



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KIYI YAPILARININ TASARIMI VE DALGA
YÜKSEKLİĞİNİN YAPAY ZEKÂ VE
ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİYLE
TAHMİNİ

Esra ŞİRİN

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Esra ŞİRİN tarafından hazırlanan “Kıyı Yapılarının Tasarımı ve Dalga Yüksekliğinin Yapay Zekâ ve Zaman Serisi Yöntemleriyle Tahmini” adlı tez çalışması 13/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan Doç.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

Danışman Dr.Öğr.Üyesi Ali İhsan MARTI

Üye Doç.Dr. Meral BÜYÜKYIIDIZ

Üye Doç.Dr. Kemal SAPLIOĞLU

Üye Doç.Dr. Alpaslan YARAR

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Esra ŞİRİN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KIYI YAPILARININ TASARIMI VE DALGA YÜKSEKLİĞİNİN YAPAY ZEKÂ VE ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

Esra ŞİRİN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Ali İhsan MARTI
İkinci Danışman: Prof.Dr. Can Elmar BALAS
2021, 173 Sayfa**

Jüri

**Dr.Öğr.Üyesi Ali İhsan MARTI
Doç.Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Doç.Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Doç.Dr. Kemal SAPLIOĞLU
Doç.Dr. Alpaslan YARAR**

Üç tarafı denizlerle çevrili ve 8333 km. uzunluğunda kıyı şeridinde sahip olan ülkemiz deniz ülkesi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle kıyılarda ticaret, turizm ve balıkçılık sektörlerinin yeterli, ekonomik ve istikrarlı çalışabilmesi için gerekli yapılar inşa edilmesi gerekmektedir.

Kıyı ve deniz yapılarının tasarımında H_s (belirgin dalga yüksekliği), yapıların ekonomik ömürleri boyunca dengede kalmalarına doğrudan etkisi olan en önemli dalga parametresidir.

Bu çalışma ile kıyı yapılarının tasarımında kullanılan parametrelerden en önemlilerinden biri olan H_s (belirgin dalga yüksekliği) iki şekilde elde edilmiştir. Bunlar Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası ve ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi)'dir. Bunlardan elde edilen derin deniz belirgin dalga yüksekliği kaynağı olarak tercih sebepleri ortaya konularak ECMWF uygun bulunmuştur. Derin deniz belirgin dalga yüksekliği dalga transformasyon modülü kullanılarak yapı önü belirgin dalga yüksekliği HYROTAM-3D yazılımı ile bulunmuştur. Elde edilen dizayn dalgası ile 3 farklı tek kat koruma tabakası kullanılarak taş dolgu dalgakıran tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla Accropode II veya Xbloc gibi tek kat koruma tabakası kullanılabilir. Ancak, bu tabakaların kullanılması için ülkemiz yurtdışına yüksek miktarda patent ücreti ödemek durumunda kalmaktadır. Bu nedenle, tezde, yeni geliştirilen Piblok yapay koruma tabakası ile tasarım uygulanmıştır.

Kıyı yapılarının tasarımında dinamik etkisi ile büyük öneme sahip dalga yüksekliği, geçmişte çoğunlukla sayısal ve stokastik yöntemler ile belirlenirken, son yıllarda yapay zekâ tekniklerinin de gelişmesi ile dalga parametresi tahminleri ve eksik dalga verisi tahmini gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu çalışmada, ANFIS yöntemlerinin, modellemeler yapılarak, eksik, geleceğe yönelik veya hatalı dalga yüksekliği tahmininde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca aynı veriler kullanılarak zaman serisi analizi modellenmesinde uygun model için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri kullanılarak model tahmini yapılmış, uygun bulunan AR(2) modelinin geçerliliği araştırılmış, ileriye yönelik tahmin elde edilebilmesi için bir yöntem elde edilmiştir. Modellerin kıyaslanabilmesi için her bir modelin tahmin değerleri ile ölçüm değerlerinin saçılma diyagramları çizilmiştir. Ayrıca istatistiksel performansları için R^2 (regresyon katsayısı) ve NSE (verimlilik katsayısına) bakılarak her iki yöntemle de % 90'a yakın sonuçlar verdiği için kıyı yapıları tasarımında kullanılan dalga yüksekliği parametresinin ileriye dönük tahmininde her iki yöntemin de kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir. Bu tez çalışmasıyla önerilen bu iki modelleme ile belirgin dalga yüksekliğinin güvenilir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, ECMWF, Dalga Atlası, Dalgakıran, H_s , HYDROTAM-3D, Zaman Serisi Analizi.

ABSTRACT

PhD THESIS

DESIGN OF COASTAL STRUCTURES AND ESTIMATION OF WAVE HEIGHT BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TIME SERIES METHODS

Esra ŞİRİN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assist.Prof.Dr. Ali İhsan MARTI

Co-Advisor: Prof.Dr. Can Elmar BALAS

2021, 173 Pages

Jury

Assist.Prof.Dr. Ali İhsan MARTI

Assoc.Prof.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

Assoc.Prof.Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

Assoc.Prof.Dr. Kemal SAPLIOĞLU

Assoc.Prof.Dr. Alpaslan YARAR

Our country surrounded by seas on three sides with 8333 kilometres long coastline can be classified as a sea country. Therefore, necessary structures should be constructed to provide the trade, tourism and fishing industries' operations efficiently and reliably along the coasts.

In the design of coastal and marine structures, H_s (significant wave height) is the most important wave parameter having a direct effect on the stability of the structures throughout their economic lives.

In this study, H_s (significant wave height), one of the most important parameters used in the design of coastal structures, was obtained in two ways. These are the Turkish Coasts' Wind and Deep Sea Wave Atlas and the ECMWF (European Centre For Medium-Range Weather Forecasts). ECMWF was determined to be appropriate for the deep sea significant wave height source by putting forward the reasons for the preference. The significant wave height in front of the structure was obtained by HYROTAM-3D software using the deep sea significant wave height wave transformation module. A rubble-mound breakwater design with three different single layer protection layer was made using the obtained design wave. For this purpose, a single layer of protection with Accropode II or Xbloc can be used. However, for the use of these layers, our country has to pay high amount of patent fees abroad. For this reason, the design with newly developed Piblok artificial protection layer was applied in the thesis.

The wave height having great importance with its dynamic effect in the design of coastal structures has been mostly determined by numerical and stochastic methods in the past. In recent years, it has been frequently used in studies such as wave parameter estimations and missing wave data with the development of artificial intelligence techniques. In this study, it was concluded that the modeling with ANFIS methods could be used for incomplete, future-oriented or incorrect wave height estimation. In addition, by using the same data, the model was estimated by using autocorrelation and partial autocorrelation graphs for the appropriate model in time series analysis modeling. The validity of the AR(2) model, which was found suitable, was investigated, and a method was obtained to obtain a prospective estimation. In order to compare the models, the scatter diagrams of the predicted values of each model and the measurement values were drawn. In addition, it is considered that it is appropriate to use both methods in the prospective estimation of the wave height parameter used in the design of coastal structures, since R^2 (regression coefficient) and NSE (Nash-Sutcliffe efficiency) for their statistical performance gave results close to % 90 with both methods. It has been concluded that the significant wave height can be estimated reliably using these two models proposed in this study.

Keywords: ANFIS, ECMWF, Wave Atlas, Breakwater, H_s , HYDROTAM-3D, Time Series Analysis.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında yardımını ve desteğini esirgemeyen danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Ali İhsan MARTI'ya, ikinci danışmanım Prof.Dr. Can Elmar BALAS'a, Doç.Dr. Aslı NUMANOĞLU GENÇ'e, Doç.Dr. Rıfat TÜR'e ve tez izleme komitesinde yer alan Doç.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU'ya ve Doç.Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olan ve benden maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, özellikle BABAMA ve ANNEME sonsuz teşekkür ve minnetimi sunarım.

Esra ŞİRİN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Taş Dolgu Dalgakıran Tasarımı ve Dalga İklimi Kaynak Araştırması	4
2.2. Yapay Sinir Ağı ve Zaman Serisi Analizi Kaynak Araştırması	8
3. AKÇAKOCA DENİZEL ALANI ÇALIŞMA SAHASI	14
4. MATERYAL YÖNTEM	16
4.1. Dalga İklimi Modeli	16
4.1.1. Dizayn dalgasının Türkiye Kıyıları Derin Deniz Dalga Atlasıyla elde edilmesi	16
4.1.2. Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (European Centre For Medium-Range Weather Forecasts) (ECMWF) veri işlemleri	17
4.1.2.1. ECMWF’den veri indirilmesi.....	19
4.1.2.1.1. NoMachine programı	19
4.1.3. İndirilen dalga yüksekliği verilerine göre 50 yılda tekrar eden derin deniz belirgin dalga yüksekliği (Hs)’in bulunması	19
4.1.3.1. Normal dağılım	20
4.1.3.2. Yıllık maksimum metot ve tepe eşik metodu	21
4.1.4. En büyük değer dalga istatistiği	23
4.1.4.1. Dağılım fonksiyonları	23
4.1.5. Uygunluk değerlendirme kriterleri	27
4.1.6. Derin deniz dalga yüksekliğinin hesaplanması	34
4.2. Dalga Transformasyon Modeli	34
4.2.1. Üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli: HYDROTAM- 3D	38

4.2.1.1. Hidrodinamik ve türbülans alt modelleri	40
4.2.1.2. Rüzgâr ve dalga iklimi alt modelleri	53
4.2.1.3. Dalga ilerleme alt modeli	56
4.3. Ana ve Tali Dalgakıran Tasarımı	60
4.3.1. Taş dolgu ana ve tali dalgakıran tasarımı	61
4.3.1.1. Hudson Denklemi	61
4.3.1.1.1. Koruma yapısındaki taşların üzerine gelen yükler	69
4.3.1.2. Van der Meer Denklemi	71
4.3.1.2.1. Koruma tabakasında kullanılacak yapay beton blok büyüklüğü için Van Der Meer Denklemi ile hesaplama	72
4.3.1.3. Hudson ve Van der Meer Denklemlerinin karşılaştırılması	73
4.3.1.4. Dalgakıran kafası denge denklemleri	74
4.3.1.5. Dalgakıran filtre tasarımı	75
4.3.1.5.1. Koruma koşulu	75
4.3.1.5.2. Geçirgenlik koşulu	76
4.3.1.5.3. Denge koşulu	76
4.3.1.6. Dalgakıran geometrik özelliklerinin belirlenmesi	76
4.3.1.6.1. Kret kotu	77
4.3.1.6.2. Kret genişliği	77
4.3.1.6.3. Koruyucu tabaka kalınlığı	78
4.3.2. Koruma tabakası türleri	78
4.3.2.1. Doğal (Taş) koruma tabakaları	78
4.3.2.2. Yapay koruma tabakaları	79
4.3.2.2.1. Çift kat koruma tabakaları	80
4.3.2.2.2. Tek kat koruma tabakaları	82
4.3.2.2.2.1. Accropode II ile dizayn	84
4.3.2.2.2.1.a. GEBCO yazılımı	85

4.3.2.2.2.2. XBloc ile dizayn.....	86
4.3.2.2.2.3. Piblok ile dizayn.....	88
4.4. Yapay Zekâ	92
4.4.1. Yapay sinir ağları	92
4.4.2. Bulanık mantık.....	93
4.4.3. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS Yöntemi).....	95
4.5. Zaman Serileri Analizi	98
4.5.1. Zaman serilerinin özellikleri	99
4.5.2. Zaman serileri analizlerinin amacı	99
4.5.3. Zaman serisi analizinde kullanılan yöntemler	100
4.5.3.1. Çok değişkenli zaman serileri ile ilgili tahmin yöntemleri	100
4.5.3.2. Tek değişkenli zaman serileri ile ilgili tahmin yöntemleri.....	100
4.5.3.2.1. Trend analizi yöntemi.....	100
4.5.3.2.2. Hareketli ortalamalar yöntemi.....	101
4.5.3.2.3. Üssel düzeltme yöntemi	101
4.5.3.2.4. Uyarlayıcı arındırma tahmin yöntemi	102
4.5.3.2.5. Box-Jenkins tahmin yöntemi.....	102
4.5.3.2.5.1. Box-Jenkins yönteminin üstün ve zayıf yönleri.....	103
4.5.3.2.5.2. Box-Jenkins yöntemleri.....	104
4.5.4. Model seçim kriterleri	117
4.6. İstatistiksel Parametreler	118
4.7. Veri Seti.....	119
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	121
5.1. Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliğinin Elde Edilmesi ile İlgili Bulgular.....	121
5.2. Taş Dolgu Dalgakıran Tasarımında Kullanılan Tek Kat Koruma Tabakalarının Karşılaştırılması ile İlgili Bulgular.....	133
5.3. ANFIS Bulguları	142

5.4. Zaman Serisi Analizi Bulguları.....	147
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	164
6.1. Sonuçlar	164
6.2. Öneriler	166
KAYNAKLAR	168
ÖZGEÇMİŞ.....	173

ÇİZELGELER

Çizelge 4.1. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016’da yeralan dağılım fonksiyonları	23
Çizelge 4.2. Olasılık fonksiyon hesapları α , β katsayı değerleri.....	25
Çizelge 4.3. Formüllerde kullanılan a,b,c değerlerinin bulunuşu .	28
Çizelge 4.4. $\zeta_{\%95}$ için ampirik katsayılar (üst DOL).....	29
Çizelge 4.5. $\zeta_{\%5}$ için ampirik katsayılar (alt DOL).....	30
Çizelge 4.6. $\zeta_{\%95}$ için ampirik katsayılar (REC).....	31
Çizelge 4.7. Yüzdeler için C1 değerleri ..	31
Çizelge 4.8. FT-1, FT-2 ve Weibull fonksiyonları için geri dönüş değerinin standart sapmasının sabitleri	32
Çizelge 4.9. KD değerleri tasarım dalgası $H = H_s$ (Eğim açıları $1.5 \leq \cot \alpha \leq 3.0$).....	67
Çizelge 4.10. KD değerleri tasarım dalgası $H = H_{1/10}$	67
Çizelge 4.11. Dalgakıran kafası için KD değerleri, $H = H_{1/10}$	67
Çizelge 4.12. Taş dolgu dalgakıranların gövde kesiti için önerilen katsayıları	68
Çizelge 4.13. Taş dolgu dalgakıranların kafa kesiti için önerilen KD katsayıları	68
Çizelge 4.14. Dalgakıran gövdesi için KD değerleri ($H = H_{1/10}$ D = % 0 - % 5 hasar)	68
Çizelge 4.15. Dalgakıran kafası için KD değerleri ($H = H_{1/10}$ D = % 0 - % 5 hasar)	68
Çizelge 4.16. Hasar seviyelerine göre S değerleri	72
Çizelge 4.17. $H_s/\Delta D_n$ ve bu değere karşılık gelen KD değerleri.....	73
Çizelge 4.18. Deneysel katsayılar	75
Çizelge 4.19. Çeşitli koruyucu tabakaları için tabaka katsayısı ve boşluk oranı	77
Çizelge 4.20. Prefabrik bloklara ait KD (stabilite katsayısı) değerleri	83
Çizelge 4.21. İstatistiksel parametreler	120
Çizelge 5.1. ECMWF’ten indirilen 19 yıla ait maksimum dalga yüksekliği verileri.....	122
Çizelge 5.1. (Devam). ECMWF’ten indirilen 19 yıla ait maksimum dalga yüksekliği verileri	123
Çizelge 5.2. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016’da yeralan dağılım fonksiyonları.....	123
Çizelge 5.3. R ve R^2 kriteri ile sonuçlar	124
Çizelge 5.4. DOL kriteri (Gumbel Tip1) ile sonuçlar	124
Çizelge 5.5. DOL kriteri (Gumbel Tip2) ile sonuçlar	125
Çizelge 5.6. DOL kriteri (Weibull) ile sonuçlar	125
Çizelge 5.7. MIR kriteri ile sonuçlar	126

Çizelge 5.8. REC kriteri ile sonuçlar.....	126
Çizelge 5.9. R kriteri ile sonuçların karşılaştırılması	127
Çizelge 5.10. DOL kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi	127
Çizelge 5.11. MIR kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi.....	127
Çizelge 5.12. REC kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi	128
Çizelge 5.13. Bütün kriterlere göre sonuçlar.....	128
Çizelge 5.14. Bütün kriterlere göre uygun dalga yüksekliği.....	129
Çizelge 5.15. % 90 hassasiyet ile doğrunun güvenilirlik aralığı hesapları.....	129
Çizelge 5.16. % 90 hassasiyet ile elde edilen dalga yüksekliği	130
Çizelge 5.17. Accropode II dizayn tablosu	137
Çizelge 5.18. Xbloc dizayn tablosu.....	139
Çizelge 5.19. Üç malzemenin karşılaştırılması	142
Çizelge 5.20. Model tipleri.....	143
Çizelge 5.21. Eğitim ve test modellerine ait istatistiki performans sonuçları.....	146
Çizelge 5.22. Otokorelasyon ve kısmî otokorelasyon grafikleri	149
Çizelge 5.23. Dickey-Fuller (ADF) testi sonuçları	149
Çizelge 5.24. AR(2) model tahmini	149
Çizelge 5.25. Modele ilişkin bazı istatistik sonuçlar.....	150
Çizelge 5.26. Otokorelasyon ve kısmî korelasyon grafikleri	150
Çizelge 5.27. MA(1) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar.....	151
Çizelge 5.28. MA(2) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar.....	151
Çizelge 5.29. ARMA(1,1) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar	152
Çizelge 5.30. Zaman serisi analizi istatistiki parametre sonuçları	163

SEKİLLER

Şekil 3.1. Çalışma sahası genel coğrafi konumu	14
Şekil 3.2. Çalışma sahasının konumu	14
Şekil 4.1. Gumbel grafiği güvenilirlik aralığı	34
Şekil 4.2. Sinüzoidal dalga profili	35
Şekil 4.3. Kırılmadaki boyutsuz derinlik ile dalga kırılma dikliği ilişkisi	37
Şekil 4.4. Kırılma anındaki dalga yüksekliği indeksi ile derin deniz dalga dikliği arasındaki ilişki	38
Şekil 4.5. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde su yüzeyi ve su derinliğinin tanımı	44
Şekil 4.6. HYDROTAM-3D çalışma sayfası örneği	59
Şekil 4.7. HYDROTAM-3D çalışma sayfası örneği	59
Şekil 4.8. Koruyucu taşların üzerine etki eden kuvvetler	69
Şekil 4.9. Örnek dalgakıran resimleri.....	78
Şekil 4.10. Yapay taş korumalı dalgakıran	79
Şekil 4.11. Tek kat ve çift kat yapay koruma tabakalarının tarihi gelişimi.....	79
Şekil 4.12. Tetrapot koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran.....	81
Şekil 4.13. Tetrapot koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran.....	81
Şekil 4.14. Antifer koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran	81
Şekil 4.15. Tetrapot koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran.....	82
Şekil 4.16. Tek sıra koruma elemanlarıyla yapılan dalgakıran resimleri.....	82
Şekil 4.17. Tek sıra koruma elemanlarıyla yapılan dalgakıran resimleri.....	83
Şekil 4.18. Accropode II koruma tabakası örnekleri.....	84
Şekil 4.19. Accropode II ile yapılmış taş dolgu dalgakıran	85
Şekil 4.20. Xbloc tasarım şekli.....	86
Şekil 4.21. Xbloc'ların taşınma şekli	87
Şekil 4.22. Xbloc'ların yerleşim şekli	87
Şekil 4.23. Xbloc yapay koruma tabakası yerleşim şekli.....	88
Şekil 4.24. Xbloc ile yapılan dalgakıran	88
Şekil 4.25. Piblok çizimi	89
Şekil 4.26. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali	90
Şekil 4.27. Piblok'ların üstten görünüşü	90
Şekil 4.28. Piblok'ların izometrik görüntüsü	91
Şekil 4.29. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali	91
Şekil 4.30. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali	92

Şekil 4.31. Sugeno modelinin iki giriş ve dört kurallı ANFIS yapısı	97
Şekil 5.1. NoMachine programı açılış ekran görüntüsü	121
Şekil 5.2. Gumbel çizim kağıdına çizilen dönüş periyodu-belirgin dalga yüksekliği grafiği.	131
Şekil 5.3. Dalga iklimi (41.50° N 31.10° E)	132
Şekil 5.4. Sırasıyla Accropode II, Xbloc ve Piblok resimleri	134
Şekil 5.5. GEBCO yazılımı ekran görüntüsü	134
Şekil 5.6. GEBCO yazılımındaki bölgenin batimetrisinin şekli	135
Şekil 5.7. GEBCO yazılımındaki bölgenin batimetrisinin şekli	135
Şekil 5.8. GEBCO yazılımındaki koordinatların elde edilme ekran görüntüsü	136
Şekil 5.9. Accropode II dizaynı için batimetri tablosu.....	136
Şekil 5.10. Accropode II ile tasarımı yapılmış taş dolgu dalgakıran enkesiti	138
Şekil 5.11. Accropode II ile tasarımı yapılmış taş dolgu dalgakıran kafası enkesiti	138
Şekil 5.12. Xbloc ile dizaynı yapılmış taş dolgu dalgakıran enkesit çizimleri	140
Şekil 5.13. Xbloc ile dizaynı yapılmış taş dolgu dalgakıran kafası enkesit çizimleri	140
Şekil 5.14. Pibloka ait taş dolgu dalgakıran enkesit çizimi	141
Şekil 5.15. Pibloka ait taş dolgu dalgakıran kafası enkesit çizimi	141
Şekil 5.16. ANFIS modeline ait eğitim ve test modelleri dalga yüksekliği tahmin sonuçları	144
Şekil 5.16. (Devam). ANFIS modeline ait eğitim ve test modelleri dalga yüksekliği tahmin sonuçları.....	145
Şekil 5.16. (Devam) ANFIS modeline ait eğitim ve test modelleri dalga yüksekliği tahmin sonuçları	146
Şekil 5.17. 2000 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	153
Şekil 5.18. 2001 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	153
Şekil 5.19. 2002 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	154
Şekil 5.20. 2003 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	154
Şekil 5.21. 2004 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	155
Şekil 5.22. 2005 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	155

Şekil 5.23. 2006 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	156
Şekil 5.24. 2007 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	156
Şekil 5.25. 2008 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	157
Şekil 5.26. 2009 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	157
Şekil 5.27. 2010 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	158
Şekil 5.28. 2011 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	158
Şekil 5.29. 2012 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	159
Şekil 5.30. 2013 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	159
Şekil 5.31. 2014 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	160
Şekil 5.32. 2015 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	160
Şekil 5.33. 2016 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	161
Şekil 5.34. 2017 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	161
Şekil 5.35. 2018 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği.....	162

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- e_t : Öngörü hatası
- B : Fark değeri
- r_k : k'ncı gecikmeye ait otokorelasyon değeri
- r_{kk} : k'ncı gecikmeye ait kısmi otokorelasyon değeri
- z_t : Zaman serisi
- \hat{z} : Öngörü değeri
- ε_t : Hata terimi
- \emptyset : Otoregresyon katsayısı
- θ : Hareketli ortalama katsayısı
- Φ : Mevsimsel otoregresyon katsayısı
- Θ : Mevsimsel hareketli ortalama katsayısı

Kısaltmalar

- ANFIS** : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
- AR** : Otoregresyon modelleri
- ARMA** : Otoregresif hareketli ortalama modelleri
- ARIMA** : Otoregresif entegre hareketli ortalama yöntemi
- BM** : Bulanık mantık
- ECMWF** : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
(Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi)
- H_s** : Belirgin dalga yüksekliği
- MA** : Hareketli ortalama modelleri
- MAE** : Ortalama mutlak hata
- NSE** : Nash-Sutcliffe efficiency (verimlilik katsayısı)
- PACF** : Kısmi otokorelasyon fonksiyonu

- R** : Korelasyon katsayısı
R² : Regresyon katsayısı
RMSE : Hata kareleri toplam kökü
YSA : Yapay sinir ağıları
WAM : Üçüncü kuşak dalga modeli

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde sosyal yaşam, ekonomi ve deniz ticaretinin gelişmesiyle açık deniz faaliyetleri çok önemli hale gelmiştir. Özellikle ülkemizin coğrafi yapısı sebebiyle üç tarafı denizlerle çevrili olması ve 8333 km. uzunluğunda kıyı şeridinde sahip olmasıyla deniz ülkesi olarak tanımlanabilmesinden dolayı kıyı mühendisliği faaliyetleri son zamanlarda hızla artmış ve inşaat mühendisliğinin önemli dallarından birisi haline gelmiştir.

Kıyı mühendisliği faaliyetleri, kıyılarda, ticaret, turizm ve balıkçılık sektörlerinin yeterli, ekonomik ve istikrarlı çalışabilmesi için gereklidir. Bu faaliyetlerle ilgili yapılar ticaret ve turizm limanları, kıyı koruma yapıları, kıyı yavaşma yapıları ve balıkçı barınakları örnek olarak verilebilir.

Kıyı koruma yapıları, genel olarak inşa edildikleri bölgenin arkasındaki yaşam alanlarını, limanları, sahilleri korumak ve insanlara güvenli alanlar sağlamak için inşa edilirler. Kıyı koruma yapılarına mahmuzlar, dalgakıranlar, kıyı tahkimatları ve kıyı duvarları örnek olarak verilebilir.

Kıyı ve deniz yapılarının tasarımı aşamasında kullanılan " H_s " yani belirgin dalga yüksekliği, yapıların ekonomik ömürleri boyunca dengede kalmalarını sağlayan ve buna doğrudan etkisi olan en önemli dalga parametresidir. Belirgin dalga yüksekliği parametresi sadece yapı tasarımında değil, kıyı erozyonu, kirletici yayılımı vb. kıyı mühendisliği alanına giren problemlerin doğru olarak çözülmesinde de etkin role sahiptir. Belirgin dalga yüksekliği ve diğer dalga parametrelerinin oşinografik cihazlar kullanılarak doğrudan sahada ölçülmesi hem zaman hem de maliyet açısından ölçüm yapanlara büyük külfet getirmektedir. Ülkemizde genellikle rüzgâr verileri sayesinde dalga verilerine geçilmesi çoğunlukla tercih edilmektedir (Mahjoobi ve ark., 2008 ; Rao ve Mandal, 2005). H_s tahmini için rüzgâr hızı, yönü, esme süresi, dalga kabarma (feç) mesafesi vb. girdi parametreleri literatürde rüzgâr etkenli dalga yükseklikleri ile ilgili çalışmalarda dikkate alınmaktadır (More ve Deo, 2003; Soylu, 2017). Denizdeki bir istasyondan ölçüm cihazları ile doğrudan elde edilen dalga parametresi çok kıymetli olmasının yanında, geliştirilecek herhangi bir yöntemle elde edilen sonuçlar ile bu veriler arasında karşılaştırma sağlamakta kullanılması açısından da önem arz etmektedir. Ayrıca

eksik ölçüm verilerinin tamamlanması ve uzun vadeli dalga tahminleri de bu yöntemler ile yapılabilmektedir. Sayısal modeller sıklıkla dalga enerji denge veya spektral enerji denklemlerini kullanmakta ve gerçek veriler ile kalibre edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Geliştirilen modellerin tutarlılığı ile dikkate alınan bölgenin oşinografik özelliklerinin doğruluğu doğrudan ilişkilidir. Literatürde belirtilen metot ve denklemler kullanılarak, dalga parametrelerinin tahmini için farklı modeller denenmiştir (Goda, 2003; Wilson, 1965). Bunların dışında, üçüncü kuşak dalga modeli olan ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) ile birlikte tüm dünyanın yaygın bir biçimde kullandığı modellerden olan ve dalga parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan Dalga Modeli (WAM) (Wamdi, 1988); ayrıca verilen rüzgâr, derinlik, akıntı şartları vb. dalga parametrelerinin gerçekçi tahminlerini elde etmek için kullanılan Sayısal Dalga Modeli (SWAN) (Booij ve ark., 1999) enerji transfer denklemlerine dayanan modellerdir.

Yapay zekâ teknikleri kullanılarak dalga verilerinin analiz ve tahminleri sıkça yapılmaktadır. (Balas ve ark., 2004; Tür ve Balas, 2010). Literatürde, rüzgâr etkenli dalgalar için Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımı kullanılarak dalga yüksekliği tahminleri yapılmıştır (Browne ve ark., 2007; Makarynsky ve ark. 2005).

Bu çalışma kapsamında, ECMWF ve Derin Deniz Dalga Atlası ile derin deniz belirgin dalga yüksekliği verileri elde edilmiş, çalışmanın 5.1. bölümünde belirtilen tercih sebeplerine istinaden ECMWF'ten elde edilen dalga yüksekliği verileri kullanılarak taş dolgu dalgakıran tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Ülkemiz kıyı yapılarında en çok tasarlanan taş dolgu dalgakıranlar için doğal taş ve yapay koruma tabakası olarak iki çeşit koruma tabakası çeşidi bulunmaktadır. Doğal taştan elde edilen koruma tabakası taş ocaktan elde edilmekte ve iki tabaka olarak inşa edilmektedir. Yüksek dalga değerlerinde ($H_s > 4m$) stabilite yönünden taş kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu durumda çift kat olarak antifer ve tetrapod malzemeler yapay koruma tabakası olarak kullanılabilir. Bu tez çalışmasında, yapay tek kat koruma tabakası ile dalgakıran tasarımının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu tasarımda Accropode II veya Xbloc gibi tek kat koruma tabakası kullanılabilir. Beraber bu tabakaların kullanılması için ülkemiz yurtdışına yüksek miktarda patent ücreti ödemek durumunda kalmaktadır. Bu nedenle, tezde, ülkemizde yeni geliştirilen Piblok yapay koruma tabakası ile tasarım uygulanmıştır.

Kıyı yapılarının tasarımında dinamik etkisi ile büyük öneme sahip dalga yüksekliği, geçmişte çoğunlukla sayısal ve stokastik yöntemler ile belirlenirken, son yıllarda yapay zekâ tekniklerinin de gelişmesi ile dalga parametresi tahminleri ve eksik dalga verisi gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Literatürde, yapay zekâ tekniklerinin performanslarının diğer yöntemlere kıyasla daha olumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ tekniklerinin gelişmesi ve çeşitlenmesi ile bu tekniklerin birbirlerine karşı birtakım üstünlükler sağladıkları belirlenmiştir. Bu tezdeki ANFIS modelleme çalışmasında 19 yıllık 6'şar saat arayla elde edilen dalga yüksekliği verileri kullanılmıştır. Modelleme için, MATLAB programında eğitim ve test verileri oluşturulmuş, ANFIS kodları yazılmıştır. Bu özgün çalışma kapsamında, H_s parametresinin girdi parametresi olduğu birçok model denenmiştir. Modeller 6 saatlik tahminler yapabilmekte veya geçmiş yıllara ait eksik verileri tamamlayabilmektedir. Modellerin genelinde, tahmin sonuçları düşük hata değerlerine sahiptirler. Modellerde Gauss ve Gumbell üyelik fonksiyonlarının diğer üyelik fonksiyonlarına oranla daha iyi sonuçlar verdiği ve optimizasyon yöntemi olarak Hybrid modellerin daha doğru tahmin modelleri sunduğu belirlenmiştir.

Zaman serisi analizi kullanılarak yapılan modellemede, ANFIS modelleme çalışmalarında da kullanılan 19 yıllık 6 saatlik arayla elde edilmiş dalga yüksekliği verilerinden oluşan seri kullanılmış, analiz sonunda ANFIS ile elde edilen verilerle istatistiki performansları karşılaştırılmıştır. EVIEWS programı kullanılarak elde edilen otokorelasyon ve kısmî otokorelasyon grafikleri kullanılarak model tahmini yapılmış ve AR(2) modelinin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. AR(2) modelinin geçerliliği araştırılmış, ileriye yönelik tahmin elde edilebilmesi için bir yöntem elde edilmiştir. Bu yöntemde elde edilen tüm yıllara ait saçılma diyagramları hem ANFIS hem de zaman serisi analizi için çizilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Taş Dolgu Dalgakıran Tasarımı ve Dalga İklimi Kaynak Araştırması

Limanları açıktan gelen dalgalardan korumak için inşa edilen dalgakıranlar kıyı koruma yapılarıdır. Taş dolgu dalgakıranlar ise heterojen olarak yerleştirilen değişik büyüklükteki doğal veya yapay koruma tabakalarının birleşmesiyle meydana gelmiş eğik yüzlü dalgakıranlardır. Taş dolgu dalgakıran ve tasarımını etkileyecek dalga iklimine ait ilgili kaynak araştırması sonuçları aşağıdaki gibidir:

Balas ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada liman yapılarının tasarım çalışmaları için dalga tahminleri yapılmıştır. Bu çalışmada liman koruma yapılarının tasarımında direkt olarak etkili olan dalga özelliklerini belirleyen dalga ikliminin çok önemli olduğu ve bu nedenle dalga ikliminin modelleme çalışmalarının koruma yapısının tasarımında büyük bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada Türkiye kıyıları için geliştirilmiş üç boyutlu hidrodinamik taşıma modeli olan HYDROTAM-3D modelinde rüzgâr ve dalga ikliminin alt modeli açıklanmış olup, çalışma alanı olarak seçilen Edremit ve Balıkesir bölgesinin rüzgâr ve dalga iklimi çalışmaları yapılmıştır.

Özbahçeci ve Bilyay (2007), çalışmalarında, Hudson ve Van der Meer denklemlerini, dalgaların kırılan ve kırılmayan durumlarını toplam 1260 tasarım seçeneği kullanarak karşılaştırmışlardır. Dalgaların farklı durumları için karşılaştırılmalarının sebebi, iki denklemde de bu durumlar için farklı parametrelerin kullanılmasıdır. Kırılan dalga durumunda Hudson Denklemine, kırılmayan dalga durumunda ise düzensiz dalga deneyleri sonucu elde edilen ve daha fazla parametre içeren Meer Denklemine kullanmayı önermişlerdir.

Yılmaz (2018) tarafından Samsun Körfezi için yapılan çalışmada, Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonunun 1970-2016 yılları arası saatlik rüzgâr ölçümleri, Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonunun Ocak 2014-Mart 2016 arası ölçümleri, körfez derin sularındaki dalgaölçer şamandıranın Ağustos 2015-Mart 2016 arası ölçümleri, 41.3°N-36.4°E, 41.4°N-36.4°E ve 41.5°N-36.4°E koordinatlarına ait Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) operasyonel arşivin 2000-2016 yılları arası altı saat aralıklı tahminleri, Mayıs 2015-Mayıs 2016 tarihleri arasında Samsun Körfezi kıyı sularında her ay düzenli olarak gerçekleştirilen fiziksel parametrelerin ve akıntıların

ölçümleri ve ayrıca coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve bulut bilişim destekli HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım sayısal model sistemi tahminleri kullanılmıştır. Tahminlerin birbirleriyle ve ölçümlerle karşılaştırılmaları ile yapılan sayısal çalışmalar, Samsun Körfezi kıyı sularının rüzgâr iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeninin başarı ile belirlendiğini ve sayısal model sisteminin kıyı alanları yönetim planlarının hazırlanmasında önemli bir araç olarak kullanılabileceği bu çalışma ile gösterilmektedir.

Turan (2000), dalgakıranlarda blok ağırlıklarının belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada, kıyılarda inşa edilen taş dolgu dalgakıranların dinamik dalga etkilerine, koruyucu tabakasında kullanılan blok ağırlıkları ile karşı koyduğundan koruyucu tabaka blok ağırlığının belirlenmesinin yapı stabilitesi için çok büyük önem arz ettiğini belirtmiştir. Bu çalışma ile bu yapıların üzerinde dinamik dalga hareketinin çok karmaşık olduğu ve bu nedenle oluşturacağı etkilerin tam olarak belirlenebilmesinin çok zor olduğu ayrıca konuyla ilgili laboratuvar model çalışmalarının devam ettiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, son yıllarda çeşitli ülkelerde yapılan ve geliştirilen bazı ampirik formüller karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve blok ağırlıklarının belirlenmesinde farklı kriterlerin sonuca etkileri incelenmiştir.

Park ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, taş dolgu dalgakıranların kıyı hattının dalga hareketi sonucu oluşan erozyondan korunması üzerine çalışılmıştır. Bu çalışma ile taş dolgu dalgakıranların farklı boyut ve özelliklerinin (yani dikey duvar yüksekliği ve tetrapod boyutu) dalga kabarmasındaki performansı incelenmiştir. Ayrıca çalışmada taşkın önlenmesinde ana yönetim parametrelerinin dikey duvar yüksekliği, tetrapod ağırlıklarının değişimi, başlangıç su seviyesi ve sabit dalga özellikleri altında üst üste binme hacmi olduğu belirlenmiştir. Çalışmadaki deney sonuçları, pürüzlülük faktörünün tetrapod büyüklüğüne göre değiştiğini göstermiş, deneysel sonuçlara göre su yüksekliğinin azalmasında ise dikey duvar yüksekliğinin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca, kıyı mühendislerinin daha iyi performans elde ederken maliyetten tasarruf etmeleri için tetrapod ile daha kısa bir dikey duvar seçebileceği anlatılmıştır.

Bruce ve ark. (2009), dalgakıran için koruma tabakası ve diğer elemanlarının yerleşimini ve bu yerleşimin etkisini daha iyi belirlemek için küçük ölçekli fiziksel model testleri hazırlayarak önemli bir program açıklamışlardır. Pürüzlülük faktörleri, kaya (iki

katman), küpler (tek katman ve iki katman), Tetrapod, Antifer, Haro, Accropode, Core-
Loc™ ve Xbloc™ için belirlenmiştir. Bu pürüzlülük etkisi faktörleri CLASH (Tam
Ölçekli İzleme ile Kıyı Yapılarının Kret Seviyesi Değerlendirmesi, Sinir Ağı Tahmini ve
İzin Verilen Dalga Üstü Tehlike Analiz Yapılan Veri Merkezi) veri tabanına dahil edildiği
ve yapay sinir ağında üst üste yerleştirme tahmininde kullanılabileceği ortaya
konulmuştur.

Güler ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada limanların, tsunamiler gibi
denizdeki doğal tehlikelerde en savunmasız kıyı tesislerinden biri olduğu, yıkıcı etkilerine
karşı korunması gerektiği ve bu nedenle tsunaminin dalgakıranlar gibi koruyucu yapılar
üzerindeki etkilerinin incelenmesinin çok önemli olduğu belirtilmiştir. Marmara Denizi,
tarihte tsunami üreten aktif bir deprem bölgesinin parçasıdır. Bu çalışma, İstanbul
Boğazi'nin (Marmara Denizi'nin kuzey kıyısı) güney girişinde yer alan Haydarpaşa
Limanı'nda yapılan bir çalışma olup tsunami saldırısı durumunda limanın performans
seviyesini incelemeyi amaçlamıştır. Fiziksel model deneyleri, Froude tipi uzunluk ölçeği
1/30 olan, Japonya'nın Liman ve Havaalanı Araştırma Enstitüsü'nde (PARI) 105 metrelik
dalgasında gerçekleştirilmiştir. Taş dolgu dalgakıranın stabilitesini test etmek için yapılan
deneyler iki yönlü gerçekleştirilmiştir. (i) yalnız dalga deneyleri (ii) tsunami taşma
deneyleri. Bu çalışma ile yapılan deneylerin sonuçları, Haydarpaşa Dalgakıranı'nın, ılımlı
bir tsunami saldırısı altında kararlı olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, aynı koşullar
altında iyileştirilmiş bir kesite sahip dalgakıran test edilmiş ve başarılı olduğu
gözlemlenmiştir.

Franco ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, küçük ölçekli model
testlerinin sonuçları ile taş dolgu dalgakırandaki dalga örtüşmesinin prototip ölçümleri
arasındaki karşılaştırma sunulmaktadır. İncelenen spesifik yapı, Ostia'daki (İtalya) Roma
yat limanının batı dalgakıranıdır ve deniz kenarındaki hafif bir eğim (1/4) ve uzun, sığ bir
deniz kıyısı ile karakterizedir. Laboratuvar testleri ilk önce dalgaların yükselmesiyle
meydana geldiği ve ölçtüğü iki fırtınayı dikkatli bir şekilde yeniden üretmeyi
amaçlamıştır. Testler, iki bağımsız laboratuvarında, biri dalga kanalında ve diğeri dalga
havasında, dolayısıyla iki boyutlu (2-D) ve üç boyutlu (3-D) düzenekler kullanılarak
gerçekleştirilmiştir. 2-D laboratuvar testlerinde fırtına reproduksiyonları sırasında taşma
meydana gelmemiştir; 3 boyutlu vakada prototipte gözlemlenenden beş ila on kat daha
küçük deşarjlar ölçülmüştür. Bu, model ve ölçek etkilerinin varlığını göstermektedir. Bu

etkiler, fırtına reproduksiyonlarına, değişen dalga ve su seviyesi özelliklerine ek olarak, her iki laboratuvarında da yapılan çeşitli parametrik testlerin sonuçlarına dayanarak tartışılmıştır. Gerçekleştirilen tüm testlerin 86 prototip ölçümüyle karşılaştırılması, hâlâ küçük taşkınların daha az olasılıklı tahmin edilmesine neden olan ölçek ve model etkilerinin varlığını göstermektedir. Suların çekildiği kıyıdaki dalga kırılmasının ölçek üretimi, prototip koşullarının 3 boyutlu özellikleri ve laboratuvar ölçümlerinde rüzgâr stresinin olmaması, ana ölçek ve model etki kaynakları olarak bireyselleştirilmiştir. Bu çalışma ile aynı zamanda, ellerindeki ile benzer yapıların varlığında, dalga yükselmesi için veriler ve büyük ölçüde kullanılan bir formül arasında karşılaştırma sağlar. Bu formülde ortaya çıkan bir pürüzlülük faktörünün uygun değeri araştırılmış ve taş dolgu dalgakıranlar ile ilgili diğer son araştırmalarla uyum bulunduğu bu çalışmada ile ortaya konulmuştur.

Vidal ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada kullanım ömründe bir taş dolgu dalgakıranına ulaşan en yüksek 50 dalganın ortalama dalga yüksekliği olarak tanımlanan H_{50} dalga yüksekliği parametresinin oluşturacağı hasarın koruma tabakası üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada düzenli ve düzensiz deniz durumları için H_{50} dönüşümlü formüller kullanıldığında, hasar tahminlerinin dalga yüksekliği parametresinden nasıl bağımsız olduğu gösterilmiştir. H_{50} formüllerinin, farklı dalga yüksekliği dağılımları olan deniz durumlarından sonra ardarda meydana gelen hasar gelişimini tahmin etme yeteneğini kontrol etmek için, düzenli ve düzensiz dalgalarla bazı kararlılık testlerinin yapıldığı, deney sonuçlarının analiz edilmesinden sonra, H_{50} formülleri ile hesaplanan hasar, deniz durumu dalga yüksekliği dağılımından veya deniz durumlarından bağımsız olarak nasıl tahmin edilebileceği bu çalışmada gösterilmiştir.

Norgaard ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, sert kron duvarların dikey ön yüzlerindeki dalga yükleri için yarı ampirik formüllerin, derin ve orta su dalgası koşullarına sahip model testlerine dayanmakta olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca bu çalışmada, hem derin hem de sığ su dalgası koşullarında yükleri kapsayacak şekilde formüllerde bir değişiklik/genişleme sunulmuştur. Modifikasyon, üst yapısı taş duvardan oluşan tipik taş dolgu dalgakıranlar üzerinde 162 fiziksel model testine dayanmaktadır. Dalga ilerlemesi, dalga yüksekliği dağılımına bağlı olacak şekilde değiştirilmiştir. Ayrıca, ayarlanmış formüllerin, ön zırh koruması olmadan serbest duvarlardaki dalga yükleri için daha doğru tahminler sağladığı bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

2.2. Yapay Zekâ ve Zaman Serisi Analizi Kaynak Araştırması

Yapay zekâ, günümüzde birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaya başlanmış olup, dünyada ve ülkemizde önemi gün geçtikçe artan, özellikle de karmaşık ve yüksek derecede belirsizlikler içeren kıyı liman mühendisliği problemlerinde de uygulanarak diğer yöntemlere alternatif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapay zekânın alternatifi olacak şekilde birçok literatürde karşılaştırılarak öngörü ve tahmin işlemleri yapılan zaman serisi analizleri kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ ve zaman serisi analizi ile ilgili kaynak çalışmaları özetleyecek olursak;

Tür ve Balas (2010) tarafından yapılan çalışmada, deniz mühendisliği yapılarının tasarımında belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) tahmini ilk ve en önemli aşamayı oluşturmuştur. Çalışma ile Neuro-Fuzzy Yöntemi literatürde yer alan deterministik ve stokastik yöntemlerin alternatifi olarak önerilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen tahmin modelinde, günlük ortalama dalga yüksekliği (H_s) ve belirgin dalga periyodu (T_s) verileri kullanılarak günlük H_s tahmini yapabilen Neuro-Fuzzy modeller önerilmiştir. Çalışmada, Filyos deniz yöresinde ölçülmüş olan H_s ve T_s değerleri kullanılarak Uyarlamalı Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS, Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System) ile tahmin yapılmış, elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek dalga yükseklikleri karşılaştırılmış ve yüksek korelasyon değerlerinin elde edilmesi ile kullanılan modelin eksik dalga verilerinin tahmin edilmesinde verimli olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Koç ve ark. (2004), “Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları ile Ön Tasarımı” isimli çalışmalarında, karmaşık sistemlerin modelleme çalışmasında sıklıkla kullanılan yapay sinir ağlarının bir yapay zekâ tekniği olduğunu ve basitleştirilmiş olarak insan beynindeki biyolojik sinir hücrelerinin modellenmesine dayandığını belirtmişlerdir. Van der Meer Denklemlerinin taş dolgu dalgakıranların tasarımında yaygın olarak kullanıldığı ve hidrolik model deneylerin sonuçlarından elde edilmesi sebebiyle ve denklemlerin deney verilerini ortalama olarak ifade etmesinden dolayı tasarımda belirsizlik kaynağı olduğundan yapının güvenilirliğini etkilediği anlatılmıştır. Böylece bu çalışmada, Mersin Yat Limanı taş dolgu dalgakıran ön tasarımı için Van der Meer deney verilerini kullanarak “tasarım yapay sinir ağı” geliştirilmiştir. İleri beslemeli denetimli sinir ağlar ile yapılan modellemede Van der Meer Denklemlerine kıyasla daha yüksek bir

modelleme yeteneği gösterebildiği bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Deterministik yöntemler yerine taş dolgu dalgakıranların doğrusal olmayan yapay zekâ teknikleri ile tasarlanmasının belirsizliklerin azaltılmasını sağladığı bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Güzel (2010), isimli yüksek lisans çalışmasında, zaman serilerinin analizi ile ilgili birçok yaklaşım kullanmıştır. Kıyı yapılarının projelendirilmesinde, yerinde yapılan ölçümlerden elde edilen veriler, yapılacak olan projenin devamlılığı açısından çok önemli olduğu ve bu sebepten bu çalışmada planlanan Filyos Limanı için yörede yapılan dalga yüksekliliği ölçüm verileri kullanıldığı bildirilmiştir. Ancak bu verilere ait zaman serisinde engel olunamayan sebeplerden dolayı eksiklikler olduğundan bu eksik kalan dalga yüksekliliği verilerinin tamamlanmasında Yapay Sinir Ağları, ARIMA Modelleri ve Melez Modeller kullanıldığı ve çalışma ile tamamlandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışma ile sinir ağı modeli seçilen zaman serisi ile uyum sağlamasına rağmen, diğer serilerin yapay sinir ağı modelinden daha yakın sonuçlar verdiği ve bu sebepten ARIMA modelinin göz ardı edilmemesi gerektiği anlatılmıştır.

Bozkurt (2003), yaptığı çalışmada zaman serisi analizi ile eksik verilerin tamamlanmasında yeni bir yaklaşımda bulunmuştur. Bu alışma ile lagne ait doğal yapının anlaşılma amacıyla 4 noktada su seviyesini ölçen cihazların monte edildiği ancak bazı sebeplerle cihazın verilerin belli aralıklarla kayıtlarının eksik olmasından dolayı eksik verilerin dışındaki sürekli olan verilerin kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, sürekli veri serilerine  yöntem uygulandığı ve bunların korelasyon, AR modeli ve regresyon yöntemi olduğu ve bu çalışma ile AR modeli kullanılarak su seviyesi verileri eksiklerinin tahmin edildiği belirtilmiştir. Çalışmada AR modeli tahminlerinin yüksek sonuçlar sağladığı ve elde bulunan verilerin tahmini ve kontrolü ile de AR modelinin Köyceğiz gl su seviyesi verilerinin tahminine uygun olduğunu sonucuna ulaşılmıştır.

Corchado ve Aiken (2002) tarafından yapılan çalışmada, karmaşık ve dinamik bir ortam olan okyanusun fiziksel parametre değerlerinin gerçek zamanlı tahmin edilmesini sağlayan hibrit problem çözme yaklaşımı sunulmuştur. Bazı durumlarda bilinmeyen veya bulanık bir sistem olan kurallarda, sistemin karakteristik davranışlarını belirleyen parametrik değerlerin tahmininin problemleri bir iç olabildiği ve bu gibi durumlarda hibrit yapay zekâ modelinin diğer sembolik tekniklerden çok daha efektif bir performans yöntemleri sağlayabildiği ne sürülmüştür. Geliştirilmiş olan hibrit tahmin sistemi, radyal

temel işlevli yapay sinir ağı ile birleştirilmiş ve sistemin yürüttüğü gerçek zamanlı deneylerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Abraham ve Nath (2000), hibrit zekâ sistemleri (HIS) için ortaya çıkan ihtiyacın günümüzde önemli araştırmalar ve geliştirme işleri için çok önemli bir motivasyon kaynağı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yakın zamanda pek çok yeni yapay zekâ sistemi ortaya atılmıştır. Bunlar Lotfi Zadeh tarafından tanıtılan Soft Computing (SC) tarafından geliştirilen ve kendi içerisinde dallara ayrılarak yapay sinir ağları, bulanık mantık, yaklaşık akıl yürütme ve genetic algoritma (GA) ve tabu araması, (matematiksel optimizasyon için kullanılan yerel arama yöntemleri) türevi gibi ücretsiz optimizasyon yöntemlerinden oluşan hesaplamalı akıllı hibrit sistemler oluşturmak için yenilikçi bir yaklaşım olduğu söylenmiştir. Yaygın sistem eksikliği yüzünden, kalıntıları çeşitli hibrit sistemleriyle karşılaştırmak ve karşılaştırmalı olarak performanslarını değerlendirmek bazen zor olmasına rağmen HIS'in yaklaşık olarak 10 yıldır kullanıldığı bildirilmiştir. Bu çalışmada amaç, geçen 10 yılda, HIS içeren ustalık derecesindeki yapay zekâları sınıflandırmaktır. Ayrıca yapılan çalışmaları özetlemeye ve HIS konusundaki vizyonun şu an ve gelecekteki araştırma yönleri sunulmaya çalışılmıştır.

Mastorocostas ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada, kısa vadeli yük tahmini için Hibrit Bulanık Mantık Model yöntemi geliştirilmiştir. Yeni yaklaşım, Yunan elektrik sisteminin verileri kullanılarak test edilmiş ve yük tahminlerinin tatmin edici doğrulukta rapor edildiği bildirilmiştir.

Pappas ve Ekonomou (2006) tarafından yapılan çalışmada, zaman serileri tahmin problemi incelenmektedir. Yapay zeka yöntemleri, etkinliklerini ve ürettikleri sonuçları karşılaştırmak için iki farklı zaman serisine uygulanmış, her yöntemin avantajları ve dezavantajları ile birlikte faydalı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir.

Tür ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, dalga parametrelerinin, kıyı yapılarının planlanması, tasarımı, yapımı ve bakımı için tahmin edilmesinin önemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada, Türkiye'nin Akdeniz kıyı şeridinde yer alan Antalya'daki Konyaaltı Sahili için önemli dalga yükseklikleri (H_s) tahmini yapılmaktadır. Çalışma ile Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nden (ECMWF) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Dalga Tahmin Modeli (WAM), Ampirik Model (CEM), Wilson dahil olmak üzere literatürdeki sayısal ve parametrik yöntemlerle elde

edilen rüzgâr verilerine göre önemli dalga yüksekliği tahminleri yapılmış, SMB Sverdrup-Munk-Bretschneider ampirik modeli yöntemlerine (Bretschneider, 1970) ampirik yöntemi, ECMWF'den elde edilen 13 yıllık rüzgâr verilerini WAM ve CEM yönteminde kullanmış, Wilson yönteminde de Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan 30 yıllık rüzgâr verileri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin doğruluğu, Gumbel Dağılım Fonksiyonları ile Konyaaltı Kıyıları ve Türkiye Kıyıları için Rüzgâr ve Derin Su Dalga Atlası ile karşılaştırılarak incelenmiş, sonuçta, CEM yönteminin, çalışma alanı için diğer önemli dalga yüksekliği tahmin yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha tutarlı sonuçlar sağladığı bulunmuştur.

Aydilek ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışma ile, elektrik enerjisinin doğası nedeniyle depolanamadığından, kısa ve uzun vadeli elektrik üretim ve tüketim tahminlerinin, elektrik piyasasının devamlılığını sağlamada kritik öneme sahip olduğu ve rüzgâr enerjisinin üretimi için tahminlerin, rüzgâr hızının tahmini ile paralel olduğu belirtilmiştir. Rüzgâr hızı tahminleri mevsimsel ve zamana bağlı trendler içerdiğinden, rüzgâr enerjisi tahmininde zaman serisi tahmin yöntemlerinin başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca kısa ve uzun vadeli üretim tahminlerini yapabilmek için en uygun zaman serisi tahmin yöntemi seçiminin büyük öneme sahip olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışma ile Kırıkkale Üniversitesi'ndeki rüzgâr türbini için Koentegrasyon Analizi Eş Bütünleştirme (ES) ve Otoresif Hareketli Ortalama (ARMA) yöntemleri kullanılarak kısa ve uzun vadeli rüzgâr hızı tahminleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan modelleme ile ulaşılan sonuçların kısa ve uzun vadeli rüzgâr hızını tahmin etmek için en uygun yöntemler olduğu belirtilmiştir.

Hosseini ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, beklenmedik olayların büyüklüğü, hızı ve sıklığı bilgilerinin hidrolojide büyük önem taşıdığından bahsedilmiş günümüzde de projelerin ekonomik planlaması için, beklenmedik olayların analitik yöntemlerle tahmininin kullanılmasının önemine değinilmiş ve ayrıca bu çalışma ile Horasan Razavi İli için seçilen su ölçüm istasyonlarında taşkını tahmin etmek için hibrit regresyon ve çok değişkenli regresyonun karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla 19 hidrometrik istasyon verisi analiz edilmiş ve ilk adımda en yüksek bölgesel dağılımın seçilmesiyle (log normal dağılım tipi III) farklı geri dönüş süreleriyle tepe eşik oranı hesaplanmış ve bir sonraki adımda ise ortalama yıllık yağış, su havzasının ortalama yüksekliği ve eğim dahil olmak üzere bağımsız ve önemli değişkenler, fonksiyonel analiz

ve SPSS (Ver 22) kullanılarak tespit edilmiştir. Analiz için iki model sunulmuş olup tahmin modellerinin doğruluğunu ve verimliliğini karşılaştırmak ve değerlendirmek için deşarj oranları tahmin edilmiş ve üç kontrol havzasını kullanan gözlem oranları bu çalışmada karşılaştırılmıştır. Modelleri karşılaştırmak için, ortalama mutlak hata değerleri kullanılmıştır. Homojen alanların, tüm alana kıyasla daha yüksek regresyon katsayısına (R^2) ve daha düşük hata kareleri toplamı köküne (RMSE) sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada geri dönüş süresinin artmasıyla, R^2 oranlarının azaldığı ortaya çıkmıştır. Çok değişkenli regresyon ve hibrit yöntemlerin doğruluğunun 25 yıllık geri dönüş döneminde aynı olduğu bulunmuştur. Çalışma sonunda homojen alanların tüm alan modeline göre öneminin ve gerekliliğinin net ve açık bir şekilde ispatlanmış olduğu belirtilmiştir.

Akbari ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışma ile yapay sinir ağları, bölgedeki düşük yağış tahminlerini elde etmek için geliştirildi. Çalışmada çok katmanlı bir ağ, düşük yağışlı nicelikler ile fizyografik değişkenler arasındaki işlevsellik ilişkisini tanımlamak için kullanılmıştır. Tek bir YSA'nın genelleme kabiliyetini geliştirmek için, aynı görev için eğitilmiş birkaç YSA, bir grup olarak çalıştırılmıştır. Bu çalışma ile önerilen yaklaşım, İran'ın Lorestan ilçesinde seçilen havzaya, yaz ve kış aylarında temsili birkaç düşük yağış miktarları için tahminler elde etmek için uygulanmıştır. Jackknife Doğrulama Prosedürü, önerilen modellerin performansını değerlendirmek için kullanılmış YSA temelli yaklaşım, geleneksel parametrik dönüş modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlar, tekli ve grup olan YSA modellerinin, diğer geleneksel dönüş modellerine göre daha üstün tahminler sağladığını göstermiştir. Ayrıca YSA grubu yaklaşımının, tekli YSA modellerine göre daha iyi genelleme kabiliyeti sağladığı bu çalışmada ortaya konulmuştur.

