0.785	0.886	0.05	0.003	4.88E-05	0.785	0.886
L001	1000	385	0.066	0.004	1.71E-04	0.613	0.829	0.065	0.004	0.0001699	0.618	0.831
	750	635	0.089	0.008	1.40E-04	0.466	0.777	0.089	0.008	0.00014	0.461	0.778
	500	885	0.086	0.007	9.70631E-05	0.547	0.820	0.086	0.007	9.18E-05	0.545	0.821

Kalibrasyon ile her bir yöntemin kendi içinde en iyi performans gösteren modelleri oluşturulmuş ve buna göre de iki yöntem mukayese edilmiştir.

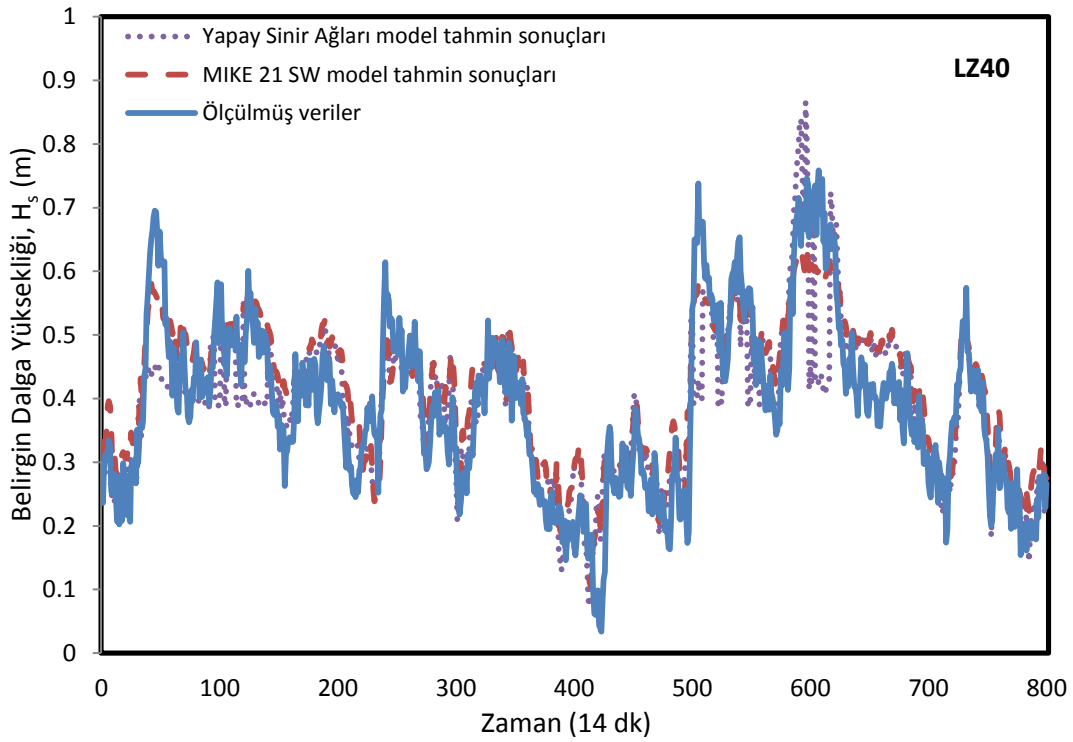
LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği, MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliği ve Yapay Sinir Ağları (ANN) ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin zamanla değişimi;

- Senaryo 1' e ait 500 Test verisi ,
- Senaryo 2'ye ait 750 Test verisi,
- Senaryo 3'e ait 1000 Test verisi dikkate alınarak modellenmiş ve karşılaştırma grafikleri Şekil 3.23 ve B.1'de Ek B kısmında gösterilmiştir.

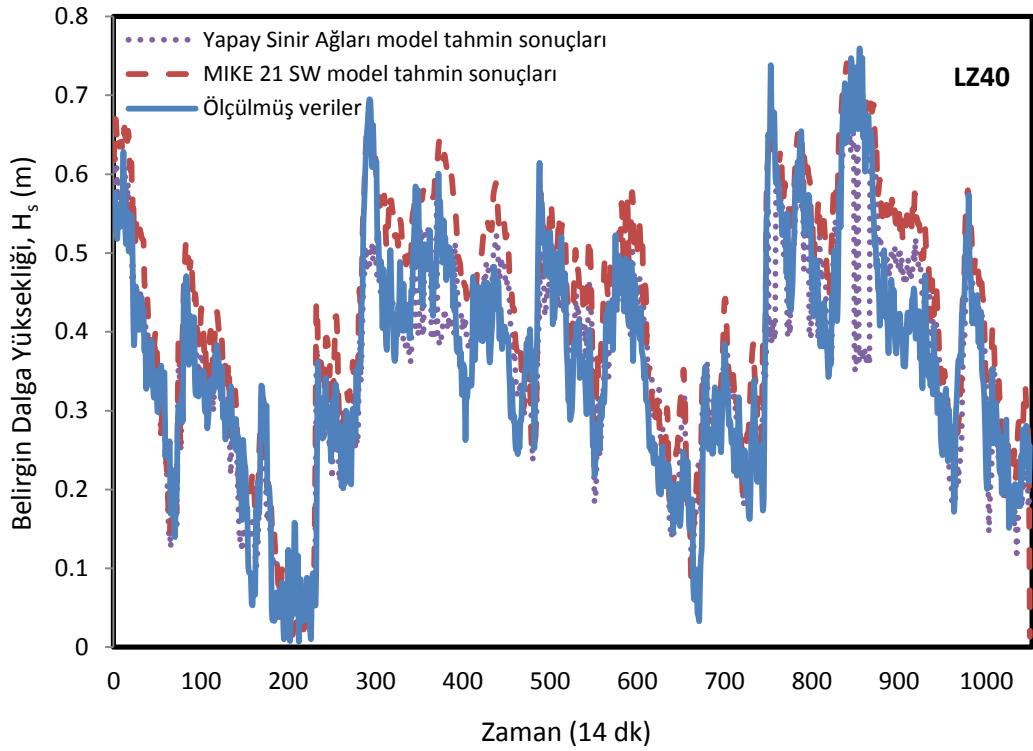
a)



b)



c)



Şekil 3.23: (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması:
(a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).

L006, L005 ve L001 İstasyonlarına ait ölçülmüş dalga yüksekliği, MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliği ve Yapay Sinir Ağları (ANN) ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin zamanla değişimi;

- a) Senaryo 1' e ait 500 Test verisi ,
- b) Senaryo 2'ye ait 750 Test verisi,
- c) Senaryo 3'e ait 1000 Test verisi dikkate alınarak modellenmiş ve tahmin sonuçlarının karşılaştırma grafikleri Ek B kısmında sırasıyla Şekil B.2, B.3 ve B4'de gösterilmiştir.

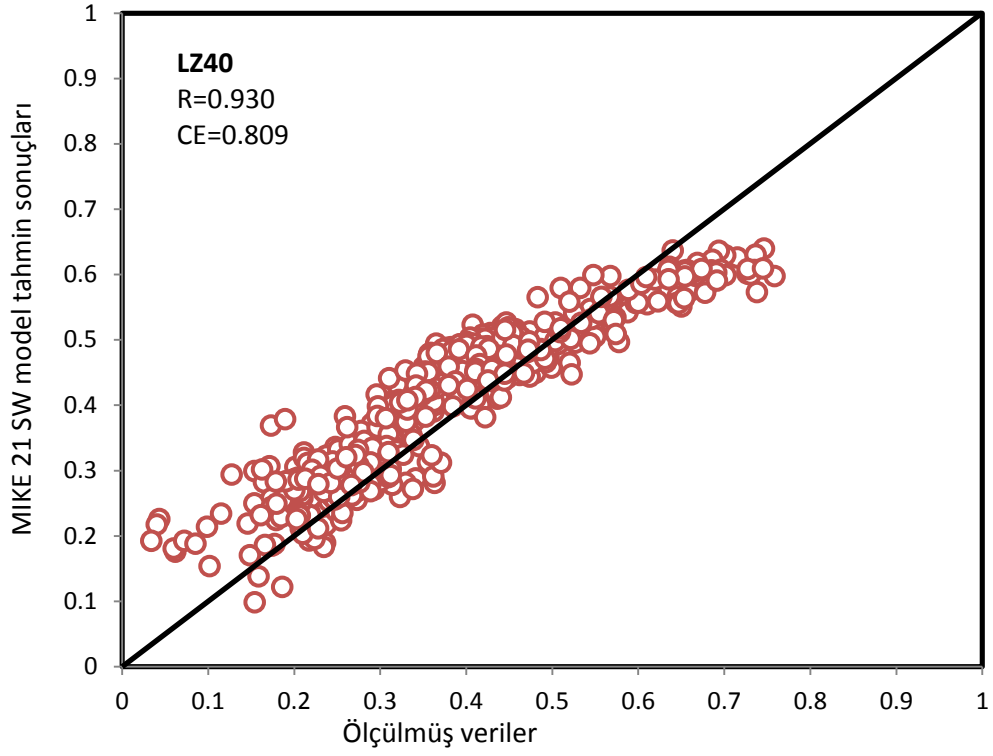
MIKE 21 SW model ile Yapay Sinir Ağları model karşılaştırması Çizelge 3.23’de gösterilmiştir. Çok az parametreyle her alandaki problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar veren Yapay Sinir Ağları yöntemi ile MIKE 21 SW programları karşılaştırılarak, MIKE 21 SW ile spektral dalga analizinin başarısı doğrulanmıştır. Birden fazla değişkene bağlı olarak kurulan modelde değişken arttıkça performansın düşmediği aksine başarı oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.23 : MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) sonuçlarının karşılaştırılması.

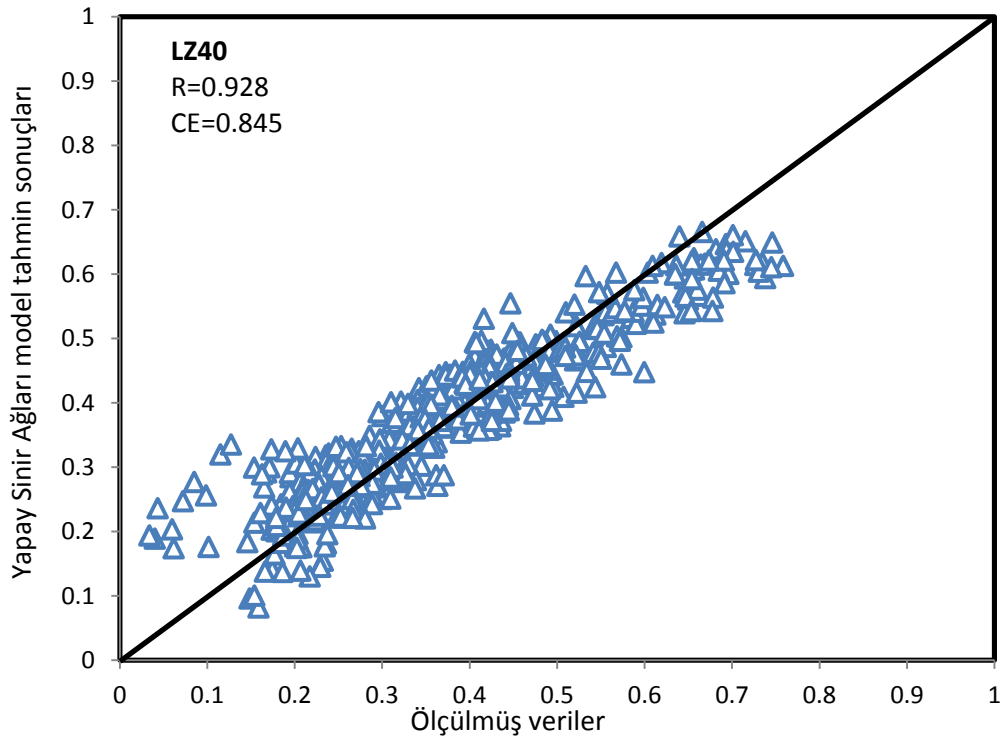
İstasyonlar	Eğitme verisi (kalibrasyon)	Test verisi (tahmin)	MIKE 21 SW Model					ANN Model				
			Tahmin					Tahmin				
			RMSE	MSE	SI	CE	R	RMSE	MSE	SI	CE	R
LZ40	1000	551	0.064	0.004	0.0001157	0.809	0.930	0.058	0.003	0.0001044	0.845	0.928
	750	801	0.064	0.004	8.024E-05	0.775	0.910	0.081	0.007	0.0001011	0.643	0.803
	500	1051	0.085	0.007	8.049E-05	0.674	0.931	0.078	0.006	7.282E-05	0.732	0.857
L006	1000	593	0.095	0.009	0.0001601	0.564	0.917	0.057	0.003	9.653E-05	0.843	0.927
	750	843	0.094	0.009	0.0001119	0.588	0.909	0.078	0.006	9.23E-05	0.717	0.875
	500	1093	0.087	0.007	7.921E-05	0.692	0.921	0.096	0.009	8.744E-05	0.624	0.823
L005	1000	592	0.049	0.002	8.344E-05	0.688	0.845	0.073	0.005	1.23E-04	0.325	0.768
	750	842	0.052	0.003	6.12E-05	0.797	0.894	0.102	0.010	1.21E-04	0.208	0.524
	500	1092	0.053	0.003	4.878E-05	0.785	0.886	0.075	0.006	6.84E-05	0.576	0.782
L001	1000	385	0.066	0.004	1.71E-04	0.613	0.829	0.117	0.014	0.000275	0.047	0.479
	750	635	0.089	0.008	1.40E-04	0.466	0.777	0.103	0.011	0.000153	0.347	0.665
	500	885	0.086	0.007	9.706E-05	0.547	0.820	0.085	0.007	9.21E-05	0.579	0.765

Belirtilen senaryolardaki modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile istasyonlara ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 45 derecelik doğru üzerinde saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN) olmak üzere Şekil C.1’den C.12’ye kadar gösterilmiştir. Senaryoların sadece test (tahmin) kısmı göz önünde bulundurularak Yapay Sinir Ağları (ANN) ile MIKE 21 SW programı model sonuçları için karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu durumda 4 istasyon için de veriler; Senaryo 1 (500 Test verisi için), Senaryo 2 (750 Test verisi için) ve Senaryo 3 (1000 test verisi için) olmak üzere saçılma grafikleri çizdirilmiştir.

a)



b)



Şekil 3.24: 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo1'e göre modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Okeechobee gölünde yapılan bu çalışma ile bölgenin sahip olduğu 4 istasyon (LZ40, L006, L005 ve L001) için de spektral dalga analizi yapılarak, bundan sonra yapılacak bu karakterdeki ya da farklı karaktere sahip göl, sulak alan vb. bölgeler için örnek olması amaçlanmıştır. Nümerik olarak modelleme yapan MIKE 21 SW yazılımının kurulumuna ve kalibrasyonuna dair yeterli bilgi verilmiş ve hangi parametreler altında çalışıldığı özetlenmiştir. Bir diğer yöntem olarak kullanılan Yapay Sinir Ağları ile dalga analizi yapmak için, basit modelleme mantığı çerçevesince Matlab’da hangi fonksiyonların kullanıldığı ve yapılan kalibrasyonlar açıklanmıştır. Yapılan analizler sonucu, basit parametreler ile bölgedeki belirgin dalga yüksekliği tahmin edilerek dalga iklimi çıkartılmıştır. Çalışma sonucu, ulaşılan önemli noktalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Okeechobee gölü sığ olmasına karşın, MIKE 21 SW ile yapılan spektral dalga analizi sonuçlarında akıntının sonuçları çok etkilemediği dolayısıyla kullanılmamasına karar verilmiştir. Ancak akıntının sediment taşınımı üzerinde etkisinin büyük olacağı öngörülmüştür.
- MIKE 21 SW yazılımı ve Yapay Sinir Ağları ile yapılan analizler sonucunda rüzgar hızı değişkenin olduğu kadar rüzgar yönü değişkenin de önemi anlaşılarak, yüksek performanslı modeller geliştirmek için kullanılmıştır.
- MIKE 21 SW programı ile özellikle batimetrimin çıkartılarak modelin geliştirilmesi, sığ bir göl olan Okeechobee için büyük olanak sağlamıştır.
- Yapay Sinir Ağları ile kurulan model ile MIKE 21 SW modeli karşılaştırılarak, bu modellerin performansları değerlendirilmiştir. Hemen hemen her problemin çözümünde kullanılabilen ve başarılı sonuç veren Yapay Sinir Ağları kadar MIKE 21 SW modelinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

- İstasyonlar içinde en başarılı sonuç alınan istasyon LZ40 olup, MIKE 21 SW yaklaşımı ile $R=0,94$ ve $CE =0,85$ bulunmuştur. Diğer performans değerlendirme yöntemlerinin sonuçları ise yine bölüm 3' de ve ekler kısmında gösterilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, D.** (2011). *Response of an off shore wind turbine to simultaneous wind and wave*. (Yüksek lisans tezi), DTU, Denmark
- Altunkaynak, A. ve Wang, K.** (2012). Estimation of significant wave height in shallow lakes using the expert system techniques. *Expert Systems with Applications*. 39, 2549-2559
- Altunkaynak, A. ve Wang, K.** (2010). Triple diagram models for prediction of suspended solid concentration in Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Hydrology*. 387 (2010) 165-175.
- Altunkaynak, A.** (2013). Prediction of significant wave height using genomultilayer perceptron *Ocean Engineering*, **58** 144-153.
- Altunkaynak, A.** (2007). Forecasting surface water level fluctuations of lake van by artificial neural networks. *Water Resour Manage*, 21:399–408.
- Battjes, J. A. ve Stive, M. J. F.** (1985). Calibration and verification of a dispersion model for random breaking waves, *Geophys. Res.*, 90, 9159-9167.
- Beale, H. M., Demuth, B. H., De Jesus, O. ve Hagan M. T.** (2. Baskı). *Neural Network Design*. Adres: <http://hagan.okstate.edu/nnd.html>
- Blue Marble Geographics (2013)**. Global Mapper, Getting Started Guide. Adres: http://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper/GM_Getting_Started_Guide_v15.pdf
- Chang, H. K., Liou, J.C., Liu, S. J. ve Liaw, R.L.** (2010). Simulated wave-driven ANN model for typhoon waves. *Advances in Engineering Software* 42 (2011) 25–34 doi:10.1016/j.advengsoft.2010.10.014.
- Dancey, C., & Reidy, J.** (2004). *Statistics without Maths for Psychology: using SPSS for Windows*, London: *Prentice Hall*.
- DHI (Danish Hydraulic Institute)** (2007). MIKE Zero User Guide.
- DHI (Danish Hydraulic Institute)** (2012). MIKE 21 SW (Spectral Wave Module) Scientific Documentation.
- DHI (Danish Hydraulic Institute)** (2012). MIKE Zero, Mesh Generator, Step-by-Step Training Guide.
- DHI (Danish Hydraulic Institute)** (2012). MIKE Zero, Bathymetry Editor and Mesh Generator, Scientific Documentation.
- DHI (Danish Hydraulic Institute)** (2012). MIKE Zero, Plot Composer, User Guide.
- Hasselmann, K.** (1962). On the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part 1, General theory. *J. Fluid Mech.*, 12, 481-500.

- Hasselmann, K., Barnett T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E. , Enke, K., Wing, J. A. Gienapp, H, Hasselmann, D. E., Kruseman, P, Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W. ve Walden, H.** (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl. A (12) 95 pp
- Holthuijsen, L. H., Booij, N., ve Herbers, T. H. T.** (1989). A prediction model for stationary, short crested waves in shallow water with ambient currents. *Coastal Engineering*, 13, 23-54.
- Jin, K. ve Sun, D.** (2007). Sediment Resuspension and Hydrodynamics in Lake Okeechobee during the Late Summer. *ASCE*. 133:899-910.
- Jin, K. R., Tehrani, M., Wang, K. H.** (2003). Field measurement of flow velocities, suspended solids concentrations ve temperatures in Lake Okeechobee. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 39 (2), 441-456 (April).
- Kazeminezhad, M. H., Etemad-Shahidi A. ve Mousavi S. J.** (2007). Evaluation of Fuzzy and Numerical Wave Prediction Models in Lake Ontario. *Journal of Coastal Research*. 50,317-321
- Kaminsky, G. M. ve Kraus, N. C.** (1993). Evaluation of depth- limited wave breaking criteria, Proc. Of 2nd Int. Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, 180-193.
- Komen, G. J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. ve Janseen, P. A. E. M.** (1994) Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560pp.
- Kulkarni, R.** (2013). *Numerical Modelling of Coastal Erosion Using MIKE21* (yüksek lisans tezi), Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Manson, G.K.** (2012). Configuration of Mike21 for the Simulation of Nearshore Storm Waves, Currents and Sediment Transport: Brackley Bight, Prince Edward Island, Geological Survey of Canada, Open File 6736, 33 p.doi:10.4095/291980
- Moeini, M. H. ve Etemad-Shahidi A.** (2007). Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. *Applied Ocean Research* 29 (2007) 137–145. doi:10.1016/j.apor.2007.10.001
- Nelson, R. C.** (1987). Design wave heights on very mild slopes: An experimental study, *Civil. Eng. Trans., Inst. Eng., Aust.*, 29, 157-161.
- Prat Quero, N.** (2010). *Study for the enlargement of Sisimiut Harbour*, (yüksek lisans tezi), DTU, Denmark.
- Ruessink, B. G., Walstra, D. J. R. ve Southgate, H. N.** (2003). Calibration and verification of parametric wave model on barred beaches, *Coastal Eng.*, 48, 139-149.
- Schmith, T., ve Borch, U.** (2013). Horns Rev 3 Offshore Wind Farm, Validation of DMI's Model Suite for the horns rev 3 area, *Energinet.dk, ORBICON*. Adres:<http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/vindkraft->

vindmoeller/havvindmoeller/kriegers-flak-horns-rev/hr3-tr-008_v2_metocean_model_validation.pdf

South Florida Information Access (SOFIA) (2014). Güney Florida Bilgi Erişimi Batimetri verisi, Adres:

sofia.usgs.gov/publications/maps/lakeokeebathy/index.html

South Florida Water Management District (2014). Adres:

<http://my.sfwmd.gov/portal/page/portal/xweb%20protecting%20and%20restoring/lake%20okeechobee>

Strauss, D., Mirferendesk, H., ve Tomlinson, R. (2007) Comparison of two wave models for Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research*. 50, 312-316.

Tsai, C. P., Lin, C., ve Shen, J.- N. (2002). Neural networks for forecasting among multi-stations. *Ocean Engineering*, 29(13), 1683-1695.

Young, I. R. (1999). Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya ve M. E. McCormick, Elsevier.

EKLER

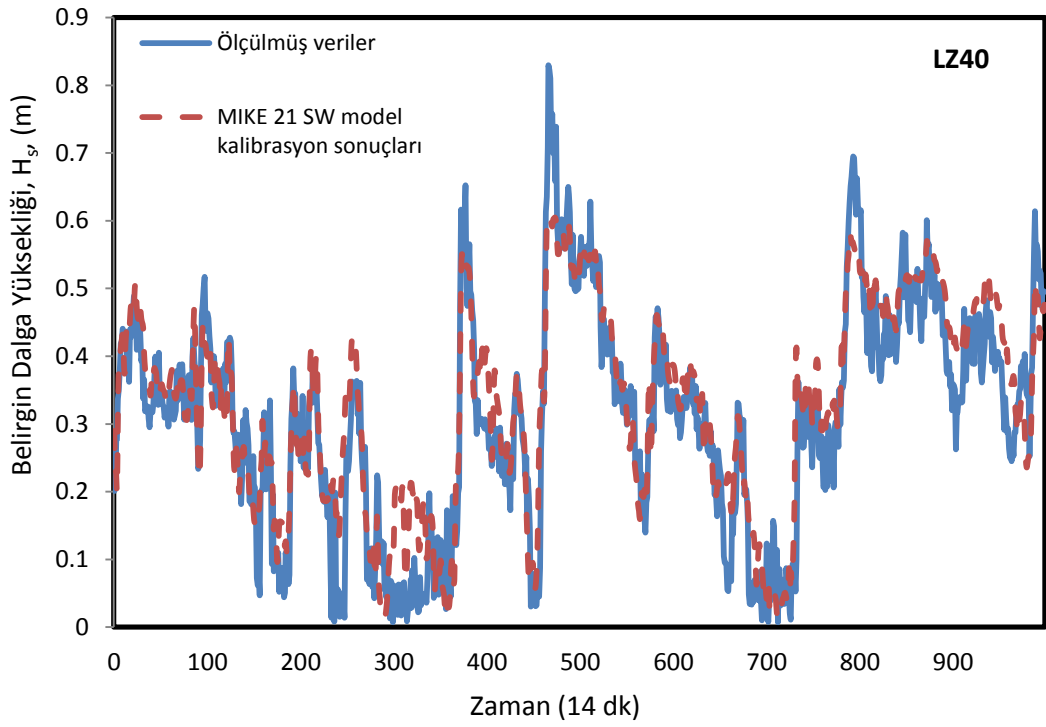
EK A : MIKE 21 SW model sonuçları (Akıntılı-Akıntısız)

EK B : Modellerin karşılaştırılması sonuçları (MIKE 21 SW-ANN)

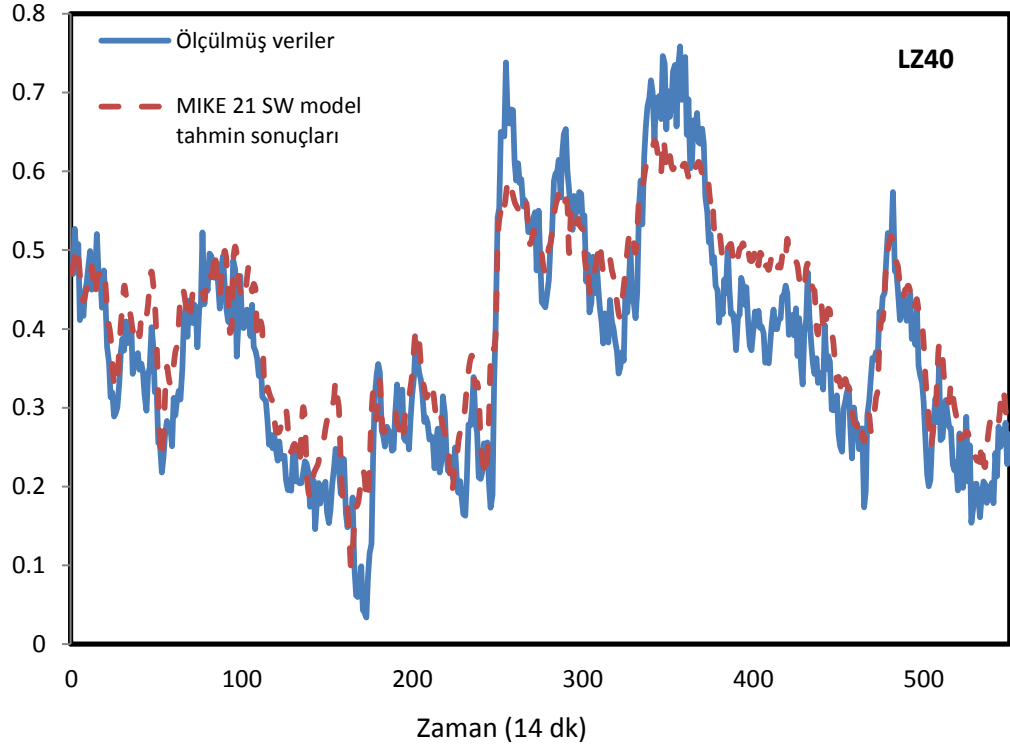
EK C : Modellerin saçılım grafikleri (MIKE 21 SW-ANN)

EK A

a)

