

85124

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİMAN İÇİ ÇALKANTILARININ MODELLENMESİ
VE ÇEŞME YAT LİMANI ÖRNEĞİ

İnş. Müh. Ürfi YERLİ

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sebahattin ÜÇ

85124

İSTANBUL,1999

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Farklı yoğunluklara sahip iki tabaka arasındaki dalga oluşumunun şeması 4
Şekil 2.2	Rüzgar-dalga oluşum ilişkisi 6
Şekil 2.3	Dalga dikliği ile dalga yaşı arasındaki ilişki 13
Şekil 2.4	Feç grafiği 14
Şekil 2.5	Esmeye süresi grafiği 14
Şekil 2.6	Belirgin dalga karakteristikleri nomogramı 16
Şekil 2.7	Enerji spektrumu gelişimi 18
Şekil 2.8	Sınırsız esme süresi için sabit derinlikte rüzgar dalgalarının oluşumu 19
Şekil 2.9	Sınırsız esme süresi için sabit eğimli tabanda rüzgar dalgası oluşumu 20
Şekil 2.10	Soluğanın oluşumu ve sönmelenmesi 22
Şekil 2.11	Düzenli dalgaların sapma diyagramı 23
Şekil 2.12	Dalga enerjisinin bir yapı arkasında kalan geometrik gölge alanındaki dönmesi 26
Şekil 2.13	Yarı sonsuz dalgakıran için genelleştirilmiş dönme diyagramı ... 27
Şekil 2.14	Genelleştirilmiş dalga dönmesi diyagramı 27
Şekil 2.15	Yansıyan dalgaların yönü 31
Şekil 2.16	Düzensiz durağan dalga yüksekliğinin kuramsal değişimi 33
Şekil 2.17	Düşey bir dalgakıran için dalga iletim katsayısı 34
Şekil 2.18	Açısal gelen dalgalar için kuvvet akıları 36
Şekil 2.19	Dalga kaynaklı su seviyesi değişimleri ve akıntılar 40
Şekil 2.20	Uzun dalga grubu 42
Şekil 2.21	Dikdörtgen basenin tanıtım şeması 43
Şekil 2.22	Dairesel basende iki doğal modun konturları 46
Şekil 2.23	Kelvin gemi dalgası modeli 50
Şekil 3.1	j ekseninde dalga yansıması 58
Şekil 3.2	i ekseninde dalga yansıması 59
Şekil 3.3	Dalga dönmesi hesabının değişkenleri 61
Şekil 3.4	Dalga yüksekliği oranı konturları 64
Şekil 3.5	L023 programı akış diyagramı 65
Şekil 4.1	Çalışma bölgesini gösteren harita 66
Şekil 4.2	Çeşme Koyu ve feç mesafeleri 67
Şekil 4.3	Liman vaziyet planı ve baseni bölen bloklar 68
Şekil 4.4	Çalışmanın iş akış diyagramı 70
Şekil 4.5	Kısa dönem verilerine göre rüzgar oluşma olasılıkları grafiği 72
Şekil 4.6	Kısa dönem verilerden elde edilmiş rüzgar gülü 72
Şekil 4.7	Uzun dönem verilerine göre rüzgar oluşma olasılıkları grafiği 73
Şekil 4.8	Açık deniz dalga yüksekliği aşılma olasılık eğrileri 82
Şekil 4.9	Açık denizden liman girişine kadar olan bölgedeki karelaajlama ... 83
Şekil 4.10	Tali dalgakıransız durumdaki “K _D ” değerleri dağılımı 86
Şekil 4.11	Çelik kazıklı tali dalgakıranlı durumdaki “K _D ” değerleri dağılımı 86
Şekil 4.12	Efektif feç hesabına esas yönler 89
Şekil 4.13	Dalga grup hızı ve feç ilişkisi 92

Şekil 4.14	Çeşme Yat Limanı ana dalgakıran enkesiti	95
Şekil 4.15	Dalga tırmanması ve aşmasının tanıtım şeması	95
Şekil 4.16	Non-lineer dalga sığlaşması diyagramı	96
Şekil 4.17	Düzdün ve geçirimsiz eğimli yüzeylerde dalga tırmanması	97
Şekil 4.18	Taş dolgu dalgakırandan dalga iletimi	98
Şekil 5.1	Bir liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrisinin hazırlanışı	102
Şekil 5.2	Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri	105
Şekil 5.3	Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri	105
Şekil 5.4	Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri	106



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Yansıma faktörünün yaklaşık değerleri 31
Çizelge 2.2	Dünyadaki bazı göllerin temel salınım modu periyotları 48
Çizelge 2.3	Derin su dalgası durumu 52
Çizelge 3.1	Kullanılan nümerik programlara ait girdi ve çıktı veri çizelgesi . 64
Çizelge 4.1	Kuvvetli rüzgarların yıllık oluşumu 74
Çizelge 4.2	Çeşme yöresi için bir yıllık rüzgar verilerinden elde edilen “G” değerleri 77
Çizelge 4.3	Anemometrenin yerden yüksekliğine bağlı “G” değerleri 78
Çizelge 4.4	Japonya kıyılarında “G” değerleri 79
Çizelge 4.5	Rüzgar hızının karaya ulaştıktan sonraki değişimi 79
Çizelge 4.6	$t \sim F \sim H_{1/3}$ kombinasyonu için V_{60} değerleri 81
Çizelge 4.7	Dalgalı günlerin mevsimsel oluşumu 81
Çizelge 4.8	Açık denizdeki dalga yüksekliğinin aşılma olasılığı ve gün sayısı 82
Çizelge 4.9	Dalga transformasyonu ve liman içi çalkantı programlarında kullanılan dalga verileriyle basen içerisinde elde edilen dalga yüksekliği oranı dağılımı 84
Çizelge 4.10	Üç faklı durum için basen bloklarındaki ortalama dalga yüksekliği değerleri 88
Çizelge 4.11	Üç faklı durum için elde edilen yerel rüzgar dalga yüksekliği ve efektif feç mesafeleri 90
Çizelge 4.12	Ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresi düzeltme sayısı “ C_t ” 94
Çizelge 5.1	Liman içindeki bloklardaki sonuç dalga yükseklikleri 101
Çizelge 5.2	Ticari limanlarda kritik dalga yüksekliği ve aşılma olasılığı 103
Çizelge 5.3	Yat limanlarında liman içi çalkantı kritik değerleri 103
Çizelge 5.4	Liman içindeki sonuç dalga yüksekliği ve aşılma olasılıkları 104
Çizelge 5.5	Çalkantı düzeyi değerlendirme çizelgesi 107

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Liman İçi Çalkantısının Tanımı ve Önemi	1
1.2 Çalkantı Analizinin Yapılmasındaki Temel Amaçlar	1
1.3 Liman İçerisindeki Çalkantı Düzeyinin Belirlenmesi	2
2. LİMAN İÇİ ÇALKANTISINA SEBEP OLAN OLAYLAR	4
2.1 Rüzgar Dalgaları	4
2.1.1 Phillips rezonans teorisi	5
2.1.2 Miles kayma-akım teorisi	6
2.1.3 Tam gelişmiş deniz	7
2.2 Rüzgar Dalgası Tahmin Metotları	8
2.2.1 Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) Metodu	9
2.2.2 Wilson Metodu	17
2.2.3 Pierson-Neumann-James (PNJ) Metodu	17
2.3 Sığ Su Dalgası Tahmin Metodu	18
2.3.1 Bretschneider Metodu	18
2.4 Soluğan	20
2.5 Dalga Transformasyonu	22
2.5.1 Dalga sapması (refraction)	22
2.5.1.1 Düzensiz deniz dalgalarının sapma katsayısı	24
2.5.1.2 Sapmanın uygulamadaki önemi	25
2.5.2 Dalgaların dönmesi	26
2.5.3 Sığlaşma	28
2.5.4 Dalga yansıması	29
2.5.4.1 Yansıyan dalgaların ilerlemesi	31
2.5.5 Dalgakırandan dalga iletilmesi (transmission)	33
2.6 Surf Salınımı (dalga kaynaklı ortalama su seviyesi değişimleri)	35
2.6.1 Gerilme akısı	35
2.6.1.1 Dalgaların kıyı çizgisine dik olması durumu	35
2.6.1.2 Dalgaların kıyıya belli bir açı ile gelmesi durumu	38
2.6.2 Kırılmayan dalgalarda alçalma (wave set down)	38
2.6.3 Kırılan dalgalarda kabarma (wave set up)	41
2.7 Liman İçi Salınımları	43

2.7.1	Kapalı basenlerde serbest salınım	43
2.7.1.1	Dikdörtgen basen durumu	43
2.7.1.2	Dairesel basen durumu	46
2.7.1.3	Karmaşık şekilli basen durumu	48
2.8	Gemi Dalgaları	49
2.8.1	Dalga sistemi	50
2.8.1.1	Dalga boyu ve dalga periyodu	51
2.8.2	Sığ suda gemi dalgaları	52
2.8.3	Dalga yüksekliği	53
3.	LİMAN İÇİ ÇALKANTISI İÇİN NÜMERİK BİR YAKLAŞIM	56
3.1	Dalga Transformasyonu Programı (L041)	56
3.2	Liman İçi Çalkantı Programı (L023)	59
4.	ÇEŞME YAT LİMANI ÇALKANTI ANALİZİ ÇALIŞMASI	66
4.1	Bölgenin Tanıtımı ve Çalışmanın Amacı	66
4.2	Yat Limanının Tanıtımı	67
4.3	Metodoloji	69
4.4	Çeşme Bölgesi Rüzgar ve Dalga İklimi Belirleme Çalışmaları	71
4.4.1	Çeşme Meteoroloji İstasyonu'nda rüzgar gözlemi	71
4.4.2	Rüzgar iklimi	71
4.4.3	Gust faktörü	75
4.4.4	Dalga tahmini	80
4.4.5	Limana giren dalgaların belirlenmesi	83
4.4.6	Limanda yerel rüzgar dalgalarının belirlenmesi	87
4.5	Dalgakırandan İletilen Dalgaların Belirlenmesi	94
4.5.1	Dalga aşması	94
4.5.2	Dalga iletimi	98
5.	SONUÇLARIN BİRLEŞTİRİLMESİ	100
5.1	Liman İçi Çalkantı Düzeyinin Kritik Değerleri	102
5.2	Liman İçindeki Çalkantı Düzeyinin Değerlendirilmesi	103
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	108
	KAYNAKLAR	110
	ÖZGEÇMİŞ	112

ÖNSÖZ

Liman İçi Çalkantılarının Modellenmesi ve Çeşme Yat Limanı Örneği konulu bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 1996 – 1999 yılları arasında Prof. Dr. Sebahattin Üç danışmanlığında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle beni tez öğrencisi olarak kabul eden, çalışmanın her safhasında görüşleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Sebahattin Üç'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının tüm aşamalarında görüş ve eleştirilerinden yararlandığım, Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e (YTÜ);

Çalışmanın arazi ve büro çalışmaları safhasında büyük destek aldığım; Aziz Ünal (DLH), Serdar Ünlü (DLH), Ş. Emrah Arıkan ve Cüneyt Bilen'e (DLH);

Çalışmanın farklı aşamalarında görüş ve bilgilerine başvurduğum, JICA uzmanları Ryuji Koh (DLH) ve M. Furukawa'ya (DLH);

Huzurlu ve sakin bir ortamın sağlanması için büyük fedakarlık ve anlayış gösteren ailem ve eşime, teşekkür ederim.

14.04.1999

Ankara

ÖZET

Liman içerisindeki çalkantı düzeyi, liman planlamanın ana unsurunu oluşturmaktadır. Bu çalışma, Çeşme Yat Limanı'ndaki dalga oluşumunu, transformasyonunu, dalga girmesini ve çalkantıyı içeren analizleri kapsamaktadır. Çeşme Yat Limanı, sık sık basen içerisindeki çalkantıdan rahatsızlık çekmektedir. Özellikle, yat limanının aktif olarak kullanıldığı yaz aylarında, öğleden sonraları rüzgarın daha yoğun olmasına bağlı olarak çalkantı düzeyi artmaktadır. Bu çalkantı kapsamında, açık denizden gelip limana giren dalgalar ve yerel olarak rüzgar tarafından basen içerisinde oluşturulan dalgalar olmak üzere iki tip dalga analiz edilmiştir. Bu analizler ayrıca inşaa edilmesi planlanan tali dalga önleyici yapıların etkilerini de kapsamaktadır.

Açık deniz derin bölgedeki dalgaların tahmin edilmesinde, Çeşme Meteoroloji İstasyonu'ndaki rüzgar gözlem verilerinden faydalanılmıştır. Ortalama rüzgar hızlarının düzeltilmesinde Gust faktörü özelliğinden yararlanılmıştır.

Açık deniz dalgalarının, yat limanı yakınında meydana getirdikleri dalga karakteristikleri nümerik simülasyon model yardımıyla belirlenmiştir.

Liman içi çalkantısı, basendeki dalga yüksekliği ve dalga yüksekliği aşılma olasılığı ile birlikte ele alınmıştır.

Çalışmanın sonucunda, limana giren dalgaların üzerine süperpoze edilen ve nadiren de olsa bu dalgaların büyüklükleri ile kıyaslanacak ölçüde gelişebilen basen içerisindeki yerel rüzgar dalgalarının, bir dalgakıran ile önlenemediği anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Liman içi çalkantı (sakinlik düzeyi), salınım, limana giren dalgalar, yerel rüzgar dalgaları, Gust Faktörü.

ABSTRACT

Tranquility inside the port is the main objective of port planning. This study introduces a case study for Çeşme Marina, including wave generation, transformation, invasion and agitation. Çeşme Marina often suffers from wave agitation inside basin, especially in the afternoon during summer when it is most actively used. Regarding the wave agitation, two kinds of waves were analyzed, namely the invading waves from offshore and the wind waves generated in the basin, together with the effect of a planned breakwater.

Observed wind data at Çeşme Meteorological Station were used in order to predict offshore deep water waves. Gust factor were used so as to convert mean wind speeds. The wave characteristics related to offshore waves, near the marina entrance were estimated by the help of numerical simulation model.

Tranquility was evaluated according to the wave height inside the basin, together with the exceedence probability of wave height.

The analysis suffices that on invading waves were superposed wind generated waves in the basin which occasionally develop up to comparable heights to invading waves and can not be mitigated with a breakwater.

Key Words: Tranquility, oscillation, invading wave, wind wave in basin, Gust factor.

1. GİRİŞ

1.1 Liman İçi Çalkantısının Tanımı ve Önemi:

Bir limanın temel işlevi; gemilere güvenli sığınma imkanı sağlamak, kara ile gemiler arasında yolcu ve kargo transferini kolaylaştırmaktır. Limanların bu görevleri yerine getirebilmeleri için liman içerisindeki sakinliğin belli kriterlere göre sağlanması gerekmektedir.

Liman içi sakinliğini bozan en önemli olaylar, çeşitli sebeplerden kaynaklanan çalkantılardır. Dolayısıyla liman içi çalkantı düzeyinin tespiti önem taşımaktadır.

Liman içi çalkantı düzeyi; dalgakıranlar vasıtasıyla dalgalara karşı sağlanan korunaklılık derecesi veya liman içerisinde belli alanlardaki ortalama dalga yüksekliğinin liman dışındaki dalga yüksekliğine oranı olarak ifade edilmektedir (JSCE, 1971).

Uygun düzeyde istenen yeterli bir liman sakinliği sadece emniyetli demirleme için değil; ayrıca liman faaliyetlerindeki verim için de büyük önem taşımaktadır.

Liman sakinliği; limana giriş, yanaşma ve demirleme gibi gemi aktiviteleri ile bozulsa bile, yat limanları ve balıkçı barınaklarının çalkantı analizlerinde bu etkiler çoğunlukla dikkate alınmazlar.

1.2 Çalkantı Analizinin Yapılmasındaki Temel Amaçlar:

- Liman içerisinde belirli alanlardaki dalga yüksekliğinin belirlenmesi,
- Belirlenen dalga yüksekliği değerlerinin standart değerlerle karşılaştırılması ve bu değerlerin yılın ne kadarlık bir bölümünde aşılabileceğinin tahmin edilmesi,
- Liman içerisindeki dalga yüksekliği dağılımına göre gerekli görülürse çözüm üretilmesi ve geliştirilen çözümlerin karşılaştırılmasına olanak sağlanması.

Açık denizde oluşup, dalga transformasyonuna (sapma, dönme, yansıma, sığlaşma, kırılma vb.) uğrayarak liman girişine kadar gelen dalgaların liman içerisinde oluşturdukları dalga yüksekliği değerlerinin, aşılma olasılıkları ile birlikte değerlendirilmesi çalkantı analizi çalışmalarının temelini oluşturmaktadır.

1.3 Liman İçerisindeki Çalkantı Düzeyinin Belirlenmesi

Genel olarak; liman çalkantısı üzerine yapılan hidrolik modellerin çoğu bir liman içerisinde dalga yüksekliği dağılımının, diğer limanlardaki dağılım ile karşılaştırılmasına veya yaklaşan dalgaya göre verilen oranının tespitine yönelik ölçümlere dayanmaktadır. Ancak, örneğin 5 saniyelik periyoda sahip rüzgar dalgaları ile 15 saniye periyotlu soluğanların dalga yükseklikleri aynı olsa bile gemiler üzerindeki etkilerinin farklı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, büyük bir gemi belli bir çalkantıdan etkilenmezken küçük bir gemi aynı çalkantıdan zarar görebilmektedir. Bundan dolayı liman içi sakinliğinin gemi hareketlerine göre değerlendirilmesi esastır.

Gemi hareketleri oldukça karmaşık bir hidrodinamik olay olmasına rağmen son yıllarda problemin çözümü için sayısal analiz yöntemlerinde oldukça iyi gelişmeler söz konusudur. Liman içi çalkantısı, gemi hareketleri ve kargo elleçleme işlemleri arasındaki ilişki bakımından da önem taşımaktadır. Gemi sığınma emniyetini ve kargo elleçleme verimini etkileyen "rüzgar" da liman sakinliği problemine katılması gereken diğer bir etkidir.

Planlama safhasında; bahsedilen bu fiziksel faktörlere ek olarak aşağıdaki ekonomik faktörlerin de çalkantı düzeyinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gerekmektedir:

- Kargo elleçleme işlerindeki verim
- Taşımacılık faaliyetleri esnasında gemi bekleme maliyetleri
- Dalgakıranların ve diğer koruyucu tesislerin yapım maliyetleri

Bütün bu faktörlere ek olarak; liman girişinde gemi seyirinin rahatlığı, geminin şiddetli rüzgarda liman içinde kalıp kalmayacağı sorusu, deniz seferleri işletmesinden dolayı sınırlayıcı şartlar vs. gibi etkenlerin de çalkantı düzeyinin belirlenmesinde önemli rol oynadıklarının unutulmaması gerekir.

Çalkantı kriterinin belirlenmesinde; bütün bu sayılan faktörlerin hesaba katılması, problemin pratik çözümü açısından güçlükler ortaya çıkarmaktadır. Pratik çözüm açısından olay, dalga yüksekliğinin standart değerinin belirlenmesine indirgenmektedir.

Liman çalkantı probleminin çözümü için limandaki dalga yüksekliğinin değerlendirilmesi, halen daha en pratik yaklaşım olma özelliğini korumaktadır. Ancak limandaki dalga yüksekliğinin bir fırtına durumunda, mutlak bir değer veya açık deniz dalga yüksekliğinin bir oranı olarak tasvir edilmesi, karmaşık çalkantı probleminin sadece bir bölümünü oluşturmaktadır.

Bu yöntemde, limanın belli bazı noktalarındaki "belirgin dalga yüksekliğinin ($H_{1/3}$)", belirlenen bir değeri aşabilme olasılığının günler cinsinden analiz edilmesi ana işlemi oluşturmaktadır.



2. LİMAN İÇİ ÇALKANTISINA SEBEP OLAN OLAYLAR

2.1 Rüzgar Dalgaları

Dalgalar gibi tabii oluşumlar; rüzgar, gel-git, deprem veya gemi hareketleri ile meydana gelirler. Liman tasarımcıları çoğunlukla, yer seçimi ve deniz yapısı üzerinde büyük etkisi olan rüzgar ve gemi hareketleri kaynaklı dalgalarla ilgilenirler.

Rüzgarla dalga oluşumu; bir kaptaki suya üfleme sonucu oluşan dalgalar gibidir. Rüzgar dalgalarının oluşum mekanizmasının aydınlatılması için birçok çalışma yapılmıştır. İlk önce Helmholtz (1945) tarafından; hava ve su gibi yoğunlukları farklı iki tabaka arasında kalan yüzeyde bir kararsızlık olduğu keşfedilmiştir (Şekil 2.1) (Horikawa, 1978).

$$\left(U_1 - U_2 \right)^2 > \frac{g}{k} \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1 \rho_2} \quad (2.1)$$

Burada,

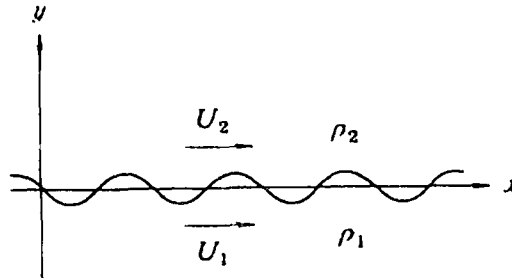
U: Akıntı hızı

g: Yerçekimi ivmesi

k: Dalga numarası

ρ : Akışkan yoğunluğu

1 ve 2: İndisleri sırasıyla alt ve üst tabakayı belirtiyor.



Şekil 2.1 Farklı yoğunluklara sahip iki tabaka arasındaki dalga oluşumunun şeması
(Horikawa, 1978)

Daha sonra Kelvin, yüzey gerilmesi olan "K" nın dalga üretiminde önemli bir rol oynadığını düşünerek aşağıdaki bağıntıyı vermiştir (Horikawa, 1978):

$$\left(U_1 - U_2 \right)^2 > \frac{g}{k} \frac{(\rho_1^2 - \rho_2^2)}{\rho_1 \rho_2} + Kk \frac{(\rho_1 + \rho_2)}{\rho_1 \rho_2} \quad (2.2)$$

Dalgacık denilen, 1.7 cm. dalga boyuna sahip en yavaş dalgaların; bu kararsızlığın bir sonucu olarak gelişmeye başladıklarına işaret etmiştir. Bu dalgacıklar, okyanusun yüzeyindeki pürüzlülük olup teorik olarak en az 6.5 m/sn.'lik hıza sahip bir rüzgarda gelişirler (DeneySEL ölçümlerden bu değerin değişim aralığı 0.4~12 m/sn. arasında bulunmuştur).

Bu dalgacıklar ancak rüzgardan elde edilen enerji ile dalga enerjisini arttırıp daha büyük dalgalara dönüşebilirler. Kelvin ve Helmholtz'un verdiği bağıntılar yardımıyla tespit edilen kritik dalga boyu (L=1.7 cm) değeri, gerçek gözlem değerlerinden büyük olmaktadır. Bu uyumsuzluk; dalga oluşması için gerekli minimum rüzgar hızının değerlendirilmesinde, bu bağıntıların kullanılabilirliği hakkında şüpheler doğurmaktadır.

1949 yılında Wuest ve 1954 yılında Lock aynı problemleri, viskoziteye bağlı olarak su yüzeyinde oluşan sınır tabakasının hareketini inceleyerek ele almışlardır. 1953 yılında Eckart, rüzgar basıncındaki düzensiz değişimin rüzgar kaynaklı dalga oluşumuna büyük etkisi olduğunu vurgulamıştır. 1957' de Phillips ve Miles, bu alanda büyük ilerleme sağlayan rüzgar kaynaklı dalga oluşumu ve gelişimi üzerindeki teorilerini, birbirinden bağımsız olarak sunmuşlardır. Aşağıda bu teorilerle ilgili özet bilgiler verilmiştir (Horikawa, 1978).

2.1.1 Phillips rezonans teorisi

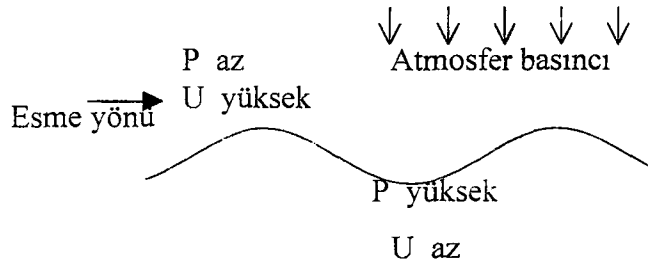
Eckart'ın açıkladığı gibi rüzgar türbülansı serbest yüzeyde bir basınç düzensizliği meydana getirmektedir. Bu basınç düzensizliği içerisinde farklı frekanslara sahip çeşitli bileşenler mevcuttur. Bu bileşenlerin son derece küçük dalgalar oluşturma ihtimalleri vardır. Rüzgar

basıncındaki düzensizlik, rüzgar ile birlikte belli bir hızda ilerlemektedir. Diğer taraftan deniz yüzünde oluşan oldukça küçük bir dalga, frekansına bağlı bir hızla yayılmaktadır. Bu iki hız birbirinden farklı olduğu zaman son derece küçük olan dalga sönmülenecektir. Ancak bu iki hız hemen hemen aynı olursa, yüzeydeki düzensizlik artar ve bir dalga katarı oluşur. Bu durumda dalga enerjisi lineer olarak artmaktadır.

Dalgalar, sadece rüzgar yönünde ilerlemeyip diğer yönlere doğru da ilerlerler. Dolayısıyla, dalga ilerleme yönündeki basınç düzensizliğinin hız bileşeni dalga hızına yetişirse dalga büyümektedir. Böyle oluşumlarla, rüzgar yönünden saparak ilerleyen dalgalar oluşurlar. Bu ifadeler, dalga gelişim mekanizmasının üretim merkezindeki durumunu açıklamaktadırlar (Horikawa, 1978).

2.1.2 Miles kayma-akımı teorisi

Dalgalar, deniz yüzeyinde görüldüğü zaman yüzey yakınındaki rüzgarın düşey hız dağılımı dalgaların varlığından dolayı değişime uğrar. Dalga tepesindeki rüzgar hızı daha büyük olup basıncı daha azdır. Dalga çukurunda ise rüzgar hızı daha az olup basınç biraz daha fazladır. Dalga alanının karmaşık konfigürasyonuna bağlı olarak, deniz yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı da karmaşık bir yapı içerisinde değişmektedir. Dalga tepesi ve çukuru civarındaki rüzgar basınç dağılımının farklı olmasından kaynaklanan basınç kuvveti, dalgaları rüzgar yönünde itip onlara enerji sağlamaktadır. Böylece dalgalar yüksekliklerini arttırırlar. Dalga yüksekliği arttıkça rüzgara bakan taraftaki dalga tepesi ve çukuru arasındaki basınç farkı da artmaktadır. Bununla beraber dalga enerjisi zamanla orantılı olarak artmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Rüzgar - Dalga oluşum ilişkisi

Miles Teorisinde yer alan bu açıklamalar; dalga gelişimini, üretim merkezindeki safhadan lineerliğin kısmen kaybolduğu tam gelişmiş safhaya kadarki evrimini ortaya koymaktadır (Horikawa, 1978).

2.1.3 Tam gelişmiş deniz

Dalgalar kararlı bir safhaya ulaştıklarında, deniz yüzeyinde köpüklü dalgalar arasına görülmeye başlarlar. Bu köpüklenme dalganın kırıldığını belirtip dalga tepesi üzerinde rüzgar tarafından oluşturulur. Kırılma ile dalga enerjisinin bir kısmı harcanır (Horikawa, 1978).

Hızı 6.5 m/sn.'den büyük bir rüzgarın sakin bir okyanus üzerinde aniden esmeye başladığını düşünelim. Dalgacıklar ve kısa dalga boylu dalgalar feç üzerinde hemen görülmeye başlarlar. ("Feç" terimi kıyı mühendisliğinde; rüzgar hızının yaklaşık olarak sabit olduğu, rüzgarla aynı yöndeki mesafe ve rüzgarın etkidiği bölgeyi tanımlamaktadır.) Feç mesafesi boyunca gelişen dalgacıkların genlikleri artar ve böylece dalgalar non-lineer hale gelip kırılırlar.

Feç bölgesi içerisinde dalgacıklar büyümeye devam ederek ağırlık dalgalarına dönüşürler. Bu süreç içerisinde belirgin dalga periyodu, dalga yüksekliği, dalga boyu ve enerjisi sürekli olarak artmaktadır. Bu artış kararlı bir duruma ulaştıktan sonra sona erer ve buna tam gelişmiş deniz adı verilir. Rüzgar dalga enerjisi, feç mesafesini grup hızı ile geçmektedir. Feç boyunca bir dalganın geçirdiği süre aşağıdaki bağıntıyla verilir.

$$t_F = \begin{cases} 4\pi F / (gT), & \text{Derin su dalgası} \\ F / (gd)^{1/2}, & \text{Sığ su dalgası} \end{cases} \quad (2.3)$$

Bu süre, feç boyunca rüzgarın dalga enerjisini arttırabildiği bir süredir. Eğer rüzgar esme süresi " t_F " i aşsa bile feç içerisinde daha yüksek dalgalar oluşmaz. Ancak, esme süresi " t_F " den küçük olursa daha küçük dalgalar feç içerisinde üretilebilecektir. Birinci durumdaki dalgalar feç limitli; ikinci durumdakiler ise süre limitli diye adlandırılırlar (Phillips, 1977).

Tam gelişmiş derin deniz rüzgar dalgası için minimum feç uzunluğunu, Bishop (1983) şu şekilde vermiştir (F_{\min}):

$$F_{\min} = 9.5 \times 10^4 U^2 / g \quad (2.4)$$

Burada,

U: Rüzgar hızı

g: Yerçekimi ivmesi

Buna bağlı olarak minimum rüzgar esme süresi (t_{\min}):

$$t_{\min} = 18 \times 10^4 U / g \quad (2.5)$$

şeklindedir.

Küçük feç mesafelerine ve kısa esme sürelerine sahip dalgaların yükseklikleri ve periyotları tam gelişmiş deniz dalgalarından daha küçüktür.

Tam gelişmiş deniz dalgaları, periyotlara karşılık gelen dalga yüksekliklerinin bir spektrumu ile karakterize edilirler. Örneğin, Neumann Spektrumu aşağıdaki gibidir:

$$S(f) = K \frac{\pi}{2} \frac{1}{f^6} \exp\left(-\frac{g^2}{2\pi^2 f^2 U^2}\right) \quad (2.6)$$

Burada,

f: frekans (1/T)

K: S(f)' in biriminin m^2 .sn olmasını sağlayan boyutlu bir katsayıdır.

2.2 Rüzgar Dalgası Tahmin Metodları

Dalga tahmin teknikleri üç metod altında sınıflandırılmaktadır:

- Amprik formüller
- Belirgin dalga metodu

- Enerji spektrumu metodu

Amprik formüller; doğrudan rüzgar hızı ve esme süresine bağlı dalga yüksekliği ve periyodu gibi dalga karakteristiklerine dayanır. Dalga tahmin tekniği olarak bu metod yeterli güvenlikte olmamaktadır. Ancak bazen sonuçlar hakkında fikir edinmek için kullanılmaktadır.

Belirgin dalga metotları; belirgin dalga karakteristikleri ile gerçek düzensiz dalgaları temsil etmektedir. Belirgin dalga yüksekliği ($H_{1/3}$) ve periyodu ($T_{1/3}$) ile rüzgar hızı, esme süresi ve feç arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Belirgin dalga yöntemini temsilen Sverdrup ve Munk tarafından geliştirilen "SMB" metodu, daha sonra Bretschneider tarafından dalga gözlem verilerinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Bu metodun ana gayesi, sabit bir hızla esen rüzgar altında derin denizdeki dalgaları belirlemektir. Daha sonra Wilson, Bretschneider, Ijima ve diğer araştırmacılar; sığ suda olduğu gibi hareketli feç içerisinde oluşan dalgaların tahmin edilmesi için bu metodu yenilemişlerdir (Horikawa, 1978).

Enerji spektrumu metotları; dalga karakteristiklerini, dalga enerji spektrumunun gelişimini izleyerek belirlemeye çalışırlar. Pierson, Neumann ve James tarafından geliştirilen "PNJ" metodu spektrum yönteminin temsilcisi konumundadır (Horikawa, 1978).

2.2.1 Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) Metodu

Bu metot 1942 yılında Sverdrup ve Munk tarafından tamamlanıp, 1947 yılında yenilenmiştir. Mühendislik ve oşinografi bilimine önemli bir yenilik getirmiştir. Bu sistemde, karmaşık dalga durumunu temsil etmesi için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu terimleri kullanılmaktadır. Sistemin temeli, enerji denklemine dayanmaktadır. Rüzgardan dalgalara geçen enerji transferi oranını değerlendirmek için normal basınç gibi kayma gerilmesi de olaya dahil edilmektedir.