Büyükyıldız (2004), Orta Anadolu Kapalı Havzası'ndaki 1611, 1612 ve 1622 numaralı akım gözlem istasyonlarına ait ölçülen yıllık ortalama akımların stokastik modellerini oluşturmuş ve bu modellerin AR ve ARMA modeller olduğunu söylemiştir. Model seçimi için korelogram ve kısmi korelogramlar incelenmiş ve otoregresif (AR) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) model tipi hakkında bir ön değerlendirme yapılmış ve incelenen akım gözlem istasyonlarına ait yıllık ortalama akım serileri için her üç istasyonda da en uygun otoregresif modelin AR(1), 1611 ve 1612 numaralı istasyonlarda en uygun otoregresif hareketli ortalama modelin ARMA(1,1) ve 1622

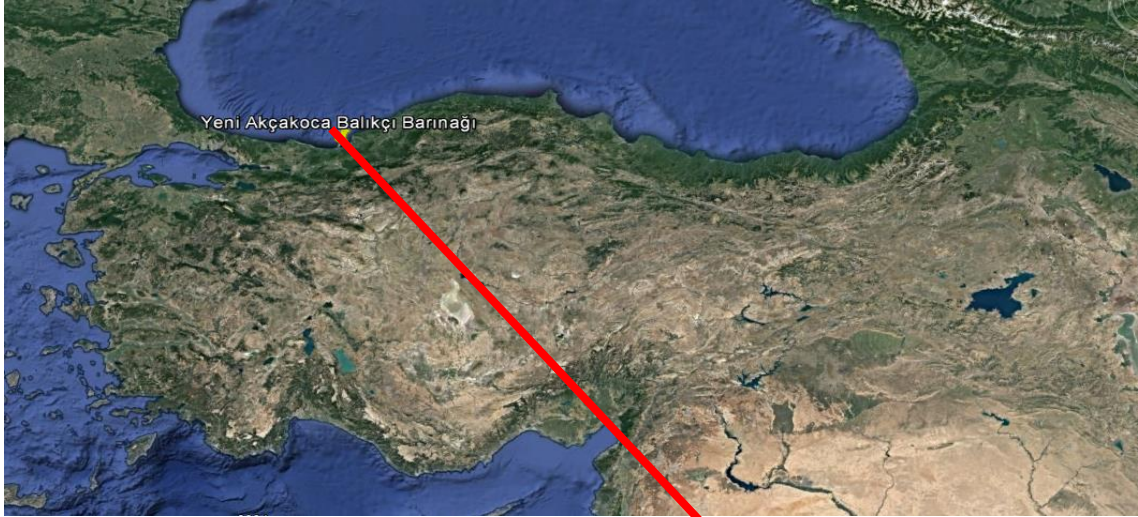
numaralı istasyonda ise ARMA(2,1) olduğu bu çalışma ile tespit edilmiştir. Çalışma ile uygun modeller kullanılarak üretilen sentetik serilerin istatistiksel karakteristikleri (ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı, korelogram gibi) hesaplanmış ve bunlar tarihi (orijinal) serinin istatistiksel karakteristikleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, her üç istasyonda da kurulan stokastik modellerin, tarihi serilerin istatistiksel karakteristiklerini muhafaza ettiği gözlemlenmiştir.

Altunkaynak ve Başakın (2017), insan hayatının süregelmesi için su kaynaklarının büyük önem arz ettiği ve bu nedenle kuraklığa karşı su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve kullanımı için çok iyi bir planlamanın olması gerekliliğine değinmişlerdir. Bu çalışma ile, bir su kaynağının gelecekte sahip olması beklenen potansiyelinin belirlenmesi için Amerika'da bulunan Columbia Nehri'nin 1950-1960 yılları arasında ölçülmüş olan günlük akım verileri için bazı matematiksel tahmin modelleri kullanılmış ve yeni matematik modelleri geliştirilmiştir. Bu modellemeler, ANFIS, Yapay Sinir Ağları ile Doğrusal Olmayan Otoregresif Model (NAR) ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama Modeller (ARIMA)'dır. Çalışma ile, modellerin tahmin performansları istatistiksel kriterlere göre değerlendirilmiş ve Bulanık Mantık Model tahmin sonuçlarının NAR ve ARIMA model tahmin sonuçlarından daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yarar (2010) çalışmasında, hidrolojik olayların planlanmasında çok farklı parametrelerin etkin olduğunu, bu nedenle analizlerde zorluklar yaşandığını ve ayrıca bu parametrelerin değişkenleri arasında kesin bir bağlantıdan söz edilemediği için algoritmalara ve istatistiksel yöntemlere yönelindiğini anlatmıştır. Bu çalışmada, Susurluk Havzası'na ait 7 farklı akım gözlem istasyonunun aylık ortalama akım verileri elde edilerek bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile modellenmiş ve zaman serileri modeli olan ARIMA modeli ile karşılaştırılmıştır. Zaman serileri modelinde, uygun ARIMA modelini tahmin etmek amacıyla otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri incelenmiştir. Modellerin Ortalama Karesel Hata değerleri ve R^2 değerleri hesaplanarak istatistiksel performanslarına bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşük R^2 değeri olan iki akım gözlem istasyonu dışında yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleri ile kabul edilebilir sonuçlar üretilebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

3. AKÇAKOCA DENİZEL ALANI ÇALIŞMA SAHASI

Tez çalışma sahası, konum olarak Akçakoca kıyısı ve denizel alanını kapsamaktadır. Şekil 3.1 ve 3.2’de çalışma sahasının haritadaki konumu gözükmemektedir.



Şekil 3.1. Çalışma sahası genel coğrafi konumu (Google Earth, 2019)



Şekil 3.2. Çalışma sahasının konumu (Google Earth, 2019)

Akçakoca, Karadeniz Bölgesinin deniz kıyısında bulunan ve en batıda kalan ilçelerinden biridir. Yüzölçümü 440 km² olan Akçakoca İlçesi, doğuda Zonguldak İli, güneydoğuda Yığılca İlçesi, güneyde Merkez İlçe ve Çilimli İlçesi, güneybatıda Cumayeri İlçesi, batıda Sakarya İli ve kuzeyde Karadeniz ile çevrili olup, Orta Anadolu'nun denize açılan en yakın penceresi konumundadır. Bağlı bulunduğu Düzce

İline 38 km. uzaklıkta olan Akçakoca'nın nüfusu 37.802'dir. En önemli akarsuyu Karadeniz'e dökülen Büyük Melen Çayı'dır. Yazın ilçe kıyılarında canlı bir iç turizm hareketi göze çarpmaktadır. Kıyıda bu amaçla yapılmış bir çok konut ve tesis bulunmaktadır. Denize yakın birkaç tepeyle, bu tepeler arasındaki bir düzlükte yer alan Akçakoca, Karadeniz kıyı şeridinde 35 km. uzunluğunda geniş ve güzel bir kumsala sahip olup, özellikle 1950'den sonra güzelliğiyle turistik bir yer haline gelmeye başlamıştır. Bu çalışmamızda, Akçakoca Denizel Alanında taş dolgu dalgakıran tasarımı için gerekli olan belirgin dalga yüksekliği ile ilgili analizler yapılmıştır.

4. MATERYAL YÖNTEM

4.1. Dalga İklimi Modeli

Akçakoca Denizel Alanına yapılması planlanan taş dolgu dalgakıran tasarımı için gerekli en önemli parametre olan belirgin dalga yüksekliğini (H_s) elde etmek için iki ayrı kaynak kullanılmıştır. Derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin elde edildiği kaynaklar;

- Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)
- ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi)'dir.

4.1.1. Dizayn dalgasının Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlasıyla elde edilmesi

Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002), Türkiye kıyıları için yapılan ve yapılacak olan rüzgâr ve dalga iklimi çalışmalarının en önemlilerinden birisidir. Bu çalışmada, yıllık ve mevsimlik olarak dalga gülleri, rüzgâr gülleri sunulmuş, ayrıca dalga yüksekliğinin periyodu ile ilişkili lokasyonlara yakın her bir koordinat için belirgin dalga yükseklikleri verilmiştir. Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası çalışmasının amacı, çalışmanın başladığı 1999 yılının sonunda kıyı yapıları tasarımında kullanılacak olan belirgin dalga yüksekliğinin ECMWF tarafından elde edilmesine rağmen (rüzgâr alanları, dalga tahminleri) yalnızca 8 yılı kapsamıdır. Tasarım için 8 yıllık veri yetersiz olup en az 20 yıl süreli veri gerekmektedir. Ayrıca günümüzde kıyı yapıları tasarımında kullanılan Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'daki en büyük değer istatistiğinin elde edilmesi için de en az 20 yıllık veriye ihtiyaç duyulduğundan bu atlas çalışması başlanılmıştır. Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası'nın (Özhan ve Abdalla, 2002) elde edilmesi için Türkiye kıyılarındaki meteoroloji istasyonlarından 1975-1995 yılları arasında gerçekleşen fırtınaların belirlenmesi için geniş bir çalışma yapılmıştır. 32 adet meteoroloji istasyonunca hazırlanan "saatlik rüzgâr cetvelleri" yardımıyla veriler elde edilmiştir. Bu veriler sayesinde, yukarıda bahsedilen parametreler yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülleri ve dalga gülleri, ekstrem değer analizleri ve belirgin dalga yüksekliğinin dalga periyodu ile ilişkisi, her bir lokasyonun rüzgâr hızları ve belirgin dalga yükseklikleri için elde edilerek sunulmuştur. Bu çalışma, NATO TU-

WAVES Projesi kapsamında hazırlanmıştır. Bu proje ile, derin deniz koşulu sağlamak için 1000 m derinliğinde çanak olarak kabul edilen denizlerin, NATO TU-WAVES'in gerçek dalga ölçülerine göre Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası kalibrasyonu yapılmıştır. Böylece Atlas Çalışması, yıllık en büyük rüzgâr hızı ile belirgin dalga yüksekliğinin en büyük değerler istatistiği verilerek 1999 yılının sonunda başlamış, 2002 yılında tamamlanarak tasarım dalgasının seçilmesinde önemli kaynaklardan biri haline gelmiştir. Ancak Atlas'ta sadece Karadeniz kıyıları için 20, Ege ve Akdeniz kıyıları için 17 yıllık veriler kullanılmıştır.

Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası'ndaki dalgalar, 1988 yılında Dalga Modeli Geliştirme ve Uygulama Grubu (WAMDI) (Wave Model Development and Implementation) tarafından üretilen üçüncü nesil dalga tahmin modeli olan WAM'a (Wave Model) göre modellenmiştir. Bu model, bugün dünyada kullanılan üçüncü kuşak dalga modelleri arasında en yaygın kullanılan modellerden birisidir. Atlasta, WAM modeli ile rüzgâr girdisi, dalga kırılması sonrası dağılımlar ve farklı spektrum bileşenlerine sahip lineer olmayan dalgaların etkileşimleri de yer almıştır.

4.1.2. Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (European Centre For Medium-Range Weather Forecasts) (ECMWF) veri işlemleri

Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF), Avrupa İşbirliği Projesi (COST) kapsamında Bilim ve Teknoloji alanında kurulmuş ve bağımsız bir uluslararası teşkilata dönüşmüştür. ECMWF, 01 Kasım 1975 yılında 34 ülke tarafından kurulmuş bağımsız bir kuruluştur. Merkezi, İngiltere'nin Londra şehri yakınlarındaki Reading kasabasındaki Shinfield Park'ta bulunmaktadır. Türkiye, ECMWF'ye 13 Kasım 1975 ve 7/1890 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile resmen üye olmuştur. ECMWF, Avrupa devletlerinden 34 devlet tarafından desteklenmektedir. ECMWF'ye doğrudan üye olan ülkeler Belçika, Danimarka, Almanya, İspanya, Fransa, Yunanistan, İrlanda, İzlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Avusturya, Portekiz, Sırbistan, Slovenya, İsviçre, Finlandiya, İsveç, Türkiye ve İngiltere Birleşik Krallığı ülkeleri olarak 21 ülkeyi kapsamaktadır. Ayrıca, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Hırvatistan, Makedonya, Macaristan, İsrail, Litvanya, Letonya, Karadağ, Fas, Romanya ve Slovakya gibi 13 ülke ise, işbirliği statüsü ile merkeze üye ülkelerdendir. ECMWF, bünyesinde hem bir araştırma enstitüsü

bulunduran hem de 7/24 operasyonel olarak faaliyet gösteren bir kuruluştur. ECMWF, üye ülkelere, tezimizde de kullandığımız dalga yüksekliği, dalga periyodu, dalga yönü ve hava tahminleri gibi verileri temin etmektedir. Bu sayede bu veriler, üye ülkelerdeki ulusal meteoroloji teşkilatları tarafından ulusal ve uluslararası tahmin çalışmalarında kullanılmaktadır.

ECMWF kuruluşunun işbirliği yaptığı diğer kuruluşlar;

- Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO),
- Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT),
- Kalkınma için Afrika Meteorolojik Uygulamalar Merkezi (ACMAD),
- Kapsamlı Nükleer Denemelerin Yasaklanması Antlaşması Örgütü (CTBTO),
- Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'dır.

ECMWF'in temel amaçları;

- Orta vadeli hava tahminleri için sayısal modeller geliştirmek,
- Orta vadeli hava tahminleri hazırlamak ve üye devletlerin meteoroloji servislerine düzenli bir şekilde dağıtmak,
- Hazırlamakta olduğu tahminlerin geliştirilmesi için bilimsel ve teknik araştırma ve geliştirme çalışmalarını sürdürmek,
- Gerekli meteorolojik verileri toplamak ve elinde bulundurmak,
- Bilgisayar kapasitesinin bir bölümünü, araştırma çalışmaları için üye devletlerin kullanımına sunmak,
- Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) programlarının uygulanmasına destek olmak,
- Üye devletlerin bilim adamlarına sayısal hava tahminleri ve ilgili alanlarda ileri düzeyde eğitim sağlamak,
- Arşivindeki verileri diğer kurum, kuruluş ve organizasyonların kullanımına sunmaktır.

Çalışmamız için elde ettiğimiz 19 yıllık veriler operasyonel arşiv verileridir. Operasyonel arşiv sistemindeki dalga verileri, 1988 yılında Dalga Modeli Geliştirme ve Uygulama Grubu (WAMDI) (Wave Model Development and Implementation-Dalga Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması) tarafından üretilmiştir. Bu üretilen veriler, üçüncü nesil dalga tahmin modeli olan WAM modelinden alınan verilerdir. WAM modeli 2 boyutlu dalga spektrumunu tanımlamaktadır ve operasyonel olarak ECMWF'de

çalışılmaktadır. WAM modeline, dalga kırılması sonrası dağılmalar, farklı spektrum bileşenlerine sahip lineer olmayan dalgaların etkileşimleri ve rüzgâr girdisi de dâhil edilmiştir. Modelde herhangi bir okyanus alanı için küresel enlem-boylam gridi kullanılmıştır.

4.1.2.1. ECMWF'den veri indirilmesi

ECMWF'den verileri elde etmek için NoMachine bilgisayar programı kullanılmıştır.

4.1.2.1.1. NoMachine programı

NoMachine programı yaygın olarak NX veya NoMachine olarak bilinen NX teknolojisi ürünüdür. Programı geliştiren şirket Lüksemburg merkezli olup ismi NoMachine Şirkettir. NoMachine programı, 14 Şubat 2003 tarihinde tescilli olarak alınmış, kapalı kaynaklı bir lisans altında kamuoyuna sunulmuş ve ilk kez Windows ve Mac sunucuları için yerel bir sürüm sağlanmıştır. 2013 yılında NX yazılımı NoMachine yazılımı haline gelmiştir. Programı kullanmak için <https://www.nomachine.com/> isimli siteden öncelikle "NoMachine" isimli program indirilmiş ve bilgisayara kurulmuştur. Program kurulumu ve veri indirme işlemleri tamamlanmış, program kurulduktan sonra indirilen tüm veri bu doktora tezinde kullanılmıştır.

4.1.3. İndirilen dalga yüksekliği verilerine göre 50 yılda tekrar eden derin deniz belirgin dalga yüksekliği (H_s)'in bulunması

Denizin durumu, yerel ve açık denizlerdeki rüzgâr, gel-git gibi bazı faktörlere göre değişmektedir. Bu nedenle genellikle tahminler 1 ila 6 saate kadar değişen aralıklar için yapılmaktadır. Tasarım için kullanılacak derin deniz belirgin dalga yüksekliğinin bulunması için ECMWF'den 19 yıla ait dalga yüksekliği, periyot ve yön verileri 6 saatlik periyotlarla indirilmiştir.

En büyük değer dalga istatistiği genelde kıyı yapılarının performans ve stabilite dizaynı için kullanılmaktadır. En büyük değer dalga istatistiğinde amaç 100 yıl ve daha uzun süre dönüş periyoduna sahip olan dalgaları saptamaktır. Bu hesap uzun dönem dalga istatistiğinde 10-30 yıllık periyoda göre yapının ekonomik ömründe bir kez karşılaşacağı dalga verisinin elde edilmesini sağlamaktadır.

En büyük değer dalga istatistiği için kullanılacak verilerin seçimi için 3 metot vardır. Bunlar:

- Normal Dağılım Metodu
- Yıllık Maksimum Metodu
- Tepe Eşik (Sınır Değer) Metodudur.

Tez kapsamında en büyük değer dalga istatistiği için yıllık maksimum metot kullanılmıştır. Bunun için 19 yıla ait her yılın maksimum dalga yüksekliği elde edilmiştir.

Kıyı yapılarıyla ilgili birçok tasarım sadece ekstrem şartlara ihtiyaç duymaktadır. Ekstrem olasılık dağılım fonksiyonları için bu tür veri setleri her bir büyük fırtınada birden fazla veri değeri almaktadır.

Ekstrem olasılık dağılım fonksiyonlarında bu çalışmada da kullandığımız her bir yılın maksimum değerini veren yıllık veri seti kullanılmaktadır. Bu yaklaşım için en az 10 yıl veya daha uzun zaman sürelerinde istatistiki tahmine veya kayıttan oluşan verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler yıllık veri seti veya kısmı veri seti olsun, bu veri setinin değerlendirilmesinde ekstrem dağılım fonksiyonlarından biri kullanılmaktadır. Bunun için de mevcut verilere en iyi uyum sağlayan farklı olasılık fonksiyonları kullanılmaktadır. Aslında bir olasılık dağılım fonksiyonunun bir diğer olasılık dağılım fonksiyonuna göre tercih edilmesi için teorik neden yoktur. Bunun için verilerle en iyi uyum sağlayan fonksiyon seçilerek dalga yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılmalıdır. (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016)

4.1.3.1. Normal dağılım

Normal dağılım metodunda yıllara göre tüm dalga yüksekliği verilerinden faydalanılmaktadır. Veriler kümülatif dağılımın yayılım fonksiyonuna uyması ile analiz edilmekte olup en uygun fonksiyon bulunduktan sonra dizayn periyoduna denk gelen olasılığın ait olduğu dalga yüksekliği dizayn dalga yüksekliği olarak seçilmektedir.

Normal dağılım metodunda bağımsızlık en önemli parametrelerden biridir. Bağımsızlık, verilerin istatikselsel olarak birbirinden bağımsız olması olarak açıklanabilir. Diğer bir deyişle iki veri arasındaki korelasyon katsayısının sıfıra yakın olması anlamına da gelmektedir. Yıllık ve kısmî dalga verileri farklı fırtınalardan alındığı için bağımsız olma koşulunu sağlaması gerekmektedir.

Normal dağılımda homojenlik tanımı, veri topluluğunun popülasyon adı verilen ortak yayılımına sahip olmasıdır. En büyük değer verileri aynı istatistiksel popülasyonda bulunmalıdır. Örnek olarak, tüm dalga yüksekliği verilerinin rüzgâr kaynaklı dalgalardan elde edilmesi verilebilir.

Normal dağılımda durağanlık tanımı, mutlaka sabit uzun dönem klimatoloji ile açıklanabilir. Normal dağılımda durağanlık Kuzey Denizindeki 20 yıllık çalışmalarda tespit edilememiştir. Ancak mühendislik hükümlerinde uzun dönem iklimsel varyasyonların tespitinde sabit istatistik ile doğru sonuçlar elde edilebilir. Çünkü uzun dönem için iklimsel olasılıkların tespit edilme ihtimali zayıftır. Örneğin fırtına dalgaları mevsim rüzgârlarında ve dışında farklılık oluşturdukları için farklı popülasyonlara aittirler. Tropik ve tropik dışı siklonlarda da dalga popülasyonlarının davranışı farklıdır. Bu anlatılan durumlarda kümülatif dağılım tavsiye edilmez. Okyanus dalgaları saatler boyunca kalıcı eğilim gösterirler. Dalga yükseklikleri arasındaki korelasyon katsayısı Goda'ya göre 0.3-0.5 aralığında ve 24 saat farkla oluşmuştur. Bağımsızlığa uymadığı için normal dağılım kullanılamaz.

4.1.3.2. Yıllık maksimum metot ve tepe eşik metodu

Yıllık maksimum metot ile tepe eşiği metodunun farklarını anlatabilmek için formüller üzerinden gidilmiştir:

$$F(x) = \text{Prob}(X \leq x) \quad (4.1)$$

X : Önemli dalga yüksekliği, doğanın istatistiksel rastgeleliğinden meydana gelen rastgele dalga yüksekliği

x : X 'in gerçekleşmesi

$F(x)$: Kümülatif dağılım fonksiyonu, X 'in gerçekleşmemesi

$$k = N_T [1 - F(x)] = K\lambda [1 - F(x)] \quad (4.2)$$

k : X 'in gözlemlendiği yıl sayısı

N_T : k periyodu boyunca X 'in gözlemlenme sayısı

λ : Ortalama oran (N_T/k), k yıl içindeki fırtına sayısı

Eğer $\lambda=1$ ise, yıllık maksimum metot kullanıma uygun değildir. Bu durumda Tepe Eşik Metodu (POT) kullanılır.

Eğer $(X>x)$ ise ve toplam gözlem sayısına da N_T dersek;

x 'in tekrarlanma periyodu da (T) ise ;

$$T = k \Big|_{k=1} = \frac{1}{\lambda[1-F(x)]} \quad (4.3)$$

Ortalama x , T yıl içinde bir kere aşılacak, bu sebeple x , T-yıl durumu olarak da adlandırılmaktadır.

Rastlantı olasılığı, ortalama x 'in T yıl boyunca sadece bir kere aşılması durumuna dayanarak x 'in 1 yılda aşılma olasılığı $1/T$ olarak ifade edilir.

Böylece;

- x 'in 1 yılda aşılmama olasılığı $F(x)=P(X \leq x)=1-\frac{1}{T}$ (4.4)

- x 'in 2 yılda aşılmama olasılığı $F(x)=(1-\frac{1}{T})^2$ (4.5)

- x 'in L yılda aşılmama olasılığı $F(x)=(1-\frac{1}{T})^L$ (4.6)

Rastlantı olasılığı, x 'in L yıl boyunca aşılma olasılığı ise;

- $E_p=1-(1-\frac{1}{T})^L$ denklemi ile hesaplanır. (4.7)

Örneğin; Yapının ömrü $L=25$ yıl, 100 yıllık tekrarlanma periyodundaki tasarım dalga yüksekliği 10 m ise yapıya gelen dalganın yapı ömrü boyunca 10 m'yi aşma olasılığı:

$$E_p=1-(1-\frac{1}{100})^{25}=\%22 \text{ ile hesaplanır.}$$

Bu demektir ki yapı 25 yıl boyunca %22 ihtimalle 10 m'den yüksek dalgalarla karşılaşabilir.

Tepe Eşik Değer (Peak-Over-Threshold, POT) metodundaki veriler en büyük veri değildir. Değerlerini normal dağılımdan aldığı için, yıllık maksimum metotta bahsedilen dağılımlardan hiçbiri POT'a ait olmadığından, POT'un teorik bir altyapısı oluşmamaktadır.

4.1.4. En büyük değer dalga istatistiği

Birçok kıyı yapıları tasarımı ekstrem şartlar gözönünde bulundurularak yapılmaktadır. Kıyı Yapıları Planlama Tasarım Esasları/2016'ya göre kıyı yapıları tasarımında kullanılan ekstrem olasılık dağılım fonksiyonları hesabında kullanılması için her bir yılın maksimum değerini veren yıllık veri seti hazırlanmış olup, hesaplarda bu tablo kullanılmıştır. Bu dağılım fonksiyonlarında kullanılmak üzere en az 10 yıl veya daha uzun sürelerde tahmin, kayıt veya istatistiki verilere ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasında 19 yıllık 6'şar saat arayla dalga yüksekliği verileri kullanılmıştır. Kullanılacak dağılım fonksiyonlarından hangisinin kullanılacağına seçimindeki kriter, mevcut verilere en iyi uyum sağlayan fonksiyon olmasıdır. Olasılık dağılım fonksiyonlarının seçiminde teorik bir sebep yoktur. Ancak uygulama sırasında bütün dağılım fonksiyonlarının arasından verilerle en iyi uyum sağlayan fonksiyon seçilmelidir. Kıyı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmakta olan dağılım fonksiyonları Çizelge 4.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'da yer alan dağılım fonksiyonları

Dağılım Fonksiyonu	Matematiksel İfade	Parametreler
Fisher-Tipper I (Tip 1) veya Gumbel	$P(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-r}{\beta}\right)}}$	β, γ
Fisher Tippet II (Tip 2)	$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha}}$	β, α
Weibull	$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}$	β, γ, α
Log-Normal	$p(x) = \frac{1}{\beta \times \sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{\ln x - \gamma}{\beta}\right)^2}$	β, γ

4.1.4.1. Dağılım fonksiyonları

1. Fisher-Tippet Tip I (Ft-I) veya Gumbel Dağılımı

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right] \quad : -\infty < x < \infty \quad (4.8)$$

2. Fisher-Tippet Tip II (Ft-II) veya Frechet Dağılımı

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}\right] \quad : B - kA \leq x < \infty \quad (4.9)$$

Burada, $k=2.5, 3.33, 5$ ve 10

3. Fisher-Tippet Tip III (Ft-III) veya Weibull Dağılımı

$$F(x)=1-\exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right] \quad :-B \leq x < \infty \quad (4.10)$$

Burada, $k=0.75, 1, 1.4$ ve 2

4. Log-Normal Dağılımı

$$P(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} \exp\left[-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}\right] \quad , \quad (4.11)$$

$$F(x)=\int_{-\infty}^x p(t)dt \quad :0 < x < \infty \quad (4.12)$$

En büyük değer dalga istatistiğinde en çok kullanılan dağılım fonksiyonlarından ikisi Gumbel ve Weibull dağılımlarıdır. Hangi dağılımın kullanılacağını seçiminde iki önemli kriter vardır. Bunlardan biri dağılımın verilere uyum derecesi, diğeri ise mühendislik tecrübe ve hükmüdür. Yani mühendis deneyerek ya da daha önceki ön çalışmalarından yola çıkarak kullanacağı dağılımı seçmektedir.

Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'da yer almayan bazı alternatif dağılım fonksiyonları da vardır. Bunlar;

- Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı,
- Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı,
- Pearson Tip 3 Dağılımı.

En büyük değer veri setinin seçilen dağılıma uyması için genelde aşağıdaki dört metottan biri kullanılır:

- Maksimum Olabilirlik Yöntemi,
- Momentler Yöntemi,
- En Küçük Kareler Yöntemi,
- Çizgisel Yöntem.

Maksimum Olabilirlik Yöntemi

En çok kullanılan metottur. Bu metodun uygulanması zor olsa da istatistikçiler tarafından en çok tercih edilen yöntemdir.

En Küçük Kareler Yöntemi

Bu yöntemin tercih edilme sebebi, Excel ve MATLAB programlarında uygulanması kolay bir yöntem olmasıdır.

En Küçük Kareler Yönteminde dağılım fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$X=AY+B \quad (4.13)$$

$$\ln(x)=Az+B \quad (4.14)$$

Burada Y, dağılım fonksiyonuna göre azalan olasılıksal değişken olarak ifade edilmekte ve aşağıdaki gibi dağılım fonksiyonlarına göre değişmektedir:

$$\text{Gumbel dağılımına göre (FT-1); } Y=-\ln[-\ln(F)] \quad (4.15)$$

$$\text{Frechet dağılımına göre (FT-2); } Y=k\{[-\ln(F)]^{-1/k}-1\} \quad (4.16)$$

$$\text{Weibull dağılımına göre; } Y=[-\ln(1-F)]^{1/k} \quad (4.17)$$

1) Ölçülmüş en büyük değerleri (n adet) (x_i), $i=1,2,3,4,5,\dots,n$ $x_1=\max$ olacak şekilde tekrar düzenlenir.

2) Her x_i değeri için kullanılacak dağılıma formüllerden aşılmama olasılığı (F_i) hesaplanır ve (F_i, x_i), $i=1,2,3,\dots,n$ şeklinde veri seti takımları oluşturulur.

$$F_i=1-\frac{i-\alpha}{n+\beta} \quad (4.18)$$

Olasılık dağılım fonksiyonlarında kullanılan katsayı değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Olasılık fonksiyon hesapları α , β katsayısı değerleri

Fonksiyon	α	β	Yazar
FT-Ia	0	1	Gumbel,1953
FT-Ib	0.44	0.12	Gringorten,1963
FT-II	$0.44+0.52/k$	$0.12-0.11/k$	Goda,1988,1990
Weibull	$0.20+0.27/k^{0.5}$	$0.20+0.23/k^{0.5}$	Blom,1958
Log-Normal	0.375	0.25	Blom,1958

3) Y_i değerleri hesaplanarak (y_i, x_i) şeklinde $i=1,2,3,\dots,n$ 'e kadar olacak şekilde yeni bir veri takımı oluşturulur.

4) Regresyon katsayıları hesaplanır. (A ve B)

Log-Normal dağılımın hesaplanması

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} Ax} \exp\left[-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}\right] \quad (4.19)$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x p(t) dt \quad : 0 < x < \infty \quad (4.20)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{-z}{\sqrt{2}}\right) \quad (4.21)$$

$$z = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}, \quad (4.22)$$

$\mu = \text{ortalama}$, $\sigma = \text{standart sapma}$

Bir dalga veri setine uygulandığında,

$$X_i = \ln(H_{so,i}) \quad \text{için} \quad \mu = \bar{x} \quad \sigma = \text{stdev}(x)$$

$$x = Az + B \quad (4.23)$$

$$z = \frac{\ln [F^{-1}(F_i)] - \mu}{\sigma}, \quad (4.24)$$

$$F^{-1}(F_i) = \exp\left[\mu - \sqrt{2}\sigma \cdot \operatorname{erfc}^{-1}(2F_i)\right] \quad (4.25)$$

Regresyon katsayıları A ve B'nin elde edilmesi

$$A = \frac{\operatorname{Cov}(Y, X)}{\operatorname{Var}(Y)} \quad (4.26)$$

$$B = \bar{x} - A\bar{y} \quad (4.27)$$

$$\operatorname{Var}(Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \quad (4.28)$$

$$\operatorname{Cov}(Y, X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})(x_i - \bar{X}) \quad (4.29)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.30)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.31)$$

Fisher Tippet Tip 1 ve 2 dağılımları en büyük değerdeki olayların istatistiksel teorilerinden türetilmiştir ve gerçek ekstrem değerlerin dağılımlarıdır. $\alpha=2$ değeriyle Weibull dağılımı Rayleigh dağılımına eşittir. Bu fonksiyonlarda kullanılan β , γ ve α parametreleri sırasıyla ölçek parametresi, yerel parametre ve şekil parametresidir. Burada $P(x)$ kümülatif olasılık dağılımını gösterirken, $p(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016)

4.1.5. Uygunluk değerlendirme kriterleri

Lineer korelasyon katsayısı (r)

Lineer korelasyon katsayısı (r) iki değer arasındaki lineer ilişkinin yönünü ve gücünü ölçmektedir. Karl Pearson tarafından geliştirildiği için Pearson bileşke moment korelasyon katsayısı olarak da adlandırılır.

0.8'den büyük korelasyon güçlü, 0.5'ten küçük korelasyon ise zayıf korelasyon olarak kabul edilir. "r" lineer çizim alanında ifade edilir. Burada azalan değer olan y, dağılım fonksiyonuna bağlıdır.

$$r = \frac{Cov(Y,X)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2][\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (4.32)$$

Lineer saptama katsayısı (r² veya R²)

R², x ve y arasındaki kuvveti ifade etmektedir. Ayrıca R², regresyon eğrisinin verilere ne kadar uyduğunun ölçütü olup, verilerin yüzde kaçının uygun eğriye yakın olduğunu da ifade eder. Örneğin r=0.922 ise r²=0.85 olur bu sayede y değerlerinin %85'i x ve y arasındaki lineer ilişki ile tanımlanabilir. Geriye kalan %15 tanımlanmamış durumdadır.

Averaj oransal hata (E)

Averaj oransal hata değeri E, tahmin edilen değer gözlemlenen değere ne kadar yakın olduğunu hesaplayan istatistiksel bir yöntemdir. Mesela E=%5 ise gözlemlenen dalga

yüksekliği ile tahmin edilen dalga yüksekliği arasında %5 fark vardır anlamına gelmektedir. E yüzde değeri küçüldükçe dağılım eğrisi daha uygun hale gelmektedir.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_i, tahmin edilen - X_i, gözlemlenen|}{X_i, gözlemlenen} \quad (4.33)$$

Artık korelasyon katsayısının minimum oranı (MIR) $\left(\frac{\Delta r}{\Delta r_{min}}\right)$

Goda ve Kobune (1990), olasılık dağılım hesaplamalarında en yakın oranın en uygun eğriyi oluşturduğunu ortaya koymuşlar ve MIR istatistiki yöntemini kullanmayı önermişlerdir.

$$\Delta r = 1 - r \quad (4.34)$$

$$\Delta r_{anlamı} = \exp[a + b \ln(N) + c(\ln(N))^2] \quad (4.35)$$

Formülde kullanılan katsayıların hesap formülleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Formüllerde kullanılan a,b,c değerlerinin bulunuşu

Fonksiyon	a	b	c
FT-II (k=2.5)	$-2.470 + 0.015v^{3/2}$	$-0.1530 - 0.0052v^{5/2}$	0
FT-II (k=3.33)	$-2.462 - 0.009v^2$	$-0.1933 - 0.0037v^{5/2}$	-0.007
FT-II (k=5.0)	-2.463	$-0.2110 - 0.0131v^{5/2}$	-0.019
FT-II (k=10.0)	$-2.437 + 0.028v^{5/2}$	$-0.2280 - 0.0300v^{5/2}$	-0.033
FT-I	$-2.364 + 0.54v^{5/2}$	$-0.2665 - 0.0457v^{5/2}$	-0.044
Weibull (k=0.75)	$-2.435 - 0.168v^{1/2}$	$-0.2083 + 0.1074v^{1/2}$	-0.047
Weibull (k=1.0)	-2.355	-0.2612	-0.043
Weibull (k=1.4)	$2.277 + 0.056v^{1/2}$	$-0.3169 - 0.0499v$	-0.044
Weibull (k=2.0)	$-2.160 + 0.113v$	$-0.3788 - 0.0979v$	-0.041
Log-Normal	$-2.153 + 0.059v^2$	$-0.2627 - 0.1716v^{1/4}$	-0.045

$V = N/N_t$ sayısı ise; toplam veri sayısının (N), fırtınalı durum sayısına (N_t) oranıdır. Bu oran en büyük değer dalga istatistiğinde genelde 1 olarak kabul edilir.

Sapma kriteri (DOL kriteri):

En büyük değerin, verilerin hepsinin toplamından fazla olduğu durumda ve veri grubunun en büyük iki değeri arasındaki farkının büyük olduğu durumda uygun eğriyi oluşturarak geçirmek zorlaşmaktadır. Uygun eğriyi geçirmeyi zorlaştıran değerlere aykırı değerler denir. Kullanılan metot ise;

$$\xi = \frac{x_1 - \bar{x}}{s^2}, \quad S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.36)$$

formüller ile uygulanmaktadır.

Burada x_1 en büyük değeri, \bar{x} ortalama değeri ve s ise standart sapmayı ifade etmektedir.

Eğer ζ popülasyonun %95'ini aşmış ise x_1 aykırı değer olarak saptanır. $\zeta_{\%95}$ (üst DOL). Eğer ζ popülasyonun %5'inin altında ise x_1 aykırı değer olarak kabul edilir ve bu da $\zeta_{\%5}$ (alt DOL) olarak tanımlanmaktadır.

Aykırı değer olan dağılımlar kabul edilemez. Kabul edilmesi için $\zeta_{\%5} < \zeta < \zeta_{\%95}$ aralığında olması gerekir. 4.37 formülünde kullanılan ampirik katsayılar Çizelge 4.4'te, 4.38 formülünde kullanılan ampirik katsayılar da Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

$$\zeta_{\%95} \text{ ve } \zeta_{\%5} = a + b \ln(N) + c (\ln(N))^2 \quad (4.37)$$

Çizelge 4.4. $\zeta_{\%95}$ için ampirik katsayılar (üst DOL)

Fonksiyon	a	b	c
FT-II (k=2.5)	4.653-1.076v ^{1/2}	-2.047+0.307v ^{1/2}	0.635
FT-II (k=3.33)	3.217-1.216v ^{1/4}	-0.903+0.294v ^{1/4}	0.427
FT-II (k=5.0)	0.599-0.038v ²	0.518-0.045v ²	0.210
FT-II (k=10.0)	-0.371+0.171v ²	1.283-0.133v ²	0.045
FT-I	-0.579+0.468v	1.496-0.227v ²	-0.038
Weibull (k=0.75)	-0.256-0.632v ²	1.269+0.254v ²	0.037
Weibull (k=1.0)	-0.682	1.600	-0.045
Weibull (k=1.4)	-0.548+0.452v ^{1/2}	1.521-0.184v	-0.065
Weibull (k=2.0)	-0.322+0.641v ^{1/2}	1.414-0.326v	-0.069
Log-Normal	0.178+0.740v	1.148-0.48v ^{3/2}	-0.035

$$\zeta_{\%95} \text{ ve } \zeta_{\%5} = a + b \ln(N) + c(\ln(N))^2 \quad (4.38)$$

Çizelge 4.5. $\zeta_{\%5}$ için ampirik katsayılar (alt DOL)

Fonksiyon	a	b	c
FT-II (k=2.5)	1.481-0.126v ^{1/4}	-0.331-0.031v ²	0.192
FT-II (k=3.33)	1.025	-0.077-0.050v ²	0.143
FT-II (k=5.0)	0.700+0.060v ²	0.139-0.076v ²	0.100
FT-II (k=10.0)	0.424+0.088v ²	0.329-0.094v ²	0.061
FT-I	0.257+0.133v ²	0.452-0.118v ²	0.032
Weibull (k=0.75)	0.534-0.162v	0.277+0.095v	0.065
Weibull (k=1.0)	0.308	0.423	0.037
Weibull (k=1.4)	0.192+0.126v ^{3/2}	0.501-0.081v ^{3/2}	0.018
Weibull (k=2.0)	0.050+0.182v ^{3/2}	0.592-0.139v ^{3/2}	0
Log-Normal	0.042+0.270v	0.581-0.217v ^{3/2}	0

DOL kriteri, dağılım uyum metotlarından bağımsızdır (en küçük karelere ayırma yöntemi vb.) ve tüm gruplar için uygulanabilir. Eğer verilerin içinde aykırı değer varsa ilk olarak o değer için kontrol yapılmaktadır. Eğer veride aykırı değer yoksa gruptan veri atılmaz ve dağılım fonksiyon metodu değiştirilir.

Korelasyon katsayısının artışı (REC kriteri)

Korelasyon katsayısının artışı (REC kriteri) hesabında olasılık dağılımın, uyum metodu olan en küçük karelere ayırma yönteminde, $\Delta r_{\%95}$ Δr 'den büyük ise dağılım fonksiyonu kabul edilir, küçük ise kabul edilmez. Bunun için Eşitlik (4.39) formül kullanılmaktadır.

$$\Delta r_{\%95} = \exp[a + b \ln(N) + c(\ln(N))^2] \quad (4.39)$$

Eşitlik (4.39) formülünde bulunan ve kullanılacak olan ampirik katsayılar Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. $\zeta_{\%95}$ için ampirik katsayılar (REC)

Fonksiyon	a	b	c
FT-II (k=2.5)	-1.122-0.037v	-0.3298+0.0105v ^{1/4}	0.016
FT-II (k=3.33)	-1.306-0.105v ^{3/2}	-0.3001+0.0404v ^{1/2}	0
FT-II (k=5.0)	-1.463-0.107v ^{3/2}	-0.2716+0.0517v ^{1/4}	-0.018
FT-II (k=10.0)	-1.490-0.073v	-0.2299-0.0099v ^{5/2}	-0.034
FT-I	-1.444	-02733-0.0414v ^{5/2}	-0.045
Weibull (k=0.75)	-1.473-0.049v ²	-0.2181+0.0505v	-0.041
Weibull (k=1.0)	-1.433	-0.2679	-0.044
Weibull (k=1.4)	-1.312	-0.3356-0.0449v	-0.045
Weibull (k=2.0)	-1.188+0.073v ^{1/2}	-0.4401-0.0846v ^{3/2}	-0.039
Log-Normal	-1.362+0.360v ^{1/2}	-03439-0.2185v ^{1/2}	-0.035

Dönüş Değerinin Güven Aralığı

Dalga yüksekliğine ait verilerin oluşturduğu grup oldukça büyük bir değişkenlik gösterir. Uygun eğrinin dağılımı ile elde edilen dönüş değerleri ile asıl eğrinin değerleri arasında oldukça büyük farklılık vardır. Dönüş değerinin güven aralığını bulmak için Mathiesen tarafından 1994 yılında geliştirilen Monte-Carlo Tekniği kullanılabilir. Pratik olarak ise dönüş değeri için normal dağılım kabul edilir ve güven aralığı dönüş değerinin ortalamasının standart sapması ile hesaplanır. Örneğin %90 güven aralığı için ranj, standart sapmanın ± 1.645 katı olmalıdır. Getiri değerinin tahmini etrafındaki sapma $\sigma(\hat{X}_R)$.

$$\hat{X}_R = X_R \pm CI \cdot \Sigma \hat{X}_R \quad (4.40)$$

Çizelge 4.7. Yüzdeler için CI değerleri

% 68.3 için	CI=1.0
% 80 için	CI=1.282
% 90 için	CI=1.645
% 95 için	CI=1.960
% 98 için	CI=2.326
% 99 için	CI=2.576
% 99.9 için	CI=3.090

4.40 formülünde kullanılan yüzdeler için CI katsayıları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

$$\Sigma(\hat{X}_R) = \sigma_z \cdot \sigma_x \quad (4.41)$$

numunenin standart sapması σ_x

$$\sigma_z = [1.0 + \alpha(y_R - c + \alpha \ln V)^2]^{1/2} / \sqrt{N} \quad (4.42)$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_1 \exp[\alpha_2 N^{-1.3} + K(-\ln V)^2] & \text{FT-I ve Weibull Fonksiyonları için} \\ \alpha_1 \exp\{\alpha_2 [\ln(N_V^{0.5}/N_0)]^2 - K[\ln(V/V_0)]\} & \text{FT-2 Fonksiyonu için} \end{cases} \quad (4.43)$$

4.43 formülünde kullanılan FT-1, FT-2 ve Weibull fonksiyonları için geri dönüş değerinin standart sapmasının sabitleri olan ampirik katsayılar Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. FT-1, FT-2 ve Weibull fonksiyonları için geri dönüş değerinin standart sapmasının sabitleri

Fonksiyon	a ₁	a ₂	K	c	A
FT-1	0.64	9.0	0.93	0	1.33
Weibull (k=0.75)	1.65	11.4	-0.63	0	1.15
Weibull (k=1.0)	1.92	11.4	0	0.3	0.90
Weibull (k=1.4)	2.05	11.4	0.69	0.4	0.72
Weibull (k=2.0)	2.24	11.4	1.34	0.5	0.54

Fonksiyon	a ₁	a ₂	N ₀	K	V	c	A
FT-II (k=2.5)	1.27	0.12	23	0.24	1.34	0.3	2.3
FT-II (k=3.33)	1.23	0.09	25	0.36	0.66	0.2	1.9
FT-II (k=5.0)	1.34	0.07	35	0.41	0.45	0.1	1.6
FT-II (k=10.0)	1.48	0.06	60	0.47	0.34	0	1.4

Numerik olarak güven aralığı hesabı

Gumbel'a göre en büyük değer dalga yüksekliğini varsayarsak, fonksiyon

$$F=F_x(X)=\exp\{-\exp[-(x-B)/A]\}'\text{dır.} \quad (4.44)$$

Burada x rastgele en büyük değer dalga yüksekliği, X onun gerçekleşme ihtimali, A ve B ise dağılım parametreleridir.

Verinin değişkenliği ve ölçüm hatasına dayanarak A ve B rastgele parametreler olarak alınmaktadır. Buna bağlı olarak numerik çözüm aşağıdaki gibidir:

N boyutunda bir grup Gumbel dağılımına uydurulmuştur ve belirlenen parametreler A gerçek ve B gerçek olarak ifade edilmiştir. 0 ve 1 arasında rastgele bir değer seçilir. F_1 (geçilmeme ihtimali) bu değere eşit varsayılır ve tekli en büyük değer verisi (x) ise,

$$x= F_x^{-1}(F_1)=A_{\text{gerçek}}[-\ln(-\ln(F_1))]+B_{\text{gerçek}} \quad (4.45)$$

formülü ile bulunur.

- 1. Adım: N boyutunda ve Gumbel dağılımına sahip bir veri grubu oluşana kadar N defa tekrarlanır.
- 2. Adım: Veriler Gumbel dağılımına uydurulur, yeni A ve B değerlerine ulaşılır.
- 3. Adım: Yineleme periyoduna (R_p) bağlı dalga yüksekliği (X_R) hesaplanır.
- 4. Adım: $X_R=A[-\ln(-\ln(1-\frac{1}{\lambda R}))]+B$ formülü ile hesaplanır.
- 5. Adım: 2. ve 4. adımlar 10000 adet (X_R) değerine ulaşana kadar tekrarlanır.
- 6. Adım: Güven aralığı içinde kalan dalga yüksekliği seçilir.

Ölçüm hatasını dâhil etmek için 1. adımdan sonra şu adımlar eklenebilir:

Bu adım tüm en büyük x değerlerinin normal dağılıma göre hesabında saptanan ölçüm hatasına göre modifiye edilmesi içindir.

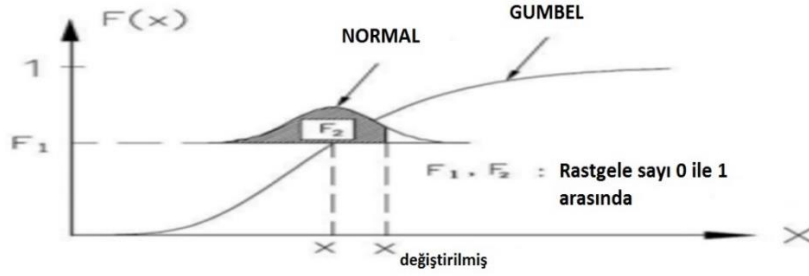
0 ve 1 arasında bir değer belirlenir ve F_2 aşma olasılığı bu değerden küçük veya eşit olsun modifiye edilmiş x en büyük değeri (x_{extreme}) ise:

$$X_{\text{modified}}= X+C_x\Phi^{-1}(F_2) \quad (4.46)$$

Burada;

ϕ : standart normal dağılım

c: hata katsayısı (0.05-0.1 aralığındadır)



Şekil 4.1. Gumbel grafiği güvenilirlik aralığı

Böylece Gumbel grafiği ile güvenilirlik aralığı hesapları yapılmış olmaktadır.

4.1.6. Derin deniz dalga yüksekliğinin hesaplanması

Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'a göre ve genellikle tasarımda kullanılacak değerlerin hesabında en büyük değer (ekstrem) istatistiği kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise tasarımda güvenli tarafta kalmak için ekstrem durumların gözönünde bulundurulmasıdır.

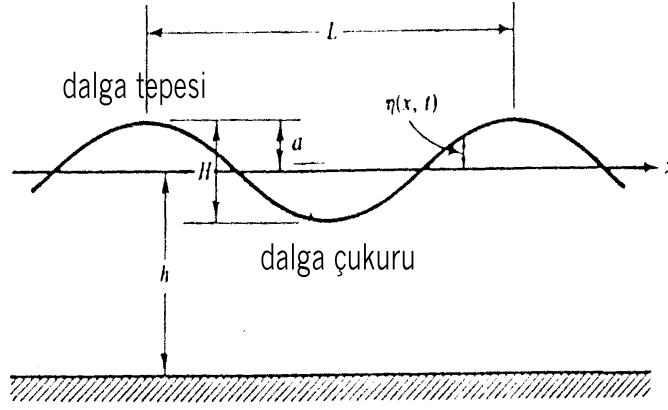
Yıllık olarak "en büyük" değerler bu istatistik için gerekli ve bu istatistiğin hesabında çoğunlukla kullanıldığından temel alınan verilerin iklimsel değişimleri yansıtabilmesi için uzun bir zaman aralığını kapsamada yarar vardır. Bu nedenle tez kapsamında 19 yıllık dalga yüksekliği verileri kullanılmıştır.

4.2. Dalga Transformasyon Modeli

Açık denizlerde oluşan dalgalar, dalganın yayılma hızı ile ilerleyerek kıyı yakınlarına gelirler. Derin denizde oluşan dalgaların özelliklerine deniz tabanının ve su derinliğinin herhangi bir etkisi yoktur. Bunun yanı sıra deniz derinliği azalmaya başlayıp sığlaşma başladığında yani su derinliği dalga boyunun yarısına düştüğünde, dalga

özelliğinde değişmeler başlar. Bu değişmeler, dalga mekaniği açısından çok önemlidir. Bunlar, sığlaşma, kırınım, yansıma, kırılma ve sapma'dır. Bu etkiler ile dalgaların yüksekliği, boyu, hızı ve yönü değişebilir. Fakat dalga periyodu ise derinliğe bağlı değildir. Bu nedenle dalgalar kıyıya ulaşana kadar aynı değerde kalır. Sonunda, dalgalar belirli bir derinlikte dengesini kaybeder ve kırılır.

Bu çalışmada dalga transformasyon modeli çalıştırılarak, kırılmanın, sığlaşma ve sapmaya göre bölgede daha etken olduğu görülmüştür. Bu model, derin denizde rüzgâr etkisiyle oluşan dalgaların derin denizden sığ denize doğru ilerlerken uğradıkları sapma, dönme, sığlaşma, yansıma ve kırılma olaylarını içermektedir. Uzunluğu yüksekliğine göre fazla olan deniz dalgası en basit olarak sinüzoidal tiptedir. Şekil 4.2.'de sinüzoidal bir dalgalanın temel özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Sinüzoidal dalga profili

Sinüzoidal dalgaların temel tanımları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- Dalga Yüksekliği (H) (m): Ardışık dalga çukuru ile dalga tepesi arasındaki düşey mesafedir. Derin denizdeki gösterimi H_0 şeklindedir.
- Genlik (a) (m): Sakin su yüzeyi ile dalga çukuru veya dalga tepesi arasındaki düşey mesafedir. Dalga büyüklüğü de denir.
- Dalga Periyodu (T) (s): Aynı enkesitten ardışık iki dalga çukuru veya iki dalga tepesinin geçebilmesi için gereken zaman aralığına dalga periyodu denir.
- Dalga Boyu (L) (m): Ardışık iki dalga tepesi veya iki dalga çukuru arasındaki yatay mesafe dalga boyu olarak tanımlanır. Derin denizdeki gösterimi L_0 şeklindedir.

$$L = \frac{gT^2}{2\Pi} \tanh\left(\frac{2\Pi d}{L}\right) = L_0 \tanh(kd) \quad (4.47)$$

L_0 : Derin deniz dalga boyu (m)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

d : Su derinliği (m)

k : Dalga sayısı

- Dalga sayısı (k): Dalga boyunun bir fonksiyonudur.

$$k = \frac{2\Pi}{L} \quad (4.48)$$

- Açısal dalga frekansı (σ): Dalga periyodunun bir fonksiyonudur.

$$\sigma = \frac{2\Pi}{T} \quad (4.49)$$

- Dalga profili (η): Dalganın su seviyesinden itibaren yaptığı yer değiştirmesi olarak tanımlanır.

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\Pi}{L}x - \frac{2\Pi}{T}t\right) = a(kx - \sigma t) \quad (4.50)$$

- Dalga dikliği ($s=H/L$): Dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranıdır.

- Dalga yayılma hızı (C) (m/s): Dalga boyunun dalga periyoduna oranıdır.

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\Pi} \tanh\left(\frac{2\Pi d}{L}\right) \quad (4.51)$$

- Grup hızı (C_g) (m/s): Aynı yönde ilerleyen, fakat farklı dalga dönemine ve dalga numarasına sahip iki dalganın yayılma hızlarının toplamıdır.

$$C_g = nC = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) C \quad (4.52)$$

Dalgalar kıyıya doğru ilerledikçe derinliğin etkisini hissetmeye başlamakta ve bunun sonucunda yükseklikleri ve boyları değişmektedir. Dalgaların teorik olarak kırılma şartlarının belirlenmesi için kinematik ve dinamik stabilite kriterleri göz önüne alınır.

1) Kinematik stabilite kriteri

Dalga tepesinde akışkan taneciklerinin yatay yörüngesel hızları dalga yayılma hızını aşarsa kırılma meydana gelir.

$$u_c \geq C \quad (4.53)$$

2) Dinamik stabilite kriteri

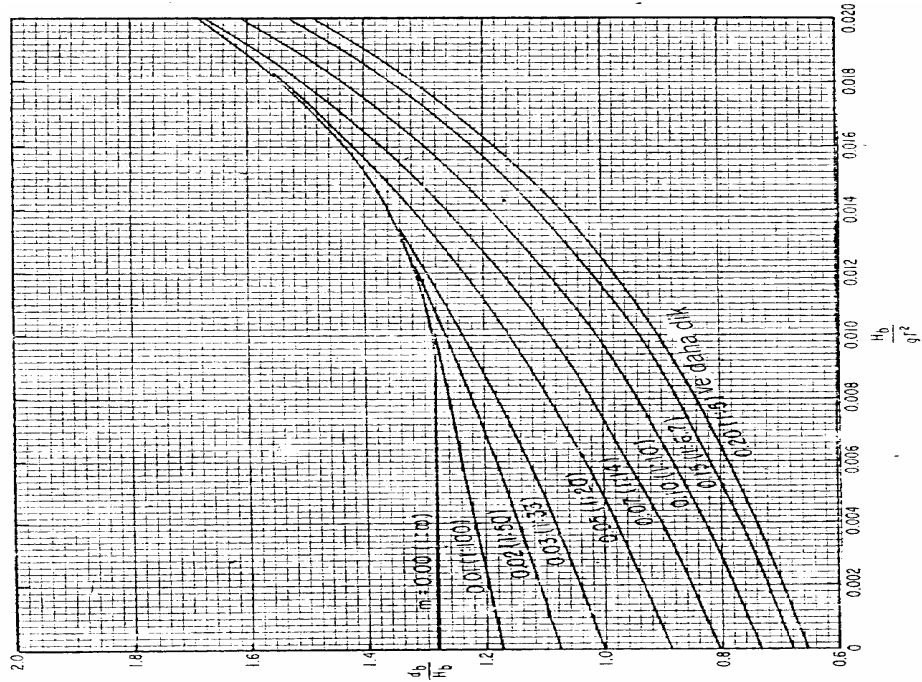
Su yüzeyinde akışkan taneciklerinin sahip olduğu maksimum düşey ivme yerçekimi ivmesine eşit olursa kırılma oluşur.

$$\frac{dw}{dt} \geq g \quad (4.54)$$

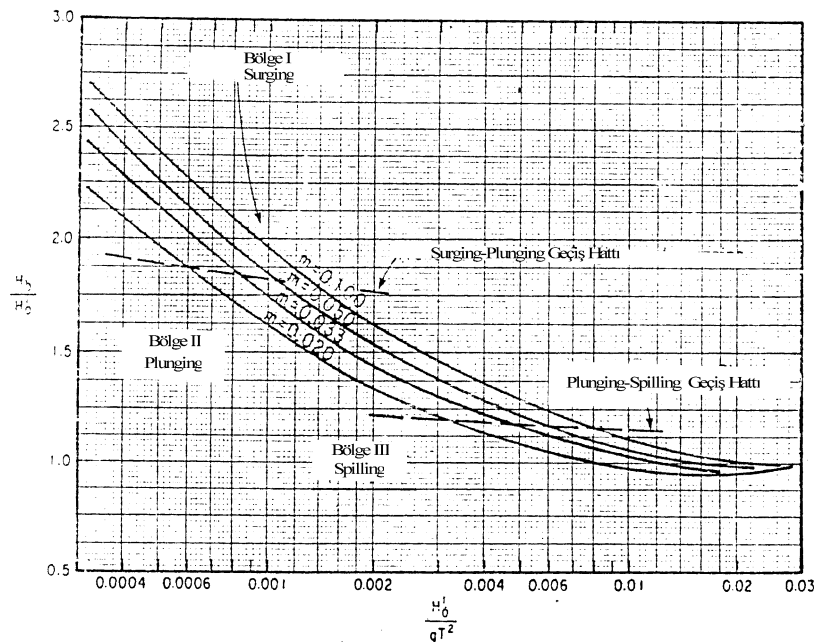
Sığ suda ilerleyen dalgalar derinliğin azalmasıyla taban etkisini hissetmeye başlarlar. Dalga periyodu sabit olmasına rağmen, dalga boyları kısalmır, bunun sonucunda dalga yayılma hızı azalır, dalga tepeleri sıklaşır. Tabana yakın su taneciklerinin yörüngesel hızları dalga yayılma hızına eşit olduğunda dalga maksimum yüksekliğe erişir ve stabilitesi bozulur. Bunun sonucunda kırılma olayı meydana gelir. Kırılma dalga yüksekliği H_b ile kırılma derinliği d_b arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir.

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.78 \quad (4.55)$$

Şekil 4.3. kullanılarak kıyının eğimine (m) ve dalga periyoduna (T) göre, kırılan dalganın özellikleri (kırılma derinliği d_b ve kırılan dalganın yüksekliği H_b) hesaplanmaktadır. Şekil 4.4.'te değişik kıyı eğimleri için verilen eğriler ise, kırılan dalganın derin deniz dalga yüksekliği H_0 'ın hesaplanmasında kullanılmaktadır. SPM'deki (Shore Protection Manual, 1984) grafiklerde kırılan dalga yüksekliği, periyodun, derin su şartlarının ve kıyı eğiminin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kırılmadaki boyutsuz derinlik ile dalga kırılma dikliği ilişkisi (SPM, 1984)



Şekil 4.4. Kırılma anındaki dalga yüksekliği indeksi ile derin deniz dalga dikliği arasındaki ilişki (SPM,1984)

Çalışmada ECMWF'den elde edilen derin deniz dalga yüksekliğini yapı önüne taşımak için HYDROTAM-3D Transformasyon Modülü kullanılmıştır. Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli HYDROTAM-3D Programı Bölüm 4.2.1'de anlatılmıştır.

