

DOĞU KARADENİZ'DE ÖLÇÜLEN DALGALARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

Doç. Dr. Ömer YÜKSEK
K.T.Ü. İnş. Müh. Böl.61080 TRABZON
Tel: 0 462 377 26 41

İnş. Yük. Müh. Murat GÜRSES
Bayındırlık Müdürlüğü ARTVİN
Tel: 0 466 212 13 69/203

Arş. Gör. İlyas Barış KUKUL
K.T.Ü. İnş. Müh. Böl. 61080 TRABZON
Tel: 0 462 377 26 33

Arş. Gör. Ahmet TOKGÖZ
K.T.Ü. İnş. Müh. Böl. TRABZON
Tel: 0 462 377 26 32

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz'deki Ordu, Trabzon ve Sinop Kıyılarında ölçülmüş olan dalgaların yükseklik ve peryot dağılımları ile spektral özellikleri incelenmiştir.

Ordu' da yapılmış ölçümlerle ilgili olarak yapılan spektral analizde, yöredeki dalgalar için en uygun spektrumun JONSWAP Spektrumu olduğu belirlenmiştir.

Trabzon'daki verilerin dalga yüksekliklerinin Rayleigh Dağılımına uygunluğu incelenmiş ve uyumsuzluk olduğu belirlenmiştir. Dalga peryotları için Bretschneider ve modifiye Bretschneider dağılımları incelenmiş; her iki dağılımın da genelde uygun olmasına karşın, modifiye Bretschneider dağılımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Yükseklik-peryot ortak dağılımı konusunda yapılan incelemede verilerin Cavanier ve arkadaşlarının Dağılımına daha yakın olduğu gözlenmiştir.

Ancak, Neuman, Bretschneider, Mitsuyasu, ITTS ve ISSC spektrumları ile yapılan analizde, verilerin spektral özelliklerinin genelde Neuman Spektrumuna yakın olduğu sonucu elde edilmiştir.

Sinop verileri ile yapılmış olan çalışmanın sonuçları irdelendiğinde, dalga yüksekliği, periyodu ve yükseklik-periyot ortak dağılımı için en uygun dağılımların sırasıyla; Rayleigh, Modifiye Bretschneider ve Cavanier-Arhan-Ezraty Dağılımları olduğu belirlenmiştir.

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Fırtınalarca deniz yüzeyinde oluşturulan dalga hareketinin çok karmaşık bir yapısı bulunmaktadır. Belirli bir yerde izlenen dalga yükseklik ve periyotları önemli ölçüde birbirinden değişik olabildiği gibi, ardışık dalga bireyleri de değişik yönlerde hareket edebilmektedir. 1950’li yıllarda Mühendislik uygulamalarına kolaylık getirmek için, karmaşık rüzgar dalgalarının etkilerinin , belirli yükseklik ve periyodu bulunan , düzgün sinüs dalgalarınca oluşturulana eşdeğer olacağı öne sürülmüştür. Karmaşık deniz dalgalarını temsil eden bu düzgün dalgaya “ Belirgin Dalga ” denilmektedir. Belirgin dalga kavramı gibi , rüzgar dalgalarını gerçekten uzak düzeyde kolaylaştıran varsayımlar kullanılsa bile , rüzgar dalgalarının karmaşık yapısının anlaşılması önem taşımaktadır

Türkiye denizlerinde güvenilir dalga ölçümleri ancak son yıllarda gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu ölçümler de henüz , dalga parametrelerinin gözlenen olasılık dağılımının önerilmiş kuramsal dağılımlara , ya da dalga enerji spektrumlarının bir model spektruma uygunluğu açılarından yeterince irdelenmemiştir. Türkiye’deki kıyı mühendisliği uygulamalarında yeterince dalga ölçümleri bulunmadığından , tasarımlarda kullanılacak dalgalar fırtına özellikleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Bunun için tamamıyla gözlemsel yöntemler kullanılmaktadır. Gözlemsel dalga tahmin yöntemlerinin Türkiye denizlerine uygunluğunun araştırılmasının ve gerekli uyarlamalarının yapılmasının ne ölçüde önemli olduğu açıktır. Bu çalışmada, Karadeniz sahillerinden alınmış olan dalga kayıtlarından faydalanılarak bu bölgeyle ilgili olarak çıkartılan sonuçlara değinilmiştir.

Düzensiz dalga tarifi için iki yöntem vardır. Bunlardan ilki spektral analizdir ki bu yöntemde düzensiz dalgaların sonsuz sayıda dalga bileşenlerinden oluştuğu düşünülür ve karakteristikleri bileşen dalgaların temel enerji dağılımı tarafından tarif edilmektedir. Diğer yol ise tekil dalga yöntemidir ki sıfır geçişli metodu tarafından belirlenen dalga yükseklikleri ve periyotlarının dağılımı sayesinde dalga karakteristiklerini tanımlar.

Bu çalışmada, ilk aşamada kısa dönem dalga istatistiklerine değinilerek karakteristik dalgaların nasıl bulunabileceği hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra tekil dalga yüksekliğinin dağılımı , tekil dalga periyodunun dağılımı , dalga yüksekliği-dalga periyodu ortak dağılımı konularına değinilmiştir. Ordu İlinden alınmış olan dalga verilerinin daha önce tarif edilmiş olan teorik dalga tahmini yöntemlerine uygunluğu araştırılmış , Nato-TU-Waves projesi dahilinde Sinop İlinden alınmış olan dalga ölçümleri ve sonuçları irdelenmiş , Trabzon İlinden alınan dalga kayıtları analiz edilerek dalga tarif yöntemlerine uygunlukları belirlenmiştir.