Daha önceleri Jeffreys, rüzgar dalgalarının su yüzeyine dik etki eden rüzgar gerilmesine bağlı olarak geliştiklerini düşünmüştür. Bu durumda serbest yüzeye tesir eden normal gerilme "p" aşağıdaki gibi verilebilir (Horikawa, 1978):

$$p = \pm S\rho_a (U - C)^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2.7)$$

Burada,

$\eta = a \cdot \cos k(x-ct)$ yüzey profilini veren ifade

S: Bir emniyet katsayısı (sheltering coeff.)

ρ_a : Havanın yoğunluğu

U: Rüzgar hızı

C: Dalga hızı

Yüzeydeki bir su partikülünün düşey hız bileşeni olan $\omega_0 = \frac{\partial \eta}{\partial t}$ şeklinde ifade edilir.

Dolayısıyla ortalama bir dalga boyunda normal gerilmenin dalgaya yaptırdığı iş olan " R_N " şu şekilde hesaplanabilir:

$$R_N = \frac{1}{L} \int_0^L (-p)\omega_0 dx = \pm \frac{1}{2} S\rho_a (U - C)^2 Ck^2 a^2 \quad (2.8)$$

$C < U$ için pozitif (+) ve $C > U$ için negatif (-) olur.

Viskoziteye bağlı olarak harcanan enerji " R_μ " ise;

$$R_\mu = -2\mu k^3 a^2 C^2 \quad (2.9)$$

ile belirlenir.

μ : Deniz suyunun viskozitesi

Dalgaların gelişebilmesi için $\left| R_N \right| > \left| R_\mu \right|$ olması gerekmektedir.

$$\frac{1}{2} S\rho_a (U - C)^2 Ck^2 a^2 > 2\mu k^3 a^2 C^2 \quad (2.10)$$

Yukarıdaki bağıntı $C^2 = g/k$ kullanılarak yeniden yazılırsa;

$$S\rho_a(U - C)^2 C > 4\mu g \quad (2.11)$$

şekline gelir. Jeffreys, gözlem verilerini kullanarak $S \cong 0.27$ olarak belirlemiştir.

Yukarıda açıklanan ifadelerde; kayma gerilmesinin rüzgardan dalgalara iletilen enerji transferine katılmadığı düşünülmüştür. Çünkü, bir su partikülü, dalga hareketinde, kapalı dairesel bir yörünge içerisinde hareket etmektedir. Ancak gerçekte, dalga hareketi ile bir kütle taşınım hızı olan \bar{U} oluşmaktadır. Bu gerçekten hareketle Sverdrup ve Munk, enerji transferini sağlayan normal gerilmeye ek olarak kayma gerilmesini de olaya dahil etmişlerdir. Serbest yüzeydeki kayma gerilmesi " τ_0 " ve kütle taşınım hızı \bar{U} aşağıdaki ifadelerde verilmiştir:

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \gamma^2 \rho_a U^2 \\ \bar{U} &= \pi^2 \left(\frac{H}{L} \right)^2 C \end{aligned} \quad (2.12)$$

Böylece kayma gerilmesinin yaptığı iş olan " R_T ":

$$R_T = \frac{1}{L} \int_0^L \tau_0 \bar{U} dx = \gamma^2 \pi^2 \rho_a \left(\frac{H}{L} \right)^2 C U^2 \quad (2.13)$$

şeklinde olacaktır.

Bu durumda, dalga gelişimi için gerekli koşul:

$$R_N + R_T > \left| R_\mu \right| \quad \text{olmalıdır.}$$

Sürtünme katsayısını gösteren $\gamma^2 = 0.0026$ alınarak Sverdrup ve Munk tarafından $S=0.013$ elde edilmiştir.

Dalga gelişim safhasında akışkan viskozitesine bağlı oluşan enerji harcanması, diğer terimlerle karşılaştırıldığı zaman ihmal edilebilir. Bu yüzden Sverdrup ve Munk enerji korunum denklemini, geçiş safhası için de şu şekilde ifade etmişlerdir.

$$\frac{d(\overline{EL})}{dt} = \left\{ (R_T \pm R_N) + \frac{\partial(C_G \overline{E})}{\partial x} \right\} L \quad (2.14)$$

Burada,

\overline{E} : Birim yüzey alanındaki ortalama toplam dalga enerjisi

C_G : Dalga grup hızı

Dalga hızının (C) değişimi ile dalga boyunda (L) bir artış meydana gelir. Dalga hızı ile dalga boyu birbirine bağlıdır. Derin suda $C^2 = gL / 2\pi$ ' dir. Buna göre;

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \frac{2}{C} \frac{dC}{dt} \quad (2.15)$$

olacaktır.

Geçiş safhasında $\frac{\partial \overline{E}}{\partial x} = 0$ durumu sağlanmaktadır. Buna göre (2.14) denklemi yeniden yazılırsa:

$$\frac{d\overline{E}}{dt} + \frac{\overline{E}}{C} \frac{dC}{dt} = R_T \pm R_N \quad (2.16)$$

şekline dönüşür. Burada $C_G = C/2$ olarak kullanılmıştır.

Kararlı durum incelenirse, enerji korunumu denklemi:

$$\frac{\partial \overline{E}}{\partial t} = (R_T \pm R_N) - \frac{\partial}{\partial x} (C_G \overline{E}) \quad (2.17)$$

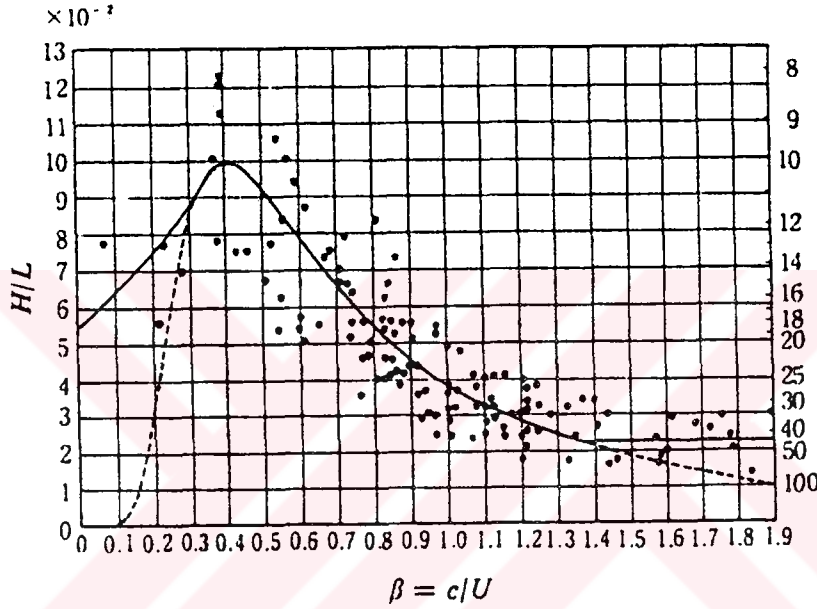
şeklindedir.

$\frac{\partial \overline{E}}{\partial t} = 0$ ve $C_G = C/2$ olduğuna göre;

$$\frac{C}{2} \frac{d\overline{E}}{dx} + \frac{\overline{E}}{2} \frac{dC}{dx} = R_T \pm R_N \quad (2.18)$$

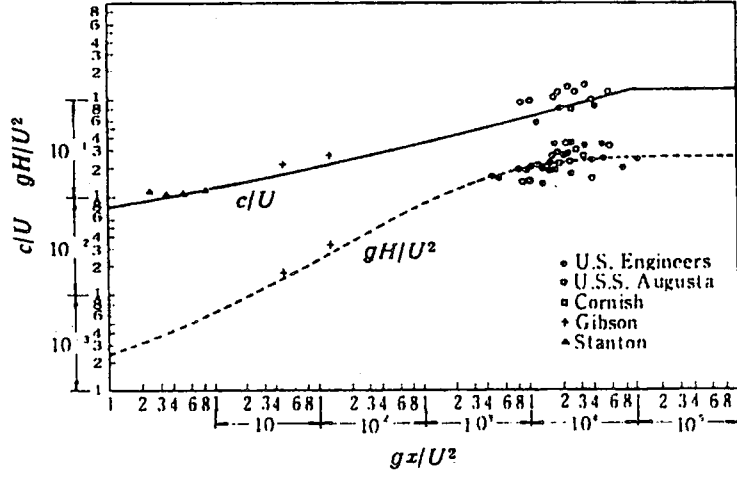
elde edilir.

Yukarıdaki ifadeler ile Jeffreys' in yaklaşımı arasındaki önemli fark; kütle taşınımı ihtiva eden akıntının da rüzgardan suya enerji transferinde önemli rolü olduğudur. Eğer dalgalar kayma gerilmesinden dolayı oluşuyorlarsa; çevrintili akım yapısına sahip olacakları açıktır. Diğer taraftan yukarıdaki ifadeler, bir potansiyel akımı esas alan dalga teorisi olan Stokes teorisine dayanmaktadır. Bu durum SMB yönteminin teorik yapısındaki aykırılığı göstermektedir. Yine de rüzgardan suya enerji transferi için Sverdrup ve Munk tarafından geliştirilen bu modelin başarılı olduğu kabul edilmektedir. Enerji denklemini çözmek için dalga dikliği olan H/L ile $\beta = C/U$ arasında amprik bir ilişki tanımlanmıştır (Şekil 2.3)

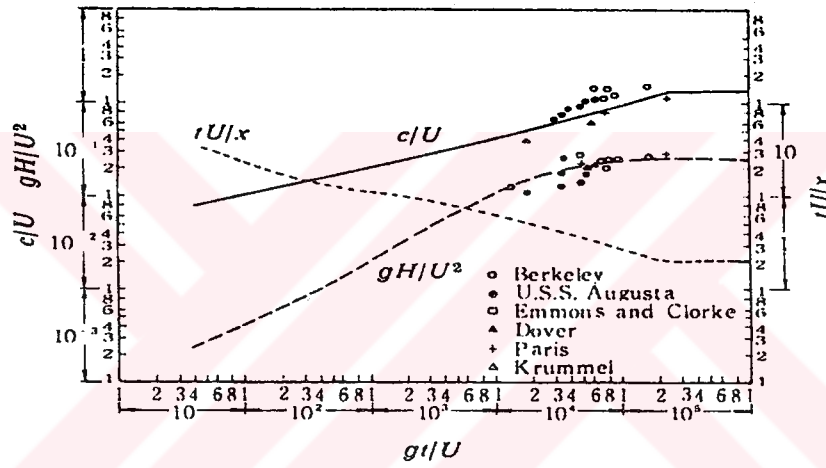


Şekil 2.3 Dalga dikliği ile dalga yaşı arasındaki ilişki (Horikawa, 1978).

Toplanan gözlem verilerinden şu sonuçlar çıkarılmaktadır: (1) Dalga gelişiminin ilk safhasında dalga boyu çok kısadır. Buna göre dalga hızı, rüzgar hızından biraz daha küçüktür, (2) Sonraki safhada dalga boyu artmaktadır. Demek ki; dalga hızı rüzgar hızına yaklaşmaktadır. Bu gerçeklerden hareketle C 'nin U 'ya olan oranının, dalgaların gelişim sürecini anlattığı ve dalga yaşının (wave age) $\beta = C/U$ şeklinde tanımlanabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 2.3'deki noktalar, geniş bir aralıkta oynamalarına rağmen açık bir ilişkiyi ortaya koymaktadırlar. Dolayısıyla şekildeki sürekli eğri H/L ile C/U arasındaki korelasyonu göstermektedir. Bu korelasyon kullanılarak Denklem 2.16'daki enerji denklemini çözülmüş ve Şekil 2.4'teki feç grafiği ile Şekil 2.5'deki esme süresi grafiği elde edilmiştir (Horikawa, 1978).



Şekil 2.4 Feç grafiği (Horikawa, 1978).



Şekil 2.5 Esmeye süresi grafiği (Horikawa, 1978).

Bu grafiklerde, boyutsuz büyüklükler olan gt/U , gH/U^2 , gx/U^2 ve C/U 'nun arasındaki fonksiyonel ilişki verilmiştir (t: Esmeye süresi, x: Feç mesafesi). Bu grafikler birçok kez Bretschneider ve Wilson tarafından yenilenmiştir. Yaygın olarak kullanılan feç grafiği Wilson tarafından 1965 yılında, oldukça güvenilir gözlem verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Feç grafiğindeki denklemler şöyle ifade edilirler:

$$\frac{gH}{U^2} = 0.30 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.004(gH/U^2)^{1/2} \right]^2} \right\} \quad (2.19)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.37 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.008(gF/U^2)^{1/3} \right]^5} \right\} \quad (2.20)$$

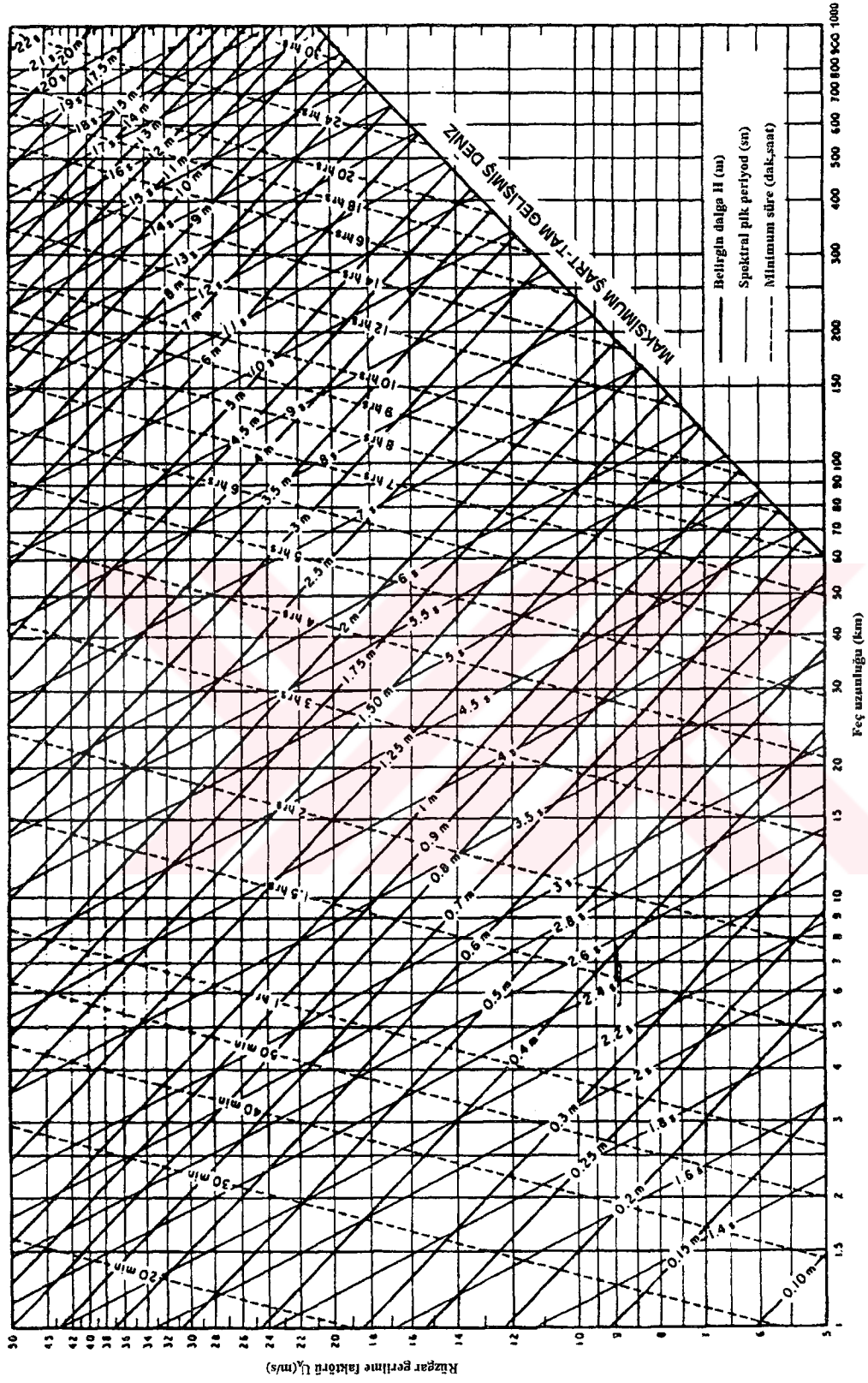
F: Feç mesafesi

Minimum esme süresi " t_{\min} "; C_G grup hızı ile $x=0$ noktasından $x=F$ noktasına kadarki ilerleme için gerekli zaman olarak tanımlanır ve aşağıdaki sayısal integrasyon ile elde edilebilir:

$$t_{\min} = \int_0^F \frac{dx}{C_G} \quad \text{veya} \quad \frac{gt}{U} = \int_0^{\frac{gF}{U^2}} \frac{d(gx/U^2)}{(gT)^{1/3}/(4\pi U)} \quad (2.21)$$

Bu sonuçlara dayanılarak dalga tahmini için Şekil 2.6'deki nomogram verilmiştir (CERC, 1984). Bu nomogramdan dalga karakteristiklerini belirlemek için ortalama rüzgar hızı "U", esme süresi "t" ve feç mesafesi "F" in değerlendirildiği rüzgar üretim alanını belirlemek gerekir. Şekil 2.6'dan $H_{1/3}$ dalga yükseklikleri ve $T_{1/3}$ periyotları, $U \sim F$ kombinasyonu ve $U \sim t$ kombinasyonu kullanılarak belirlenir. Bu iki kombinasyona göre bulunan sonuç dalga kümelerinden küçük olanı, aranan dalga karakteristikleri olarak seçilir.

Rüzgar belli bir zaman içerisinde değişkenlik gösterirse, dalga enerjisinin korunumu ilkesine dayanan başka bir yöntem izlenir. U_1 rüzgar hızı ile belirlenen noktadan eş enerji eğrisi izlenerek ($H^2.T^2 = \text{sabit}$) sonraki U_2 rüzgar hızına gelinir ve bu noktada t' esme süresi okunur. Okunan bu zaman değeri, U_1 hızındaki dalga enerjisinin aynısına ulaşabilmek için gerekli zamana karşılık gelmektedir. Bundan dolayı efektif esme süresi t_2' , t ile t' nün toplamına eşit olur. Sonra $U_2 \sim F_2$ ve $U_2 \sim t_2$ kombinasyonlarına göre dalga yükseklikleri ve periyotları okunur. Aranan dalga karakteristikleri bu değerlerden küçük olanlarıdır.



Şekil 2.6 Belirgin dalga karakteristikleri nomogramı (CERC, 1984)

2.2.2 Wilson Metodu

Bir tayfun yüksek bir hıza yaklaştığında; tayfun ile birlikte feç hareket etmekte ve rüzgarın hızı ile yönü oldukça fazla değişmektedir. Böyle bir durumda dalga karakteristiklerinin belirlenmesinde SMB yöntemine başvurulamaz. Çünkü bu yöntem kararlı feç gibi basit koşullar altında iyi sonuç vermektedir. Bu eksikliği gidermek için Wilson, feçin hareketini izleyen belirgin dalga yüksekliği ve periyodundaki değişimleri belirleyen bir grafik yöntem geliştirmiştir (Horikawa,1978).

2.2.3 Pierson-Neumann-James (PNJ) Metodu

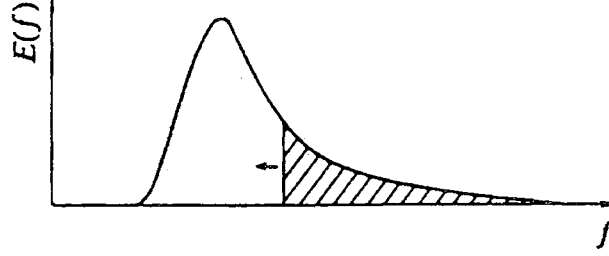
Pierson, Neumann ve James; tam gelişmiş bir deniz için Neumann Spektrumunu esas alan bir dalga tahmin metodu geliştirmişlerdir. Neumann, dalga gözlemlerine dayanarak feç (F) ve esme süresi (t) ile sınırlanan ve rüzgar hızı (U)' nun sebep olduğu dalga spektrumunda bir düşük frekans limitinin varlığını keşfetmiştir. Bu sonuçtan hareketle adı geçen araştırmacılar, kritik frekans (f_{kr}) veya kritik açısal frekans olan $\sigma_{kr} = 2\pi f_{kr}$ ' in $U \sim F$ veya $U \sim t$ kombinasyonları ile belirlenebileceğini kabul etmişlerdir (Horikawa,1978).

Kritik frekansın altındaki frekans sırasında, dalga spektrumu enerji yoğunluğu sıfır veya ihmal edilecek kadar küçüktür. Bu açıklamalara göre kritik frekans değeri için biri $U \sim F$ ve diğeri $U \sim t$ kombinasyonundan olmak üzere iki değer belirlenebilir. Bunlardan büyük olan değer kritik frekans olarak seçilir. Çünkü büyük olan değer diğerinden daha fazla dalga enerjisi spektrumunu sınırlamaktadır. Kritik frekansın ötesinde enerji spektrumunun Neumann Spektrumuna eşit olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla spektrum şöyle ifade edilmiştir:

$$E(f) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} C f^{-6} \exp\left(-\frac{g^2}{2\pi^2} f^{-2} U^{-2}\right) & (f \geq f_{kr}) \\ 0 & (f < f_{kr}) \end{cases} \quad (2.22)$$

Burada "C" boyutlu bir sayıdır. Bu yaklaşımdaki temel düşünce şöyledir: İlk önce yüksek frekans bantları oluşup kırılma ve diğer şartlarla belli olan kararlı bir denge safhasına

gelinir. Sonraki safhada, rüzgardan suya enerji transferi daha düşük frekans bandı ile sağlanır. Buradaki dalgalar denge durumlarına ulaşmaya çalışırlar. Kısaca, enerji spektrumu yüksek frekans bandından düşük frekans bandına doğru geçer. Ancak, dalga spektrumunun gerçek durumu Şekil 2.7' de gösterildiği gibi kritik frekansta bu kadar net kesilmemektedir.



Şekil 2.7 Enerji spektrumu gelişimi (Horikawa, 1978).

PNJ metodu, Neumann spektrumunu esas almıştır. Ancak tam gelişmiş bir deniz için Pierson ve Moskowitz spektrumu gibi diğer spektrumlar için de başvurulabilecek niteliktedir.

2.3 Sığ Su Dalgası Tahmin Metodu

2.3.1 Bretschneider Metodu

Okyanus dalgalarından farklı olarak sığ sudaki dalgalar su derinliğine, taban sürtünmesine ve dalga kırılmasına göre belirlenen belli bir limit değerden daha fazla büyüyemezler. Rüzgar dalgalarının sığ sudaki gelişimleri henüz analitik olarak çözümlenememiştir. 1954 yılında Bretschneider tarafından pratik bir tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Sığ sudaki dalga transformasyonunun iki ana başlık altında incelenebileceğini düşünmüştür. Bunlar; rüzgardan kazanılan enerji ve taban sürtünmesine bağlı enerji kaybıdır (Horikawa, 1978).

Dalga yüksekliğindeki artış " ΔH_+ ", SMB yardımıyla hesaplanır. Dalga yüksekliğindeki azalma " ΔH_- " ise;

$$K_f = \frac{H_2}{H_1} \cong \left[1 + \frac{64\pi^3 f H_1 \Delta X}{3g^2 h^2} \left(\frac{h}{T^2} \right)^2 \frac{K_s^2}{\sinh^3(2\pi h/L)} \right]^{-1} \quad (2.23)$$

denklemini yardımıyla istenilen bölge için belirlenebilir.

Bu denklemde,

$H_{1,2}$: Sırası ile 1 ve 2'nci kesitlerdeki dalga yüksekliği

K_f : 1 ve 2'nci kesitlerdeki dalga yükseklikleri arasındaki oran

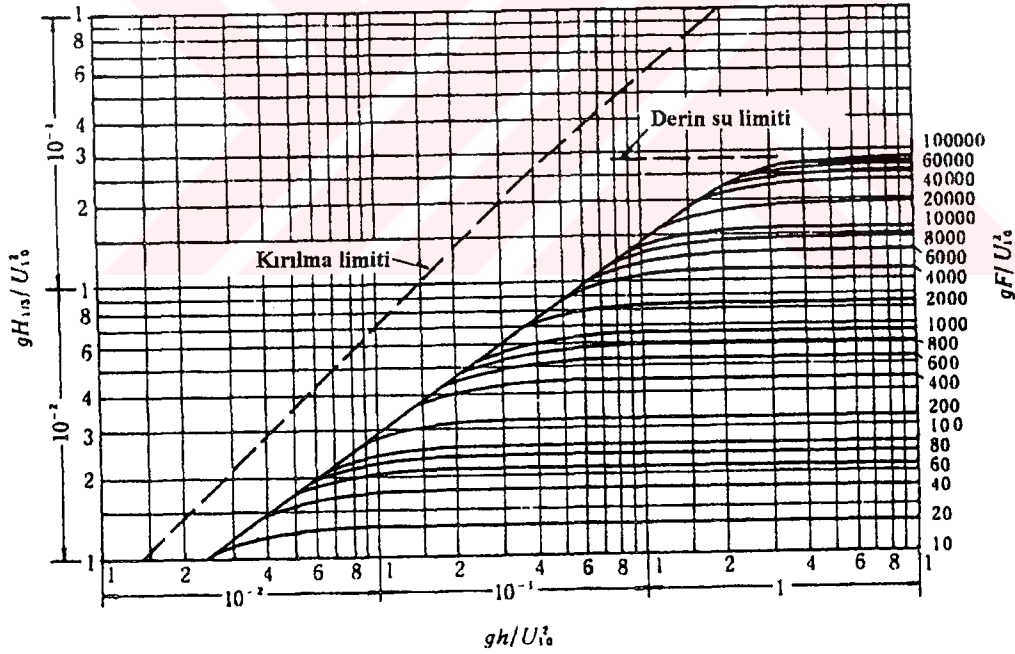
K_s : Sığlaşma katsayısı

f : Taban sürtünme faktörü (0.01~0.02)

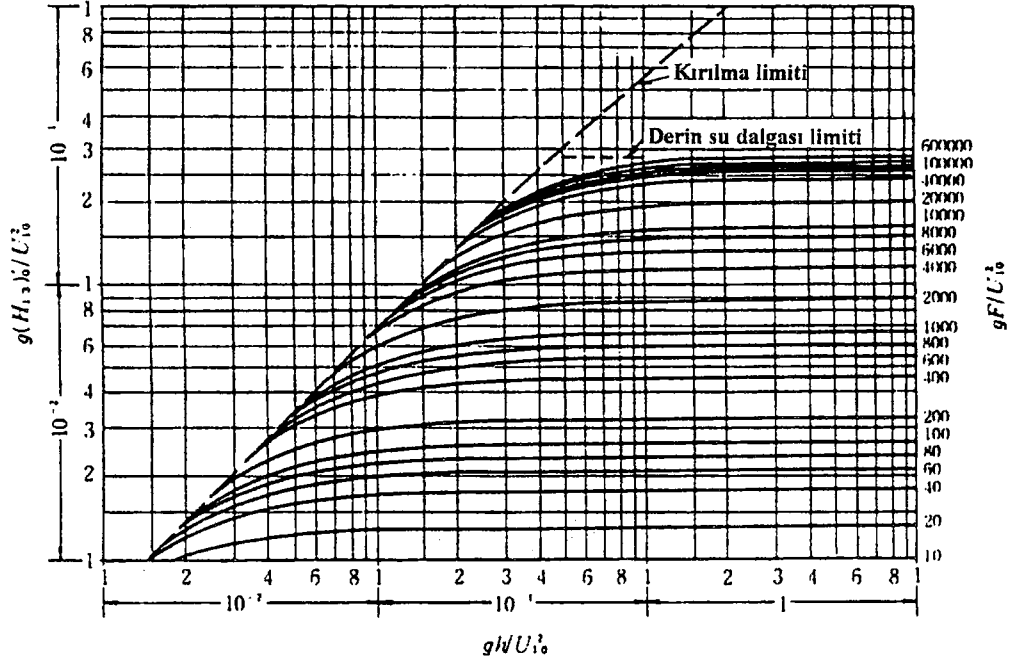
h : Derinlik

T : Periyot

Bu hesaplamalar sonucunda incelenen bölgenin sonundaki dalga yüksekliği artışı, (ΔH_+ - ΔH_-) kabulü ile tespit edilir. Bu düşünceler çerçevesinde Bretschneider, Şekil 2.8 ve 2.9'da verilen feç grafiklerini hazırlamıştır.



Şekil 2.8 Sınırsız esme süresi için sabit derinlikte rüzgar dalgalarının oluşumu (Horikawa, 1978).



Şekil 2.9 Sınırsız esme süresi için sabit eğimli tabanda rüzgar dalgası oluşumu, $f/m=5.28$
(f : taban sürtünme faktörü, m : taban eğimi) (Horikawa, 1978).

Üniform su derinliğindeki belirgin dalga yüksekliği " $H_{1/3}$ " için Şekil 2.8 grafiği kullanılır. Belli bir " h " derinliğinde ve üniform taban eğimi üzerindeki belirgin dalga yüksekliği " $H_{1/3}$ ", Şekil 2.9' dan elde edilen $(H_{1/3})_0$ ile " K_s " in çarpılması sonucu elde edilir. $(H_{1/3})_0$ burada, eşdeğer derin su dalga yüksekliğini temsil etmektedir.

Belirgin dalga periyodu " $T_{1/3}$ "ün belirlenmesinde tam gelişmiş bir deniz için verilen aşağıdaki amprik formülü kullanmak mümkündür.

$$T_{1/3} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} \quad (\text{Birimler m. ve sn.}) \quad (2.24)$$

2.4 Soluğan

Soluğan terimi, rüzgarla oluşup üretildikleri alanın dışında hareket eden dalgaları anlatmaktadır. Feç alanının dışında, artık rüzgardan dalgalara enerji sağlanmamaktadır. Dolayısıyla soluğanlar, temelde dalga dispersiyonuna bağlı olarak tedricen azalmaktadır.

Dalga dispersiyonu, açısal dispersiyon ve ilk oluşan küçük dalgaların grup hızları arasındaki farklılığa bağlı olan dispersiyonu kapsamaktadır (Horikawa, 1978). Açısal dispersiyon, rüzgar oluşumlu dalgaların yönel spektruma sahip olmalarından kaynaklanır. Benzer periyoda sahip dalgalar bile ortalama rüzgar yönü ile $-\pi/2 \sim +\pi/2$ arasında değişen açılar yaparak birçok yönde ilerlerler. Grup hızlarındaki farklılığa dayanan dispersiyon ise; düşük frekanslı (uzun periyotlu) dalgaların yüksek frekanslı (kısa periyotlu) dalgalardan daha hızlı ilerlemesiyle oluşur. Dispersiyona ek olarak soluğanlar, enerjisini içsel sürtünmeden ve ters yönlü rüzgardan dolayı da harcamaktadırlar. Buna göre soluğanlar, kendi feçi içerisinde hareket eden dalgalara nazaran daha yassı dalga tepelerine sahip olup daha düzenli ve uzun periyotludurlar.

Ölü deniz dalgasının tahmin edilebilmesine yönelik çalışmalara Sverdrup ve Munk öncülük etmişlerdir. Sonrasında Pierson, Neumann ve James olaya başka bir açıdan yaklaşmışlardır. Burada, kısaca, Bretschneider tarafından verilen bağıntılara yer verilecektir.

$$\frac{(H)_{1/3 D}}{(H)_{1/3 F}} = \left[\frac{k F_{1 \min}}{k F_{1 \min} + D} \right]^{1/2}$$

$$\frac{(T)_{1/3 D}}{(T)_{1/3 F}} = \left[k_2 + (1 - k_2) \frac{(H)_{1/3 D}}{(H)_{1/3 F}} \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

Burada,

F_{\min} : Minimum feç mesafesi

D : Sönümlenme mesafesi

F, D : İndisleri sırasıyla feç sonundaki ve sönümlenme mesafesi sonundaki değerleri göstermektedir.

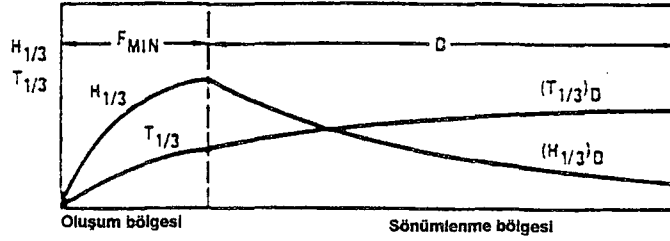
$k_1 \cong 0.4$ ve $k_2 \cong 2.0$ olmak üzere boyutsuz sabitlerdir.

Ölü deniz dalgasının, sönümlenme mesafesi "D" yi katetmesi için gerekli süre olan "t_D":

$$t_D = \frac{4\pi D}{g(T_{1/3})} \quad (2.26)$$

şeklinde verilmektedir.