4.2.1. Üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli: HYDROTAM- 3D

HYDROTAM-3D Modeli, Prof. Dr. Lale Balas tarafından 1990 yılından bugüne kadar sürekli saha çalışmaları ile karşılaştırılarak kalibre edilen geliştirilmiş bir sayısal model çalışmasıdır. HYDROTAM-3D Yazılımı, güncel IT standartları ve teknolojileri kullanılarak modernize edilen, güncel ihtiyaçlar için ek modüller oluşturulan, ilişkisel veri tabanının, coğrafi bilgi sistem entegrasyonunun ve üç boyutlu görsel "Karar Destek" sisteminin oluşturulduğu web arayüzü sayesinde yaygın kullanım alanına sahip bir bulut bilişim mimarisidir. Bulut Bilişim, bilgi teknolojisi (BT) kaynaklarına internet üzerinden erişim ve paylaşım ortamının tesis edilmesi olarak özetlenebilir. Bu sayede kullanıcının tek ihtiyacı internet erişimi ve internet tarayıcısıdır. Kullanıcı önyüzü sadece web tarayıcı üzerinde bulunan model yazılımın kullanıcı veri tanımlamaları CBS üzerinden yapılmakta ve karar destek sistemi CBS temelli olup üç boyutlu analiz yapılabilmektedir. Kıyısız alanlarda rüzgâr iklimi, dalga iklimi, akıntı, kirlilik taşınımı, sediman taşınımı gibi kıyısız taşınım olaylarının benzeştirilmesi amacıyla geliştirilmiş yazılım olan

HYDROTAM-3D, aynı zamanda dünyada da ilk çevre temelli bulut bilişim yazılımıdır. (Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 2019)

Yazılımının başlıca özellikleri şunlardır:

- Üç boyutlu, alansal ve derinlik boyunca sayısal modelleme yapar.
- Tüm değişkenlerin, zamana göre değişimlerini içerir. Kullanıcının belirttiği herhangi bir zaman dilimi için sonuç üretebilir.
- Bulut bilişim mimarisinde olup herhangi bir donanım, yazılım yatırımı ve sistem bakım/yönetimi gerektirmez.
- Çoklu çekirdek ortamını kullanabildiği için hızlıdır.
- Modelin çıktıları coğrafi bilgi sistem temellidir, kolayca yorumlanabilir ve anlaşılabilir özelliktedir.
- Model, küresel koordinat sistemini kullanır.
- Sonlu hacimler ve sonlu farklar metodu ile çözüm oluşturur.
- Modele noktasal yoğunluk tanımlanabilir. Model, yoğunluk farklılaşmasını dikkate alarak işlem yapar. Baroklinik bir modeldir.
- Modele noktasal su sıcaklıkları, su tuzlulukları tanımlanabilir.
- Modelde Coriolis faktör bileşeni mevcuttur.
- Model, kullanıcı için aylık, yıllık ve/veya mevsimsel rüzgâr gülleri ve dalga gülleri oluşturur.
- Model veri tabanında Türkiye Kıyıları Meteoroloji İstasyonları'nın kuruluşlarından bu yana saatlik rüzgâr verileri yer almakta ve bunlara dayalı rüzgâr iklimi hesaplanmaktadır (Rüzgâr İklimi Alt Modeli).
- Kullanıcı istediğinde farklı hız ve yönlerde birçok rüzgâr verisi tanımlayabilir.
- Model, batimetri verilerinin sisteme yüklenmesine izin verir.
- Model, batimetri verisi olmayan yerler için kendisi CBS çözümlemesi yapar.
- Model, "çoklu nokta seçimine" izin verir, çözümlemeyi ve raporlamayı seçilen noktalar için gerçekleştirir.
- Model, rüzgâr, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması etkenli akıntıları, su düzeyi değişimlerini, rüzgâr kabarmasını 3-boyutlu olarak benzeştirir (Hidrodinamik Alt Modeli).
- Üç boyutlu k-ε türbülans modeli içerir (Türbülans Alt Modeli).

- Korunan ya da korunmayan bir kirleticinin kıyısız su ortamına karışması durumunda, yayılım ve dağılımı üç boyutlu olarak çözümler. Deniz deşarjlarında yakın alan ve uzak alan dağılımlarını benzeştirir (Kirletici Taşınım Alt Modeli).
- Model, derin deniz belirgin dalga yüksekliklerini ve belirgin dalga dönemlerini, uzun dönem dalga istatistiği ve en yüksek dalga istatistiği kullanarak hesaplar (Dalga İklimi Alt Modeli).
- Model, yumuşak eğim eşitliklerini çözerek, açık denizde tahmin edilen dalga yüksekliğini kıyısız alanlara taşır. Dalga ilerlemesinde, sığlaşma, sapma, dönme, sürtünme, kırılma ve dalga kabarması etkileri hesaplanır. Dalga etkenli kıyısız akıntılar modellenir (Dalga İlerlemesi Alt Modeli).
- Model, kırılan dalgalar etkisiyle kıyı boyu sediman taşınımını içerir (Kıyı Boyu Sediman Taşınım Modeli).
- Model, kıyısız deniz, haliç, lagün ve göl ortamlarına uygulanabilir. (Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 2019)

4.2.1.1. Hidrodinamik ve türbülans alt modelleri

Kıyı sistemlerinde görülen büyük ölçekli su akıntılarının en önemli özelliği, yatay ve düşey yönlerdeki akım büyüklüklerinin çok farklı olmasıdır. Büyük ölçekli su akıntıları, özellikle lagün, haliç, göl ve körfez gibi, yüzey alanı/ortalama su derinliği oranı büyük olan kıyı sistemlerinde çok çeşitli hidrodinamik kuvvetlerin etkisiyle oluşmaktadır. Yerçekimi, ay ve güneşin çekim etkisiyle oluşan gel-git kuvveti ve su yüzeyini etkileyen rüzgâr kuvveti, büyük ölçekli akıntıları oluşturan dış etkenli kuvvetlerdendir. Ayrıca, büyük ölçekli su akıntılarının matematiksel modellenmesinde, dünyanın dönüş etkisini ifade eden sanal Coriolis kuvveti de kullanılmaktadır.

Kıyı sistemlerinin su alanı yüzeyinde çekme gerilmesi yaratan rüzgâr kuvveti, yüzey tabakasını sürükleyerek, rüzgâr yönündeki kıyı kenarında su seviyesinin yükselmesine, karşı yöndeki kıyıda ise seviyenin düşmesine neden olur. Rüzgâr yönünde oluşan bu su düzeyi eğimi, barotropik basınç değişimi meydana getirerek, su tabanına yakın tabakalarda, yüzey tabakasının sürüklenme yönüne karşıt yönde bir akıntı oluşturur. Sonuç olarak, yüzeydeki su tabakasını sürükleyerek alt tabakaların sürtünmeden dolayı ters yönde akmasına yol açan rüzgâr kuvveti, düşeyde güçlü bir su çevrintisi yaratır. Bu

çevrinti hareketi, düşeydeki momentum değişimini artırarak, derinlik boyunca yoğunluk farklılaşmasından kaynaklanan akıntıların azalmasına ve bu sayede, yatay düzlemdeki karışmanın artmasına neden olur.

Kararlı katmanlardan oluşan bir su kütlelerinin, serbest yüzeyine etkiyen rüzgâr kuvveti, yoğunluğu daha fazla olan homojen tabakalardaki suyun geçişiyle zamanla derinleşen türbülanslı bir yüzey tabakası oluşturur. Bu tabakaların arasında, türbülansın, yoğunluk farklılaşması ve yatay hız değişimleri ile sönmüldüğü ve karışım uzunluğunun azalarak düşey yöndeki taşınımın önemli ölçüde etkilendiği ince bir geçiş tabakası da yer alır. Böylece türbülans kinetik enerjisinin bir bölümü karışım süreci ile potansiyel enerjiye dönüşür ve düşey türbülans yayılımını da azalır.

Kıyı sistemlerindeki su hareketleri, su alanı yüzeyine etkiyen rüzgâr kuvveti ve sıcaklık-tuzluluk farklılıkları sonucu oluşan su yoğunluğu değişimlerine neden olan günlük ve mevsimlik iklim değişikliklerinden etkilenmektedir. Bu değişiklikler, düşey ekseninde derinlik boyunca belirli sıcaklık tabakaları oluşturur. Güneş enerjisinin emilmesi ile oluşan sıcak yüzey tabakası, derinliğe bağlı olarak ani sıcaklık düşüşü görülen ısı değişim tabakası (thermocline) ve sıcaklık değişiminin çok yavaş gerçekleştiği derin tabaka. Ancak, kıyı sistemleri bu oluşumun gerçekleşmesi için gereken derinliğe genelde sahip değildirler. Bu sistemlerde, mevsimlik ve günlük ısı değişim tabakaları oluşmaktadır. Belirli mevsimlerdeki su-hava etkileşimleri sonucunda, karışım şeklindeki yüzey tabakası ile asıl değişim tabakası arasındaki bölgede meydana gelen ani sıcaklık düşüşleri, mevsimlik ısı değişim tabakasını (seasonal thermocline) oluşturur. Su-hava sınır tabakasında gün içerisinde oluşan ısı değişim olayları da günlük ısı değişim tabakasını (diurnal thermocline) meydana getirir. Bu tabakalarda, sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı olarak suyun yoğunluğu değişmekte ve kıyı sistemlerindeki yoğunluğa dayalı su çevrintileri oluşmaktadır.

Su alanı yüzeyindeki yoğunluk, buharlaşma ve soğuma ile artmakta, ısınma, su buharı yoğunlaşması, yağış ve kaynak suyu akışları ile azalmaktadır. Güneş ışınlarının su yüzeyini ısıtması ile azalan yoğunluk, düşey yönde dengeli bir tabakalaşma oluşturur ve düşey karışımı azaltır. Su yüzeyinin gece soğuması veya buharlaşma ile yoğunluğun artması, dengesiz yoğunluk farklılaşması oluşturur. Sonuç olarak, su yüzeyindeki yüksek yoğunluklu tabaka derine doğru batma eğilimi gösterir. Bu su yoğunluğu hareketi düşey

çevrintilere (thermohaline convection) sebep olur. Böylece, farklı derinliklerdeki, ısınma ve karışma farklılıklarının neden olduğu yatay yoğunluk değişimleri, büyük ölçekli su çevrintilerine yol açar. HYDROTAM-3D, rüzgâr ve gelgit kuvvetlerini, sıcaklık ve tuzluluk farklılıklarından kaynaklanan yoğunluk değişimlerini ve su tabanı sürtünmesini de benzeştirebilen bir modeldir.

Bu çalışmada HYDROTAM-3D (Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli) sadece yapı derin deniz dalgasının yapı önüne taşınımındaki dalga transformasyonunda kullanılmıştır. Modelde kullanılan temel hidrodinamik denklemler, Şekil 4.5.'te verilen üç boyutlu kartezyen koordinat sistemindeki gibidir:

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.56)$$

Yatayda birbirine dik konumdaki x ve y yönleri için momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) \quad (4.57)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right) \quad (4.58)$$

Düşeyde z yönü için momentum denklemi;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + gz + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (4.59)$$

Bu eşitliklerde; x ve y : yatay koordinatlar; z : düşey koordinat; t : zaman; u , v , w : herhangi bir çözüm ağı noktasında x , y ve z yönlerindeki hız bileşenleri; v_x , v_y , v_z : sırasıyla x , y ve z yönlerindeki eddy viskozitesi; f : Coriolis katsayısı; $\rho(x, y, z, t)$: su yoğunluğu; ρ_0 : referans yoğunluk; g : yerçekimi ivmesi; p : basınçtır.

Su yoğunluğu, sıcaklık, tuzluluk ve bunlara göre çok az etkili olan basınç ile değişen bir değerdir. Deniz suyunun ortalama yoğunluğu yaklaşık 1.0276 g/cm^3 değerindedir. Diğer su yoğunlukları göz önüne alındığında bu değer önemli olan kısmı

noktadan sonra üç haneye kadardır. Bu nedenle gerçek su yoğunluğu ρ yerine deniz suyunun yoğunluğu σ_t ile gösterilirse;

$$\sigma_t = (\rho - 1) \times 10^3 \quad (4.60)$$

Eşitlikte; ρ : Yoğunluk (gr/cm³).

Yoğunluk hesabında, tuzluluk ve sıcaklığın fonksiyonu olan Riley and Skirrow (1975) tarafından önerilmiş olan formül kullanılmaktadır:

$$S = 1.80655Cl \quad (4.61)$$

$$\sigma_t = (\sigma_o + 0.1324)(1 - A_t + B_t(\sigma_o - 0.1324)) + \sum t \quad (4.62)$$

$$\sigma_o = -6.9 \times 10^{-2} + 1.4708Cl - 1.57 \times 10^{-3}Cl^2 + 3.98 \times 10^{-5}Cl^3 \quad (4.63)$$

$$A_t = 4.7867 \times 10^{-3}T - 9.8185 \times 10^{-5}T^2 + 1.0843 \times 10^{-6}T^3 \quad (4.64)$$

$$B_t = 1.803 \times 10^{-5}T - 8.146 \times 10^{-7}T^2 + 1.667 \times 10^{-8}T^3 \quad (4.65)$$

$$\sum t = -(T - 3.98)^2 (T + 283)(503.57(T + 67.26))^{-1} \quad (4.66)$$

Eşitliklerde; S : Tuzluluk (%); Cl : Klor (gr/kg); T : Sıcaklık (°C).

Her bir noktadaki yoğunluk değerlerinin bulunması için o noktadaki sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler için üç boyutlu taşınım-dağılım denklemi çözülmektedir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \quad (4.67)$$

Bu eşitlikte, D_x , D_y ve D_z sırasıyla x, y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları, Q su sıcaklığı (T) veya tuzluluğudur (S).

Su alanında, ortama bırakılan bir kirleticinin zamanla nasıl değiştiğini gözlemleyebilmek için kirletici sakınım denklemi kullanılmaktadır:

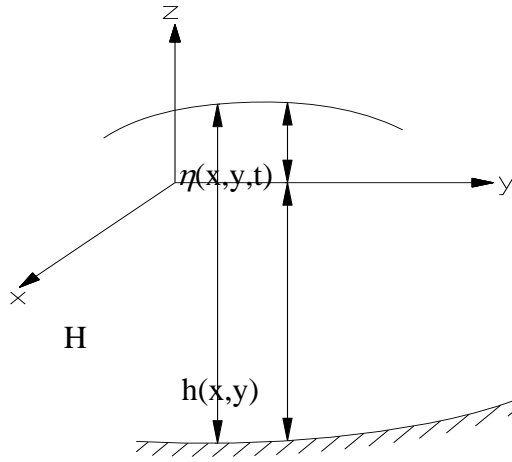
$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + k_p C + S_s \quad (4.68)$$

Bu eşitlikte; C , kirleticinin derişimi; k_p , kirleticinin yok olma hızı; D_x , D_y ve D_z , sırasıyla x , y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları; S_s , kirletici kaynağıdır.

Yüzeydeki kinematik sınır koşulu şöyledir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_s \frac{\partial \eta}{\partial y} - w_s = 0 \quad (4.69)$$

Eşitlikte; u_s ve v_s , yüzeydeki su parçacığının yatay hızları; w_s yüzeydeki su parçacığının düşey hızı; η , su seviyesini göstermektedir.



Şekil 4.5. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde su yüzeyi ve su derinliğinin tanımı

Süreklilik denkleminin derinlik boyunca integrali alınıp, yüzeydeki kinematik sınır koşulu kullanılırsa, derinlik eklenmiş süreklilik denklemi bulunur:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_{-h}^{\eta} u \, dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_{-h}^{\eta} v \, dz \right] = 0 \quad (4.70)$$

Eşitlikte; $h(x,y)$, sakin su yüzeyinden ölçülen su derinliği; $H(x,y,t)$, toplam su derinliği ve $H(x,y,t) = h(x,y) + \eta(x,y,t)$ 'dir.

Su alanında basınç sabit değildir ve yoğunlukla değişmektedir.

$$p(x,y,z,t) = \int_z^{\eta} g \rho(x,y,z,t) \, dz \quad (4.71)$$

Eğer Leibniz Kuralı uygulanır ve bağımsız olan değişkenler yok edilirse;

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \int_z^\eta g \rho dz = \int_z^\eta g \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + g \rho_s \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (4.72)$$

Eşitlikte; ρ_s yüzeydeki yoğunluktur. Benzer bir eşitlik de $\partial p / \partial y$ için yazılabilir.

Türbülans alt modelinde iki eşitlikli **k-ε** türbülans modeli kullanılmaktadır. Türbülans modelindeki kinetik enerji ve kinetik enerjinin sönmülleme hızı için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} + w \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_z}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P + B - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial k}{\partial y} \right) \quad (4.73)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_z}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (P + C_{3\varepsilon} B) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) \quad (4.74)$$

Bu eşitliklerde; k , kinetik enerji; ε , kinetik enerjinin dağılıma oranı; v_z , düşey eddy viskozitesi; D_x ve D_y sırasıyla x ve y yönündeki türbülansın difüzyon katsayıları; P , kinetik enerjinin gerilme çarpımı; B , kinetik enerjinin kaldırma çarpımıdır ve aşağıda tanımlanmaktadır.

$$B = \frac{g}{\rho_0} \frac{v_z}{Pr} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (4.75)$$

Bu eşitlikte; Pr , Prandtl veya Schmidt türbülans sayısıdır. Deneyler, Prandtl veya Schmidt türbülans sayısının bir akımdan başka bir akıma çok az değiştiğini göstermektedir. Bu nedenle $Pr = 0.7$ kabul edilmektedir. Kinetik enerjinin gerilme çarpımı ise aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$P = v_h \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] + v_z \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (4.76)$$

Bu eşitlikte; v_h , yatay eddy viskozitesi; u ve v sırasıyla x ve y yönündeki yatay su zerreciklerinin hızlarıdır.

Düşey eddy viskozitesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$v_z = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.77)$$

Eşitliklerde; $B > 0$ (değişen katmanlaşma) olduğunda $C_\mu = 0.09$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_{3\varepsilon} = 1$ ve $B < 0$ (sabit katmanlaşma) olduğunda ise $C_{3\varepsilon} = 0.2$ evrensel ampirik sabitleri kullanılmaktadır.

Standart $k-\varepsilon$ modeli, türbülansın yerel izotropik olduğunu, başka bir deyişle yatay eddy viskozitesinin düşey eddy viskozitesine eşit olduğunu kabul etmektedir. Ancak yatay hareketin düşey harekete göre baskın ve yatay uzunluğun fazla olduğu yerlerde, örneğin sığ su alanlarında standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli yatay eddy viskozitesini gerçek değerine kıyasla daha az tahmin etmektedir. Bu nedenle yatay kesme kuvveti etkisi ile oluşan geniş ölçekteki türbülansı hesaplayabilmek için yatay eddy viskozitesi matematiksel Smagorinsky türbülans modeli ile benzeştirilmektedir.

$$v_h = 0.01\Delta x\Delta y \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (4.78)$$

Katmanlaşmış akıntı durumunda, türbülansın katmanlaşmaya etkisi yatay yönde ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle yatay türbülansın difüzyon katsayısı, yatay eddy viskozitesine yaklaşık olarak eşittir. Düşey türbülansın difüzyon katsayısı D_z ise aşağıdaki gibidir;

$$D_z = \frac{v_z}{Pr} \quad (4.79)$$

v_z : Düşey eddy viskozitesidir.

Model için dört farklı sınır koşulu vardır. Bunlar, serbest yüzey, deniz tabanı, açık deniz ve kıyı sınır koşullarıdır.

Serbest Yüzey Sınır Koşulu

Serbest yüzeydeki rüzgâr nedenli kesme kuvveti aşağıdaki denklemde tanımlanmıştır:

$$[\tau_{wx}, \tau_{wy}] = \rho_a C_d [u_w, v_w] \sqrt{u_w^2 + v_w^2} \quad (4.80)$$

Bu eşitlikte; τ_{wx}, τ_{wy} , rüzgâr kuvvetinin bileşenleri u_w ve v_w sırasıyla x ve y yönünde rüzgâr hızının (m/s) bileşenleri; ρ_a , havanın yoğunluğu; C_d , havanın sürüklenme katsayısıdır.

Literatürde, rüzgâr sürüklenme katsayısının belirlenmesinde, bütün rüzgâr hızları için sabit bir değerden başlayıp, rüzgâr hızını, yönünü ve deniz yüzeyinin pürüzlülüğünü göz önüne alan karmaşık formüllere kadar birçok eşitlik sunulmuştur. Modelde, aşağıdaki rüzgâr sürüklenme katsayısı eşitliği kullanılmaktadır.

$$C_d = \begin{cases} 1.2 * 10^{-3} & W < 11 \text{ m/s} \\ (0,49 + 0,065 W) * 10^{-3} & 11 \text{ m/s} < W < 25 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4.81)$$

W: Rüzgâr hızı

Yüzeydeki rüzgâr nedenli kesme kuvveti, yüzeyin altında su hızının değişmesine neden olur.

$$\tau_{wx} = \rho v_z \frac{\partial u}{\partial z}; \tau_{wy} = \rho v_z \frac{\partial v}{\partial z} \quad (4.82)$$

Yüzeyde kirlenici ve tuzluluk değeri sıfır alınmaktadır, ancak sıcaklık şöyledir;

$$D_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{K}{\rho C_p} (T_s - T_e) \quad (4.83)$$

Bu eşitlikte; K, yüzey ısı transferi katsayısı; ρ , suyun yoğunluğu; C_p , suyun özgül ısısı; T_s , yüzeydeki su sıcaklığı; T_e , dengedeki su sıcaklığıdır.

Kinetik enerjinin ve dağılım oranının sınır koşulları da rüzgârın kuvvetine bağlıdır. Eğer bir rüzgâr kuvveti varsa;

$$k_s = \frac{u_{*s}^2}{\sqrt{c_\mu}}, \varepsilon_s = \frac{|u_{*s}|^3}{K \Delta z_s} \quad (4.84)$$

Yoksa

$$\frac{\partial k_s}{\partial z} = 0; \varepsilon_s = \frac{(k_s \sqrt{C_\mu})^{3/2}}{0,07 \kappa H} \quad (4.85)$$

Bu eşitlikte; u_{*s} , yüzey kesme hızı; c_μ , değeri 0.09 olan evrensel ampirik sabit; Δz_s , yüzey ile yüzeyin hemen altındaki çözüm ağının ilk noktası arasındaki mesafe; κ , değeri 0.42 olan Karman sabiti; H, toplam su derinliğidir.

Deniz Tabanı Sınır Koşulu

Deniz tabanındaki taban kesme kuvveti, hızların logaritmik duvar kanunu ile eşleştirilmesi olarak tanımlanmıştır;

$$\tau_{bx} = \left[v_z \frac{\partial u}{\partial z} \right]_b = \rho_0 C_f u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2}; \quad (4.86)$$

$$\tau_{by} = \left[v_z \frac{\partial v}{\partial z} \right]_b = \rho_0 C_f v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \quad (4.87)$$

Bu eşitlikte; τ_{bx}, τ_{by} , taban kesme kuvvetinin bileşenleri; u_b, v_b , tabana en yakın çözüm ağı noktasındaki yatay hız bileşenleri; ρ_0 , ortalama su yoğunluğu; C_f , taban sürtünmesi için deneysel bir katsayıdır. Eğer taban yakınında yeterli derecede hassas bir çözüm ağı sağlanabilirse, C_f logaritmik duvar kanunu ile tahmin edilebilir:

$$C_f = \left(\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{\Delta z_b}{z_0} \right) \right)^{-2} \quad (4.88)$$

Bu eşitlikte; Δz_b , taban ile üzerindeki çözüm ağının ilk noktası arasındaki mesafe; z_0 : 1 cm olarak alınabilen ve yerel tabandaki pürüzlülüğe bağlı bir parametre;

Eğer taban sınırındaki tabaka yeterince hassas değilse, C_f değeri genelde 0.002 ile 0.003 arasında değişen bir sabit olarak alınmaktadır. Duvar bölgesi olarak kabul yapılabilmesi için $30 < z^+ < 100$ olmalıdır. Düşeydeki çözüm ağında, çözüm ağının ilk noktası bu aralığa denk gelmelidir. z^+ şu eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$z^+ = \frac{\Delta z_b u_{*b}}{\nu} \quad (4.89)$$

Eşitlikte; u_{*b} , taban sürtünme hızıdır. Tabandaki kinematik sınır koşulu şöyledir;

$$w_b = -u_b \frac{\partial h}{\partial x} - v_b \frac{\partial h}{\partial y} \quad (4.90)$$

Tabandaki kinetik enerji k_b ve dağılımı ε_b şu eşitlikle tanımlanmıştır:

$$k_b = \frac{u_{*b}^2}{\sqrt{C_\mu}}; \varepsilon_b = \frac{u_{*b}^3}{\kappa \Delta z_b} \quad (4.91)$$

Tabandaki sıcaklık, tuzluluk ve kirlenici değerlerinin değişimi sıfır alınmaktadır. Deniz tabanının içine dağılım ve akıntı olmadığı düşünülmektedir.

Açık Deniz Sınır Koşulu

Açık deniz sınırı yatay bir sınırdır ve su alanının içine ya da dışına doğru akıntı olabilmektedir. Gel-git hareketi olmadığında sınıra dik hızlar, su derinliğinin bulunduğu hücre ortasında hesaplanmaktadır. Yatay hızın değişim terimleri ve daha detaylı bilgi Balas and Özhan (2000) tarafından verilmiştir. Açık deniz sınırında gel-git akıntısı için şu eşitlikler kullanılmaktadır;

$$\eta = a_T \sin\left(2\pi \frac{t}{T_w}\right) \quad (4.92)$$

$$V_n = (gh)^{1/2} a_T H^{-1} \cos\left(\frac{2\pi \Delta n}{L_w} \frac{\Delta n}{2} + \frac{2\pi}{T_w} t\right) \quad (4.93)$$

Eşitlikte; T_w ve L_w sırasıyla gel-git dalga dönemi ve dalga boyu; H , toplam su derinliği; V_n , sınıra dik olan derinlik boyunca ortalanmış hız; Δn , yatay çözüm ağının yatay sınıra dik mesafesi; a_T , Gel-git genliğidir.

Kıyı Sınır Koşulu

Haliç, lagün gibi kıyı sistemlerinde su hacmi mevsimsel değişimler göstermektedir. Bu değişim de, bazı alanların kurumasına veya bazı alanların su altında kalmasına neden olmaktadır. Bu kuruma ve ıslanma olayını benzeştirebilmek için suyun sınırı hareketli olarak tanımlanmaktadır. Bütün su alanındaki yeni hızlar ve serbest su yüzeyi hesaplandıktan sonra, diğer zaman adımına geçmeden önce, toplam su derinliği ve düşey çözüm ağı aralıkları yeniden hesaplanmaktadır. Her zaman adımında su yüzeyinin eğimi bulunmaktadır. Eğer su yüzeyinin eğimi pozitif ise, su yüzeyindeki bu eğim ile su, kıyıyı kestiği noktaya kadar uzatılmaktadır. Kıyıda yatayda gidilen mesafenin bir hareket olarak kabul edilmesi için, yatay çözüm ağındaki aralığın 1/50'si kadar değişmiş olması gerekmektedir. Daha sonra, yatay çözüm ağı aralığı modifiye edilir ve çözüm ağının orta noktasındaki su derinliği hesaplanır. Su derinliği H için negatif bir değer fiziksel olarak bir anlamı yoktur. Bu nedenle toplam su derinliği $H_{i,j}$ şöyle tanımlanmaktadır;

$$H_{i,j} = \max(0, h_{i,j} + \eta_{i,j}) \quad (4.94)$$

Eşitlikte; $h(x,y)$; sakin durumdaki su seviyesinden ölçülmüş su derinliği; $\eta(x, y, t)$, su yüzeyinin seviyesidir.

Çözüm ağının ortasındaki su derinliği, taban pürüzlülüğünün uzunluğu L_b ile kıyaslanmaktadır. Eğer hesaplanan su derinliği, L_b değerinden küçükse ya da sıfırsa, o hücrenin kuruduğu kabul edilmektedir. Daha sonraki bir zamanda su derinliği pozitif olursa, o hücre yeniden ıslanacaktır. Kuru bir hücrede u veya v hız bileşenleri yok olmaya zorlanmakta, böylece akımın hücrenin duvarlarından geçmesine izin verilmemektedir. Kuruma ve ıslanma olayının sonucunda zamanla değişen kıyı sınırı, sınıra dik yönde akıntının geçmediği durum için tanımlanmaktadır. Kıyı boyunca kıyıya dik yöndeki sıcaklık, tuzluluk ve kirlenici değerlerinin değişimi sıfır olarak kabul edilmektedir, başka bir deyişle kıyının içine doğru yayılma ve difüzyon yoktur.

Kıyı sınırı boyunca akıntı girdisinin ve çıktısının olduğu yerlerde, k ve ε tam gelişmiş kanal akıntısı verilerinden şöyle tanımlanmaktadır;

$$k=0.004u_d^2 \varepsilon = c_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{0,0 \mathfrak{G}_k} \quad (4.95)$$

Eşitlikte; u_d , giren akıntının hızı; b_k , giren akıntının giriş genişliğidir.

Eşitlikler şaşırtsmacalı sonlu farklar çözüm ağı kullanılarak sayısal olarak çözülmektedir. Düşey düzlemde Galerkin sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Su derinliği taban topoğrafyasını takip eden eşit sayıda katmana ayrılmaktadır. Çözüm ağının her noktasında katman kalınlığının oradaki su derinliğine oranı sabittir. Sonlu elemanlar yaklaşımı izlenerek, hız değerleri u, v, w ; eddy viskoziteleri, v_x, v_y, v_z ; sıcaklık, T ; tuzluluk, S ; kirletici konsantrasyonu, C ; türbülansın difüzyon katsayıları, D_x, D_y, D_z ; kinetik enerji, k ; kinetik enerjinin dağılım oranı, ε ; basınç, p ; su derinliği üzerindeki her noktada düşeydeki çözüm ağı noktaları arasında lineer çizim fonksiyonu kullanılarak sonlu değerlerin terimleri cinsinden tekrar yazılmaktadır.

$$\tilde{G} = N_1 G_1^k + N_2 G_2^k \quad (4.96)$$

$$N_1 = \frac{z_2 - z}{l_k}; N_2 = \frac{z - z_1}{l_k}; l_k = z_2 - z_1 \quad (4.97)$$

Eşitlikte; \tilde{G} çizim fonksiyonu veya yaklaşımıdır ve değişkenlerden herhangi biridir, k eleman sayısıdır, N_1 ve N_2 enterpolasyon fonksiyonlarıdır, l_k k 'inci elementin uzunluğudur, z_1 ve z_2 k elemanının başlangıç ve bitiş seviyeleridir, z bir elemanda z_1 'den z_2 'ye değerler alan dönüştürülmüş değişkendir.

Değişkenlerin yaklaşım eşitlikleri korunum denklemlerine yerleştirilmekte ve kalan hatalar “Galerkin” yöntemi kullanılarak minimize edilmektedir. Düşey çözünürlüğü artırmak için, gerektiği yerde, düşey düzlemde sıklaştırma uygulanabilmektedir. Çözüm ağı tabanda, yüzeyde ya da orta katmanlarda sıklaştırılabilmektedir. Galerkin metodu uygulandıktan sonra, eşitliklerde görülen yatay koordinatlardaki türev terimleri merkezi sonlu farklar yaklaşımı ile değiştirilmektedir. Yataydaki çözüm ağı aralığı değiştirilebilmektedir. Yatay düzlemdeki herhangi bir çözüm ağı noktasında, düşey bir çizgideki bütün elemanların yerel eleman matrisleri, zamana bağlı türev değişken terimlerini belirlemek için, bir arada gruplanarak global matris

eşitliği oluşturulmaktadır. Global matris su derinliği boyunca oluşturulurken, deniz yüzeyindeki ve tabanındaki sınır koşulları da hesaba katılmaktadır.

Lineer olmayan eşitlik sistemleri, zamanda ikinci dereceden hassas olan Crank-Nicholson metodu ile çözülmektedir. Bu hassaslığı sağlayabilmek için sonlu farklar yaklaşımları zaman adımının ortasında geliştirilmektedir. Geçici ilk türev terimine $(t + 1/2)$ zamanında yaklaşılmaktadır ve o andaki diğer değişkenler ile türev terimleri zaman adımının başlangıç (t) ve bitişindeki $(t + 1)$ sonlu farklar yaklaşımlarının ortalaması alınarak tanımlanmaktadır. Sonuçta çıkan dolaylı zaman adımı eşitlikler, hızlandırma etkili yaklaştırma yöntemi kullanılarak çözülmektedir. Bu yöntem, genelde sonuca yaklaşmayan bir sistemi yaklaştırmak veya salınımlara engel olarak yaklaşımı hızlandırmak için kullanılmaktadır.

Yatay hızların tahmininden sonra düşey hızlar 'w' her zaman adımı için süreklilik denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Yatay hızlar 'u' ve 'v' için, yaklaşım eşitlikleri süreklilik denkleminde yerine konmaktadır;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.98)$$

Daha sonra, kalan hatalar, Galerkin Metodu kullanılarak azaltılmaktadır. Yatay hızlar bilindiği için düşey hızın hesaplanacağı eşitlik şu hale gelir;

$$w_2^k = w_1^k - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial l_k}{\partial x} (u_1^k - u_2^k) + l_k \left(\frac{\partial u_1^k}{\partial x} + \frac{\partial u_2^k}{\partial x} \right) + \frac{\partial l_k}{\partial y} (v_1^k - v_2^k) + l_k \left(\frac{\partial v_1^k}{\partial y} + \frac{\partial v_2^k}{\partial y} \right) \right] - l_k \left[(u_1^k - u_2^k) \left(\frac{z_2}{l_k^2} \frac{\partial z_1}{\partial x} - \frac{z_1}{l_k^2} \frac{\partial z_2}{\partial x} \right) + (v_1^k - v_2^k) \left(\frac{z_2}{l_k^2} \frac{\partial z_1}{\partial y} - \frac{z_1}{l_k^2} \frac{\partial z_2}{\partial y} \right) \right] \quad (4.99)$$

Eşitlikte; $k = 1, 2, \dots, m$ katman numarasını göstermektedir ve l_k k elemanın uzunluğudur.

Süreklilik denklemini sağlamak için, her noktadaki düşey hızlar, tabandaki tabakadan başlayarak yüzeydeki tabakaya doğru hesaplanmaktadır.

4.2.1.2. Rüzgâr ve dalga iklimi alt modelleri

Bir kıyı bölgesini etkileyen rüzgâr özelliklerini belirten rüzgâr iklimi, hemen hemen tüm kıyı ve deniz etkinlikleri için göz önüne alınması gereken temel unsurdur. HYDROTAM-3D veri tabanı, Türkiye kıyılarının tüm meteoroloji istasyonlarının kuruluşlarından günümüze saatlik rüzgâr (1970-2014 arası) verilerini içermektedir. Tüm istasyonların yerleri, Türkiye haritası üzerinde CBS ortamında gösterilmektedir. Çalışılmak istenen denizel alan, harita üzerinde işaretlenebilmekte ve alana en yakın meteoroloji istasyonları harita üzerinde gösterilmektedir. Kullanıcı çalışmak istediği istasyonu harita üzerinden seçebilmektedir. Seçilen istasyona ait saatlik rüzgâr verileri analiz edilmekte, aylık, yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülleri sunulmaktadır.

Yıllık rüzgâr gülü, meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm süresi boyunca, farklı yönlerden farklı hızlar ile esen rüzgârların oluşma oranlarını göstermektedir. Rüzgârın hangi yönden hangi yöne doğru esmekte olduğunu gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Bu yönler Kuzey (N) yönünden başlayarak saat yönünde, Kuzey (N), KuzeyKuzeydoğu (NNE), KuzeyDoğu (NE), DoğuKuzeydoğu (ENE), Doğu (E), DoğuGüneydoğu (ESE), GüneyDoğu (SE), GüneyGüneydoğu (SSE), Güney (S), GüneyGüneybatı (SSW), GüneyBatı (SW), BatıGüneybatı (WSW), Batı (W), BatıKuzeybatı (WNW), KuzeyBatı (NW), KuzeyKuzeybatı (NNW) olarak sıralanmaktadır. Rüzgâr hızları, rüzgâr gülünün yanında ölçek olarak sunulmaktadır. Rüzgârın herhangi bir yönden oluşma sayıları rüzgâr gülünde gösterilmektedir. Mevsimsel rüzgâr gülleri, kış, sonbahar, ilkbahar ve yaz mevsimi aylarının rüzgâr verilerini gruplandırarak, yıllık rüzgâr gülüyle benzer şekilde sunmaktadır. Kış mevsimi, Aralık, Ocak, Şubat ayları saatlik rüzgâr verilerini; İlkbahar mevsimi, Mart, Nisan, Mayıs ayları saatlik rüzgâr verilerini; Yaz mevsimi, Haziran, Temmuz, Ağustos ayları saatlik rüzgâr verilerini; Sonbahar mevsimi ise Eylül, Ekim, Kasım saatlik rüzgâr verilerini kapsamaktadır. Aylık ortalama ve en yüksek değer rüzgâr hızları da bir grafik olarak sunulmaktadır. Rüzgâr hızlarının aylık ortalamaları, meteoroloji istasyonlarının kurulduğu tarihten 2014 yılına kadar, o ay içindeki tüm rüzgâr hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en yüksek değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük değerler (herhangi bir ay için, her yılın en yüksek değerlerinin ortalaması) verilmektedir.

Tüm kıyı istasyonlarının, aylık ortalama ve en yüksek değer rüzgâr hızları da bir grafik olarak sunulmaktadır. Rüzgâr hızlarının aylık ortalamaları, meteoroloji istasyonlarının kurulduğu tarihten 2014 yılına kadar, o ay içindeki tüm rüzgâr hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en yüksek değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük değerler (herhangi bir ay için her yılın en yüksek değerlerinin ortalaması) verilmiştir.

HYDROTAM-3D, rüzgâr istatistiği olarak, “uzun dönem” ve “en büyük değer (ekstrem)” olmak üzere iki tür istatistiksel dağılım kullanmaktadır. Uzun dönem istatistik, zamansal olarak süreklilik gösteren verileri yani meteoroloji istasyonlarının kurulduğu tarihten 2019 yılına kadar ölçülen tüm saatlik verileri kullanmaktadır. Uzun dönem rüzgâr hızı, log-normal dağılım istatistiği ile incelenmiştir. Tüm saatlik rüzgâr verilerinin, yönlere göre aşılma olasılıkları da programda sunulmaktadır. İstenen yönden istenilen rüzgâr hızının yılda kaç saat aştığı hesaplanabilmektedir.

En büyük değer istatistiğinde ise meteoroloji istasyonlarının kurulduğu tarihten 2014 yılına kadar ölçülen tüm saatlik verilerin içinden yıllık en büyük rüzgâr hızları kullanılmıştır. Yıllık en büyük rüzgâr hızları Gumbel olasılık dağılımı ile incelenmiş ve Gumbel dağılım kâğıdına yerleştirilerek sunulmuştur. Noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına da uzatılmıştır. Herhangi bir yineleme dönemiyle oluşması beklenen rüzgâr hızları, çizimin üst yatay ekseninde gösterilmektedir.

Türkiye kıyılarında dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilecek ölçülmüş dalga verisi bulunmamaktadır. Bugün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de dalga tahminleri rüzgâr ölçümlerine veya modellerine dayanmaktadır. Rüzgâr dalgalarının modellenmesinde iki türlü yaklaşım bulunmaktadır; ampirik modeller ve sayısal modeller. Birçok sayısal model, batimetrik, topografik ve çözümleme ağı uzunluğu ve kara sınırları problemleri nedeni ile kıyısal alanlarda doğru sonuçlar üretememektedir. Özellikle, Türkiye’nin Ege Denizi ve Marmara Denizi kıyılarında sayısal modellerin çözüm ağları ve kara sınırı uyarlamalarında hata oranları yükselmektedir. Birçok kıyı mühendisliği tasarımlarında, doğruluğu kanıtlanmış ampirik modeller kullanımı tercih edilmektedir. Dünyada en çok kullanılan, ölçümlerle test edilmiş ampirik modeller SMB (Bretschneider, 1970), JONSWAP (Hasselmann ve ark. 1976), SPM (US Army, 1984),

CEM (US Army, 2006). Bu çalışmada, dünyada da yaygın olarak kullanılan CEM ampirik modeli kullanılmıştır. Rüzgâr hızları deniz yüzeyinden 10 m yükseklikteki rüzgâr hızlarına dönüştürülmektedir. Seçilen denizel noktadan, tüm yönlerde, noktanın karşısındaki karayı kesen dikmenin uzunluğu, o yöndeki dalga kabarma mesafesidir (feç). Tüm yönlerdeki etkin dalga kabarma uzunluğunun (etkin feç uzunluğu) belirlenmesi için cosinüs ortalama metodu uygulanmıştır. Tüm ana yönler için ± 22.5 derece aralığında, $\theta = 7.5$ derecelik açılarla dalga kabarma uzunluklarının ortalamaları alınmaktadır;

$$X_{ef} = \frac{\sum X_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (4.100)$$

Burada; X dalga kabarma uzunluğu, X_{ef} etkin dalga kabarma uzunluğudur.

Hesaplanan derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin “uzun dönem” ve “en yüksek değer” istatistikleri de HYDROTAM-3D ile çalışılmıştır. Uzun-dönem dalga istatistiği zamansal olarak süreklilik gösteren verileri içermektedir. Bir denizel alanda oluşan dalga yüksekliklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için değişik olasılık dağılımları üretilmiştir. Bu dağılımlardan en çok uygulanmakta olan, tüm fırtınalarda oluşan belirgin dalga yükseklikleri ile bunların oluşma olasılıkları arasındaki ilişkiyi gösteren “Log-lineer dağılım”dır. Uzun dönem dalga istatistiği log-lineer dağılım ile incelenmiştir. Böylelikle, iskele veya yanaşma yerlerinde veya limanlarda dalgaların yol açtığı çalkantıların ne sürelerde olduğu bulunabilmektedir. Log-lineer olasılık dağılım denklemi;

$$Q(H_{1/3}) = e^{2.3(H_{1/3}-B)/A} \quad (4.101)$$

Denklemden; $Q(H_{1/3})$ fırtınalarda oluşan belirgin dalga yüksekliğinin $H_{1/3}$ değerine eşit veya daha büyük olma olasılığı, $H_{1/3}$ belirgin dalga yüksekliğinin değeri, A ve B dağılım parametreleridir. Log-lineer olasılık dağılım denklemi aşağıdaki şekilde de yazılabilir;

$$H_{1/3} = A * \text{Log} Q(H_{1/3}) + B \quad (4.102)$$

Seçilen denizel alanın uzun dönem dalga istatistikleri yönlere göre sunulmakta, istenilen dalga yüksekliğinin yılda kaç saat aşılma olasılığı olduğu hesaplanabilmektedir.

Yıllık dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. Dalgaların nereden geldiğini gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Dalga yüksekliği 0.5 metreden küçükse, denizin durumu “sakin” olarak kabul edilmektedir. Bu durumda herhangi bir dalga yönü belirtilmemekte ve oluşma oranı gülün ortasındaki çember içinde verilmektedir.

4.2.1.3. Dalga ilerleme alt modeli

Geliştirilen dalga ilerlemesi sayısal modelinde, geniş ve düzensiz batimetriye sahip alanlarda açık denizden eğik açıyla yaklaşan dalgaların ilerlerken uğrayacakları değişimleri ve bunların sonucunda dalgaların sahip olacakları dalga yüksekliklerini benzeştirmek amacıyla, geliştirilmiş yumuşak eğim denklemleri çözülmektedir. Açık deniz dalgaları, rüzgâr etkisiyle oluşan dalgalarlardır. Düzensiz taban topoğrafyasına ve değişen su derinliklerine bağlı olan sığlaşma, sapma, dönme, yansıma, taban sürtünmesi ve kırılma etkileri benzeştirilmektedir (İnan, 2007; İnan ve Balas, 2010, 2009, 2008, 2007, 2002).

Dalga ilerlemesini tanımlayan yumuşak eğim eşitliği;

$$\frac{\partial}{\partial x} (CC_g \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (CC_g \frac{\partial \phi}{\partial y}) + \sigma^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad (4.103)$$

Burada, x ve y, yatay koordinatlar; $\phi(x,y)$, kompleks hız potansiyeli; σ , açısal frekans; $C(x,y)$, dalga yayılma hızı; $C_g(x,y)$, grup hızı; $h(x,y)$, durgun su yüksekliği; $k(x,y)$, dalga numarası; g, yer çekimi ivmesidir.

Eğer dalga ilerleme yönündeki dönme etkilerinin zayıf olduğu kabul edilirse (4.103) nolu eşitlik şu şekli alır;

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \left[ik - \frac{1}{2kCC_g} \frac{\partial}{\partial x} (kCC_g) \right] \phi + \frac{i}{2kCC_g} \frac{\partial}{\partial y} (CC_g \frac{\partial \phi}{\partial y}); \quad i = \sqrt{-1} \quad (4.104)$$

Burada potansiyel fonksiyonu aşağıdaki gibi alınmaktadır,

$$\phi = ae^{is} \quad (4.105)$$

Potansiyel fonksiyonu (4.104) nolu eşitliğe yerleştirilirse ve dönme etkisi gözönüne alınırsa aşağıdaki eşitlik reel ve imajiner olmak üzere iki parçaya ayrılarak çözülür.

$$\frac{1}{a} \left[\frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{1}{CC_g} \left(\nabla a \cdot \nabla (CC_g) \right) \right] + k^2 - |\nabla s|^2 = 0 \quad (4.106)$$

$$\nabla \cdot (a^2 CC_g \nabla s) = 0 \quad (4.107)$$

Burada, $a(x,y)$, dalga büyüklüğü; $H(x,y)$, dalga yüksekliği; $s(x,y)$, dalganın faz fonksiyonu; ∇ , yatay koordinatlar türev operatörü.

İrrotasyon özelliği dikkate alındığında,

$$\nabla \times (\nabla s) = 0 \quad (4.108)$$

$$\nabla s = |\nabla s| \cos(\theta) \mathbf{i} + |\nabla s| \sin(\theta) \mathbf{j} \quad (4.109)$$

Burada, \mathbf{i} , \mathbf{j} , x ve y yönündeki birim vektörler; $\theta(x,y)$, lokal dalga açısıdır. $\theta(x,y)$ aşağıdaki denklemle çözülür.

$$\frac{\partial}{\partial x} (|\nabla s| \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (|\nabla s| \cos \theta) = 0 \quad (4.110)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (a^2 CC_g |\nabla s| \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y} (a^2 CC_g |\nabla s| \sin \theta) = 0 \quad (4.111)$$

Eğer lokal dalga açısı ve faz fonksiyonundaki değişimin büyüklüğü biliniyorsa bu enerji eşitliği dalga büyüklüğünü bulmak için de kullanılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} (k \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (k \cos \theta) = 0 \quad (4.112)$$

$$\nabla \cdot (a^2 CC_g k) = 0 \quad (4.113)$$

Bu iki eşitlik, sadece sapmadan dolayı dalgaların uğradıkları değişimleri ifade eder. Dalga büyüklüğü ‘a’ değerinin yerine dalganın yüksekliğinin yarısı $H/2$ yerleştirilirse, dalga parametreleri H , θ , $|\nabla s|$ değerlerini ifade edecek üç denklemlerle çözümler;

$$|\nabla s|^2 = k^2 + \frac{1}{H} \left[\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{1}{CC_g} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial CC_g}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial CC_g}{\partial y} \right) \right] \quad (4.114)$$

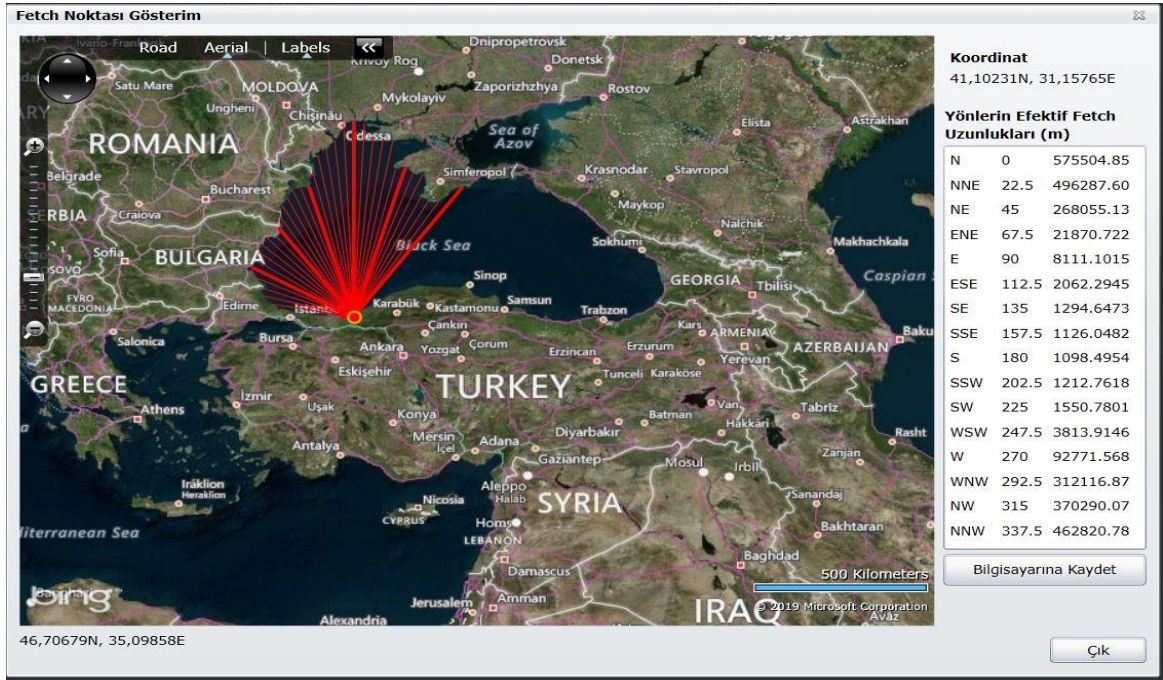
$$\frac{\partial}{\partial x} (H^2 CC_g |\nabla s| \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y} (H^2 CC_g |\nabla s| \sin \theta) = 0 \quad (4.115)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (|\nabla s| \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (|\nabla s| \cos \theta) = 0 \quad (4.116)$$

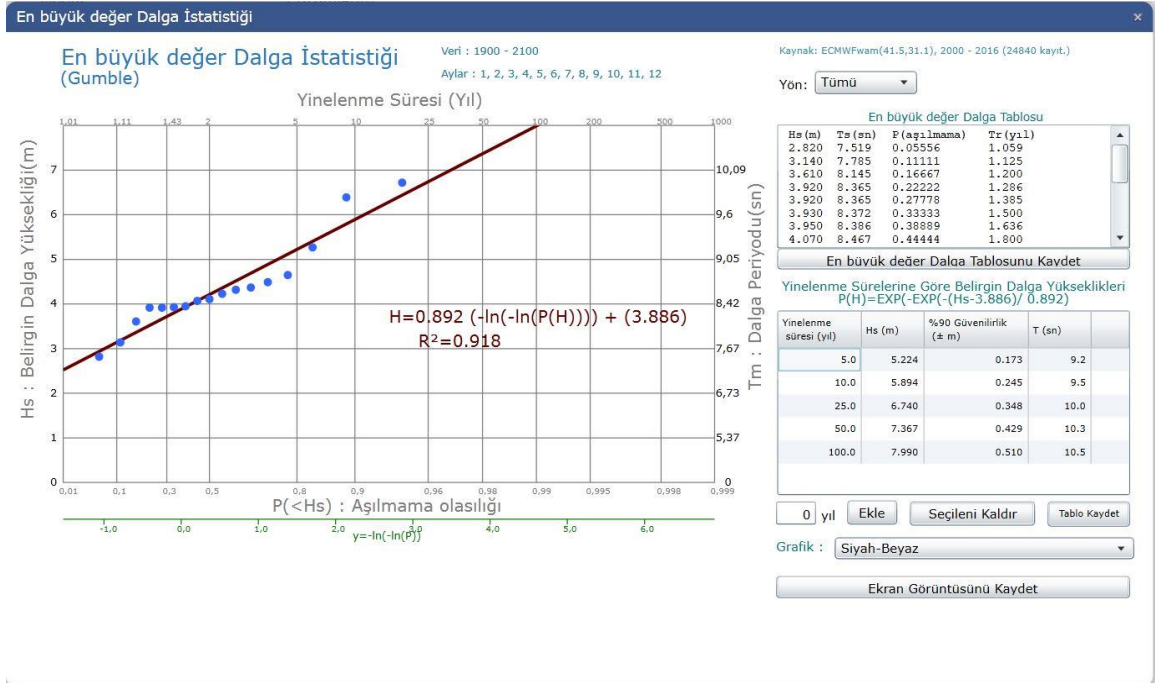
Oluşan denklem takımları sonlu farklar metoduyla çözümlenmekte, x yönündeki parçasal türevler geri olarak, y yönündeki parçasal türevler ise merkezi olarak açılmaktadır. Yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir; taban eğimi küçüktür, dalgalar irrotasyoneldir. Modelin girdileri, derin deniz parametresi olan dalga yüksekliği (H_0), dalganın geliş açısı (θ_0) ve dalga periyodudur (T). İlk yaklaşımda, çözüm ağı üzerindeki her noktada lokal dalga yüksekliği, derin denizdeki dalga yüksekliği ile sığlaşma ve sapma katsayılarının çarpımına eşit alınmaktadır. Modelde her derinlikte dalgaların kırılma kontrolü de yapılmaktadır. Geliştirilen model sonuçları literatürde yayınlanan deneysel ve ölçümsel verilerle karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir.

Dalga ilerleme alt modeli kullanılarak, rüzgâr etkisiyle derin denizde oluşan dalgalar kıyı bölgesine taşınmakta ve kıyı boyu dalga kırılma bölgesi belirlenerek bu bölgede sediman taşınımına etken olan gerilme akısı dağılımı hesaplanmaktadır. Dalga ilerleme alt modelinden elde edilen kıyı bölgesi dalga yükseklikleri, yaklaşım açıları ve gerilme akıları, dalga etkisiyle oluşan akıntı düzeninin benzeştirilmesinde girdi olarak kullanılmaktadır (Balas ve ark. 2006; Yıldız ve ark. 2005).

Tez kapsamında HYDROTAM-3D yazılımının dalga ilerlemesi (dalga transformasyonu) modülü kullanılmıştır. Bunun nedeni tez içeriğinin dizayn temelli olmasıdır. Şekil 4.6. ve 4.7.’de HYDROTAM-3D yazılımından çalışma sayfaları görülmektedir:



Şekil 4.6. HYDROTAM-3D çalışma sayfası örneği



Şekil 4.7. HYDROTAM-3D çalışma sayfası örneği

H_s yüksekliğinin yapı önündeki değerini bulmak için HYDROTAM-3D programı kullanılmıştır. Dalga transformasyon modülüne göre yapı önu belirgin dalga yüksekliği (H_s) 5.70 m bulunmuştur.

4.3. Ana ve Tali Dalgakıran Tasarımı

Dalgakıranların inşa edilme amaçları;

- Limanları deniz açıklarından gelen dalgaların etkisini azaltarak korumak,
- Kıyıda erozyonu azaltmak,
- Liman faaliyetlerinin güvenlikle sürdürülmesini ve limanda bulunan gemilere zarar gelmeden muhafazasını sağlamak,
- Limanın kumlanması engelleyen şekildedir.

Dalgakıranlar, tüm dünyada deniz mühendisliğinde tasarım ve yapım sonrasında hem hasar olasılığı çok yüksek hem de maliyetli deniz yapılarıdır. Ayrıca dayanım ve yük değerlerine bağlı olarak çok fazla belirsizlik içermektedir. Hudson (1959) ve Van der Meer (1987) tarafından geliştirilen yarı-deneysel denklemler yardımıyla kıyı yapılarının ön tasarım aşaması deterministik olarak gerçekleştirilir. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi belirsizlik aralıkları mevcuttur ve bunlar dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle, istatistiksel yöntemlerin kullanılması, tasarımda belirsizlikler de dikkate alındığından zorunludur. Eşitlik içerisinde geniş bir değer aralığının ortalama değerlerle ifade edilmesi tasarım sırasında kullanılan eşitliklerin belirsizlik nedenidir. Tasarım sırasında kullanılan parametrelerden olan yük ve dayanım da belirsizlik kaynağıdır. Bu belirsizlikler aşağıdaki şekildedir;

- Yük değişkenleri (belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga sayısı ve derin sudaki dalga dikliğine bağlı belirsizlikler),
- Dayanım değişkenlerinin sebep olduğu belirsizlikler.

Dalgakıran yapımının amacı, sahil yerlere gelen dalgaların kırılmasını sağlayıp zarar görmesini engellemektir.

Dalgakıran tarihçesinden bahsedecek olursak, bizim de tasarımını yapacağımız bilinen ilk taş dolgu dalgakıran M.Ö. 2000'lerde İskenderiye'de, ilk modern taş dolgu dalgakıran ise 1781'de Fransa'da yapılmıştır. Ve ilk modern düşey yüzlü dalgakıran ise İngiltere'de inşa edilmiştir.

Dalgakıran Çeşitleri

Genel olarak dalgakıran çeşitleri aşağıda listelenmiştir;

- Taş dolgu dalgakıranlar
- Düşey yüzlü dalgakıranlar
- Yüzen dalgakıranlar.

4.3.1. Taş dolgu ana ve tali dalgakıran tasarımı

Taş dolgu dalgakıran

Taş dolgu dalgakıranlar, taş veya beton blokların yığılmasıyla yapılan, kendisine çarpan dalgaların kırılması ve yansıtılması sayesinde yapının arkasındaki su haznesini dalgalara karşı koruyan yapılardır.

Liman, rıhtım v.b. deniz yapılarını koruyan taş dolgu dalgakıranların koruma tabakası, yapıları dalgalara karşı koruyan doğal taş veya yapay beton bloklardır. Koruma tabakası özellikle liman içine bağlanan deniz taşıtları için hayati derecede önemlidir.

Kıyı Yapıları Planlama Ve Tasarım Teknik Esasları/2016'da taş dolgu dalgakıran tasarımı için iki tasarım yöntemi önerilmektedir;

- Hudson Denklemi
- Van Der Meer Denklemi

Bu denklemler aşağıda verilen koşullar mevcut ise geçerlidir;

- Koruyucu tabakada iki sıra doğal taş veya yapay beton kullanılacaksa,
- Yapıya dik açıyla gelen dalgalar için tasarım yapılacaksa,
- Kesit tasarımı model deneyleri yapılarak dalga kesinleştirilecekse.