2. DALGA İSTATİSTİĞİ

2.1. Dalga Yüksekliği Olasılık Dağılımı

Bir fırtınada oluşan tekil dalga yüksekliklerinin Rayleigh olasılık dağılımını sağladığı pek çok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir [Goda, 1979]. Rayleigh dağılımı aşağıda verilmiştir:

$$P(x)=1-\exp(-a^2x^2) \quad (1)$$

$P(x)$ = x değişkeninin belirli bir değeri aşmama olasılığı,
 $x=H/H_*$:Boyutsuz dalga yüksekliği

$$a = H_*/\sqrt{8(m_0)} \quad (2)$$

H_* : Referans dalga yüksekliği

a = Bir boyutsuz katsayı

m_0 = Dalga enerji spektrumunun sıfıncı momentidir.

Boyutsuz katsayı a 'nın değerleri H_* 'nin seçimine bağlı olarak aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} &= H_* = \sqrt{m_0} \text{ ise } 1/\sqrt{m_0} \\ a = H_* / \sqrt{(8m_0)} &= H_* = H_{ort} \text{ ise } \sqrt{\pi/2} \\ &= H_* = H_{rms} \text{ ise } 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Birey fırtına dalgaları yüksekliklerinin olasılık dağılımı için Rayleigh dağılımının uygunluğu, dalga frekans spektrumunun dar aralıklı olduğu varsayımıyla (dalga kaydı içindeki tekil dalgaların frekanslarının bir değer etrafında yakın değerlerde sıralanmış

olması durumu) Longuet-Higgins'ce kuramsal olarak kanıtlanmıştır. Ancak, Rayleigh dağılımının spektrum genişliklerine bağlı olmaksızın (geniş aralıklı dalga spektrumları için de) yaklaşık geçerli olduğu ölçümlerle doğrulanmıştır [Longuet-Higgins, 1952].

2.2. Dalga Peryodu Olasılık Dağılımı

2.2.1. Bretschneider dağılımı

Bretschneider [Bretschneider, 1959], dalga ölçüm sonuçlarını değerlendirerek derin denizde oluşan tekil dalga boylarının (dolayısıyla dalga periyotları karelerinin) yaklaşık Rayleigh olasılık dağılımını sağladığını gözlemiştir. Bretschneider'in önerdiği gözlemsel dağılım aşağıda verilmiştir:

$$P(\tau) = 1 - \exp(-0.675 * \tau^4) \quad (4)$$

$P(\tau)$: Boyutsuz dalga periyodunun τ değerini aşmama olasılığı,

$\tau = T / \bar{T}$: boyutsuz dalga periyodudur .

Olasılık yoğunluğu fonksiyonu yukarıdaki denklemden aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$P(\tau) = dP(\tau) / d\tau = 2.70 * \tau^3 * \exp(-0.675\tau^4) \quad (5)$$

2.2.2. Longuet-Higgins dağılımı

Longuet-Higgins [Longuet-Higgins, 1952] fırtınada oluşan dalgaların enerji spektrumunun dar aralıklı olduğu varsayımıyla, bireysel dalgaların yükseklik ve periyotlarının ortak olasılık dağılımı kuramsal olarak elde edilmiştir. Bu ortak olasılık dağılımına göre dalga periyotlarının “ tek başına dağılımı ” aşağıdaki gibidir:

$$P(\tau) = v^2 / \{2 * [v^2 + (\tau - 1)^2]\}^{3/2} \quad (6)$$

$$v = [(m_0 m_2 / m_1^2) - 1]^{1/2} \quad (7)$$

v : spektra aralığı parametresi

$m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df$, dalga enerji spektrumunun n 'inci momenti ,

f = dalga frekansı,

$Sf(f)$ = Dalga enerji spektrum fonksiyonudur.

Yukarıdaki denklemdeki dalga periyodu olasılık dağılımı $\tau=1$ 'e göre simetrik ve iki yanı açık ($\tau \rightarrow +\infty$ ve $-\infty$ 'a gidebilir) bir dağılımdır. $\tau < 0$ değerleri fiziksel yönden gerçek dışı olduğundan, küçük bir yanılğı söz konusudur.

2.2.3. Cavanier-Arhan-Ezraty olasılık dağılımı

Bretschneider ve Longuet-Higgins dalga periyodu olasılık dağılımları dalgaların yükseklik ve periyotları arasında korelasyon göstermemektedir. Gözlemlerse bu iki dalga parametresi arasında belirgin bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Kırılma bölgesindeki dalgalar için Thornton-Schaeffer, dalga yükseklik ve periyotları arasında 0.6-0.8'e varan korelasyon değerleri hesaplamıştır.

Cavanier-Arhan ve Ezraty'nin (C-A-E Grubu) [Cavanier ve ark., 1976] dalga yükseklik ve periyodu olasılık dağılımı ve dolayısıyla dalga periyodunun tek başına dağılımı, H ve T arasında gözlenen korelasyonu yansıtır niteliktedir:

$$P(\tau) = (\alpha^3 * a^2 * \mu^2 * \tau_*) / \{ (\mu^2 * \tau_*^2 - \alpha^2)^2 + a^2 * \alpha^4 \}^{3/2} \quad (8)$$

2.3. Dalga Yüksekliği ve Dalga Periyodu Ortak Olasılık Dağılımı

Dalga yükseklik ve periyotlarının ortak olasılık dağılımı için üç ayrı model önerilmiştir. Bu dağılımlar öneriliş sırasına göre aşağıda verilmiştir:

2.3.1. Bretschneider H-T ortak olasılık dağılımı

Bretschneider [Bretschneider, 1959] ortak olasılık dağılımı dalga yükseklik ve periyotlarının tümüyle bağımsız değişkenler (korelasyon katsayısı sıfır) olduğu varsayılmaktadır. Buna göre H-T ortak olasılık dağılımı aşağıdaki gibidir:

$$P(\epsilon, \tau) = P(\epsilon) * P(\tau) = 1.35\pi\epsilon\tau^3 \exp(-\pi / 4\epsilon^2 - 0.675\tau^4) \quad (9)$$

2.3.2. Longuet-Higgins H-T ortak olasılık dağılımı

Longuet-Higgins'in [Longuet-Higgins, 1975] dalgaların enerji spektrumunu “dar aralıklı” varsayarak elde ettiği kuramsal ortak olasılık dağılımı aşağıdaki gibidir :

$$P(\varepsilon, \tau) = \pi/4v * \varepsilon^2 \exp\{-\pi/4 * \varepsilon^2 [1+(\tau-1)^2/v^2]\} \quad (10)$$

2.3.3. Cavanier ve Arkadaşları H-T ortak olasılık dağılımı

Kuramsal ortak olasılık dağılımı aşağıda verilmiştir [Cavanier ve Ark.]:

$$P(\varepsilon_*, \tau_*) = [\pi \alpha^3 \varepsilon_*^2 \tau_*^{-5} / 2\varepsilon(1 - \varepsilon^2) \mu^4] * \exp[(-\pi \varepsilon_*^2 \tau_*^{-4} / 4\varepsilon^2 \mu^4) * (\mu^2 \tau_*^2 - \alpha^2)^2 + (a^2 \alpha^4)] \quad (11)$$

Yukarıdaki boyutsuz dalga yüksekliği ε_* deniz düzeyinin (+) yönde en yüksek sapmaları kullanılarak tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_* = 2 \eta_{m+} / H_{ort} = H_{m+} / H_{ort} \quad (12)$$

2.4. Model Dalga Frekans Spektrumları

Bu bölümde çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülen frekans spektrumları aşağıda verilmektedir:

a) Bretschneider Spektrumu

Bretschneider ortalama dalga yüksekliği (H_{ort}) ve ortalama dalga periyoduna (T_{ort}) bağlı olarak sonlu bir feç uzunluğu için spektrum önermiştir [Bretschneider, 1959]:

$$Sf(f) = 0.430 * (H_{ort} / gT^2)^{2*} (g^2 / f^5) * \exp[-0.675 * (1/T_{ort} f^4)] \quad (13)$$

b) Bretschneider – Mitsuyasu Spektrumu

Mitsuyasu, feç uzunluğu (F) ve deniz yüzeyindeki sürtünme hızına (U_*) bağlı olarak sonlu bir feç için bir spektrum önermiştir [Goda, 1985]:

$$Sf(f) = \{8.58 * 10^{-4} (gF / U_*^2)^{-0.312}\} * (g^2 / F^5) * \exp\{-1.25 * (gF / U_*^2)^{-1.32} * (gf^4 U_*)\} \quad (14)$$

Düşük rüzgar hızları için $U_* = \sqrt{\gamma_{10}^2} * U_{10}$ ile $\gamma_{10} = 1.6 * 10^{-3}$ tür.

c) Neuman Spektrumu

Neuman tarafından önerilen spektrum aşağıda sunulmuştur [Ippen, 1966].

$$S(\omega) = H_s^2 (27/128\pi)^{1/2} * (2\pi / T_z) \omega^{-6} \exp[-1.50(2\pi / T_z)^2 \omega^{-2}] \quad (15)$$

Burada $T_p = 0.55 H_s + 7.54$ 'tür. ($S(\omega) = S(f)/2\pi$, $\omega = 2\pi f$)

d) ISSC Spektrumu

$$S(f) = 0.11 * H_v^2 * T_v^{-4} * f^{-5} \exp\{-0.44(T_v f)^{-4}\} \quad (16)$$

e) ITTC Spektrumu

$$S(f) = 0.0081 * g^2 (2\pi)^{-4} * f^{-5} * \exp(-3.11 / H_v^2 * (2\pi f)^{-4}) \quad (17)$$

$$T_{\max} = 1.592 * \pi * H_v^{1/2}$$

3. KULLANILAN VERİLER

3.1. Ordu İli Verileri

Ordu Sahilinden alınmış olan veriler, Erdal ÖZHAN ve Arkadaşları tarafından yayınlanmıştır (Özhan ve Ark., 1982).

Bu konu başlığı altında ilk olarak farklı fırtınalarda ölçülmüş dalga yüksekliklerinden elde edilerek çizilen dalga yüksekliği olasılık dağılımları incelenmiştir. Bu çizimlerde dalga yüksekliği olasılık dağılımı ölçüm örnekleri kümелendirdikten sonra elde edilmiştir. Bunun amacı, bir ölçüm örneğinde bulunan 100-150 arasındaki birey dalganın gösterdiği yükseklik dağılımının sabit olmaması ve ölçüm örnekleri arasında değişmelerin meydana geldiğinin gözlenmiş olmasıdır. Yani sağlıklı bir yükseklik dağılımının çıkarılması için 100-150 tane tekil dalganın yeterli olmadığı görülmüştür.

Bu bölümde teorik periyot dağılımları ile Ordu İlinden alınmış olan dalga periyodu değerlerine göre oluşturulan dalga periyot dağılımları karşılaştırılmış ve dağılımlar arasındaki uyum incelenmiştir.