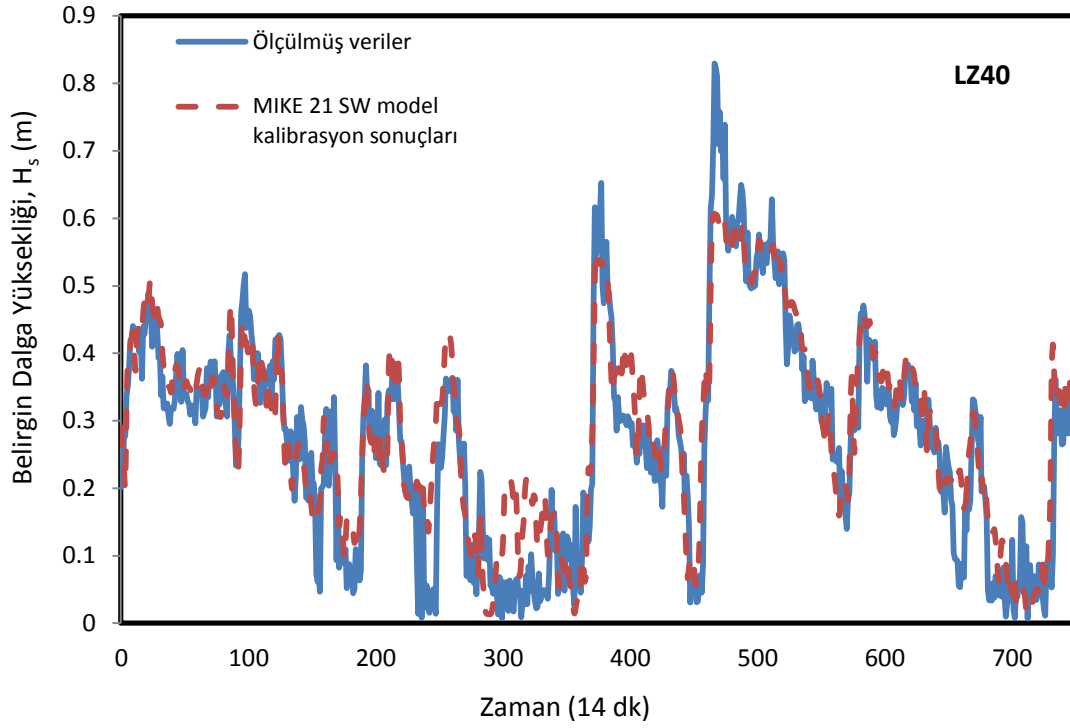


b)

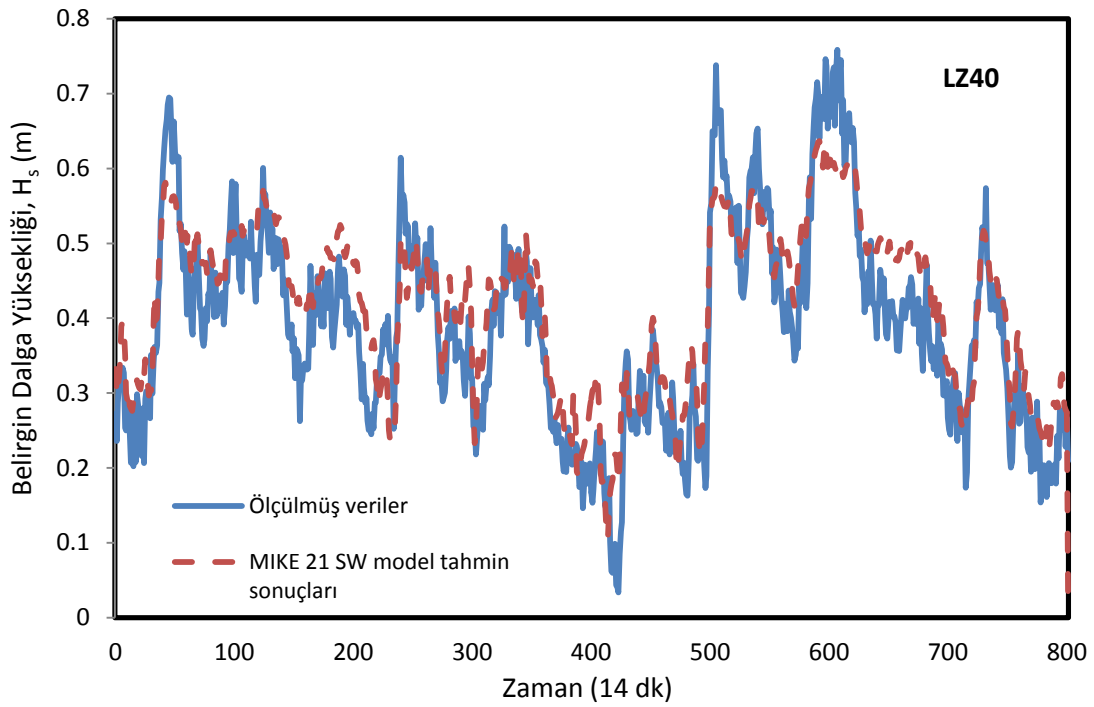


Şekil A.1 : (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği:
(a) Eğitim, (b) Test.

c)

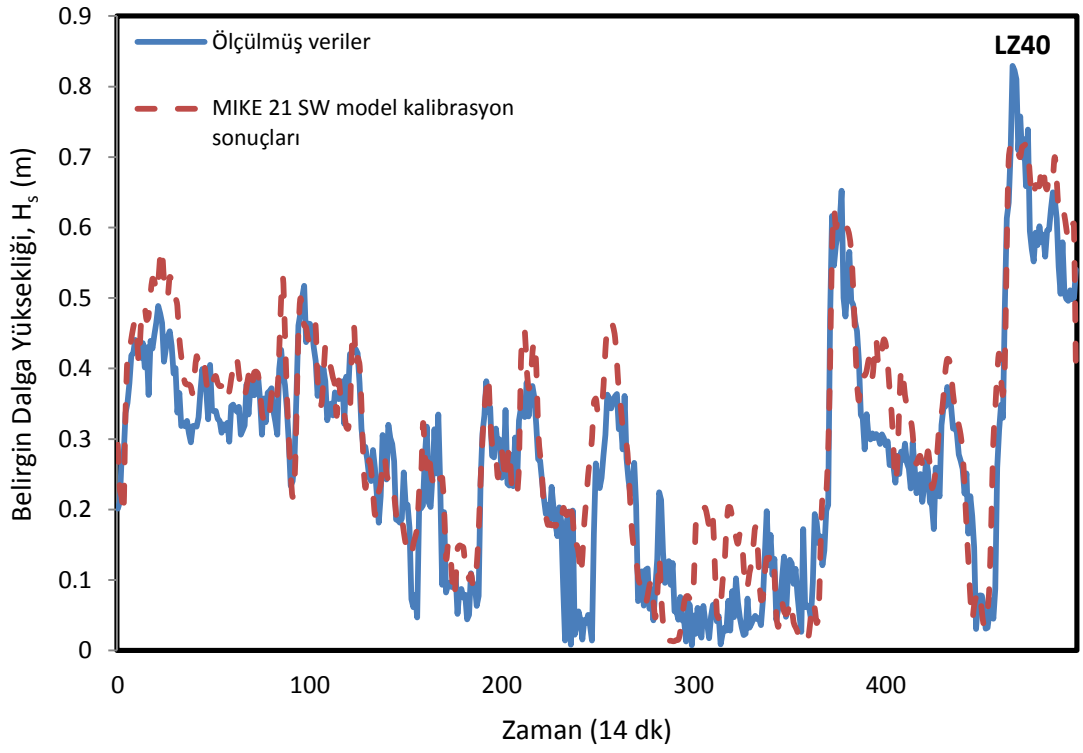


d)

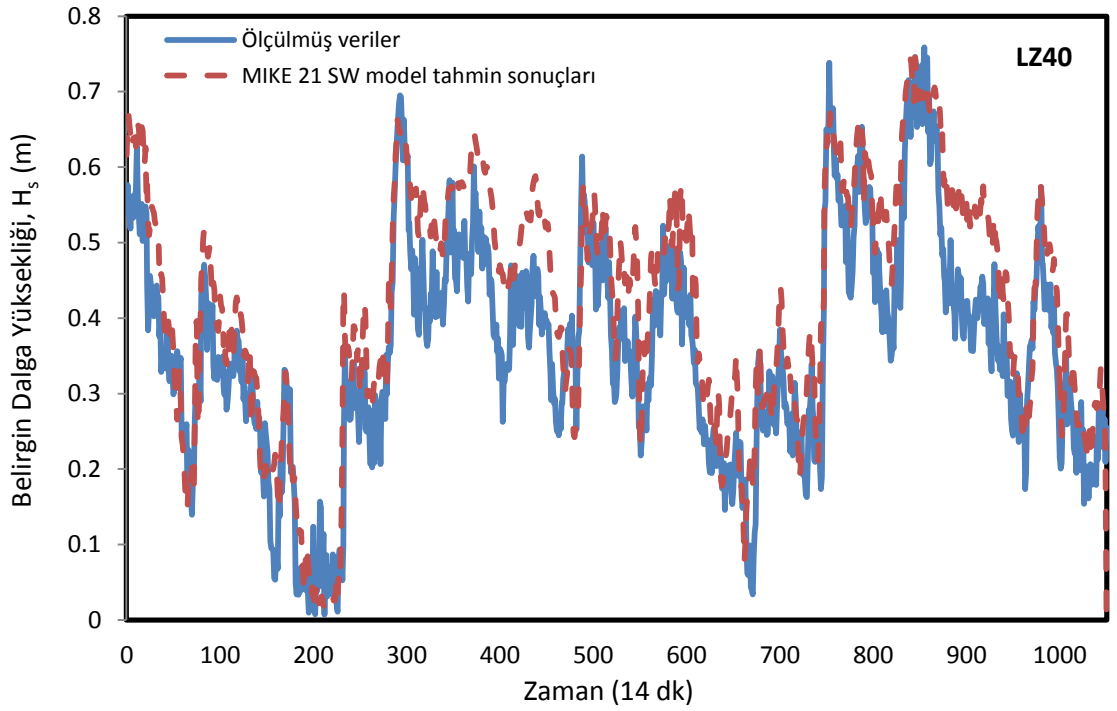


Şekil A.2: (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c) Eğitim, (d) Test.

e)

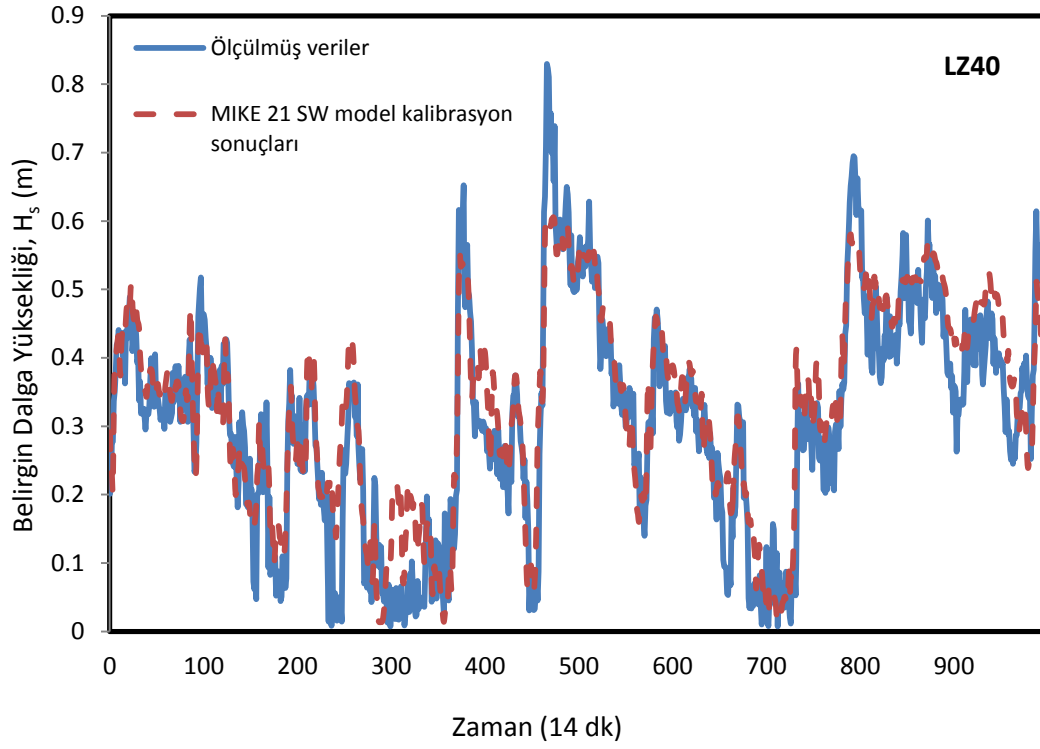


f)

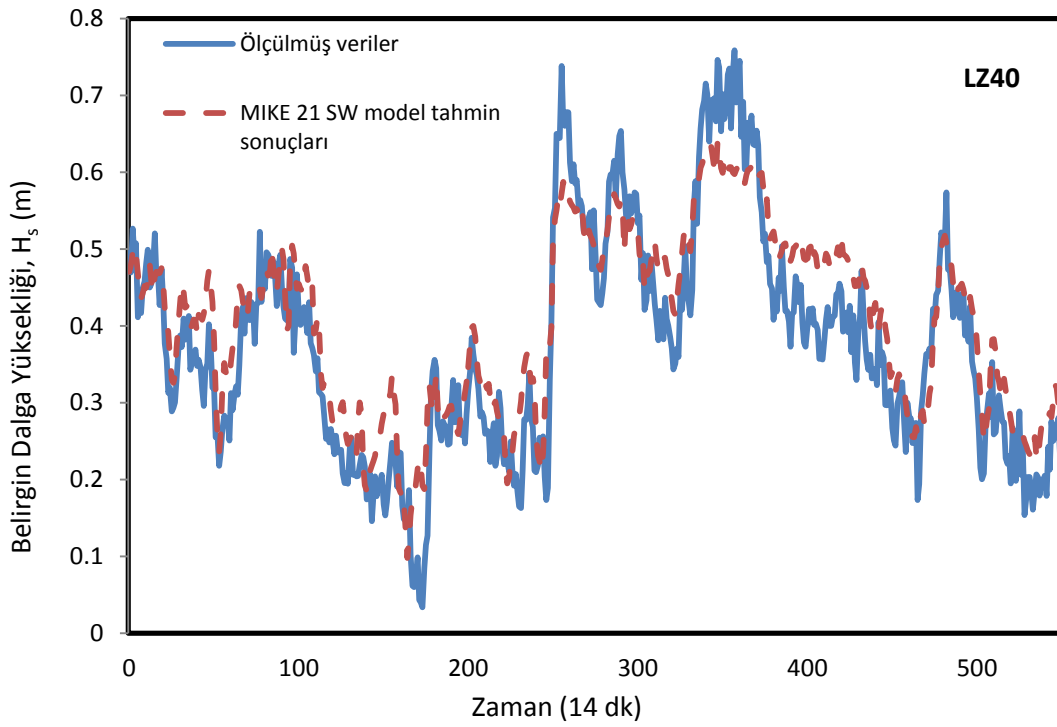


Şekil A.3 : (Akıntılı) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği:
(e) Eğitim, (f) Test.

a)

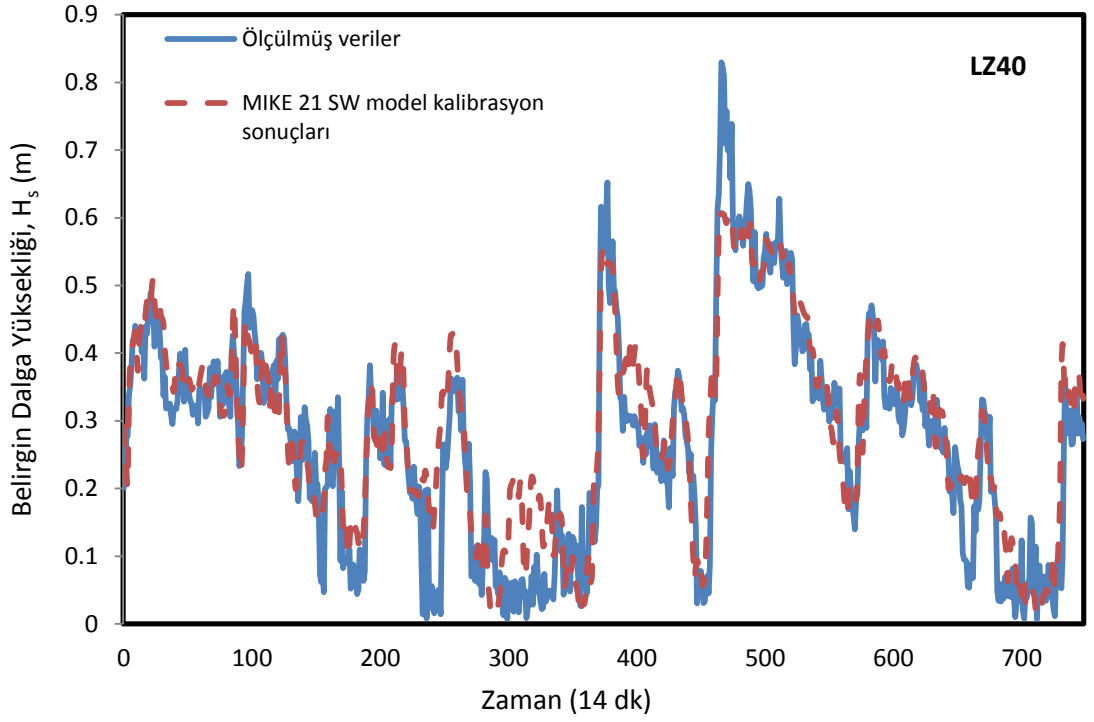


b)

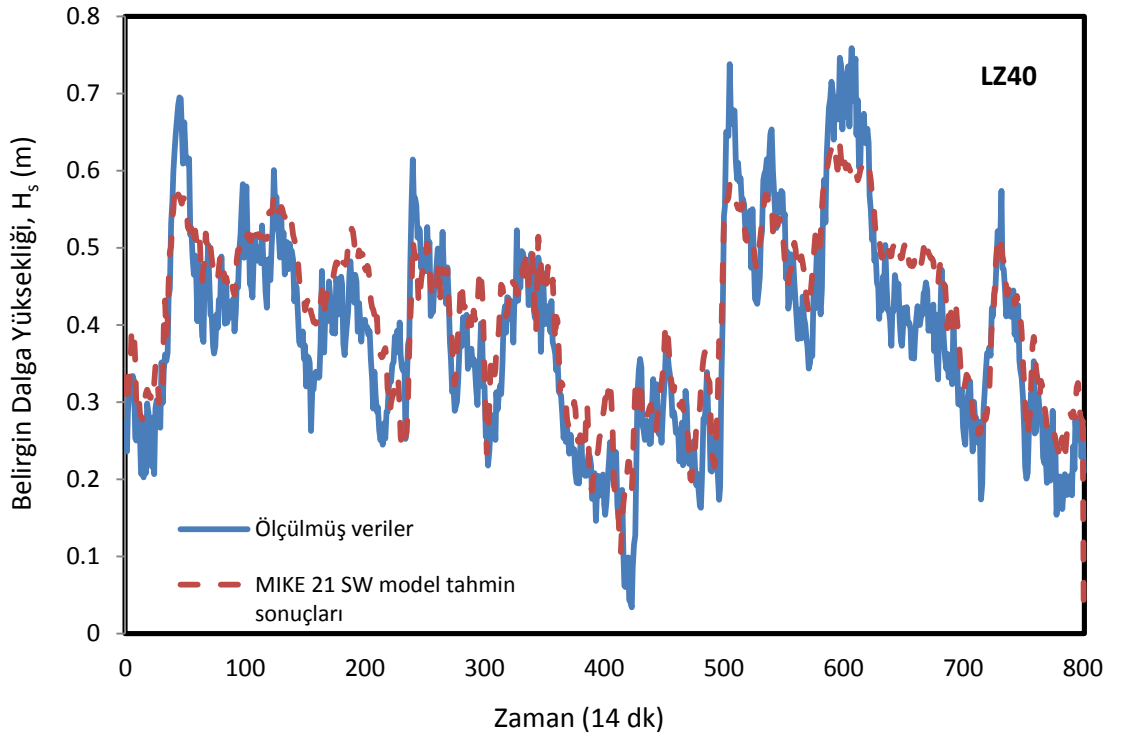


Şekil A.4 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği:
(a) Eğitim, (b) Test.

c)

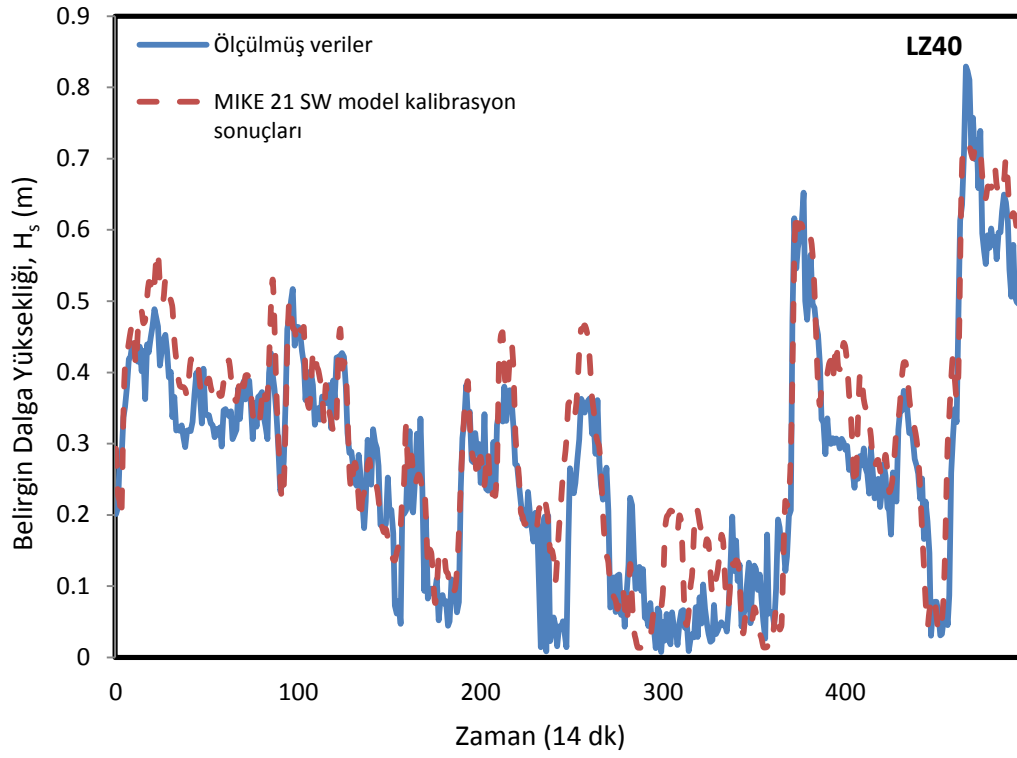


d)

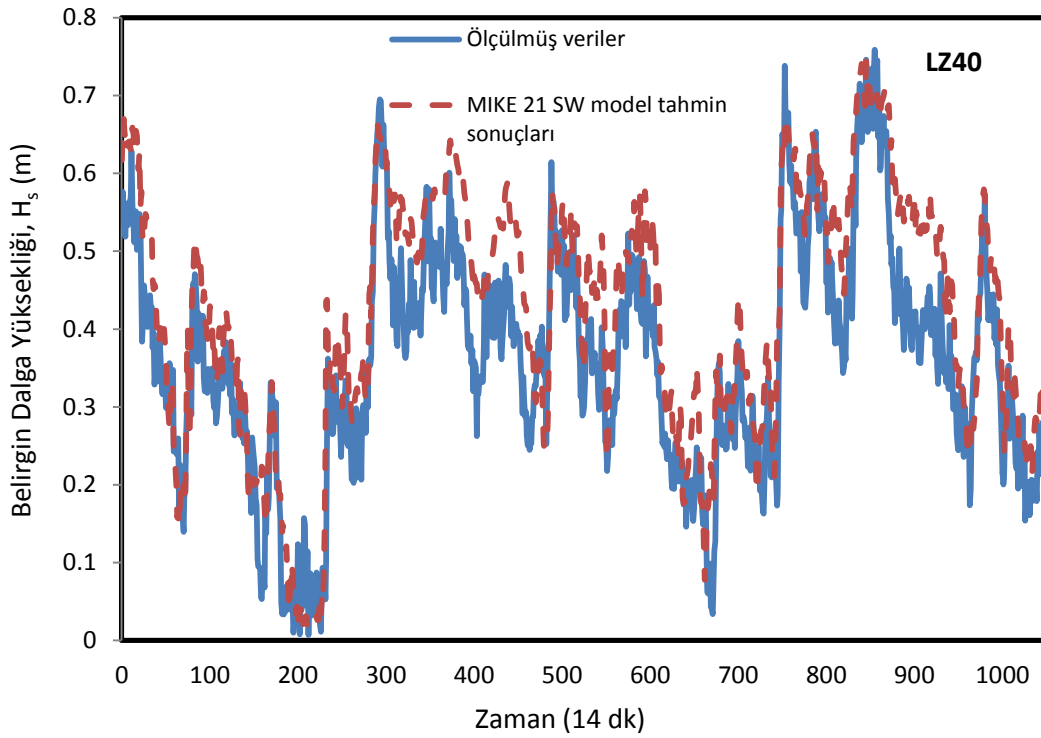


Şekil A.5 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği:
(c) Eğitim, (d) Test.

e)

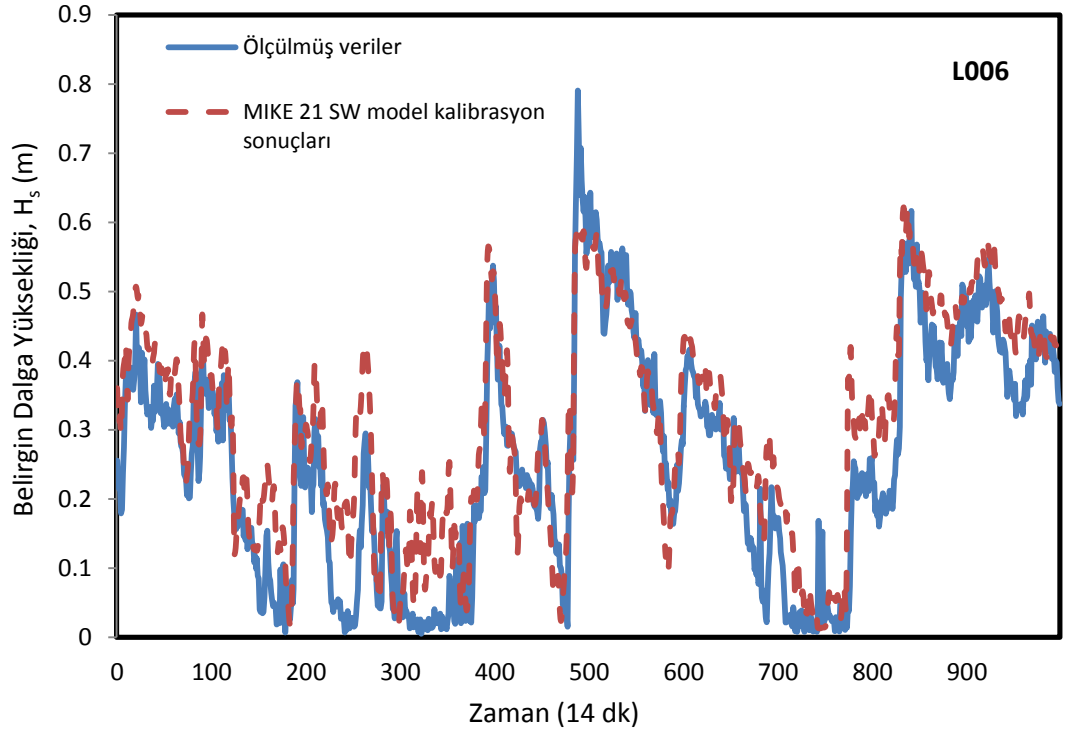


f)

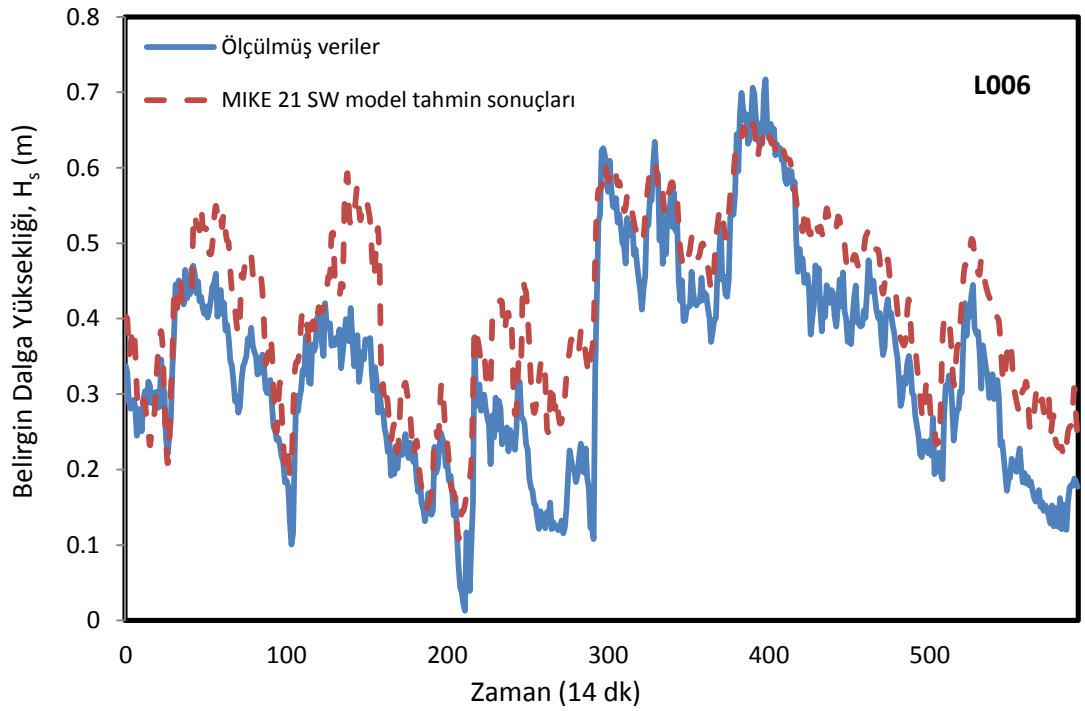


Şekil A.6 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e) Eğitim, (f) Test.

