

Bölüm 4

DALGA İKLİMİ VE İSTATİSTİĞİ

Prof. Dr. Yalçın Yüksel



Deniz Yapıları ve Çevresel Yükler

- Liman Yapıları
 - Yanaşma yapıları, dalgakıranlar vd.
- Kıyı Yapıları
 - Kıyı koruma yapıları; Mahmuz, yakın kıyı dalgakıranları ve kıyı duvarları vd.
- Açık Deniz Yapıları
 - Deniz platformları, rüzgar türbünleri
- Deniz altı boru hatları, enerji nakil hatları

Çevresel Yükler

➤ Dalga

➤ Rüzgar

➤ Akıntı

➤ Deprem

Çevresel Yükler

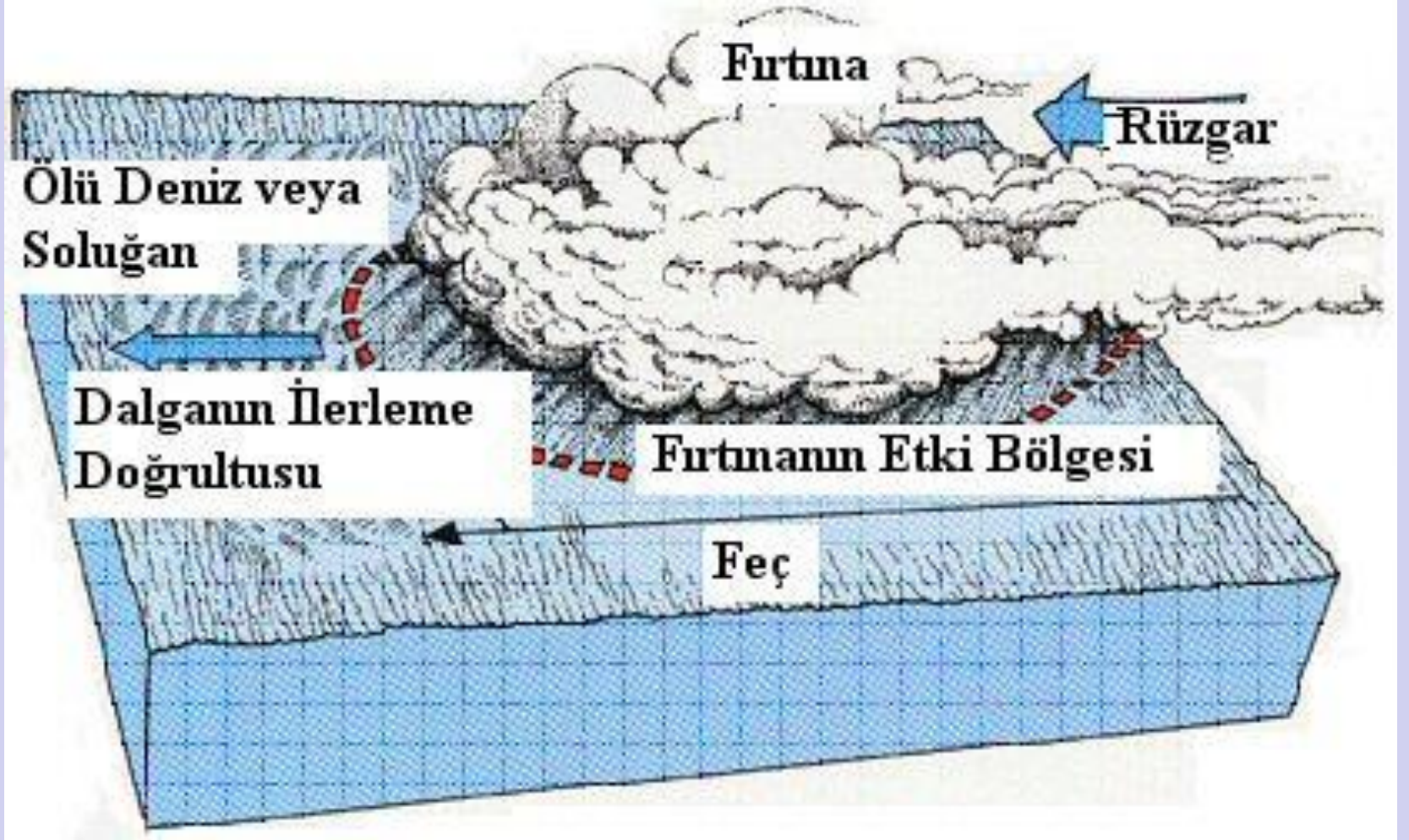
Rüzgar

Akıntı

Deprem

Dalga

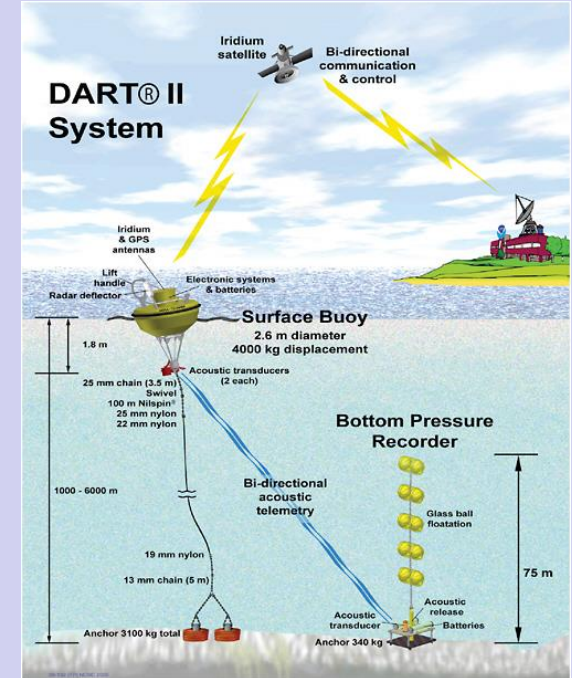
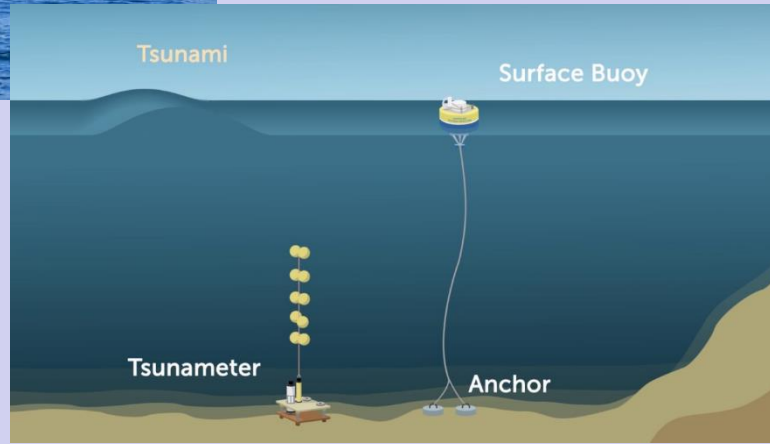
Doğadaki en karmaşık ve değişken fiziksel olaydır



Rüzgar Dalgalarının Analizi

1-Dalga ölçüm kayıtlarının analizi

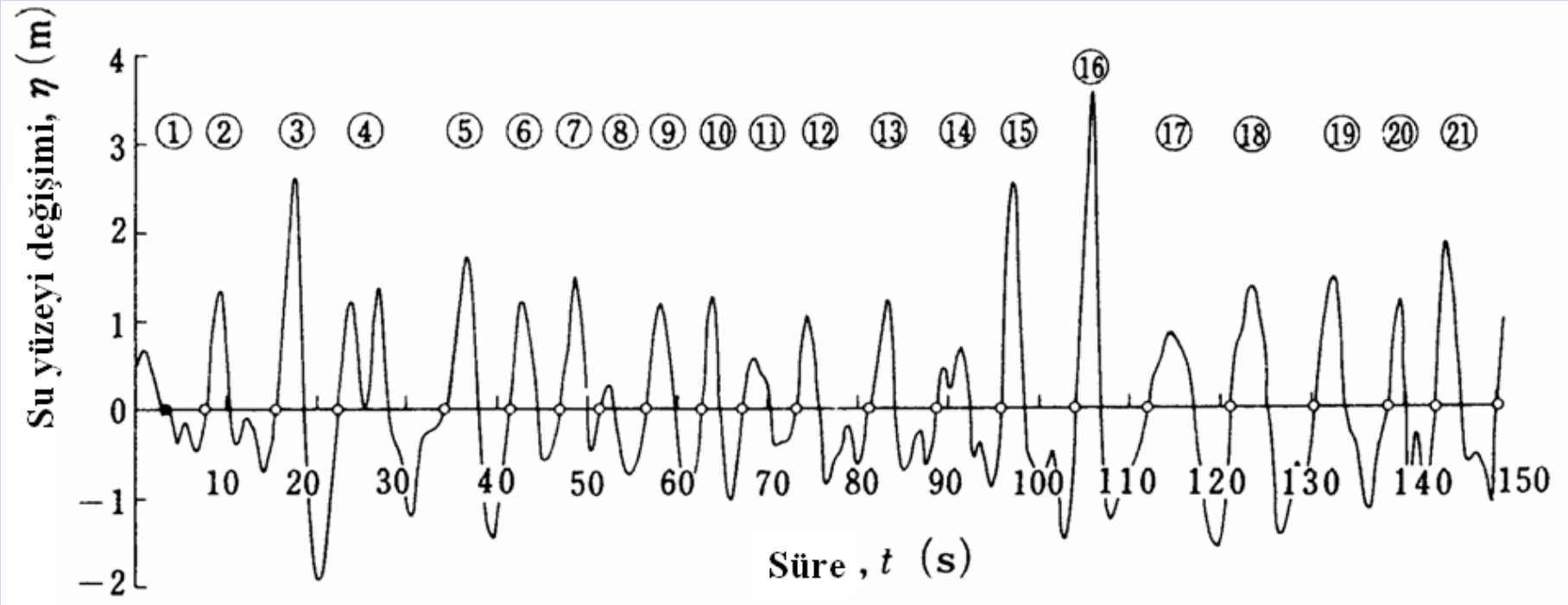
2-Dalga tahmini ve analizi; Ölçülmüş rüzgar kayıtları kullanılarak (Wave hindcasts; Geçmiş kayıtların kullanılmasıyla dalga tahmini, Wave forecasts; geleceğe ait tahmin yapılması) dalga tahmini yapılması.



Deniz yüzeyi son derece karmaşık ve düzensiz olmasına rağmen mühendislik tasarımları için bunların ifade edilebilmeleri gereklidir.

Bu nedenle ölçülerek ve gözlenerek değerlendirilmelidirler.

Ölçülmüş Rüzgar Dalgası



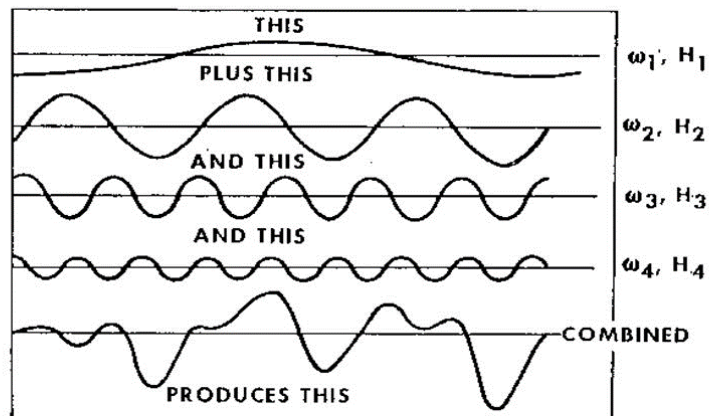
Rüzgâr dalgalarının en karakteristik özellikleri düzensiz olmaları ve küçük genlikli dalga teorisinde kabul edildiği gibi sinüzoidal formda olmayışlarıdır.

- 1- Bu dalgalar dik tepeli, yayvan çukurlu asimetrik yapıya sahiptirler.
- 2- Düzensizdirler, her bir tekil dalga için periyot ve yükseklik bir diğerinden farklıdır.
- 3- Deniz yüzeyi sürekli değişim içindedir. Dalga yayılma hızı derin suda dalga boyuna ve periyoduna bağlı olduğundan değişik dalga katarları aynı veya farklı fazlarda yayılmaktadırlar.

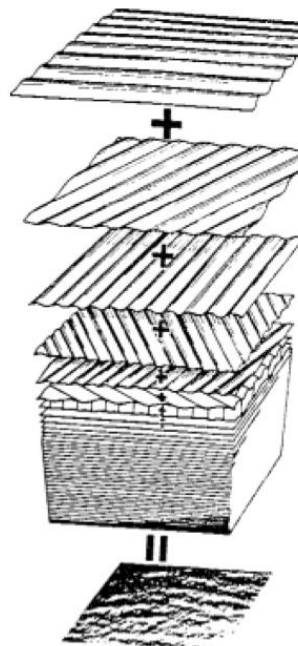
Rüzgâr dalgalarının bu şekilde karmaşık olmalarından dolayı stokastik işlemlerle ifade edilmeye çalışılırlar. Yani istatistiksel analizleri yapılarak karakteristik dalga parametreleri belirlenir.