Şekil 2.10'de gösterildiği gibi feç mesafesi "F", rüzgarın dalga enerjisini arttırdığı mesafe; sönümlenme mesafesi "D" ise dalga ilerleme yönünde dalgaların sönümlendiği uzaklıktır.



Şekil 2.10 Soluğanın oluşumu ve sönümlenmesi (Horikawa, 1978).

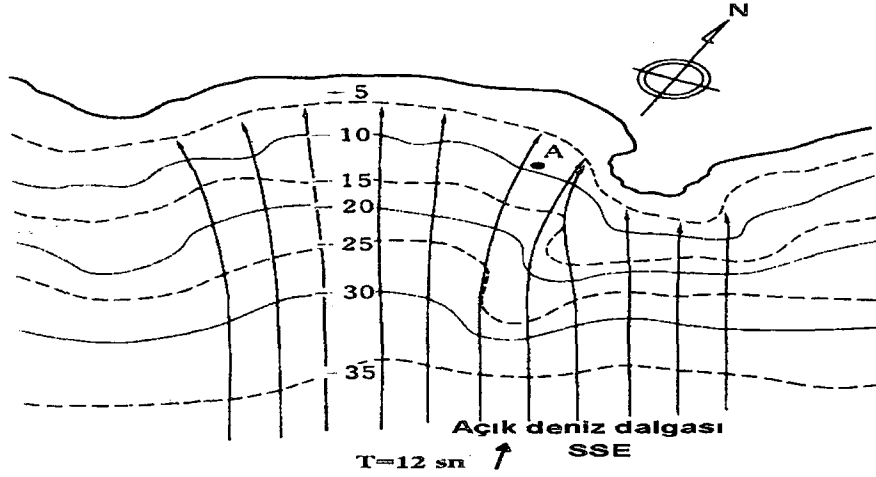
2.5 Dalga Transformasyonu

Açık denizden kıyıya doğru ilerleyen dalgalar, taban konfigürasyonundaki değişimlerden ve ada, burun, dalgakıran gibi nesnelere dolayı dönüşüme uğrarlar. Sonuçta, kararsız hale gelir ve belli bir su derinliğinde kırılırlar. Meydana gelen bu dönüşüm ve değişimlerin hepsi dalga transformasyonu başlığı altında toplanır. Bu kısımda dalga transformasyonu, küçük genlikli dalga teorisi ile ele alınmaktadır.

2.5.1 Dalga sapması (refraction)

Su derinliğinin, dalga boyunun yarısından fazla olduğu bir alanda (derin su) dalgalar, deniz tabanından etkilenmeden ilerlerler. Ancak daha sığ bir bölgeye girdiklerinde dalga ilerleme yönü yavaşça sapmakta ve dalga tepeleri, deniz tabanının eş derinlik eğrilerine uyum göstermeye çalışmaktadırlar. Bu olaya ışık ve ses dalgalarında olduğu gibi dalga sapması denilmektedir.

Düzenli dalgaların sapma ile meydana gelen dalga yönü değişimleri, grafiksel olarak veya sayısal hesaplama yöntemi ile belirlenebilir.



Şekil 2.11 Düzenli dalgaların sapma diyagramı (Goda, 1985)

Şekil 2.11'de SSE yönünden yaklaşan 12sn. periyotlu düzenli dalgalar için grafik metod gösterilmektedir. Şekildeki oklu eğriler dalga ilerleme yönünü belirten dalga ışınlarıdır. Derin suda dalga ışınları arasındaki mesafe sabit olmasına rağmen, kıyı çizgisine yaklaşıldıkça taban özelliklerine bağlı olarak birbirine yaklaşır veya uzaklaşırlar.

Enerji kaybı ihmal edildiğinde, iki dalga ışını arasında sınırlanan dalga enerji akısı korunacağından, ışınlar arasındaki mesafeyle ters orantılı olarak dalga enerjisi yoğunluğu değişim göstermektedir. Çünkü dalga enerjisi, dalga yüksekliğinin karesi ile orantılıdır. Sapmaya bağlı gelişen dalga yüksekliği değişimi şu ifade ile verilir (Goda, 1985):

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_r \quad (2.27)$$

Burada,

b : İki dalga ışını arasındaki mesafe,

b_0 : Derin su bölgesinde iki dalga ışını arasındaki mesafe,

H : İlgili noktadaki dalga yüksekliği,

H_0 : Derin sudaki dalga yüksekliği,

K_r : Sapma katsayısıdır.

Dalgalar, derin bölgeden kurtulup kıyıya doğru ilerlerken taban batimetrisinden dolayı dalga tepesi boyunca dalga hızında değişimler olur. Dalga tepesi boyunca açısız sapmalar meydana gelir. Çünkü dalganın derin sudaki kısmı, sığ sudaki kısmına göre daha hızlı hareket etmektedir.

Batimetrideki değişimin dışında, dalgalar herhangi bir akıntıyı belli bir açı ile keserse yine dalga sapması oluşabilir. Akıntıya bağlı dalga sapmasının büyüklüğü, dalga tepeleri ile akıntının doğrultusu arasında kalan açığa, yaklaşan dalganın karakteristiklerine ve akımın gücüne bağlıdır. Akıntıya bağlı sapmanın hassas biçimde değerlendirilmesi güçtür. Bu konuda daha detaylı ilave araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kabuller:

- Dalga ışınları arasında kalan dalga enerjisi sabittir.
- Dalga ilerleme yönü, dalga tepesine dik ve dalga ışınları ile aynı doğrultudadır.
- Herhangi bir yerdeki belli periyoda sahip dalgaların hızı, sadece o yerdeki derinliğe bağlıdır.
- Taban topoğrafyasındaki değişim, yavaş ve dalga boyu ile ilişkilidir.
- Dalgalar; uzun tepe çizgili, sabit periyotlu, küçük genlikli ve monokromatik karakterde sayılırlar.
- Akıntı, rüzgar, kıyıdan yansımalar ve sualtı topografik değişimlerin etkileri ihmal edilebilirler.

2.5.1.1 Düzensiz deniz dalgalarının sapma katsayısı

Gerçek deniz dalgaları, farklı frekans ve yöndeki sonsuz sayıda dalga bileşenlerinden oluşurlar. Dolayısıyla dalgaların yükseklik değişimi, her bir bileşenin münferit olarak sapmaya maruz kaldığı düşüncesiyle, bütün bileşenlerin katılımı ile belirlenir. Düzensiz dalgaların sapma katsayısı $(K_r)_{eff}$ 'yi yaklaşık olarak belirlemek için, sığılaşma etkisini ihmal edilebilir kabul eden şu ifade verilmiştir (Goda, 1985):

$$(K_r)_{\text{eff}} = \left[\sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N (\Delta E)_{IJ} (K_r)_{IJ}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.28)$$

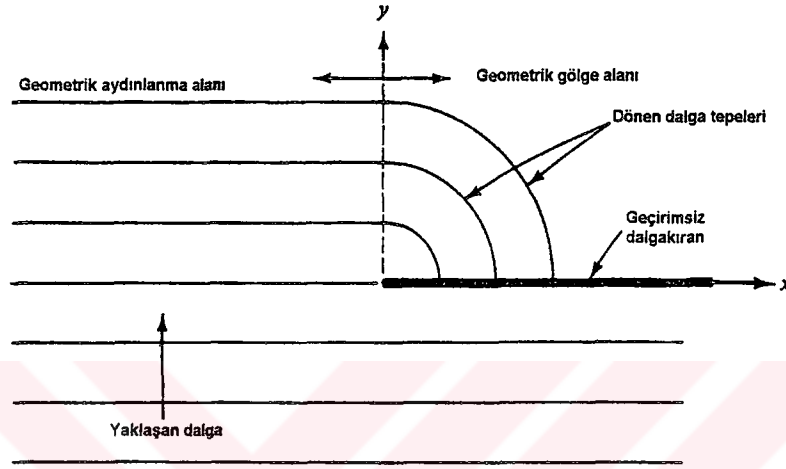
"eff" indisi düzensiz dalgalara ait büyüklükleri belirtmektedir. Düzensiz dalgalar, frekansı ve ilerleme yönü birbirinden farklı olan bir çok sayıdaki düzenli dalgalardan oluştukları için tek bir frekans ve yön ile karakterize edilemezler. Dolayısıyla, frekans ve yönsel dağılımları belli bir eğrisel alan şeklindedirler. $(\Delta E)_{IJ}$ terimi I 'yinci frekansta ve J 'inci yöndeki dalga bileşenlerinin rölatif enerjisini göstermektedir. Frekans dağılım alanı $I=1$ 'den M 'ye kadar sayıda bölümlere, yönsel dağılım alanı ise $J=1$ 'den N 'ye kadar sayıda bölümlere ayrılarak her sektör için dalga sapma katsayısı hesaplanır ve efektif değer elde edilir. Bu ifadede (K_r) , dalga bileşenlerinden birinin sapma katsayısını belirtmekte olup frekans ve yöne bağlı bir fonksiyondur $(K_r(f, \theta))$.

2.5.1.2 Sapmanın uygulamadaki önemi

- Sapma, sığlaşma olayı ile birlikte belli bir yaklaşan derin su dalga kümesi için herhangi bir derinlikteki dalga yüksekliğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü, bir kıyı boyundaki dalga yüksekliği ve dalga enerjisi dağılımı üzerinde belirgin etkisi vardır.
- Dalga tepesi boyunca farklı kısımların farklı dalga yönlerine sahip olmaları, dalga enerjisinin bir noktada yoğunlaşmasına veya dispersiyonuna sebep olurlar. Bu da yapılara gelen dalga kuvvetlerini etkilemektedir.
- Sapma, kumsaldaki katı maddenin erozyonu ve yığılması üzerindeki etkisiyle taban topoğrafyasının değişimine neden olan faktörlerden biridir.
- Herhangi bir bölgeye ait yakın kıyı batimetrisinin genel bir tasviri, dalga sapma çizgilerini gösteren hava fotoğrafları yardımıyla gerçekleştirilebilir. Böyle bir teknik imkan yoksa tecrübeli bir gözlemci, sapma rejimine bakarak taban topoğrafyası hakkında genel bir görüş edinebilir.

2.5.2 Dalgaların dönmesi

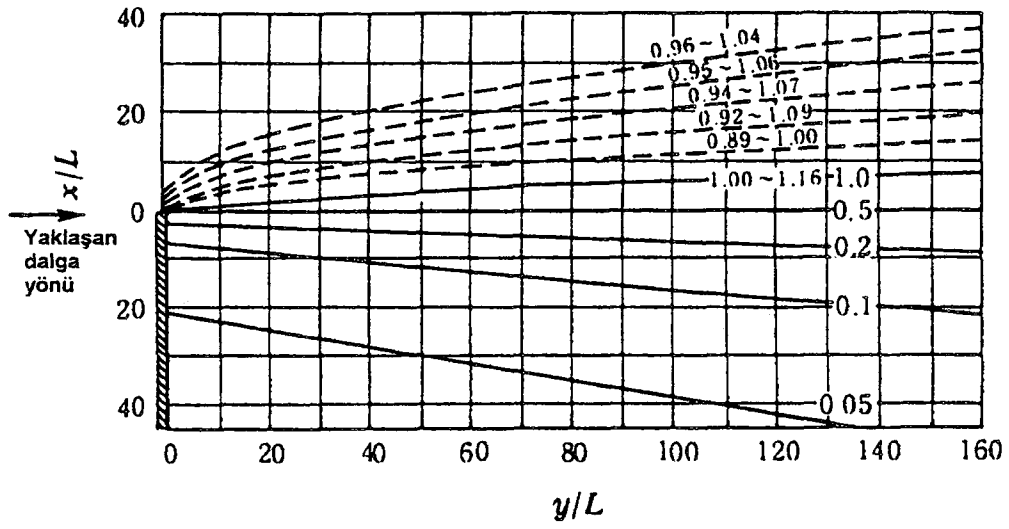
Dalgalar, ilerlemeleri esnasında dalgakıran, ada veya burun gibi engellerle karşılaştıklarında bu oluşumun etrafından dönmeye başlarlar. Dönme olayı ile birlikte dalgalar, cismin geometrik gölge alanı olarak isimlendirilen bölgeye girerler ve enerji transferi bir dalga tepesi boyunca yanal doğrultuda gerçekleşir. Bu olaya dalga dönmesi denir (Şekil 2.12).



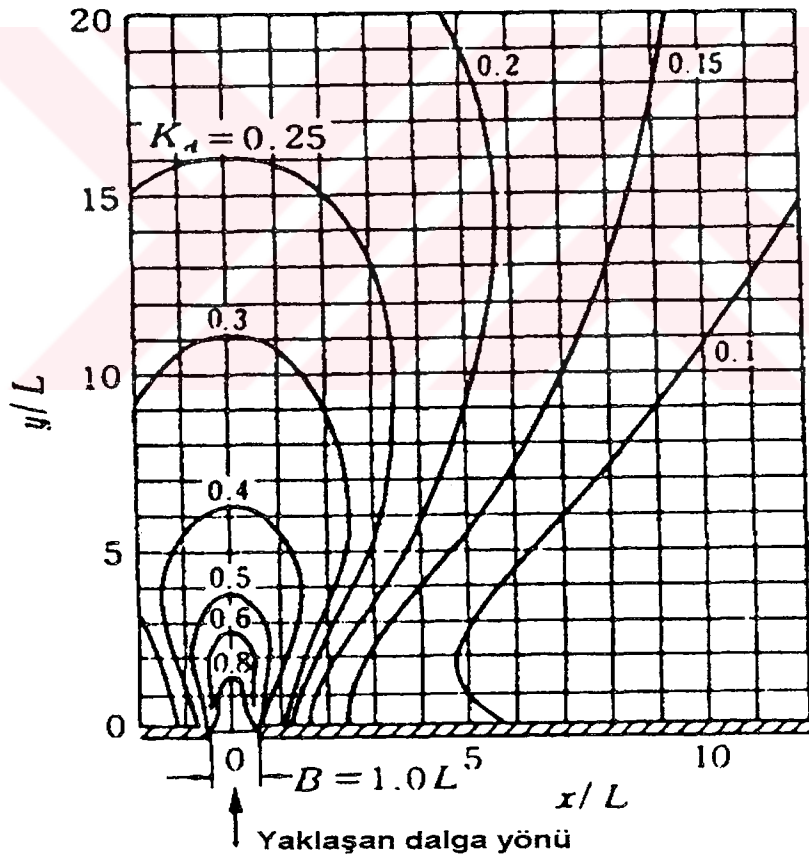
Şekil 2.12 Dalga enerjisinin bir yapı arkasında kalan geometrik gölge alanındaki dönmesi (Dean ve Dalrymple, 1994)

Üniform derinlikteki düzenli dalgaların dönmeye uğramış yükseklik dağılımı, Sommerfeld'in hız potansiyeli teorisine dayanan çözümü ile hesaplanabilir (Goda, 1985). Elde edilen sonuçlar derlenerek, dönen dalganın yaklaşan dalga yüksekliğine oranının dağılımını gösteren Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'deki diyagramlara dönüştürülmektedirler.

Bu diyagramlar sabit periyotlu ve tek yönlü düzenli dalgalar için hazırlanmıştır. Gerçek durumda, doğrudan bu diyagramların kullanılması önerilmez; çünkü, yanlış sonuçlar verebilmektedirler. Basitçe dönme faktörü (dönme katsayısı) olan " K_d ", dönen dalga yüksekliği " H_d "nin yaklaşan dalga yüksekliği " H_i "ye oranı olarak verilir (Horikawa, 1978).



Şekil 2.13 Yarı sonsuz dalgakıran için genelleştirilmiş dönme diyagramı (Horikawa, 1978)



Şekil 2.14 Genelleştirilmiş dalga dönmesi diyagramı (Horikawa, 1978)

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} = |F(x, y)| \quad (2.29)$$

F: x ve y'nin bir kompleks fonksiyonunu belirtmektedir.

Gerçek denizde, dönen dalgaların yükseklikleri, yönsel dalga spektrumunun kullanıldığı şu ifade ile hesaplanabilir (Goda, 1985):

$$(K_d)_{\text{eff}} = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^{\theta_{\text{max}}} \int S(f, \theta) K_d^2(f, \theta) d\theta df \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.30)$$

Bu ifadeye;

$S(f, \theta)$: Yönsel dalga spektrumu

$(K_d)_{\text{eff}}$: Düzensiz dalgaların dönme faktörü

$K_d(f, \theta)$: f frekansına ve θ ilerleme yönüne (açısına) sahip dalga bileşenlerinin dönme faktörü

m_0 : Yönsel spektrum integrali

$$m_0 = \int_0^{\theta_{\text{max}}} \int S(f, \theta) d\theta df \text{ 'dir.} \quad (2.31)$$

(2.30) ifadesi kullanıldıktan sonra Japonya'da Nagoya Limanında, hem liman içinde hem de dışında eş zamanlı dalga gözlemleri yapılmış ve bu ifadenin geçerliliği doğrulanmıştır.

2.5.3 Sığlaşma

Genişliği sabit ve derinliği gittikçe azalan bir kanalda dalgalar ilerlerken dalga boyu ve dalga hızında azalmalar olur. Aynı zamanda dalga yüksekliği de değişir. Değişken derinliğe bağlı gelişen dalga yüksekliğindeki bu değişime dalga sığlaşması denir.

Dalga yüksekliğindeki değişimin sebebi, enerjinin ilerleme hızındaki değişimden kaynaklanır (grup hızının derinlik ile değişimi).

Küçük genlikli, tek bir periyoda sahip dalgaların sığlaşma ile oluşan dalga yüksekliği değişimi şu ifade ile verilir (Goda, 1985):

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{(C_G)_0}{C_G}} = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right\} \tanh \frac{2\pi h}{L}}} \quad (2.32)$$

Burada;

K_s : Sığlaşma faktörü

$$C_G = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right] C \quad \text{Dalga grup hızı}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{Dalga hızı (faz hızı)}$$

$$(C_G)_0 : \text{Derin suda dalga grup hızı} = \frac{1}{2} C_0 = 0.78T \quad (\text{m/sn})$$

L: Dalga boyu

h: Su derinliği

H_0 : Eşdeğer derin su dalga yüksekliği

2.5.4 Dalga yansımaları

Kıyı yapılarının olduğu yerlerde veya taban konfigürasyonunun ani olarak değiştiği yerlerde dalga enerjisinin bir kısmı yansıtılmakta, diğer bir kısmı iletilmekte ve kalan kısmı ise kırılma, akışkan viskozitesi, taban sürtünmesi gibi etkenlerle harcanmaktadır (Horikawa, 1978).

Enerjinin Korunumu Kanunu şöyle ifade edilmektedir:

$$\bar{W}_I = \bar{W}_T + \bar{W}_R + \bar{W}_L \quad (2.33)$$

Burada;

\bar{W}_I : Birim tepe genişliğinde ve zamandaki yaklaşan ortalama dalga enerjisi

\bar{W}_T : Birim tepe genişliği ve zamandaki iletilen dalga enerjisi

\bar{W}_R : Birim tepe genişliği ve zamandaki yansıyan dalga enerjisi

\bar{W}_L : Birim tepe genişliği ve zamandaki ortalama enerji kaybıdır.

Dalga periyodunun korunduğu düşünülür ve iletilen ortalama dalga enerjisi birim tepe genişliği ve birim zamanda $\bar{W} = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_G$ ile ifade edilir. Dolayısıyla Denklem 2.33 şu şekilde yazılabilir:

$$1 = K_T^2 + K_R^2 + K_L \quad (2.34)$$

Burada;

$$K_T = \frac{H_T}{H_i} \quad \text{İletim faktörü}$$

$$K_R = \frac{H_R}{H_i} \quad \text{Yansıma faktörü}$$

K_L : Enerji kaybı faktörüdür.

Dalgalar bir yapıdan yansıdığına, yapı önünde çalkantıya sebep olurlar veya bir miktar ilerleyerek sakin bir alanda rahatsızlık doğurabilirler. Bu yüzden mümkün olduğunca, dalga yansımalarının önlenmesi arzulanır. Yansıyan dalgaların ilerlemesinin belirlenmesi kadar enerji harcanımının bilinmesi de bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir çok yapıya ait yansıma faktörü " K_R " nin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çünkü, yapılara bağlı olarak meydana gelen kısmi dalga kırılması ile birleşik olan dalga yansıması için teorik bir analiz makul olmamaktadır. Birçok kaynakta belirtildiği gibi yaklaşık yansıma faktörü değerleri, Goda (1985) tarafından Çizelge 2.1'de verilmektedir. Düşey bir duvardaki yansıma faktörü değişim aralığı, dalga aşmasının büyüklüğüne bağlı olup kronman yüksekliğinin artması ile birlikte artmaktadır. Şev eğimli dolgularda ve doğal sahillerdeki yansıma faktörleri, yaklaşan dalgaların dalga dikliği ile

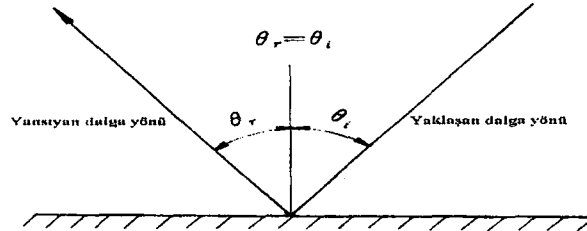
ters orantılı olup yüksek değerleri uzun periyotlu suluğanlara karşılık gelmektedir (Goda,1985).

Çizelge 2.1 Yansımaya faktörünün yaklaşık değerleri (Goda, 1985)

Yapı Tipi	Yansımaya faktörü (K_R)
Su seviyesi üzerinde bir kronman bloğuna sahip düşey duvar	0.7 ~ 1.0
Batık kronman bloklu düşey duvar	0.5 ~ 0.7
Şev eğimli taş dolgular (eğim 1/2 ~1/3)	0.3 ~ 0.6
Enerji sönmüleyici beton bloklu şev eğimine sahip yapılar	0.3 ~ 0.5
Enerji sönmüleyici düşey yapı tipi	0.3 ~ 0.8
Doğal kıyı	0.05 ~ 0.2

2.5.4.1 Yansıyan dalgaların ilerlemesi

Geometrik optik teorisine göre; her düzensiz deniz dalgası bileşeni, geldiği açıya eşit bir açı ile yansır ve bu yönde ilerler. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Yansıyan dalgaların yönü (Goda, 1985)

Bu yaklaşımdan hareketle, sığ suda yansıtıcı bir yapıya uzun periyotlu ve büyük genlikli dalgaların büyük bir açı ile yaklaşması durumunda (neredeyse yapıya paralel yaklaşan dalgalar) net bir yansıyan dalga oluşumuna neden olmayabilirler. Bunun yerine, yapı boyunca hareket eden ölü deniz dalga tepeleri oluşur. Bu olaya "Mach-stem" yansımaları denir ve tsunami (deprem dalgası) sırasında gözlenmiştir (Wiegel, 1964).

Yansıyan dalgaların liman çalkantısı üzerindeki etkileri oldukça karışıktır. Çünkü, sadece dalga yüksekliği değil dalga yönü de problemin kapsamındadır. Eğer sadece dalga yüksekliği ile liman çalkantısı irdelenecek olursa enerji bileşenlerinin toplamı şeklinde belirlenebilir (Goda, 1985).

$$H_S = \sqrt{H_I^2 + (H_R)_1^2 + (H_R)_2^2 + \dots} \quad (2.35)$$

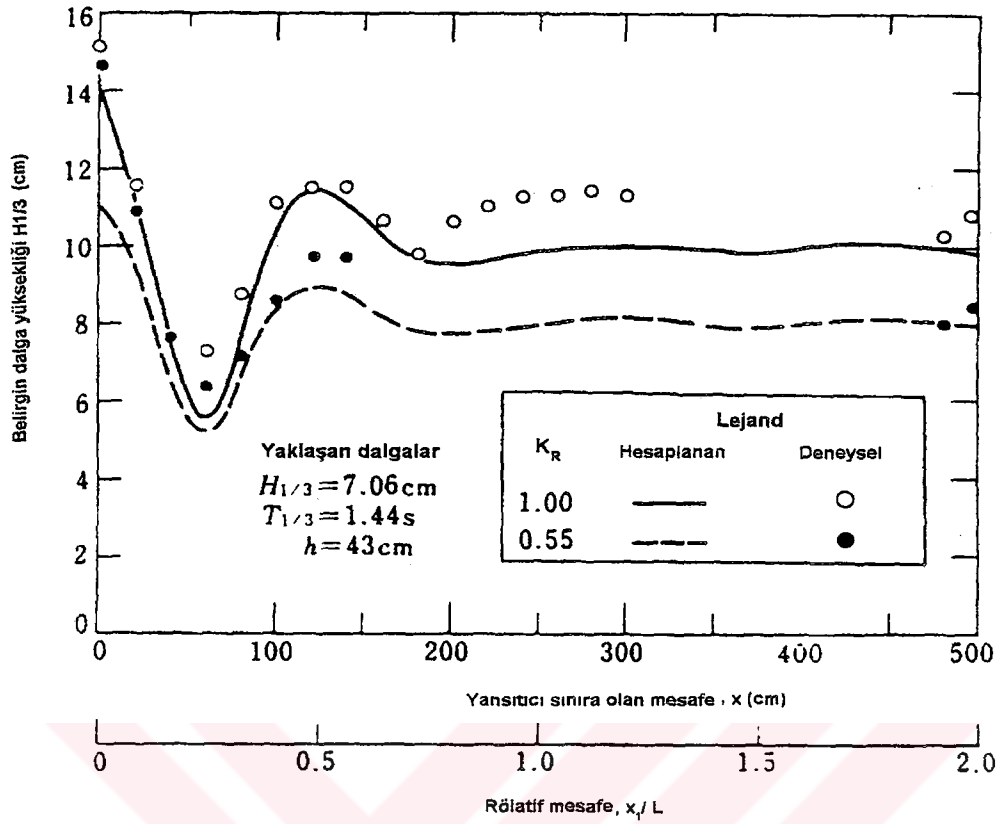
Burada;

H_S : Üst üste gelen (süperpoze olan) belirgin dalga yüksekliği,

$(H_R)_1, (H_R)_2, \dots$: Çeşitli yansıtıcı yapılardan yansıyan belirgin dalga yüksekliğidir.

(2.35) denklemi, yaklaşan ve yansıyan dalgalar arasındaki sabit faz ilişkisinden dolayı yapıların yakın çevresinde uygulanabilir değildir. Ancak, yansıtıcı yapıdan bir dalga boyundan daha fazla bir uzaklıkta düzensiz deniz dalgalarının çeşitli bileşenleri arasındaki bu faz girişimi ihmal edilecek niteliktedir. Dolayısıyla, denklem makul bir yaklaşım sunmaktadır. Denklem uygulanan Şekil 2.16'da gösterilmektedir.

Bu şekil, bir deney kanalında bir model yapısının önündeki dalga yüksekliği değişimini göstermektedir. Yaklaşan dalgalar düzensiz olup Bretschneider-Mitsuyasu tipi spektrumu ile temsil edilmektedir. İçi boş daireler tam yansıtıcı düşey bir duvara ait verileri, dolu olanlar ise yansıma katsayısı 0.55 olan bir model yapısında elde edilen verileri temsil etmektedir. Şekil 2.16'dan anlaşıldığı üzere, yansıtıcı yapının yakınında süperpoze olmuş dalgaların belirgin yüksekliklerinde bir düzensizlik vardır. Bu düzensizlik yapıdan uzaklaştıkça hızla azalmakta ve dalga yüksekliği asimptotik bir değere yaklaşmaktadır. Denklem 2.35 böyle asimptotik bir değeri belirlemek içindir.



Şekil 2.16 Düzensiz durağan dalga yüksekliğinin kuramsal değişimi (Goda, 1985)

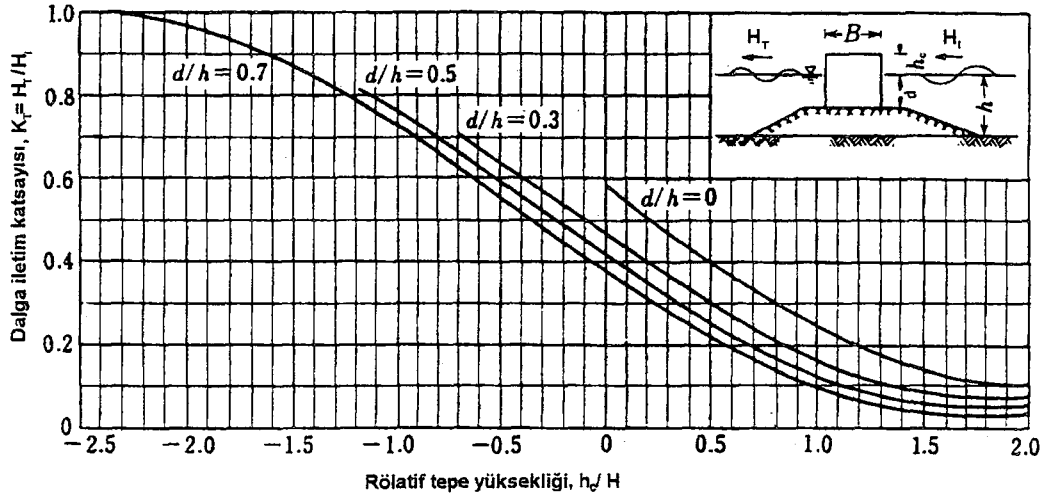
2.5.5 Dalgakırandan dalga iletilmesi (transmission)

Bir dalgakıranın temel işlevi, yaklaşan dalganın liman içerisine girmesini önlemektir. Dolayısıyla dönerik giren dalgalar, dalgakıranın boşluklarından içeri doğru iletilen dalgalar ve dalga aşması ile dalgakıranın liman tarafında meydana gelen dalgaların en aza indirilmesi gerekmektedir.

Dalga iletim katsayısı " K_T ", dalgakıran arkasında liman tarafında oluşan dalga yüksekliğinin, deniz tarafından dalgakırana yaklaşan dalga yüksekliğine oranı olarak ifade edilmektedir (Goda, 1985).

$$K_T = \frac{H_T}{H_i} \quad (2.36)$$

Şekil 2.17’de gösterilen K_T eğrileri Goda (1985) tarafından bazı laboratuvar deneylerine dayanarak verilmiştir. Bu diyagram düzensiz dalgalar için de kullanılabilir. Bu diyagram düzensiz dalgalar için de kullanılabilir.



Şekil 2.17 Düşey bir dalgakıran için dalga iletim katsayısı (Goda, 1985)

Düşey bir duvarda dalga iletim katsayısı için Kando ve Sato tarafından basit bir ifade verilmiştir (Goda, 1985):

$$K_T = 0.3 \left(1.5 - \frac{h_c}{H_I} \right), \quad 0 \leq \frac{h_c}{H_I} \leq 1.25 \quad (2.37)$$

Burada;

h_c : Sakin su seviyesi üzerinden dalgakıran tepesine olan yüksekliktir.

Dalga sönmüleyici beton bloklarla korunan düşey bir duvar için ise;

$$K_T = 0.3 \left(1.1 - \frac{h_c}{H_I} \right), \quad 0 \leq \frac{h_c}{H_I} \leq 0.75 \quad (2.38)$$

ifadesini vermişlerdir.

Taş dolgu dalgakıranlarda dalga iletilmesi daha farklı olmaktadır. Taş dolgu içerisinde blok dolguya nazaran daha az boşluk vardır ve dolgu taşları arasında kalan boşlukların

boyutları, bloklar arasındakine göre daha küçüktür. Sonuç olarak dalganın geçmesi oldukça azaltılmaktadır. Thornton ve Calhoun (1972), taş dolgu dalgakıranlar için dalga iletim katsayısını arazide %10~30 olarak bulmuşlardır. Genel olarak; düşük dalga dikliğine sahip (H/L) uzun periyotlu dalgalar, yüksek dalga dikliğine sahip kısa periyotlu dalgalardan daha fazla dalga geçmesine (wave permeation) neden olurlar. Ancak, taş dolgu dalgakıran bünyesinden dalga geçmesi ile ilgili düzensiz dalgalarla yapılan, sistematik hidrolik testler bulunmamaktadır. Böyle testlerde ölçek etkilerinin hesaba katılması için modeldeki taş büyüklüğünün seçiminde oldukça hassas davranılmalıdır. Çünkü taşlar arasındaki boşluklardan geçen akımın enerji dağılım oranı "Reynolds Sayısına" bağlıdır.

2.6 Surf Salınımı (Dalga kaynaklı ortalama su seviyesi değişimleri)

Dalgalar, içerisinde ilerledikleri akışkan kütlesi üzerinde net zamana göre ortalama kuvvet sarf ederler. Bu, net kütle ve momentum akısına sebep olur. Dalga yüksekliğinin yatay bir gradyanı olduğu zaman yerel ortalama su derinliğinde değişimler meydana gelir. Kıyı boyu akıntıları surf bölgesinde, dalgalar kıyıya bir açı ile yaklaştıklarında oluşurlar. Bu olay, Longuet-Higgins ve Stewart (1964) 'ın formülüne ettiği gerilme akısı (radiation stress) kavramı ile açıklanabilir (Van Rijn, 1994). Net kütle ve momentum akıları "H²" terimlerini ihtiva ettiklerinden non-lineer etkilere sahiptirler. Ancak, bu etkiler lineer dalga teorisine başvurularak elde edilebilirler.