Ölçüm örneklerinden hesaplanan dört spektrumun “yükseliş” kesimleri ($f < 1/T_{\max}$) çok küçük frekanslar için söz konusu olan “gürültü” dışında JONSWAP spektrumu ile çok iyi düzeyde uyduğu izlenmektedir. Saat 13.15’teki spektrum dışında diğer üç spektrumun tepeye yakın “iniş” kesimleri de JONSWAP spektrumuyla iyi düzeyde uyushmaktadır. Ancak, frekans değeri yükseldikçe $1.1/T_{\max} < f < 2.0/T_{\max}$ aralığında bu uyushma bozulmakta, örneklerden hesaplanan spektral yoğunluklar JONSWAP modelince öngörülen değerlerin üzerinde kalmaktadır.

3.2. Sinop İli Verileri

Veriler, Murat TURHAN’ın Yüksek Lisans Tezi’nden alınmıştır (Turhan, 1996).

Bu çalışma kapsamında ilk olarak değişik fırtınalarda ölçülen dalgaların dalga yüksekliği olasılık dağılımları çizilmiştir. Bu şekilde her istasyonda farklı fırtınalar için ölçülmüş tekil dalga verilerine göre çıkartılmış en uygun eğriler, Rayleigh dağılımıyla birlikte sunulmuştur. Buradan görülmektedir ki ölçülmüş veriler ile Rayleigh dağılımı birbirlerine çok uygun düşmektedir

Daha sonra, ölçülmüş tekil dalga periyotlarını en başarılı şekilde temsil eden eğriler ile Bretschneider dağılımının karşılaştırılması yapılmıştır. Değerlendirmede sadece Bretschneider dağılımı kullanılmıştır. Bunun nedeni diğer iki dağılım olan Cavanier-Ezraty-Arhan dağılımı ve Longuet-Higgins dağılımlarının hesaplanan ε ve v değerleri için yaklaşık benzer eğrilere sahip olmaları ve Bretschneider dağılımının gözlemsel olarak elde edilen dağılımlara en yakın dağılım olmasıdır. Bretschneider dağılımı, gözlemsel verilerin oluşturduğu dağılıma en uygun dağılım olmasına rağmen teorik dağılım ile ölçülmüş dağılımlar arasında başarılı bir ilişki kurulamamıştır.

3.3. Trabzon İli Verileri

Trabzon İlinde yapılan dalga ölçümlerinin sonucunda elde edilen dalga yüksekliği verilerinin Rayleigh Dağılımına uygunluğu χ^2 testi ile denenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilerek tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 1. Trabzon dalga yüksekliği verileri için, Rayleigh dağılımı ile uyumluluğunun χ^2 testi ile karşılaştırılması.

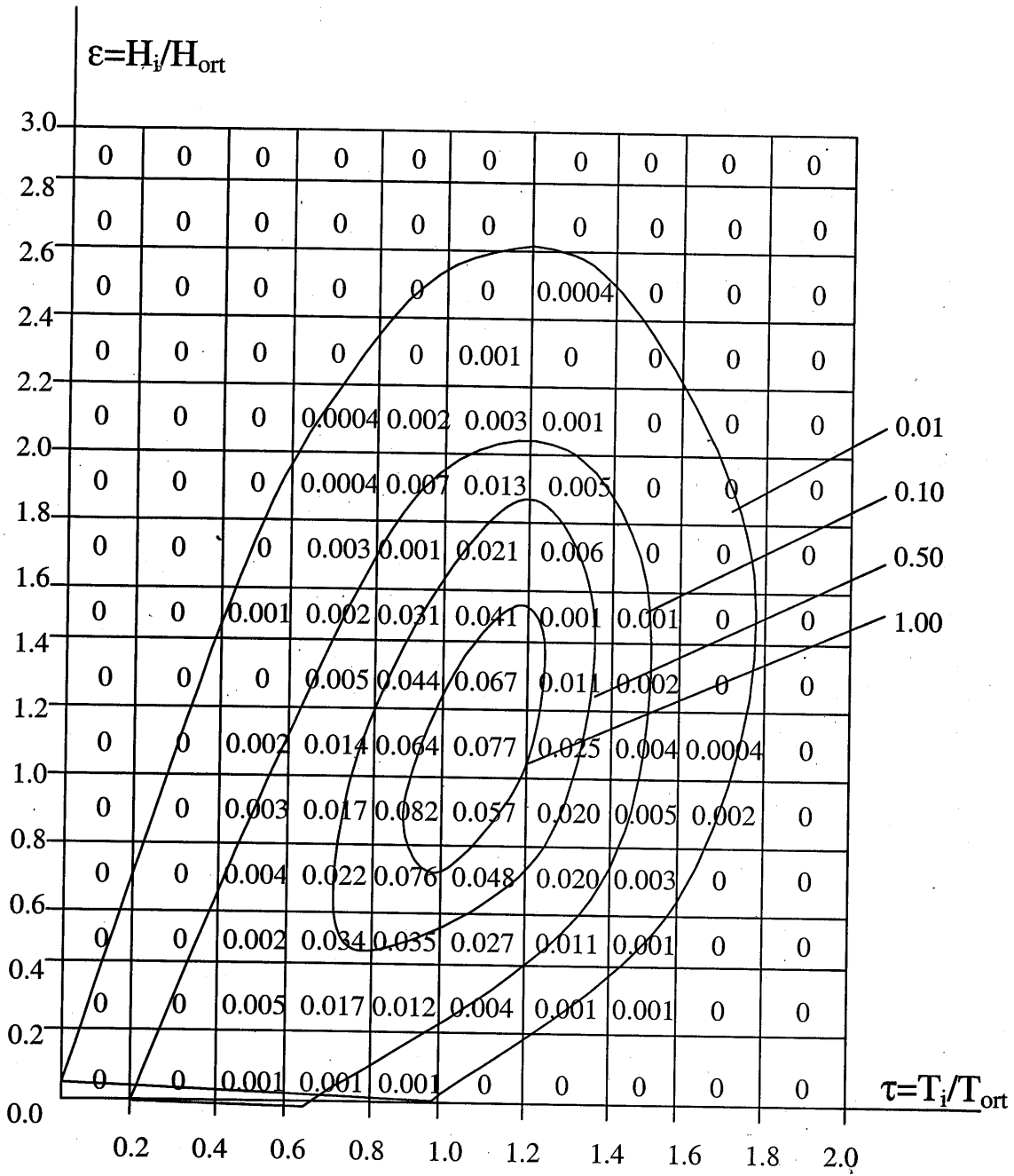
KAYIT NO:	VERİ SAYISI	χ^2	SONUÇ
1	39	123	RED
2	82	210	RED
3	108	583	RED
4	116	286	RED
5	71	270	RED
6	76	266	RED
7	27	101	RED
8	146	370	RED
9	122	247	RED
10	133	383	RED
11	80	167	RED
12	155	358	RED
13	104	202	RED
14	50	109	RED
15	66	179	RED
16	58	177	RED
17	50	103	RED
18	38	95	RED
19	44	387	RED
20	83	826	RED
21	32	272	RED
22	77	187	RED
23	96	147	RED
24	168	2026	RED
25	84	129	RED
26	126	242	RED
27	121	1218	RED
28	38	604	RED
29	98	195	RED
TEORİK $\chi^2_{18,0.01}$:		34.805	