Wave Pattern Combining Four Regular Waves



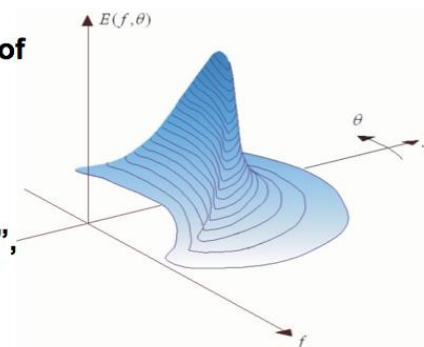
FFT & IFFT – (Inverse) Fast Fourier Transform.
Irregular wave $\longrightarrow$ Regular Waves (Frequency Domain Analysis)



Wave Spectrum

- The irregular water surface can be decomposed into (*infinite*) number of simple sinusoidal components with different **frequencies** (f) and propagation **directions** (θ).

- The distribution of wave energy among those components is called: **“wave spectrum”**, $F(f, \theta)$.

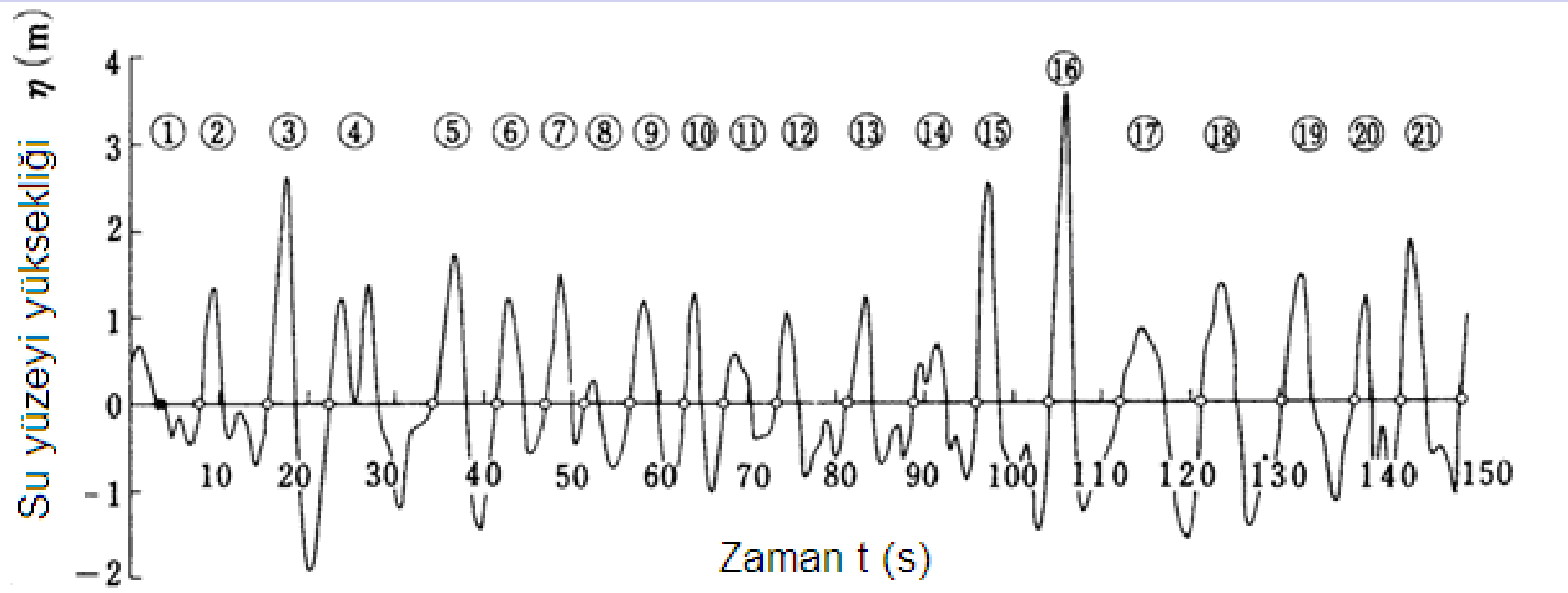


Rüzgar Dalgalarının Nasıl Analizi Edilir?

Düzensiz dalgaları nasıl ifade etmeliyiz?

- Karakteristik dalga yüksekliği
- Karakteristik dalga periyodu

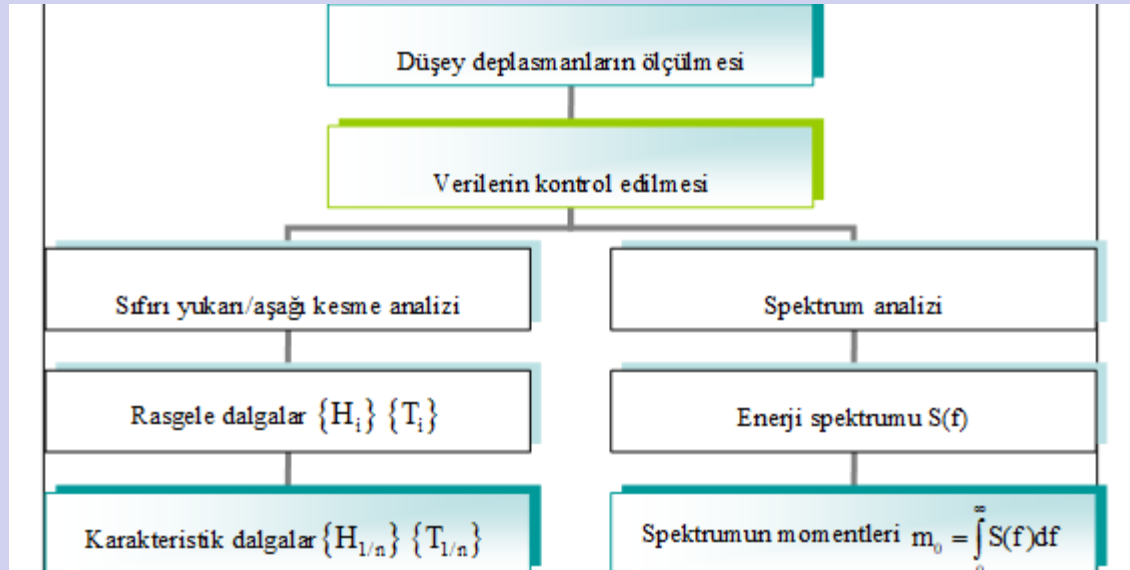
DALGA İSTATİSTİĞİ



Deniz Dalgalarının İstatistiksel Özellikleri

Su yüzeyinin sakin su seviyesine göre yapmış olduğu düşey yer değiştirmesi ile oluşan dalgaların özellikleri **iki temel yöntemle** belirlenmektedir.

- Bunlardan ilki zaman alanında analizdir. Burada **sıfırı aşağı ya da yukarı kesme yöntemiyle** kayıttaki her bir tekil dalga yüksekliği ve periyodu belirlenerek bunların istatistiksel analizi ile çeşitli karakteristik dalga parametreleri elde edilir.
- İkincisi ise düşey yer değiştirmelerin **spektrum enerji yoğunluk fonksiyonunun** elde edilmesidir. Burada elde edilen enerji spektrumunun momentleri yardımıyla yine çeşitli karakteristik dalga yüksekliği ve periyodu parametreleri elde edilmektedir.



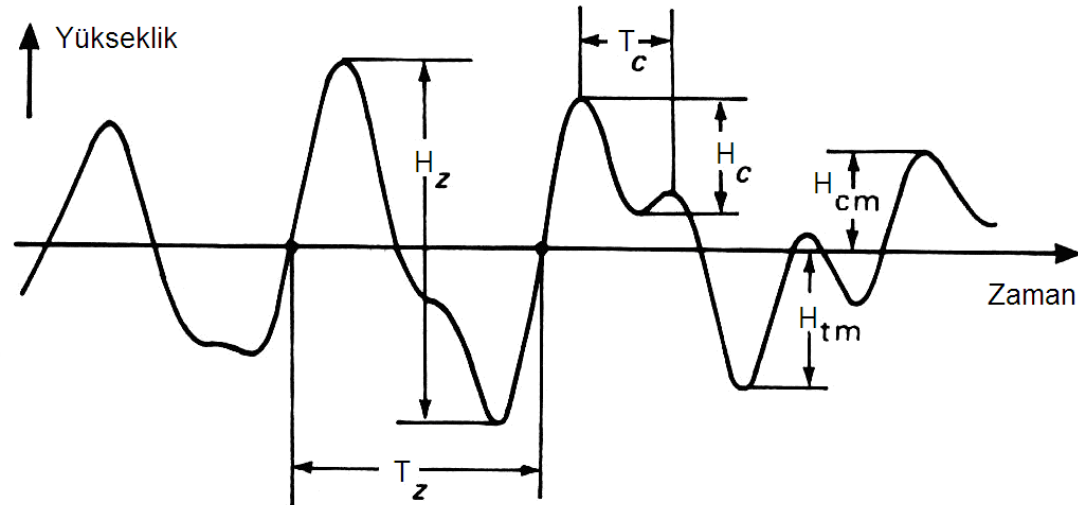
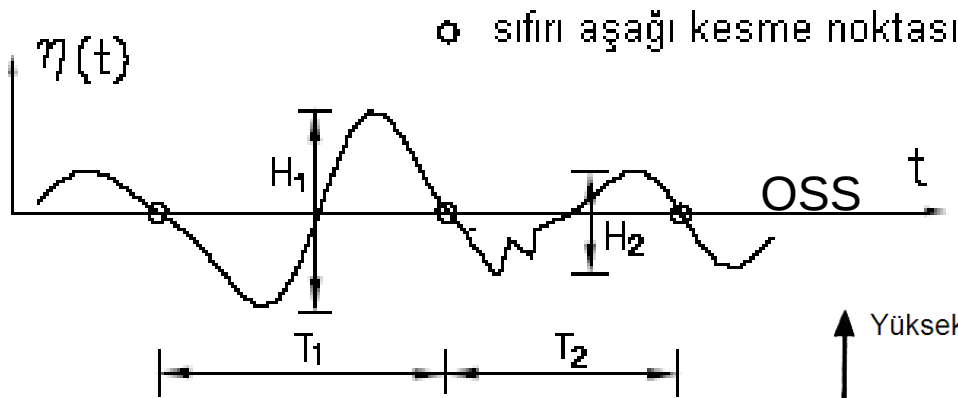
1-Sıfırı Yukarı/Aşağı Kesme Yöntemi (Zaman alanında analiz)

Her bir tekil dalga tanımlanmalı. Bunun için;

–Ortalama su seviyesi belirlenmeli

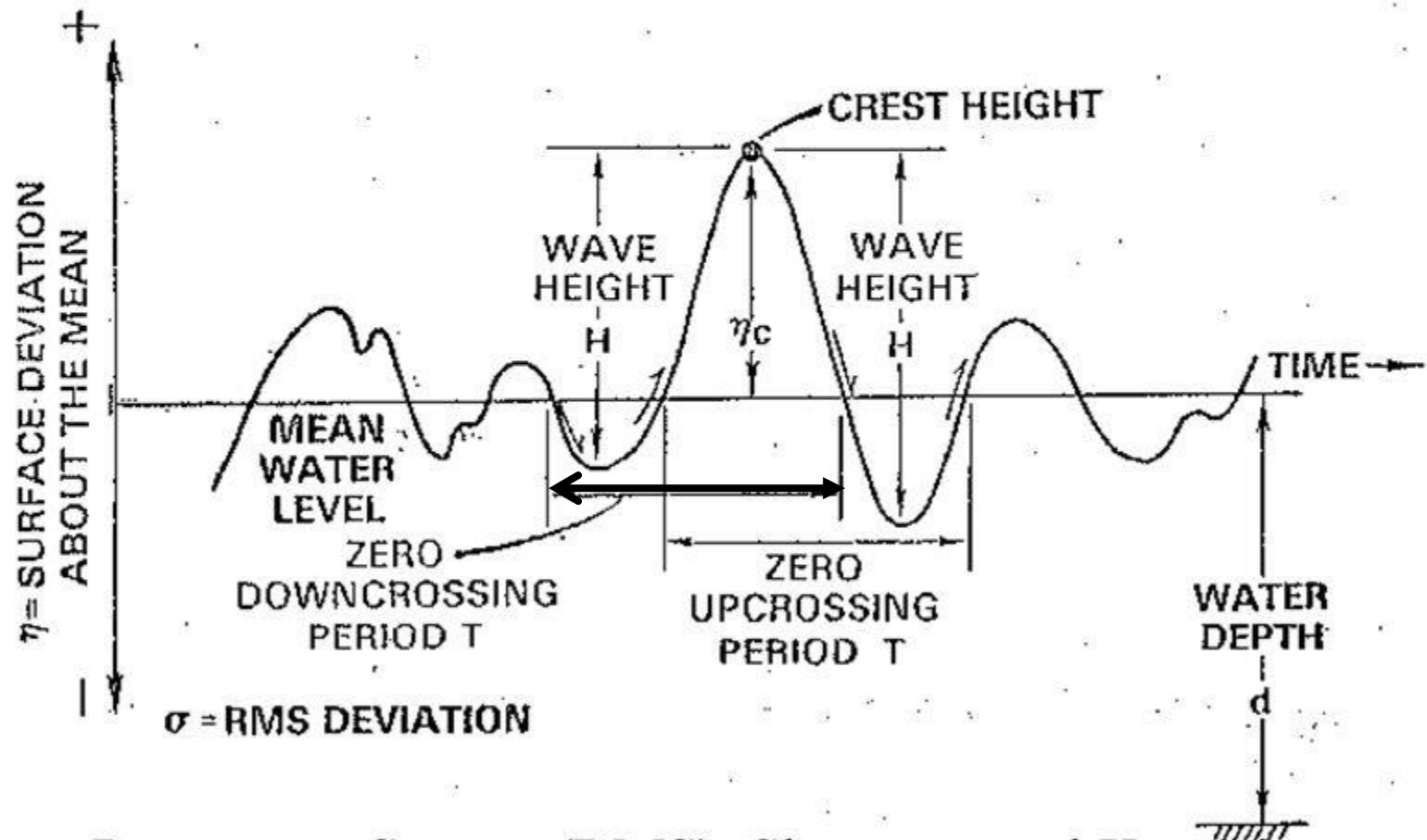
–Sıfırı yukarı/aşağı kesme yöntemleri kullanılmalı