2.6.1 Gerilme akısı

2.6.1.1 Dalgaların kıyı çizgisine dik olması durumu:

Dalga hareketi için potansiyel akımı ele alalım (akıntı yok). X-yönündeki (dalga ilerleme yönü) momentum dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho UV)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho UW)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} \quad (2.39)$$

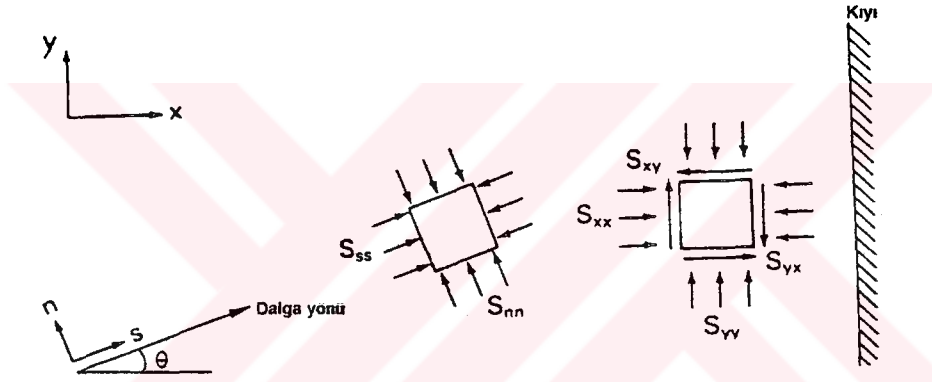
U, V, W sırasıyla xy yönündeki (kıyı çizgisine dik), yy yönündeki (kıyı çizgisine paralel) ve z yönündeki (düşey) anlık hızları ifade etmektedir.

(2.39) ifadesi düzenlenirse;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U) = -\frac{\partial}{\partial x}(P + \rho U^2) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho UV) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho UW) = \Sigma F_x \quad (2.40)$$

elde edilir.

Denklem 2.40'ın sağ tarafındaki bileşenler her birim alandaki efektif anlık kuvvetler olarak tanımlanabilirler ve $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ boyutlu akışkan kontrol hacmine etki edip kontrol hacminin yerel momentumunda zamana bağlı değişimler meydana getirirler (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Açısal gelen dalgalar için kuvvet akıları (Van Rijn, 1994)

Sabit su derinliği kabulü ile Denklem 2.40, dalga periyodu ve derinlik boyunca ($z=-h$ 'dan $z=\eta$ 'ya kadar) integre edilirse ve hidrostastik akışkan basıncı çıkarılırsa aşağıdaki her birim genişlik için zaman-ortalama yanal kuvvetler elde edilir:

$$S_{xx} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-h}^{\eta} (P + \rho U^2) dz dt - \int_{-h}^0 P_0 dz \quad (2.41)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-h}^{\eta} (\rho UV) dz dt \quad (2.42)$$

P_0 : Yüzeyden aşağıya doğru "z" derinliğindeki hidrostatik akışkan basıncını göstermektedir.

S_{xy} bileşeni, dalgaların kıyı çizgisine dik gelmeleri durumunda sıfırdır ($V=0$).

y yönündeki momentum dengesi için benzer bir yaklaşımla:

$$S_{yy} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-h}^{\eta} (P + \rho V^2) dz dt - \int_{-h}^0 P_0 dz \quad (2.43)$$

ifadesi yazılabilir.

(2.41), (2.42) ve (2.43) denklemleri ile verilen kuvvetler genel olarak "kuvvet akıları" olarak bilinirler. Bu kuvvetler, sabit bir noktadaki akışkan kütlesi üzerinde dalga hareketi tarafından kullanılırlar ve birim genişlik için verilirler (N/m). Ayrıca; P,U,V ve η ifadeleri değiştirildikten sonra integrasyon ile dalga parametrelerine dayandırılabilirler. Lineer dalga teorisine göre;

$$S_{xx} = \left(2n - \frac{1}{2}\right) \frac{1}{8} \rho g H^2 = \left(2n - \frac{1}{2}\right) \bar{E} \quad (2.44)$$

$$S_{yy} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{1}{8} \rho g H^2 = \left(n - \frac{1}{2}\right) \bar{E} \quad (2.45)$$

$$S_{xy} = 0 \quad (2.46)$$

şeklindedir.

Burada;

$$n: \text{Grup hızı ile faz hızı arasındaki oran } C_G = nC \quad (n \leq 1)$$

\bar{E} : Ortalama dalga enerjisi yoğunluğudur.

Bir bölgede dalgaların sabit derinlikte ve enerji kaybı olmadan ilerledikleri düşünülürse

(dalga yüksekliği sabit), S_{xx} ve S_{yy} sabittirler ($\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} = 0$; $\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} = 0$). Bu da

momentumda değişimin olmadığı anlamına gelir.

S_{xx} , S_{yy} ve S_{xy} gradiyanları;

$$\sigma_{xx} = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} \quad ; \quad \sigma_{yy} = \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad \text{ve} \quad \sigma_{xy} = \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \quad (2.47)$$

şeklinde yazılır. Bu gerilmelere "gerilme akıları" denilmektedir.

2.6.1.2 Dalgaların kıyıya belli bir açı ile gelmesi durumu:

Dalga yönündeki ve bu yöne dik yayılma kuvvetleri, x-y koordinat sistemine uyarlanarak (bakınız Şekil 2.18):

$$S_{xx} = \left(n - \frac{1}{2} + n \cos^2 \theta \right) \bar{E} \quad (2.48)$$

$$S_{xy} = (n \cos \theta \sin \theta) \bar{E} \quad (2.49)$$

$$S_{yy} = \left(n - \frac{1}{2} + n \sin^2 \theta \right) \bar{E} \quad (2.50)$$

elde edilirler. " θ " x yönü ile dalga ilerleme doğrultusu arasında kalan açıdır. $\theta = 0^\circ$ için dalgalar kıyı çizgisine diktir ve yukarıdaki denklemler (2.44), (2.45), (2.46) ifadelerine dönüşürler.

2.6.2 Kırılmayan dalgalarda alçalma (wave set down)

(2.44)'den (2.50)'ye kadar olan denklemler, tedricen değişen taban eğimi durumu için yaklaşık bir geçerlilik arz etmektedir (Şekil 2.19).

x yönündeki kuvvet dengesi aşağıdaki şekildedir:

$$\sigma_{xx} + \rho g(h + h') \frac{dh'}{dx} = 0 \quad (2.51)$$

Burada;

h: Sakin su derinliği

h' : Sakin su seviyesine göre su seviyesi değişimi

$$\sigma_{xx} = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} = \text{gerilme akısıdır.}$$

Denklem 2.51, yatay gerilme akısının ortalama su seviyesi değişimine bağlı hidrostatik bir basınç gradyanı ile dengelendiğini anlatmaktadır. Zayıflama etkileri yok kabul edilerek, $d(\bar{E}nC)/dx = 0$ ve $h' \ll h$ olduğu dūřunūlerek enerji akısı dengesi kullanıldığında (2.51) denklemi kıyıya dik ($\theta=0^0$) dalgalar için integre edilebilir:

$$h' = -\frac{kH^2}{8\sinh(2kh)} \quad (2.52)$$

Burada;

H: Yerel dalga yūksekligi

$$k = \frac{2\pi}{L} : \text{Dalga numarası}$$

L: Yerel dalga boyudur.

(2.52) denklemi, ortalama su seviyesindeki bir alçalmayı vermektedir. Çünkü kıyıya doęru $dS_{xx}/dx > 0$ olmakta ve bu yōnde S_{xx} būyūmektedir. Bu denklem kırılma hattına (dalga yūksekliginin max. olduęu hat) kadar geçerli olmaktadır. Daha sonra sıę su yaklařımına bařvurulur:

$$h'_{br} \cong -\frac{H_{br}^2}{16h_{br}} \cong -\frac{1}{16}\gamma H_{br} \quad (2.53)$$

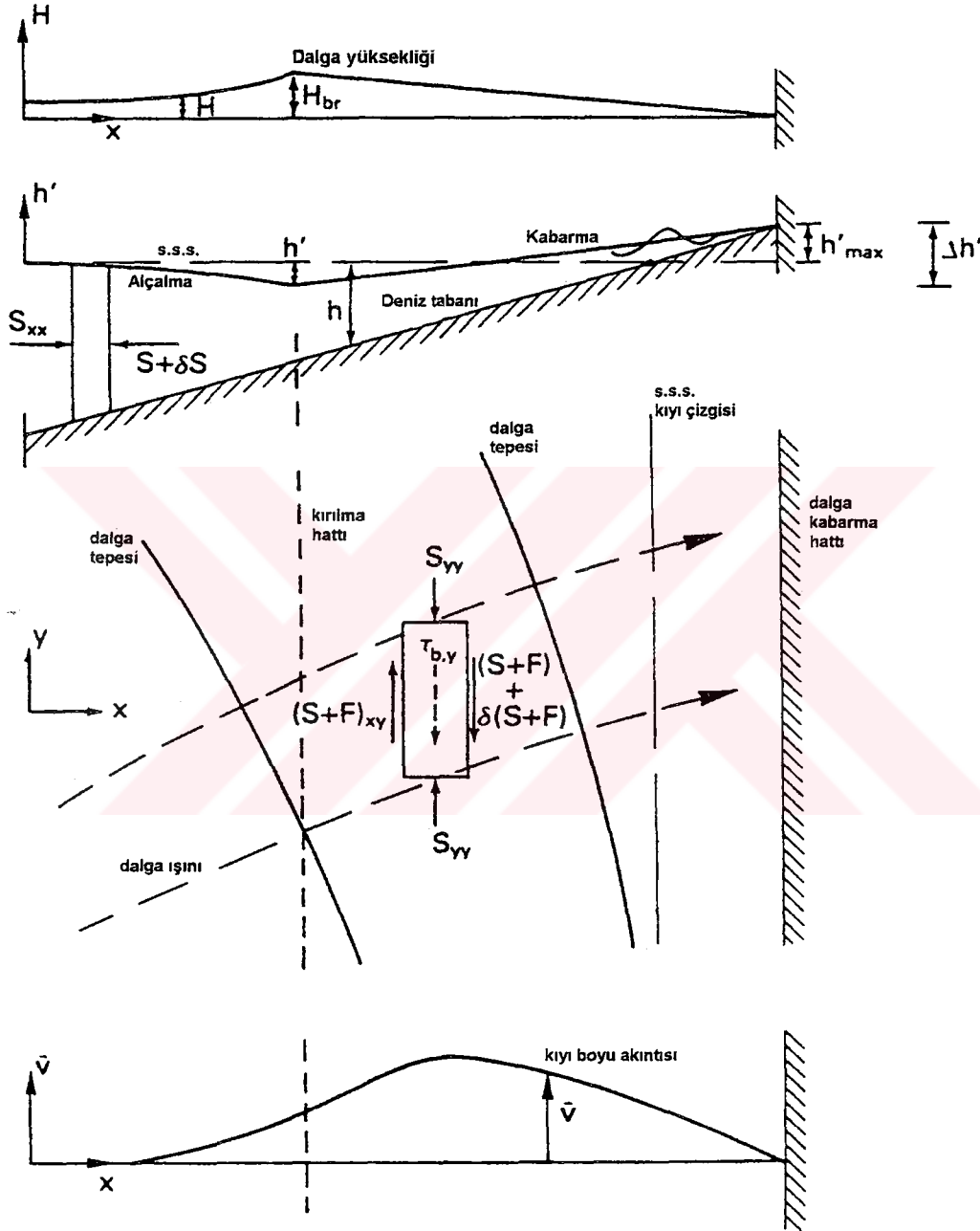
Burada;

$$\gamma = \frac{H_{br}}{h_{br}} = \text{Kırılma faktōrū} (\approx 0.8 \text{ spilling tipi kırılma için})$$

H_{br} : Kırılma hattındaki dalga yūksekligi

h_{br} : Kırılma hattındaki su derinliğidir.

Ölçülen h'_{br} değerleri hesaplanan değerlerden yaklaşık olarak %50 daha küçük olmaktadır.



Şekil 2.19 Dalga kaynaklı su seviyesi değişimleri ve akıntılar (Van Rijn, 1994)

2.6.3 Kırılan dalgalarda kabarma (wave set up)

Surf bölgesinde kırılan dalgalarla, sıg su yaklaşımına $S_{xx} = 1.5\bar{E}$ verilerek başvurulabilir.

Surf bölgesinde $H = \gamma(h + h')$ kabul edilerek ve sabit bir kırılma faktörü γ ile;

$$S_{xx} = \frac{3}{2}\bar{E} = \frac{3}{16}\rho g \gamma^2 (h + h')^2 \quad \text{elde edilir.} \quad (2.54)$$

(2.54)'te verilen kuvvet akısı, kıyıya doğru gidildikçe "h" derinliği sığlaştığından azalmaktadır. (2.51) denkleminde göre ortalama su seviyesinde bir artış vermektedir. Denklem 2.54 ile (2.51) birlikte düşünülürse:

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{3}{8} \gamma^2 (h + h') + h' \right] = 0 \quad (2.55)$$

Buna göre;

$$\frac{3}{8} \gamma^2 (h + h') + h' = \text{sabit } K \quad \text{veya} \quad \frac{3}{8} \gamma H + h' = K \quad (2.56)$$

elde edilir. K sabiti kırılma hattındaki sınır koşulundan belirlenebilir. (2.53) ve (2.56) denklemlerinden:

$$\frac{3}{8} \gamma H_{br} - \frac{1}{16} \gamma H_{br} = K \quad \text{veya} \quad K = \frac{5}{16} \gamma H_{br} \quad \text{buradan;}$$

$$h' = \frac{5}{16} \gamma H_{br} - \frac{3}{8} \gamma H \quad (2.57)$$

elde edilir. Kırılma faktörü γ surf bölgesinde sabittir. h' değerinin maximum değeri h'_{max} , $H=0$ için:

$$h'_{max} = \frac{5}{16} \gamma H_{br} \quad (2.58)$$

şeklindedir. Surf bölgesinde toplam ortalama su seviyesi farkı ise:

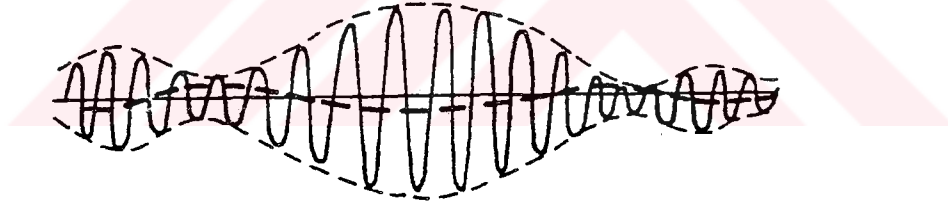
$$\Delta h' = \frac{5}{16} \gamma H_{br} + \frac{1}{16} \gamma H_{br} = \frac{3}{8} \gamma H_{br} = \frac{3}{8} \gamma^2 h_{br} \quad (2.59)$$

şeklinde verilir.

Bu denklemler, surf bölgesinde düzlem eğimli taban durumunda lineer bir su seviyesi yükselmesini vermektedirler (bakınız Şekil 2.19).

Dalga kabarması, denge durumuna ulaşmak için yeterli zaman periyoduna sahip dalgaların hareketine bağlıdır (≈ 1 saat). Büyük dalga grupları, nispeten daha büyük su miktarlarını kıyı çizgisine taşıyarak kabarmaya sebep olurlar. Ancak, bu suların bir kısmı dalga grupları arasındaki daha sakin fasılalar esnasında geriye akabilmektedirler.

Yüksek ve alçak dalga gruplarının varlığına bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet akısının yatay değişimleri tarafından Şekil 2.20'de gösterilen uzun dalga grubu üretilmektedir.



Şekil 2.20 Uzun dalga grubu (Van Rijn, 1994)

Kuvvet akısı S_{xx} , yüksek dalgalar altında maximum; alçak dalgalar altında minimum olmaktadır. dS_{xx}/dx gradyanı yersel alçalmalara ve yükselmelere sebep olmaktadır. Dalgalar hareket ettikçe sınırlı hareket eden bir uzun dalga grubu meydana gelmektedir (Van Rijn, 1994).

Surf salınımı, kırılan dalga gruplarının kabarma zamanı içerisinde meydana getirdiği değişimlerin sebep olduğu uzun dalgalardır. Bu, serbest uzun dalgaların deniz tarafına ve kıyı tarafına doğru yayılmalarına yol açmaktadır.

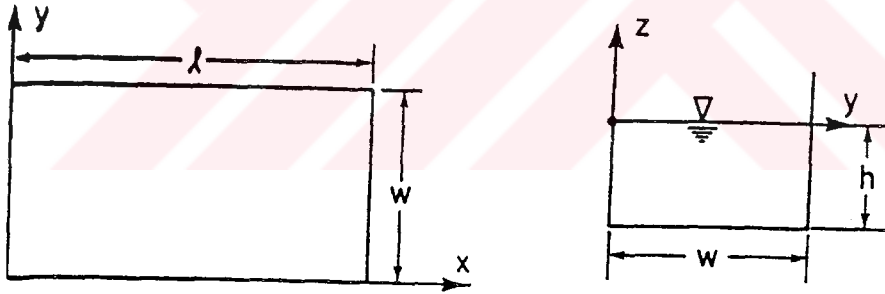
2.7 Liman İçi Salınımları

Körfez, liman ve göl salınımları; deniz taşımacılığı, kıyı yapısı tasarımı ve kıyılarda taşkın olayları üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptirler. Örneğin, bağlanmış bir geminin hareketleri kendi dinamik tepkisi ile kontrol edildiğinden etkileyen kuvvet fonksiyonunun büyüklüğü ve frekansı hayati önem taşımaktadır (Raichlen ve Lee, 1992).

2.7.1 Kapalı basenlerde serbest salınım

2.7.1.1 Dikdörtgen basen durumu:

Kapalı ve açık basenlerde serbest salınımı daha iyi anlamak için kapalı bir dikdörtgen baseni inceleyelim (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Dikdörtgen basenin tanım şeması (Raichlen ve Lee, 1992)

Akışkan, viskozitesiz ve sıkışamaz olarak kabul edilir. Viskozitesiz akışkan kabulüne göre elde edilen sonuçlar büyük dikkatle yorumlanmalıdır. Örneğin, bir limanda beklenen en yüksek dalga genliğinin değeri liman girişindeki ve sınır yüzeyleri boyundaki enerji dağılımı ile meydana gelir. Genelde, böyle serbest salınım probleminde sıkışabilirliğin etkisi ihmal edilebilir.

Düşey yan duvarlı kapalı bir dikdörtgen basende dalga genliği dağılımını elde etmek için sıkışamaz ve çevrintisiz akım kabulü ile küçük genlikli dalga teorisine başvurulur. Geçirimsiz sınırlarda sıfır akım düşünülerek ve lineer serbest yüzey sınır koşulu "Laplace" denklemi ile ele alınarak hız potansiyeli elde edilir (Raichlen ve Lee, 1992):

$$\Phi = \sum \sum A_{n,m} \cos \frac{n\pi x}{\ell} \cos \frac{m\pi y}{w} \quad (2.60)$$

$$A_{n,m} = \frac{a_{n,m} g \cosh k_{n,m}(h+z)}{\sigma_{n,m} \cosh k_{n,m}h} \quad (2.61)$$

Burada;

a: Dalga genliği

ℓ, w :Basenin platform boyutları

h: Derinlik

$k_{n,m}$:Dalga numarası ($2\pi/L$)

$\sigma_{n,m}$: Açısal frekans($2\pi/T$)

n,m: 0,1,2,3,... gibi modu belirten tam sayılar

Su yüzeyinde lineer kinematik ve dinamik bağıntılar kullanılarak

$$\sigma_{n,m}^2 = gk_{n,m} \tanh k_{n,m}L \quad (2.62)$$

dispersiyon ifadesi elde edilir. Bu ifadeler kullanılarak x ve y yönlerindeki verilen bir mod için (n,m) salınımların dalga genliğini veren bağıntı elde edilir:

$$\eta_{n,m} = a \cos \frac{n\pi x}{\ell} \cos \frac{m\pi y}{w} \cos \sigma_{n,m}t \quad (2.63)$$

Denklem (2.60-2.61) ile Denklem 2.63'de ifade edilen salınımlardan daha karmaşık salınımlar ifade edilebilir. Eğer "m" veya "n" sıfır olursa süreklilik sağlanabilir ve salınım basitçe iki boyutlu olarak mod şekli de Denklem 2.63 ile ifade edilir. Bu problemin

çözümünün tamamlanması için bu mod salınımlarının periyotları belirlenir. Serbest salınım modlarının periyotları, kapalı basenlerin "zorlanmış salınımları" hakkında bilgi vermektedir. Bu modlara karşılık gelen dalga numaraları:

$$k_{n,m}^2 = \left(\frac{n\pi}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{w}\right)^2 \quad (2.64)$$

şeklinde ifade edilebilirler.

Verilen bir derinlik için Denklem 2.64, dispersiyon bağıntısı olan Denklem 2.62 içerisinde yazılırsa salınım modlarının periyodu elde edilebilir. Sığ suda dispersiyon ifadesi;

$$\sigma^2 = (gh)k^2 \quad (2.65)$$

olduğuna göre sığ su hareketlerinin salınım modları için dalga periyotları:

$$T_{n,m} = \frac{2}{\sqrt{gh}} \left[\left(\frac{n}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{m}{w}\right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.66)$$

şeklindedir. Sadece x yönündeki salınımlarda $m=0$ ve Denklem 2.66 oldukça tanınan Merian formülüne dönüşür:

$$T_n = \frac{2\ell}{n\sqrt{gh}} \quad (2.67)$$

Denklem 2.66 ve Denklem 2.67'de verilen periyotlar "doğal periyotlar" olarak da anılırlar ve liman rezonansının değerlendirilmesinde önem taşırlar.

2.7.1.2 Dairesel basen durumu:

Dikdörtgen basende salınım sonuçlarını tamamlayan başka bir temel şekil de yine sabit derinlikli dairesel basendir. "R" çaplı ve sabit "h" derinliğine sahip dairesel bir basendeki dalga genliği değişimi, yine dikdörtgen basende olduğu gibi Laplace denklemi ve sınır koşullarından elde edilebilir. Verilen bir serbest salınım modu için genlik değişimi:

$$\eta_n = A_n J_n(kr) \cos n\theta \cos \sigma t \quad (2.68)$$

şeklindedir.

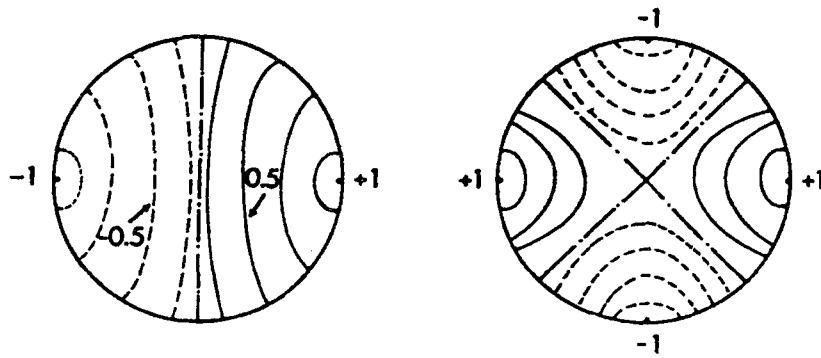
Burada;

$J_n(kr)$: İlk mertebeden Bessel fonksiyonu

r, θ : Polar koordinatlar

A_n : Keyfi bir sabittir.

Salınım modlarının periyotları; $r = R$ 'deki, $\partial \eta_n / \partial r = 0$ olan dış duvar sınırındaki "sıfır akım" sınır koşulundan türetilmektedir. Bu koşul Denklem 2.68'de kullanıldığında, orijin etrafında simetrik olan salınım modları için $J_1(kr) = 0$ ve $n=0$ olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Denklem 2.68, "n" nin, baseni bölen düğüm çizgilerinin (nodal lines) sayısını belirttiğini anlatmaktadır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Dairesel basende iki doğal modun konturları (Mei, 1994)

$J_1(kR) = 0$ 'ın birkaç kök değerleri:

$kR=3.832, 7.016, 10.173$ vs.

Genelde, serbest salınımın yüksek modları için "kR" değerleri şöyle ifade edilir:

$$kR = \frac{nJ_n(kR)}{J_{n-1}(kR)} \quad (2.69)$$

Örneğin n=1 iken Denklem 2.69, kR= 1.841, 5.33, 8.53 gibi değerler vermektedir. n=1'e karşılık gelen ve kR=1.841 için oluşan salınım modu Denklem 2.68'den elde edilir ve dairesel bir basenin "sıçrama modu" (sloshing mode) olarak adlandırılır. Bu mod için maksimum genlik değişimi;

$$\eta_1 \propto J_1(kr) \cos \theta \quad (2.70)$$

ile ifade edilir. Sığ su dalgaları için serbest salınım periyodu ifadesi aşağıdadır:

$$T = \frac{2\pi/k}{\sqrt{gh}} \quad (2.71)$$

Buna göre; sabit derinlikli dairesel basen için sıçrama modu periyodu:

$$T = \frac{3.41R}{\sqrt{gh}} \quad (2.72)$$

şeklinde olacaktır. Sabit derinlikli kare basenin sıçrama modu periyodu ise;

$$T = \frac{4(\ell/2)}{\sqrt{gh}} \quad (2.73)$$

eşitliğiyle ifade edilir.

Eğer "R" yarıçaplı dairesel bir basenle aynı alana sahip bir kare basen ele alınırsa, bu konfigürasyon için en düşük mod $T = 3.54R/\sqrt{gh}$ şeklinde olur. Bu da, dairesel durum için olan periyodun %3 daha fazlası olmaktadır.

2.7.1.3 Karmaşık şekilli basen durumu:

Daha çok karmaşık platformlar ve derinlik değişimleri ihtiva eden kapalı basenlerde mod şekilleri için kesin çözümler genellikle mümkün olamamaktadır. Bu yüzden, yaklaşık çözüm metotlarına ihtiyaç vardır. Oldukça büyük kapalı basenlerde daha küçük salınım modları, sığ sudaki dalga boylarına ve periyotlarına bağlıdırlar. Dünyada, birkaç kapalı göl için gözlemlenen salınım temel modunun periyotları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2'de verilen bu uzun periyotlar, salınımın daha küçük modları için önerilen sığ su dalga yaklaşımını desteklemektedir. Daha genel şekilli kapalı basenler için basitleştirilmiş bir metot yardımıyla küçük mod periyotları yaklaşık olarak elde edilebilmektedir. Bu durumlarda, uzun dalgalar için süreklilik denkleminde ve serbest yüzey sınır koşulundan faydalanılmaktadır (Raichlen ve Lee, 1992).

Çizelge 2.2 Dünyadaki bazı göllerin temel salınım modu periyotları (Wilson, 1972)

Gölün adı	Yeri	Salınım modu periyodu T (dakika)
Cenova	İsveç	74.0
Konstanz	Almanya - İsviçre sınırı	55.8
Ontario	ABD	289.0
Erie	ABD	858.0
Michigan - Huron	ABD	2700.0
Michigan	ABD	543.0
Süperior	ABD	480.0
Baykal	Rusya	278.2
Aral	Rusya	1368.0
Azov	Rusya	1470.0
Baltık Denizi (Finlandiya Körfezi)	Finlandiya	1636.0

Bir limandaki belirgin salınımlara birçok dış kuvvet sebep olabilir. Ancak en etkili olanı periyodu birkaç dakika ile bir saat olan "tsunami (deprem dalgaları)" tarafından

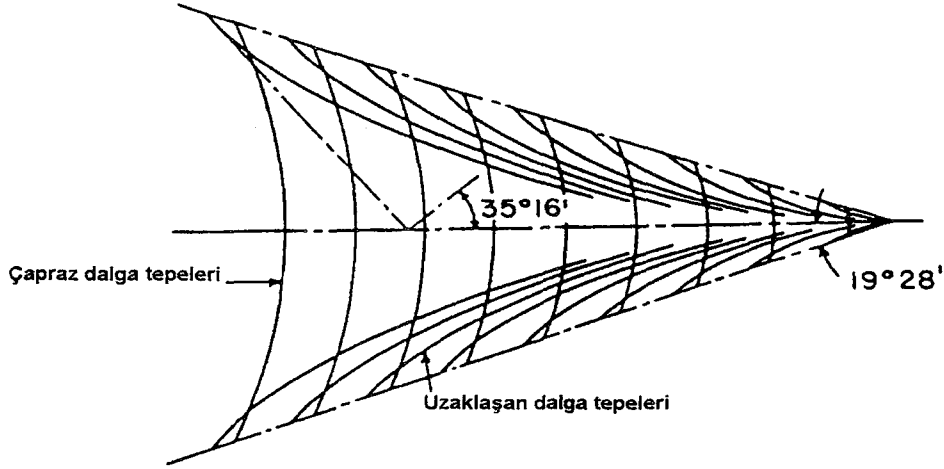
oluşturulanlardır. Bunlar uzak mesafede oluşan depremlerle meydana gelirler. Eğer tsunaminin süresi yeteri kadar uzun ise limanda meydana gelen salınımlar, günlerce devam edebilirler. Sonuçta bağlanma halatlarında kopma, usturmaçalarda hasar, yanaşma yerlerinde, yüklemeye veya girişteki gemi seyirinde riskler oluşmaktadır. Bazen gelen gemiler içerideki salınımlar uygun düzeye gelinceye kadar liman dışında beklemek zorunda kalırlar (Mei, 1994).

Bu salınımların fiziksel mekanizmasını kısaca anlayabilmek için uzun ve düz bir kıyı hattına yerleştirilmiş bir limanı düşünelim. Kıyıya yakın dalgalar, kıyı boyunca kısmen yansır ve kısmen de soğrulmaktadır. Ancak; dalgaların küçük bir kısmı liman girişinde dönmeye uğrar ve içerideki yapılarla tekrar tekrar yansıtılmaktadır. Yansıyan dalganın enerjisinin bir kısmı limandan kurtulup tekrar açık denize doğru yayılmaktadır. Bir kısmı da yine içeride kalmaktadır. Eğer dalga gelmesi uzun süreli olursa ve yaklaşan dalga frekansı kapalı basen içindeki durağan dalga frekansına yakın değerde ise basen içerisinde rezonans oluşmaktadır. Böylece; o kadar da kuvvetli olmayan yaklaşan bir dalga, liman içerisinde büyük bir tepkiye neden olabilmektedir (Mei, 1994).

Liman içi sakinlik düzeyinin araştırılması pratikte liman içerisindeki dalga yüksekliğinin değerlendirilmesi ile yapılmaktadır. Liman salınımlarının sakinlik problemine etkisi; dalga genliğinden ziyade gemi seyirini zorlaştıran liman girişindeki akıntılar ve bağlanma-yanaşma yerlerinde gemi manevralarını bozan rezonanslar olmaktadır.

2.8 Gemi Dalgaları

Hareket halindeki gemilerin ve deniz araçlarının oluşturdukları dalgalar, genel olarak gemi dalgaları başlığı altında toplanmaktadır. Bu tip dalgaların oluşum mekanizması Kelvin tarafından şöyle açıklanmaktadır (Lamb, 1932): Bir taş su yüzeyine düştüğü zaman, su yüzeyinde dairesel dalgalar oluşturur. Eğer taşlar belli bir hız ile su yüzeyinde hareket etseler ve aynı zamanda belli bir zaman aralığında suya düşseler; birbirini etkileyen, tepe çizgileri oluşturan sürekli dalgalar üretirler (Stoker, 1957). Böylece, Şekil 2.23'de verildiği şekilde "uzaklaşan" (divergent) ve "çapraz" (transverse) dalga sistemi oluşmaktadır.



Şekil 2.23 Kelvin gemi dalgası modeli (Eggers vd., 1967)

Gerçek bir gemi, hareket halindeyken baş tarafında suyu kenarlara iter ve arka tarafında ise suyu emerek Şekil 2.23’de gösterilen sistemin aynısını oluşturup ilerlemektedir.

Gemi dalgalarının etkileri; kanal seddelerinde eğimli toprak yüzeylerde erozyon, küçük gemilerde seyir güçlüğü, özellikle yüzme ve su sporlarında olmak üzere liman içi çalkantı rahatsızlığı olarak kendilerini hissettirmektedirler.

2.8.1 Dalga sistemi

-Uzaklaşan dalga:

Gemi baş tarafının biraz ilerisinde oluşmaya başlayan ve $19^{\circ} 28'$ lık bir açı ile merkez çizgisi ve teğet hatları arasındaki üçgen alan içerisinde birbirinden uzaklaşarak ayrılan dalgalardır (Şekil 2.23).