a)

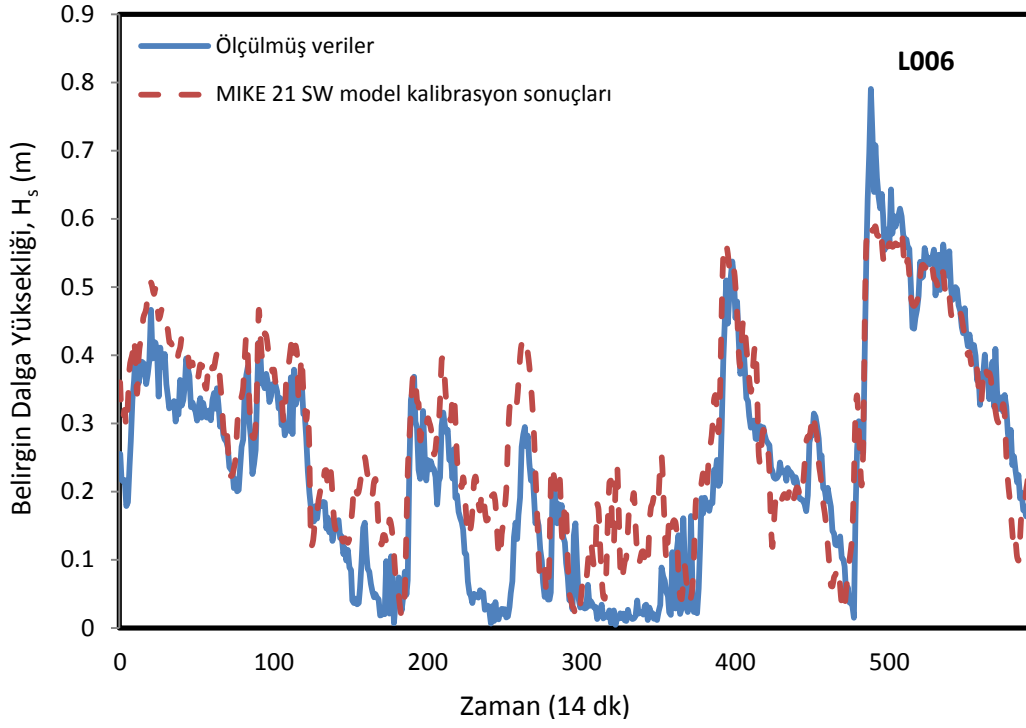


b)

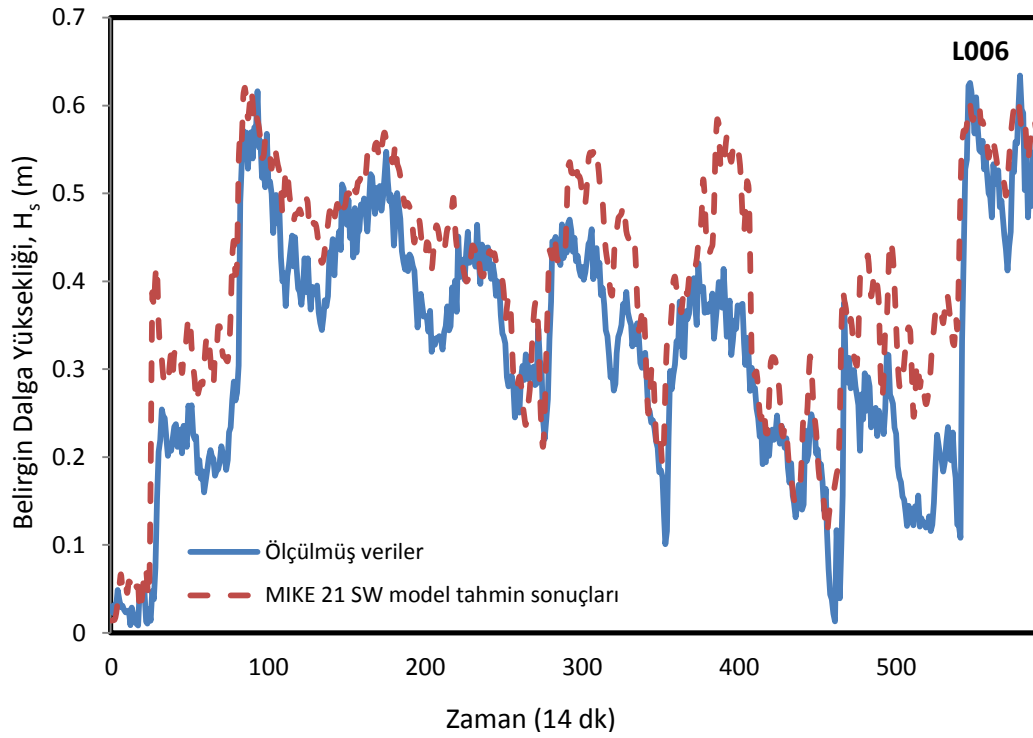


Şekil A.7 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği:
(a) Eğitim, (b) Test.

c)

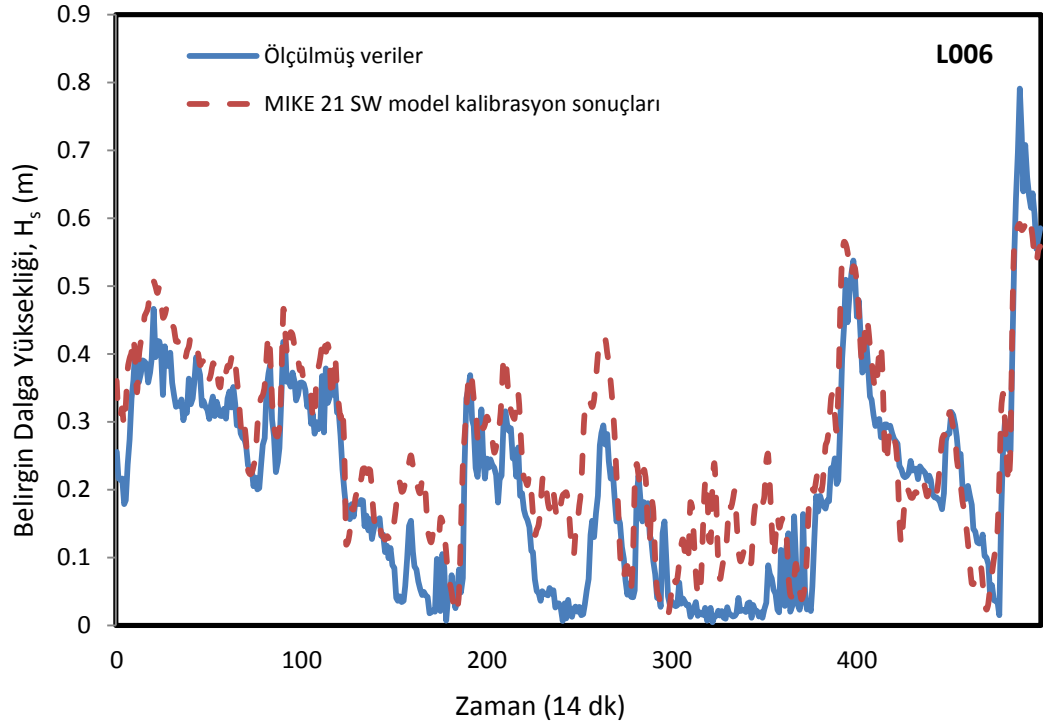


d)

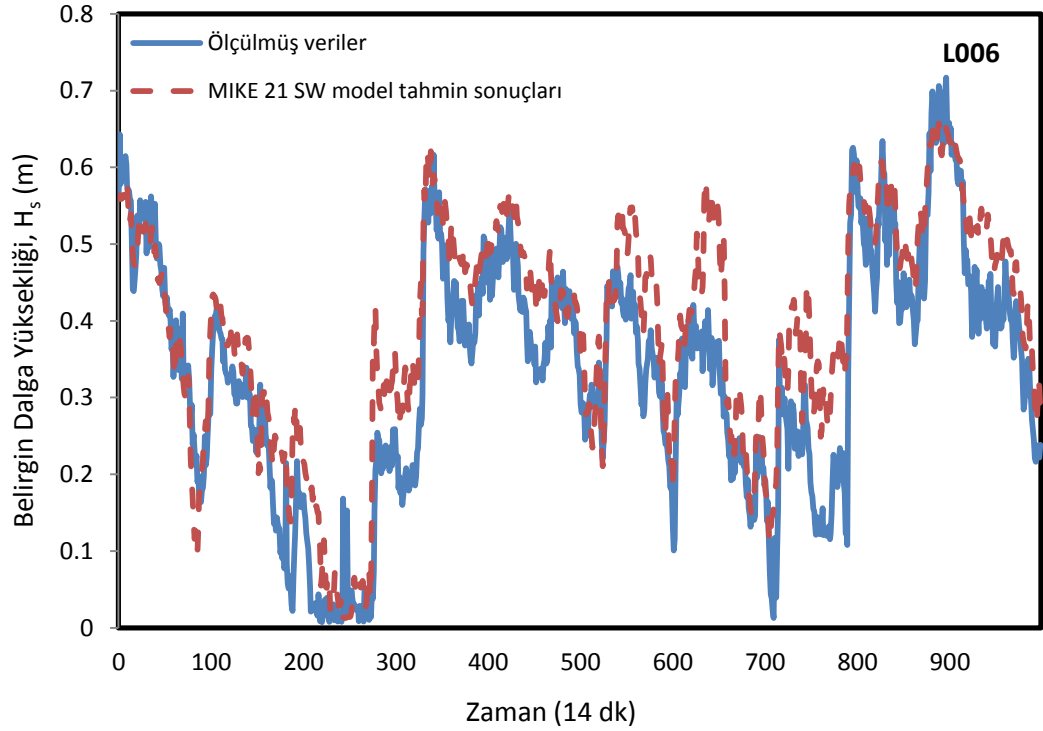


Şekil A.8 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c) Eğitim, (d) Test.

e)

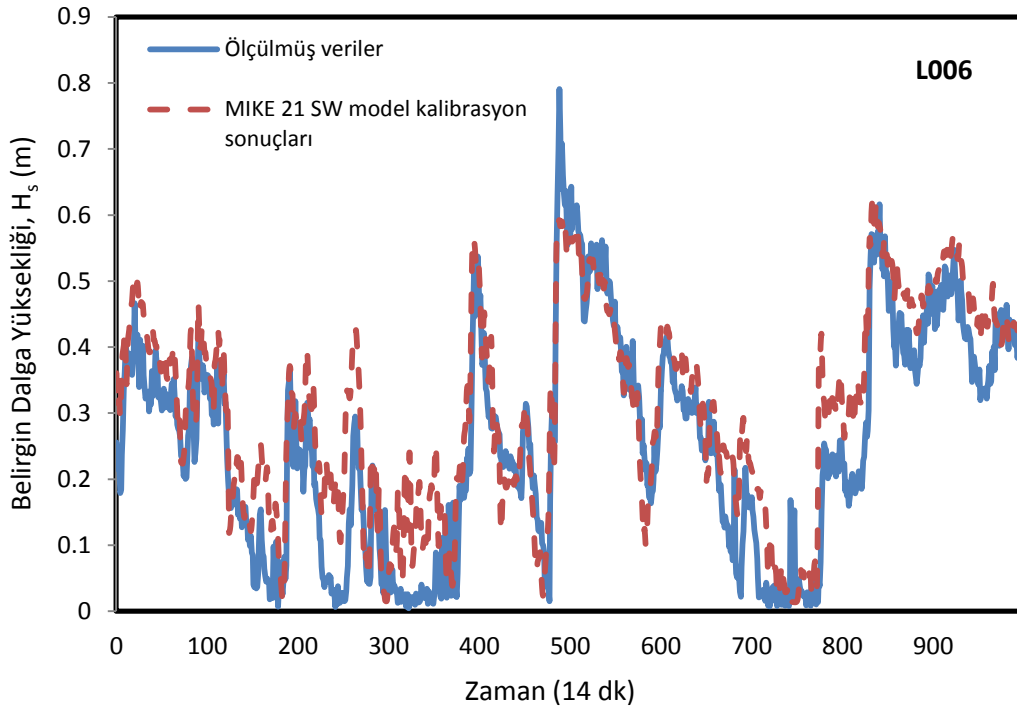


f)

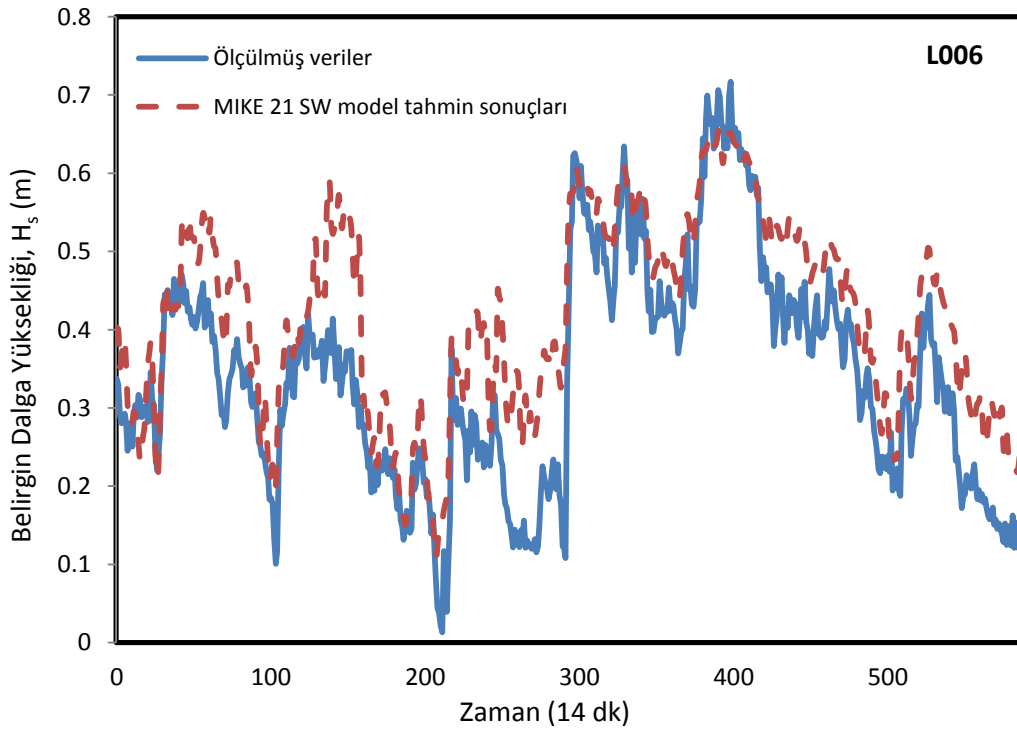


Şekil A.9 : (Akıntılı) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği:
(e) Eğitme, (f) Test.

a)

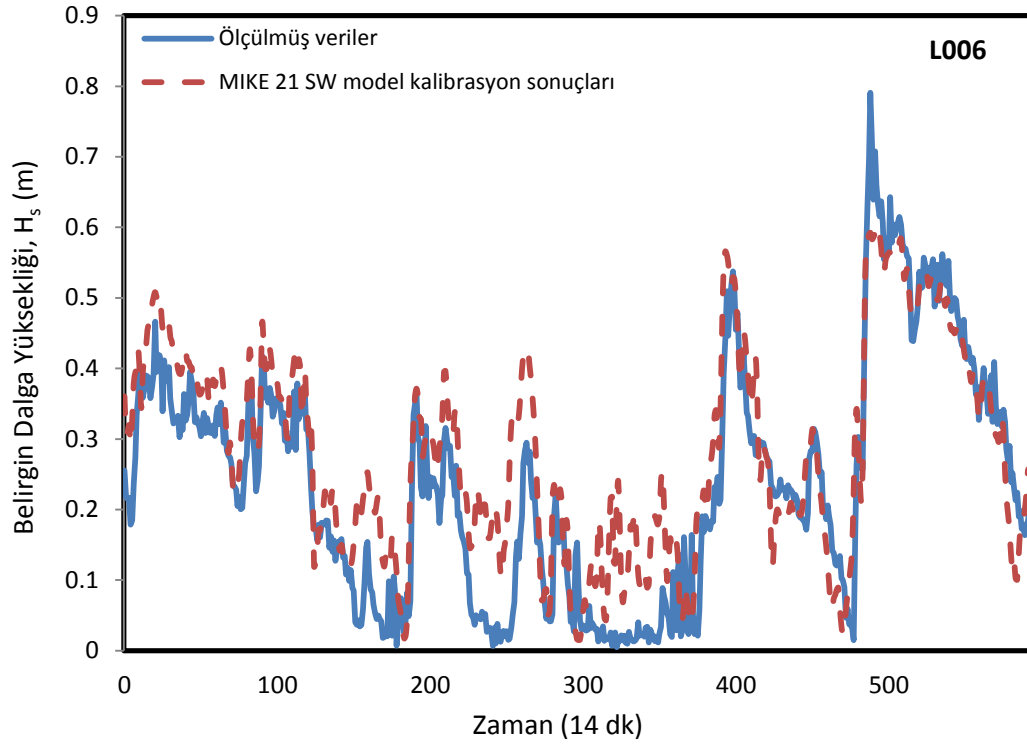


b)

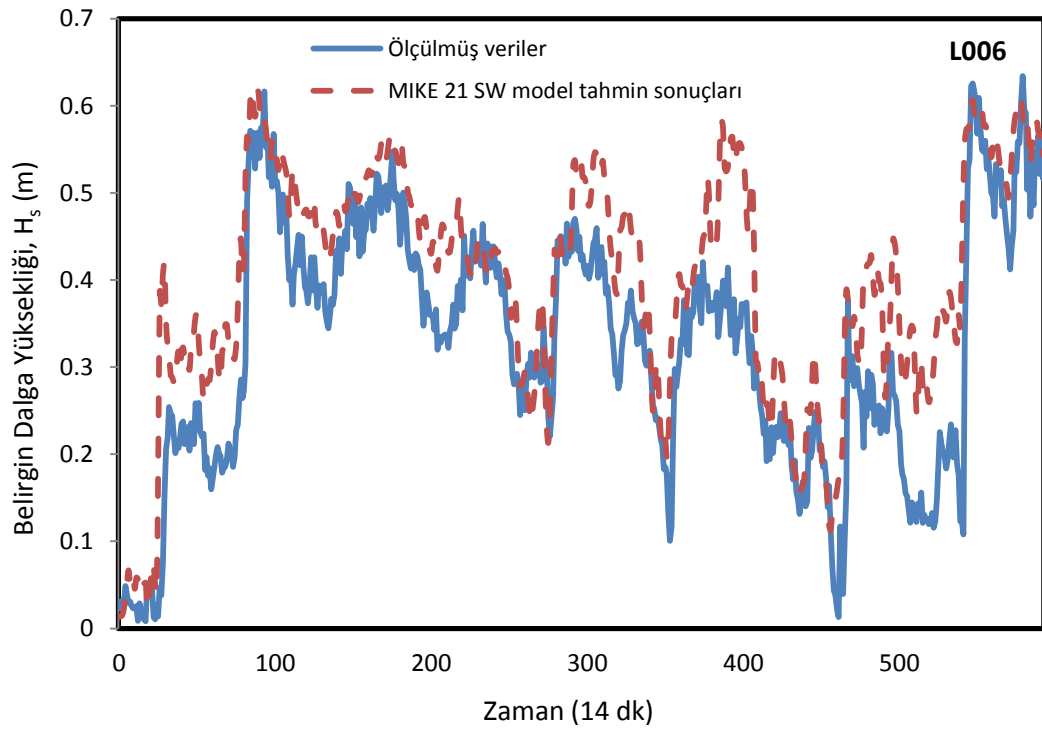


Şekil A.10 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (a) Eğitim, (b) Test.

c)

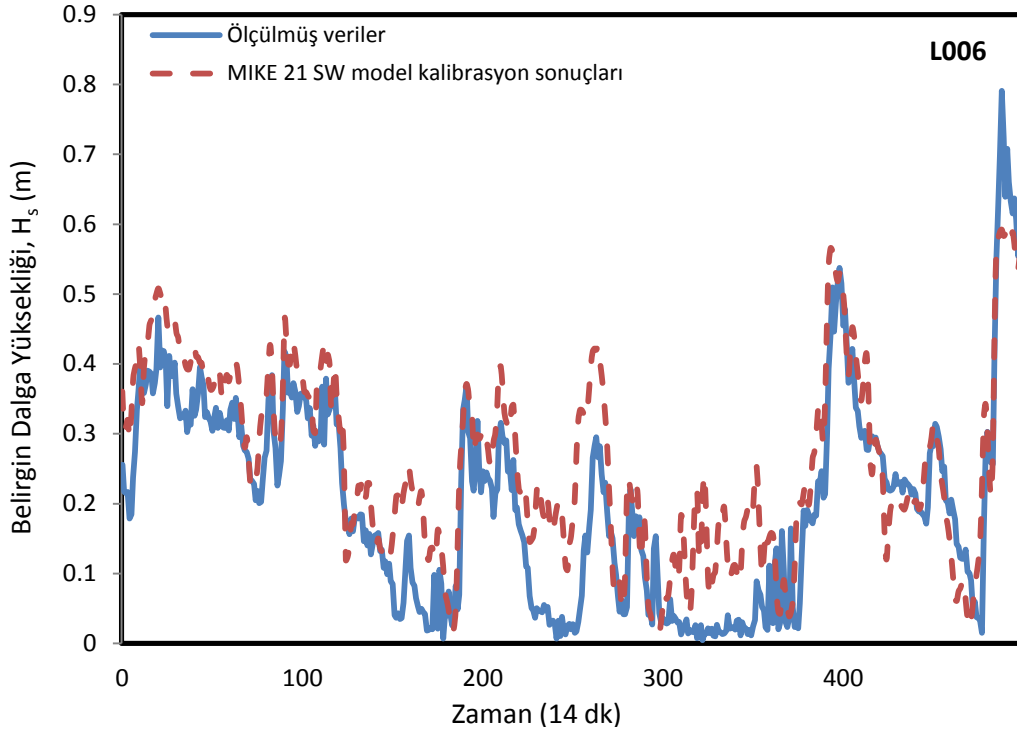


d)

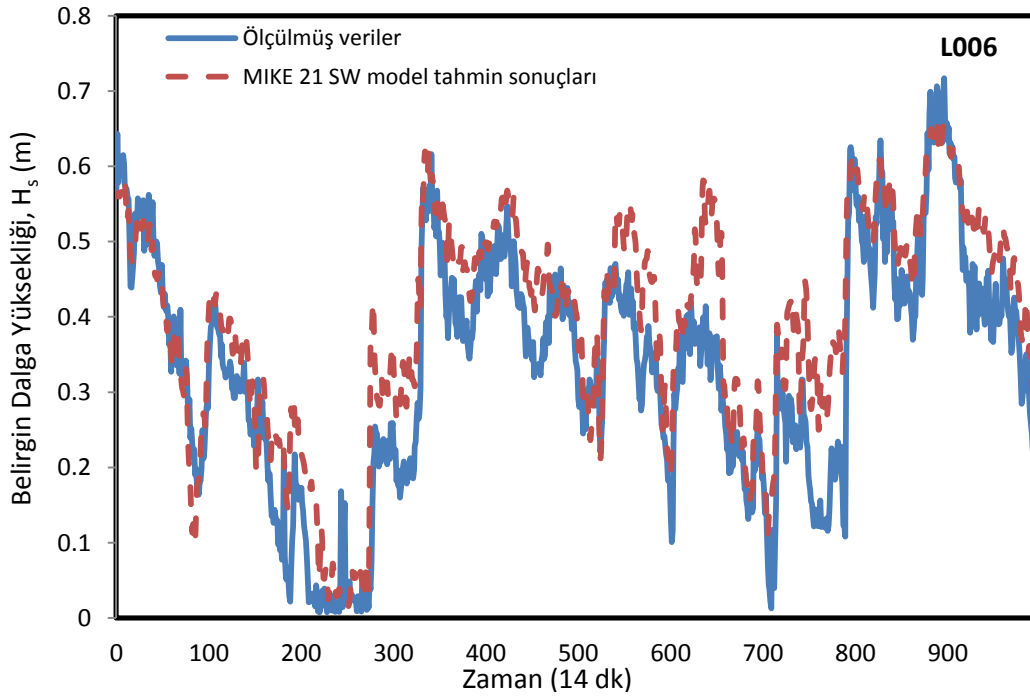


Şekil A.11 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği:
(c) Eğitim, (d) Test.

e)

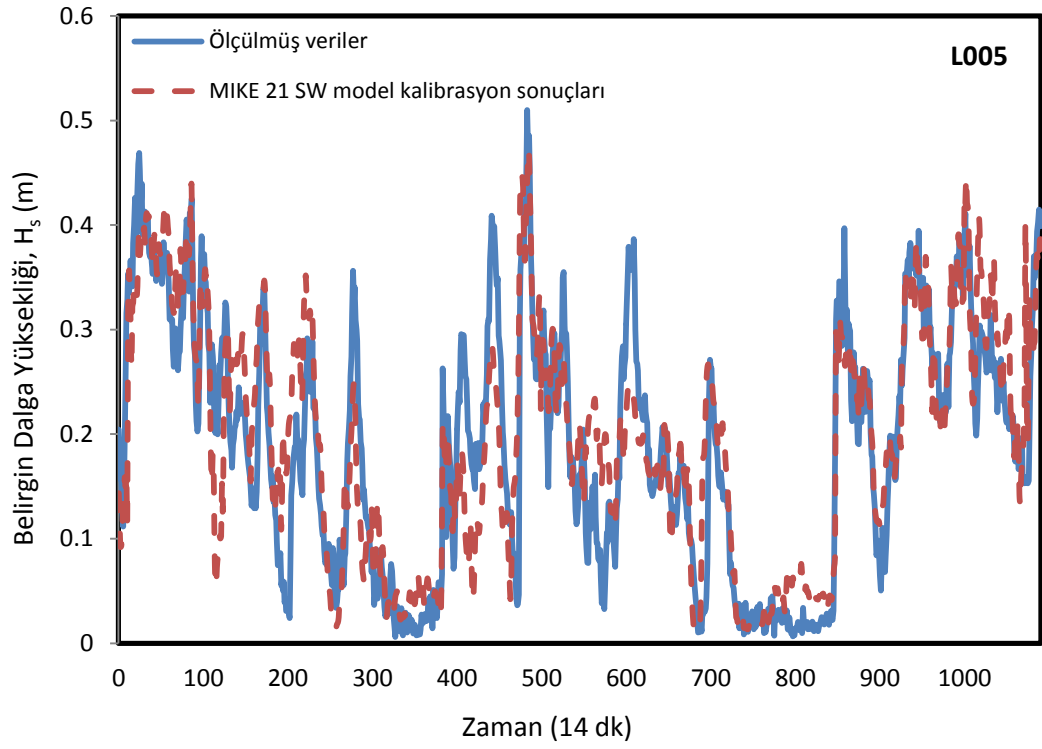


f)