N	Kayıttaki dalga sayısı
N _c	Dalga tepe sayısı
N _z	kayıttaki sıfırı yukarı kesme sayısı
T _s	Toplam kayıt süresi
T _z	Sıfırı kesme periyodu
$\bar{T}_z$	Ortalama sıfırı kesme periyodu
T _c	Dalga tepe periyodu
$\bar{T}_c$	Ortalama dalga tepe periyodu



Ocean (Irregular) Waves

Definitions of Zero-Upcrossing & Downcrossing

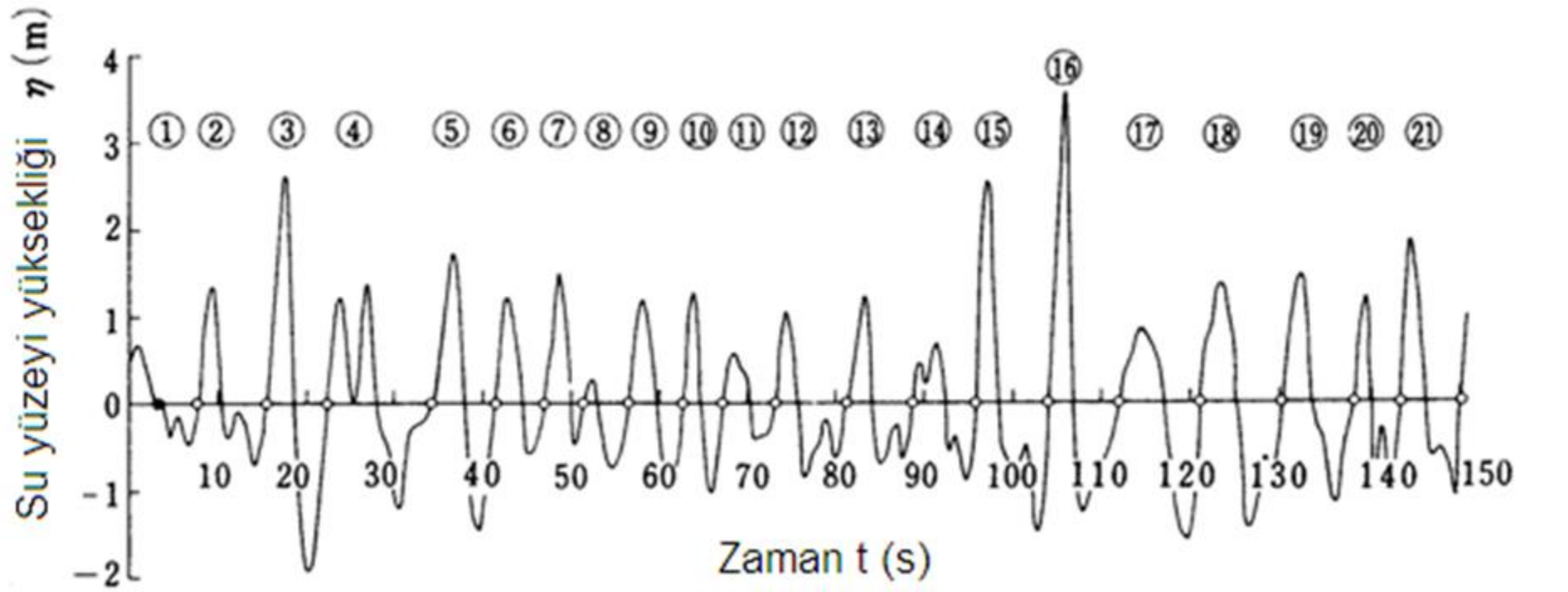


Root-mean-Square (RMS), Skewness and Kurtosis
Ochi (1998) Ocean Waves

a) En yüksek dalga (H_{maks} T_{maks}):

Kayıttaki en büyük dalga H_{16}

Kayıttaki en büyük dalgaya karşılık gelen periyot T_{16}



Karakteristik Dalga Parametreleri

b) **Ortalama dalga** ($\bar{H}$ ve $\bar{T}$): Dalga kaydındaki tüm dalgaların yüksekliklerinin ve periyotlarının ortalamasıdır.

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad \bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad N \text{ dalga kaydındaki toplam dalga sayısı}$$

c) **Belirgin dalga veya en yüksek 1/3 dalga** ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$): Dalga kaydındaki dalgalar en yüksekten başlamak üzere azalan bir şekilde sıralanırlar, bu sıralama toplam dalga sayısının 1/3'üne ulaşana kadar yapılır ve buradaki dalgaların yükseklikleri ile bunlara karşılık gelen periyotlarının ortalamaları hesaplanır

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{i=1}^{N/3} H_i \quad T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{i=1}^{N/3} T_i$$

d) $H_{1/n}$ burada n 3, 5, 10, 20, 50, 100 gibi değerler almaktadır. Sırasıyla bir kayıttaki en yüksek 1/3, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50 ve 1/100 dalganın ortalama değerini vermektedir.

e) **Dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü**, H_{rms} Birim deniz yüzeyine düşen dalga enerjisinin ölçüsü veya potansiyel dalga yüksekliği

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$$

Örnek : Bir dalga kaydında 12 adet dalga ölçülmüştür. Belirgin dalga yüksekliği nedir?

2m, 3m, 5m, 1m, 7m, 5m, 4m, 2m, 3m, 1m, 0.5m, 4m

$12/3=4$ adet (en yüksek 1/3 dalga)

Dalgalar büyükten küçüğe sıralanır

7 5 5 4 4 3 3 2 2 1 1 0.5

$$H_s = H_{1/3} = \frac{7+5+5+4}{4} = 5.25\text{m}$$

■ Aşağıda verilen 10 dakikalık dalga kaydında 100 adet dalga bulunmaktadır. Belirgin dalga yüksekliğini ($H_{1/3}=H_s$), ortalama dalga yüksekliğini (H_{ort}), maksimum dalga yüksekliğini (H_{max}) and $H_{1/100}$ 'ü hesaplayınız.

H	Dalga Sayısı	H	Dalga Sayısı
0.6	15	1.8-1.99	2
0.6-0.79	15	2.0-2.19	2
0.8-0.99	7	2.2-2.39	2
1.0-1.19	17	2.4-2.59	3
1.2-1.39	5	2.6-2.79	1
1.4-1.59	9	2.8-2.99	1
1.6-1.79	20	3.0-3.19	1

H	Dalga Sayısı	Ortalama dalga yüksekliği	Toplam dalga yüksekliği
0.6	15	0.6	9
0.6-0.79	15	0.695	10.425
0.8-0.99	7	0.895	6.265
1.0-1.19	17	1.095	18.615
1.2-1.39	5	1.295	6.475
1.4-1.59	9	1.495	13.455
1.6-1.79	20	1.695	33.9
1.8-1.99	2	1.895	3.79
2.0-2.19	2	2.095	4.19
2.2-2.39	2	2.295	4.59
2.4-2.59	3	2.495	7.485
2.6-2.79	1	2.695	2.695
2.8-2.99	1	2.895	2.895
3.0-3.19	1	3.095	3.095
Total	100		126.88

$$H_{1/3} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i = \frac{1}{32} \sum_{i=1}^{N=32} H_i = \frac{62.64}{32} = 1.96 \text{ m}$$

$$H_{\text{ort}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{N=100} H_i = \frac{126.88}{100} = 1.27 \text{ m}$$

$$H_{\text{max}} = 3.095 \text{ m}$$

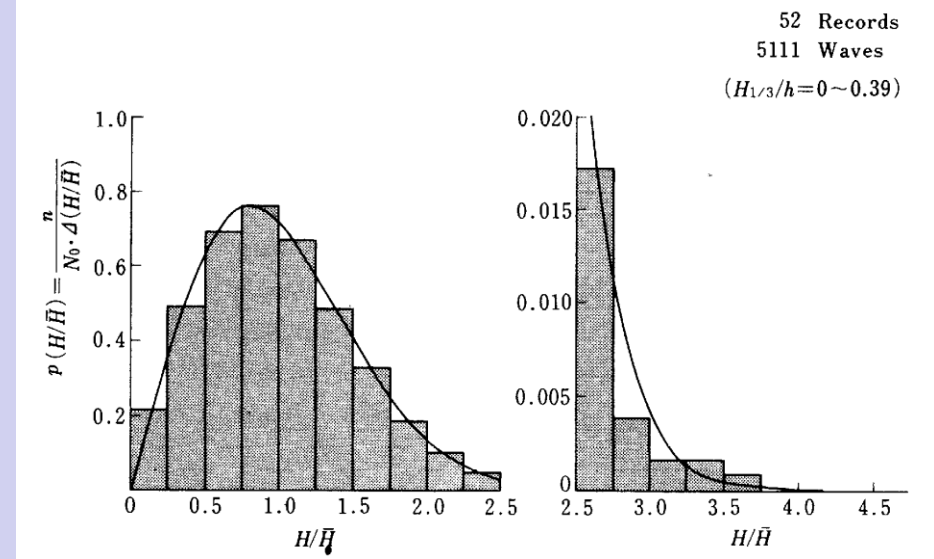
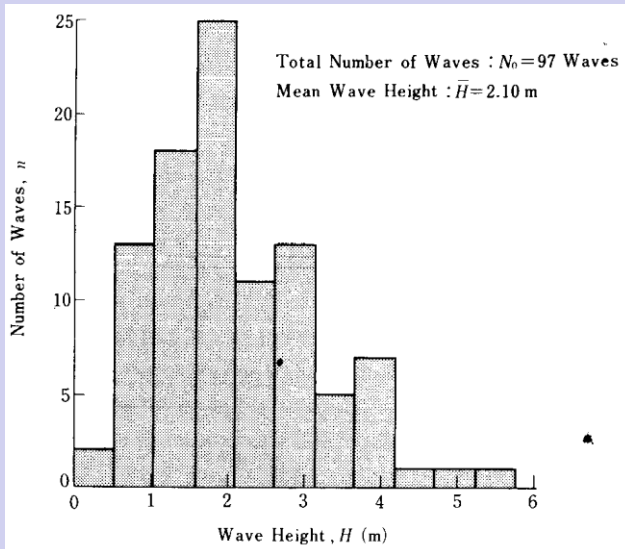
$$H_{1/100} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i = \frac{1}{1} \sum_{i=1}^{N=1} H_i = \frac{3.095}{1} = 3.095 \text{ m}$$

2-Spektrum Analizi (Frekans Alanındaki Analizi)

Dalga Yüksekliği Dağılımı

Tüm tekil dalgaları göstermek yerine çeşitli dalga yüksekliği aralığı için dalga sayılarını veren dalga yüksekliği histogramı kullanmak daha faydalıdır

- Dalga Yüksekliği Histogramı
- Boyutsuzlaştırılmış Histogram

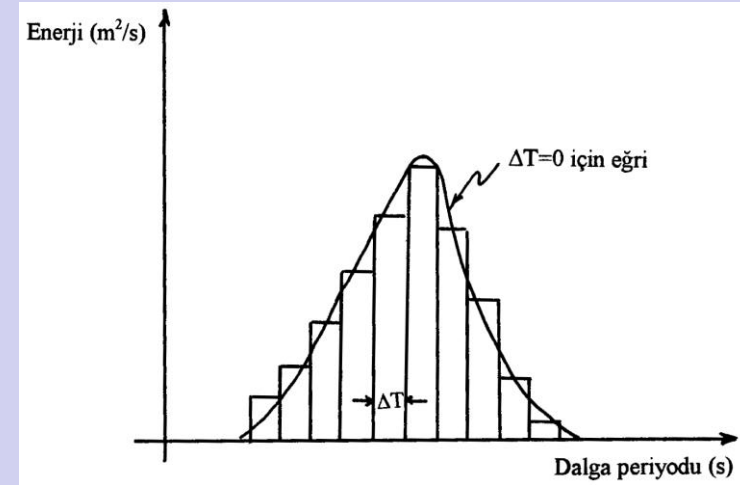


- Eğer ölçülmüş dalga kayıtları mevcut ise bu kayıtlardan elde edilen verilerin değerlendirme yollarından biri enerji histogramının kullanılmasıdır.
- Enerji histogramı T_i ve T_{i+1} periyotları arasında sıralanan dalgaların enerji değişimini gösterir.
- Kısaca, enerji histogramı farklı periyotlar arasında dalga enerji dağılımının görsel ifadesidir.
- Histogramın altındaki alan kayıt edilen dalgaların enerjisi ile orantılıdır.
- Enerji histogramı basamaklı bir görünüme sahiptir. Eğer periyotlar arasındaki fark $\Delta T = T_{i+1} - T_i$ sıfıra yaklaşırsa, enerji histogramı sürekli bir eğri görünümü alır ki buna da “**enerji spektrumu**” denir.
- Bu eğriyi tanımlayan fonksiyon “**spektrum yoğunluk fonksiyonu**” olarak isimlendirilir.