-Çapraz dalga:

Bir geminin arkasında ters eğriler biçimindeki dalga tepe çizgilerine sahip dalgalardır. Bu tip dalgalar, güçlükle farkedilebilen oldukça yassı bir dikliğe sahiptirler (Şekil 2.23). Gemi dalgalarında en yüksek dalga, uzaklaşan ve çapraz dalgaların kesiştiği bir noktada oluşmaktadır. Dalgaların görünen faz hızı gemi hızı ile aynıdır.

2.8.1.1 Dalga boyu ve dalga periyodu

-Çapraz dalga:

$$\frac{gL_t}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_t} = V^2 \dots\dots\dots (V < \sqrt{gh}) \quad (2.74)$$

Burada;

L_t : Çapraz dalga boyu (m)

V : Geminin hızı (m/s)

Derin suda;

$$L_0 = \frac{2\pi}{g} V^2 = 0.169 V_k^2 \quad (2.75)$$

L_0 : Derin sudaki dalga boyu

V_k : Geminin hızı (knot).....($V_k = 1.946V$)

$$T_t = \sqrt{\frac{2\pi}{g} L_t \coth \frac{2\pi h}{L_t}} = T_0 \coth \frac{2\pi h}{L_t} \quad (2.76)$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{g} V = 0.330 V_k \quad (2.77)$$

T_t : Çapraz dalga periyodu (s)

T_0 : Derin suda dalga periyodu (s)

-Uzaklaşan dalga:

$$L_d = L_t \cos^2 \theta \quad (2.78)$$

$$T_d = T_t \cos \theta \quad (2.79)$$

L_d : Uzaklaşan dalga boyu (m)

T_d : Uzaklaşan dalga periyodu (s)

θ : Uzaklaşan dalga yönü ile çapraz dalgaların merkez çizgisi arasında kalan açıdır.

Gerçek bir gemi için $\theta_{\min} \cong 40^0$ 'dir ve $\theta \cong 50^0 - 55^0$ olduğu noktalarda dalga yüksekliği maksimumdur.

2.8.2 Sığ suda gemi dalgaları

Gemi dalgaları, $V \leq 0.7\sqrt{gh}$ olduğunda derin su dalgaları gibi düşünülebilirler. (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Derin su dalgası durumu (Japan Marine Prevention Association, 1976)

Gemi hızı V_k , (knot)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.5	30.0
Su derinliği h , (m)	1.4	3.1	5.5	8.6	12.4	16.9	22.0	34.4	49.6
Çapraz dalga periyodu T_0 (sn)	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	6.6	8.3	9.9

Bundan dolayıdır ki; gemi dalgaları çoğunlukla derin su dalgalarıdır. Ancak, çok hızlı bir gemi veya motorlu bot oldukça sığ suda hareket ederse sığ suda gemi dalgaları oluşur.

Froud Sayısı ($Fr = V/\sqrt{gh}$), (2.74) bağıntısının bir fonksiyonu olduğu için, sığ sudaki dalga boyu ve periyodu, derin sudakinden daha büyük olmaktadır. Sığ suda gemi dalgalarının şekli değişmektedir. Teget hattı ile merkez çizgisi arasındaki açı, $V \geq 0.8\sqrt{gh}$ olduğu zaman hızla büyümektedir. $V = \sqrt{gh}$ olduğu zaman bu açı teorik olarak, 90^0 olur ve sadece gemi gidiş yönüne dik basit dalga şekilleri oluşur. Bunun sebebi uzaklaşan dalga ve çapraz dalganın üst üste gelip birbirine uygun şekilde birlikte ilerlemeleridir. $V > \sqrt{gh}$ olduğu zaman yalnızca uzaklaşan dalga oluşur; çapraz dalga kaybolur. Teget hattı açısı, V/\sqrt{gh} değerinin artmasıyla tedrici olarak azalmaktadır.

2.8.3 Dalga yüksekliği

Dalga yüksekliği henüz hassas olarak belirlenememektedir. Çünkü gemi dalgalarında dalga yüksekliği; gemi büyüklüğü ve hızına, su derinliğine veya gemiye olan bağlı mesafeye bağlıdır. Bunlara rağmen birçok araştırma sonucu bulunmaktadır. Bu sonuçların bazıları şunlardır:

- İyi tasarlanmış bir gemi, yüksek bir hız ile seyahat etse bile alçak dalgalar oluşturur. Çünkü, dalga meydana getirme özelliği, çoğunlukla gemi baş tarafının biçimine bağlıdır.
- Gemi hızının artması ile dalga yüksekliği de hızlı olarak büyür. Öyle ki; çok hızlı ilerleyen küçük bir tekne bile planlamada hesaba katılacak büyüklükte bir dalga yüksekliği üretebilir. Böyle dalgalar, gemi baş salınımlarına ve deniz üzerinde teknelerin kayıp ötelenmesine sebep olurlar.
- $L_t = (n + \frac{1}{2})L_s$ olduğu hızda dalga yüksekliği, gemi baş ve arka tarafındaki dalgaların fazlarının birbiriyle uyuşmasından dolayı artmaktadır. (L_s : gemi uzunluğu, $n:1,2,3,4,\dots$) $L_t = nL_s$ olduğu zaman fazlar birbirine ters ve dalgalar nispeten küçüktürler.
- Sığ suda, $V = \sqrt{gh}$ olduğu durumlarda dalgalar oldukça büyük yüksekliğe ulaşmaktadırlar.
- H_t ve H_d' nin iç kısmı, $1/\sqrt{d}$ ile orantılı olarak azalmaktadır. (H_t : çapraz dalga yüksekliği, H_d : uzaklaşan dalga yüksekliği, d : gemi dalga oluşum merkezinden ilgili noktaya olan mesafe) H_t , merkez çizgisinin dışında azalmakta ve böylece gemiden belli mesafede sadece uzaklaşan dalga gözlenebilmektedir.

- "Japan Marine Disaster Prevention Association" (1976) kuruluşu, gemi dalgaları için yaklaşık bir tahmin denklemini önermektedir:

$$H_o' = \left(\frac{L_s}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{E_{HPW}}{2.2L_s V_k}} \quad (2.80)$$

Burada;

H_o' : Ful kargo hızı ile seyahat eden bir geminin oluşturduğu dalganın, merkez çizgisinin 100 m. uzağındaki maksimum yüksekliğidir.

V_k : Ful kargo hızı (knot)

E_{HPW} : Dalganın ürettiği beygir gücü (PS metrik beygir gücü)

$$E_{HPW} = E_{HP} - E_{HPF} \quad (2.81)$$

$$E_{HP} = 0.6S_{HPM} \quad (2.82)$$

$$E_{HPF} = \frac{\rho}{2} S V_o^2 C_F \frac{V_o}{75} \quad (2.83)$$

$$S = 2.5 \sqrt{\nabla L_s} \quad (2.84)$$

$$C_F = 0.075 / \left(\log \frac{V_o L_s}{\nu} - 2 \right)^2 \quad (2.85)$$

Burada;

S_{HPM} : Sürekli maksimum aksenal beygir gücü (PS)

ρ : Su yoğunluğu ($\text{kg.s}^2/\text{m}^4$) $\rho = 104.5 \text{ kg.s}^2/\text{m}^4$

V_o : Ful kargo hızı (m/s)

C_F : Sürtünme direnci katsayısı

ν : Kinematik viskozite ($\approx 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

∇ : Ful kargo ihracı (displacement) (m^3)

(2.80) denklemi; gemi dalgası direnci için harcanan beygir gücünün gemi dalgalarının enerjisine eşit olduğunu kabul ederek geliştirilmiştir. Orta veya büyük deniz araçları için

$H_0' = 1 \sim 2$ m. civarındadır. Bir römorkör botu bile tam hızla ilerlediği zaman yüksek dalgalar üretebilir.

- Çapraz dalgalar, gemi durduktan sonra bile seyahat yönünde ilerlemektedirler. Bu tip dalgalar düzenli dalgalar gibi bir grup hızı ile ilerler ve dalga sapması gibi dönüşümlere uğramaktadırlar. " L_t " dalga boyu, ilerleme esnasında artmakta olup üniform derinlikte dahi " $H_t \propto 1/\sqrt{d}$ " ilişkisi korunmaktadır. Dalga ilerleme hızı, bulunduğu yerdeki grup hızına bağlıdır.



3. LİMAN İÇİ ÇALKANTISI İÇİN NÜMERİK BİR YAKLAŞIM

3.1 Dalga Transformasyonu Programı (L041)

Bu sayısal benzeşim modeli, açık denizde oluşan dalgaların kıyı bölgelerine ilerlemeleri sırasında taban topğrafyasının ve arada bulunan ada, burun gibi kara parçalarının etkilerini de dikkate alarak istenen bir noktadaki dalga karakteristiklerini belirlemektedir (Takayama ve diğerleri, 1991).

Programın temelini "Enerji Dengesi Denklemi" oluşturmaktadır. Bu denklem çok yönlü dalgaların sapmasını ve sığlaşmasını hesaplayabilmektedir (Takayama ve diğerleri, 1991).

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(SV_x) + \frac{\partial}{\partial y}(SV_y)}_{\text{Dalga sığlaşması}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial \theta}(SV_\theta)}_{\text{Dalga sapması}} = 0 \quad (3.1)$$

Denklemden "S" yönsel dalga spektral yoğunluğunu belirtmekte olup V_x, V_y ve V_θ ise şu şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} V_x &= C_G \cos\theta \\ V_y &= C_G \sin\theta \\ V_\theta &= \frac{C_G}{C} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \sin\theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cos\theta \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

C ve C_G sembolleri sırasıyla faz ve grup hızını belirtmekte olup;

$$\begin{aligned} C &= \frac{L}{T} = \frac{g}{2\pi} T \tanh \frac{2\pi h}{L} \\ C_G &= \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi h / L}{\sinh(4\pi h / L)} \right] C \end{aligned} \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Denklem 3.1'in çözümü analitik olarak oldukça güçtür. Dolayısıyla verilen sınır şartlarında çözüme ulaşabilmek için sonlu farklar metoduna başvurulur ve Denklem 3.1 yeniden yazılır.

$$\frac{\partial(D_s V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(D_s V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(D_s V_\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (3.4)$$

$$D_s = S \delta f \delta \theta$$

δf : frekans bandı genişliği

$\delta \theta$: yön bandı genişliği

Programın çalıştırılması için önce incelenen alan gridlere ayrılır (karelajlama yapılır). Birbirine komşu olan gridler arasında enerji dengesinin sağlandığı düşünülür. Dolayısıyla her grid için derinlik ve grid kenarlarının kara veya deniz olduğunu belirten sınır şartları veri olarak girilir. Program, her gride giren enerjinin gridden çıkan enerjiye eşit olduğunu varsayarak hesaplama yapmaktadır.

Denklem 3.1'den de görüleceği gibi "Enerji Dengesi Denklemi Metodu" dalga kırılmasını ve yansımaları dikkate almamaktadır. Bu eksikliği gidermek için Takayama ve diğerleri, (1991) kırılmaya bağlı enerji kaybını dikkate alarak, Denklem 3.4'ü;

$$\frac{\partial(D_s V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(D_s V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(D_s V_\theta)}{\partial \theta} = -\varepsilon'_b S \quad (3.5)$$

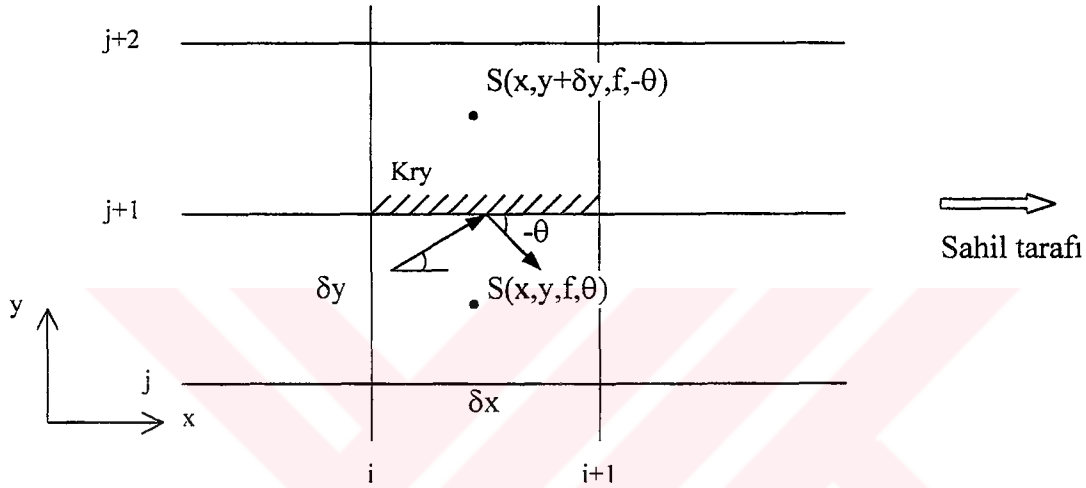
şeklinde ele almışlardır.

Burada, ε'_b kırılmaya bağlı birim zamandaki dalga enerjisi kaybıdır.

Programda dalga yansıması, x ve y eksenleri üzerinde olmak üzere iki şekilde ele alınmaktadır. j aksından yansıyan dalga, yansımadan sonra kıyıya doğru ilerlemektedir. Yansıma yüzeyinin arkasındaki dalga spektrumu (Şekil 3.1):

$$S(x, y + \delta y, f, -\theta) = K_{RY}^2 S(x, y, f, \theta) \quad (3.6)$$

K_{RY} : j aksındaki yansıma oranıdır.



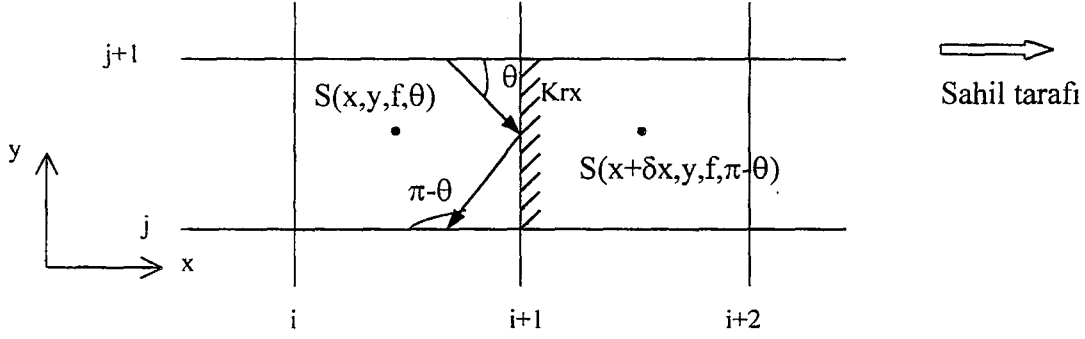
Şekil 3.1 j ekseninde dalga yansıması

i aksından yansıyan dalga yansımadan sonra açık denize doğru ilerlemektedir. Yansıma yüzeyinin arkasındaki dalga spektrumu (Şekil 3.2):

$$S(x + \delta x, y, f, \pi - \theta) = K_{RX}^2 S(x, y, f, \theta) \quad (3.7)$$

şeklinde belirlenir.

Dalga dönmesinin etkisi, bu metotta hesaba katılmamaktadır. Buna rağmen dairesel bir sahilde ve bir dalgakıranın arkasındaki dalga transformasyonunun belirlenmesinde, program iyi sonuçlar vermektedir. Bunun sebebi, gerçek deniz dalgalarının yönsel düzensizlik özelliğine sahip olmalarının dalga dönmesi etkisini zayıflatmalarıdır.



Şekil 3.2 i ekseninde dalga yansımaları

Dalga dönmesinin etkisi, gerçek deniz dalgalarının yönsel düzensizlik özelliğinden dolayı oldukça zayıflamaktadır. Dolayısıyla metot, dalgakıran arkasındaki dalga yüksekliklerinin kabaca belirlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca Japonya'da Kamaishi Körfezi'nde yapılan dalga transformasyonu model testlerinden de anlaşıldığı üzere saha gözlemleri ve nümerik metot ile hesaplanan değerler arasında, çok değişken bir taban topoğrafyasında bile en fazla %20 oranında bir fark olmaktadır.

3.2 Liman İçi Çalkantı Programı (L023)

Bu nümerik benzeşim modeli, bir liman içerisindeki genel dalga yüksekliği dağılımını hesaplamak için programlanmıştır. Programın temeli, dalga dönmesi ve yansımaları hesabı teorilerine dayanır (Takayama, 1981).

Programın hesaplama metodu iki ana unsur üzerine odaklanmıştır:

- 1- Liman ağzından içeriye giren dalgalar: Bu dalgaların hesaplanması, Takayama tarafından geliştirilen metotları esas almaktadır. Bu metotta dalgakıranın iç kesimlerinden yansıyıp limana giren dalgalar ve ikinci kez dalga dönmesine uğrayan dalgalar hesaplanabilmektedir. Bu programdan elde edilen sonuçlar, tek yönlü düzensiz dalgaların kullanıldığı hidrolik model deney sonuçları ile yeterli uyumu göstermektedir.

2- Yansıyan dalgalar: Liman ağzından içeri giren dalgalar düşey rıhtım duvarları tarafından yansıtılmaktadır. Yansıyan dalgaların başka yapılar tarafından tekrar yansıtılması da oldukça sık karşılaşılan bir durumdur.

$P(x,y)$ noktasındaki yansıyan dalga, yansıtıcı yapıyı ayrık bir dalgakıran gibi kabul eden aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\begin{aligned} \psi(x,y,f_n,\theta_m) = & \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ k_n r_1 \cos(\alpha_1 - \theta_m) + \frac{\pi}{4} - \frac{k_n B}{2} \cos \theta_m \right\} \right] \left[\left\{ C(\gamma_{11}) - \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{11}) - \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{k_R}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ k_n r_1 \cos(\alpha_1 - \theta_m) + \frac{\pi}{4} - \frac{k_n B}{2} \cos \theta_m \right\} \right] \left[\left\{ C(\gamma_{12}) + \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{12}) + \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ k_n r_2 \cos(\pi - \alpha_2 - \theta_m) + \frac{\pi}{4} - \frac{k_n B}{2} \cos \theta_m \right\} \right] \left[\left\{ C(\gamma_{21}) - \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{21}) - \frac{1}{2} \right\} \right] \\ & + \frac{k_R}{\sqrt{2}} \exp \left[i \left\{ k_n r_2 \cos(\pi + \alpha_2 - \theta_m) + \frac{\pi}{4} + \frac{k_n B}{2} \cos \theta_m \right\} \right] \left[\left\{ C(\gamma_{22}) + \frac{1}{2} \right\} - i \left\{ S(\gamma_{22}) + \frac{1}{2} \right\} \right] \quad (3.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \sqrt{4k_n r_1 / \pi} \cos \frac{\alpha_1 - \theta_m}{2} \\ \gamma_{12} &= \sqrt{4k_n r_1 / \pi} \cos \frac{\alpha_1 - \theta_m}{2} \\ \gamma_{21} &= \sqrt{4k_n r_2 / \pi} \cos \frac{\pi - \alpha_2 + \theta_m}{2} \\ \gamma_{22} &= \sqrt{4k_n r_2 / \pi} \cos \frac{\pi - \alpha_2 + \theta_m}{2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Burada;

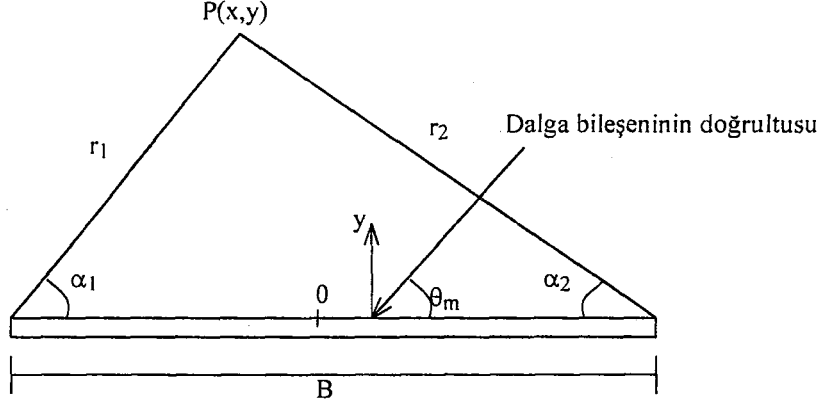
$C(\gamma)$, $S(\gamma)$: Fresnel integralleri

k_n : Frekansı f_n olan dalga bileşeninin dalga numarası

k_R : Dalgakıranın yansıtma katsayısı

θ_m : Dalga bileşeninin yaklaşma açısı

$\alpha_1, \alpha_2, r_1, r_2$: Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Dalga dönmesi hesabının değişkenleri

Bu programda düzensiz dalgalar, enerji spektrumu ile temsil edilmektedir. Bu, düzensizlik içerisindeki belli bir frekansı ve dalga yönü olan dalga bileşeninin enerjisini göstermektedir. Bunun gibi enerji yoğunluğu dağılımını gösteren fonksiyonlara yönsel spektrum denilmektedir. Yönsel spektrum frekans spektrumu ile yönsel dağılım fonksiyonunun çarpımına eşittir.

$$S(f, \theta) = G(f, \theta)S(f) \quad (3.10)$$

Burada;

$S(f, \theta)$: Yönsel spektrum

$S(f)$: Frekans spektrumu

$G(f, \theta)$: Yönsel dağılım fonksiyonu

f : Frekans

θ : Dalga yönü

- Frekans Spektrumu: Frekans spektrumu frekansa göre enerji dağılımını gösterir. Bu spektrum, yönsel spektrumun yönsel olarak integrasyonu sonucu elde edilir:

$$S(f) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(f, \theta) d\theta \quad (3.11)$$

Frekans spektrumunun dağılımı aşağıdaki denklem vasıtasıyla standardize edilmiş ve uygunluğu ispatlanmıştır.

$$S(f) = af^{-5} \exp(-bf^{-4}) \quad (3.12)$$

İki tip standardizasyon denklemi bulunmakta olup (Bretschneider - Mitsuyasu tipi ve Pierson - Moskowitz tipi) her tipte "a" ve "b" katsayıları farklı değerler almaktadırlar. Bu programda Bretschneider - Mitsuyasu tipi frekans spektrumu kullanılmıştır. Dolayısıyla a ve b katsayıları:

$$a = 0.2573 \frac{H_{1/3}^2}{T_{1/3}^4} \quad b = \frac{1.029}{T_{1/3}^4} \quad (3.13)$$

- Yönsel Dağılım Fonksiyonu: Bu fonksiyon enerji yoğunluğunun yönsel dağılımını göstermektedir. Bu program, Mitsuyasu tarafından bir çok gözleme dayanılarak geliştirilen Mitsuyasu tipi yönsel fonksiyonu kullanmaktadır.

$$G(f, \theta) = \int_{-\pi}^{\pi} G(f, \theta) \quad (3.14)$$

$$G(f, \theta) = G_0 \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$G_0 = \left[\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right) d\theta \right]^{-1}$$

Burada;

θ : Ana dalga yönünden saatin ters yönüne doğru ölçülen açı

S: Yönsel dağılım fonksiyonunun konsantrasyon düzeyini gösteren yayılma parametresi olup aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$\text{Eğer } \tilde{f} > \tilde{f}_p \text{ ise } S = 11.5 \tilde{f}^{-2.5}$$

Eğer $\tilde{f} \leq \tilde{f}_p$ ise $S = 11.5 \tilde{f}_m^{-7.5} \tilde{f}^5$ 'dir.

Burada;

$$\tilde{f} = 2.656 S_{\max}^{-0.4} \tilde{f}_p^{-1} f$$

$$\tilde{f}_p = 2.656 S_{\max}^{-0.4}$$

f_p : frekans spektrumunun pik frekansı

S_{\max} : Yayılma parametresinin maximum değeri

$$f_p = \frac{1}{1.05 T_{1/3}} \quad \text{ve} \quad S_{\max} = 11.5 (2\pi f_p U / g)^{-2.5} \quad (3.15)$$

U: Rüzgar hızı

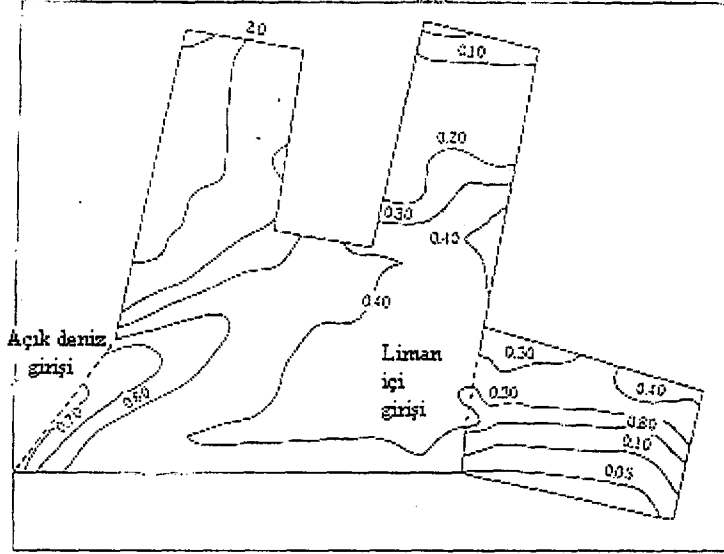
Bu programda giriş verisi olarak;

- liman ağzından içeri giren dalgaların ana ilerleme yönü,
- yayılma parametresi " S_{\max} ",
- dalga bileşenlerinin ilerleme yönü ile ana ilerleme yönü arasındaki maximum fark,
- liman girişindeki belirgin dalga periyodu ($T_{1/3}$) ve yüksekliği ($H_{1/3}$),
- frekans spektrumunu ve yönsel dağılım fonksiyonunu hesaplamak için frekans ve yönün sektörlere bölünme sayısı

kullanılmaktadır. Ayrıca liman planına ait veriler olarak da liman baseni poligonlara bölünür ve koordinatları girilir. Her kenar yüzeyinin yapısal durumuna göre yansımaya katsayıları ve limanda ortalama su derinliği de girilmelidir.

Program çıktısı olarak, tanımlanan her gridteki dalga yüksekliği ya da dalga yükseklik oranı ve dalga periyodu veya dalga periyodu oranı alınabilir. Tüm basen üzerinde dalga yüksekliği konturları veya dalga yüksekliği oranını belirten konturlar çizim olarak alınabilir (Şekil 3.4). Bu programın akış diyagramı Şekil 3.5'de verilmektedir.

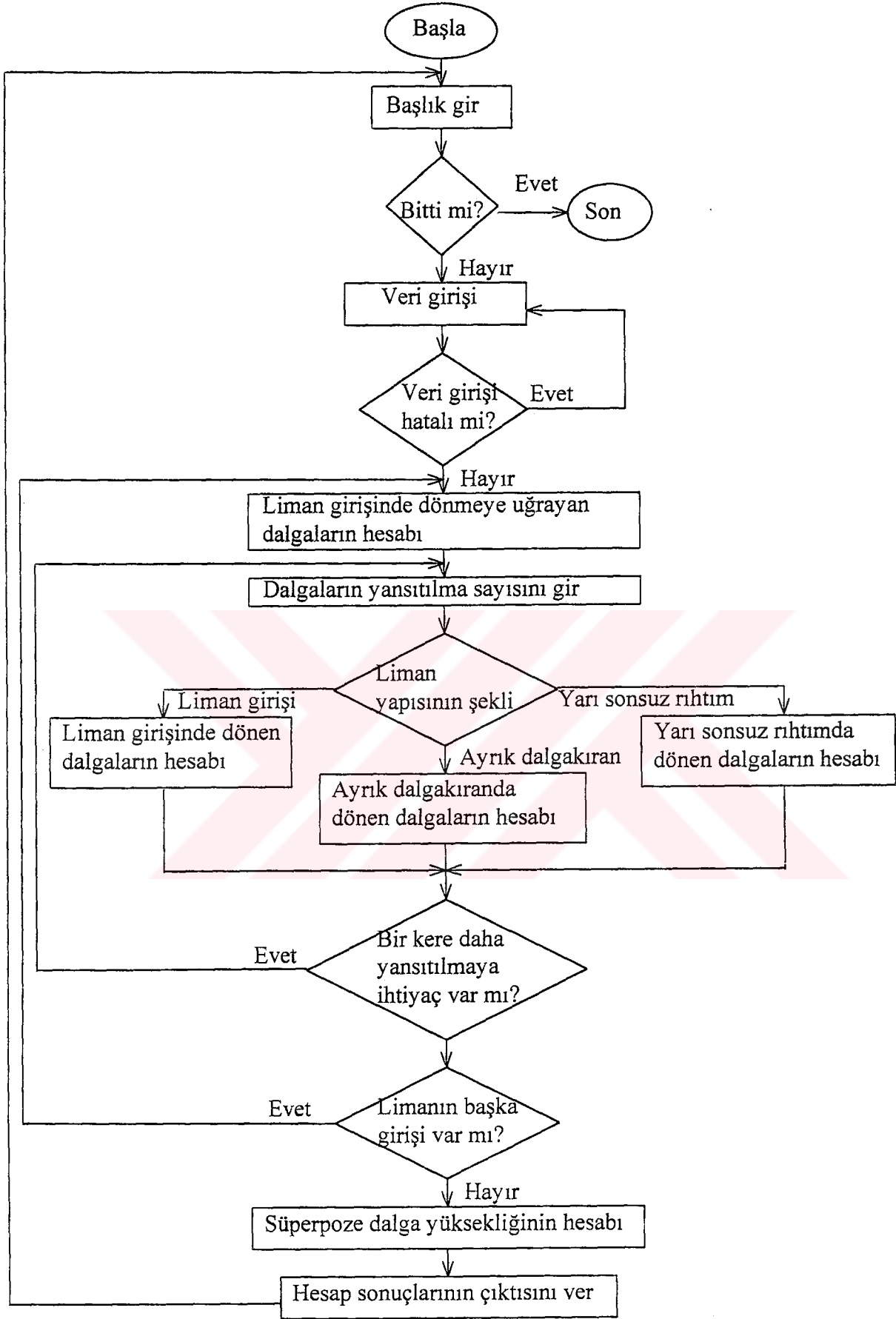
Dalga transformasyonu ve liman içi çalkantı programlarında kullanılan girdi ve hesaplanan çıktı verileri Çizelge 3.1'de özet olarak verilmektedir.



Şekil 3.4 Dalga yüksekliği oranı konturları, (Takayama, 1981)

Çizelge 3.1 Kullanılan nümerik programlara ait girdi ve çıktı veri çizelgesi

PROGRAM ADI	GİRDİ VERİSİ	ÇIKTI VERİSİ
L041 – DALGA TRANSFORMASYONU PROGRAMI	<ul style="list-style-type: none"> - Açık deniz dalga yüksekliği (H_0) - Açık deniz dalga periyodu (T_0) - Enerji konsantrasyonu dağılım parametresi (S_{max}) - Gel-git yüksekliği - İnceleme yapılacak alana ait derinlik değerleri - Varsa yansıma olan yerler ve yansıma katsayıları 	<p>İncelenen alana ait;</p> <ul style="list-style-type: none"> - H_{max} - $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ - Dalga ilerleme yönü (θ) - Yönsel dalga spektrumu
L023 – LİMAN İÇİ ÇALKANTI PROGRAMI	<ul style="list-style-type: none"> - Yapı önündeki dalga yüksekliği (H_e) - Dalga periyodu (T_e) - Dalga geliş açısı (θ_e) - Liman içi ortalama derinlik değeri - Yapı önündeki S_{max} değeri (S_{maxe}) 	<p>Liman içinde oluşacak;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dalga yükseklik dağılımı - Dalga periyot dağılımı

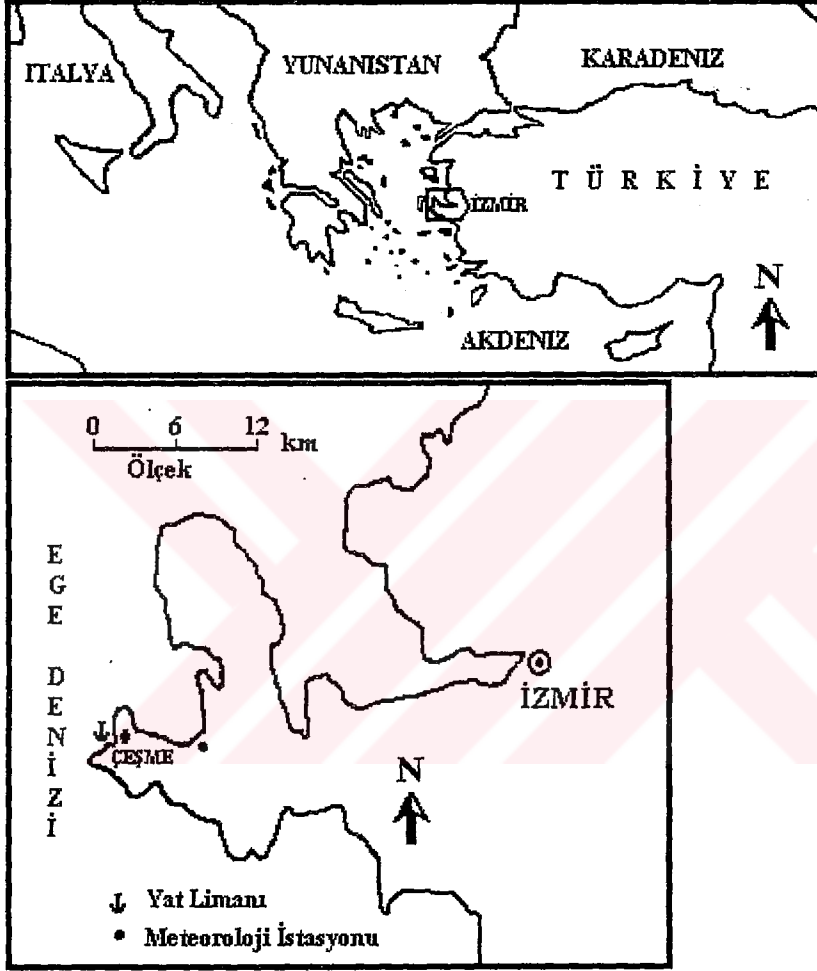


Şekil 3.5 L023 Programı akış diyagramı (Takayama, 1981)

4. ÇEŞME YAT LİMANI ÇALKANTI ANALİZİ ÇALIŞMASI

4.1 Bölgenin Tanıtımı ve Çalışmanın Amacı

Çeşme ilçesi İzmir'in 76 km. batısında yer alan, yüksek turizm kapasitesine sahip bir yöredir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Çalışma bölgesini gösteren harita

Çeşme yöresinde, gelişen turizm faaliyetleri, yöre insanlarının (balıkçı ve gezi motoru sahiplerinin) ihtiyacı ve yat turizminin gelişmesine olanak sağlanması amacı ile Çeşme Balıkçı Barınağının yat limanı olarak geliştirilmesi inşaatı, Ulaştırma Bakanlığı DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Ana dalgakıran inşaatının tamamlanmış olmasına karşın, yat limanı içinde rahatsız edici ölçüde çalkanti oluşmakta olup, karşılaşılan bu problemin nümerik model deneyi ile incelenmesi gerekli görülmüştür.