4.3.1.1. Hudson Denklemi

Dalgakıran üzerine gelen dalgaların hareketi ve bu hareketin sonucunda oluşan etkileri çok komplekstir. Dalgakıran üzerine gelen dalgalar ya yansıtacaktır ya da tam olarak da kırılacaktır. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda, dalgakıran üzerine gelen kısa periyodlu rüzgâr dalgalarının oluşturduğu hareketin, dalga dikliği (H/L), rölatif su

derinliği (d/L), rölatif dalga yüksekliği (H/d), taban eğimi (m), dalgakıran eğimi (α), dalgaların geliş açısı (β), taş şekli faktörü (s_a), koruyucu tabaka kalınlığı (t) ve yapının porozitesi gibi parametrelere bağlı olduğu görölmüştür. Devam eden çalışmalar koruyucu tabaka stabilitesinin, taşın sudaki ağırlığına (W'), taşın sakin su seviyesinden olan mesafesine (z), dalgakıran eğimine (α), dalgakıran yüksekliğine (h) ve genişliğine (b), taş şekli faktörüne (s_a), koruyucu tabaka kalınlığına (t), yapının porozitesine (Pr) ve taşların yerleştirme metotlarına bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

Koruyucu taşlara etkiyen toplam atalet ve direnç katsayısı Eşitlik (4.117) ile tanımlanmıştır.

$$F_q = C_q \frac{\gamma_w}{g} u^2 \quad (4.117)$$

F_q : Direnç ve atalet kuvvetlerinin toplamı (N)

C_q : Toplam direnç katsayısı

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

u : Koruyucu tabaka taşlarının üzerindeki su hızı (m/s)

γ_w : Suyun özgül ağırlığı (N/m^3)

Dalgaların dalgakıran üzerinde kırılmaları durumunda, kırılma anında dalga sırtındaki parçacığın hızı, kırılan dalganın oluşturduğu su jetinin hızına eşittir. Parçacığın hızı ve dalga kırılma derinliği arasında Eşitlik (4.118) ile gösterilen bir bağıntı vardır.

$$u_b^2 = g d_b \quad (4.118)$$

u_b : Dalga sırtındaki parçacığın hızı (m/s)

d_b : Dalga kırılma derinliği (m)

Dalganın kırılma alanındaki dalga yüksekliği ve dalga kırılma derinliği arasındaki bağıntı Eşitlik (4.119) ile verilmiştir.

$$H_b = k_b d_b \quad (4.119)$$

H_b : Dalga kırılma derinliğindeki dalga yüksekliği (m)

k_b : Katsayı (f (H/L))

Eşitlik (4.118) ve Eşitlik (4.119)'dan Eşitlik (4.120) elde edilmiştir.

$$u_b^2 = \frac{g}{k_b} H_b \quad (4.120)$$

Kırılan dalganın yarattığı kuvvet Eşitlik (4.117) ve Eşitlik (4.120)'nin birleştirilmesiyle bulunur.

$$F_q = C_q D^2 \frac{\gamma_w}{k_b} H_b \quad (4.121)$$

D : Bir taşın karakteristik boyutu

Koruyucu tabakayı oluşturan taşlar tek tek suya atıldığı zaman sudaki ağırlığı (W') ve sürtünme kuvvetiyle, taşı yerinden oynatacak kuvvetlere karşı koyar. Sürtünme kuvveti, taşın ağırlığı yanında ihmal edilebilecek seviyededir.

$$W' = k_v D^3 (\gamma_r - \gamma_w) \quad (4.122)$$

W' : Taşların tekil ağırlığı (N)

γ_r : Taş özgül ağırlığı (N/m³)

k_v : Hacim katsayısı

Denge şartı için, taşların tekil ağırlığı toplam atalet ve moment direncine eşit olacaktır.

$$W' = F_q \quad (4.123)$$

Eşitlik (4.121) ve Eşitlik (4.122) Eşitlik (4.123)'de yerine yazılırsa, Eşitlik 4.124 elde edilir.

$$k_v D^3 (\gamma_r - \gamma_w) = C_q D^2 \frac{\gamma_w}{k_b} H_b \quad (4.124)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w} \quad (4.125)$$

S_r : Özgül ağırlıkların oranı

Eşitlik (4.125), Eşitlik (4.123)'de yazılırsa, Eşitlik (4.126) elde edilir.

$$k_v D(S_r - 1) = \frac{C_q H_b}{k_b} \quad (4.126)$$

Eşitlik (4.126), Eşitlik (4.127) şeklinde de yazılabilir.

$$\frac{H_b}{D(S_r - 1)} = \frac{k_b k_v}{C_q} \quad (4.127)$$

$$W = k_v D^3 \gamma_r \quad (4.128)$$

Eşitlik (4.128) ifadesinden taşın karakteristik boyutu elde edilir.

$$D = \left(\frac{W}{k_v \gamma_r} \right)^{1/3} \quad (4.129)$$

Eşitlik (4.128) ve Eşitlik (4.129) birleştirilirse, Eşitlik (4.130) elde edilir ve Eşitlik (4.131) bağıntısı tanımlanır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = \frac{k_b k_v^{2/3}}{C_q} \quad (4.130)$$

$$\frac{k_b k_v^{2/3}}{C_q} = f \left(C_d, k_a, C_m, k_v, \frac{D}{u^2}, \frac{du}{dt}, \frac{d}{L}, \frac{H}{L} \right) \quad (4.131)$$

Hudson (1959), dalgakıran üzerine gelen dalgaların kısmen kırılması veya hiç kırılma yaşamadan yansıdığı durumlar sonucu oluşan kuvvetlerin aynı yönde olmadığı gibi durumdaki su hareketleri için de aynı şeyi, yani onların da aynı olmadığını savunur. Ama taş stabilitesi açısından kırılmayan ve kırılan dalgaların sebep olduğu kuvvet merteye değerleri yaklaşık olarak aynıdır (Yüksel, 2011).

Eşitlik (4.132), birinci dereceden bir kabul ile kırılmayan ve kırılan dalgaların kuvvet bağıntısını vermektedir.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f \left(C_d, k_a, C_m, k_v, D, P, r, h, m, z, B_0, \frac{H}{d}, \frac{D}{u^2}, \frac{du}{dt}, \frac{d}{L}, \frac{H}{L} \right) \quad (4.132)$$

C_d, k_a, C_m, k_v katsayıları şekil faktörünün bir fonksiyonu, C_d ve C_m de Reynold sayısının bir fonksiyonudur.

Hudson (1959), yaptığı deneyler ile Eşitlik (4.132)'in sağ tarafını elde etmek için çalışmıştır. $\frac{d}{u^2}, \frac{du}{dt}$ değişkenleri, taşlar etrafındaki suyun hız alanının belirlenmemesi

sebebiyle ihmal edilmiştir. $\frac{d}{L}, \frac{H}{L}, \alpha, d$ ve t değişkenleri sabit tutulmuştur (Short Protection Manual, 1984).

Koruyucu tabakaya düzenli, pürüzsüz, yuvarlak şekilli taşların yerleştirilmesi ile yapılan ilk deneylerde, Eşitlik (4.133) bağıntısı kullanılmıştır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f\left(\alpha, \frac{d}{L}, \frac{H}{L}, S\right) \quad (4.133)$$

S : Hasar yüzdesi

Bir veya iki taş tabakasının üzerine koruyucu tabaka olarak yerleştirilen tetrapod ve taş dolgu ile deneylerin ikinci kısmı yapılmıştır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f\left(\alpha, \frac{d}{L}, \frac{H}{L}, r\right) \quad (4.134)$$

Eşitlik (4.132), Eşitlik (4.133) ve Eşitlik (4.134)'te sağ taraf stabilite parametresi ile ifade edilmiştir. $\frac{d}{L}, \frac{H}{L}$ boyutsuz değişkenlerinin koruyucu tabaka taşlarının stabilitesi üzerine yaptığı etkinin, dalgakıran eğimi ve koruyucu taş şeklinin yaptığı etkilere göre ihmal edilebilir seviyede olduğu yapılan deney sonuçlarında ortaya konulmuştur. Deney sonuçları hiç hasar olmama ve dalgakıran üzerinden dalga aşmaması durumları için, $\cot\alpha$ 'nın fonksiyonu olarak N_s 'e göre logaritmik kâğıda işlenmiştir. Geçirilen en uygun doğru, Eşitlik (4.135) ile elde edilmiştir.

$$N_s = a(\cot\alpha)^{1/3} \quad (4.135)$$

a : $\cot\alpha$ 'nın bire eşit olduğu zaman ki stabilite değeri

α : Dalgakıran eğimi

N_s : Stabilite parametresi

Eşitlik (4.135), Eşitlik (4.134)'de yerine konulursa, Eşitlik 4.(136) elde edilir.

$$\frac{H \gamma_r^{1/3}}{W^{1/3} (S_r - 1)} = a(\cot\alpha)^{1/3} \quad (4.136)$$

W : Koruyucu birey taş ya da blok birim ağırlığı (N)

H : Dalgakıran önündeki tasarım dalga yüksekliği (m)

Her iki tarafın küpü alınarak Eşitlik (4.136) düzenlenirse, Eşitlik (4.137) elde edilir.

$$\frac{H^3 \gamma_r}{W(S_r-1)^3} = a^3 (\cot \alpha) \quad (4.137)$$

Koruyucu tabakanın taş şekline göre değişen ve deneysel olarak belirlenen stabilite katsayısı Eşitlik (4.138) ile tanımlanmıştır.

$$K_D = a^3 \quad (4.138)$$

K_D : Stabilite katsayısı

Seçilen tasarım dalgası için dalgakıran koruyucu taş ağırlığı hesaplanır. Bu hesapta, dalgakıranda hiç hasar olmama koşulu da sağlanmış olur. En son halini alan Hudson Denklemi, Eşitlik (4.139) veya Eşitlik (4.140) ile ifade edilir.

$$W = \frac{H^3 \gamma_r}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (4.139)$$

$$W = \frac{H^3 \gamma_r}{K_D \Delta^3 \cot \alpha} \quad (4.140)$$

Δ : Göreceli özgül ağırlık

Taş kütlesi Eşitlik (4.139) ile, taşların nominal çapı ise Eşitlik (4.141) ile hesaplanır

$$M_{50} = \frac{H^3 \rho_r}{K_D \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (4.141)$$

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_r g} \right)^{1/3} \quad (4.142)$$

M_{50} : Ortalama taş kütlesi (kg)

D_{n50} : Taşların % 50'sinin ağırlığındaki taşın çapı (m)

Belirgin dalga yüksekliklerine göre denge katsayıları Çizelge 4.9. ve Çizelge 4.10.'da, kafa kesiti için K_D değerleri ise Çizelge 4.11.'de verilmiştir. Koruyucu topuk olması durumunda küp ve antifer bloklar için denge katsayıları gövde kesiti ve kafa kesiti için

sırasıyla Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13.'te verilmiştir (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016).

Çizelge 4.9. K_D değerleri tasarım dalgası $H=H_s$ (Eğim Açıları $1.5 \leq \cot\alpha \leq 3.0$) (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar			
		0-5%		5-10%	10-15%
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	2.1	2.4	3	3.6
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	3.5	4	4.9	6.6
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel	4.8	5.5		

Çizelge 4.10. K_D değerleri tasarım dalgası $H=H_{1/10}$ (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar	
		D=0-5%	
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	1.2	2.4
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	2	4
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel	5.8	7

Çizelge 4.11. Dalgakıran kafası için K_D değerleri, $H=H_{1/10}$ (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar			
		0-5%		5-10%	10-15%
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	2.1	2.4	3	3.6
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	3.5	4	4.9	6.6
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel ³	4.8	5.5		

Çizelge 4.12. Taş dolgu dalgakıranların gövde kesiti için önerilen K_D katsayıları (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016)

Gövde Kesiti Hasar $D= \%0-5$				
Yapı eğimi	Kırılmayan Dalga Koşulları		Kırılan dalga koşulları	
$\cot \alpha$	Küp	Antifer	Küp	Antifer
1.5	4.5	5	3.5	4
2.0	6.5	7	5	5.5
2.5	7.5	8	6	6.5
3.0	8.5	9	7	7.5
3.5	9.5	-	8	-

Çizelge 4.13. Taş dolgu dalgakıranların kafa kesiti için önerilen K_D katsayıları (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016)

Kafa Kesiti Hasar $D= \%0-5$				
Yapı eğimi	Kırılmayan Dalga Koşulları		Kırılan Dalga Koşulları	
$\cot \alpha$	Küp	Antifer	Küp	Antifer
1.5	-	4	-	3.5
2.0	5	5.5	4	4.5
2.5	6	6.5	5	5.5
3.0	7	7.5	6	6.5
3.5	-	-	-	-

Koruma tabakasında gövdede ve kafada kullanılacak tetrapod elemanlar için gerekli K_D değerleri Çizelge 4.14. ve Çizelge 4.15. ile verilmiştir.

Çizelge 4.14. Dalgakıran gövdesi için K_D değerleri ($H= H_{1/10}$ $D = \%0-\% 5$ hasar) (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Koruyucu Tabaka	Yerleştirme	Tabakalar	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Yapı Eğimi
Tetrapod	Rastgele	2.0	7.0	8.0	1.5
					2.0
					3.0

Çizelge 4.15. Dalgakıran kafası için K_D değerleri ($H= H_{1/10}$ $D = \%0-\% 5$ hasar) (Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Koruyucu Tabaka	Yerleştirme	Tabakalar	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Yapı Eğimi
Tetrapod	Rastgele	2.0	5.0	6.0	1.5
			4.5	5.5	2.0
			3.5	4.0	3.0

4.3.1.1.1. Koruma yapısındaki taşların üzerine gelen yükler

Taş dolgu dalgakıran tasarımı için Hudson Denklemi en çok kullanılan denklemdir (Ergin, 2009). Hudson Denklemi, koruma yapısındaki taşların üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini göz önüne almaktadır.

Koruyucu taşların üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Bu kuvvetler, taşa etkiyen kaldırma kuvveti (K), taşların arasında meydana gelen etkileşim kuvveti (R), dalga basıncı (P_{dalga}) ve sürtünme kuvveti (F) olarak verilmiştir. Bu kuvvetler ve dengesi aşağıda incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan taşlar küresel olarak ele alınmıştır.

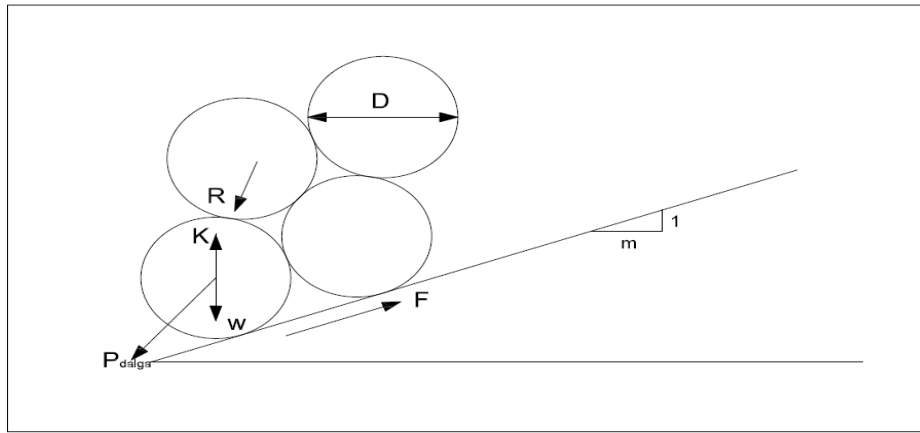
Taşın hacmi yaklaşık olarak Eşitlik (4.143), taşın ağırlığı Eşitlik (4.144) ve bir taşın üzerine etkiyen kaldırma kuvveti Eşitlik (4.145) ile verilmiştir.

$$V \cong D^3 \quad (4.143)$$

$$W \cong \gamma_r D^3 \quad (4.144)$$

$$K \cong \gamma_w D^3 \quad (4.145)$$

V: Bir taşın hacmi (m^3)



Şekil 4.8. Koruyucu taşların üzerine etki eden kuvvetler

Taşa etkiyen net düşey kuvvet, sürtünme kuvveti ve etkileşim kuvveti ihmal edilerek taşın ağırlığından kaldırma kuvveti çıkarılarak Eşitlik (4.146) ile elde edilmiştir (Ergin, 2009).

$$W - K = \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right) \gamma_w D^3 = (\Delta - 1) \gamma_w D^3 \quad (4.146)$$

Bir taşın üzerine etkiyen dalga basıncı Eşitlik (4.147) ile verilmiştir.

$$F_w \cong \rho_w u^2 D^2 \quad (4.147)$$

F_w : Dalga basınç kuvveti (N)

ρ_w : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)

Net düşey kuvvet ve dalga basıncı kuvvetleri ile kritik kuvvet kombinasyonu elde edilmiştir (Ergin, 2009). Bu kombinasyon, taşların yerleşimine, dalga dikliğine, yapının eğimine ve dalga yaklaşım açısına bağlıdır (Ergin, 2009).

$$C_F = \frac{W-K}{P_{dalga}} \quad (4.148)$$

$$C_F = \frac{(\Delta-1)\gamma_w D^3}{\rho_w u^2 D^2} = \frac{(\Delta-1)g D}{u^2} \quad (4.149)$$

C_F : Kritik kuvvet kombinasyonu

Kırılma anındaki su parçalarının hızı büyük ölçüde dalga hızına eşit olmakta ve dalga hızı sığ su yaklaşımı ile yaklaşık olarak Eşitlik (4.150) ile hesaplanmaktadır (Ergin, 2009).

$$C = \sqrt{g d_b} \quad (4.150)$$

C : Dalga hızı (m/s)

Eşitlik (4.150)'de kırılma derinliği yaklaşık olarak kırılan dalganın yüksekliğine eşit ($H_b/d_b \approx 1$) alınmış ve Eşitlik (4.151) elde edilmiştir (Ergin, 2009). Hudson Denkleminde, tasarım dalga yüksekliği kırılan dalga yüksekliğine eşittir. Eşitlik (4.151), Eşitlik (4.152) olarak ifade edilebilir.

$$u = \sqrt{g H_b} \quad (4.151)$$

$$u = \sqrt{g H} \quad (4.152)$$

Su parçacıklarının hızı Eşitlik (4.151)'de yerine konularsa kritik kuvvet kombinasyonu Eşitlik (4.153) elde edilir. Eşitlik (4.155)'in düzenlenmesi ile taş çapı Eşitlik (4.154) ile

bulunur. Taş ağırlığı, Eşitlik (4.146)'da taş çapının yerine konulması ile Eşitlik (4.155) kullanılarak hesaplanır.

$$C_F = \frac{(\Delta-1)gD}{gH} \quad (4.153)$$

$$D = \frac{H}{(\Delta-1)} C_F \quad (4.154)$$

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{(\Delta-1)^3} C_F \quad (4.155)$$

Kritik kuvvet kombinasyonu, taşların stabilite katsayısı ile yer değiştirirse Hudson Denklemi elde edilir (Ergin, 2009).

$$W = \frac{\gamma_r H^3 \tan \alpha}{(\Delta-1)^3 K_D} \quad (4.156)$$

4.3.1.2. Van der Meer Denklemi

Koruma tabakasında kullanılacak taş büyüklüğünü hesaplamak için Van der Meer Denklemi aşağıdaki gibi kullanılır.

Sıçrayarak (plunging tipi) kırılma ($x_m < x_{mc}$) için Eşitlik (4.157) ve dökülerek (surging tipi) kırılma ($x_m > x_{mc}$) için Eşitlik (4.158) tanımlanmıştır.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 6.2 S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad (4.157)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 1.0 S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot \alpha)^{0.5} \xi_m^P \quad (4.158)$$

$$\xi_m = S_m^{-0.5} \tan \alpha \quad (4.159)$$

$$\xi_{mc} = (6.2 P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{1/(P+0.5)} \quad (4.160)$$

$$S_m = H_s / L_{om} \quad (4.161)$$

S_m : Dalga dikliği ($0.005 \leq S_m \leq 0.06$ için geçerli)

L_{om} : Ortalama dalga periyodundaki dalga uzunluğu (m)

x_{mc} : Kritik kırılma parametresi değeri

x_m : Kırılma parametresi

P : Geçirimsizlik (Permeabilite) katsayısı $0.1 < P < 0.6$ (önerilen $P=0.4$)

N_z : Dalga sayısı ($N_z \leq 7500$)

H_s : Dalgakıran önündeki belirgin dalga yüksekliği (m)

S : Hasar yüzdesi

$$S = A_e / D_{50}^2 \quad (4.162)$$

A_e : Hasara göre kesit alanı (m^2)

Hasar seviyelerine göre S değerleri SPM (1984)'e göre Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Hasar seviyelerine göre S değerleri (Short Protection Manual, 1984)

Birim	Eğim	Hasar Başlangıcı	Orta Hasar	Tam Hasar
Taş	1:1.5	2	3-5	8
Taş	1:2	2	4-6	8
Taş	1:3	2	6-9	12
Taş	1:4 -1:6	2	8-12	17

4.3.1.2.1. Koruma tabakasında kullanılacak yapay beton blok büyüklüğü için Van Der Meer Denklemi ile hesaplama

Koruyucu tabakalarda, beton elemanların kullanıldığı tasarım denklemleri, beton elemanların şekillerine göre verilmiştir. Bu denklemler, 1:1.5 eğimli koruyucu tabakada rastgele yerleştirilmiş iki sıra küp, dalga aşması gözlemlenmeyen eğimler, düzensiz ve dik gelen dalgalar içindir.

Beton küp veya antifer ile imal edilmiş olan yapı önünde kırılmayan dalgalar ve kırılma benzetim parametresi $3 < x_{mc} < 6$ için Eşitlik (4.163) geçerlidir.

$$\xi_m = S_m^{-0.5} \tan \alpha \quad (4.163)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6.7 N_{od}^{0.4} / N_z^{0.3} + 1 \right) S_m^{-0.1} \quad (4.164)$$

D_n : Koruyucu tabakada yer değiştiren kp sayısı

N_{od} : Koruyucu tabakada genişliği D_n olan alanda yer değiştiren kp sayısı

$H_s/\Delta D_n$ ve bu değere karşılık gelen K_D değerleri, Kıyı Yapıları ve Liman Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016 ve Coastal Engineering Manual/2003'ten elde edilmiş, Çizelge 4.17.'de listelenmiştir.

Çizelge 4.17. $H_s/\Delta D_n$ ve bu değere karşılık gelen K_D değerleri (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Coastal Engineering Manual, 2003)

Hasar Seviyesi	$\frac{H_s}{\Delta D_n}$	K_D	
		Eğim 1: 1.5	Eğim 1 : 2
Hasar Başlangıcı, S=2	1.8 – 2.0	3.9 – 5.3	2.9 – 4.0
Orta Hasar, S=2	2.3 – 2.6	8.1 – 12	6.1 – 8.8

Kırılma benzetim parametresi $3.5 < x_{mc} < 6$ olan ve tetrapod ile oluşturulmuş dalgakıran önünde kırılmayan dalgalar için Eşitlik (4.165) geçerlidir.

$$\frac{H_s}{\Delta D_3} = \left(3.75 N_{od}^{0.5} / N_z^{0.25} + 0.85 \right) S_m^{-0.2} \quad (4.165)$$

L_{om} : Ortalama dalga periyodundaki dalga uzunluğu (m)

D_3 : Tetrapodla aynı hacimdeki küpün kenar uzunluğu (m)

4.3.1.3. Hudson ve Van der Meer Denklemlerinin karşılaştırılması

Hudson ve Van der Meer tarafından geliştirilen denklemler taş dolgu dalgakıran tasarım hesaplamalarında Türkiye'de olduğu gibi Dünya'da da en yaygın kullanılan denklemlerdir. Bu iki denklemin oluşumu hidrolik model deneylerine dayanmaktadır.

Hudson Denklemi, düzenli dalgalar ile deneyler yapılarak elde edilmiştir. Denklem, dalga yüksekliği, suyun ve taşın birim hacim ağırlığı, yapı eğimi ve stabilite katsayısı parametrelerinden oluşmaktadır. Denklemdede, hasar oranının, dalga tipinin (kırılan veya kırılmayan dalga) ve kesit yerinin (gövdede veya kafada olması) etkisi stabilite katsayısı ile ifade edilmektedir (zbaheci ve Bilyay, 2007).

Hudson Denklemi, düzenli dalgalar ile çalışılarak elde edildiğinden, dalga yüksekliği düzenli dalga ortamındaki değişmeyen dalga yüksekliğidir. Denklem

düzensiz dalgalara uyarlanması için dalga yüksekliği olarak belirgin dalga yüksekliğinin kullanılması önerilmiştir (Short Protection Manual, 1977). Kırılmayan dalga koşullarında ise gözlemlenen dalgaların en büyük %10'nun ortalamasının kullanılması tavsiye edilmiştir (Short Protection Manual, 1984).

Van der Meer Denklemi ise düzensiz dalgalar ile yapılan deneyler neticesinde elde edilmiştir. Deneyler sonunda, sıçrayarak kırılan ve dalgakıran üzerinde kabarak kırılan dalgalar için iki ayrı denklem önerilmiştir. Van der Meer Denklemi de Hudson Denklemi olduğu gibi yapı eğimi, taş ve suyun yoğunluğu kullanılmış, dalga yüksekliği olarak belirgin dalga yüksekliği dikkate alınmıştır. Fakat Van der Meer Denklemi Hudson Denkleminden farkı, dalga periyodu, geçirgenlik, fırtına süresi ve hasar seviyesinin de denklemde etkili olmasıdır. Van der Meer (1987), deneylerinin çoğunu, Rayleigh dağılımının geçerli olduğu sığ olmayan deniz koşullarında gerçekleştirmiştir (Özbahçeci ve Bilyay, 2007). Van der Meer denklemlerinde gözlemlenen en büyük dalgaların %2'sinin ortalaması belirgin dalga yüksekliği yerine kullanılarak sığ su durumunda da kullanılabilir (Özbahçeci ve Bilyay, 2007).

4.3.1.4. Dalgakıran kafası denge denklemleri

Dalgakıran tasarımı için kullanılacak dalgakıranın kafa ve gövdesinin kesit hesabı için, Hudson (1959) iki ayrı denklem ve Van der Meer (1987) tek bir denklem önermiştir. Dalgakıran kafası, aynı dalga şartlarında gövdeye göre daha çok zarar görmektedir. Bu nedenle, dalgakıran kafa tasarımında büyük taş ağırlığı elde edebilmek için daha büyük K_D değerlerinin kullanılması önerilmektedir. Kafa kesitinin taş ağırlığını hesaplayabilmek için aşağıdaki Eşitlik (4.166) kullanılır. Bu eşitlik genelde düzenli dalgalar, kırılan ve kırılmadan gelen dalgalar ve aşmanın olmadığı dalgalar için uygundur. Dalga geliş açısı; 0° , 45° , 90° ve 135° 'dir.

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = A_K \xi^2 + B_K \xi + C_c \quad (4.166)$$

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{(H/L)^{1/2}} \quad (4.167)$$

H: Dalgakıran önündeki tasarım dalga yüksekliği (m)

D_{n50} : Taşların %50 sinin ağırlığının daha az olduğu taşın çapı (m)

L: Yapı topuğundaki dalga boyu (m)

A_K , B_K , C_c : Deneysel katsayılar

Deneysel katsayılar, Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'dan elde edilmiş, Çizelge 4.18.'de listelenmiştir.

Çizelge 4.18. Deneysel katsayılar (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016)

Koruma Tipi	A_K	B_K	C_c	Eğim	\bar{E}
Taş	0.272	1.749	4.179	1 : 1.5	2.1 – 4.1
Taş	0.198	-1.234	3.289	1 : 2.0	1.8 – 3.4

4.3.1.5. Dalgakıran filtre tasarımı

Taş dolgu dalgakıranlarda akıntı ve dalgaların sebep olabileceği zemin aşınmasını önlemek için, dalgakıranların çekirdeğini korumak ve/veya malzeme kaybını önlemek için bir veya birden fazla katmanlı filtre tabakası yapılır. Bu katmanlarda geotekstil, tanelenmiş malzeme, çakıl ve küçük taşlar kullanılabilir. Tanelenmiş filtre tasarımı koşulları, düzenli ve sıkışmış taşlar arasındaki boşluğun geometrisine bağlıdır. Tane büyüklük dağılımı, aşağıda belirtilen geometrik filtre tasarım koşullarını sağlamalıdır.

4.3.1.5.1. Koruma koşulu

Dalgakıran yapısında bulunan filtre tabakası, çekirdek malzemesinin kaybını önlemek için kullanılır. Filtre tabakası, Eşitlik (4.168) ve Eşitlik (4.169) koşullarını sağlamalıdır.

$$\frac{d_{15(\text{filtre})}}{d_{85(\text{çekirdek})}} < (4 - 5) \quad (4.168)$$

$$\frac{W_{50(\text{filtre})}}{W_{50(\text{çekirdek})}} < (15 - 20) \quad (4.169)$$

$d_{85(\text{çekirdek})}$: % 15'inin çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$d_{15(\text{filtre})}$: % 85'inin filtre tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$W_{50(\text{filtre})}$: Filtre tabakası ortalama taş ağırlığı (N)

$W_{50(\text{çekirdek})}$: Çekirdek tabakası ortalama taş ağırlığı (N)

4.3.1.5.2. Geçirgenlik koşulu

Yeterli geçirgenliğe sahip filtre tabakasının olması dalga enerjisinin sönmülenebilmesi için gerekmektedir. Geçirgenliğin sağlanması için gerekli şart Eşitlik (4.170)'te verilmiştir.

$$\frac{d_{15(\text{filtre})}}{d_{15(\text{çekirdek})}} > (4 - 5) \quad (4.170)$$

$d_{15(\text{çekirdek})}$: % 85'inin çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

4.3.1.5.3. Denge koşulu

Filtre malzemenin gradasyon aralığının geniş olması durumunda, filtre tabakasının iç dengesini sağlayan ince taneli malzemelerde dalga etkisiyle yıkanma olabilir. Dengeyi koruyabilmek ve sağlayabilmek için Eşitlik (4.171) kullanılmalıdır.

$$\frac{d_{60(\text{filtre})}}{d_{10(\text{çekirdek})}} < 10 \quad (4.171)$$

$d_{60(\text{filtre})}$: % 40'ının filtre tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$d_{10(\text{çekirdek})}$: % 90'ının çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

4.3.1.6. Dalgakıran geometrik özelliklerinin belirlenmesi

Tasarım sırasında aşağıda verilen yapı geometrik özellikleri belirlenmelidir.

- Kret yüksekliği ve genişliği
- Beton kronman duvar
- Koruyucu birey taş veya blok tabaka kalınlığı ve alt tabakalar
- Ana filtre tabakasının taban yüksekliği
- Topuk (filtre tabakası dengesi için)
- Dalgakıran kafası ve liman tarafı koruma tabakası
- İkincil filtre tabakası

4.3.1.6.1. Kret kotu

Dalga aşma izni, dalgakıran, jetty ve kıyı koruma taş dolgu yapılarda dalga aşmasıyla yapının arkasında bir hasara neden olmaması koşuluyla verilir. Dalga tırmanması değerinden kret yüksekliğinin küçük olması durumunda dalga aşması oluşur. Dalga tırmanması değerinde ise koruyucu birey taş veya blok tabakası düz ve az geçirgen olduğu durumda daha yüksektir.

4.3.1.6.2. Kret genişliği

Kret genişliği, tek parametre dalga aşma değeri olmasa bile bu değere bağlıdır. Dalga aşması için genel kural, en küçük kret genişliğinin 3 adet koruyucu birey taş veya bloğun genişliğine eşit olmasıdır ve kret genişliği Eşitlik (4.172) kullanılarak hesaplanır.

$$B_2 = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_a} \right)^{1/3} \quad (4.172)$$

B_2 : Kret genişliği (m)

n : Taş veya beton koruyucu birey taş veya blok sayısı

k_{Δ} : Tabaka katsayısı

W : Koruyucu birey taş veya blok birim ağırlığı (N)

γ_a : Koruyucu birey taş veya blok birim malzemesinin özgül ağırlığı (N/m³)

Çeşitli koruyucu tabakaları için tabaka katsayısı ve boşluk oranı, Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'dan ve Short Protection Manual/1984'ten elde edilmiş ve Çizelge 4.19.'da listelenmiştir.

Çizelge 4.19. Çeşitli koruyucu tabakaları için tabaka katsayısı ve boşluk oranı (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016; Short Protection Manual,1984)

Koruyucu tabaka birey taş veya blok	n	Yerleştirme	Tabaka Katsayısı (k_{Δ})	Boşluk Oranı (%P)
Ocak taşı (düz) ¹	2	Rastgele	1.02	38
Ocak taşı (pürüzlü) ²	2	Rastgele	1.00	37
Ocak taşı (pürüzlü) ²	≥3	Rastgele	1.00	40
Ocak taşı (paralel yüzlü)	2	Özel	-	27
Ocak taşı	Sınırlandırılmış	Rastgele	-	37
Küp	2	Rastgele	1.10	47
Tetrapod	2	Rastgele	1.04	50

4.3.1.6.3. Koruyucu tabaka kalınlığı

Koruyucu tabaka kalınlığı, Eşitlik (4.173) kullanılarak hesaplanır. Filtre tabakası kalınlığında da Eşitlik (4.173), filtre tabakası taş ağırlığı ile kullanılır.

$$r = nk_{\Delta} \left(\frac{w}{\gamma_a} \right)^{1/3} \quad (4.173)$$

r : Ortalama tabaka kalınlığı (m)

n : Taş veya beton koruyucu birey taş veya blok sayısı (genellikle $n=2$)

İnşası gerçekleştirilmiş dalgakıran resimleri Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Örnek dalgakıran resimleri

4.3.2. Koruma tabakası türleri

Taş dolgu dalgakıranlar, dalgaları kırarak ve yansıtarak dalgakıran arkasındaki su haznesini dalgalara karşı koruyan, taş veya beton blokların yığılmasıyla inşa edilen yapılardır. Hemen hemen bütün taş dolgu dalgakıranlar tabakalı olarak inşa edilirler.

Koruma tabakası, deniz yapılarını (liman, rıhtım vb.) dalgalardan koruyan doğal (taş) veya yapay (beton) bloklardan oluşur ve liman içinde bağlama yapan deniz taşıtlarının emniyeti için hayati derecede önemlidir.

4.3.2.1. Doğal (Taş) koruma tabakaları

Taş kullanımı deniz yapılarının inşasında kullanılan en eski koruma tabakası yöntemidir. Doğada kolay bulunması, düşük maliyetli olması gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Ancak dizayn dalgasının 4 m'den büyük olduğu durumlarda, dalga

yüksekliğini karşılayamayacağı için doğal taş kullanılamaz. Bu durumda, yapay koruma tabakaları kullanılır.

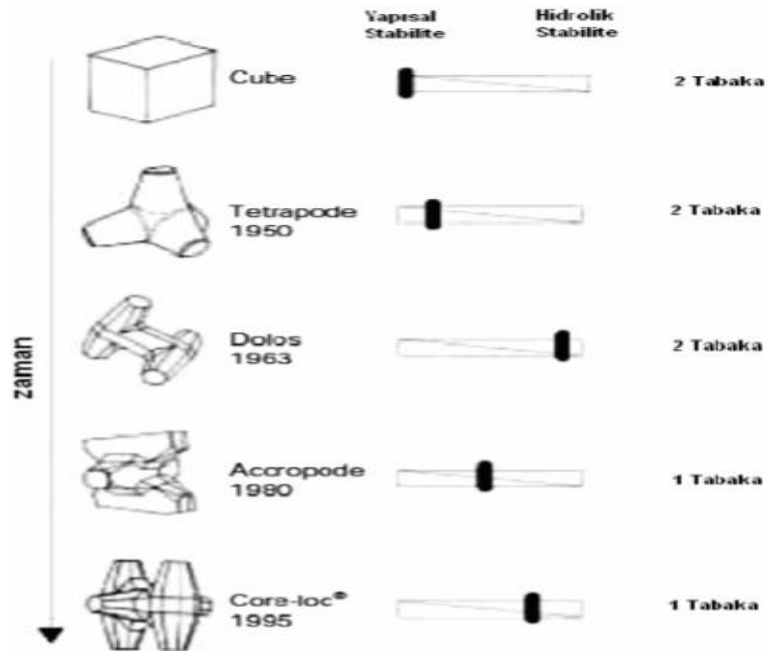
4.3.2.2. Yapay koruma tabakaları

Yapay koruma tabakaları çift sıra ve tek sıra olmak üzere 2 çeşittir. Tek kat yapay koruma tabakalarına örnek; accropode, core-loc, xbloc vb. ve çift kat koruma tabakasına örnek; antifer, tetrapod vb. verilebilir.

İnşası gerçekleştirilmiş yapay taş dolgu dalgakıran resimleri Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Yapay taş korumalı dalgakıran



Şekil 4.11. Tek kat ve çift kat yapay koruma tabakalarının tarihi gelişimi

Çift kat koruma tabakası, ilk olarak küp şeklindeki malzemeler kullanılarak oluşturulmuştur. Ancak bu malzeme ile birbirine tutunarak oluşan yapısal stabilite diğer malzemelere oranla çok düşüktür. Daha sonra üretilen tetrapode ile malzemenin şeklinden dolayı yapısal stabilite artmıştır. Fakat 1963'te üretilen dolos sayesinde yapısal stabilite daha yüksek seviyeye ulaşmıştır. Tek kat koruma tabakası ise Accropode dizaynı ile başlamış ve Core-loc dizaynı ile yapısal stabilitesi çok daha yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Stabilite açısından yapay koruma tabakası tarihi gelişimi Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.

4.3.2.2.1. Çift kat koruma tabakaları

Çift kat olarak yerleştirilen koruma tabakaları, küp, modifiye küp ve antifer küp gibi düzensiz yerleştirilen hacimli elemanlardır. Bunların stabiliteleri kendi ağırlıklarına ve belli bir oranda diğer elemanlara tutunmalarına bağlıdır. Dalgakıranın dinamik yükünü karşılamak üzere üretilen ve prefabrik beton blok olarak da adlandırılan koruma tabakasının çift kat olarak uygulanan türünün tarihçesine bakacak olursak, ilk olarak Fransa'nın Antifer limanına uygulanmış olan ve adını da burdan alan Antifer Cube'tür. Dalgakıran alt malzemesi üzerine iki sıra yerleştirilerek uygulanmış olan bu malzeme patentsiz olarak üretilmiştir. Ayrıca diğer modellere de ışık tutmuştur. Antifer Cube koruma tabakasının yaygın şekilde kullanımından sonra Fransa'nın Sogreah Laboratuvarlarında yapılan deneysel araştırmalarla geliştirilen "Tetrapode"lar üretilmiştir. Bu malzemenin de Antiferler gibi patentleri yoktur. Tetrapodelar da antiferler gibi iki kat olarak yerleştirilirler. Ancak şekilleri nedeniyle antiferlere göre daha iyi kenetlendikleri için dalgakıranların güvenliği artmıştır. Ayrıca Tetrapode'lar Antifer Cube'lere göre daha az betondan üretildikleri için ekonomik anlamda da avantaj sağlamışlardır. Tetrapode'lar yaygınca bir kullanım alanı bulduktan sonra aynı laboratuvarda 1960'lı yıllarda geliştirilen "Dolos"lara yerini bırakmıştır. Dolos'lar da yine iki kat halinde uygulanmış ve patenti alınmadan üretilmiştir. Ayrıca o zamana kadar üretilen diğer malzemelere kıyasla şekil itibari ile hidrolik stabilitesi daha yüksektir. 1980 yılına kadar ise her bir elemanın yapısal bütünlüğü düşünülerek ve hidrolik stabilitedeki belirsizlik gözönüne alınarak iki kat halinde uygulanmıştır. Çift kat koruma tabakası, patent ücreti olmaması açısından ekonomik anlamda bir avantaj olmasına rağmen, ünitelerin betondan üretilmesi ve çift kat uygulanması ekonomik anlamda sahip olunan

avantajı ortadan kaldırmaktadır. Aşağıda iki sıra halinde uygulanan koruma tabakalarıyla yapılan dalgakıran resimleri Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Tetrapode koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran



Şekil 4.13. Tetrapode koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran



Şekil 4.14. Antifer koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran



Şekil 4.15. Tetrapode koruma tabakalı taş dolgu dalgakıran

4.3.2.2.2. Tek kat koruma tabakaları

Taş dolgu dalgakıran tasarımında tek kat koruma tabakası kullanımı, monolitik olması, kilitleme kapasitesinin üst düzey olması, üretim sırasında betondan %50 tasarruf edilmesi ve tüm bunlara ilaveten kaynakların verimli kullanılması nedeniyle tercih edilmektedir.

Tek kat koruma tabakalarında üretici ve geliştirici firmalar tarafından patent koruması altına alınan yeni tip yapı elemanları kullanılmaktadır. Ülkemizde büyük projelerde yurtdışı üretici firmalara patent ücreti ödenerek Rize-Artvin Havalimanı, Filyos Limanı, İstanbul Havalimanı Akaryakıt İkmal Limanı projelerinde tek sıra koruma tabakası kullanılmıştır. Tek kat koruma tabakası ile inşa edilen dalgakıranlar Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Tek kat koruma tabakasıyla yapılan dalgakıran resimleri



Şekil 4.17. Tek kat koruma tabakasıyla yapılan dalgakıran resimleri

Ülkemizde de dünyada olduğu gibi ekonomiklik çok önemli olduğundan taş dolgu dalgakıran tasarımı için stabilitesi de yeterli seviyede olan tek kat koruma tabakası tercih sebebi olmaktadır. Bu bağlamda, 1980 yılında Sogreah Laboratuvarlarında ekonomik kaygılar önde tutularak, güvenlik yönünden belirli kriterlerde fedakarlık yapılmış ve tek sıra uygulanabilen “Accropode”lar geliştirilmiştir. Söz konusu laboratuvarda geliştirilen ve daha iyi kenetlenen bu modelin patenti, geliştirici laboratuvar tarafından alınmıştır. Ardından Amerika Birleşik Devletleri tarafından Accropode’lara alternatif olarak tek kat koruma tabakası inşasında kullanılan prefabrik beton bloklar şeklinde “Core-Loc”lar geliştirilmiştir. Core-Loc’lar Accropode’lara göre daha yüksek hidrolik stabiliteye sahip şekilde ve daha az beton kullanılarak üretilirler. Core-Loc’ların ve diğer blokların stabilite açısından incelendiği deneylerde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20.’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Prefabrik bloklara ait K_D (stabilite katsayısı) değerleri

Birim	Cube	Antifer	Tetrapode	Accropode	Core Loc
K_D	4	7	7	12	16
Kaynak	2	2	2	3	3

Core-loc’ların en iyi K_D yani stabilite katsayısına sahip olduğu Çizelge 4.20.’den anlaşılmaktadır. Core-Loc’lar aynı stabilite için Cube ve Antifer Cube’lere ve Tetrapode’lara göre yaklaşık %50, Accropode’lara göre ise yaklaşık %10 daha az beton kullanılarak üretilirler.

Günümüzde hem tek hem de çift kat koruma tabakalı olarak taş dolgu dalgakıran tasarımı yapılmaktadır.

Bulduğumuz yapı önu H_s değeri ile taş dolgu dalgakıran dizaynı ve bu dalgakıran için yapay koruma tabakası hesapları yapılmıştır. Kullanılacak olan yapay koruma tabaka malzemeleri;

- Accropode II
- Xbloc
- Piblok'tur.

4.3.2.2.1. Accropode II ile dizayn

Tek kat koruma tabakalarından Accropode, ilk olarak Sogreah tarafından Fransız Artelia firması adına geliştirilmiştir. Tek kat yerleştirilen ve çok yaygın kullanılan Accropode'lar, yerleşim kuralları ve dizayn şekilleri açısından çok kullanılan bir malzemedir. Yapıya etkiyen dalgaların tesiri altında birbirine kenetlenmesi sayesinde, Accropode'un hareketleri en alt seviyede kalmaktadır. Böylece malzemenin kırılma ile ilgili problemleri ortadan kalkmaktadır. Kırılan ve kırılmayan dalga için K_d stabilite katsayısını 15/12 olarak kullanılması üretici firma tarafından tavsiye edilmiştir. Bu şekilde malzemenin güvenlik payı %20-%30 arasında olacaktır. 1999 yılında ise yine Fransız Artelia firması tarafından Accropode II üretilmiştir. Çeşitli modifikasyonlarla geliştirilmiş olan Accropode II versiyonu da son dönemlerde uygulamaya girmiştir. Accropode II'ye ait koruma tabakası resmi ve uygulanan Accropode II koruma tabakası ile taş dolgu dalgakıran imalatı Şekil 4.18.'de verilmiştir. Accropode II ile yapılmış bir taş dolgu dalgakıran Şekil 4.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Accropode II koruma tabakası örnekleri

Accropode II koruma tabakası ile tasarımı yapılacak olan taş dolgu dalgakıranın yapı önu belirgin dalga yüksekliği HYDROTAM-3D Transformasyon Modülü ile $H_s=5.7$ m olarak bulunmuştur. Daha sonra bu parametre kullanılarak tasarım yapılmıştır.

Accropode II koruma tabakası ile taş dolgu dalgakıran tasarımı yapmak için Accropode II'nin resmi sitesinden elde edilen dizayn tablosu kullanılmıştır.



Şekil 4.19. Accropode II ile yapılmış taş dolgu dalgakıran

Dizayn tablosu incelendiğinde tasarım yapabilmek için bölgenin batimetrisine ihtiyaç olduğundan bölgenin batimetrisini elde etmek için GEBCO Yazılımı kullanılmıştır.

4.3.2.2.1.a GEBCO yazılımı

GEBCO, General Bathymetric Chart of the Oceans kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe anlamı ise Okyanusların Genel Batimetrik Çizelgeleri'dir. GEBCO yazılımının oluşturulma amacı, dünya okyanus ve denizlerine ait herkesin kullanımına açık batimetrik tablolarının sağlanmasıdır. Ayrıca GEBCO yazılımı sayesinde, deniz ve okyanus tabanının genel şeklini gösteren küresel bir dizi grafik hazırlanmıştır. Böylece tasarım veya başka amaçlarla dünya okyanus ve denizlerinin batimetrisine ihtiyaç duyan herkes tarafından başvuru haritası elde edilmiştir. GEBCO yazılımı ile ilgili ilk çalışmalar Monako Prensi I. Albert'in önderliğinde 1903 yılında uluslararası coğrafyacı ve okyanus araştırmacılarından oluşan bir grup tarafından başlatılmıştır. Bu araştırmacı topluluk sayesinde, okyanus ve deniz tabanının şeklini açıklayan bir dizi harita bilimsel araştırmalarda büyük fayda sağlamıştır.

1903'ten bu yana, tüm dünyayı kapsayan batimetrik eşyüksekti eğri çizelgeleri hazırlanmıştır. GEBCO verileri şimdi sayısal biçimde GEBCO Sayısal Atlas olarak da

temin edilebilmektedir. GEBCO, Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO-International Hydrographic Organization) ve UNESCO Hükümetlerarası Okyanus Bilim Kurulu (IOC-Intergovernmental Oceanographic Commission) ile birlikte faaliyetlerini sürdürmektedir.

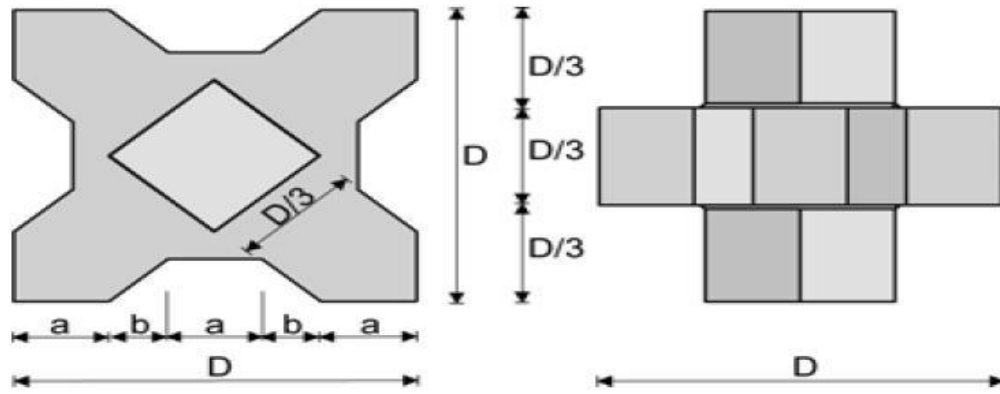
4.3.2.2.2. Xbloc ile dizayn

Hollanda kökenli Delta Marine Consultants firması tarafından 2001 yılında Xbloc geliştirilmeye başlanmıştır.

Xbloc koruma tabakasının üretilme amacı;

- Diğer koruma tabakası malzemelerinin patent ücretlerinin yüksek olması,
- Dışa bağımlılığı azaltarak projelerde kullanabilecek bir koruma elemanı geliştirmek,
- Accropode ile teknik açıdan ve maliyet yönünden rekabet edebilmektir.

Taş dolgu dalgakıranlarda ve kıyı koruma yapılarında kullanılan Xbloc somut bir koruma tabakası malzemesidir. Xbloc, blok içinde düşük çekme gerilmelerine neden olan ve büyük kuvvetlerle baş etmesini sağlayan oldukça sağlam bir şekle sahiptir. Tasarım şekli Şekil 4.20.'de görülmektedir.



Şekil 4.20. Xbloc tasarım şekli

Koruma tabakasında bir araya getirilen bloklar, dalga kuvvetlerine karşı durabilmek için işbirliği yaparlar. Buna birbirine kenetlenme denir. Xbloc şeklinin verimli olmasının nedeni, birbirine geçmesi sayesinde koruma tabakasının yüksek bir hidrolik kararlılığa sahip olmasıdır. Bu özellik, küçük bir Xbloc'un büyük dalgalara

dayanabileceği anlamına gelmektedir. Xbloc, ünitelerinin verimli bir şekilde depolanması ve taşınması için geniş, istikrarlı bir tabana sahiptir. Bu yüzden dalgakıran inşaat aşamasında çok kullanışlıdır. Xbloc, bir kat olarak uygulanırken birçok koruma tabakası iki kat malzeme kullanılarak oluşturulur. Bu sayede, azaltılmış olan beton miktarları doğrudan tasarruf ile sonuçlanır. Xbloc'lar çok katmanlı olarak saklanabilir. Şekil 4.21.'de görüldüğü gibi Xbloc yükleme ve boşaltma işlemi, düşey konumda, mavna veya kamyonla yapılabilir.

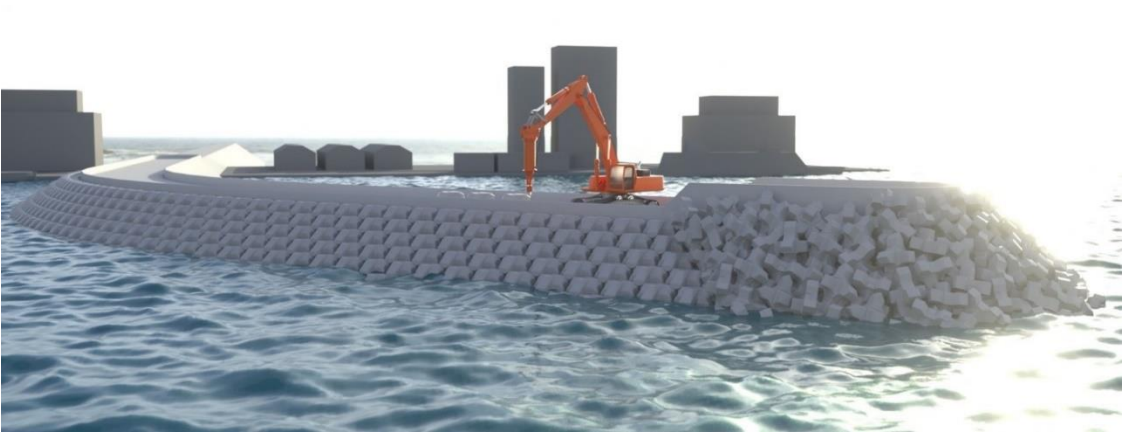


Şekil 4.21. Xbloc'ların taşınma şekli

Simetrik blok şekli nedeniyle, diğer tek katmanlı bloklara kıyasla daha az malzeme kullanılarak koruma yapısı oluşturulmaktadır. Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi yerleştirme işlemi basittir ve inşaat süresi kısadır. Bu da Xbloc tasarımının ekonomi ve süre bakımından tercih edilmesini sağlar.

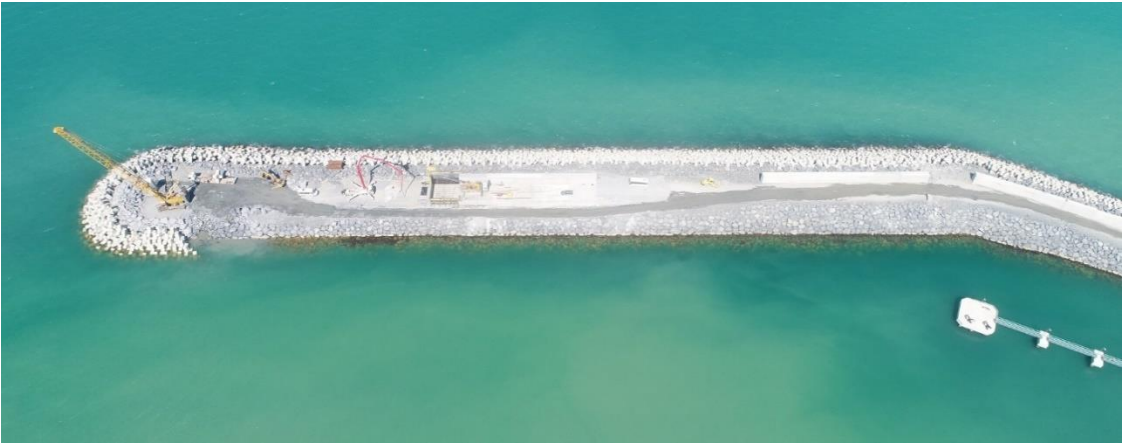


Şekil 4.22. Xbloc'ların yerleşim şekli



Şekil 4.23. Xbloc yapay koruma tabakası yerleşim şekli

Xbloc, 30'dan fazla projede 2004 yılından beri dünya çapında başarılı bir şekilde uygulanan güvenilir bir koruma tabakasıdır. Şekil 4.23. ve 4.24.'te Xbloc koruma tabakası ile inşaatı tamamlanan bir taş dolgu dalgakıran görülmektedir.



Şekil 4.24. Xbloc ile yapılan dalgakıran

4.3.2.2.2.3. Piblok ile dizayn

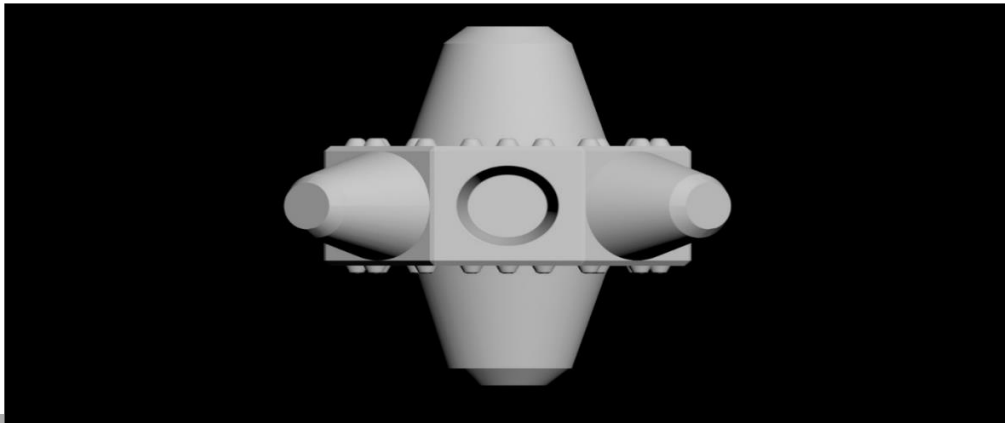
Piblok, millî imkanlar ile geliştirilmiş ilk tek kat koruma tabakası malzemesidir. Dizayn tablosu oluşturma çalışmaları halen devam etmektedir.

Piblok tasarım projesi ile;

- Ülkemiz kıyılarında ve tüm dünyada yapılacak olan taş dolgu dalgakıranlarında kullanılacak ülkemize ait tek kat beton koruma tabakası geliştirilmesi,

- Taş dolgu dalgakıran tasarımı yapılırken dalga yüksekliğinin $H_s = 4$ m'den büyük olduğu durumlarda doğal taş koruma tabakası kullanımının mümkün olmaması,
- Her konumda doğal taş koruma tabakasında kullanılacak kalitede taş blok bulmanın zor olması,
- Ekonomik koşulların önemli olduğu günümüzde fazla beton kullanımına sebep olan ve çift kat dizilimi olan koruma tabakaları (antifer, tetrapot vb.) hem ekonomik yönden hem de dizilimdeki zorluklar sebebi ile tercih edilme önceliğini kaybetmesi,
- Tek kat koruma tabakası kullanımında yüksek patent ücretleri ödenmesi,
- Diğer ülkeler tarafından geliştirilerek patenti alınan yapay koruma malzemelerinin kullanılması neticesinde yurtdışına olan bağımlılığın azaltılması amaçlanmıştır.

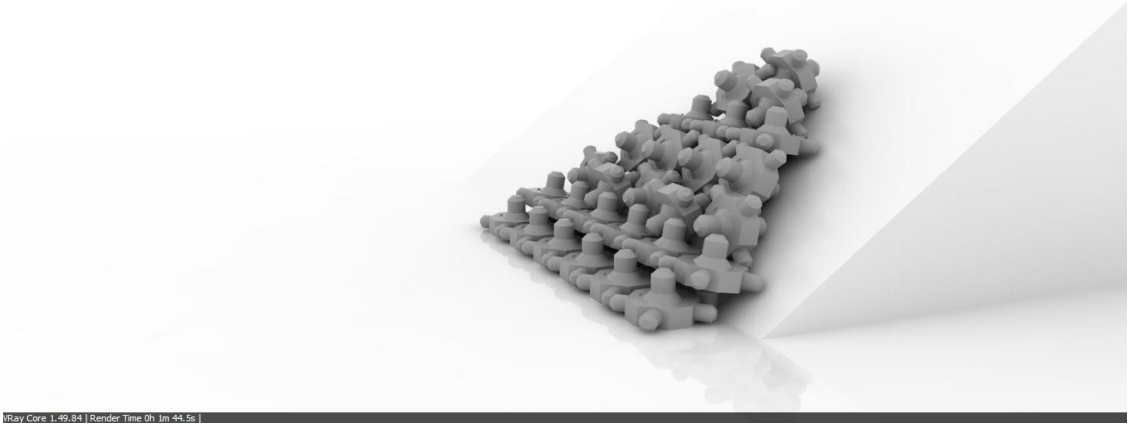
Yukarıdaki sebeplerden dolayı Piblok yapay koruma tabakası malzemesi geliştirme çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmalar sonunda geliştirilen ürün (Piblok) mevcut tek kat koruma tabakalarından farklı olarak kolay dizilimi ve çok daha rijit yapısı ile hem ekonomik hem de zamansal yönden öne çıkmıştır. Şekil 4.25.'de görüldüğü gibi ürünün özgün tasarımı şantiye şartları düşünülerek geliştirilmiştir. Kalıptan çıkarılması sürecinde zarar görmemesi için kenar kesimleri yumuşak hatlarla desteklenmiştir. Sağladığı rijit yapı ile daha düşük dayanımlı beton kullanımı ile dalgalara karşı koyabilecektir.