$$E(f) = \frac{1}{2} \overline{a^2(f)}$$

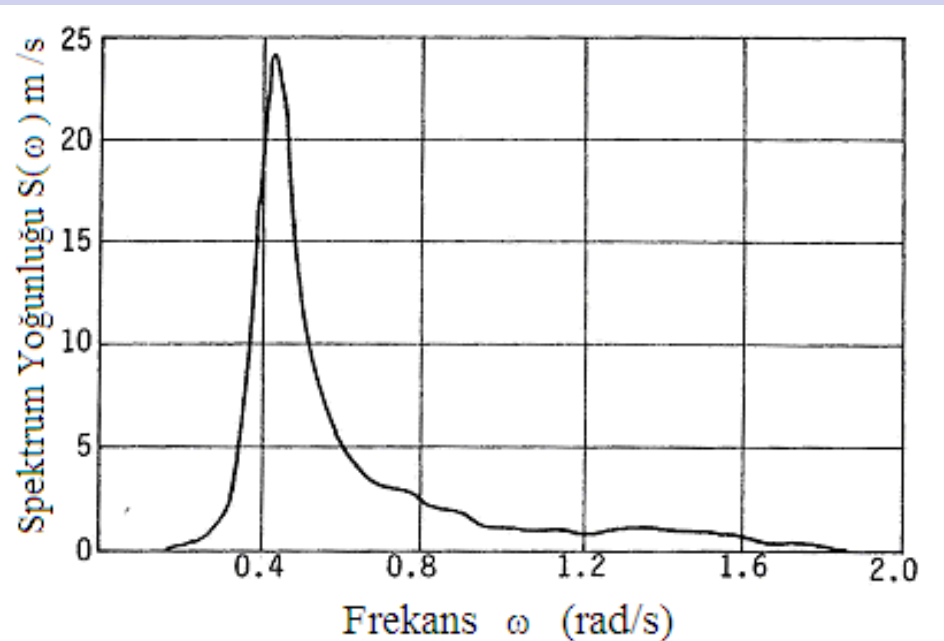
$$\frac{1}{2} \overline{a^2} = \int_0^{\infty} E(f) df$$

$$= \frac{1}{8} H_{rms}^2$$



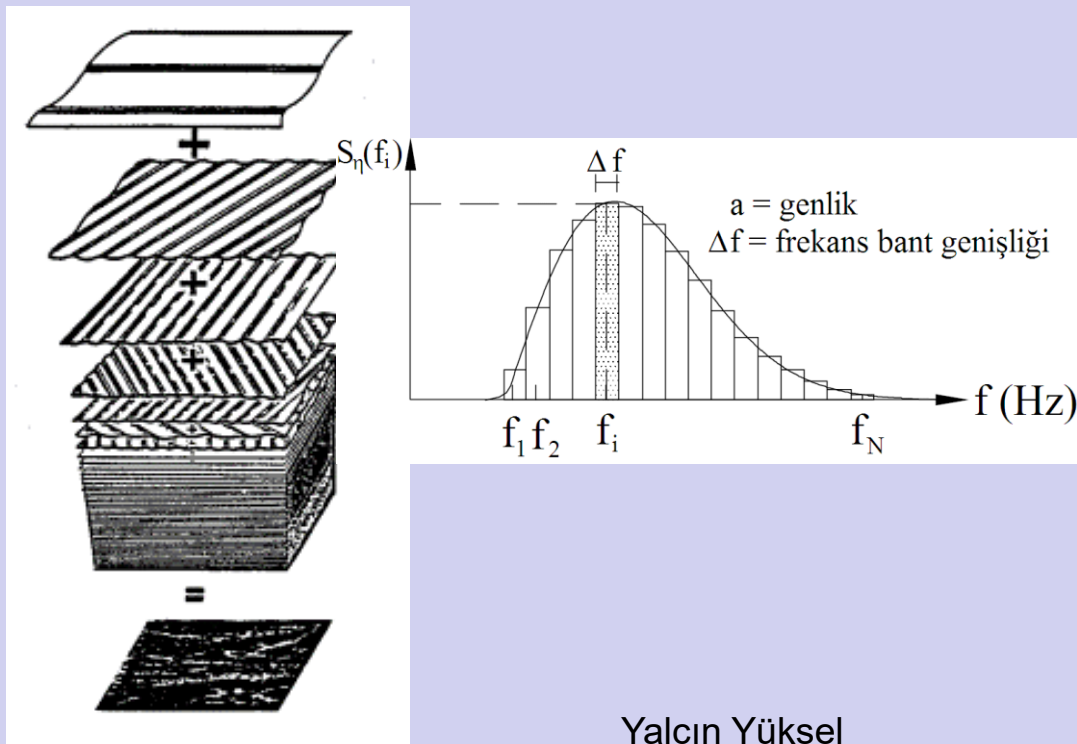
Yalçın Yüksel

- **Spektrum yoğunluk fonksiyonu** dalga enerjisinin zamansal ortalamasının büyüklüğünü dalga frekansının bir fonksiyonu olarak göstermektedir.
- Spektrum analizinde, bir dalga kaydı farklı frekanslarda, genliklerde ve fazlardaki çok sayıda sinüzoidal dalganın harmonik veya fourier analizi yardımıyla ayrıklaştırılır.
- Deniz durumunu göstermek için en yaygın olarak kullanılan ifade, H_s ile gösterilen belirgin dalga yüksekliğidir. Bu değer spektrum yoğunluk fonksiyonunun altındaki alanın karekökünün dört katıdır.

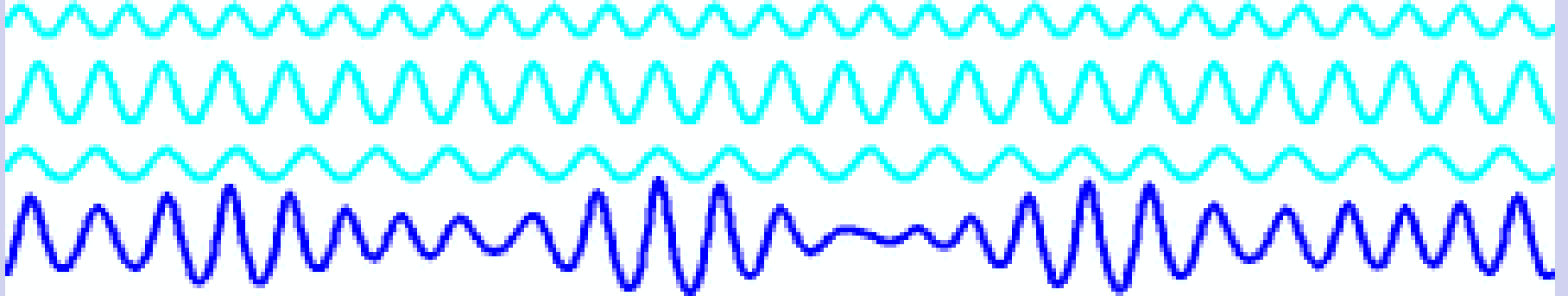


- Rüzgar dalgası spektrumuna bir örnek (belirgin dalga yüksekliği 8.9m'dir) Şekilden görüldüğü gibi spektrum frekansı 0.43 rad/s pik değere sahiptir.
- Bu örnekte 333 m uzunluğa sahip olan dalgaların en büyük enerjiye sahip olduklarını göstermektedir.

- Eğer 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.
- Buna karşılık eğer yönler dikkate alınarak aynı değişim çizilirse bu da **yönlü dalga spektrumunu** vermektedir.



- Açık denizdeki düzensiz dalgaların birçok basit harmonik dalganın birleşiminden oluştuğu kabul edilebilir.
- Her bir tekil dalgayı dikkate alarak dalga dalga incelemek yerine, spektrum analizi sinyallerin frekansa karşılık varyans dağılımını vermektedir.
- Varyansın frekansa karşılık dağılımı alışlageldiği gibi $E(f)$ veya $S(f)$ ile gösterilmektedir ve fonksiyonun frekans alanında sürekli olduğu kabul edilmektedir.



Başlıca Dalga Enerji Spektrumları

- Tam gelişmiş deniz durumu için Pierson-Moskowitz (1964) spektrumu

$$E_{PM}(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right]$$

- Tam gelişmiş deniz durumu için JONSWAP (The Joint North Sea Project) (Hasselmann et. al., 1976)

$$E_j(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right] \gamma^q$$

Çeşitli Spektrum Modelleri

- Neuman Spektrumu (1953)
- Pierson-Moskowitz Spektrumu (1964)
- Bretschneider Spektrumu (1959, 1969)
- ISSC Spektrumu (1964)
- ITTC Spektrumu (1966, 1969, 1972)
- JONSWAP Spektrumu (1973)
- Wallops Spektrumu (1988)
- Scott Spektrumu (1965)
- Liu Spektrumu (1971)
- Mitsuyasu Spektrumu (1972)
- Ochi-Hubble Spektrumu (1976)

Spektrum seçiminde dikkate edilmesi gereken en önemli özellik ise

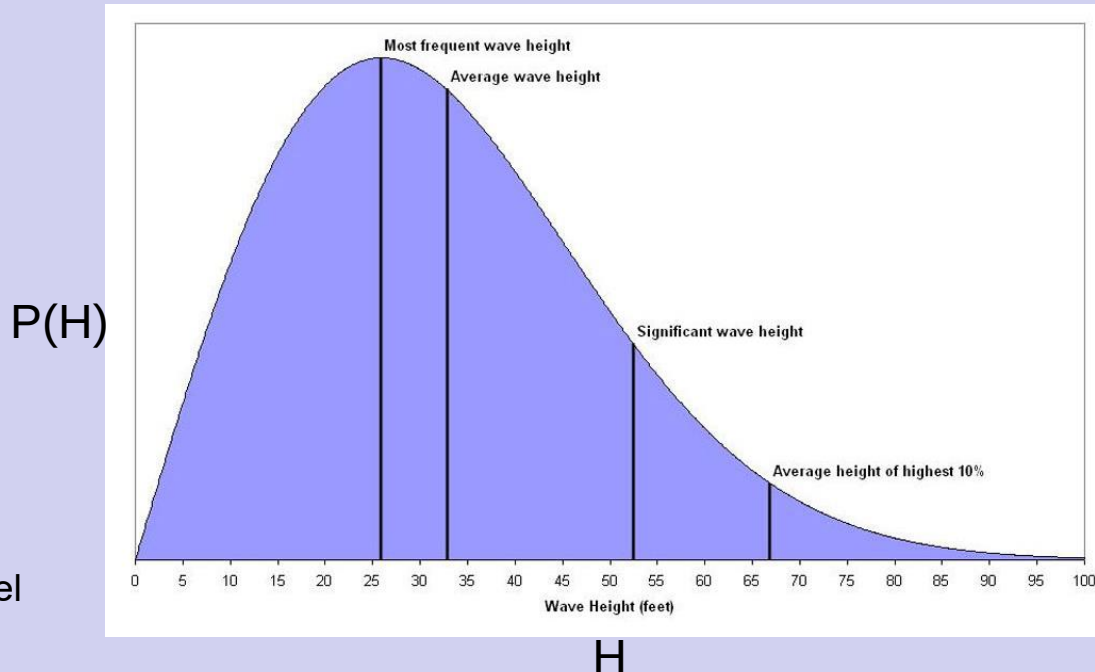
hiç bir spektrum modelinin tek başına dünyanın her yerinde ve tüm fırtına koşullarında kullanılamayacağıdır.

- ✓ Aynı belirgin dalga yüksekliğini veren bir çok dalga spektrum modeli mevcuttur.
- ✓ Bunun anlamı aynı belirgin dalga yüksekliği için bir çok değişik enerji dağılımı mümkündür.

Bu nedenle verilen bir tasarım şartı için belirli bir model seçmeden önce o alanla ilgili bir çevresel çalışma yapılmalıdır.

Rüzgar Dalgası Yüksekliklerinin İstatistiksel Dağılımı

- Yukarda tanımlanan iki yöntemle elde edilen dalga parametrelerinin istatistiksel dağılımı ise aşağıdaki gibi belirlenmektedir.
- Rüzgar dalgalarının dalga yüksekliklerinin derin denizdeki istatistiksel dağılımı **Rayleigh dağılımına** uyduğu belirlenmiştir.



