



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karaburunun Deniz Dür. Dalga Enerji Spek. Yönt. İnc.

Yüksek Lisans Tezi

MAHİR BATU

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R.150-667

Kayıt No : 4427

Geldiği Yer : Fen Bil. Enst.

Tarih : 26.05.2009

Fiyat : 5.60

Fatura No :

Aylyat No :

Ek :

25207020377720009080900001

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

XI-112

**KARABURUN DENİZ DURUMUNUN DALGA ENERJİ
SPEKTRUMU YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

667

İnşaat Mühendisi Mahir BATU

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Esin ÇEVİK

İSTANBUL, 2008

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

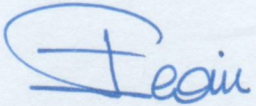
KARABURUN DENİZ DURUMUNUN DALGA ENERJİ
SPEKTRUMU YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

İnşaat Mühendisi Mahir BATU

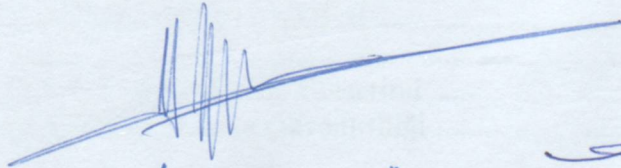
FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

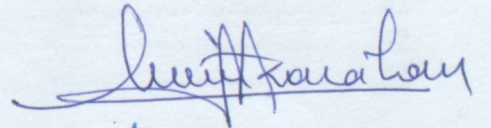
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Esin ÇEVİK



Prof. Dr. Esin Çevik



Prof. Dr. Yakan Yüksel



Prof. Dr. M. Emin Karahan

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	ii
KISALTMA LİSTESİ	ivv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. DENİZ DALGALARI ve DALGA SPEKTRUMU	3
2.1 Spektrum Analizinin Teorisi ve Dalga Spektrumunun Elde Edilmesi	3
2.1.1 Deniz Dalgalarının Tanımı	3
2.2 Dalga Spektrumu Nedir?	9
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve PARAMETRİK DALGA SPEKTRUM MODELLERİ	15
3.1 Parametrik Dalga Spektrum Modelleri (Çevik, 2006)	15
3.1.1 Genel Form	15
3.1.2 Neumann Spektrumu	16
3.1.3 Pierson- Moskowitz Spektrumu	16
3.1.4 Bretschneider Spektrumu	16
3.1.5 ISSC Spektrumu	17
3.1.6 ITTC Spektrumu	17
3.1.7 Jonswap Spektrumu	17
3.1.8 Wallops Spektrumu	18
3.1.9 Scott Spektrumu	18
3.1.10 Liu Spektrumu	18
3.1.11 Mitsuyasu Spektrumu	19
3.1.12 Ochi- Hubble Spektrumu	19
3.1.13 TMA Spektrumu	20
3.1.14 Spektrum Modellerinin Değişimi	21
3.2 Parametrik Spektrum Hesaplanması ve TMA Spektrumu	22
3.3 Goa' da Deniz Rüzgarlarının Etkilerinin TMA Spektrumu İle Araştırılması	29
3.4 Deniz Dalgaları İçin Basitleştirilmiş Çift Pikli Spektrum Modelleri	33
4. KARABURUN BÖLGESİ DENİZ DURUMUNUN DALGA ENERJİ SPEKTRUMU İLE İNCELENMESİ	42
4.1 Giriş	42
4.2 Spektrumun Fırtına Şartları ile Gösterimi	42
4.3 Dalga Enerji Spektrumunun Güvenirliliği	52
5. SONUÇLAR	95
6. EKLER	98

SİMGE LİSTESİ

a	Dalga genliği
a_j	Tekil dalga genliği
E	Dalganın birim alandaki enerjisi
f	Dalga frekansı
f_p	Dalga spektrumunun pik frekansı
g	Yerçekimi ivmesi
$G(\theta/f)$	Dalga spektrumu yönlü dağılım fonksiyonu
H	Dalga yüksekliği
H_s	Belirgin dalga yüksekliği
H_{maks}	Maksimum dalga yüksekliği
$H_{1/3}$	Belirgin dalga yüksekliği
H_{rms}	Dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü
H/L	Dalga dikliği
k	Dalga numarası
L	Dalga boyu
m_0	Frekans spektrumunun sıfırncı momenti
m_2	Frekans spektrumunun ikinci momenti
N	Gözlenen tekil dalga sayısı
P_f	Gözlenen spektrumun enerjisi
R	Uygunluk kavramı
$S(f)$	Dalga varyans spektrumu
$S(f, \theta)$	Yönlü dalga spektrumu
$S(T_p)$	Enerji spektrumun pik periyodu
t	Zaman değişkeni
T	Dalga periyodu
T_p	Dalga spektrumunun pik periyodu
T_z	Sıfırı yukarı kesme periyodu
$T_{1/3}$	Belirgin dalga periyodu
\bar{T}	Ortalama dalga periyodu
\bar{U}	Rüzgar hızı

X_o	Boyutsuz feç uzunluğu
w	Açısal frekans
w_j	Tekil dalga açısal frekansı
$w(h)$	Boyutsuz frekans
α	Ölçek parametresi
δ	Başlangıç fazı
γ	Pik artış faktörü
λ	Şekil faktörü
ε	Spektrumun genişlik parametresi
τ	Şekil parametresi
σ	Spektrum genişlik faktörü
ϕ_j	Tekil dalga faz açısı
η	Dalga profili
Δ_f	Frekans bant genişliği

KISALTMA LİSTESİ

CEM	Coastal Engineering Manual
FFT	Fast Fourier Tranformasyon
JGR	Journal Geophysical Research
JPO	Journal of Physical Oceanography

Şekil 2.5 Geçek ve Yavaş Profili

Şekil 2.6 Dalga Enerji Yoğunluğu Yoğunluğu ile Ornek

Şekil 2.7 Dalga Spektrumları Aşağı Frekans Serisi

Şekil 2.8 Dalga spektrumları Ornek (Erişim Enerji yoğunluk Spektrumu)

Şekil 2.9 Dalga Spektrumu Yoğunluk Fonksiyonu (P44 ve JPO'daki Spektrumlar)

Şekil 2.10 H_s ve T_w Arasındaki Kombinasyonlu Uzun Periyotlu Dalgaların

Şekil 2.11 Rüzgar ve sahneli Dalgaların biriktirildiği Ornek Dalga Spektrumu

Şekil 2.12 Rüzgar ve Sahneli Spektrumlarının Karşılaştırılması

Şekil 2.13 Dalga Spektrumları ile Farklı Ayrıştırma

Şekil 2.14 Farklı Spektrum Modellerinin Enerji Dağılımlarına Ornek (Günümüz, 1987)

Şekil 2.15 1.21 m'lik Belirli Dalga Yüksekliği için Dalga Tepesindeki Değişim

Şekil 2.16 CEM'deki TMA ve TMA ve Güçlü Dalga Karşılaştırılması (a) H_s (b) T_w

Şekil 2.17 1-15 Ocak 1997 Arasında Deniz Rüzgarlarının Değişimi

Şekil 2.18 Farklı H_s ve T_w için 1-15 Ocak 1997 arasında T_w ve H_s arasındaki

Şekil 2.19 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.20 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.21 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.22 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.23 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.24 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.25 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.26 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.27 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.28 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.29 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.30 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.31 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.32 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

Şekil 2.33 Güçlü Dalga Spektrumu (Kısa Dalgalar ve Uzun Dalgalar) Spektrumu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sinüzoidal Dalgada Dalga Karektislikleri	3
Şekil 2.2 3D Olarak Sinüzoidal Dalganın En- Kesit Görünüşü	4
Şekil 2.3 Su Seviyesi Salınımının Zamana Bağlı Değişimi	5
Şekil 2.4 Farklı Dalga Boyu ve Genliğe sahip Bir Çok Sinüzoidal Dalganın bileşenleri	6
Şekil 2.5 Gerçek Su Yüzeyi Profili	6
Şekil 2.6 Dalga Enerji spektrumu Yoğunluğuna Bir Örnek	7
Şekil 2.7 Dalga Spektrumuna Ait tipik Bir Frekans Serisi.....	10
Şekil 2.8 Dalga spektrumuna Örnek (Dalga Enerji yoğunluk Spektrumu)	12
Şekil 2.9 Dalga Spektrum Yoğunluk Fonksiyonları (P-M ve Jonswap Spektrumları)	12
Şekil 2.10 H_s ve T_z Arasındaki Kombinasyonu Gösteren Saçılım Diyagramı	13
Şekil 2.11 Rüzgar ve soluğan Dalgalarının birlikte Olduğu Dalga Spektrumu.....	14
Şekil 3.1 P-M ve Jonswap Spektrumlarının Kıyaslanması.....	18
Şekil 3.2 Dalga Spektrumunun İki Parçaya Ayrılması	20
Şekil 3.3 Farklı Spektrum Modellerinin Enerji Dağılımlarına Örnek (Chakrabarti ,1987)	21
Şekil 3.4. 1.21 m deki Belirgin Dalga Yüksekliği İçin Dalga Işınındaki Değişiklik	23
Şekil 3.5. Çift Pikli TMA , TMA ve Gözlenen Dalganın Karşılaştırılması (a) İki Pikli (b) Tek Pikli.....	26
Şekil 3.6. 1-15 Nisan 1997 Arasında Deniz Rüzgarlarının Hodograf Değerleri.....	30
Şekil 3.7. Frekans (Hz) ve zamanın (1-15 Nisan 1997 arasında 3 saatlik) fonksiyonu olan..... spektrum yoğunluk fonksiyonu (m^2/Hz).....	31
Şekil 3.8. Gözlemlenen Spektrum (Kalın Çizgi) ve Teorik (Kesikli Çizgi) Spektrumum..... Karşılaştırılması.....	32
Şekil 3.9. Gözlenen Spektrumun Rüzgar Hızıyla TMA Spektrumuna Ait Rüzgar Hızı (m/s).33	
Şekil 3.10. $T_p \leq T_{pf}$ İçin Rüzgara Bağlı Belirgin Dalga Yüksekliğinin Toplamına Oranı,	37
Şekil 3.11. $T_p \leq T_{pf}$ İçin Rüzgara Bağlı Pik Artış Faktörü.	37
Şekil 3.12 $T_p > T_{pf}$ İçin Kabarmaya Bağlı Belirgin Dalga Yüksekliğinin Toplamına Oranı	38
Şekil 3.13 $T_p > T_{pf}$ İçin Kabarmaya Bağlı Pik Artış Faktörü	38
Şekil 3.14 Spektral Model İle Ölçülmüş Modelin Karşılaştırılması	39
Şekil 3.15 Dalga Periyot Parametresinin T_{02} Karşılaştırılması	39
Şekil 3.16 Gulfaks C İçin Dalga Spektrumu	40
Şekil 3.17 Ölçülmüş spektrum ve basitleştirilmiş spektrumun aynı başlangıç pik değeri için.... Ochi-Hubble spektrumu ile karşılaştırılması.....	41

Şekil 3.18 $H_s = 2m$, $T_p = 5s$, için mevcut modelle orijinal modelin karşılaştırılması.....	41
Şekil 3.19 $H_s = 5m$, $T_p = 16s$, için mevcut modelle orijinal modelin karşılaştırılması.	41
Şekil 4.1 Karaburun'un konumu.....	43
Şekil 4.2 04.09.2003 tarihinde belirgin dalga yüksekliği değişimi ile fırtına oluşumu	45
Şekil 4.3 04.09.2003 tarihli, 02:51:00'a ait spektrum eğrisi	46
Şekil 4.4 04.09.2003 tarihli, 08:51:00'a ait spektrum eğrisi	46
Şekil 4.5 04.09.2003 tarihli, 12:51:00'a ait spektrum eğrisi	47
Şekil 4.6 04.09.2003 tarihli, 14:51:00'a ait spektrum eğrisi	47
Şekil 4.7 04.09.2003 tarihli, 18:51:00'a ait spektrum eğrisi	48
Şekil 4.8 04.09.2003 tarihli, 22:51:00'a ait spektrum eğrisi	48
Şekil 4.9 15.04.2004 tarihli, 01:51:00 – 11:51:00 – 13:51:00'a ait dalga spektrum enerji	51
eğrileri.....	51
Şekil 4.10 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi	55
Şekil 4.11 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi... ..	55
Şekil 4.12 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi	56
Şekil 4.13 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi	56
Şekil 4.14 17.01.2004 tarihli, 17:51:00 dalga spektrum eğrisi.....	57
Şekil 4.15 04.09.2003 tarihli, 08:51:00 dalga spektrum eğrisi.....	58
Şekil 4.16 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi	59
Şekil 4.17 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi	59
Şekil 4.18 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi	60
Şekil 4.19 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi	60
Şekil 4.20 04.09.2003 tarihli, 06:51:00 dalga spektrum eğrisi.....	61
Şekil 4.21 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı.....	65
Şekil 4.22 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı	66
Şekil 4.23 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	67
Şekil 4.24 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait çift pikli pik frekans dağılımı.....	68
Şekil 4.25 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı.....	69
Şekil 4.26 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı	70
Şekil 4.27 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	71
Şekil 4.28 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	72
Şekil 4.29 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı.....	73
Şekil 4.30 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı	74
Şekil 4.31 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	75

Şekil 4.32 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	76
Şekil 4.33 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği	77
dağılımı.....	77
Şekil 4.34 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı.	78
Şekil 4.35 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	79
Şekil 4.36 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	80
Şekil 4.37 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı.....	81
Şekil 4.38 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı	82
Şekil 4.39 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	83
Şekil 4.40 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	84
Şekil 4.41 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji – frekans dağılımı	85
Şekil 4.42 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	86
Şekil 4.43 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	87
Şekil 4.44 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji – frekans dağılımı	88
Şekil 4.45 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı.....	89
Şekil 4.46 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı	90
Şekil 4.47 30.08.2003 – 07.09.2003 tarihli döneme ait dalga enerji spektrumlarını üç boyutlu..	92
dağılımı.....	92
Şekil 4.48 10.09.2003 – 19.09.2003 tarihli döneme ait dalga enerji spektrumlarını üç boyutlu..	93
dağılımı.....	93

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Analizde kullanılan belirgin dalga yüksekliği grupları	27
Çizelge 3.2 "Uygunluk Derecesi" TMA spektrum için (Bouws vd.,1985a) ve çift pikli TMA .. spektrum	29
Çizelge 4.1 Karaburun'da su seviyesi ölçüm dönemleri	43
Çizelge 4.2 04.09.2003, 02:51 – 22:51 arası ölçüm verilerine ait H_s, T_s, E_p, f_p	49
Çizelge 4.3 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait enerji ve frekans değerleri	62
Çizelge 4.4 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait enerji ve frekans değerleri	62

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ve tez çalışmam boyunca sahip olduğu tecrübe, bilgi ve desteği benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Esin ÇEVİK'e, hocam Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan kardeşim Hasan BATU'ya, üniversite ile ilgili konularda bana anlayış gösteren Sayın Tefvik ESKİMUMCU'ya, ihtiyacım olduğunda beni yalnız bırakmayan ve anlayış gösteren tüm dostlarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Hayatımın her alanında bana destek olan aileme, tez çalışmalarım sırasında göstermiş oldukları sabır ve anlayış için minnetlerimi sunuyor, bu tezi onlara ithaf ediyorum.

ÖZET

Son yıllarda mühendislerce çeşitli tiplerde deniz yapıları inşa edilmektedir. Deniz yapılarının inşa süresi için uzun bir zamana ihtiyaç duyulması, bu yapılara etki eden tasarım parametrelerinin belirlenmesi, yapım maliyetinin yüksek olması, ayrıca ülke ekonomisinde önemli bir fonksiyona sahip olmaları mühendislerin çeşitli araştırmalara yönelmesine sebep olmaktadır. Başlıca deniz yapıları limanlar, dalgakıranlar, kıyı duvarları, mahmuzlar ve platformlar olarak verilebilir. Bu yapıların rüzgâr, akıntı, dalga ve deprem gibi doğal çevresel etkilere karşı fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri istenmektedir. Dalgalar deniz yapılarını etkileyen çevresel şartlar arasında en önemli olanıdır ve deniz yapılarının projelendirilmesinde önemli bir faktördür.

Karaburun bölgesi deniz durumunu incelemek amacıyla çeşitli dalga spektrum modelleri araştırılmış ve ölçüm dönemlerine ait su seviyesi ölçümlerinin kullanılmasıyla farklı şekillerde dalga enerji spektrumları elde edilmiştir. Dalga enerji spektrumlarının FFT analizi ile değerlendirilerek enerji seviyeleri ve frekans değerleri incelenmiş, bu inceleme sonucunda dalga enerji spektrumlarının büyük bir kısmının (%96.95) tek pikli olduğu ve küçük bir kısmının (%3.05) ise çift pikli olduğu tespit edilmiştir. Karaburun bölgesi deniz durumu hakkında yapılan analiz ve araştırmalar sonucunda Karaburun bölgesinde rüzgar dalgalarının hakim olduğu görülmektedir. Bu amaçla hazırlanan tez ilgili konuları ayrı ayrı bölümlerde ele almaktadır.

Bu çalışmada deniz dalgalarının tanımı, dalga karakteristikleri ve dalga spektrumu kavramları tartışılmış ve dünyada kullanılmakta olan çeşitli parametrik dalga spektrum modelleri incelenmiştir.

Ancak bilindiği gibi dünyada farklı yerlerde elde edilen dalga enerji spektrumları kendi bölgesi için özel olduğundan hiçbir dalga spektrum modeli dünyanın tüm kıyısal alanlarında kullanılamamakta ve bu nedenle her bölge için ayrı bir model elde edilmeli ya da en iyi temsil eden mevcut modellerden biri kullanılmalıdır.

Bu nedenle araştırmada Karaburun bölgesi deniz durumu dalga enerji spektrumu yöntemiyle incelenmiştir. Karaburun'da farklı dönemler için elde edilen su yüzeyi ölçümleri FFT (Fast Fourier Transform) analizi ile değerlendirilerek dalga enerji spektrumları elde edilmiş ve ölçüm dönemi için Karaburun bölgesi deniz durumu tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler : Dalga enerji spektrumu, parametrik spektrum, fırtına dalgası, soluşan dalgası.

Considering the condition of Karaburun sea with wave energy spectrum

ABSTRACT

In recent years, various parts of ocean constructions have been built by engineers. The erection of ocean constructions takes a long time, as duty the assignment of design parametres for ocean constructions and construction cost is considerably high, also these constructions are an important function of countries economics. Because of that, engineers face various researches on these constructions. Main ocean construction can be ports, breakwaters, inshore walls, fenders and platforms. These constructions are desired to be remained functional against natural environmental effects such as winds, flows, waves and earthquakes. Waves are the very important factor in enviromental conditions for ocean constructions and to project these constructions waves are the major factor.

The sea condition of Karaburun area has been searched by using wave spectrums models for investigation and also different shaped wave energy spectrums has been attained by using measurement of sea levels in measurement periods. By using FFT (Fast Fourier Transform) analysis of wave energy spectrums some of energy levels and frequency values has been searched, as result of this research major part (96.95 %) of wave energy spectrums were found to be self- peaked and also minor part (3.05%) was found to be double-peaked. As result of analysis and researchs, the sea condition of Karaburun area that wind wave is dominated in Karaburun has been occured. The aim of this thesis is to discuss related subject with one by one chapter.

In this labour definition of ocean waves, wave characteristics and wave spectrums concept is discussed and various of parametric spectrum models that is using in Earth has been searched.

However, it is known, neither of wave energy spctrums used to all of the coastal areas of Earth which wave energy spectrum is special for own area is attained in diffrent parts of Earth and therefore for every area attains distinct models or using the best representative models.

Therefore, in this research, the sea condition of Karaburun has been searched by using wave energy models. In this study the attained measurement of sea surface in varied period was valuated with FFT (Fast Fourier Transform) analysis, wave energy spectrums were attained and the sea condition of Karaburun was discussed for measurement periods.

Keywords : Wave energy spectrum, parametric spectrum, storm wave, swell wave.

1 GİRİŞ

Dünyada mühendislerce çeşitli tiplerde deniz yapıları inşa edilmektedir. Limanlar için rıhtımlar ve dalgakıranlar, kıyı koruma için kıyı duvarları ve mahmuzlar, denizaltından petrol çıkarılması için platformlar deniz yapılarına ait bazı örneklerdir. Ayrıca kıyı alanlardaki erozyon ve yığılma problemleri ile kıyı çizgisinde meydana gelen değişimler ve bunların kontrol edilmeleri kıyı alanlarındaki diğer örneklerdir. Bu yapılar rüzgâr, akıntı, dalga ve deprem gibi doğal çevresel etkilere karşı fonksiyonlarını yerine getirebilmelidirler (Çevik, 2006).

Dalgalar deniz yapılarını etkileyen çevresel şartlar arasında en önemli olanıdır ve deniz yapılarının projelendirilmesinde önemli bir faktördür. Deniz yüzeyindeki dalgaların üretilmesi ve bu dalgaların hareketleri uzun yıllardır incelenmektedir. Bu nedenle matematiksel olarak çeşitli dalga teorileri geliştirilmiştir, trokoidal, cnoidal, soliter ve küçük genlikli dalga teorileri bunlara örneklerdir (Çevik, 2006).

Dalgalar yukarıda bahsedilen dalga teorilerindeki gibi düzenli olmayıp zamana ve konuma göre düzensiz yani rasgele karaktere sahiptirler. Denizel ortamda yapılar genellikle iki farklı fırtınayla karşılaşmaktadırlar. Bunlar rüzgâr dalgaları ve soluğan dalgalarıdır. Rüzgâr dalgalarının en önemli özelliği düzensiz olmaları yani sinüzoidal formda olmamalarıdır. Profilleri zamana göre rasgele değişmekte ve ne zamansal ne de uzamsal olarak tekrar etmemektedirler. Uzun mesafeli fırtınaların yaratmış olduğu soluğan dalgaları ise rüzgâr dalgalarına göre oldukça düzenli olsa da yine de düzensizdirler. Bu nedenle rüzgâr dalgası ile ölü deniz dalgasının oluşturmuş olduğu bir deniz durumunun modellenmesinde rasgele dalgalar kullanılmaktadır.

Dalga verilerinin analizinde dalgaların kısa ve uzun dönemli analizleri birbirlerinden farklıdır. Kısa dönemli dalga analizi bir fırtına sırasında oluşan dalgaların analizi iken uzun dönemli dalga analizi her biri kısa dönemli dalga analizi sonucunda yıllarca elde edilmiş olan dalgaların analizidir.

Genelde kısa dönemli dalga analizi iki yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar zaman ve frekans alanında analizlerdir. Zaman alanında analizde kayıttaki dalgalar sıfırı yukarı ya da aşağı kesme yöntemiyle teker teker belirlenir ve bunlar kullanılarak çeşitli karakteristik dalga parametreleri elde edilir. Frekans alanında analiz ise spektrum analizidir. Spektrum analizinde çeşitli frekanslardaki dalgaların enerjileri hesaplanarak frekansa karşı çizilmektedir. Elde

edilen bu enerji spektrumundan yine karakteristik dalga parametreleri hesaplanabilmektedir. Spektrum yöntemini incelemeyen önce spektrum kavramının ne olduğu açıklanmalı. Spektrum kavramı ilk olarak Newton tarafından ortaya konulmuştur. Newton bir prizma yardımıyla güneş ışığının birkaç renklere ayrıştığını görmüştür. Spektrum ışık yoğunluğunun dalga boyu ile değişimini göstermektedir. Bu kavram beyaz ışığın, çok çeşitli renklerdeki sayısız ışık bileşeninden oluştuğu prensibine dayanmaktadır. Karmaşık bir fiziksel olayın tekil bileşenlere ayrılması tekniği birçok fiziksel probleme uygulanmaktadır. Buna spektrum analizi denmektedir. Spektrum analizi dalga enerjisinin frekansa göre dağılımını vermektedir. Bu yöntemin temeli zaman alanından frekans alanına bir dönüşümdür ve FFT (Fast Fourier Transform) denilen matematiksel tekniğin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Çevik, 2006).

Bu çalışmada Karaburun bölgesinde elde edilen su yüzeyi ölçümleri kullanılarak spektrum analizi yardımıyla bölgenin deniz durum tartışılacaktır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde deniz dalgalarının özelliklerinden bahsedilerek spektrum kavramı anlatılacaktır. Üçüncü bölümde literatür çalışması ve parametrik dalga spektrum modelleri, dördüncü bölümde Karaburun Bölgesi deniz durumu dalga enerji spektrumu ile incelenecektir. Besinci bölümde ise sonuçlar tartışılacaktır.

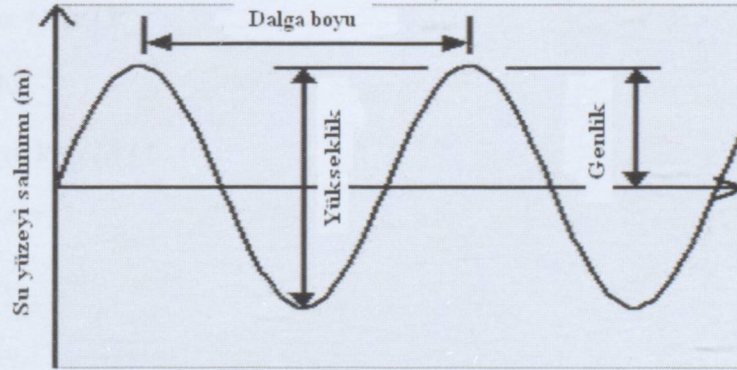
2. DENİZ DALGALARI ve DALGA SPEKTRUMU

2.1 Spektrum Analizinin Teorisi ve Dalga Spektrumunun Elde Edilmesi

2.1.1 Deniz Dalgalarının Tanımı

Deniz ve okyanuslarda oluşan dalga hareketinin en tipik özelliği periyodik bir yapıya sahip olmasıdır. Periyodik dalgalar kendilerini oluşturan ağırlık, kapilarite gibi kuvvetlere, periyotlarına, yayıldıkları ortamın derinliğine vs. göre sınıflandırılmaktadır. Rüzgar gerilmesi, rüzgar değişimi, deprem, güneş ve ay çekimi gibi çeşitli sebeplerden dolayı oluşan farklı periyotlara sahip dalga tipleri mevcut olmaktadır.

Uzunluğu yüksekliğine göre fazla olan dalga en basit olarak sinüzoidal dalga olarak tanımlanmaktadır. Böyle bir dalga üzerinde dalganın karakteristik özellikleri Şekil 2.1'de görülebilmektedir. Şekil 2.1'in incelenmesiyle dalganın karakteristik özellikleri hakkında bazı tanımlamalar yapılmaktadır (Çevik,1998).



Şekil 2.1 Sinüzoidal dalgada dalga karakteristikleri

Dalga boyu (L): Ardışık iki dalga tepesinin veya dalga çukurunun arasındaki yatay mesafe.

Dalga yüksekliği (H): Ardışık iki dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki dikey mesafe.

Genlik (a): Dalga yüksekliğinin yarısı

Dalga dikliği (H/L): Dalga yüksekliğinin dalga uzunluğuna oranı.

Şekil 2.1'de gösterilen dalga karakteristik özellikleri en basit haliyle düzenli dalga olarak da tanımlanmaktadır. Şekil 2.2'de ise sinüzoidal dalga tipi üç boyutlu olarak gösterilmektedir.

Dalgalara ait diğerk bir parametre ise periyot T veya frekans f 'dir. Aynı enkesitten ardışık iki tepe veya çukurun geçmesi için gereken zaman aralığı (saniye cinsinden) periyot olarak tanımlanmaktadır. Basitçe $f = 1/T$, yani frekans biliniyorsa periyot biliniyordur. Derin denizde dalga boyu, frekans ve periyot arasında şöyle bir ilişki söz konusudur ($T \propto \sqrt{L}$) ve ($f \propto 1/\sqrt{L}$)'dir. Genellikle dalga frekansının çok daha kolay ölçülebilir olması nedeniyle dalga boyu yerine dalganın frekansı dikkate alınmaktadır.

Dalga karakteristiklerinin açıklanmasına bağlı olarak bir deniz dalgası sakin su seviyesinin sinüzoidal bir formda yayılması olarak düşünölmektedir. ω frekansına sahip tek bir sinüzoidal dalga için dalga profili aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t + \delta) = a \cos(kx - \omega t + \delta) \quad (2.1)$$

Burada

H = dalga yüksekliğı

a = genlik, $a = H/2$

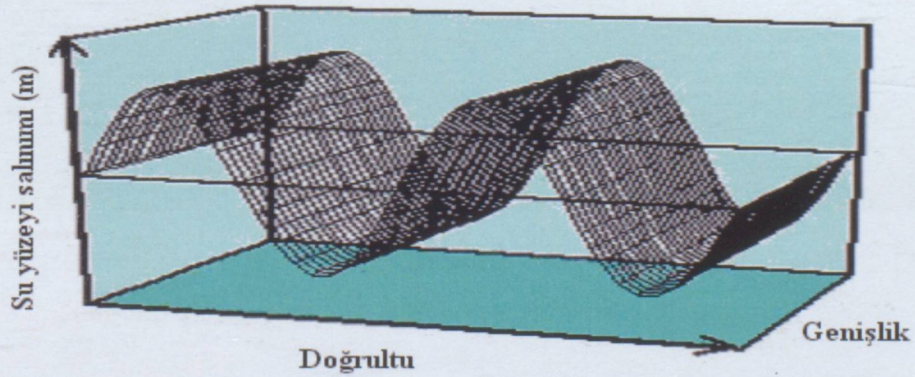
ω = açısal frekans = $2\pi/T$

T = dalga periyodu

k = dalga numarası, $k = 2\pi/L$

L = dalga boyu

δ = başlangıç fazı

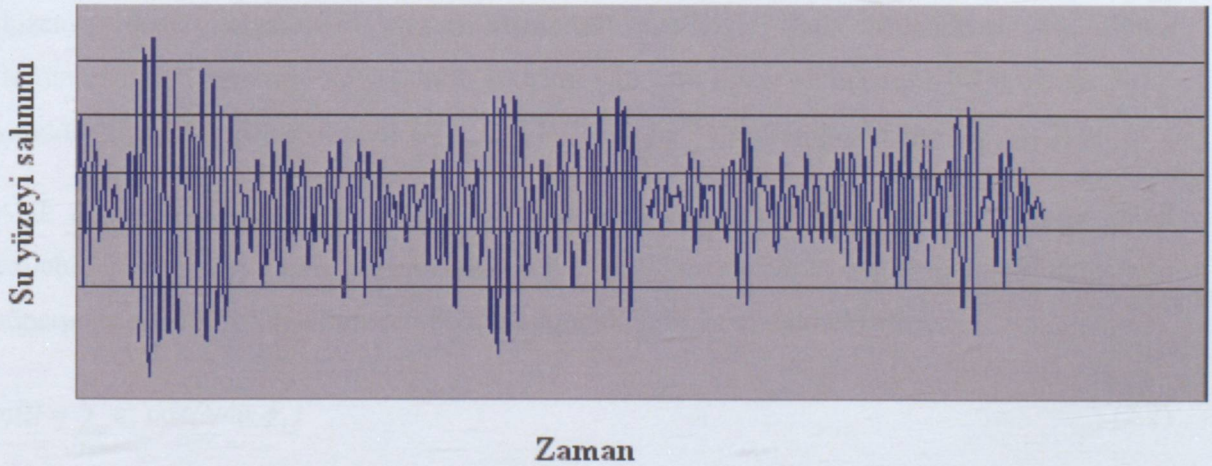


Şekil 2.2 3D olarak sinüzoidal dalganın en-kesit görünüşü

Dalga yüksekliği, dalga boyu ve su derinliği ile mukayese edildiğine oldukça k¼¼k¼¼se, matematiksel olarak bu tip dalgalar lineer dalga olarak isimlendirilmektedir. Lineer dalga teorisinin en önemli avantajı, süperpoze edilebilme imkanını sağlamasıdır. Ancak lineer dalga teorisi sadece küçük genlikli dalgalar için geçerli olmakta ve bu dalgalar da sinüzoidal forma sahiptirler. Dalgalar gerçek denizde yaklaşık olarak bu şekilde gör¼¼lebilmektedir, özellikle soluğan dalgalarında, ancak genelde su yüzeyi çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir.

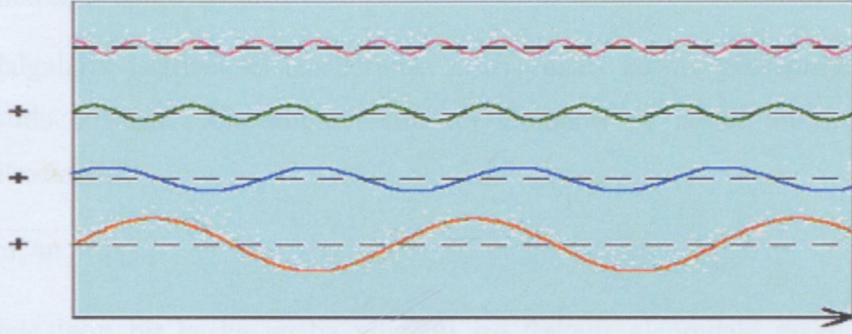
Tekil dalgalar bir çok istatistiksel analiz gereği bazı ampirik yöntemler ve dalga teorileri ile hesaplanmaktadır. Örneğin, sıfırı yukarı/aşağı kesme yönteminde olduğu gibi karakteristik dalga parametreleri elde edilebilmektedir. Örneğin, eğer deniz yüzeyinin değişimi belirlenebilirse, belli bir zaman aralığında dalga tepesi ve çukuru hesaplanabilir. İki ard arda sıfırı yukarı kesme noktaları arasındaki mesafe eğer yatay eksen zamansa dalga periyodunu tanımlar, eğer yatay eksen mesafe ise dalga uzunluğunu tanımlamaktadır. Ard arda sıfırı yukarı kesme noktaları arasındaki en yüksek ve en düşük noktalar arasındaki düşey mesafe dalga yüksekliğidir. Sıfırı aşağı kesme yönteminde ise, yüzey profilinin sıfır hattını aşağı doğru kestiği noktalar tekil dalganın başlangıç ve bitiş noktaları olarak alınır (Çevik, 2006).

Şekil 2.3 bir şamandıradan elde edilen dalga verilerini göstermektedir. Su yüzeyi değişimini ölçen bu aletten elde edilen dalga kaydı kullanılarak, istatistiksel yöntemle belirgin dalga yüksekliği (H_s) ve sıfırı yukarı kesme periyodu (T_z) belirlenebilmektedir.

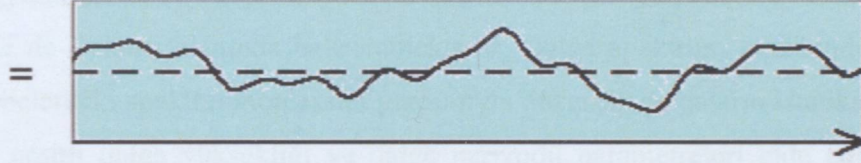


Şekil 2.3 Su seviyesi salınımının zamana bağlı değişimi

Gerçek bir deniz durumu Şekil 2.4'de gör¼¼ld¼¼đu gibi farklı periyoda (T) ve genliğe (a) sahip bir çok sinüzoidal dalganın süperpoze edilmesi ile oluşmaktadır (Şekil 2.5). Bunun tam tersi olarak düzensiz bir deniz durumu bu düzenli bileşenlerine de ayrılabilir.



Şekil 2.4 Farklı dalga boyu ve genliğe sahip bir çok sinüzoidal dalganın bileşenleri



Şekil 2.5 Gerçek su yüzeyi profili

Bunlara ilave olarak farklı frekansa ve genliğe sahip bileşen dalgalar farklı yönlerde doğru ilerlemektedir. Bu düzenli dalgaların süperpoze edilebilmesiyle, daha büyük genliğe sahip daha uzun periyotlu bileşenlerin yönü etkin bir yön olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak tekil dalgalar sıfırı yukarı/aşağı kesme yöntemlerinden biriyle belirlenebilir. Dalga yüksekliği ve dalga periyotlarının olasılık dağılımları ile deniz yüzeyinin düzensizliği düzensiz deniz dalgalarının zaman alanındaki analiziyle ifade edilebilmektedir. Deniz durumunun tanımlanması ve yapıların tasarımı için yapı tipine ve tasarıma bağlı olarak farklı karakteristik dalga parametreleri ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$, T_m , H_{maks} , H_{rms}) kullanılmaktadır (Çevik, 2006).

Açık denizdeki düzensiz dalgaların bir çok tekil dalganın birleşiminden oluştuğu kabul edilebilir. Bu ifadeye göre bir noktada deniz yüzeyinin zamanla değişimi lineer dalgaların süperpoze edilebilme özelliğinden dolayı aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\eta(t) = \sum_{j=1}^N a_j \cos(\omega_j t + \phi_j) \quad (2.2)$$

a_j = tekil dalga genliği

ω_j = tekil dalga açısal frekansı

ϕ_j = tekil dalga faz açısı

t = zaman değişkeni

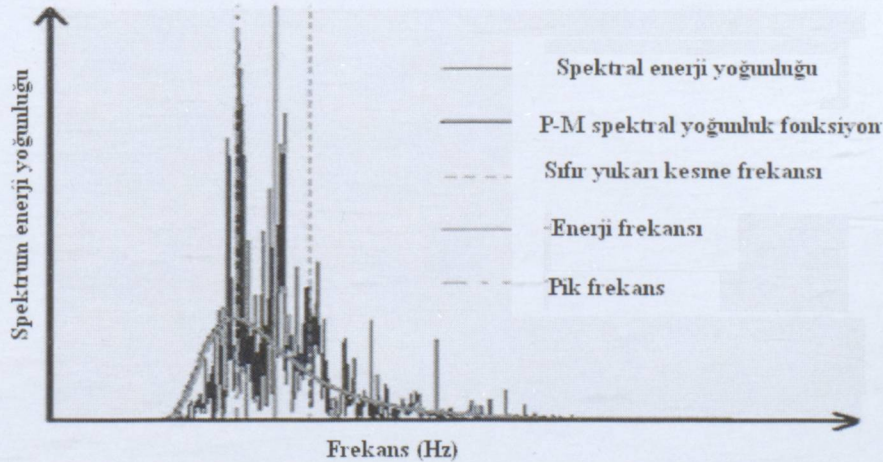
N = gözlenen tekil dalga sayısı

Düzensiz dalgaların istatistiksel teorilerinde, sıfırı yukarı kesme yöntemine göre ortalama dalga periyodu frekans spektrumunun sıfıncı momentini ve ikinci momentini kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$T_z = T_{m02} \sqrt{m_0/m_2} \quad (2.3)$$

Düzensiz dalgaların bir başka analiz yöntemi ise frekans alanındaki farklı frekanslara ve genliklere sahip çok sayıdaki sinüzoidal dalganın süperpozisyonu ile ifade edilebilmektedir. Deniz yüzeyinin durumu dalga spektrumu analizi yöntemiyle dalgaların bu bileşenlerine ayrılması ile de frekans alanında belirlenmektedir. Dalga spektrum analizinden elde edilen farklı mertebelerdeki spektral momentler yardımıyla düzensiz dalgaların istatistiksel teorilerinde elde edilen çeşitli dalga yüksekliği ve dalga periyodu parametreleri elde edilebilmektedir. Düzensiz deniz dalgalarının dalga enerji spektrumu yöntemiyle analizi durumunda elde edilebilen bir başka parametre ise pik periyottur (T_p) ve pik frekanstır (f_p) (Şekil 2.6). Dalga enerji spektrumunun maksimum enerjisine karşılık gelen periyottur, $S(T_p) = \max S(T)$, bu ifade de pik periyot pik frekansın tersi olarak da aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir, (Tautenhain, 1981).

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (2.4)$$



Şekil 2.6 Dalga enerji spektrumu yoğunluğuna bir örnek

Sıfırı yukarı/aşağı kesme yöntemlerinden elde edilen dalga yüksekliği ve dalga periyodu parametreleri bir dalga enerji spektrumundan teorik olarak elde edilemez. Ancak bu parametreler arasında çeşitli ilişkiler elde edilmiştir. Dalga yüksekliği ve dalga periyodu arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için saha verileri veya çeşitli sayısal simülasyonlar kullanılmaktadır. Günümüzde en çok uygulanan yöntem, soluğan dalga etkilerinin sayısal modellemesi ile dalga tahmin kombinasyonlarını içeren, deniz durumuna ait spektrum değeri ve karakteristik spektrum parametrelerinin kullanıldığı yöntemler olarak verilebilir (Tautenhain, 1981).

Çeşitli deniz yapılarının tasarımında problemin özelliğine göre her iki yöntem de kullanılmaktadır. Non-linear yöntemlerde (yapıya etkiyen dalga yükü, dalga kırılması, dalga tırmanması gibi) zaman alanında simülasyon yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca, lineer yöntemlerde (dalga sapması, dalga dönmesi gibi) frekans alanında süperpozisyon ilkesi öncelikli kullanılabilir. Frekans alanında ise her bir dalga bileşeni bağımsız karaktere sahiptir. Lineer dalga teorisi ve ampirik ifadeler ile tanımlanan her bir dalga bileşeni bağımsız olmasına rağmen sonuç olarak spektrum kavramı ile hesaplanabilmektedir.

Yukarıda belirtilen dalga profili, düzenli dalga, düzensiz dalga kavramları ile bunları ifade edebilmek için kullanılan çeşitli ampirik yöntemler ve dalga teorileri anlatılmaktadır. Dalga enerji spektrumu kavramı nedir ve nerede kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak spektrum analizi yöntemi anlatılmalıdır.

2. 2 Dalga Spektrumu Nedir?

Sabit bir deniz durumu için denize ait özellikler kısa dönem dalga istatistiği ile verilmektedir. Kısa dönem dalga istatistiği tekil dalgaların özellikleri ile ilgilenmektedir yani dalga yüksekliği, periyodu ve bunun gibi parametrelerin olasılık dağılımlarını vermektedir (Çevik, 2006). Dalgaların tamamen farklı tipteki bir analizi dalga frekansına dayanan bu dalga spektrum analizidir.

Dalga spektrumu rasgele dalgalar için en önemli kavramlardan biridir. Dalga spektrumu dikkate alınan konumda deniz durumunu tanımlayarak çeşitli dalga parametreleri hakkında bilgi verir. Önemli olan herhangi bir bölgede ölçülen dalgalarla ilgili tüm bilgileri veren yani deniz durumunu temsil eden uygun bir dalga spektrum modelinin seçilmesidir. En uygun spektrum, seçilen konumda ölçülmüş dalga spektrum modelidir. Düzensiz dalgaların spektrum analizi yapı tasarımı açısından son derecede önemlidir. Örneğin dalga kuvvetinin önemli olduğu petrol arama platformlarının tasarımında rezonans meydana gelmemesi için yapının doğal frekansının dalga enerjisinin yoğunlaştığı frekans aralığından farklı olmalıdır.