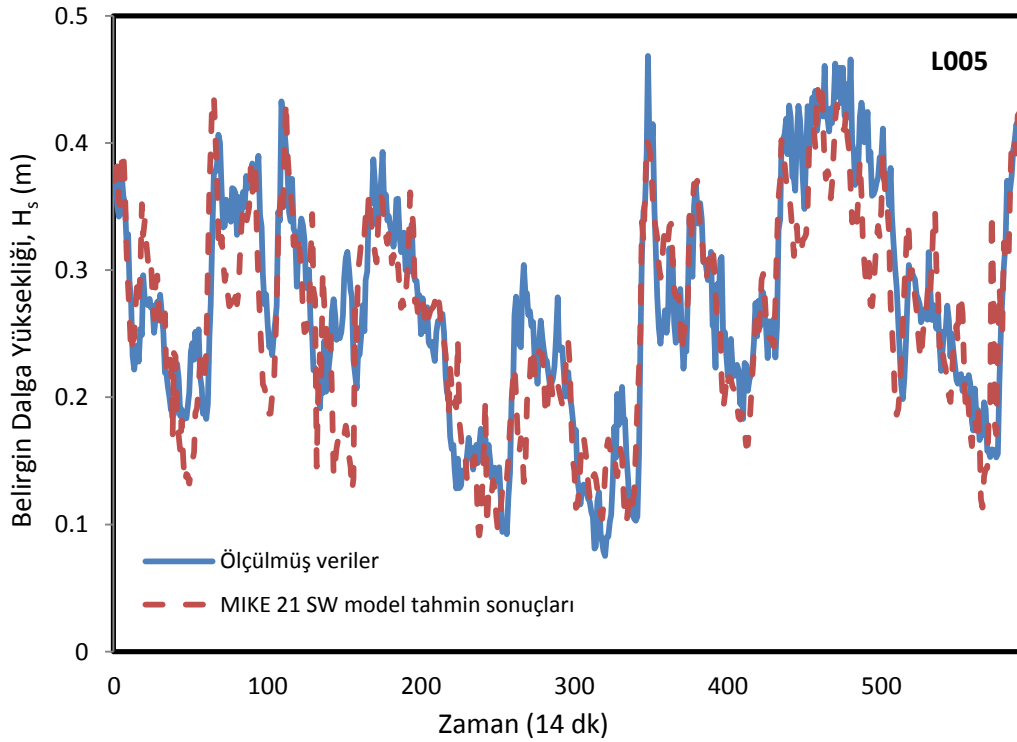


Şekil A.12 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği:
(e) Eğitim, (f) Test.

a)

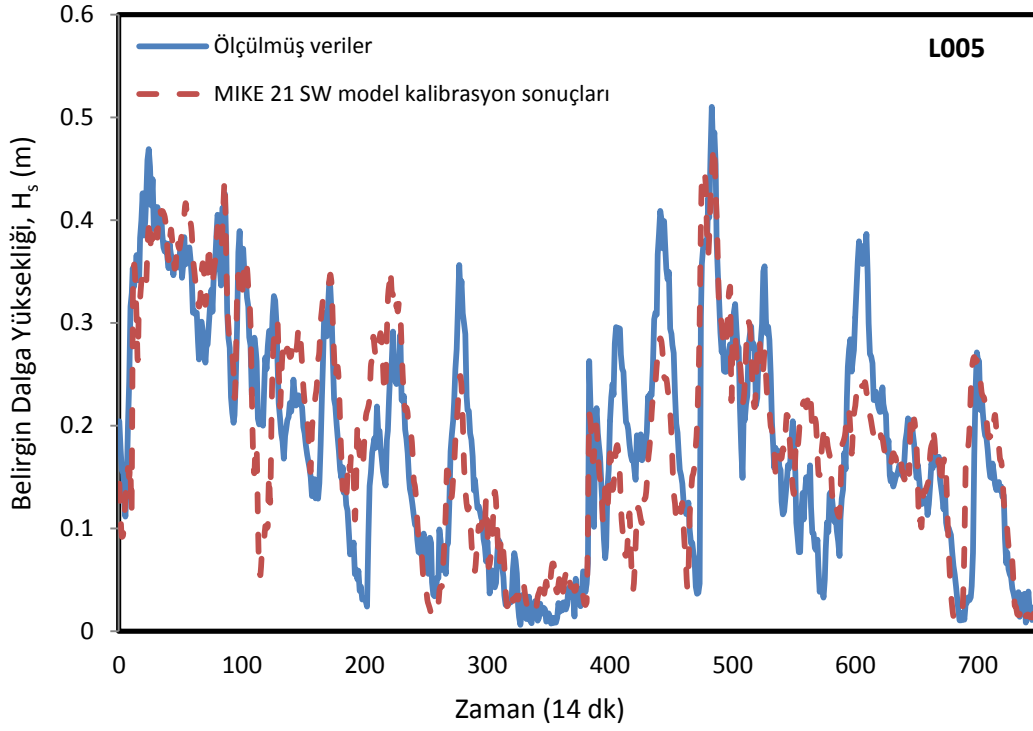


b)

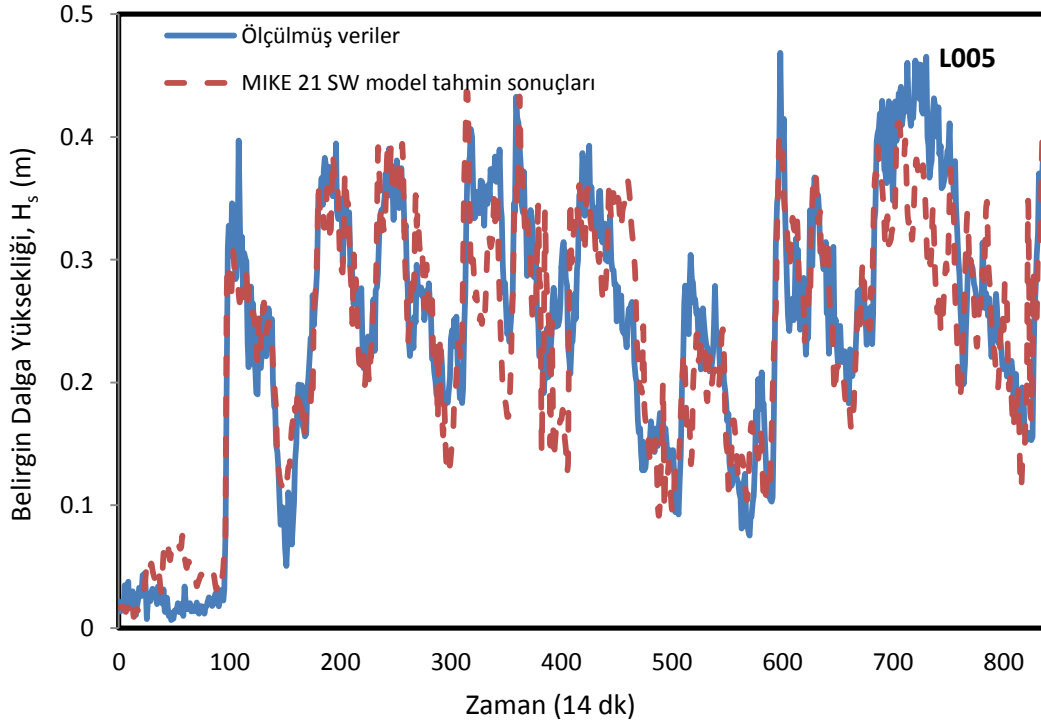


Şekil A.13 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (a) Eğitim, (b) Test.

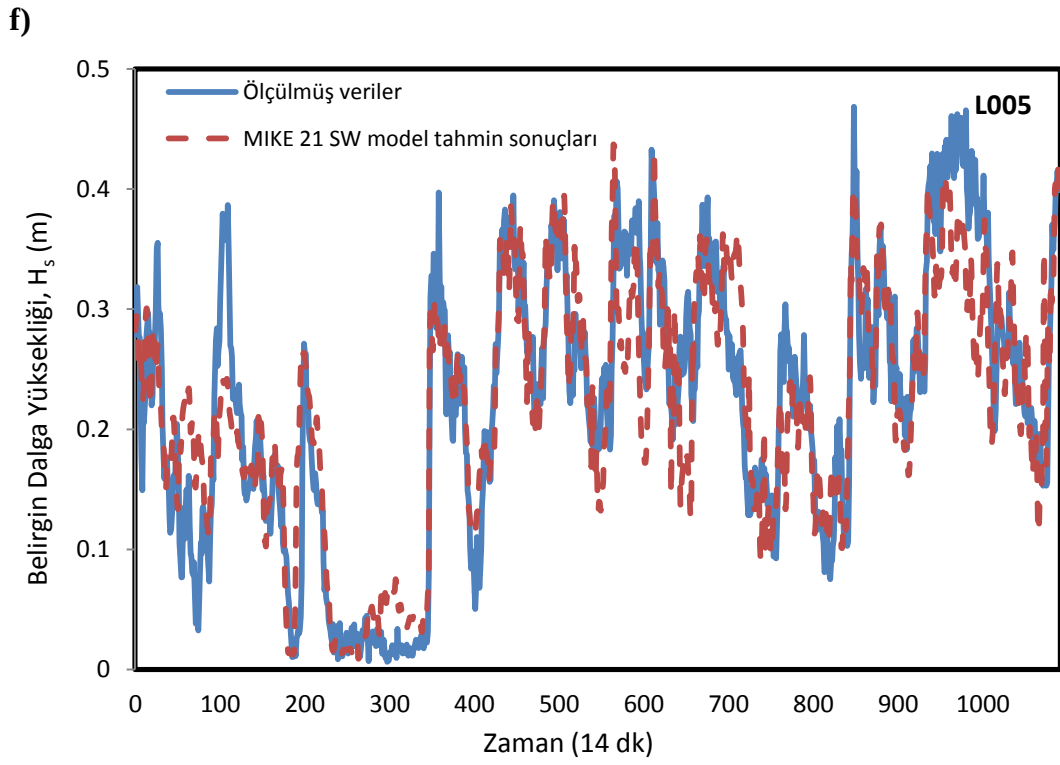
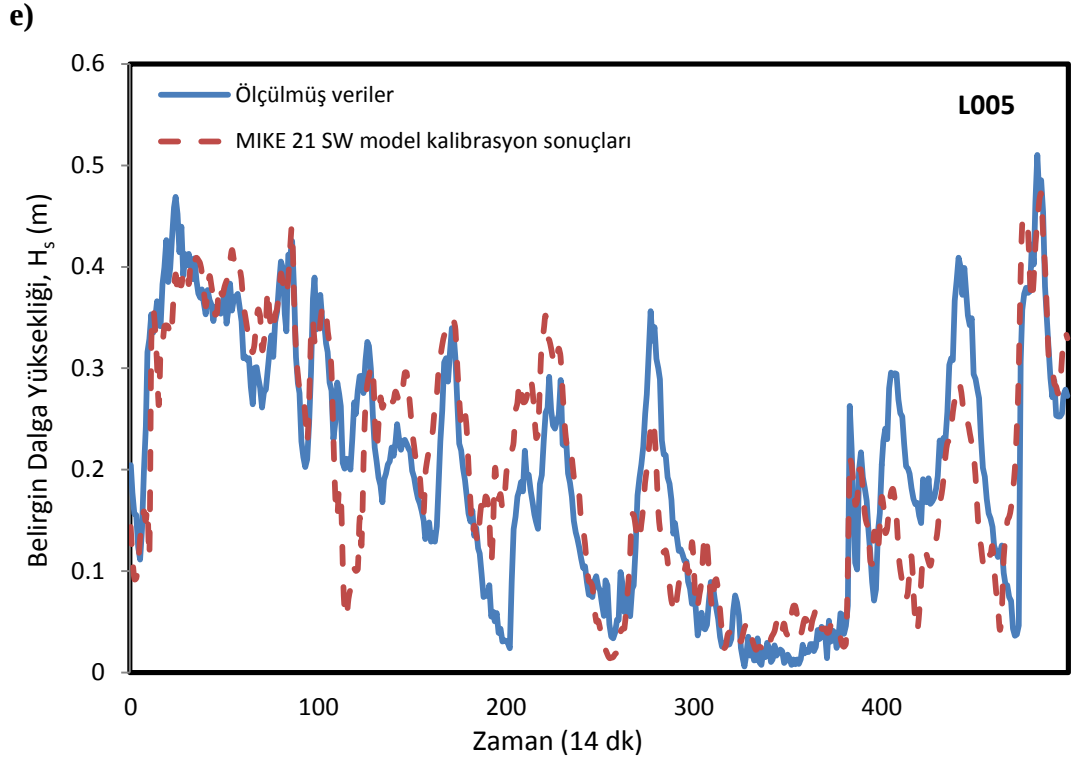
c)



d)

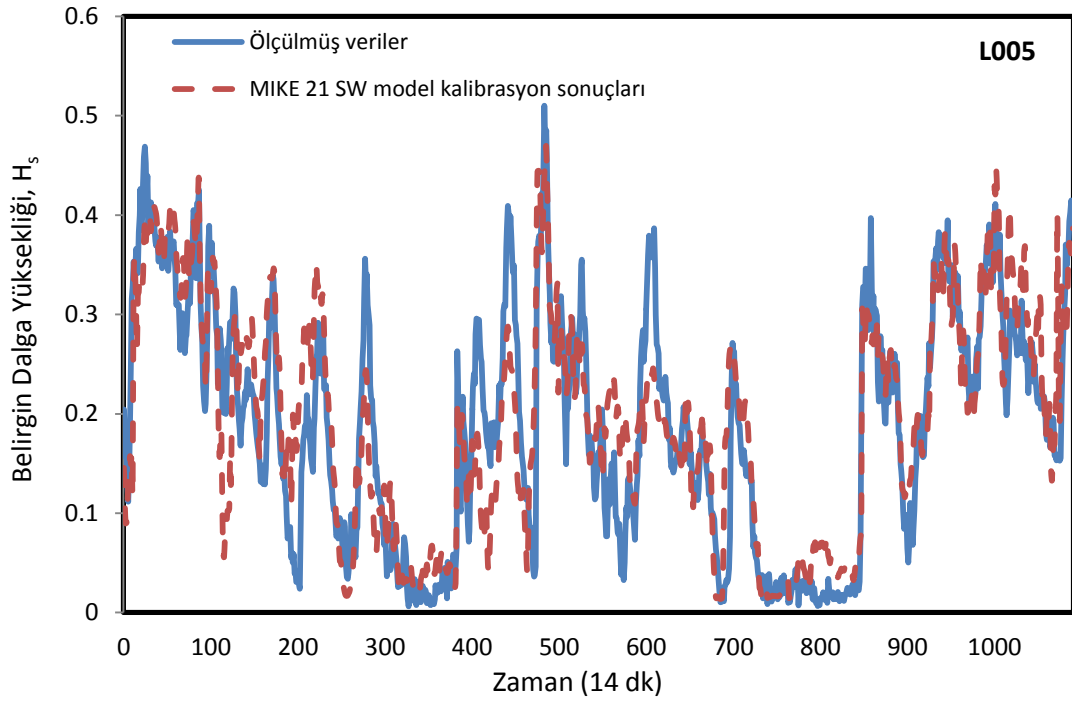


Şekil A.14 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c) Eğitim, (d) Test.

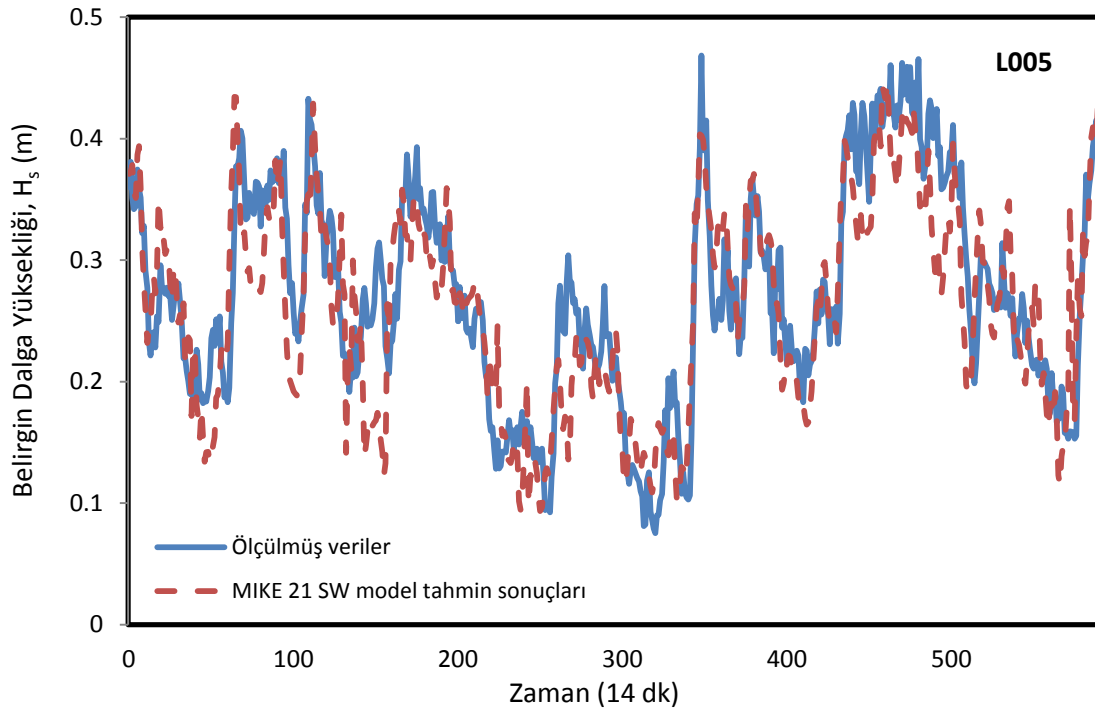


Şekil A.15 : (Akıntılı) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği:
(e) Eğitim, (f) Test.

a)

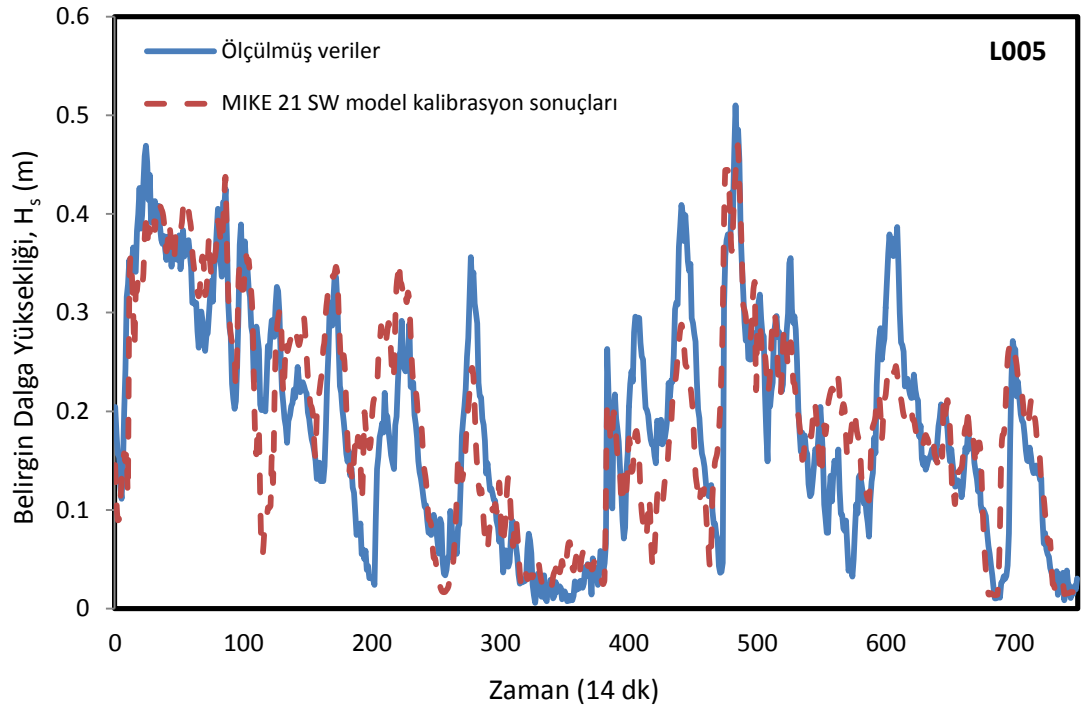


b)

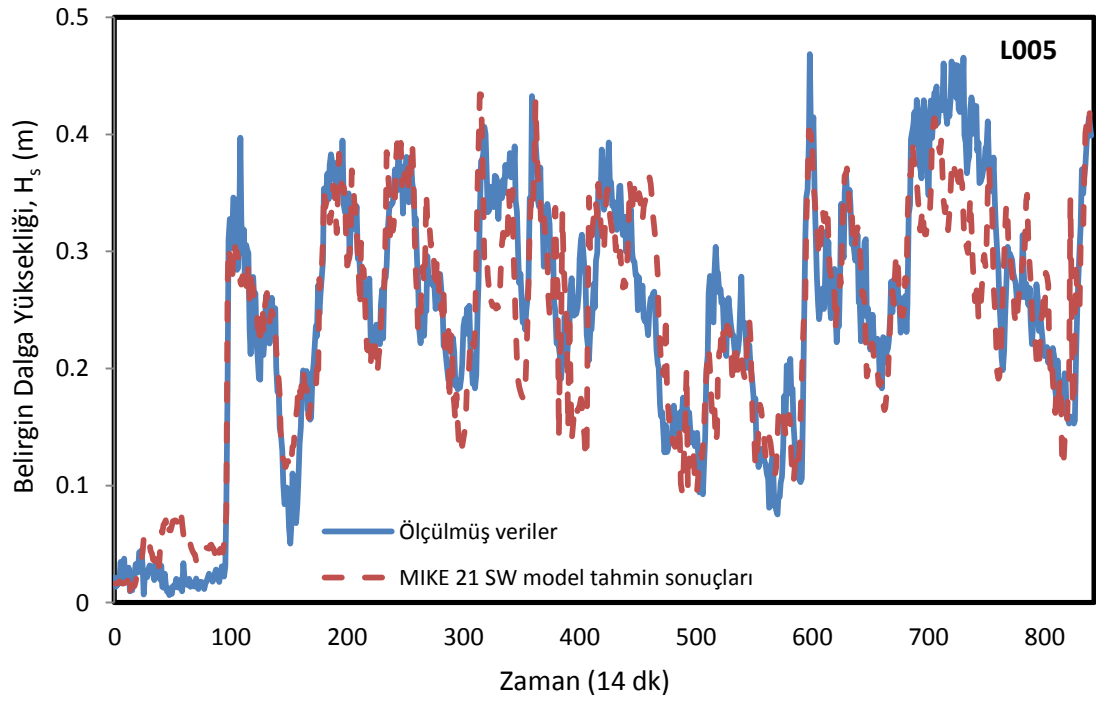


Şekil A.16 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (a) Eğitim, (b) Test.

c)

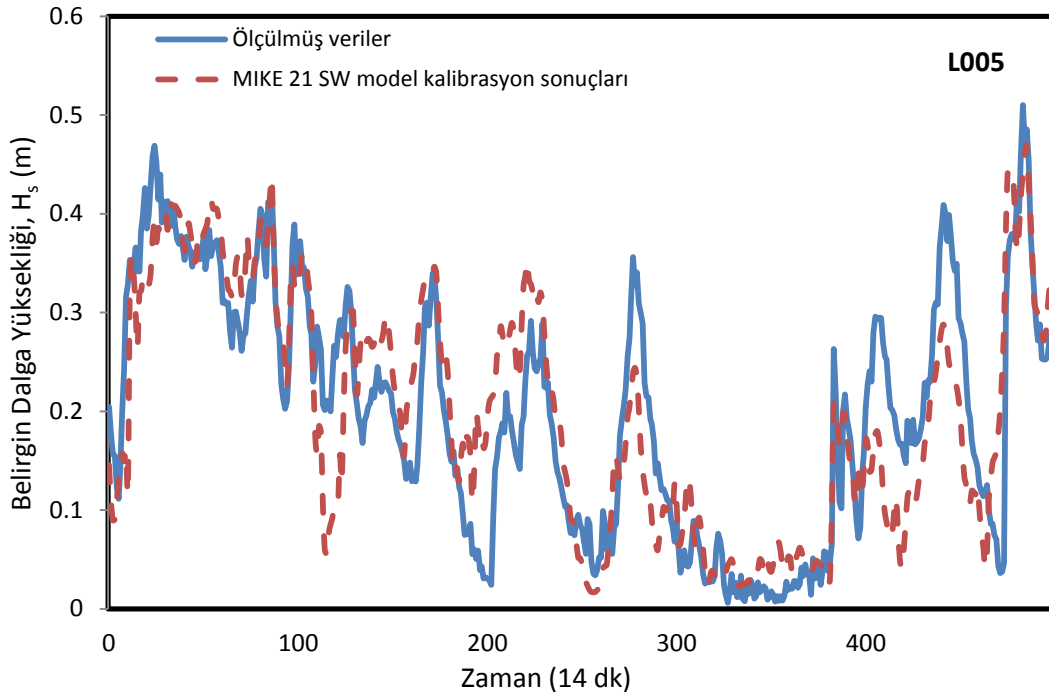


d)

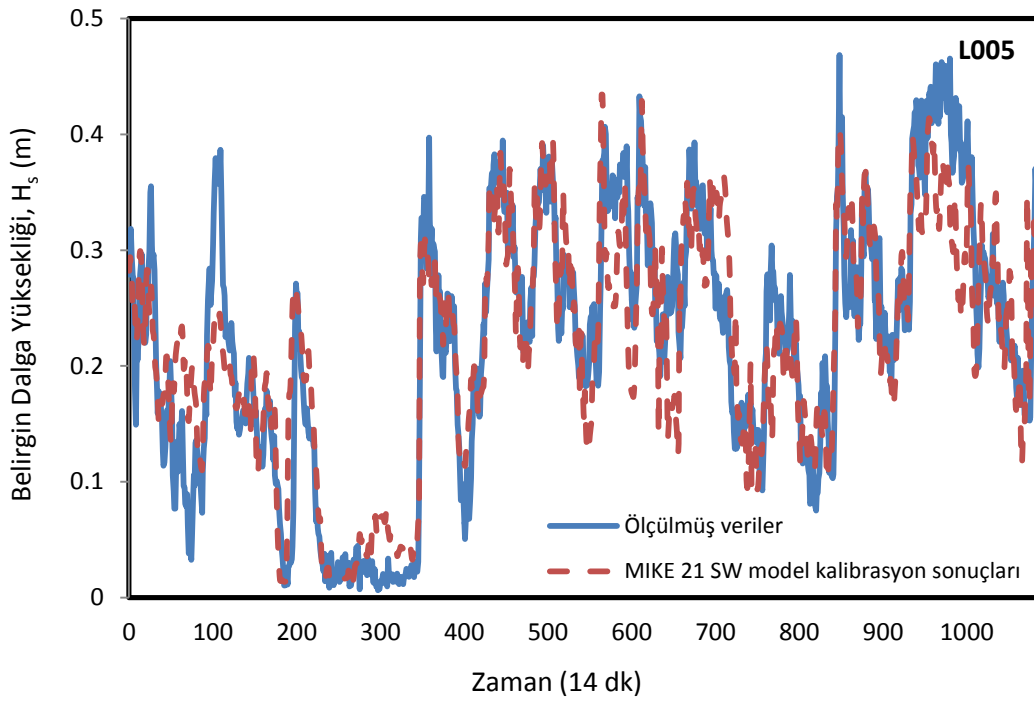


Şekil A.17 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği:
(c) Eğitim, (d) Test.

e)

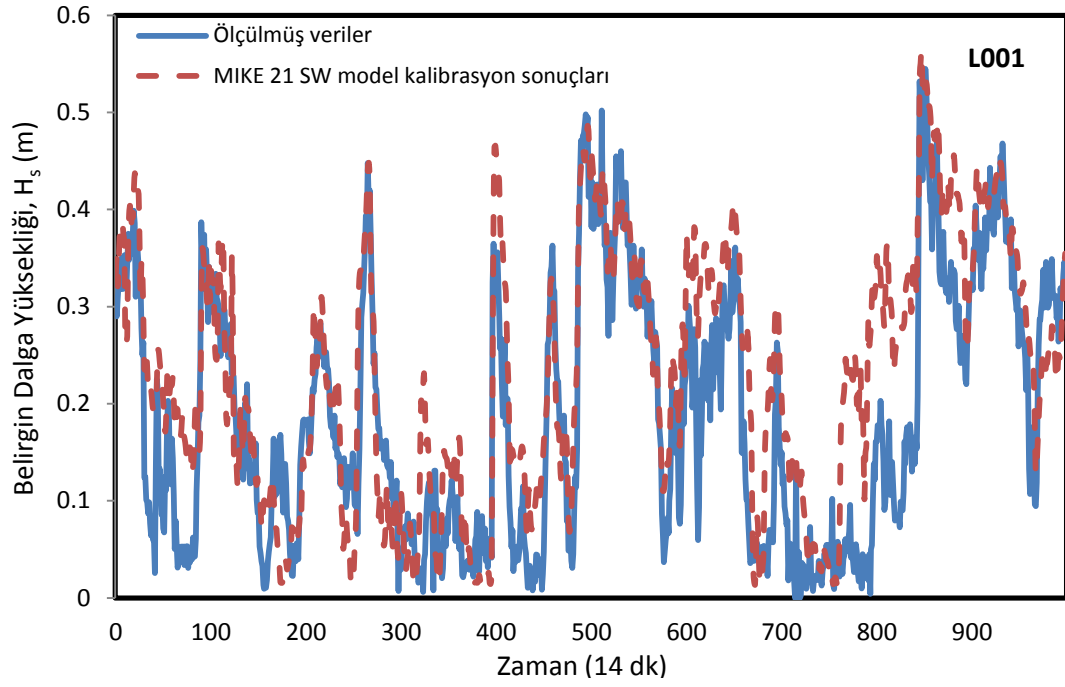


f)

