

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(DOKTORA TEZİ)**

**BATIK PLAK DALGAKIRANLARIN DALGA
ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ OLARAK
KULLANILMASI ÜZERİNE DENEYSEL
BİR ARAŞTIRMA**

Gürkan ÖRER

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Bilim Dalı Kodu : 625.05.01

Sunuş Tarihi : 25.05.2006

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Bornova-İZMİR

III

Sayın Gürkan ÖRER tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Batık plakalı dalgakıranların dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması üzerine deneysel bir araştırma” başlıklı bu çalışma, E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 25.05.2006 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri :

İmza

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Raportör Üye : Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA

Üye : Prof. Dr. Nihat TAŞPINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fikret OKUTUCU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erdem ERTEN

ÖZET**BATIK PLAK DALGAKIRANLARIN DALGA ENERJİSİ
DÖNÜŞÜM SİSTEMİ OLARAK KULLANILMASI ÜZERİNE
DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA**

ÖRER, Gürkan

Doktora tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Mayıs 2006, 199 sayfa

Dünyadaki enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan çeşitli araştırmalar içinde yer alan dalga enerjisinden yararlanılması alternatifi günümüz koşullarında her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Dalgaların kıyı ve kıyı yapılarına olan olumsuz etkilerini azaltmak için yapılan dalgakıran tiplerinden biri olan batık plak dalgakıranların, dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması üzerine yapılan bu deneysel çalışma kapsamında;

a. Büyük enerji kaynağı olan dalgaya ait teoriler ile dalga enerjisi ve dalga enerjisi potansiyeli,

b. Dalga enerjisinden elektrik üretilmesi amacıyla tasarlanan dalga enerjisi dönüşüm sistemleri ve elde edilen bu enerjinin iletimi ve depolanması,

c. Batık plak dalgakıranların dalga sönümünün incelenerek dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması,

d. Batık bir plakanın altında oluşan ters akım olayının incelenmesi ve yapılan modelleme ile laboratuarda dalga kanalında plaka altında hız ölçümlerinin alınması,

e. Batık plaka ile taban arasındaki açıklığın üçgen levha ve dikdörtgen levhalarla değişik yüksekliklerde azaltılarak bu levha tiplerinin ve açıklığın azaltılmasının plaka altındaki ters akım hızına etkileri konuları incelenerek deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Enerji, dalga enerjisi, temiz enerji, yenilenebilir enerji, batık plaka, dönüşüm sistemleri, dalga sönümü

ABSTRACT

**AN EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE USE OF
SUBMERGED PLATE BREAKWATERS AS A WAVE
ENERGY CONVERTER SYSTEM**

ÖRER, Gürkan

Ph. D. Thesis, Solar Energy Department

Administrator: Assoc. Prof. Aydoğan ÖZDAMAR

May 2006, 199 pages

As part of the research stream that focuses on alternative energy sources, the use of wave energy is gaining importance day by day. This study focuses in particular on the submerged plate breakwaters that are built to reduce the negative impacts of waves on coasts and coastal structures and explores the potential use of submerged plate breakwaters as a wave energy converter system. The following issues are investigated and interpreted within the scope of this experimental work:

- a. Theories on wave as a major source of energy; wave energy and wave energy potential,
- b. Wave energy converter systems designed to produce electricity from wave energy; transfer and storage of wave energy,
- c. Investigation of the wave height reduction of submerged plate breakwaters and the use of submerged plate breakwaters as a wave energy converter system,
- d. Investigation of the pulsating flow against the direction of wave propagation beneath a submerged plate and modeling the velocity of waves in wave channels under laboratory conditions,
- e. Reduction of the opening between submerged plate and sea base with triangular and rectangular plates in varying heights; and the measurement of the impacts of these changes on the pulsating flow velocities beneath the plate.

Keywords: Energy, wave energy, clean energy, renewable energy, submerged plate, converter conversion systems, wave height reduction

IX

TEŞEKKÜR

Tüm değer yargılarının tamamıyla tartışılır bir hal aldığı günümüzde çeşitli olumsuzluklara rağmen, doktora öğrenimimin sürmesi için üzerimde emeği geçen kişilere vefa borçluyum.

Tez jürime katılmayı kabul eden Sn. Yrd. Doç. Dr. Erdem ERTEN ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Fikret OKUTUCU'ya,

Öğrenimimin başından itibaren beni destekleyen değerli Komutanlarım; Dz. Kur. Kd. Albay Korkut KUTLUAD'a, Tümamiral Sn. Mehmet OTUZZİROĞLU ve Dz. K. K. eski Komutanı Oramiral Sn. Bülent ALPKAYA'ya,

Deneysel çalışmaların gerçekleşmesinde her aşamada yardım ve desteğini esirgemeyen değerli büyüğüm; İnş. Müh. Sn. Engin BİLYAY ve değerli DLH çalışanlarına,

Yazım aşamasında en başından sonuna kadar sonsuz destek sağlayan mesai arkadaşım, dostum; İnş. Müh. Sn. A. Atacan ÜTE'ye,

Kendileriyle tanışmaktan onur duyduğum ve her türlü desteği gördüğüm, meslek yaşamımda akademik kariyerimin başlamasını ve her koşulda devam etmesini sağlayan değerli hocalarım; Sn. Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA ve Sn. Prof. Dr. Nihat TAŞPINAR'a,

Söylenebilecek tüm güzel sözlerin dahi kendisini gölgede bırakacağını düşündüğüm değerli büyüğüm, danışman hocam; Sn. Doç Dr. Aydoğan ÖZDAMAR'a,

Kendilerinin bir üyesi olmaktan gurur ve onur duyduğum değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
ÇİZELGELER DİZİNİ	XXI
SİMGELER DİZİNİ.....	XXIII
 1. GİRİŞ.....	 1
1.1. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	8
1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntem	10
 2. DALGA ENERJİSİ	 11
2.1. Dalga Mekaniği.....	11
2.1.1 Giriş.....	11
2.1.2 Dalga parametreleri.....	14
2.1.3 Dalga teorileri	16
2.2. Dalga Enerjisinin Tarihçesi.....	71
2.3. Dalga Enerjisinin Oluşumu ve Özellikleri	73
2.3.1 Dalga enerjisi	73
2.3.2 Dalga hareketindeki enerji akımı	77
2.4. Dalga Enerjisi Potansiyeli ve Yapılan Çalışmalar	80
2.4.1 Dünyada dalga enerjisi potansiyeli	82
2.4.2 Türkiye’de dalga enerjisi potansiyeli.....	88
2.5. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri	89

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.5.1 Kıyı şeridi (Shoreline) uygulamaları	90
2.5.2 Kıyıya yakın (Near Shore) uygulamalar	96
2.5.3 Kıyıdan uzak (Off-shore) uygulamalar	99
2.6. Dalga Enerjisi Dönüşümü, İletimi ve Depolanması	111
2.6.1 Temel elektromanyetik enerji dönüşüm teknikleri	112
2.6.2 İleri elektromekanik enerji dönüşüm teknikleri	116
2.6.3 Enerji iletimi ve depolanması	118
2.7. Dalga Enerjisi ve Dönüşüm Sistemlerinin Fayda ve Sakıncaları ...	120
2.7.1 Dalga enerjisi ve dönüşüm sistemlerinin faydaları	120
2.7.2 Dalga dönüşüm sistemlerinin sakıncaları	122
3. BATIK PLAKALI DALGA ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ	124
3.1. Dalgakıranlar	124
3.2. Batık Plakalı Dalgakıranlar	125
3.3. Temel Kavramlar	128
3.4. Plaka Çevresindeki Akımın Açıklanması	129
3.4.1 Atılımlı akımın açıklanması	131
3.5. Batık Plakalı Dalgakıranların Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Olarak Kullanılması	135
3.6. Sistemin Verimi	137
3.7. Batık Plakalı Dalga Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Avantajları	138
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	140
4.1. Genel Bakış	140
4.2. Deney Düzenneği	141
4.2.1 Dalga kanalı	141

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.2 Dalga makinası (Jeneratörü)	143
4.2.3 Plaka, üçgen ve dik engelleme levhaları	144
4.2.4 Veri toplama ve hız ölçümü	145
4.2.5 Ölçüm sonuçlarının analizi	147
4.3. Deney Programı	148
4.4. Deney Ölçüm Serileri	148
4.4.1 “0”, A_0 ölçüm serisi	148
4.4.2 Plakalı “ A_1 ” ölçüm serisi	152
4.4.3 Plaka altında üçgen levhalı “ A_2 ” ölçüm serisi	153
4.4.4 Plaka altında üçgen levhalı “ A_3 ” ölçüm serisi	154
4.4.5 Plaka altında üçgen levhalı “ A_4 ” ölçüm serisi	155
4.4.6 Plaka altında üçgen levhalı “ A_5 ” ölçüm serisi	156
4.4.7 Plaka altında üçgen levhalı “ A_6 ” ölçüm serisi	157
4.4.8 Plaka altında dikdörtgen levhalı “ A_{55} ” ölçüm serisi	158
4.4.9 Plaka altında dikdörtgen levhalı “ A_{66} ” ölçüm serisi	159
4.5. Ölçüm Sonuçları	160
4.5.1 Plaka altında üçgen levhalı ölçüm serileri sonuçları	160
4.5.2 Plaka altında dikdörtgen levhalı ölçüm serileri sonuçları	170
4.5.3 Plaka altında üçgen ve dikdörtgen levha alternatiflerinin karşılaştırılması	172
4.5.4 Batık plakanın dalga geçirgenliği	173
4.6. Verim Analizi	181
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	189
KAYNAKLAR	193
ÖZGEÇMİŞ	199

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Küçük genlikli sinüzoidal dalga.....	15
2.2 Dalga teorilerinin yapılanması (Graw, 1995; Örer vd.'den 2003)	18
2.3 Çeşitli d derinliklerine göre L dalga boyunun bağılısı olarak c hızının değişimi (Sabuncu, 1983).	24
2.4 Dalga periyodunun ve derinliğin fonksiyonu olarak dalga boyu (Novak et al., 1996; Yüksel vd.'den,1998).	25
2.5 Herhangi bir noktadaki akış hızları ve ivmeleri (SPM, 1984).	32
2.6 Su zerrelerinin derin su ve sığ su dalgası olarak durgun su seviyesine göre yer değiştirmeleri (SPM, 1984)..	38
2.7 Dalga hareketinde düşey doğrultuda basınç değişimi (Sabuncu, 1983).	41
2.8 Trokoidal dalga hareketi (Sabuncu, 1983).	45
2.9 Trokoidal dalgaya ait geometri (Sabuncu, 1983).	46
2.10 k^2 'nin fonksiyonu olarak Cnoidal dalga profili (SPM, 1984).	58
2.11 k^2 'nin fonksiyonu olarak Cnoidal dalga profili (SPM, 1984).	59
2.12 k^2 , H/d ve $T\sqrt{g/d}$ arasındaki bağıntı (SPM, 1984).	60
2.13 k^2 ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).	61
2.14 k^2 ve L^2H/d^2 ile $(y_c-d) / H$, $(y_t-d) / H+1$ ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984)	62
2.15 $T\sqrt{gd}(y_t / d)$, H/y_t ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).	63

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.16 $c / \sqrt{gy_t}$, H/y_t ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).	64
2.17 Solitary dalga teorisinde M ve N fonksiyonları (SPM, 1984).	66
2.18 Kinetik enerjinin şematik gösterilişi (Sabuncu, 1983).....	76
2.19 OWC sistemi (Ün, 2003).	93
2.20 Limpet OWC (Clément, 2002).	93
2.21 TAPCHAN sistemi (Ün, 2003).	94
2.22 Sarkaçlı dönüşüm sistemi (PENDULAR) (Ün, 2003).....	95
2.23 OSPREY (Clément et al, 2002 ; Ün, 2003).	96
2.24 Danimarkalı dalga şamandırması enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).	97
2.25 Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi (Mc Cormick, 1983)	98
2.26 McCabe Dalga Pompası (Clément et al., 2002).....	100
2.27 OPT Enerji Dönüşüm Sistemi (Clément et al., 2002).....	101
2.28 Pelamis Enerji Dönüşüm Sistemi (Clément et al., 2002).	102
2.29 Archimedes dalga salınım sistemi (Clément et al., 2002).	103
2.30 Büyük balina (Mighty Whale) enerji dönüşüm sistemi (Clément et al., 2002).	105
2.31 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi çalışma prensibi (Graw, 1995).....	106
2.32 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi (Graw, 1995).....	106

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.31 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi çalışma prensibi (Graw, 1995).	106
2.32 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi (Graw, 1995).	106
2.33 Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).....	108
2.34 Yüzen titreşimli su kolonu (McCormick 1983).	109
2.35 Kaimei (Graw, 1995)	110
2.36 Kaimei (Graw, 1995).	111
2.37 Masuda ve Miyasaki tarafından tasarlanan pnömatik türbin sistemi (McCormick, 1983).	114
2.38 McCormick'in zıt dönüşlü hava türbini (McCormick, 1983).	115
2.39 Babinsten hava türbini (McCormick, 1983).....	116
2.40 Filipenco hava türbini (McCormick, 1983).	116
3.1 Dalgakıran tipleri (Graw, 1995).....	126
3.2 y/d düzeyi üzerinde yoğunlaşmış kinetik enerji (Akyarlı, 1980). ...	127
3.3 Batık plak dalgakıran.	128
3.4 Plaka çevresindeki akım (Hoeborn, 1986).	131
3.5 Atılımlı akımın açıklanması (Hoeborn, 1986).	131
3.6 Su parçacıklarının orbital hareketleri (Hoeborn, 1986).	132
3.7 Dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak batık plakalı dalgakıran (Graw, 1995).	136

XVIII

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Deney Düzeneği.....	142
4.2 Dalga Kanalı.	143
4.3 Dalga Makinası.	144
4.4 Dalga ölçer.....	146
4.5 Akımölçer, a. Ana ünite, b. Dedektör	147
4.6 Ölçülen ve hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması. (a) Derinlik hız değerleri ilişkisi, (b) Ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki ilişki.....	151
4.7 Plakalı “A ₁ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	152
4.8 Plaka altında üçgen levhalı “A ₂ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	153
4.9 Plaka altında üçgen levhalı “A ₃ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	154
4.10 Plaka altında üçgen levhalı “A ₄ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	155
4.11 Plaka altında üçgen levhalı “A ₅ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	156
4.12 Plaka altında üçgen levhalı “A ₆ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	157
4.13 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A ₅₅ ” ölçüm serisi deney düzeneği.	158
4.14 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A ₆₆ ” ölçüm serisi deney düzeneği	159
4.15 T=1.16 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.....	163

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.16 T=1.50 s periyotlu dalgalarda, çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.....	163
4.17 T=1.87 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.....	164
4.18 T=2.05 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.....	164
4.19 H=10 cm dalga yüksekliğindeki dalgalarda, çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.....	165
4.20. Plaka arka noktası -9 kotunda ölçülen hızlar.	168
4.21. Plaka arka noktası -14 kotunda ölçülen hızlar.	168
4.22. Plaka ön noktası -9 kotunda ölçülen hızlar.	169
4.23. Plaka ön noktası -14 kotunda ölçülen hızlar.	169
4.24. Plaka altında yatay ve düşey merkezde -14 kotunda “A ₅ ” ve “A ₅₅ ” ölçüm serilerine ait hızların grafiksel karşılaştırılması.	171
4.25. Plaka altında yatay ve düşey merkezde -9 kotunda “A ₆ ” ve “A ₆₆ ” ölçüm serilerine ait hızların grafiksel karşılaştırılması	171
4.26. Plaka altında üçgen levha “A ₅ ” ve dikdörtgen levha “A ₅₅ ” ölçüm serilerinin karşılaştırılması	172
4.27. Plaka altında üçgen levha “A ₆ ” ve dikdörtgen levha “A ₆₆ ” ölçüm serilerinin karşılaştırılması	173

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.28. Alternatif ölçüm serilerinin dalga geçirgenliklerinin karşılaştırılması	179
4.29. Plaka altında üçgen levha ile dikdörtgen levha olması durumunda dalga geçirgenliklerinin karşılaştırılması.....	179
4.30. Plaka altında üçgen levha olması durumunda alternatif ölçüm serilerinin periyot geçirgenliklerinin karşılaştırılması.....	180
4.31. Plaka altında üçgen levha ile dikdörtgen levha olması durumunda periyot geçirgenliklerinin karşılaştırılması.....	180
4.32. Sistemin $H=2$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.	186
4.33. Sistemin $H=4$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.	186
4.34. Sistemin $H=6$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.	187
4.35. Sistemin $H=8$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.	187
4.36. Sistemin $H=10$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.....	188

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Karadeniz, Akdeniz ve okyanuslarda ölçülen dalga gücü miktarları (Anonim, 2003).	4
1.2 Santrallerin birim yatırım maliyeti ve enerji kaynağına göre birim işletme maliyet aralığı (Çokan, 2003).	5
1.3. Sabitlenmiş batık plakaya ait yapılmış çalışmalar	9
2.1. Dalga tipleri ve nedenleri (Gourlay and Apelt, 1985; Yüksel vd.'den, 1998)	12
2.2 Dalgaların rölatif derinliklere göre sınıflandırılması (Taşpınar, 1980; Sabuncu, 1983; SPM, 1984).	26
2.3 Sığ su ve derin su için hiperbolik fonksiyonların almış olduğu limit durumları (Sabuncu, 1983).	26
2.4 d/L oranlarına karşılık gelen c/c_0 ve L/L_0 değerleri (Sabuncu, 1983).	30
2.5 Lineer dalga (Airy) teorisinde dalga karakteristikleri (SPM, 1984)	42
4.1 Ölçüm sonuçları çıktı örneği	148
4.2 A_0 ölçüm serisi 1nci ve 2nci ölçüm hız değerleri ve ortalamaları.	149
4.3 A_0 ölçüm serisi hesaplanan hız değerleri.	150
4.4 Ölçülen ve hesaplanan hız değerleri.	150
4.5 Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen maksimum (dalga geliş yönündeki) hızlar	161
4.6 Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen minimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar	162