Açık denizdeki düzensiz dalgaların bir çok tekil dalganın birleşiminden oluştuğu kabul edilebilir. O halde bu düzensiz dalgaları oluşturan her bir basit dalganın enerjileri hesaplanır ve yön gözetilmeksizin frekansla değişimi çizilirse buna **dalga spektrumu, frekans spektrumu, enerji spektrumu** veya **dalga enerji spektrumu** adı verilmektedir. Dalga spektrumu $S(f)$ ile gösterilmektedir.

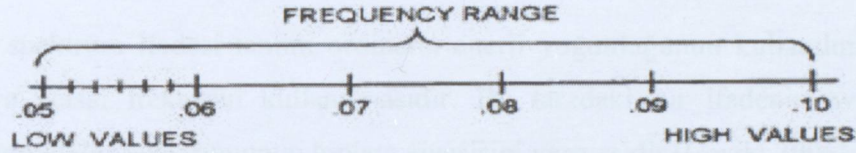
Buna karşılık eğer yönler dikkate alınarak aynı değişim çizilirse bu da **yönlü dalga spektrumunu** verir. Yönlü dalga spektrumu dalga enerjisi dağılımını sadece frekans ile değil yön ile (açı, θ) birlikte tanımlamaktadır. O halde hem frekans hem de yön kullanılarak ifade edilen enerji dağılımı **yönlü dalga spektrumu** olarak adlandırılmaktadır. Yönlü dalga spektrumu

$$S(f, \theta) = S(f)G(\theta/f) \quad (2.5)$$

ile ifade edilmektedir. Burada $S(f, \theta)$ yönlü dalga spektrumu yoğunluk fonksiyonu, $G(\theta/f)$ yönlü dağılım fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır.

Dalga spektrumu frekans ve yöne bağlı olarak dalga enerjisi dağılımını matematiksel olarak ifade etmektedir. Dalga spektrumu bir seri frekansı içermektedir. Çünkü deniz dalgalarının her biri farklı frekansa sahip sinüs dalgalarından oluştuğu kabul edilmektedir. Rüzgar ve soluğan dalgalarının farklı frekans alanında yoğunlaşması gibi bu frekanslar, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi, küçük enerjili frekanstan büyük enerjili frekansa doğru, soldan sağa doğru

bir dizi halinde artmaktadır. Belirli bir dizideki frekans değerleri, Şekil 2.7'deki gibi sonsuz sayıdaki sinüs dalgasını temsil etmektedir. Her bir sinüs dalgası belli miktarda enerjiye sahiptir ve sinüs dalgalarının enerjileri eklenik olarak toplandığında okyanus dalgalarına ait toplam enerjiye karşılık gelmektedir. Ancak bu toplam enerji, frekans serisi boyunca eşit olarak dağılım göstermemektedir; bunun yerine, her bir spektrum, belli bir rüzgâr hızına uyarak belirli bir frekans f_{maks} etrafında yoğunlaşmaktadır. Şekil 2.7'den görüldüğü gibi dalga spektrumu üzerinde farklı rüzgar hızlarına bağlı olarak dalga enerjisinin farklı frekans aralıklarında yoğunlaştığı görülebilmektedir. Frekansın dar olduğu alanda çok dalga var iken, frekansın geniş bir alanda değişim göstermesi durumunda az dalga vardır.



Şekil 2.7 Dalga spektrumuna ait tipik bir frekans serisi

Daha öncede belirtildiği gibi farklı yükseklik ve periyotlardaki düzenli dalgaların toplanmasıyla düzensiz dalga elde edilmektedir. Linear bir dalganın yüzey profilinin varyansı aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_n^2 = \text{Var}[\eta(t)] = \left[\eta(t) - \bar{\eta}(t)^2 \right] = E[\eta(t)^2] = \frac{1}{T} \int_0^T \eta^2(t) dt = \frac{1}{2} a^2 \quad (2.6)$$

O halde frekansa karşılık yüzey profilinin varyansı varyans histogramını vermektedir. Bununla birlikte dalganın birim alandaki enerjisi ise aşağıdaki ifade ile verilmektedir (Çevik, 2006).

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 = \frac{1}{2} \rho g a^2 \quad (\text{Joule/m}^2) \quad (2.7)$$

O halde yüzey profilinin varyansının ρg ile çarpılması ile dalga enerjisi elde edilmektedir.

Her bir tekil dalgayı dikkate alarak dalga dalga incelemek yerine, spektrum analizi sinyallerin frekansa karşılık varyans dağılımını vermektedir. Varyansın frekansa karşılık dağılımı $E(f)$ veya $S(f)$ ile gösterilmekte ve fonksiyonun frekans alanında sürekli olduğu kabul edilmektedir. Deniz dalgaları durumunda enerji dağılımı sürekli bir eğridir çünkü düzensiz deniz dalgaları farklı frekanslara sahip sonsuz sayıda lineer bileşenden oluşmaktadır.

Spektrum yoğunluk fonksiyonu (enerji yoğunluk fonksiyonu) ise

$$S(f) = \frac{1/2a^2}{\Delta f} \quad (2.8)$$

ile verilmektedir.

Burada Δf frekans bant genişliğidir. Böylece sürekli bir fonksiyon olan dalga enerji yoğunluk fonksiyonu elde edilmektedir. Bu sürekli fonksiyona 'frekans spektrum yoğunluk fonksiyonu' veya 'dalga enerji spektrumu' denilmektedir ve boyutu (L^2T) ve birimi ise (m^2s)'dir. Aslında enerji spektrumu $E(f) = \rho g S(f)$ ile verilmekte ve $S(f)$ dalga varyans spektrumu olarak adlandırılmaktadır ve varyansın bir ölçüsüdür. Enerji yoğunluk spektrumunun altındaki alan fırtınadaki toplam dalga enerjisinin bir ölçüsüdür.

En popüler spektrum ifadesi tanımı ordinatta enerji yoğunluğunun kullanılması ve absiste frekans veya açısal frekansın kullanılmasıdır. Bu tarzdaki bir ifadenin avantajı eğrinin altındaki alanın dalga spektrumunun toplam enerjisini vermesidir (Çevik, 2006).

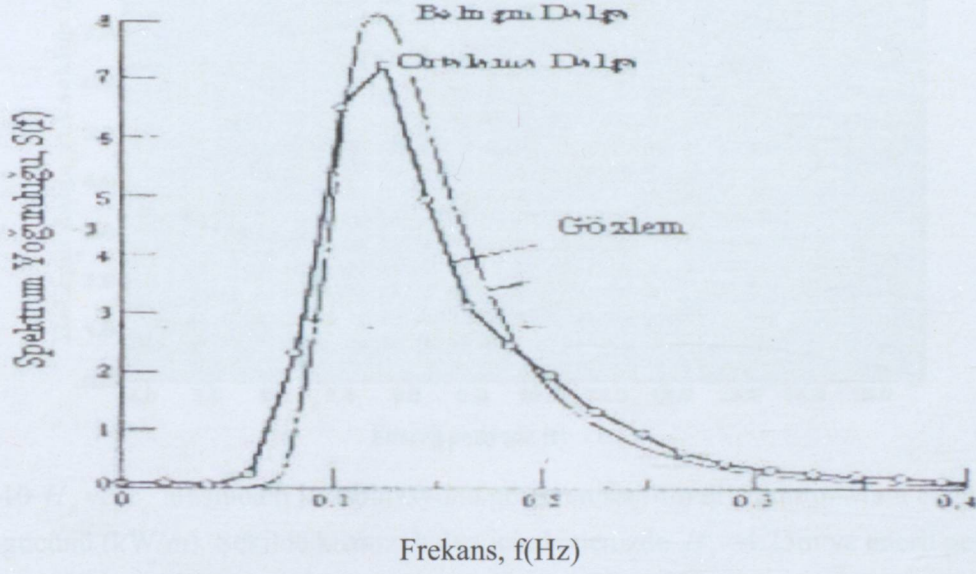
Bunlara ilave olarak, farklı bir analiz yöntemi olan Fast Fourier Tranformasyon (FFT) tekniği yardımıyla spektrum analizi de kullanılabilir. Periyotları ve yükseklikleri farklı sonsuz sayıdaki düzenli dalganın toplanmasıyla düzensiz dalga elde edilmektedir. Bu düzensiz dalganın bileşenleri harmoniklerdir ve FFT serisi yardımıyla bu harmoniklerin değerleri elde edilmektedir. Fast Fourier Tranformasyon (FFT) analizinin temel fikri herhangi bir periyodik fonksiyonun sonsuz sayıdaki harmonik bileşenlerden oluştuğu ve bileşenlerine ayrılabilceğidir. Buna göre verilen bir periyodik fonksiyon trigonometrik bir seriye açılarak temsil edilebilir.

f 'den $f+df$ 'e kadar değişen bir aralıkta dalga genliklerinin karelerinin toplamı sonlu ve tekdir. Bunların toplam değeri $S(f)$ ile gösterilir ve aşağıdaki gibi verilir;

$$\sum_f^{f+df} \frac{1}{2} a_n^2 = S(f)df \quad (2.9)$$

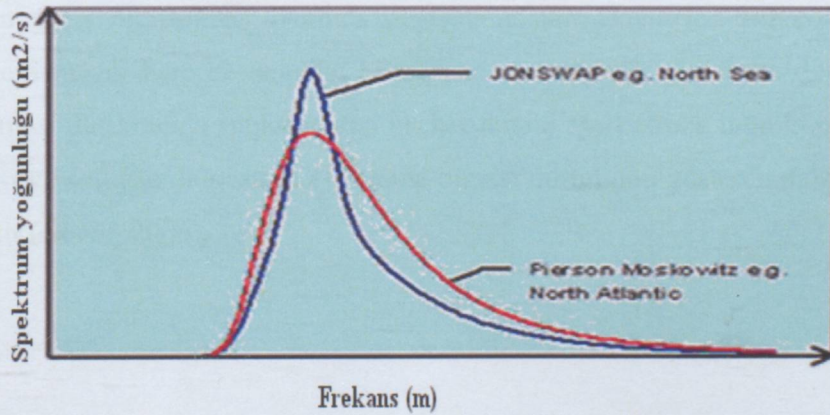
FFT analizi zamana bağlı olarak dalga yüksekliklerini grafik olarak yorumlayan, ayrıca **dalga spektrumu** olarak da bilinen, frekansa bağlı **dalga enerji spektrum yoğunluğunu** vermektedir. Bu şekil, ölçüm süresi boyunca denizdeki dalga enerjisinin hangi frekanslarda yayıldığını göstermektedir (Şekil 2.8). Şekil 2.8'den da görüldüğü gibi grafikte denizdeki enerjinin bir kısmı küçük frekanslı dalgaları bir kısmı ise büyük frekanslı dalgaları göstermektedir.

Şekil 2.8'deki dalga spektrumu; belirgin dalga periyodunun 8s olmasına rağmen dalga enerjisinin 0.05 – 0.4 Hz frekans veya 2.5 – 20s dalga periyodu aralığında bulunduğunu göstermektedir. Şekil 2.8 ayrıca dalga enerjisinin $f_p = 0.11$ Hz frekansında yoğunlaştığını göstermektedir, bu da belirgin dalga periyoduna karşılık gelen $f = 0.125$ frekansından biraz daha küçüktür. Dalga enerjisinin maksimum olduğu bu frekans değerine pik frekans denilmektedir. Bu frekansta ya dalga yüksekliği çok büyüktür ya da çok dalga vardır.



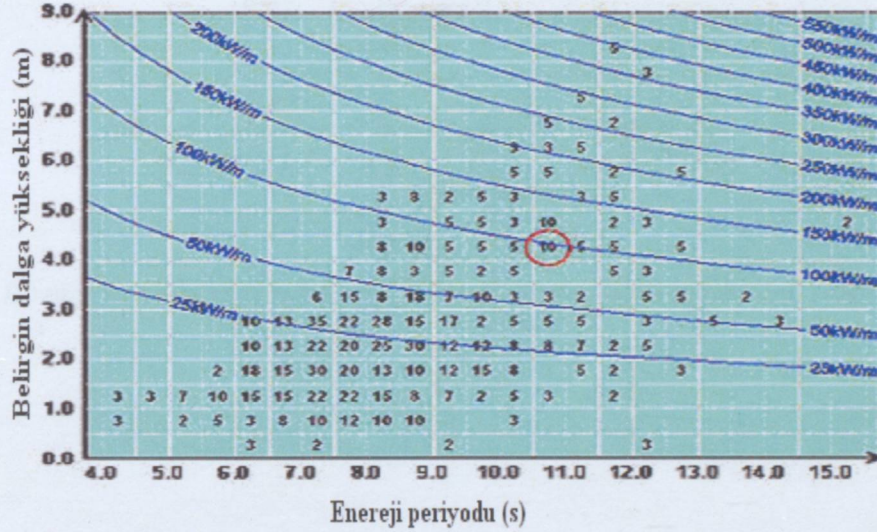
Şekil 2.8 Dalga spektrumuna örnek (dalga enerji yoğunluk spektrumu) (Goda, 2000)

Bir dalga enerji spektrum şekli herhangi bir konumdaki dalga ölçümleriyle toplanan verilerle elde edilmektedir, ancak bu değerler birçok konumdaki dalga spektrumuna benzer olabilir. Şekil 2.9'da gösterilen grafikteki gibi, dalga spektrum şekli spektrum yoğunluk fonksiyonları ile genelleştirilebilir.



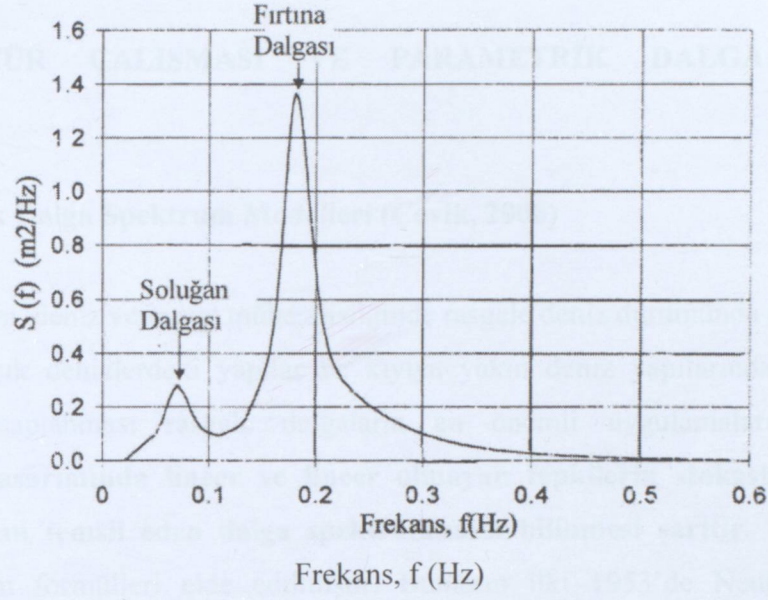
Şekil 2.9 Dalga spektrum yoğunluk fonksiyonları (P-M ve JONSWAP spektrumları)

FFT analizi genellikle uzun süreli dalga verilerini belirgin dalga yüksekliği ve enerji periyodunun istatistiksel serisi şeklinde ifade etmek için kullanılır. Toplanan dalga verilerini değerlendirmenin başka bir yolu da **saçılım diyagramıdır**. Bu da uzun süreli ölçümlere dayanan frekans oluşumunu göstermektedir. Şekil 2.10, saçılım diyagramı, dalga yüksekliği ve periyodu, gücü arasındaki ilişkiyi örnekleyen sürekli dalga enerjisinin eş yükselti eğrilerini içermektedir, ($P \propto T$) ve ($P \propto H^2$).



Şekil 2.10 H_s ve T_z arasındaki kombinasyonu gösteren saçılım diyagramı. Mavi çizgiler sabit dalga gücünü (kW/m). Şekilde kırmızı halka içinde denizde $H_s = 4.25\text{m}$ ve enerji periyodu 10.75 s

Dalga spektrumunun şekli dalga tipiyle değişiklik göstermektedir. Rüzgâr dalgalarına ait bir dalga spektrumu geniş bir bantta değişmektedir, oysa soluğan dalgalarına ait spektrum dardır. Soluğan dalgaları küçük frekanslı ve nispeten kararlı olduklarından dalga spektrumunda dar bir frekans alanında değişim göstermekte, buna karşın rüzgâr dalgaları ise daha düzensiz olduklarından geniş bir frekans alanında değişim göstermektedirler. Bir çok gerçek dalga spektrumu hem rüzgâr hem de soluğan bileşenini içermektedir. İki farklı deniz durumunun aynı anda olması durumunda spektrumdan bu her ikisini ayırt etmek mümkündür. Şekil 2.11 rüzgar dalgası ve soluğan dalgasının aynı anda olması durumunu gösteren dalga spektrumuna ait bir örnektir (Çevik, 2006).



Şekil 2.11 Rüzgar ve soluğan dalgalarının birlikte olduğu dalga spektrumu (Kamphuis, 2000)

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE PARAMETRİK DALGA SPEKTRUM MODELLERİ

3.1. Parametrik Dalga Spektrum Modelleri (Çevik, 2006)

Deniz ulaştırması, deniz ve inşaat mühendisliğinde rasgele deniz durumunda gemi tepkilerinin belirlenmesi, açık denizlerdeki yapılar ve kıyıya yakın deniz yapılarındaki hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması rasgele dalgaların en önemli uygulamalarındandır. **Deniz sistemlerinin tasarımında lineer ve lineer olmayan tepkilerin stokastik tahmini için deniz durumunu temsil eden dalga spektrumunun bilinmesi şarttır.** 1950'lerden beri birçok spektrum formülleri elde edilmiştir. Bunların ilki 1953'de Neumann tarafından verilmiş olan dalga spektrum formülüdür, halen kullanılmamakla birlikte daha sonraki çalışmalara ışık tutması açısından son derece önemlidir. Matematiksel spektrum modelleri genellikle belirgin dalga yüksekliği, dalga periyodu, şekil faktörü gibi bir veya daha fazla parametreye dayanmaktadır. Dalga enerji spektrum modelleri genellikle dalga açısız frekansının, w , (veya doğrudan frekansın, f) üstel fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Dünyada kullanılan en yaygın spektrum modellerinden bazıları sırayla incelenecektir.

3.1.1 Genel Form

Çoğu matematiksel spektrum modellerinin genel formu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$S(w) = Aw^{-p} \exp(-Bw^{-q}) \quad (3.1)$$

Burada;

$S(w)$: enerji yoğunluk spektrumunun düşey eksen (uzunluk² - saniye)

A, B, p, q: spektrumun dört parametresidir.

Spektrum modelini tanımlamada kullanılan iki yaygın parametre belirgin dalga yüksekliği H_s ve ortalama dalga periyodu, \bar{T} . Bu parametreler spektrumun momentleri yardımıyla tanımlanabilirler. Spektrumun açısız frekansa bağlı ifadesi ile frekansa bağlı ifadesi arasında $S(f) = 2\pi S(w)$ ilişkisi olduğu unutulmamalıdır.

3.1.2 Neumann Spektrumu

Mühendislikte tasarım amaçlı olarak kullanılan ilk analitik spektrum modeli Neumann (1953) tarafından verilmiştir. Neumann spektrum modeli rüzgâr hızı, U_w cinsinden ifade edilmektedir.

$$S(w) = Bw^{-6} \exp(-2g^2 / (wU_w)^2) , w = w_p \quad (3.2)$$

3.1.3 Pierson- Moskowitz Spektrumu

1964 yılında Pierson ve Moskowitz benzerlik teorisine dayanan ve Tucker tarafından Kuzey Atlantik’de kaydedilmiş dalga ölçüm verilerinin analiziyle enerji spektrum dağılımı için yeni bir model vermişlerdir.

P-M spektrum modeli tamamıyla gelişmiş deniz durumunu tanımlamaktadır ve tek parametrelidir (rüzgâr hızı ve ya belirgin dalga yüksekliği). Feç ve süre sonsuz olarak dikkate alınmaktadır. Böyle bir modelin uygulanabilmesi için rüzgâr hemen hemen sabit bir hızla ve sabit bir doğrultuda saatlerce çok geniş bir alanda esmiş olmalıdır ve model açık deniz yapılarının tasarımında fırtına etkisini temsil etmek için oldukça yararlı görülmüştür.

P-M spektrum modeli aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$S(w) = \alpha g^2 w^{-5} \exp\left[-0.74 \left(\frac{wU_w}{g}\right)^4\right] \quad (3.3)$$

3.1.4 Bretschneider Spektrumu

Spektrumun dar bantlı olduğu ve tekil dalga yüksekliği ile dalga periyodunun Rayleigh dağılımına uyduğu varsayımına dayanarak aşağıdaki spektrum modelini geliştirmiştir (1959,1969).

$$S(w) = 0.1687 H_s^2 \frac{w_s^5}{w^5} \exp[-0.675(w_s / w)^4] \quad (3.4)$$

Dolayısıyla iki parametrelilikte dalga spektrum modelidir (H_s ve T_s). Önceki **modeller tamamıyla gelişmiş deniz durumu** için üretilmişlerdir. Fakat bu model **kısmen gelişmiş deniz durumu** içinde uygulanabilir. Dalga yüksekliği, dalga periyodu ve rüzgâr hızı arasındaki ilişki Bretschneider tarafından ampirik olarak çıkartılmıştır, ölçümlere

dayanmaktadır. Bu ifadeler de rüzgâr hızına bağlı olup, ortalama rüzgâr hızının bilinmesi ile belirgin dalga yüksekliği ve periyodu Bretschneider spektrumu için çıkartılabilir.

3.1.5 ISSC Spektrumu

The International Ship Structures Congress (1964) iki parametrelidir ve Bretschneider spektrum formunda küçük bir değişiklik ile şöyle ifade edilmiştir:

$$S(w) = 0.1107 H_s^2 \frac{w^{-4}}{w^5} \exp[-0.4427(\bar{w}/w)^4] \text{ yani } \bar{w} = 1.296 w_p \text{ ile verilir.} \quad (3.5)$$

3.1.6 ITTC Spektrumu

The International Towing Tank Congress (1966, 1969, 1972) P-M spektrum modelinde küçük bir değişiklik ile belirgin dalga yüksekliği, H_s ve sıfırı kesme frekansı, w_z cinsinden iki parametrelili bir ifade önermiştir ve şöyle ifade edilmiştir:

3.1.7 JONSWAP Spektrumu

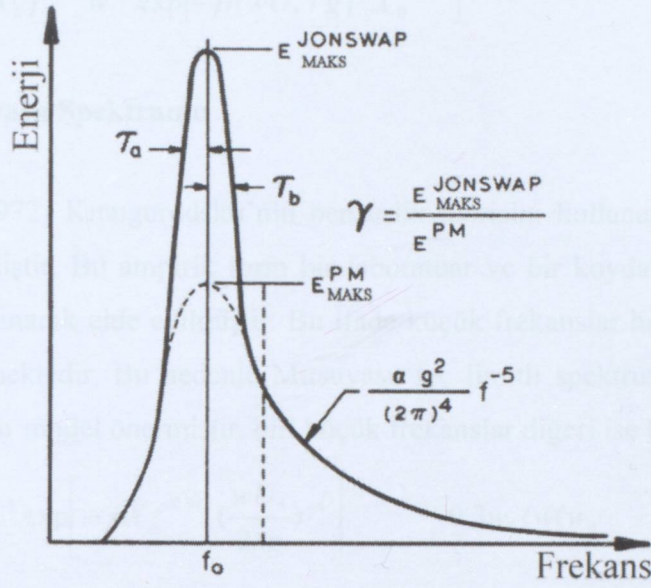
JONSWAP spektrumu Hasselmann ve ark tarafından (1973) JOint North Sea WAve Project ismiyle yoğun dalga ölçümlerinden sonra geliştirilmiştir. P-M modelinin değiştirilmesiyle şöyle ifade edilmiştir:

$$S(w) = \alpha g^2 w^{-5} \exp[-1.25(w/w_p)^{-4}] \gamma^{\exp\left[\frac{(w-w_p)^2}{2\tau^2 w_p^2}\right]} \quad (3.6)$$

Rüzgâr hızı ve feçin olması durumunda bu değerlerin ortalaması hesaplanabilir ve γ diklik parametresi olup bu değerlerin armasıyla spektrum darlaşmaktadır.

Beş parametrelili olup diklik ve pik frekansa bağlı olarak iki parametreye ifade edilir.

$$S(w) = \alpha g^2 w^{-5} \exp\left[-\frac{4\alpha g^2 w^{-4}}{H_s^2}\right] \quad (3.7)$$



Şekil 3.1 P-M ve JONSWAP Spektrumlarının kıyaslanması (Chakrabarti,1987)

3.1.8 Wallops Spektrumu

Spektrum şeklinin esnekliği Huang ve ark. tarafından dalga yüksekliği ve dalga periyodu kullanılarak ifade edilmiştir:

$$S(f) = \beta_w H_s^2 T_p^{1-m} f^{-m} \exp\left[-\frac{m}{4}(T_p f)^{-4}\right] \quad (3.8)$$

3.1.9 Scott Spektrumu

Scott (1956) spektrum ifadesi rüzgâr hızı, feç veya süreden bağımsızdır ve **tamamıyla gelişmiş deniz spektrumunu** göstermektedir. Spektrum iki parametrelidir olup, şöyle ifade edilmiştir:

$$S(w) = \begin{cases} 0.214 H_s^2 \exp\left[-\frac{(w - w_0)^2}{0.065(w - w_0 + 0.26)}\right]^{0.5} - 0.26(w - w_0) < 1.65 \text{ için} \\ 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

3.1.10 Liu Spektrumu

Bu model ise Michigan gölündeki dalga verilerinden elde edilmiştir. P-M spektrumuna form olarak benzemektedir, ancak feç dahil edilerek geliştirilmiştir.

$$S(w) = \alpha g^2 (X_0)^{-0.25} w^{-5} \exp\left[-\beta (wU_* / g)^4 X_0^{-4/3}\right] \quad (3.10)$$

3.1.11 Mitsuyasu Spektrumu

Mitsuyasu (1972) Kıtayıroodskı'nın benzerlik teorisini kullanarak feç limitli bir spektrum modeli önermiştir. Bu ampirik form bir laboratuar ve bir koydaki rüzgarların neden olduğu dalgalara dayanarak elde edilmiştir. Bu ifade küçük frekanslar hariç ölçüm verileri ile tutarlı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle Mitsuyasu feç limitli spektrum için iki bölümden oluşan geliştirilmiş bir model önermiştir, biri küçük frekanslar diğeri ise büyük frekanslar için;

$$S(w) = \alpha g^2 w^{-5} \exp\left[-\beta X_0^{-0.312} \left(\frac{wU_*}{2\pi g}\right)^{-4}\right] \quad 0.3w_0 < w < w_0 \quad (3.11)$$

burada $\alpha = 3.55 \times 10^{-9}$ ve $\beta = 2.21$

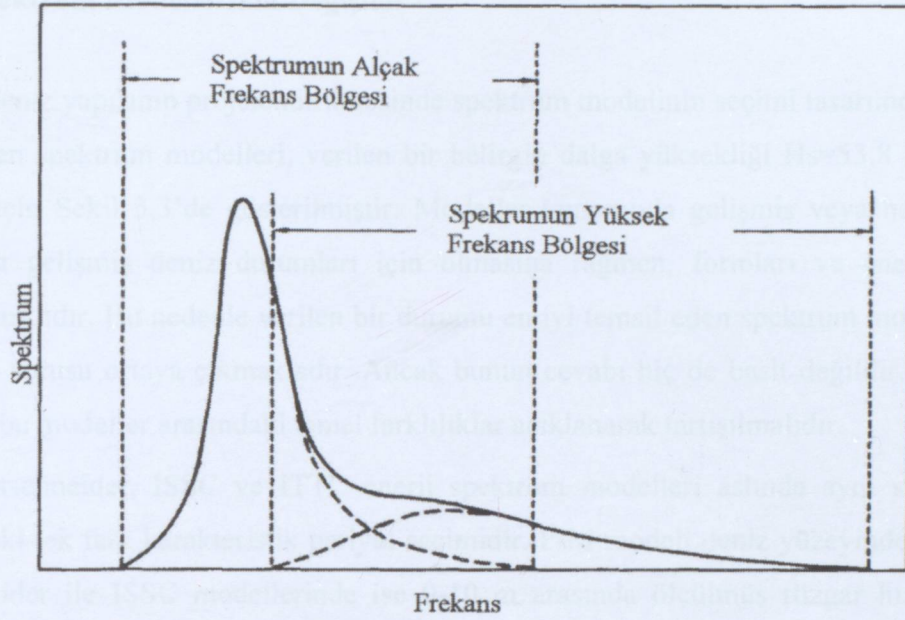
$$S(w) = \alpha g^2 X_0^{-0.308} w^{-5} \quad w > w_0 \text{ ve burada } \alpha = 2.3 \text{dür.} \quad (3.12)$$

3.1.12 Ochi-Hubble Spektrumu

Ochi ve Hubble (1976) okyanusta ölçülen dalga verilerinden elde edilen dalga spektrumunun şekli rüzgâr esme süresine, feç uzunluğuna, fırtına gelişme ve sönümlenme şekline ve soluğan dalgasının varlığına dayanmaktadır. Dolayısıyla dalga spektrumu genellikle çift tepelidir. İki bölümden oluşan altı parametrelili bir spektrum modeli geliştirmişlerdir. Bunlardan biri dalga enerjisinin küçük frekanslı bileşenlerini ve diğeri ise büyük frekanslı bileşenlerini ihtiva etmektedir. Toplam spektrum bu ikisinin lineer olarak birleştirilmesi ile yazılabilmektedir. Bu nedenle dalga enerji yoğunluğunda biri rüzgar dalgalarını diğeri ise soluğanı temsil eden iki piki mevcuttur.

$$S(w) = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^2 \frac{\left(\frac{4\lambda_j + 1}{4} w_{0j}^4\right)^{\lambda_j}}{\Gamma(\lambda_j)} \frac{H_{sj}^2}{w^{4\lambda_j+1}} \exp\left[-\left(\frac{4\lambda_j + 1}{4}\right) \left(\frac{w_{0j}}{w}\right)^4\right] \quad (3.13)$$

Bu ifade de belirtildiği gibi iki bileşen söz konusudur, ancak etkili parametre ise şekil parametresidir ve bunun alacağı değerler doğrultusunda model şekli elde edilir.



Şekil 3.2 Dalganın frekans spektrumunun iki parçaya ayrılması (Ochi,1998)

3.1.13 TMA Spektrumu

1988-1993 yılları arasında Kore denizi civarındaki çeşitli dalga istasyonlarından elde edilen kayıtlardan alınan dalga verileri kullanılarak TMA spektrum modeli geliştirilmiştir.

Diğer spektrum modellerinden farklı olarak sığ su koşullarında daha kolay uygulanabilen ve daha doğru sonuçlar veren TMA spektrum modeli kullanılmaktadır. Aynı anda soluğan ve rüzgâr dalgalarının varlığı çift pikli spektrum meydana getirmektedir. Çift pikli TMA dalga spektrumunun geliştirilmesinde dalga spektrumu küçük frekans bileşeni ve yüksek frekans bileşeni olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Her iki bileşen 5 parametrelili TMA formülü ile ifade edilmiştir, bunlar sırasıyla, Philips sabiti, pik frekansı, pik artış faktörü, spektrum genişlik faktörü ve su derinliğidir. Sonuç olarak, çift pikli TMA spektrumu, TMA spektrumunun iki dizisinin birleşimiyle (3.14)'den elde edilen ifade ile açıklanmıştır.

$$E(f) = E_l(f) + E_h(f) \quad (3.14)$$

Yukarıdaki açıklamalar ve kullanılan parametreler doğrultusunda TMA spektrum modeli aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$E(f) = \alpha \frac{g^2 f^{-5}}{(2\pi)^4} \Phi(2\pi f, h) \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right]} \quad (3.15)$$

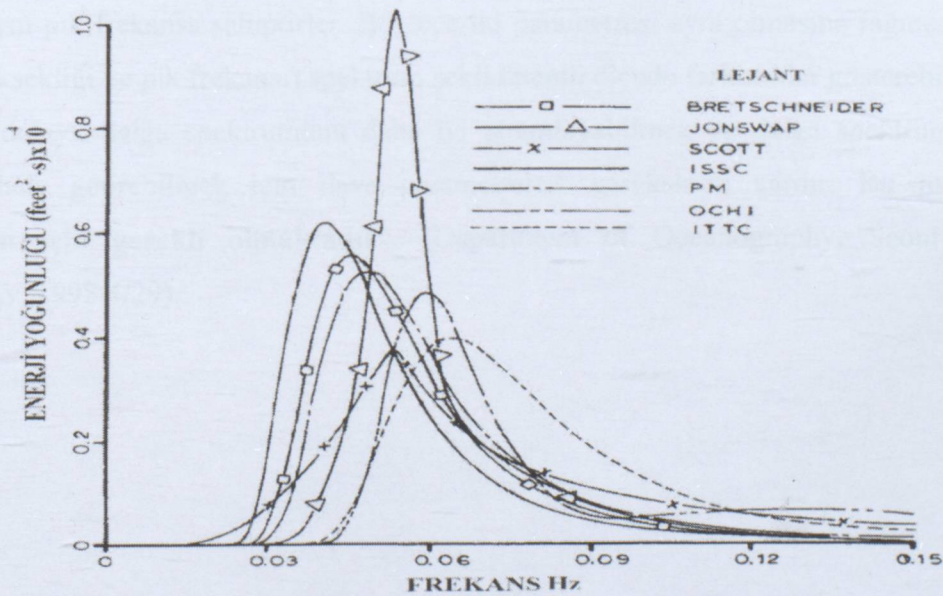
3.1.14 Spektrum Modellerinin Değişimi

Bir açık deniz yapısının projelendirilmesinde spektrum modelinin seçimi tasarımcıya bağlıdır. Sözü geçen spektrum modelleri, verilen bir belirgin dalga yüksekliği $H_s=53.8$ ft ($H_{maks} = 100$ ft) için Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Modeller tamamıyla gelişmiş veya hemen hemen tamamıyla gelişmiş deniz durumları için olmasına rağmen, formları ve enerji değerleri oldukça farklıdır. Bu nedenle verilen bir durumu en iyi temsil eden spektrum modelinin nasıl seçileceği sorusu ortaya çıkmaktadır. Ancak bunun cevabı hiç de basit değildir. Bu nedenle öncelikle bu modeller arasındaki temel farklılıklar açıklanarak tartışılmalıdır.

P-M, Bretschneider, ISSC ve ITTC enerji spektrum modelleri aslında aynı sınıftandırlar, aralarındaki tek fark karakteristik periyot seçimidir. P-M modeli deniz yüzeyinden 19.5 m ve Bretschneider ile ISSC modellerinde ise 0-10 m arasında ölçülmüş rüzgâr hızı verilerine dayanmaktadır. Eğer rüzgâr hızının yükseklikle değişimi dikkate alınırsa P-M ve Bretschneider arasındaki fark önemli derece de azalmaktadır.

Liu ve Mitsuyasu spektrumları feçe bağlıdır ve göllerle barajlarda olduğu gibi limitli feçe dayanmaktadır.

Yukarıda kısaca anlatılan spektrum modellerinin limit koşulları tartışılrsa da hiçbir model diğerine önerilemez. Burada dikkate alınması gereken en önemli husus ise **hiç bir spektrum modelinin dünyanın her yerinde ve tüm fırtına koşullarında kullanılmayacağıdır**. Bu nedenle tasarımdan önce çevresel şartların irdelenmesi gerekmektedir.

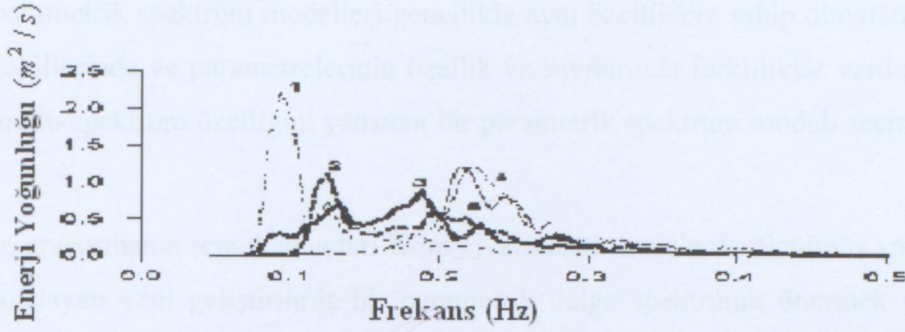


Şekil 3.3 Farklı spektrum modellerinin enerji dağılımlarına örnek (Chakrabarti,1987)

3.2. Parametrik Spektrumun Hesaplanması ve TMA Spektrumu

Parametrik spektrum, gözlemlenen spektrumun özelliğini koruyan ve fiziksel olarak anlamlı az sayıda parametre içeren analitik bir eğri olarak ifade edilmektedir. Bu spektrum karakteristikleri araştırmada kullanılır, çünkü parametrik spektrum sürekli bir spektral bilgi sağlar ve dalga spektrumunu daha doğru temsil eder.

Dalga verileri kullanılarak bulunan dalga enerji spektrumundan elde edilen spektrum bilgileri denizlerdeki dalga karakteristikleri ile deniz araçları ve açık deniz veya kıyı yapılarının tasarımında çok sık kullanılmaktadır. Dalga gözlemlerinden elde edilmiş tekil spektrum değerlerinin tasarımda uygulanması zordur. Bu sebeple, mevsim veya tipine göre ortalamaları alınır. Spektrum bilgilerinin analizinde genellikle iki yöntem kullanılır. Biri örnekleme yöntemi, belirli bir periyot boyunca temsili spektrumların toplanması, diğer yöntem ise gözlenen spektrumun belirgin dalga yüksekliği ve pik frekansı olmak üzere iki parametre kullanılarak ifade edilmesidir. Bundan başka, belirgin dalga yüksekliği ve pik frekansı aynı olmasına rağmen, soluşanın varlığı, rüzgâr dalgasındaki azalma ve kademeli artış, feç ve süreye bağlı olarak, denizde dalga spektrum şekilleri önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu sebeple, örneklenmiş spektrum ve iki parametre ile ifade edilen dalga spektrumu belirli bir alan ve periyotta ki bütün dalga spektrum özelliklerini tanımlamak için yetersizdir. Örneğin, Şekil 3.4 aynı belirgin dalga yüksekliğine (1.21 m'ye sahip) farklı tipteki dalga spektrumlarını göstermektedir. Şekil 3.4'de gösterilen 2 ve 3 no'lu spektrumlar çift piklidirler, 1 no'lu spektrum ise keskin ve tek piklidir. Bundan başka, iki spektrum 4 ve 5 no'lu spektrumlar 0.22 Hz'lik aynı pik frekansa sahiptirler. Böylece iki parametresi aynı olmasına rağmen (belirgin dalga yüksekliği ve pik frekansı) spektrum şekli önemli ölçüde farklılıklar gösterebilmektedir. Bundan dolayı, dalga spektrumunu daha iyi tanımlayabilmek ve dalga spektrum bilgisini faydalı hale getirebilmek için ilave parametrelere gereksinim vardır. **Bu parametrik spektrum için gerekli olmaktadır** (Department of Oceanography, Seoul National University, 1998/4/29).



Şekil 3.4 1.21 m deki belirgin dalga yüksekliği için dalga ışınındaki değişiklik. 1, 4 ve 5 spektrumları tek pikli spektrum, 2 ve 3 spektrumları çift pikli spektrumlardır.

Kore civarındaki denizlerde dalga spektrum özellikleri henüz yeni geliştirilmiş bir parametrik spektrum yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

Tam gelişmiş açık denizdeki rüzgâr dalgaları için, Pierson ve Moskowitz (1964) feçten bağımsız enerji spektrumunu önermiştir. Hasselmann vd. (1973) feç limitli denizlerde rüzgâr dalgaları için JONSWAP spektrumunu önermiştir. Bouws vd. (1985a) sığ su koşullarında uygulanabilen ve TMA spektrumu olarak bilinen sonlu su derinliğindeki spektrum şeklini önermektedir. TMA spektrum şekli, JONSWAP spektrumunda bilinen dört parametreye Philips sabiti (α), pik frekans (f_p), pik artış faktörü (γ) ve spektrum genişlik faktörü (σ) parametrelerine ilave olarak su derinliği (h) parametresini de içermektedir. Spektrum enerji değeri aşağıda belirtildiği gibi gösterilmektedir;

$$E(f) = \alpha \frac{g^2 f^{-5}}{(2\pi)^4} \Phi(2\pi f, h) \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right]} \quad (3.16)$$

ve

$$\Phi(2\pi f, h) = \left[\frac{k^{-3}(w, h) \frac{\partial k(w, h)}{\partial w}}{k^{-3}(w, \infty) \frac{\partial k(w, \infty)}{\partial w}} \right] \quad (3.17)$$

ve k ise dalga numarasıdır.

Kore civarındaki denizlerde ölçülmüş spektrumlarda Pierson ve Moskowitz (1964), JONSWAP (Hasselmann vd., 1973) ve TMA (Bouws vd., 1985a) spektrumları kullanılmasına rağmen ölçülmüş spektrumlarda çift pikin ortaya çıkması bir çok hatanın meydana gelmesine sebep olmaktadır.

Bütün bu parametrik spektrum modelleri genellikle aynı özelliklere sahip olmalarına rağmen, spektrum şekillerinde ve parametrelerinin özellik ve sayılarında farklılıklar vardır. Gözlenen şartlara uyumlu spektrum özelliğini yansıtan bir parametrik spektrum modeli seçmek oldukça önemlidir.

Bu nedenle, araştırmanın temel amaçları Kore civarındaki denizlerde ölçülmüş spektrumlarla uygunluk sağlayan yeni geliştirilmiş bir parametrik dalga spektrumu önermek ve önerilen parametrik spektrumun istatistiksel analizi ışığında dalga karakteristiklerini araştırmaktır.

Dalga verileri Kore civarındaki denizlerde 1988-1993 yılları arasında 10 dalga istasyonundan elde edilmiştir. Spektrum hesapları FFT yöntemi ile yapılmıştır. Her bir alt örnek için veri nokta sayısı 1024, Nyquist frekans için 0.5 Hz olarak alınmıştır. Toplam 17,750 dalga spektrumu elde edilmiş olup, parametrik spektrumun istatistiksel analizi ve formülleştirme için kullanılmıştır.

Soluğan ve rüzgâr dalgasının aynı anda olması çift pikli spektrum meydana getirmekte veya rüzgârın yön değiştirmesi gelişmekte olan dalga spektrumu yaratmaktadır. Bu durum Kore denizi civarında alışlageldik bir durumdur (Moon, 1994).

Ochi ve Hubble (1976) P-M spektrumunu geliştirerek çift pikli bir spektrum modeli ve Soares (1984) ise JONSWAP tipi spektrum ile çift pikli spektrum modellemişlerdir. Ancak P-M ve JONSWAP spektrumları derin deniz şartları için tasarlanmıştır, dolayısı ile bunların sığ suda uygulanması doğru sonuçlar vermemektedir. Bundan dolayı, çalışmada sığ suda derinlik etkilerini içeren çift pikli dalga spektrumu kadar iyi sonuçlar veren **çift pikli TMA spektrumu** diye adlandırılan yeni geliştirilmiş spektrum formu tasarlanmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi çift pikin ortaya çıkması uygulanan spektrum modellerinde bir çok hata vermekte ve bundan dolayı yeni bir model olan çift pikli TMA spektrum formu hazırlanmıştır.