Trabzon İlinden alınmış olan dalga periyodu verilerinin Bretschneider dağılımı ve modifiye dağılım ile olan ilişkisinin derecesi χ^2 testi ile sınanmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2. Trabzon dalga periyodu verileri için,Bretschneider dağılımı ve Modifiye Dağılım ile uyumluluğunun χ^2 testi ile karşılaştırılması

İSTASTON : TRABZON					
KAYIT NO:	VERİ SAYISI	χ^2 BRETSCH.	SONUÇ	χ^2 MODİFİYE	SONUÇ
1	39	16	KABUL	23	KABUL
2	82	29	KABUL	21	KABUL
3	108	31	KABUL	44	RED
4	116	12.	KABUL	34	KABUL
5	71	25	KABUL	45	RED
6	76	25	KABUL	32	KABUL
7	27	12	KABUL	20	KABUL
8	146	36	RED	78	RED
9	122	26	KABUL	44	RED
10	133	22	KABUL	34	KABUL
11	80	46	RED	66	RED
12	155	79	RED	155	RED
13	104	33	KABUL	49	RED
14	50	141	RED	77	RED
15	66	228	RED	64	RED
16	58	129	RED	84	RED
17	50	190	RED	46	RED
18	38	89	RED	43	RED
19	44	219	RED	21	KABUL
20	83	133	RED	33	KABUL
21	32	816	RED	83	RED
22	77	488	RED	10	KABUL
23	96	125	RED	39	RED
24	168	313	RED	83	RED
25	84	725	RED	23	KABUL
26	126	308	RED	96	RED
27	121	332	RED	68	RED
28	38	823	RED	162	RED
29	98	213	RED	123	RED
TEORİK $\chi^2_{18,0.01}$:		34.805			

Tüm dalga kayıtları için her bir dalga yüksekliği ve periyoduna ait ϵ ($=H_i/H_{ort}$) ve τ ($=T_i/T_{ort}$) değerleri belirlenmiş ve dalga sayılarına bağlı olarak olasılık eğrileri sunulmuştur.



Şekil 1. Tüm dalga verileri için eşit olasılık eğrileri.

Daha önce belirlemiş olan 5 teorik spektrum için (Neuman, Bretschneider, ITTS, Mitsuyasu ve ISSC spektrumları) dalgaların oluşturduğu toplam enerji hesaplanarak gözlenen verilerin sahip olduğu toplam dalga enerjisi ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplar sonunda elde edilen toplam enerji değerleri aşağıda tablo olarak sunulmuştur.

Tablo 3. Teorik dalga spektrumları ve gözlemsel dalga verilerinin sahip oldukları toplam dalga enerjisi değerleri. ($m^2 \cdot sn^{-1}$)