- Derin denizde dalga yüksekliklerinin (istatistiksel olarak $H_{1/3}$ ile tanımlanır) eklenik (kümülatif) aşılma ya da aşılmama olarak Rayleigh dağılımı ile ifade edilir.
- Eklenik (kümülatif) aşılma olasılığı; Herhangi bir dalga yüksekliğinin H' , belirlenmiş bir dalga yüksekliğinden, H , büyük olma olasılığıdır;

$$Q(H' \geq H) = e^{-2(H'/H_{1/3})^2}$$

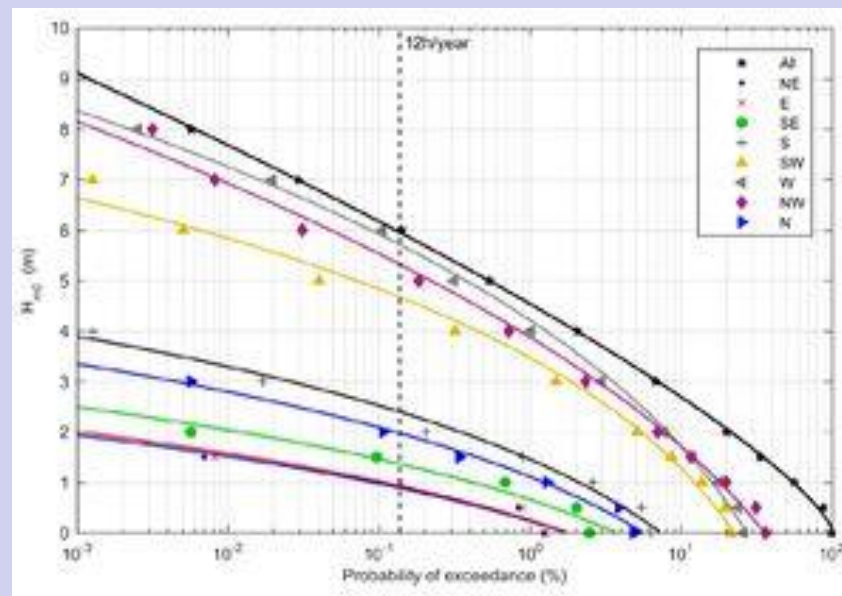
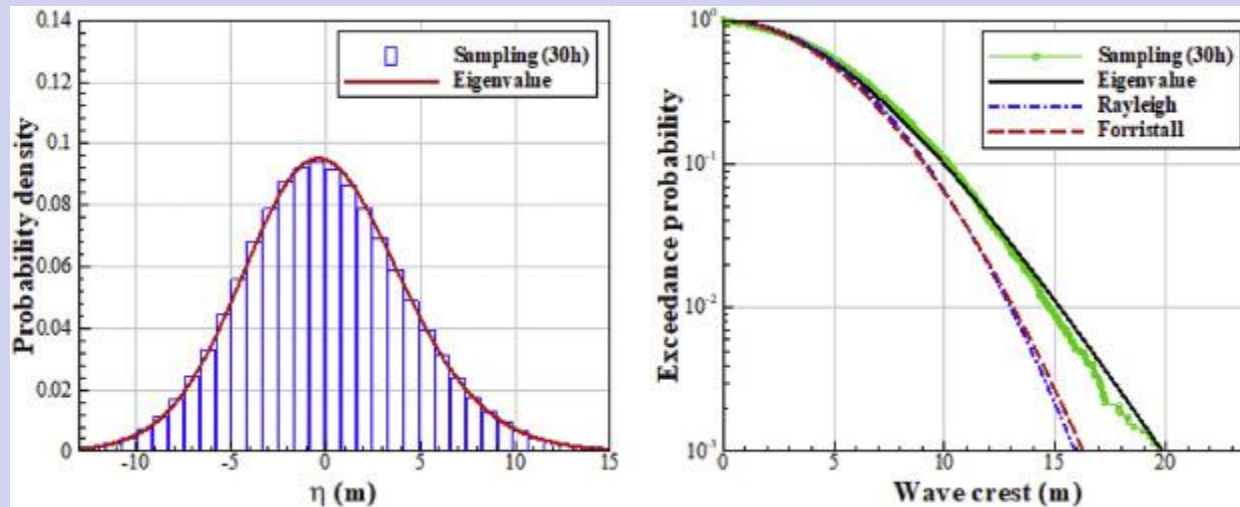
- Eklenik (kümülatif) aşılmama olasılığı; Herhangi bir tekil dalganın, H' , belli bir dalga yüksekliğinden, H , daha büyük olmama (aşılmama) olasılığıdır;

$$P(H' < H) = 1 - Q(H' \geq H) = 1 - e^{-2(H'/H_{1/3})^2}$$

- Bu deniz durumunda N adet dalganın istatistiksel olarak maksimum dalga yüksekliği

$$H_{\text{maks}} = H_{1/3} \sqrt{\frac{\ln N}{2}}$$

ile verilir.



- Diğer ilişkiler;

$$H_{1/10} = 1.27H_{1/3}$$

$$\bar{H} = 0.625H_{1/3}$$

$$H_{1/100} = 1.67H_{1/3}$$

Dalga Periyodunun İstatistiksel Dağılımı

- Dalga periyodunun aşılmasının kümülatif olasılığı verilen bir T' periyodundan büyük ya da eşit olmasıdır.

$$Q(T \geq T') = e^{-0.675(T'/T_{1/3})^4}$$

- Diğer ilişkiler

$$T_{1/10} = (0.99-1.06)T_{1/3}$$

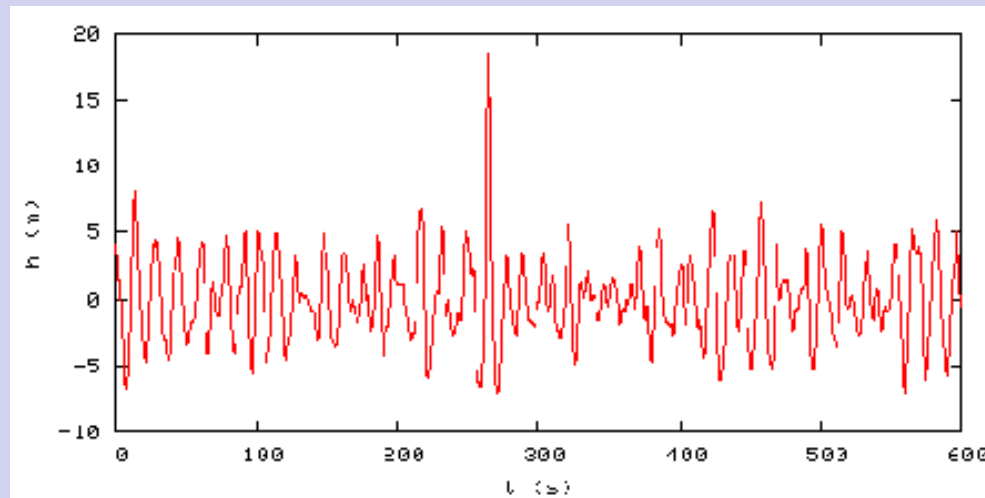
$$T_{1/3} = (1.02-1.35)\bar{T}$$

$$T_{1/3} = (0.93-1.01)T_{\text{maks}}$$

Rüzgar Dalga Parametrelerinin İstatistiksel Analizi

Dalga verilerinin analizinde dalgaların kısa ve uzun dönemli analizinin ayırt edilmesi önemlidir.

- **Kısa dönem dalga analizi** bir fırtına veya bir dalga katarında oluşan mevcut dalgaların analizidir.



- **Uzun dönem dalga analizi** ise birçok yılı içeren istatistiksel dağılımların analizidir.

Dalga kayıtlarının analizi için iki yöntem vardır, bunlar;

i) Her bir dalga kaydının karakteristik dalga yüksekliği ve dalga periyodu parametreleri ile tanımlanmaya çalışılması, bu bir **kısa dönem dalga istatistiğidir**.

ii) Belirli bir dönem boyunca (zaman sürecinde) karakteristik dalga yüksekliği ve dalga periyodu parametrelerinin meydana gelme frekansının belirlenmesi, bu ise bir **uzun dönem dalga istatistiğidir**.

DALGA İSTATİSTİĞİ

KISA DÖNEM DALGA ANALİZİ

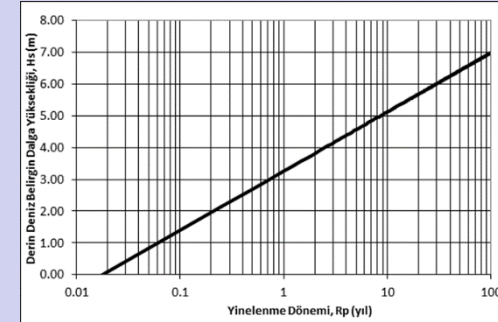
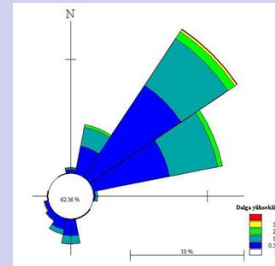
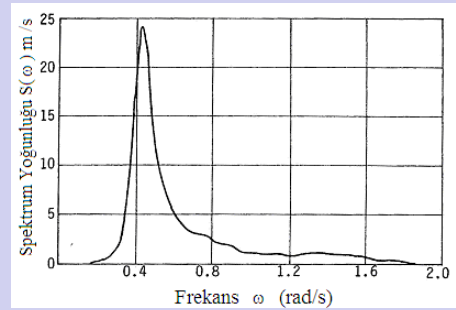
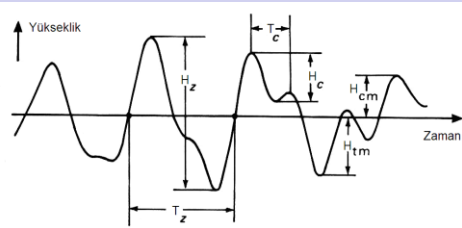
UZUN DÖNEM DALGA İSTATİSTİĞİ

Zaman Alanında Analiz/
Kısa Dönem Dalga
İstatistiği

Frekans Alanında Analiz
(Spektrum Analizi)

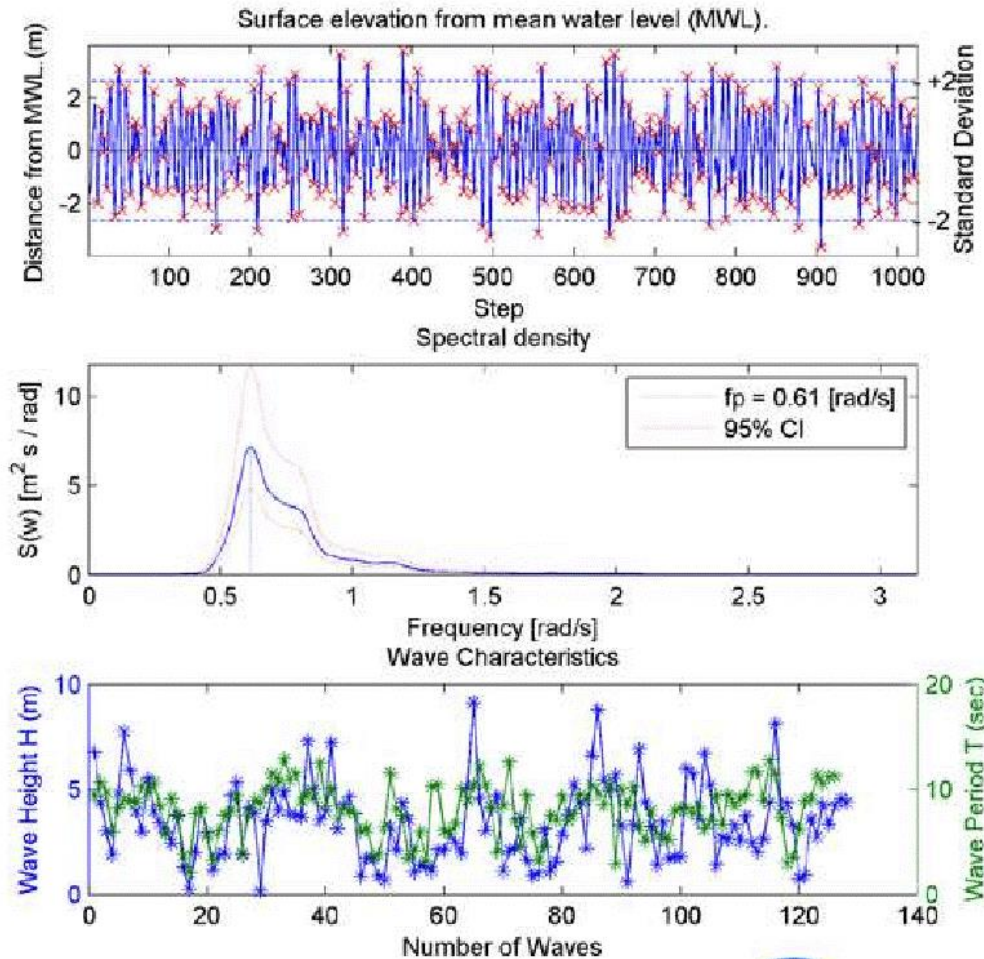
Dalga İklimi İstatistiği

En Büyük Değer
Dalga İstatistiği



1-Kısa dönem dalga istatistiği

Bir fırtınaya ait dalga kayıtlarının değerlendirilmesidir. Bu şekilde dalga kayıtları her 2-3 saatte bir 15-20 dakika süre ile alınmaktadır. Böylece dalga yükseklik ve periyodunu değişimi elde edilir.