Çift pikli TMA dalga spektrumunun geliştirilmesinde dalga spektrumu küçük frekans bileşeni ve büyük frekans bileşeni olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Her iki bileşen 5 parametrelili TMA formülü ile ifade edilmiştir, bunlar sırasıyla;

Philips sabiti (α), pik frekans (f_p), pik artış faktörü (γ), spektrum genişlik faktörü (σ) ve su derinliği (h)'dir. Sonuç olarak, çift pikli TMA spektrumu, TMA spektrumunun iki dizisinin birleşimiyle (3.3)'den elde edilen ifade ile açıklanmıştır.

$$E(f) = E_l(f) + E_h(f) \quad (3.18)$$

Her bir TMA spektrumu için spektrum parametreleri α , γ , f_p ve σ aşağıdaki gibi elde edilir:

- 1) Maksimum enerjiye sahip f_p 'in belirlenmesi,
- 2) Aşağıdaki ifade ile $1.35 f_p$ ile $2.0 f_p$ aralığındaki σ 'ın belirlenmesi,

$$\alpha = \frac{\sum_{N_{2.35f_p}}^{N_{2.0f_p}} P(f_i)/C(f_i)}{N_{2.0f_p} - N_{1.35f_p} + 1} \quad (3.19)$$

$$C(f) = \frac{g^2 f^{-5}}{(2\pi 2^4)} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \quad (3.20)$$

$P(f)$ = Gözlenen spektrumun enerjisi

$N_{2.0f_p} - N_{1.35f_p} + 1 = 1.35f_p$ ile $2.0f_p$ arasındaki toplam frekans sayısı

- 3) Gözlenen spektrumun pik enerjisinin aynı f_p ve σ 'ya sahip bir PM spektrumuna oranından γ 'nın belirlenmesi.

$$\gamma = \frac{E_{\text{maks}}(f_p)}{E_{\text{maks}}^{\text{PM}}(f_p)} \quad (3.21)$$

- 4) Gözlenen ve teorik spektrumun arasındaki farklılığın azalması σ 'ın 0.01'den 0.1'e kadar değerinin değişmesi,

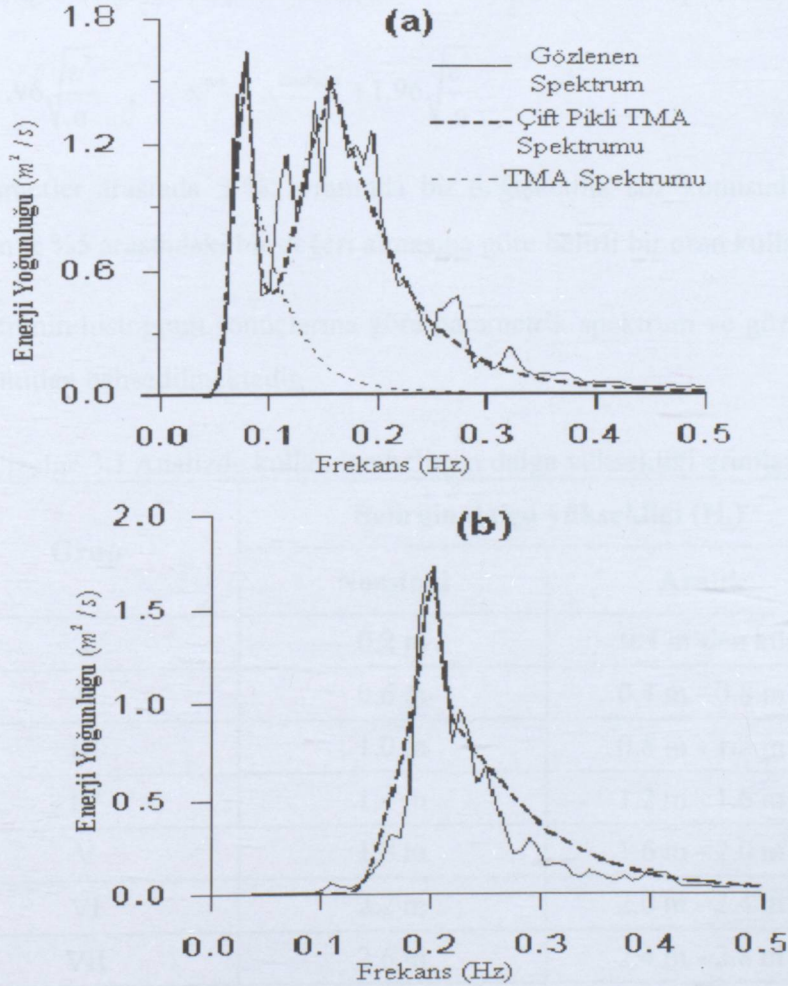
$$D(f) = \alpha \frac{g^2 f^{-5}}{(2\pi 2^4)} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma^{\left[\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right]} \quad (3.22)$$

İlk TMA spektrumu hesaplandıktan sonra, ikinci TMA spektrumu gözlenen spektrum ve birinci hesaplanan spektrum arasındaki farkla elde edilir. Bu noktada, iki pikli spektrumu sınıflamak için, üç koşul istenmektedir:

- (1) İkinci TMA spektrumunun maksimum enerjisi birinci spektrumun üçte birinden daha büyük olmalıdır.
- 2) İki spektrum pikinin frekansları arasındaki mesafe 0.05 Hz' den büyük olmalıdır.

3) İki spektrum pikin arasındaki çukur Houmb ve Due (1978)'in önerdiği gibi %90 güven aralığının altından daha küçük bir ordinata sahip olmalıdır.

Yukarıda belirtilen koşullar sağlandığında, spektrum çift pikli olmakta ve birinci ile ikinci TMA spektrumlarının toplamı olarak ifade edilmektedir. Aksi takdirde, tek pikli olurlar. Gözlenen ve parametrik spektrum arasındaki karşılaştırmalar Şekil (3.5 a,b)'de gösterilmektedir. Şekil (3.5a) soluğanın rüzgâr dalgası ile birlikte var olması durumunu ve bundan dolayı çift pike sahip dalga spektrumunu göstermektedir. Şekil (3.5b) kuvvetli rüzgârlardan dolayı kısmen gelişmiş şiddetli denizi ve daha keskin pikli küçük frekanslı spektrumun karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil (3.5 a,b)'de gösterildiği çift pikli TMA spektrumu iki farklı formda ifade edilebilmektedir. (Ocean Eng., 1984).



Şekil 3.5 Çift pikli TMA, TMA ve gözlenen dalganın karşılaştırılması (a) iki pikli,(b) tek pikli

Ochi ve Hubble (1976) tarafından yapılan istatistiksel analiz, güvenli aralıklarla ölçülen bütün veri tabanı ve ürünler için yeterli tasarım sağlamaktadır. Ancak, TMA spektrumunun kullanıldığı yöntemle P-M spektrumunun kullanıldığı yöntem arasında farklılıklar vardır. Bu yöntemde, TMA spektrumu beş parametrelili iki set olarak tanımlanmakta, sırasıyla, Ochi ve Hubble (1976) tarafından ifade edilen birçok farklı spektrum şekilleri sığ suda olduğu gibi derin denizde de belirtilmektedir.

Bu amaçla, Kore civarındaki denizlerde toplam 17,750 adet gözlenen spektrum Çizelge 3.1'de verildiği gibi on grupta sınıflandırılmıştır. Her bir parametrenin histogramı göreceli oluşma oranlarına bağlı dönemlerde belirtilmelidir ve olasılık yoğunluk dağılımları her bir parametre için histogramına göre ölçülmelidir. Normal dağılım bu parametreler için en iyi dağılım olarak varsayılır. Bu yöntemden, %95 güven aralığında bir parametre için ortalama, üst ve alt sınır değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. ε^2 varyans ve n ise toplam sayıdır.

$$x^{\text{alt}} = x^{\text{ortalama}} - 1.96\sqrt{\frac{\varepsilon^2}{n}}, \quad x^{\text{üst}} = x^{\text{ortalama}} + 1.96\sqrt{\frac{\varepsilon^2}{n}} \quad (3.23)$$

Kullanılan parametreler arasında $\pm\%5$ oranında bir değişkenlik söz konusudur. Örneğin, α değeri için f_p 'in $\pm\%5$ arasındaki bir değeri almasına göre belirli bir oran kullanılmaktadır.

Her bir parametrenin histogram sonuçlarına göre parametrik spektrum ve gözlenen spektrum arasında bir orantıdan bahsedilmektedir.

Çizelge 3.1 Analizde kullanılan belirgin dalga yüksekliği grupları

Grup	Belirgin dalga yüksekliği (H_s)	
	Nominal	Aralık
I	0.2 m	0.4 m'den küçük
II	0.6 m	0.4 m - 0.8 m
III	1.0 m	0.8 m - 1.2 m
IV	1.4 m	1.2 m - 1.6 m
V	1.8 m	1.6 m - 2.0 m
VI	2.2 m	2.0 m - 2.4 m
VII	2.6 m	2.4 m - 2.8 m
VIII	3.0 m	2.8 m - 3.2 m
IX	3.4 m	3.2 m - 3.6 m
X	3.8 m	3.6 m'den büyük

Gözlenen spektrum ile parametrik spektrumunun uygunluk derecesi, parametrik spektrum ve gözlenen spektrum arasındaki farklılığa bağlı olarak karelerinin ortalamasının karekökü olarak nitelendirilen, uygunluk kavramı R ile tanımlanmakta ki bu formülde $P(f_i)$ gözlenen spektrum ve $S(f_i)$ parametrik spektrumdur.

$$R = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N [P(f_i) - S(f_i)]^2}}{\sum_{i=1}^N P(f_i)^2} \quad (3.24)$$

Kore civarındaki denizlerde gözlemlenen 17,750 spektrum değerlendirildiğinde, en iyi bilinen üç spektrum modeli, P-M, JONSWAP ve TMA için, sırayla R değerleri 0.453, 0.371 ve 0.356 olarak elde edilmiştir. TMA spektrumunun gözlemlenen spektrum için en uygun olduğu, ancak bu spektrumda iki pikin oluşması halinde birçok hatanın oluştuğunu göstermektedir. Böylece bu çalışmada önerilen çift pikli TMA spektrumu aynı spektrum verisi için uygulanmıştır. Sonuçlar çift pikli spektrum durumunda, çift pikli TMA spektrum modelinin %20 daha iyi sonuçlar verdiğini ve artan belirgin dalga yüksekliği ile daha iyi uygunluk sağladığını Çizelge 3.2'de göstermiştir.

Bu arada, spektrum dikkatlice incelendiğinde, ayrı ayrı ele alınması gereken iki çeşit çift pikli spektrumun olduğu görülmektedir. İki tipin arasındaki ayırt edici farkın ölçüsü iki pikden hangisinin etkin olduğuna bağlıdır.

1. Spektrumlardan biri yüksek frekanslı pikin etkin olması durumudur. Böyle bir spektrum uzak mesafeden gelen ve enerjisinin çoğunu kaybetmiş olan küçük frekanslı soluğanın, bir rüzgâr dalgası sistemiyle karşılaşması durumunda üretilir. Bu spektrum tipi **rüzgâr etkin spektrum** olarak tanımlanmaktadır.
2. Diğer taraftan, küçük frekanslı pikin etkin olduğu spektrum yenilenen rüzgâr veya rüzgâr doğrultusunun değişmesiyle oluşan kısa periyotlu dalgaların rüzgârla birleşmesi ile oluşmaktadır. Rüzgârın eski dalgaları sürükleyememesi durumunda dalga sistemi soluğana dönüşmektedir ve bu tip spektrum **soluğan etkin spektrum** olarak adlandırılmaktadır (Soares, 1984).

Bu çalışmada, çift pikli TMA spektrumu olarak adlandırılan yeni geliştirilmiş TMA spektrumu Kore civarındaki denizlerde gözlemlenen 17,750 spektrum için uygulanmıştır. Çift pikli TMA spektrum parametrelerinin istatistiksel analizi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına

göre, % 95 güven aralığında oluşması beklenen, olası spektrum Kore civarında denizlerde saptanmış ve inceleme alanında dalga spektrum karakteristikleri incelenmiştir.

İnceleme alanında dalga spektrum karakteristikleri şu iki sonuçla gösterilmektedir.

1. Öncelikle, analiz edilen toplam spektrumun % 25'inin çift pikli olduğu görülmüştür ve artan belirgin dalga yüksekliği ile bu tipin oluşma olasılığı azalmaktadır.
2. İkincisi ise, çift pikli spektrumların %58'i soluğan etkin spektrumdur, bu spektrumlarda küçük frekanslı pikler etkindir. Soluğan etkin spektrumun oluşma olasılığı artan belirgin dalga yüksekliği ile artmaktadır.

Çizelge 3.2 "Uygunluk Derecesi" TMA spektrum için (Bouws vd.,1985a) ve çift pikli TMA spektrum

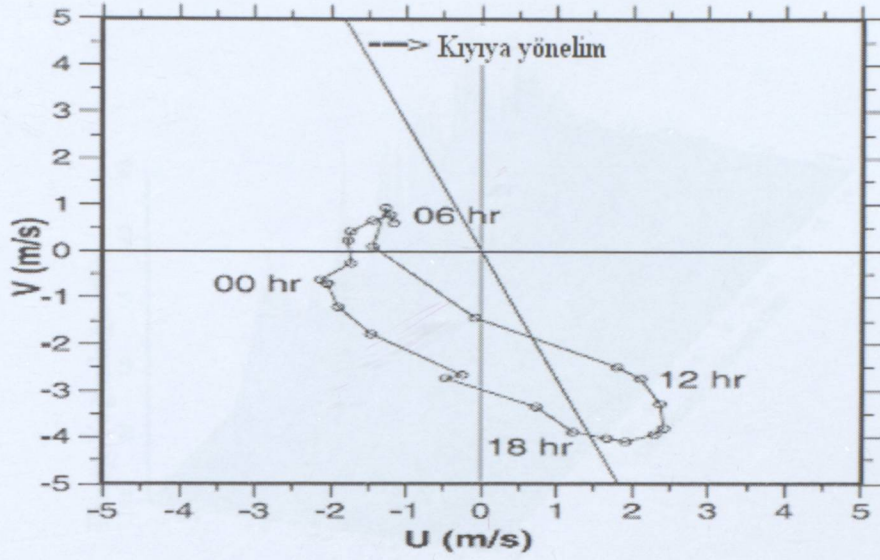
	TMA spektrum (Bouws vd. 1985a)	Çift pikli TMA Spektrumu
Tek Pikli spektrum	0.333	0.333
Çift Pikli spektrum	0.425	0.345
Ortalama	0.356	0.336

3.3 Goa'da deniz rüzgarlarının etkilerinin TMA spektrumu ile araştırılması

Hindistan'da yaz musonlarının sona ermesinden ve bir sonraki musonun başlangıcına kadar, Kasım-Mayıs ayları boyunca, Hindistan'daki kıyısız bölgelerde deniz rüzgarları hakim olmaktadır. Kıyı problemlerinde deniz rüzgarları etkili olabilmektedir.

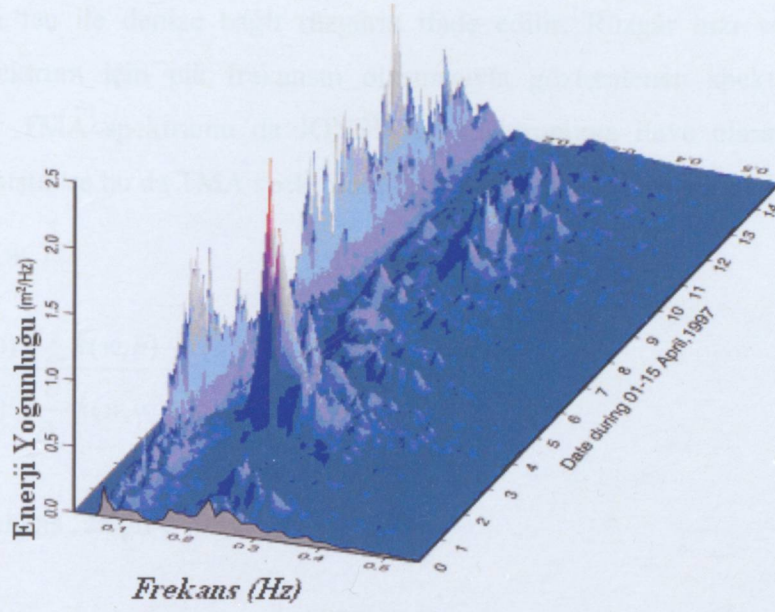
Deniz rüzgarları kıyısız problemlerde önemli olmaktadır. Örneğin, deniz rüzgarının, Perth'in kıyısız alanında, Avustralya'da, kıyı boyu katı madde taşınımına etkisi olduğu gösterilmiştir. Nisan ayı boyunca kuzeydoğu musonları ile güneybatı musonlarının geçişinden kaynaklanan yüksek ölçekli sirkülasyonların Hindistan civarı ve okyanusun kuzeyinde zayıf kaldığı görülebilmektedir (Physical Oceanography Division, 1973). Bu da soluğanın nisan ayında minimum değerde kaldığını göstermektedir.

Bir rüzgâr ölçer yardımıyla on dakikalık rüzgâr hızı verileri elde edilmiştir. Rüzgâr ölçerden alınan veriler sonucu saat 10'da rüzgâr oluşmaya başlamakta ve saat 15'de pik değere çıkmakta olup rüzgâr hızı 5 m/s'ye ulaşmaktadır. Saat 20'den sonra rüzgâr hızı 3 m/s altına düşmekte ve yavaşça azalmaktadır. Rüzgâr hızındaki günlük hodograf değeri Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 1-15 Nisan 1997 arasında deniz rüzgarlarının hodograf değerleri. 06:00, 12:00, 18:00 ve 24:00 saatlerindeki rüzgâr vektörleri

Nisan 1997'in ilk iki haftası boyunca elde edilen 20 dakikalık ölçümlerde dalga spektrum frekansının 0.03-0.6 Hz frekans bandında olduğu görülmektedir. Şekil 3.7'de gösterildiği gibi spektrum enerji yoğunluğu, frekans ve zaman alanında üç boyutlu olarak gösterilmektedir. Enerji spektrumunda düşük frekanslı kısmın soluşan dalgalarının oluşturduğu ve frekans değerinin 0.15 Hz'den daha küçük olduğu görülmektedir. Enerji spektrumunun yüksek frekanslı kısmını ise rüzgar dalgalarının oluşturduğu ve spektrumun pik frekans değerinin 0.23 ± 0.05 Hz civarında olduğu görülebilmektedir. Buna bağlı olarak spektrumun yüksek frekanslı kısmının Goa civarında oluşan yerel rüzgarlardan kaynaklandığı bilinmektedir ve ayrıca rüzgarın esme süresi ile rüzgarın yön değiştirmesinin de spektrumun enerji dağılımında bir etken olduğu kabul edilmektedir (Eliot, 1997).



Şekil 3.7 Frekans (Hz) ve zamanın (1-15 Nisan 1997 arasında 3 saatlik) fonksiyonu olan spektrum yoğunluk fonksiyonu (m^2/Hz)

Bundan başka olasılıkları araştırırken, denizde oluşan rüzgar dalgalarının pik frekansları gözlenen spektrumun ve teorik denge spektrumunun birleşenleri olduğu sonucuna varılmıştır. Bu teorik spektrum, sonlu su derinliğinde rüzgar etkin dalgalarda kullanılan JONSWAP (Hasselmann vd., 1973) spektrumu ile formüle edilmiş **TMA spektrumdur** (Bouws vd., 1985a). Su derinliği ise 23 m olarak alınmıştır. JONSWAP spektrumu ise aşağıdaki gibi verilmektedir;

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi^4) f^5} \exp(-1,25(\frac{f_p}{f})^4) \gamma^\tau \quad (3.25)$$

$$\tau = \exp(-\frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}) \quad (3.26)$$

γ = diklik parametresi (ortalama 3.30 alınmıştır.)

$\alpha = 0.076(X_0)^{-0.22}$, ölçek parametresi

$\sigma = 0.07$

$$\begin{cases} f \leq f_p \rightarrow 0.09 \\ f > f_p \rightarrow f_p = 3.5(g/\bar{U})X_0^{-0.33}, X_0 = \text{feç uzunluğu} \end{cases}$$

\bar{U} = rüzgar hızı ve g, yerçekimi ivmesidir.

Spektrum limitli feç ile denize bağlı rüzgârla ifade edilir. Rüzgâr hızı ve feç uzunluğu gözlemlenen spektrum için pik frekansın oluşmasıyla gözlemlenen spektrum ifadesinde kullanılmaktadır. TMA spektrumu da JONSWAP spektrumuna ilave olarak bir dönüşüm faktörü kullanılmıştır ve bu da TMA spektrumu olarak aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$S(f) = S(f) * \phi(w_h) \quad (3.27)$$

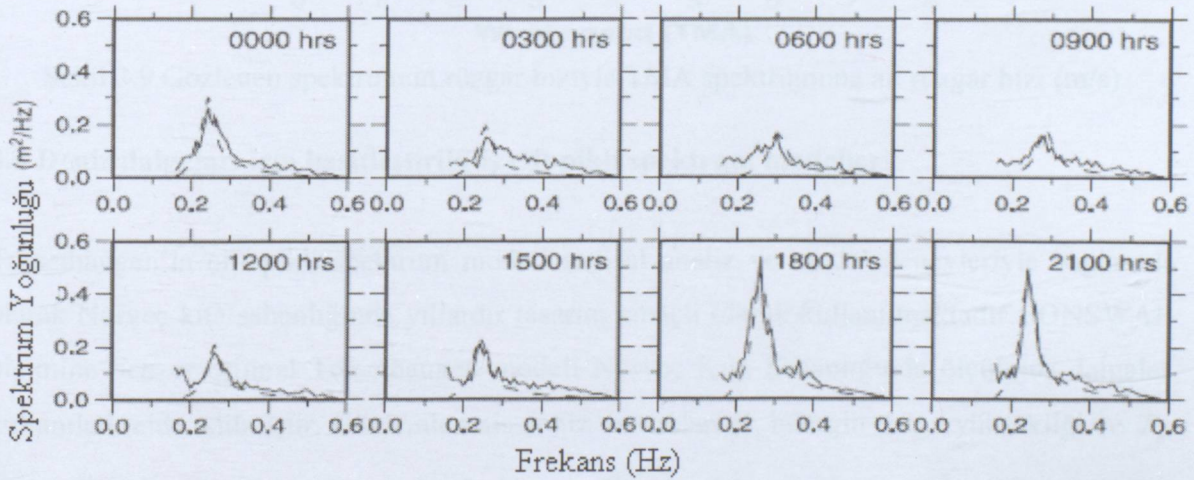
$$\phi(w_h) = \frac{(k(w, h))^{-3} \frac{\partial}{\partial w} k(w, h)}{(k(w, h))^{-3} \frac{\partial}{\partial w} k(w, \infty)} \quad (3.28)$$

w_h : boyutsuz frekans, $2\pi\sqrt{h/g}$

h: su derinliği

$k(w, h)$ sonlu su derinliğinde dispersiyona bağlı dalga numarası

Aynı feç uzunluğu ve rüzgar hızı değerlerinin kullanıldığı gözlemlenen spektrum ve TMA spektrumunda, Goa denizindeki spektrum değeri TMA spektrumu ile daha net sonuçlar vermektedir (Şekil 3.8). Şekil 3.8'in incelenmesiyle enerji spektrumun saat 18.00 ile 20.00 arasında pik değere ulaştığı görülmektedir.

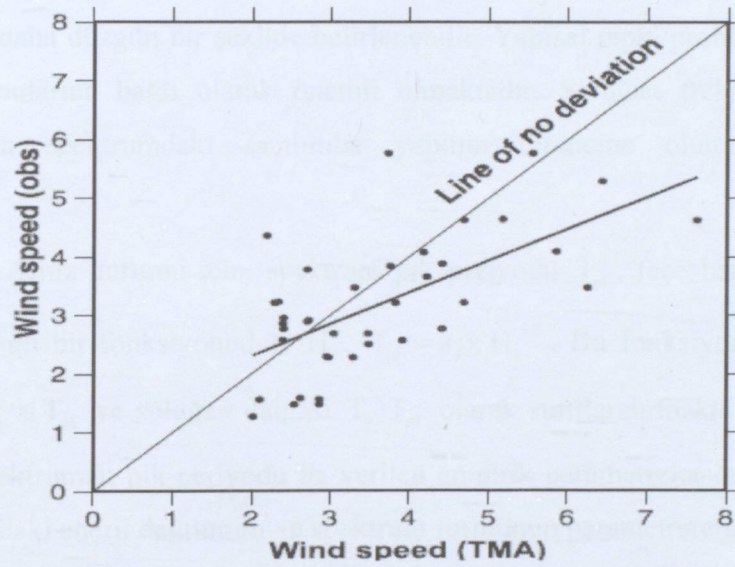


Şekil 3.8 Gözlemlenen spektrum (kalın çizgi) ve teorik (kesikli çizgi) spektrumun karşılaştırılması, 11 Nisan 1997

Her üç saatte, ortalama yirmi dakika süreyle ölçülen dalgalara ait spektrumda rüzgar dalgası spektrumu 0.23 ± 0.05 Hz frekansında maksimum olmaktadır. TMA spektrumu (Bouws vd., 1985a), rüzgâr dalgasının aktif ve feçin denge spektrumunu 77 ± 43 km yakaladığı durumlarda ölçülmüş dalgalara için daha net sonuçlar vermektedir. Ayrıca Goa civarındaki deniz için TMA

spektrumu feç uzunluğu ve rüzgar hızı değerlerine bağlı olarak gözlemlenen spektruma göre daha net sonuçlar vermektedir.

Gözlemlenen rüzgar hızı ve tahmin edilen rüzgar hızı arasındaki korelasyon değeri 0.64 (39 nokta için) olmakta ve gözlemlenen spektrum için rüzgar hızının 2 m/s civarında esmesiyle %99 daha iyi sonuçlar vermektedir (Şekil 3.9). Bu durumda denge spektrumu 77 ± 43 km'ye karşılık gelen feçe bağlıdır. Şekil 3.9'da görülen $y = 0,5426x + 1,2264$ formülü elde edilmekte ve y ölçülmüş rüzgar ve x ise dalga spektrumundaki denge rüzgarıdır.



Şekil 3.9 Gözlenen spektrumun rüzgar hızıyla TMA spektrumuna ait rüzgar hızı (m/s)

3.4 Deniz dalgaları için basitleştirilmiş çift pikli spektrum modelleri

Torsethaugen'in çift pikli spektrum modeli sayısal analiz ve model deneyleriyle bağlantılı olarak Norveç kıta sahanlığında yıllardır tasarım amaçlı olarak kullanılmaktadır. JONSWAP biçimine benzer orijinal Torsethaugen modeli Norveç Kıta Sahanlığında ölçülmüş dalgalar kullanılarak elde edilmiştir. Gözlemlenmiş deniz durumları H_s belirgin dalga yüksekliği ve T_p spektral pik periyoda göre gruplandırılmıştır. Bu da dalga spektrumunun H_s ve T_p 'in kombinasyonlarının geniş bir aralığında kurulduğu anlamındadır.

Yapılmış bu çalışmanın amacı;

- Bağımsız parametreleri azaltmak, orijinal Torsethaugen modeli ile spektrumun ortalamasını kıyaslanabilir ölçüde ifade etmek ve daha basit bir model elde etmektir,
- Bazı fiziksel ve konuma bağlı ampirik ifadelerin daha iyi anlaşılması için modeli analiz etmektir,

Ayrıca basitleştirilmiş Torsethaugen modeli Norveç Kıta Sahanlığında ölçülmüş spektrumlar için Ochi-Hubble modeliyle karşılaştırılmak amacıyla kullanılmıştır. Bu modelde ölçülmüş spektrumlar şamandıradan alınan veriler ile Miros radarından alınan verilerin karşılaştırılması için de kullanılmıştır.

Torsethaugen modelinde H_s ve T_p 'in çeşitli kombinasyonları kullanılarak ortalama spektrum ifade edilmiştir. Sadece iki parametre ile karakterize edilen denize ait tahmini spektrum şeklinde kullanılan modelde gözlenen spektruma kıyasla önemli ölçüde saçılım meydana gelmektedir. Spektrumun küçük frekanslı kısmında yani soluğan bileşenlerinin olduğu kısımda saçılım daha düzgün bir şekilde belirlenebilir. Yapısal tepki problemlerinde saçılım, transfer fonksiyonlarına bağlı olarak önemli olmaktadır. Soluğan frekans bant genişliği etkinse ortalama spektrumdaki saçılımlar yapının direncine olumsuz yönde etkili olabilmektedir.

Gelişmekte olan deniz durumu için, spektrum pik periyodu T_{pf} , feçe bağlı a_f ile belirgin dalga yüksekliğinin bir fonksiyonudur, H_s , $T_{pf} = a_f \times H_s^{1/3}$. Bu fonksiyon deniz durumunu rüzgâr dalgası $T_p \leq T_{pf}$ ve soluğan dalgası $T_p > T_{pf}$ olarak sınıflandırmaktadır. Belirgin dalga yüksekliği ve spektrumun pik periyodu ile verilen ampirik parametreler modeldeki iki dalga sisteminin arasındaki enerji dağılımını ve spektrum formunun parametrelerini belirtmektedir.

Bölüm başında verilen dalga spektrumunun elde edilmesinde belirtilen adımlar ve parametrik spektrum modellerindeki temel elemanlar doğrultusunda rüzgâr ve soluğan deniz durumuna bağlı ifadeler geliştirilmiştir. Torsethaugen Norveç kıta sahanlığında çeşitli spektrum modelleri kullanarak bazı sonuçlar elde etmiştir (Norwegian Deepwater Program NDP, 1996)

Küçük frekanslı dalgalar rüzgâr alanında daha hızlı yayılmaktadır. Soluğan bileşeni bölgeye bağlı rüzgâr dalgasına eklendiğinde çift pikli dalga spektrumunu yaratmaktadır. Bazı spektrum modelleri çift pikli spektrumlar için gerçeğe yakın yaklaşımlar için geliştirilmiştir.

-Ochi-Hubble

Bu spektrum her dalga sistemi için üç parametre içermektedir; belirgin dalga yüksekliği, spektral pik periyot ve şekil faktörü λ . Şekil faktörü sırasıyla soluğan için $j = 1$ ve rüzgâr dalgası için $j = 2$ olarak kullanılmıştır.

$$S(f) = \sum_{j=1}^2 \frac{H_{sj}^2 T_{pj} (\lambda_j + 0.25)^{\lambda_j}}{4\Gamma(j)(T_{pj}f)^{(4\lambda_j+1)}} \exp\left\{-\frac{(\lambda_j + 0.25)}{(T_{pj}f)^4}\right\} \quad (3.29)$$

$$\lambda_1 = \lambda_{10}$$

$$\lambda_2 = \lambda_{20} e^{\lambda_{21} H_s} (H_s, m)$$

Hesaplanan spektrumda $\lambda_{10} = 3.0$, $\lambda_{20} = 1.54$ ve $\lambda_{21} = -0.062(m^{-1})$ olarak bulunmuştur. En olası spektrumda soluğan yüksek frekans değeri $f^{-11.9}$ iken, rüzgâr dalga sisteminde yüksek frekans değeri H_s 'in üssü değeri ile değişmektedir.

λ_{10} , λ_{20} ve λ_{21} için spektrumun varyasyon değeri % 95 güvenle on parametre ile açıklanabilir. H_s 'in tek bir değeri için spektrumun pik periyodu elde edilebilir. Bundan dolayı Ochi-Hubble spektrum modeli belirgin dalga yüksekliği ile uygulanabilmektedir (Journal of Scientific Oceanography, 2004).

-Torsethaugen spektrumu

Norveç sularında (Haltenbanken ve Statfjord) ölçülmüş dalga spektrumlarına dayanılarak geliştirilmiş çift pikli dalga spektrum modelidir. Model için veri, denizin belirgin dalga yüksekliği ve spektrumun pik periyodudur. Her deniz sistemi beş parametre ile tanımlanmaktadır. Bunlar H_s , T_p , γ , N ve M 'dir. Bunların hepsi H_s ve T_p cinsinden regresyon analizi ve en iyi eğri yöntemleri ile parametreleştirilmiştir (Torsethaugen, K. 1994).

Yerel tam gelişmiş deniz durumu $T_p - H_s$ için iki farklı tipe ayrılmaktadır.

a) Rüzgâr etkin deniz: $T_p \leq T_{pf}$

b) Soluğan etkin deniz : $T_p > T_{pf}$

T_{pf} yerel tam gelişmiş deniz durumu için spektrumun pik periyodudur. Bu mevcut noktadaki düşük basınç alanının boyutu veya topografya ile verilen maksimum feç ile belirlenir. Bu maksimum rüzgâr dalga enerjisi ile buna karşılık gelen spektrumun pik periyodu arasındaki ilişkiyi verir.

Rüzgâr etkin deniz durumu için belirgin dalga yüksekliği yerel tam gelişmiş deniz durumunda spektrumun pik periyodu değerinden daha yüksek olmaktadır. Bunun anlamı ilave enerji içeren ikincil bir sistemin mevcut olması gerektiğidir.

Soluğan etkin deniz durumu için durum daha karmaşıktır ve en azından iki farklı durum söz konusu olabilir.

1) Yerel rüzgâr dalgasına ilave olarak etkin soluğan,

2) Zayıflayan rüzgâr dalgaları: Eğer yerel rüzgâr zayıflıyorsa, büyük frekanslı dalgalar enerji kaybedeceklerdir. Bu soluğan (yaşlı rüzgâr dalgası) eğer yeni yerel rüzgâr dalgaları üretilmiyorsa, en yüksek spektrum pikini temsil edebilecektir.

Çift pikli spektrum modelleri, pikin dört tipi için parametrik tanım verir. Bunlar;

- a) Yerel rüzgâr alanında üretilmiş birincil dalga sistemi,
- b) Soluğan etkin birincil dalga sistemi,
- c) İkincil rüzgâr dalgası sistemi,
- d) İkincil soluğan dalgası sistemi,

Ortalama dalga spektrumu her biri Γ spektrumu ile tanımlanmış birincil ve ikincil dalga sistemlerinin toplamıyla elde edilmektedir.

Orijinal çift pikli dalga spektrum formülü birçok ampirik ifadeyi içermektedir. Bu parametrelerden bazıları zayıf deniz durumunda etkili olmakta ve bazıları da tasarım için marjinal önemdedir. Bu çalışma basitleştirilmiş versiyonu ifade etmektedir.

Tam gelişmiş deniz durumu

$$T_{pf} = afH_s^{1/3}$$

Pik artış faktörü

$$\gamma = k_4 F^{-1/7}$$

Dalga periyodu ölçek faktörleri

İki limit durumu söz konusudur.

$$\text{Düşük limit, } T_1 = a_e H_s^{1/2}$$

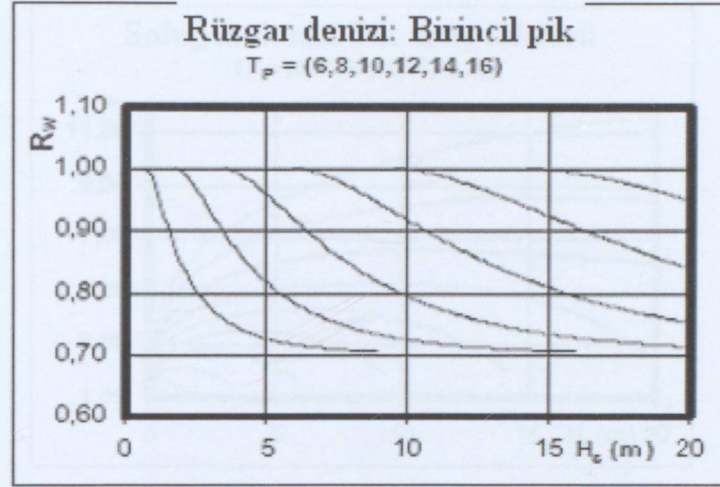
$$\text{Yüksek limit, } T_u = a_u$$

Yüksek frekans eğrisi

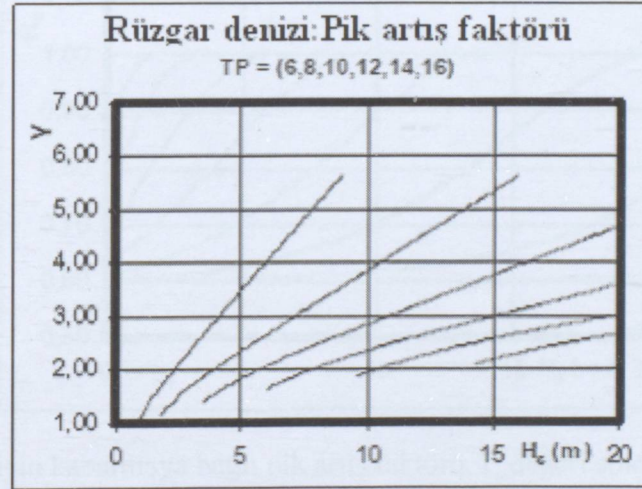
$$N = k_0 H_s^{1/2} + k_{00}$$

Bu parametreler birincil ve ikincil pik durumları için farklı koşullarda değerlendirilmiştir.

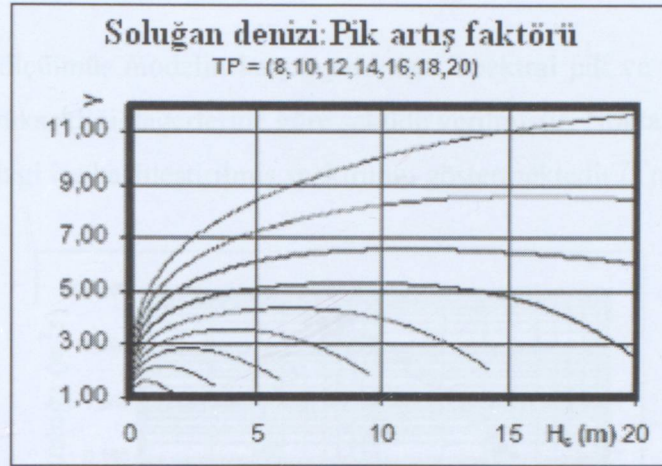
Parametrelerin varyasyon sonuçlarında, toplam dalga enerjisi aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi rüzgar ve soluğan durumlarına göre iki farklı sisteme ayrılmaktadır.



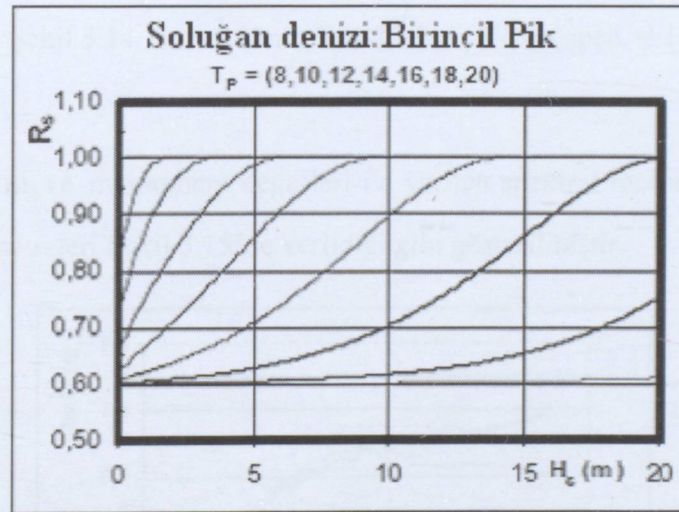
Şekil 3.10 $T_p \leq T_{pf}$ için rüzgara bağlı belirgin dalga yüksekliğinin toplamına oranı, T_p değeri soldan sağa doğru 6 s-16 s



Şekil 3.11 $T_p \leq T_{pf}$ için rüzgara bağlı pik artış faktörü, T_p değeri soldan sağa doğru 6 s-16 s



Şekil 3.12 $T_p > T_{pf}$ için kabarmaya bağlı belirgin dalga yüksekliğinin toplamına oranı, T_p değeri soldan sağa doğru 8 s-20 s

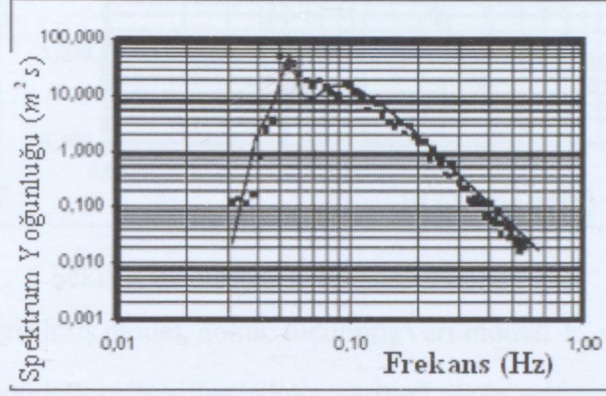


Şekil 3.13 $T_p > T_{pf}$ için kabarmaya bağlı pik artış faktörü, T_p değeri soldan sağa doğru 8-20 s Basitleştirilmiş modelle ölçülmüş model arasındaki farklılıklar aşağıda belirtildiği gibi verilmiştir.

- a) Statfjord için ortalama ölçülmüş spektrum
- b) Halten bölgesinden dalga periyoduna T_{m02} bağlı spektral momentler
- c) Gulfaks C'de Miros Radar ile ortalama ölçülmüş spektrum

Statfjord

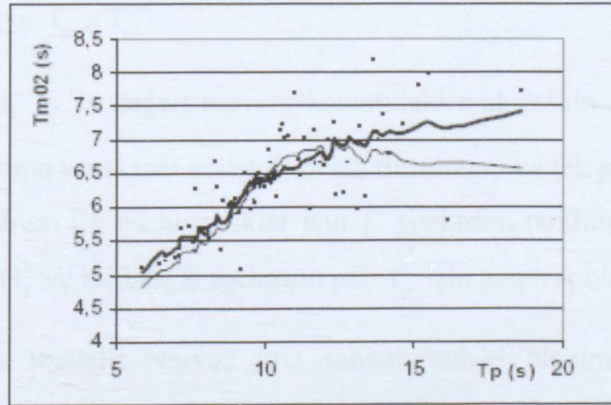
Spektral model ile ölçülmüş modelin karşılaştırılması, spektral pik ve yüksek frekans eğrisi için belirgin dalga yüksekliği değerlerine göre şekilde verilmiştir. Noktalar ortalama ölçülmüş spektrumu ve düz çizgi ise basitleştirilmiş spektrumu göstermektedir (Torsethaugen,1993).



Şekil 3.14 $H_s = 5.28m$, $T_p = 18.5sn$, No. of spec. = 14

Halten

Halten bölgesinde m_0 ve m_2 moment değerleri ile verilen spektral moment $T_{02} = (m_0/m_2)^{1/2}$ dalga periyot parametreleri Şekil 3.15'de verildiği gibi gösterilmiştir.