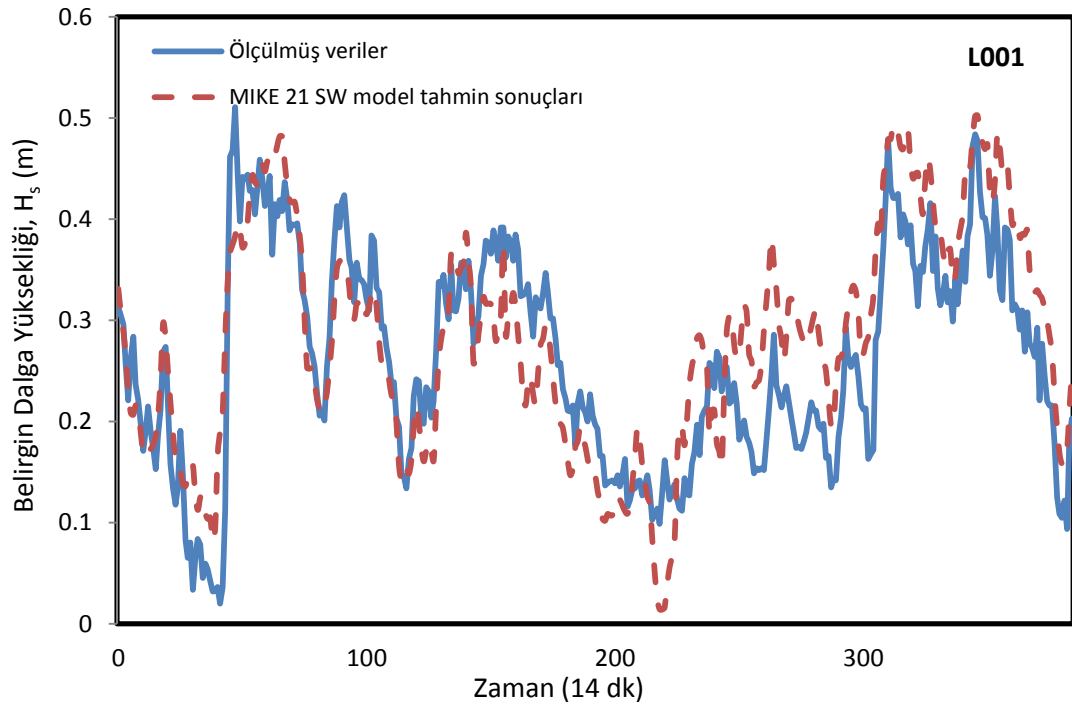


Şekil A.18 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e) Eğitim, (f) Test.

a)

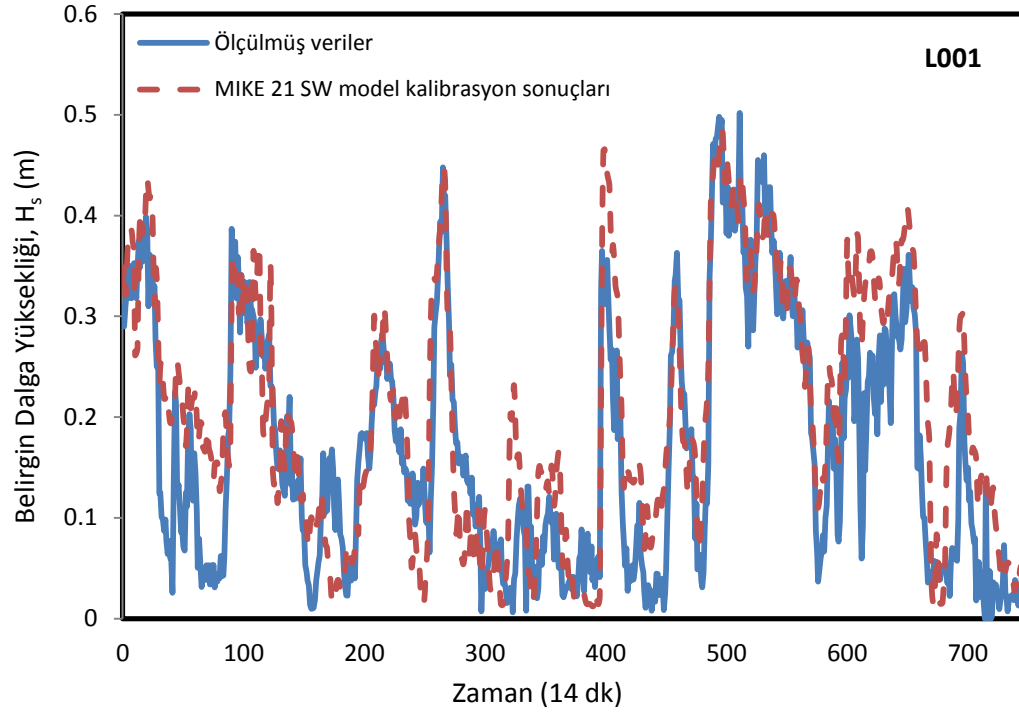


b)

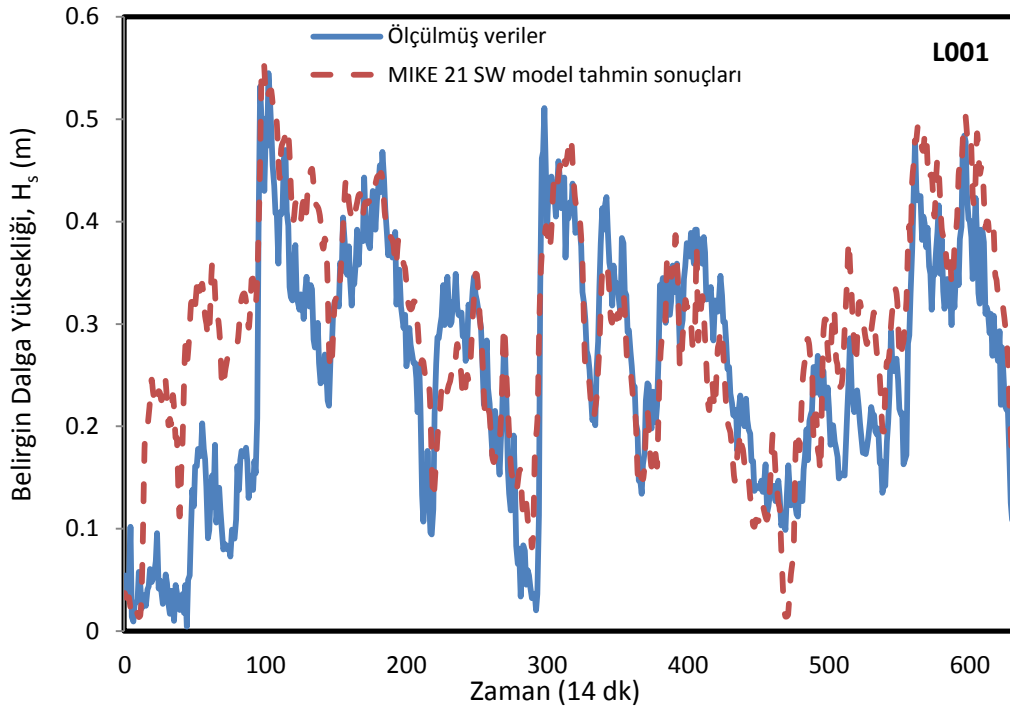


Şekil A.19 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği: (a) Eğitim, (b) Test.

c)

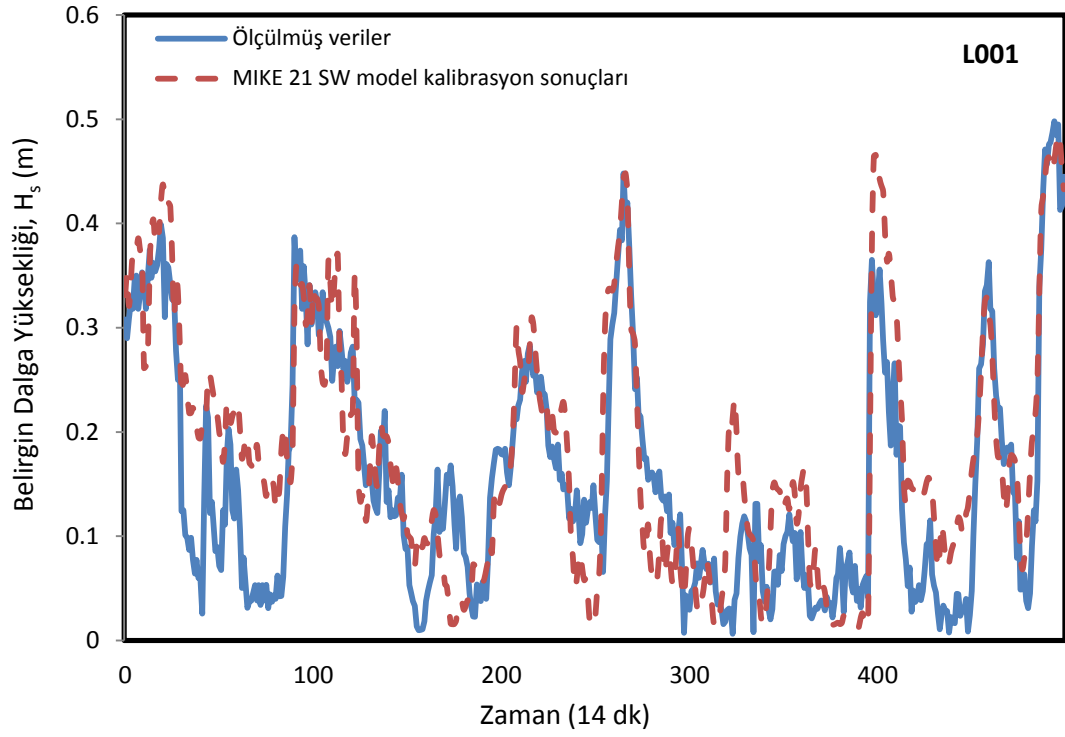


d)

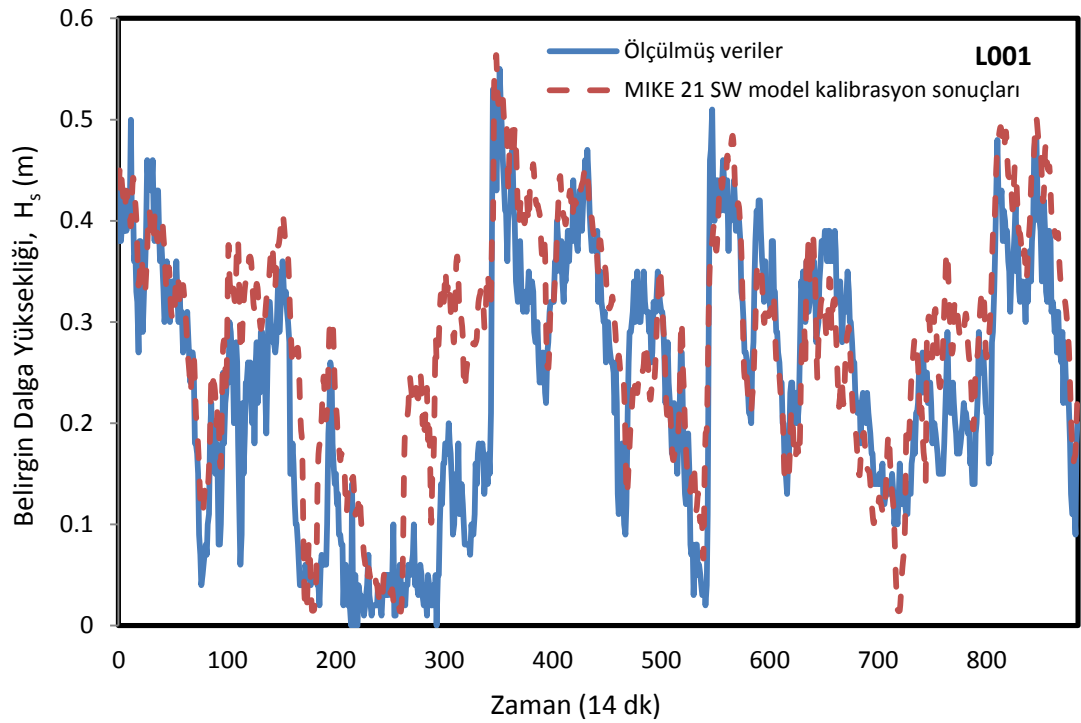


Şekil A.20 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c) Eğitim, (d) Test.

e)

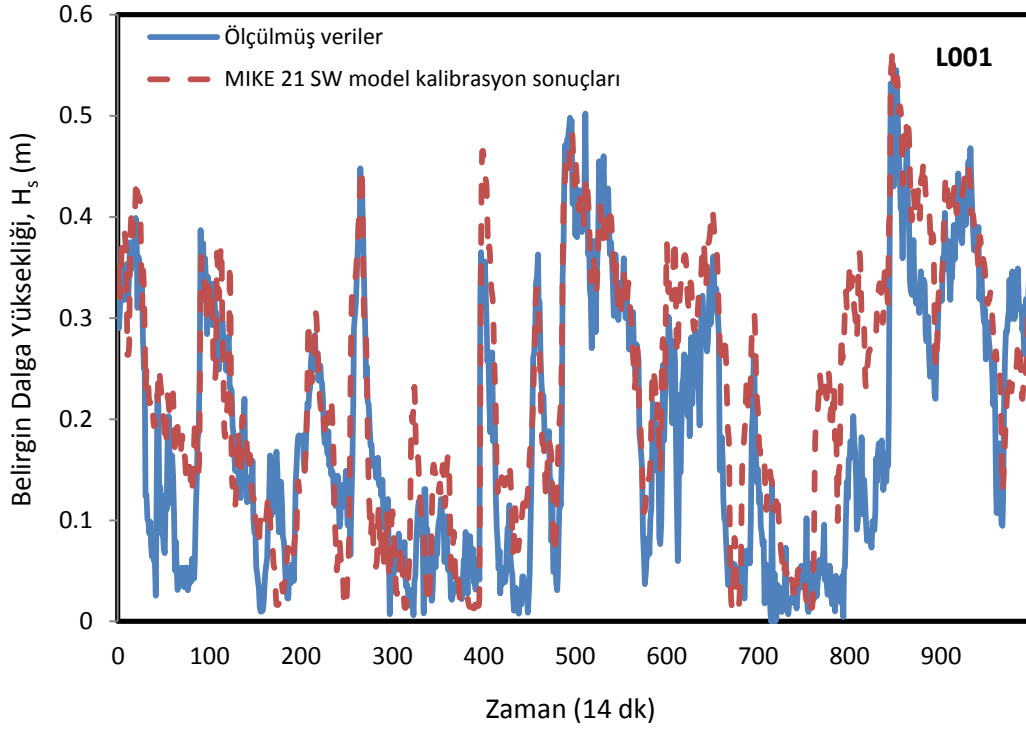


f)

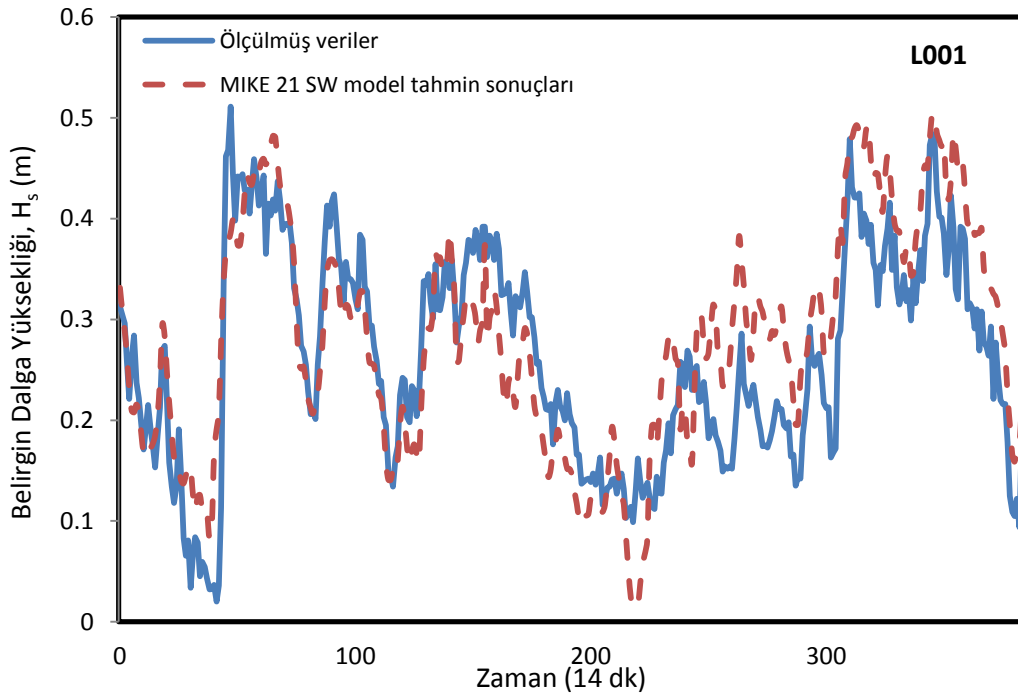


Şekil A.21 : (Akıntılı) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e) Eğitim, (f) Test.

a)

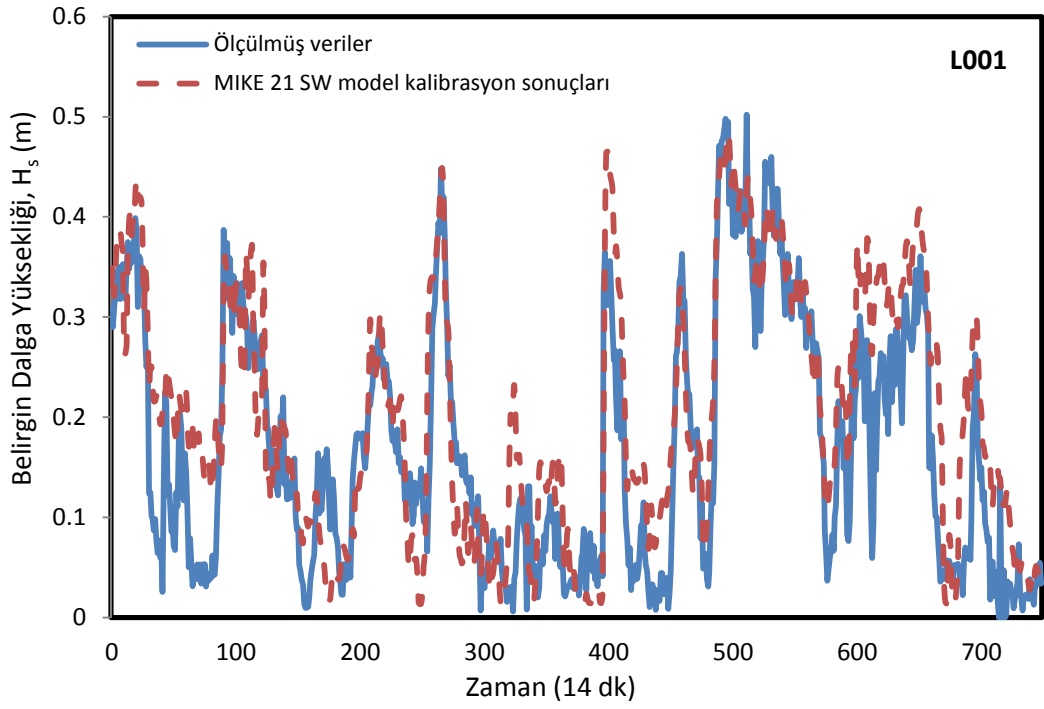


b)

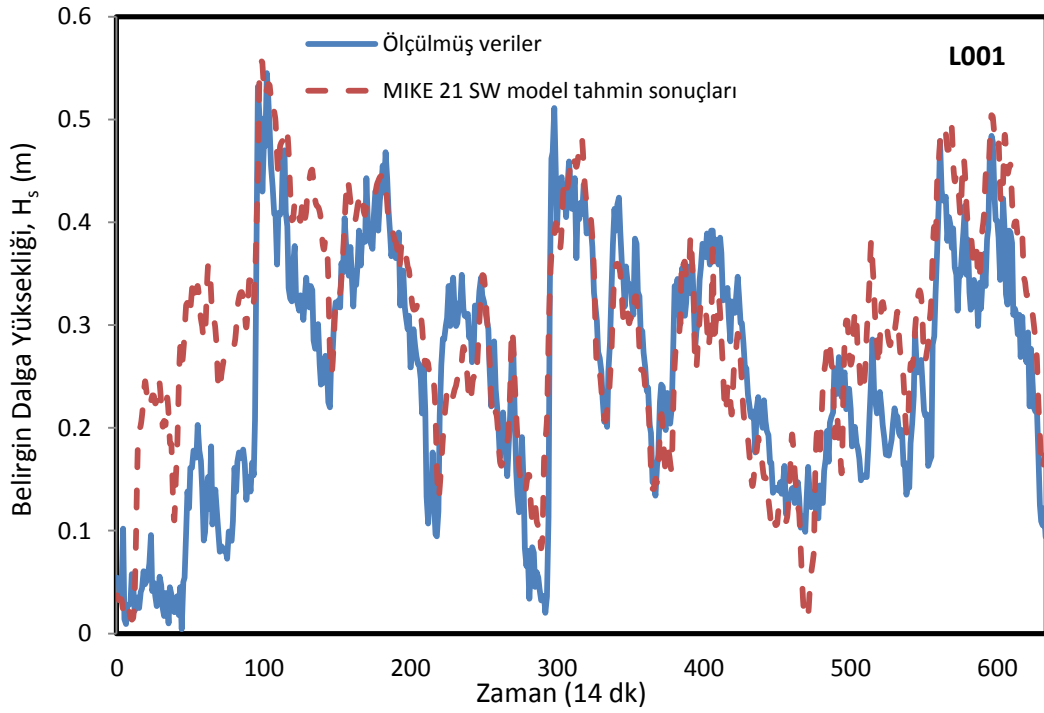


Şekil A.22 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 1 için zamanla değişim grafiği:
(e) Eğitim, (f) Test.

c)

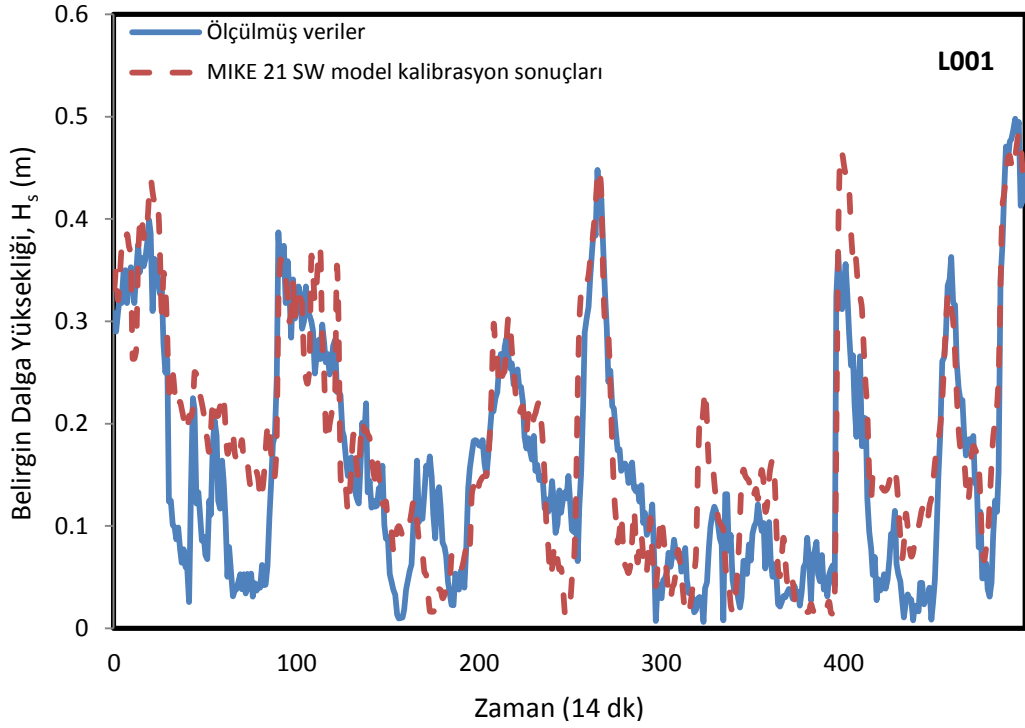


d)

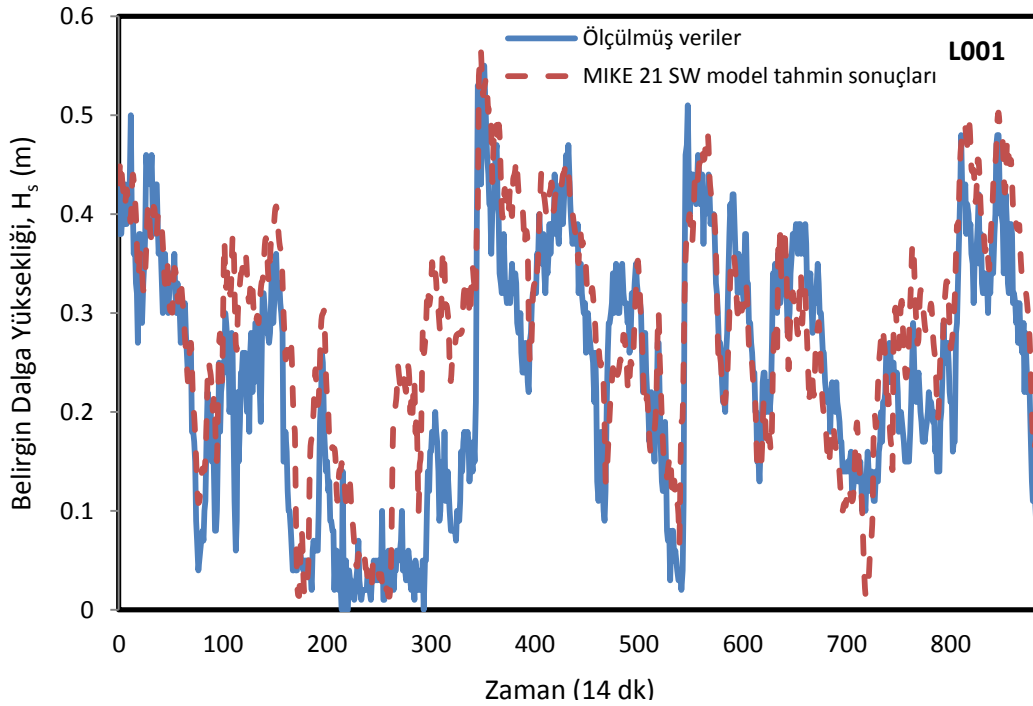


Şekil A.23 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 2 için zamanla değişim grafiği: (c) Eğitim, (d) Test.

e)



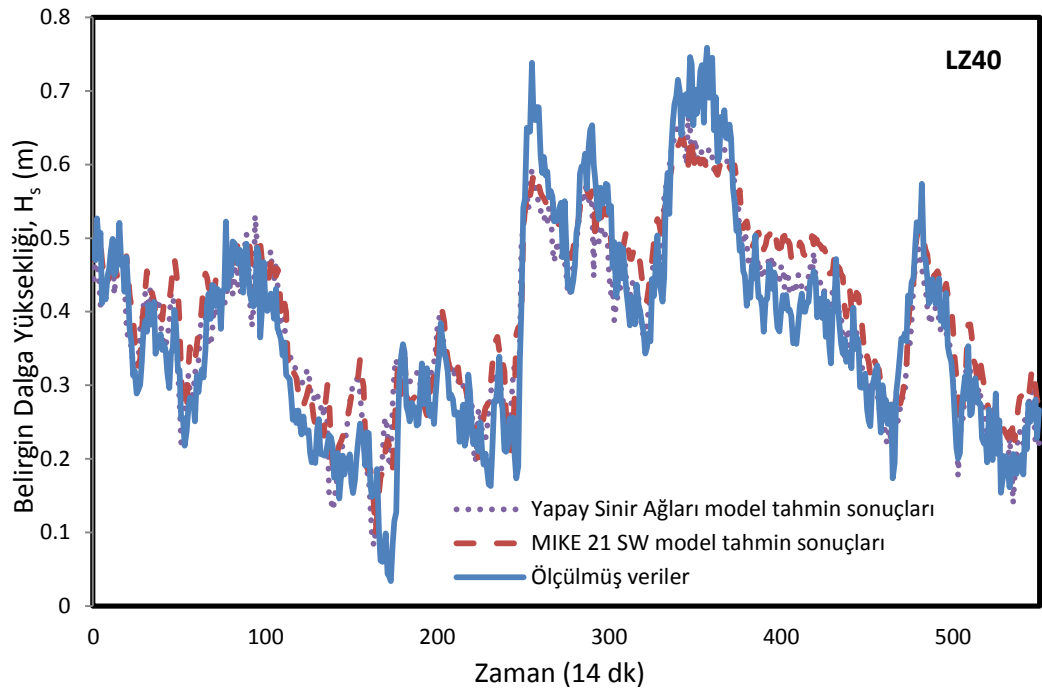
f)



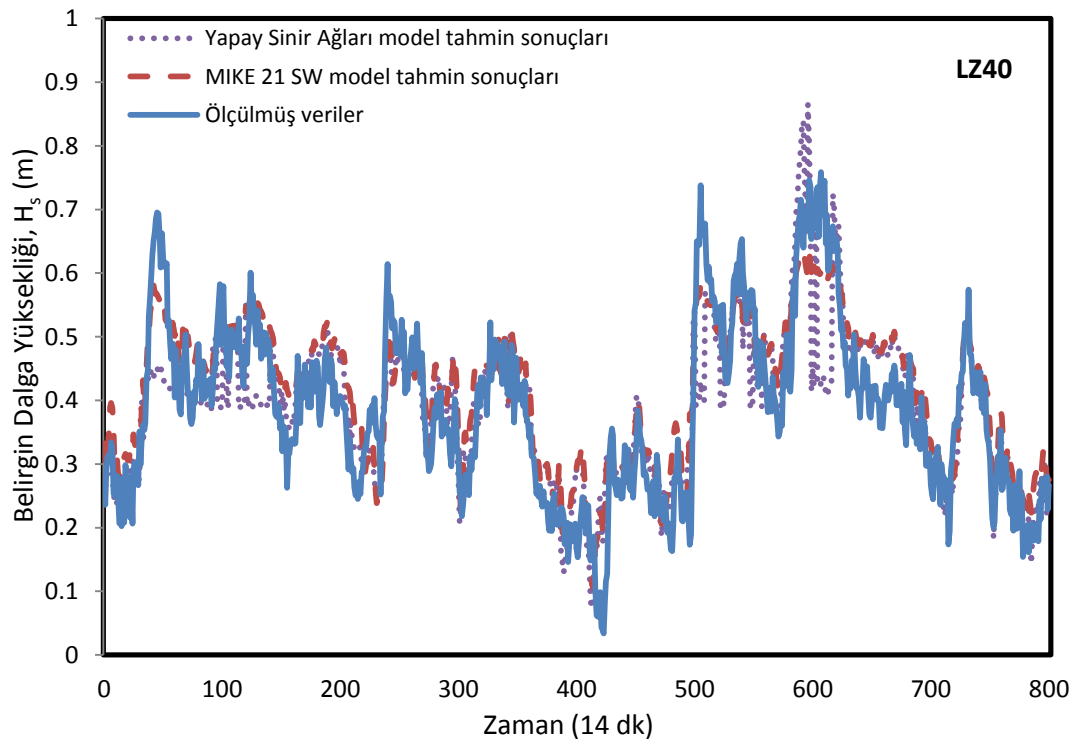
Şekil A.24 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliği ile MIKE 21 SW ile tahmin edilen dalga yüksekliğinin, Senaryo 3 için zamanla değişim grafiği: (e) Eğitim, (f) Test.