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Plaka arka noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri.	166
4.8. Plaka arka noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri.	166
4.9. Plaka ön noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri.	167
4.10. Plaka ön noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri.	167
4.11. Plakanın altında dikdörtgen levhalı ölçüm serilerinde düşey ve yatay merkezde ölçülen maksimum (dalga geliş yönü) ve minimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar	170
4.12. Belirlenen gelen dalgaların ölçülen yükseklik ve periyot değerleri.	174
4.13. Dalga geçirgenliği 1. ölçüm değerleri.....	175
4.14. Dalga geçirgenliği 2. ölçüm değerleri.....	176
4.15. Plaka altında dikdörtgen levha olması durumunda dalga geçirgenliği ölçüm değerleri.	177
4.16. Dalga geçirgenliği ölçüm sonuçları.	178
4.17. Plaka altındaki açıklık oranları.	182
4.18. Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen maksimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar.....	184
4.19. Plakanın dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması durumundaki verimler (%).	185

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L	Dalga Boyu (m)
L_o	Derin suda dalga boyu /(m)
L_T	Trokoidal teoride dalga boyu (m)
H	Dalga Yüksekliği (m)
H_o	Derin suda Dalga Yüksekliği (m)
a	Dalga Genliği (m)
η	Su yüzeyi profili
k	Dalga numarası
T	Periyot (s)
ω	Dairesel Dalga Frekansı
c	Dalga ilerleme hızı (cm/s)
c_o	Derin suda dalga ilerleme hızı (cm/s)
c_T	Trokoidal teoride dalga ilerleme hızı (cm/s)
d	Su derinliği (m)
u	Yatay hız bileşeni (cm/s)
w	Düşey hız bileşeni (cm/s)
ϕ	Potansiyel fonksiyonu

SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
z	Su zerrelerinin derinliği (m)
p	Basınç (N/m ²)
ρ	Akışkanın yoğunluğu (kg/cm ³)
g	Yerçekim ivmesi (m/s ²)
f	Frekans
α_x, α_z	Akışkan zerrelerine ait ivmeler (m/s ²)
ξ	Yatay doğrultudaki yer değiştirmeler
ζ	Düşey doğrultudaki yer değiştirmeler
t	Zaman (s)
A	Elips'in büyük (yatay) eksen (cm)
B	Elips'in küçük (düşey) eksen (cm)
C	Elips'te yarı odaklar arası uzaklık (cm)
r	Yarıçap (cm)
p'	İlerleyen dalgada toplam basınç (N/m ²)
K_p	Basınç katsayısı
$\tan \phi$	Dalga meyili
v, v_2	Trokoidde hız değerleri (cm/s)

SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
y_t	Deniz tabanından dalga çukuruna olan mesafe (m)
c_n	Eliptik cosine fonksiyonu
$K(k)$	Birinci mertebeden eliptik integral
K	Eliptik integral modülü
y_c	Deniz tabanından dalga tepesine olan mesafe (m)
$E(k)$	İkinci mertebeden eliptik integral
M, N	H/d'nin fonksiyonu
ψ_n	Akım fonksiyonu (sbt)
E_k	Kinetik enerji
E_p	Potansiyel enerji
E_t	Toplam Enerji
$\dot{w}$	İş veya enerji akımı
$\overline{\dot{w}}$	Ortalama iş (güç) veya ortalama enerji akımı
K_t	Geçiş katsayısı
H_t	Geçen dalga yüksekliği (m)
H_i	Gelen dalga yüksekliği (m)

SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
l	Plaka boyu (m)
t_s	Batma derinliği (m)
s_p	Plaka Kalınlığı (cm)
η_s	Sistemin verimi
$h_{açıklık}$	Plaka ile levhalar arasındaki mesafe (m)
$b_{açıklık}$	Plaka genişliği (m)
V	Ölçülen hız değerleri (cm/s)
Q	Debi (cm ³ /s)

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada en büyük problem olarak yerini alan enerji kaynakları temini kapsamında: çoğu zaman yapım aşamasına kadar gelen ancak daha sonra askıya alınan nükleer santrallerin kurulması ve bunların yarattığı tartışmalar; fiyatları sürekli olarak artan ve artmaya devam edeceği açık olan petrol ve doğal gazı alternatif enerji kaynakları bulmak amacıyla son günlerde tekrar ülkemizin gündemine oturmuş bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde terkedilme eğiliminde olan bu enerji üretme şekli az gelişmiş ülkelerde pazar bulma çabasına girmiştir. Geri dönülemez ve gelecek kuşakları kapsayan etkileri olan, Çernobil faciası örneğindeki gibi kayıplara neden olabilen bu santrallerin kaza olma olasılığı düşük olarak ifade edilse de, hiç olmayacağı garanti edilmemektedir. Ayrıca, nükleer güç santrallerinin atıklarının nasıl yok edileceği, gelişmiş ülkelerce bile tam çözüme kavuşturulamamıştır. Atıkların radyoaktif etkilerinin binlerce yıl boyunca güvenilir biçimde saklanması, gerek teknolojik açıdan gerekse mali açıdan büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (TMMOB, 2003).

Fakat en önemlisi, nükleer güç santrallerinin çevresel etkilerinin diğer seçeneklerin yol açabileceği olumsuz çevre etkileriyle karşılaştırılamayacak nitelikte ve boyutta olmasıdır. Bundan dolayı verimliliği yüksek olan, yüksek enerji üreten ve çevreyi kirletmeyen teknolojilere yönelmek çalışmaların esasını teşkil etmelidir.

Tarih boyunca enerji kaynakları, siyasal ve stratejik açıdan bir çok dengeyi değiştirmiş ve günümüzde de çoğu trajedilerin esas nedeni olmuşlardır. Olumlu veya olumsuz kullanılmasına göre iyi veya kötü

sonuçlar alınmasına neden olan enerji, her türlü gücün oluşmasında esas teşkil etmektedir.

Birincil enerji kaynağı olarak ilk anda, kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil kökenli yakıtlar gündeme gelmektedir. Dünyada enerji ihtiyacının %90'ı bu yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu yakıtlarla yarışacak kapasitede alternatif enerji kaynakları verimli bir şekilde kullanılamadığından, fosil kaynaklı yakıtları doğayı kirletici ve maliyeti yüksek kaynaklar olduğunun farkına varsak dahi görmemezlikten gelmekteyiz. Ayrıca, gelecek zamanda tkenebilirliğı de gözönünde bulundurulduğunda alternatif enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz olacaktır (Anonim, 2003). İşte bu bağlamda, alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynakları daha önem kazanmaktadır.

Dünyanın varolma sresinin referans olarak alındığı bir sınıflandırmaya göre enerji; tükenebilen ve kendisini dünya varoldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerjiler olarak iki grupta incelenebilmektedir (zdamar, 2001). Sürekli olarak doğal süreçlerle yenilenen enerji olarak tanımlanan “Yenilenebilir Enerji”; Hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarıdır.

Rüzgardan elde edilebilecek enerji, rüzgar türbin kanatlarının kapsama alanı ile sınırlı olup, Türkiye’de rüzgar potansiyelinin yeterince yüksek olmaması nedeni ile fosil kökenli yakıtlarla yarışabilecek seviyede olamayacaktır. Ancak bu düşünce, rüzgar enerjisinden yararlanılmaması veya teknolojilerin takip edilmeyerek gerekli çalışmaların yapılmaması şeklinde algılanmamalıdır. Çok büyük

yatırımlarla inşa edilen barajlar ve termik santrallerin yanında deniz dalga enerjisine yönelim büyük bir gereklilik olmaktadır.

Güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ise, hem mali açıdan hem de daha kullanılabilir hale getirilmesi için uzun bir süreye ihtiyaç duyulmasına neden olacaktır. Gelecekte fosil kökenli yakıtlara en büyük alternatif olabilecek deniz dalga enerjisi Karadeniz ve Akdeniz’de büyük bir potansiyelle yer almasına rağmen, bu konuda hazırı tüketmek, işin kolayına kaçmak, dış ülkelere olan anlamsız bağımlılığımız ve kısa vadeli günü kurtarmak amacıyla izlenen politik beklentiler sebebiyle çok az kurum, kuruluş yada kişi haricinde çalışmalar yapılmamıştır. Delaware Üniversitesi tarafından yapılan dalga-enerji hesaplamalarına göre, okyanuslarda meydana gelen dalganın ve Karadeniz ile Akdeniz’de yapılan ölçümlere göre birim alanda mevcut olan deniz dalga enerjisi miktarları Çizelge 1.1’de gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere 1 m’nin üzerinde ortalama dalga yüksekliğine sahip olan deniz dalga enerjisi bile fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji yoğunluğuna sahiptir. Buna ek olarak; dalga gücüne ilişkin bir örnek verecek olursak, 1 m³ hacmindeki içi boş bir dubayı suya batırmaya çalışarak veya dalga tarafından kaldırılan aynı hacimde içi su ile dolu bir kabı dalganın üst noktasında tutmaya çalışarak gücün önemini kavrayabiliriz. Halbuki denizlerde bu hareket her gün milyarlarca kez tekrarlandığına göre; yapılması gereken tek şey, doğru teknolojiyi doğru yerde kullanabilmektir. Hidroelektrik santrallerde her üç saniyede bir 10 ton suyu, 30 m’den aşağıya düşürerek elde edilebilecek enerji 1 m dalga yüksekliğine sahip deniz yüzeyinde 1 dönümden daha az bir alanda elde edilebilir (Anonim, 2003).

Çizelge 1.1 Karadeniz, Akdeniz ve okyanuslarda ölçülen dalga gücü miktarları (Anonim, 2003).

Bölge	Dalga Yüksekliği (m)	Dalga Periyodu (s)	Deniz Derinliği (m)	Güç (kW/m)
Karadeniz	1.25	4.0	50	1.92
Akdeniz	1.30	6.0	50	2.06
Okyanus	10	10	100	122
Okyanus	20	15	200	485

Ulusal ekonominin önemli bir sektörü olan enerji sektöründe elektrik enerjisi, kullanım kolaylığı ve temizliği nedeniyle en tercih edileni olmaktadır. Ulusal elektrik enerjisi kaynaklarımıza bakıldığında; ekonomiklik analizi yapılmış olan 130 milyar kWh hidrolik potansiyel bulunduğu ve bu potansiyelin %30'unun kullanıldığı görülmektedir. Brüt hidrolik potansiyelimiz ise 433 milyar kWh civarında olup teknik yönden değerlendirilebilir hidrolik potansiyel 216 milyar kWh'tır. Termik kapasitemiz yıllık 114 milyar kWh olup, ülkemizde halen kullanılan linyit kömüründen elektrik enerjisi üretim potansiyelimizin %22'si elde edilmektedir. Elektrik üretiminde kullanılabilecek jeotermal kaynak potansiyelimiz 2450 MW yani yıllık 16 milyar kWh elektrik enerjisi üretimine eşittir. Rüzgar gücünden enerji üretim potansiyeli incelendiğinde OECD verileri ve TEAŞ araştırmalarına göre 83000 MW ve yıllık 300 milyar kWh enerji üretimine eşdeğer olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisinde ulusal politikanın belirlenmesinde en önemli faktörler; temiz ve yenilenebilir kaynaklara yönelmek, üretilen enerjinin verimli kullanımı, elektrik enerjisinin temiz kullanımı, ulusal kaynakların kullanımı, çevre boyutu ve planlama olarak belirlenmektedir. Bu çerçevede güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi konusunda

ülkemizde kayda değer bir çalışma bulunmamakta, jeotermal ve rüzgardan faydalanma çok düşük kalmakta, şu anda tükettiğimiz elektriğin tümünü sudan elde edebilecek kaynağa sahip olduğumuz halde, kullanamayıp elektrik enerjisine çeviremediğimiz 8-10 milyar dolarlık bir kaynağı her yıl denize dökmekte ve dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda kayda değer bir çalışma yapılamamaktadır (TMMOB, 2001; Anonim, 2006).

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı çeşitli tiplerde dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kullanılarak dalga santralleri kullanılması en azından fosil kökenli yakıtların daha az tüketilmesinde azımsanamayacak bir çaba olabilecektir. Dalga santrallerinin kuruluş maliyetleri 600 -2000 \$/kW, birim enerji maliyet 2,70 – 3,60 cent/kWh civarında verilecek olup santrallerin birim maliyeti ve enerji kaynağına göre birim işletme aralığı Çizelge 1.2’de gösterilmiştir (Çokan, 2003).

Çizelge 1.2 Santrallerin birim yatırım maliyeti ve enerji kaynağına göre birim işletme maliyet aralığı (Çokan, 2003).

Santralin Cinsi	Kuruluş maliyeti \$/kW	İşletme maliyeti cent/kWh
Termik Santraller (Kömür)	1200 – 1300	4,80 – 5,50
Doğal Gaz Santralleri	500 – 600	3,90 – 4,40
Biyomas-atık		5,80 – 11,60
Rüzgar Santralleri	1100 – 1300	4,00 – 6,00
Güneş pili	3000 – 6000	25,00 – 100,00
Nükleer Santraller	3500 – 4000	11,10 – 14,50 (Teknolojik bağımlılık)
Hidroelektrik Santraller	800 – 1000	5,10 – 11,30
Dalga Elektrik Santraller	600 - 2000	0,60 – 1,50

Dalgalardan sürekli enerji elde etmek maksadıyla; yıllardır dalgaların gücünün yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının yolları aranmaktadır. Dünya Enerji Konseyine göre, sadece okyanus dalgaları dünyanın şu anda kullandığı enerjinin tam iki katını üretecek potansiyele sahip olmasına rağmen, dalga hareketinin dağınık yapısı nedeniyle bu büyük gücün ekonomik olarak kullanılması güçleşmektedir (Anonim, 2002). Bu bağlamda dalga enerjisi teknolojisi rüzgar enerjisi gibi diğer temiz enerji kaynakları teknolojilerine göre ekonomik görünmemesine rağmen Dünya Enerji Konseyi dünya genelinde dalga enerjisi miktarının 2000 TW olduğunu açıklamıştır (Aytek vd., 2002).

Enerjiye sahip olmak, tarih boyunca ülkeler için büyük güce sahip olma anlamında benimsenmiş ve gerek bu amaç gerekse çeşitli nedenlerle yeryüzünde savaşlar yaşanmıştır. İkinci dünya savaşı sırasında “ D-Day”, olarak adlandırılan 06 Haziran 1944 günü müttefik askeri birlikleri Normandiya kıyılarına çıkarma yapmışlardır. Müttefik güçlerin çıkarması askeri bir proje olarak ortaya konulsa da, bu projede askeri teçhizatın sağlanabilmesi için bir limana ihtiyaç duyulmaktaydı. Ancak sürenin kısıtlı olması bilinen bir liman inşasına imkan vermiyordu. Winston Churchill tarafından ileri sürülen fikirle İngiltere’de 1942 – 1944 yılları arasında yapılması tasarlanan prefabrik bir limanın büyük dubaları, iskeleleri, köprü ve bağlantıları inşa edildi. Çıkarma gününden bir gün sonra, limanın parçaları denizden taşınarak çok kısa sürede yerlerine monte edildi ve 500 hektarlık bir alanı sert fırtınalara karşı koruyacak dalgakıranlar inşa edildi ve dört büyük boşaltma iskelesi kurularak, savaş süresince bu iskelelerden günde 7000 ton savaş malzemesi ikmali sağlandı. Bu düşünce savaşın sonuçlanmasında önemli

bir paya sahipti. Fakat daha önemlisi bu olay uygar, rahat ve daha iyi bir yaşam için doğayı dönüştürme işini tasarımılayan ve gerçekleştiren bir meslek olan mühendislik ve bu kapsamda ele alındığında; deniz, kara ve hava ortamlarından aynı anda etkilenen yapıların tasarım ve inşası ile ilgilenen bir bilim dalı olan kıyı mühendisliğinin tüm dünyada bir bilim dalı olarak tanınmasında kilometre taşlarından biri olmuştur (Ergin, 2005).

Normandiya çıkarması sırasında, Fransa'nın Normandiya kıyısında Arromanche'ye özverili ve dahiyane bir çalışma sonucu inşa edilen Mulberry prefabrik limanının elemanlarından bir kısmı yüzer dalgakıranlardan oluşmaktaydı. Bombardon dalgakıranı olarak isimlendirilen bu yapının çıkarmanın gerçekleştirilmesinde sağladığı bu yarar yüzen ve yerdeğiştirilebilir türden dalgakıranların özellikle askeri alanda önemli kazanımlar sağlayabileceği düşüncesinden hareketle daha sonraki yıllarda bu çalışmalara hız verilmiştir (Akyarlı, 1980; Ergin, 2005).

Yüzer dalgakıran tiplerinden olan yüzen ve sabit batık plakalar dalga yüksekliklerinin indirgenmesinde kullanılan diğer dalgakıran tiplerine göre, ilk yatırım masraflarının daha az olması tüm su derinliği boyunca devam etmemesi ve deniz tabanına oturmaması, akış kesitlerini kapatmaması, sürüntü maddesi hareketini, balık geçişlerini, su kalitesinin korunumunu sağlayan donanımları engellememesi, deniz tabanında oyulma ve yığılmalara neden olmaması gibi sebeplerle önemli avantajlara sahiptir (Akyarlı, 1980).

Batık plak dalgakıranlar üzerine yapılan deneysel araştırmalarda batık plakanın dalga yüksekliğini indirgemesinin yanı sıra plaka altında geliş yönünün tersi yönde atımlı bir akım oluştuğu gözlemlenmiştir. Buradan hareketle plaka altına yerleştirilebilecek bir türbin ile sistemin bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak bu sistemden elektrik enerjisi üretilmesi düşüncesi doğmuş ve bu konuya yönelik yapılan ilk deneylerde plaka altında hız ölçümleri yapılarak verim hesabı yapılmış ve sistemden %3 verim alınabileceği tespit edilmiştir (Graw, 1995).