Teorik Spektrumlar :	KAYIT NO:	Neuman Spekt.	Bretschneider Spektrumu	Mitsuyasu Spektrumu	ITTS Spekt.	ISSC Spekt.	Gözlem Değerleri
Toplam Enerji	1	0.3580	2.7240	2.4620	0.1510	0.3680	0.6080
Toplam Enerji	2	0.0674	0.5412	0.4899	0.0293	0.0745	0.1100
Toplam Enerji	3	0.1450	2.0330	1.0040	0.0600	0.9290	0.5780
Toplam Enerji	4	0.5600	1.9100	3.9100	0.2310	3.5080	0.7720
Toplam Enerji	5	0.2390	2.3660	1.7390	0.0970	1.2070	0.3210
Toplam Enerji	6	0.6820	5.4130	4.7910	0.2810	0.6000	0.7340
Toplam Enerji	7	3.5090	25.4870	22.0920	1.2620	4.7440	3.1360
Toplam Enerji	8	0.5960	4.9920	4.2960	0.2270	0.6270	0.8060
Toplam Enerji	9	1.0060	7.1120	6.5030	0.3970	0.7500	0.9120
Toplam Enerji	10	0.5890	4.9570	3.8790	0.2470	4.0300	0.6290
Toplam Enerji	11	1.8200	14.7720	12.6340	0.7470	1.3280	1.5730
Toplam Enerji	12	1.4150	12.5980	10.1700	0.5880	1.1380	1.2230
Toplam Enerji	13	0.8060	7.0450	5.8730	0.3330	0.9200	0.7750
Toplam Enerji	14	0.0910	1.0120	0.7130	0.0400	0.5340	0.1730
Toplam Enerji	15	0.1050	1.0550	0.7730	0.0440	0.5900	0.1990
Toplam Enerji	16	0.1890	1.1480	1.0140	0.0640	0.8270	0.2360
Toplam Enerji	17	0.0310	1.1250	0.2240	0.0180	0.1690	0.0770
Toplam Enerji	18	0.0650	0.6040	1.1440	0.0260	0.3970	0.1650
Toplam Enerji	19	0.0900	0.4090	0.2850	0.0170	0.2330	0.1020
Toplam Enerji	20	0.4520	3.3940	3.1150	0.1840	2.7900	0.6140
Toplam Enerji	21	0.1300	1.2310	0.9320	0.0530	0.6980	0.2260
Toplam Enerji	22	1.5010	11.8360	10.5240	0.6150	8.8380	1.9510
Toplam Enerji	23	0.7390	6.8680	5.2550	0.3010	4.0270	0.7350
Toplam Enerji	24	1.2040	8.2630	8.6350	0.4990	6.9390	1.0570
Toplam Enerji	25	0.9830	6.0120	6.5120	0.3940	7.1230	1.0640
Toplam Enerji	26	1.1210	9.9640	8.0310	0.4700	5.9510	1.2240
Toplam Enerji	27	1.8020	13.7200	12.8500	0.7450	10.4690	1.5860
Toplam Enerji	28	0.4420	3.1340	3.1440	0.1830	2.5750	0.4810
Toplam Enerji	29	0.1800	1.1330	0.9870	0.0630	1.4020	0.1350

4. İRDELEME

4.1. Ordu İli Verilerinin İrdelenmesi

4.1.1. Dalga yüksekliği analizi irdelemesi

Yapılan çalışmalar sonucunda Ordu'daki dalga ölçümleri derin deniz sayılabilecek bir derinlikte alınmış olmasına karşın, birey dalga yüksekliklerinin olasılık dağılımı

Rayleigh dağılımınca iyi ölçüde temsil edilmektedir. Ancak, dağılımın Rayleigh dağılımına uyması için gözetilen birey dalga sayısının en az 300 kadar olması gerekmektedir. Ölçümlerden elde edilen H_{ort} ve $H_{1/3}$ arasındaki oran ile Rayleigh dağılımının öngördüğü arasındaki fark uygulama açısından önemli düzeyde değildir.

4.1.2. Dalga periyodu olasılık dağılımının irdelenmesi

Dalga periyodu ölçümlerinden hesaplanan dalga periyodu olasılık dağılımının model dağılımlar ile çok iyi düzeyde uyuşmadığı görülmektedir. Ordu İlinden alınmış olan ölçümler sonucunda, dalga periyodu için önerilmiş olan olasılık dağılım modellerinin dalga yüksekliği için önerilenlere oranla daha az gerçekçi olduğu sonucu elde edilmektedir.

Karşılaştırmalarda gözlenen olasılık histogramlarının tırmanma kesimi ($T < T_{ort}$) için genellikle C-A-E grubu dağılımının , iniş kesimi ($T > T_{ort}$) içinse Longuet-Higgins dağılımının daha doğru olduğu gözlenmiştir. Gözlenen dağılımlar model dağılımlara oranla çoğunlukla daha basıktır

4.1.3. Dalga enerji spektrumu analizinin irdelenmesi

Pierson–Moskowitz (P-M) model spektrumunu da bir özel durum ($\gamma=1.0$) olarak içeren JONSWAP spektrumunun uygun bir model olduğu, bu çalışmanın sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Ancak γ , σ_a ve σ_b parametreleri için ortalama değer olarak sırasıyla 3.30 , 0.07 ve 0.09 önerilmiştir. Bunlar arasında özellikle γ parametresinin önemli ölçüde değişiklik gösterdiği ve önerilen ortalama değer kullanılmasının uygun olmayacağı , izleyen birçok çalışma sonuçlarınca da ortaya çıkartılmıştır.

4.2. Sinop İlinden Alınmış Dalga Verilerinin Bulgularının İrdelenmesi

4.2.1. Tekil Dalga Yüksekliklerinin analizinin irdelenmesi

Yani teorik olarak sunulmuş olan Rayleigh dağılımı Sinop İli deniz dalgalarının tarif edilmesi açısından uygun bir dağılımdır.

4.2.2. Tekil Peryot Analizinin İrdelenmesi

Tekil dalga periyodu teorik dağılımları ile dalga kayıtlarının şekilleri arasında farklılık bulunmaktadır. Çünkü ölçülmüş veriler çok dağınık bir yayılım göstermektedir. Genel olarak bu şekillerin analizinden teorik dağılımların ölçülmüş verilere uymadığı sonucu çıkarılabilir. Bununla birlikte Bretschneider dağılımı ($T_i/T_{ort} \cong 0.75-1.30$ aralığına düşen ölçülmüş veriler için yüksek, bu aralık dışında küçük ihtimaller vermektedir. İlk önce a katsayısı 0.5 ile 1.0 arasında $\Delta a=0.05$ olacak şekilde arttırılarak formül denenmiştir. Ancak bu çalışma sonucunda model dağılım ile ölçüm verileri arasında belirgin bir iyileştirme sağlanamamıştır. Daha sonra n' değeri, $a=0.675$ sabit kabul edilerek değiştirilmiştir. Sonuç olarak $n'=4$ yerine $n'=3$ kullanılması durumunda kıyılarımızdaki dalga periyodu dağılımına daha uygun bir fonksiyon elde edilmiştir. Aşağıdaki tabloda tüm fırtınalar için modifiye edilmiş fonksiyonun, Sinop'ta ölçülmüş veriler ile olan uygunluğu χ^2 testi ile verilmiştir.