EK B

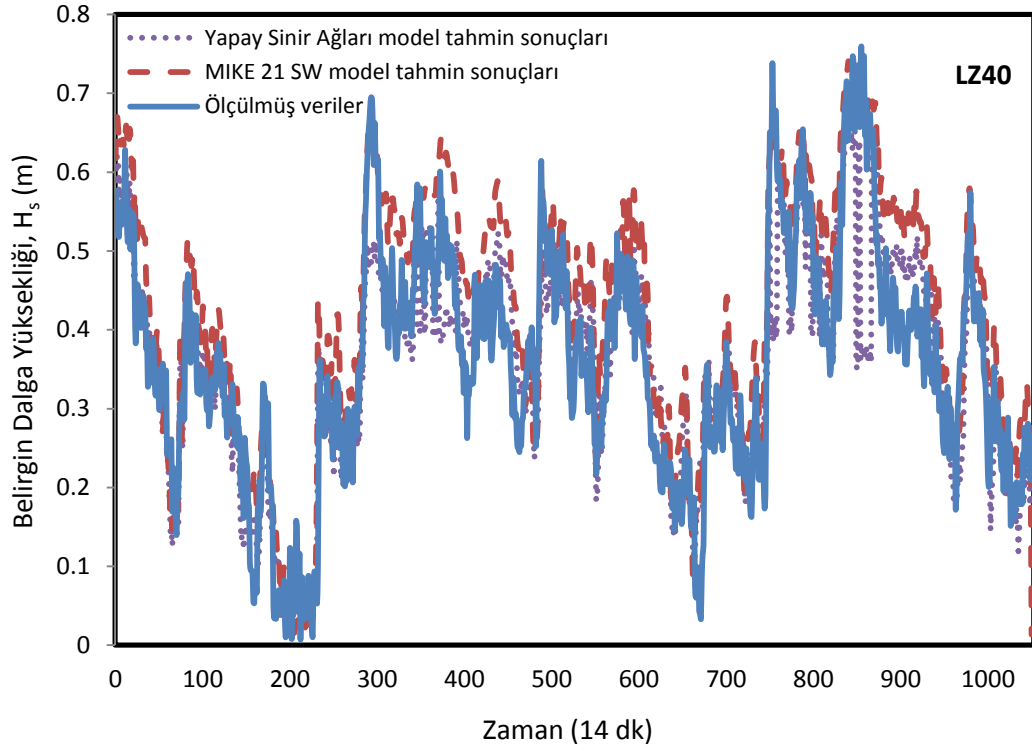
a)



b)

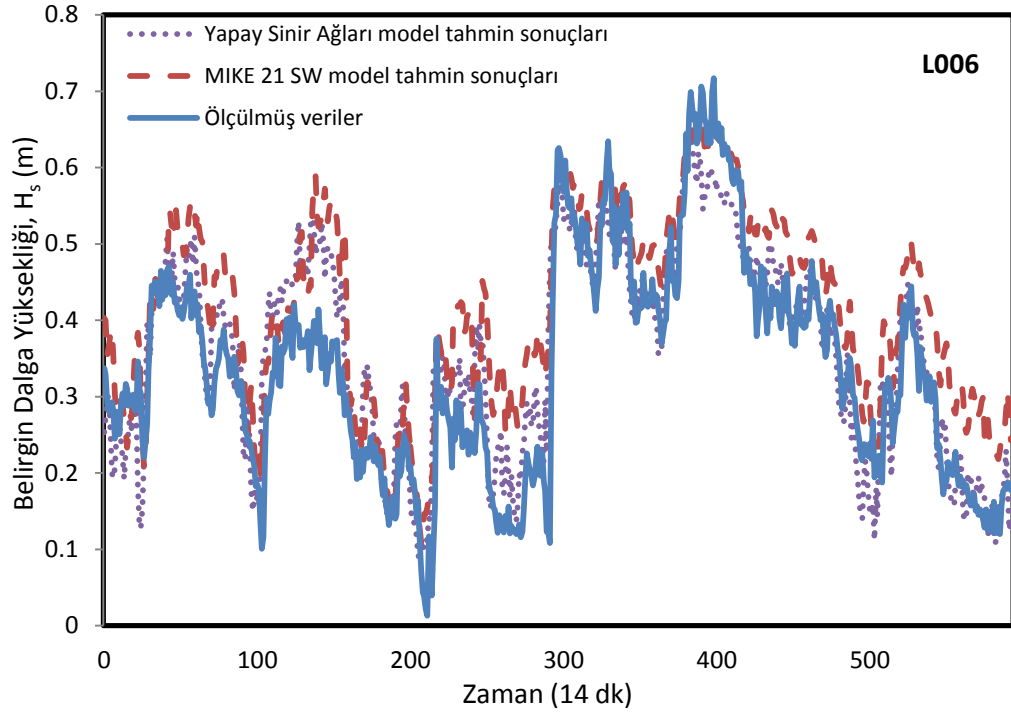


c)

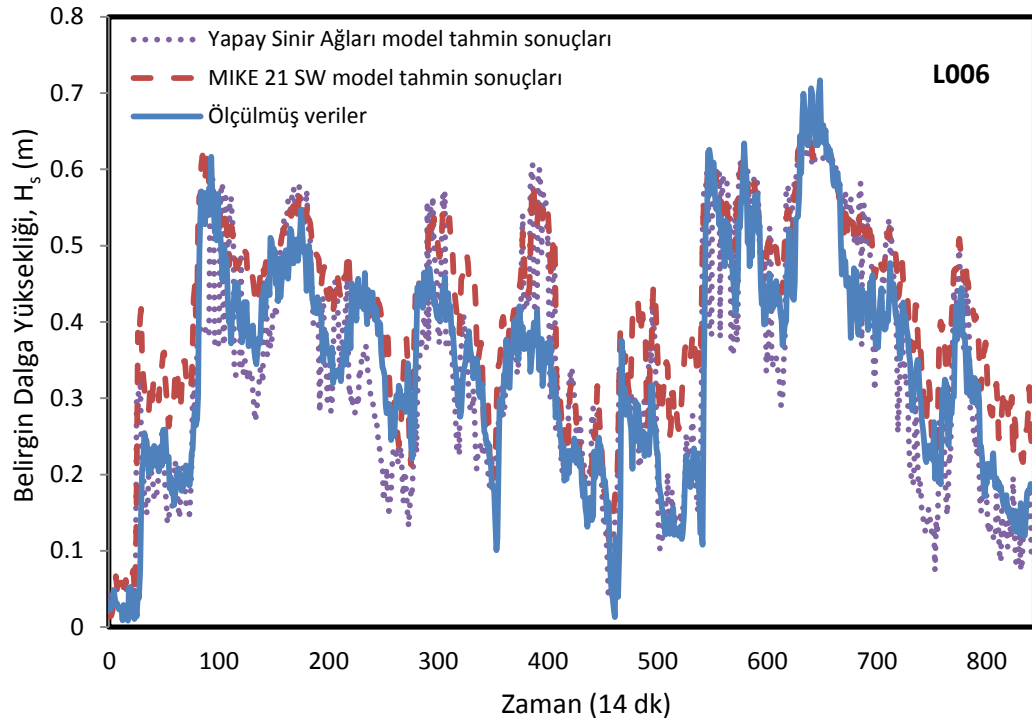


Şekil B.1 : (Akıntısız) LZ40 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması:
(a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).

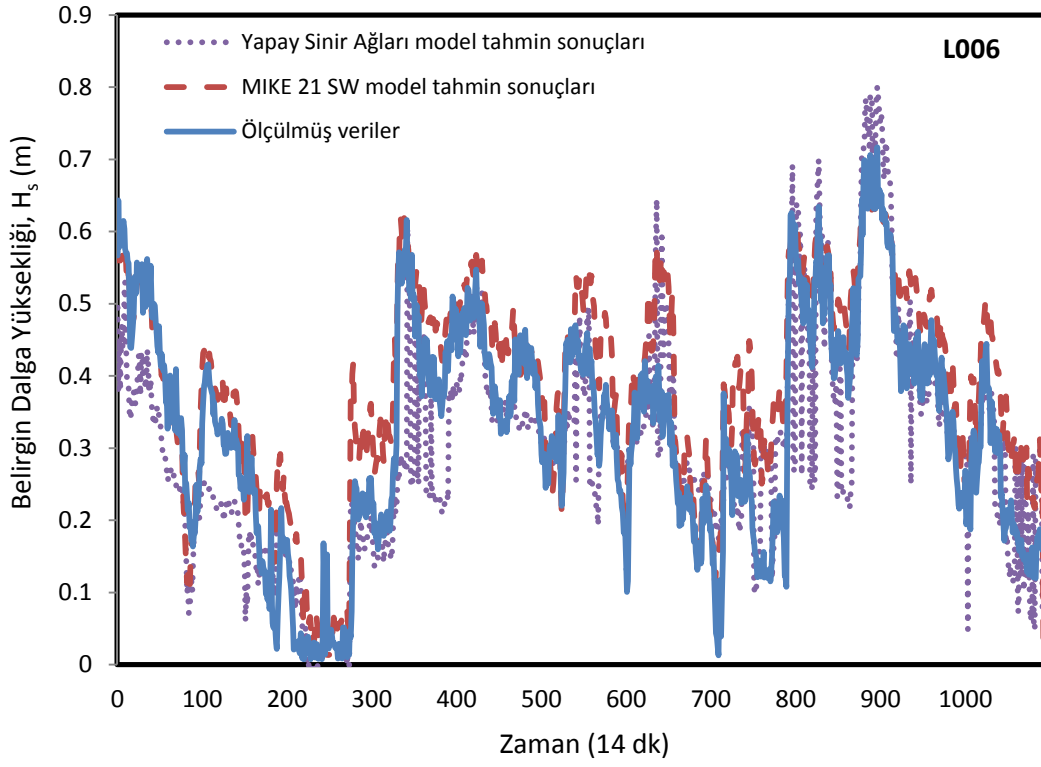
a)



b)

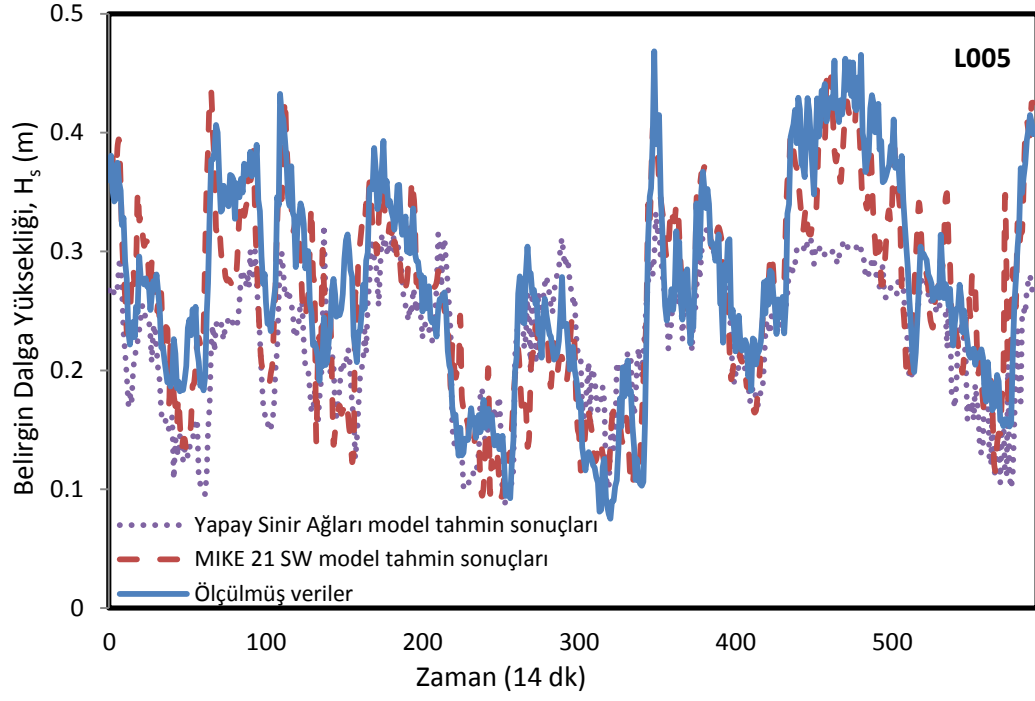


c)

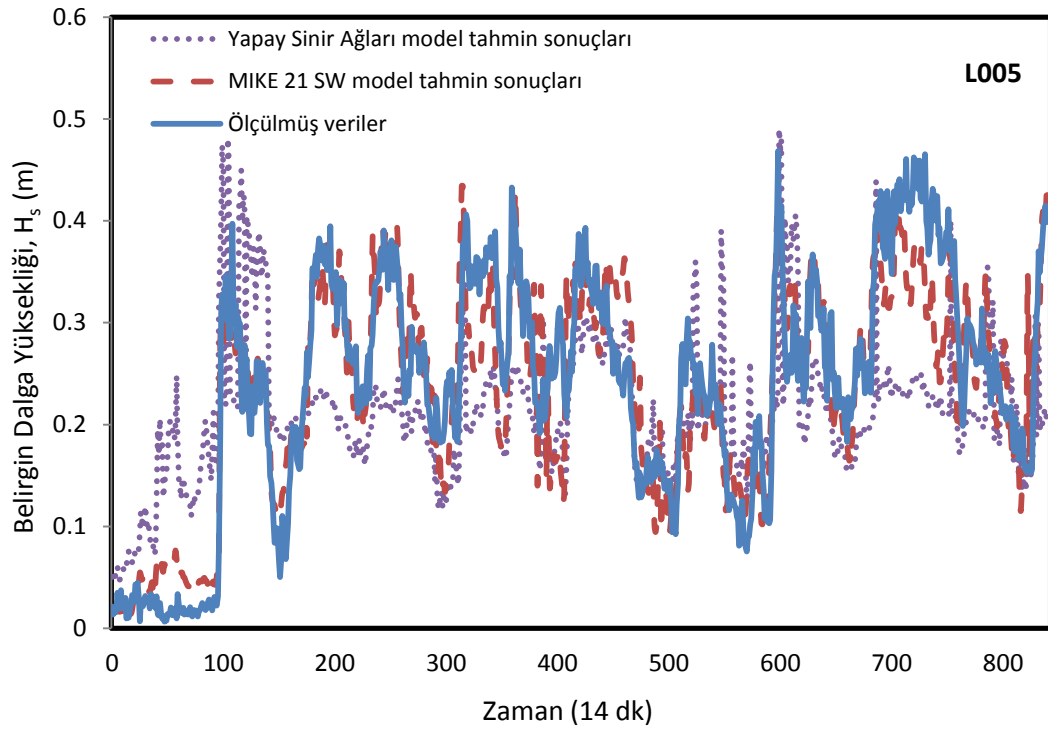


Şekil B.2 : (Akıntısız) L006 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması:
(a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).

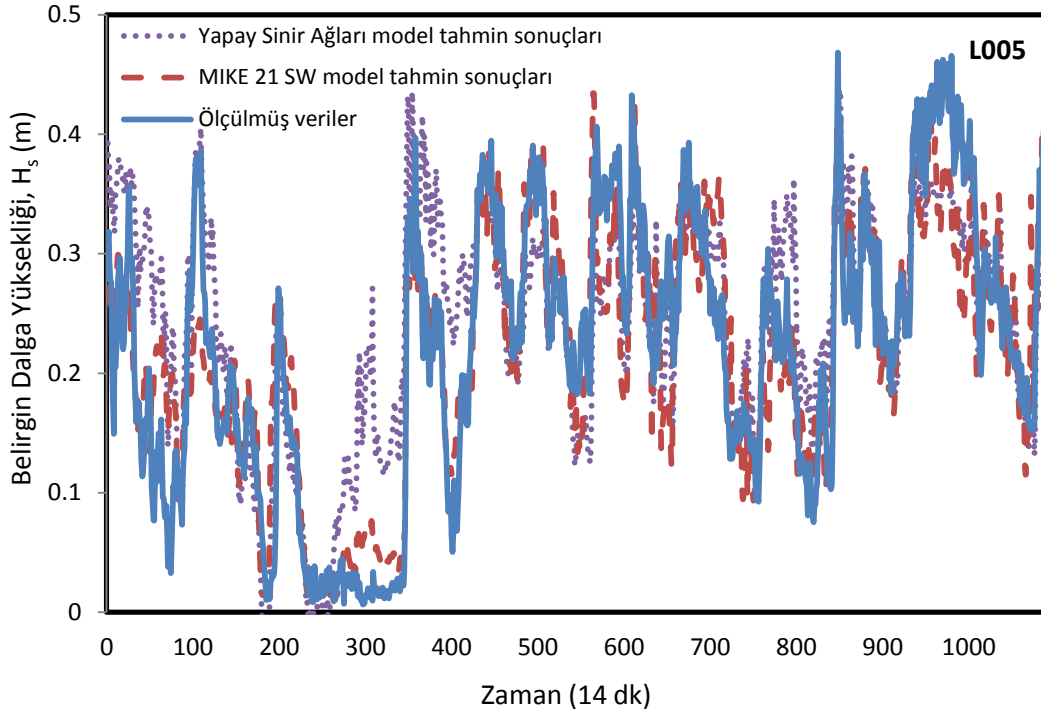
a)



b)

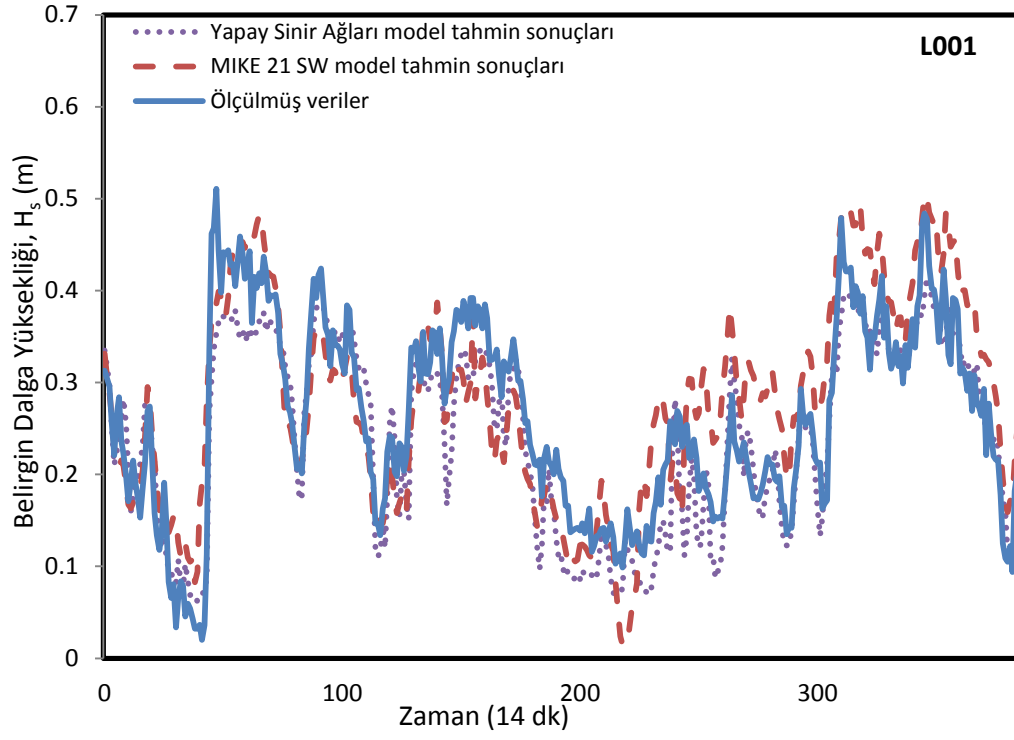


c)

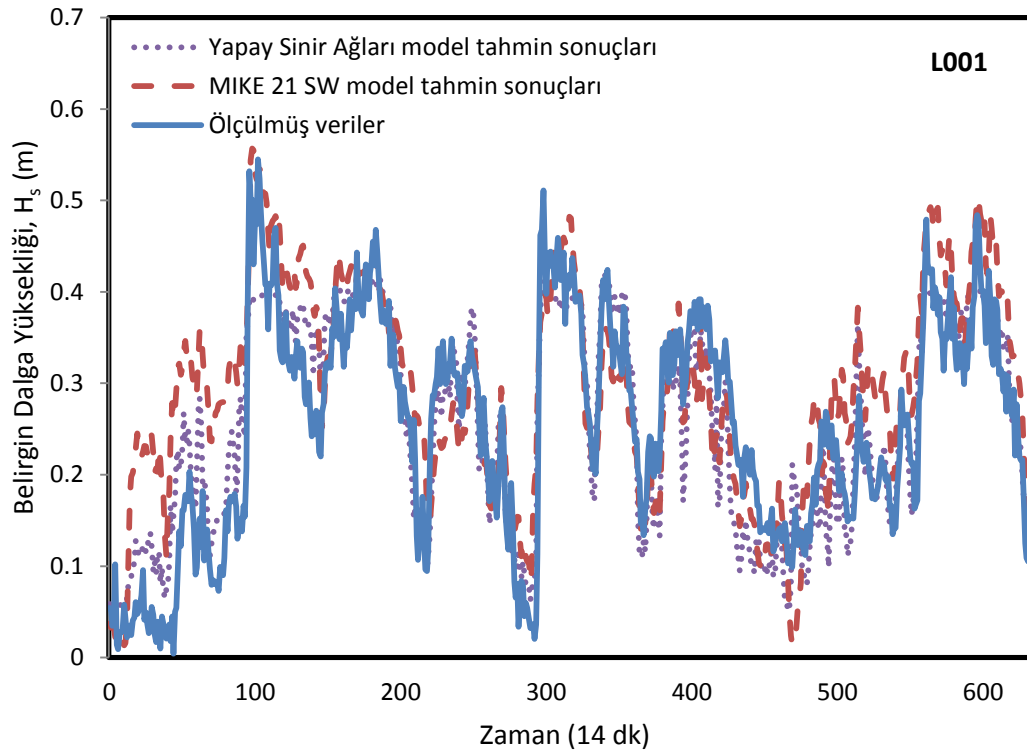


Şekil B.3 : (Akıntısız) L005 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması:
(a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).

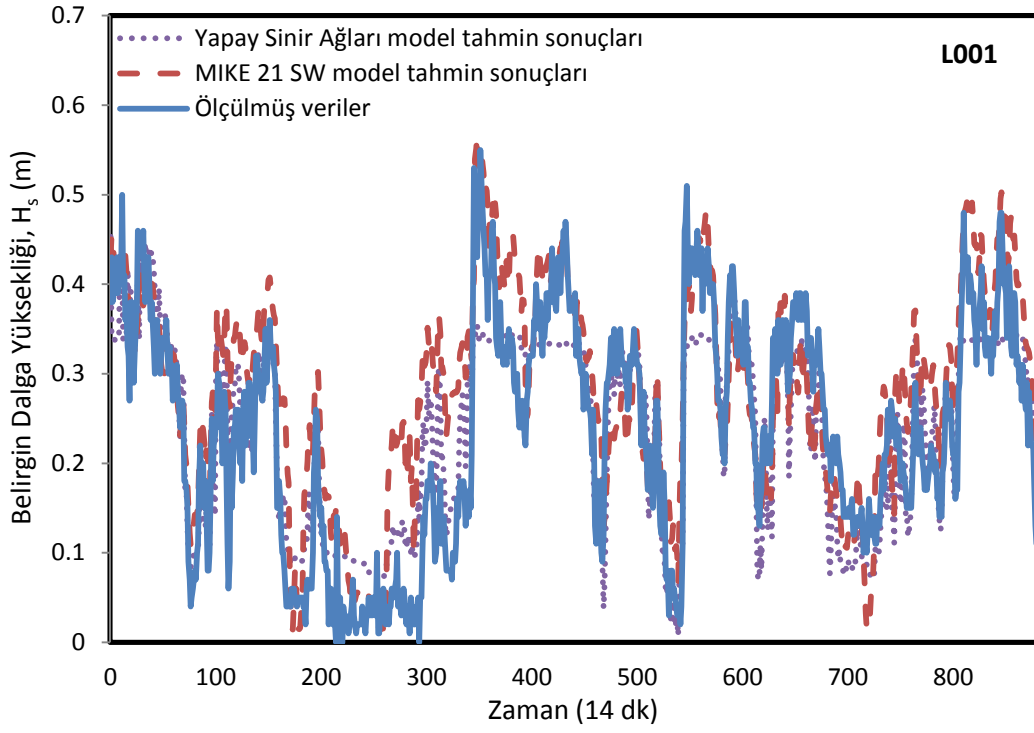
a)



b)



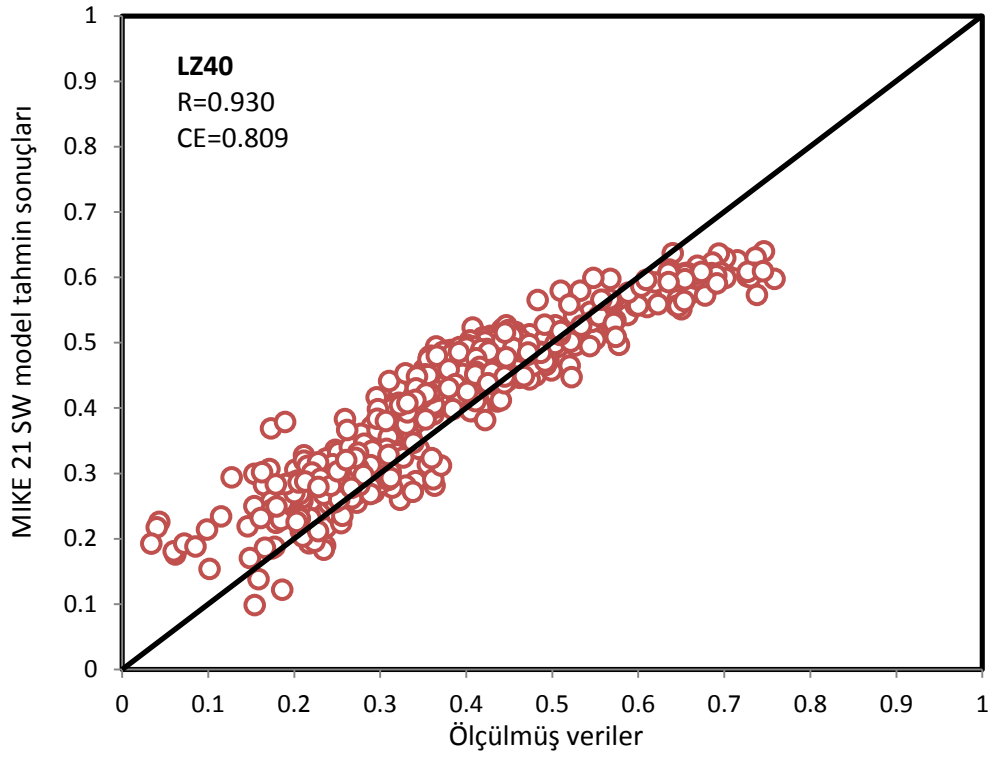
c)



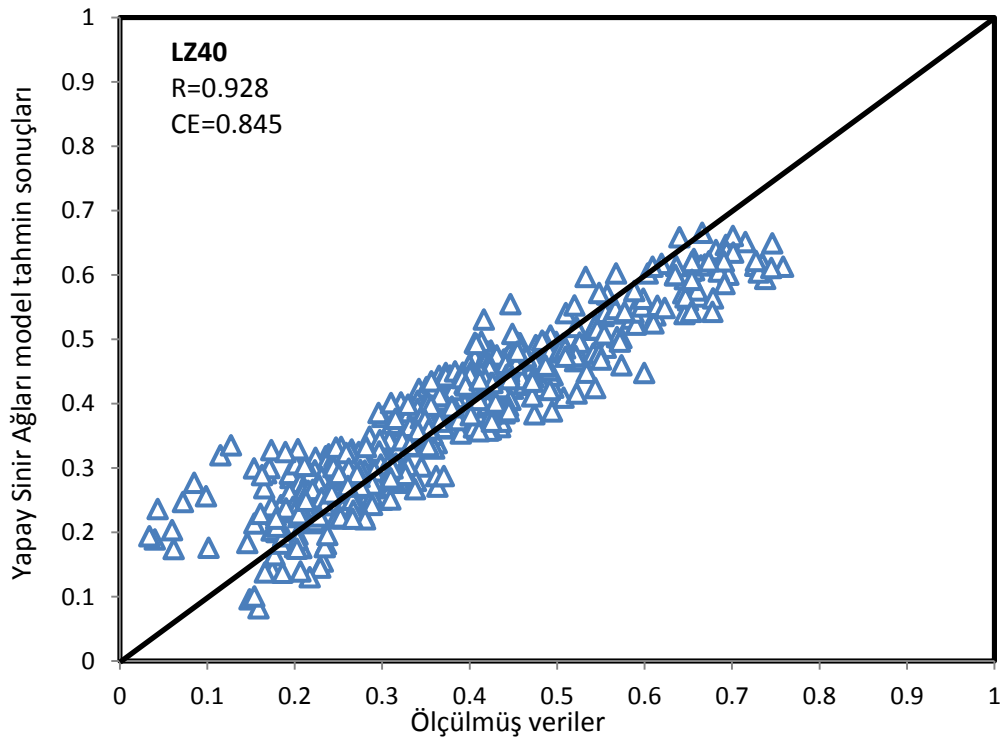
Şekil B.4 : (Akıntısız) L001 İstasyonuna ait dalga yüksekliğinin MIKE 21 SW ile Yapay Sinir Ağları (ANN) ile karşılaştırılması:
(a) Senaryo 1 (500 Test verisi için), (b) Senaryo 2 (750 Test verisi için), (c) Senaryo 3 (1000 Test verisi için).