Kuramsal olarak çok küçük bir kesitle sonsuz yükseklikteki hızları yakalamak düşüncesi ile ve $Q=V \cdot A$ bağıntısından hareketle batık plaka altındaki akış kesitini çeşitli oranlarda değişik konstrüksiyonlu yapı türleri ile kapatarak hız ölçümü ve verim analizi yapmak amacıyla bu deneysel çalışma yapılmış ve çeşitli dalga yüksekliği ve periyotlarında yapılan ölçümlerde verim değerleri araştırılmıştır.

1.1. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerine ait ilk patent 1799 yılında Paris'te Girards'a verilmiştir. 1932 yılında dalgaların büyük gücünü fark eden Osborn Havelock papazları, 1933'te dalga enerjisi düşüncelerine patent almışlardır. Dalga enerjisi konusunda 1932 yılından 2001 yılın kadar alınan patent sayısı 259, 2003 Mart ayı itibari ile 292 olarak tespit edilmiştir (Ün, 2003). Günümüz teknolojisinin ve bu alanda yapılan çalışmaların hız kazanmasıyla birlikte Mayıs 2006 tarihi itibari ile bu sayı yaklaşık olarak 1000'i aşmıştır (Anonim, 2006). Batık plak dalgakıranların dalga sönümü ve etrafında oluşan akım ilk olarak 1968 yılında Dick tarafından fark edilmiş ancak bu konuyla ilgili olarak

herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Daha sonra 1986 yılında Hoeborn tarafından batık bir plakanın etrafındaki atımlı akımın etkisi açıklanmıştır. Plaka altında oluşan enerji kayıpları 1991 yılında Fischer, Jirka, Kaldenhoff tarafından araştırılmıştır. Plaka altındaki akıntı olayı ve plaka altındaki kesitin daraltılmasına yönelik olarak 1992 yılında Graw tarafından araştırma yapılmış ve bu deneylerle plaka altındaki akışın, bir dalga enerjisi dönüştürücüsü olarak kullanılması fikrine yönlendirilmiştir. Bu çalışmadan hareketle plaka altındaki kesitin daraltılması ve bu işlem yapılırken kullanılacak olan çeşitli konstrüksiyonların (plaka altında; dikduvar, duba tipi vb.) akım ve dalga sönümüne etkileri 2000 yılında Klietsch tarafından araştırılmıştır. Sabitlenmiş batık plakaya ait yapılan çalışmalar Çizelge 1.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Sabitlenmiş batık plakaya ait yapılmış çalışmalar

	Analitik	Nümerik	Deneyisel
Sabitlenmiş batık plaka	• Heins (1950) • Greene and Heins (1953) • Burke (1964) • Dick (1968) • Durgin and Shiau (1975) • Hattori and Matsumoto (1977) • Siew and Hurley (1977) • Patarapanich and Sylvester (1984) • Guevel et al. (1985) • Liu and Iskandarani (1989) • Patarapanich and Cheong (1989)	• Patarapanich (1978) • Aoyama et al. (1988) • Kaldenhoff and Fischer (1989) • Yu et al. (1990) • Fischer (1990) • Yueh and Kuo(1993)	• Dick (1968) • Silvester (1973) • Durgin and Shiau (1975) • Sendil and Graf (1974) • Balasubramanian (1976) • Dattari et al. (1977) • Patarapanich and Sylvester (1984) • Guevel et al. (1985) • Hoeborn (1986) • Graw et al. (1989a) • Graw et al. (1989b) • Patarapanich and Cheong (1989) • Kojima et al. (1990) • Kojima et al. (1992) • Graw (1992) • Nellamani and Reddi (1992) • Yueh and Kuo(1993) • Klietsch (1993) • Klietsch (2000)

1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntem

Batık plak dalgakıranlar, yıllardır dalga sönümleme ve kıyı koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu tip dalgakıranların enerji eldesi amaçlı olarak da kullanılabileceği fikri, son yıllarda ortaya atılmış olup; yapılan çalışmalarda, bu sistemlerin %3 gibi düşük verimlere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu düşük verim, batık plak dalgakıranların kullanılmasında en büyük engeli oluşturmuştur.

Uluslararası literatürde %3'lük verim ile anılan batık plak dalgakıranların verimini artırmak amacıyla başlanılan bu çalışmada, plak altında üçgen yapı ve duvar yapı olması durumları için parametre araştırması yapılmış, deneysel olarak verim ve dalga sönümleme özellikleri araştırılmıştır. Bu şekilde, batık plak dalgakıranların verimleri artırılarak uygulamada kullanılmalarının sağlanması amaçlanmıştır.

2. DALGA ENERJİSİ

2.1. Dalga Mekaniği

2.1.1 Giriş

Rüzgar, denizlerdeki hareketli taşıtlar, denizlerin altındaki depremlemler ile ay ve güneşin çekim kuvveti gibi dış etmenlerle dengesi bozulan sakin su yüzeyinin yerçekimi etkisiyle tekrar orijinal konumuna dönebilmesi için yapmış olduğu hareketler, dalga hareketini oluşturur.

Rüzgar etkisiyle oluşan deniz dalgaları, rüzgar dışındaki etmenlerle oluşan deniz dalgalarına göre süreklidirler ve bu nedenle de enerji eldesinde öncelikle dikkate alınırlar (Örer vd., 2003).

Deniz yüzeyinde oluşan su dalgaları, üç boyutlu karakterde ve karışık rasgele özelliklere sahip, periyodik su hareketleridir. Bahsedilen bu dalgaların matematiksel açıdan ifade edilmeleri güçtür. Bu tip dalgalar, oluşmalarındaki esas etken nedeniyle, yerçekimi dalgaları olarak adlandırılır. Buna karşılık olarak, su yüzeyinde hafif esintilerin meydana getirdiği çok küçük genlikli çarpıntılı dalgalarında yerçekimi etkisi çok az olup, esas etken sudaki yüzey gerilim kuvvetidir. Bu tür dalgalar, yüzey gerilim dalgaları veya kapılar dalgalar olarak adlandırılır (Sabuncu, 1963).

Periyodik dalgaların kendilerini oluşturan ağırlık, kapilarite gibi kuvvetlere, periyotlarına, yayıldıkları ortamın derinliğine vb. göre sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dalga tipleri ve nedenleri (Gourlay and Apelt, 1985; Yüksel vd.'den, 1998)

Dalga Tipi	Periyot	Sebeup
Rüzgar Dalgası	≤ 15 s	Rüzgar gerilmesi
Ölü deniz dalgası, soluğan (Swell)	≤ 30 s	Rüzgar dalgası
Surf salınımı (Surf beat)	1-5 dak	Dalga grubu
Seiche	2-40 dak	Rüzgar değişimi
Çalkantı	2-40 dak	Tsunami, surf salınımı
Tsunami	5-60 dak	Deprem
Gel-git	12-24 saat	Güneş ve ay çekimi
Fırtına kabarması (Storm surge)	1-30 gün	Rüzgar gerilmesi ve atmosfer basıncındaki azalma

Rüzgar etkisiyle oluşan dalganın, rüzgara karşı ve ona ters oluşan sırtları arasında basınç farkı doğar ve bunun neticesinde rüzgar enerjisi su yüzeyine geçer. Açık denizde atmosferden su yüzeyine sürekli enerji geçişi, rüzgar dalgalarını oluşturur. Meydana gelen rüzgar dalgalarının yüksekliklerinin değişmesine karşın, periyotları korunarak uzun mesafeler sonucu kıyıya ulaşarak dispersiyon olayı oluşur. Uzunluğu yüksekliğine oranla fazla olan en basit dalga sinüzoidal tipte olarak ifade edilir (Yüksel vd., 1998).

En basit yerçekimi dalga teorisi küçük genlikli dalgalar teorisi veya bir başka adıyla lineer dalga teorisi olup, ilk olarak Airy tarafından 1845 yılında geliştirilmiştir. Teorinin uygulanmasındaki kolaylık ve sonuçlarındaki güvenilirlik yanında ek olarak bu tür dalgaların, karışık

dalgalarında birer basit bileşenleri olmaları sebebiyle incelenmeleri büyük önem taşır. Lineer dalga teorisinde sinüzoidal dalga adı verilen bu tür dalgalarda, dalga profili sinüs veya kosinüs eğrileriyle temsil edilir. Buna karşılık olarak hidrolik laboratuvarlarında yapay olarak oluşturulan düzgün dalga dizilerine ait profillerin basit bir sinüsoidden farklı olduğu, dalga tepelerinin sivri, buna karşın dalga çukurlarının yayvan oldukları gözlemlenmiştir (Sabuncu, 1983).

Lineer dalga teorisi çok basit olmakla birlikte bir çok probleme çok iyi çözüm getirmekte ve mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım lineer teorisinin her zaman uygulanabilir olduğu anlamına gelmemektedir. Süperpoze edilebilme imkanının sağlanması avantajına karşılık, bu teori sadece küçük genlikli dalgalar için geçerlidir. Büyük genlikli dalgalarda görülen dalga tepesi ve çukuru arasındaki asimetri ve kütle taşınımı lineer dalga teorisi ile açıklanamamakta ve bunun sonucunda lineer olmayan dalga teorilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Yüksel vd., 1998).

Doğada bulunan düzgün dalgalara sonlu genlikli veya lineer olmayan dalga teorileri ile çözüm bulunmaktadır. 1880 yılında Stokes tarafından yukarı mertebeden dalga teorileri getirilmiş olup, ardışık yaklaşımlarla birinci mertebe teori ikinci mertebeye kadar düzeltilerek üçüncü mertebe dalga teorisi elde edilmiştir. Bunun sonucunda gerçek düzgün dalga profilinin sonsuz sayıdaki bir trigonometrik seriyle gösterilebileceği anlaşılmıştır. İfade edilen birinci mertebe teori lineer dalga teorisiyle tamamen özdeştir. Lineer olmayan dalga teorisi ise ilk olarak 1802 yılında Fr. Gerstner tarafından ifade edilmiş, dalga profilinin trokoid formunda olması sebebiyle bu teoriye trokoidal dalga teorisi

denilmiştir. Bu teoride su yüzeyi sınır şartlarının tam olarak gerçekleşmesine ve dalga profilinin gerçeğe çok yakın olmasına rağmen, dalga hareketindeki kütle taşınımı verilememekte, ayrıca dalganın çevrintili olması sebebiyle potansiyel akışkana ait problemlerin kullanılması mümkün olmamaktadır (Sabuncu, 1983).

2.1.2 Dalga parametreleri

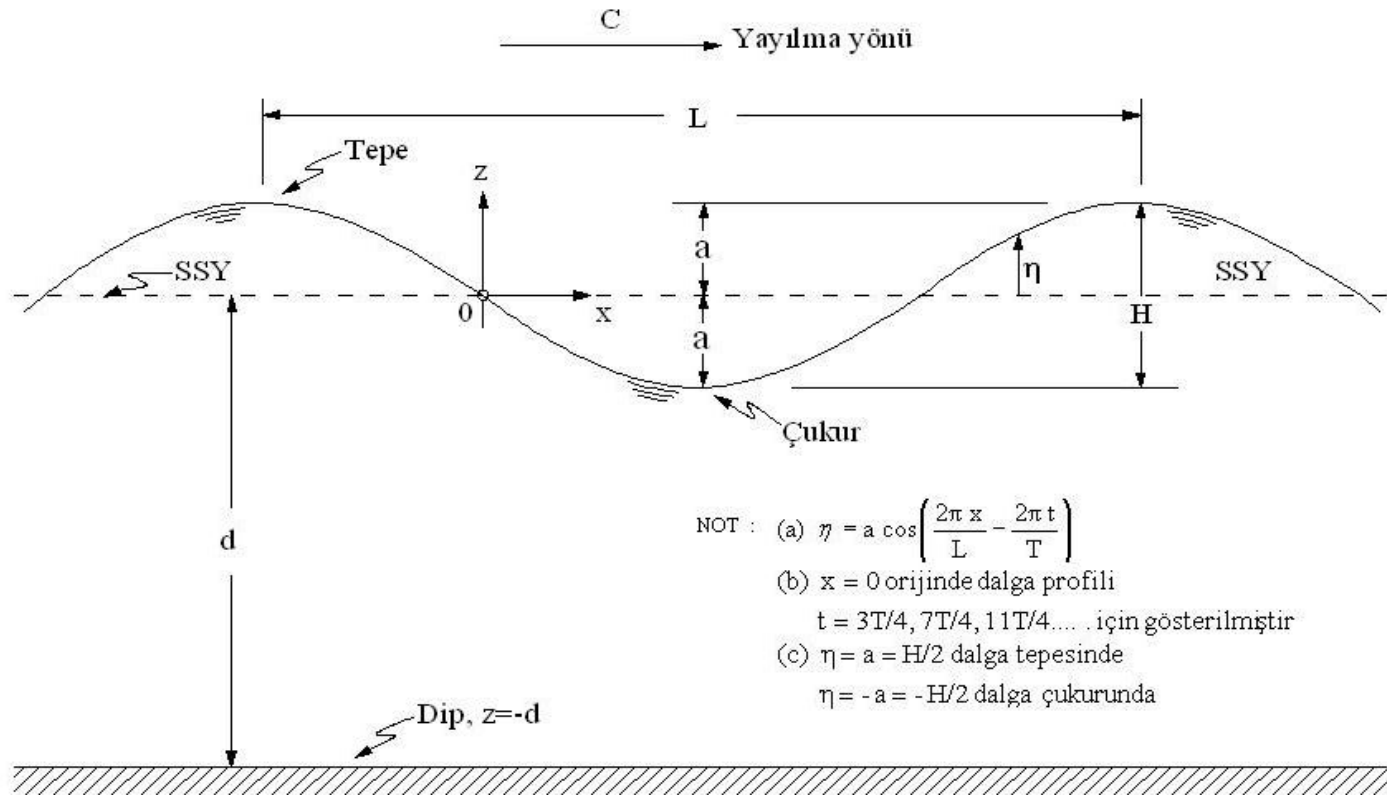
Sinüzoidal tipte bir dalga üzerinde dalgaya ait parametreler incelendiğinde, iki boyutlu dalga teorisine göre dalga tepe ve çukurlarının geometrik yerlerinin birbirlerine paralel ve eşit aralıklı sonsuz uzunluktaki doğrulardan oluştuğu görülür. Bu doğrulara dik herhangi bir düzlemsel kesit, iki boyutlu dalga dizisine ait profil şeklini ifade eder. Dizinin, dalga tepe ve doğrularına dik olarak profil şeklini değiştirmeden sabit bir dalga hızı ile ilerlediği varsayılır (Sabuncu, 1983). X eksenı yönünde ilerleyen basit bir dalgaya ait dalga profili Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Basit bir dalgayı belirleyen dalga parametreleri aşağıda ifade edilmektedir.

L : Dalga boyu, ardışık dalga tepeleri veya dalga çukurları arasındaki yatay uzaklık (m),

H : Dalga yüksekliği, dalga tepesiyle dalga çukuru arasındaki düşey uzaklık (m), $H = 2a$,

a : Dalga genliği, sakin su yüzeyinden dalga tepesine veya çukuruna ölçülen düşey uzaklık (m),



Şekil 2.1. Küçük genlikli sinüzoidal dalga.

η : Herhangi bir anda ortalama su seviyesinden itibaren su yüzeylerinin düşey doğrultudaki değişimleri,

k : Dalga numarası, $k=2\pi/L$,

T : Dalga periyodu, ardışık 2 dalga tepesinin ardı ardına aynı bir noktadan geçme zamanı (s),

ω : Dairesel dalga frekansı, $\omega = 2\pi/T$,

c : İlerleme doğrultusunda dalga hızı (konum hızı), $c= L/T$,

d : Su derinliği, ortalama su seviyesi ile taban arasındaki mesafe,

H/L : Dalga dikliği, dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı.

2.1.3 Dalga teorileri

Dalgalar, çok karmaşık yapıya sahiptirler ve bazı teorilerde basitleştirilerek irdelenirler. Tüm dalga teorilerinde, aşağıdaki kabuller yapılır;

- a) Akışkan homojen, sıkıştırılamaz ve sürtünmesizdir, bu yüzden yoğunluk sabittir.
- b) Yüzey gerilmeleri ihmal edilir ve yüzeyde basınç üniform ve sabittir.
- c) Su zerreleri sadece çekim kuvvetlerinden etkilenir ve coriolis etkisi ihmal edilebilir.
- d) Dip yataydır, geçirgen değildir ve düşey hızlar sıfırdır.
- e) Dalga hareketi iki boyutlu, yani düzlem içinde irdelenir ve çözülür.