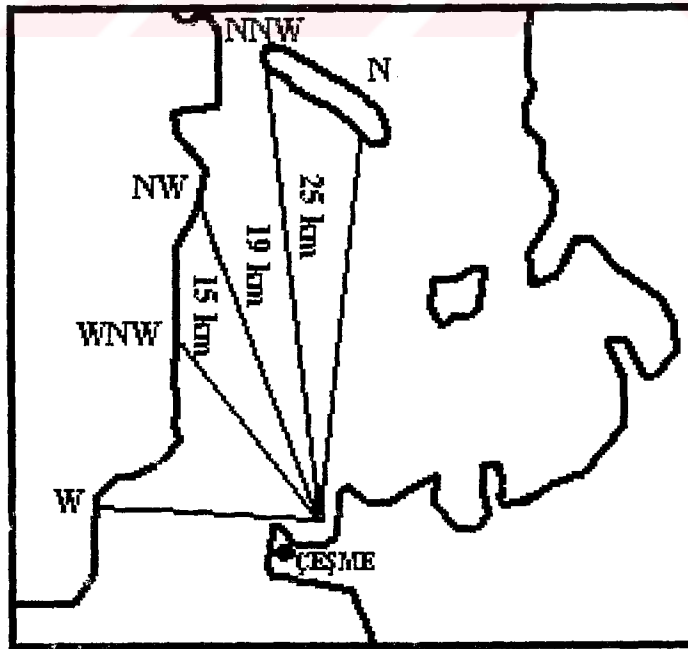
Bu kapsamda, liman içindeki çalkantı düzeyini saptayabilmek ve iyileştirici alternatif düzenlemelerin etkilerini belirleyebilmek için:

1. Rüzgar verileri kullanılarak bölgeyi etkileyen derin deniz dalga özelliklerinin analitik yöntemler ile belirlenmesi,
2. Dalgaların derin denizden liman önüne kadar uğrayacakları değişimin belirlenmesi,
3. Mevcut durumda liman içindeki karmaşık çalkantı düzeyinin belirlenmesi,
4. Alternatif düzenlemeler denenerek önlem geliştirilmesi

gerekli görülmüştür. Belirtilen amaçlardan 2, 3 ve 4'üncü maddelerdeki işler L041 "Dalga Transformasyonu " ve L023 "Liman İçi Çalkantı " adlı modelleme ve simülasyon programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.2 Yat Limanının Tanıtımı

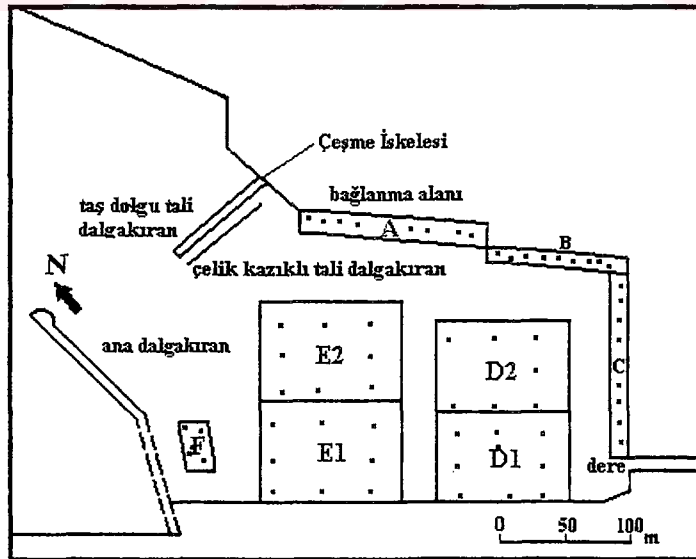
Çeşme Yat Limanı'nda incelemeler yapılarak, mevcut problemler yerinde tesbit edilmiştir. Proje bölgesini gösteren bir harita Şekil 4.2 de verilmiştir. Bu kapsamda, çalkantı modeli içine girecek tüm alan gezilerek, bu bölgedeki yapı tipleri ve özellikleri kaydedilmiştir. Yat limanı 230 metre uzunluğundaki ana dalgakıran ile korunmaktadır. İnceleme yapıldığı tarihte dalgakıran kaplama tabakası ve arka şevinin dengede olduğu ve herhangi bir hasar görmediği belirlenmiştir.



Şekil 4.2 Çeşme Koyu ve feç mesafeleri

Çeşme koyu limana doğru sığlaşmaktadır. Hemen koy girişinde seyir haritalarına göre 20 metre olan su derinliği, yat limanının bulunduğu bölgede, yer yer 1 metrenin altına düşmektedir. Yat limanı içerisinde ise tarama yapılarak 2 ile 4 metre arasında değişen su derinlikleri sağlanmıştır. Koydaki topoğrafik yapı ve derinlik eğrilerinin şekli nedeniyle, dalga sapması ve sığlaşması etkilerinin belirgin olması beklenmelidir. Bu etkilerle liman yakınındaki dalga yükseklik ve gelme açıları, açık deniz dalga yükseklik ve açılarından farklı olacaktır.

Yat limanının hemen girişinde yer alan Çeşme iskelesi 88 metre uzunluğunda olup şu anda kullanılmamaktadır. İskele, kazıklı olarak inşa edildiğinden gelen dalgaları engelleyici veya sönmüleyici bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak bu iskelenin tali mendirek haline dönüştürülmesinin çalkantı probleminin çözümüne yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Ana dalgakıran ile iskele arasında 90 metre açıklık olduğundan, iskelenin bulunduğu yerde herhangi bir tali yapı inşa edilmesi, herhangi bir navigasyon problemi yaratmayacaktır. Kıyı boyunca yapılmış olan düşey yüzeyli rıhtımlar, dalga enerjisini önemli ölçüde yansıtacak özelliktedir. Buradan yansıyarak büyüyen dalgaların, yat limanı içinde dalgakıran arkasındaki bölgeyi etkilemeleri liman içinde çalkantıyı önemli ölçüde artırıcı bir unsurdur. Liman içi, iskelelerin yapılacağı bölüm hariç tamamen düşey yüzeyli rıhtımlar ile çevrilidir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Liman vaziyet planı ve baseni bölen bloklar

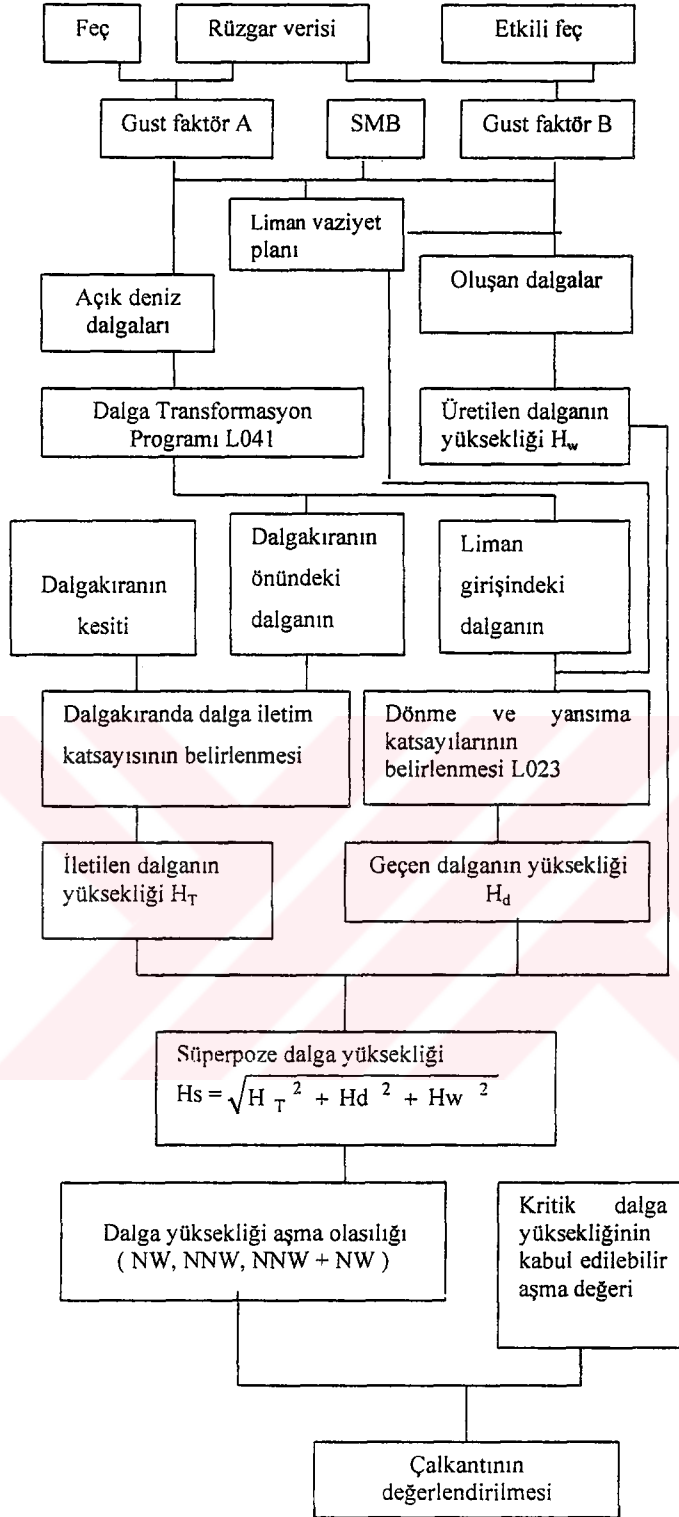
İskelelerin inşa edileceği bölgede anroşman 1:1 - 1:1.5 ortalama şevle durmaktadır. Bu bölgede iki adet 160 metre, iki adet 143 metre uzunluğunda iskele yapılması planlanmaktadır. İskeleler kazıklı olarak tasarlanmış, ancak yüzer iskele seçeneğinin değerlendirileceği bildirilmiştir. Basen şekli nedeni ile liman içine girecek dalgaların karşılıklı yansımalar ile rezonans oluşturabileceği gözlenmiştir.

Çeşme Yat Limanının incelendiği tarihte liman içinde önemli bir kirlilik gözlenmemiştir. Ancak liman içine boşalan bir dere ve iki otoyol deşarjının en azından mevsimsel olarak kirlilik yaratması beklenmelidir. Liman, bir koyun en uç noktasında olduğundan, kirlilik tahliyesi son derece güç ve yetersiz olacaktır. Bu konunun da ele alınması gelecekte karşılaşılabilecek problemleri önleyebilir.

4.3 Metodoloji

Çeşme Yat Limanı, özellikle faal olarak kullanıldığı yaz aylarında sık sık basen içerisindeki çalkantıdan rahatsızlık çekmektedir. Dalga oluşumunu, dalga transformasyonunu, dalga girmesini ve çalkantıyı belirlemek için, herhangi bir dalga gözlem kaydı olmadığından rüzgar verilerini toplamak ve analiz etmekle çalışmaya başlanılmıştır. Çalkantı analizi çalışmasında izlenen iş akışı ve uygulanan yöntemler Şekil 4.4'de verilmektedir.

Simülasyon tekniğindeki son ilerlemeler ile dalga simülasyonunda oldukça güvenilir sonuçlar elde edebilmemiz mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla uygulayıcı için "kalıcı" standart bir metodun oluşturulmasında hiçbir ciddi engel bulunmamaktadır. Ancak kapsamlı bir güvenilirlik çoğunlukla denizdeki rüzgarın tahminine dayanmaktadır. Bu çalışma, rüzgar analizinin yapılmasındaki güçlükleri ve bu güçlüklerin aşılmasında izlenen yöntemleri kapsamaktadır.



Şekil 4.4 Çalışmanın iş akış diyagramı

4.4 Çeşme Bölgesi Rüzgar ve Dalga İklimi Belirleme Çalışmaları

4.4.1 Çeşme meteoroloji istasyonunda rüzgar gözlemi

Rüzgarlar, yat limanının yaklaşık 6.5 km güneydoğusunda (SE) yer alan Çeşme Meteoroloji İstasyonunda gözlemlenmiş ve kaydedilmiştir. İstasyon, Ilica sahili yakınlarına kurulmuş olup, kuzey tarafı Ilica körfezine bakmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 5.25 metredir. İstasyonda kullanılan anemometrenin yerden yüksekliği 11.5 metredir.

İstasyonun konumu itibariyle, yörede yapılan incelemelerden, kara tarafından esen rüzgarların (kuzey-kuzeydoğu NNE, güney S, batı W) arkadaki tepeler ve dağlık araziden etkilendikleri görülmüştür. Deniz tarafından esen rüzgarların ise (kuzey-kuzeybatı NNW ve kuzey N) topoğrafyadan çok az etkilendikleri fakat anemometrenin deniz tarafında bulunan ve aynı yüksekliğe sahip bir dizi ağaç tarafından oldukça engellendiği gözlenmiştir. Denizden esen diğer yönlü rüzgarlar (batı-kuzeybatı ve kuzeybatı) muhtemelen burundan ve sarp kayalıklardan etkilenmektedirler.

Bu çalışma, dalgaların doğru tahminini ve liman içi çalkantısını analiz etmeyi amaçladığı için NNW ve WNW (Bkz Şekil 4.2) yönleri arasında esen rüzgarların kapsama alınması yeterli görülmüştür. Rüzgarların genel karakteristiklerini kavramak için 5 yıllık (1990-1994) rüzgar verisi kayıtları toplanılmış ve analiz edilmiştir.

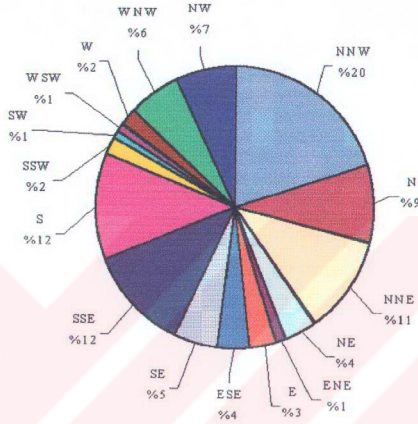
4.4.2 Rüzgar iklimi

Çeşme Meteoroloji İstasyonu'nun 1990-1994 (5 yıl) yılları arasında yapmış olduğu saatlik ölçümlerin incelenmesinden elde edilen bilgiler aşağıda sıralanmıştır:

- Yönlere göre rüzgar oluşma sayıları kullanılarak hazırlanmış olasılık grafiği Şekil 4.5'de verilmiştir. En sık rüzgar oluşan yönler sırasıyla NNW (%22), S (%14), NNE (%9), NE (%8), SSE (%7) ve ENE (%6) dir.

- Dalga yönleri olan NNW, NW, ve WNW yönlerinden maksimum rüzgar hızı NNW yönünden 5-6 m/s olarak ölçülmüştür.

Rüzgar yönleri açısından tutarlılığın araştırılması için uzun dönem verilerinden (1929-1932, 1957-1970) rüzgar oluşma olasılıkları grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Uzun dönem verilerine göre rüzgar oluşma olasılıkları grafiği (Artı Proje,1997)

Bu örneklerden, iki veri kaynağı arasında rüzgar yönleri arasında tutarlılık gözlenmekle birlikte, rüzgar hız ve süreleri bakımından önemli farklılıklar bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu, son yıllarda Türkiye genelinde birçok meteoroloji istasyonu kayıtlarında gözlenen bir olgudur. Ortalama rüzgar hızlarının genel olarak düşük olması, hızlı şehirleşme sonucunda meteoroloji istasyonlarının şehrin içinde oldukça korunaklı konumlarda kalmalarından kaynaklanabilmektedir.

Rüzgar gözlem kayıtlarının analizi sonucunda elde edilen özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Genellikle rüzgarlar, yarım veya bir gün boyunca aynı yönden esmektedir.
- Hakim olan rüzgar yönü, en uzun feç mesafesine sahip olmasından dolayı dalgaların daha çok büyümesine olanak sağlayan NNW yönüdür.
- Güçlü rüzgarlar, yaz mevsiminde, kışa göre daha sık oluşmaktadır (Çizelge 4.1).
- Güçlü rüzgarlar, gündüz ve özellikle öğleden sonraları oluşmaktadır (Çizelge 4.1).

- Genel olarak, denizden esen rüzgarlar sabah saatlerine nazaran öğleden sonra daha kararlı ve güçlüdürler.

Sonuç olarak yat limanının, özellikle çok faal olduğu yaz mevsiminin öğleden sonralarında daha yoğun şekilde dalga gelmesine maruz kalacağı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Kuvvetli rüzgarların yıllık oluşumu
($V_{60} \geq 3$ m/s, WNW, NNW ve NW).saat/ay)

Aylar	D (gündüz) 6 ⁰⁰ to 18 ⁰⁰	N (gece) 18 ⁰⁰ to 6 ⁰⁰	Toplam
Ocak	19	2	21
Şubat	5	0	5
Mart	25	3	28
Nisan	13	8	21
Mayıs	55	9	64
Haziran	69	10	79
Temmuz	79	8	87
Ağustos	74	2	76
Eylül	23	0	23
Ekim	3	0	3
Kasım	15	7	22
Aralık	5	1	6
Yıl	385	50	435

Çeşme'de yel değirmenleri yaygın olarak kullanıla gelmekte olup birkaç yıl içerisinde yörede bir rüzgar elektrik santrali projesi gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, yörenin rüzgar surf sporu açısından uluslararası alanda tanınmış olması, Çeşme'de rüzgarın güçlü olduğunu doğrulamaktadır. Ancak, Çeşme Meteoroloji İstasyonunda tutulan rüzgarlara ait kayıtlar, rüzgarın oldukça zayıf olduğunu göstermektedir. Bu, kısmen topoğrafyanın yavaşlatma yönündeki etkisi ve kısmen de rüzgar ortalama hızı değerlendirme süresinin (Çeşme'de 60 dakika) uzun olmasından kaynaklanabilir.

Dünya Meteoroloji Organizasyonu "WMO", ortalama rüzgar hızının ve yönünün ait olduğu bir saatlik zaman aralığında, önceki 10 dakikadaki yönlerin ve hızların ortalaması olarak ifade edilmesini önermiştir. Birçok ülke, bu uluslararası standarda uyarak müşterek karşılaştırmaya imkan sağlamaktadırlar.

Yörenin gerçekten rüzgarlı olması ancak rüzgar kayıtlarının bu gerçeği yansıtmamasının sebebi, ortalama rüzgar hızlarının bir saatlik (60 dakika) değerlendirme süresine göre kaydedilmiş olmasıdır. Bu olguyu açığa çıkarmak ve ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresini 10 dakikaya indirmek için Gust faktöründen faydalanılmıştır.

4.4.3 Gust faktörü

"Gust" terimi, genellikle rüzgar hızının çok kısa bir zaman periyodunda değerlendirilmesini ifade etmektedir. Bu zaman periyodu çoğunlukla birkaç saniye ile sınırlanmaktadır (Tsinker, 1995).

Gust Faktörü "G" ise Ishizaki ve Mitsuda (1962) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$G = \frac{V_{\max}}{V_{\text{ort}}} \quad (4.1)$$

Burada;

V_{\max} : Anlık maksimum rüzgar hızı

V_{ort} : Ortalama rüzgar hızı

"G", genellikle denizde havanın yüksek tabakalarında ve şiddetli fırtınalarda küçük değerlerde olmaktadır. Buna karşın, türbülanslı hava içerisinde, zayıf rüzgarlarda ve topoğrafya ile engebeli yüzeyler nedeni ile de karada G'nin değeri artmaktadır.

"G", rüzgar hızı, topoğrafya, anemometrenin tepki süresi, (anemometrenin rüzgarla aynı hıza erişmesi için geçen süre), raset yüksekliği, yeryüzünün pürüzlülüğü ve yüzey sınır tabakasının stabilitesi gibi parametreler ile değişim göstermektedir.

Denklem 4.1 deki gibi tanımlanan "G" ayrıca bir amirik formülle de ifade edilmiştir. (Ishizaki ve Mitsuda, 1962)

$$G = (S/D)^{-P} \quad (4.2)$$

Burada;

S: Anlık maximum rüzgar hızının değerlendirme süresi (genellikle 2 saniye)

D: Ortalama rüzgar hızının değerlendirme süresi

P: Topoğrafya, irtifa ve yüzey sınır tabakasının etkilediği türbülans indekssidir.

Denklem 4.2'deki amprk formülün kullanılabilmesi için birçok değişkene bağlı olan P'nin doğru olarak tespit edilmesi gerekir. Bu da farklı yüzey pürüzlülüğü ihtiva eden arazi koşulları ve uzun süreli gözlemler gerektirmektedir.

Çeşme yöresi için "G", 1 saatlik (60 dak..) ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresine göre aşığıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$G_{60} = V_{\max} / V_{60} \quad (4.3)$$

Burada; G_{60} ve V_{60} sırasıyla, 60 dakikalık ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresindeki Gust faktörü ve ortalama rüzgar hızıdır.

G_{60} değerleri, denizden esen rüzgarlar (N'den WNW'ye kadar olan yönler) için bir yıllık verilerden hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2'den anlaşıldığı üzere G_{60} değerleri oldukça yüksek olup 1.9 ila 2.9 arasında değişim göstermektedir. Bütün bir yılın ortalama G_{60} değeri 2.44 olarak elde edilmiştir. Bu değer, Tokyo kulesinde ölçülen rüzgar verileri kullanılarak elde edilen Gust faktörleri ile karşılaştırıldığında, yüksek olduğu görülmektedir (Takahashi, 1969) (Çizelge 4.3). Çizelge 4.3'deki "G" değerleri, 10 dakikalık ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresine göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Çeşme yöresi için bir yıllık rüzgar verilerinden elde edilen G değerleri

YÖN	V _{MAX}	V _{ORT}	G	G _{ORT}
N	18.3	7.3	2.51	2.51
N	14.3	6.7	2.13	2.17
N	11.6	6.2	1.87	
.....	
N	13.8	5.9	2.34	2.11
N	13.4	5.5	2.44	
N	
N	11.6	4.8	2.42	2.36
N	9.3	4.8	1.94	
.....	
N	13.5	3.9	3.46	2.38
N	13.1	3.9	3.36	
.....	
N	7.1	3.8	1.82	2.22
N	8.2	2.9	2.83	
.....	
N	8.4	1.9	4.42	2.61
N	4.8	1.9	2.53	
N	4.0	1.9	2.11	
.....	
N	2.0	0.9	2.22	1.89
NNW	1.4	0.9	1.55	
NNW	12.6	5.8	2.07	2.07
NNW	14.8	4.9	3.02	2.79
NNW	11.2	4.4	2.55	
NNW	11.0	3.9	2.82	2.62
NNW	10.0	3.9	2.56	
.....	
NNW	8.2	2.8	2.93	2.66
NNW	7.1	2.8	2.54	
NNW	5.9	2.7	2.19	
.....	
NNW	6.0	2.6	2.31	2.39
NNW	4.0	1.7	2.35	
.....	
NW	10.5	3.5	3.00	2.17
NW	10.2	3.5	2.91	
NW	10.0	3.3	3.03	
NW	8.5	2.8	3.04	2.85
NW	6.4	2.8	2.29	
.....	
NW	6.0	2.0	3.00	3.00
				2.44

Çizelge 4.3 Anemometrenin yerden yüksekliğine bağlı G değerleri (Takahashi, 1969)

Anemometrenin yerden yüksekliği Z (m.)	1959 yılı Eylül ayına ait			1957 yılı Ekim ayına ait		
	ort. (m/s)	max. (m/s)	G ₁₀	ort. (m/s)	max. (m/s)	G ₁₀
20	17.0	25.0	1.47	10.6	19.0	1.80
66	21.6	30.0	1.39	14.3	23.0	1.60
106	23.5	31.0	1.32	14.1	24.0	1.70
171	-----			19.2	24.5	1.27
252	34.2	44.5	1.30	22.6	27.0	1.20

Ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresinin uzaması ile ortalama rüzgar hızı azalmaktadır. Buna bağlı olarak Denklem 4.1'den elde edilen G değerleri de artmaktadır.

Çeşme yöresinin gerçekte rüzgarlı bir yer olması ve 60 dakikalık değerlendirme süresine göre kaydedilen ortalama rüzgar hızlarının beklenenin aksine oldukça zayıf olması, dalga tahmininde kullanılacak rüzgar hızlarının 10 dakikalık değerlendirme süresine göre uyarlanması gereğine işaret etmiştir.

Bu işlem için Çeşme yöresinin 10 dakikalık ortalama rüzgar hızı " V_{10} " değerlendirme süresindeki Gust faktörü " G_{10} " değerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu veriyi sağlayacak herhangi bir gözlem bulunmamaktadır. Bu problemi aşmak için Türkiye'deki kıyılara benzer dağlık topoğrafyaya sahip Japonya'daki kıyı istasyonlarında yapılan " G_{10} " gözlem değerleri incelenmiştir. Bu istasyonlar, buldukları konum itibarı ile şiddetli tayfun rüzgarlarına maruz kalmakta ve bir kaç on yıl için oldukça güvenilir rasat değerlerine sahiptirler.

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi adaları ve burunları da kapsayan 50 gözlem istasyonundan elde edilen " G_{10} " değerlerinin ortalaması 1.50'dir. Gözlem sonuçlarına dayanan " G_{10} " değerlerinin birbirine çok yakın değerler olduğu anlaşılmaktadır (1.30~1.65). Topoğrafik engellerle çevrili 47 istasyonda ise elde edilen " G_{10} " değerleri daha geniş bir aralıkta değişim göstermektedir (1.35~2.10).

Çizelge 4.4 Japonya kıyılarında G değerleri (Okuda, 1971)

TIPI		AÇIK DÜZLÜK YERDE					SAPMAYA MARUZ
Kara Şekli	Ada	Burun	Açık arazi	Körfez	Ort.	Topoğrafyadan etkilenen	
İst. Sayısı	10	17	16	7	50	47	
G	Aralık	1.30	1.40	1.30	1.40	1.30	1.35
		1.65	1.65	1.65	1.60	1.65	2.10
	Ort.	1.47	1.50	1.50	1.51	1.50	1.61

Dalga tahminine esas olacak rüzgarın denizde ve topoğrafik etkilerden uzak olması gerektiğini hatırlayacak olursak; Çeşme yöresi için "G₁₀" değerinin 1.50 alınmasının uygun olacağı anlaşılmaktadır. Buradan hareketle, Denklem 4.1 kullanılarak V₆₀ ile V₁₀ arasında bir ilişki bulunabilir.

Denklem 4.1'de verilen anlık maksimum rüzgar hızı olan "V_{max}" değeri 10 ve 60 dakikalık ortalama hız değerlendirme sürelerinin ikisi için de aynıdır. Ayrıca denizdeki ve karadaki V_{max} değerleri yaklaşık olarak birbirine eşittir. Bu kabul, Takahashi tarafından saha gözlemleri kullanılarak varılan sonuçları içeren Çizelge 4.5 tarafından desteklenmektedir.

Çizelge 4.5 Rüzgar hızının karaya ulaştıktan sonraki değişimi (Takahashi, 1969)

Kıyı çizgisinden içeri doğru mesafe (km)	0.1-0.2	0.3-0.8	0.9-2.5	2.6-4.9	5.0-10.0	10.0-20.0
V _{ort} 'nin korunum %si	97	93	88	88	78	77
V _{max} 'nin korunum %si	97	97	95	93	87	86

Çizelge 4.5'den de anlaşıldığı üzere denizdeki rüzgar, kıyı çizgisinden 0.3 ile 0.8 km kara içerisinde V_{max} değerinin %97'sini korumaktadır. Çeşme Meteoroloji İstasyonu kıyından yaklaşık olarak 0.5 km içeride kalmaktadır. Bütün bu yaklaşımlardan sonra Denklem 4.1'deki ifadeyi farklı şekilde yazarak V₆₀ değeri V₁₀'a uyarlanabilir.

$$V_{\max} = G_{60}V_{60} = G_{10}V_{10} = \dots \quad (4.4)$$

Buradan,

$$V_{10} = \frac{G_{60}}{G_{10}} V_{60} = \frac{2.44}{1.50} V_{60} = 1.63 V_{60} \quad (4.5)$$

elde edilir.

Böylece V_{10} değerleri kaydedilen V_{60} değerlerinden türetilerek dalga tahmininde kullanılabilirler.

4.4.4 Dalga tahmini

Çeşme yöresinde N ve WNW yönleri arasında denizden esen rüzgarlar, feç mesafelerine bağlı olarak yat limanını etkileyen dalgalar üretmektedirler. Bu yönler arasında, en uzun feç mesafesine sahip olan ve rüzgar sıklığının daha çok olduğu özellikle NNW yönünden dalga üretilmesi daha yoğun olmaktadır. Açık denizdeki dalga karakteristiklerinin belirlenmesinde, SMB metodunun temelini oluşturan Denklem (2.19), (2.20), (2.21)'deki ifadeler kullanılmıştır (Wilson, 1965).

Öncelikle açık denizde oluşabilecek belirgin dalga yükseklikleri ($H_{1/3}$), 0.25 m, 0.50 m, 0.75 m, ve 1.00 m vb. belli sınıflara ayrılmışlardır. Açık denizde bu dalga yüksekliklerinin oluşmasını sağlayacak olan $V_{60} \sim t \sim F \sim H_{1/3}$ kombinasyonları, SMB metodu ve Denklem 4.5'de elde edilen bağıntı yardımıyla belirlenmiştir. Ortaya çıkan V_{60} ile $t \sim F \sim H_{1/3}$ kombinasyonu arasındaki ilişki Çizelge 4.6'de verilmektedir.

Çizelge 4.6'daki değerlere göre ortalama bir yılın rüzgar kayıtları çok ayrıntılı olarak taranmış ve oluşabilecek dalgalar belirlenmiştir.