EK C

a)

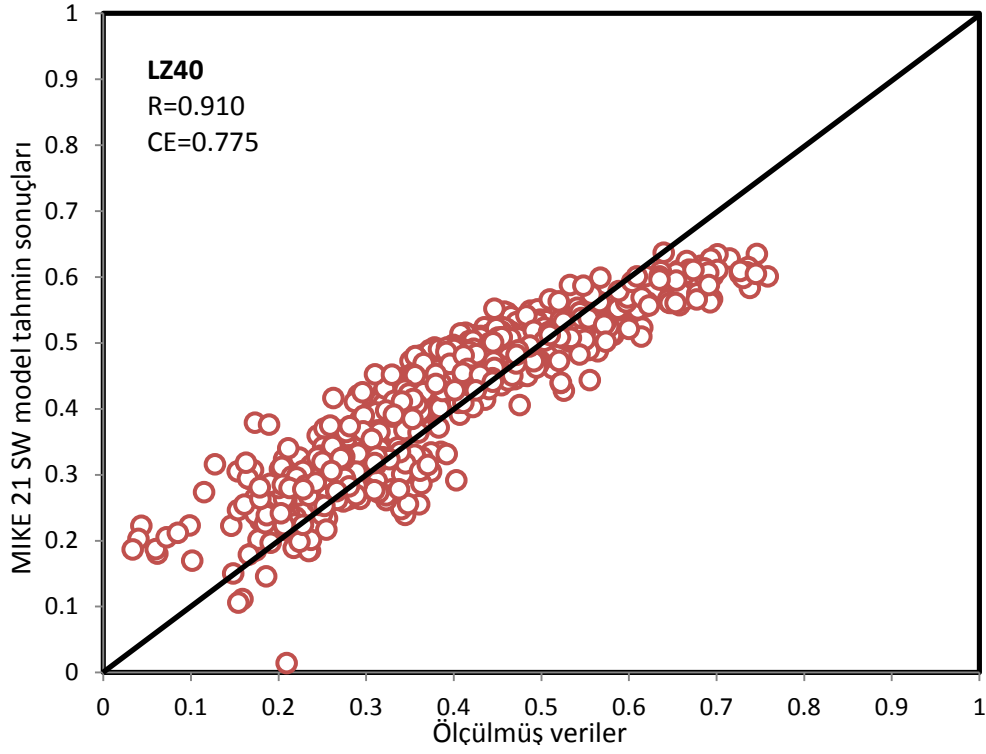


b)

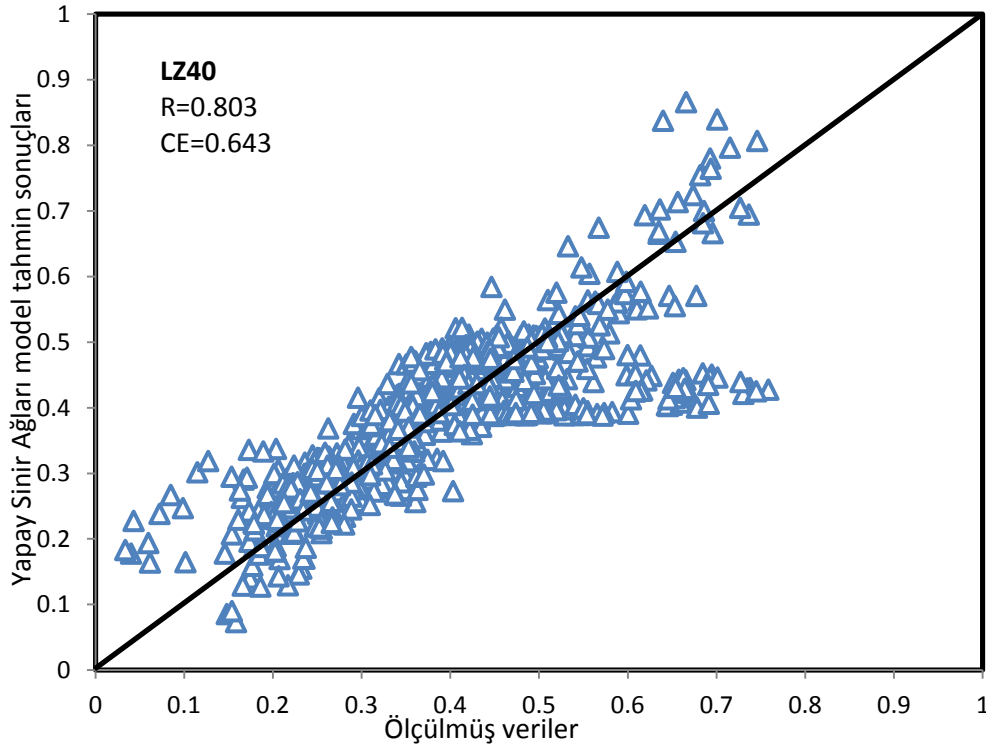


Şekil C.1 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

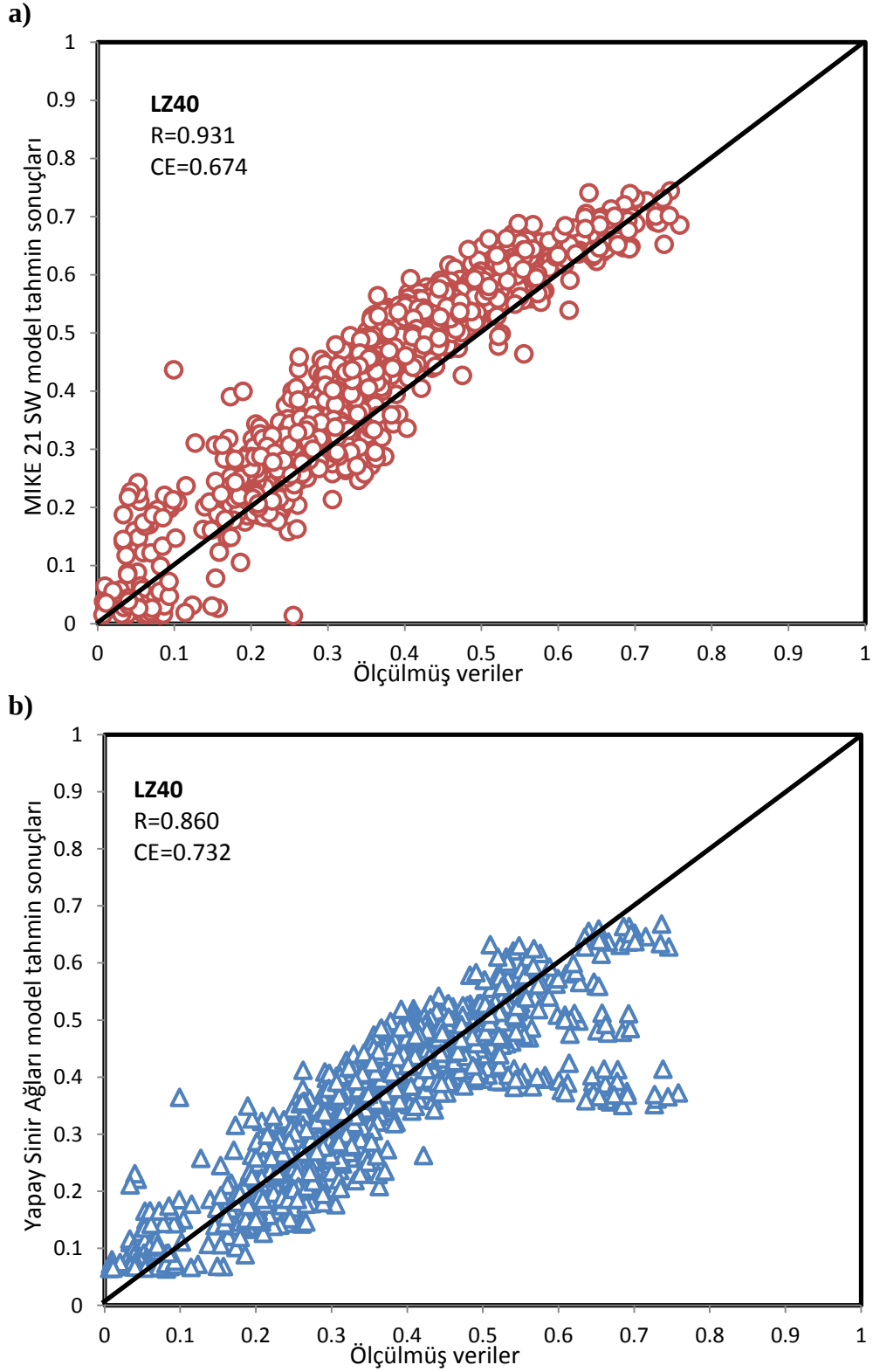
a)



b)

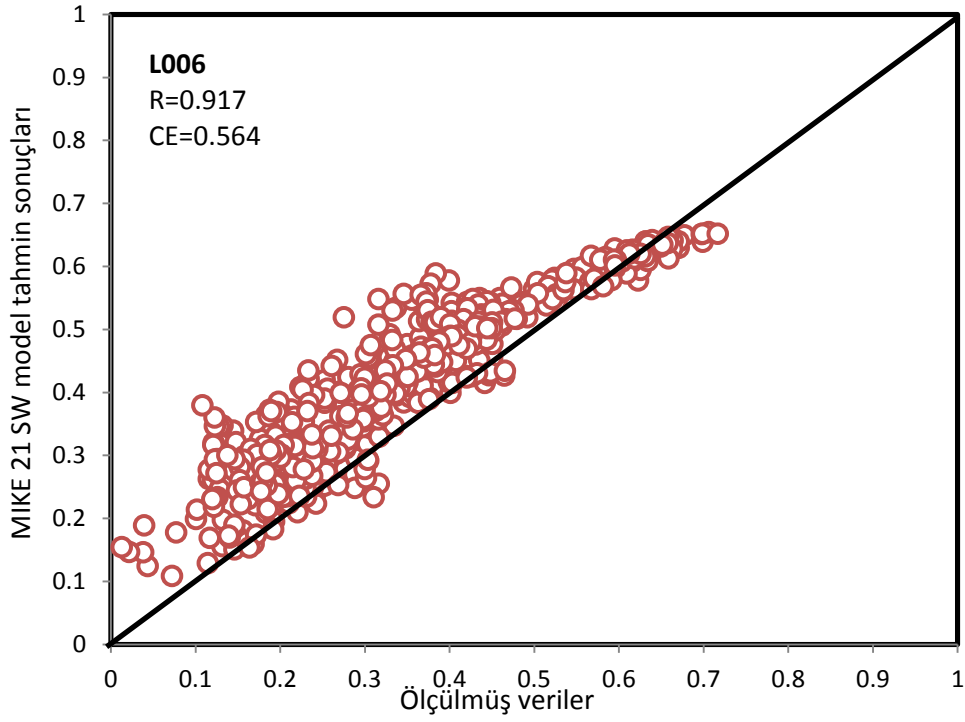


Şekil C.2 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

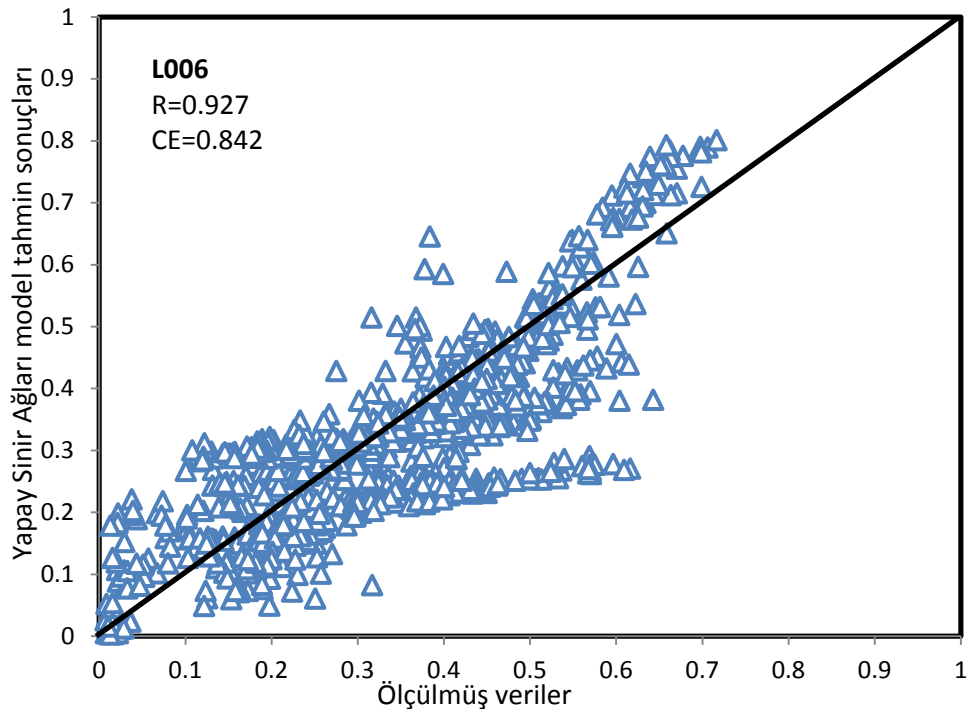


Şekil C.3 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile LZ40 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

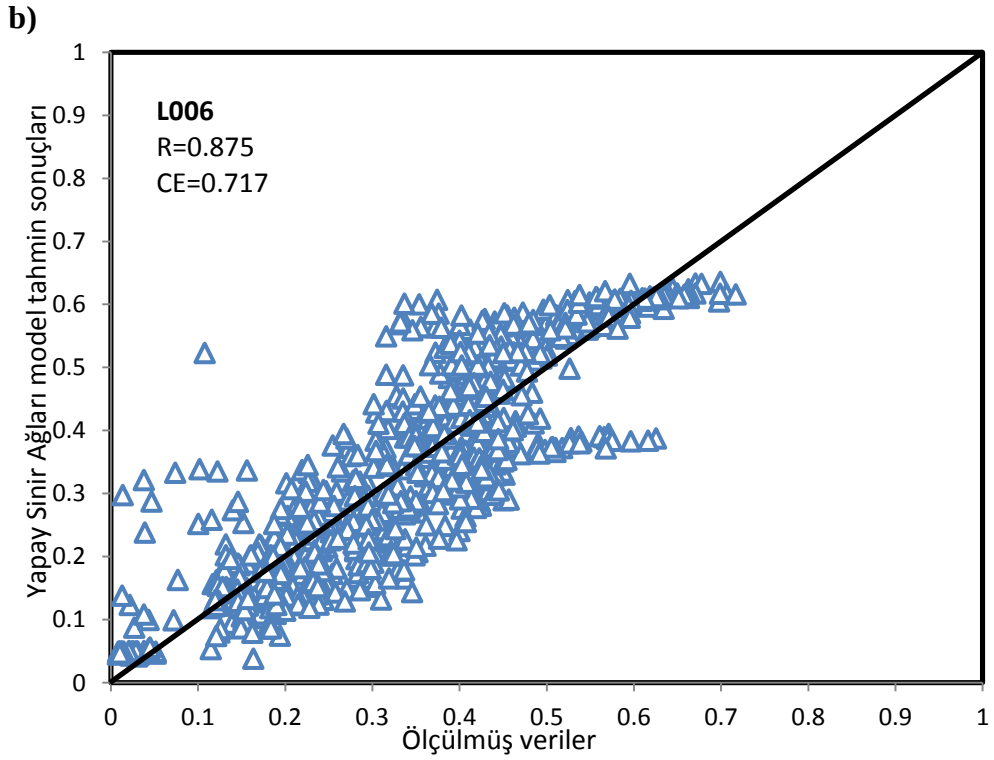
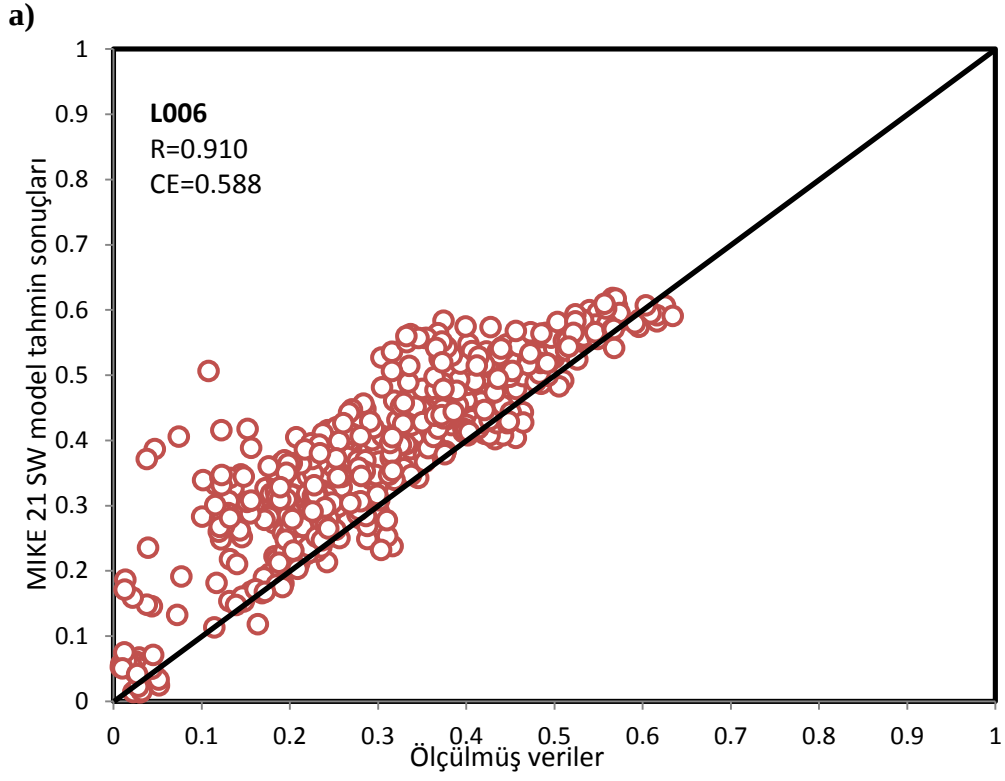
a)



b)

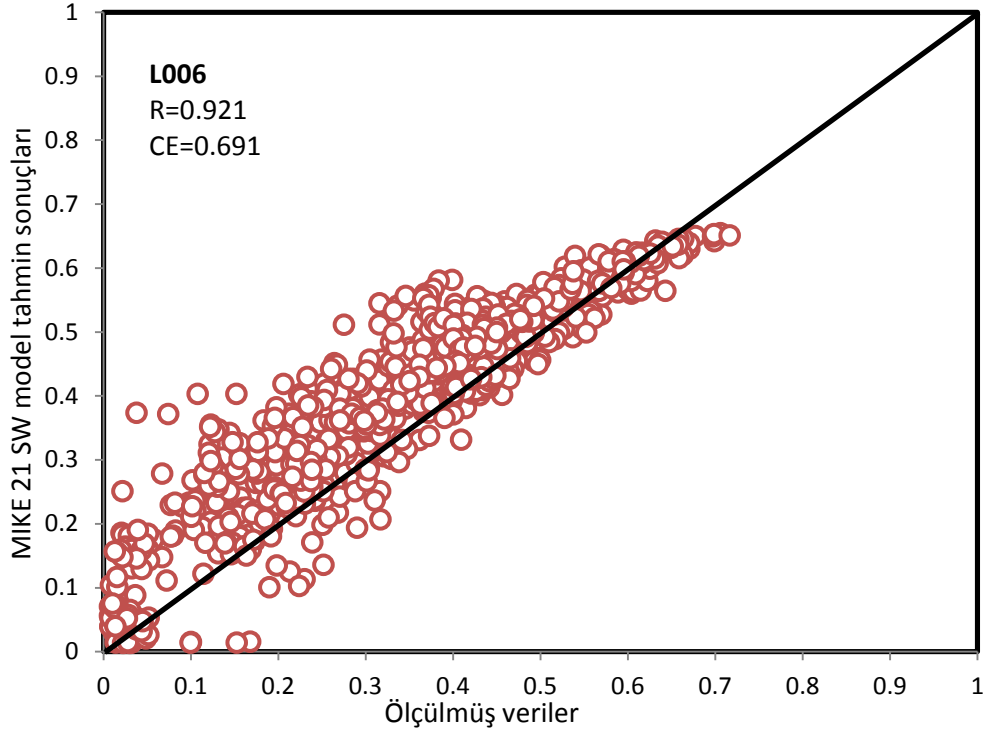


Şekil C.4 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

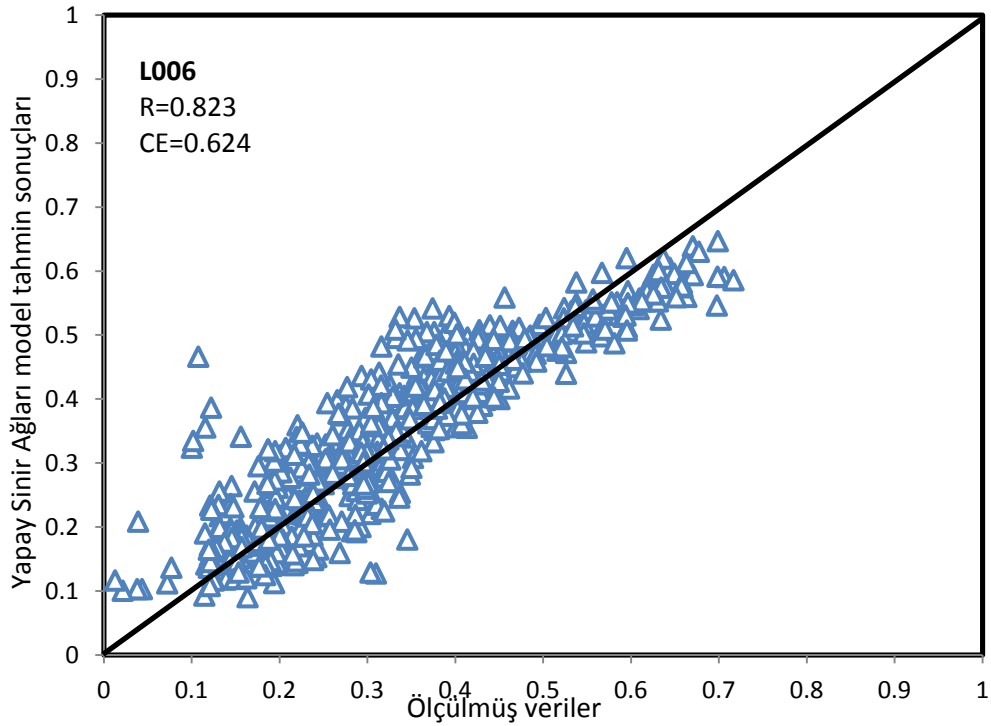


Şekil C.5 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

a)

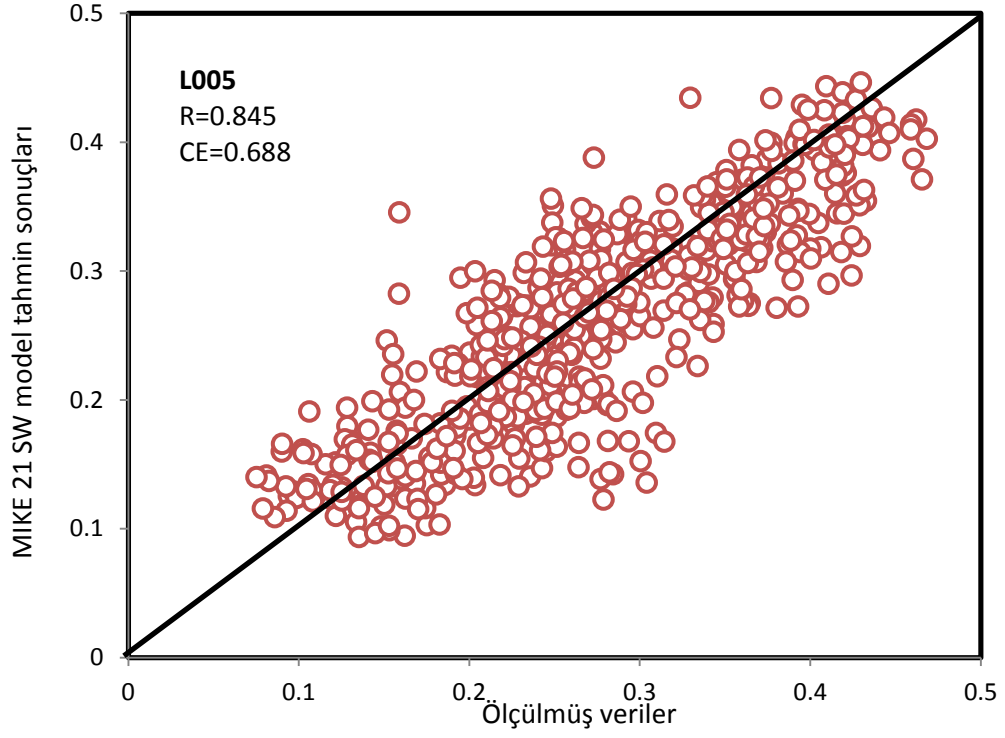


b)