Derin deniz dalga kaydına bakıldığında; Derin deniz dalga enerjisinin yoğunlaştığı frekansların oldukça dar bir bandı için, dalga kayıtları kısa dönem istatistiği dağılımı olan **Rayleigh dağılımı** ile tariflenebildiği görülmüştür. Ohalde bir H dalga yüksekliğinin aşılma olasılığı $P(H)$ ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$Q(H) = \exp \left[- \left(H / H_{rms} \right)^2 \right]$$

- H_{rms} potansiyel dalga yüksekliği yani dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$H_{rms} = \left(1/N_c - 1 \right) \sum_{i=1}^N H_i^2$$

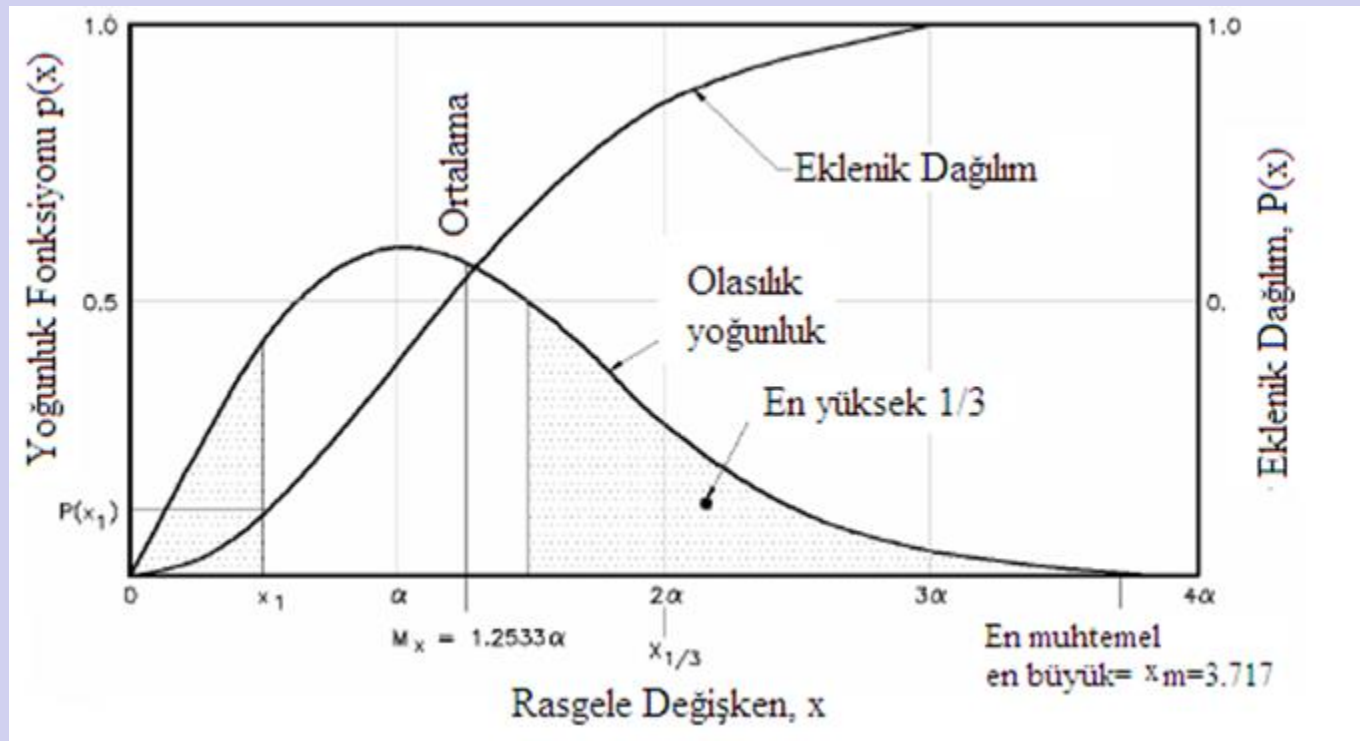
- $H \rightarrow 0$ için $P(H) = 1$ ve $H \rightarrow \infty$ için $P(H) = 0$. Rayleigh dağılımı kullanıldığında dalgaların n adet en yükseklerinin ortalamasını bulmak mümkündür. **n=3 alındığında, H_s belirgin dalga yüksekliği,**

$$H_s = \sqrt{2} H_{rms}$$

- Pierson-Moskowitz spektrumu için $H_{rms} = 0.316 g \sqrt{\alpha} / \pi^2 f_m^2$

- JONSWAP spektrumu için

$$H_{rms} = 0.390 g \sqrt{\alpha} / \pi^2 f_m^2$$



- Diğer belirgin dalga yükseklikleri

$$H_{1/10} \cong 1.27H_s \cong 1.8H_{\text{rms}}$$

$$H_{1/100} \cong 1.67H_s \cong 2.36H_{\text{rms}}$$

$$H_{\text{maks}} \cong 1.6H_s \text{ (10 dakikalık dalga kayıdı için)}$$

Dalga Yüksekliklerinin Eklenik Olasılıkları

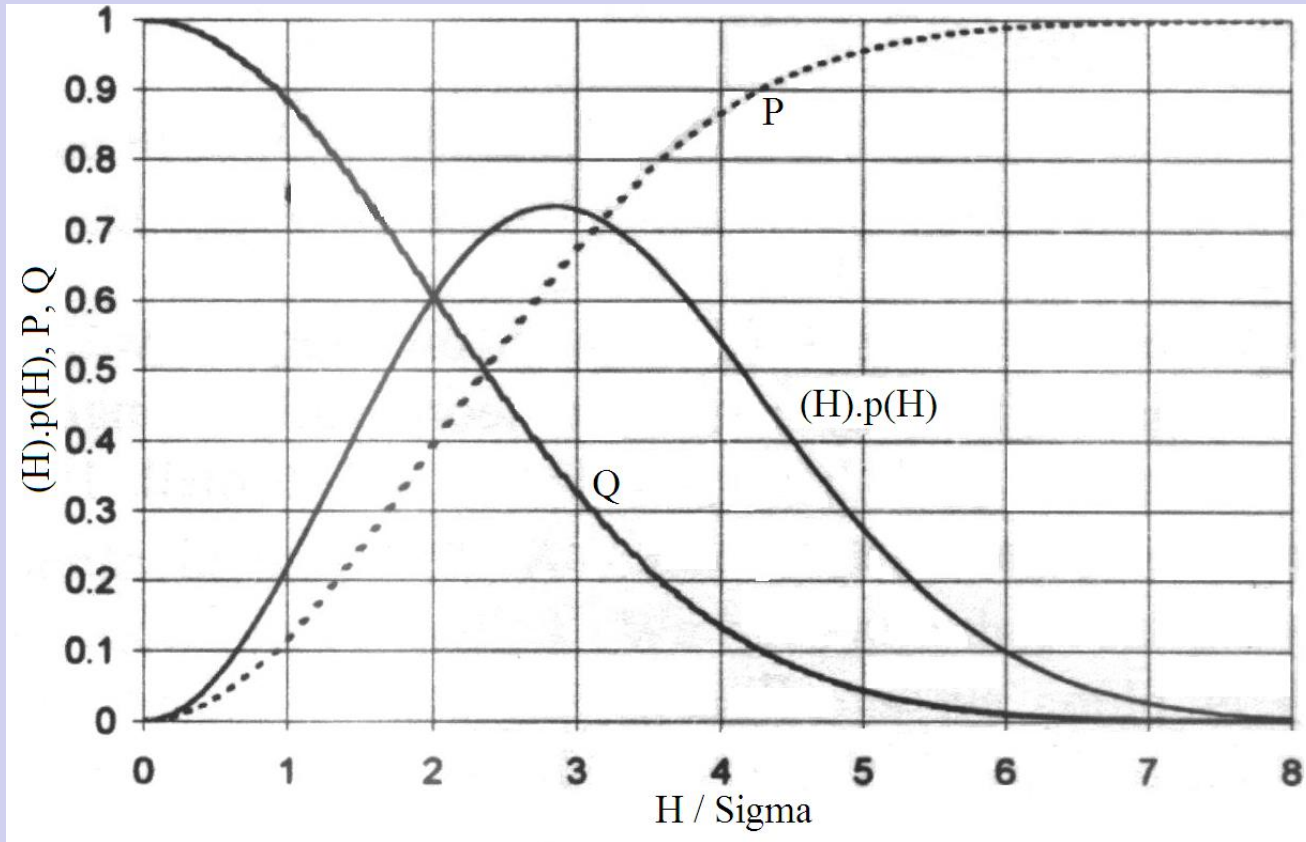
- $P(H)$ = dalga yüksekliği oluşma olasılığı
- $P(H_1) = P(H < H_1)$ = belli bir değerden küçük olan dalgaların eklenik oluşma olasılıkları «Aşılmama olasılığı»
- $Q(H > H_1)$ = belli bir değerden büyük dalga yüksekliklerinin eklenik aşılma olasılığı «Aşılma olasılığı»

$$P(H' < H) = \int_0^H p(H) dH = 1 - \exp\left[-\frac{H^2}{8\sigma^2}\right]$$

$$P(H') = 1 - \exp\left[-\frac{H^2}{H_{\text{rms}}^2}\right] = 1 - \exp\left[-2\left(\frac{H^2}{H_{1/3}^2}\right)\right]$$

$$Q(H' > H) = \int_H^\infty p(H) dH = 1 - P(H' < H) = \exp\left[-\frac{H^2}{8\sigma^2}\right]$$

$$Q(H') = \exp\left(-\frac{H^2}{H_{\text{rms}}^2}\right) = \exp\left[-2\left(\frac{H}{H_{1/3}}\right)^2\right]$$



Örnek; Bir kıyıda 3 saat aralıklarla 15'er dakikalık dalga yüksekliği ölçümleri yapılmıştır. Dalga yüksekliklerine ait bir örnek aşağıda verilmiştir. Elde edilen verilerin Rayleigh dağılımına uyup uymadığını kontrol ediniz. Tabloda verilen dalga yüksekliklerinin adetleri belirtilmiştir. Bu örnek için belirgin dalga yüksekliği 2.5 m'dir. Örnekteki toplam dalga adedi N=100'dür.

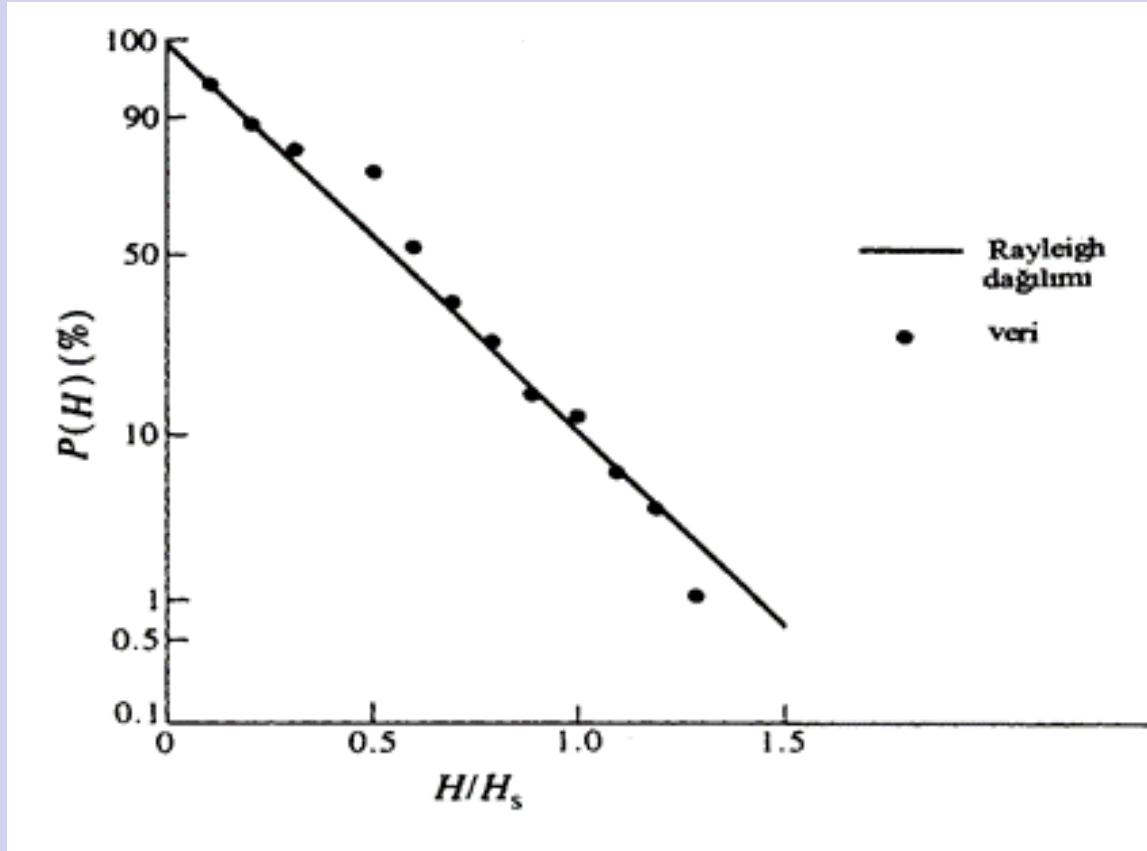
H(m)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5
Dalga Adedi	3	7	7	7	12	11	10	8	9	13	7	2	3	1

$$P(H) = \frac{H \text{ aşan dalgaların adedi}}{N + 1} \quad H_S = 2.5 \text{ m}$$

H/H _S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
H aşan dalgaların adedi	97	90	83	76	64	53	43	35	26	13	6	4	1	0
P(H) % Aşılma olasılığı	96	89	82	75	63	52	43	35	26	13	6	4	1	-

$$97/101=0.96$$

$$90/101=0.89$$



$P(H)$, H/H_s 'e karşın Rayleigh dağılımı için ihtimal kağıdına çizilir, bu şekilden verilerin Rayleigh dağılımına uyduğu görülmektedir.