Şekil 4.25. Piblok çizimi

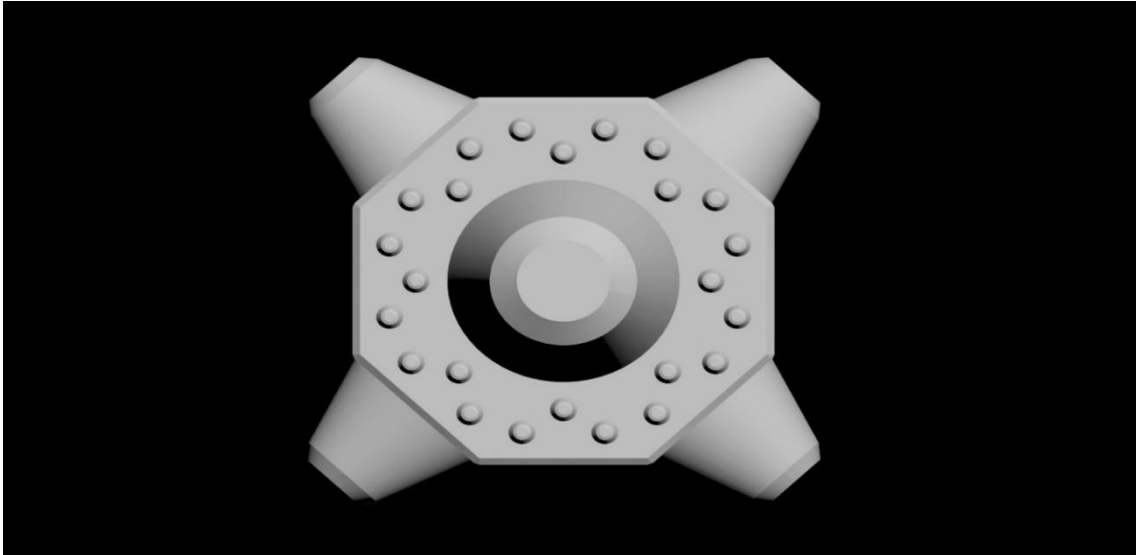
Geliştirilen ürün, Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'deki gibi diğer tek kat koruma tabakalarına göre oldukça kolay şekilde yerleştirilmektedir. Bu durum şantiye şartlarında

hata yapma riskini sıfıra yaklaştırmaktadır. Böylece son derece rijit, güvenilir ve monolitik çalışan bir yapı ortaya çıkmaktadır. Kolay yerleştirme nedeniyle zamandan da ciddi oranda tasarruf sağlanmaktadır.

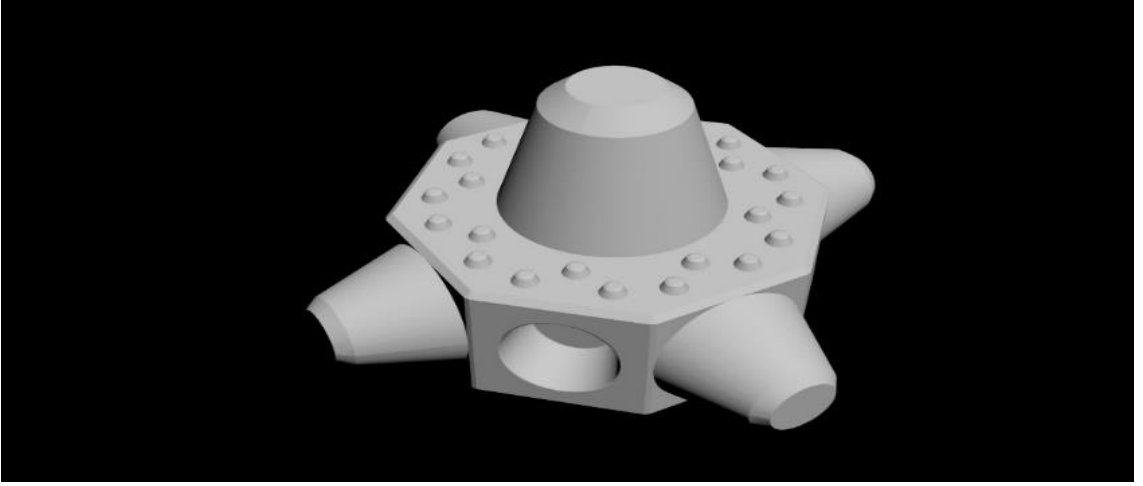


Şekil 4.26. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali

Bunlara ilave olarak aynı dalga şartlarında Piblok kullanarak daha küçük boyutlu ünitelerle koruma tabakası tasarımı yapılabilmektedir. Bu durum ciddi manada ekonomik tasarruf sağlamaktadır. Ürünün çeşitli dalga koşulları altında yüksek performans göstermesi amacı ile 1 m³ ve 20 m³ arası çeşitli boyutlarda üretimi de mümkündür.

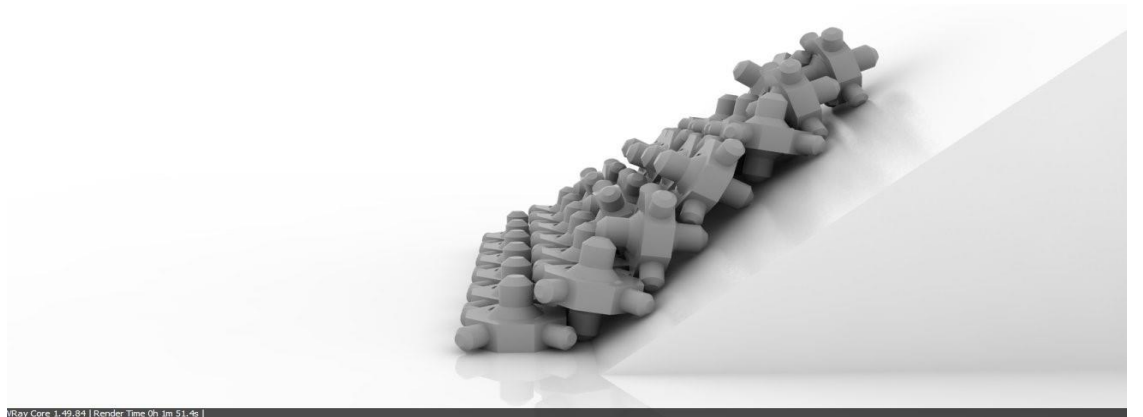


Şekil 4.27. Piblok'ların üstten görünüşü

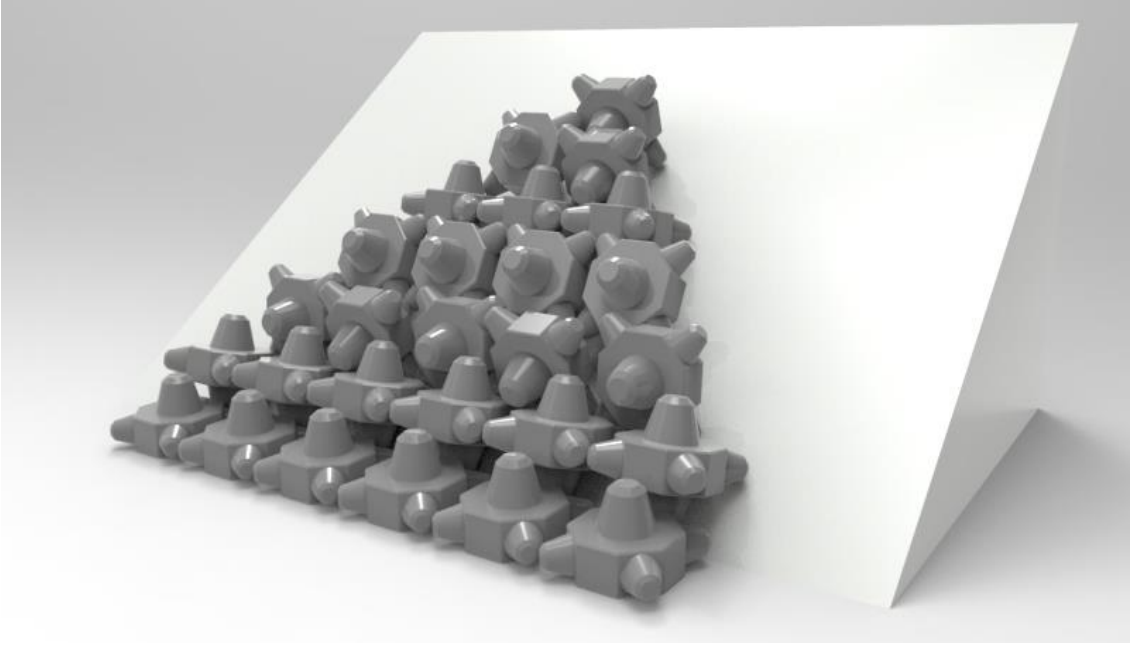


Şekil 4.28. Piblok'ların izometrik görüntüsü

Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.'de Piblok'un rakiplerine oranla çok daha fazla sürtünme yüzeyine sahip olduğu görülmektedir. Yüzeyinde bulunan küçük piramidal çıkıntılar, mahmuzlar ve yan ayaklar sürtünme yüzeyinin artmasını sağlayarak Piblok'u dalgalara karşı daha dayanıklı bir hale getirmektedir. Piblok'un alt ve üst yüzeylerinde yer alan girintiler ile blokların birbirine daha iyi kilitlenerek monolitik yapının düşey ve yatay yönde aynı şekilde oluşması sağlanmıştır. Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da Piblok'un rakiplerinden çok daha iyi kenetlenme oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 4.29. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali



Şekil 4.30. Piblok'ların 4/3 eğime göre yerleştirilmiş hali

4.4. Yapay Zekâ

Yapay zekâ, insan zekâsını taklit ederek, çalışma şeklini örnek alan, bulanık mantık ve yapay sinir ağları kavramlarını da barındıran ve birçok alanda uygulanan bir teknolojidir.

4.4.1. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminden etkilenecek geliştirilen bir yapay zekâ teknolojisidir.

Yapay sinir ağları, ağ yapısına göre;

- İleri beslemeli
- Geri beslemeli

Eğitme algoritmalarına göre;

- Denetimli
- Denetimsiz yapay sinir ağları olarak sınıflandırılır.

En çok kullanılan ileri beslemeli denetimli yapay sinir ağlarıdır.

Yapay sinir ağları, çoğu bilim alanında uygulanmasının yanı sıra inşaat mühendisliğinin kıyı liman mühendisliği, hidrolik ve hidroloji bilim dallarında da sıklıkla uygulanabilmektedir. Su kaynakları sistemleri ve kıyı liman mühendisliği alanları lineer olmayan ve birçok parametreye sahip karmaşık sistemlerden oluşur. YSA'nın bu bilim dallarında uygulandığı ve iyi sonuçlar verdiği bir çok literatür çalışması mevcuttur. Yapay sinir ağlarını birbirlerine bağlayan bağlantılar, ağırlık değerleri olarak adlandırılırlar. Bunlar,

- Girdi katmanı
- Ara katmanlar
- Çıktı katmanıdır.

Alınan bilgiler girdi katmanı vasıtasıyla iletilir. Girdi katmanı ile alınan bilgiler ara katmanda işlenerek diğer bir katman olan çıktı katmanına iletilir. Ara katmandaki bilgilerin işlenmesinde yapılan şey, yapay sinir ağına gelen verilerin ağına ağırlık değerleri vasıtasıyla sonuca dönüştürülmesidir. Sonuçların yani çıktıların doğru olarak üretilmesi, girdilerin ağırlıklarının doğru olması ile direkt orantılıdır. Bu yüzden doğru ağırlıkların bulunması gerekir. Bu olaya ağına eğitilmesi denir. İlk olarak bu değerler rastgele olarak atanmaktadır. Fakat eğitim aşamasında öğrenme kuralına göre ağırlıklar değişebilir. Doğru veri çıktıları üretilinceye kadar bütün ağı için eğitim yapılır. Bu işlemlerden sonra test setindeki örnekler ağına gösterilir. Bu test setindeki örneklere ağına doğru cevap verirse eğitim tamamlanmış olur.

4.4.2. Bulanık Mantık

Aristo tarafından Evet-Hayır, Siyah-Beyaz gibi ikili mantık sistemine karşı bulanık mantık geliştirilmiştir. Aristo mantığı her önermenin ya doğru ya da yanlış olduğudur. 1965 yılında Azerbaycanlı bilimadamı Lotfi Aliasker Zadeh, gerçek hayatın siyah-beyaz ya da evet-hayır'la kısıtlı olmadığını ve bunlar arasında farklı farklı seçeneklerin olduğunu düşünerek bulanık mantık teorisini öne sürmüştür. Zadeh tarafından geliştirilen bulanık mantık 0-1 arasında olaylara üyelik dereceleri belirleyerek hangi oranda gerçekleştiğini belirlemeye çalışan çoklu bir mantık sistemidir. Bulanık mantık kesin olarak bilinmeyen veya eksik olan bilgiler kullanarak işlem yapma ve sonuç çıkarma kabiliyetine sahiptir. Bulanık mantık olasılıktan ziyade olabilirliğe dayanır.

Bulanık Mantığın temel kavramları;

- Bulanık kümeler
- Dilsel değişkenler, dilsel terimler
- Üyelik fonksiyonları
- Bulanık kurallardır.

Bulanık kümelerde bir elemanın kümeye ait olma durumu üyelik derecesi olarak ifade edilmektedir. Bulanık mantık teorisi, $[0-1]$ arasında değişen üyelik derecesine sahip olan nesnelerin oluşturduğu bulanık kümelerin temelidir. Yani bir elemanın bulanık kümedeki üyelik derecesinin $[0-1]$ arasında bir aralık değer olduğu bir mutlak değer olmadığı ifade edilmektedir.

Bulanık Mantık'ta modelleri oluştururken çeşitli üyelik fonksiyonları seçilebilir. Bir kümenin elemanlarının kümeye aitlik derecesini gösteren fonksiyonlar üyelik fonksiyonlarıdır. Birden fazla üyelik fonksiyonları mevcuttur. En fazla uygulananlar: üçgen (triangular), yamuk (trapezoidal), normal dağılım (gaussian) ve çan şekilli (bell-shaped) fonksiyonlardır.

Seçilen mevcut girdi değişkenlerinden çıktı değişkenleri elde etmek için bulanık sistemler kullanılır. İnsan deneyimleri ve sözel verilerin bulanık modele katılmasıyla çözümlenmesi bu sistemin en büyük avantajıdır.

Eğer-İse bulanık mantık kurallarına dayanan sisteme sahip olan bulanık çıkarım sistemi bulanık modeldir. Bu nedenle, bulanık kural tabanlı sistemler olarak da adlandırılır. Eğer-İse kurallarına sahip olduğu için bulanık model, öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Sonuçta etkisi olan ve girişte bulunan değişkenlerin kendi aralarındaki mantıksal ilişkileri giriş kısmını oluştururken, öncül kısımda ortaya çıkan sonuç değişkenleri ise soncul kısımda yer alır.

Modellemelerin bulanık mantık ile yapılmasının tercih sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Anlaşılması kolaydır.
- Dayandığı matematiksel teori basittir.
- Yaklaşım doğaldır ve karmaşık değildir.

- Esneklik.
- Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilmektedir.
- Doğrusal olmayan nonlineer fonksiyonları modelleyebilir. ANFIS gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve çıktı veri kümeleri eşleştirilerek bulanık modeller oluşturulabilir.
- Uzman kişi görüş ve tecrübelerinden yararlanılabilir.
- İnsanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır ve bu durum bulanık mantığın en büyük avantajıdır.

Bulanık denetimi özel ve farklı kılın, bir analitik tanıma ihtiyaç duyulmamasıdır. Buradaki kurallar Eğer.... O halde (If...then) şeklinde önermelerden oluşmaktadır. Bulanık mantık çıkarım sistemlerinden en fazla kullanılan ikisi Mamdani ve Takagi–Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemleridir. Mamdani modeli 1975 yılında, Sugeno modeli ise 1985 yılında ileri sürülmüştür.

Sugeno ve Mamdani bulanık modelleri, ilk aşamadaki giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması bakımından aynı işlemleri yapar. Sugeno modeli matematiksel Mamdani modeli ise sözel tabanlı kural oluşturur. Sugeno bulanık modeli, Mamdani bulanık modeline göre parametrelerinin optimize edilebilmesi kolaylığı açısından daha avantajlıdır. İki sistemi birbirinden ayıran en önemli özellik çıkış değişkenleridir. Mamdani modelde çıkış değerleri üyelik fonksiyonları iken Sugeno modelde çıkış değerleri lineer ya da sabit fonksiyondur. Bu nedenle, Sugeno model uyarlanabilir tekniklerle kullanılırken Mamdani modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir.

4.4.3. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS Yöntemi)

ANFIS ismi, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System orijinal isminin baş harflerinden oluşmuştur. Ayrıca literatürde Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi, Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi veya Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi gibi isimlerle de anılmaktadır. ANFIS yöntemi, Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık metotlarının üstün özelliklerini içeren bir metot olarak son

yıllarda literatürde mühendislik ve birçok problemin çözümünde aktif olarak kullanılmaktadır.

ANFIS yöntemi, J.-S. Roger Jang tarafından 1993 yılında önerilmiştir. Jang çalışmasında bulanık çıkarım sistemine fonksiyonel olarak eşit olan bir uyarlamalı ağ oluşturmayı amaçlamıştır. ANFIS uygulamasında sistem için uygun olan üyelik fonksiyonlarının parametreleri belirlenir ve “eğer – o halde” bulanık kuralları oluşturulur. Bu işlemi, bileşenlerine ayrılan parametrelere geri yayılım algoritması ve en küçük kareler kestirim yönteminin birleşimi olan bir öğrenme kuralı uygulayarak gerçekleştirmektedir.

ANFIS, Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemine dayalı bir yapay sinir ağı yöntemi olarak da sınıflandırılabilir. Yani aslında ANFIS, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip ağ yapısının Sugeno tipi bulanık sisteminin temsilinden ibarettir. ANFIS’in yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır.

ANFIS’in oluşumundaki bu sistem bulanık mantığı daha sistematik ve tecrübeye daha az bağlı hale getirmektedir. YSA’nın hızlı ve kolay uygulanabilir eğitim algoritması ve bulanık mantığın uzman bilgisini gerektiren kural tabanı, ANFIS metodunun söz konusu iki teknikten daha doğru ve tutarlı sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Tabakalardan oluşan ve farklı fonksiyonlar tanımlanmış düğümleri barındıran örnek bir ANFIS çalışmasında, x ve y gibi iki girişli (input) olan ve z çıkışlı (output) bir bulanık çıkarım mekanizması göz önüne alınırsa, tipik olarak Sugeno bulanık modeline ait birinci mertebeden iki adet Eğer (If) – O zaman (Then) kuralı (Rule) yazılabilir (Tsoukalas ve Uhrig, 1996).

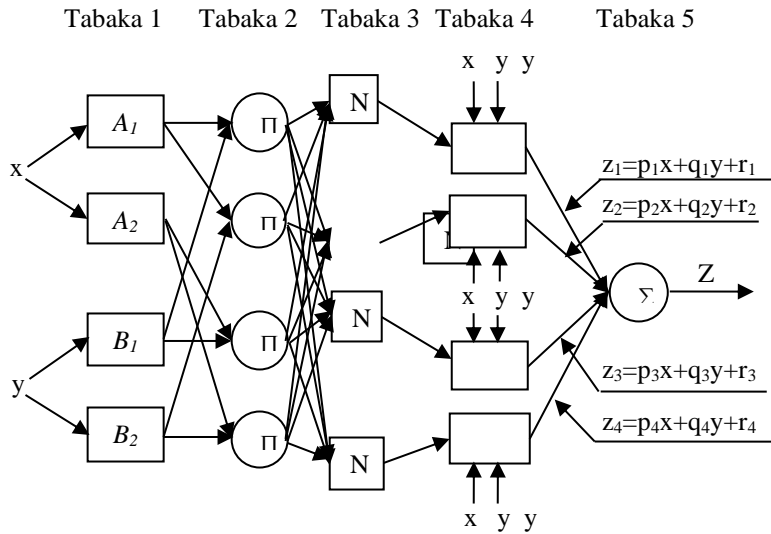
Bu kurallar;

1.Kural: Eğer x A_1 ve y B_1 ; O zaman $z_1=p_1x+q_1y+r_1$

2.Kural: Eğer x A_2 ve y B_2 ; O zaman $z_2=p_2x+q_2y+r_2$

şeklinde ifade edilebilir.

Sugeno bulanık modelinin birinci dereceden lineer parametreleri p_i , q_i ve r_i ($i = 1, 2$)’dir. ANFIS yapısı 5 tabakaya ayrılabilir (Şekil 4.31.). Tabakalar kısaca açıklanacak olunursa;



Şekil 4.31. Sugeno modelinin iki giriş ve dört kurallı ANFIS yapısı

Tabaka 1: Düğümlerin üyelik fonksiyonları yardımı ile bulanık kümenin aitlik derecesini gösteren üyelik dereceleri belirlenir (Eşitlik 4.174).

$$R_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2$$

$$R_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 1, 2 \quad (4.174)$$

Burada, x , y ve i düğümündeki belirli girdi değerlerini, A_i ve B_i bulanık dilsel terimleri ve üyelik fonksiyonlarını μ_{A_i} ve μ_{B_i} ile gösterilmektedir. Literatürde, Gauss, üçgen, trapez vb. farklı üyelik fonksiyonları ile modeller yapılmakta, Gauss üyelik fonksiyonu daha sık kullanılmaktadır. Gauss tipi üyelik fonksiyonunun bu çalışma için en uygun sonuçları verdiği görülmüş ve bu üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Eşitlik (4.175)'de çan eğrisi üyelik fonksiyonu görülmektedir.

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (4.175)$$

Burada, $\{a_i, b_i, c_i\}$ Eğer – O zaman bulanık kural yapısının önerme kısmındaki üyelik fonksiyonlarının şeklini veya eğriliklerini kontrol eden katsayılardır.

Tabaka 2: Bu tabaka birinci mertebeden iki adet kuralın derecelerinin “ve” mantıksal işlemi vasıtasıyla çarpımlarının hesaplandığı kısımdır. Eşitlik (4.176)’da çarpım işlemi matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$R_{2,k} = w_k = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_j}(y), \quad k = 1, \dots, 4$$

$$i = 1, 2 ; j = 1, 2 \quad (4.176)$$

Tabaka 3: Üçüncü tabakadaki i. düğüm, i. kuralın derecesinin, diğer kuralların gerçekleşme derecelerinin toplamına oranının hesaplandığı tabakadır (Eşitlik 4.177).

$$R_{3,i} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^4 w_k} \quad i = 1, \dots, 4 \quad (4.177)$$

Tabaka 4: Toplam çıktıdaki her i. kuralın katkısının hesaplandığı tabakadır (Eşitlik 4.178).

$$R_{4,i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, \dots, 4 \quad (4.178)$$

\overline{w}_i , bir önceki tabakanın i. düğümünün çıktı değeridir.

Tabaka 5: Kendisine gelen tüm sinyallerin toplam çıkışı hesaplamak üzere toplandığı düğümdür. Bulanık kurallar durulaştırılarak tek bir sayının üretildiği tabakadır.

$$R_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^4 w_i f_i}{\sum_{i=1}^4 w_i} \quad (4.179)$$

4.5. Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri, birçok değişkenin zamana bağlı şekilde kayıt altına alınması ve kayıtların ortaya çıkardığı fonksiyonlardır. Tarihte bilinen en uzun süreli kaydedilen zaman serileri Nil Nehri su seviyesinin ölçümlerine aittir. Toussoun tarafından oluşturulan 1925 yılındaki Nil Nehri kayıtlarında en yüksek ve en düşük su seviyeleri ölçümleri mevcuttur. Bu seri M.S. 622 yılında başlayıp 1922 yılına kadar sürmüştür. Bu zaman serisi içerisinde ilk eksik veri 1285 yılındaki yıllık minimum değerdir. Bu seri sayesinde 663 yıl uzunluğunda olan sürekli kayıtlar incelenebilmektedir.

4.5.1. Zaman serilerinin özellikleri

Zaman serileri, zamana göre kronolojik sıralanan ve zaman içerisinde gözlemlenen değerlerin oluşturduğu veri dizileridir. Zaman serilerini oluşturan veriler saatlik, günlük, haftalık, aylık, üç aylık, yıllık, beş yıllık ve on yıllık aralıklarla düzenli olarak toplanabilir. Zaman serileri sayesinde elde edilen verilerin, geçmiş dönemde elde edilen verilerden etkilendiği açıktır.

Zaman serileri deterministik ve stokastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik zaman serileri matematiksel bir fonksiyonla kesin olarak belirlenebiliyorsa kullanılabilir. Ama bu durum genellikle pek tercih edilmez. Çünkü zaman serileri zaman değişkeni dışında da birçok faktöre bağımlıdırlar. Böylece gelecek tahmini yapabilmek için tüm değişkenleri eklemek gerekmektedir. Bu da her zaman olabilecek bir durum değildir. Çünkü zaman serisi modeli karmaşık bir model olur ve bunun sonucunda uygulanabilirlikten uzaklaşır. Bunun sebebi ise tüm değişkenleri matematiksel olarak ifade etmek mümkün olmamasıdır.

Zamana bağlı olan olaylar rassal karakterlidir. Bu sebepten zaman serilerinin analizinin model çalışmalarında stokastik (olasılıklı) modeller kullanılır. Zaten zaman serileri verileri olasılık yani stokastik verilerdir. Yani zaman serisi analizleri sadece veri tamamlanması değil ileriye yönelik tahminlerde kullanılarak, sentetik seri üretilmesinde de yardımcı olmaktadır. Böylece stokastik (olasılıklı) süreçlerde, serinin gelecek dönemde alabileceği değerler, serinin geçmiş dönemdeki değerleri kullanılarak kısmen tanımlanabilir. Zaman serisinin özelliği sıralı gözlemlere bağlı olmasıdır. Bir zaman serisini diğer serilerden ayıran en önemli fark gözlemlerin birbiri ile bağımlı yani korelasyonlu olmasıdır. Zaman serileri analizi ise bu bağımlılığın analizi doğrultusunda ortaya çıkan sonuçların teknikleriyle ilişkilidir.

4.5.2. Zaman serileri analizlerinin amacı

Zaman serileri analizi, bir düzen içinde (saat, gün, ay, yıl, v.b.) gözlemlenen verilerin istatistiksel anlamda incelenerek ileriki tarihlerde alabileceği değerlerin öngörüsünün yapılabilmesini sağlar.

Zaman serileri ile değişik amaçlarla analiz yapılmaktadır. Bunlar; öngörü, tanımlama, açıklama ve kontrol şeklinde sıralanabilir. Aralarındaki en önemlisi ise

geleceğe dair öngörü amacı ile analiz edilmesidir. Geleceğe yönelik olarak öngörü yapılırken zaman serisinin geçmişteki gözlemleri ve hareketleri incelenip gelecekte de aynı eğilim içinde olacağı varsayılır. Zaman serisi analizinde öngörü yapabilmek için zaman serisinin daha önce ortaya koyduğu hareketlerin gözlemlenmesi gerekmektedir. Bunun için de ilk olarak zaman serisinin bütün özelliklerini inceleyip, özelliklerin ortaya çıkarılarak bileşenlerinin saptanması ve bu bileşenlerin etkilerinden kurtulmuş olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında zaman serisi analizinin amacı, zaman içerisinde düzenli periyotlarla gözlemlenen verilerin istatistiksel olarak incelenmesini ve gelecek dönemde alabileceği değerlerin güvenilir biçimde öngörüsünün yapılabilmesini sağlamaktır diyebiliriz.

4.5.3. Zaman serisi analizinde kullanılan yöntemler

4.5.3.1. Çok değişkenli zaman serileri ile ilgili tahmin yöntemleri

Bu grupta yer alan zaman serileri ile ilgili tahmin yöntemleri, iki veya daha çok zaman serisi kullanılarak birbirleri arasındaki sebep-sonuç bağlantılarını belirleyen ve bunlar sayesinde tahmin ve kontrol amacı ile kullanılan yöntemlerdir.

4.5.3.2. Tek değişkenli zaman serileri ile ilgili tahmin yöntemleri

Bu zaman serisi analizi ise zamana bağlı olan tek bir değişken verisi ile ileriye yönelik tahmin yapmak için kullanılan istatistiksel yöntemlerdir. Tek değişkenli zaman serisi analizi, eski zamanlarda gözlemlenen verilere göre gelecekteki verilerin de bu şekilde devam edebileceği hususu doğrultusunda söz konusu değişkenlerin gelecek değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tek değişkenli zaman serisi analizlerinde, gerçek zaman serisi ile bağlantılı diğer veriler kullanılmaz. Bu seri için gelecek dönemlerdeki tahminlerin doğru ve tutarlı yapılabilmesi için serinin bir fonksiyonel yapı içerisinde oluşup oluşmadığı veya bu yapıya uygun fonksiyonel formunun bulunması gerekir. Bu grupta yer alan yöntemler aşağıda bahsedilmiştir.

4.5.3.2.1. Trend analizi yöntemi

Zaman serisi içerisinde sürekli olacak şekilde artma veya azalma şeklindeki hareketlere trend denir. Trend analizi geleceğe yönelik tahmin yapmak için en fazla tercih

edilen yöntemdir. Trend analizinde çalışılan dönem boyunca seri hakkındaki gelişme eğilimi bulunarak, trend eğrisine ait denklem bulunma işi yapılmalıdır. Bu analizin yapılma amacı öncelikle trendi incelemektir. Bu incelenen trendin yardımıyla genel olarak gelişme eğilimi hesaplanır ve böylece ileriye yani geleceğe dönük tahmin yapılabilir. İkinci amacımız ise trend içerisindeki sapma ölçütünün bulunmasını sağlamaktır. Trend analizi için bazı araştırmacılara göre en az 7 ila 8 yıl bazalarına göre ise en az 10 yıllık veriye ihtiyaç vardır. Ancak trend analizinde mevsimsel unsurlar dikkate alınmamaktadır. Seriyeye sonrasında yeni değerler de eklendiğinde söz konusu seriyeye ait fonksiyonun parametre değerlerinin tahmininin yeniden yapılması gerekmektedir.

4.5.3.2.2. Hareketli ortalamalar yöntemi

Hareketli ortalamalar yöntemi, uzun dönemlere ait değerler bulunan zaman serilerinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, bir zaman serisindeki verileri büyüklüklerine göre kümeler yaparak her küme için aritmetik ortalama hesabı ilkesine dayanır. Bir zaman serisine ait grafik çizildiğinde eğer grafikte dalgalanmalar görülüyorsa bu dalgalanmaları ortadan kaldırmak için hareketli ortalama yöntemine başvurulur. Bu yöntemi kullanabilmek için trendin eğilimi doğrusal olmalıdır. Bu yöntem, güvenilirlik derecesi düşük olduğundan uzun döneme yönelik tahminlerde uygun değildir. Hareketli ortalamalar yöntemi de trend analizi yöntemi gibi mevsimler unsurları barındıran serilerde kullanıma uygun değildir. Eğer seride hareketli ortalama yöntemi kullanılacaksa ve mevsimsel unsurlar içeriyorsa on iki adet hareketli ortalama alınıp seri mevsimsel unsurlardan arındırılır. Sonrasında oluşan yeni seriyeye ait grafik çizilip dalgalanmaların etkisini kaybetmek için hareketli ortalamalar alınır.

4.5.3.2.3. Üssel düzeltme yöntemi

Trend ve mevsimsellik barındırmayan basit zaman serilerine uygulanmaktadır. 1958 yılında C.C. Holt tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bu yöntem, zaman serisi analizinde kullanılmak için Brawn tarafından geliştirilmiştir. Winter ise 1960 yılında üssel düzeltme yöntemini geliştirerek mevsimsellik içeren serilerde kullanılmasını

sağlamıştır. Bu yöntem, hareketli ortalama tahmin yöntemine benzemektedir. Ancak hareketli ortalama yönteminden ayrılan tarafları da vardır. Bu farklılık ise, üssel düzeltme yöntemi seride bulunan tüm veri veya gözlem değerlerini göz önünde tutarak, seriyi bugünkü değerinden ilerki dönemlere göre azaltarak tartı vermektedir. Bu yöntem, zaman serisindeki tüm unsurları dikkate aldığından bütün serilerin geleceğe yönelik tahminini yapabilmektedir. Ayrıca seriye yeni bir gözlem veya veri eklendiğinde yeni duruma hemen uyabilmektedir, böylece önce yapılan işlemlere gerek duymamaktadır. Bu sebepten maliyeti düşüktür.

4.5.3.2.4. Uyarlayıcı arındırma tahmin yöntemi

Uyarlayıcı arındırma tahmin yönteminde, seride bulunan zamana bağlı bir olayla ilgili olarak tahmin modeli tanımlandıktan sonra, bu seriyi oluşturan diğer unsurları içeren değişimler için yeniden bir tahmin modeli oluşturmadan direkt tahmin değerlerini belirleme imkanına sahiptir. Bundan dolayı da “kendi kendini yenileyen modeller” olarak ta tanımlanmaktadır. Bu yöntem 1970 yılında Whellwright ve Makridakis geliştirilmiş, kısa dönem tahmin amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bu tahminler yapılırken hareketli ortalamalar ve üssel düzeltme yöntemlerinde olduğu gibi, geçmiş dönemdeki gözlem ve verilerin değerleri toplanarak elde edilmektedir. Ayrıca bu yöntemle elde edilen tahmin sonuçları, hareketli ortalama yöntemi ve üssel düzeltme yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

4.5.3.2.5. Box-Jenkins tahmin yöntemi

Yule, ARIMA modellerinin ilk temelini AR modellerinin ortaya çıkarılmasıyla 1921’de oluşturmuştur. Sonrasında Shutsky tarafından 1927 yılında MA modelleri oluşturulmuştur. Wold, AR ve MA’nın birleşimi olan ARMA modelini 1954’te, Box-Jenkins ise 1970-1976 yıllarında ARIMA modellerini geliştirmiştir. Gelecek tahmini için kullanılan yöntemlerden en son geliştirilen Box-Jenkins yöntemidir. Bu yöntemin en son geliştirilmesi sebebiyle diğer yöntemlerin olumsuz yönleri bu yöntemde giderilmiştir. Box-Jenkins yönteminin temeli, zaman serisine ait bir dönemdeki değeri, aynı seriye ait eski dönemdeki değeri ve hata terimlerini doğrusal bir birleşimi ile açıklamaya dayanmaktadır. Box-Jenkins yöntemi literatürde Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama

Yöntemi (ARIMA) olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemin diğer yöntemlerden farkı, serinin yapısı veya serinin genel gelişme eğilimi hakkında bilgilere ihtiyaç duyulmadan kullanılabilmesidir. Zaman serisi analizinde kullanılan diğer yöntemlerin kullanılabilmesi için belli bir eğilime sahip olmaları gerekirken, Box-Jenkins yönteminde böyle bir kısıtlama yoktur. Bu özelliği ile Box-Jenkins yönteminin karmaşık zaman serilerine uygulanabilmesi sağlanmaktadır.

ARIMA modeli, tek değişkenli bir tahmin modelidir. Bu model geçmiş veya mevcut olan gözlem değerlerini kullanarak tahminlerin yapılması için kullanılır. Tahminlerin doğruluğu ne kadar uygun bir model olmasıyla orantılıdır. Yani veriler için uygun bir model bulmak tahminlerin doğruluğa yakınlığını arttırabilir.

Zaman serisinin kesikli ve durağan olması Box-Jenkins yönteminin en önemli varsayımdır. Yani bu sayede geleceğe yönelik tahmin modellerinin kurulmasında sistemli yaklaşım sergilenir. Ayrıca bu modellerde veriler zamana bağlı tesadüfi karakterde olaylardan oluşur ise bu sefer zaman serileriyle ilgili stokastik süreç olduğu varsayımını kullanır. Aslında burada verilerin birbirini açıklaması düsturuna dayanır. Bu nedenle, Box-Jenkins modellerine doğrusal stokastik modeller de denilmektedir. Box-Jenkins yönteminde birçok model arasında uygun olanı seçme, bu modeli inceleme ve denetleyebilme imkanı vardır. Zaman serisi durağan olsun veya olmasın, mevsimsel unsurlar içersin veya içermesin Box-Jenkins yöntemiyle sonuca ulaşılabilmesi bu yöntemin oldukça yaygın kullanılmasına sebeptir.

4.5.3.2.5.1. Box-Jenkins yönteminin üstün ve zayıf yönleri

Üstün yönleri,

- Box-Jenkins'in de içinde bulunduğu tek değişkenli yöntemlere göre istatistiksel olarak dayanağı olmasa bile, bu yöntem matematiksel istatistik ve geniş bir olasılık teorisine sahiptir.
- Yöntem kullanılırken her aşamada modelin uygunluğu denetlenebilir.
- Zaman serisine uygulanacak model seçildikten sonra veriler analiz edildiğinden diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar elde edilir.

Zayıf yönleri;

- Box-Jenkins yöntemi, araştırmacıya özgürlük tanıdığından yanlış model seçilebilir. Bunun önüne geçebilmek için araştırmacıların deneyim sahibi olması gerekmektedir.
- Aynı zaman serisi kullanılırsa ve analizi yapılırsa bile farklı iki araştırmacı farklı sayısal sonuçlar elde edebilirler.
- Zaman serisi için uygun model seçilmesi zaman alabilmektedir.

4.5.3.2.5.2. Box-Jenkins yöntemleri

Mevsimsel olmayan Box-Jenkins modelleri

- Otoregresyon Modelleri (AR)
- Hareketli Ortalama Modelleri (MA)
- Otoregresif Hareketli Ortalama Modelleri (ARMA/ARIMA)

Mevsimsel Box-Jenkins modelleri

- Mevsimsel Otoregresyon Modelleri (SAR)
- Mevsimsel Hareketli Ortalama Modelleri (SMA)
- Mevsimsel Otoregresif Hareketli Ortalama Modelleri (SARMA/SARIMA)'dır.

Box- Jenkins modellerinden mevsimsel olmayan kısımdaki modeller genel olarak ARIMA(p,d,q) şeklinde gösterilmektedir. Burada p otoregresyon (AR) modelinin derecesi, d fark alma işlemi sayısı ve q hareketli ortalama (MA) modelinin derecesi olmaktadır. Diğer türü olan mevsimsel Box-Jenkins modeli de ARIMA (p,d,q)(P,D,Q)s biçiminde ifade edilmektedir. Burada P mevsimsel otoregresyon (SAR) modelinin derecesi, D mevsimsel fark atma işlemi sayısı, Q mevsimsel hareketli ortalama (SMA) modelinin derecesi ve s periyottur.

Box-Jenkins yönteminde uygulamalar öncelikle seriye uygun modeli belirleme ile başlamaktadır. Daha sonra modelin tahmini, tanısal denetimi ve öngörü işlemleri yapılır. Bu sıralamayı gerçekleştirmek için seride trendlik var ise trendden ve mevsimsel dalgalanmadan arındırılmış olması ve ayrıca serinin durağan olması gerekmektedir. İlk

olarak model belirlemede seriye ait otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarına bakılması gerekmektedir. Bu fonksiyonlara ait ACF ve PACF grafikleri durağan olan veya durağan hale dönüştürülen seri için hazırlanarak uygun olabilecek model belirlenir. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon (ACF ve PACF) fonksiyonları, serinin $AR(p)$, $MA(q)$, $ARMA(p,q)$ veya $ARIMA(p,d,q)$ modellerinden hangisine uyduğunun tespit edilmesinde çok önemlidir. Model belirleme aşamasında ACF grafiğindeki ilişki miktarı, gecikme miktarı arttıkça yavaş yavaş azalır ancak PACF grafiğinde bahsedilen azalma hızlı bir şekilde olursa seriye uygun model otoregresyon modeli olmaktadır. Tersini düşünersek, PACF grafiğindeki ilişki miktarları yavaş yavaş azalırken ACF grafiğindeki ilişki miktarları hızlı bir şekilde azalıyorsa model hareketli ortalama modeli olmaktadır. İki grafikte de yani hem ACF hem de PACF grafiklerinde ilişki miktarının azalışı yavaş yavaş olursa model otoregresif hareketli ortalama modeli olmaktadır. Azalış hakkında hızlı veya yavaş olduğuna karar verebilme yetisine sahip olabilmek deneyim gerektirmektedir. Model seçiminde kararların doğruluğu için bir test gerekmektedir. Bu test ise modellerin katsayılarının önemlilik testidir. Ve model uygunluğu için bu test sonucuna bakılmalıdır. Bu test sonucunun değerlendirilmesi için ACF ve PACF grafikleri sonucunda karar verilen modelin katsayılarından herhangi biri istatistiksel olarak önemsiz ise bu modelin seriye uygun olmadığı anlaşılır. Böylece ACF ve PACF grafiklerinin yanlış değerlendirildiği düşünülür. Dolayısıyla model belirlemede model katsayılarının tahmini işleminin de önemi ortaya çıkmaktadır. Yani model belirleme ve model katsayısının seçim işlemleri birbirini tamamlamaktadır. Box-Jenkins modellerinde en küçük kareler veya en çok olabilirlik yöntemleriyle katsayı tahminleri yapılabilmektedir. Eğer modelde katsayılar göz ardı edilmeyip model ACF ve PACF grafiklerinden belirlendiği takdirde, bu model sonucu ortaya çıkan tahminlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu görmek için tahmin edilen seri ile gerçek seriye ait grafik çizilerek uyum kontrol edilir. Ayrıca seriye ait tahminin alt sınır ile üst sınır değerleri bulunup gerçek serinin tahmin sınırları içinde kalıp kalmadığı kontrol edilir. Son olarak bütün yöntemlerde de kullanılan hataların akgürültü olup olmadığını bulabilmek için hatalara ait ACF ve PACF grafikleri çizilir. Durağan koşullarından akgürültü serisinin farkı kovaryansının sıfır oluşudur. Kovaryans iki değişkenin birlikte ne kadar değiştiğini gösterir. Ayrıca Box-Ljung, Portmanteau gibi testlerin sonuçlarına da bakılır. Yapılan bu kontrol işlemlerine “Tanısal Denetim” adı verilir.

Mevsimsel olmayan Box-Jenkins modelleri

Bu modeller üç farklı şekildedirler. Bunlar, otoregresyon modeli AR(p), hareketli ortalama modeli MA(q) ve otoregresif hareketli ortalama modeli ARMA (p,q)'dir. Seride trend var ise yani kendiliğinden durağan değil ise, durağanlaştırılır. Bu durumda ilgili modele I(d) terimi eklenir. Genellikle ARIMA(p,d,q) olarak gösterilen modeller, mevsimsel olmayan Box-Jenkins modelleridir.

AR(p) Modelinin Açık Biçimi

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t$$

şeklinde, kapalı biçimi ise

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) z_t = \varepsilon_t \quad (4.180)$$

şeklinde olmaktadır. Burada z_t zaman serisinin durağan ε_t hata teriminin akgürültü serisi ve

$B z_t = z_{t-1}$ olduğu unutulmamalıdır.

MA(q) modelinin açık biçimi

$$Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t \quad (4.181)$$

şeklinde olmaktadır.

(4.180) ve (4.181) numaralı denklemlerden yararlanılarak ARMA(p,q) modeli,

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t \quad (4.182)$$

biçiminde olmaktadır. (4.182) numaralı denklemden ARMA(p,q) modelinin açık biçiminin de

$$Z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

şeklinde olacağı açıktır.

ARIMA(p,d,q) modeli ise,

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t \quad (4.183)$$

biçiminde olmaktadır. Burada $(1-B)^d$ teriminin d'inci dereceden fark işlemi olduğuna dikkat edilmelidir.

1. Otoregresyon modelleri

(4.180) numaralı denklemde $p=1$ olduğunda birinci dereceden otoregresyon modeli, yani AR(1) modeli,

$$(1 - \phi B) z_t = \varepsilon_t$$

biçiminde, açık gösterimle

$$z_t = \phi z_{t-1} + \varepsilon_t$$

biçiminde elde edilmektedir. Bu denklemde z_{t-1} yerine eşiti yazıldığında,

$$z_t = \phi(\phi z_{t-2} + \varepsilon_{t-1}) + \varepsilon_t$$

eşitliğinde, z_{t-2} terimi yerine eşiti yazıldığında

$$z_t = \phi[\phi(\phi z_{t-3} + \varepsilon_{t-2}) + \varepsilon_{t-1}] + \varepsilon_t$$

eşitliğinde bu şekilde iç içe z_{t-i} terimlerinin eşitlikleri yerine yazıldığında ise,

$$z_t = \varepsilon_t + \phi \varepsilon_{t-1} + \phi^2 \varepsilon_{t-2} + \phi^3 \varepsilon_{t-3} + \dots \quad (4.184)$$

denklemine ulaşılmaktadır. (4.184) numaralı denklemde $z_{t-(T-1)}$ 'inci terim yani ilk gözlem ihmal edilmiştir çünkü bu terimin katsayısı ϕ^{T-1} olmaktadır. Otoregresyon modeline $|\phi| < 1$ olduğu için bu katsayı yaklaşık 0 değerini almaktadır. Dolayısıyla ilk gözlemin büyüklüğü ne olursa olsun yaklaşık 0 değeri ile çarpıldığında sonuç 0'a çok yakın bir değer çıkacaktır. Bu nedenle bu terim ihmal edilmiştir.

Sonuç olarak AR(1) modeli $|\phi| < 1$ koşulu altında (4.184) numaralı denklem biçiminde yazılabilmektedir. Bu durumun akgürültü serisi $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2 \varepsilon)$ dağılımına sahip olduğu bilindiğine göre AR(1) modeline uygun bir serinin beklenen değeri,

$$E_{(z_t)} = 0 + 0 + 0 + \dots = 0$$

biçiminde olacaktır.

İstatistiksel olarak PACF grafiğinde sadece ilk gecikmesindeki ilişki miktarı önemli ise, başka bir deyişle güven sınırını aşıyorsa ve ayrıca ACF grafiğine ait ilişki miktarlarındaki gecikme sayısı arttıkça yavaş yavaş azalıyor ise seriye en uygun model AR(1) modelidir.

AR(1) modeline ait tahmin işlemi tamamlandıktan sonra hata serisi incelenip modelin istatistiksel olarak geçerli olduğu gösterildikten sonra serinin öngörü değerleri AR(1) modelinden yararlanılarak bulunur. AR(1) modelinde bu öngörü işlemi sabit terim de dikkate alınarak,

$$(1-\phi B)(z_t - \mu) = \varepsilon_t$$

$$z_t - \mu = \phi(z_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t$$

$$\hat{z}_{t(k)} = \mu + \phi(\hat{z}_{t(k-1)} - \mu)$$

$$= \mu + \phi[\mu + \phi(\hat{z}_{t(k-2)} - \mu) - \mu]$$

$$= \mu + \phi\mu - \phi^2\mu - \phi\mu + \phi^2\hat{z}_{t(k-2)}$$

$$= \mu + \phi^k(\hat{z}_t - \mu) \quad ;k=1,2,3,\dots \quad (4.185)$$

biçiminde olmaktadır. Bir dönemlik öngörünün hatası,

$$e_t(1) = z_{t+1} - \hat{z}_t(1)$$

$$= \mu + \phi(z_t - \mu) + \varepsilon_{t+1} - \mu - \phi(z_t - \mu)$$

$$= \varepsilon_{t+1}$$

olmaktadır. k dönemlik öngörü hatası, (4.184) ile (4.185) numaralı denklemlerden yararlanılarak,

$$e_t(k) = z_{t+k} - \hat{z}_t(k)$$

$$= z_{t+k} - \mu - \phi^k(z_t - \mu)$$

$$\begin{aligned}
&= \varepsilon_{t+k} + \phi \varepsilon_{t+k-1} + \phi^2 \varepsilon_{t+k-2} + \dots + \phi^{k-1} \varepsilon_{t+1} + \phi^k \varepsilon_t + \dots - \phi^k (\varepsilon_t + \phi \varepsilon_{t-1} \\
&\quad + \phi^2 \varepsilon_{t-2} + \dots) \\
&= \varepsilon_{t+k} + \phi \varepsilon_{t+k-1} + \phi^2 \varepsilon_{t+k-2} + \dots + \phi^{k-1} \varepsilon_{t+1}
\end{aligned}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu ifade başka bir gösterimle,

$$\varepsilon_t(k) = \sum_{j=0}^{k-1} \Psi_j \varepsilon_{t+k-j} \quad (4.186)$$

(4.180) numaralı denklemde $p=2$ olduğunda, ikinci dereceden otoregresyon modeli, yani AR(2) modeli,

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2) z_t = \varepsilon_t \quad (4.187)$$

biçiminde elde edilmektedir. Bu modelin açık biçimi ise,

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t$$

olmaktadır. Bu eşitliğin her iki tarafı z_{t-k} ile çarpılıp beklenen değeri alındığında,

$$E(z_t z_{t-k}) = \phi_1 E(z_{t-1} z_{t-k}) + \phi_2 E(z_{t-2} z_{t-k}) + E(\varepsilon_t z_{t-k})$$

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2}; \quad k=1,2,3,\dots$$

Yapılan uygulamalarda AR(2) modeli için seriye uygun olması için ACF grafiğinde ilişki miktarları azalırken PACF grafiğinde ilk iki gecikmeye ait ilişkilerin önemsiz bir hale gelmesi, yani güven sınırlarını geçmemesi gerekmektedir.

AR(1) ve AR(2) modelinin özelliklerine bakarak AR(p) modeli için ACF grafiğindeki ilişkiler yavaş yavaş azalırken, PACF grafiğindeki ilk p'inci gecikmeye kadarki ilişkiler önemli, sonraki ilişkilerin de önemsiz olduğu söylenebilir.

AR(2) modelinin durağanlık koşulları,

$$\phi_1 + \phi_2 < 1$$

$$\phi_2 - \phi_1 < 1$$

$$\phi_2 < 1$$

biçimindedir (Wei,1990).

Bu koşulların dışındaki modeller durağan olmadığından, seriye mutlaka fark işlemi uygulanmalı ve fark işlemi uygulanan seri için uygun model belirlenmelidir.

AR(2) modelindeki öngörü işlemi sabit terimi de dikkate alınarak,

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)(z_t - \mu) = \varepsilon_t$$

$$z_t = \mu + \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \phi_2(z_{t-2} - \mu) + \varepsilon_t$$

$$\hat{z}(k) = \mu + \phi_1(z_{t+k-1} - \mu) + \phi_2(z_{t+k-2} - \mu)$$

biçiminde olmaktadır. Bir dönemlik öngörü için,

$$\hat{Z}_T(1) = \mu + \phi_1(Z_t - \mu) + \phi_2(Z_{t-1} - \mu)$$

$$V[e_t(1)] = \sigma_\varepsilon^2$$

iki dönemlik öngörü için,

$$\hat{Z}_T(2) = \mu + \phi_1(\hat{Z}_T(1) - \mu) + \phi_2(Z_T - \mu)$$

$$V[e_t(2)] = \sigma_\varepsilon^2(1 + \phi_1^2)$$

üç dönemlik öngörü için,

$$\hat{Z}_T(3) = \mu + \phi_1(\hat{Z}_T(2) - \mu) + \phi_2(\hat{Z}_T(1) - \mu)$$

$$V[e_t(3)] = \sigma_\varepsilon^2[1 + \phi_1^2 + (\phi_1^2 + \phi_2)2]$$

gibi geleceğe yönelik tahminler yapılabilmekte ve öngörü varyansları bulunabilmektedir.

2. Hareketli ortalama modelleri

(4.180) numaralı denklemde $q=1$ olduğunda birinci dereceden hareketli ortalama modeli, yani MA(1) modeli elde edilir. Bu durumda MA(1) modeli,

$$Z_t = (1 - \theta B)\varepsilon_t \tag{4.189}$$

biçiminde olmaktadır. (4.189) numaralı denklemden MA(1) modelinin açık biçimi

$$Z_t = \varepsilon_t - \phi\varepsilon_{t-1}$$

şeklinde olmaktadır. MA(1) modelinin beklenen değeri,

$$E(z_t) = E(\varepsilon_t) - \theta E(\varepsilon_{t-1}) = 0$$

biçiminde olmaktadır.

Hareketli otalama modelinde yapılan uygulamalarda kısmi otokorelasyon değerlerinde gecikme sayısı arttığı zaman, üstel olarak yavaş yavaş azalmaktadır ve bu azalma otokorelasyon değerlerinde bir anda olmaktadır.

Seriye uygun modelin ACF ve PACF grafikleri sonucunda MA(1) modeli olduğuna karar verilirse bu modele serinin dönemlik öngörüsü, sabit terim de dikkate alınarak,

$$Z_t = -\mu = (1 - \theta B)\varepsilon_t$$

$$Z_t = \mu + \varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1}$$

$$\hat{z}(1) = \mu - \theta\varepsilon_T$$

biçiminde olmaktadır.

Burada ε_T son gözlemdaki hata değeri olmaktadır (varsayımsal olarak teoride hata değerlerinin 0 olduğu unutulmamalıdır). Bir dönemden daha uzun öngörülerde, örneğin iki dönemlik öngörüde,

$$\hat{z}(2) = \mu - \theta\varepsilon_{T+1} = \mu$$

olmaktadır. Çünkü bir dönemlik öngörü hatasının ε_{T+1} elde edilmesi için sonraki dönemin gerçek değerinin bilinmesi gerekir. Bu, gelecek dönemin yaşanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle, öngörü hatalarının önceden hesaplanması mümkün değildir. Sonuç olarak, MA(1) modelinde öngörü değerleri,

$$\hat{z}_T(k) = \begin{cases} \mu - \theta\varepsilon_T & ;k=1 \\ \mu & ;k=2,3,4,\dots \end{cases}$$

biçiminde olmaktadır. Bir dönemlik tahmin hatası ise,

$$\begin{aligned}
e_t(1) &= z_{t+1} - \hat{z}_t(1) \\
&= \mu + \varepsilon_{t+1} - \theta \varepsilon_t - \mu + \theta \varepsilon_t \\
&= \varepsilon_{t+1}
\end{aligned}$$

biçiminde gösterilmektedir.

Birinci dereceden bütünleşik bir seriye uygun olan model, birinci dereceden hareketli ortalama modeli olduğu takdirde model ARIMA (0,1,1) modeli olmaktadır. Bu modelde sabit terim de dikkate alındığında, model,

$$(1-B)z_t = \mu + (1-\theta B)\varepsilon_t \quad (4.190)$$

biçiminde olmaktadır. (4.190) numaralı denklem,

$$z_t = \mu + z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1}$$

biçiminde de yazılabilmektedir. Bu eşitlik kullanılarak bir dönemlik öngörü,

$$\hat{z}_T(1) = \mu + z_T - \theta \varepsilon_T$$

biçiminde, iki dönemlik öngörü ise,

$$\hat{z}_T(2) = \mu + \hat{z}_T(1) = 2\mu + z_T - \theta \varepsilon_T$$

biçiminde ve dolayısıyla,

$$\hat{z}_T(k) = k\mu + z_T - \theta \varepsilon_T$$

olacaktır. Ancak teoride yukarıda da bahsedildiği gibi hata teriminin değerinin 0 olarak alınması gerektiği unutulmamalıdır.

Öngörü hatası, Eşitlik (4.187) kullanılarak bulunmaktadır. Ancak bu denklemde,

$$\Psi_j = (1-\theta) \quad J=1,2,3,\dots$$

olmaktadır.

(4.181) numaralı denklemde $q=2$ olduğunda ikinci dereceden hareketli ortalama modeli, yani MA(2) modeli elde edilir. Bu durumda MA(2) modeli,

$$Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t \quad (4.191)$$

biçiminde olmaktadır. Dolayısıyla, bu modelin açık biçimi,

$$Z_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$$

olmaktadır. Bu durumda,

$$E(Z_t) = 0$$

Otokorelasyon fonksiyonuna ait grafikte ilk iki gecikmeye ait ilişki MA(2) modelinde önemli olmaktadır. Otokorelasyon değerleri kullanıldığı kısmi otokorelasyon katsayısı formüllerinden yararlanılarak MA(2) modelinin kısmi otokorelasyon değerleri bulunabilir. Bu değerler bulunduğu kısmi otokorelasyon fonksiyonunun gecikme sayısı arttıkça yavaş bir şekilde azaldığı görülür.

MA(2) modeline ait katsayıları tersinirlik özelliğine göre,

$$\theta_2 + \theta_1 < 1$$

$$\theta_2 - \theta_1 < 1$$

$$-1 < \theta_2 < 1$$

koşulları sağlanmalıdır (Wei 1990).

MA(2) modeli hakkında seriye uygun olup olmadığının denetimi yapıldıktan sonra bu model ile serinin öngörü değerleri bulunabilir. Örnek verecek olursak ikinci farkı alındıktan sonra durağanlaşan bir seri MA(2) modeline sahip olsun. Bu durumda model ARIMA (0,2,2) modeli olacaktır. Bu model, (4.181) numaralı denklemin $q=2$ olduğu ve serinin ikinci farkının bu denkleme dahil edildiği model yani,

$$(1-B)^2 Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t$$

biçimli model olmaktadır. Bu durumda modelin açık biçimi,

$$(1 - 2B + B^2) Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t$$

$$Z_t = 2Z_{t-1} - Z_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$$

olmaktadır. Dolayısıyla k dönemlik öngörü,

$$\hat{Z}_{T+1}=2Z_T-Z_{T-1}-\theta_1\varepsilon_T-\theta_2\varepsilon_{T-1}$$

$$\hat{Z}_{T+2}=2Z_{T+1}-Z_T-\theta_2\varepsilon_T$$

$$\hat{Z}_{T+k}=2Z_{T+k-1}-Z_{T-k-2} \quad k=3,4,5$$

biçiminde hesaplanmaktadır.