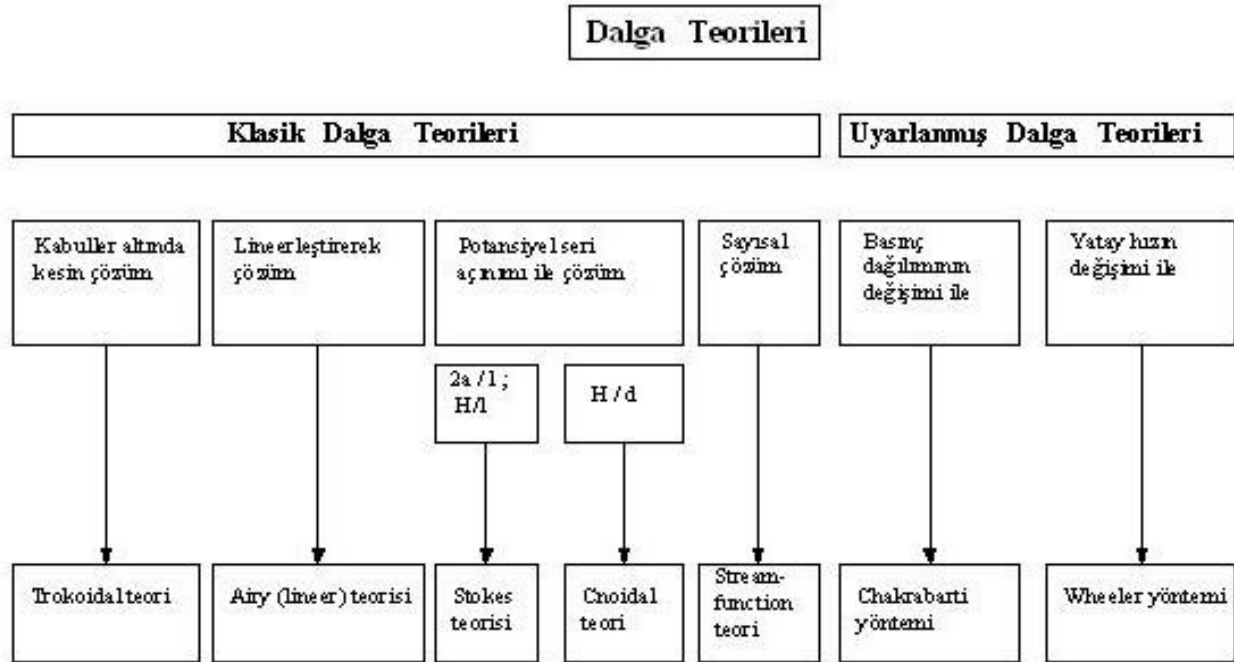
- f) Dalga hareketi, potansiyel akış olarak değerlendirilir (Örer vd., 2003).

Bu sınır koşulları lineer olmayıp, tamamen sağlanmaları gerektiğinden, problemin kapalı bir analitik çözümü bulunmaz. Dalga formu ve hız potansiyeli için geliştirilen yaklaşık çözümler Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Graw, 1995; Örer vd.’den, 2003).

2.1.3.1 Lineer dalga teorisi (Airy dalga teorisi)

Karakteristik parametreler olarak ifade edilen dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı, dalga yüksekliğinin derinliğe ve dalga boyunun derinliğe oranlarının (H/L , H/d , L/d) sınırlanmasıyla diferansiyel denklem lineerleştirilerek basitleştirilir. Burada yapılan sınırlandırma, derinliğe ve dalga boyuna göre dalga yüksekliğini çok küçük kabul etme şeklinde ($H \ll L$ ve $H \ll d$) olur. Bunun sonucu olarak, dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranında, $H/L < 1/50$ değerlerinin söz konusu olması durumu, derin su koşuluna karşılık gelir ve dalganın kinematik özellikleri, Lineer teori yardımıyla büyük yaklaşıklıkla hesaplanabilmektedir. Belirtilen nedenlerle, Lineer teori çok geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Lineer dalga teorisi, dalga profilini bir sinüs veya cosinüs eğrisiyle ifade eder ve bundan dolayı bu tür dalgalara aynı zamanda sinüzoidal dalgalardanir. Derinliği d olan dalgalı bir denizde, dalga hareketi konumun ve zamanın bağılısı olacak şekilde $z = \eta(x, y, t)$ şeklinde ifade edilir (Örer vd., 2003).



Şekil 2.2 Dalga teorilerinin yapılanması (Graw, 1995; Örer vd.'den, 2003).

Potansiyel teoriye ait basit bir sınır değer problemi olan lineer dalga teorisi, elde edilecek olan çözümlerin dalga hareketindeki sınır koşullarını gerçeklemelerini sağlamalıdır (Sabuncu, 1983).

Bu sınır koşulları;

a. Dinamik su yüzeyi sınır koşulu: Bu sınır koşuluna göre su yüzeyindeki bir su taneciği, η ile belirtilen bir düşey yer değiştirme sırasında su derinliğine göre dairesel veya eliptik yörüngeleri izler.

b. Kinematik su yüzeyi sınır koşulu: Bu sınır koşuluna göre, serbest su yüzeyinde akışkan bu yüzeyi terk edemez ve serbest su yüzeyinde her noktada akışkan normal hızı yüzey normal hızına eşittir.

c. Yatay taban sınır koşulu: Bu sınır koşuluna göre, dipte taban boyunca akışkana ait düşey hızlar sıfırdır (Örer vd., 2003).

Yukarıda belirtildiği gibi iki boyutlu ideal akışkan kavramları kullanılarak ifade edilen Lineer veya Airy dalga teorisi; dalgaların uzun mesafeler boyunca önemli bir enerji kaybı olmadan ilerlemesinden ve gerek yüzeysel gerilme etkisinin gerekse de viskozite etkisinin önemli olmamasından dolayı potansiyel (çevrintisiz) akım kabulü olarak geliştirilmiştir (Yüksel vd., 1998).

Çevrintisiz akıma ait süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

u : yatay hız bileşenini,

w : düşey hız bileşenini,

x, z : koordinat eksenlerini göstermektedir.

Potansiyel (çevrintisiz) akım teorisine göre, potansiyel fonksiyonu cinsinden bu hızlar:

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2.2)$$

şeklinde yazılır. Bu ifadeler süreklilik denkleminde yerine konulursa, potansiyel (çevrintisiz) akıma ait Laplace diferansiyel denklemi elde edilir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.3)$$

Bu diferansiyel denklemin mevcut sınır koşullarını sağlayan çözümü istenmektedir. Hızlar yerine ϕ 'nin sadece mevcut koordinatların bir fonksiyonu ($\phi = \phi [x, z, t]$) olması potansiyel fonksiyon ile çalışmanın avantajı olmakla beraber, ortaya ikinci mertebeden bir diferansiyel çıkması dezavantaj oluşturmaktadır.

Kararsız akım için Bernoulli denklemi, enerjinin korunumu prensibinden aşağıdaki şekilde yazılır:

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{u^2 + w^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gz = 0 \quad (2.4)$$

Burada; P basınç, ρ akışkanın özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, t zamandır.

Dalga boyuna ve derinliğe göre, dalga yüksekliği küçük olan dalgalar için Bernoulli denkleminde kare şeklinde bulunan hız terimleri, sadece ikinci mertebeden önemli olduklarından ihmal edilebilirler. Buna göre denklem aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{P}{\rho} + gz = 0 \quad (2.5)$$

Sınır şartları göz önünde bulundurulduğunda;

a. Taban sınır şartında; taban geçirimsiz ve yatay olduğu varsayıldığında, düşey hız bileşeni sıfır olacağına göre,

$$w = \left. \frac{\partial \phi}{\partial z} \right|_{z=-d} = 0 \quad (2.6)$$

b. Serbest yüzeyde (kinematik şart), düşey hız

$$w = -\left. \frac{\partial \phi}{\partial z} \right|_{z=\eta} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (2.7)$$

şeklinde olup, serbest yüzey aynı zamanda bir akım çizgisidir.

c. Serbest yüzeyde (dinamik şart), $z = \eta$, $p=0$ olduğunda Bernoulli denklemi aşağıdaki şekilde yazılır:

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta = 0 \quad (2.8)$$

Dalga profili ise aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\eta = a \cos \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (2.9)$$

Dalga x doğrultusunda, c dalga yayılma hızı ile ilerler. Burada dalga frekansı $f = 1/T$, açısal frekans $\omega = 2\pi/T$, dalga numarası $k=2\pi/L$ ile ifade edildiğinde dalga profili aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) = 0 \quad (2.10)$$

(2.7) ve (2.8) denklemleri yeniden düzenlenirse;

$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} \right|_{z=\eta=0} = 0 \quad (2.11)$$

denklemleri elde edilir. (2.3) – (2.11) lineer denklem takımlarının çözümünden;

$$\phi = \frac{-a \cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (2.12)$$

elde edilir. Bu ϕ fonksiyonu (2.8), Bernoulli denkleminde yerine konulursa dalga yayılma hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir ($H \ll L$ ve $H \ll d$).

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kd) \quad (2.13)$$

c dalga yayılma hızı, dalga profilinin bütün noktalarının (aynı faza sahip olarak) aynı hızda yayılması nedeniyle aynı zamanda faz hızı olarak isimlendirilir.

Dalga boyunun su derinliği ile değişmesi halinde (2.13) denkleminde, denklemde $c=L/T$ ve $k=2\pi/L$ koyarak;

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.14)$$

elde edilir. Burada T dalga periyodu ve d su derinliği bilindiğinde, ön ve hatalı bir uygulama ile L dalga boyu elde edilebilir. Ancak, hesaplanan dalga boyları için bir grafik çizildiği taktirde veya özel olarak çizilmiş tablolardan faydalanmak suretiyle, bu hatalı uygulama, yönteminden uzaklaşılabilir (Taşpınar, 1980). Lineer teoriye göre dalga karakteristikleri aşağıda açıklanmaktadır.

a. Dalga yayılma hızı (c)

Dalga yayılma hızı (2.13) denkleminde $\omega = kc$ olarak ifade edildiğinde;

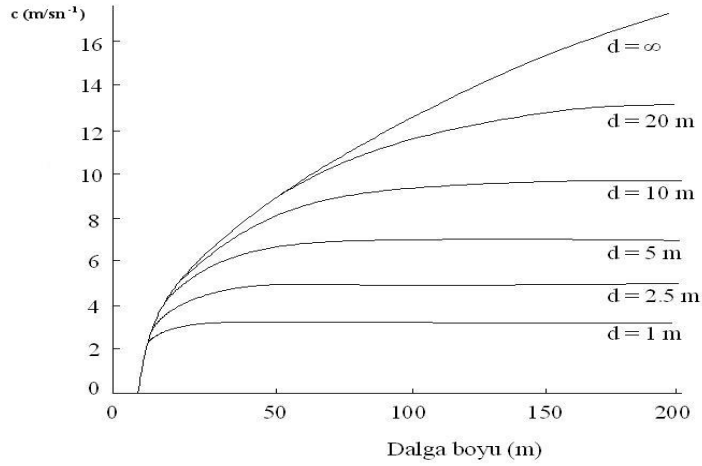
$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade “dispersiyon denklemi” olarak bilinir. Farklı faz hızlarında, farklı frekanslarda (periyotlarda) yayılan dalgalara da “dispersiv dalgalarda” denilir. Dalgaların yayılma hızlarının dalga boyları ile orantılı olduğu durumda $c=f(L)$, uzun dalgalarda kısa dalgalara göre daha hızlı yayılacağından, dalga yayılma hızının dalga boyu ile değiştiği bu tip dalgalara dispersive dalga denilir. Derin su halinde dalgalarda dispersive dalga formundadır. Buna karşılık olarak, sığ su koşulunda farklı boylardaki küçük genlikli dalgaların tamamının şiddeti, sadece su derinliğine bağımlı $c=f(d)$ olacak şekilde aynı dalga yayılma hızlarına sahip olurlar. Bu tip dalgalarda ise “nondispersive dalga” olarak isimlendirilir (Gourlay and Apelt, 1985; Yüksel vd.’den, 1998).

Lineer dalgaya ait dalga yayılma hızı, dalga boyunun ve derinliğin fonksiyonu olarak Şekil 2.3 ve 2.4’de gösterilmiştir.

Dalga yayılma hızı, $c=L/T$ olduğu için aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.16)$$



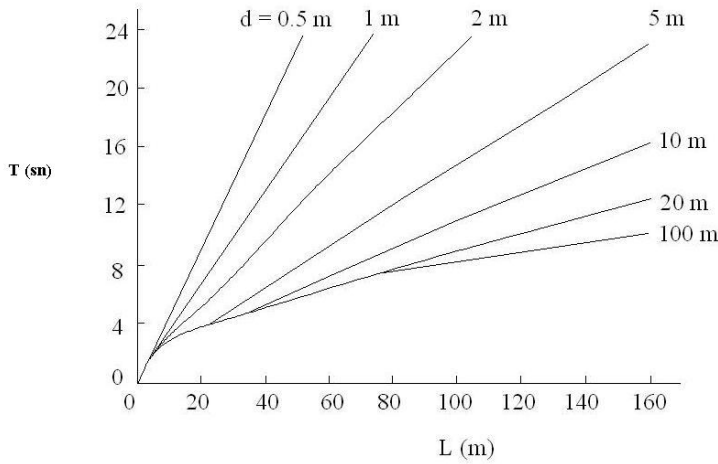
Şekil 2.3 Çeşitli d derinliklerine göre L dalga boyunun bağılı olarak c hızının değişimi (Sabuncu, 1983).

T dalga periyodunun bilinmesine rağmen dispersiyon denklemi açık (explicit) olarak çözülemeyebilir. $kd < 3$ için %1 hata ile yaklaşık bir fonksiyon Nielsen (1984) tarafından verilmiş olup (denklem 2.17), benzeri fonksiyonu $kd < \infty$ için yine %1 hata ile Hunt (1979) tanımlamıştır (Denklem 2.18).

$$kd = y^{0.5} [1 + 0.166y + 0.031y^2] \quad (2.17)$$

$$kd = y^2 + \frac{y}{1 + 0.166y + 0.355y^2 + 0.161y^3 + 0.0632y^4 + 0.0218y^5 + 0.00654y^6} \quad (2.18)$$

Burada $y=(\omega^2 d)/g=(4\pi^2 d)/(gT^2)=4.02d/T^2$ 'dir. Bu fonksiyonların açık çözümü mümkün olmakla birlikte dalga boyu kolaylıkla belirlenebilmektedir (Yüksel, 1998).



Şekil 2.4 Dalga periyodunun ve derinliğin fonksiyonu olarak dalga boyu (Novak et al., 1996; Yüksel vd.'den, 1998).

b. Su dalgalarının rölatif derinliğe göre sınıflandırılması

Deniz derinliğinin azalması ile birlikte dalga karakteristikleri ve su zerreciklerinin dalga hareketindeki yörüngeleri değişimlere uğrar. Dolayısıyla su dalgalarını, d su derinliğini, L dalga boyuna oranlamak suretiyle d/L oranına göre incelenmesi gerekir. Küçük genlikli dalga teorisi için d/L oranlarına göre dalgalar sınıflandırılacak olursa rölatif derinliklerin bulunduğu aralıkların tespit edilmesi gerekir. Yani d/L oranı $1/20$ 'nin altında olduğu durumlarda d derinlikleri küçük L dalga boyları ile mukayese edilebilir. Bu durumdaki dalgalara “sığ su dalgaları” veya “uzun dalgalar” denir. d/L oranı $1/2$ 'den büyük ise bu dalgalara “derin su dalgaları” veya “kısa dalgalar” adı verilir. $1/20 < d/L < 1/2$ aralığındaki

dalgalar ise “ara dalgalar” olarak adlandırılır. Dalgaların sınıflandırılması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir (Taşpınar, 1980).

Çizelge 2.2 Dalgaların rölatif derinliklere göre sınıflandırılması (Taşpınar, 1980; Sabuncu, 1983; SPM, 1984).

Dalga Cinsi	d/L	$kd = 2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Sığ su dalgaları (Uzun dalgalar)	$0 < d/L \leq 1/20$	$0 < kd < \pi/10$	$\sim 2\pi d/L$
Ara dalgalar	$1/20 < d/L < 1/2$	$1/10 < kd < \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Derin su dalgaları (Kısa dalgalar)	$1/2 \leq d/L < \infty$	$\pi \leq kd < \infty$	~ 1

Sonlu derinlikteki sulara uygulanmak üzere teorik yoldan elde edilmiş olan çeşitli dalga karakteristiklerine ait formüllerde, çok sığlaşma veya çok derinleşmeye göre, dalga denklemlerini basitleştirmek maksadıyla, hiperbolik fonksiyonlar yerine asimptotları konulur. Sığ su ve derin su için hiperbolik fonksiyonların almış olduğu limit durumlar Çizelge 2.3’de gösterilmiştir (Taşpınar, 1980; Sabuncu, 1983).

Çizelge 2.3 Sığ su ve derin su için hiperbolik fonksiyonların almış olduğu limit durumları (Sabuncu, 1983).

Fonksiyon	Limit Değerler	
	Sığ Su	Derin Su
$\sinh(kd)$	kd	$e^{kd}/2$
$\cosh(kd)$	1	$e^{kd}/2$
$\tanh(kd)$	kd	1

Buradan hareketle (2.13) denkleminde dalga hızı ifadesi ele alındığında dalga boyu, hız, periyot ve frekans bağlantıları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

1. Derin su hali:

Bu koşulda (derin su şartları genellikle “o” şeklindeki bir alt indisle belirtilir) hiperbolik fonksiyonlar, Çizelge 2.3’ deki derin su limit değerlerini alır. Başka bir ifade ile $d=L/2$ için

$$\tanh(kd) = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \tanh(\pi) = 0,9963 \cong 1$$

olduğundan, (2.13) denkleminde

$$c_o^2 = \frac{gL_o}{2\pi} \quad (2.19)$$

veya;

$$L_o = \frac{2\pi c_o^2}{g} \quad (2.20)$$

olarak ifade edilir. Denklem (2.14)’den

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.21)$$

veya;

$$T^2 = \frac{2\pi L_o}{g} \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde (2.14) denkleminde L yerine cT yazılmak suretiyle elde edilen;

$$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.23)$$

denkleminde derin su koşulunda;

$$c_0 = \frac{gT}{2\pi} = \frac{g}{\omega} \quad (2.24)$$

denklemini elde edilir.

Sonuç olarak, derin su şartında dalga hızı ve dalga boyu su derinliğinden bağımsızdır. Aynı zamanda, T’de su derinlikleri ile değişmemekte olup, derin su şartları için dalga uzunluğu ve dalga hızı saniye olarak periyot cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir (Taşpınar, 1980; SPM, 1984).