Aşılmama olasılığı nasıl olur???

2-Uzun dönem dalga istatistiği / Dalga iklimi

Bu analiz çoğunlukla uzun dönemli dalga yüksekliği verileri kullanılarak yapılır, bu veriler yıllarca veya aylarca tahmin edilen veya gözlenen dalga yükseklikleridir. Verideki her bir dalga yüksekliği kısa dönemli bir dalga istatistiğinin özetidir ve bir kaç saatte oluşan dalgaları temsil eder.

2.1-Dalga iklimi; Farklı yönlerden değişik yükseklik ve periyotlu dalgaların meydana gelme frekanslarının belirlenmesidir. Yön dikkate alınır.

Minimum 1 yıllık veriye ihtiyaç duyulur ($365 \text{ gün} \times 24 \text{ saat} = 8760 \text{ veri}$)

Ne amaçla kullanılır?

- Kıyı stabilitesi, erozyonu ve kumlanması,
- limanların kumlanması,
- liman içi çalkantıları, dalgakıran doğrultu ve boylarının belirlenmesi,
- kıyı boyu kum hareketlerinin ve
- deniz operasyonlarının hesabında kullanılır.

2.1- Dalga İklimi Analizi; Deniz durumunun özelliklerinin uzun dönemli yani mevsimsel ya da yıllık değişimlerinin incelenmesi dalga iklimi analizidir.

- Yani farklı doğrultulardan değişik yükseklik ve periyotlu dalgaların meydana gelme frekanslarının belirlenmesidir. Bu bilgi ise kıyı stabilitesi, erozyonu ve kumlanması ile limanların kumlanması açısından önemlidir.

2.2- En Büyük Değer Dalga Analizi; En büyük değer istatistiği için dalga parametrelerinin uzun dönemli (20-100 yıl mertebelerinde) dağılımlarına ihtiyaç vardır.

- Yani en büyük dalgaların meydana geliş şiddet ve frekanslarının belirlenmesidir. Bu bilgi kıyı yapılarının boyutlandırılması açısından önemlidir.

2.1 Uzun Dönem Dalga İklimi

Kaydedilmiş veriler esas alınarak tasarım dalgasının belirlenmesinde “uzun dönem dalga istatistikleri” kullanılır.

- H_s genellikle T_R bir kesin (return period) yineleme periyodu ile seçilir, yani belirgin dalga yüksekliği T_R yılda aşılması olasılığı ile belirlenir. Böylece;

$$T_R = 1/P(H_s)$$

- Dalga iklim analizi için, uzun dönem dalga istatistiklerinin tariflenmesi için birçok olasılık dağılımı önerilmiştir. Bunlar arasında kıyı ve liman mühendisliğinde en çok kullanılan log-normal dağılımıdır. H_s 'in yerine $\ln(H_s)$ kullanılmaktadır. **Log-normal dağılım** için $P(H_s)$ olasılığı

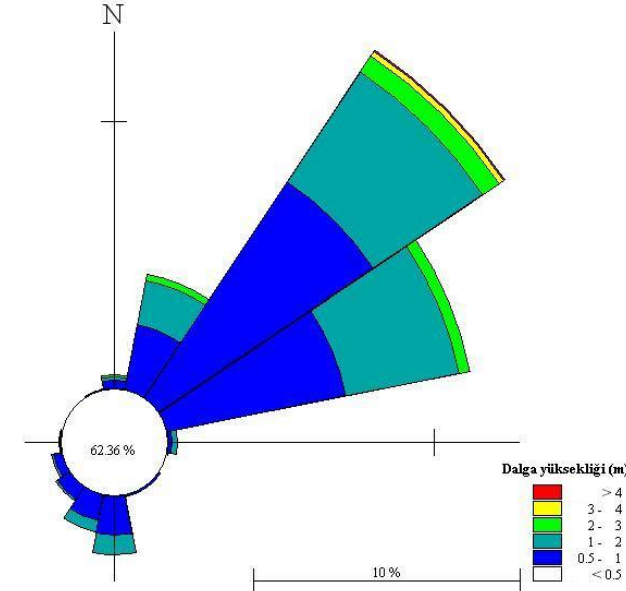
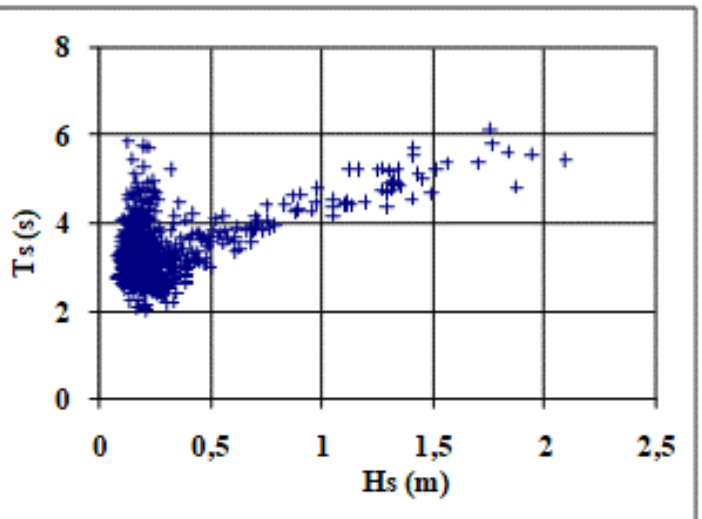
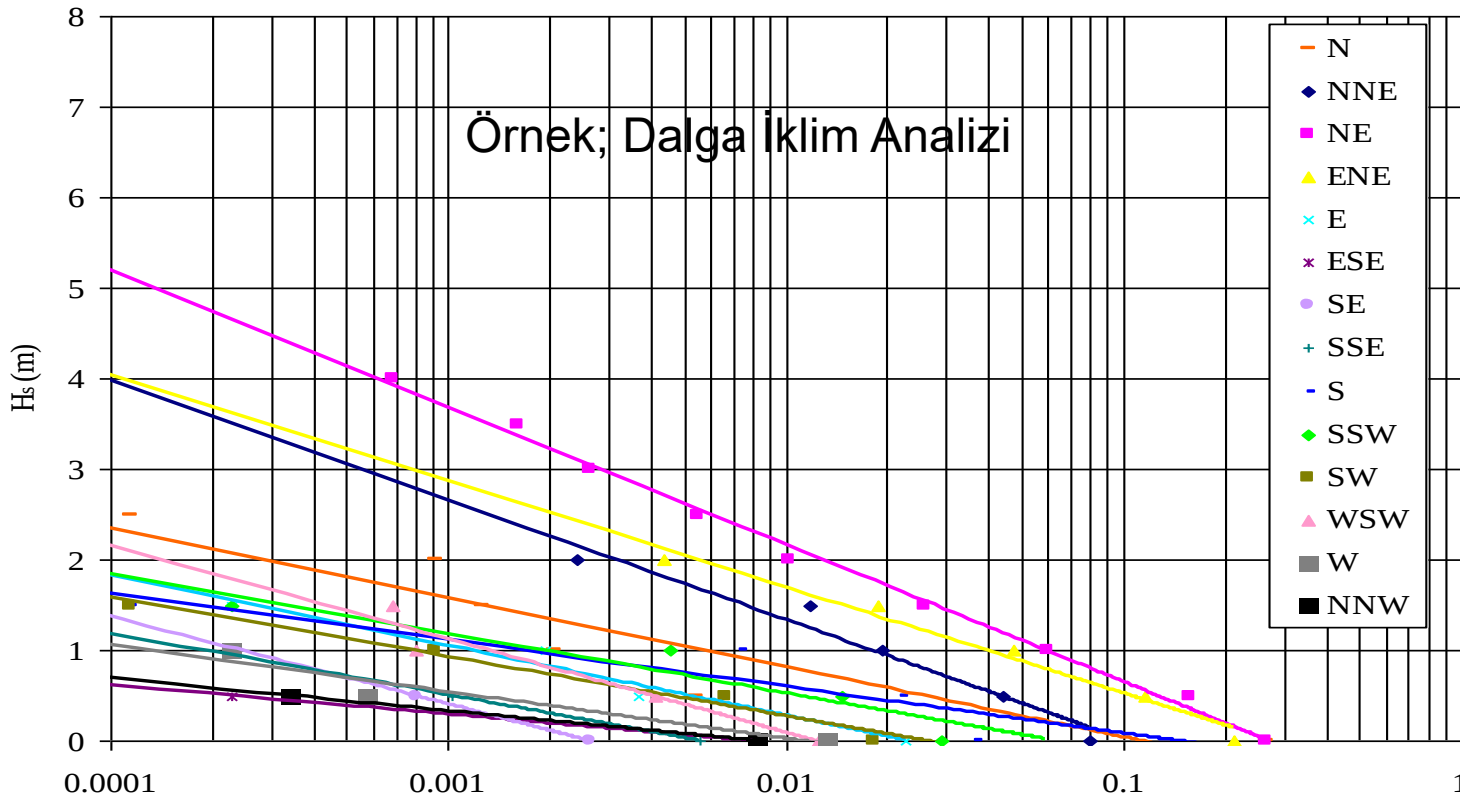
$$P(H_s) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{H_s} \frac{1}{\sigma_s H_s} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_s - \mu_s}{\sigma_s}\right)^2\right] dH_s$$

- Eğer log-normal dağılımı verilerle iyi bir uyum sağlamıyorsa bu verilerin **Weibull dağılımına** uyup uymadığı kontrol edilebilir. Bu dağılım,

$$P(H_s) = \exp \left[- \left(\frac{H_s - H_c}{H_0} \right)^{k_1} \right]$$

ile ifade edilir. H_c bölgedeki minimum dalga yüksekliğidir.

Örnek; Dalga İklim Analizi



2.2 En büyük değerler (Ekstrem) dalga istatistiği

- En büyük dalgaların meydana geliş şiddet ve frekanslarının belirlenmesidir.
- Bir çok önemli deniz yapısı için 50 veya 100 yıllık yineleme periyodu (T_R) dikkate alınır.
- Bu bilgi **kıyı yapılarının boyutlandırılması açısından** önemlidir.
- Kıyı yapılarının etkisi altında kalabilecekleri en büyük dalga yükleri ve olası hasar oranlarının belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Ekstrem değer, belli sayıda gözlemde veya belli bir zaman dilimindeki en büyük değer olarak tanımlanabilir.
- Ekstrem değerlerin istatistiği için en çok kullanılan olasılık dağılımı **Gumbel dağılımıdır.**

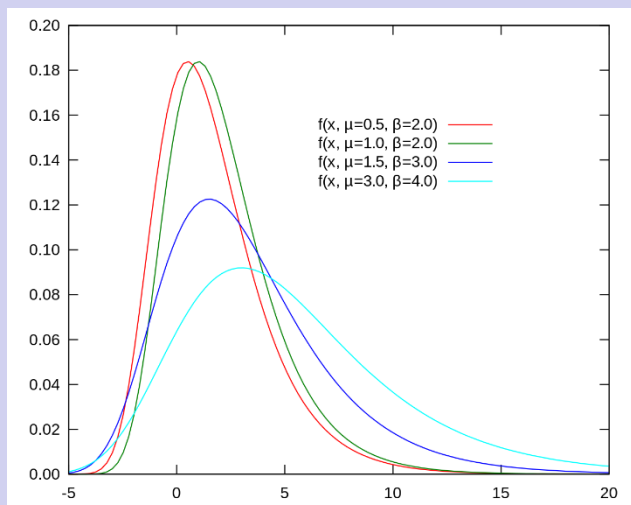
$$G(H_{eks}) = \exp(-e^{-4})$$

Her yılda oluşacak maksimum dalga yüksekliği gerekir. En az 10 yıllık veriye ihtiyaç vardır. Yineleme dönemi (periyodu) belirlenmesinde en az yineleme döneminin 1/3 kadar veriye ihtiyaç vardır.

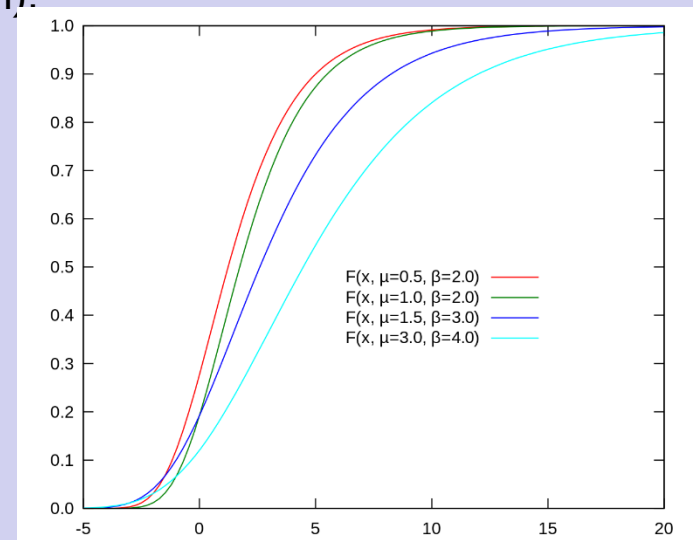
Tasarım dalgası belirlenirken yön dikkate alınmadan yapılabilir.