3. Otoregresif hareketli ortalama modelleri

(4.181) numaralı denklemde $p=1$ ve $q=1$ değerleri verildiğinde model ARMA(1,1) modeli olmaktadır ve bu model,

$$(1-\phi B)Z_T=(1-\theta B)\varepsilon_T \quad (4.192)$$

biçiminde yazılmaktadır. Buradan modelin açık biçimi,

$$Z_t=\theta z_{t-1}+\varepsilon_t-\theta\varepsilon_{t-1}$$

olmaktadır. Bu modele $\phi=0$ olduğunda model MA(1) modeline $\theta=0$ olduğunda ise model AR(1) modeline dönmektedir. Dolayısıyla, AR(1) ve MA(1) modellerinin ARMA (1,1) modelinin özel durumu olduğu söylenebilir. Bu nedenle ARMA(1,1) modelinin tersinirlik özelliği $|\phi| < 1$ durumunda sağlanmış olmaktadır. Bu özellik sayesinde ARMA(1,1) modeli,

$$\Pi(B)Z_t=\varepsilon_t$$

biçiminde yazılabilmektedir. Burada,

$$\Pi(B)=(1-\Pi_1B-\Pi_2B^2-\dots)=\frac{1-\phi B}{1-\theta B}$$

olmaktadır. Buradan,

$$(1-\theta B)(1-\Pi_1B-\Pi_2B^2-\Pi_3B^3-\dots)=1-\phi B$$

$$1-(\Pi_1+\theta)B-(\Pi_2-\Pi_1\theta)B^2-(\Pi_3-\Pi_2\theta)B^3-\dots=1-\phi B$$

eşitlikleri elde edilmektedir. Dolayısıyla,

$$\Pi_1+\theta=\phi \quad \text{ise } \Pi_1=\phi-\theta$$

$$\Pi_2 - \Pi_1 \theta = 0 \quad \text{ise } \Pi_2 = \Pi_1 \theta \quad \text{ise } \Pi_2 = \theta(\phi - \theta)$$

$$\Pi_3 - \Pi_2 \theta = 0 \quad \text{ise } \Pi_3 = \Pi_2 \theta \quad \text{ise } \Pi_3 = \theta^2(\phi - \theta)$$

. . .

$$\Pi_j = \theta^{j-1}(\phi - \theta) \quad j=1,2,3,\dots$$

olmaktadır. Burada ARMA(1,1) modelinin otoregresyon modeli biçiminde ele alındığına dikkat edilmelidir. Eğer ARMA(1,1) modeli hareketli ortalama modeli biçiminde ele alınsaydı bu durumda ARMA(1,1) modelinin

$$z_t = \psi(B)\varepsilon_t = \left(\frac{1-\theta B}{1-\phi B}\right)\varepsilon_t$$

biçiminde yazılacağı ve burada aynı mantıkla,

$$\psi(B) = \phi^{j-1}(\phi - \theta) \quad j=1,2,3,\dots \quad (4.193)$$

olacağı unutulmamalıdır.

Kısmi otokorelasyon katsayısı formülleri kullanılarak ARMA(1,1) modelinin kısmi otokorelasyon fonksiyonu elde edilmektedir. Bu fonksiyon bulunduğu gecikme sayısı arttıkça fonksiyonun aldığı değerlerin yavaş yavaş azaldığı ortaya çıkmaktadır.

Dolayısıyla ARMA(p,q) modellerinde hem ACF hem de PACF grafiklerindeki ilişkiler gecikme sayısı arttıkça yavaş yavaş azalmaktadır. Burada p değerinin PACF grafiğindeki ilk gecikmelere ait önemli ilişkilerden, q değerinin ise ACF grafiğindeki ilk gecikmelere ait önemli ilişkilerden belirlenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Seriye ait uygun modelin belirlenmesinden sonra modele ait katsayılara ait tahminler için en küçük kareler yöntemi ve/veya koşullu ya da koşulsuz en çok olabilirlik tahmin yöntemleri kullanılır. Bu tahminlerin istatistiksel özellikleri de AR(1) modelinde şu şekildedir,

$$V(\hat{\phi}) \cong \frac{1-\phi^2}{T}$$

AR(2) modelinde,

$$V(\hat{\phi}_1) \cong V(\hat{\phi}_2) \cong \frac{1-\phi^2}{T}$$

$$\text{corr}(\hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2) \cong \frac{\phi_1}{1-\phi_2} = \rho_1$$

ARMA(1) modelinde,

$$V(\hat{\theta}) \cong \frac{1-\theta^2}{T}$$

ARMA(2) modelinde,

$$V(\hat{\theta}_1) \cong V(\hat{\theta}_2) \cong \frac{1-\theta^2}{T}$$

$$\text{corr}(\hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2) \cong \frac{\phi_1}{1-\phi_2}$$

ARMA(1,1) modelinde,

$$V(\hat{\phi}) \cong \frac{1-\theta^2}{T} \left[\frac{1-\phi\theta}{\phi-\theta} \right]^2$$

$$V(\hat{\phi}) \cong \frac{1-\theta^2}{T} \left[\frac{1-\phi\theta}{\phi-\theta} \right]^2$$

$$\text{corr}(\hat{\phi}, \hat{\theta}) \cong \frac{\sqrt{(1-\phi^2)(1-\theta^2)}}{1-\phi\theta}$$

biçiminde olmaktadır (Cryer,1986).

Modeldeki katsayılar hesaplandıktan sonra ARMA(1,1) modeline göre öngörü değerinin bulunması,

$$(1-\phi B)Z_t = (1-\theta B)\varepsilon_t$$

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1}$$

$$\hat{Z}_T(1) = \phi Z_T - \theta \varepsilon_T$$

$$\hat{Z}_T(2) = \phi \hat{Z}_T(1) = \phi(\phi Z_T - \theta \varepsilon_T)$$

$$\hat{Z}_T(3) = \phi \hat{Z}_T(2) = \phi^2(\phi Z_T - \theta \varepsilon_T)$$

$$\Rightarrow \hat{Z}(k) \begin{cases} \Phi Z_T - \theta \varepsilon_T & ;k=1 \\ \Phi^{k-1} \hat{Z}(1) & ;k=2,3,4 \end{cases}$$

biçiminde olmaktadır. Sabit terimin burada ihmal edilmiş olduğu ve ε_T teriminin hata serisine ait son veri olduğuna dikkat edilmelidir. Daha önce de bahsedildiği gibi teori olarak hata serisi verilerinin 0 olarak kabul edildiği unutulmamalıdır. Bu varsayım, teoride geçerlidir, uygulamada geçerli değildir.

ARMA(1,1) modelinin öngörü hatasının bulunması amacıyla (4.187) numaralı denklemdeki,

$\psi_j = \phi^{j-1}(\phi - \theta)$ olduğu (4.193) numaralı denklem ile elde edilmiştir. Bu durumda öngörü hatasının varyansı,

$$V[e_t(k)] = \sigma_\varepsilon^2 \left[1 + \sum_{j=1}^{k-1} [\phi^{j-1} (\phi - \theta)]^2 \right]$$

olacağı açıktır. Bu eşitlik,

$$V[e_t(k)] = \sigma_\varepsilon^2 \left[1 + \frac{(\phi - \theta)^2}{1 - \phi^2} \right]$$

eşitliğine yakınsamaktadır (Wei,1990).

4.5.4. Model seçim kriterleri

Box-Jenkins modellerinin herhangi bir zaman serisine uygun olabilmesi için zaman serisine ait gözlem veya veri sayısının büyük önemi vardır. Box-Jenkins modellerinin zaman serisine uygun olup uygulanması için en az 50 civarı veri olması gerekliliği literatür çalışmalarında mevcuttur.

Birçok zaman serisi modelleri arasından en uygun olanını seçmek için bazı kriterler uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları,

- Akaike (1974),
- Schwarz (1978) tarafından ileri sürülmüştür.

n , gözlem sayısı; k , tahmin edilmiş parametre sayısı olarak tanımlandığında, Akaike Bilgi Kriteri (AIC),

$$AIC = \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2k}{n}$$

$$ESS = \sum (y - \hat{y})^2$$

olarak ifade edilmektedir. ESS, hata terimlerinin kareleri toplamıdır. AIC(k) değerini minimum yapan k değeri seçilmektedir.

Schwarz Bilgi Kriteri ise,

$$SIC = \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{k \cdot \ln n}{n}$$

olarak ifade edilir.

AIC ve SIC kriterleri karşılaştırıldığında görülmektedir ki, SIC kriteri ile seçilmiş bir modelin derecesi genellikle AIC ile seçilmiş bir modelin derecesinden daha küçüktür. AIC ve SIC değerlerinin küçük olması istenmektedir. Hangi gecikme mertebesinde bu değerler küçük çıkıyorsa o gecikme mertebesi uygun gecikme mertebesi olarak kabul edilmektedir. Herhangi bir gecikmenin açıklayıcı değeri yoksa AIC ve SIC değerlerinde bir artış görülmektedir.

Akaike veya Schwarz bilgi kriterleri, ACF ve PACF grafikleri sayesinde bulunan uygun modellerden incelenen seri için en uygun modeli bulabilmek için kullanılmaktadır. Bu aşama yani model seçim kriterleri model belirleme aşamasının son adımıdır. Yani model seçim kriterleri uygulandıktan sonra tanısal denetim aşaması mutlaka yapılmalıdır. Eğer tanısal denetim yapıldıktan sonra seriye en uygun istatistiksel olarak güvenilir bir model çıkmadığı sonucuna varılırsa, seriye Box-Jenkins modellerinin uygun olmadığı yani uygulanamayacağı ortaya çıkar ve başka bir yöntemin denenmesi gerektiği anlaşılır.

4.6. İstatistiksel Parametreler

ANFIS ve zaman serisi analizi kapsamında elde edilen tahminler ile mevcut verilerin istatistik parametreler açısından değerlendirilmesi önemlidir. Literatürde, karşılaştırma işlemini anlamlı kılan çeşitli istatistiksel performans parametreleri mevcuttur. Bu formüller, istatistiksel performans parametrelerinin sonuçları ile en uygun modelin seçiminde anahtar rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin performanslarını değerlendirmek amacı ile farklı istatistiksel performans göstergeleri hesaplanmıştır. (4.194), (4.195), (4.196) (4.197) ve (4.198) numaralı eşitliklerde sırası ile hata kareleri toplamı kökü (Root Mean Square Error-RMSE), ortalama mutlak hata

(Mean Absolute Error-MAE), korelasyon katsayısı (Correlation Coefficient-R) regresyon katsayısı (Regression Coefficient- R^2) ve verimlilik katsayısı (Nash-Sutcliffe Efficiency-NSE) istatistiksel parametrelerinin denklemleri aşağıda verilmiştir;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - y_t^p)^2}{n}} \times 100 \quad (4.194)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t^o - y_t^p| \quad (4.195)$$

$$R = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)(y_t^p - \bar{y}^p)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)^2 \sum_{t=1}^n (y_t^p - \bar{y}^p)^2}} \quad (4.196)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)(y_t^p - \bar{y}^p)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)^2 \sum_{t=1}^n (y_t^p - \bar{y}^p)^2}} \right)^2 \quad (4.197)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - y_t^p)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)^2} \quad (4.198)$$

Burada, y_t^o gözlemlenen değer, y_t^p ise tahmin edilen değerdir ve n gözlem sayısını ifade etmektedir.

4.7. Veri Seti

Bu çalışmada, 41° 50' 00'' E enlemi, 31° 10' 00'' N boylamı koordinatlarındaki Akçakoca denizel alanına ait 19 yıllık ECMWF'den elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışmada, Akçakoca Denizel Alanı için, ECMWF istasyonunun 01/01/2000 - 14/01/2019 tarihleri arasında ölçmüş olduğu 19 yıllık toplam 27819 adet belirgin dalga yüksekliği verisi kullanılmıştır. Sahada ölçülen 6 saatlik dalga yüksekliği verileri, büyükten küçüğe sıralandığında en yüksek üçte birinin ortalaması, belirgin dalga

yüksekliği H_s olarak hesaplanmış olmaktadır. H_s parametresi, Eşitlik (4.199)'da görüldüğü gibi ifade edilebilir,

$$H_s = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} H_i}{N/3} \quad (4.199)$$

Çizelge 4.24'te metodun uygulandığı çalışma alanındaki dalga parametresine ait değerlerin istatistiksel sonuçları görülmektedir. Çalışma alanında ölçülen en büyük dalga yüksekliği 3.69 m ve en küçük dalga yüksekliği 0.05 m'dir. Dalga yükseklikleri ortalaması 0.60 m ve standart sapması 0.46 m'dir.

Çizelge 4.21. İstatistiksel parametreler

	Maksimum	Minimum	Ortalama (μ)	Standart sapma (σ)
$H_s(m)$	3.69	0.05	0.60	0.46

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

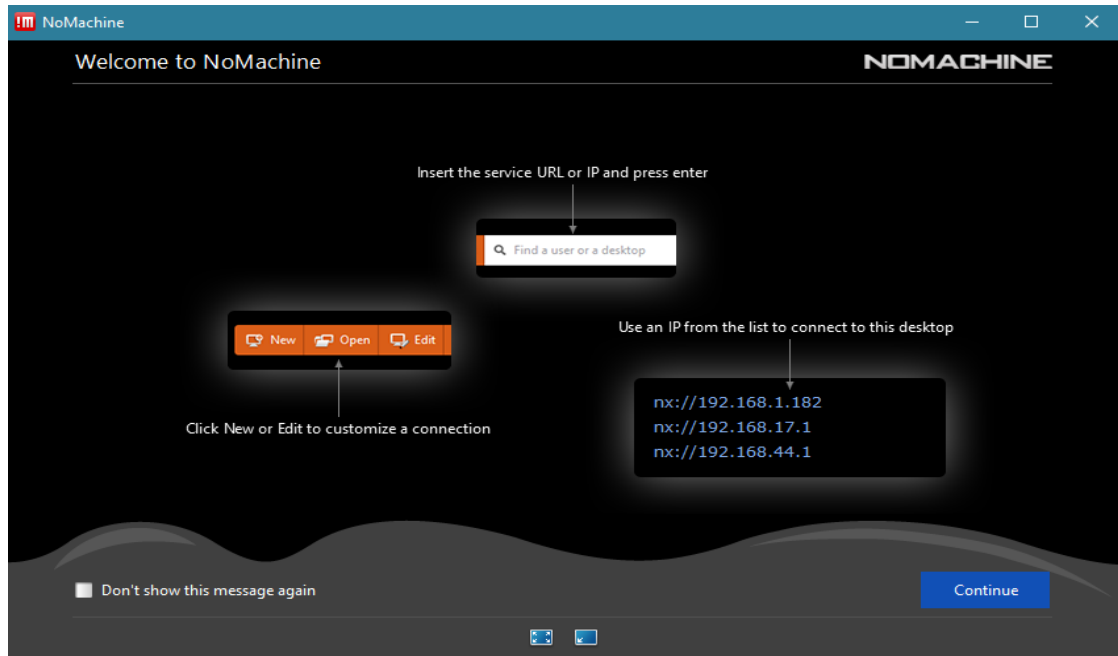
Dizayn dalgası elde edilmesi, taş dolgu dalgakıran tasarımı, ANFIS ve zaman serisi analizi modellemelerinden sonra oluşan bulgular aşağıda verilmiştir.

5.1. Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliğinin Elde Edilmesi ile İlgili Bulgular

Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlasıyla ve ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi)'den derin deniz belirgin dalga yüksekliği verileri elde edilmiştir. Elde edilen dizayn dalgalarının birbiriyle karşılaştırılarak ECMWF'ten elde edilen verilerin seçilme nedenleri ile birlikte açıklanmıştır.

ECMWF'ten veri elde edilmesi

ECMWF'ten elde edilen veriler NoMachine programı ile indirilmiştir. NoMachine programının giriş cihazı Gazi Üniveritesi tarafından sağlanmıştır. <https://www.nomachine.com/> isimli siteden öncelikle "Nomachine" isimli program kurulmuş, kurulum işlemi tamamlandıktan sonra Şekil.5.1'deki ekran görüntüsü gelmiştir.



Şekil 5.1. NoMachine Programı açılış ekran görüntüsü

Program kurulum ve veri indirme adımları tamamlandıktan sonra indirilen veriler her yıl için yıllık maksimum dalga yüksekliği elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Derin deniz belirgin dalga yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılacak ekstrem (en büyük değer) olasılık dağılım fonksiyonu uygulaması için öncelikle 19 yıla ait ECMWF'ten elde edilen 2000-2019 yıllarına ait 27819 adet veri kullanılarak her yıla ait en büyük H_{max} değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. ECMWF'ten indirilen 19 yıla ait maksimum dalga yüksekliği verileri

SIRA NO	YILLAR	YILLARA GÖRE EN BÜYÜK H_{MAX} DEĞERLERİ (m)	TARİHİ	SAATİ
1	2000	2.03	22.1.2000	00.00
2	2001	3.14	7.12.2001	18.00
3	2002	3.48	8.12.2002	18.00
4	2003	3.44	8.2.2003	12.00
5	2004	4.9	23.1.2004	00.00
6	2005	2.57	17.1.2005	00.00
7	2006	2.99	25.1.2006 7.2.2006	06.00 00.00
8	2007	3.89	11.11.2007	06.00
9	2008	3.69	17.2.2008	12.00
10	2009	3.18	31.10.2009	18.00
11	2010	3.92	25.12.2010	18.00

Çizelge 5.1. (Devam) ECMWF'ten indirilen 19 yıla ait maksimum dalga yüksekliği verileri

12	2011	3.36	22.3.2011	18.00
13	2012	5.13	22.2.2012	06.00
14	2013	3.46	15.7.2013	18.00
15	2014	2.68	24.3.2014	18.00
16	2015	3.49	25.2.2015	06.00
17	2016	3.74	27.12.2016	18.00
18	2017	5.28	13.1.2017	00.00
19	2018	5.31	1.2.2018	18.00

Yıllık maksimum dalga yüksekliği verileri Çizelge 5.2'deki ekstrem olasılık dağılım fonksiyonlarının en küçük kareler metoduna göre hesaplanmış, sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları/2016'da yer alan dağılım fonksiyonları

Dağılım Fonksiyonu	Matematiksel İfade	Parametreler
Fisher-Tipper I (Tip 1) veya Gumbel	$P(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-r}{\beta}\right)}}$	β, γ
Fisher Tippet II (Tip 2)	$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha}}$	β, α
Weibull	$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}$	β, γ, α
Log-Normal	$p(x) = \frac{1}{\beta \times \sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{\ln x - \gamma}{\beta}\right)^2}$	β, γ

Kıyı Yapıları Planlama Tasarım Esasları/2016’da yer alan ekstrem olasılık dağılım fonksiyonlarına göre derin deniz dalga yüksekliği belirlenmiştir. Bunlar Gumbel (Tip 1 ve Tip 2), Weibull ve Log Normal’dır. Hesaplanan dağılım fonksiyonlarının sonuçlarının güvenilirlik açısından değerlendirilmeleri için uygunluk değerlendirme kriterlerine göre istatistik hesapları yapılmıştır. Uygunluk değerlendirmesinde kullanılan yöntemler; R kriteri, DOL kriteri, MIR ve REC kriterleridir.

R ve R^2 kriteri ile uygunluk değerlendirilmesi yapılan çalışmalar Çizelge 5.3.’te, tüm dağılım fonksiyonları için DOL Kriteri sonuçları Çizelge 5.4. ve 5.5. ve 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.3. R ve R^2 kriteri ile sonuçlar

Dağılım türü	R	R^2	Sonuç (DOL Kriteri)
Gumbel1 (old)	0.9682	0.9375	Aykırı Değil
Gumbel2 (new)	0.9632	0.9277	Aykırı Değil
FT 2 (k1=2.5)	0.8429	0.7104	Aykırı
FT 2 (k2=3.33)	0.8893	0.7909	Aykırı
FT 2 (k3=5.0)	0.9246	0.8550	Aykırı
FT 2 (k4=10.0)	0.9488	0.9003	Aykırı Değil
Weibull (k1=0.75)	0.8826	0.7790	Aykırı
Weibull (k2=1.0)	0.9291	0.8632	Aykırı
Weibull (k3=1.4)	0.9575	0.9168	Aykırı Değil
Weibull (k4=2.0)	0.9674	0.7104	Aykırı Değil

DOL Kriterinin Gumbel Tip1’e göre sonuçları Çizelge 5.4.’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. DOL Kriteri (Gumbel Tip1) ile sonuçlar

DOL Kriteri (Gumbel Tip1)					
ζ 1.789481					
ζ upper	a	b	c	3.296044	Aykırı Değil
	-0.111	1.269	-0.038		
ζ lower	a	b	c	1.650874	
	0.39	0.334	0.032		

DOL Kriterinin Gumbel Tip2’ye göre sonuçları Çizelge 5.5.’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. DOL Kriteri (Gumbel Tip2) ile sonuçları

DOL Kriteri (Gumbel Tip2)						
ζ 1.789481						
k = 10	ζ üst	a	b	c	3.576242	Aykırı Değil
		-0.2	1.15	0.045		
ζ alt	a	b	c	1.732796		
	0.512	0.235	0.061			
k = 5	ζ üst	a	b	c	3.774361	Aykırı
		0.561	0.473	0.21		
ζ alt	a	b	c	1.812472		
	0.76	0.063	0.1			
k = 3.33	ζ üst	a	b	c	3.909807	Aykırı
		2.001	-0.609	0.427		
ζ alt	a	b	c	1.890826		
	1.025	-0.127	0.143			
k = 2.5	ζ üst	a	b	c	3.958949	Aykırı
		3.577	-1.74	0.635		
ζ alt	a	b	c	1.9537		
	1.355	-0.362	0.192			

DOL Kriterinin Weibull'a göre sonuçları Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. DOL Kriteri (Weibull) ile sonuçlar

DOL Kriteri (Weibull)						
ζ 1.789481						
k = 0.75	ζ üst	a	b	c	3.91716	Aykırı
		-0.888	1.523	0.037		
ζ alt	a	b	c	2.030863		
	0.372	0.372	0.065			
k = 1	ζ üst	a	b	c	3.638965	Aykırı
		-0.682	1.6	-0.045		
ζ alt	a	b	c	1.874277		
	0.308	0.423	0.037			
k = 1.4	ζ üst	a	b	c	3.277183	Aykırı Değil
		-0.096	1.337	-0.065		
ζ alt	a	b	c	1.710719		
	0.318	0.42	0.018			
k = 2	ζ üst	a	b	c	2.924339	Aykırı Değil
		0.319	1.088	-0.069		
ζ alt	a	b	c	1.565831		
	0.232	0.453	0			

MIR istatistiki kritere göre olasılık dağılım fonksiyonlarının uygunluk sonuçları Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. MIR kriteri ile sonuçlar

MIR Kriteri						
Dağılım türü	a	b	c	Δr	$\Delta r(\text{mean})$	MIR
Gumbel Tip1	-1.824	-0.3122	-0.044	0.0318	0.043949	0.722897
Gumbel Tip2	-1.824	-0.3122	-0.044	0.0368	0.043949	0.83768
FT 2 (k1=2.5)	-2.455	-0.1582	0	0.1571	0.05389	2.91607
FT 2 (k2=3.33)	-2.471	-0.197	-0.007	0.1107	0.044523	2.485591
FT 2 (k3=5.0)	-2.463	-0.2241	-0.019	0.0754	0.037344	2.017899
FT 2 (k4=10.0)	-2.409	-0.258	-0.033	0.0512	0.031595	1.619257
Weibull (k1=0.75)	-2.603	-0.1009	-0.047	0.1174	0.036605	3.206223
Weibull (k2=1.0)	-2.355	-0.2612	-0.043	0.0709	0.030292	2.341692
Weibull (k3=1.4)	-2.221	-0.3668	-0.044	0.0425	0.02516	1.688421
Weibull (k4=2.0)	-2.047	-0.4767	-0.041	0.0326	0.022235	1.465711

REC istatistiki kritere göre olasılık dağılım fonksiyonlarının uygunluk sonuçları Çizelge 5.8.'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. REC kriteri ile sonuçlar

REC Kriteri						
Dağılım Türü	a	b	c	Δr (95%)	Δr	Durum
Gumbel Tip1	-1.4440	-0.3147	-0.0450	0.063244	0.0318	Kabul
Gumbel Tip2	-1.4440	-0.3147	-0.0450	0.063244	0.0368	Kabul
FT 2 (k1=2.5)	-1.1590	-0.3193	0.0160	0.140796	0.1571	Red
FT 2 (k2=3.33)	-1.4110	-0.2597	0.0000	0.113532	0.1107	Kabul
FT 2 (k3=5.0)	-1.5700	-0.2199	-0.0180	0.093151	0.0754	Kabul
FT 2 (k4=10.0)	-1.5630	-0.2398	-0.0340	0.077008	0.0512	Kabul
Weibull (k1=0.75)	-1.5220	-0.1676	-0.0410	0.093392	0.1174	Red
Weibull (k2=1.0)	-1.4330	-0.2679	-0.0440	0.07403	0.0709	Kabul
Weibull (k3=1.4)	-1.3120	-0.3805	-0.0450	0.059457	0.0425	Kabul
Weibull (k4=2.0)	-1.1150	-0.5247	-0.0390	0.049883	0.0326	Kabul

Bütün bu sonuçlar doğrultusunda olasılık dağılım fonksiyonlarının bütün istatistiki parametrelere göre puanlama yapılmıştır. Çizelge 5.9.'da, lineer saptama katsayısına (R) göre olasılık dağılım fonksiyonlarının hangisinin daha uygun olduğu puanlanmıştır.

Çizelge 5.9. R kriteri ile sonuçların puanlanması

R Kriteri		
Dağılım Tipi	R	Puan
Gumbel Tip1	0.9682	9
Gumbel Tip2	0.9632	7
FT 2 (k1=2.5)	0.8429	0
FT 2 (k2=3.33)	0.8893	2
FT 2 (k3=5.0)	0.9246	3
FT 2 (k4=10.0)	0.9488	5
Weibull (k1=0.75)	0.8826	1
Weibull (k2=1.0)	0.9291	4
Weibull (k3=1.4)	0.9575	6
Weibull (k4=2.0)	0.9674	8

Lineer sapma kriteri olan DOL kriterine göre olasılık dağılım fonksiyonlarını hangisinin daha uygun olduğu Çizelge 5.10.'da puanlanmıştır.

Çizelge 5.10. DOL kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi

DOL Kriteri		
Dağılım Tipi	Yorum	Puanlama
Gumbel Tip1	Aykırı Değil	10
Gumbel Tip2	Aykırı Değil	10
FT 2 (k1=2.5)	Aykırı	0
FT 2 (k2=3.33)	Aykırı	0
FT 2 (k3=5.0)	Aykırı	0
FT 2 (k4=10.0)	Aykırı Değil	10
Weibull (k1=0.75)	Aykırı	0
Weibull (k2=1.0)	Aykırı	0
Weibull (k3=1.4)	Aykırı Değil	10
Weibull (k4=2.0)	Aykırı Değil	10

Artık korelasyon katsayısının minimum oranı olan MIR kriterine göre olasılık dağılım fonksiyonlarının hangisinin daha uygun olduğu Çizelge 5.11.'de puanlanmıştır.

Çizelge 5.11. MIR kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi

MIR Kriteri		
Dağılım Tipi	MIR Sonuç	Puanlama
Gumbel Tip1	0.722897	9
Gumbel Tip2	0.83768	8
FT 2 (k1=2.5)	2.91607	1
FT 2 (k2=3.33)	2.485591	2
FT 2 (k3=5.0)	2.017899	4
FT 2 (k4=10.0)	1.619257	6
Weibull (k1=0.75)	3.206223	0
Weibull (k2=1.0)	2.341692	3
Weibull (k3=1.4)	1.688421	5
Weibull (k4=2.0)	1.465711	7

Korelasyon katsayısının arttığı olan REC kriterine göre olasılık dağılım fonksiyonlarının hangisinin daha uygun olduğu Çizelge 5.12.'de puanlanmıştır.

Çizelge 5.12. REC kriteri ile sonuçların değerlendirilmesi

REC Kriteri		
Dağılım Tipi	Durum	Puanlama
Gumbel Tip1	Kabul	10
Gumbel Tip2	Kabul	10
FT 2 (k1=2.5)	Red	0
FT 2 (k2=3.33)	Kabul	10
FT 2 (k3=5.0)	Kabul	10
FT 2 (k4=10.0)	Kabul	10
Weibull (k1=0.75)	Red	0
Weibull (k2=1.0)	Kabul	10
Weibull (k3=1.4)	Kabul	10
Weibull (k4=2.0)	Kabul	10

Bütün puanlamalara göre olasılık dağılım fonksiyonlarından hangisinin istatistikî parametrelere göre uygun olduğu Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Bütün kriterlere göre sonuçlar

Total	Puanlama	Üstünlük	Durum
Gumbel Tip1	38	9	Seçilen
Gumbel Tip2	35	7	*
FT 2 (k1=2.5)	1	0	*
FT 2 (k2=3.33)	14	2	*
FT 2 (k3=5.0)	17	3	*
FT 2 (k4=10.0)	31	5	*
Weibull (k1=0.75)	1	0	*
Weibull (k2=1.0)	17	3	*
Weibull (k3=1.4)	31	5	*
Weibull (k4=2.0)	35	7	*

Bu durumda en iyi sonuç veren olasılık dağılım fonksiyonu Gumbel Tip 1 dağılım fonksiyonu çıkmıştır. Buna göre elli yıllık yineleme dönemine göre uygun dalga yüksekliği sonuçları Çizelge 5.14.'te verilmiştir.

Gumbel Tip 1 dağılımı, istatistiksel parametrelere göre uygun olduğu için tasarımımda bu dağılıma karşılık gelen elli yıllık tekrarlama periyoduna göre derin deniz belirgin dalga yüksekliği olan $H_s=6.44$ m kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen dalga

verilerinin güvenlik aralığı %90 hassasiyet ile Çizelge 5.15.'e göre yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.16.'da verilmiştir.

Çizelge 5.14. Bütün kriterlere göre uygun dalga yüksekliği

Dönüş Periyodu	50	100		
Dağılım Tipi	y50	y100	H50	H100
Gumbel Tip1	3.90194	4.60015	6.43707 (Seçilen)	7.00918
Gumbel Tip2	3.90194	4.60015	6.09628	6.60315
FT 2 (k2=3.33)	7.41806	9.92531	6.32995	7.36723
FT 2 (k3=5.0)	5.91159	7.54683	6.34556	7.20323
FT 2 (k4=10.0)	4.77267	5.84098	6.25666	6.93052
Weibull (k1=0.75)	6.16408	7.66174	6.44960	7.28613
Weibull (k2=1.0)	3.91202	4.60517	6.32609	6.95821
Weibull (k3=1.4)	2.64938	2.97678	6.09265	6.54924
Weibull (k4=2.0)	1.97788	2.14597	5.83849	6.17271

Çizelge 5.15. % 90 hassasiyet ile doğrunun güvenilirlik aralığı hesaplamaları

m	H _{max} (m)	Gumbel Tip 1		y ²	H ²
		Olasılık	y		
1	2.03	0.05	-1.09719	1.203823	4.1209
2	2.57	0.1	-0.83403	0.69561	6.6049
3	2.68	0.15	-0.64034	0.410031	7.1824
4	2.99	0.2	-0.47588	0.226467	8.9401
5	3.14	0.25	-0.32663	0.10669	9.8596
6	3.18	0.3	-0.18563	0.034457	10.1124
7	3.36	0.35	-0.04862	0.002364	11.2896
8	3.44	0.4	0.087422	0.007643	11.8336
9	3.46	0.45	0.225011	0.05063	11.9716
10	3.48	0.5	0.366513	0.134332	12.1104
11	3.49	0.55	0.514437	0.264646	12.1801
12	3.69	0.6	0.671727	0.451217	13.6161
13	3.74	0.65	0.842151	0.709218	13.9876
14	3.89	0.7	1.03093	1.062818	15.1321
15	3.92	0.75	1.245899	1.552265	15.3664
16	4.9	0.8	1.49994	2.24982	24.01
17	5.13	0.85	1.816961	3.301347	26.3169
18	5.28	0.9	2.250367	5.064153	27.8784
19	5.31	0.95	2.970195	8.82206	28.1961

Çizelge 5.16. % 90 hassasiyet ile elde edilen dalga yüksekliği

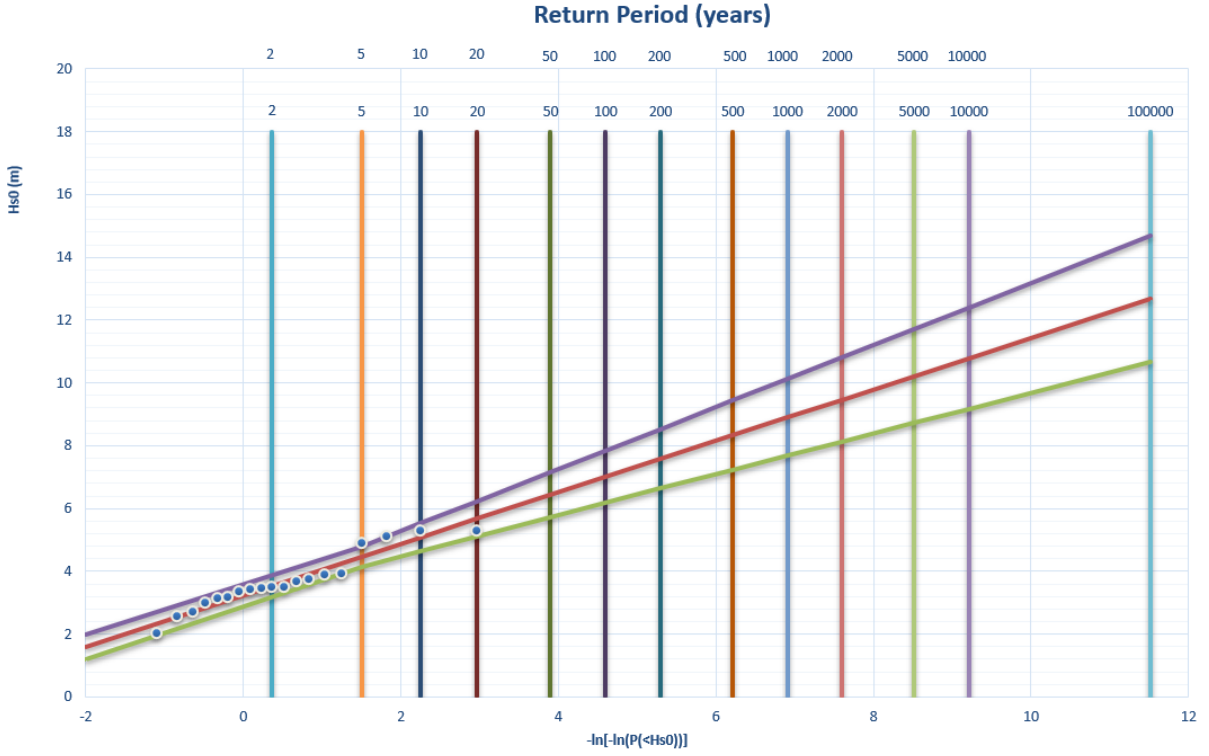
Dönüş Periyodu (yillar)	Hs (m)	P	y	a	s(z)	s(x)	Güven aralığı	
							U90	L90
1	1.60	0.000618	-2.00008	0.778439	0.465324	0.243983	2.002356	1.199652
5	4.47	0.8	1.49994	0.778439	0.380536	0.199526	4.797111	4.14067
10	5.08	0.9	2.250367	0.778439	0.510012	0.267414	5.52368	4.643888
20	5.67	0.95	2.970195	0.778439	0.643487	0.337399	6.228626	5.118584
50	6.44	0.98	3.901939	0.778439	0.822443	0.431231	7.146442	5.727693
100	7.01	0.99	4.600149	0.778439	0.95897	0.502816	7.836308	6.182044
200	7.58	0.995	5.295812	0.778439	1.096209	0.574774	8.5247	6.633692
500	8.33	0.998	6.213607	0.778439	1.278459	0.670333	9.433928	7.228532
1000	8.90	0.999	6.907255	0.778439	1.416806	0.742873	10.12162	7.677573
2000	9.47	0.9995	7.600652	0.778439	1.555472	0.815579	10.80939	8.126135
5000	10.22	0.9998	8.517093	0.778439	1.739157	0.91189	11.71875	8.718627
10000	10.79	0.9999	9.21029	0.778439	1.878333	0.984865	12.40679	9.166585
100000	12.67	0.99999	11.51292	0.778439	2.341615	1.227777	14.69314	10.65375

İstatistiki parametrelere göre seçilen uygun olasılık dağılım fonksiyonu ile derin deniz dalga yüksekliği bulunmuştur. Hem istatistiksel açıdan hem de tasarımda güvenilirliği artırmak için güven aralığı (% 90) kullanılarak dalga değeri belirlenmiştir. Bu durumda, elde edilen dalga verilerine bağlı olarak çizilen grafiğin güven aralığı da %90 hassasiyetindedir.

Bu hesaplamalar için Excel’de program yazılmış, derin deniz dalga yüksekliği $H_s=6.44$ m olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.16.’da verilmiştir.

Bir kıyı yapısında tasarım dalga yüksekliğinin elde edilmesi için, en büyük değer dalga istatistiği olasılık dağılım fonksiyonlarından genellikle Gumbel Tip 1 dağılımı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da istatistiki analizler sonucunda olasılık dağılım fonksiyonlarından Gumbel Tip 1 güvenilirlik açısından uygun bulunmuştur. Gumbel dağılımında, referans alınan bir zaman süresinde (genellikle 1 yıl) oluşan en büyük dalga yükseklikleri veri olarak kullanılmaktadır. Belirgin dalga yüksekliğinin yıllık en büyük değerleri, istatistiksel olarak Gumbel dağılımına uyduğundan, Gumbel çizim kağıdına yerleştirilmiştir. Daha sonra, elimizdeki değerlere en uygun olan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı sürenin dışına doğru uzatılmıştır. Böylece herhangi bir yenileme dönemiyle oluşması beklenen belirgin dalga yüksekliği, grafiğin üst yatay eksenini yardımıyla elde edilebilir. Denizel alanda en yüksek dalga yüksekliklerinin genellikle

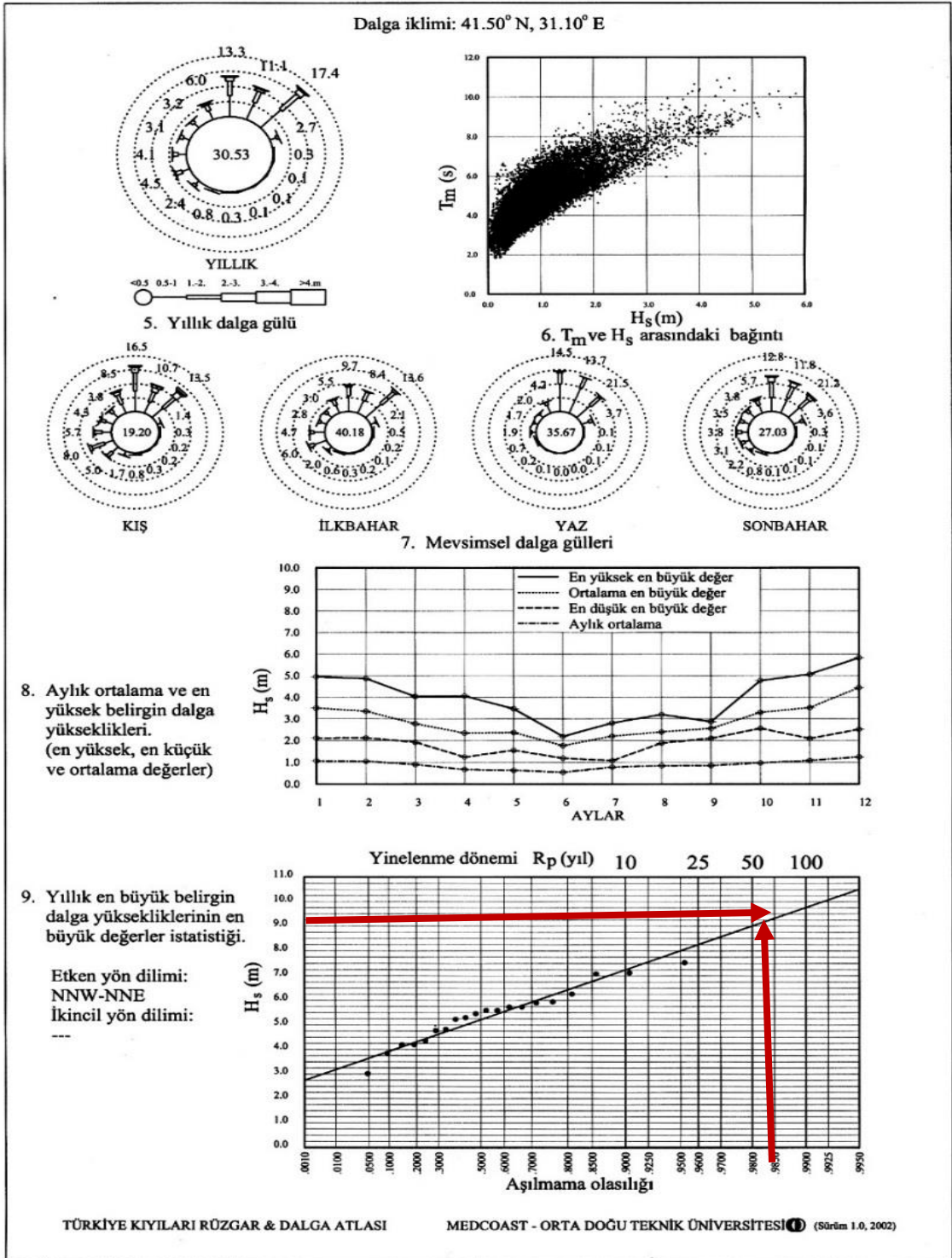
oluşturduğu “etken” ve eğer bulunuyorsa “ikincil” yön dilimleri de verilmektedir. Çalışmada 19 yıllık verilere göre oluşturulan Gumbel grafiği Şekil 5.2.’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Gumbel çizim kağıdına çizilen dönüş periyodu-belirgin dalga yüksekliği grafiği

Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası ile Veri Elde Edilmesi

Çalışmada yapılan taş dolgu dalgakıranının tasarıma yönelik dalga parametrelerinin belirlenmesi kapsamında ‘Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası’ kullanılarak çalışma alanı olan Akçakoca Denizel Alanına en yakın açık deniz koordinatı (41.50° K 31.10° D) olarak seçilmiştir. Bu koordinatlara ait veriler Şekil 5.3.’te sunulmuştur. Buna göre, Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası’nda yer alan tablolar kullanılarak yapı tasarımlarında dikkate alınabilecek $R_p=50$ yıl yineleme dönemli derin deniz dalga parametresi $H_s=9$ m, periyodu $T_m=12.7$ s, etken yön (Kuzey-Kuzeybatı) KKB-KKD (Kuzey-Kuzeydoğu) olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Dalga iklimi (41.50° N 31.10° E), (Özhan ve Abdalla, 2002)

Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlasının ve ECMWF'den elde edilen sonuçların karşılaştırılması

- ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) ile elde edilen derin deniz dalga yüksekliği $H_s=6.44$ m.
- Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası ile elde edilen derin deniz dalga yüksekliği $H_s=9$ m.'dir.

İki ayrı kaynaktan elde edilen veriler arasında önemli bir fark vardır.

Bu nedenle ECMWF'ten alınan verilerin;

- Güncel olması,
- Uzun bir periyodu kapsamaması (yaklaşık 20 yıl yani 19 yıllık veri),
- Sürekli güncellenen bir sistem olması,
- Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlasının çok yüksek değerler vermesinden ötürü tasarımının ekonomik olmaması,
- Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası kalibrasyonunun en son atlasın yayın tarihi olan 2002 yılında yapılmış olması,
- Günümüze kadar geçen süre içerisinde gerek küresel ısınma gerekse buna bağlı nedenlerle (iklim değişikliği v.b.) dalga atlasında yer alan dalga yüksekliklerinden çok daha farklı yükseklikte dalgaların oluşması ve güncelliğini kaybetmesi,
- ECMWF verilerinin kalibrasyonunun değişen teknoloji ve metotlarla günümüzde halen devam etmesinden dolayı ECMWF'ten seçilmiştir.

ECMWF'den elde edilen dizayn dalga yüksekliği, derin deniz dalga yüksekliği olup sonuçlar doğrultusunda daha güvenilir olduğundan tasarımda kullanılmıştır.

5.2. Taş Dolgu Dalgakıran Tasarımında Kullanılan Tek Kat Koruma Tabakalarının Karşılaştırılması ile İlgili Bulgular

Derin deniz dalga yüksekliğinin bölgemiz için elde edilmesi tamamlandıktan sonra HYDROTAM-3D programının transformasyon modülü ile derin deniz belirgin dalga yüksekliği, yapı önü belirgin dalga yüksekliği dalgasına transforme edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Buna göre $H_s = 5.70$ m, $T_m = 14.70$ s, $H_{1/10} = 6.08$ ve $T_m = 15$ s'dir.

Tasarım aşamasında, üç adet tek kat yapay koruma tabakası kullanılarak taş dolgu dalgakıran dizayn çalışması yapılmıştır. Bunlar Şekil 5.4.'te bulunan Accropode II, Xbloc ve Piblok'tur. Bunların tasarımı resmî sitelerinden elde edilen dizayn tablosuyla yapılmıştır.

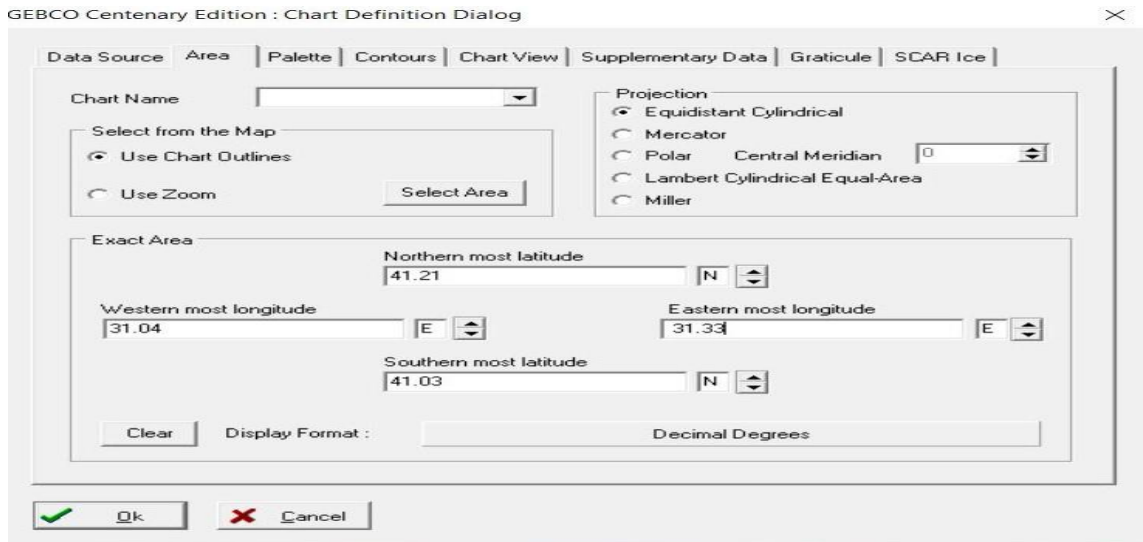


Şekil 5.4. Sırasıyla Accropode II, Xbloc ve Piblok resimleri

Accropode II ile tasarım

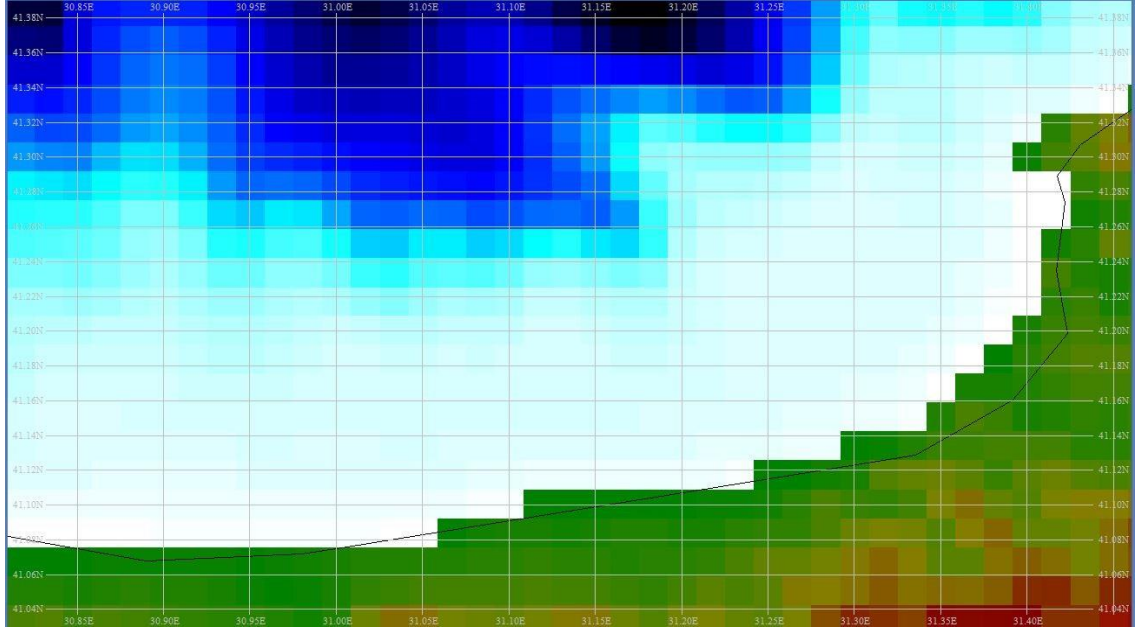
Accropode II ile tasarım için dizayn tablosu incelendiğinde öncelikle bölgenin batimetrisine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bunun için GEBCO yazılımı kullanılmıştır.

GEBCO yazılımı ile bölgenin batimetrisini elde etmek için öncelikle tez kapsamında çalışılan bölge içinden belirlenen 2 noktanın koordinatları Şekil 5.5.'te verilen ekran görüntüsündeki gibi Kuzey ve Doğu yönleri de seçilerek yazılmıştır.

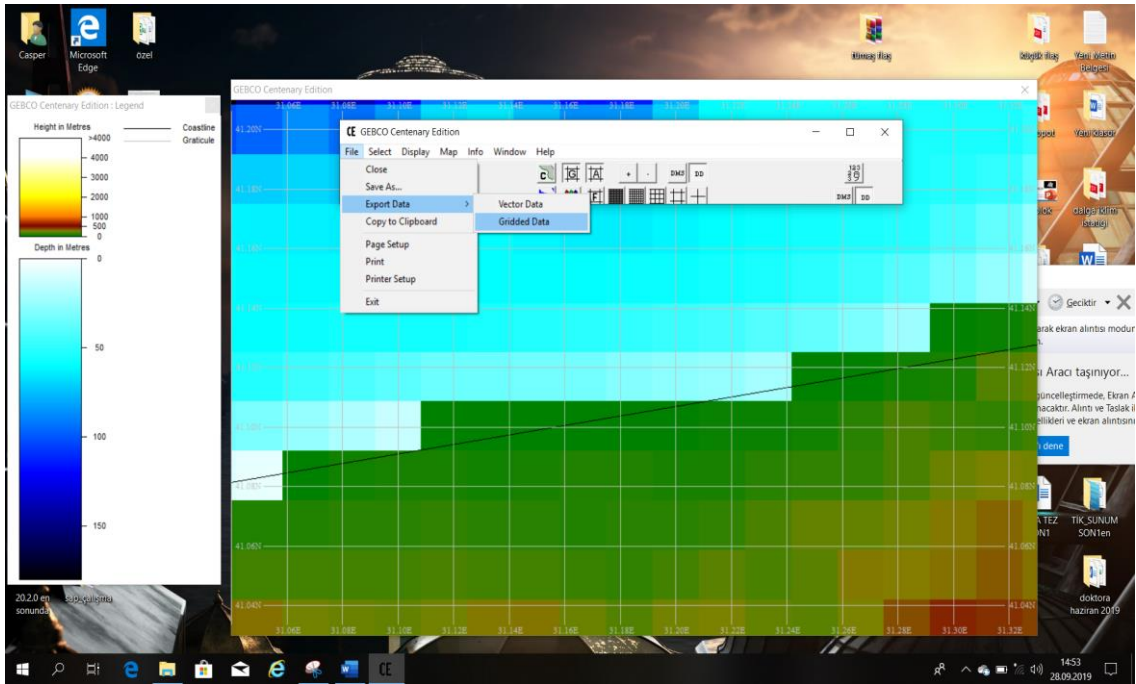


Şekil 5.5. GEBCO yazılımı ekran görüntüsü

Koordinatlar yazıldıktan sonra Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'deki eğimler ile ilgili görüntü karşımıza gelmiştir. Programdan elde edilen koordinatlar kullanılarak yapılan geometrik hesaplar sonucunda bölgenin batımetrisi elde edilmiş ve taban eğiminin %1 olduğu bulunmuştur.



Şekil 5.6. GEBCO yazılımındaki bölgenin batımetrisinin şekli



Şekil 5.7. GEBCO yazılımındaki bölgenin batımetrisinin şekli

GEBCO Centenary Edition : Export Data Dialog

Format

ASCII - Longitude Latitude Depth

ASCII - Depth only

netCDF - GMT (2 byte Integers)

Output Filename :

C:\Users\Casper\Desktop\tez.asc

Browse

Longitude - Latitude Format

Decimal Degrees

Degrees, Decimal Minutes

Degrees, Minutes, Decimal Seconds

Decimal Places

Degrees: 4

Minutes: 2

Seconds: 0

Longitude Range

0..360 degrees

-180..0..180 degrees

180..0..180 degrees (W,E)

Latitude Range

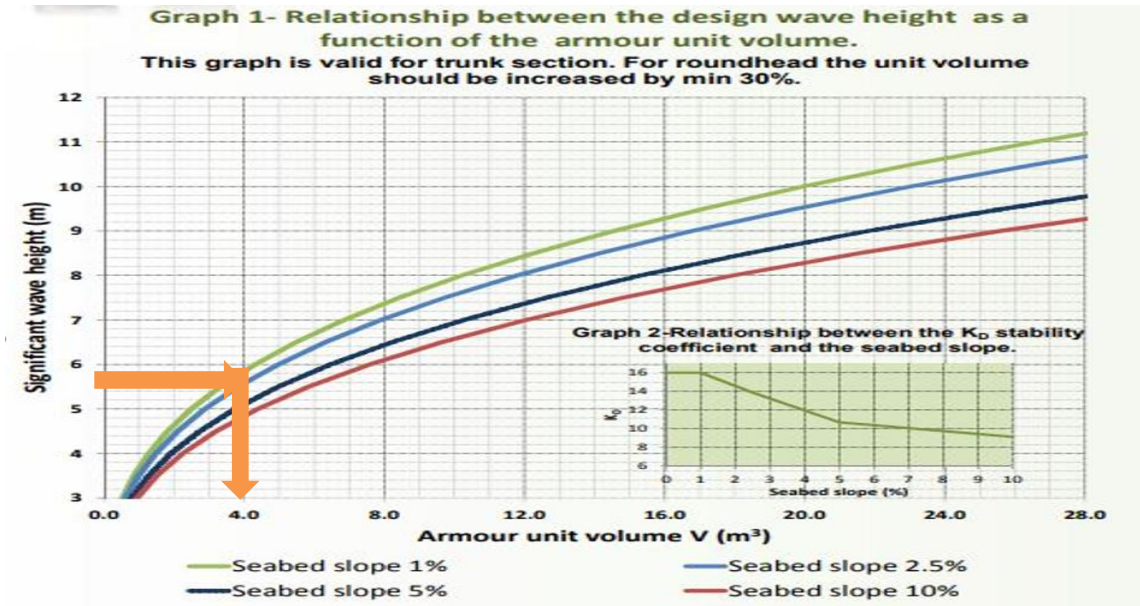
90..0..-90 degrees

90..0..90 degrees (N,S)

Ok

Cancel

Şekil 5.8. GEBCO yazılımındaki koordinatların elde edilme ekran görüntüsü



Şekil 5.9. Accropode II dizaynı için batımetri tablosu

Bölgenin batımetrisini bulduktan sonra Accropode II ile taş dolgu dalgakıran tasarımını gerçekleştirmek üzere Accropode II'nin internet sayfasından dizayn tablosu elde edilmiş ve taş dolgu dalgakıran tasarımına geçilmiştir. Öncelikle Şekil 5.9.'dan bizim çalışma bölgemizin batımetrisi olan %1'i lejantta tespit ederek Şekil 5.9.'dan yeşil eğrinin

kullanılacağı anlaşılmıştır. Böylece yeşil olan eğri ile y eksenindeki yapı önü belirgin dalga yüksekliği 5.70 m'yi kesiştirip aşağıya inildiğinde 4 m³'lük malzeme kullanılacağı saptanmıştır. Bölgenin batimetrisine göre 4 m³'lük malzeme kullanılması gerektiği için Çizelge 5.17. ilgili sütun seçilerek taş dolgu dalgakıran yapay koruma tabakasında kullanılacak Accropode II'nin boyutları belirlenmiştir.

Çizelge 5.17. Accropode II dizayn tablosu

		ACCROPODE™ II - ECOPODE™ Design Guide Table																
		The ECOPODE™ unit size is limited to 10m ³																
Unit Volume (m ³)	V = 0.2925H ³	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	28.0	
Unit Height (m)	H = (V/0.2925) ^{1/3}	1.51	1.90	2.17	2.39	2.58	2.74	3.01	3.25	3.45	3.63	3.80	3.95	4.09	4.22	4.34	4.57	
Equivalent Cube Size (m)	D _n = V ^{1/3}	1.00	1.26	1.44	1.59	1.71	1.82	2.00	2.15	2.29	2.41	2.52	2.62	2.71	2.80	2.88	3.04	
Armour Thickness (m)	T = 1.36 D _n	1.36	1.71	1.96	2.16	2.33	2.47	2.72	2.93	3.11	3.28	3.43	3.56	3.69	3.81	3.92	4.13	
Armour concrete consumption and coverage	Packing density φ (-)	0.635	0.635	0.635	0.633	0.631	0.629	0.625	0.622	0.618	0.614	0.610	0.610	0.610	0.610	0.610	0.610	
	Consumption (m ³ /m ²)	0.635	0.800	0.916	1.005	1.079	1.143	1.251	1.339	1.414	1.479	1.537	1.599	1.656	1.709	1.760	1.852	
	Number of units (u/m ²)	0.635	0.400	0.305	0.251	0.216	0.191	0.156	0.134	0.118	0.106	0.096	0.089	0.083	0.078	0.073	0.066	
	Porosity (%)	53.31	53.31	53.31	53.45	53.59	53.73	54.02	54.30	54.58	54.86	55.15	55.15	55.15	55.15	55.15	55.15	
Filter stone underlayer to meet the following requirement NUL/NLL < 3.0	NLL (tons)	Standard	0.17	0.34	0.50	0.67	0.84	1.01	1.34	1.68	2.02	2.35	2.69	3.02	3.36	3.70	4.03	4.70
		Min/Max*	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9	0.1 0.2 0.2 0.4 0.4 0.5 0.9
	NUL (tons)	Standard	0.34	0.67	1.01	1.34	1.68	2.02	2.69	3.36	4.03	4.70	5.38	6.05	6.72	7.39	8.06	9.41
		Min/Max*	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0	0.2 0.4 0.5 0.9 0.7 1.0
	Thickness (m) for standard NLL/NUL Specific density 2.6 tm ³	K=1.15	1.06	1.33	1.52	1.68	1.81	1.92	2.11	2.28	2.42	2.55	2.66	2.77	2.87	2.96	3.05	3.21
		K=0.9*	0.83	1.04	1.19	1.31	1.41	1.50	1.65	1.78	1.89	1.99	2.08	2.17	2.24	2.32	2.38	2.51

This table is to be used together with the note "Additional essential information regarding the tables" here appended.