Tablo 4. Elde edilen tekil dalga periyotlarının Bretschneider dağılımı ve Modifiye dağılım ile olan uygunluğunu belirleyen χ^2 değerleri

FIRTINA NO'SU	DALGA SAYISI	χ^2 BRETSCH	χ^2 MODİFİYE
1	2438	345.867	166.018
2	2852	1989.071	126.425
3	2079	603.182	77.572
4	442	100.568	43.445
5	2593	4622.555	119.389
6	2604	866.409	62.173
7	2481	294.320	145.764
8	2570	667.207	121.930
9	1693	196.927	106.581
TEORİK ($\chi^2_{20,0.01}$)		37.566	

4.2.3. Tekil dalga yüksekliği ve peryodu ortak olasılık dağılımlarının analizi irdelenmesi

(H_i/H_{ort}) değereri arttıkça r katsayısı gittikçe azalmakta ve iki parametre arasındaki ilişki zayıflamaktadır. Hatta (H_i/H_{ort})>2.0 için ‘‘r’’ katsayısı 0 olmaktadır. Ayrıca bu tablodan bir tekil dalga periyoduna karşılık gelen dalga yüksekliği (H_i/H_{ort}) $\cong 1.50$ ’ye yaklaşık eşitse iki parametre arasında çok zayıf bir ilişki olduğu ve bu oran 2.0 olduğunda neredeyse ilişiksiz bir durum oluştuğu sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca Sinop İli verileri için teorik çalışmalarından en uygun olarak tespit edilmiş olan C-A-E grubu model dağılımı arasında çok başarılı bir uygunluğun söz konusu olmadığı görölmektedir.

4.3. Trabzon İli Sahilinde Ölçülen Dalgaların Özelliklerinin İrdelenmesi

4.3.1. Dalga yüksekliklerinin Rayleigh dağılımı ile uyumunun irdelenmesi

Trabzon İli dalga yüksekliği gözlemsel verileri ile teorik Rayleigh dağılımı arasında χ^2 testi ile ortaya konan uyumluluk hiçbir dalga kaydı için sağlanmamıştır. Bunun sebebi, daha önceki konularda değinildiği gibi, analiz edilecek dalga kaydında en az 300 dalga verisinin olması gerekliliği ve Trabzon’da okunmuş olan dalga kayıtlarında 27 ile 168 arasındaki az sayıda değişen dalganın bulunmasıdır.

4.3.2. Dalga periyodu verilerinin Bretschneider ve modifiye Bretschneider dağılımları ile uyumunun irdelenmesi

Trabzon İli dalga periyodu verileri ile teorik Bretschneider dağılımı ve Murat TURHAN tarafından modifiye edilmiş Bretschneider periyot dağılımı arasında χ^2 testi ile ortaya konan uyumluluk her iki dağılım için de 10 kabul 19 red olacak şekilde elde edilmiştir. Buradan görölmektedir ki her iki dağılım da Trabzon ili dalga verilerini çok iyi düzeyde olmasa dahi temsil edebilmektedir. Özellikle modifiye edilmiş Bretschneider dağılımı χ^2 değerleri, Bretschneider dağılımına oranla çok daha başarılı bir uyuma sahiptir.

4.3.3. Dalga yüksekliği-dalga peryodu ortak olasılık eğrilerinin irdelenmesi

H-T arasında bir korelasyonun olduğu sonucu elde edilebilmektedir. Ancak bu ilişkinin biraz zayıf olmasından dolayı şekillerde yaklaşık $\tau=1$ etrafında fazla sapmayan bir dağılım oluşmaktadır. Bu sonuçlar H-T olasılık dağılımlarında yaygın olarak kullanılan Bretschneider, Longuet-Higgins ve C-A-E grubu olasılık dağılımlarında C-A-E grubu olasılık dağılımının Trabzon İli dalga verilerinin tarifinde daha uygun olacağını göstermektedir. llen tüm gözlemsel dalga verileri içinse en uygun teorik dağılımın C-A-E grubu dağılımı olduğu elde edilen eğrilerden açıkça görülebilmektedir.

4.3.4. Dalga verilerinin teorik frekans spektrumları ile olan uyumunun irdelenmesi

Dalga bölgesine ait toplam enerji değerleri 5 teorik spektrum modeli ve Trabzon İlinden alınan gözlemsel dalga verileri için elde edilmiştir. (Bu çalışmada uygunluğu araştırılacak teorik spektrumlar olarak Neumann,Bretschneider,Mitsuyasu,ITTS ve ISSC spektrumlarının ele alınmasının nedeni bu spektrumların formülleri içinde herhangi bir rüzgar parametresi değerini bulunmamasıdır. Trabzon İline ait dalga kayıtlarının alındığı tarihlerdeki rüzgar verileri mevcut olmadığından, içerisinde rüzgar verisi barındıran spektrum modellerinin sahip olduğu enerjinin hesaplanması imkanı bulunmamaktadır.)