Oluşan dalgalar, yüksekliklerine göre sınıflandırılarak yılın hangi mevsiminde kaç gün etkili oldukları belirlenip Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 $t \sim F \sim H_{1/3}$ kombinasyonu için V_{60} (m/s) değerleri

Yön F (km)	NNW (25)					
	NW (19) ve WNW (15)					
t (h)	1	2	3	4	5	6
$(H_{1/3})_0$						
0.25	4.0	3.1	2.8	2.6	2.4	2.3
0.50	6.6	4.9	4.3	3.9	3.9	
0.75	8.9	6.6	5.6	5.2		
1.00	11.0	8.0	6.9	6.6		

Çizelge 4.7 Dalgalı günlerin mevsimsel oluşumu

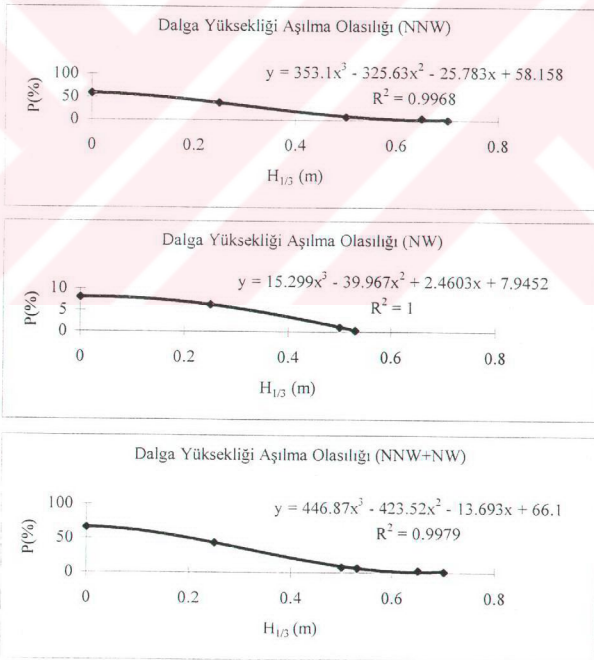
	$H_{1/3}$ (m)	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıl
N	0.0 -0.25	17	20	5	34	76
N	0.25 -0.50	9	21	55	26	111
W	≥ 0.50	2	11	9	3	25
N	0.0 -0.25	-	1	-	5	6
N	0.25 -0.50	-	3	15	1	19
W	≥ 0.50	-	-	4	-	4
	Diğerleri	62	36	4	22	124

Rüzgar sıklığına ve şiddetine bağlı olarak yaz aylarının hemen hemen bütün günlerinde dalga gelmesinin olacağı açıktır. Açık denizde oluşan dalgaların yükseklikleri kadar oluştukları gün sayıları da, liman içi çalkantısı için önem taşımaktadır. Açık denizdeki dalga yüksekliğinin aşılma olasılığı ve belirlenen yüksekliği aştığı gün sayısı, basen içerisindeki çalkantının boyutunu ve süresini değerlendirmek için bilinmesi gereken özelliklerdir. Bu özellikleri yansıtan bilgiler Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8'deki değerler bir grafik üzerinde gösterilecek olursa dalga yükseklikleri ve aşılma olasılıkları arasındaki ilişkiyi görmek mümkün olabilmektedir (Şekil 4.8).

Çizelge 4.8 Açık denizdeki dalga yüksekliğinin aşılma olasılığı ve gün sayısı

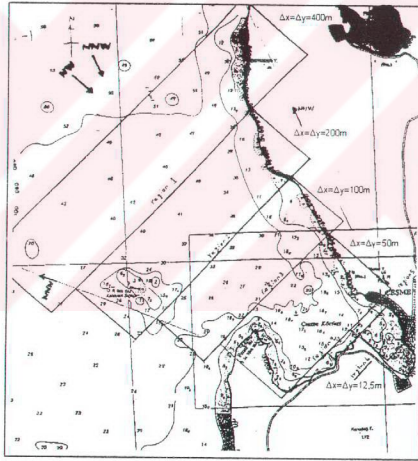
Dalga yönü	Oluşum	Belirgin dalga yüksekliği ($H_{1/3}$) ₀ (m)			
		> 0.0	> 0.25	> 0.50	> 0.75
NNW	Gün	212	136	25	0
	%	58.1	37.3	6.8	0.0
NW	Gün	29	23	4	0
	%	7.9	6.3	1.1	0.0
WNW	Gün	0	0	0	0
	%	0.0	0.0	0.0	0.0
Diğerleri	Gün	124			
	%	34.0			
NNW + NW	Gün	241	159	29	0
	%	66.0	43.6	7.9	0.0
$T_{1/3}$		2.0 s.		2.5 s.	

Şekil 4.8 Açık deniz dalga yüksekliği aşılma olasılık eğrileri (R^2 : hata oranı)

4.4.5 Limana giren dalgaların belirlenmesi

Bu dalgalar açık denizden limana doğru ilerleyip, liman ağzından çeşitli değişimlere uğrayarak basen içerisine giren dalgalardır. Bu tip dalgalar, açık deniz dalgalarının transformasyonu sonucunda elde edilirler.

Açık deniz dalgaları sığ su bölgesinde sapmaya uğramakta ve kayalık sahillerden yansımaktadırlar. Dalgaların, açık denizden dalgakıran önüne kadarki bölgede uğradıkları değişimler L041 "Dalga Transformasyonu" adlı nümerik simülasyon programı ile izlenmiştir. Bu programda, taban topoğrafyasının hassas bir şekilde temsil edilmesi için liman önünden açık denize doğru oldukça geniş bir bölgede kareajlama yapılmış ve her noktadaki su derinliği belirlenmiştir. Su derinlik değerleri tek tek veri girişi dosyasına işlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Açık denizden liman girişine kadar olan bölgedeki kareajlama

Taban topoğrafyası bu şekilde temsil edildikten sonra her grid için sınır şartları tanımlanmıştır. Veri girişi dosyasına bunlardan ayrı olarak Çizelge 4.9'da gösterilen açık deniz dalga karakteristikleri girilmiştir.

Çizelge 4.9 Dalga transformasyonu (L041) ve liman içi çalkantı (L023) programlarında kullanılan dalga verileri ile basen içerisinde elde edilen dalga yükseklik oranı dağılımı

Liman vaziyet planı	Açık deniz dalga karakteristikleri						L041 programı çıktı verileri		Basen içerisinde belirlenmiş bloklardaki K_D değerleri (L 023 çıktısı)							
	L041 programı girdi verileri						H_i (m)	S_{max}	A	B	C	D1	D2	E1	E2	F
	Yön	H_0 (m)	T_0 (sn)	θ_0	$(S_{max})_0$	H_i (m)										
Tali dalgakıransız mevcut durum	NNW	0.25	2.0	-22.5	10	0.13	75	1.07	0.77	0.46	0.23	0.37	0.23	0.38	0.24	
	NNW	0.50	2.5	-22.5	10	0.26	70	1.05	0.76	0.48	0.24	0.39	0.25	0.39	0.25	
	NW	0.25	2.0	0.0	10	0.16	65	1.03	0.76	0.46	0.23	0.37	0.23	0.38	0.24	
	NW	0.50	2.5	0.0	10	0.31	70	1.04	0.74	0.47	0.24	0.39	0.24	0.38	0.24	
Taş dolgu veya çelik kazıklı tali dalgakıranlı durum	NNW	0.25	2.0	-22.5	10	0.13	75	0.37	0.48	0.33	0.19	0.29	0.16	0.31	0.15	
	NNW	0.50	2.5	-22.5	10	0.26	70	0.36	0.48	0.34	0.20	0.31	0.18	0.33	0.16	
	NW	0.25	2.0	0.0	10	0.16	65	0.36	0.47	0.32	0.19	0.29	0.17	0.31	0.15	
	NW	0.50	2.5	0.0	10	0.31	70	0.36	0.47	0.33	0.19	0.30	0.17	0.32	0.15	

Çizelge 4.9'da verilen yayılma parametresi S_{max} değerleri açık deniz rüzgar dalgaları için Goda (1985) tarafından 10 olarak verilmiştir. Ayrıca gridlere ayrılan geniş bölge kapsamına giren, kıyıların özelliklerine göre yansımaya katsayıları " K_R "=0.2~0.6 arasında değişen değerler almaktadır. Ana dalgakıran taş dolgu ve eğimli olduğu için yansımaya katsayısı 0.4 olarak belirlenmiştir. Düşey rıhtım duvarlarında ise bu değer 0.9 olarak alınmıştır. Kullanılan yansımaya katsayısı değerleri birçok kaynakta belirtilen ve Goda (1985) tarafından verilen yaklaşık değerlerdir.

Programın giriş veri dosyası oluşturulduktan sonra açık denizden dalgalar NW ve NNW yönlerinden olmak üzere iki yönden limana doğru gönderilmiştir. Liman girişinde elde edilen dalga karakteristikleri Çizelge 4.9'da verilmektedir.

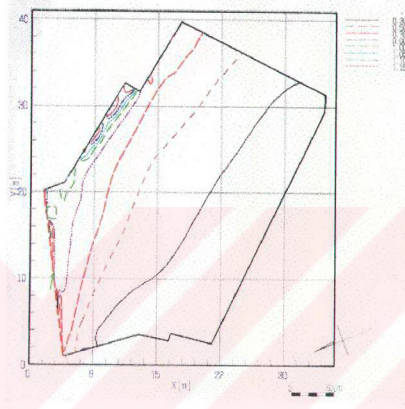
Çizelge 4.9'dan da anlaşıldığı üzere liman girişindeki en büyük dalga yüksekliği 0.31 m olmaktadır. L041 dalga transformasyonu programından elde edilen bu veriler liman girişindeki veriler olduğu için L023 Liman İçi Çalkantı Programının istediği giriş verileri olarak kullanılmıştır.

L023 programı, limana giren dalgaların liman yapıları ile çeşitli etkileşimleri sonucunda, liman içerisinde meydana getirdikleri dalga karakteristiklerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu programın veri giriş dosyasında, L041 programından elde edilen sonuçların yanısıra sabit olduğu kabul edilen liman içi su derinliği (ortalama 4.30 m), baseni çevreleyen yapıların özelliğine göre yansımaya katsayıları ve limana giriş ağız sayısı da bulunmaktadır.

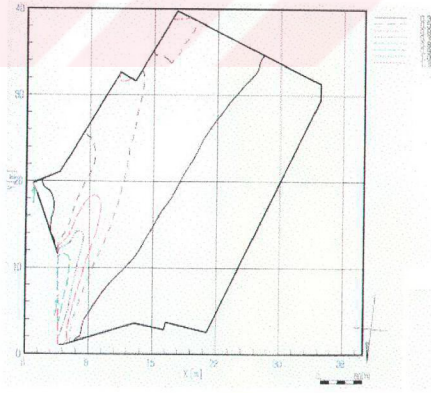
Öncelikle liman yerleşkesi, koordinat formatına uygun bir şekilde programa tanıtılmıştır. Liman baseni içerisinde belli bölgelerdeki dalga karakteristiklerini hesaplatmak için basen, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi bloklara ayrılmış ve belirtilen noktalardaki sonuçlar istenmiştir.

Koordinatları simülasyon programına tanıtılan bu noktalardaki dalga yükseklikleri hesaplatılmış ve ortalama değeri alınarak her blokta meydana gelen dalga yükseklikleri tespit edilmiştir.

L023 Liman İçi Çalkantı Programı, Çeşme Yat Limanı'nın üç farklı yerleşkesi için çalıştırılmıştır. Bunlar, 1: mevcut durum, 2: taş dolgu tali dalgakıranlı durum, 3: çelik kazıklı tali dalgakıranlı durumlardır (Şekil 4.3). Farklı yerleşke durumu için elde edilen dalga yüksekliği dağılımı katsayısını gösteren " K_D " değerleri eğrisel olarak Şekil 4.10 ve (4.11)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Tali dalgakıransız durumdaki K_D değerleri dağılımı



Şekil 4.11 Çelik kazıklı tali dalgakıranlı durumdaki K_D değerleri dağılımı

Dalga yüksekliği dağılımını gösteren boyutsuz sayı " K_D " liman içinde oluşan dalga yüksekliğinin (H_d), liman girişindeki dalga yüksekliğine (H_i) oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\left(K_D = \frac{H_d}{H_i} \right) \quad (4.6)$$

Limana giren dalgaların belirlenen bloklarda meydana getirdikleri dalga yükseklikleri, " K_D " değerleri yardımıyla üç farklı liman yerleşkesi için hesaplanıp Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10'dan görüldüğü gibi açık denizdeki dalga yüksekliklerinin küçük olmasına bağlı olarak liman içerisinde oldukça küçük dalga yükseklikleri oluşmaktadır.

4.4.6 Limanda yerel rüzgar dalgalarının belirlenmesi

Yerel olarak basen içerisinde rüzgar tarafından üretilen dalgalar nadiren limana giren dalgaların yüksekliği ile kıyaslanacak kadar gelişebilirler. Ancak bu dalgalar, alışılmamış bir uygulama olarak liman tasarımcıları tarafından çoğunlukla ihmal edilirler.

Proje bölgesinde rüzgar verilerine bağlı olarak açık denizdeki dalga yüksekliklerinin düşük çıkması ve bunun sonucu olarak ta limana giren dalgaların rahatsızlık verici bir boyutta değilmiş gibi görünmeleri dikkat çekicidir. Diğer taraftan yat limanında rahatsız edici boyutta bir çalkantının olduğu yat sahipleri ve devam eden inşaat işlerini yürüten müteahhit firma yetkilileri tarafından belirtilmektedir. Dolayısıyla Çeşme Yat Limanındaki çalkantı problemi, sadece açık denizden gelip limana giren dalgalara bağlı olmayıp, liman içerisinde yerel olarak rüzgarla oluşan dalgalara da bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Yerel rüzgar dalgalarının belirlenmesi için öncelikle liman basenini bölümlere ayıran her boğun feç mesafelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Denklem 4.7'de verilen efektif feç bağıntısı kullanılmıştır (Saville, 1954).

Çizelge 4.10 Üç farklı durum için basen bloklarındaki ortalama dalga yüksekliği değerleri

Liman yerleşkesi vaziyet planı	Açık deniz dalgası				Liman girişinde		Liman içindeki bloklarda							
	Yön	$H_0(m)$	$T_0(s)$	$(S_{max})_0$	$H_0(m)$	S_{max}	A	B	C	D1	D2	E1	E2	F
1 Tali dalgakıranlı mevcut durum	NNW	0.25	2.0	10	0.13	75	0.14	0.10	0.06	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
	NNW	0.50	2.5	10	0.26	70	0.27	0.20	0.12	0.06	0.10	0.06	0.10	0.07
	NW	0.25	2.0	10	0.16	65	0.17	0.12	0.07	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04
	NW	0.50	2.5	10	0.31	70	0.32	0.23	0.15	0.07	0.12	0.07	0.12	0.08
2 Taş dolgu tali dalgakıranlı durum	NNW	0.25	2.0	10	0.13	75	0.05	0.06	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02
	NNW	0.50	2.5	10	0.26	70	0.09	0.12	0.09	0.05	0.08	0.05	0.09	0.04
	NW	0.25	2.0	10	0.16	65	0.06	0.08	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02
	NW	0.50	2.5	10	0.31	70	0.11	0.15	0.10	0.06	0.09	0.05	0.10	0.05
3 Çelik kazıklı tali dalgakıranlı durum	NNW	0.25	2.0	10	0.13	75	0.07	0.07	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02
	NNW	0.50	2.5	10	0.26	70	0.13	0.14	0.10	0.05	0.08	0.05	0.09	0.05
	NW	0.25	2.0	10	0.16	65	0.08	0.08	0.06	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
	NW	0.50	2.5	10	0.31	70	0.16	0.16	0.11	0.06	0.10	0.06	0.10	0.06

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (4.7)$$

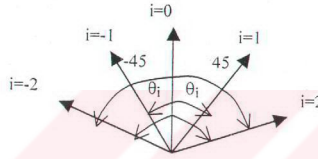
Burada,

F_{eff} : Herhangibir rüzgar yönündeki efektif feç mesafesi (km)

F_i : Birbirlerine ardışık olarak 22.5° lik açılardan komşu olan her yöndeki feç mesafeleri

θ_i : Hesaba esas alınan yön ile diğer yönler arasındaki açı

i : 0 (hesabı istenen yön), ± 1 , ± 2 (Şekil 4.12)



Şekil 4.12 Efektif feç hesabına esas yönler

Efektif feç mesafesi hesaplanan yönün 45° sağ ve solunda kalan aralıktaki yönlerde olan feç mesafeleri (F_i) hesaba dahil edilmektedir (Şekil 4.12).

Denklem 4.7, kabarma alanı (feç) genişliğinin, kabarma alanı uzunluğuna göre çok küçük olduğu iç denizlerde, göllerde veya koylardaki feç mesafelerinin belirlenmesi için kullanılabilir (Saville, 1954).

Basen içerisindeki sekiz blok alanının herbiri için iki ana yön dikkate alınarak (NNW, NW) efektif feç mesafeleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 Üç farklı durum için elde edilen yerel rüzgar dalga yüksekliği ve efektif feç mesafeleri

Yön	Blok Vaziyet Planı	F _{en} (km)		H ₀ (m)	H _w (m)		T _w (s)		Yön	Blok Vaziyet Planı	F _{er} (km)		H ₀ (m)	H _w (m)		T _w (s)			
		1	2, 3		1	2, 3	1	2, 3			1	2, 3		1	2, 3				
N	A	0.17	0.09	0.25	0.09	0.06	0.80	0.66	N	A	0.25	0.15	0.25	0.10	0.08	0.91	0.77		
				0.50	0.16	0.12	1.01	0.82					0.50	0.19	0.15	1.14	0.97		
	B	0.19	0.19	0.25	0.09	0.09	0.83	0.83		N	B	0.25	0.27	0.25	0.11	0.11	0.93	0.93	
				0.50	0.17	0.17	1.04	1.04						0.50	0.20	0.20	1.17	1.17	
	C	0.34	0.23	0.25	0.12	0.10	1.00	0.88			W	C	0.33	0.24	0.25	0.12	0.10	0.99	0.90
				0.50	0.22	0.18	1.25	1.11							0.50	0.22	0.19	1.24	1.12
D1	0.39	0.34	0.25	0.13	0.12	1.04	1.00	W	D1			0.31	0.28	0.25	0.11	0.11	0.97	0.94	
			0.50	0.24	0.22	1.31	1.25							0.50	0.21	0.20	1.22	1.18	
D2	0.33	0.21	0.25	0.12	0.09	0.99	0.86		W	D2		0.32	0.22	0.25	0.12	0.10	0.98	0.87	
			0.50	0.22	0.18	1.24	1.08							0.50	0.22	0.18	1.23	1.09	
E1	0.25	0.25	0.25	0.10	0.10	0.91	0.91			W	E1	0.18	0.18	0.25	0.09	0.09	0.82	0.82	
			0.50	0.19	0.19	1.14	1.14							0.50	0.16	0.16	1.03	1.03	
E2	0.33	0.27	0.25	0.12	0.11	0.99	0.93	W			E2	0.30	0.26	0.25	0.11	0.11	0.96	0.92	
			0.50	0.22	0.20	1.24	1.17							0.50	0.21	0.20	1.21	1.15	
F	0.10	0.10	0.25	0.07	0.07	0.68	0.68		F		0.05	0.05	0.25	0.05	0.05	0.55	0.55		

Basen içerisindeki feç mesafeleri oldukça kısa olduğundan 10 dakika gibi bir süreden daha az esme süresine sahip rüzgarların, liman içi çalkantısı bakımından küçümsenmeyecek büyüklükte dalgalar üretebilecekleri tahmin edilmektedir. Dolayısıyla ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresinin, basen içerisindeki dalgaların baseni baştan başa geçmeleri için gerekli süreye eşit olacağı düşünülebilir. Bu sürenin yaklaşık olarak belirlenmesi gerekmektedir. Dalga enerjisi grup hızı "C_G" ile taşındığı için öncelikle basen içerisinde C_G ∝ F ilişkisi araştırılmalıdır.

SMB metodunun temelini oluşturan, (2.20) denkleminde oldukça küçük olan feç değerleri (0.05~0.39) km Çizelge 4.11'den alınarak yerine yazılırsa,

$$\underbrace{0.008(gF/U^2)^{1/3}}_X \ll 1$$

(1'den çok küçük) olduğu anlaşılır.

X denilen değer çok küçük olduğunda,

$$(1 + X)^n \cong 1 + n \cdot X \quad (4.8)$$

alınabilir. Dolayısıyla (2.20) denklemi,

$$\frac{gT}{2\pi U} \cong 1.37 \left[1 - \frac{1}{1 + 5 \cdot 0.008(gF/U^2)^{1/3}} \right] \quad \text{şeklinde yazılabilir. Ayrıca X'in çok küçük değerleri için,}$$

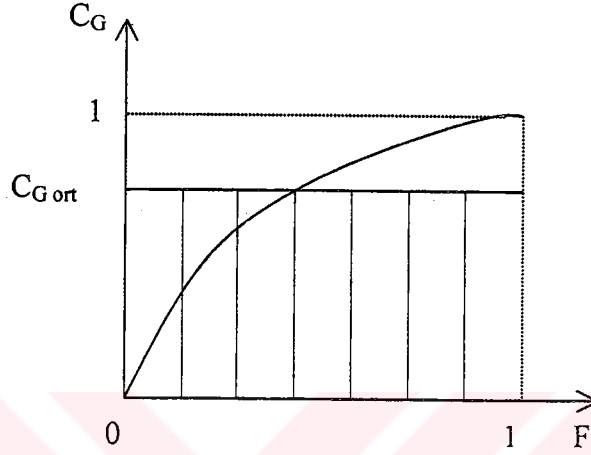
$$\frac{1}{1 + X} \cong 1 - X \quad (4.9)$$

yaklaşımı yapılabilir.

Buna göre (2.20) denklemi $\frac{gT}{2\pi U} = 1.37 \cdot 5 \cdot 0.008(gF/U^2)^{1/3}$ şekline gelir. Buradan, T ∝ F^{1/3} ilişkisi anlaşılmaktadır.

Diğer taraftan derin su bölgesinde,

$C_G = \frac{C}{2} = \frac{L}{2T} = \frac{gT^2}{2 \cdot 2\pi T} = \frac{gT}{4\pi}$ olduğuna göre $C_G \propto T$ ilişkisi görülmektedir. Sonuç olarak, $C_G \propto T \propto F^{1/3}$ şeklinde bir ilişki ortaya çıkmaktadır. $C_G \propto F^{1/3}$ ilişkisinden faydalanılarak basen içerisinde sabit olduğu düşünülen ortalama C_G değeri elde edilebilir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Dalga grup hızı ve feç ilişkisi

$$\int_0^1 X^{1/3} dx = \left[\frac{X^{1/3+1}}{1/3+1} \right]_0^1 = \frac{3}{4} \quad (4.10)$$

$$C_{G_{ort}} = \frac{3}{4} C_G \quad (4.11)$$

Dalgaların $C_{G_{ort}}$ ile baseni geçtikleri kabul edilmektedir. Buna göre,

$$t = \int_0^F \frac{X}{C_G} dx = \frac{F}{\frac{3}{4} \frac{gT}{4\pi}} = \frac{F}{\frac{3}{4} \frac{10}{4 \cdot 3} T} = \frac{1.6F}{T} \quad (4.12)$$

şeklinde elde edilir. Buna göre dalgaların, baseni 120~351 sn arasında bir sürede geçecekleri ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre, liman içinde ortalama rüzgar hızı

değerlendirme süresi 2~5 dakika arasında alınabilir. Başka bir deyişle, basen içerisinde rüzgarla oluşan yerel dalgaların tahmininde esas alınacak rüzgar hızı, 2~5 dakikalık ortalama hızlar olacaktır.

Açık deniz dalgalarının tahmininde saatlik (60 dakika) ortalama rüzgar hızları, 10 dakikalık ortalamalara çevrilerek kullanılmışlardır. Bu durumda ise, saatlik ortalama rüzgar hızlarının 2~5 dakikalık ortalamalara uyarlanması gerekmektedir. Bunun için Denklem 4.2'deki ifade G_{10} ve G_{60} için yazılırsa:

$$G_{60} = 2.44 = \left(\frac{2}{60 \times 60} \right)^{-P}$$

$$G_{10} = 1.50 = \left(\frac{2}{10 \times 60} \right)^{-P}$$

$$\frac{G_{60}}{G_{10}} = \frac{2.44}{1.50} = 1.63 = \frac{(10 \times 60)^{-P}}{(60 \times 60)^{-P}} \quad (4.13)$$

(4.13) ifadesinden $P=0.273$ olarak elde edilir. P değeri ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresinden bağımsızdır. Denklem 4.4 ifadesi genişletilirse,

$$V_{\max} = V_{60} G_{60} = V_{10} G_{10} = V_t G_t = \dots \quad (4.14)$$

Burada, V_t , G_t sırasıyla 2~5 dakikalık ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresine göre verilen ortalama rüzgar hızını ve Gust faktörünü belirtmektedir. (4.14) ifadesinden

$$V_t = \frac{G_{10}}{G_t} V_{10} \quad (4.15)$$

bağıntısı görülebilir. (4.15) ifadesinde $\frac{G_{10}}{G_t} = C_t$ denirse,

$$C_t = \frac{G_{10}}{G_t} = \frac{\left(\frac{2}{10 \times 60} \right)^{-0.273}}{\left(\frac{2}{(2 \sim 5) \times 60} \right)^{-0.273}} = 1.21 \sim 1.55$$

" C_t " değeri bulunan aralıkta ortalama 1.35 olarak belirlenmiştir.

Limanda yerel rüzgar dalga periyot ve yüksekliklerinin hesaplanmasında gerekli ortalama rüzgar hızı olan V_t değerleri, V_{10} değerlerinin 1.35 ile çarpılmasından elde edilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 Ortalama rüzgar hızı değerlendirme süresi düzeltme sayısı C_t

H_0 (m)	Rüzgar esme süresi (h)	V_{60} (m/s)	$V_{10}=1.63 \times V_{60}$ (m/s)	$V_t=1.35 \times V_{10}$
0.25	<1	4.0	6.52	8.80
0.50	<1	6.6	10.76	14.52

Rüzgar hızı ve efektif feç mesafeleri bulunduğundan sonra Bölüm 2'de verilen Denklem (2.19), (2.20) ve (2.21) yardımıyla basendeki yerel rüzgar dalgalarının periyot " T_w " ve yükseklikleri " H_w " hesap edilerek Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Bilindiği üzere Denklem (2.19), (2.20) ve (2.21) SMB Metodunun temelini oluşturmaktadırlar. Esas olarak SMB metodu, okyanusta kararlı rüzgar altında gelişen dalga karakteristiklerinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Daha sonraları aynı metot, süreksiz ve geçici olarak değişen rüzgarda, sığ su bölgesinde ve kısa feç mesafelerine sahip bir göldeki dalgaların belirlenmesi amacıyla yönelik olarak da geliştirilmiştir (Horikawa, 1991).

4.5 Dalgakırandan İletilen Dalgaların Belirlenmesi

4.5.1 Dalga aşması

Dalgakıran üzerinden dalga aşması ile basende meydana gelebilecek dalga yüksekliğinin tespit edilmesi için dalga aşmasının oluşup oluşmadığı araştırılmalıdır. Bunun için dalgakıranın hemen açığındaki dalga karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir. Gerekli olan dalga karakteristikleri, L041 dalga transformasyonu programının sonuç çıktılarından alınabilmektedir. Dalgakıranın önünde, dalga yüksekliğinin maksimum olduğu noktadaki

ifadesinden, $1.0 = \frac{0.31}{H'_0} \implies H'_0 = 0.31$ m bulunur.

Burada,

K_s : sığlaşma katsayısını,

h, d_s : su derinliğini,

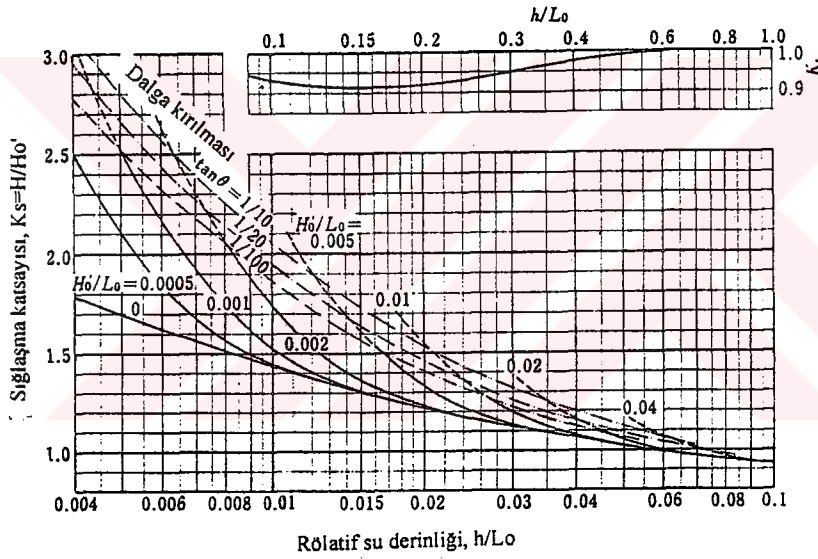
L_0 : derin deniz dalga boyunu,

H_i : yaklaşan dalga yüksekliğini,

H'_0 : sığlaşmadan sonraki dalga yüksekliğini,

θ : dolgu şev açısını

belirtmektedir.

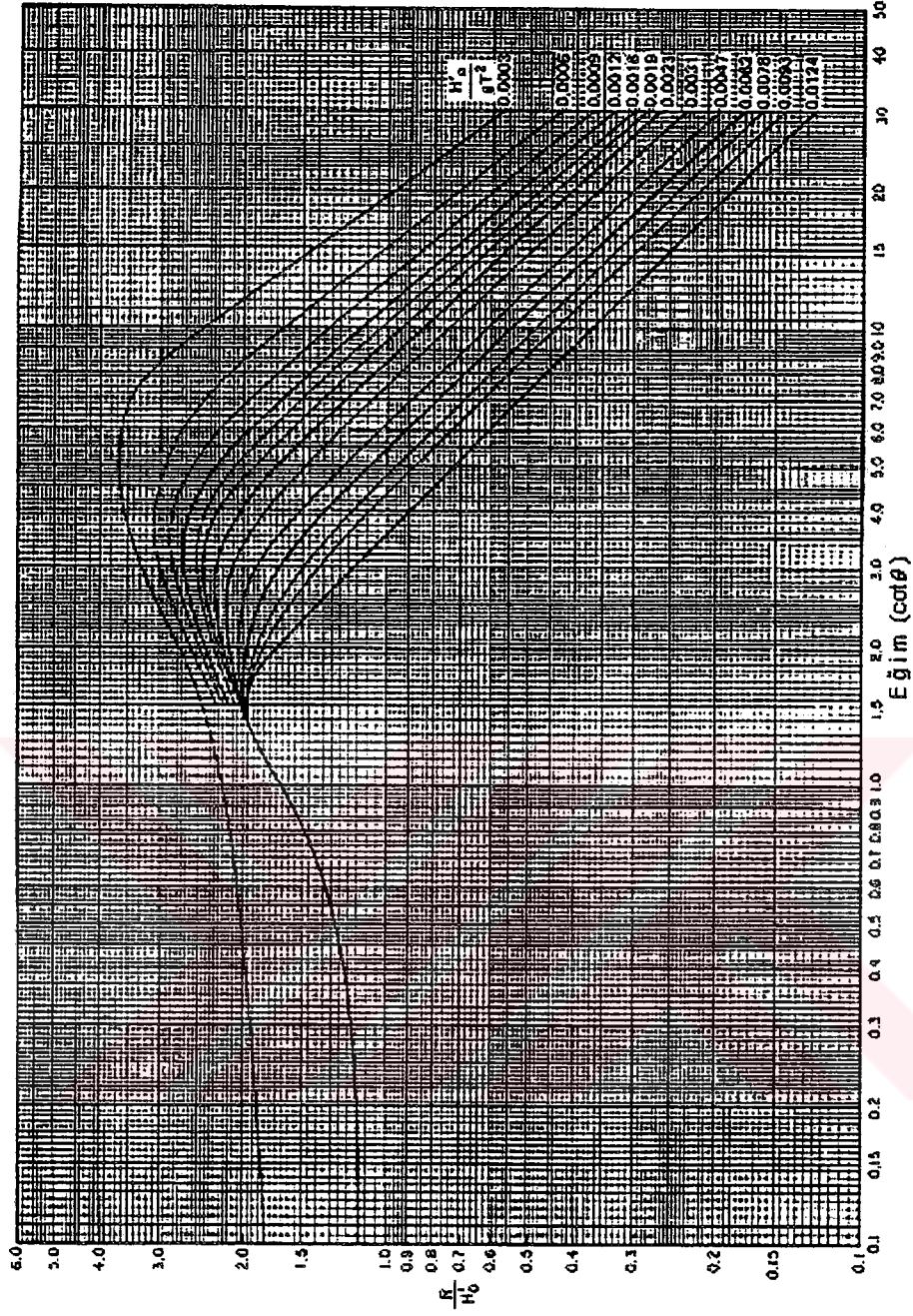


Şekil 4.16 Nonlineer dalga sığlaşması diyagramı (Goda, 1985)

$H'_0 / (gT^2) = 0.31 / (9.8 * 2.5^2) = 0.00506$, $d_s / H'_0 = 5.30 / 0.31 = 17.10$ ve $\cot\theta = 3/2 = 1.5$

değerlerine göre Şekil 4.17'deki verilen grafikten $R / H'_0 \cong 2.0$ olarak okunur. Buna göre,

$R = 2 * 0.31 = 0.62$ m bulunur. Gelgit değişimi 0.30 m olduğuna göre $R' = 0.62 + 0.30 = 0.92$ m.