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,81}{2\pi} T^2 = 1,56T^2 \quad (\text{m}) \quad (2.25)$$

$$c_0 = \frac{gT}{2\pi} = \frac{9,81}{2\pi} T = 1,56T \quad (\text{m/s}) \quad (2.26)$$

2. Sığ su hali:

Bu koşulda, hiperbolik fonksiyonlar Çizelge 2.3’deki sığ su limit değerlerini alır ve (2.139) denkleminde $\tanh(kd)$ fonksiyonu yerine kd asimptot değeri konulduğunda;

$$c^2 = gd \quad (2.27)$$

ifadesi elde edilir. Buradan da görüldüğü gibi, su sıklaştıkça gerek c hızı gerekse L dalga boyu küçülmektedir. Düzgün dalganın, derin sudan gittikçe sıklaşan suya doğru ilerlemesi halinde, dalgada sıklaşmanın etkileri görülmekte ve bunun sonucunda hız ve dalga boyu derin su

değerlerine göre değişmektedir. Buna karşılık olarak dalga periyodu T , sığlaşmadan etkilenmeyen başka bir ifadeyle derinliğe bağlı olmayan daima sabit kalabilen bir dalga parametresidir. Denklem (2.14)'de yer alan L değerleri ile denklem (2.21)'deki L_0 değeri taraf tarafa bölündüğünde;

$$\frac{L}{L_0} = \tanh(kd)$$

bulunur. Aynı şekilde denklem (2.23)'te yer alan c değeriyle, denklem (2.24)'teki c_0 değerleri taraf tarafa bölündüğünde;

$$\frac{c}{c_0} = \tanh(kd)$$

elde edilir. Yukarıdaki iki eşitlikten;

$$\frac{c}{c_0} = \frac{L}{L_0} = \tanh(kd) \quad (2.28)$$

şeklinde, kullanışlı ve önemli bir bağıntı elde edilir. Eşitliğin her iki tarafı d/L değeri ile çarpılırsa;

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} = \tanh(kd) \quad (2.29)$$

bağıntısı elde edilir.

Su derinliğinin ve dalga boyunun bilinmesi halinde bu dalgaya ait c hızı basit bir şekilde denklem (2.13) yardımıyla hesaplanabilir. Ancak, c hızı ile d derinliği verildiğinde, bu değerlere karşılık gelen dalga boyunun bulunması güç olduğundan denklem (2.13) L 'ye göre çözülemeyecektir. Bundan dolayı L , ancak nümerik olarak ardışık yaklaşımlar metodu

vasıtasıyla hesaplanabilir. Pratikte, bu maksatla hazırlanmış çizelgeler vasıtasıyla hesaplamalar yapılabilir. Çizelgelerde d/L oranının sık ardışık değerleri için oldukça detaylı çalışma yapılmıştır. d/L oranının daha geniş ve seyrek ardışık aralıkları için c/c_0 ve L/L_0 değerleri Çizelge 2.4'te verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla dalgaya ait derin su değerleri bilindiği takdirde, sığ sudaki hızı ve dalga boyu kolaylıkla tahmin edilebilir. Şayet, d/L oranı tabloda yer alan değerlerin arasına düşüyorsa, c/c_0 ve L/L_0 oranları doğrusal enterpolasyon işlemi gerçekleştirilerek daha doğru olacak şekilde tayin edilebilir (Sabuncu, 1983).

Çizelge 2.4 d/L oranlarına karşılık gelen c/c_0 ve L/L_0 değerleri (Sabuncu,1983).

d/L_0	$c/c_0, L/L_0$	d/L_0	$c/c_0, L/L_0$
0.0001	0.02503	0.0300	0.42047
0.0002	0.03548	0.0400	0.48022
0.0003	0.04340	0.0500	0.53107
0.0004	0.05012	0.0600	0.57522
0.0005	0.05604	0.0700	0.61434
0.0006	0.06132	0.0800	0.64934
0.0007	0.06624	0.0900	0.68081
0.0008	0.07088	0.1000	0.70933
0.0009	0.07516	0.2000	0.88841
0.0010	0.07917	0.3000	0.96117
0.0020	0.11183	0.4000	0.98774
0.0030	0.13682	0.5000	0.99636
0.0040	0.15784	0.6000	0.99895
0.0050	0.17633	0.7000	0.99970
0.0060	0.19298	0.8000	0.99991
0.0070	0.20816	0.9000	0.99998
0.0080	0.22234	1.0000	0.99999
0.0090	0.23551	2.0000	1.00000
0.0100	0.24807	3.0000	1.00000
0.0200	0.34701	4.0000	1.00000

c. Herhangi bir noktada akış hızları ve ivmeleri

Yatay hız bileşeni u ve düşey hız bileşeni w olmak üzere hız değerleri aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir.

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.30)$$

$$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.31)$$

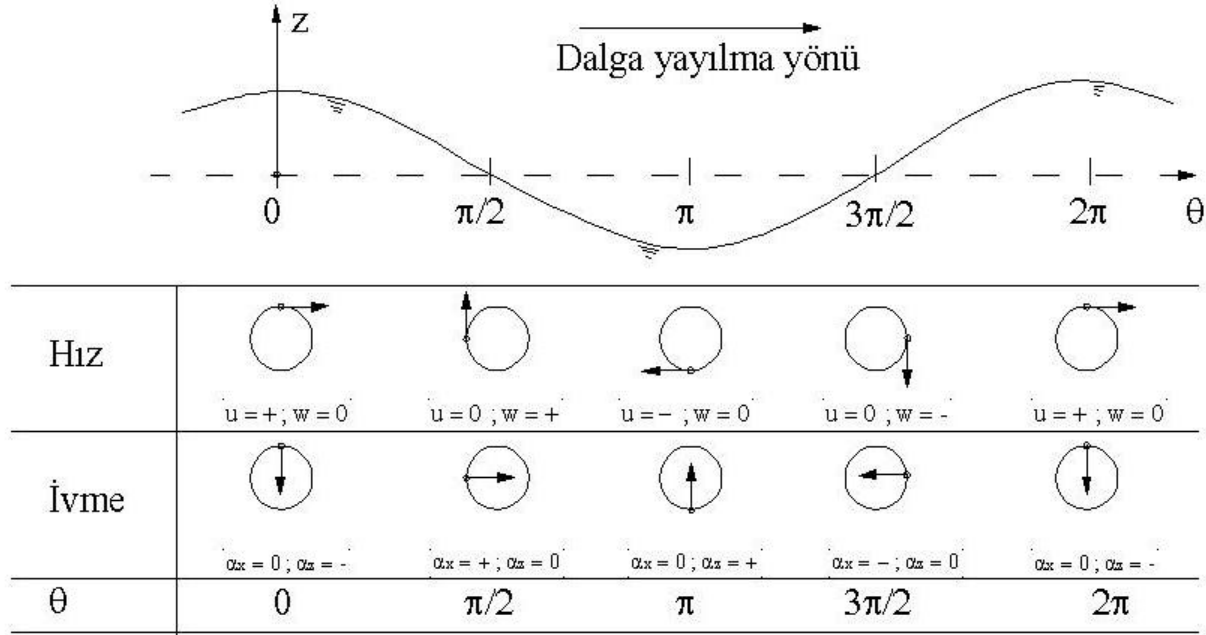
Bu denklemler dipten itibaren herhangi bir mesafe kadar yukarıdaki yerel akış hızlarını ifade eder. Burada pozitif yönde maksimum yatay hızlar, $\Theta = 0, 2\pi, \dots$ olduğu konumda, negatif yönde maksimum yatay hızlar $\Theta = \pi, 3\pi, \dots$ olduğu konumda oluşur. Bir diğer yandan pozitif yönde maksimum düşey hızlar $\Theta = \pi/2, 5\pi/2, \dots$ konumunda, negatif yönde düşey hızlar ise $\Theta = 3\pi/2, 7\pi/2, \dots$ olduğunda oluşur (SPM, 1984).

Herhangi bir noktadaki akışkan parçacıklarına ait ivmeler ise aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir:

$$\alpha_x = + \frac{g}{L} \frac{\pi H}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.32)$$

$$\alpha_z = - \frac{g}{L} \frac{\pi H}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.33)$$

Herhangi bir noktadaki akış hızları ve ivmeleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Herhangi bir noktadaki akış hızları ve ivmeleri (SPM, 1984).

d. Su zerrelerinin yörüngesel hareketleri:

Viskoz bir akışkanda, x yönünde ilerleyen küçük genlikli bir dalga için hız potansiyeli daha önce ifade edilmiş olup, hız potansiyeli ile hızlar arasındaki mevcut, bilinen bağıntılar kullanılarak akışkan zerresinin yatay ve düşey doğrultudaki u, w hız bileşenleri denklem (2.30) ve (2.31) de verilmiştir. Bu denklemlerdeki hızlar dalga halinde herhangi bir z derinliğindeki hız bileşenleridir. Verilen bir z değeri için hız değerleri x ve t'ye göre harmoniktir. Akışkan zerrelerinin düşey doğrultudaki yer değiştirmeleri a dalga genliğini aşmadığından herhangi bir akışkan zerresinin ortalama konumundan itibaren yer değiştirmelerinin küçük olduğu kabul edilebilir. Yatay ve düşey doğrultudaki yer değiştirmeler, T başlangıç periyodunun hızlar alanına etkisinden elde edilebilir (Taşpınar, 1980).

ξ : Ortalama konumundan itibaren yatay doğrultudaki değişimleri,

ζ : Ortalama konumundan itibaren düşey doğrultudaki değişimleri göstermek üzere denklem (2.30) ve (2.31)'deki hızların t'ye göre integre edilmesiyle;

$$\xi = -\frac{HgT^2}{4\pi L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.34)$$

$$\zeta = +\frac{HgT^2}{4\pi L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.35)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler;

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{2\pi g}{L} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

eşitliğinin kullanılarak basitleştirilmesiyle;

$$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.36)$$

$$\zeta = +\frac{H}{2} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.37)$$

elde edilir. Denklemler aşağıdaki formda yazılarak;

$$\sin^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[\frac{\xi}{a} \frac{\sinh(2\pi d/L)}{\cosh[2\pi(z+d)/L]}\right]^2$$

$$\cos^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[\frac{\zeta}{a} \frac{\sinh(2\pi d/L)}{\sinh[2\pi(z+d)/L]}\right]^2$$

ifadeleri elde edilir. Bu iki sonucun toplanması ile;

$$\frac{\xi^2}{A^2} + \frac{\zeta^2}{B^2} = 1 \quad (2.38)$$

denklemini ifade edilir. Burada;

$$A = \frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \quad (2.39)$$

$$B = \frac{H}{2} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \quad (2.40)$$

olarak yazılır. (2.38) denklemi, A büyük (yatay) eksen, B küçük (dikey) eksen olan bir elipsi gösterdiğinden, durgun halde bulunan bir su

zerresinin dalga hareketiyle birlikte elips şeklinde bir yörünge üzerinde dönmekte olduğu anlaşılır. Elips için yarı odaklar arasındaki uzaklık C olmak üzere;

$$A^2 - B^2 = C^2 = \frac{H}{4} \frac{1}{\sinh^2(2\pi d/L)} \quad (2.41)$$

olup, bu denklem durgun halde aynı düşey doğrultu altında bulunan bütün zerrelerin dalga hareketiyle birlikte çizdikleri elipslerde odak noktaları arasındaki uzaklığın sabit olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle durgun halde aynı düşey doğru üzerinde bulunan zerrelerin hepsi aynı odaklı elips yörüngeler üzerinde dönmektedirler. Su yüzünden tabana doğru inildikçe elipslerin büyük ve küçük eksenleri küçülmekte ve tabanda $z = -d$ için elipsin küçük eksenini sıfır ve büyük eksenini de odaklar arasındaki uzaklığa eşit olmaktadır. Başka bir ifadeyle elips, uzunluğu odaklar arasındaki uzaklığa eşit olan bir doğru parçasına dönüşmekte ve bunun sonucunda deniz tabanında su zerreleri, dalga hareketiyle birlikte ileri geri hareket etmektedirler (Taşpınar, 1980; Sabuncu, 1983; SPM, 1984).

A ve B değerleri incelenerek akışkan zerrelerinin yörüngelerinin derinliğin bağılısı olarak değişimleri incelenecek olursa;

1. Derin su hali ($1/2 \leq d/L$)

Bu koşulda Çizelge 2.3 gereğince

$$\cosh(kd) \cong \sinh(kd) \cong \frac{e^{kd}}{2}$$

alınır. Buradan;

$$A = B = \frac{H}{2} e^{\frac{2\pi z}{L}} \quad (2.42)$$

bulunur. Buradan anlaşılacağı gibi, durgun su yüzeyinden durgunluk halinde z derinliğinde bulunan su zerreleri dalga hareketi sonucunda yarıçapları $A=B$ olan dairesel yörüngeler üzerinde dönmektedirler. Z eksenini su yüzünden yukarı doğru pozitif olarak alındığından, zerre derinliklerini gösteren z 'ler su içine doğru negatif işaretli uzaklıklar olarak alınmalıdır. Bu durumda, durgun halde aynı düşey doğru altında bulunan su zerreleri dalga hareketiyle birlikte aynı fazda ve derinlikle yarıçapları üstel olarak azalan dairesel yörüngeler üzerinde dönmektedirler. Su yüzeyinde dairesel yörüngenin yarıçapı $r_0 = a = \frac{H}{2}$

olup, sonsuz derinlikte $r = 0$ olur. Aslında, $d \geq L/2$ derinliğinde r sıfıra çok yakın olmaktadır. Başka bir ifadeyle, yarı dalga boyundan daha derin sularda dalga hareketi hemen hemen hissedilmemektedir (Sabuncu, 1983).

2. Sığ su hali ($0 < d/L \leq 1/20$)

Bu koşulda hiperbolik fonksiyonlar

$$\sinh(kd) \cong \tanh(kd) \cong kd, \cosh(kd) \cong 1$$

limit durumlarını alırlar ve böylece;

$$A = \frac{H}{2} \frac{L}{2\pi d}, \quad (2.43)$$

$$B = \frac{H}{2} \frac{z+d}{d} \quad (2.44)$$

olarak bulunur. Burada elipsin büyük eksenini derinliğin bağılısı olmakla beraber sabittir. Buna karşılık olarak elipsin küçük eksenini su yüzeyinde $H/2$ ve $z = -d$ ile belirtilen tabanda ise sıfır olmaktadır. Başka bir ifadeyle, çok sığ suda zerre yörüngeleri aynı odaklı ve aynı yatay eksenli elipsler olup, bu elipslerin küçük eksenleri su yüzeyinde $H/2$ değerinden tabanda sıfır değerine kadar küçülürler. Bunun sonucunda su zerreleri dalga hareketiyle birlikte ileri geri hareket ederler (Sabuncu, 1983). Su zerrelerinin derin su ve sığ su koşulları için durgun su seviyesine göre yer değiştirmeleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

e. Dalgalarda basınç

Dalgalı bir denizde, su yüzeyinden aşağıya doğru inildikçe yatay tabakalardaki basınç, dalganın dinamik etkisiyle statik değerine göre değişmektedir. İlerleyen bir dalgada toplam basınç aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$p' = \rho g a \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cos(kx - \omega t) - \rho g z + p_0 \quad (2.45)$$

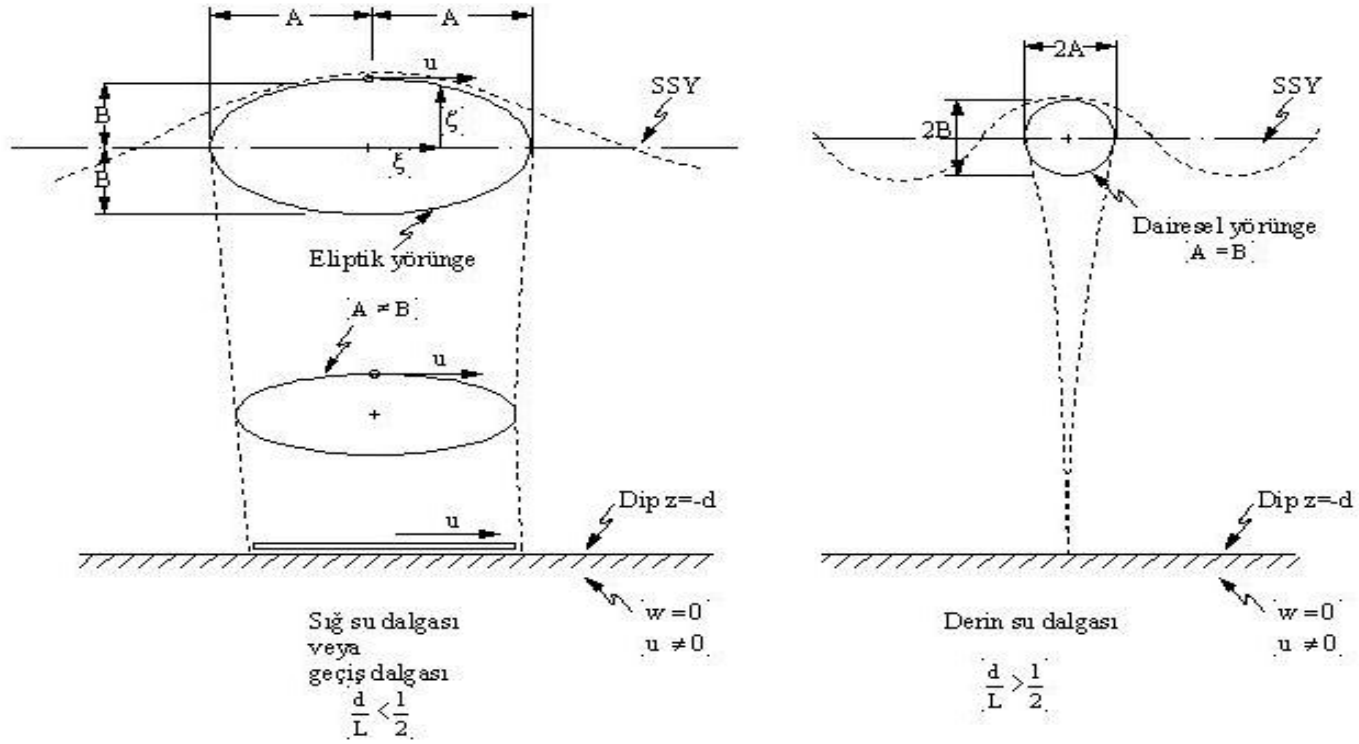
su yüzeyindeki dalga hareketi

$$\eta = a \cos(kx - \omega t)$$

olduğundan bu denklem basınç ifadesinde yerine konulursa;

$$p' - p_0 = p = \rho g \left[\eta \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} - z \right] \quad (2.46)$$

bulunur. Denklemde z değeri sakin su seviyesinden itibaren ölçülmek suretiyle aşağıya doğru negatif alınmalıdır.