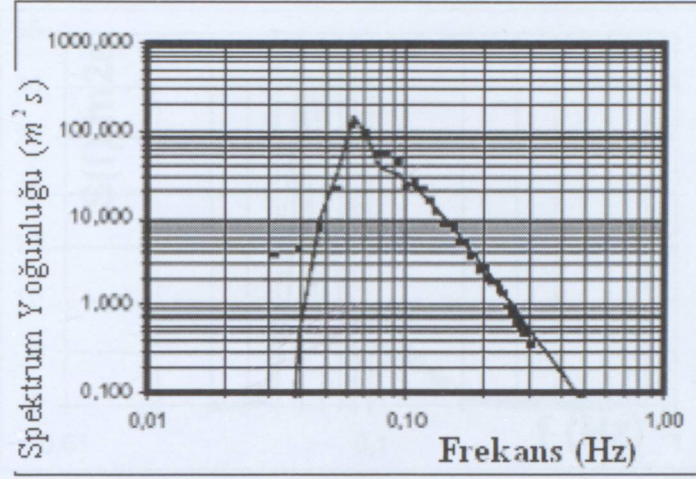


Şekil 3.15 Dalga periyot parametresinin T_{02} karşılaştırılması $H_s = 2.75m$ Noktalar: Ölçülmüş,

Kalın Çizgi: Model (koyu çizgi: basitleştirilmiş, ince çizgi: orijinal).

Gulfaks C

Dalga spektrumu 1998 - 2002, Şubat dönemi boyunca her yirmi dakika arayla Miros dalga radarından alınan veriler doğrultusunda hesaplanmıştır. Toplam dalga veri sayısı ise 105.403 adettir (Torsethaugen, 1993).



Şekil 3.16 Gulfaks C için dalga spektrumu.

Düz çizgi basitleştirilmiş model, nokta: ölçülmüş veri modeli $H_s = 8.30\text{m}$, $T_p = 10.7\text{s}$

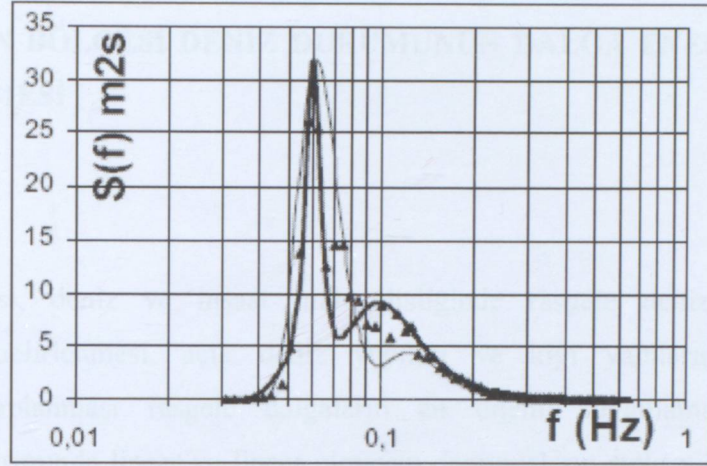
Çift pikli spektrum modelinin basitleştirilmiş sürümü ifade edilmektedir. Bu model yerel rüzgârın etkin olduğu ayrıca soluşanın görüldüğü deniz alanındaki dalga durumlarını belirtmektedir. Dalga durumu en yüksek spektrum pikinin merkezindeki iki tipe bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Bu iki tip $T_f = a_f H_s^{1/3}$ eşitliğinin

rüzgâr etkin deniz için $T_p < T_{pf}$ ve

soluşan etkin deniz için $T_p > T_{pf}$

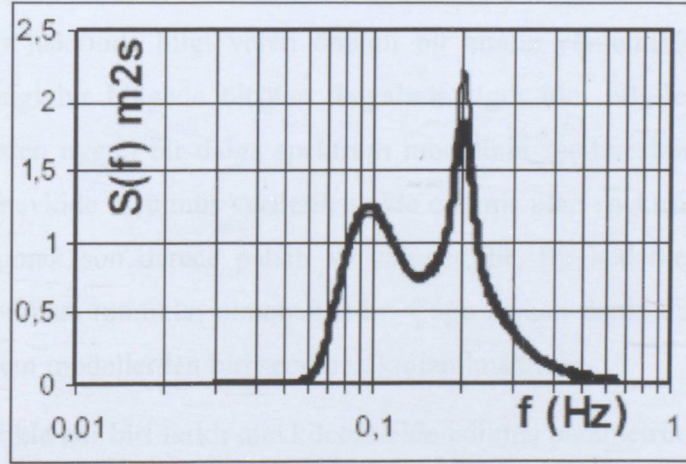
şekliyle ayrılmaktadır. a_f 'in değeri mevcut konumdaki maksimum feçe bağlıdır. $T_p = T_{pf}$ 'e karşı gelen deniz durumu yerel tam gelişmiş deniz durumunu ve tek pikli spektrum durumunu açıklamaktadır. Spektrum formu tüm pikler için Γ spektrum tarafından verilmekte ve bütün parametreler toplam H_s ve başlangıç spektrum pik T_p için ampirik olarak bulunmuştur.

Basitleştirilmiş dalga modeli; Norveç kıta sahanlığındaki ölçülmüş dalga, Ochi-Hubble modeli ve orijinal çift pikli modeli karşılaştırmaktadır. Basitleştirilmiş çift pikli spektrum modeli pratik olarak orijinal model ve ayrıca iyi ölçülmüş verilerin uygunluğunu gösterir. Ayrıntı özetlenirse: Ölçülmüş dalgalara ait yüksek frekans eğrisi orta ve büyük dalga durumları için basitleştirilmiş modeldeki -4 üssü değerinden daha hızlı düşmektedir. Küçük dalga durumunda ölçülmüş ikincil rüzgâr dalga piki modelde bulunan değere göre daha açıktır.



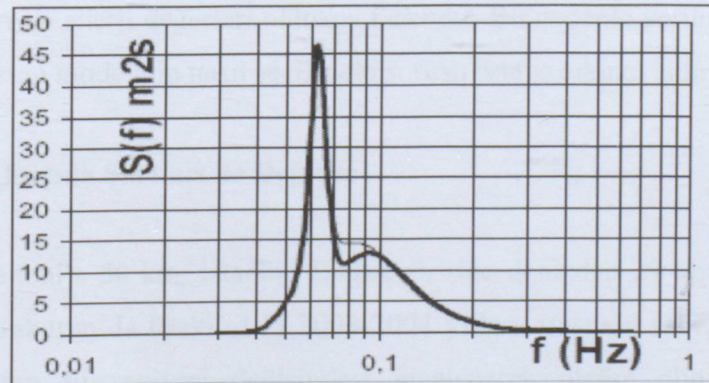
Şekil 3.17 Ölçülmüş spektrum ve basitleştirilmiş spektrumun (kalın çizgi) aynı başlangıç pik değeri için Ochi-Hubble spektrumu (ince çizgi) karşılaştırılması $H_s = 4.30m$,

$T_p = 16.8s$ Nokta: Statfjord'dan elde edilen ortalama ölçülmüş spektrum



Şekil 3.18 $H_s = 2m$, $T_p = 5s$, için mevcut modelle (kalın çizgi) orijinal modelin (ince çizgi)

karşılaştırılması



Şekil 3.19 $H_s = 5m$, $T_p = 16s$, için mevcut modelle (kalın çizgi) orijinal modelin (ince çizgi)

karşılaştırılması

4 KARABURUN BÖLGESİ DENİZ DURUMUNUN DALGA ENERJİ SPEKTRUMU İLE İNCELENMESİ

4.1 Giriş

Deniz ulaştırması, deniz ve inşaat mühendisliğinde rasgele deniz durumunda gemi davranışlarının belirlenmesi, açık deniz yapıları ve kıyı yapılarındaki hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması rasgele dalgaların en önemli uygulamalarındandır. Deniz sistemlerinin tasarımında lineer ve lineer olmayan davranışların stokastik tahmini için deniz durumunu temsil eden dalga spektrumuna ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan deniz araştırmalarındaki ölçümler sonucunda günümüzde halen kullanılmakta olan çeşitli parametrik dalga spektrum modelleri elde edilmiştir. Dalga spektrumu, dikkate alınan mevkide deniz durumunu tanımlayarak çeşitli dalga parametreleri hakkında bilgi veren önemli bir analiz yöntemidir. Birçok çalışmada önemli olan herhangi bir bölgede ölçülen dalgalarla ilgili tüm bilgileri veren yani deniz durumunu temsil eden uygun bir dalga spektrum modelinin seçilmesidir. Aslında en uygun spektrum, seçilen mevkide ölçülmüş verilerden elde edilmiş olan spektrum modelidir. Ancak denizde ölçüm yapmak son derece pahalı ve zahmetlidir. Bu nedenle her zaman ve her bölgede ölçüm yapılması mümkün olmamaktadır. Çoğu zaman deniz durumunun özelliğine göre en uygun mevcut modellerden biri seçilerek kullanılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle her biri farklı mevkilerde elde edilmiş parametrik spektrum modelleri incelenmiştir. Her biri farklı özelliklere sahip parametrik spektrumlarda belirgin dalga yüksekliği, belirgin dalga periyodu, frekans, açısız frekans ve rüzgâr hızı gibi değerler kullanılmaktadır. Modeller tam gelişmiş veya gelişmekte olan deniz durumları için ayrı ayrıdır ve formları ile enerji değerleri oldukça farklıdır. Bu nedenle verilen bir durumu en iyi temsil eden spektrum modelinin nasıl seçileceği sorusu ortaya çıkmaktadır.

4.2 Spektrumun Fırtına Şartları ile Değişimi

Bu çalışmada İstanbul'a 50 km, İstanbul Boğaz girişine denizden 29 km uzaklıkta bir sahil kasabası olan Karaburun'da (Şekil 4.1) 2003-2004 yılları arasında sabit bir noktada çeşitli dönemlerde ölçülen su seviyesi değişimleri incelenerek ölçüm alınan bölgenin deniz durumunun karakteristik özellikleri araştırılmıştır.



Şekil 4.1 Karaburun'un konumu

Karaburun bölgesinden alınan su seviyesi ölçümlerinin her biri farklı sürelerde olmak üzere dört adet dönem kapsamaktadır. Bu dönemler aşağıda verilen Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Karaburun'da su seviyesi ölçüm dönemleri

Dönem	Ölçüm Dönemi
1	30.08.2003-10.10.2003
2	29.12.2003-22.01.2004
3	27.03.2004-25.06.2004
4	16.09.2004-28.10.2004

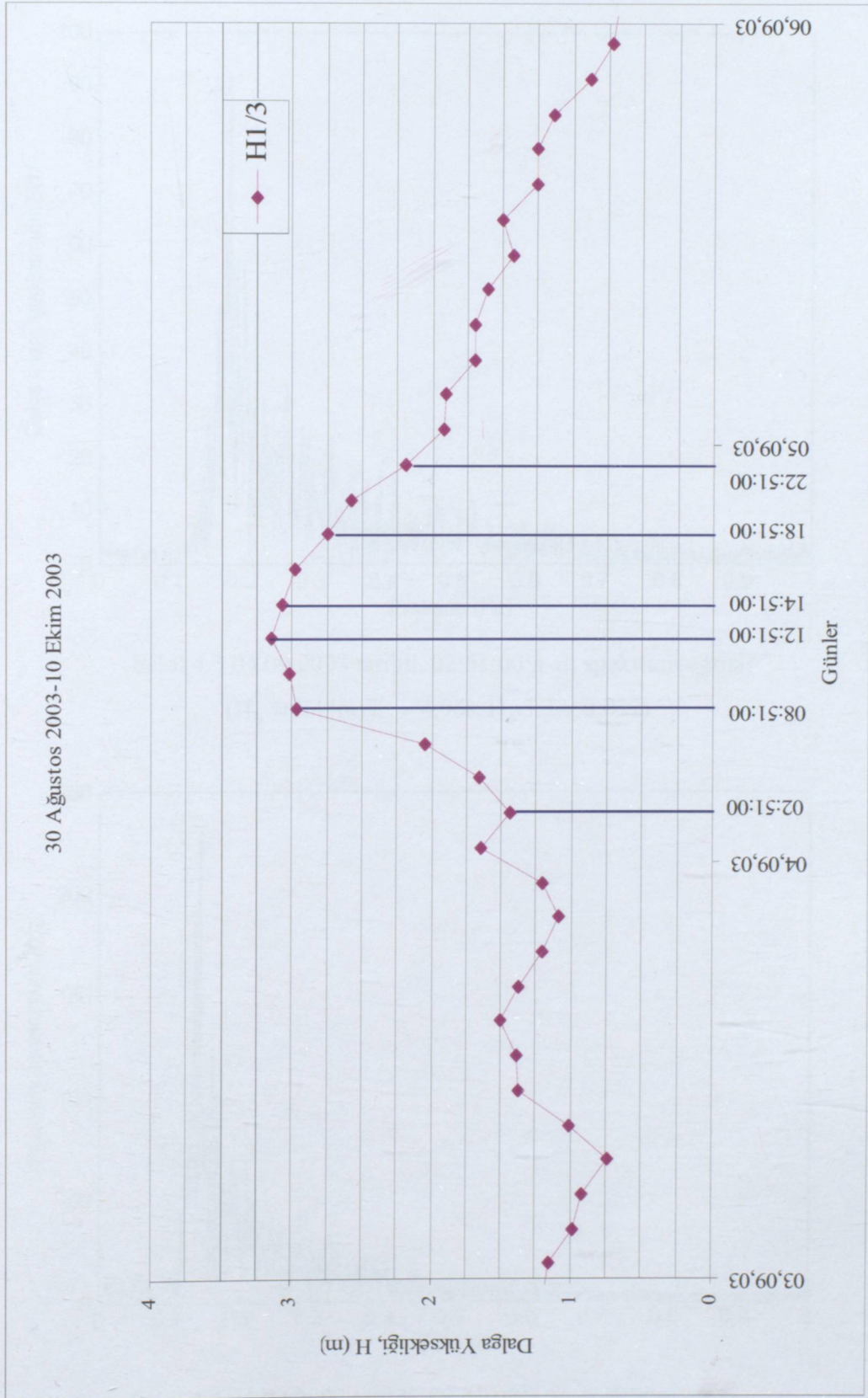
Çizelge 4.1' de gösterilen dönemlere ait su seviyesi ölçümleri iki saatlik zaman aralıkları ile her biri 10 dakikalık ölçümlerden oluşmakta dolayısıyla her gün için 12 adet ölçüm olup toplam 2527 adet veri seti mevcuttur.

Yukarıda belirtildiği gibi farklı dönemlere ait bu 2527 adet su seviyesi ölçümlerinden FFT analizi yardımıyla her bir ölçüm için dalga enerji spektrum yoğunluk dağılımları elde edilmiştir. Karaburun bölgesinde alınan su seviyesi ölçüm verilerinin FFT yöntemiyle analizinde, her bir ölçüm seti için veri nokta sayısı 1024, Nyquist frekans 0.5 Hz olarak alınmıştır. Yapılan dalga spektrum analizleri sonucunda elde edilen grafiklerde yatay eksen frekans (Hz) ve dikey eksen ise dalga enerji yoğunluk spektrumu (m^2/Hz) yer almaktadır. Yapılan analiz sonuçlarına göre toplam 2527 adet dalga spektrumu elde edilmiştir. Elde edilen bu dalga enerji spektrumları incelenmiştir. Bunun sonucunda dalga enerji spektrumunun nasıl ifade edilmesi gerektiği, farklı fırtınalarda aldığı şekil, fırtına öncesi ve sonrasında nasıl

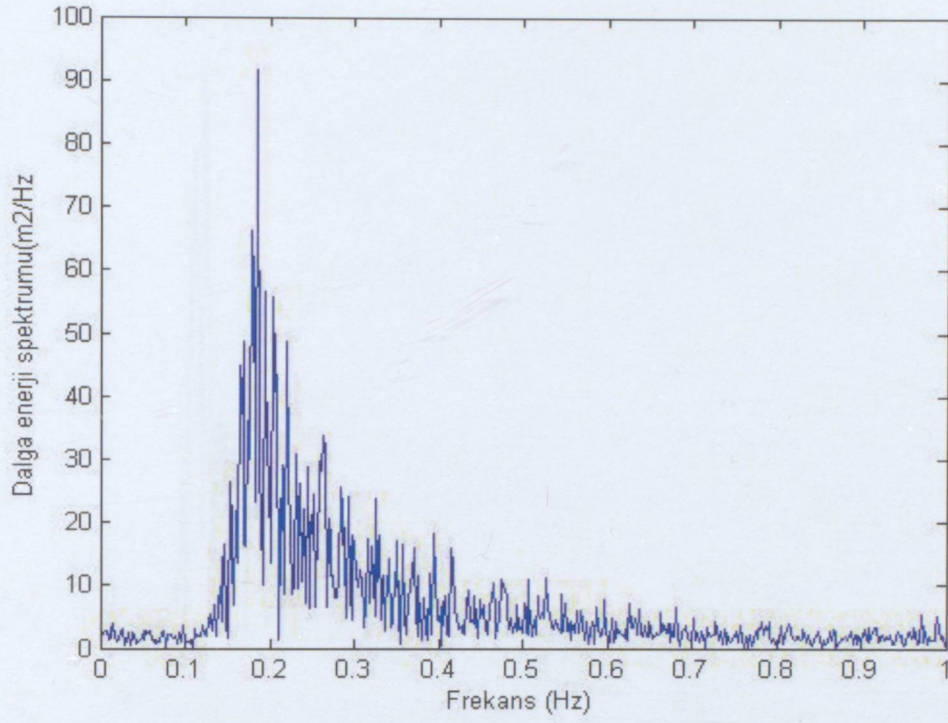
değiştirdiği ve ölçüm dönemleri boyunca hangi tipik formun gözlemlendiği gibi konulara değinilmiştir.

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen dalga enerji spektrumlarından bazı ölçümlere ait tipik dalga spektrum şekilleri dikkate alınarak tartışılmıştır. Farklı zamanlardaki fırtınalara ait dalga enerji spektrumlarının incelenmesi sonucu iki saat zaman aralıklarıyla enerji seviyesinin, enerji yoğunluğunun ve spektrum şeklinin değişiminin incelenmesi için 04.09.2003 tarihinde meydana gelen fırtınada 02:51, 08:51, 12:51, 14:51, 18:51 ve 22:51 saatlerinde alınan su seviyesi ölçümlerinden elde edilen dalga enerji yoğunluk spektrumları dikkate alınmıştır. Şekil 4.2’de bu fırtınaya ait belirgin dalga yükseklikleri gösterilmektedir.

Burada verilen dalga enerji spektrumları bir fırtınanın başlaması, en büyük değerine ulaşması ve tekrar azalması süreçlerine aittir. Bu ölçümlerden elde edilmiş olan dalga enerji spektrumları Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de görülmektedir. Şekil 4.3’den Şekil 4.8’e kadar elde edilmiş dalga enerji spektrumlarının pik değerleri, belirgin dalga yükseklik ve belirgin dalga periyotları Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Çizelge 4.2’den görüldüğü gibi fırtınanın artması ile enerji seviyesi, dalga yüksekliği ve periyodu kademeli olarak artmaktadır. Bunlara paralel olarak dalga dikliğinin de arttığı görülmektedir.

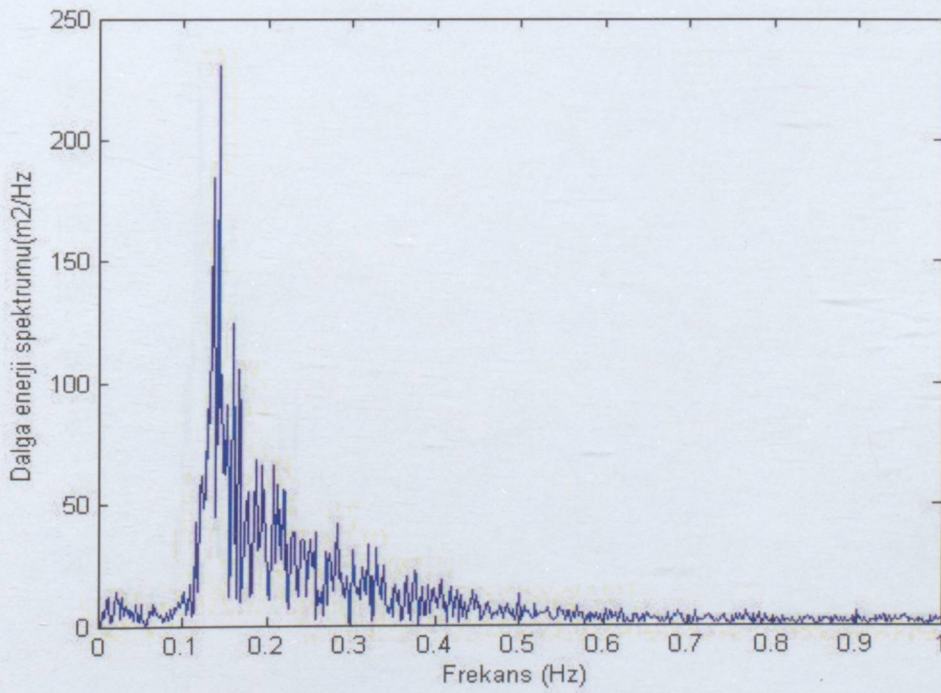


Şekil 4.2 04.09.2003 tarihinde belirgin dalga yüksekliği değişimi ile fırtına oluşumu



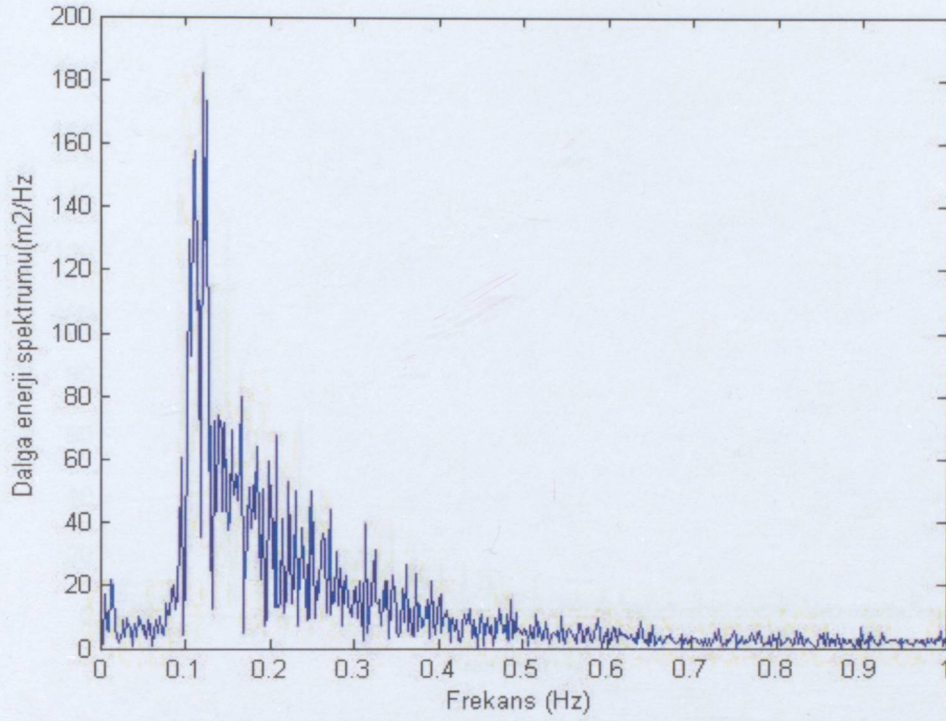
Şekil 4.3 04.09.2003 tarihli, 02:51:00'a ait spektrum eğrisi

$$(H_s = 1.44\text{m}, T_s = 4.96\text{s}, H_0/L_0 = 0.037)$$



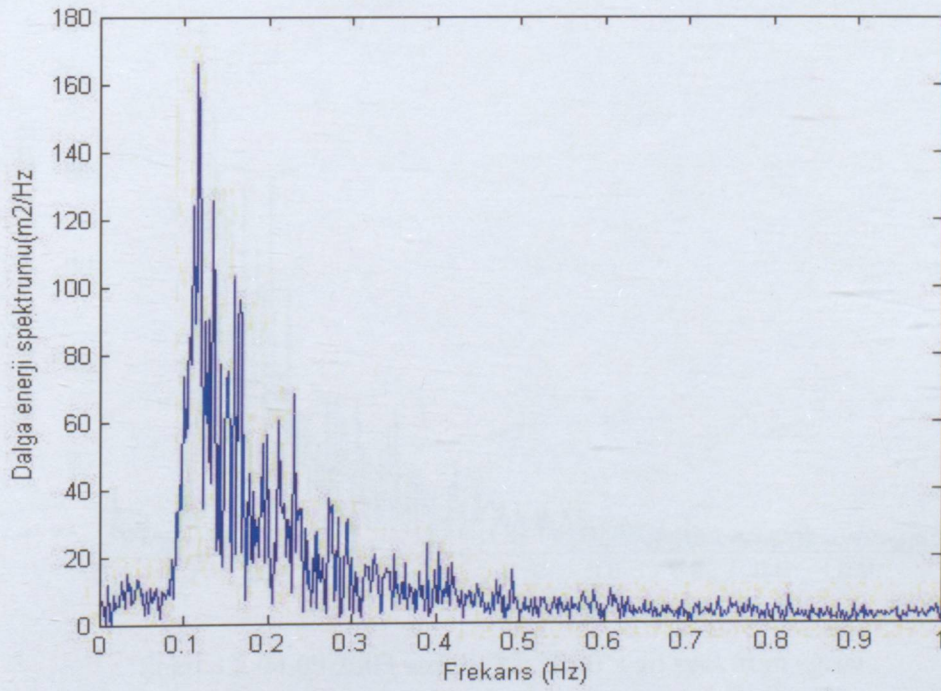
Şekil 4.4 04.09.2003 tarihli, 08:51:00'a ait spektrum eğrisi

$$(H_s = 2.97\text{m}, T_s = 6.58\text{s}, H_0/L_0 = 0.044)$$



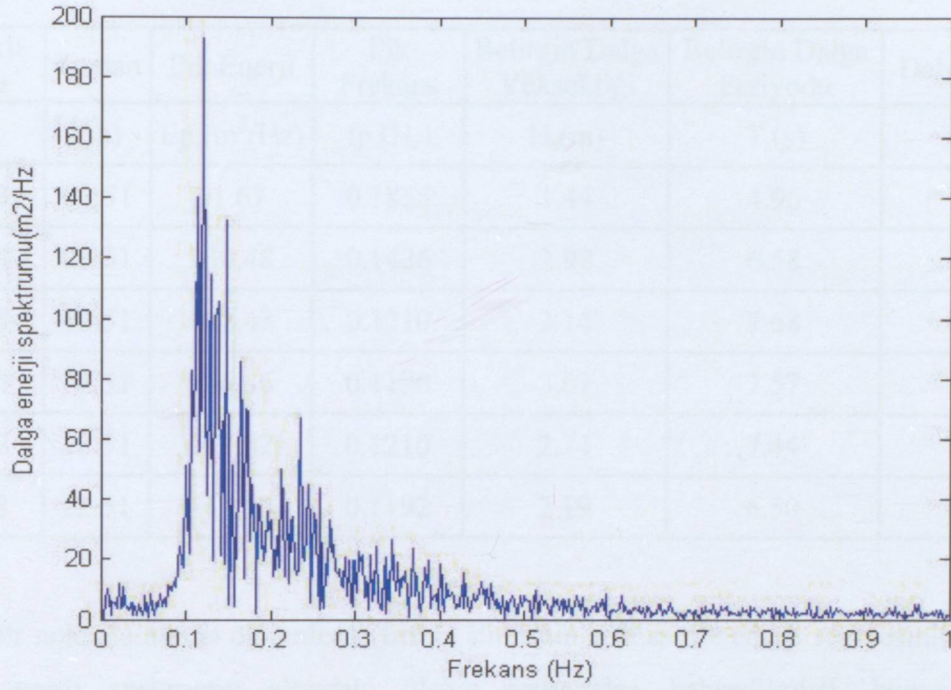
Şekil 4.5 04.09.2003 tarihli, 12:51:00'a ait spektrum eğrisi

$$(H_s = 3.14\text{m}, T_s = 7.68\text{s}, H_0/L_0 = 0.034)$$

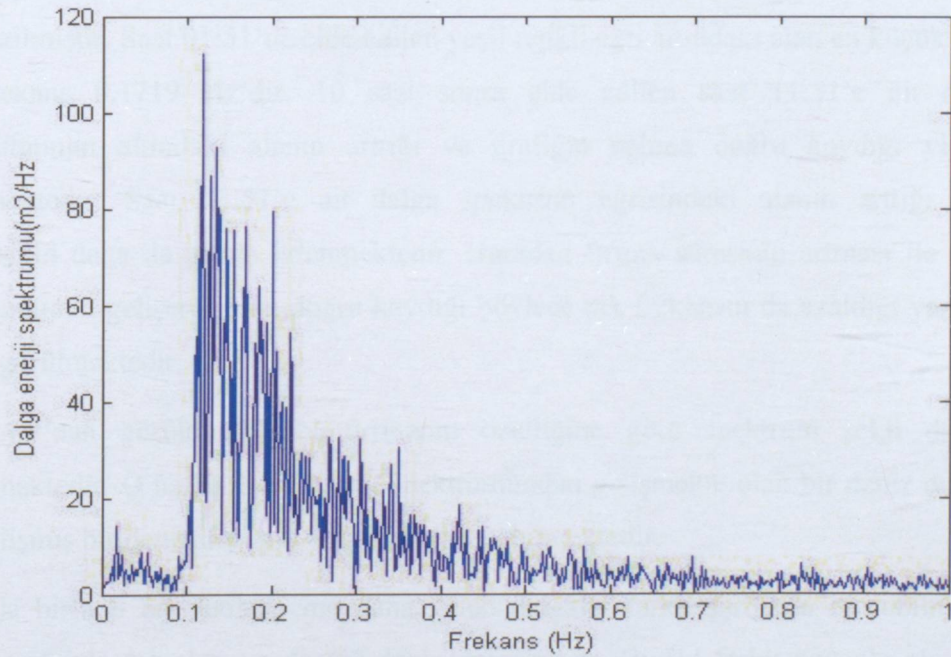


Şekil 4.6 04.09.2003 tarihli, 14:51:00'a ait spektrum eğrisi

$$(H_s = 3.07\text{m}, T_s = 7.57\text{s}, H_0/L_0 = 0.034)$$



Şekil 4.7 04.09.2003 tarihli, 18:51:00'a ait spektrum eğrisi
 $(H_s = 2.74\text{m}, T_s = 7.44\text{s}, H_0/L_0 = 0.032)$



Şekil 4.8 04.09.2003 tarihli, 22:51:00'a ait spektrum eğrisi
 $(H_s = 2.19\text{m}, T_s = 6.50\text{s}, H_0/L_0 = 0.033)$

Çizelge 4.2 04.09.2003, 02:51 – 22:51 arası ölçüm verilerine ait H_s, T_s, E_p, f_p

Şekil no	Zaman	Pik Enerji	Pik Frekans	Belirgin Dalga Yüksekliği	Belirgin Dalga Periyodu	Dalga Dikliği
	(sa)	$E_p, (m^2/Hz)$	$f_p, (Hz)$	$H_s (m)$	$T_s (s)$	H_s/L_s
4.3	02:51	91.67	0.1855	1.44	4.96	0.037
4.4	08:51	230.48	0.1426	2.97	6.58	0.044
4.5	12:51	182.43	0.1210	3.14	7.68	0.034
4.6	14:51	166.06	0.1170	3.07	7.57	0.034
4.7	18:51	192.82	0.1210	2.74	7.44	0.032
4.8	22:51	112.10	0.1192	2.19	6.50	0.033

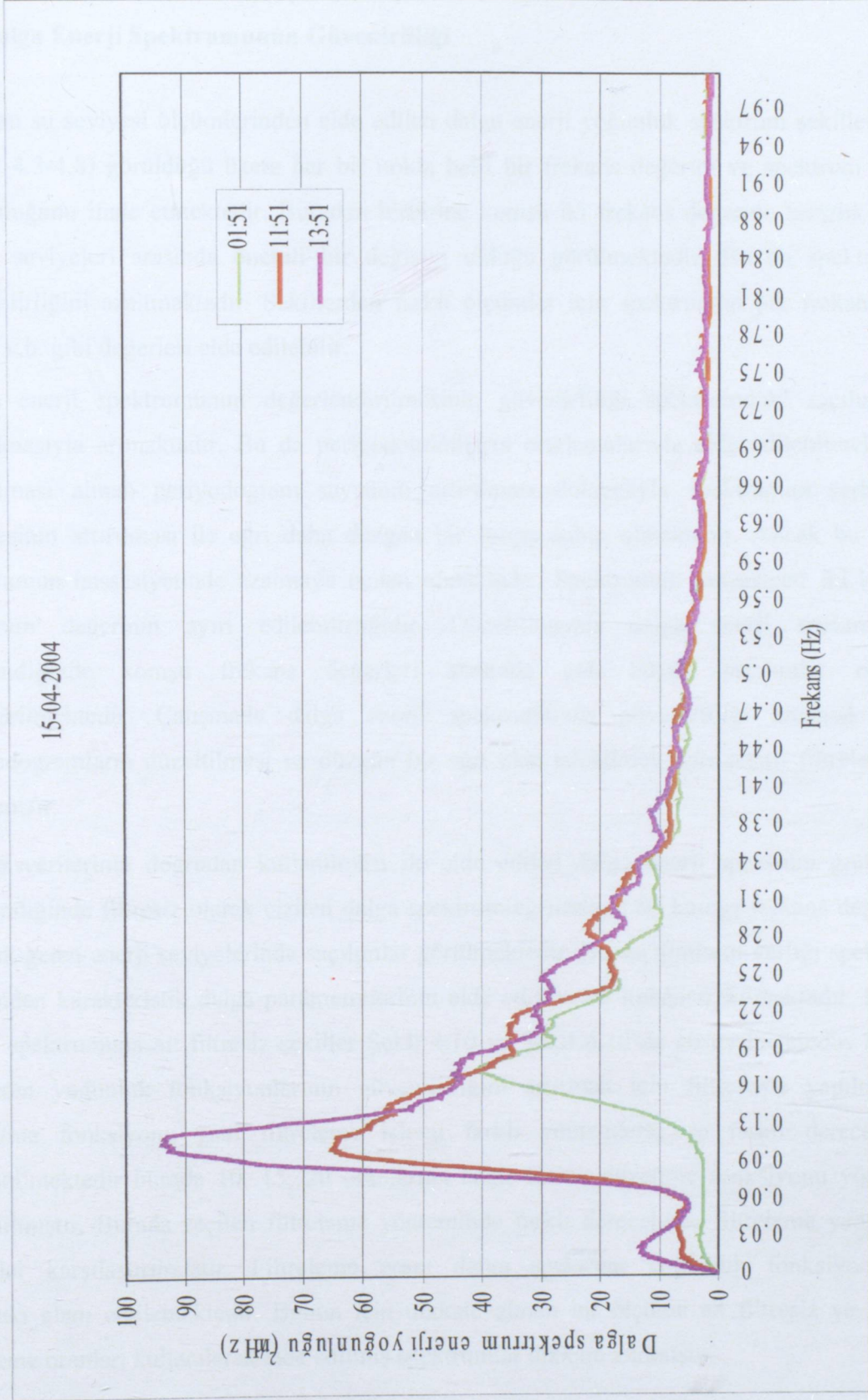
Sabit bir noktada alınan ölçümlerde fırtına süresinin artması ile enerji seviyesinin arttığı yani dalga enerji spektrumu altındaki alanın arttığından bahsedilmiştir, bunun da dalga yüksekliğinde artışa neden olduğu bilinmektedir. Fırtına süresinin artışı ile dalga enerji spektrumundaki bu değişim ve gelişim Şekil 4.9'da daha açık olarak görülmektedir. Şekil 4.9'da gelişmekte olan bir fırtınanın 3 farklı anında elde edilen dalga enerji spektrumları üst üste çizilmiştir. Saat 01:51'de elde edilen yeşil renkli eğri altındaki alan en küçük olup burada pik frekans 0.1719 Hz'dir. 10 saat sonra elde edilen saat 11:51'e ait dalga enerji spektrumunun altındaki alanın arttığı ve grafiğin soluna doğru kaydığı yine şekilden görülmektedir. Saat 13:51'e ait dalga spektrum eğrisindeki alanın arttığı yani enerji seviyesinin daha da arttığı izlenmektedir. Buradan fırtına süresinin artması ile dalga enerji spektrumunun gelişerek sola doğru kaydığı böylece pik frekansın da azaldığı yani periyodun arttığı görülmektedir.

Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi fırtınanın özelliğine göre spektrum şekli de değişiklik göstermektedir. O halde dalga enerji spektrumundan gelişmekte olan bir deniz durumu ya da tam gelişmiş bir deniz durumu olduğu belirlenebilmektedir.

Bununla birlikte bir denizde meydana gelen dalgalar farklı şartlarda oluşabilmektedir. Bu dalgalar rüzgâr dalgaları ya da ölü deniz dalgalarıdır. Bu iki farklı nedenle oluşan dalgalar temelde birbirlerinden farklıdır. Rüzgâr dalgaları çok daha düzensiz olduğundan dalga enerji spektrumunda daha geniş bir alanda yer almaktadır, bununla birlikte dalga periyotları daha küçük olduğundan büyük frekansa sahiptirler. Soluğan dalgaları ise fırtına alanının dışında yayılan dalgalar olduğundan hem küçülme eğilimi göstermektedirler hem de daha düzenlidirler, bu nedenle dalga spektrum enerji seviyeleri daha küçüktür. Uzun periyotlu yani

kısa frekanslı dalgalar olmaları nedeniyle dalga enerji spektrumunun sol tarafında daha dar bir frekans alanında yer alırlar.

Denizel ortamda rüzgâr fırtınalarına ait dalgalar ile soluğan dalgaları ayrı ayrı gözlemlenmiş gibi bunların belirli bölgelerde karşılaşmaları durumunda birlikte olmaları da söz konusudur. Böyle bir deniz durumu su seviyesi ölçümlerinin zaman alanındaki analizi ile belirlenemezken dalga enerji yoğunluk spektrumu ile çok daha kolay tespit edilebilmektedir. Fırtına ile soluğanın karşılaşmaları halinde kaydedilen su seviyesi ölçümlerinin FFT yöntemi ile analizi sonucunda elde edilen spektrum yoğunluk grafiği çift pikli olmaktadır. Buna ait örnekler bu bölüm içerisinde verilecektir.



Şekil 4.9 15.04.2004 tarihli, 01:51:00 – 11:51:00 – 13:51:00'a ait dalga spektrum enerji eğrileri

4.3 Dalga Enerji Spektrumunun Güvenirliliği

Yapılan su seviyesi ölçümlerinden elde edilen dalga enerji yoğunluk spektrum şekillerinden (Şekil 4.3-4.8) görüldüğü üzere her bir nokta belli bir frekans değerini ve spektrum enerji yoğunluğunu ifade etmektedir. Buradan birbirine komşu iki frekans değerine karşılık gelen enerji seviyeleri arasında önemli bir değişim olduğu görülmektedir. Bu da spektrumun güvenilirliğini azaltmaktadır. Şekillerden farklı ölçümler için spektrumun pik frekans, pik enerji v.b. gibi değerleri elde edilebilir.

Dalga enerji spektrumunun değerlendirilmesinin güvenilirliği spektrumdaki saçılımların azaltılmasıyla artmaktadır. Bu da periyodogramların ortalamalarıyla elde edilebilmektedir. Ortalaması alınan periyodogram sayısının artırılması dolayısıyla spektrumun serbestlik derecesinin artırılması ile eğri daha düzgün bir forma sahip olmaktadır. Ancak bu işlem spektrumun hassasiyetinde azalmaya neden olmaktadır. Spektrumun hassasiyeti iki komşu spektrum değerinin ayırt edilebilirliğidir. Düzeltilmemiş dalga enerji spektrumları incelendiğinde komşu frekans değerleri arasında çok büyük saçılımlar olduğu görülebilmektedir. Çalışmada dalga enerji spektrumunda güvenilirliği artırmak yani periyodogramların düzeltilmesi ve düzgün bir eğri elde edebilmek için çeşitli filtrelemeler yapılmıştır.

Ölçüm verilerinin doğrudan kullanılması ile elde edilen dalga enerji spektrum grafikleri incelendiğinde filtresiz olarak çizilen dalga spektrum eğrilerinde iki komşu frekans değerine karşılık gelen enerji seviyelerinde saçılımlar görülmektedir. Bu saçılımların varlığı spektrum eğrisinden karakteristik dalga parametrelerinin elde edilmesini imkânsız kılmaktadır. Dalga enerji spektrumuna ait filtresiz şekiller Şekil 4.10 ve Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Dalga spektrum yoğunluk fonksiyonlarının güvenilirliğini artırmak için filtreleme yapılmıştır. Düzeltme fonksiyonu yani filtreleme işlemi farklı yöntemlerle ve farklı derecelerde yapılabilmektedir burada 10, 15, 20 oranlarına bağlı olarak düzeltme fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Burada seçilen filtreleme yönteminde farklı derecelerde filtreleme yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Filtreleme oranı dalga spektrum yoğunluk fonksiyonunun altındaki alanı etkilemektedir. Bunun için dikkate alınan bir ölçüme ait filtresiz ve farklı filtreleme oranları kullanılarak elde edilmiş spektrumlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.10'da filtresiz olarak verilmiş olan dalga enerji spektrumunun farklı filtreleme oranları kullanılarak elde edilmiş formları Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'de verilmiştir.

Ölçüm verilerinin doğrudan kullanılması ile elde edilen dalga enerji spektrumu ile 11.05.2004 tarihli 17:51 saatli ölçüm verisinde Şekil 4.11'de filtreleme oranı 10, Şekil 4.12'de filtreleme oranı 15, Şekil 4.13'de filtreleme oranı 20'ye göre elde edilmiş grafikler görülmektedir.

Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'de elde edilen grafiklerden dalga enerji spektrumlarının filtresiz olanlarına göre daha düzgün olduğu görülmektedir. Filtreleme olayı bilindiği gibi bazı verileri azaltmakta ve bu verilerden bir eğri geçirmektedir. 11.05.2004 tarihli 17:51 saatli ölçüm verisinde, filtreleme oranının 10 olarak seçildiği Şekil 4.11'da pik enerji seviyesi 24.94 ve pik frekans 0.203, filtreleme oranının 15 olarak seçildiği Şekil 4.12'de pik enerji seviyesi 21.76 ve pik frekans 0.203 ve filtreleme oranının 20 olarak seçildiği Şekil 4.13'de pik enerji seviyesi 19.62 ve pik frekans 0.203 olarak elde edilmektedir.

Ölçüm verilerinin doğrudan kullanılması ile elde edilen dalga enerji spektrumu ile 04.09.2003 tarihli 06:51 saatli ölçüm verisinde ise Şekil 4.17'de filtreleme oranı 10, Şekil 4.18'de filtreleme oranı 15, Şekil 4.19'da filtreleme oranı 20'e göre elde edilmiş grafikler üst üste çizilmiştir. Bu grafikten filtreleme oranının artması ile spektrum yoğunluk fonksiyonunun daha düzeldiğini buna karşılık ise pik enerji seviyesinin azaldığı ancak pik frekans değerinin değişmediği görülmektedir.