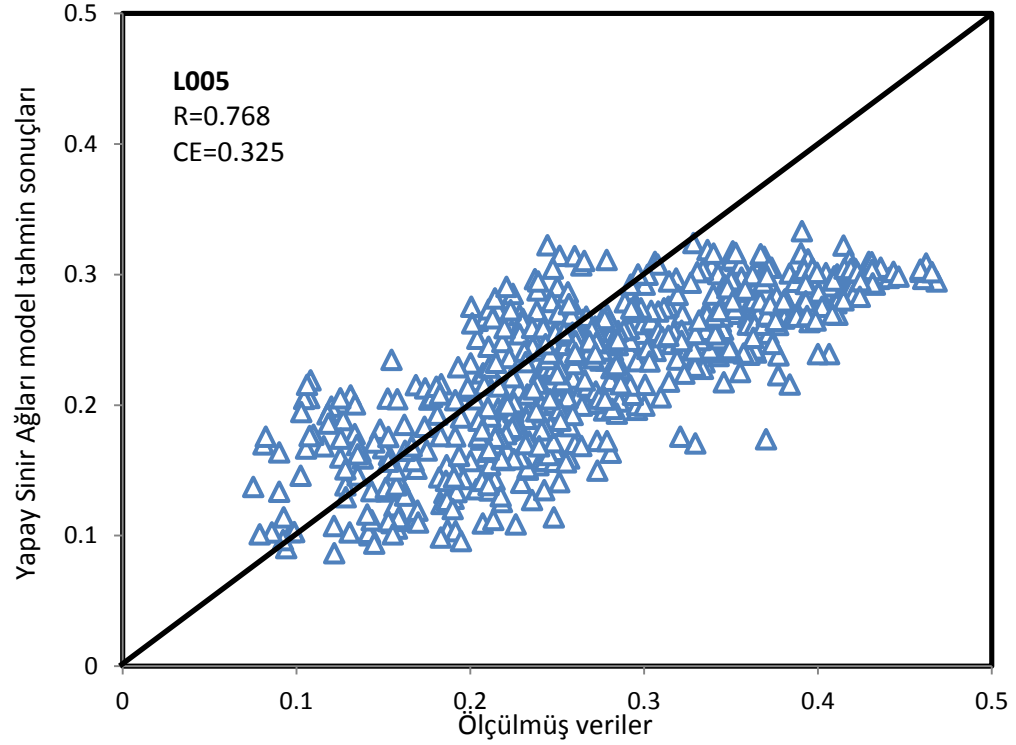


Şekil C.6 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L006 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

a)

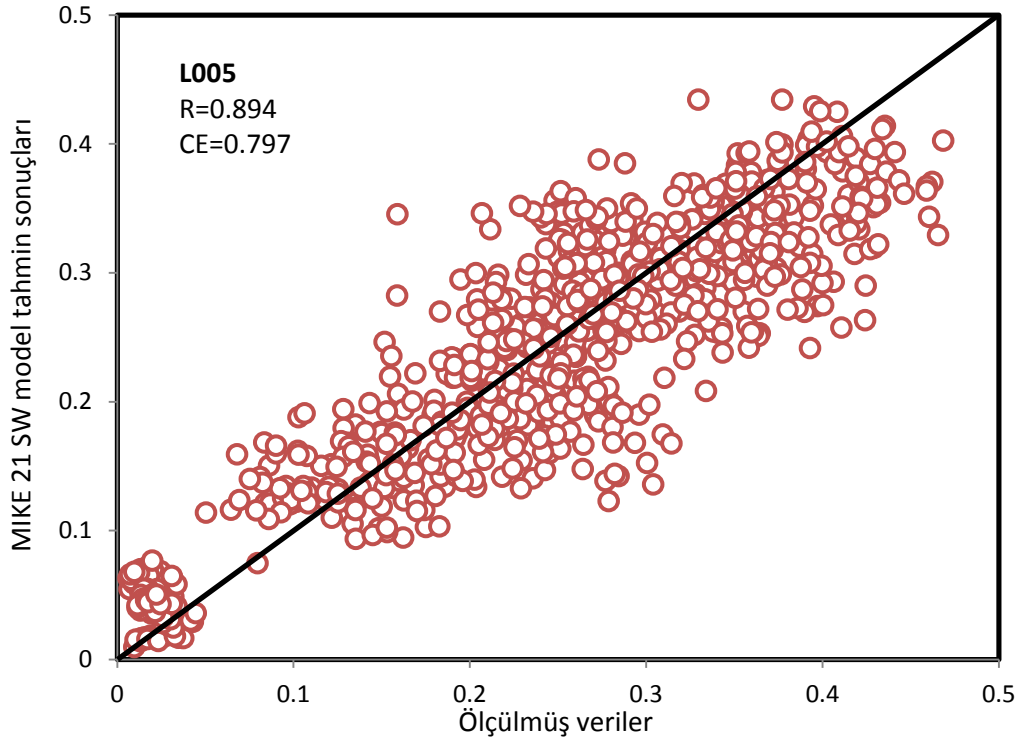


b)

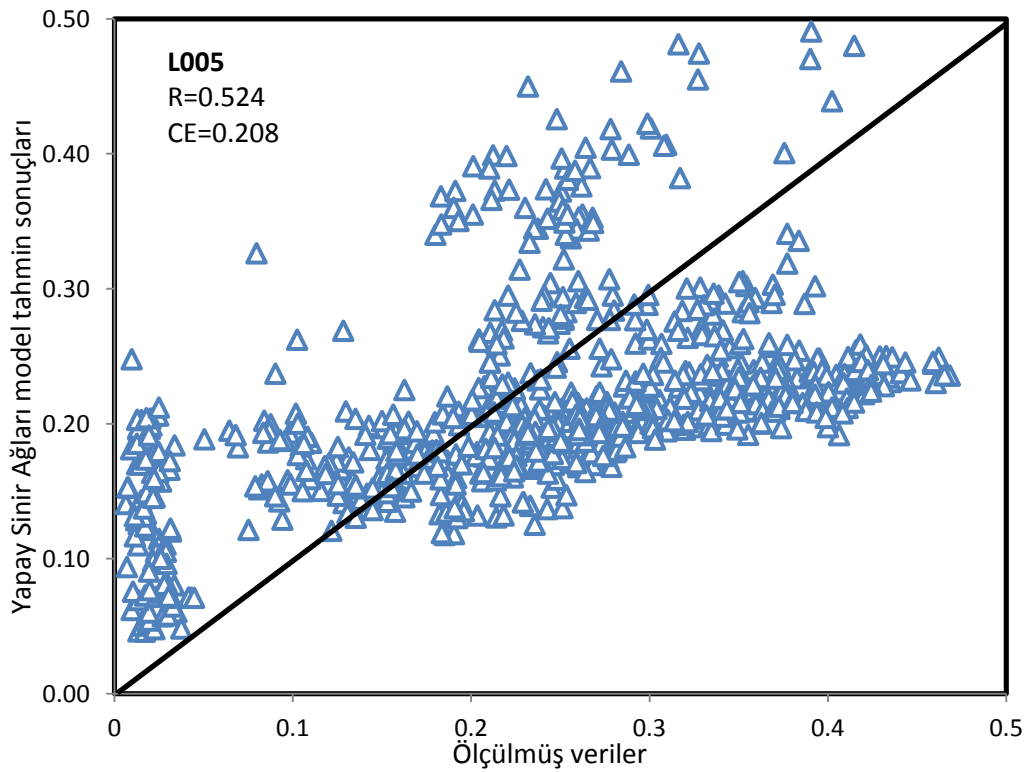


Şekil C.7 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

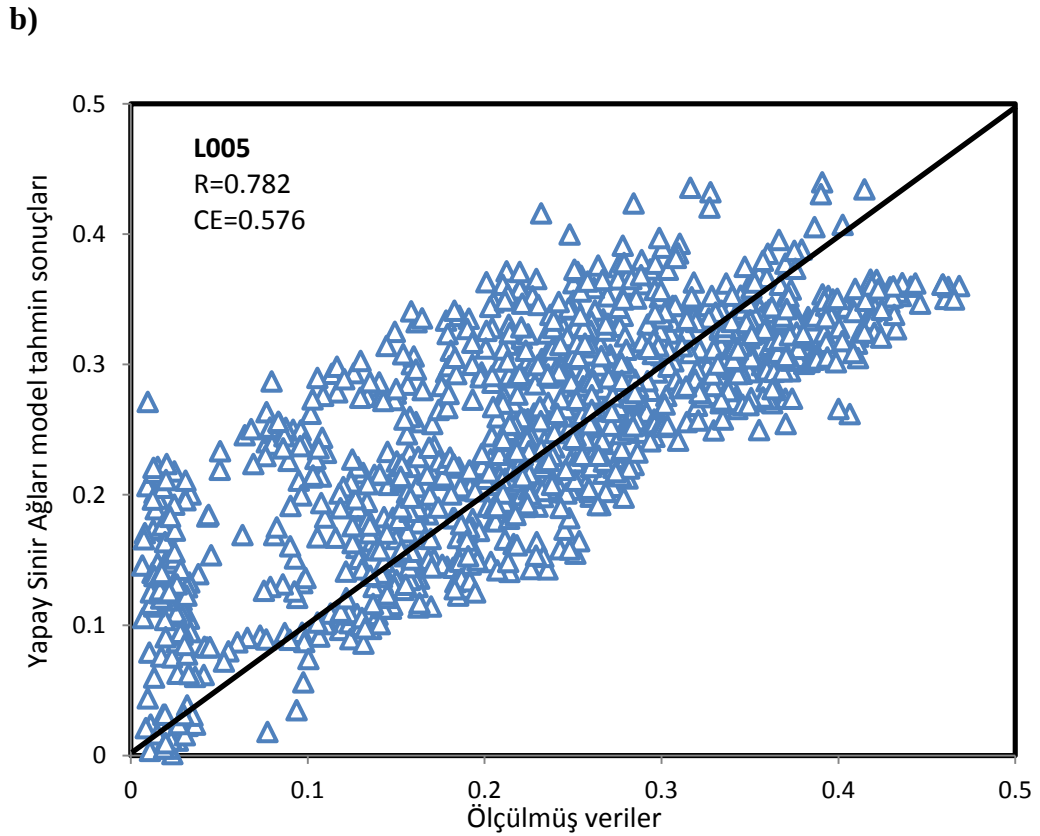
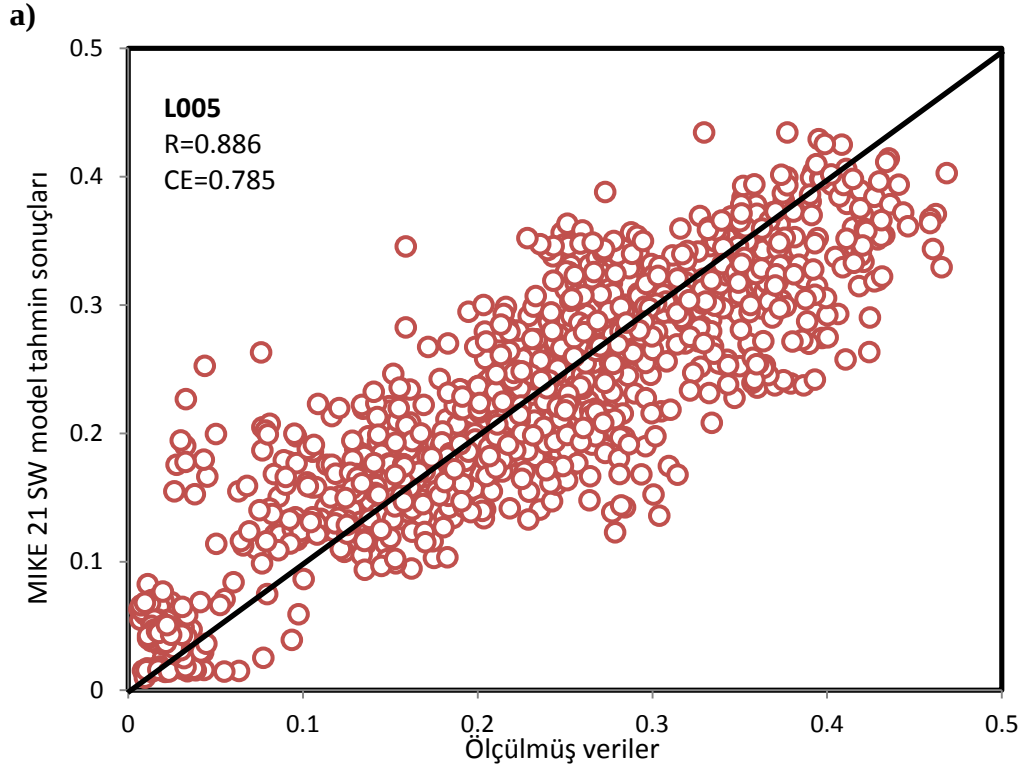
a)



b)

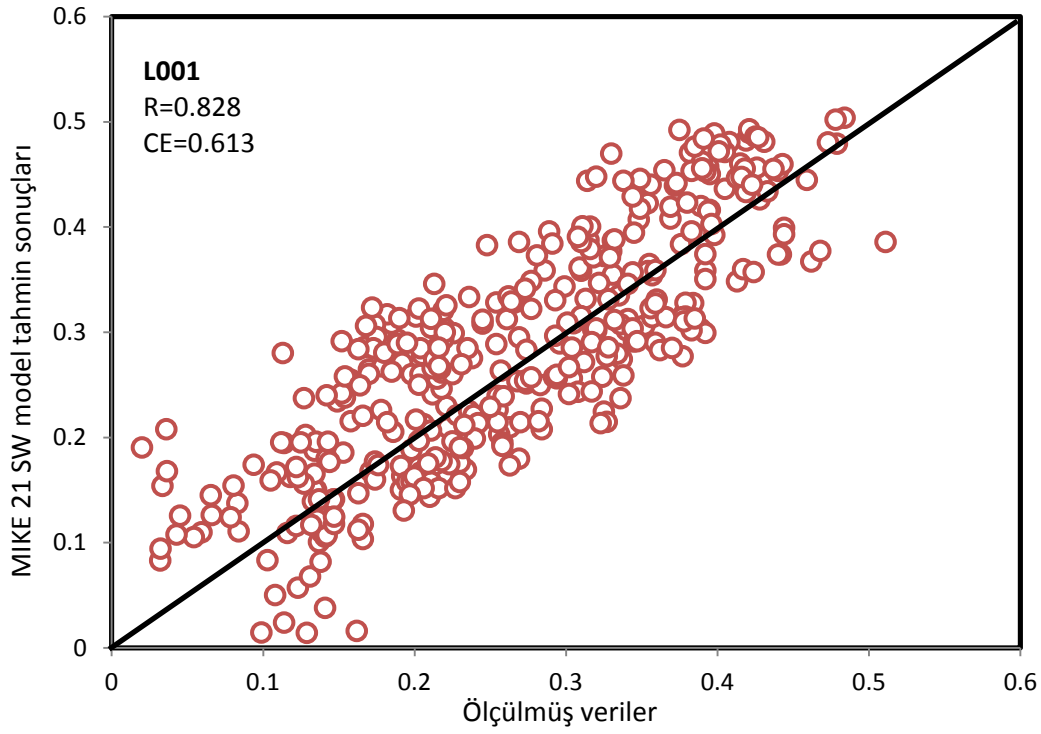


Şekil C.8 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

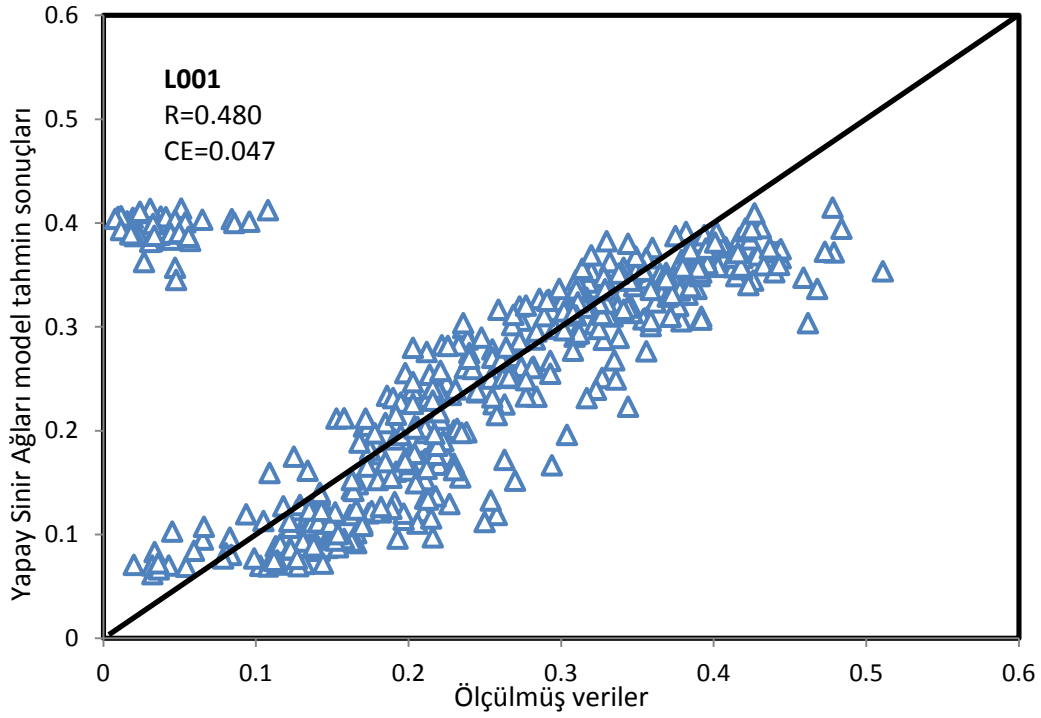


Şekil C.9 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L005 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

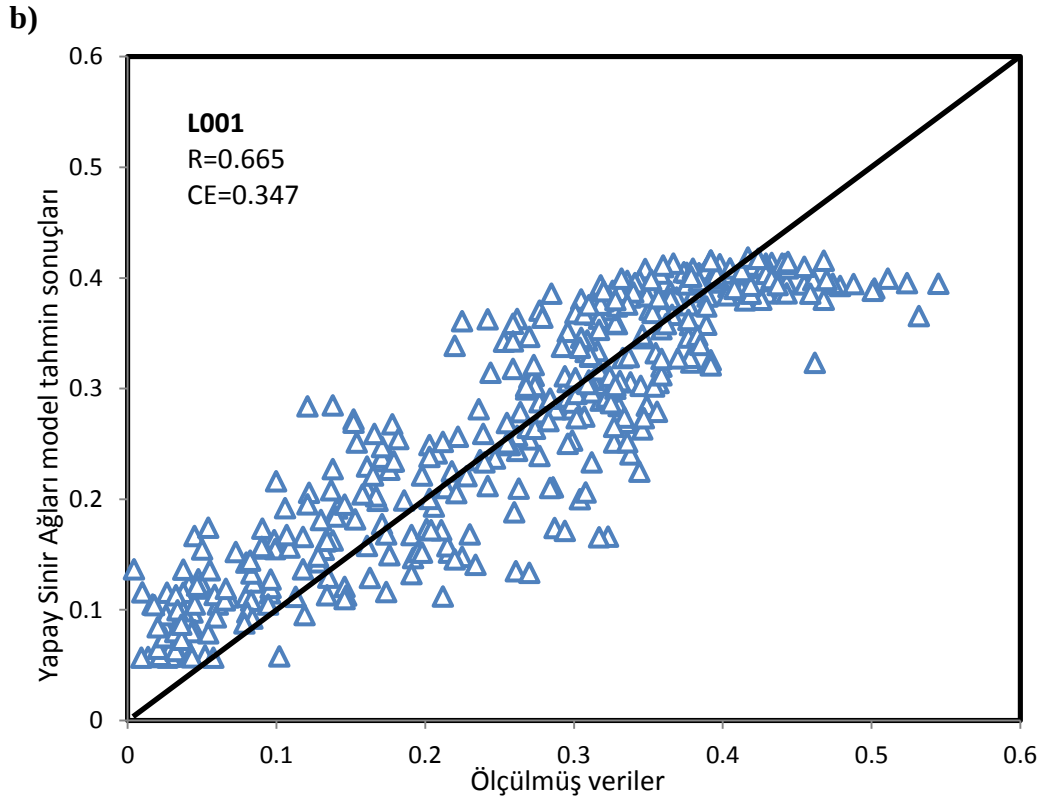
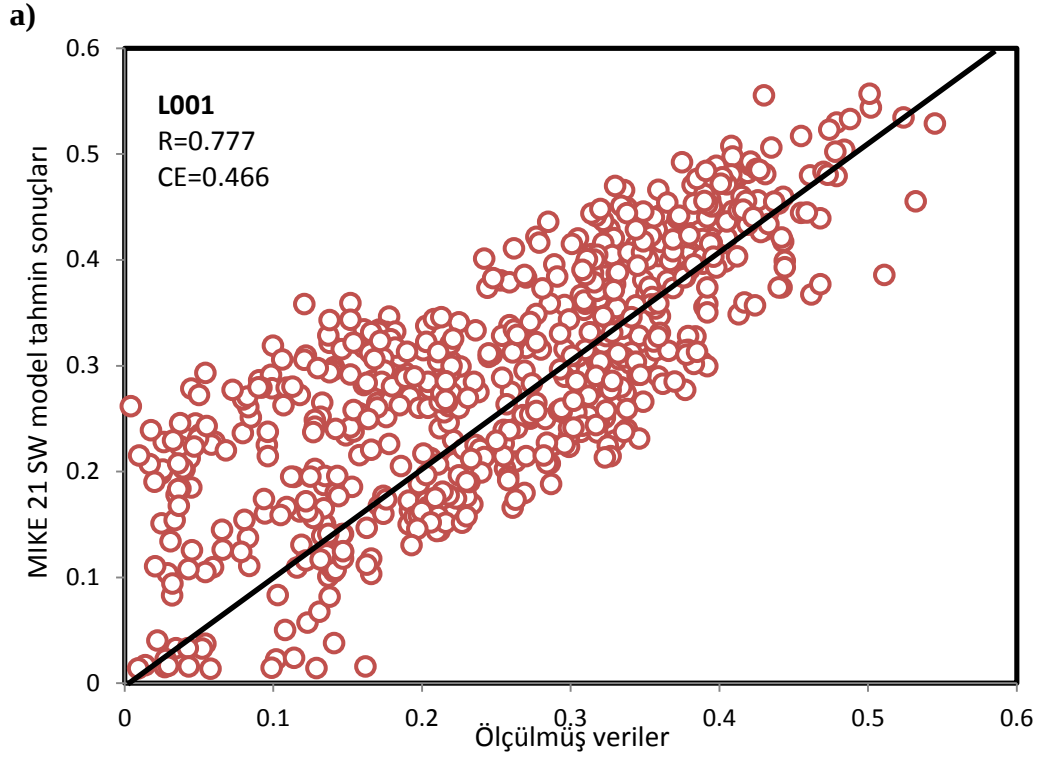
a)



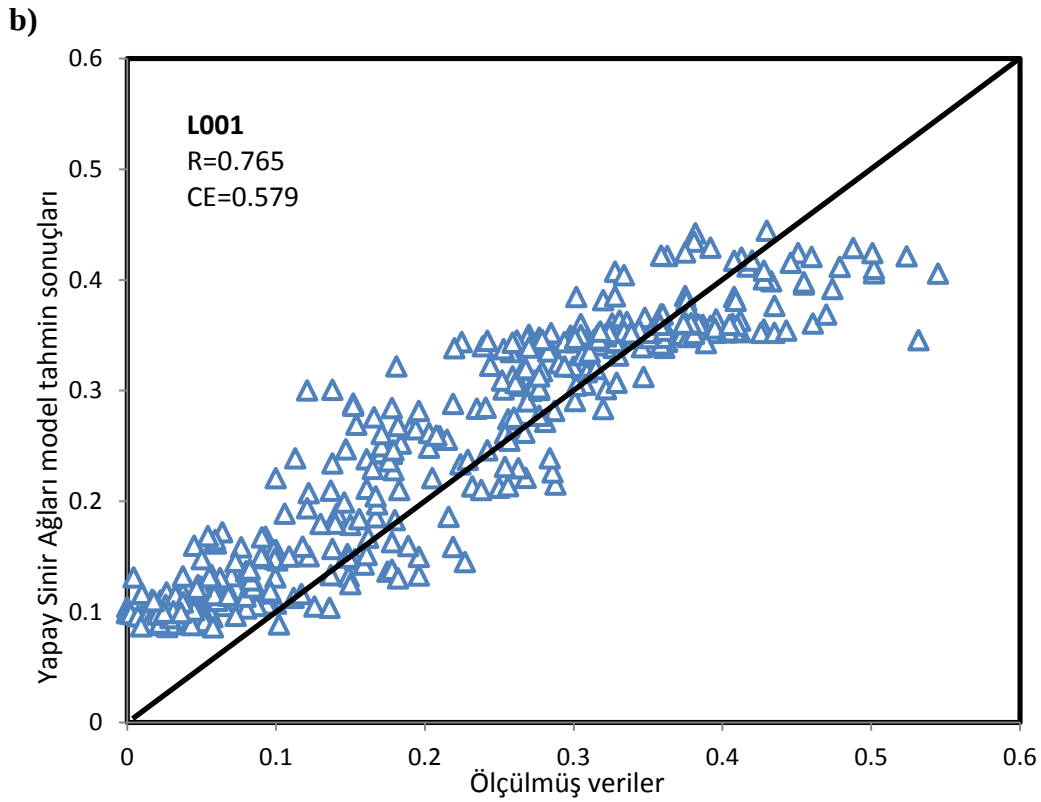
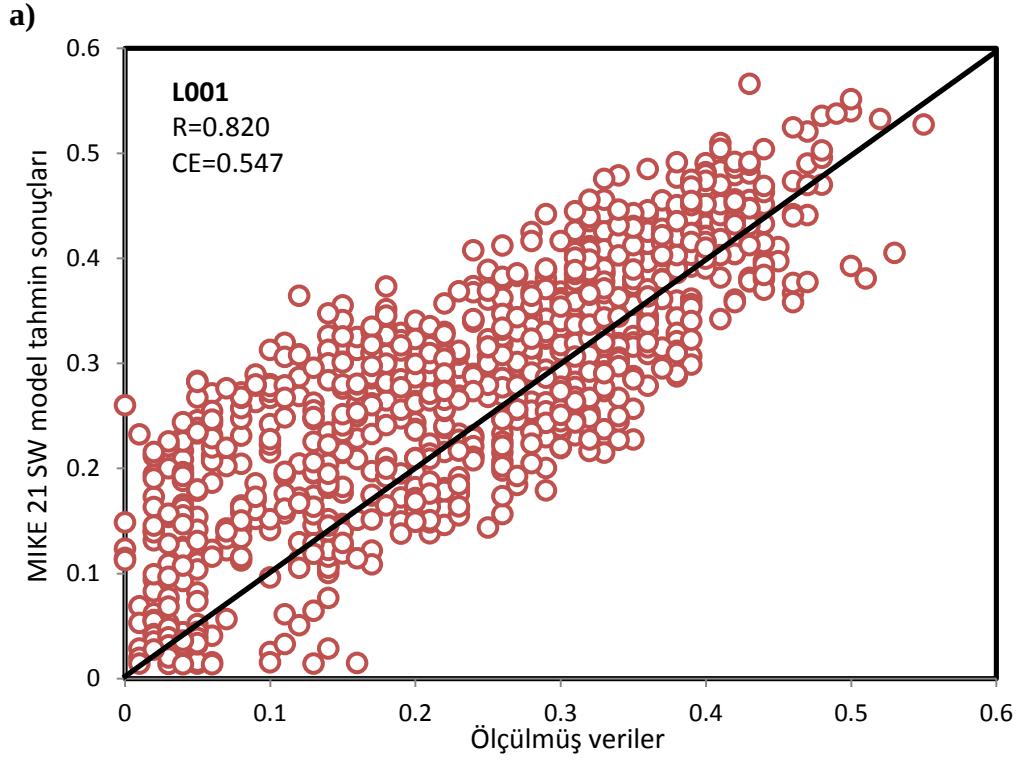
b)



Şekil C.10 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 1 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 500 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).



Şekil C.11 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo2 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 750 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).



Şekil C.12 : 45 derecelik doğru üzerinde, Senaryo 3 için modellerin simule ettiği dalga yüksekliği ile L001 İstasyonuna ait ölçülmüş dalga yüksekliğinin 1000 test verisi için saçılım grafiği : a) MIKE 21 SW, b) Yapay Sinir Ağları (ANN).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Fatmanur AKDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Isparta 11.04.1989
E-Posta : fatmanur.akdogan@hotmail.com
akdoganf@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi,
Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
Meteoroloji Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi,
Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Zorlu Enerji (Ankara) – Stajyer Müh.

DSİ 22. Şube Müdürlüğü (Manisa- İzmir) – Stajyer Müh.

MGM (Manisa)- Stajyer Müh.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