Şekil 2.6 Su zerrelerinin derin su ve sığ su dalgası olarak durgun su seviyesine göre yer değiştirmeleri (SPM, 1984).

$$\frac{\cosh[k(z + d)]}{\cosh(kd)}$$

değeri durgun su seviyesinden aşağıya doğru alınan derinlikler için daima birden küçük olacaktır. Durgun su seviyesinden daha yukarıda olan ve dalga tepesi altında kalan akışkan zerreleri için lineer dalga teorisi koşulları altında denklem (2.46) ile belirlenen basınç geçerli olmayacaktır. Bu nedenle (2.46) denklemi ancak z 'nin sıfır ve negatif değerleri için kullanılabilir.

$$\frac{\cosh[k(z + d)]}{\cosh(kd)} = K_p$$

ifadesi, basınç katsayısı olarak tanımlanırsa, basınç ifadesi;

$$p = \rho g [K_p \eta - z] \quad (2.47)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu ifadede ikinci terim sakin su seviyesinden z kadar aşağıdaki hidrostatik basıncı ifade eder. Buna karşın birinci terim, dalga hareketinin fazına bağlı olarak hidrostatik basınçtan olan pozitif ve negatif sapmaları başka bir ifadeyle, dalganın basınç üzerindeki dinamik etkisini gösterir. z değeri sıfır alındığında K_p bir olur ve $p = \rho g \eta$ olur. Bu da pozitif z değerleri için basıncın hidrostatikmiş gibi değişmekte olduğunu gösterir. Basıncın dipte $z = -d$ olduğu zaman $K_p = 1/\cosh(kd)$ değerini alacağından tabandaki basınç değeri;

$$p = \rho g \left[\frac{\eta}{\cosh(kd)} + d \right] \quad (2.48)$$

olarak elde edilir. Dalga çukurunun altına gelen taban kısmında η negatif değerde olduğundan tabandaki basınç değerinin hidrostatik basınçtan daha büyük olduğu,

$$d - \frac{\eta}{\cosh(kd)} > d - \eta$$

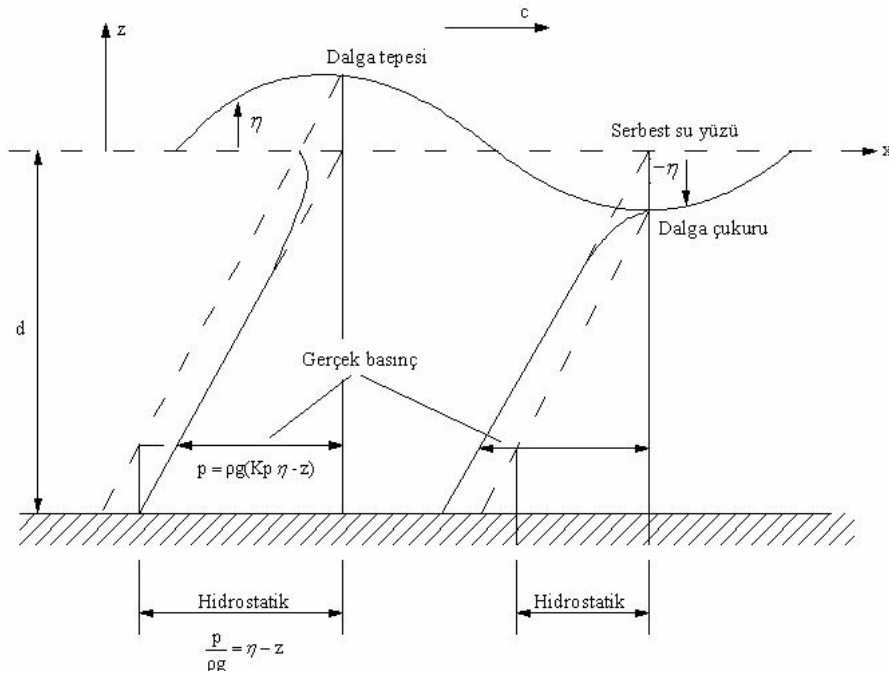
ifadesinden kolaylıkla anlaşılmaktadır. Diğer yandan, dalga tepesi altına denk gelen taban kısmında η pozitif olduğundan

$$d + \frac{\eta}{\cosh(kd)} < d + \eta$$

şeklinde yazılabilir. Buradan dalga tepesi altına rastlayan taban kısmında basınç değerinin hidrostatik basınçtan daha küçük olduğu anlaşılmaktadır. Aynı durum sakin su yüzü ile taban arasında bulunan diğer ara derinlikler içinde geçerli olacaktır. Genel olarak herhangi bir derinlikteki yatay bir tabakanın dalga çukuru altında kaldığı andaki basınç değeri, hidrostatik basınca göre daha büyük olacaktır. Buna karşılık olarak dalga tepesi altına denk gelen bölümlerde basınç, hidrostatik basınçtan daha küçük olacaktır. Dalga tepesi ve çukuru altındaki gerçek basınç yüksekliğinin, hidrostatik basınç yüksekliğine göre mukayesesi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği gibi, dalga tepesi altındaki tabakalardaki gerçek basınç dalganın dinamik etkisiyle hidrostatik basınçtan daha küçük olmakta ancak dalga çukuru altına isabet eden tabakalarda gerçek basınç hidrostatik basınçtan daha büyük olmaktadır.

Yarım dalga boyundan daha derin su durumunda denklem (2.46)'da verilen basınç ifadesi basitleşerek aşağıdaki şekilde ifade edilir (Sabuncu, 1983).

$$p = \rho g [ae^{kz} \cos(kx - \omega t) - z] \quad (2.49)$$



Şekil 2.7 Dalga hareketinde düşey doğrultuda basınç değişimi (Sabuncu, 1983).

f) Lineer dalga teorisinde genel olarak dalga karakteristikleri

Lineer (Airy) dalga teorisine göre dalga karakteristiklerine ait denklemler Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Lineer dalga (Airy) teorisinde dalga karakteristikleri (SPM, 1984).

Göreceli derinlik	Sığ su $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	Geçiş bölgesi $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	Derin su $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
1. Dalga Profili	$\rightarrow$ aynısı	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$	$\leftarrow$ aynısı
2. Dalga Hızı	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
3. Dalga Boyu	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0 T$
4. Grup hızı	$C_g = C = \sqrt{gd}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] C$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gt}{4\pi}$
5. Su zerrlerinin hızı			
a. Yatay	$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$	$u = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
b. Düşey	$w = \frac{H\pi}{T} \left(1 + \frac{z}{d} \right) \sin \theta$	$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta$	$w = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$

Çizelge 2.5 Lineer dalga (Airy) teorisinde dalga karakteristikleri (SPM, 1984)- devamı

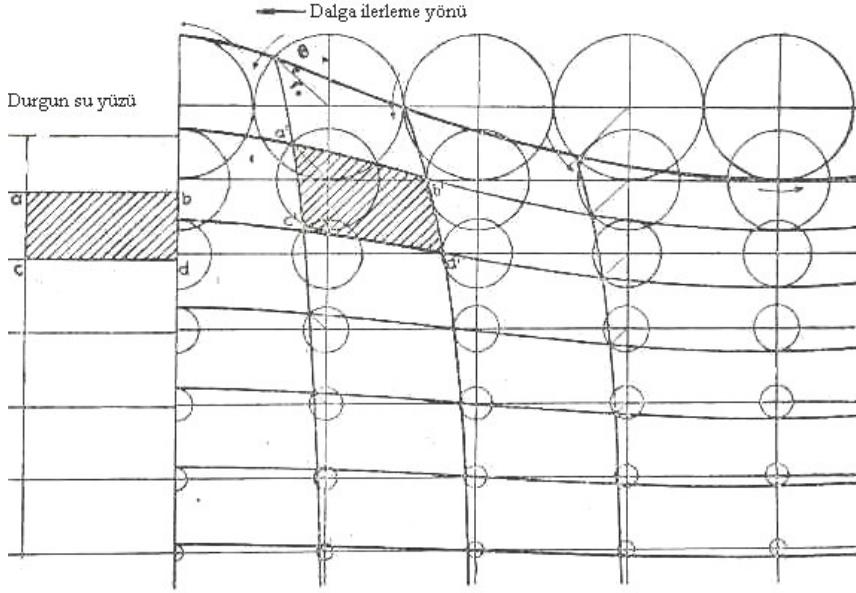
6. Su zerrlerinin ivmeleri a. Yatay b. Düşey	$a_x = \frac{H\pi}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$ $a_z = -2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 \left(1 + \frac{z}{d} \right) \cos \theta$	$a_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta$ $a_z = -\frac{g\pi H}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$	$a_x = 2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$ $a_z = -2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
7. Su zerrlerinin yerdeğiştirmeleri a. Yatay b. Düşey	$\xi = -\frac{HT}{4\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$ $\zeta = \frac{H}{2} \left(1 + \frac{z}{d} \right) \cos \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin \theta$ $\zeta = \frac{H}{2} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cos \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$ $\zeta = \frac{H}{2} e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
8. Sualtı yüzey basıncı	$p = \rho g(\eta - z)$	$p = \rho g \eta \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} - \rho g z$	$p = \rho g \eta e^{\frac{2\pi z}{L}} - \rho g z$

2.1.3.2 Trokoidal dalga teorisi

Bu bölüme kadar incelenmiş olan dalga teorisi, H/L oranının sıfıra yaklaşırken sonuçları doğru olabilen, sinüsoidal dalga teorisidir. Bir sinüs eğrisine göre gerçek dalga profilinde dalga tepeleri daha sivri olmakla beraber, dalga çukurları daha yayvandır. Ancak bu teori ile çatlayan bir dalgayı temsil edebilmek mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı gerçeğe daha yakın sonuçlar veren lineer olmayan dalga teorileri geliştirilmiştir. Lineer olmayan dalga teorilerinde temel yaklaşım olarak trokoidal dalga hariç akım çevrintisiz kabul edilir (Sabuncu, 1983; Yüksel vd., 1998).

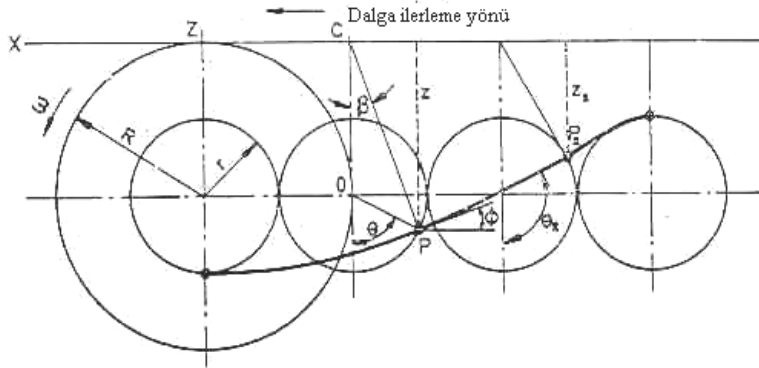
Trokoidal dalga, sadece derin suda geçerli olup başta gemiler ve yüzer cisimlerin dalgalı deniz için yapılan mukavemet hesaplarında kullanılır. Dinamik su yüzeyi koşulunu tamamen gerçekleştirmekte ve form bakımından düzgün bir dalgayı en yakın şekilde temsil etmektedir. Ancak hareketin rotasyoneli bulunmamakta başka bir ifadeyle hareket bir potansiyelden türetilmemektedir. Derin suda trokoidal dalga hareketiyle birlikte tüm zereler durgunluk halindeki pozisyonları etrafında sabit açısal bir hızla dairesel yörüngeler üzerinde dönmektedirler. Yörünge daireleri merkezleri aynı yatay doğru üzerinde bulunan sıradan birbirine komşu olan su zerelerinin dairesel yörünge hareketlerinde bulundukları pozisyonları birleştiren eğri, trokoidal dalgayı oluşturmaktadır. Ancak su zereleri yörünge hareketlerini saatin dönme yönü tersinde dönerek yaptıklarında, dalga sola doğru ilerlemektedir. Trokoidal dalga formu, yuvarlanma dairesi adı verilen bir dairenin yatay bir doğrunun altında kaymadan yuvarlanırken bu daire içindeki bir noktanın çizmiş olduğu bir eğri formudur. Şayet nokta yuvarlanma dairesinin çevresi üzerinde yer

alıyorsa, bu özel durum için meydana gelen dalga şekli bir sikloid'tir. Böyle bir sikloid, dalga tepeleri çok sivri ve dalga çukurları daha yayvan, çatlamağa olan bir dalgayı temsil etmektedir (Sabuncu, 1983). Trokoidal dalga hareketi Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Trokoidal dalga hareketi (Sabuncu, 1983).

Dairesel yörünge yarıçapı r ile gösterilirse dalga yüksekliği $H = 2r$ olmaktadır. Dalga hareketinin, suyun hava ile temastaki yüzeyinde olması durumunda $H_0 = 2r_0$ olmaktadır. Yuvarlanma dairesi yarıçapı R ise, iki dalga tepesi arasındaki uzaklık L dalga boyudur. Basit geometrik bağıntı sonucu $L = 2\pi R$ olur. Trokoidal dalgaya ait geometriler Şekil 2.9'da gösterilmiştir (Sabuncu, 1983).



Şekil 2.9 Trokoidal dalgaya ait geometri (Sabuncu, 1983).

Şekil 2.9'daki trokoid'e ait parametrik denklemler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$x = R\theta + r\sin\theta = R\omega t + r\sin(\omega t) \quad (2.50)$$

$$Z = R + r\cos\theta = R + r\cos(\omega t) \quad (2.51)$$

Z eksenini yerçekimi doğrultusunda aşağı yönde pozitif alındığında dalga meyili;

$$\tan\phi = \frac{dz}{dx} = \frac{r\sin\theta}{R + r\cos\theta} \quad (2.52)$$

ve Şekil 2.9'dan

$$\tan\beta = \frac{r\sin\theta}{R + r\cos\theta} \quad (2.53)$$

olduğundan

$$\tan\phi = \tan\beta, \quad \phi = \beta$$

olarak bulunur.

Şayet trokoidal dalga hareketi yapan tüm akışkana, dalga ilerleme hızına şiddetçe eşit fakat zıt yönde bir hız uygulandığı takdirde bu dalga formu sabit kalacaktır. Bu konumda, öteleme ve dairesel yörünge hareketleri yapan zerrelere trokoidal tabakalar içinde soldan sağa doğru akacaktır. Dalga hızına eşit ve ters yönde bir hız süperpoze edilmesiyle sıvının dinamik koşulları değişmeyecektir. Bununla beraber sabit bir öteleme hızının eklenmesiyle ivme ve kuvvetlerde bir değişme olmayacaktır. Zerrelerin açısal dönme hızları ω ise, dalga ilerleme hızı $c=R\omega$ olacaktır. Dalga ilerleme hızı ile birlikte su zerreciklerinin yörünge hareketlerindeki $r\omega$ hızının bileşkesi trokoidal yörünge içinde akan sıvının hızı olacaktır. Trokoidal yüzeyler birer sabit basınç yüzeyleridir. Birim genişlikte ve birbirine sonsuz yakın iki trokoidal yüzeyle sınırlandırılmış bir kanal içinde akmakta olan sıvı miktarı trokoidal yüzeyler arasındaki normal açıklık t olduğunda, süreklilik denklemi gereğince (birim zamanda herhangi bir kesitten geçen sıvı miktarı), $\omega nt = sbt$ veya $nt = sbt$ (her θ) için olmalıdır. Şekil 2.9'da yer alan trokoid üzerinde hızları v ve v_2 olan P ve P_2 noktaları için Bernoulli denklemi uygulandığında, bu noktaların x ekseninden olan uzaklıkları, z ve z_2 ise;

$$\frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} - z_2 = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} - z \quad (2.54)$$

olarak yazılır. Trokoidler sabit basınç eğrileri olup,

$$\frac{V_2^2 - V^2}{2g} = z_2 - z$$

bulunur.

$v = \omega n$ ve $v_2 = \omega n_2$ olduğundan ve

$$n^2 = r^2 + 2rR\cos\theta + R^2$$

$$n_2^2 = r^2 + 2rR\cos\theta_2 + R^2$$

yazılacağından, yukarıda yerlerine konulduğunda

$$\frac{Rr\omega^2}{g}(\cos\theta_2 - \cos\theta) = z_2 - z \quad (2.55)$$

olarak bulunur. Şekil 2.9'dan

$$z_2 - z = r(\cos\theta_2 - \cos\theta)$$

olduğundan denklem (2.55)'de yerine konulursa,

$$\omega^2 = \frac{g}{R} \quad (2.56)$$

bulunur. Bu bağıntıdan ise trokoidal dalgaya ait parametreler aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$L_T = 2\pi R$$

$$C_T = R\omega = \frac{L_T}{2\pi}\omega$$

$$\omega^2 = \frac{g}{R} = \frac{2\pi g}{L_T}$$

$$L_T = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$T^2 = \frac{2\pi L}{g}$$

$$C_T^2 = R^2 \omega^2 = R^2 \left(\frac{g}{R} \right) = \frac{g L_T}{2 \pi}$$

$$C_T^2 = \frac{g L_T}{2 \pi} \quad (2.57)$$

$$L_T = \frac{2 \pi C_T^2}{g} \quad (2.58)$$

Bağıntılar incelendiğinde lineer dalga teorisine göre elde edilen bağıntılara uydukları gözlemlenmektedir (Sabuncu, 1983).