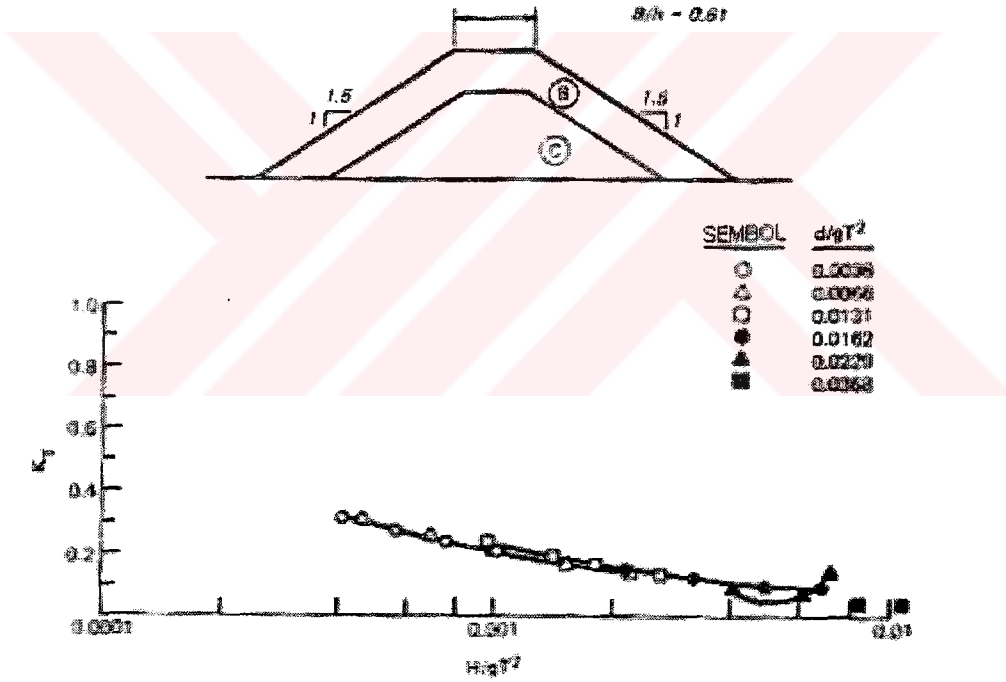


Şekil 4.17 Düzgün ve geçirimsiz eğimli yüzeylerde dalga tırmanması, $d_s/H_0' \geq 3.0$, (CERC, 1984)

Şekil 4.14'de gösterilen " h_c " ile " R " değeri karşılaştırıldığında, $h_c=3 \text{ m} > R'=0.92 \text{ m}$ olduğundan dalga aşmasının oluşmadığı anlaşılmaktadır.

4.5.2 Dalga iletimi

Taş dolgu dalgakıranlarda boşluk oranına bağlı olarak, açıktan dalgakırana çarpan dalgaların bir kısmı liman tarafına iletilmektedir. Bu dalgalar, zaman zaman liman içi çalkantı düzeyini dikkate değer ölçüde etkileyebilmektedirler. İletilen dalga yüksekliğinin hesaplanması için öncelikle dalga iletim katsayısı " K_T " belirlenmelidir. K_T 'nin belirlenebilmesi için SPM (Shore Protection Manual, 1984)'de verilen yöntem kullanılmıştır. Çeşme Yat Limanı'nda $d_s/H_i=17.10$ olduğuna göre, bu değere SPM'de verilen en yakın değer 0.69'dur (Şekil 4.18). $d_s/(gT^2) = 5.30/(9.8 * 2.5^2) = 0.0865$ ve $H/(gT^2) = 0.31/(9.8 * 2.5^2) = 0.005$ değerlerine göre Şekil 4.18'de verilen grafikten K_T değeri yaklaşık olarak 0.05 okunur.



Şekil 4.18 Taş dolgu dalgakırandan dalga iletimi, $d_s/H_s=0.69$, (CERC, 1984b)

Denklem 2.36 ifadesi yardımıyla iletilen dalga yüksekliği;

$$H_T = K_T \times H_i = 0.05 \times 0.31 = 0.016 \text{ m. dir.}$$

Bu sonuca göre, en büyük yaklaşan dalga yüksekliği durumunda bile dalgakıran arkasına 1.6 cm yüksekliğinde dalgalar iletileceği anlaşılmaktadır. Bu değerin, liman içi çalkantısı açısından pek bir önemi olmadığından eşme Yat Limanı çalkantı analizlerinde iletilen dalgalar ihmal edilmiştir.



5. SONUÇLARIN BİRLEŞTİRİLMESİ

Dalgakırandan, dalga aşmasının oluşmadığı ve mühendislik açısından ancak ihmal edilebilecek boyuttaki dalgaların dalga iletimi ile oluştuğunun belirlenmesi üzerine bu dalgalar liman içi çalkantısının değerlendirilmesine dahil edilmemiştir. Basen içerisindeki dalgaları, limana giren dalgalar ve yerel rüzgar dalgaları meydana getirmektedir. Liman içerisindeki sonuç dalga yükseklikleri, bu iki farklı dalga yüksekliğinin süperpozisyonu sonucunda elde edilmektedir. Bunun için,

$$H_s = \sqrt{H_T^2 + H_d^2 + H_w^2} \quad (5.1)$$

kullanılmıştır.

Burada,

H_s : basen içerisindeki sonuç dalga yüksekliği

H_T : Dalgakırandan iletilen dalga yüksekliği

H_d : Açık denizden gelip limana giren dalga yüksekliği

H_w : Yerel olarak rüzgarla oluşan dalga yüksekliğidir.

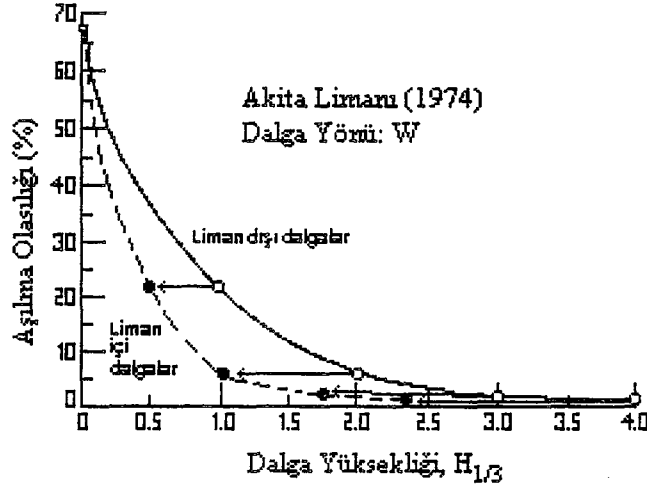
Denklem 5.1'in kullanılması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Liman içi çalkantı düzeyinin değerlendirilmesi için sadece liman içerisindeki dalga yüksekliklerinin belirlenmesi yeterli değildir. Çünkü limanın, yılın ne kadarlık bir bölümünde hangi boyutta bir çalkantıya maruz kalabileceği ihtimalinin de aydınlanması gerekmektedir. Dolayısıyla liman içi dalga yüksekliği aşılma olasılığı grafiğinin elde edilmesi gerekmektedir.

Bu amaca yönelik olarak, Goda (1985) tarafından verilen ve Akita Limanında da uygulanan yöntemin aynısı uygulanmıştır. Bu yöntemde, öncelikle açık deniz dalgalarının aşılma olasılığı, belli yönler için belirlenmekte ve Şekil 5.1'de gösterildiği gibi eğrisel bir grafiğe dönüştürülmektedir. Liman içindeki dalga yüksekliklerinin aşılma olasılığı, açık deniz dalga yüksekliği aşılma olasılığına eşit olmaktadır.

Çizelge 5.1 Liman içindeki bloklardaki sonuç dalga yükseklikleri

Liman vaziyet planı	1: Mevcut durum			2: Taş dolgu tali dalgakıranlı durum			3: Çelik kazıklı tali dalgakıranlı durum		
	$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)		
NNW $H_0=0.25$ m $T_0=2.0$ sn	H_d	H_w	H_s	H_d	H_w	H_s	H_d	H_w	H_s
A-Blok	0.14	0.09	0.17	0.05	0.06	0.08	0.07	0.06	0.09
B-Blok	0.10	0.09	0.13	0.06	0.09	0.11	0.07	0.09	0.11
C-Blok	0.06	0.12	0.13	0.04	0.10	0.11	0.05	0.10	0.11
D1-Blok	0.03	0.13	0.13	0.02	0.12	0.12	0.03	0.12	0.12
D2-Blok	0.05	0.12	0.13	0.04	0.09	0.10	0.04	0.09	0.10
E1-Blok	0.03	0.10	0.10	0.02	0.10	0.10	0.02	0.10	0.10
E2-Blok	0.05	0.12	0.13	0.04	0.11	0.12	0.04	0.11	0.12
F-Blok	0.03	0.07	0.08	0.02	0.07	0.07	0.02	0.07	0.07
NNW $H_0=0.5$ m $T_0=2.5$ sn	$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)		
A-Blok	0.27	0.16	0.31	0.09	0.12	0.15	0.13	0.12	0.18
B-Blok	0.20	0.17	0.26	0.12	0.17	0.21	0.14	0.17	0.22
C-Blok	0.12	0.22	0.25	0.09	0.18	0.20	0.10	0.18	0.21
D1-Blok	0.06	0.24	0.25	0.05	0.22	0.23	0.05	0.22	0.23
D2-Blok	0.10	0.22	0.24	0.08	0.18	0.20	0.08	0.18	0.20
E1-Blok	0.06	0.19	0.20	0.05	0.19	0.20	0.05	0.19	0.20
E2-Blok	0.10	0.22	0.24	0.09	0.20	0.22	0.09	0.20	0.12
F-Blok	0.07	0.12	0.14	0.04	0.12	0.13	0.05	0.12	0.13
NW $H_0=0.25$ m $T_0=2.0$ sn	$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)		
A-Blok	0.17	0.10	0.20	0.06	0.08	0.10	0.08	0.08	0.11
B-Blok	0.12	0.11	0.16	0.08	0.11	0.14	0.08	0.11	0.14
C-Blok	0.07	0.12	0.14	0.05	0.10	0.11	0.06	0.10	0.12
D1-Blok	0.04	0.11	0.12	0.03	0.11	0.11	0.03	0.11	0.11
D2-Blok	0.06	0.12	0.13	0.05	0.10	0.11	0.05	0.10	0.11
E1-Blok	0.04	0.09	0.10	0.03	0.09	0.10	0.03	0.09	0.09
E2-Blok	0.06	0.11	0.13	0.05	0.11	0.12	0.05	0.11	0.12
F-Blok	0.04	0.05	0.06	0.02	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06
NW $H_0=0.5$ m $T_0=2.5$ sn	$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)			$H_{1/3}$ (m)		
A-Blok	0.32	0.19	0.37	0.11	0.15	0.19	0.16	0.15	0.22
B-Blok	0.23	0.20	0.31	0.15	0.20	0.25	0.16	0.20	0.26
C-Blok	0.15	0.22	0.27	0.10	0.19	0.22	0.11	0.19	0.22
D1-Blok	0.07	0.21	0.22	0.06	0.20	0.21	0.06	0.20	0.21
D2-Blok	0.12	0.22	0.25	0.09	0.18	0.20	0.10	0.18	0.21
E1-Blok	0.07	0.16	0.18	0.05	0.16	0.17	0.06	0.16	0.17
E2-Blok	0.12	0.21	0.27	0.10	0.20	0.22	0.10	0.20	0.22
F-Blok	0.08	0.09	0.12	0.05	0.09	0.10	0.06	0.09	0.11



Şekil 5.1 Bir liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrisinin hazırlanışı, (Goda, 1985)

Liman içindeki dalga yükseklikleri ve aşılma olasılık değerleri, çalkantı düzeyinin kritik değerleri ile karşılaştırılarak çalkantının boyutu hakkında sonuca varılmaktadır.

5.1 Liman İçi Çalkantı Düzeyinin Kritik Değerleri

Bir liman baseni, gemilere bağlanma ve demirleme imkanını yılın en az %95-97.5'luk bir kısmında sağlayacak düzeyde bir sakinliğe sahip olmalıdır (OCDI, 1991).

Liman içi sakinliği, esas olarak dalgalarla, rüzgarla, akıntılarla ve uzun periyotlu salınımlarla bozulmaktadır. Ancak bir liman içi çalkantı düzeyinin kritik durumları, alışlagelmiş bir mühendislik uygulaması olarak Çizelge 5.2'deki gibi dalga yüksekliğine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 5.2'den görüldüğü üzere, kritik dalga yüksekliği geminin büyüklüğü ile değişmekte ve bu değer bir yıl içerisindeki aşılma olasılığı %2.5~5 dolayındadır.

Çizelge 5.2 Ticari limanlarda kritik dalga yüksekliği $H_{1/3}$ (m) ve aşılma olasılık %si (P) (OCDI, 1991)

Gemi Büyüklüğü	$H_{1/3}$ (m)	% P
Küçük	0.30	2.5 ~ 5
Orta derecede büyük	0.50	2.5 ~ 5
Çok büyük	0.7 ~ 1.5	2.5 ~ 5

Bir yat limanı, sıradan herhangi bir limandan çok daha sakin olmalıdır. Öyle ki, kritik dalga yüksekliğinin aşılmasına sadece yılda 1 gün izin verilebilir. Bu da yılın %99.7'lik bölümü süresince liman içindeki dalga yüksekliklerinin kritik dalga yüksekliğini aşmaması gerektiği anlamına gelmektedir. Bunlara ek olarak, yat limanlarını kullanan deniz araçları için kritik dalga yüksekliği değerleri de Çizelge 5.2'de verilen değerlerden daha az olabilmektedir (Mercer ve diğerleri, 1982). Çizelge 5.3'de yat limanlarında çalkantı düzeyinin kritik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 Yat limanlarında liman içi çalkantısı kritik değerleri (Mercer ve diğerleri, 1982)

T: Dalga periyodu, $H_{(1/3)E}$: Mükemmel yat limanında kritik $H_{1/3}$, $H_{(1/3)S}$: Standart yat limanında kritik $H_{1/3}$, $H_{(1/3)M}$: Mutedil yat limanında kritik $H_{1/3}$, % P: Aşılma olasılığı yüzdesi

Dalganın yaklaşma şekli	T (s)	$H_{(1/3)E}$ (m)	$H_{(1/3)S}$ (m)	$H_{(1/3)M}$ (m)	% P
Gemiye baş-arka yönden gelmesi		0.225	0.300	0.375	≤ 0.3
Gemiye yandan gelmesi	<2	0.225	0.300	0.375	
	>2	0.113	0.150	0.188	

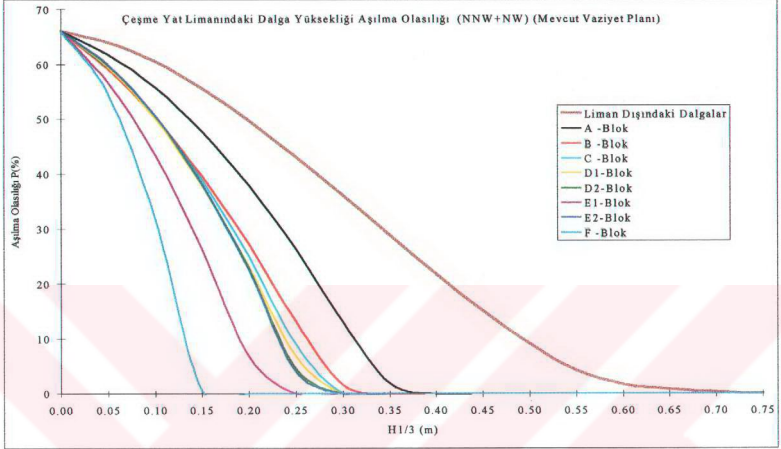
5.2 Liman İçindeki Çalkantı Düzeyinin Değerlendirilmesi

Liman basenini temsil eden bloklardaki dalga yüksekliği aşılma olasılığı değerleri (%P), üç farklı vaziyet planı için elde edilmiş olup Çizelge 5.4'de verilmektedir. Üç farklı alternatifin kolayca karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla bütün değerler tek bir çizelgede gösterilmiştir.

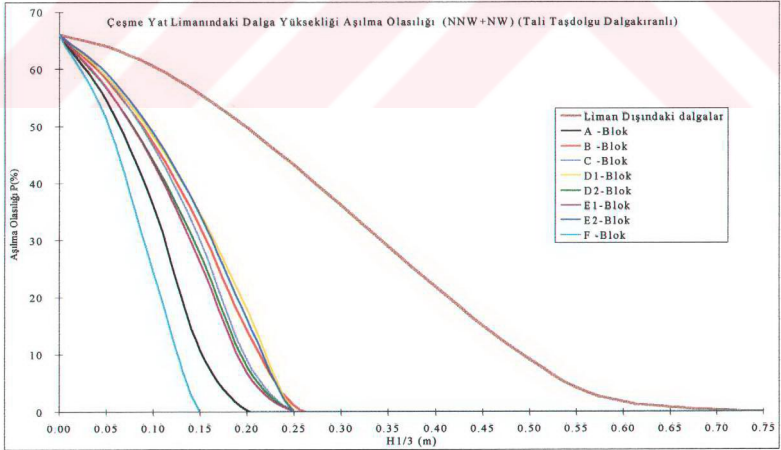
Çizelge 5.4 Liman içindeki sonuç dalga yüksekliği ve aşılma olasılıkları

Bloklar	Vaziyet planı	Dalga yüksekliği H_s (m.)														
		1 (mevcut durum)					2 (taş dolgu tali dalgakıranlı)					3 (çelik kazıklı tali dalgakıranlı)				
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
A	Değer	55.7	47.8	38.1	26.5	13.1	36.1	10.7	0.3	0.0	0.0	41.0	22.9	2.3	0.0	0.0
	% gün	203	174	139	97	48	132	39	1	0	0	150	84	8	0	0
B	Değer	50.3	39.7	27.3	13.1	1.6	47.1	32.4	14.3	1.1	46.8	33.3	17.2	1.7	0.0	0.0
	% gün	184	145	100	48	6	172	118	52	4	171	122	63	6	0	0
C	Değer	50.4	39.0	25.2	9.0	0.0	46.5	30.1	9.2	0.0	46.7	31.5	12.8	0.0	0.0	0.0
	% gün	184	142	92	33	0	170	110	33	0	170	115	47	0	0	0
D1	Değer	50.1	38.0	23.2	6.8	0.0	48.3	34.7	18.0	0.1	48.3	34.7	18.0	0.1	0.0	0.0
	% gün	183	139	85	25	0	176	127	66	1	176	127	66	1	0	0
D2	Değer	50.6	38.3	23.0	4.6	0.0	44.0	27.7	7.9	0.0	43.9	27.9	8.6	0.0	0.0	0.0
	% gün	185	140	84	17	0	160	101	29	0	160	102	31	0	0	0
E1	Değer	43.5	26.5	6.8	0.0	0.0	43.6	26.2	6.8	0.0	43.1	26.0	6.8	0.0	0.0	0.0
	% gün	159	97	25	0	0	159	96	25	0	157	95	25	0	0	0
E2	Değer	50.6	38.2	22.7	4.0	0.0	48.9	34.5	16.3	0.0	48.9	34.5	16.3	0.0	0.0	0.0
	% gün	185	139	83	14	0	178	126	60	0	178	126	60	0	0	0
F	Değer	31.8	0.5	0.0	0.0	0.0	24.6	0.0	0.0	0.0	25.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	% gün	116	2	0	0	0	90	0	0	0	95	0	0	0	0	0
Açık deniz dalgası	Değer	60.5	55.6	49.8	43.2	36.1	60.5	55.6	49.8	43.2	60.5	55.6	49.8	43.2	36.1	36.1
	% gün	221	203	182	158	132	221	203	182	158	221	203	182	158	132	132

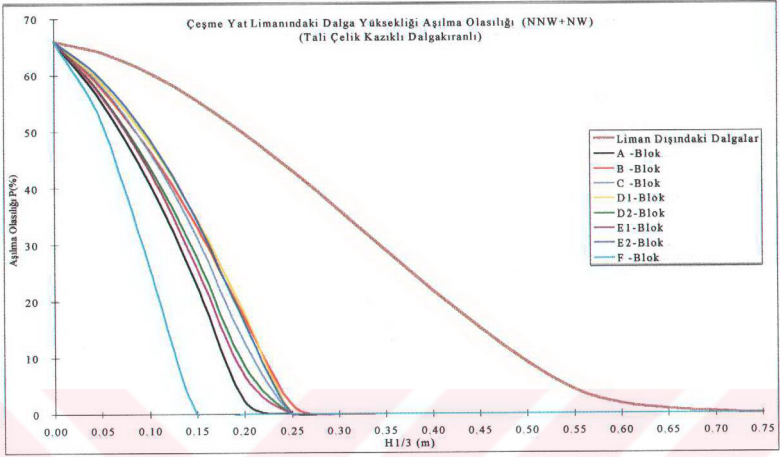
Çizelge 5.4'den ayrı olarak üç farklı vaziyet planı durumunda, basendeki bloklarda meydana gelen dalga yüksekliği aşılma olasılıkları ile birlikte Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri



Şekil 5.3 Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri



Şekil 5.4 Liman içindeki dalga yüksekliği aşılma olasılığı eğrileri

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'lerin yorumlanması sonucunda mevcut vaziyet planına göre A ve B bloklarında dalga yüksekliğinin ve aşılma olasılığının, standart yat limanı kritik durumunun üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Sadece ana dalgakıranın olduğu mevcut vaziyet planında, C'den E2'ye kadar olan bloklarda standart yat limanı düzeyinde bir sakinlik sağlanmış durumdadır. F blokta, her üç farklı vaziyet planı için de mükemmel denilebilecek bir sakinlik göze çarpmaktadır.

Çelik kazıklı veya taş dolgu tali bir dalgakıranın inşa edilmesi durumunda, A bloğundaki çalkantı düzeyi oldukça azalmaktadır. Ancak, taş dolgu tali dalgakıran tercih edildiğinde, mükemmel bir sakinliğe sahip olmaktadır. Çelik kazıklı tali dalgakıran durumunda, standart yat limanı düzeyinde bir sakinliğe sahip olmaktadır. Bunun sebebi, çelik kazıklı dalgakırandan daha büyük yansımaların olmasından kaynaklanmaktadır.

Tali dalgakıranlar yapılması durumunda B bloğundaki çalkantı, standart yat limanı düzeyine indirgenebilmektedir. Tali dalgakıran tipinin taş dolgu veya çelik kazıklı olması B bloğundaki çalkantı düzeyini etkilemektedir. C'den E2'ye kadar olan bloklardaki çalkantı

düzeyi, tali dalgakıran yapılmasından çok az etkilenmekte ve standart yat limanı düzeyindeki sakinliğini her üç farklı vaziyet planı için de korumaktadır. Çizelge 5.4'daki değerlerin ve Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'de verilen grafiklerin, Çizelge 5.2 ve 5.3'de belirtilen kritik değerlerle karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan bütün bu değerlendirmeler, Çizelge 5.5'de verildiği şekilde özetlenmektedir.

Çizelge 5.5 Çalkantı Düzeyi Değerlendirme Çizelgesi:

- X: Çalkantı düzeyi kötü
 Δ : Standart ticari küçük limanlar için uygun çalkantı düzeyine sahip
 \circ : Standart yat limanları için uygun çalkantı düzeyine sahip
 \bullet : Mükemmel yat limanları için uygun çalkantı düzeyine sahip

Blok	Vaziyet Planı		
	1	2	3
A	X	\bullet	\circ
B	Δ	\circ	\circ
C - E2	\circ	\circ	\circ
F	\bullet	\bullet	\bullet

Çizelge 5.5'den de anlaşıldığı üzere, tali dalgakıran inşa edilmesi seçeneği sadece A ve B bloklarında bir iyileşmeye katkıda bulunmaktadır. Bunun nedeni, A ve B bloklarının açık denizden gelip limana giren dalgalara doğrudan maruz kalmalarıdır. Tali dalgakıranın, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi inşa edileceği yer Çeşme İskelesi yanındır. Bu kısmın kapatılması, A ve B bloklarındaki dalga enerjisinin büyük kısmını oluşturan limana giren dalgaları engellemektedir. C'den E2'ye kadar olan bloklardaki dalga yükseklikleri, çoğunlukla yerel rüzgar dalgaları tarafından meydana getirildiğinden bu kısımlarda, tali dalgakıran ile önemli bir çalkantı azalması olmamaktadır. Yat limanı baseninin tümünde tali dalgakıran ile, mükemmel yat limanı çalkantı düzeyine ulaşamayacağı açıktır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çeşme Yat Limanı'nda yaşanan liman içi çalkantı problemi nümerik modeller kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1. Liman açığında derin deniz dalgasının tahmini için Çeşme meteoroloji istasyonunda gözlemlenen rüzgarlar Gust faktörü yardımıyla denizdeki rüzgara uyarlanmıştır. Çeşme koyunu etkileyen en önemli dalga yönleri NNW ve NW olarak belirlenmiştir. Yatçılığın faal olduğu yaz mevsiminin öğleden sonralarında, yılın en dalgalı vakitleri yaşanmaktadır.
2. SMB metodu ile açık deniz derin su dalga yükseklikleri ortalama 0.25 m ve 0.50 m olarak belirlenmiştir. Dalga yükseklikleri ile birlikte bunların aşılma olasılık değerleri belirlenerek liman dışındaki dalga yüksekliği aşılma olasılığı grafiği elde edilmiştir. Koyun konumu nedeni ile büyük ölçüde transformasyona uğrayan dalgaların yükseklikleri liman önünde 0.31 m seviyesine düşmektedir.
3. Çeşme Yat Limanı'nın 230 m uzunluğundaki ana dalgakıranı, özellikle Çeşme İskelesi'nin arkasında kalan kısımlarda liman içi çalkantısı açısından yeterli koruma sağlayamamaktadır. Çeşme İskelesi, ara açıklığı 2.5~3.0 m olan betonarme kazıklar üzerine inşa edilmiş olmasından dolayı açık denizden gelen dalgaların geçişine tamamen açıktır.
4. Liman içinin büyük ölçüde düşey duvarlı rıhtımlarla çevrili olmasından dolayı dalga yansımaları büyük boyuttadır.
5. Liman içi çalkantı düzeyinin iyileştirilmesi için temel olarak üç durum incelenmiştir. Bunlar;
 - yat limanının tali dalgakıransız mevcut durumu,
 - Çeşme İskelesi'nin taş dolgu tali bir dalgakırana dönüştürülmesi,
 - Çeşme İskelesi'nin çelik kazıklı geçirimsiz tali bir dalgakırana dönüştürülmesidir.

Bu durumların herbiri liman içi çalkantı modelinde denenerek basendeki çalkantı düzeyine etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar özetlendiğinde;

- Yat limanının mevcut durumunda, Çeşme İskelesi'nin arkasında kalan bölümlerde çalkantı düzeyi kötü durumdadır. Diğer bölümlerdeki çalkantı düzeyi, standart bir yat limanı için uygundur.
- Çeşme İskelesi'nin taş dolgu tali bir dalgakırana dönüştürülmesi durumunda, bu iskelenin hemen arkasında kalan kısımlardaki çalkantı düzeyi mükemmel bir yat limanı sakinliğine sahip olmaktadır. Ancak basenin diğer kısımlarındaki çalkantı düzeyinde pek bir değişim meydana gelmemektedir.
- Çeşme İskelesi'nin çelik kazıklı geçirimsiz veya taş dolgu tali bir dalgakıran olarak düzenlenmesi arasında, basen içerisindeki çalkantı düzeyi bakımından önemli farklılıklar olmamaktadır. Ancak çelik kazıklı geçirimsiz yapının meydana getireceği yüksek dalga yansımalarının, liman girişindeki seyir açısından ele alınması gerekmektedir.
- Tali dalgakıranların basenin birçok bölümündeki çalkantı düzeyini iyileştirememesinin sebebi, bu bölgede meydana gelen dalga yüksekliklerinin çoğunlukla basen içerisindeki yerel rüzgar dalgalarına bağlı olmasıdır.
- Açık denizden gelip limana giren dalgaların üzerine süperpoze edilen ve nadiren de olsa limana giren dalgaların büyüklükleri ile kıyaslanacak kadar gelişebilen basen içerisindeki yerel rüzgar dalgalarının bir dalgakıran ile önlenemediği anlaşılmaktadır. Çalkantı problemine katkısı olan bu dalgaların önlenmesi için yüzer parmak iskelelerin yapılması önerilmektedir.

Genel olarak bir yat limanında kritik dalga yüksekliğinin müsaade edilebilir aşılma olasılığı %0.3 olan (yılıda bir gün) bir sakinlik düzeyinin sağlanması oldukça güçtür. Sıradan bir liman için bu aşılma olasılığı değeri, %2.5-%5 civarında kabul edilmektedir.

KAYNAKLAR

Artı Proje, (1997), Çeşme Yat Limanı Nümerik Model Çalışması Raporu, DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.

Bishop, C.T., (1983), "Comparison of Manual Wave Prediction Models", ASCE J. Waterways 109, 1-17.

CERC (1984), Shore Protection Manual, 4th Ed., Coast. Engrg. Res.Ctr., US Army Corps Engrs., Vicksburg, Va.

Dean, R.G. ve Dalrymple, R.A., (1994), Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Vol.2, World Scientific Publishing Co., Singapore.

Eggers, K., Sharma, S. ve Ward, L., (1967), "An assesment of some experimental methods for determining the wave making characteristics of ship form", Soceity of Naval Architects and Marine Engineers Transactions, 118: 207-216.

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

Helmholtz, H.V., (1945), "Über Atmospharische Bewegungen", Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin.

Horikawa, K., (1978), Coastal Engineering, University of Tokyo Press.

Horikawa, K., (1991), Coastal Engineering, University of Tokyo Press, Japan, (in Japanese), 72.

Ishizaki, H., ve Mitsuda, M., (1962), " On the Extent and Gust Factor under Storm", 10th Anniversary Edition, Disaster Prevention Inst., Kyoto University, Japan, (in Japanese), 135-138

Japan Marine Prevention Association, (1976), "Study on the Effect of Ship Waves on a Small Boat", Study on Basic Subjects Relating to Navigation Safety, Japan, (in Japanese).

Japan Society of Civil Engineers, (JSCE), (1971), Terminology on Civil Engineering, (in Japanese), 603.

Lamb, H., (1932), Hydrodynamics, Cambridge University Pres, Art:256.

Mei, C.C., (1994), The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Vol.1, Department of Civil Engrg., Massachusetts Unstitute of Technology.

Mercer, A.G., Isaacson, M., ve Mulcahy, M.W., (1982), " Design Wave Climate in Small Craft Harbours", 18th ICCE, Copenhagen.

OCDI, (1991), " Waterways and Basins", Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan, 189-198.

Okuda, Y., (1971), "Relationship Among Strong Winds, Topography and Regions, Study on Wind Resistance Design of a Curtain Wall Architecture", The Association of Curtain Wall Industries,(in Japanese), 129-160.

Phillips, O.M., (1977), The Dynamics of Upper Ocean, 2nd Ed., Cambridge Univ. Press.

Raichlen, F. ve Lee, J.J., (1992), "Oscillation of Bays, Harbors and Lakes", Hnadbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol.3, Gulf Pub., Houston, Texas.

Saville, T., (1954), "The Effect of Fetch Width on Wave Generation", Tech. Memo, No.70, B.E.B.

Stoker, J.J., (1957), Water Waves, Interscience pub., 219-243.

Takahashi, K., (1969), Synoptic Meteorology, Iwanami Pub., Japan, (in Japanese), 242-233.

Takayama, T., (1981), "Wave Diffraction and Wave Height Distribution inside a Harbour", Technical Note of The Port and Harbour Research Institute, Japan, (in Japanese), No.367, 1-140.

Takayama, T., Ikeda, N. ve Hiraishi, T., (1991), "Practical Computation Method of Directional random Wave Transformation", Report of The Port and harbour research Institute, Japan, (in Japanese), Vol.30, No.1, 22-67.

Tsinker, G. P., (1995?), Handbook of Port and Harbor Engineering, International Thomson Pub., Chapman & Hall, New York.

Van Rijn, L.C., (1994), Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans, Delft Hydraulics, Delft.

Wiegel, R.L., (1964), Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, Inc. : 72-75 ve 194.

Wilson, B. W., (1965), "Numerical Prediction of OceanWaves in the North Atlantic for December, 1959", Deut., Hydrogr., Zeit Jahrgang, 18, Heft 3, 114-130.

Wilson, B.W., (1972), "Seiches", Advances in Hydrosiences, Vol.8, Academic Press, New York.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.05.1969
Doğum yeri	Elazığ
Lise	1980 – 1988 Elazığ Anadolu Lisesi
Lisans	1988 – 1992 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995 – 1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı
Çalıştığı kurumlar	1994 – 1997 Fırat Üniversitesi Bingöl Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi 1997 – Devam ediyor DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü İnşaat Mühendisi