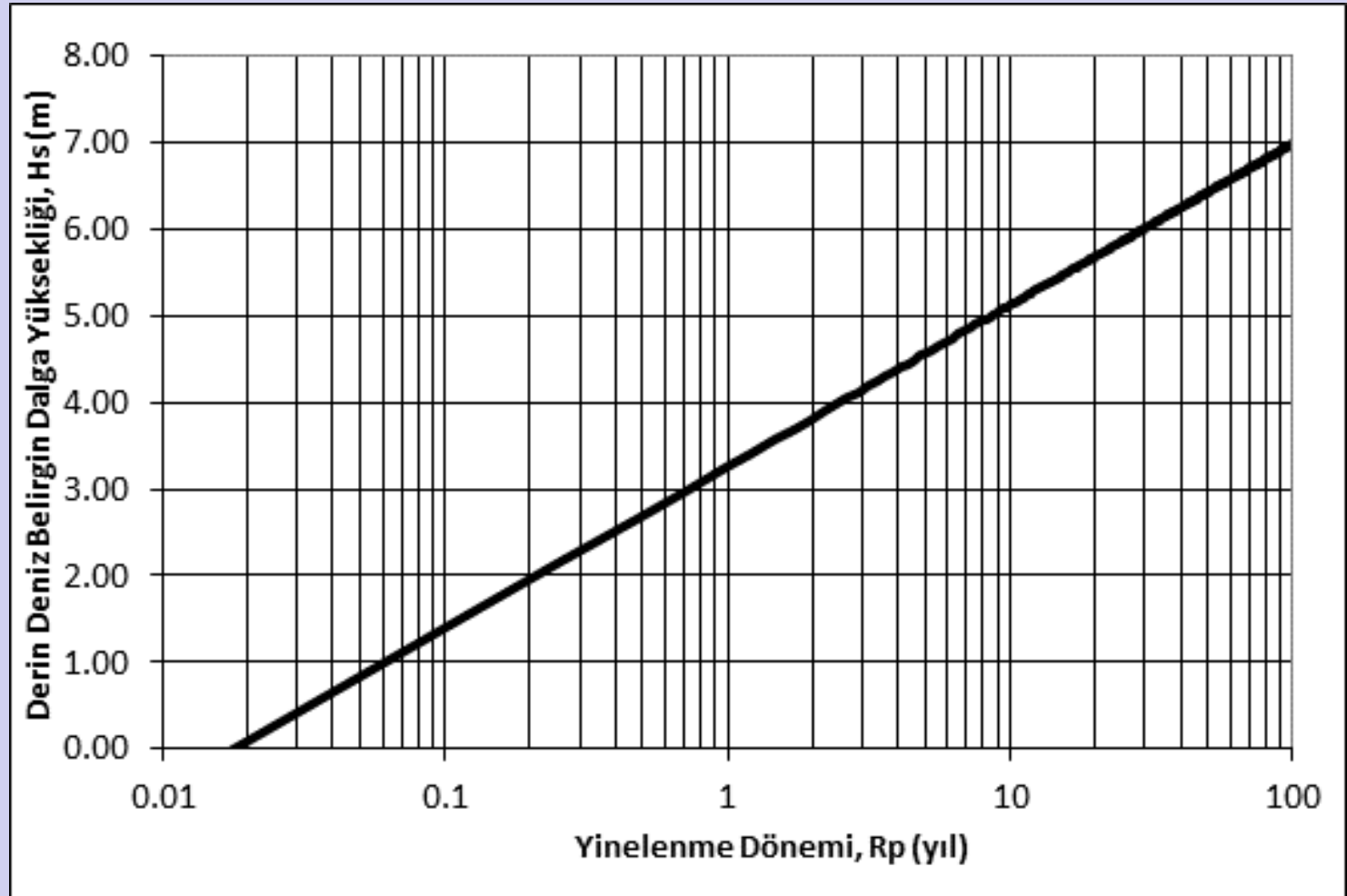
Ek Bilgi

- In probability theory and statistics, the generalized extreme value (GEV) distribution is a family of continuous probability distributions developed within extreme value theory to combine the Gumbel, Fréchet and Weibull families also known as type I, II and III extreme value distributions.
- By the extreme value theorem the GEV distribution is the only possible limit distribution of properly normalized maxima of a sequence of independent and identically distributed random variables. Note that a limit distribution need not exist: this requires regularity conditions on the tail of the distribution. Despite this, the GEV distribution is often used as an approximation to model the maxima of long (finite) sequences of random variables.
- The Gumbel distribution is a particular case of the generalized extreme value distribution (also known as the Fisher-Tippett distribution). It is also known as the log-Weibull distribution and the double exponential distribution (a term that is alternatively sometimes used to refer to the Laplace distribution).



Yalçın Yüksel





- En büyük dalganın aşılma olasılığından;

$$Q(H_{\text{maks}}) = 1/N$$

$$Q(H') = \exp \left[-2 \left(\frac{H_{\text{maks}}}{H_{1/3}} \right)^2 \right] = \frac{1}{N}$$

En büyük dalga

$$H_{\text{maks}} = H_{1/3} \sqrt{\frac{\ln N}{2}}$$

- Tasarım sırasında yapının proje (hizmet) ömrünün de dikkate alınması önemli bir konudur. Tasarım dalga yüksekliğinin proje ömrü boyunca aşılma olasılığı yapının maruz kaldığı risk hakkında bilgi vermektedir.

$$E(L, T_R) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^L \quad \text{veya} \quad E = 1 - e^{-(L/T_R)}$$

- **Koşullu olasılık, E (hasar riski)** tasarım dalga yüksekliğinin proje ömrü boyunca aşılma olasılığıdır.
- Burada T_R yineleme periyodu ve L proje (yapı) ömrüdür.
- **Örneğin** proje ömrü 50 yıl olan bir tasarım dalgası eğer 50 yıllık bir yineleme periyoduna göre tasarlanırsa %63.6'lık bir aşılma olasılığı söz konusu olur. Ancak 475 yıllık bir yineleme periyodu için %10'luk bir aşılma riski olacaktır.

Örnek

Her gün için en büyük belirgin dalga yükseklikleri bir yıl (**365 gün**) boyunca belirlenmiştir. Bu değerlerin dağılımı aşağıda verilmiştir. 20 yıllık bir yineleme periyodu için belirgin dalga yüksekliğini bulunuz.

H_s (m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5.0	5.4
Dalga Adedi ($>H_s$)	340	128	84	73	48	37	18	15	6	2	1

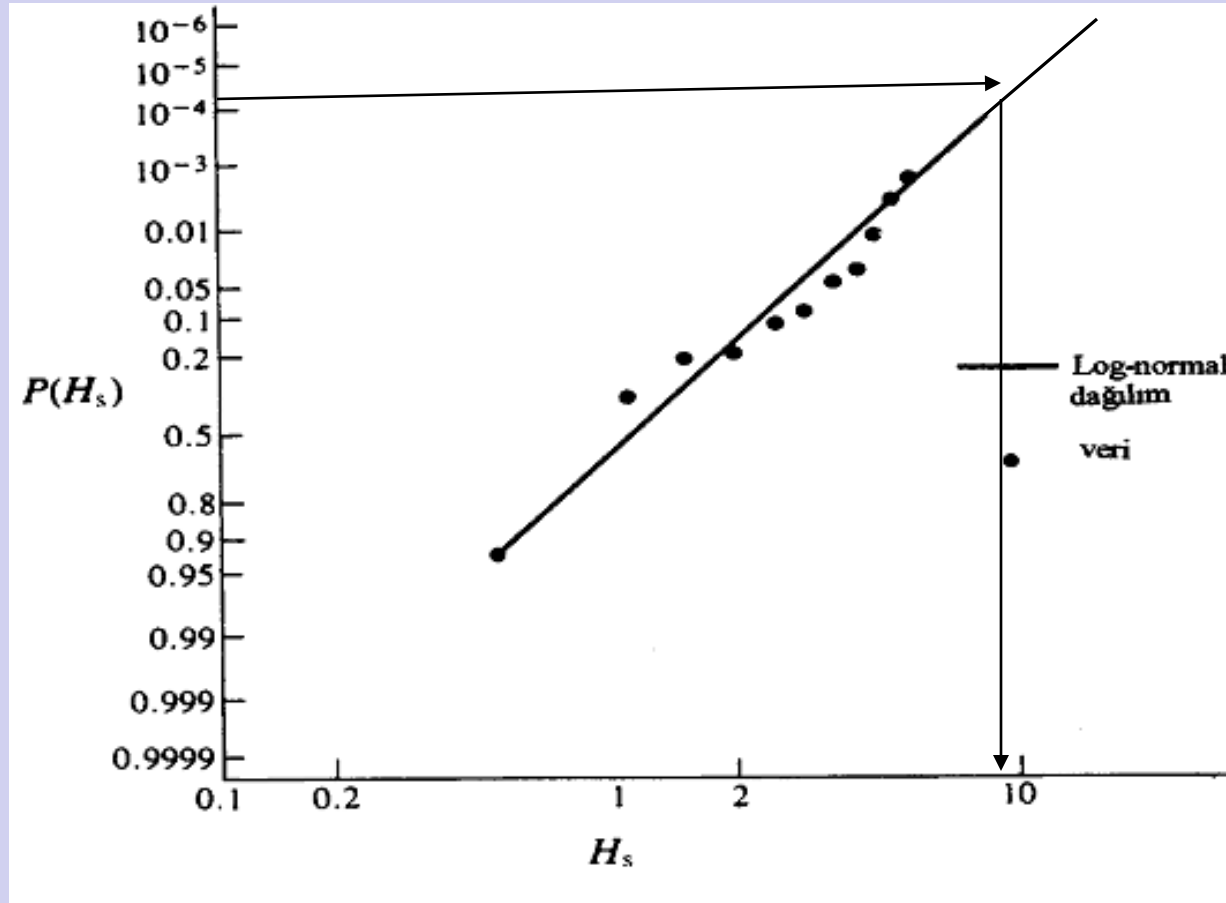
$$340/365=0.93$$

H_s (m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4
$P(H_s)$	0.93	0.35	0.23	0.20	0.13	0.10	0.05	0.04	0.016	0.005	0.003

$P(H_s)$, H_s 'e karşın log-normal dağılımı için ihtimal kağıdına işaretlenir, ölçüm aralığı 1gün=1/365 yıldır. 20 yıllık bir yineleme periyodu için $P(H)$ (20 yıl içinde meydana gelme ihtimali).

$$P(H) = \frac{1}{20 \times 365} = 1.37 \times 10^{-4}$$

- İhtimal kağıdında çizilen doğrudan $P(H)=1.37 \times 10^{-4}$ ekstrapolasyon yapılarak $H_s \cong 9$ m bulunur.



Örnek Olayın yineleme periyodu $T_R=20$ yıl ise 1, 10, 20 yılda karşılaşılma olasılıkları nelerdir? RİSK oluşma

Çözüm

20 yıllık periyodun ilk yılında;

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{1}{20}\right] = 0.0488$$

20 yıllık periyodun ilk 10 yılında

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{10}{20}\right] = 0.393$$

20 yılda ise

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{20}{20}\right] = 0.632$$

Örnek Tasarım ömrü $L=20$ yıl olan bir yapı için 20, 50, 100 yıl dönüş aralıkları için seçilen dalgalarla tasarlanacak olan yapıların hasar riski ne olacaktır?

Çözüm

20 yıllık dönüş aralığı için;

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{20}{20}\right] = 0.632$$

100 yıllık dönüş aralığı için;

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{20}{100}\right] = 0.18$$

200 yıllık dönüş aralığı için;

$$E = 1 - \exp\left[-\frac{20}{200}\right] = 0.10$$

- **Uzun dönem belirgin dalga yükseklikleri;** liman içi çalkantılarının, kıyı boyu kum hareketlerinin ve deniz operasyonlarının hesabında kullanılır.
- En az bir yıl, imkan varsa üç yıl ve daha uzun süreli ölçülmüş veya hesaplanmış bütün H_s , T_s değerleri olasılık dağılımı hesabında kullanılır.
- Liman içi çalkantı hesabı için liman ağzının açık olduğu yönde tariflenmiş saat/sene olasılığına karşılık gelen dalga yüksekliğinden kum hareketleri için ise tüm yönlerdeki dalgalar dikkate alınarak tasarım (veya proje) dalgası seçilir.
- **En büyük (Ekstrem) belirgin dalga yükseklikleri;** dalgakıran ve diğer deniz yapılarının projelendirilmesinde kullanılır. En az on sene süreli ölçülmüş veya her senenin hesaplanmış en yüksek belirgin dalgaları kullanılarak hazırlanan en büyük değerler için uygun olasılık dağılımı kullanılır.



Düşey deplasmanların ölçülmesi

Verilerin kontrol edilmesi

Sıfırı yukarı/aşağı kesme analizi

Spektrum analizi

Rasgele dalgalar

Enerji spektrumu $S(f)$

Karakteristik dalgalar, H_s , T_s

Spektrumun momentleri

$$\{H_{1/n}\} \quad \{T_{1/n}\}$$

Yalçın Yüksel

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df$$