Legend:
 : Geometrical characteristics of unit
 : Recommended values for use at preliminary design stage
 : (*)The information in this section is to be used with a compulsory analysis by a experienced coastal engineer even at preliminary stage - Ratio NUL/NLL should be kept between 2 and 3

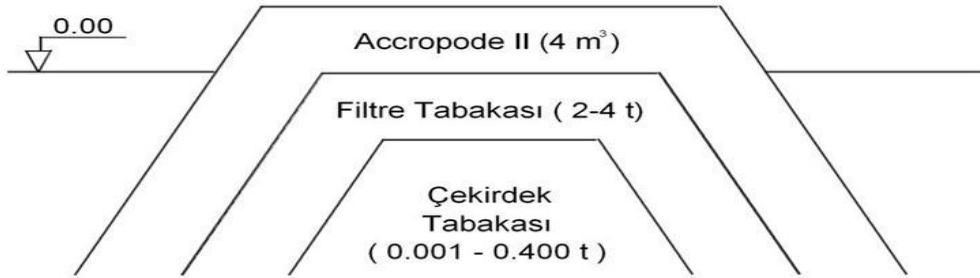
Çizelge 5.17.'ye göre,

- Accropode II'nin yerden yüksekliğinin 2.39 m olduğu,
- Accropode II'nin eşdeğer küp yüksekliğinin 1.59 m olduğu,
- Accropode II'nin malzeme kalınlığının 2.16 m olduğu,
- Accropode II'nin yerleştirme sıklığı yani 1 m²'ye gelen ürün sayısının 0.633 olduğu,
- Accropode II'nin 1 m²'sine 1.005 m³ beton harcandığı,
- Yapının 1 m²'sinde 0.251 Accropode II'nin kullanıldığı,
- Accropode II'nin boşluk oranının (porosity) %53.45 olduğu,
- Filtre malzemesi olarak kullanılacak malzemenin 0.67 ton < filtre kalınlığı < 1.34 ton arasında olduğu,

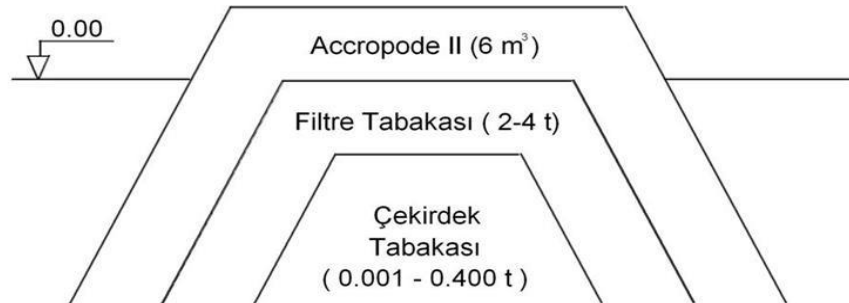
- Filtre malzemesinin kalınlığının 1.68 m olduğu elde edilmiştir.

Satırdaki k_t katsayısı filtre malzemesinin çıkarıldığı ocakla ilgilidir.

Yukarıdaki hesaplamalar ile tasarlanan taş dolgu dalgakıran çizimleri Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de verilmiştir:



Şekil 5.10. Accropode II ile tasarımı yapılmış taş dolgu dalgakıran enkesiti



Şekil 5.11. Accropode II ile tasarımı yapılmış taş dolgu dalgakıran kafası enkesiti

Xbloc ile tasarım

Tasarım için daha önce tespit ettiğimiz dalga yüksekliğini kullanarak, Xbloc resmi sitesinden elde ettiğimiz Çizelge 5.18.'deki dizayn tablosu kullanılmıştır. Böylece Xbloc boyutları belirlenerek tasarımı yapılmıştır. Tasarım sırasında dizayn tablosu kullanılırken sadece tasarım dalga yüksekliği verisi yeterli olmuştur.

Çizelge 5.18. Xbloc dizayn tablosu

Table 1: Dimensions of various parts of shore protection structure using Xbloc based on design wave height

xbloc

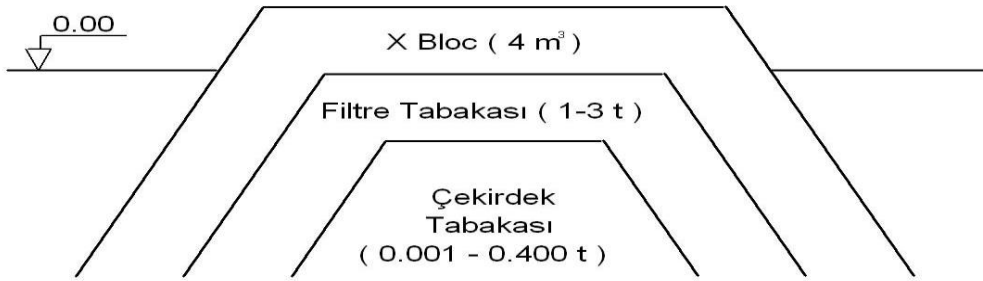
Unit volume V [m ³]	Design wave height H _s [m]	Unit height D [m]	Unit weight W [t]	Thickness of armour layer h [m]	Packing density N [1/100m ²]	Concrete volume [m ³ /m ²]	Placement distance horizontal D _x [m]	Placement distance up-slope D _y [m]	Porosity of armour layer [%]	Rock grading for under layer [t]	Thickness under layer f [m]
0.75	3.35	1.31	1.8	1.3	70.0	0.53	1.73	0.83	58.7	0.06-0.3	0.8
1	3.69	1.44	2.4	1.4	57.8	0.58	1.90	0.91	58.7	0.06-0.3	0.8
1.5	4.22	1.65	3.6	1.6	44.1	0.66	2.18	1.04	58.7	0.3-1.0	1.3
2	4.65	1.82	4.8	1.8	36.4	0.73	2.40	1.14	58.7	0.3-1.0	1.3
2.5	5.01	1.96	6.0	1.9	31.4	0.78	2.58	1.23	58.7	0.3-1.0	1.3
3	5.32	2.08	7.2	2.0	27.8	0.83	2.75	1.31	58.7	0.3-1.0	1.3
4	5.86	2.29	9.6	2.2	22.9	0.92	3.02	1.44	58.7	0.3-1.0	1.3
5	6.31	2.47	12.0	2.4	19.8	0.99	3.26	1.55	58.7	1.0-3.0	1.8
6	6.70	2.62	14.4	2.5	17.5	1.05	3.46	1.65	58.7	1.0-3.0	1.8
7	7.06	2.76	16.8	2.7	15.8	1.11	3.64	1.74	58.7	1.0-3.0	1.8
8	7.38	2.88	19.2	2.8	14.5	1.16	3.81	1.82	58.7	1.0-3.0	1.8
9	7.67	3.00	21.6	2.9	13.4	1.20	3.96	1.89	58.7	1.0-3.0	1.8
10	7.95	3.11	24.0	3.0	12.5	1.25	4.10	1.96	58.7	1.0-3.0	1.8
12	8.44	3.30	28.8	3.2	11.0	1.32	4.36	2.08	58.7	1.0-3.0	1.8
14	8.89	3.48	33.6	3.4	10.0	1.39	4.59	2.19	58.7	3.0-6.0	2.4
16	9.29	3.63	38.4	3.5	9.1	1.46	4.80	2.29	58.7	3.0-6.0	2.4
18	9.67	3.78	43.2	3.7	8.4	1.52	4.99	2.38	58.7	3.0-6.0	2.4
20	10.01	3.91	48.0	3.8	7.9	1.57	5.17	2.47	58.7	3.0-6.0	2.4

Dalga istatistiği sonucu yapı önu tasarım dalga yüksekliği $H_s = 5.70$ m olduğundan tabloda bizim dalga yüksekliğimize en yakın dalga yüksekliği 5.86 m olan satır seçilerek tasarıma başlanmıştır. Dizayn tablosundan, aşağıdaki Xbloc malzemesine ait tasarım boyutları elde edilmiştir. Buna göre;

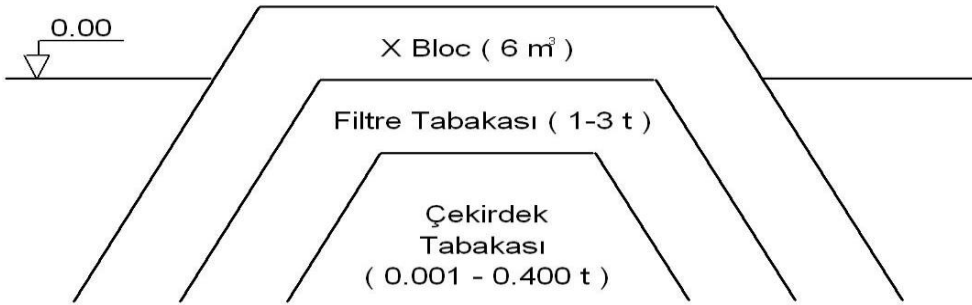
- Malzemenin hacminin 4 m^3 olduğu,
- Malzemenin birim yüksekliğinin 2.29 m olduğu,
- Birim ağırlığının 9.6 ton olduğu,
- Malzemenin kalınlığının 2.2 m olduğu,
- 100 m^2 'de 22.9 tane malzeme olduğu,
- Beton hacminin $0.92 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olduğu,
- Boşluk oranının %58 olduğu,
- 2 Xbloc arasındaki yatay mesafenin D_x 1.44 m olduğu,
- 2 Xbloc arasındaki düşey mesafenin D_y 1.44 m olduğu,

- Malzemedeki boşluk oranının %58.7 olduğu,
- Xbloc altında kullanılacak malzemenin 0.3-1.0 ton olduğu, (Fakat Türkiye’de bu tonajda malzeme üretilmediğinden uygulama aşamasında 0.4-2.0 ton arası malzeme kullanılacaktır)
- Tabaka altındaki kalınlığının $f = 1.3$ m olduğu bulunmuştur.

Böylece taş dolgu dalgakıran koruma tabakası tasarım boyutları dizayn tablosundan elde edilmiş oldu. Yapılan tasarım sonucu taş dolgu dalgakıran enkesit çizimleri Şekil 5.12. ve Şekil 5.13.’te görülmektedir,



Şekil 5.12. Xbloc ile dizayn yapılmış taş dolgu dalgakıran enkesit çizimleri

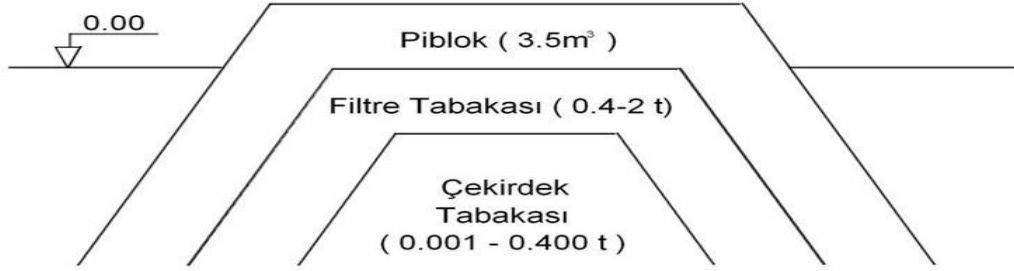


Şekil 5.13. Xbloc ile dizayn yapılmış taş dolgu dalgakıran kafası enkesit çizimleri

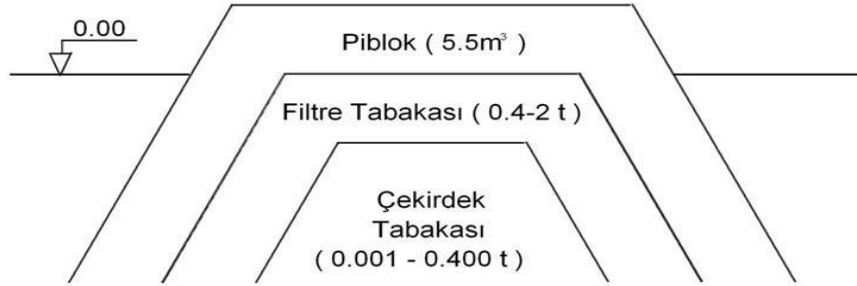
Piblok ile tasarım

Ön tasarımı yapılmış ve modellemeleri (numerik ve fiziksel) yapılacak olan milli koruma tabakasının geliştirilerek ülkemiz ve dünyanın kullanımına sunulması planlanmaktadır. Ayrıca Piblok dizayn tablosunun oluşturulması için laboratuvar çalışmaları devam etmektedir. Ancak daha önce bu uygulama kapsamında yapılan numerik model çalışmalarında $H_s = 5.7$ m tasarım dalgası için 3.5 m^3 Piblok üniteleri

kullanılabileceği belirlenmiştir. Yapılan tasarım sonucu taş dolgu dalgakıran enkesit çizimleri Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.'te görülmektedir.



Şekil 5.14. Piblok'a ait taş dolgu dalgakıran enkesit çizimi



Şekil 5.15. Piblok'a ait taş dolgu dalgakıran kafası enkesit çizimi

Üç Tek Kat Koruma Malzemesinin Karşılaştırılması

Yapılan tasarım sonucu yapılan karşılaştırma için $H_s = 5.70$ m olan dizayn dalgası kullanılmıştır. Tüm malzemeler için deniz taban eğimi %1, yapı eğimi 4/3 ve beton sınıfı C 25/30 alınmıştır. Çalışmada, tasarımda kullanılması durumunda, Piblok'un teknik açıdan diğer malzemelerle rekabet edebileceği hususu ile ilgili olarak yapılan numerik model çalışmalarının sonuçları, bu tez çalışması ile tespit edilmiştir. Ayrıca, bu üç malzeme maliyet açısından da değerlendirilmiş, sonuçları Çizelge 5.19.'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Üç malzemenin karşılaştırılması

Tek sıra koruma tabakası isimleri	Dizayn dalgası boyu (m)	Koruma tabakası malzemesinin m ³	Kalıp miktarı * M ³	Anroşman eğimi
Accropode II	5.70	4	12	4/3
Xbloc	5.70	4	12	4/3
Piblok	5.70	3.5	10.5	4/3

* Kalıp hesapları için kullanılan formül ampirik olup DLH standartlarına göre kullanılan malzeme hacimlerinin 3 katı olarak öngörülmüştür.

Çizelge 5.19.'da görüldüğü üzere en az beton sarfiyatı Piblok kullanımı ile olmaktadır. Kullanılan tabaka boyutunun küçük olması sebebi ile kullanılacak kalıp miktarı da azalacaktır. Dolayısıyla kalıp imalatından da tasarruf söz konusu olacaktır. Piblok yerli ürün olduğu için Accropode II ve Xbloc için ödenen patent ücretleri de ödenmeyecektir. Bu tez çalışması ile Piblok'un ülke ekonomisine en yüksek katkıyı verecek koruma tabakası olarak öne çıktığı sonucuna varılmıştır.

5.3. ANFIS Bulguları

ANFIS modellemesinde MATLAB Programı kullanılmıştır. MATLAB, mühendis ve bilim adamları tarafından verileri analiz etmek, algoritmalar geliştirmek ve modeller oluşturmak için kullanılan bir sayısal hesaplama platformudur. İlk kez New Mexico Üniversitesi Bilgisayar Bilimi Bölüm Başkanı Cleve Moler tarafından ortaya konulmuş olup, sonrasında Cleve Moler ile birlikte Steve Bangart ve Jack Little MathWorks'u kurmuştur. 1984 yılında ise MATLAB'ın ilk sürümü kullanıma sunulmuştur. MATLAB Programı, veri analizi, grafikler ve algoritma geliştirme gibi konularda kullanılabilir.

Çalışmamızda, ECMWF istasyonundan elde edilmiş olan 27819 adet H_s verisi kullanılmıştır. Bunlardan 16692 adet veri (%60) eğitim, 11127 adet veri (%40) ise test seti olarak kullanılmıştır. Eğitim ve test verilerinin oranı, çalışmanın amacına göre değişebileceği gibi kullanıcının kendi seçeceği modele göre de değişim gösterebilmektedir. Genel olarak literatürde, eğitim ve test verilerinin seçimi, %80, 70, 60 eğitim ve %20, 30, 40 test verisi olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, verilerin %60'ı eğitim ve %40'ı test verisi olarak kullanılmıştır.

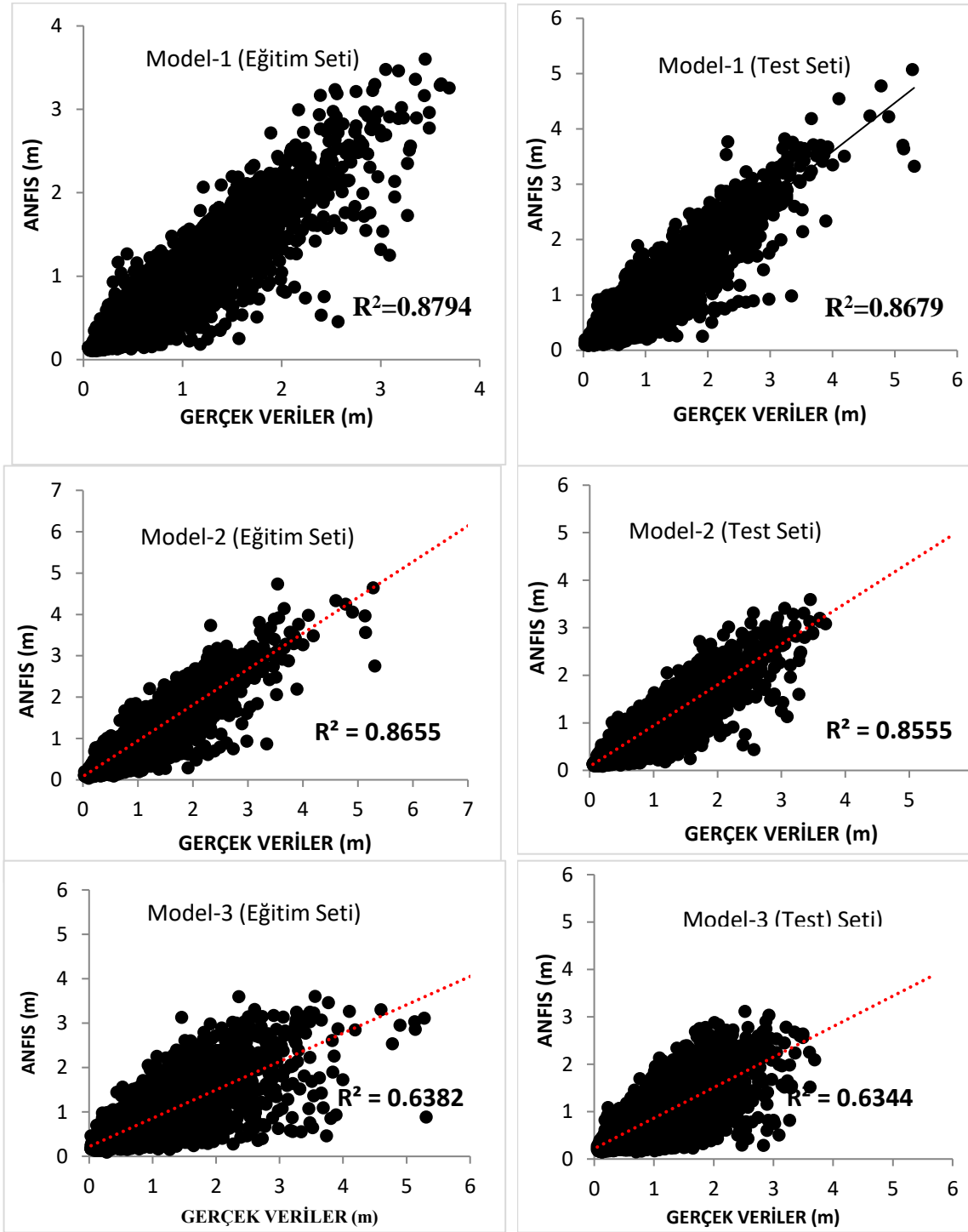
Toplamda 10 adet zaman gecikmeli tahmin modeli denenmiş ve %60 korelasyon değerinin üzerine çıkan 6 adet model sunulmuştur. Zaman gecikmeli modellerin tümünde

H_s değerleri kullanılmıştır. Örneğin; Model-1, son iki 6 saatlik H_s verisini kullanarak üçüncü 6 saatin H_s değerini tahmin etmektedir (Çizelge 5.20.). Tüm üyelik fonksiyonları için modeller denenmiştir. Ancak modellerin hepsinde Gauss ve Gumbell üyelik fonksiyonlarının diğer üyelik fonksiyonlarına oranla daha iyi sonuçlar verdiği ve optimizasyon yöntemi olarak Hybrid modellerin daha doğru tahmin modelleri sunduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.20. Model tipleri

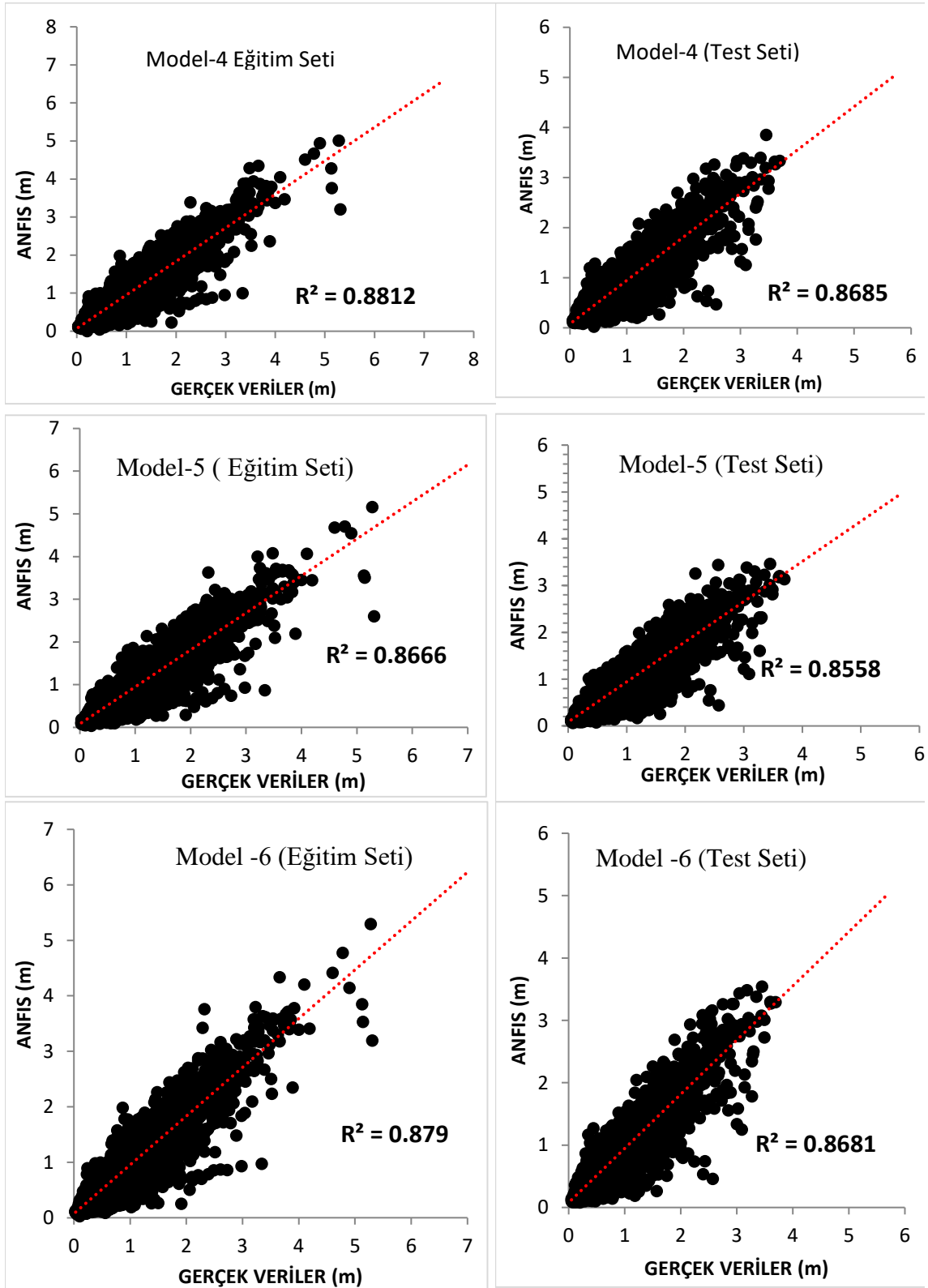
Model Adı	Model Yapısı	Optimizasyon Metodu	Üyelik Fonksiyonu
<i>Model-1</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-2)}, H_s^{(t-1)}$	<i>Hybrid-Linear</i>	<i>Gauss</i>
<i>Model-2</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-3)}, H_s^{(t-1)}$	<i>Hybrid-Constant</i>	<i>Gumbell</i>
<i>Model-3</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-4)}, H_s^{(t-2)}$	<i>Hybrid-Constant</i>	<i>Gauss</i>
<i>Model-4</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-3)}, H_s^{(t-2)}, H_s^{(t-1)}$	<i>Hybrid-Constant</i>	<i>Gumbell</i>
<i>Model-5</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-5)}, H_s^{(t-3)}, H_s^{(t-1)}$	<i>Hybrid-Constant</i>	<i>Gumbell</i>
<i>Model-6</i>	$H_s^{(t)} = H_s^{(t-5)}, H_s^{(t-2)}, H_s^{(t-1)}$	<i>Hybrid-Constant</i>	<i>Gauss</i>

Önerilen modellerde, farklı model yapılarının yanında farklı üyelik fonksiyonları ve optimizasyon yöntemleri, 6 saatlik tahmin modellerinde ise geçmiş H_s verileri kullanılmıştır. Model sonuçlarının genellikle birbirlerine yakın olduğu ancak Model-4'ün diğerlerine kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Şekil 5.16.). Modeller arasında, son 6 saatlik ölçümün girdi olarak kullanılmadığı Model-3, diğer modellere kıyasla %63 korelasyon değeri ile diğer modellerin gerisinde kalmıştır. Şekil 5.16.'da modellerin eğitim ve test setlerine ait saçılma diyagramları görülmektedir.



Şekil 5.16. ANFIS modeline ait eğitim ve

test modelleri dalga yüksekliği tahmin sonuçları



Şekil 5.16. (Devam) ANFIS modeline ait eğitim

ve test modelleri dalga yüksekliği tahmin sonuçları

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin performanslarını değerlendirmek amacı ile farklı istatistiksel performans göstergeleri hesaplanmıştır. Bunlar Hata Kareleri Toplamı Kökü (Root Mean Square Error-RMSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE), Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient-R), Regresyon Katsayısı (Regression Coefficient- R^2) ve Verimlilik Katsayısı (Nash-Sutcliffe Efficiency-NSE) istatistiksel parametreleridir.

İstatistiksel parametrelere göre modellerin aldığı değerler Çizelge 5.21.'de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Eğitim ve test modellerine ait istatistiksel performans sonuçları

	EĞİTİM					TEST				
	RMSE	MAE	R	R^2	NSE	RMSE	MAE	R	R^2	NSE
MODEL 1	0.1699	0.1067	0.9377	0.8794	0.8441	0.1684	0.1064	0.9316	0.8679	0.8477
MODEL 2	0.1794	0.1137	0.9303	0.8655	0.8331	0.1761	0.1128	0.9249	0.8555	0.8322
MODEL 3	0.2942	0.1909	0.7989	0.6382	0.5811	0.2802	0.1870	0.7964	0.6344	0.5774
MODEL 4	0.1686	0.1064	0.9387	0.8812	0.8645	0.1680	0.1061	0.9319	0.8685	0.8541
MODEL 5	0.1786	0.1132	0.9309	0.8666	0.8565	0.1760	0.1125	0.9251	0.8558	0.8486
MODEL 6	0.1702	0.1070	0.9376	0.8790	0.8586	0.1683	0.1067	0.9317	0.8681	0.8371

Bu özgün çalışma kapsamında, H_s parametresinin girdi parametresi olduğu birçok model denenmiştir. Modeller 6 saatlik tahminler yapabilmekte veya geçmiş yıllara ait eksik verileri tamamlayabilmektedir. Modellerin genelinde, tahmin sonuçları düşük hata değerlerine sahiptirler. Zaman gecikmeli modellerin geriye girdi parametresi sayısının artmasının tahminlerin sonuçlarını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Son 6 saatin girdi parametresi olarak işleme sokulmadığı modellerde, tahmin değerlerinde düşüşler görülmüştür. Kısaca, bir önceki 6 saat için geçerli H_s parametresinin tahmininin modelin çıktısı üzerinde büyük etkisinin olduğu ve bu sebeple modellerde tahmin aralığından bağımsız olarak bir önceki verinin kullanılmasının model sonuçlarında kayda değer artışlar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

5.4. Zaman Serisi Analiz Bulguları

Zaman serisi analizleri için EVIEWS Programı kullanılmıştır. Bu programın ilk sürümü, Quantitative Micro Software firması tarafından 1994 yılında yayınlanmıştır. Micro TSP programının yerini almıştır. Özellikle ekonometrik analiz için sıkça kullanılmaktadır.

Zaman serisi analizinde kullanılan veriler, değişkenlerin bir dönemden diğerine ardışık şekilde gözlemlendiği veriler hakkında bilgiler verirler. EVIEWS Programı kullanılarak çalışmada 2000-2019 yılları arası 6 saatlik dalga yüksekliği verilerine ait seriye ilişkin otokorelasyon (AC) ve kısmî otokorelasyon (PAC) grafikleri elde edilmiştir ve Çizelge 5.4.'te verilmiştir.

ARIMA modelleri $ARIMA(p,d,q)$ şeklinde tarif edilmektedir. Burada p, AR sürecinin katsayısı; d, bütünleşme derecesi yani bir serinin hangi düzeyde durağan olduğunu gösteren katsayı veya fark alma işlemi sayısı; q ise MA'nın katsayısı yani hareketli ortalama katsayısıdır.

ARIMA modellerinde durağanlık aranmaktadır. Yani d entegre katsayısı veya tümleşme katsayısı olarak da tanımlanan değer 0'a eşit olması istenmektedir. $d=0$ değilse d'inci dereceden tümleşik ise önce birim kök testi yapılarak durağanlığı test edilir.

ARIMA mevsimsel olmayan yıllık serilere uygun modeldir. Birinci adım olarak ARIMA modelinde mevsimsel olmayan öngörü yapılmıştır. İkinci adım olarak durağanlık testi yapılmıştır. Böylece ARIMA (p,d,q) modelindeki d'nin derecesi öğrenilmiş ve seri durağanlaştırılmıştır. Daha sonraki adım olarak Box-Jenkins tarafından önerilen ve literatürde de bu şekilde yer alan AR ve MA katsayıları maksimum 2 alınarak modeller oluşturulmuştur. Bu modeller:

ARIMA (1,d,0)

ARIMA (2,d,0)

ARIMA(0,d,1)

ARIMA (1,d,2)

ARIMA (1,d,1)

ARIMA (2,d,1)

ARIMA (1,d,2)

ARIMA (2,d,2) şeklindedir.

Bir ARIMA modelinde sekiz ayrı model tahmin için uygulanabilir. İyi bir model, aşağıdaki üç koşulu sağlamalıdır.

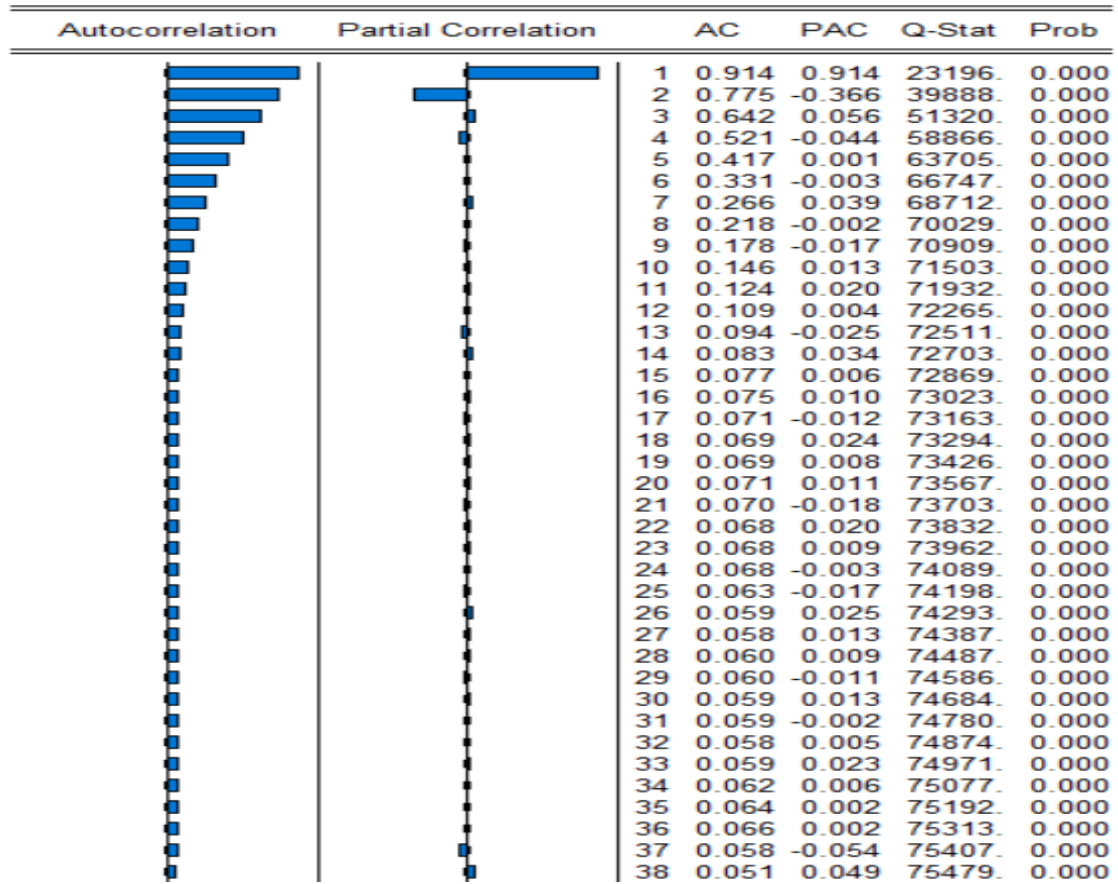
- Birinci koşul, AR ve MA katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olmasıdır.
- İkincisi ise modelin tahmininden elde edilen artıklarda otokorelasyon olmamasıdır. Bunun için, Durbin Watson Test İstatistiğine EVIEWS Programı ile bakılmıştır. Bu test sonucu $1.7 < D.W. < 2.3$ olmalıdır. Test sonucunun bu aralıkta olması artıklarda bir otokorelasyon olmadığını göstermektedir.
- Son olarak elde edilen artıkların temiz dizi yani ak gürültü olması gerekmektedir.

Yukarıdaki koşulların sağlanıp sağlanmadığını anlamak için zaman serisine uygun modeller denenmeli, bu modellerde yukarıdaki üç koşulu da sağlayan bir çok modele sahip olunması durumunda, istatistiksel kriterlere bakılarak uygun model seçimi yapılmalıdır.

Bu bağlamda ilk olarak zaman serisinin korelogramına bakılmıştır. Böylece zaman serisine uygun model öngörülmüştür. Çizelge 5.22.'deki grafik incelendiğinde otokorelasyonların üstel bir şekilde azaldığı ve kısmi otokorelasyonların da ilk iki değerden sonra aniden sıfır civarına düştüğü görülmektedir. Bu durumda seri için AR(2) modeli önerilebilir.

AR(2) modelinin tahminine geçmeden önce serinin durağanlığını test etmek gerekir. Durağan olup olmadığını anlamak için birim kök testleri yapılmıştır. Seri, birim kök içeriyorsa durağan olmadığı anlamına gelmektedir. Serinin durağanlığını test etmek için 1981 yılında Dickey-Fuller tarafından geliştirilen Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmıştır. Test sonuçları Çizelge 5.23.'te verilmiştir.

Çizelge 5.22. Otokorelasyon ve kısmî otokorelasyon grafikleri



Çizelge 5.23. Dickey-Fuller (ADF) test sonuçları

ADF Test Statistic	-46.18764	% 1 Critical Value	-3.4338
		%5 Critical Value	-2.8622
		%10 Critical Value	- 2.5672

Hesaplanan test istatistiğinin değeri (-46.18764), %5 anlam seviyesine karşılık gelen kritik değerden (-2.8622) daha küçük olduğundan serinin durağan olduğu tespit edilmiştir. Bundan sonra, seri için AR(2) modelinin tahminine geçilmiş ve elde edilen tahminler Çizelge 5.24.'te verilmiştir.

Çizelge 5.24. AR(2) model tahmini

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.071213	0.001774	40.13561	0.0000
X(-1)	1.248324	0.005587	223.4439	0.0000
X(-2)	-0.365648	0.005587	-65.44794	0.0000

AR(2) modeli; $X_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + e_t$ (burada e_t ak gürültü serisidir). Tahmin edilen model; $X_t = 0.071213 + 1.248324X_{t-1} - 0.365648X_{t-2}$. Bu şekilde, AR(2) modeli kullanılarak zaman serisi analizi ile tahmin yapabilmek için bir yöntem elde edilmiştir.

Modele ilişkin bazı istatistikler Çizelge 5.25.'te verilmiştir. Çizelge 5.25.'te görüldüğü üzere Durbin-Watson stat değeri 1.7 ile 2.3 arasında bulunduğundan, otokorelasyon olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 5.25. Modele ilişkin bazı istatistiki sonuçlar

R-squared	0.857533	Mean dependent var	0.606930
Adjusted R-squared	0.857522	S.D. dependent var	0.477955
S.E. of regression	0.180410	Akaike info criterion	-0.587061
Sum squared resid	903.3637	Schwarz criterion	-0.586171
Log likelihood	8158.999	F-statistic	83530.82
Durbin-Watson stat	1.958708	Prob(F-statistic)	0.000000

İyi bir model elde etmek için, üçüncü aşamada, modelden elde edilen artıkların otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri oluşturulmuş ve Çizelge 5.26.'da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Otokorelasyon ve kısmî korelasyon grafikleri

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	
		1	0.020	0.020
		2	-0.060	-0.061
		3	0.026	0.029
		4	0.016	0.011
		5	0.020	0.023
		6	-0.028	-0.028
		7	-0.012	-0.009
		8	0.028	0.024
		9	0.008	0.006
		10	-0.014	-0.010
		11	-0.011	-0.010
		12	0.042	0.039
		13	-0.008	-0.013
		14	-0.007	0.000
		15	-0.004	-0.006
		16	0.027	0.026
		17	0.000	-0.004
		18	-0.003	0.003
		19	-0.007	-0.007
		20	0.033	0.031
		21	0.006	0.002
		22	-0.008	-0.001
		23	0.004	0.004
		24	0.037	0.032
		25	-0.001	-0.004
		26	-0.011	-0.005
		27	-0.006	-0.006
		28	0.025	0.020
		29	0.003	0.001
		30	0.005	0.010

Çizelge 5.26.'daki grafikten görülüyor ki model artıklarına ilişkin otokorelasyonlar ve kısmî otokorelasyonlar sıfır civarındadır. Bu da model artıklarının ak gürültü serisi olduğuna işaret etmektedir.

Bu bulgulara göre 27819 adet olan 2000-2019 yılları arasında 19 yıllık 6 saat arayla elde ettiğimiz dalga yüksekliğine ait seri için AR(2) modeli uygun bir model olarak bulunmuştur. Bu model istatistiki performansına göre de değerlendirilmiş olup her yıla ait saçılma diyagramları, her yıl için regresyon sonuçlarına ve NSE verimlilik katsayısına göre de uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Veri sayısının fazlalığından dolayı tüm seriye ilişkin grafiklere yer verilememiştir. Ancak her yıla ait saçılma diyagramları, korelasyon sonuçları verilerek zaman serisi analizinin sonuçlarının uygunluğu test edilmiştir. Ayrıca her yıla ait zaman serisi grafiği elde edilmiştir. Ve bütün yıllara ait zaman serisinin alt limitini ve üst limitini gösteren grafikler elde edilmiştir.

Yukarıda verilen AR(2) modeline ilişkin tahminler, Eşitlik (5.6) kullanılarak kestirim değerleri ve ileriki dönemlere ilişkin öngörüler elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu özgün çalışma kapsamında (5.6) formülü ile ileriki dönemlere ait tahmin çalışmasında kullanılmak üzere bir yöntem geliştirilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm yıllara ait saçılma grafikleri çizilmiştir. Ayrıca bütün yıllara ve bütün yılların ortalamalarına göre analizi yapılan zaman serisine ait saçılma diyagramları Şekil 5.17- Şekil 5.36. arasında verilmiştir. Bütün senelere ait regresyon katsayısı (R^2) ve verimlilik katsayıları (NSE) da elde edilmiş ve Çizelge 5.30.'da verilmiştir.

$$X_t = 0.0071213 + 1.248324X_{t-1} - 0.365648X_{t-2} \quad (5.6)$$

Serinin durağan bir seri olduğu tespit edildiğinden seriye ARMA modelleri uygulanmıştır. Zaman serisine uygulanan diğer modeller de Çizelge 5.27.- Çizelge 5.29. arasında verilmiş ve bu modellerin uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.27. MA(1) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.771329	0.546652	8.728278	0.0000
MA(1)	0.005553	0.137498	0.040387	0.9679

Çizelge 5.28. MA(2) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.772348	0.512561	9.310783	0.0000
MA(1)	-0.001845	0.138759	-0.013294	0.9894
MA(2)	-0.066249	0.138666	-0.477757	0.6348

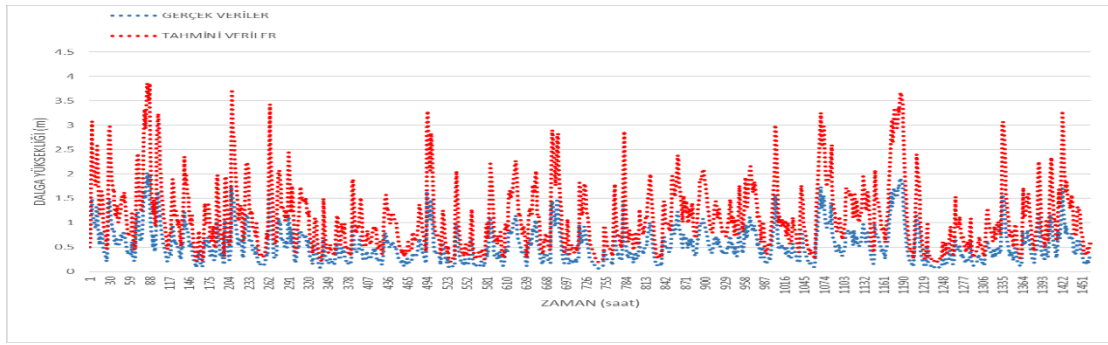
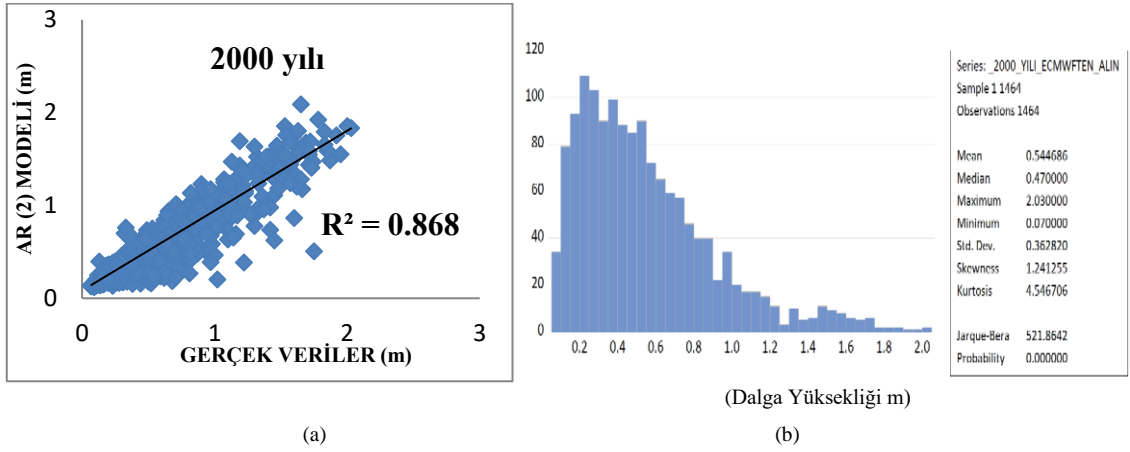
Çizelge 5.29. ARMA(1,1) modeline ilişkin bazı istatistiki sonuçlar

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.835151	0.562969	8.588665	0.0000
AR(1)	-0.058876	1.107604	-0.053156	0.9578
MA(1)	0.066541	1.115751	0.059638	0.9527

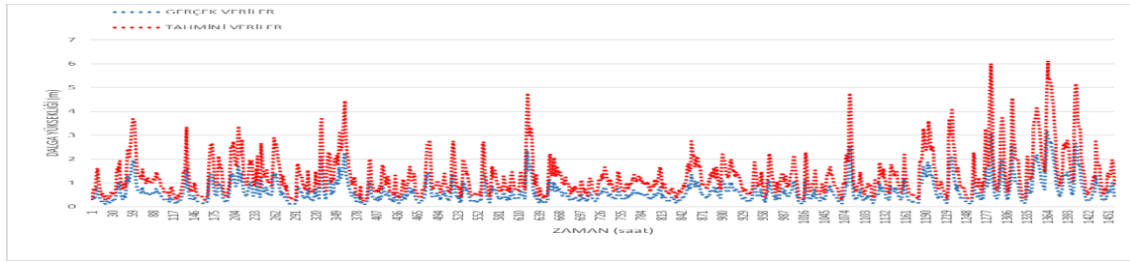
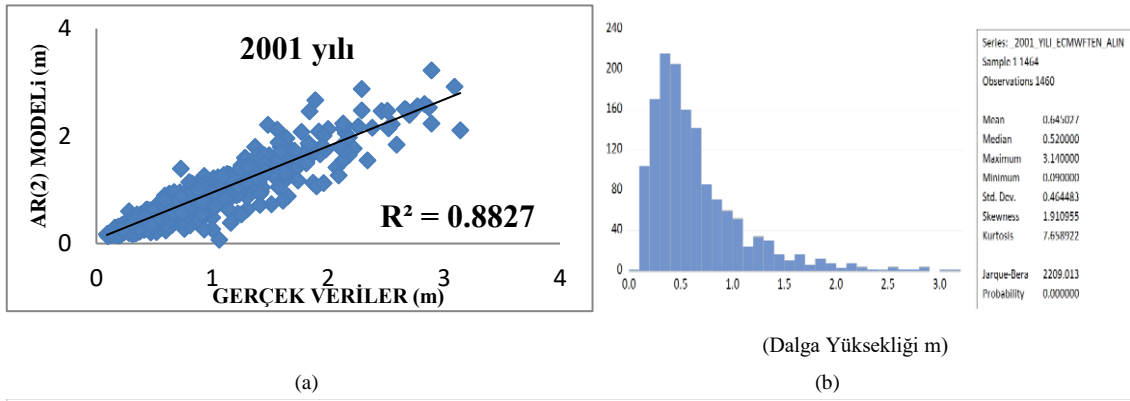
Tez kapsamında zaman serisine birçok model denenmiştir. Bu modellerden zaman serisine uygulanan üç ayrı model Çizelge 5.27., Çizelge 5.28. ve Çizelge 5.29.'da görüldüğü gibi uygulama sonuçları verilmiştir. Bunlar MA(1), MA(2) ve ARMA(1,1)'dir. Bu modellere ait istatistiki sonuçlar kırmızı çerçeve ile alınarak, verilmiştir.

Çizelge 5.27., Çizelge 5.28. ve Çizelge 5.29.'da verilen seriye uygulanan 3 farklı modelin de iyi model olma koşulunun ilk şart olan istatistiki olarak anlamlı olması istenmiş ancak kırmızı çerçeve içindeki istatistiksel sonuçlar 0.001'den küçük olmadığından anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Böylece zaman serisine uygun modeller olmadığı tespit edilmiştir.

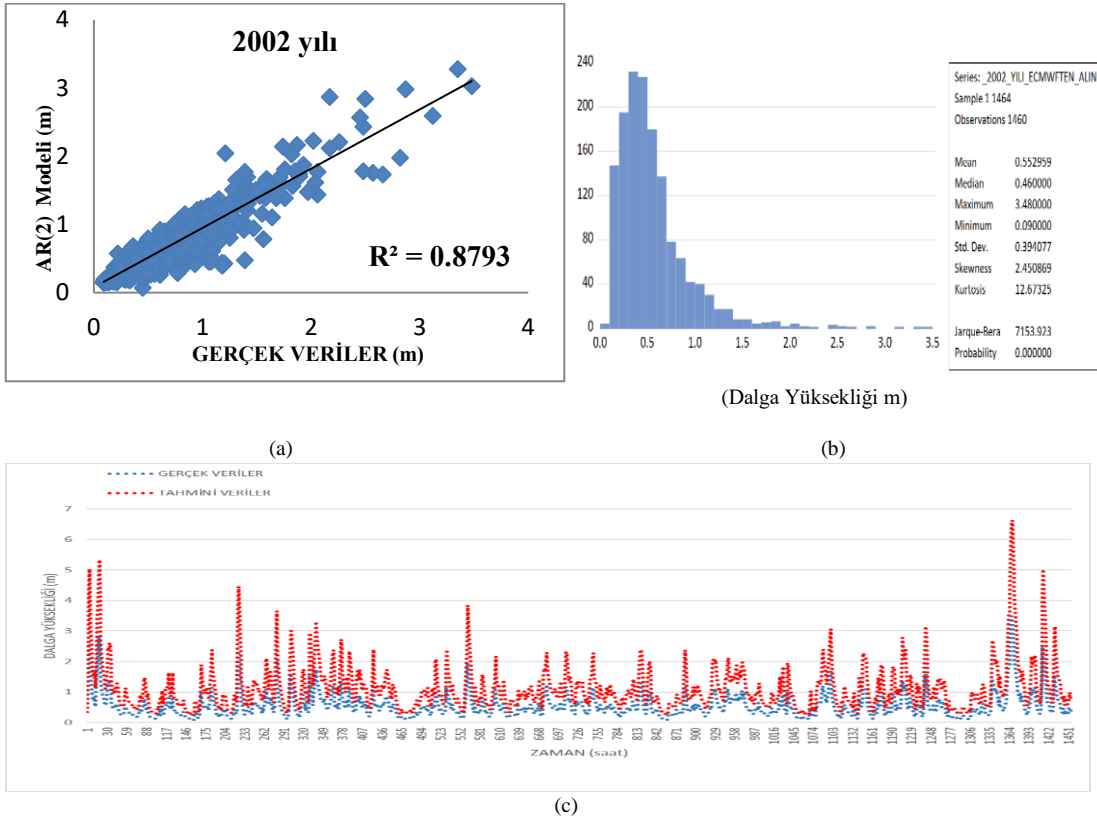
Zaman serisine uygulanan modellerden uygun model olan AR(2)'ye ait 19 yıllık, her yıla ait tahminler ile gerçek veriler arasında saçılma diyagramları, zaman seri verileri ile tahmin verilerine ait grafikler ve zaman serisinin özelliklerini veren grafikler, Şekil 5.17.-Şekil 5.36. arasında ve zaman serisi tahmin ve gerçek veriler arasında oluşan istatistiksel parametrelerin sonuçları da Çizelge 5.30.'da verilmiştir.