Farklı bir forma sahip olan 04.09.2003 06:51 tarihli ölçüm verisine ait dalga spektrum yoğunluk grafiği ise Şekil 4.16'da görülmektedir. Filtreleme oranının 10 olarak seçildiği Şekil 4.17'de pik enerji seviyesi 57.15, pik frekans 0.174, filtreleme oranının 15 olarak seçildiği Şekil 4.18'de pik enerji seviyesi 51.70 ve pik frekans 0.172 ile filtreleme oranının 20 olarak seçildiği Şekil 4.19'da pik enerji seviyesi 48.00 ve pik frekans 0.176 olarak elde edilmektedir. Şekil 4.20'de ise filtresiz ve filtreleme oranı 10 seçilmiş olan çift pikli dalga enerji spektrumu üst üste çizilerek gösterilmiştir. Filtreleme işlemi spektrumun çift pikli olduğunu daha belirgin bir şekilde göstermektedir.

Şekil 4.20'de dikkate alınan bu dalga enerji spektrumu rüzgâr dalgası ile soluğan dalgalarının karşılaşması halindeki deniz durumunu ifade eden bir örnektir. Şekilden görüldüğü gibi soluğan dalgaları spektrumun sol tarafında rüzgâr dalgaları ise sağ tarafında yer almakta olup rüzgâr dalgalarının enerjileri daha büyüktür. Yani burada rüzgar dalgaları daha hakimdir.

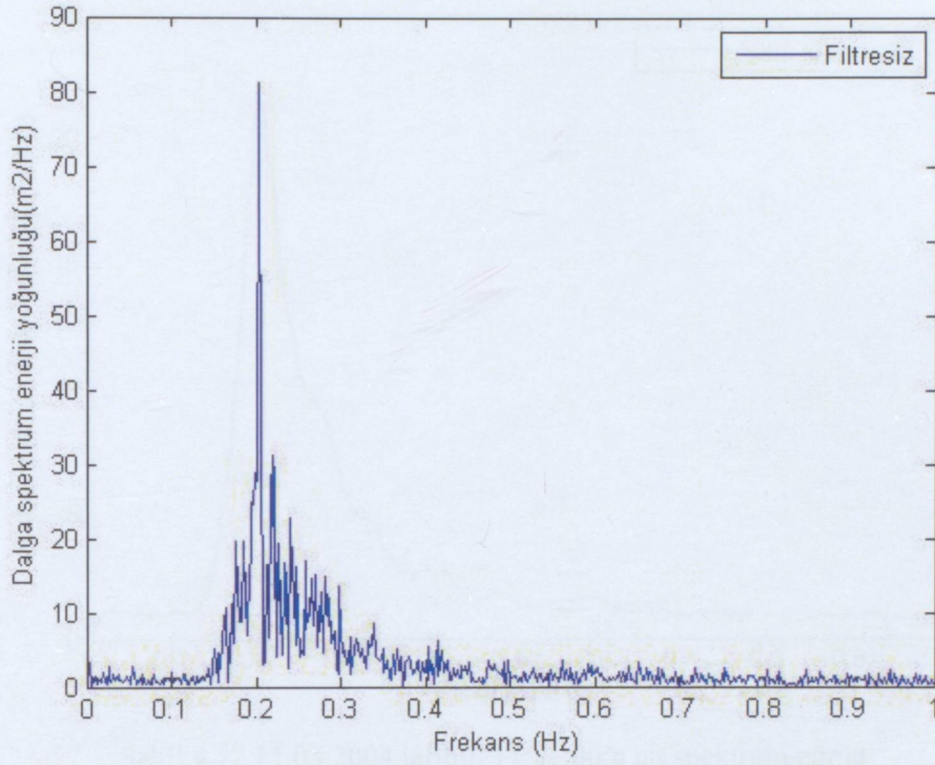
Şekillerin incelenmesi sonucunda filtreleme oranının artması ile pik enerji değerinin azaldığı görülmektedir. Bundan dolayı filtreleme oranının veri sayısını ve spektrum enerji değerini fazla azaltmamak amacıyla filtre oranı 10 olarak seçilmesine çalışmanın bundan sonraki bölümüne bu değerle devam edilmesine karar verilmiştir. Aksi takdirde filtreleme oranı büyüdükçe dalga enerji spektrumlarında güvenilirlik artmakta ancak hassasiyet azalmaktadır.

Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, ve Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19'da verilen şekillerinden elde edilen dalga enerji spektrumlarına ait pik enerji seviyesi ve pik frekans değerleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de sırasıyla verilmiştir.

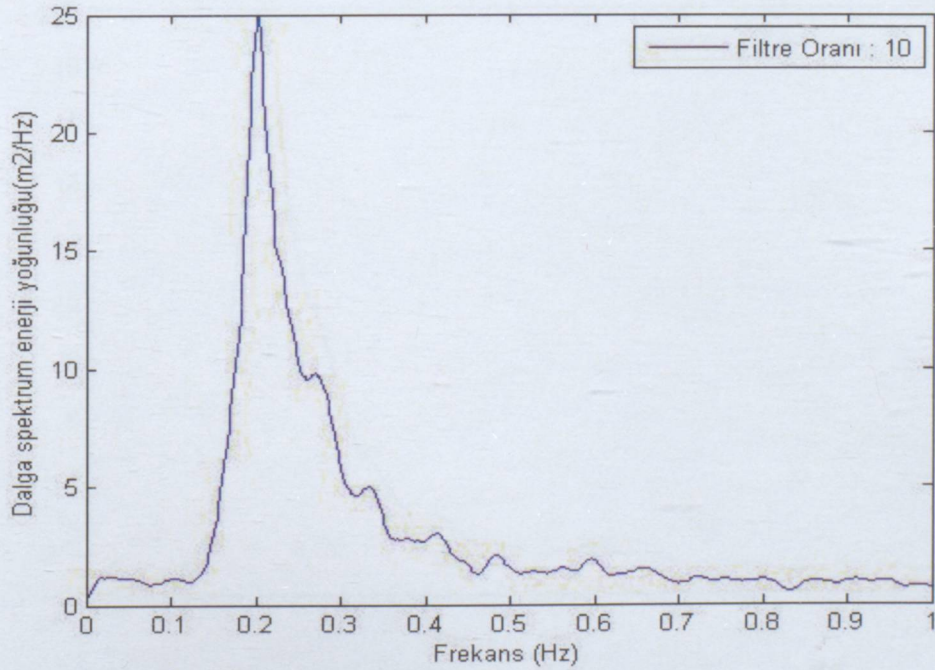
17.01.2004 tarihinde saat 17.51 ve 04.09.2003 tarihinde saat 06:51'de elde edilen su seviyesi ölçümlerinin FFT analiz yöntemiyle elde edilen dalga enerji spektrum fonksiyonuna ait filtreli ve filtresiz dalga enerji spektrum şekilleri üst üste yeniden çizilmiştir.

Yukarıda gösterilen filtresiz ve filtreli şekillerin incelenmesiyle filtreleme oranının 10 olarak seçildiği belirlenmişti. Filtrelemenin dalga enerji spektrumlarının incelenmesinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle Şekil 4.14'de dalga enerji spektrum grafiğinde filtresiz ve filtre oranlarının 10, 15 ve 20 olarak seçildiği dalga enerji spektrum eğrilerinin aynı grafik üzerinde çizilmesi filtrelemenin spektrum güvenilirliğindeki önemi incelenebilir. Ayrıca Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 şekillerinde ise filtreleme oranının 10 olarak seçilmesi ile fazla veri kaybetmeden dalga enerji spektrumunun uygun güvenilirlikte olduğu sonucu elde edilebilir.

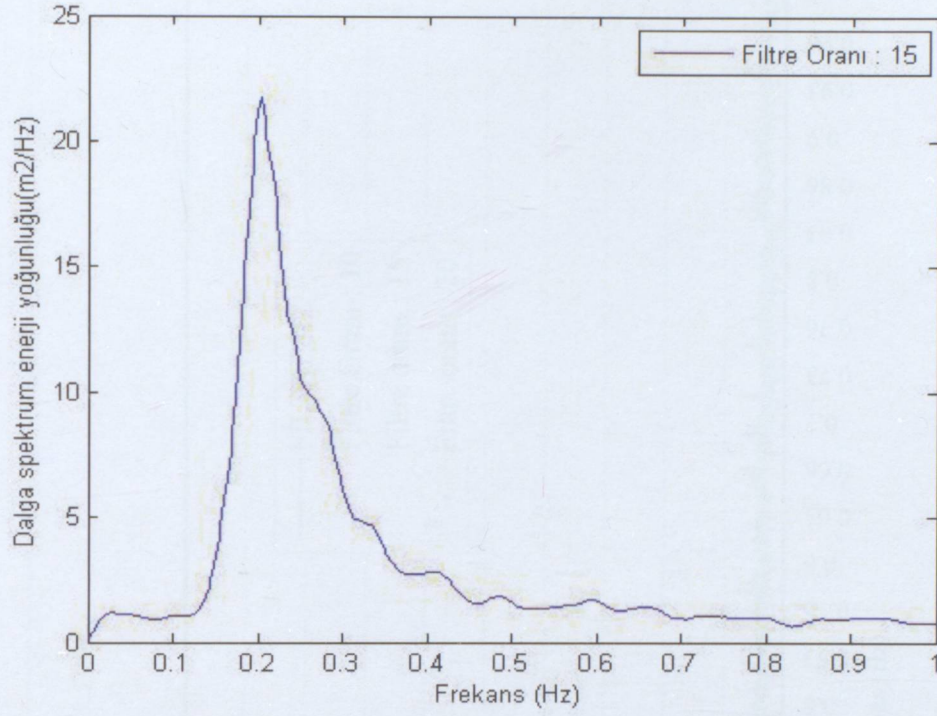
Bütün şekillerin incelemesi sonucunda filtreleme olayının dalga enerji spektrum şekillerinin yorumlanmasında daha güvenilir olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi
($H_s = 0.78m, T_s = 4.69s, H_0/L_0 = 0.023$)

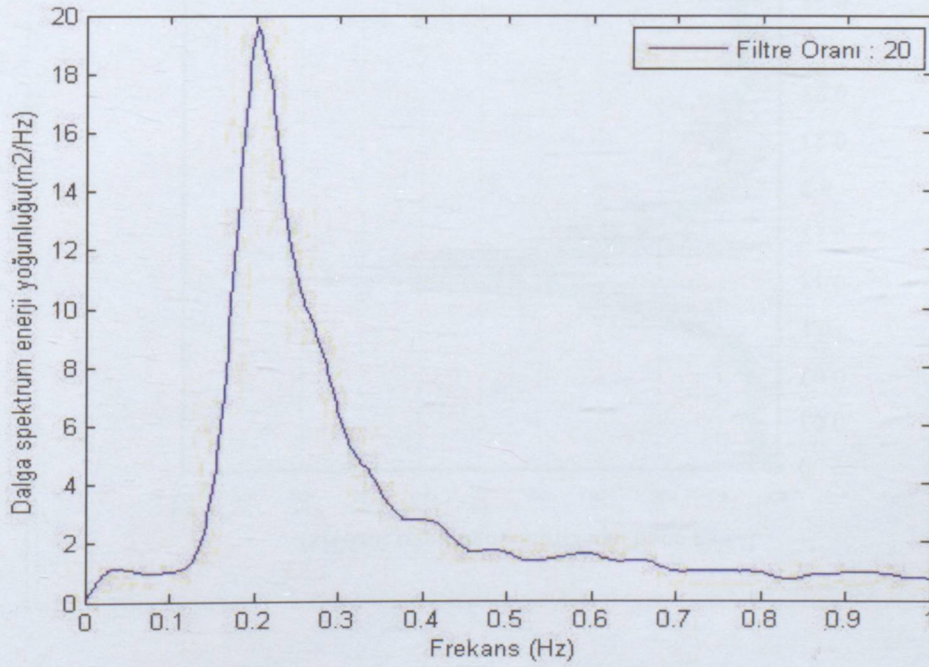


Şekil 4.11 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi
($E_p = 24.94, f_p = 0.203$)



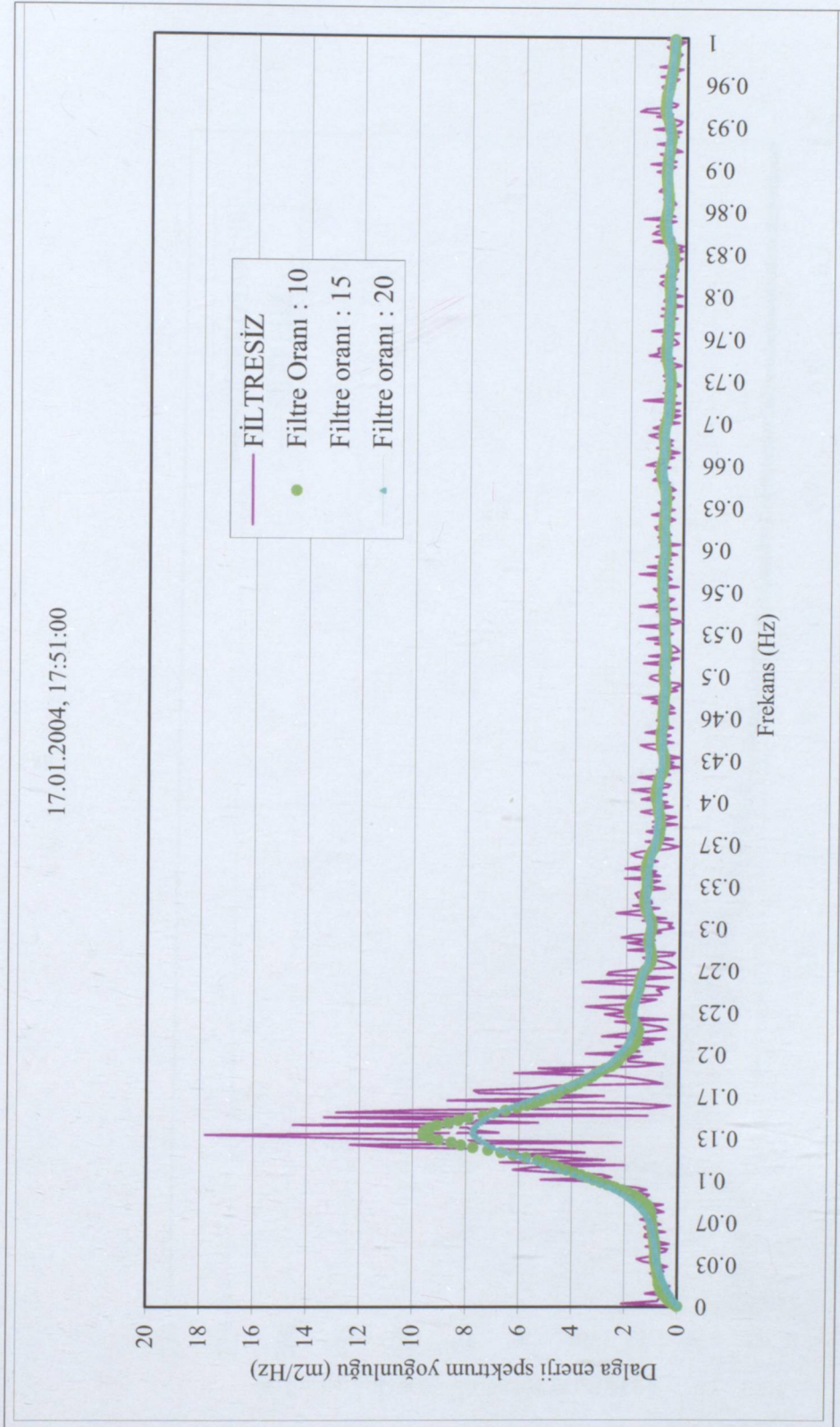
Şekil 4.12 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi

$$(E_p = 21.76, f_p = 0.203)$$

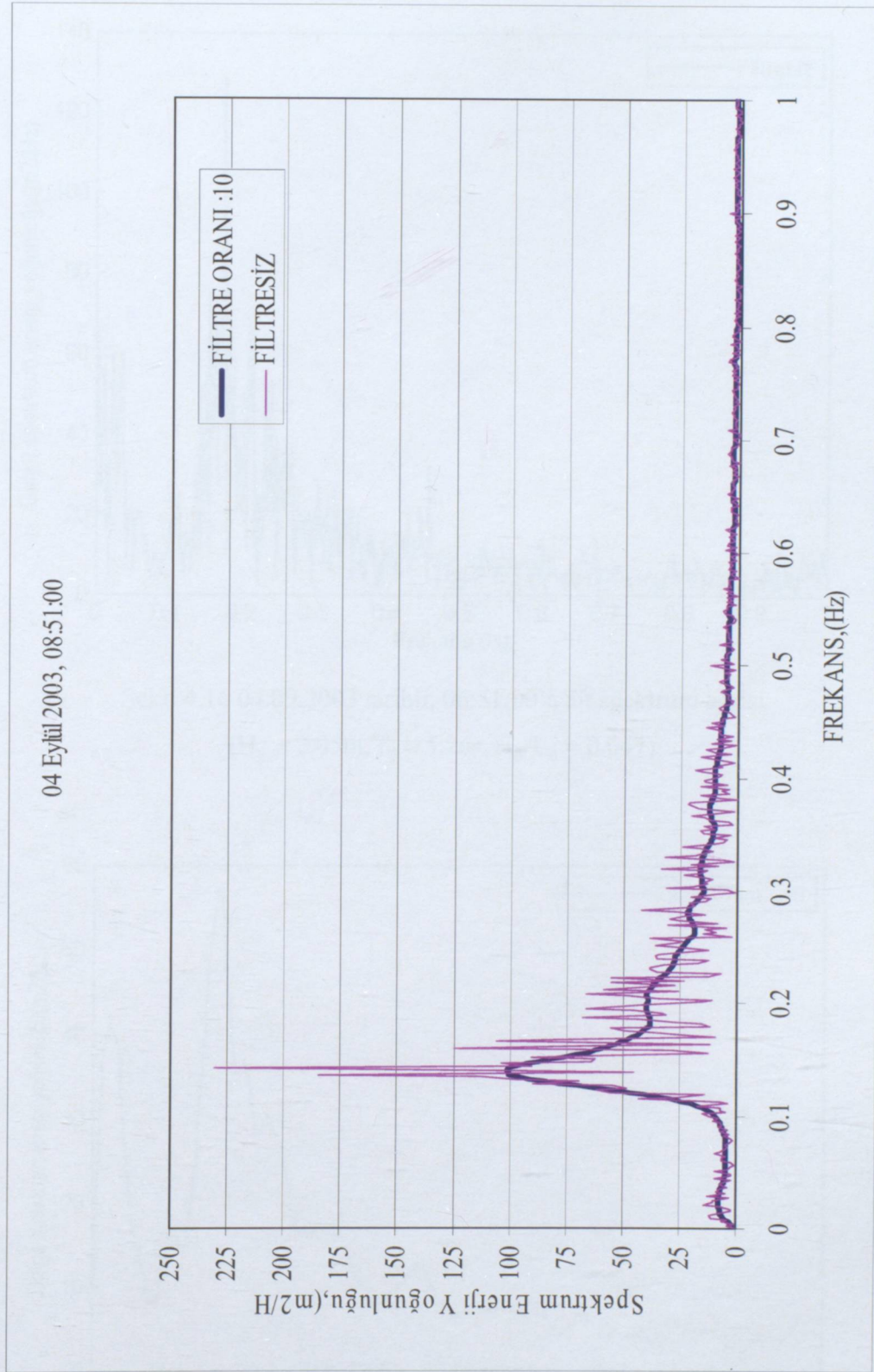


Şekil 4.13 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait spektrum eğrisi

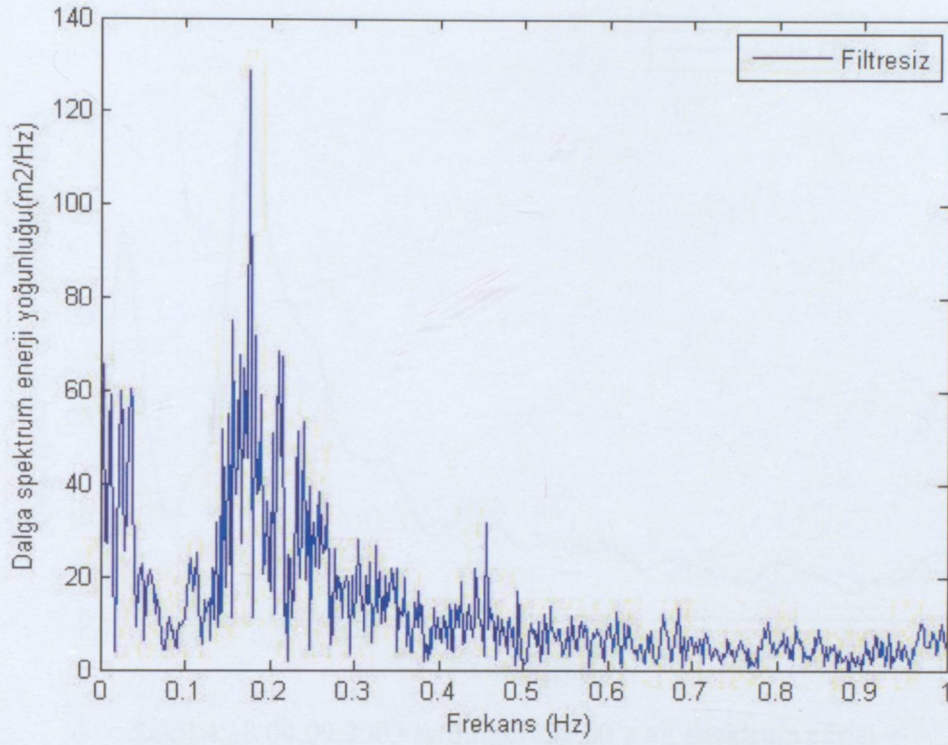
$$(E_p = 19.62, f_p = 0.203)$$



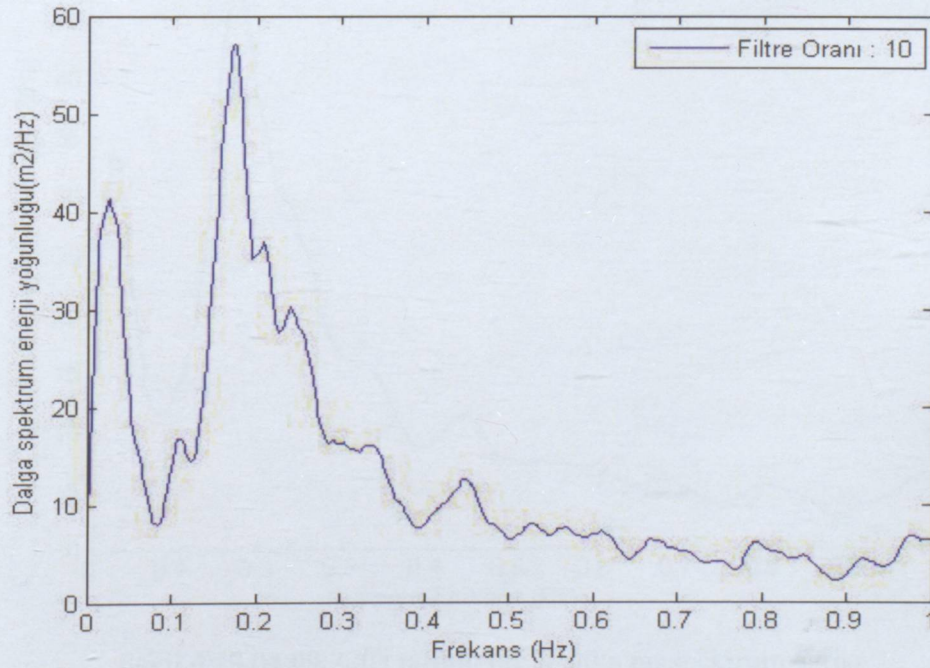
Şekil 4.14 17.01.2004 tarihli, 17:51:00 dalga spektrum eğrisi
(Filtresiz, filtre oranlarına bağlı olarak dalga spektrum eğrileri)



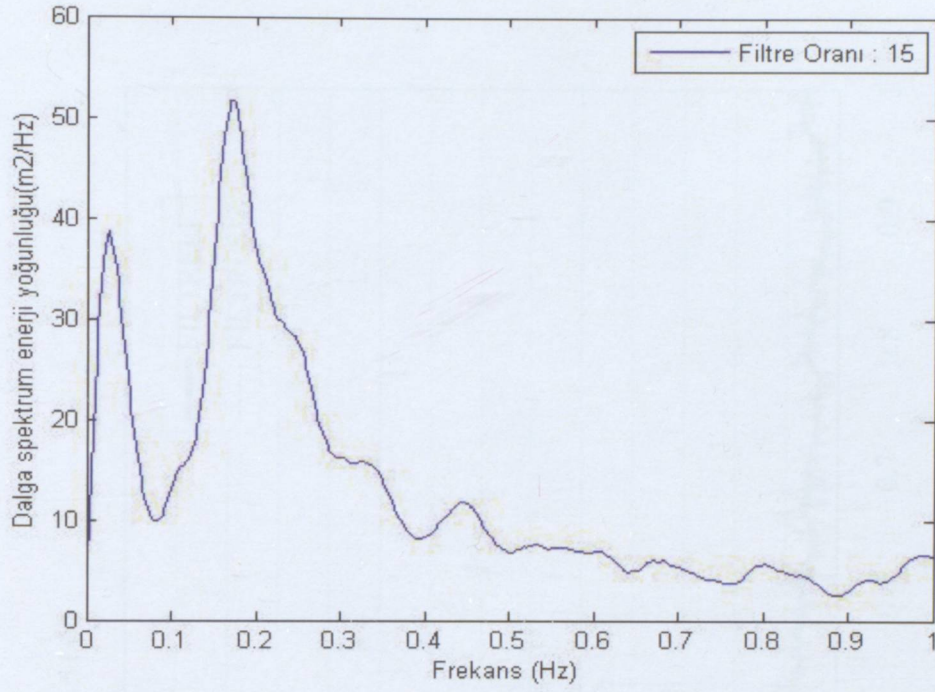
Şekil 4.15 04.09.2003 tarihli, 08:51:00 dalga spektrum eğrisi
 $(H_s = 2.97\text{m}, T_s = 6.58\text{s}, H_0/L_0 = 0.044)$



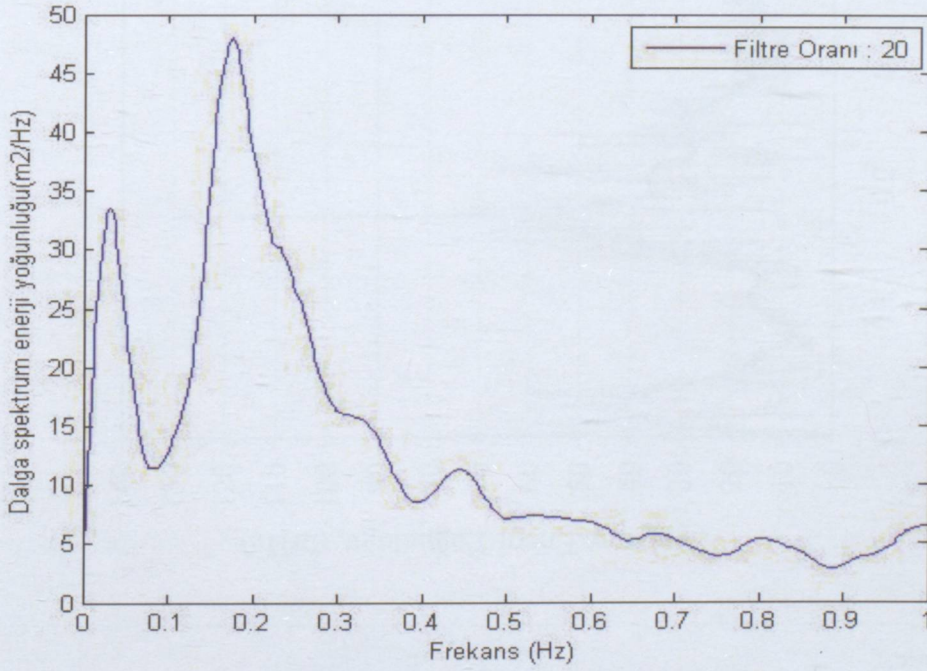
Şekil 4.16 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi
($H_s = 2.05\text{m}$, $T_s = 5.26\text{s}$, $H_0/L_0 = 0.047$)



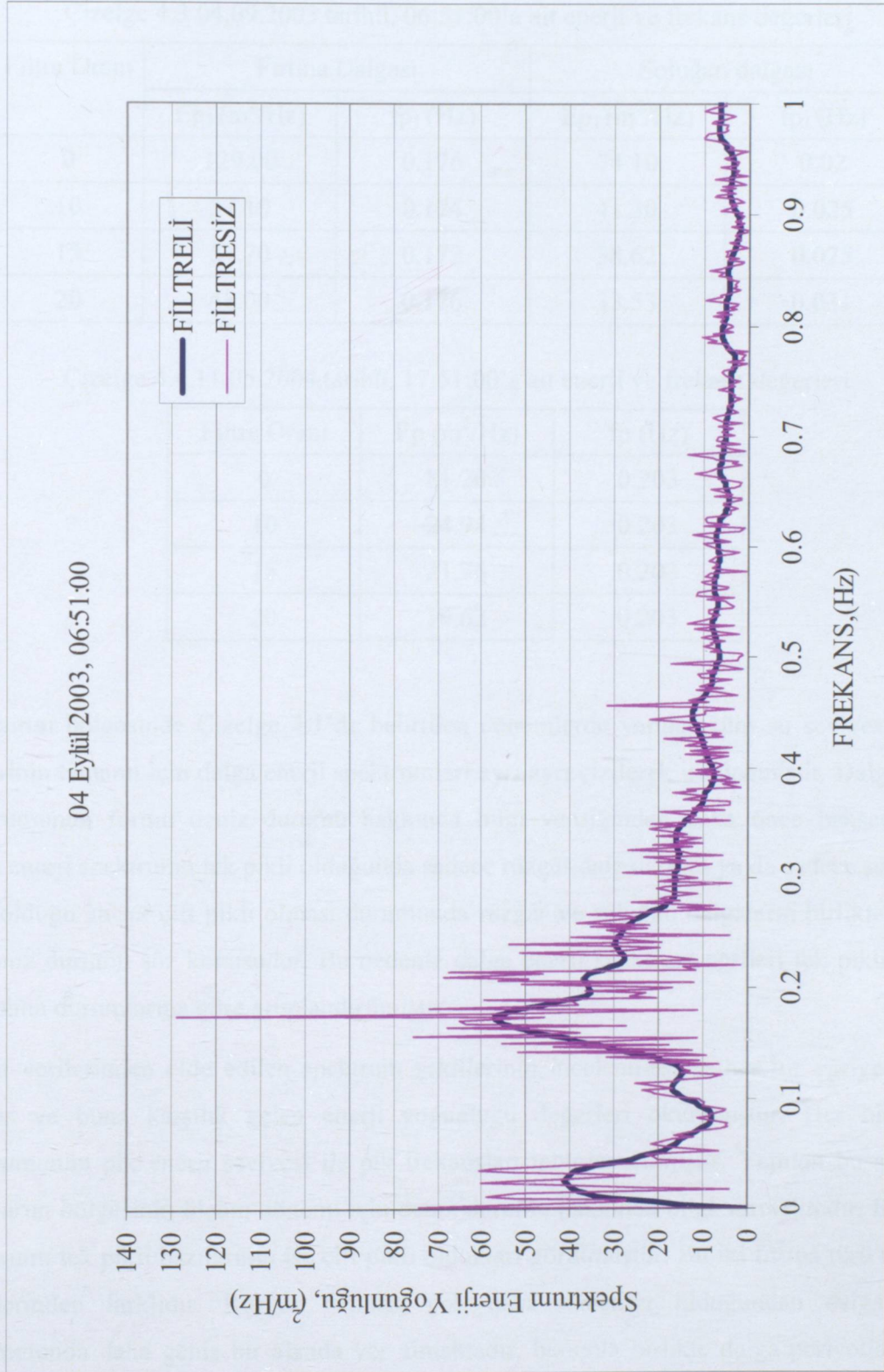
Şekil 4.17 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi
($E_{p1} = 57.15$, $f_{p1} = 0.174$) ve ($E_{p2} = 41.29$, $f_{p2} = 0.025$)



Şekil 4.18 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi
 $(E_{p1} = 51.70, f_{p1} = 0.172)$ ve $(E_{p2} = 38.62, f_{p2} = 0.025)$



Şekil 4.19 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait spektrum eğrisi
 $(E_{p1} = 48.00, f_{p1} = 0.176)$ ve $(E_{p2} = 33.53, f_{p2} = 0.031)$



Şekil 4.20 04.09.2003 tarihli, 06:51:00 dalga spektrum eğrisi
($H_s = 2.05\text{m}$, $T_s = 5.26\text{s}$, $H_0/L_0 = 0.047$)

Çizelge 4.3 04.09.2003 tarihli, 06:51:00'a ait enerji ve frekans değerleri

Filtre Oranı	Fırtına Dalgası		Soluğan dalgası	
	E_{p1} (m ² /Hz)	f_{p1} (Hz)	E_{p1} (m ² /Hz)	f_{p1} (Hz)
0	129.00	0.176	74.10	0.02
10	57.10	0.174	41.30	0.025
15	51.70	0.172	38.62	0.025
20	48.00	0.176	33.53	0.031

Çizelge 4.4 11.05.2004 tarihli, 17:51:00'a ait enerji ve frekans değerleri

Filtre Oranı	E_p (m ² /Hz)	f_p (Hz)
0	81.20	0.203
10	24.94	0.203
15	21.76	0.203
20	19.62	0.203

Karaburun bölgesinde Çizelge 4.1'de belirtilen dönemlerde yapılan tüm su seviyesi ölçüm verilerinin tamamı için dalga enerji spektrumları ayrı ayrı çizilerek irdelenmiştir. Dalga enerji spektrumunun formu deniz durumu hakkında bilgi verdiği için daha önce bahsedilmiştir. Dalga enerji spektrumu tek pikli olduğunda sadece rüzgâr dalgalarının ya da sadece soluğanın etkin olduğu ancak çift pikli olması durumunda rüzgâr ve soluğan dalgaların birlikte olduğu bir deniz durumu söz konusudur. Bu nedenle dalga enerji spektrum eğrileri tek pikli ve çift pikli olma durumlarına göre gruplandırılmıştır.

Ölçüm verilerinden elde edilen spektrum şekillerinin incelenmesiyle her bir eğriye ait pik frekans ve buna karşılık gelen enerji yoğunluğu değerleri okunmuştur. Her bir dalga spektrumunun pik enerji seviyesi ile pik frekansları tablolaştırılmıştır. Yapılan bu analizler Karaburun bölgesinin ölçüm dönemi için deniz durumu hakkında bilgi vermektedir. Bunların bazılarının tek pikli bazılarının ise çift pikli oldukları görülmüştür. Bu iki fırtına türü temelde birbirlerinden farklıdır. Rüzgâr fırtınası çok daha düzensiz olduğundan dalga enerji spektrumunda daha geniş bir alanda yer almaktadır, bununla birlikte dalga periyotları daha küçük olduğundan büyük frekansa sahiptirler. Soluğan dalgaları ise fırtına alanının dışında yayılan dalgalar olduğundan hem küçülme eğilimi göstermekte hem de daha düzenlidirler, bu nedenle dalga spektrum enerji seviyeleri daha küçüktür. Uzun periyotlu yani kısa frekanslı dalgalardır. Bu nedenle enerji spektrumunun sol tarafında daha dar bir frekans alanında yer alırlar.

Denizel ortamda rüzgâr fırtınalarına ait dalgalar ile soluğan dalgalarının birlikte olma durumları da söz konusudur. Böyle bir deniz durumu su seviyesi ölçümlerinin zaman alanındaki analizi ile belirlenemezken dalga enerji yoğunluk spektrumu ile tespit edilebilmektedir. Fırtına ile soluğanın karşılaşmaları halinde kaydedilen su seviyesi ölçümlerinin FFT yöntemi analizi sonucunda elde edilen dalga enerji spektrum yoğunluk grafiği çift pikli olmaktadır.

Karaburun bölgesinde 30.08.2003–10.10.2003 tarihleri arasındaki belirgin dalga yükseklikleri Şekil 4.21’de ve tek pikli dalga spektrumlarındaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri Şekil 4.22’de gösterilmektedir. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde belirgin dalga yüksekliği ile enerji seviyesi arasındaki ilişki görülebilmektedir. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 karşılaştırıldığında dalga enerji spektrumlarında pik enerjinin yüksek olduğu yerlerde pik frekansın küçük olduğu yani dalga periyodunun büyük olduğu görülebilmektedir. Ayrıca dalga spektrumlarına ait pik enerji seviyesinin büyük olduğu zamanlarda belirgin dalga yüksekliğinin de büyük olduğu görülebilmektedir.

Yukarıda verilen dalga spektrum enerji yoğunluğu ifadesinde de belirtildiği gibi dalga spektrum enerji seviyesi deniz durumu hakkında bilgi vermektedir. Denizel ortamda soluğan dalgaları ve rüzgâr fırtınası dalgaları birlikte olabilmektedir. Bu iki durumun aynı anda olması dalga spektrumlarının çift pike sahip olması deniz durumunu ifade edebilmektedir.

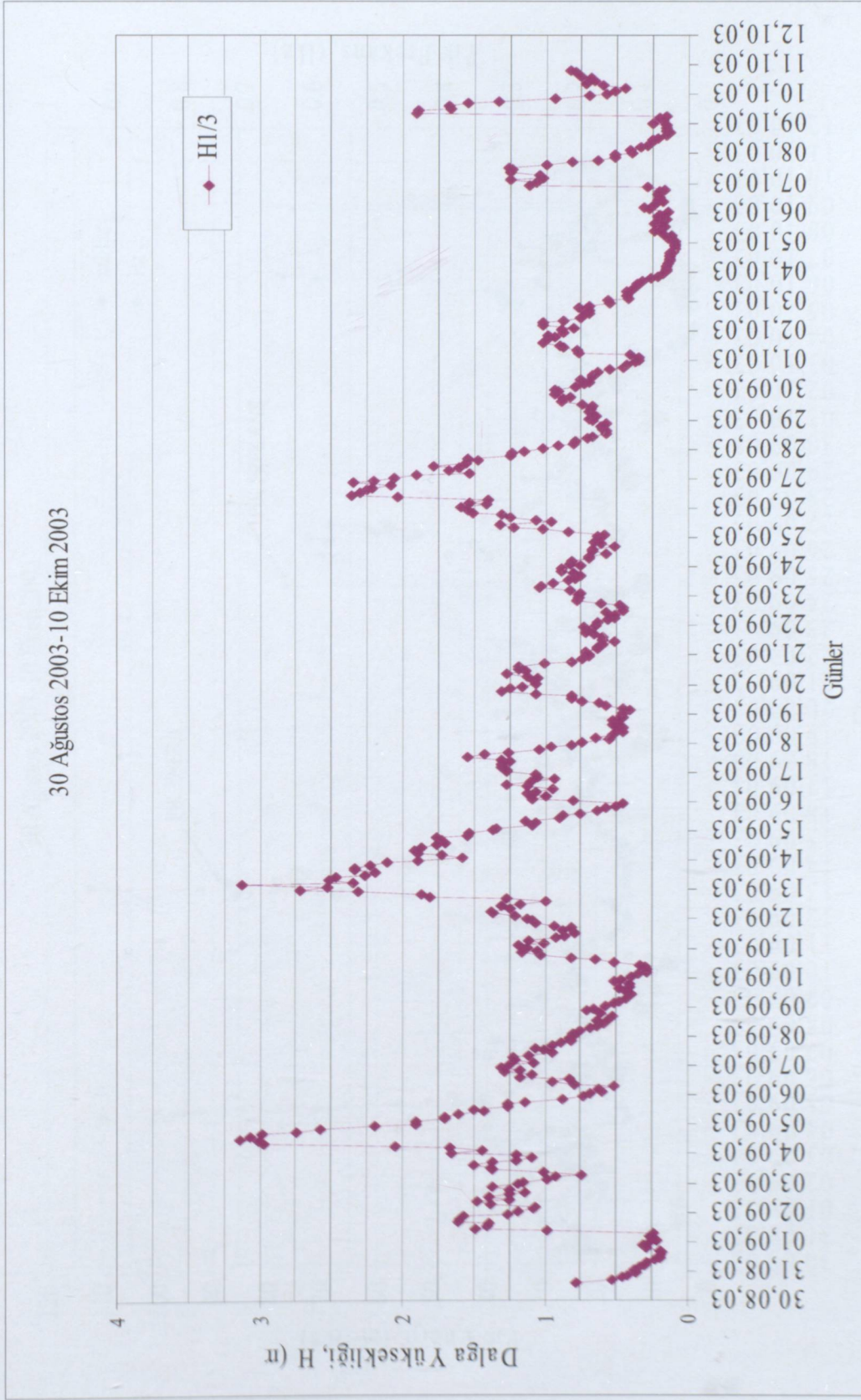
Karaburun 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihleri arasındaki çift pikli dalga spektrumlarındaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmektedir. Şekil 4.23 ile Şekil 4.24’de çift pikli yani rüzgâr dalgaları ile soluğan dalgalarının birlikte olduğu durumlardaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri karşılaştırıldığında rüzgâr dalgalarının enerji seviyelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise bu ölçüm döneminde rüzgâr dalgalarının daha etkin olduğunu göstermektedir.

Karaburun bölgesinde 29.12.2003–22.01.2004 tarihleri arasındaki belirgin dalga yükseklikleri Şekil 4.25’de ve tek pikli dalga spektrumlarındaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri Şekil 4.26’da gösterilmektedir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 incelendiğinde belirgin dalga yüksekliği ile enerji seviyesi arasındaki ilişki görülebilmektedir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 karşılaştırıldığında dalga enerji spektrumlarında pik enerjinin yüksek olduğu yerlerde pik frekansın küçük olduğu yani dalga periyodunun büyük olduğu görülebilmektedir. Ayrıca dalga spektrumlarına ait pik enerji seviyesinin büyük olduğu zamanlarda belirgin dalga yüksekliğinin de büyük olduğu görülebilmektedir.