Gözlem verileri ile teorik spektrumların sahip oldukları toplam enerji değerleri arasındaki oranlar aşağıda sunulmaktadır:

Neumann Spektrumu / Gözlenen değerler = 0.816 (% 81.60)

Bretschneider Spektrumu / Gözlenen değerler = 6.764 (% 676.40)

Mitsuyasu Spektrumu / Gözlenen değerler = 5.657 (% 565.70)

ITTS Spektrumu / Gözlenen değerler = 0.325 (% 32.50)

ISSC Spektrumu / Gözlenen değerler = 3.300 (% 330.00)

Bu sonuçlar irdelenecek olursa gözlem verilerinin sahip oldukları enerji değerine en yakın sonucu veren spektrumun Neumann Spektrumu olduğu grlmektedir. Diğer spektrum yöntemlerinden ITTS spektrumu gözlemsel verilerinden ortalama olarak yaklaşık

3 kat düşük değerler vermekteyken, Bretschneider spektrumu ortalama 6.7 kat, Mitsuyasu spektrumu 5.6 kat, ISSC spektrumu ise 3.3 kat daha fazla değer vermektedir.

Bu sonuçlardan anlaşılmaktadır ki seçilmiş olan 5 spektrum modeli içinden Trabzon İli dalga verilerine en uygun olanı Neumann Spektrumu iken diğer spektrum modelleri oldukça farklı değerler vermektedir.

5.SONUÇLAR

1. Karadeniz bölgesi gözlemsel tekil dalga yüksekliklerinin olasılık dağılımları Rayleigh dağılımı tarafından Ordu,Sinop İlleri verileri için düzeyli bir uyum göstermektedir. Ancak Trabzon İli gözlemsel verileri, Rayleigh dağılımı tarafından temsil edilmemektedir. Bunun nedeni Trabzon İlinden alınmış olan verilerin az sayıda olması ve düzensiz bir dağılım göstermektedir.

2. Elde edilen dalga periyotlarının olasılık dağılımı daha önce elde edilmiş ve sıkça kullanılan teorik dağılımlar ile (Bretschneider,Longuet-Higgins ve Cavanier-Arhan-Ezraty dağılımları) iyi bir şekilde uyuşmamaktadır. Bu nedenle Karadeniz dalga verilerine uyabilecek bir modifiye dağılım elde edilmiştir. Bu dağılımın Karadeniz kıyıları için tekil periyot dağılımlarını daha iyi bir şekilde tarif ettiği uyumluluk testleri ile tespit edilmiş ve bu dağılımın kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

3. Dalga periyodu ile dalga yüksekliği ortak dağılımlarının daha önce sunulmuş olan üç ayrı teorik dağılıma fazlaca uymadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan elde edilen dağılımların yüksek periyotlar yönünde çarpık bir şekle sahip olduğu,H-T ortak olasılık dağılımlarından Cavanier ve arkadaşlarınca sunulan teorik dağılım ile daha iyi bir şekilde temsil edilebildiği tespit edilmiştir.

4. Trabzon İli dalga verilerinin sahip oldukları toplam enerjinin,test edilen spektrum modellerinden en fazla Neuman spektrumu ile uyuştuğu belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

Bretschneider, C.L., "Wave Variability and Wave Spectra for Wind Generated Gravity Waves", U.S. Army Corps of Engineers, BEB Tech. Memo. No. 113, (1959)

Cavanier, A., Arhan, M., Ezraty, R., "A Statistical Relationship Between Individual Heights and Periods of Storm Waves", Proc. Behavior of Offshore Structures (BOSS'76), Trondheim, Norway, (1976).

Goda, Y., "A Review on Statistical Interpretation of Wave Data", Rept. Port and Harbor Research Institute, Ministry of Transport, Japan, vol.18, no.1, (March, 1979).

Goda, Y., "Random Seas and Design of Maritime Structures", University of Tokyo, (1985).

Ippen, Arthur T., "Estuary and Coastline Hydrodynamics", (Bretschneider, C.L., Wave Generation by Wind Deep and Shallow Water), Mc Graw-Hill Book Company Inc., (1966)

Longuet-Higgins, M. S., "On the Statistical Distribution of Heights of Sea Waves", Journal of Marine Research, vol.IX, no3, pp.245-266, (1952).

Longuet-Higgins, M. S., "On the Joint Distribution of the Periods and the Amplitude of Sea Waves", Journal of Geophysical Research, Vol. 80, no.18, pp.2268-2694, (1975).

Özhan, E., Günbak, A. R., Ergin, A., Yalçiner, A. C., Acar, S. O., O.D.T.Ü., KLARE; Ankara, (1982).

Turhan, M.M., "Short-Term Statistical Analysis of Wind-Wave Characteristics Measured Along the Turkish Coast", A Thesis of Middle East Technical University, Ankara, (1996)

ABSTRACT

(PROPERTIES OF BLACK SEA REGION WAVE DATA)

In this study, height and period distribution and spectral properties of wave data which were measured in Trabzon and Sinop are presented.

In the spectral analysis of Ordu data, it was concluded that the most proper spectrum is JONSWAP spectrum.

The height distribution of Trabzon data is not in agreement with Rayleigh distribution. Modified Bretschneider Distribution is found to be suitable for these data. For height, period joint distribution which was proposed by Cavanier et.al. is the most proper one. Five type of spectrum are studied and Neuman spectrum is determined the best one to agree with the data.

In studying the Sinop Data, the best distributions for wave height, wave period and height-period joint distribution were found as Rayleigh, Modified Bretschneider and Cavanier et. al., respectively.