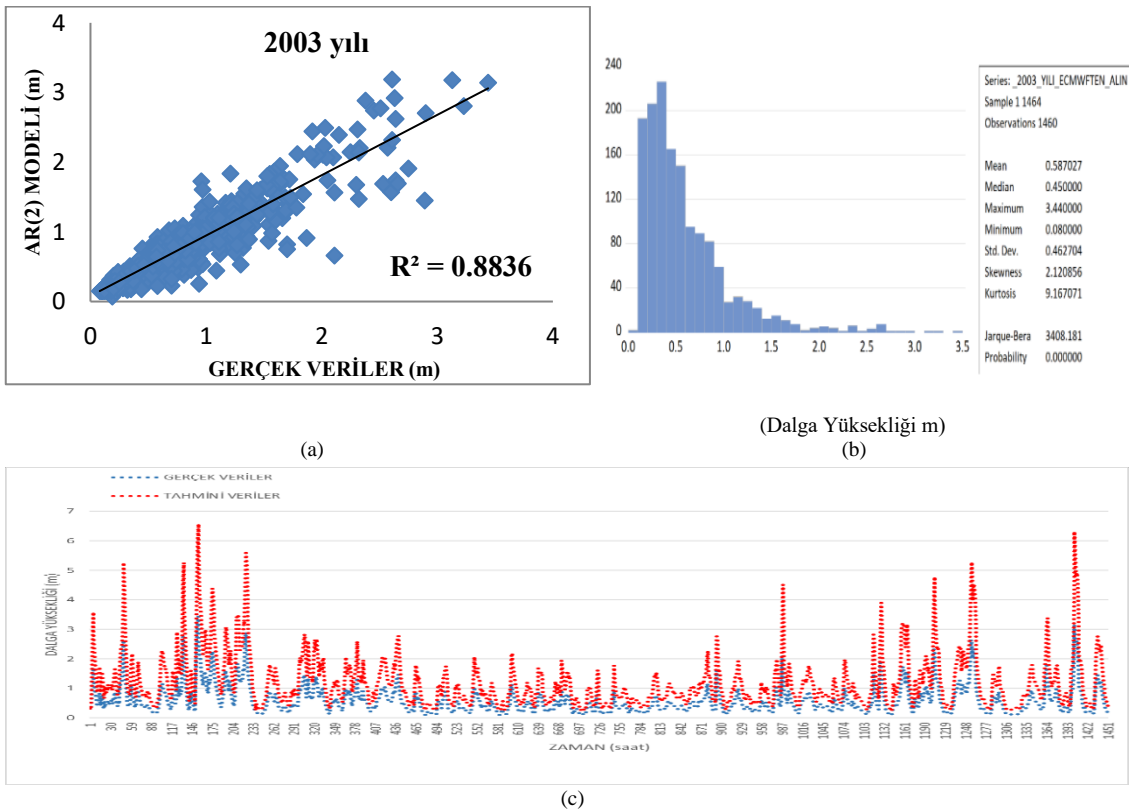
Şekil 5.17. 2000 Yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (C) Zaman serisi grafiği



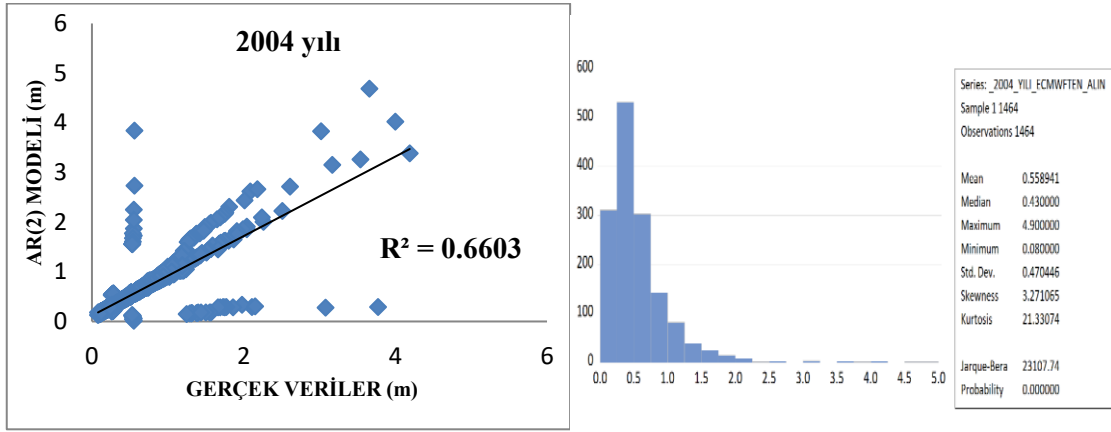
Şekil 5.18. 2001 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



Şekil 5.19. 2002 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



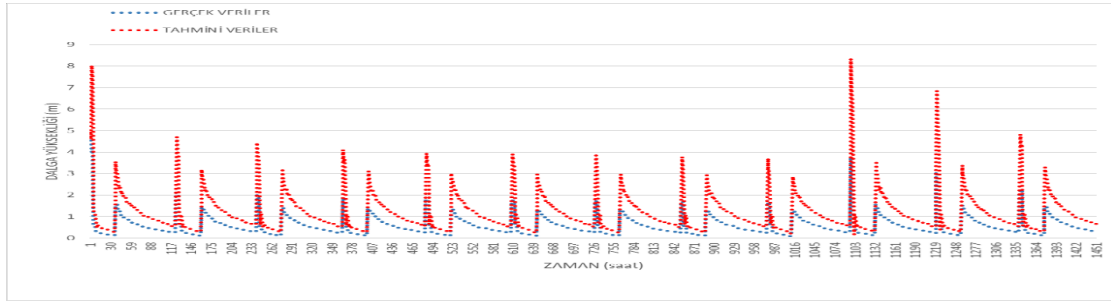
Şekil 5.20. 2003 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



(Dalga Yüksekliği m)

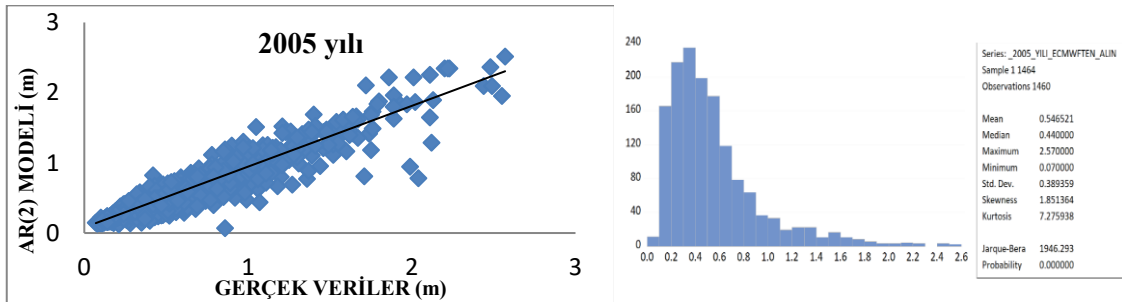
(a)

(b)



(c)

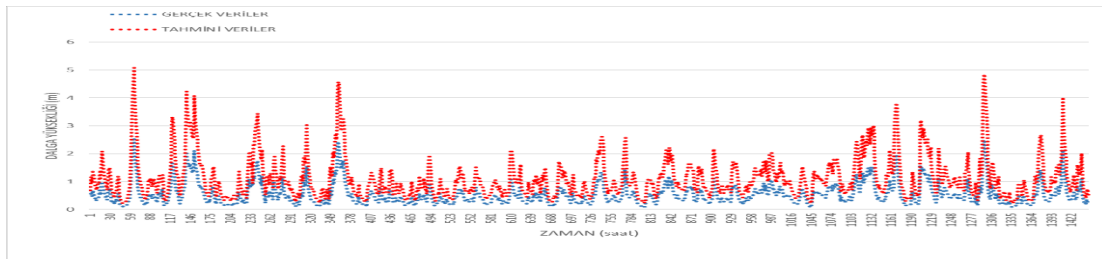
Şekil 5.21. 2004 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



(Dalga Yüksekliği m)

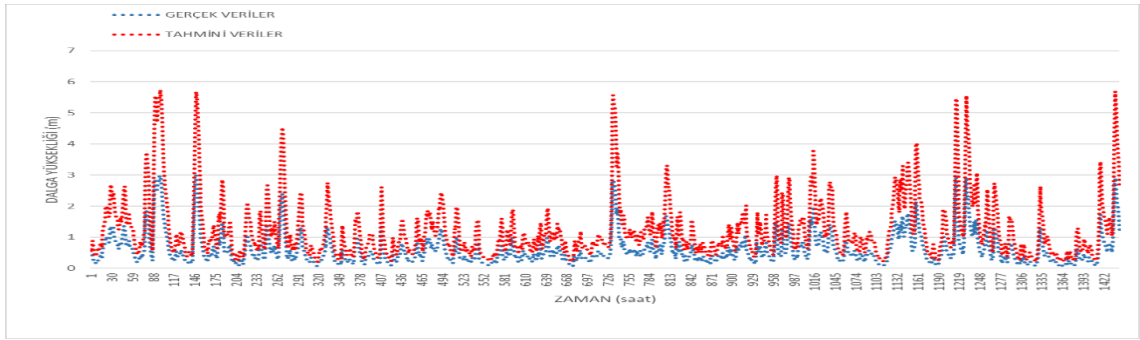
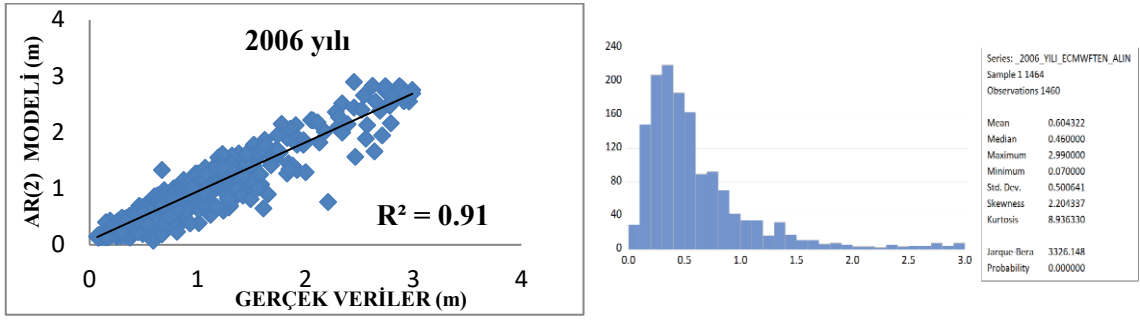
(a)

(b)



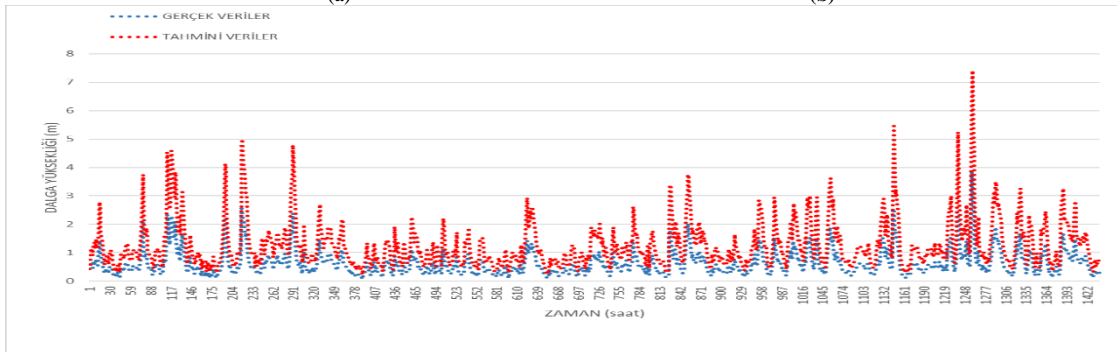
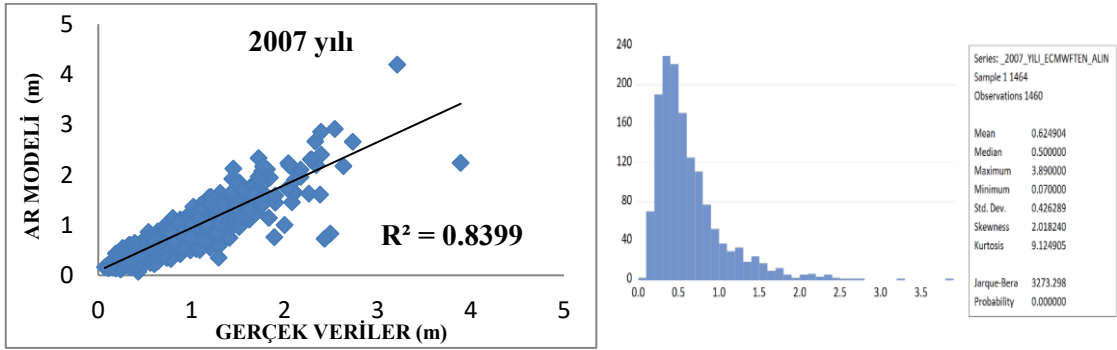
(c)

Şekil 5.22. 2005 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



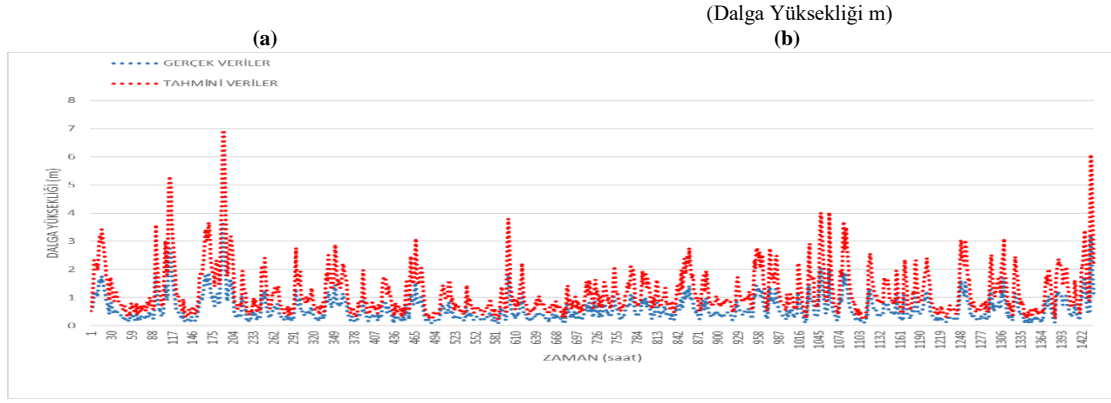
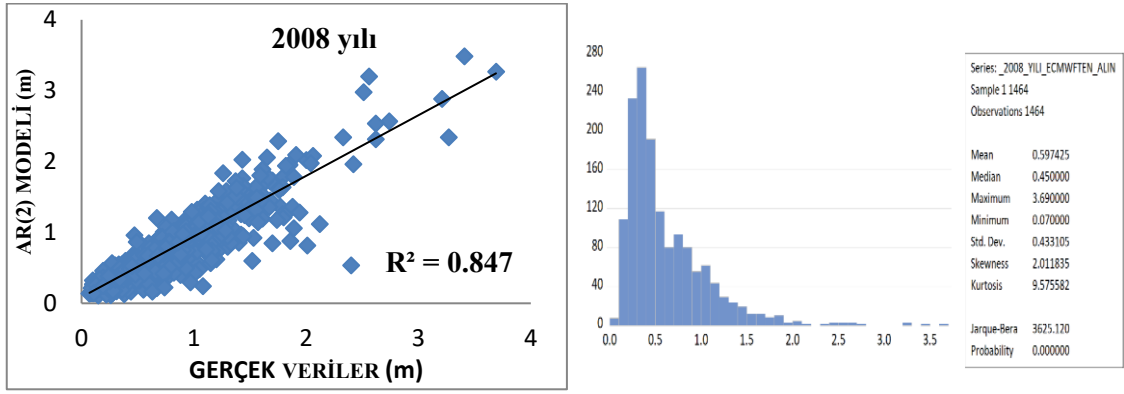
(c)

Şekil 5.23. 2006 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği

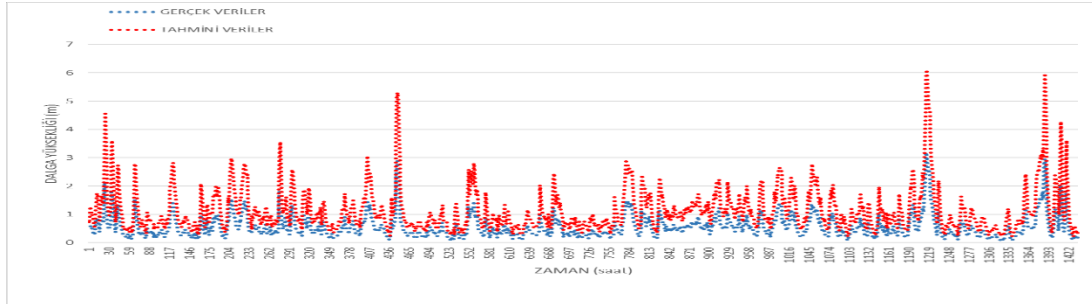
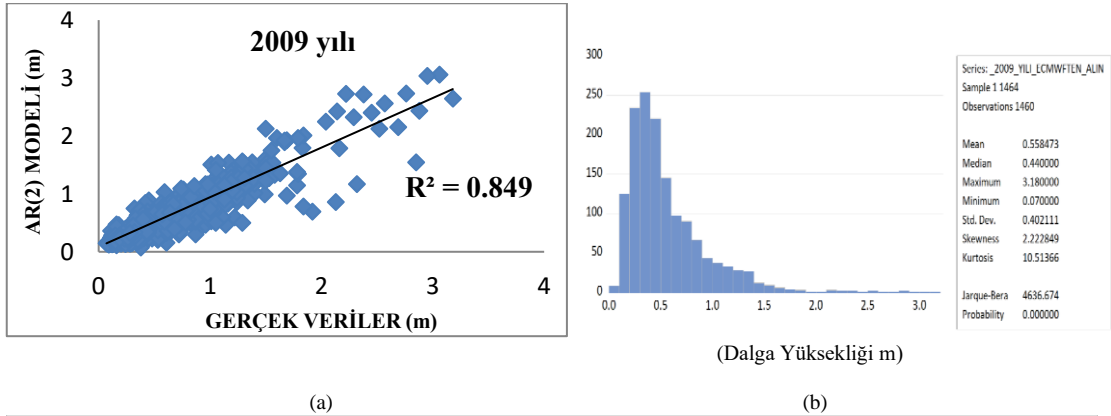


(c)

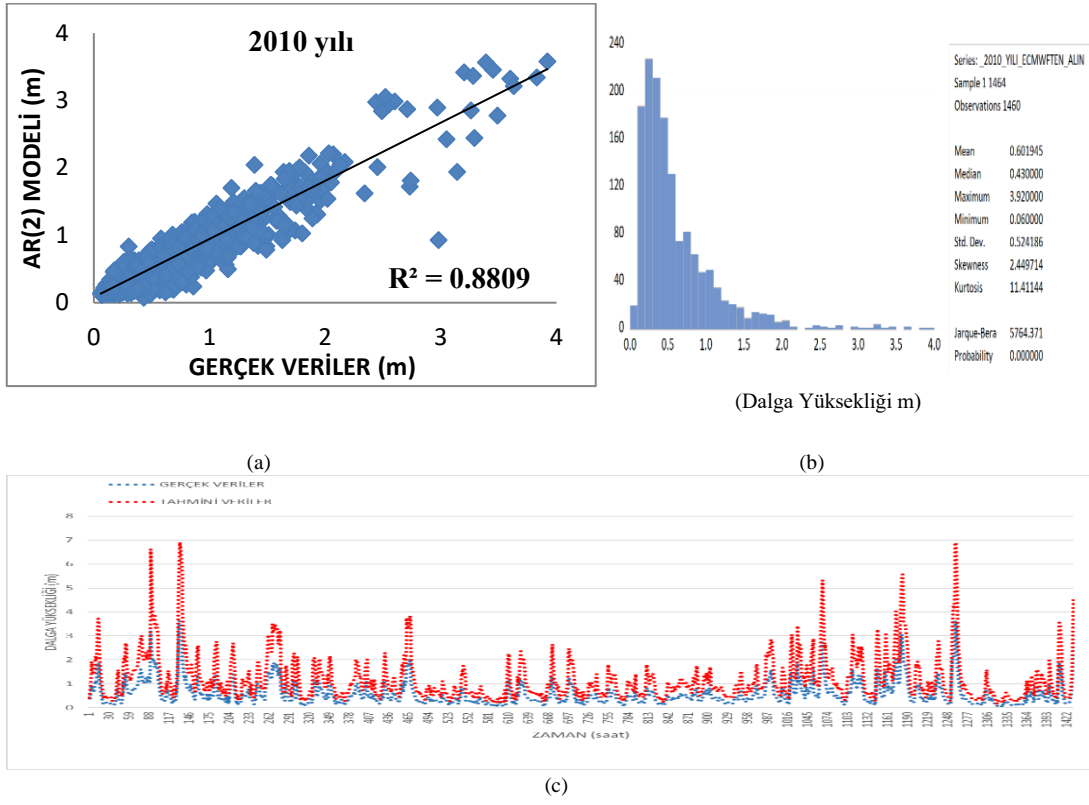
Şekil 5.24. 2007 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



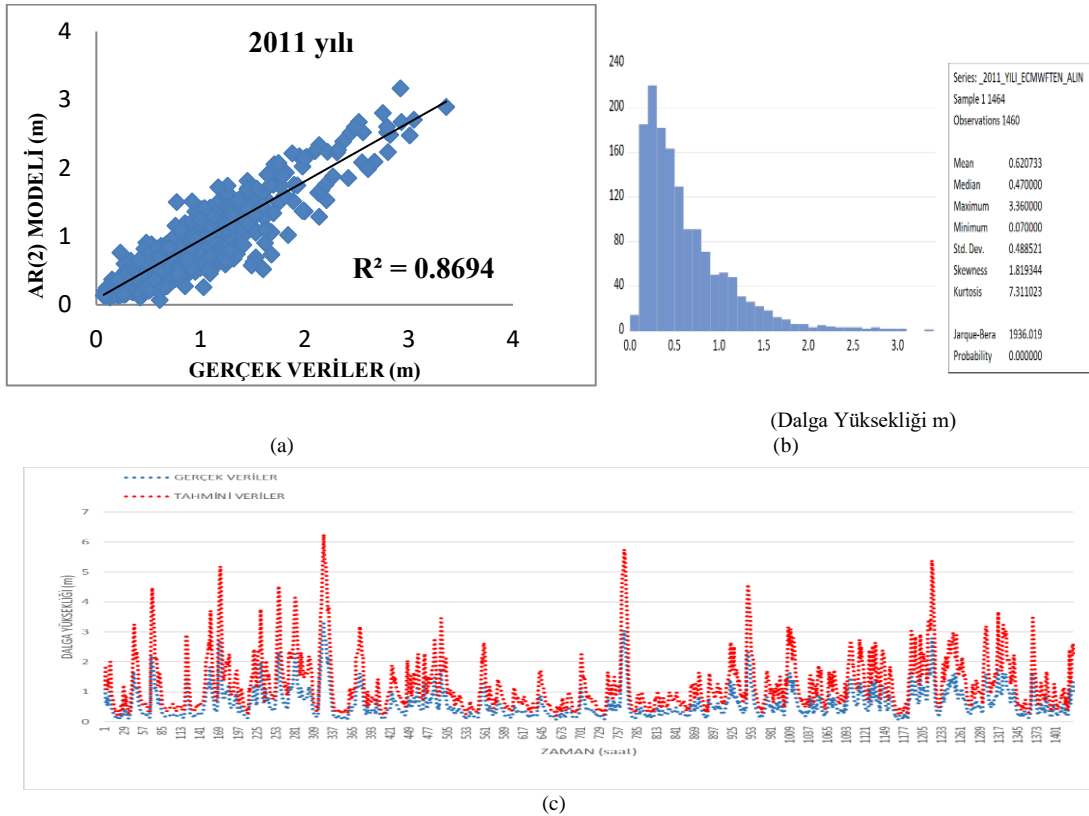
Şekil 5.25. 2008 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



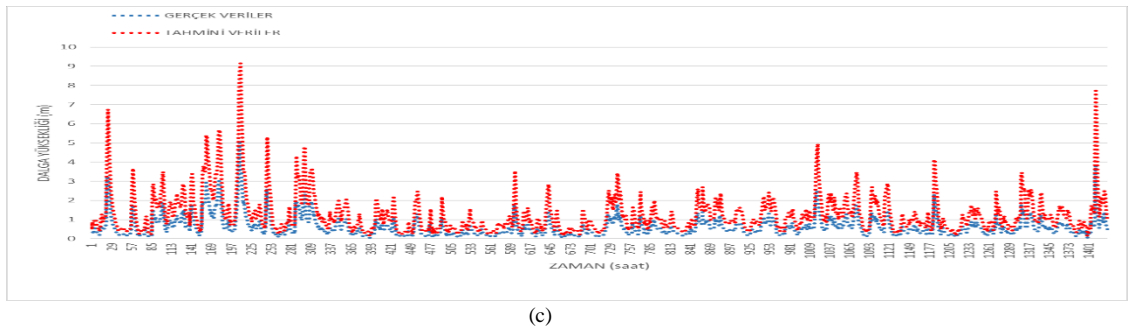
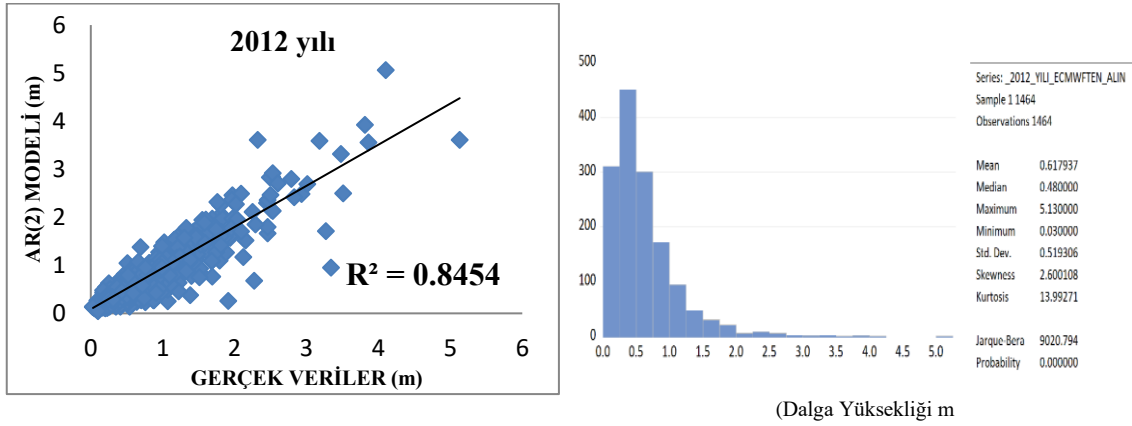
Şekil 5.26. 2009 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



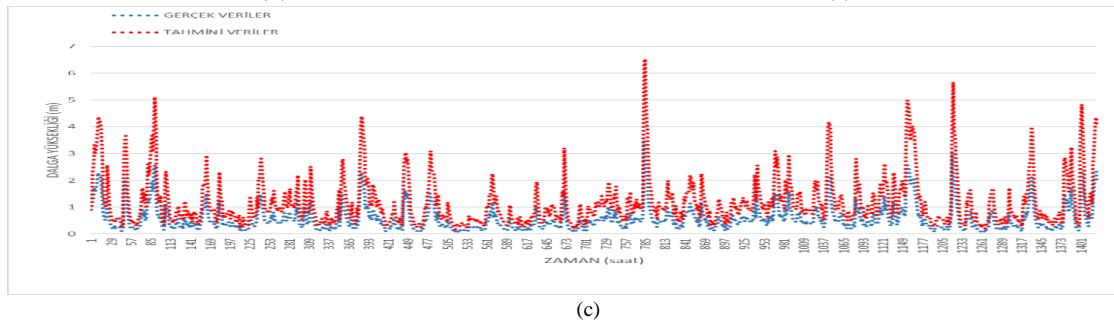
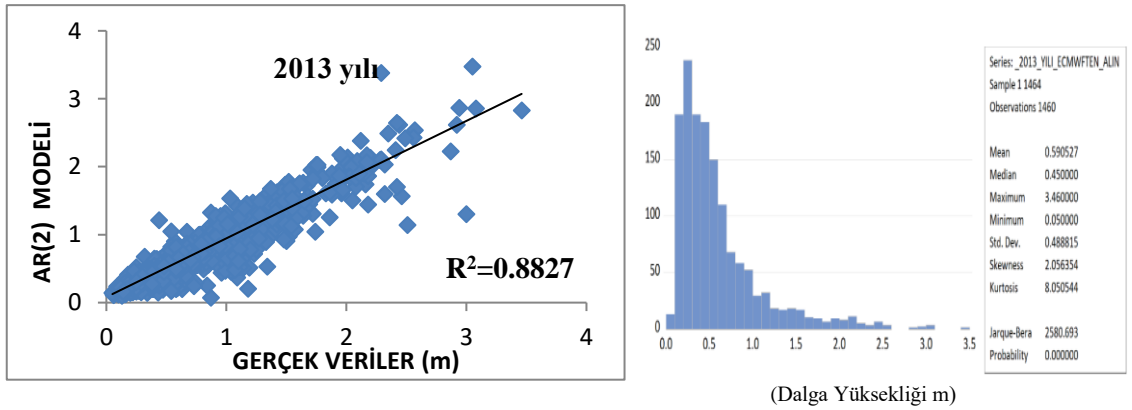
Şekil 5.27. 2010 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



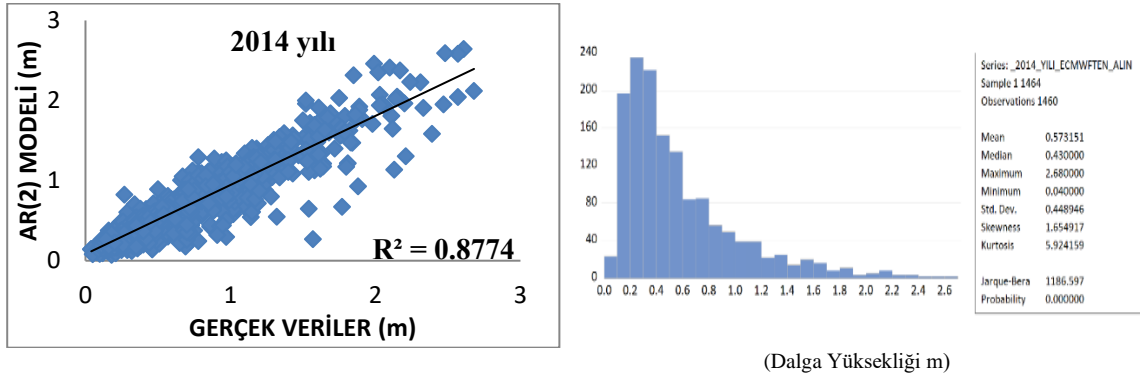
Şekil 5.28. 2011 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



Şekil 5.29. 2012 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği

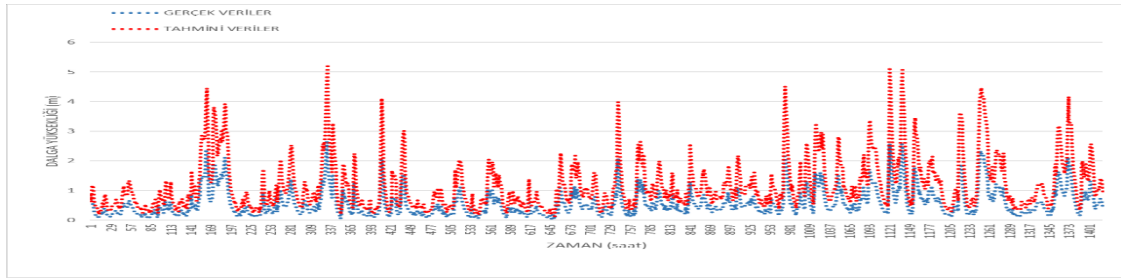


Şekil 5.30. 2013 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



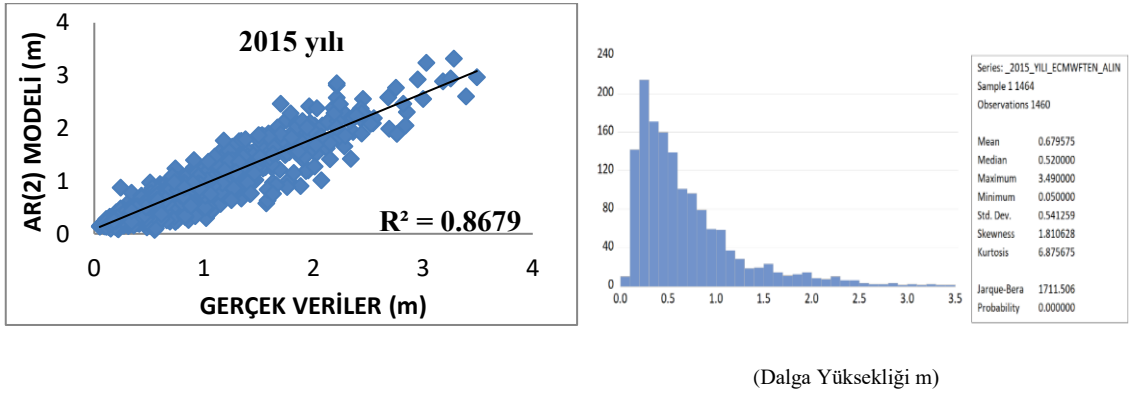
(a)

(b)



(c)

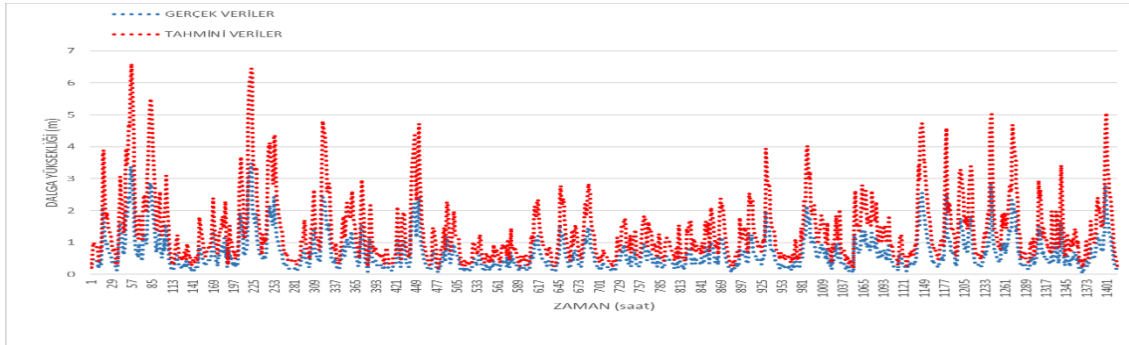
Şekil 5.31. 2014 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



(Dalga Yüksekliği m)

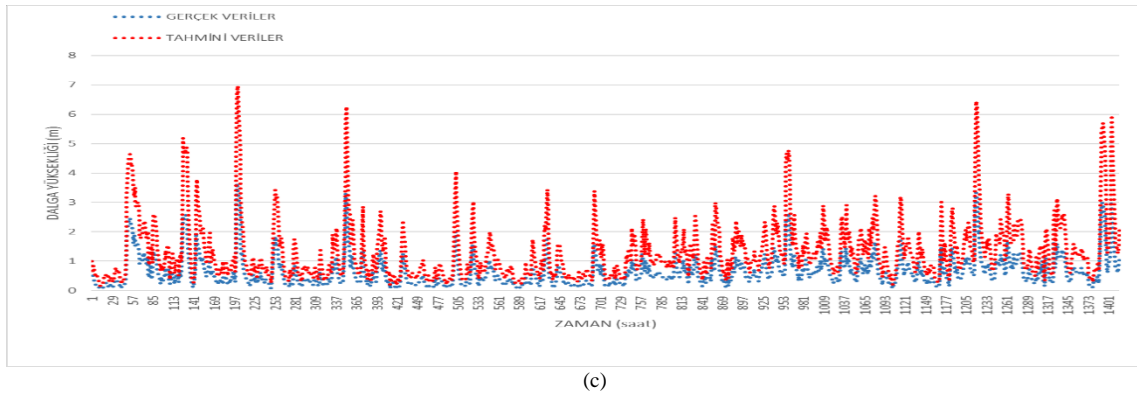
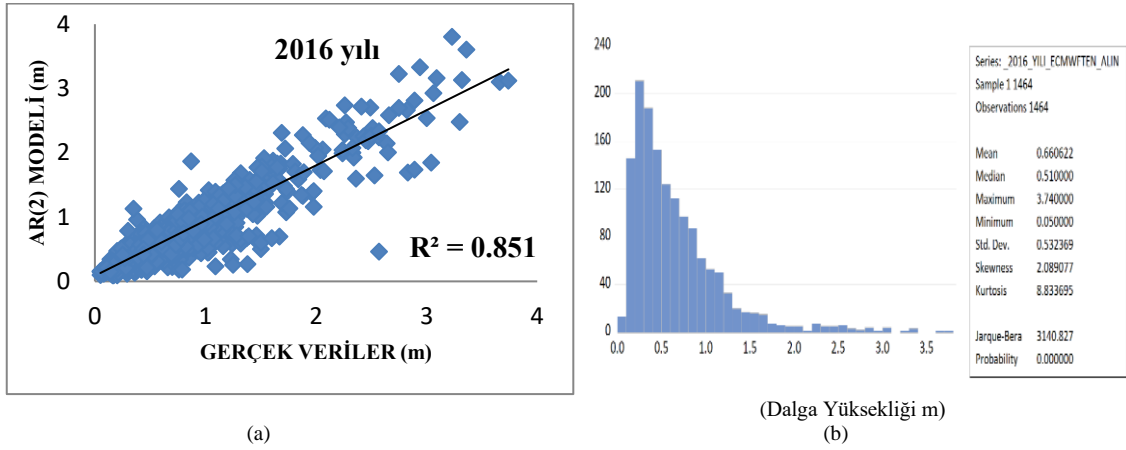
(a)

(b)

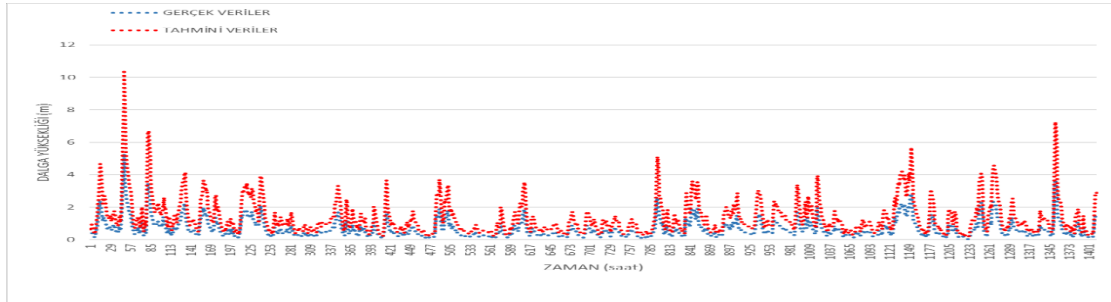
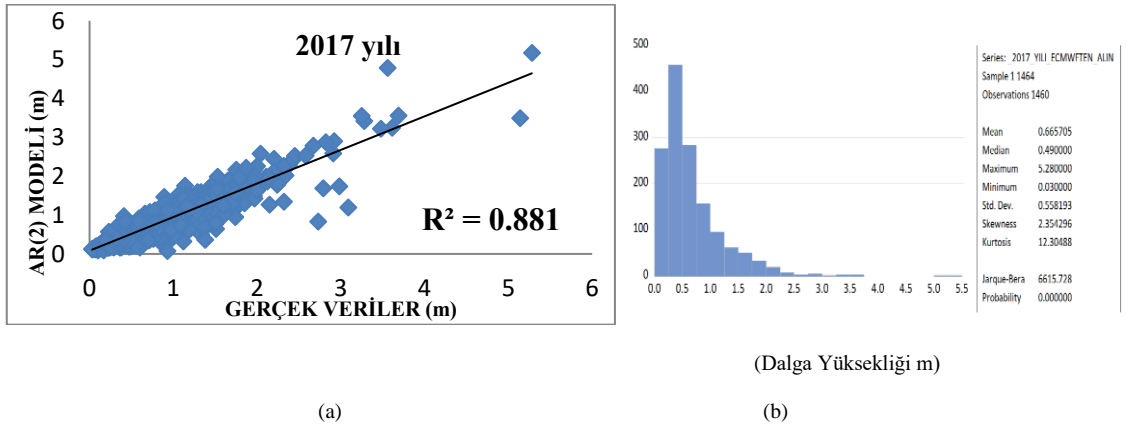


(c)

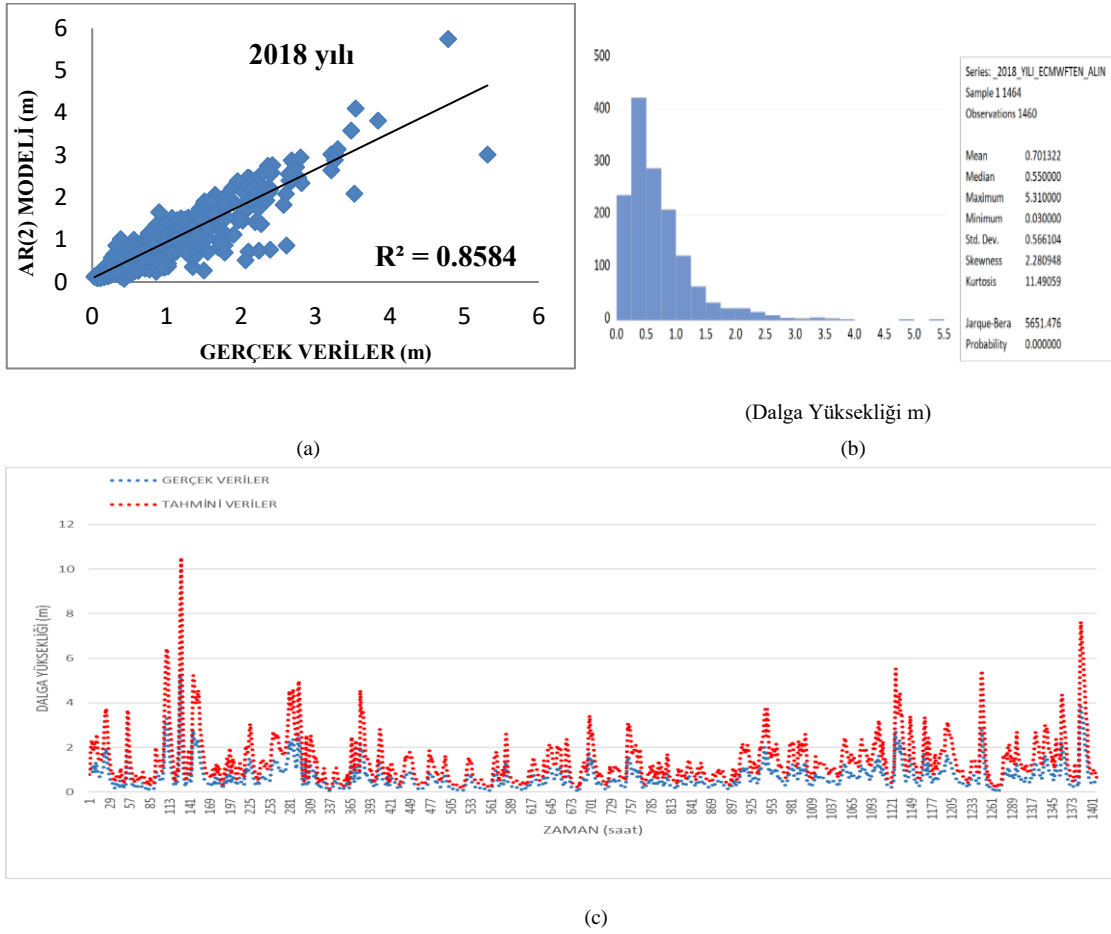
Şekil 5.32. 2015 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



Şekil 5.33. 2016 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



Şekil 5.34. 2017 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği



Şekil 5.35. 2018 yılı (a) Saçılma diyagramı (b) Zaman serisi özelliklerini veren grafik (c) Zaman serisi grafiği

Zaman serisi grafikleri zaman serisi dönemi boyunca serinin nasıl hareket ettiğini gözlemleyerek seri hakkında birçok önsel bilgiye sahip olunmasını sağlamak amacıyla önemlidir. Ayrıca zaman serisi grafiği, zaman serisinin alt ve üst limit değerlerini, çarpıklık değerini, orta değeri ve baskınlık değerini vererek zaman serisi hakkında bilgi edinmemize yardımcı olmaktadır. Şekil 5.17.'den Şekil 5.35'e kadar bütün yıllara ait zaman serisi grafikleri verilmiştir.

Çizelge 5.30. Zaman serisi analizi istatistiki parametre sonuçları

Bütün yıllara ait zaman serisi analizi istatistiki parametre sonuçları		
Yıllar	R ² (Regresyon katsayısı)	NSE (Verimlilik katsayısı)
2000	0.868	0.8675
2001	0.8827	0.8799
2002	0.8793	0.880
2003	0.8836	0.8791
2004	0.6603	0.6302
2005	0.8911	0.8834
2006	0.91	0.8903
2007	0.8399	0.8259
2008	0.847	0.8469
2009	0.849	0.8551
2010	0.8809	0.8813
2011	0.8694	0.8697
2012	0.8454	0.8452
2013	0.8807	0.8749
2014	0.8774	0.8667
2015	0.8679	0.8527
2016	0.851	0.8507
2017	0.881	0.8759
2018	0.8584	0.8605

Saçılma diyagramı, regresyon katsayısı ve verimlilik katsayısı değerleri dikkate alınarak oluşturulan AR(2) modelinin geleceğe yönelik öngörülerinin oldukça başarılı istatistiksel performans sergilediği sonucuna varılmıştır. 2004 yılı hariç bütün yıllara ait istatistiksel performanslar neredeyse %90'a yakın regresyon katsayısına sahip olduğundan, geleceğe yönelik başarısı yüksek tahmin değerleri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, kıyı yapılarının, özellikle Türkiye’de en çok kullanılan kıyı yapısı olan taş dolgu dalgakıranların tasarımında kullanılan en önemli parametrelerden birisi olan H_s “Belirgin Dalga Yüksekliği”ni elde etmek için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler, ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) ve Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası’dır. Bu iki yöntemin analiz sonuçları karşılaştırıldığında, tasarım için dikkate alınması gereken belirgin dalga yüksekliğinin ECMWF’den elde edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu tercihin sebebi, ECMWF’nin verilerinin kalibrasyonunun sürekli olması, uzun süreli verilerin de elde edilebilir olması ve küresel ısınma kaynaklı iklim değişiklikleri nedeniyle dalga yüksekliği verilerinin değişme ihtimalinin yüksek olmasına rağmen Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası’nın son kalibrasyonu yayın tarihinin Haziran 2002 olmasıdır. Bu nedenle ECMWF’teki veriler tasarım için kullanılmıştır.

HYDROTAM-3D yazılımının dalga transformasyon modülünde ECMWF’ten elde edilen derin deniz belirgin dalga yüksekliğinin kullanılması ile yapı önü dalga yüksekliği bulunmuştur. Yapı önü dalga yüksekliğini elde etmek için kullanılan HYDROTAM-3D dalga transformasyon modülü, Prof. Dr. Lale Balas tarafından 1990 yılından bugüne kadar sürekli olarak kalibre edilerek (saha çalışmaları ile doğrulanarak) geliştirilmiş sayısal bir model çalışmasıdır.

Elde edilen yapı önü dalga yüksekliği ile tasarım aşamasına geçilmiştir. Ülkemiz kıyı yapılarında en çok tasarlanan taş dolgu dalgakıranlar için doğal taş ve yapay koruma tabakası olarak iki çeşit koruma tabakası bulunmaktadır. Doğal taştan elde edilen yapay koruma tabakası taş ocaktan elde edilmekte ve iki tabaka olarak inşa edilmektedir. Yüksek dalga değerlerinde ($H_s > 4m$) stabilite yönünden taş kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çift kat olarak antifer ve tetrapod yapay koruma malzemeleri kullanılabilir. Bu tez çalışmasında, tek kat koruma tabakası ile tasarımın gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Accropode II veya Xbloc gibi malzemelerle tek kat koruma tabakası yapılabilmesine rağmen bu tabakaların

kullanılması için Ülkemiz yurtdışına yüksek miktarda patent ücreti ödemek durumunda kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, Ülkemiz imkanlarıyla yeni geliştirilen Piblok yapay koruma tabakası ile tasarım uygulanmıştır.

Kıyı yapılarının tasarımında dinamik etkisi ile büyük öneme sahip dalga yüksekliği, geçmişte çoğunlukla sayısal ve stokastik yöntemler ile belirlenirken, son yıllarda yapay zekâ tekniklerinin de gelişmesi ile dalga parametresi tahminleri ve eksik dalga verisi gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Literatürde, yapay zekâ tekniklerinin performanslarının diğer yöntemlere kıyasla daha olumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ tekniklerinin gelişmesi ve çeşitlenmesi ile bu tekniklerin birbirlerine karşı birtakım üstünlükler sağladıkları belirlenmiştir. ANFIS yöntemi, yukarıda bahsedilen üstünlükleri ile tahmin modellerinin tutarlılığı ve doğruluğu açısından doğa olaylarının tahmininde öne çıkmaktadır.

Bu tezdeki ANFIS modelleme çalışmasında 19 yıllık 6'şar saat arayla elde edilen dalga yüksekliği verileri kullanılmıştır. Modelleme için, MATLAB programında eğitim ve test verileri oluşturulmuş, ANFIS kodları yazılmıştır. Bu özgün çalışma kapsamında, H_s parametresinin girdi parametresi olduğu birçok model denenmiştir. Modeller 6 saatlik tahminler yapabilmekte veya geçmiş yıllara ait eksik verileri tamamlayabilmektedir. Modellerin genelinde tahmin sonuçları, düşük hata değerlerine sahiptirler. Modellerde Gauss ve Gumbell üyelik fonksiyonlarının diğer üyelik fonksiyonlarına oranla daha iyi sonuçlar verdiği ve optimizasyon yöntemi olarak Hybrid modellerin daha doğru tahmin modelleri sunduğu belirlenmiştir.

Zaman serisi analizi kullanılarak yapılan modellemede, ANFIS modelleme çalışmalarında da kullanılan 19 yıllık 6 saatlik arayla elde edilmiş dalga yüksekliği verilerinden oluşan zaman seri kullanılmıştır. EVIEWS programı kullanılarak elde edilen ACF ve PACF grafikleri yardımıyla model tahmini yapılmış ve AR(2) modelinin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. AR(2) modelinin geçerliliği araştırılmış ve ileriye yönelik tahmin elde edilebilmesi için bir yöntem elde edilmiştir. Bu yöntemde elde edilen tüm yıllara ait saçılma diyagramları zaman serisi analizi ile elde edilmiştir.

ANFIS ve zaman serisi analizi ile yapılan tahminlerin istatistiksel karşılaştırmasında her iki yöntemin de sonuçlarının R^2 (Regresyon katsayıları) ve NSE (Verimlilik Katsayısı) %85'in üzerindedir. Hatta zaman serisi analizinde bazı yıllarda regresyon katsayısı %90'a kadar ulaşmıştır. Bu nedenle, kıyı yapıları tasarımında kullanılan dalga yüksekliği parametresinin ileriye dönük tahmininde her iki yöntemin de kullanılmasının uygun olduğu kabul edilmiştir.

6.2. Öneriler

Ülkemizde ve dünyada kıyı yapılarını korumak için en çok inşa edilen taş dolgu dalgakıran tasarımı için en önemli parametre olan belirgin dalga yüksekliğini elde etme yöntemlerinden Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezinden (ECMWF) elde edilen verilerin daha güvenli olduğu bu çalışmada Derin Deniz Dalga Atlası ile de karşılaştırma yapılarak tespit edilmiştir. Ayrıca derin deniz dalga yüksekliği HYDROTAM-3D transformasyon modülü kullanılarak yapı önü dalga yüksekliğini elde etmek için de kullanılmıştır. Bunun sebebi tezin içeriğinin dizayn temelli olmasıdır.

Üç ayrı taş dolgu dalgakıran tasarımında kullanılan tek kat koruma tabakası malzemesi, teknik ve maliyet açısından değerlendirilmiş ve sonuç olarak Piblok ile yapılan tasarımın diğer malzemelerle teknik olarak rekabet edebileceği ve kullanılan tabaka boyutunun küçük olması sebebi ile kullanılacak kalıp miktarının da azalacağı gösterilmiştir. Sonuç olarak, ülkemizde geliştirilen Piblok'un ekonomik anlamda rekabet edebileceği bu tez ile ortaya konmuştur. Piblok yerli ürün olduğu için Accropode II ve Xbloc için ödenen patent ücretleri ödenmeyecektir. Görüldüğü üzere Piblok ülke ekonomisine en yüksek katkıyı verecek koruma tabakası olarak öne çıkmaktadır. Diğer koruma tabakalarına oranla daha ekonomik olduğu sonucuna bu tez çalışması ile ulaşılmıştır.

ANFIS ve zaman serisi analizi modelleme çalışmaları ile tasarım amacıyla elde edilen belirgin dalga yüksekliklerinin geleceğe yönelik tahminlerinde ve geçmişe ait eksik verilerin tamamlanmasında kullanılabileceği bu çalışma ile ortaya konmuştur. Sonuç olarak bu tezde kıyı yapıları tasarım parametrelerinin tahmini için iki farklı yöntem sunulmuş, sunulan yöntemlerin güvenli bir şekilde kullanılabileceği ispatlanmış, zaman ve maliyet açısından külfet getiren sahada yapılan ölçümler yerine kıyı yapıları tasarımı

için tezde önerilen bu iki yöntemle de tasarım parametrelerinin güvenilir şekilde elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abraham, A., Nath, B., 2000, Hybrid intelligent systems design - a review of a decade of research, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part C)*, August, 2000.
- Akbari, M., Solaimani, K., Mahdavi, M., Habibnejhat, M., 2011, Monitoring of regional low-flow frequency using artificial neural networks, *Journal of Water Sciences Research*, ISSN: 2251-7405 e-ISSN: 2251-7413 Vol.3, No.1, Summer 2011, 1-17, JWSR.
- Aydilek, H., Erten, M.Y., Çam, E., İnanç, N., 2018, Comparing time series forecasting methods to estimate wind speed in Kırıkkale region, *Technological Applied Sciences* ISSN: 1308 7223 (NWSATAS) ID: 2018.13.2.2A0140.
- Altunkaynak A., Başakın E.E., 2017, Zaman serileri kullanılarak nehir akım tahmini ve farklı yöntemlerle karşılaştırılması, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018*, (11), 1 ISSN: 1307-9085, e-ISSN: 2149-4584.
- Balas, C.E., Koç, L., Balas, L., 2004, Predictions of missing wave data by recurrent neuronets, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Cilt 130, No 5, 256-265, 2004.
- Balas L., Numanoğlu Genç A., İnan A., 2013, Liman yapılarının tasarımı için dalga tahmini, *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, Cilt: 5 Sayı: 2 Yıl: 2013.
- Balas L., Özhan E., 2000, An implicit three dimensional numerical model to simulate transport processes in coastal water bodies, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, John Wiley and Sons Yayınevi, USA, Cilt 34, Sayfa 307-339.
- Balas L., İnan A., Yıldız İ. 2006, Numerical modelling of coastal currents, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.3980, Sayfa:547-555.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. 1999, A third generation wave model for coastal regions: 1.model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, 104: 7649-7666.
- Bozkurt, E., 2003, Köyceğiz Lagünü'ndeki su seviye değişiminin zaman serisi analizi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mayıs 2003.
- Bretschneider, L.D. 1970, Revisions in wave forecasting, *Look Laboratory Report*, University of Hawaii.
- Browne, M., Castelle, B., Strauss, D., Tomlinson, R., Blumenstein, M., Lane, C., 2007, Near-shore swell estimation from a global wind-wave model: spectral process, linear, and artificial neural network models, *Coastal Engineering*, Cilt 54, No 5, 445-460, 2007.

- Bruce, T., Van der Meer, J.W., Franco, L., Pearson, J.M., 2009, Overtopping performance of different armour units for rubble mound breakwaters, *Coastal Engineering*, 56 (2009) 166–179.
- Büyükyıldız M., 2004, Orta anadolu kapalı havzasının yıllık ortalama akımlarının stokastik modellemesi, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, c.19, s.1, 2004.
- CEM, Coastal Engineering Manual, (2006). Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC, USA.
- Corchoda, J.M., Aiken, J., 2002, Hybrid artificial intelligence methods in oceanographic forecast models, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Bölüm C* Volume: 32, Issue: 4, Nov. 2002.
- Cryer, J.D., 1986, Time series analysis, *Duxbury Press*, Boston.
- Ergin, A. (2009). Coastal Engineering. Ankara/Türkiye: *ODTÜ Geliştirme Vakfı*, 44-83.
- Franco, L., Geeraerts, J., Briganti, R., Willems. M., Bellotti, G., Rouck J.D., 2009, Prototype measurements and small-scale model tests of wave overtopping at shallow rubble-mound breakwaters: The Ostia-Rome yacht harbour case, *Coastal Engineering* 56 (2009) 154–165.
- Goda, Y. 2003, Revisiting wilson's formulas for simplified wind-wave prediction. journal waterways, port, *Coastal and Ocean Engineering (ASCE)*, 125 (93): 93-95.
- Goda, Y., Kobune, K., 1990, Distribution function fitting for storm wave data, <https://doi.org/10.9753/icce.v22.%25p>
- Google maps, 2019, Akçakoca denizel yöresi, <http://maps.google.com/>, 2019.
- Güler, H.G., Arikawa, T., Oei, T., Yalçın, A.C., 2015, Performance of rubble mound breakwaters under tsunami attack, a case study: Haydarpaşa Port, Istanbul, Turkey, *Coastal Engineering* Volume 14 October 2015 Pages 45-53.
- Güzel, T., 2010, Filyos Hisarönü dalga verilerinin yapay sinir ağları, ARIMA modelleri ve melez modeller ile tahmini, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mart 2010.
- Hasselmann, K., Ross, D. B., Muller, P., And Sell, W., 1976, A parametric wave prediction model, *Journal of Physical Oceanography*, Cilt: 6, Sayı: 200-228.
- Hosseini, S.H., Khaleghi, M.R., Jami, H., Baygi, S., 2018, Comparison of hybrid regression and multivariate regression in the regional flood frequency analysis: a case study in Khorasan Razavi province", *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 2018, 5(2), 93–100.
- Hudson, R.Y. 1959, Laboratory investigation of rubble-mound breakwater, *Proc. A.S.C.E.*, 3(85), 93-121.

- İnan, A. , Balas, L., 2002, Applications of a numerical model to wave propagation on mild slopes, *China Ocean Engineering, Nanjing Hydraulics Research Institute (NHRI)*, Cilt 16 (4), sayfa 569-576.
- İnan, A., 2007, Yumuşak eğim eşitliklerinin sayısal modellemesi. Doktora Tezi, *İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi*. 2007
- İnan A., Balas L. 2007, A moving boundary wave run-up model, *Computational Science*, 4487(38-45).
- İnan A., Balas L. 2008, Numerical modeling of extended mild slope equation with finite volume method, *Computational Methods And Applied Computing*, 3(222-227).
- İnan, A., Balas L., 2009, Numerical modeling of extended mild slope equation with mac cormack method, *Mathematics and Computers in Science and Engineering*, Sayı:1, Sayfa:195-210.
- İnan, A., Balas, L. 2010, An application of 2d oil spill model to Mersin Coast, *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 6 (5)(345-354).
- İnternet: Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi. UEL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdenam.gazi.edu.tr&date=2019-01-27>, [Son Erişim Tarihi: 06.01.2019].
- Koç, M.L., Balas, C.E., Arslan, A., 2004, Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağları ile ön tasarımı, *İMO Teknik Dergi*, 2004 3351-3375, Yazı 225.
- Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H., 2008, Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods, *Applied Ocean Engineering*, Cilt 30, No 1, 28-36, 2008.
- Makarynskyy, O., Pires-Silva, A.A., Makarynska, D., Ventura-Soares, C., 2005, Artificial neural networks in wave predictions at the west coast of Portugal, *Computer and Geosciences*, Cilt 31, No 4, 415-424, 2005.
- Mastorocostas, P.A., Theocharis, J.B., Kiartzis, S.J., Bakirtris, A.G., 2000, A hybrid fuzzy modeling method for short-term load forecasting, *Mathematics and Computers in Simulation*, 51 (2000) 221–232.
- More, A., Deo, M.C., 2003, Forecasting wind with neural networks, *Marines Structures*, Cilt 16, No 1, 35-49, 2003.
- NoMachine Programme <https://www.nomachine.com/>, 2019.
- Norgaard, J.Q.H., Andersen, T.L., Burcharth, H.F., 2013, Wave loads on rubble mound breakwater crown walls in deep and shallow water wave conditions, *Coastal Engineering*, Volume 80, October 2013, Pages 137-147.
- Özbahçeci, B., Bilyay, E. 2007, Dalgakıranların koruma tabakası taş ağırlığı için denklem ve dalga seçimi, *6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 525-530.

- Özhan, E., Abdalla, S. 2002, Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası, Kıyı Alanları Yönetimi TMK/MEDCOAST, ODTÜ, Ankara, 445 sayfa.
- Pappas, S.S., Ekonomou, L., 2006, Comparison of artificial intelligence methods for predicting the time series problem, *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization*, Lisbon, Portugal, September 22-24, 2006.
- Park, S.K., Dodaran, A.A., Han, C.S., Shahmirzadi, M.E.M., 2013, Effects of vertical wall and tetrapod weights on wave overtopping in rubble mound breakwaters under irregular wave conditions, *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. (2014) 6:947~964* <http://dx.doi.org/10.2478/ijnaoe-2013-0224> ©snak, 2014 pıssn: 2092-6782, eıssn: 2092-6790.
- Rao, S., Mandal, S., 2005, Hindcasting of storm waves using neural networks, *Ocean Engineering*, 32: 667-684.
- Shore Protection Manual (SPM). 1984, Wave and water level predictions, *Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers*, Washington, DC.
- Soylu, D. 2017, Konyaaltı sahili kıyı çizgisi değişiminin incelenmesi, *Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Haziran 2017, 117s.
- Thsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., 1996, "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", *John Wiley, Sons INC*.
- Turan, U.M., 2000, Dalgakıranlarda blok ağırlıklarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt: 2 sayı: 1 sh. 35-48 Ocak 2000.
- Tür, R., Balas, C.E., 2010, Belirgin dalga yüksekliklerinin neuro-fuzzy yaklaşımı ile tahmini: Filyos deniz yöresi örneği, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No 3, 505-510, 2010.
- Tür, R., Soylu Pekpostalcı, D., Arlı Küçükosmanoğlu, Ö., Küçükosmanoğlu, A., 2017, Prediction of significant wave height along Konyaaltı Coast, *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, Vol.9, Issue 4 (2017) 106-114.
- Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü. 2016, Kıyı Yapıları Planlama Ve Tasarım Teknik Esasları, Ankara: Yüksel Proje.
- Van der Meer, J.W., 1987, Stability of breakwater armor layer design formulae, *Coastal Engineering*, (11), 219-239.
- Vidal,C., Medino, R., Lamonaco, P., 2006, Wave height parameter for damage description of rubble-mound breakwaters, *Coastal Engineering*, 53 (2006) 711–722.
- WAMDI group. 1988, The wam model-a third generation ocean wave prediction model, *Journal of Physical Oceanography*, 18: 1775-1810.
- Wei, W.W.S., 1990, Time series analysis, *Addison-Wesley Publishing Company*.

- Wilson, B.W. 1965, Numerical prediction of ocean waves in the north atlantic for december 1959, *Deutsche Hydrograpische Zeitschrift*, 18(3): 114-130.
- Yaffee, R., McGee, M., 2000, Introduction to the time series analysis and forecasting, *Academic Press*.
- Yarar A., 2010, Susurluk havzası yağış akış verilerinin modellenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Aralık 2010.
- Yıldız I, İnan A, Balas L., 2005, Numerical modelling of wave induced circulation, *Advances in Computational Methods in Sciences and Engineering*, Sayfa:602-612.
- Yılmaz, N. 2018, Samsun Körfezi kıyı sularında rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeni modellenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33:1 (2018) 279-297.
- Yüksel, Y. 2011, Dalgakıran tasarımı, *İstanbul/Türkiye:Beta Yayıncılık*, 19-97, 301-3.