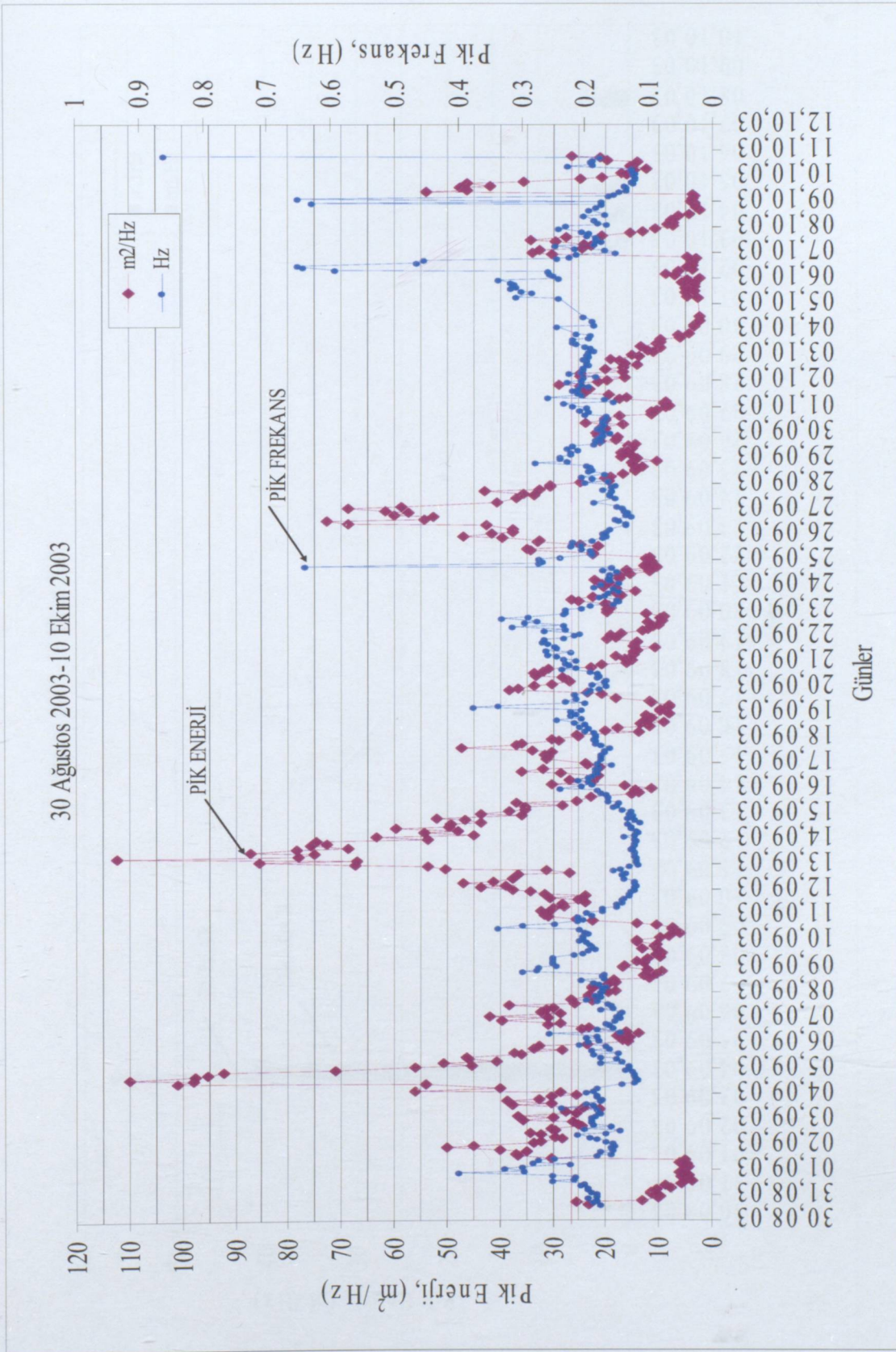
Karaburun 29.12.2003–22.01.2004 tarihleri arasındaki çift pikli dalga spektrumlarındaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Şekil 4.27 ile Şekil 4.28’de çift pikli yani rüzgâr dalgaları ile soluğan dalgalarının birlikte olduğu durumlardaki pik enerji seviyesi ile pik frekans değerleri karşılaştırıldığında rüzgâr dalgalarının enerji seviyelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise bu ölçüm döneminde rüzgâr dalgalarının daha etkin olduğunu göstermektedir.

Denizel ortamda soluğan dalgaları ve rüzgâr dalgaları birlikte olabilmektedir. Bu iki durumun aynı anda olması dalga spektrumlarının çift pike sahip olması deniz durumunu ifade edebilmektedir. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de çizilen grafiklerde denizel ortamda rüzgâr dalgalarının mı etkin olduğu veya ölü deniz dalgalarının mı etkin olduğu belirlenebilmektedir.

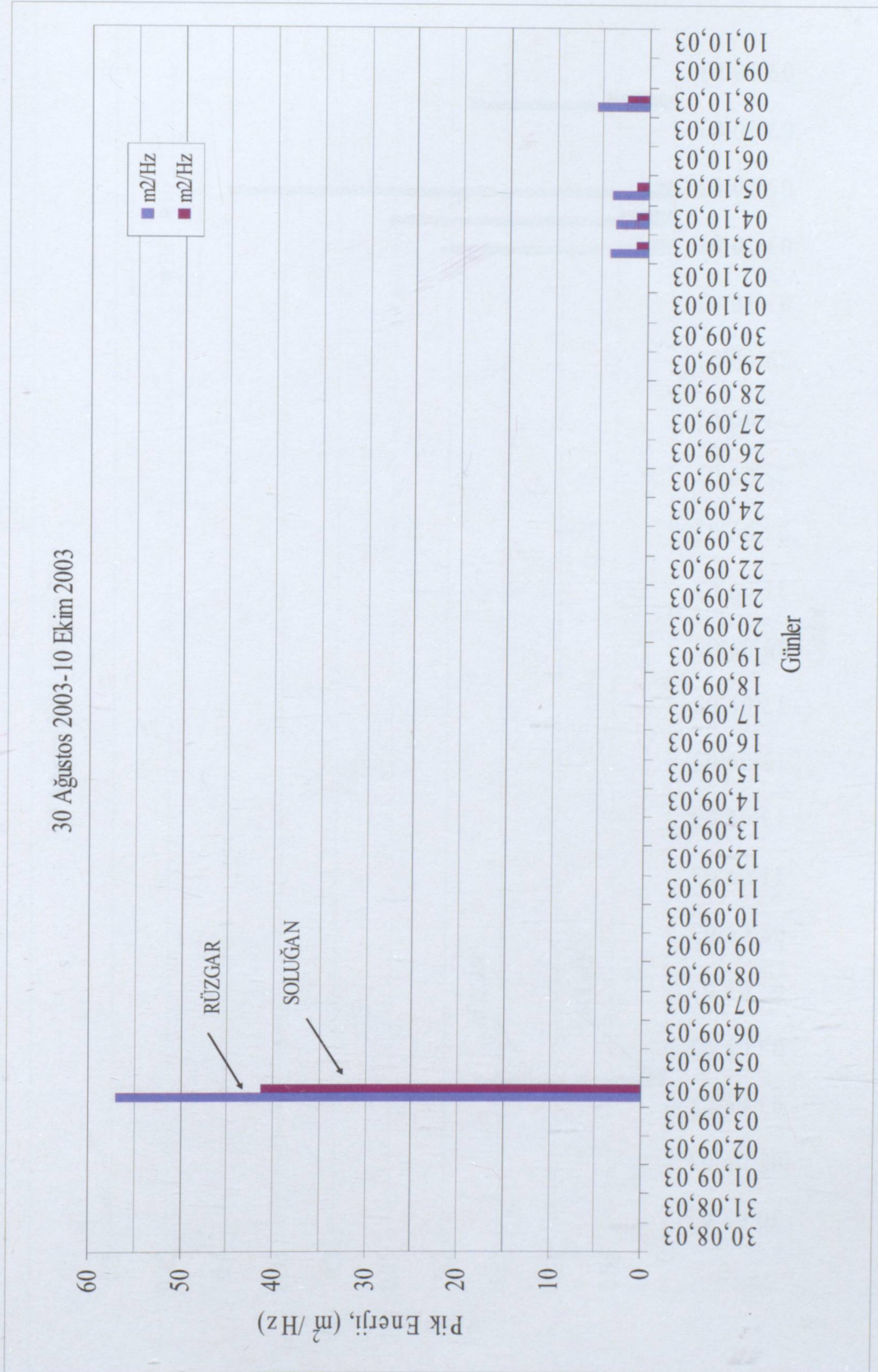
Yukarıda verilen ifadeler doğrultusunda Karaburun bölgesine ait su seviyesi ölçümlerinin kullanılmasıyla elde edilen dalga spektrum eğrileri için 27.03.2004–25.06.2004 ve 16.09.2004–28.10.2004 tarihleri arasındaki dalga spektrum bilgileri elde edilerek Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim aylarına ait her bir grafik yeniden çizilmiştir.



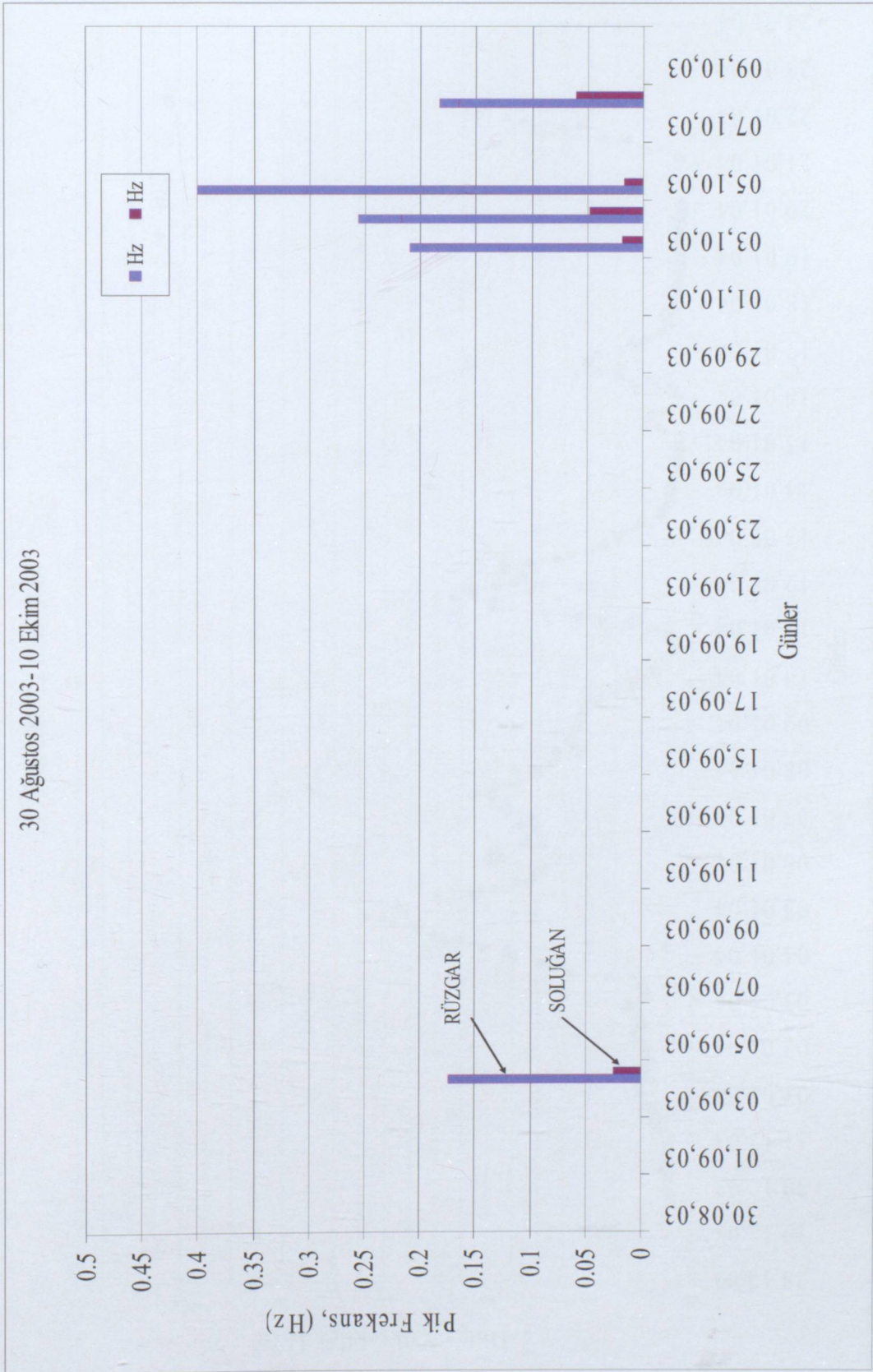
Şekil 4.21 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımları



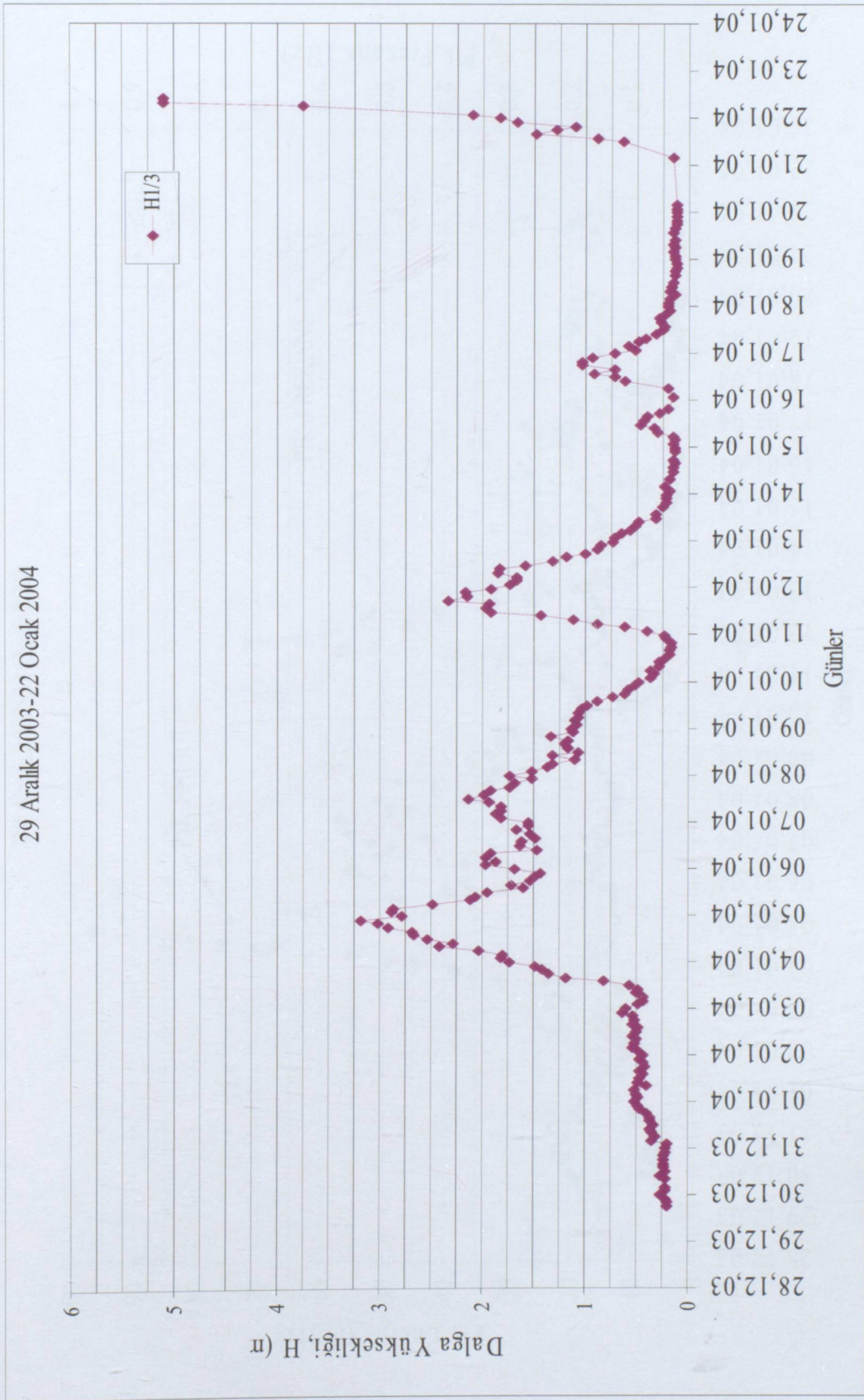
Şekil 4.22 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı



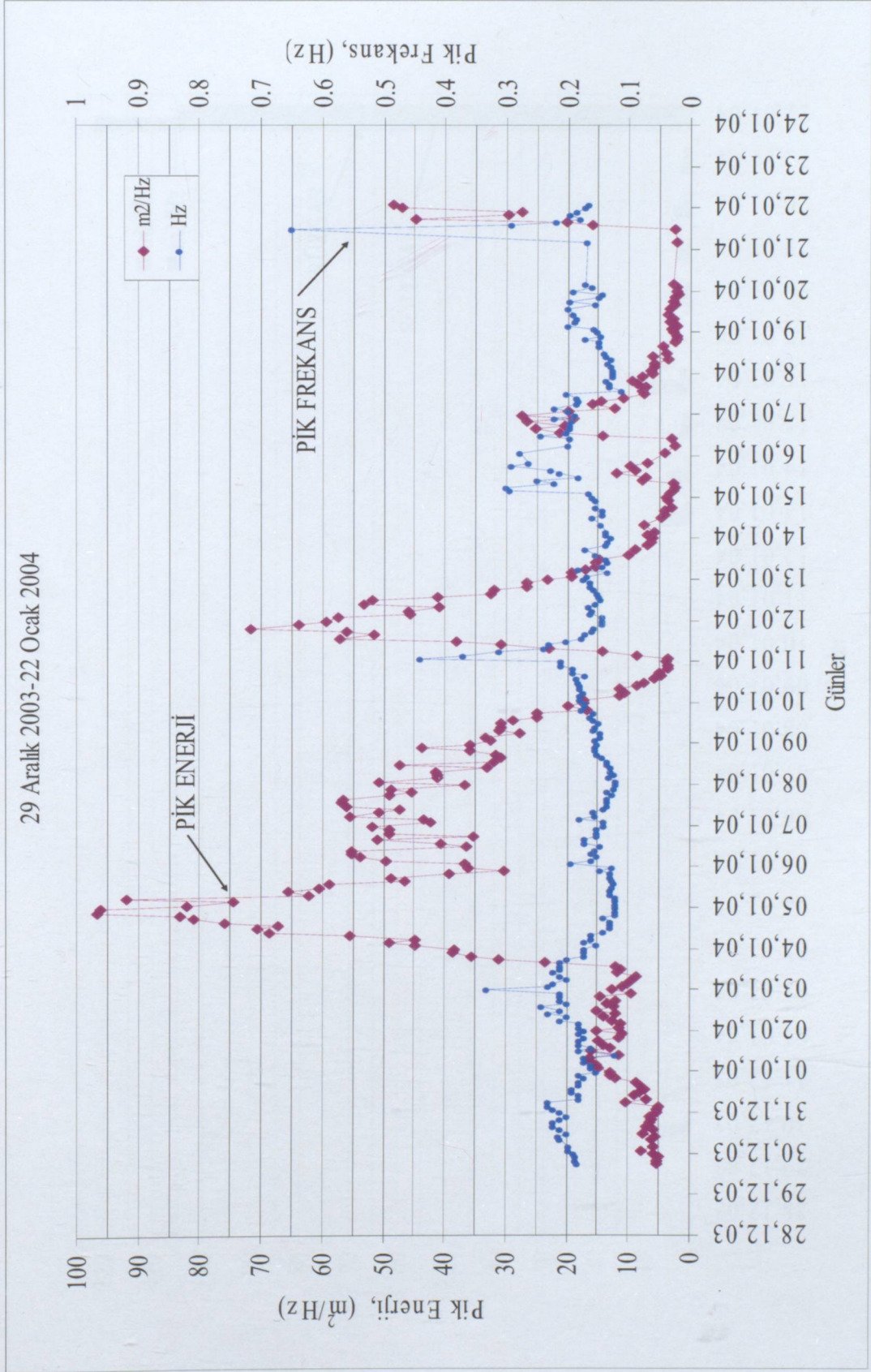
Şekil 4.23 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı



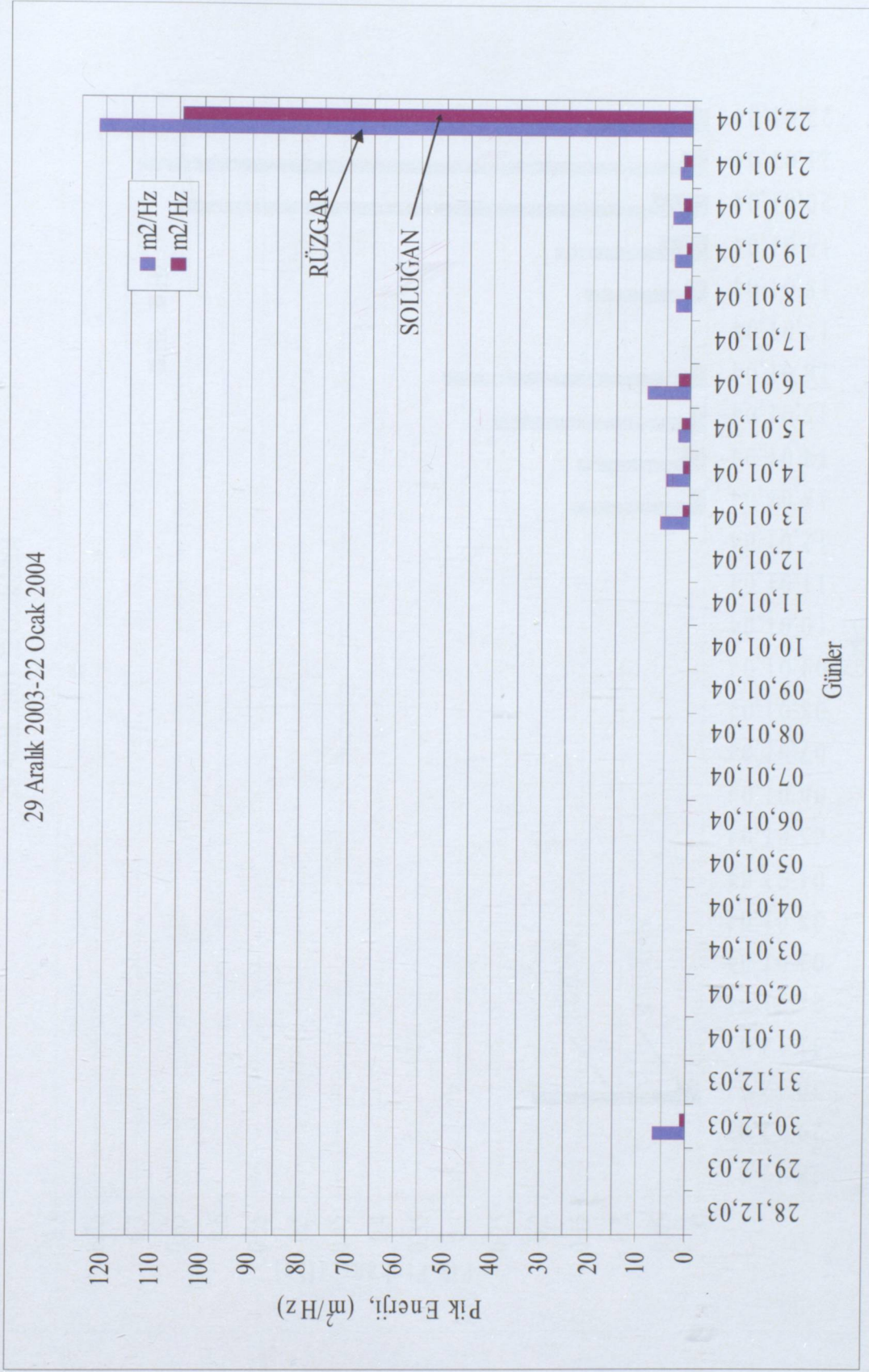
Şekil 4.24 30.08.2003 – 10.10.2003 tarihli döneme ait çift pikli pik frekans dağılımı



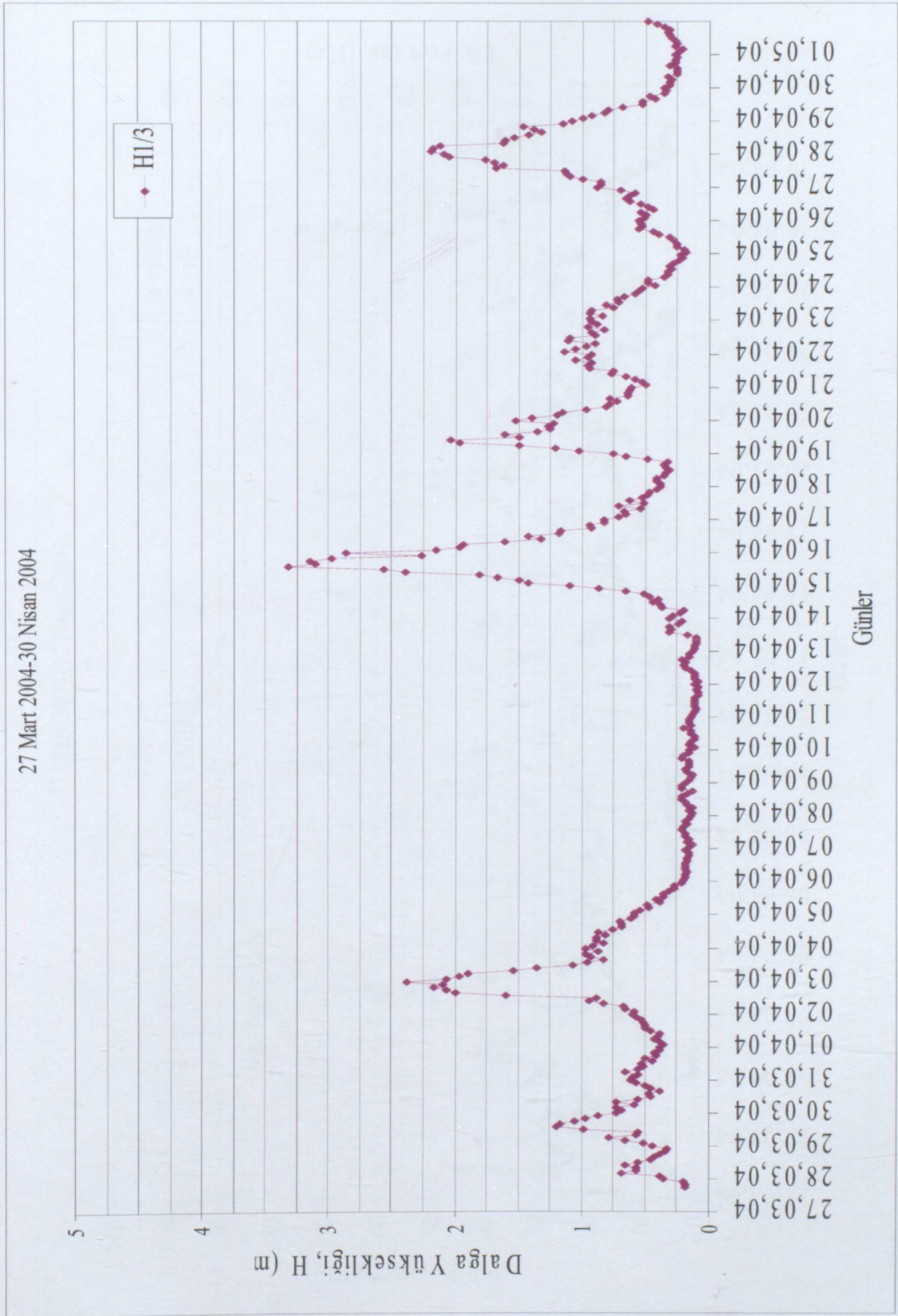
Şekil 4.25 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı



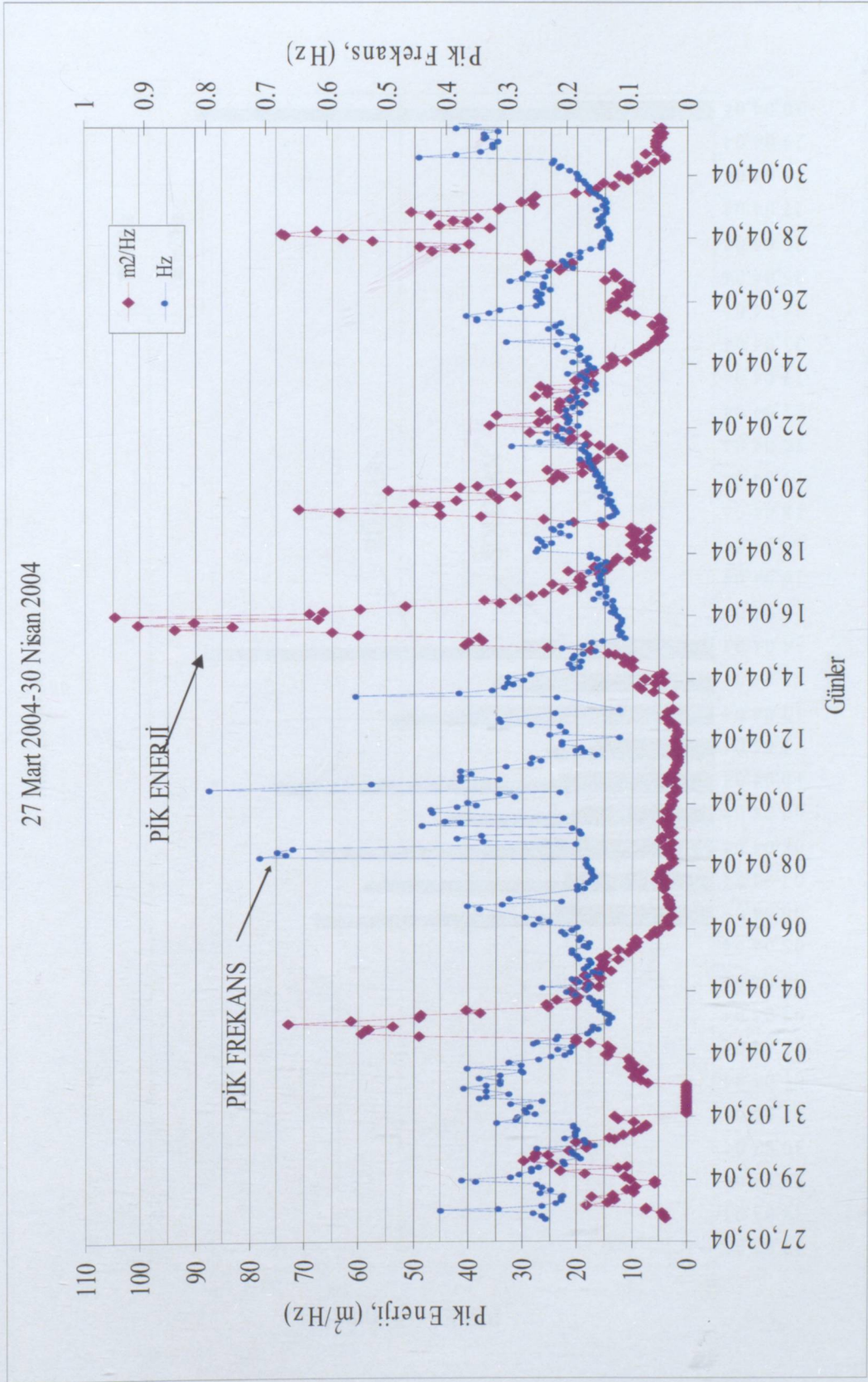
Şekil 4.26 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı



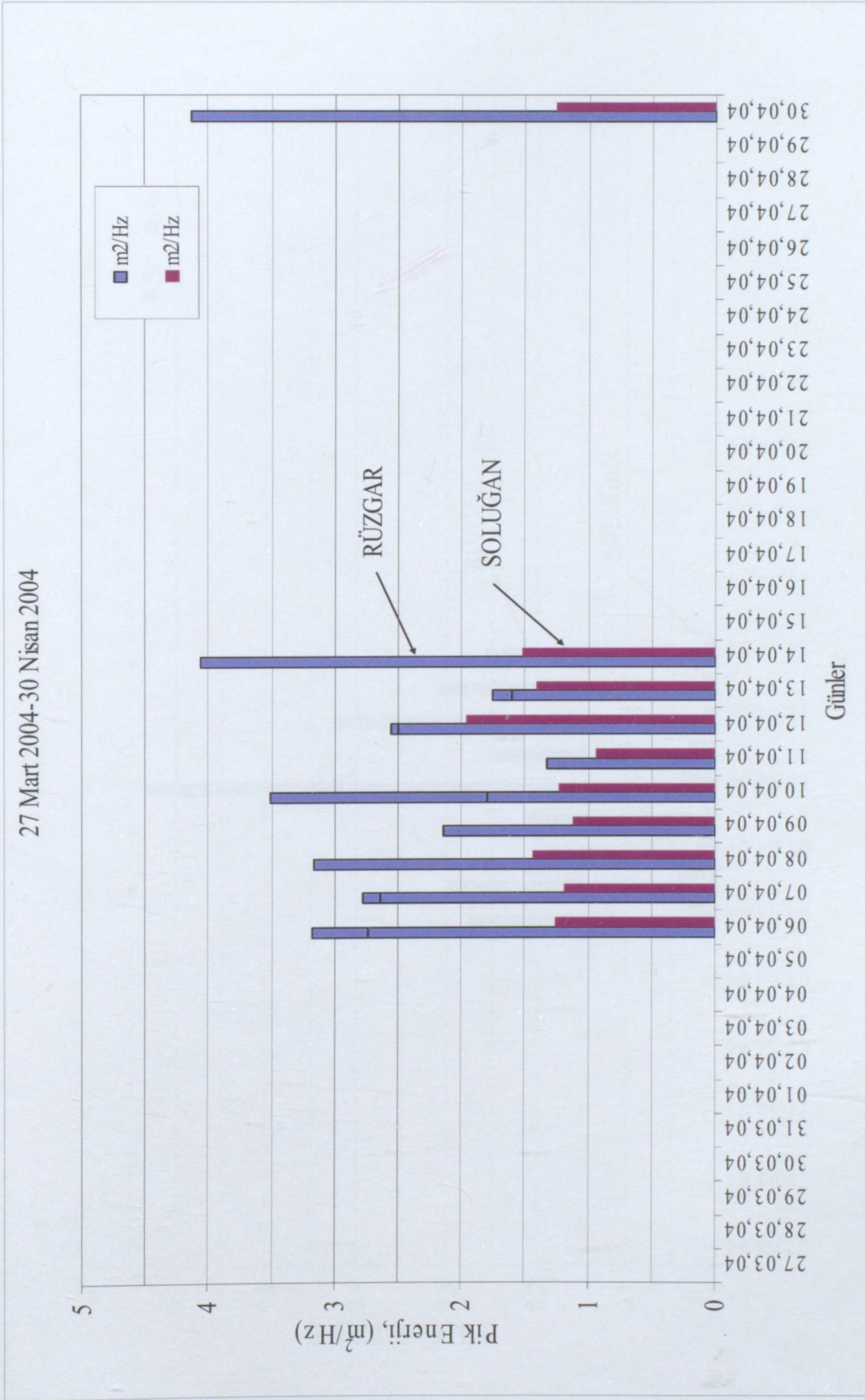
Şekil 4.27 29.12.2003 – 22.01.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı



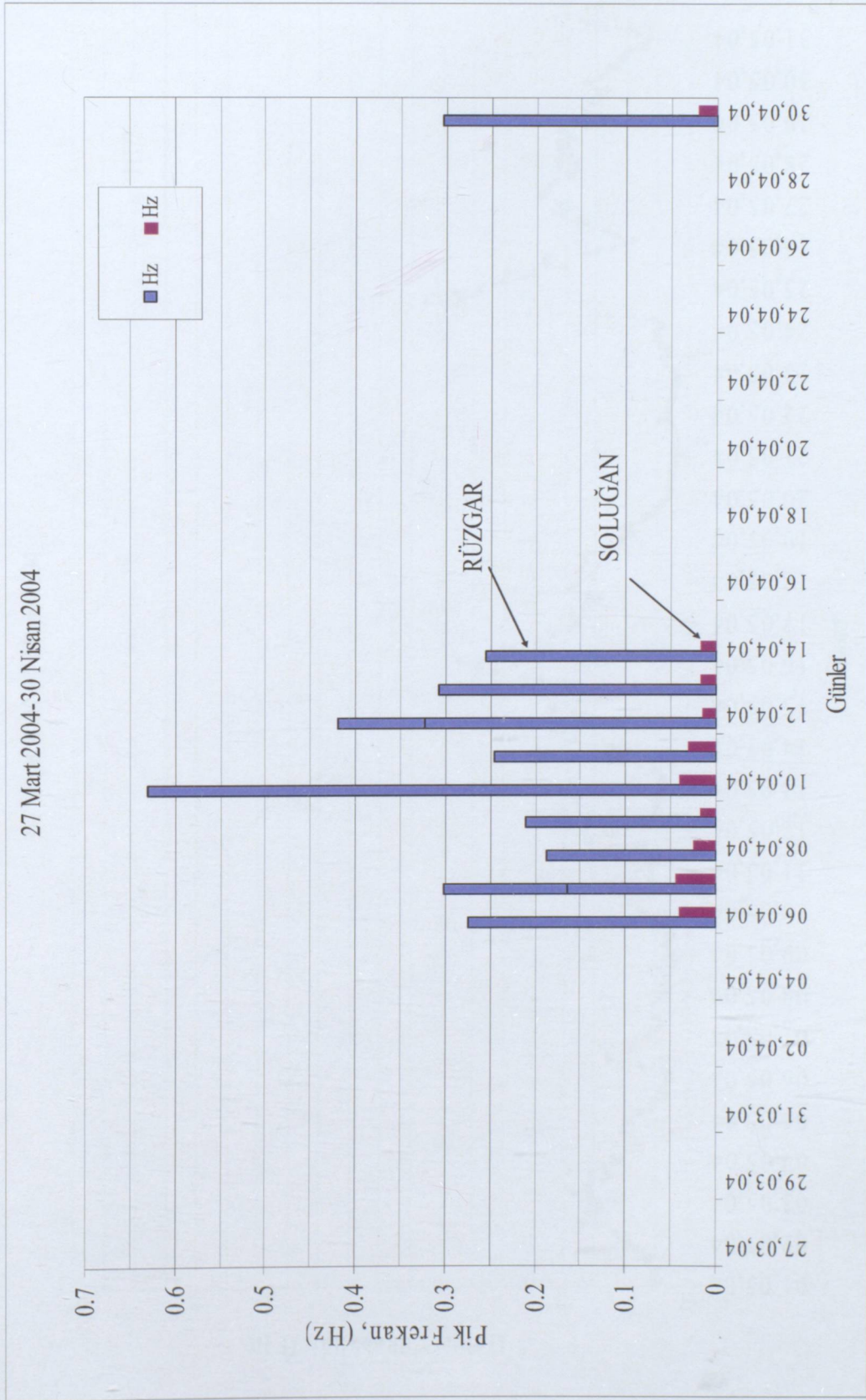
Şekil 4.29 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı



Şekil 4.30 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı

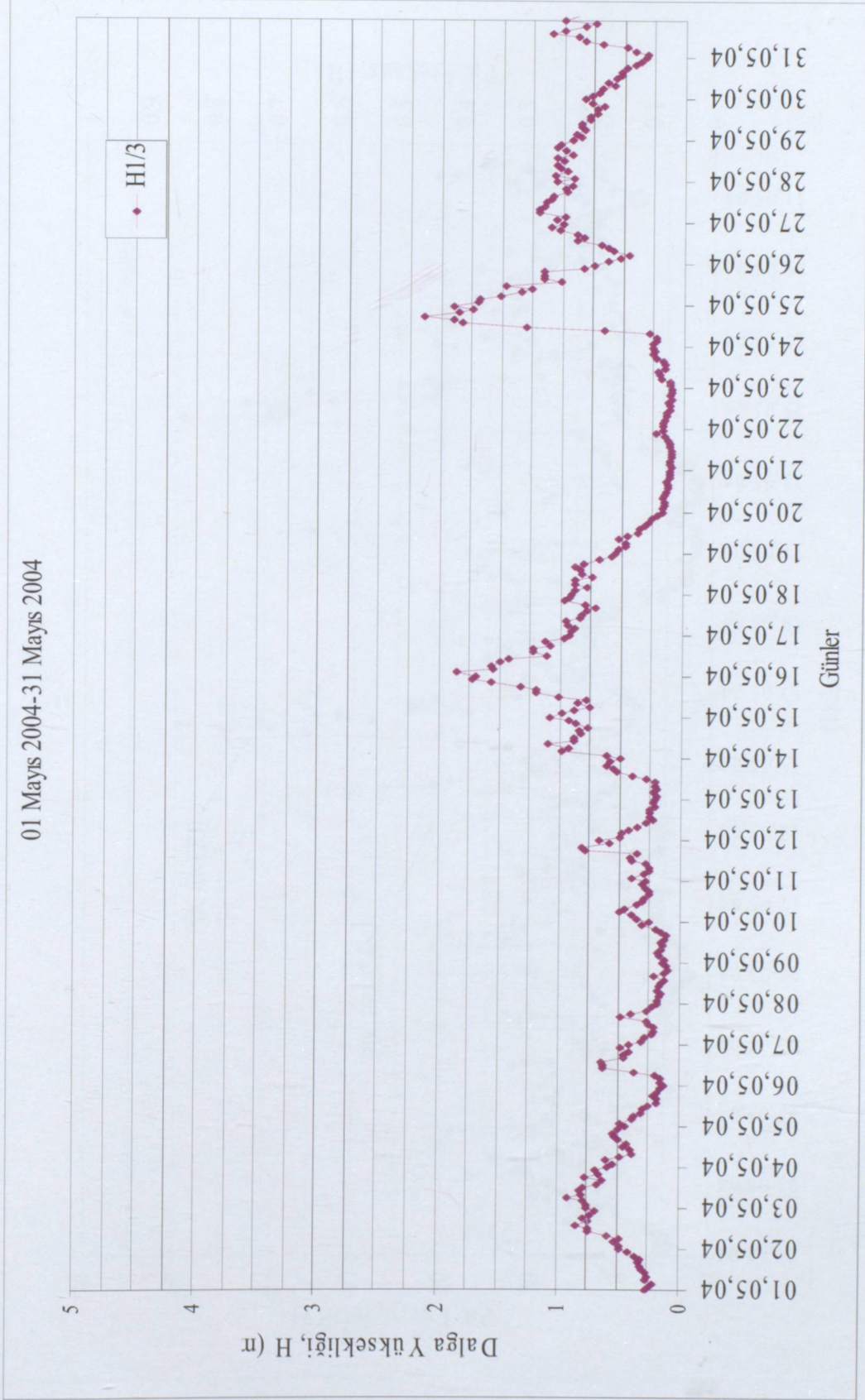


Şekil 4.31 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı

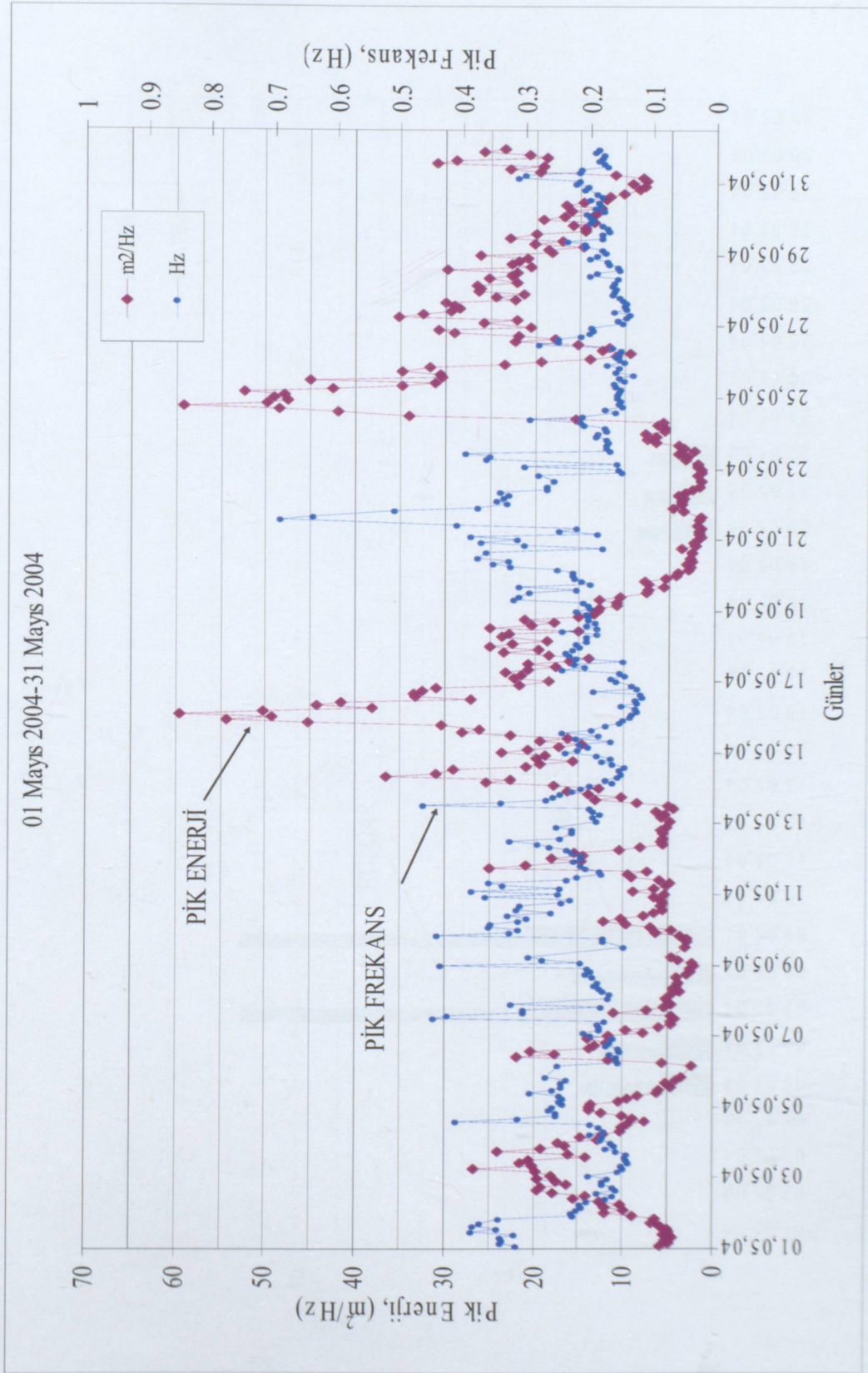


Şekil 4.32 27.03.2004 – 30.04.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı

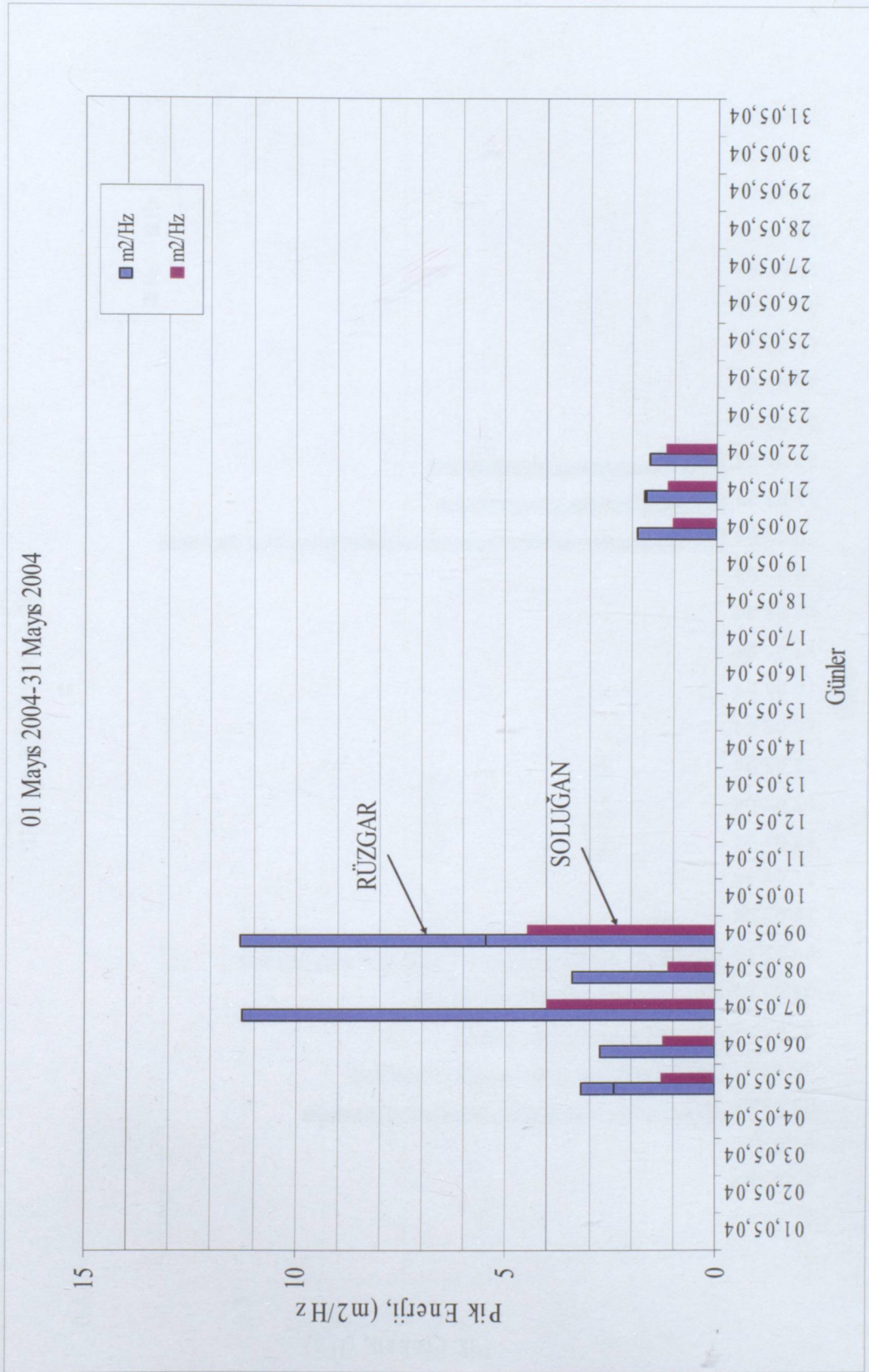
01 Mayıs 2004-31 Mayıs 2004



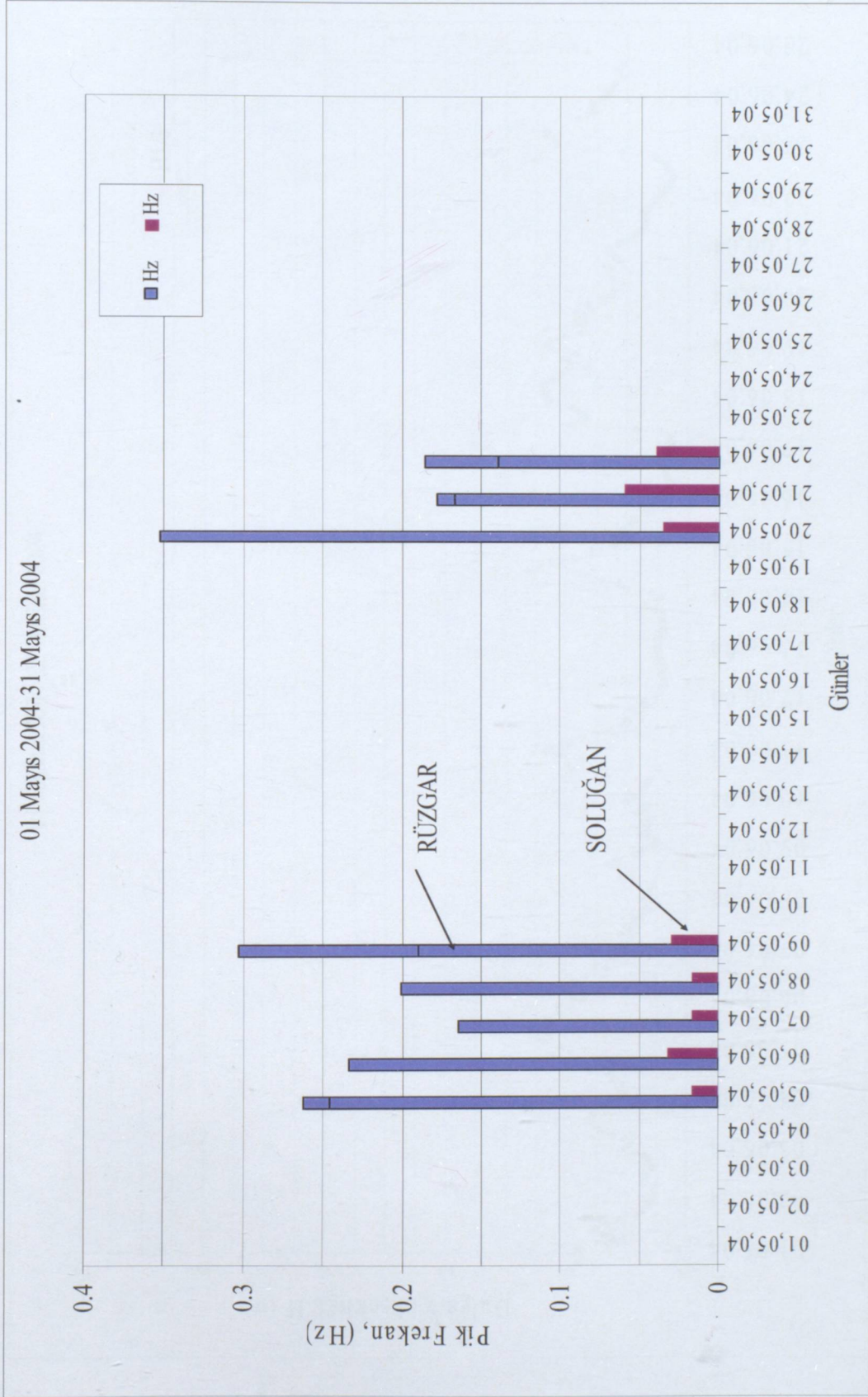
Şekil 4.33 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı



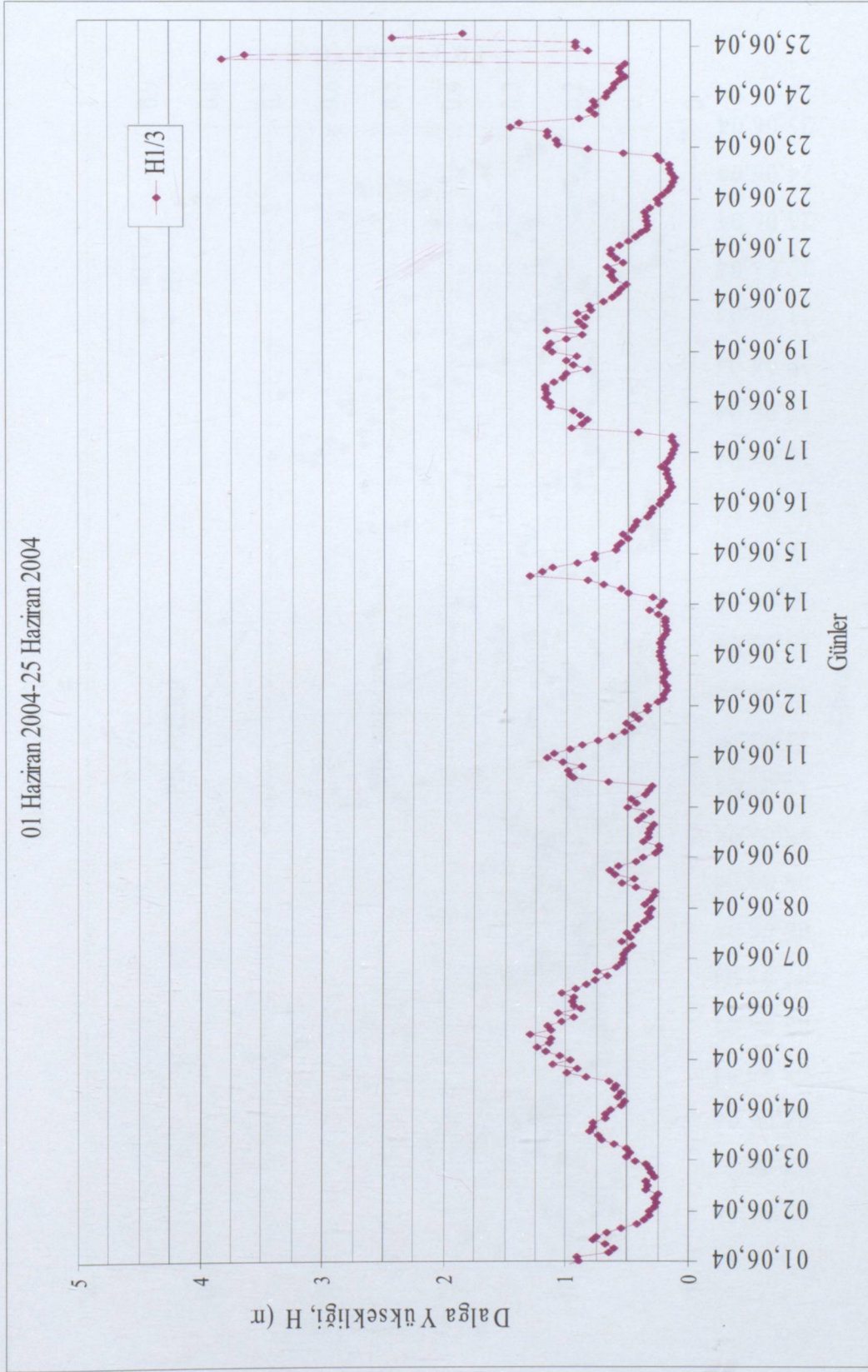
Şekil 4.34 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı



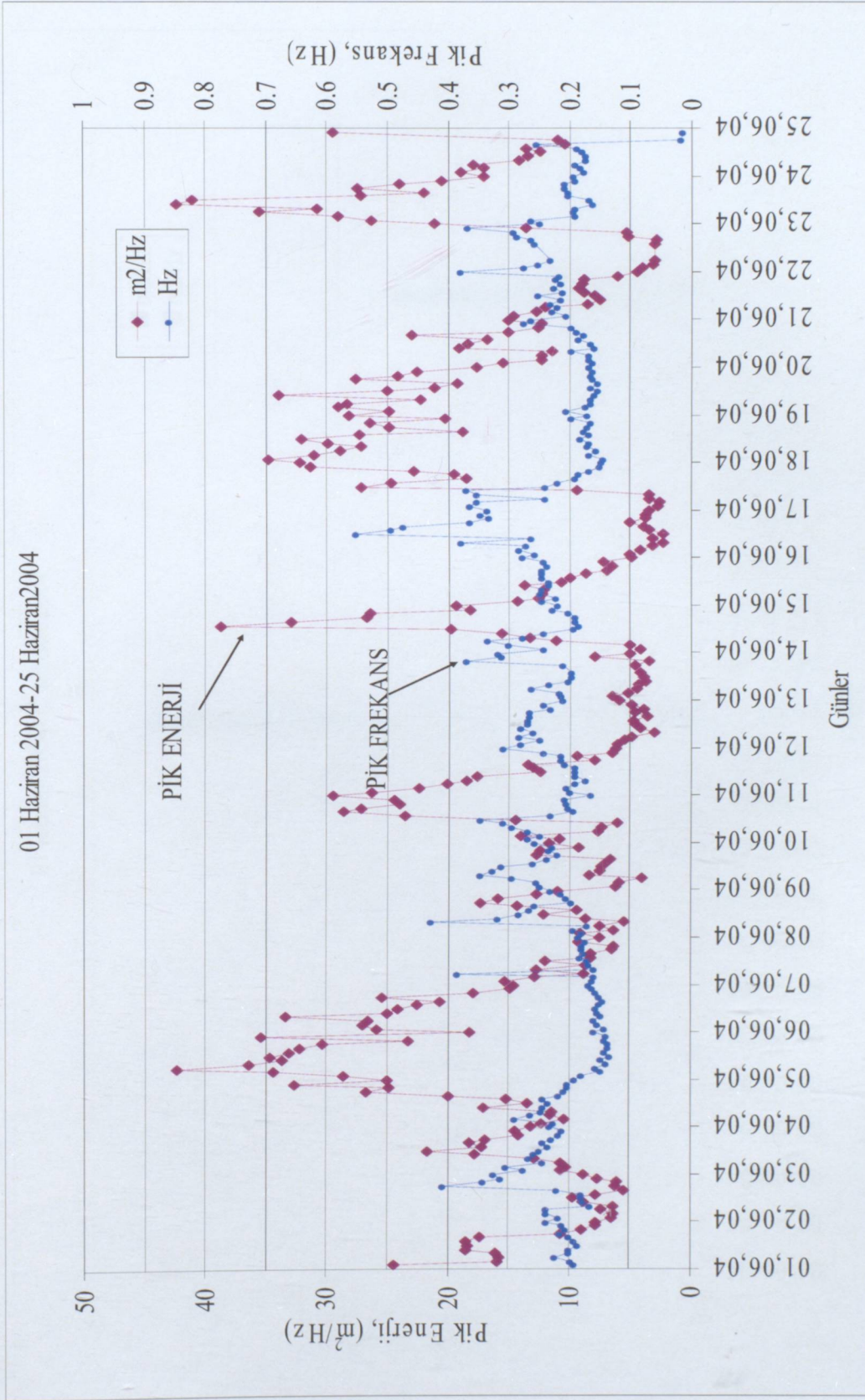
Şekil 4.35 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı



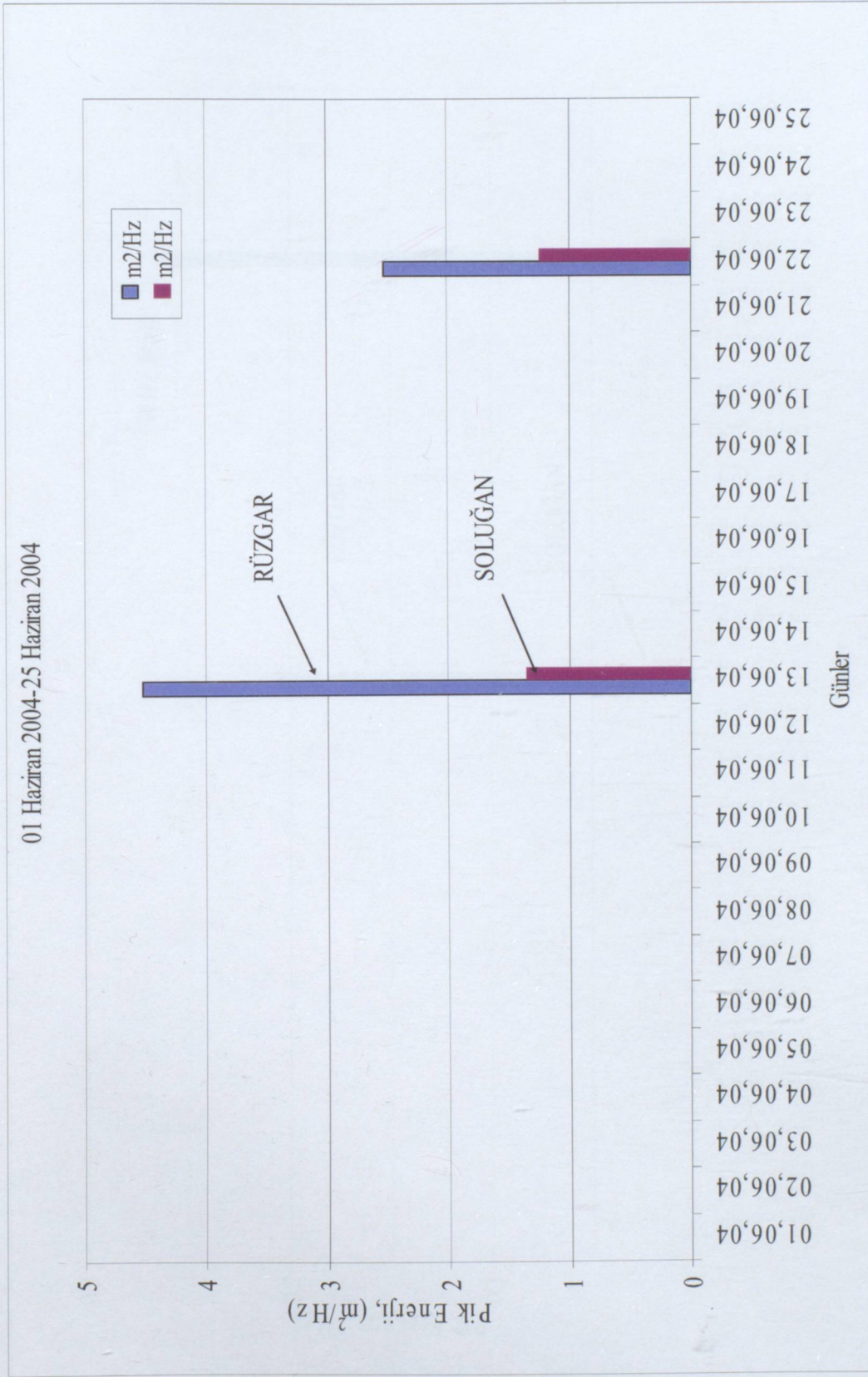
Şekil 4.36 01.05.2004 – 31.05.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı



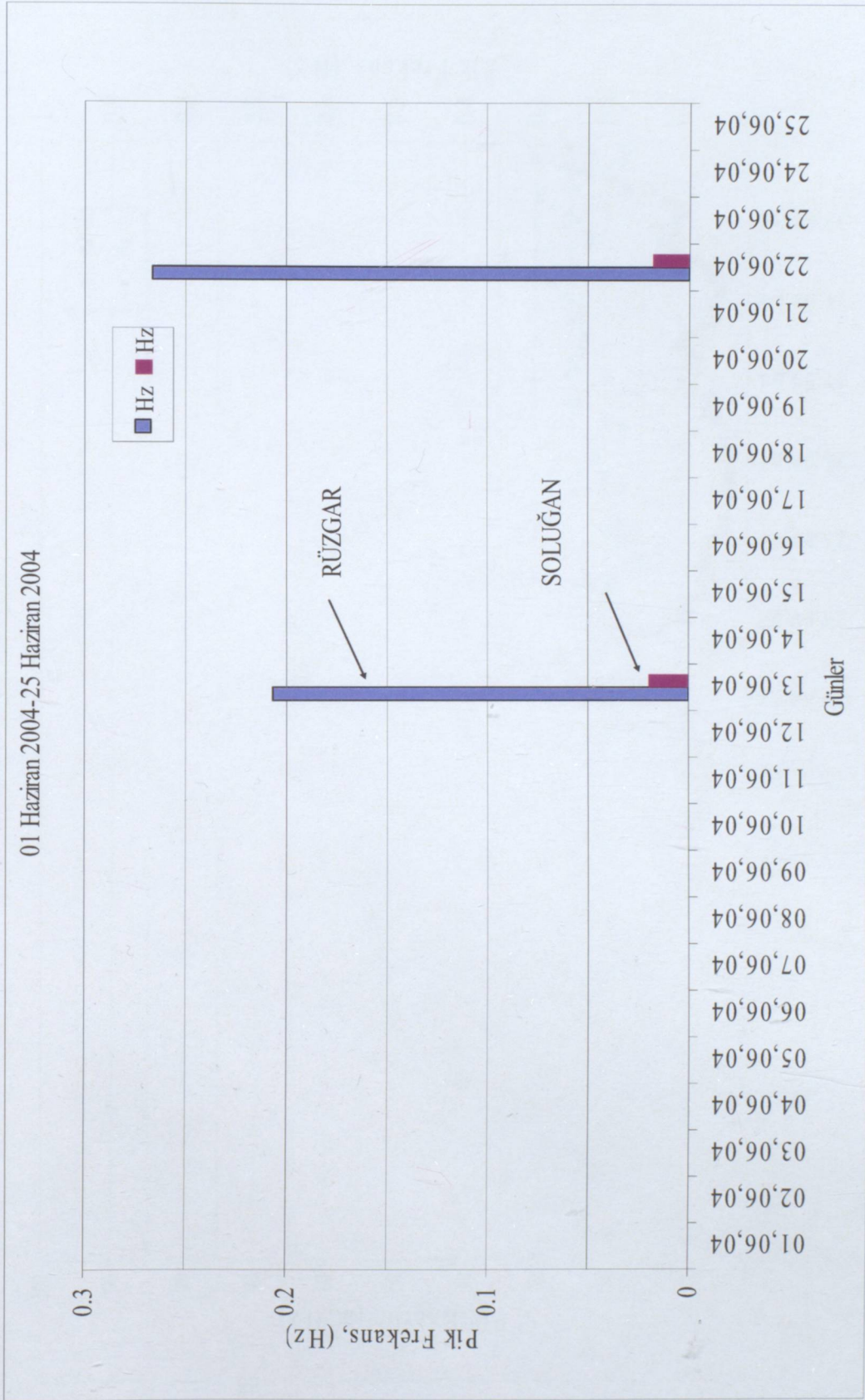
Şekil 4.37 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait belirgin dalga yüksekliği dağılımı



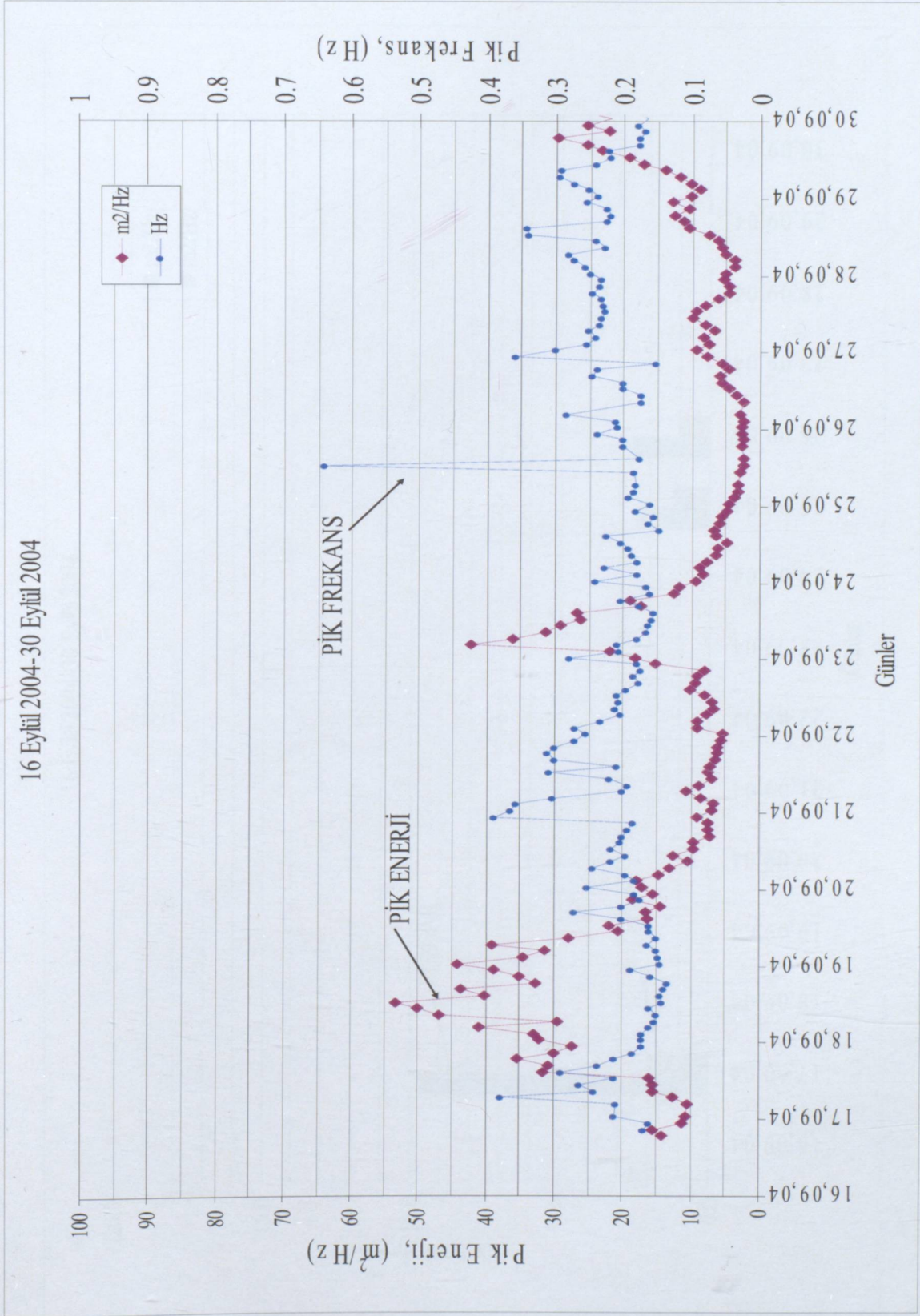
Şekil 4.38 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji-frekans dağılımı



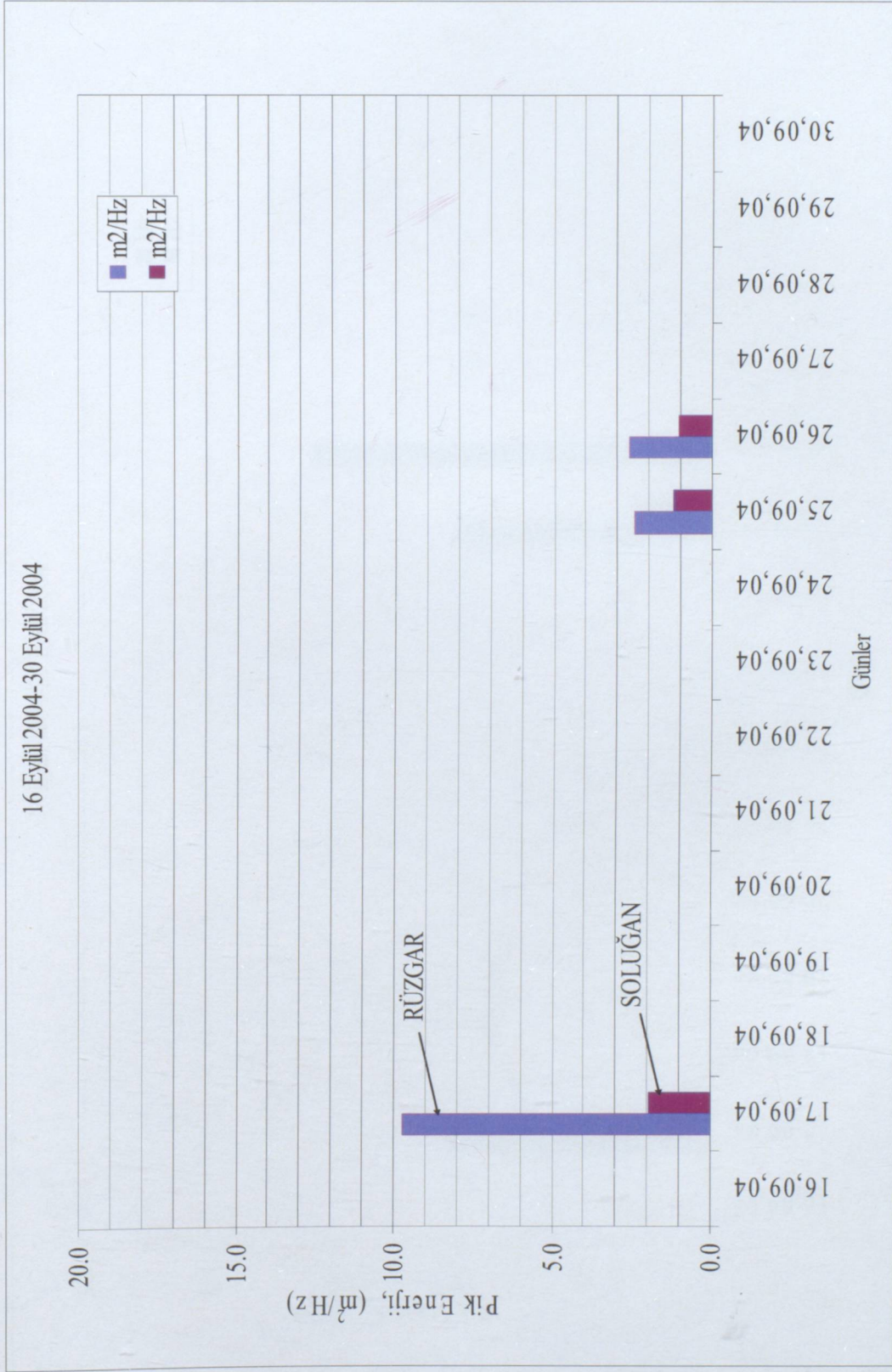
Şekil 4.39 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı



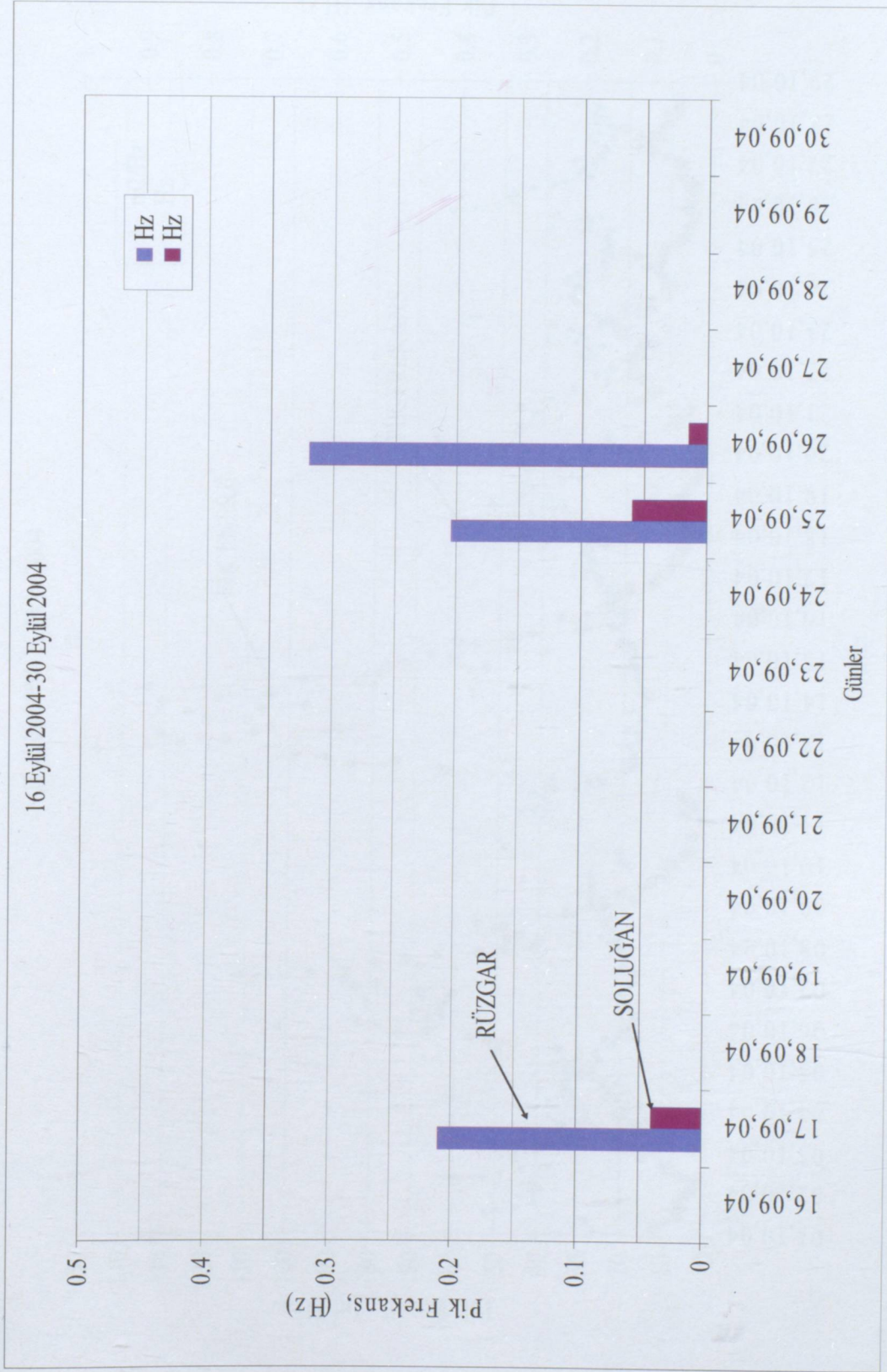
Şekil 4.40 01.06.2004 – 25.06.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı



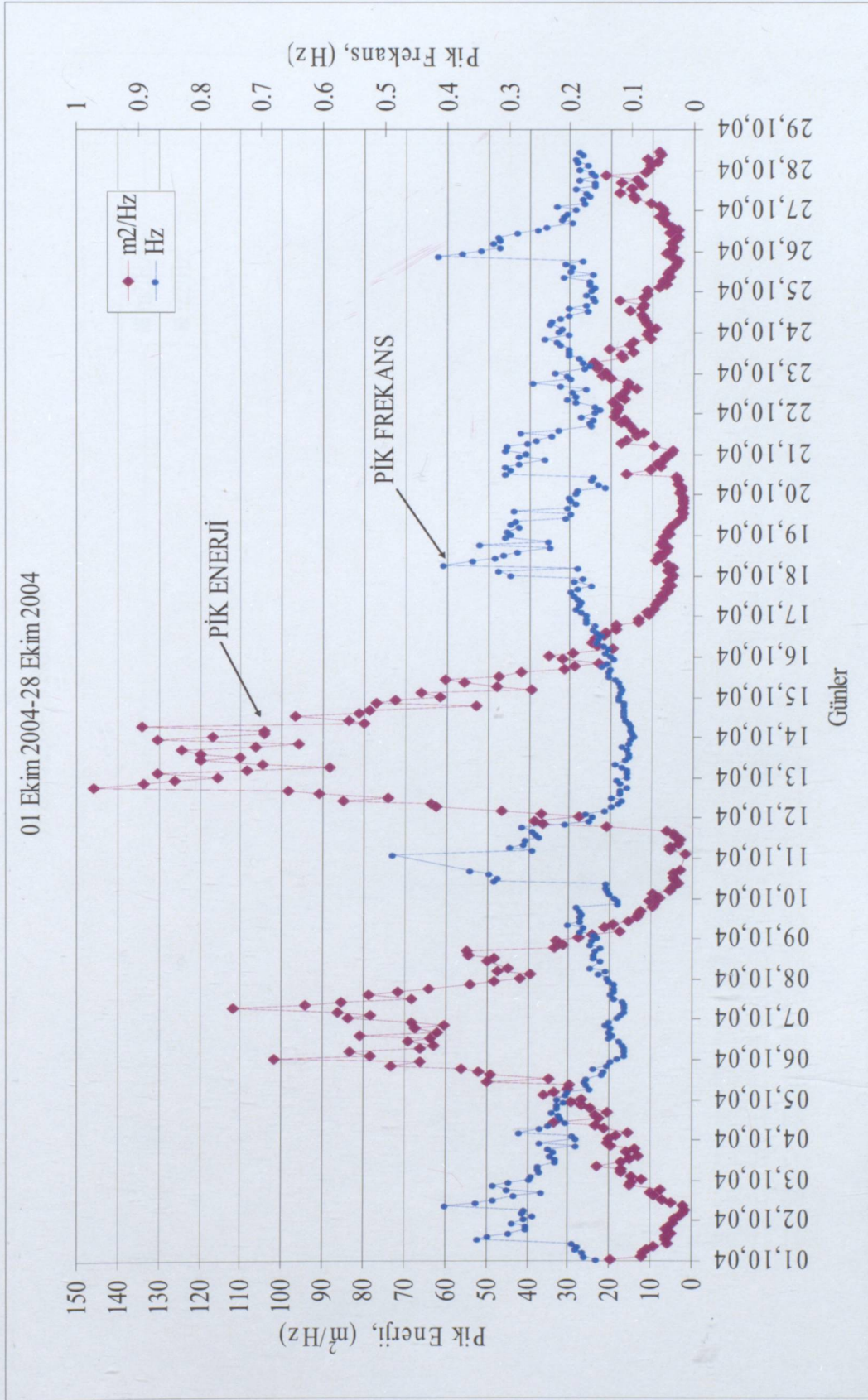
Şekil 4.41 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji – frekans dağılımı



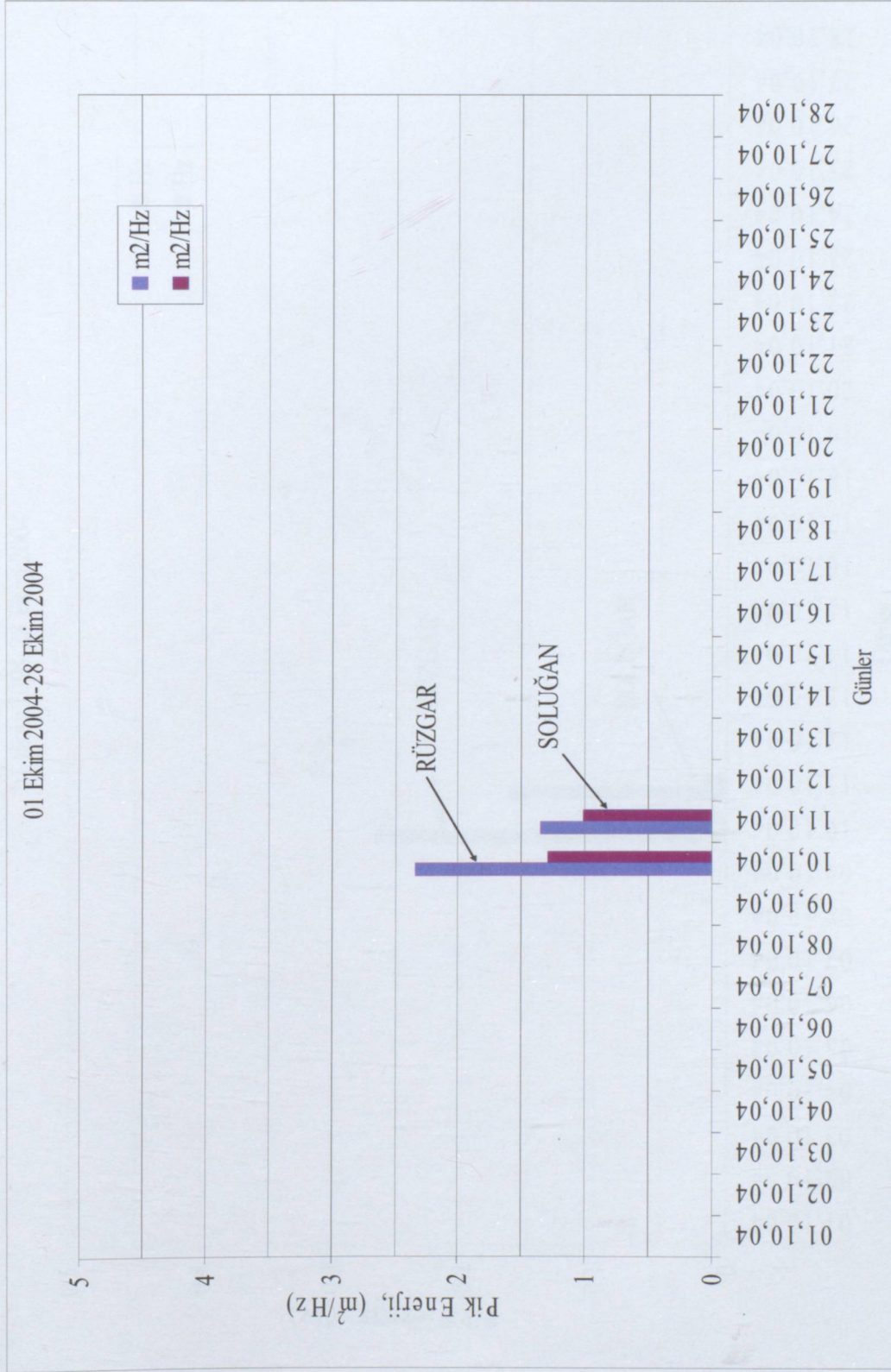
Şekil 4.42 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı



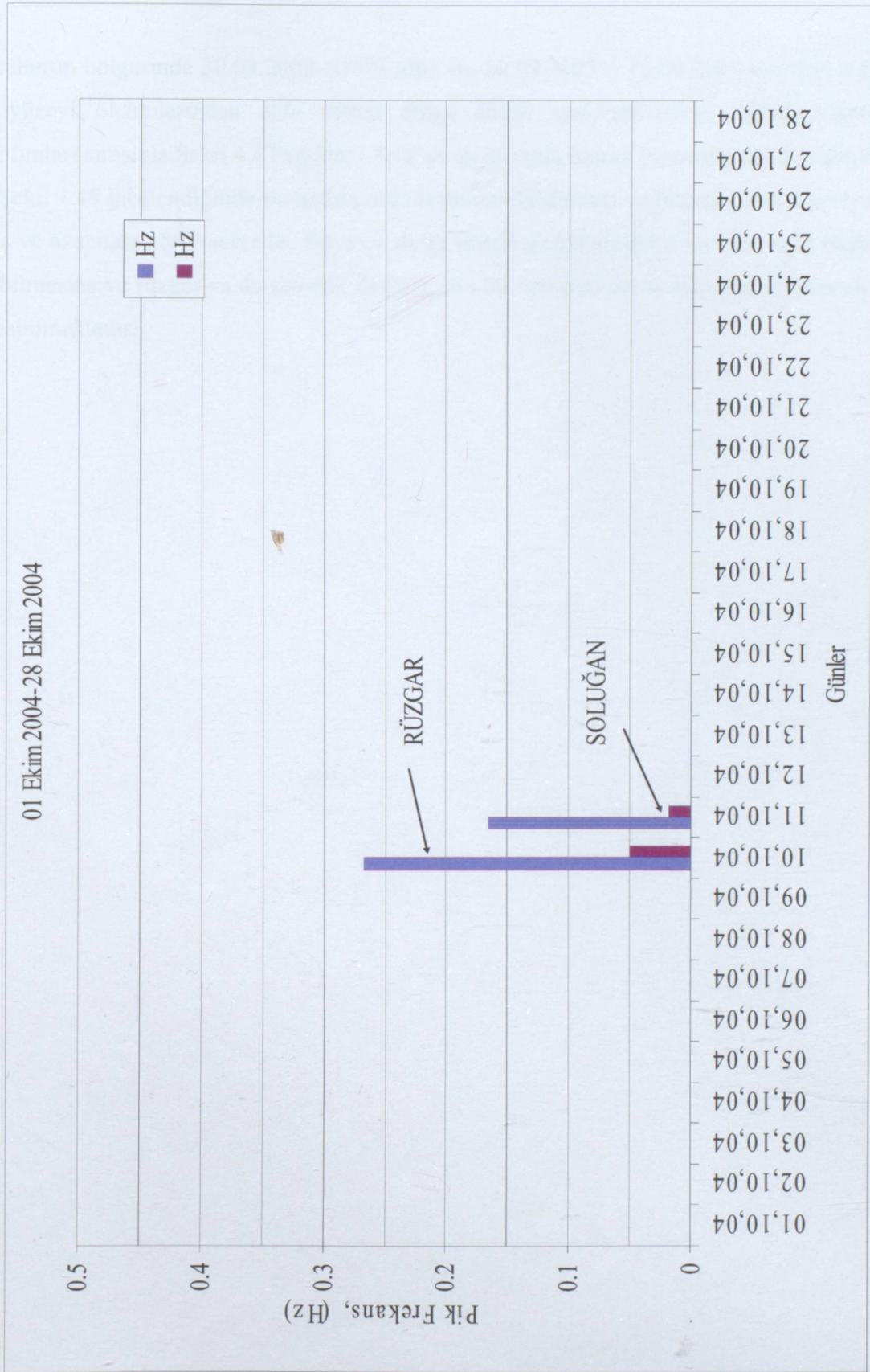
Şekil 4.43 16.09.2004 – 30.09.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı



Şekil 4.44 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait tek pikli enerji – frekans dağılımı

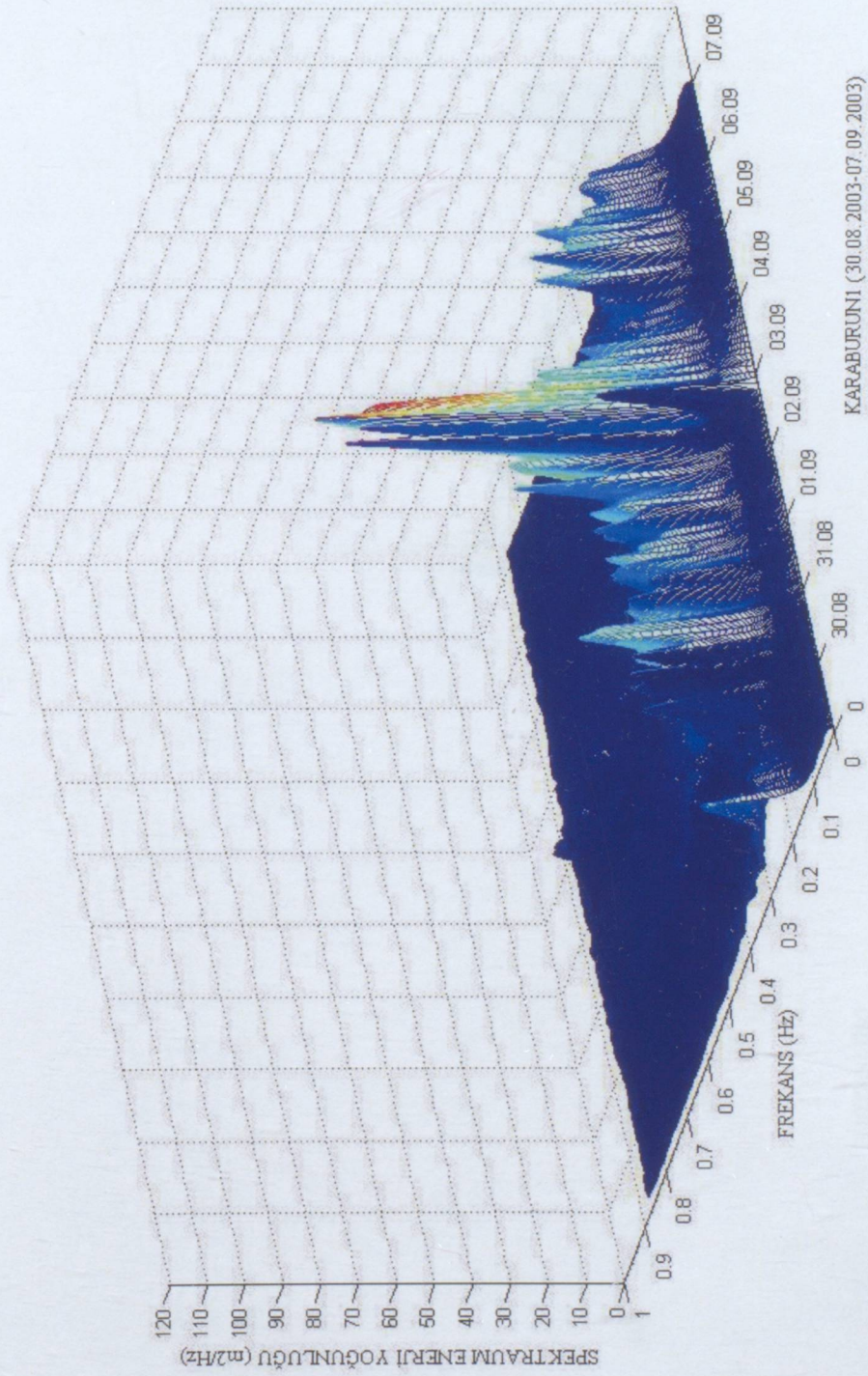


Şekil 4.45 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait çift pikli enerji dağılımı

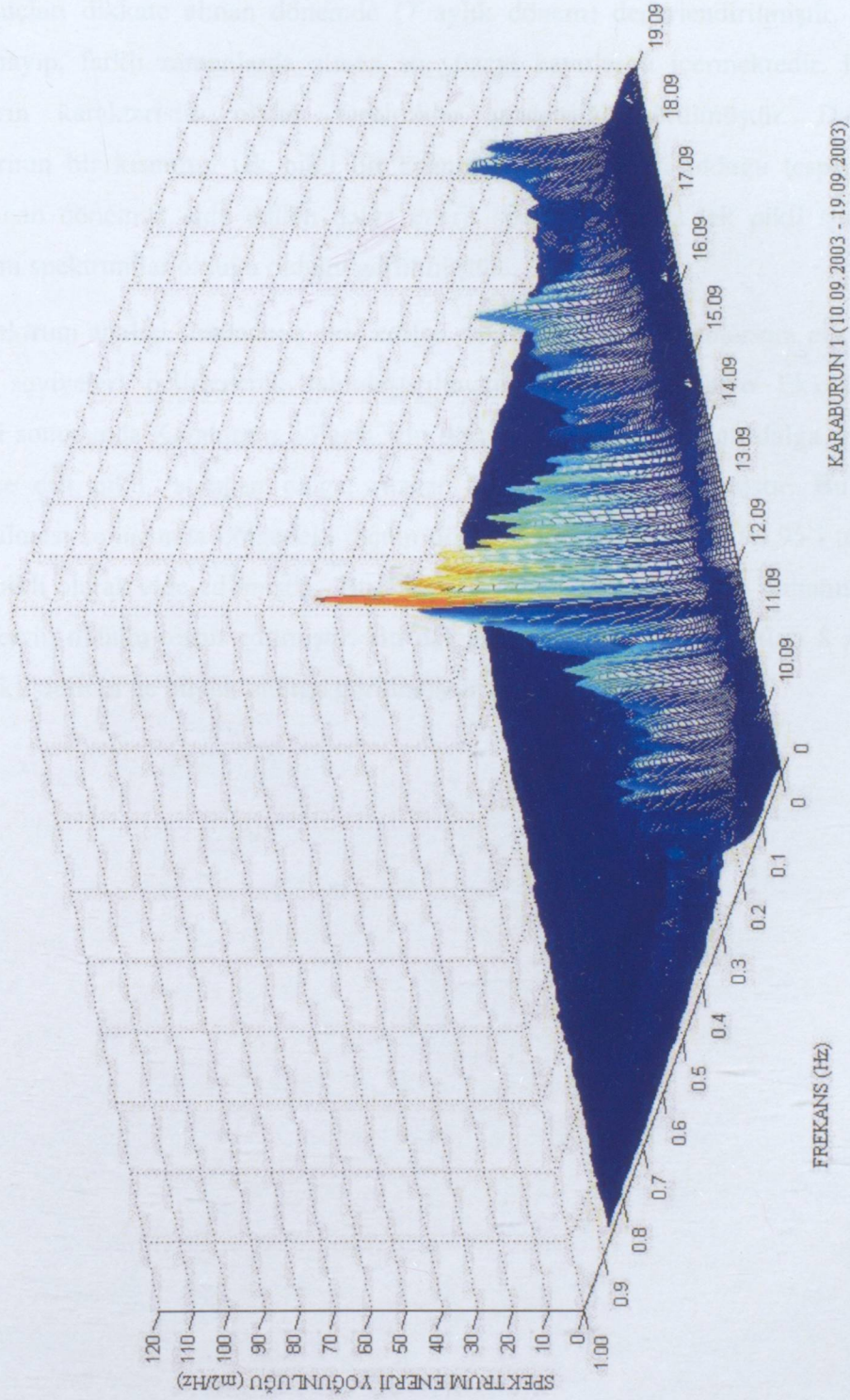


Şekil 4.46 01.10.2004 – 28.10.2004 tarihli döneme ait çift pikli frekans dağılımı

Karaburun bölgesinde 30.08.2003–07.09.2003 ile 10.09.2003 – 19.09.2003 tarihleri arasında su yüzeyi ölçümlerinden elde edilen dalga enerji spektrumlarının zaman alanındaki dağılımları sırasıyla Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de üç boyutlu olarak gösterilmektedir. Şekil 4.47 ve Şekil 4.48 incelendiğinde bu tarihlerdeki fırtınanın başlaması ve bitmesi, enerji seviyesinin artış ve azalması görülmektedir. Böylece dalga enerji spektrumundan da fırtınanın başlaması ile bitmesine ve rüzgar ya da soluğan dalgalarının bu fırtınada etkin olup olmadığına ait bilgi alınabilmektedir.



Şekil 4.47 30.08.2003 – 07.09.2003 tarihli döneme ait dalga enerji spektrumlarını üç boyutlu dağılımı



Şekil 4.48 10.09.2003 – 19.09.2003 tarihli döneme ait dalga enerji spektrumlarını üç boyutlu dağılımı

Bu çalışmada elde edilen su yüzeyi kayıtlarının FFT yöntemi kullanılarak yapılan spektrum analizi sonuçları dikkate alınan dönemde (7 aylık dönem) değerlendirilmiştir. Bu dönem sürekli olmayıp, farklı zamanlarda alınan su yüzeyi kayıtlarını içermektedir. Elde edilen spektrumların karakteristik olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Dalga enerji spektrumlarının bir kısmının tek pikli bir kısmının ise çift pikli olduğu tespit edilmiştir. Dikkate alınan dönemde elde edilen dalga enerji spektrumlarında tek pikli spektrumların rüzgar hakim spektrumlar olduğu görülmüştür.

Yapılan spektrum analizi sonucunda elde edilen dalga enerji spektrumlarının pik frekans ve pik enerji seviyeleri belirlenerek tablolaştırılmıştır (Tablo Ek1-Tablo Ek14). Bunların incelenmesi sonucunda Karaburun bölgesi için dört ölçüm dönemine ait dalga spektrumları tek pikli ve çift pikli (soluğan dalga, rüzgar dalgası) olarak ayrılmıştır. Bu tabloların değerlendirilmesi sonucunda bölgedeki ölçüm dönemine ait verilerin % 96.95'i tek pikli, % 3.05'i çift pikli olarak elde edilmiştir. Bu tek pikli dalga spektrumlarının tamamında rüzgar dalgasının etkin olduğu tespit edilmiştir. Bu dalgaların tamamının periyotları 8 s.'ye kadar olup, yüksekliklerinin de büyük olduğu görülmüştür.

5 SONUÇLAR

Deniz ulaştırması, deniz ve inşaat mühendisliğinde rasgele deniz durumunda gemi davranışlarının belirlenmesi, açık deniz yapıları ve kıyı yapılarındaki hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması rasgele dalgaların en önemli uygulamalarındandır. Deniz sistemlerinin tasarımında lineer ve lineer olmayan davranışların stokastik tahmini için deniz durumunu temsil eden dalga spektrumuna ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok çalışmada önemli olan herhangi bir bölgede ölçülen dalgalarla ilgili tüm bilgileri veren yani deniz durumunu temsil eden uygun bir dalga spektrum modelinin seçilmesidir. Aslında en uygun spektrum, seçilen mevkide ölçülmüş verilerden elde edilmiş olan spektrum modelidir.

Bu çalışmada İstanbul'a 50 km, İstanbul Boğaz girişine denizden 29 km uzaklıkta bir sahil kasabası olan Karaburun'da 2003-2004 yılları arasında sabit bir noktada çeşitli dönemlerde ölçülen su seviyesi değişimleri incelenerek ölçüm alınan bölgenin deniz durumunun karakteristik özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucu elde edilen su yüzeyi kayıtlarının FFT yöntemi kullanılarak yapılan spektrum analizi sonuçları dikkate alınan dönemde (7 aylık dönem) değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu her biri 10 dakikalık ölçümlerden oluşan toplam 2527 adet veri seti mevcuttur.

Farklı dönemlere ait toplam 2527 adet veri seti için FFT analizi yardımıyla dalga enerji spektrum yoğunluk dağılımları elde edilmiştir. Karaburun bölgesinde alınan su seviyesi ölçüm verilerinin FFT yöntemiyle analizinde, her bir ölçüm seti için veri nokta sayısı 1024, Nyquist frekans 0.5 Hz olarak alınmıştır. Ancak yapılan analiz sonucu ilgili çalışma alanında elde edilen dalga spektrum grafiklerinde saçılımların olduğu gözlemlenmiştir. Spektrum şekillerinde oluşan saçılımları azaltmak ve dalga enerji spektrumunda güvenilirliği artırmak ve düzgün bir eğri elde edebilmek için FFT analizinde çeşitli filtrelemeler yapılmıştır. Farklı dönemlere ait dalga enerji spektrum şekillerinde uygulanan çeşitli filtreleme oranlarına (10, 15, 20) bağlı olarak spektrumun hassasiyeti ve güvenilirliğini artırmak amacıyla toplam 2527 adet dalga spektrum eğrisi için filtre oranı 10 olarak seçilmiş ve 2527 adet dalga spektrumu için elde edilen pik frekans ve pik enerji seviyeleri her bir dönem için tablolandırılmıştır (Tablo Ek1-Tablo Ek14).

Yapılan bu analizler Karaburun bölgesinin ölçüm dönemi için deniz durumu hakkında bilgi vermektedir. Bunların bazılarının tek pikli bazılarının ise rüzgar dalgası ile soluğan dalgasının birlikte olduğunu gösteren çift pikli spektrumlar olduğu görülmüştür. Bu iki fırtına türü temelde birbirlerinden farklıdır.

Karaburun bölgesine ait farklı dönemlere ait spektrum şekillerinin incelenmesi sonucunda dört adet döneme ait dalga spektrumlarının tek pikli ve çift pikli (soluğan dalga, rüzgar dalgası) olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırmalar sonucu değerlendirilen tüm kayıtlar sonucunda bölgedeki verilerin % 96.95'i tek pikli, % 3.05'i çift piklidir.

Yapılan tüm analizler ve araştırmalar sonucunda Karaburun bölgesine ait elde edilen toplam 2527 adet dalga spektrumunun incelenmesiyle dikkate alınan deniz durumunda tek pikli ve çift pikli dalga spektrumlarının oluştuğu, buna bağlı olarak pik frekans ve pik enerji seviyelerinin de değerlendirilmesiyle, rüzgar dalgalarının hakim olduğu tespit edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bouws, E., H. Günther, W. Rosenthal and C.L. Vincent (1985a) Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water, Part I, Spectrum form. *J. Geophys. Res.*, **90(C1)**, 975-986
- Chae, J. W., K. S. Lee and W.O. Song (1982) Spectral characteristics of wind-generated at Manlipo, Korea, *Bulletin of Korea Ocean Research & Developments Institute (KORDI)*, **4**, 11-16
- Denman, A time-dependent model of the upper ocean; *J.Phys. Oceanogr.*, **3**, 173-184
- Moon, I. J. (1994) A study on spectral characteristics of wind wave over the seas around Korea. Master's Thesis, Seoul National University, 78pp., Korea
- Pierson, W. J. And L. Moskowitz (1964), A proposed spectral form for fully developed windseas based on the similiraty theory of S. A. Kitaigrodskii. *J. Geophys. Res.*, **69**, 5181-5190
- Pattiaratchi C. B., Hegge B., Gould J. and Eliot I., (1997), Impact of sea-breeze activity on nearshore and foreshore processes in southwestern Australia; *Cont. Shelf Res.* **17/13**, 1539-1560
- Torsethaugen, K., (1993), A two peak wave spectral model, *Proceedings OMAEI Glasgow*.
- Torsethaugen, K., (1994), Model for a doubly peaked spectrum, Lifetime and fatigue strength estimation implications, *International Workshop on Floating Structures in Coastal Zone*, November, (1994), Hiroshima
- Torsethaugen, K., (1994), Model for doubly peaked wave spectrum, *SINTEF Report STF22 A96204*.
- Çevik, E., (2006), *Kıyı Mühendisliğinde İstatiksel Yöntemler*, Ders Notları, İstanbul
- Yüksel, Y., Çevik E., Çelikoğlu, Y., (1998), *Kıyı ve Liman Mühendisliği*, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara

Tablo Ek 4 Karaburun 29.12.2003-22.01.2004 tarihli döneme ait dalga spektrum pik frekans değerleri

TARİH	29,12	30,12	31,12	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1
01:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.2	0.23	0.16	0.18	0.22	0.17	0.12	0.16	0.18	0.13	0.15	0.18	0.37	0.16	0.14	0.14	0.3	0.2	0.22	0.13	0.2	0.17	0.02	0.15
03:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.21	0.23	0.17	0.21	0.2	0.16	0.12	0.15	0.16	0.12	0.15	0.17	0.31	0.16	0.18	0.15	0.3	0.02	0.18	0.14	0.19	0.17	0.65	0.02
05:51				Ç															0.33						0.14
		0.03	0.18	0.17	0.2	0.21	0.16	0.13	0.16	0.16	0.13	0.16	0.18	0.24	0.17	0.14	0.02	0.22	0.2	0.18	0.13	0.19	0.02	0.02	0.02
		0.21														0.14							0.17	0.71	
07:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.21	0.18	0.12	0.23	0.22	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.16	0.18	0.23	0.16	0.14	0.16	0.25	0.02	0.18	0.14	0.19	0.02	0.02	0.02
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	0.32				0.17	0.17	
09:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.2	0.19	0.18	0.21	0.21	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.15	0.18	0.2	0.15	0.14	0.02	0.18	0.24	0.2	0.14	0.2	0.02	0.03	0.02
																0.14							0.62	0.17	
11:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.21	0.19	0.16	0.24	0.21	0.13	0.12	0.17	0.14	0.13	0.16	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.21	0.2	0.11	0.15	0.06	0.02	0.29	0.01
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
13:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.22	0.18	0.18	0.2	0.21	0.13	0.13	0.17	0.14	0.14	0.16	0.17	0.17	0.15	0.17	0.14	0.23	0.2	0.13	0.03	0.16	0.03	0.22	
																					0.15		0.59		
15:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.18	0.22	0.18	0.18	0.21	0.14	0.13	0.15	0.13	0.15	0.16	0.19	0.16	0.16	0.02	0.15	0.29	0.2	0.13	0.15	0.2	0.02	0.18	
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
17:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.18	0.21	0.17	0.21	0.17	0.12	0.13	0.15	0.13	0.16	0.18	0.19	0.16	0.16	0.14	0.16	0.26	0.19	0.14	0.17	0.15	0.03	0.2	
																							0.18		
19:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.19	0.2	0.18	0.21	0.17	0.12	0.15	0.15	0.12	0.15	0.17	0.21	0.14	0.16	0.14	0.03	0.28	0.22	0.13	0.15	0.14	0.07	0.19	
																0.16							0.56		
21:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.19	0.21	0.15	0.17	0.33	0.17	0.12	0.13	0.14	0.12	0.15	0.17	0.21	0.14	0.17	0.13	0.02	0.19	0.13	0.15	0.19	0.02	0.17	
																		0.26					0.66		
23:51				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.2	0.22	0.16	0.18	0.23	0.15	0.12	0.19	0.14	0.12	0.15	0.18	0.44	0.14	0.17	0.14	0.02	0.2	0.13	0.16	0.16	0.05	0.17	
																		0.19					0.6		

Tablo Ek 7 Karaburun 01.06.2004–25.06.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik enerji değerleri

TARİH	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	9,6	10,6	11,6	12,6	13,6	14,6	15,6	16,6	17,6	18,6	19,6	20,6	21,6	22,6	23,6	24,6	25,6	
01:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	24.4	6.52	10.7	12.3	28.6	25.9	15.3	9.1	6.25	10.8	26.3	6.12	6.57	4.22	14.4	5.11	2.78	34.9	24.9	15.4	14.6	3.98	26.3	18.9		
03:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	15.9	6.32	10.2	10.4	34.4	27	12.9	6.32	5.96	14	22.4	5.49	5.22	5.13	12.6	4.16	2.57	31	29	12.3	12.7	3.2	29.1	17		
05:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	15.7	7.32	10.7	11.5	42.4	26.6	8.81	7.55	4.08	7.6	20.1	4.85	4.52	11.2	12.3	3.16	3.44	29	28.3	12.3	12	2.97	35.5	17.9		
07:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	16.1	6.42	12.9	11.4	36.4	33.5	12.8	5.42	8.45	7.44	18.4	3.01	4.36	13.3	12.1	2.37	3.51	27.2	22.3	11.5	8.59	0.64	30.9	14.2		
09:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	18.5	8.86	17.8	17.1	33.6	25.1	8.64	8.7	7.52	6	17.6	4.23	3.7	15.6	13.7	3.12	9.39	30	33.9	19.1	7.48	0.85	42.3	13.5		
11:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	18.4	9.63	21.7	13.4	34.7	24.1	12	12.1	7.37	14.5	12.5	4.58	3.86	19.8	10.8	2.34	27.1	32.1	25.1	18.4	7.89	1.24	41	12.5		
13:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	18.5	7.74	17.2	15.2	33.1	22.5	8.25	9.34	7.04	23.6	13	4.7	4.21	38.8	9.93	3.52	24.7	27.4	21.2	16.7	8.75	3.04	27.2	13.6		
15:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	17.4	5.54	18.3	20	32.3	20.7	8.17	14.3	6.64	28.6	13.4	3.66	1.36	32.9	8.7	3.91	18.5	18.9	19.3	23	9.23	2.82	22	10.4		
17:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	10.7	6.24	16.9	26.7	30.4	25.5	6.51	17.3	12.8	27.1	7.92	4.65	4.68	26.7	7	5.05	19.5	24.9	27.7	15.1	9	5.25	27.5	10.9		
19:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	8.92	6.12	14.2	24.9	23.3	18	6.32	15.9	12.4	24	9.39	3.92	3.5	26.5	6.52	3.71	22.8	26.4	24.1	12.6	8.82	5.4	24			
21:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	7.78	7.72	14.5	32.7	35.4	14.9	9.3	12.7	9.29	24.5	6.51	4.93	7.95	18.2	7.27	3.8	31.3	20.2	22.6	12.2	6.06	13.6	20.5	29.4		
23:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	7.83	8.75	13.2	25	18.2	14.7	7.57	11	11.7	29.5	6.16	5.93	5.1	19.4	4.94	3.46	32.2	28.3	17.6	15	4.54	21.1	17			

Tablo Ek 8 Karaburun 27.03.2004-30.04.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik frekans değerleri

TARİH	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4
01:51		0.31	0.29	0.15	0.25	0.31	0.19	0.13	0.16	0.18	0.18	0.02	0.17	0.17	0.36	0.38		0.01	0.3	0.17	0.12	0.14	0.25	0.14	0.14	0.16	0.18	0.17	0.19	0.21	0.24	0.19	0.13	0.14	0.18
03:51		0.24	0.28	0.17	0.26	0.31	0.21	0.12	0.24	0.18	0.25	0.05	0.02	0.18	0.29	0.3	0.11	0.02	0.26	0.16	0.12	0.14	0.25	0.13	0.15	0.16	0.2	0.19	0.17	0.23	0.25	0.2	0.13	0.13	0.19
05:51		0.21	0.26	0.17	0.27	0.34	0.19	0.13	0.16	0.19	0.23	0.18	0.17	0.19	0.02	0.03	0.23	0.02	0.02	0.14	0.12	0.14	0.24	0.12	0.14	0.17	0.19	0.15	0.16	0.22	0.24	0.2	0.13	0.14	0.21
07:51		0.21	0.26	0.2	0.26	0.31	0.25	0.13	0.18	0.19	0.24	0.17	0.71	0.44	0.31	0.26	0.2	0.02	0.19	0.1	0.12	0.14	0.22	0.12	0.15	0.17	0.2	0.17	0.18	0.21	0.25	0.21	0.13	0.15	0.21
09:51		0.21	0.24	0.18	0.29	0.27	0.25	0.14	0.19	0.16	0.27	0.18	0.67	0.38	0.21	0.24	0.21	0.21	0.18	0.11	0.13	0.16	0.24	0.12	0.14	0.29	0.2	0.15	0.2	0.35	0.23	0.18	0.15	0.15	0.22
11:51		0.2	0.2	0.18	0.24	0.27	0.22	0.14	0.16	0.17	0.04	0.16	0.68	0.4	0.8	0.26	0.02	0.55	0.2	0.11	0.12	0.14	0.25	0.12	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.35	0.24	0.2	0.14	0.16	0.22
13:51		0.24	0.2	0.18	0.34	0.36	0.21	0.15	0.14	0.16	0.04	0.16	0.66	0.2	0.04	0.15	0.26	0.38	0.17	0.11	0.16	0.15	0.2	0.13	0.15	0.25	0.2	0.17	0.18	0.37	0.24	0.18	0.14	0.16	0.45
15:51		0.22	0.17	0.19	0.33	0.27	0.16	0.14	0.15	0.18	0.34	0.15	0.03	0.02	0.52	0.17	0.31	0.32	0.19	0.11	0.13	0.14	0.21	0.13	0.15	0.21	0.19	0.18	0.22	0.33	0.3	0.16	0.15	0.16	0.39
17:51	0.23	0.24	0.18	0.19	0.3	0.29	0.16	0.15	0.17	0.17	0.36	0.16	0.18	0.42	0.38	0.18	0.31	0.3	0.19	0.11	0.15	0.14	0.22	0.13	0.16	0.21	0.18	0.2	0.3	0.31	0.27	0.14	0.14	0.17	0.34
19:51	0.24	0.25	0.19	0.31	0.33	0.25	0.15	0.16	0.16	0.2	0.31	0.16	0.34	0.43	0.31	0.18	0.01	0.29	0.17	0.11	0.14	0.15	0.22	0.14	0.16	0.23	0.18	0.17	0.18	0.28	0.24	0.14	0.14	0.17	0.02
21:51	0.25	0.35	0.19	0.28	0.37	0.23	0.16	0.18	0.16	0.21	0.21	0.16	0.38	0.38	0.21	0.22	0.3	0.15	0.11	0.14	0.16	0.21	0.13	0.16	0.2	0.2	0.15	0.19	0.25	0.27	0.14	0.15	0.18	0.34	
23:51	0.41	0.37	0.25	0.28	0.33	0.2	0.13	0.2	0.16	0.19	0.3	0.16	0.34	0.35	0.36	0.21	0.11	0.27	0.21	0.11	0.15	0.16	0.19	0.14	0.18	0.21	0.18	0.16	0.21	0.24	0.23	0.13	0.13	0.18	0.32

Tablo Ek 9 Karaburun 01.05.2004–31.05.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik frekans değerleri

TARİH	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5	30,5	31,5
01:51	T	T	0,2	0,18	0,24	0,03	0,21	0,17	0,21	0,36	0,39	0,21	0,18	0,2	0,22	0,13	0,16	0,22	0,2	0,22	0,39	0,35	0,3	0,17	0,16	0,15	0,15	0,16	0,17	0,2	0,22
03:51	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
05:51	0,33	0,21	0,14	0,19	0,24	0,15	0,18	0,17	0,29	0,31	0,33	0,23	0,18	0,17	0,21	0,12	0,15	0,2	0,21	0,32	0,25	0,33	0,36	0,21	0,15	0,15	0,14	0,16	0,21	0,18	0,3
07:51	0,34	0,2	0,14	0,17	0,24	0,15	0,18	0,18	0,02	0,3	0,36	0,26	0,19	0,15	0,16	0,15	0,24	0,18	0,32	0,35	0,22	0,34	0,36	0,21	0,16	0,15	0,14	0,16	0,21	0,19	0,22
09:51	0,31	0,17	0,13	0,18	0,29	0,15	0,17	0,19	0,03	0,33	0,23	0,28	0,2	0,15	0,22	0,12	0,2	0,24	0,31	0,33	0,41	0,26	0,4	0,29	0,16	0,16	0,2	0,24	0,18	0,21	
11:51	0,38	0,16	0,14	0,19	0,26	0,16	0,45	0,18	0,14	0,26	0,22	0,32	0,46	0,15	0,18	0,13	0,22	0,19	0,29	0,38	0,06	0,27	0,17	0,21	0,15	0,28	0,14	0,19	0,18	0,17	
13:51	0,34	0,18	0,14	0,41	0,24	0,15	0,42	0,02	0,02	0,31	0,18	0,24	0,34	0,14	0,24	0,11	0,15	0,2	0,22	0,04	0,69	0,04	0,17	0,16	0,15	0,25	0,15	0,18	0,2	0,18	
15:51	0,38	0,15	0,14	0,31	0,24	0,15	0,3	0,19	0,17	0,31	0,18	0,02	0,26	0,16	0,19	0,12	0,22	0,19	0,31	0,36	0,64	0,26	0,17	0,17	0,13	0,25	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18
17:51	0,37	0,16	0,15	0,25	0,23	0,17	0,3	0,2	0,18	0,24	0,2	0,23	0,25	0,18	0,17	0,19	0,23	0,2	0,2	0,18	0,02	0,02	0,17	0,15	0,16	0,21	0,15	0,17	0,19	0,18	
19:51	0,34	0,17	0,17	0,25	0,26	0,16	0,18	0,19	0,44	0,23	0,21	0,23	0,24	0,16	0,15	0,12	0,23	0,2	0,21	0,3	0,51	0,28	0,17	0,15	0,15	0,2	0,15	0,17	0,18	0,21	0,18
21:51	0,22	0,17	0,16	0,26	0,02	0,16	0,32	0,2	0,32	0,36	0,22	0,25	0,23	0,19	0,15	0,13	0,23	0,2	0,22	0,37	0,38	0,15	0,19	0,15	0,17	0,19	0,16	0,2	0,2	0,2	0,19
23:51	0,23	0,17	0,16	0,25	0,02	0,19	0,02	0,43	0,31	0,25	0,21	0,02	0,21	0,24	0,13	0,15	0,21	0,22	0,22	0,31	0,33	0,15	0,19	0,16	0,14	0,2	0,16	0,19	0,22	0,19	

Tablo Ek10 Karaburun 01.06.2004–25.06.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik frekans değerleri

TARİH	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	9,6	10,6	11,6	12,6	13,6	14,6	15,6	16,6	17,6	18,6	19,6	20,6	21,6	22,6	23,6	24,6	25,6	
01:51	T	0.19	0.22	0.28	0.23	0.18	0.14	0.16	0.18	0.25	0.27	0.2	0.28	0.21	0.24	0.25	0.26	0.37	0.14	0.21	0.16	0.21	0.28	0.26	0.18	
03:51	T	0.2	0.24	0.3	0.29	0.15	0.16	0.19	0.26	0.25	0.21	0.25	0.22	0.3	0.22	0.28	0.35	0.17	0.17	0.17	0.23	0.23	0.25	0.19	0.18	
05:51	T	0.22	0.24	0.24	0.26	0.16	0.38	0.17	0.3	0.27	0.19	0.28	0.26	0.33	0.25	0.27	0.24	0.16	0.16	0.17	0.22	0.23	0.19	0.19	0.19	
07:51	T	0.2	0.16	0.27	0.25	0.14	0.15	0.16	0.43	0.35	0.3	0.17	0.26	0.23	0.28	0.25	0.38	0.35	0.17	0.17	0.2	0.23	0.02	0.19	0.17	
09:51	T	0.2	0.18	0.26	0.24	0.15	0.15	0.17	0.32	0.33	0.31	0.19	0.28	0.2	0.24	0.23	0.26	0.37	0.17	0.16	0.16	0.22	0.01	0.16	0.17	
11:51	T	0.19	0.18	0.25	0.23	0.13	0.16	0.17	0.28	0.31	0.35	0.19	0.27	0.2	0.19	0.24	0.55	0.24	0.18	0.15	0.16	0.25	0.02	0.17	0.18	
13:51	T	0.19	0.18	0.24	0.24	0.14	0.15	0.18	0.27	0.26	0.23	0.19	0.27	0.2	0.19	0.25	0.5	0.22	0.17	0.17	0.19	0.21	0.26	0.2	0.19	
15:51	T	0.2	0.22	0.24	0.22	0.14	0.15	0.18	0.26	0.24	0.19	0.21	0.27	0.02	0.19	0.25	0.47	0.19	0.18	0.15	0.18	0.23	0.26	0.2	0.26	
17:51	T	0.22	0.41	0.23	0.21	0.14	0.15	0.18	0.2	0.22	0.2	0.22	0.27	0.21	0.19	0.25	0.36	0.18	0.17	0.16	0.19	0.22	0.29	0.21	0.02	
19:51	T	0.2	0.34	0.22	0.2	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.21	0.22	0.37	0.2	0.24	0.33	0.17	0.17	0.17	0.17	0.2	0.22	0.29	0.21		
21:51	T	0.21	0.31	0.21	0.2	0.14	0.16	0.17	0.22	0.23	0.21	0.24	0.31	0.23	0.24	0.35	0.15	0.2	0.16	0.16	0.27	0.22	0.37	0.19	0.01	
23:51	T	0.24	0.33	0.23	0.19	0.16	0.17	0.19	0.23	0.26	0.16	0.31	0.32	0.22	0.28	0.33	0.15	0.15	0.17	0.17	0.26	0.38	0.25	0.19		

Tablo Ek 11 Karaburun 16.09.2004–30.09.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik enerji değerleri

TARİH	16,9	17,9	18,9	19,9	20,9	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9	26,9	27,9	28,9	29,9	30,9
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
00:51		10,8	32,1	44,3	17,2	7,09	5,24	18,2	9,51	4,49	2,68	9,48	4,99	10,1	22,1
		Ç													
02:51		1,98	33,1	34,6	18	6,76	9,05	21,9	8,27	3,74	2,41	7,38	3,85	8,98	26,4
		9,7													
04:51		10,5	41,1	31,3	14,7	8,57	9,11	42,4	8,76	3,16	2,95	8,41	3,82	10,1	27
06:51		12,6	29,5	39,2	13,2	10,8	7,72	36,3	7,65	3,23	1,06	6,69	5,18	11,9	22,8
											2,65				
08:51		15,4	46,8	27,9	10,6	8,73	6,78	31,2	6,34	1,22	2,48	7,99	5,68	14	24,3
										2,46					
10:51		15,6	50,2	20,8	12,6	7,07	6,95	29,3	6,1	2,89	3,57	9,84	6,04	17,1	34,5
12:51		16	53,3	21,9	9,52	7,52	7,92	26,3	4,86	2,36	4,66	9,25	7,38	19,2	21,1
14:51		31,7	40,1	16,5	9,78	7,22	10,1	26,9	6,39	2,52	5,64	8,06	10,6	23,4	25,4
16:51		30,8	43,8	16,6	7,15	6,41	9,33	17,3	6,74	1,15	5,98	6,1	11,4	25,4	22,6
										2,24					
18:51		14,1	35,3	32,7	14,4	6,22	9,04	19,1	5,93	2,64	4,51	4,51	12,5	29,7	17,3
20:51		15,6	29,9	35,2	18,4	6,21	8,05	12,5	5,74	2,47	5,64	4,69	10,4	22,2	17,3
22:51		11,3	27,5	39	15,7	5,53	15,4	11,9	4,84	2,57	7,73	5,34	13	25,4	21

Tablo Ek 13 Karaburun 16.09.2004–30.09.2004 tarihli döneme ait dalga spektrumu pik frekans değerleri

TARİH	16,9	17,9	18,9	19,9	20,9	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9	26,9	27,9	28,9	29,9	30,9
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
00:51		0.21	0.17	0.15	0.18	0.36	0.27	0.21	0.18	0.19	0.21	0.26	0.26	0.25	0.18
02:51		Ç	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.04	0.16	0.15	0.2	0.3	0.23	0.21	0.23	0.19	0.29	0.24	0.27	0.27	0.16
		0.21													
04:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.38	0.15	0.16	0.24	0.2	0.21	0.18	0.18	0.18	0.17	0.25	0.28	0.29	0.17
06:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	Ç	T	T	T	T
		0.24	0.15	0.15	0.22	0.19	0.21	0.17	0.19	0.19	0.02	0.24	0.23	0.29	0.17
											0.32				
08:51		T	T	T	T	T	T	T	T	Ç	T	T	T	T	T
		0.26	0.16	0.16	0.2	0.22	0.21	0.16	0.19	0.04	0.17	0.23	0.24	0.24	0.17
										0.18					
10:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.21	0.14	0.16	0.22	0.31	0.21	0.16	0.2	0.64	0.2	0.23	0.34	0.22	0.18
12:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.29	0.15	0.2	0.2	0.21	0.2	0.16	0.22	0.18	0.2	0.23	0.34	0.22	0.18
14:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.24	0.14	0.27	0.2	0.3	0.18	0.18	0.15	0.2	0.25	0.23	0.22	0.18	0.16
16:51		T	T	T	T	T	T	T	T	Ç	T	T	T	T	T
		0.21	0.14	0.2	0.19	0.31	0.19	0.2	0.16	0.06	0.24	0.25	0.22	0.18	0.15
										0.21					
18:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.17	0.19	0.16	0.17	0.19	0.3	0.17	0.16	0.2	0.15	0.24	0.23	0.17	0.15
20:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.16	0.19	0.18	0.39	0.27	0.18	0.17	0.18	0.24	0.36	0.23	0.25	0.18	0.15
22:51		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		0.21	0.17	0.15	0.25	0.37	0.28	0.24	0.16	0.21	0.3	0.25	0.24	0.17	0.15

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 22.05.1982

Doğum yeri Mardin

Lise 1993-2000 Adana Gündoğdu Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Hidrolik Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman
Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-2003 STFA – Stajyer

2004-2004 Detay İnşaat - Stajyer

2005-2006 Erda Mühendislik

2006-Devam ediyor Eskimumcu Ltd.Şti.