Trokoidal dalgada yörünge dairesi yarıçapının derinlikle değişmesine ait aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$r = r_0 e^{-\frac{2 \pi z}{L}}, \quad H = H_0 e^{-\frac{2 \pi z}{L}} \quad (2.59)$$

Burada $z = 0$ iken $r = r_0 = H_0/2$ dir. (2.59) denklemleri, yörünge dairesi yarıçapının derinlikle üstel olarak azaldığını ve su seviyesinden daha aşağıdaki yatay tabakaların dalga hareketlerine ait yüksekliklerinin de üstel bir şekilde azalmakta olduğunu ifade etmektedir.

Yörünge merkezleri doğrusunun durgun su yüzeyinden yukarı doğru yüksekliği;

$$\Delta h = \frac{r^2}{2R} = \frac{\pi H^2}{4L} \quad (2.60)$$

kadardır. Bu değer, derin su koşulunda ikinci mertebe Stokes dalga teorisindeki sonuçla aynıdır (Sabuncu, 1983).

2.1.3.3 Stokes dalga teorisi

Sonlu yükseklikteki yerçekimi orijinli dalgaların incelenmesi maksadıyla pertürbasyon metodundan yararlanarak Stokes tarafından geliştirilmiş bir teoridir. Bu teoride hız potansiyeli, dalga profili ve dalga ilerleme hızı, $\mathcal{E} = H/L$ şeklinde gösterilen ve pertürbasyon parametresi adı verilen boyutsuz bir parametrenin, kuvvet serileri olarak ifade edilmiş ve bunlar sınır ve süreklilik koşullarında yerlerine konulmuştur. Bunun sonucunda bulunan bağıntılar $\mathcal{E}$ 'nin artan kuvvetlerine göre düzenlenmiş ve bunlara ait katsayılarından yukarı mertebeden dalga teorileri elde edilmiştir (Sabuncu, 1983).

Stokes dalga teorisinde ϕ , η , p , c gibi tüm parametreler seriye açılmak şeklinde lineer olmayan terimler dikkate alınır. Buna göre;

$$\begin{aligned}\phi &= \phi^{(1)} + \phi^{(2)} + \phi^{(3)} \\ \eta &= \eta^{(1)} + \eta^{(2)} + \eta^{(3)} \\ p &= p^{(1)} + p^{(2)} + p^{(3)}\end{aligned}\tag{2.61}$$

olur. Lineer dalga teorisinde bu ifadeler serbest yüzeydeki hareketlerin oldukça küçük olduğu yaklaşımı ile elde edilir. Buradan lineer dalgaya ait su yüzü profili;

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{H}{2} \cos\theta \quad \text{veya} \quad \eta = a \cos\theta\tag{2.62}$$

şeklinde ifade edilir. Buna karşılık olarak serbest yüzey daha genel bir şekilde;

$$\eta = a \cos \theta + a^2 B_2(L, d) \cos(2 \theta) + a^3 B_3(L, d) \cos(3 \theta) + \dots + a^n B_n(L, d) \cos(n \theta) \dots \quad (2.63)$$

olarak ifade edilebilir. Burada birinci ve ikinci merteye için $a = H/2$, ancak ikinci mertebeden büyük mertebelerde $a < H/2$ 'dir ve B_2, B_3 vb. ise dalga boyu (L) ve derinliğin (d) fonksiyonlarıdır (SPM, 1984; Yüksel vd.'den 1998).

a. Dalga yayılma hızı, dalga boyu ve su yüzü profili

İkinci merteye teori için dalga yayılma hızı ve dalga boyu ifadeleri lineer dalga teorisi ile eşdeğer olup, ($c = c^{(1)}, c^{(2)} = 0$)

$$c = \frac{g T}{2 \pi} \tanh\left(\frac{2 \pi d}{L}\right) \quad (2.64)$$

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \tanh\left(\frac{2 \pi d}{L}\right) \quad (2.65)$$

şeklinde yazılabilir.

Üçüncü merteye teori için;

$$c = \frac{g T}{2 \pi} \tanh\left(\frac{2 \pi d}{L}\right) \left\{ 1 + \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \left[\frac{5 + 2 \cosh(4 \pi d/L) + 2 \cosh^2(4 \pi d/L)}{8 \sinh^4(2 \pi d/L)} \right] \right\} \quad (2.66)$$

ve

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \tanh\left(\frac{2 \pi d}{L}\right) \left\{ 1 + \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \left[\frac{5 + 2 \cosh(4 \pi d/L) + 2 \cosh^2(4 \pi d/L)}{8 \sinh^4(2 \pi d/L)} \right] \right\} \quad (2.67)$$

İkinci merteye Stokes dalga teorisi için su yüzü profili;

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \left(\frac{\pi H^2}{8L}\right) \frac{\cosh(2\pi d/L)}{\sinh^3(2\pi d/L)} [2 + \cosh(4\pi d/L)] \cos\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.68)$$

derin su şartlarında ($d/L > 1/2$) için bu ifade;

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_0} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \left(\frac{\pi H_0^2}{4L_0}\right) \cos\left(\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.69)$$

şeklini almaktadır (SPM 1984; Yüksel vd.'den, 1998).

b. Su zerrelerinin yörüngesel hızları ve yer değiştirmeleri

İkinci mertbe teori için hız bileşenleri

$$u = \frac{HgT}{2L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^4(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.70)$$

$$w = \frac{\pi H}{L} c \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\sinh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^4(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.71)$$

c. Su zerrelerinin ortalama pozisyonlarından olan deplasmanları

$$\xi = -\frac{HgT^2}{4\pi L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{1}{\sinh^2\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}$$

$$\left\{1 - \frac{3}{2} \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^2(2\pi d/L)}\right\} \sin\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) + \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2$$

$$\frac{ct}{2} \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^2(2\pi d/L)} \quad (2.72)$$

ve

$$\zeta = \frac{HgT^2}{4\pi L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$+ \frac{3}{16} \frac{\pi H^2}{L} \frac{\sinh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^4(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.73)$$

Denklem (2.72)'deki üçüncü terim periyodik olmayan bir hareketi temsil eder ve kütle transferine neden olur (SPM, 1984; Yüksel vd.'den, 1998).

d. Su yüzeyi altında basınç dağılımı

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) - \rho g z$$

$$+ \frac{3}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh(2\pi d/L)}{\sinh^2(2\pi d/L)} \left\{ \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^2(2\pi d/L)} - \frac{1}{3} \right\}$$

$$\cos\left(\frac{4\pi x}{L} - \frac{4\pi t}{T}\right) - \frac{1}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh(2\pi d/L)}{\sinh^2(2\pi d/L)}$$

$$\left\{ \cosh \frac{4\pi(z+d)}{L} - 1 \right\} \quad (2.74)$$

e. Maksimum dalga dikliği

Derin suda dalga tepe açısının 120° 'den büyük olması durumunda, dalga stabilitesini kaybeder ve kırılır. Bu durumda dalga tepesindeki akışkan zerrelere hızları, dalga yayılma hızına eşit olur.

$$\frac{H_o}{L_o} = 0,142 \cong \frac{1}{7} \quad (2.75)$$

Derin suda dalga, formunu bozmadan, derinliğin $L_o/2$ değerine kadar yayılmaktadır. Bu durumda dalga dikliği;

$$\left(\frac{H}{L} \right)_{\max} = \left(\frac{H_o}{L_o} \right)_{\max} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) = 0,142 \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \quad (2.76)$$

şeklinde ifade edilir.

Daha büyük mertebeden terimler dikkate alınacak olursa dalga profili daha fazla deforme olacak, dalga tepesi darlaşarak yükselecek, dalga çukuru ise yayvanlaşarak derinleşecektir. Birinci mertebe (lineer) ve ikinci mertebe dalga teorilerinde dalgalar kıyaslandığında, birinci mertebe dalga, durgun su yüzeyine göre simetrik ve yörüngeleri kapalıdır. İkinci mertebe dalgada ise durgun su yüzeyine göre asimetri oluşmakta, ancak dalga tepesi veya çukuruna göre düşey düzlemde simetri hala mevcut olmakta ve yörüngeleri açık olmaktadır (SPM, 1984; Yüksel vd.'den, 1998).

2.1.3.4 Cnoidal dalga teorisi

Sığ suda yayılan uzun sonlu genlikli dalgalar Cnoidal dalga teorisi ile en iyi şekilde tanımlanabilir. Bu tipteki dalgalar ilk olarak Boussinesq (1877) tarafından tanımlanmaya çalışılmış ancak, teori orijinal olarak Korteweg De Vries (1895) tarafından geliştirilmiştir. Cnoidal ifadesi dalga profilinin, genellikle cn ile gösterilen Jacobian eliptik cosinüs fonksiyonuyla tarif edilmesinden gelmektedir (SPM, 1984 ; Yüksel vd.'den, 1998).

Cnoidal dalga teorisinin kullanılma sınırları $d/L < 1/8$ ve Ursell (veya Stokes) sayısının $L^2H/d^3 > 26$ olduğu değerler olup, dalga boyu uzar ve sonsuza giderse Cnoidal dalga teorisi Solitary dalga teorisine indirgenecektir. Dalga yüksekliğinin su derinliğine oranının küçüldüğü durumda dalga profili lineer dalga profili ile belirlenebilir. Cnoidal dalga teorisine ait denklemler aynı zamanda Boussinesq denklemleri olarak da isimlendirilmektedir. Sığ su koşullarında dalga boyu su derinliğinden büyük olmasına rağmen dalga eğriliği oldukça fazla ve dalga tepesinin altında basınç dağılımı hidrostatik basınç dağılımına uymamaktadır.

Boussinesq denklemlerinin çözümlerinin bir kısmı uzun dalga, bir kısmı da kısa dalga özelliklerine sahiptirler. Cnoidal dalgalara ait zerelerin hızlarının, ivmelerinin ve enerjilerinin belirlenmesi zordur. Bu sebeple teorik zorluklardan dolayı Wiegel (1960 – 1964) ve Mash (1964) tarafından grafik şeklinde açıklanmıştır. Dalga karakteristikleri, eliptik integralin k modülü ile verilen terimler yardımıyla parametrik formda Şekil 2.10 – 2.16'da verilmiştir. Burada k modülünün tek başına fiziksel bir anlamı olmayıp, sadece farklı dalga parametreleri arasındaki bağıntıyı

sağlamaktadır. Bunun sonucunda su yüzeyine ait ordinat değeri tabandan itibaren y_s ile ölçülür (SPM, 1984 ; Yüksel vd.'den, 1998).

$$y_s = y_t + Hcn^2 \left[2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right] \quad (2.77)$$

Bu denklemde;

y_t : Deniz tabanından dalga çukuruna olan mesafe

cn : Eliptik cosine fonksiyonu

$K(k)$: Birinci mertebeden eliptik integral

K : Eliptik integral modülü

olarak adlandırılır. Cn^2 ; literatürde genellikle () şeklinde ifade edilir ve y_s ifadesi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$y_s = y_t + Hcn^2 () \quad (2.78)$$

Eliptik cosine fonksiyonu periyodik bir fonksiyon olup, burada $cn^2[2K(k)((x/L)-(t/T))]$ bire eşit olan maksimum bir genliğe sahiptir. Bu durumda k modülü 0 ile 1 arasında değişir. $k = 0$ olduğunda dalga profili lineer dalga teorisinde olduğu şekilde sinüzoidal olur. $k = 1$ olduğunda dalga profili Solitary dalgaya yaklaşmaktadır. Deniz tabanından dalga çukuruna olan y_t mesafesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{y_t}{d} = \frac{y_c}{d} - \frac{H}{d} = \frac{16d^2}{3L^2} K(k) [K(k) - E(k)] + 1 - \frac{H}{d} \quad (2.79)$$

burada;

y_c : Deniz tabanından dalga tepesine olan mesafe,

$E(k)$: İkinci mertebeden eliptik integraldir.

Dalga boyu;

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} kK(k) \quad (2.80)$$

Dalga periyodu;

$$T = \sqrt{\frac{g}{d}} = \sqrt{\frac{16y_t}{3H}} \frac{d}{y_t} \left[\frac{kK(k)}{1 + \frac{H}{y_t k^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E(k)}{K(k)} \right)} \right] \quad (2.81)$$

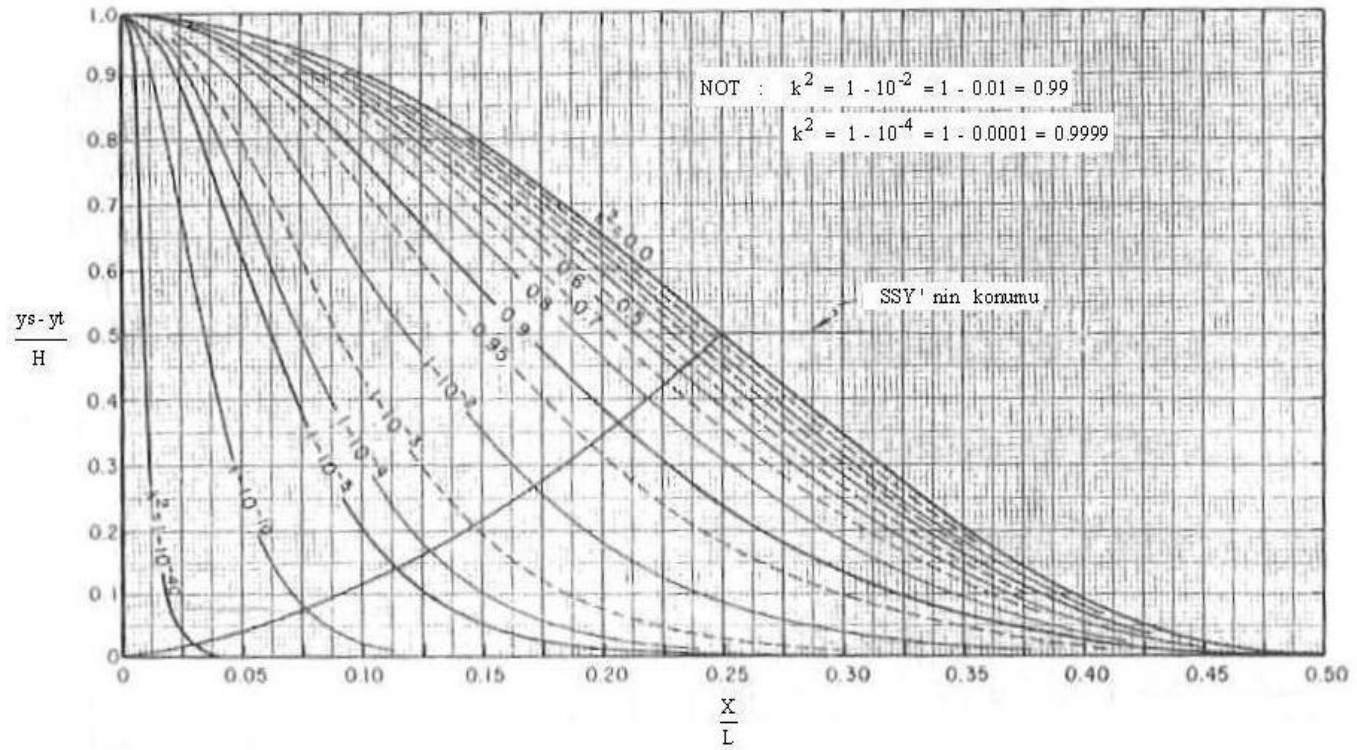
şeklinde yazılabilir.

Cnoidal dalgalar periyodik formda olduklarından $L=cT$ olarak ifade edilebilir (SPM, 1984 ; Yüksel vd.'den, 1998).

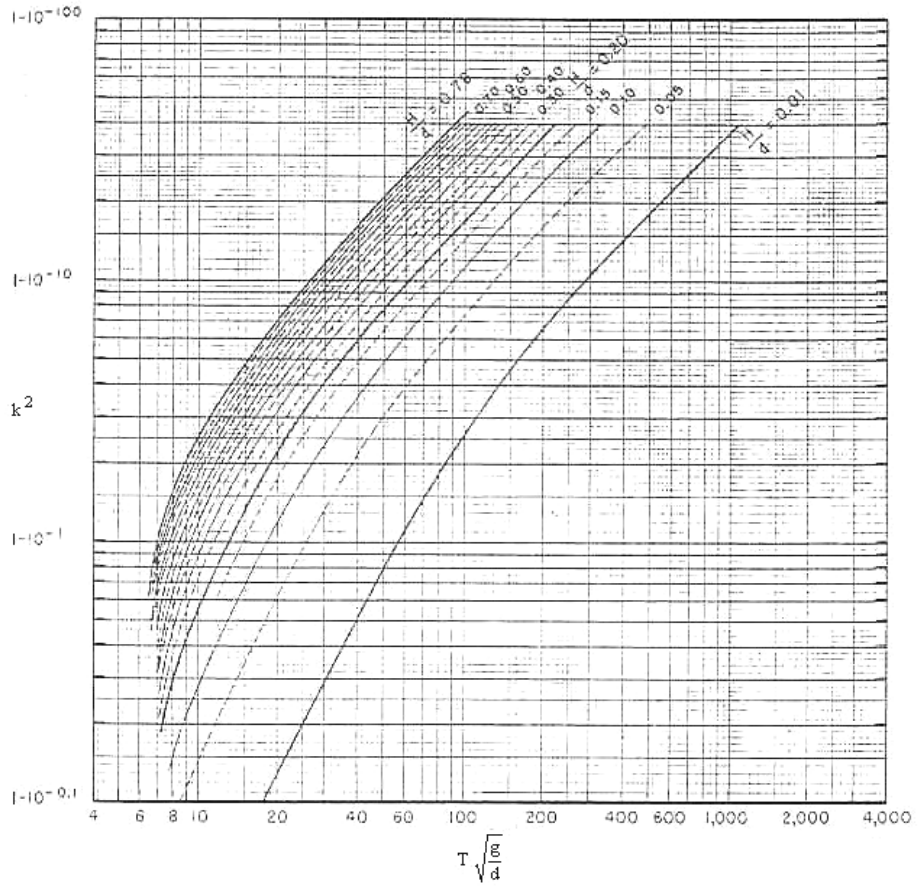
Tabandan y kadar mesafedeki bir cnoidal dalganın altında basınç, yerel akışkan hızına bağlı olup bu yüzden ifade edilmesi karışıktır. Problemi basite indirmek amacıyla basınç dağılımının hidrostatik basınç dağılımına uyduğu kabul edilir. Bu durumda;

$$p = \rho g(y_s - y) \quad (2.82)$$

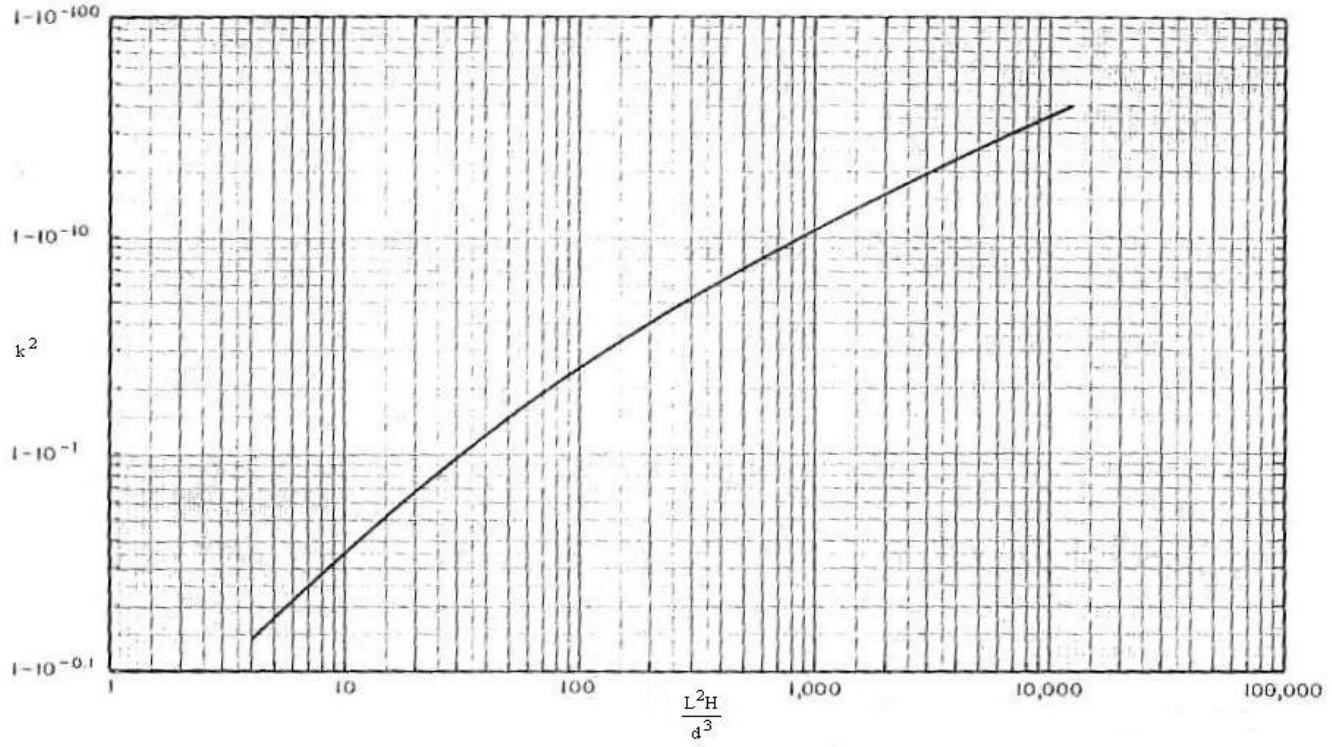
şeklinde ifade edilebilir.



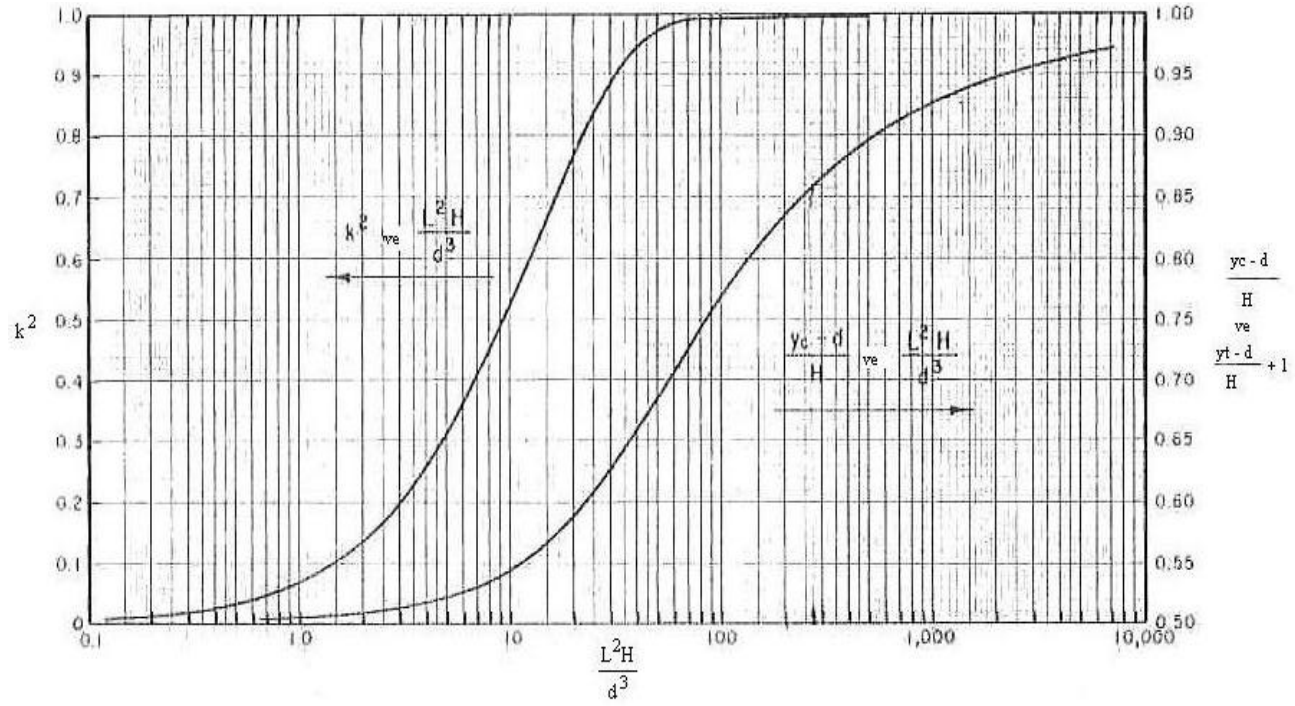
Sekil 2.10 k^2 'nin fonksiyonu olarak Cnoidal dalga profili (SPM, 1984).



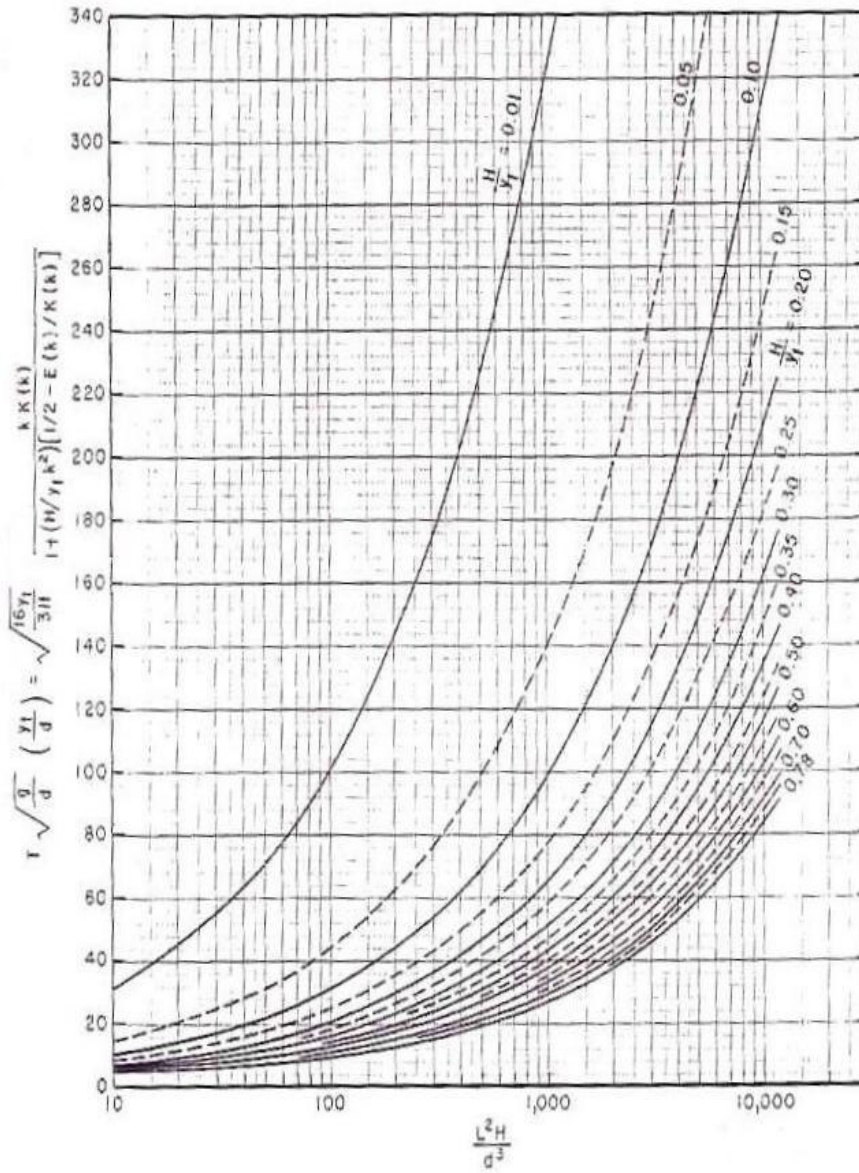
Şekil 2.12 k^2 , H/d ve $T\sqrt{g/d}$ arasındaki bağıntı (SPM, 1984).



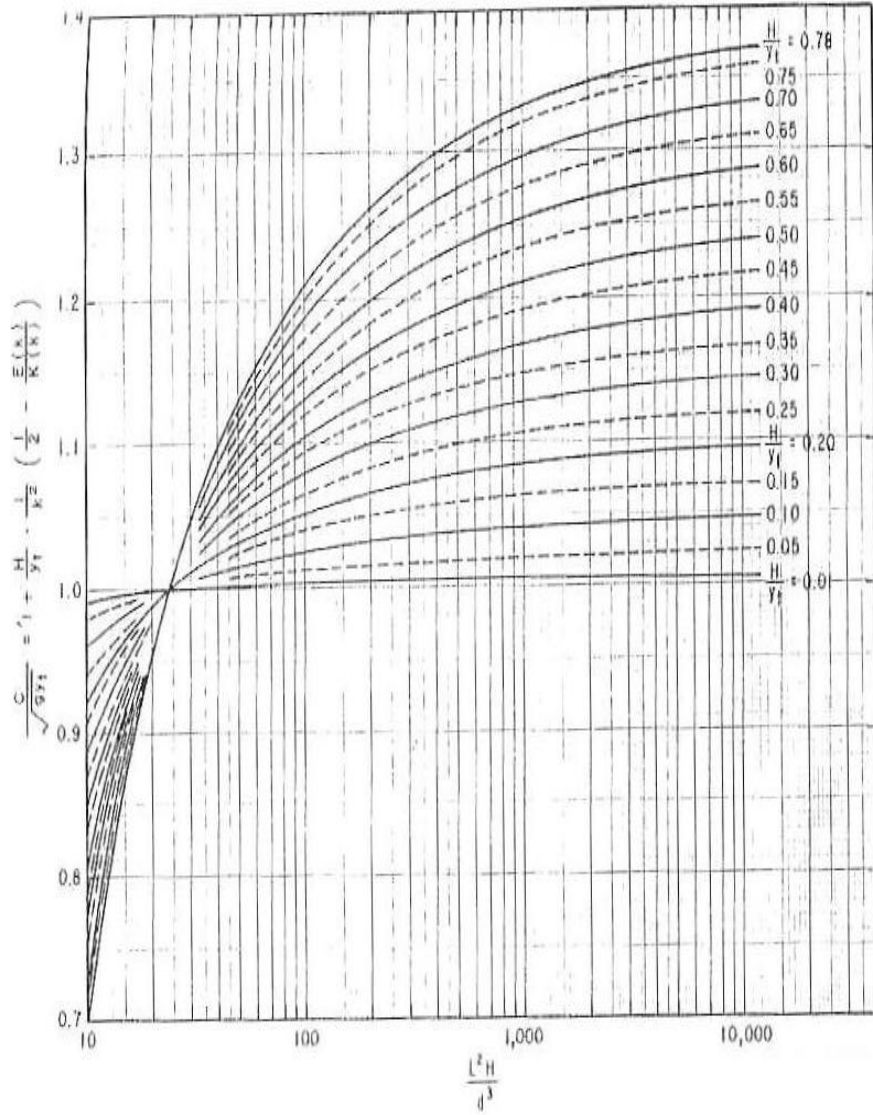
Şekil 2.13 k^2 ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).



Şekil 2.14 k^2 ve L^2H/d^2 ile $(y_c - d) / H$, $(y_t - d) / H + 1$ ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).



Şekil 2.15 $T\sqrt{gd}(y_t/d)$, H/y_t ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).



Şekil 2.16 $c/\sqrt{gy_t}$, H/y_t ve L^2H/d^3 arasındaki bağıntı (SPM, 1984).

Sığ su şartlarında çözüm serilerinde pertürbasyon parametresi olarak Stokes dalga teorisinde kullanılan H/L dalga dikliği yerine H/d derinlik parametresi kullanılmaktadır. Korteweg ve De Vries d dalga

çukurunun altındaki derinlik olmak üzere $(H/d)^2$ derinlik parametresine bağımlı olarak sığ su dalgasına ait bir karakteristiği tanımlamış, daha sonra Laitone (1960) bu teoriyi ikinci mertebeden terimler kullanarak geliştirmiş olup bu durumda çözüm bilgisayar vasıtasıyla mümkün olmaktadır (Yüksel vd., 1998).

2.1.3.5 Solitary dalga teorisi

Çok sığ su şartlarına geçildiğinde dalga çukuru uzun ve yatay, çok dik tepeli bir görünümde olur. Bu halde ardışık dalgalar birbirinden bağımsız olarak göz önünde bulundurulabilirler ve dalga periyodu artık dalga özelliklerinin gelişiminde etkin parametre olmaktan çıkarlar. Tekil bir dalga gibi düşünülen Solitary dalga teorisinde solitary dalga cnoidal dalgaya ait eliptik parametrenin (k) bire yaklaştığı $k^2 = 1$ olduğunda, $K(k)=K(1)=\infty$ özel bir haldir (SPM, 1984; Yüksel vd.'den, 1998).

H/d 'nin birinci mertebeden dikkate alındığı denklemler aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$y_s = d + H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3}{4} \frac{H}{d^3}} (x - C_t) \right] \quad (2.83)$$

$$\eta = H + \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3}{4} \frac{H}{d^3}} (x - C_t) \right] \quad (2.84)$$

Burada x 'in başlangıcı dalga tepesidir. Serbest su yüzeyinden itibaren yukarıdaki dalga tepesindeki birim genişlikteki su hacmi;

$$V = \left[\frac{16}{3} d^3 H \right]^{1/2} \quad (2.85)$$

şeklinde ifade edilir. Dalga ilerleme hızı,

$$c = \sqrt{g(H + d)} \quad (2.86)$$

şeklindedir.

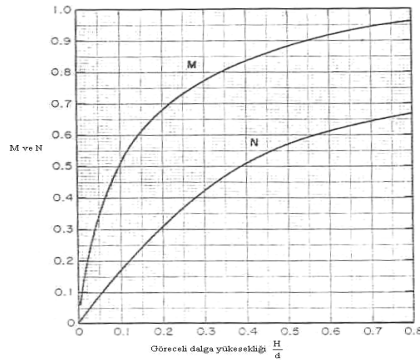
Bu dalga için H/d 'nin çok küçük olmadığı durumda yüksek mertebeden teoremin çözümü gereklidir. Ancak ilk yaklaşım için birinci mertebe teori yeterli olabilmektedir.

Pratikteki uygulamalar için McCowan (1891)'de bulunan ve Munk (1949) tarafından ifadelerle su zerrelerinin hızları;

$$u = CN \frac{1 + \cos(M_y/d) \cosh(M_x/d)}{[\cos(M_y/d) + \cosh(M_x/d)]^2} \quad (2.87)$$

$$w = CN \frac{\sin(M_y/d) \sinh(M_x/d)}{[\cos(M_y/d) + \cosh(M_x/d)]^2} \quad (2.88)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada M ve N , H/d 'nin fonksiyonu olup, Şekil 2.17'de gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Solitary dalga teorisinde M ve N fonksiyonları (SPM, 1984).

Denklemlerde y tabandan ölçülen mesafedir. Yatay hız ifadesi olan u değeri sığ sularda yer alan deniz yapılarına tesir eden dalga kuvvetlerinin tahmininde sık sık kullanılır. Maksimum hız olan $u_{\max}$, x ve t değerlerinin her ikisinin de sıfıra eşit olduğu durumda oluşur (SPM, 1984). Böylece;

$$u_{\max} = \frac{CN}{1 + \cos(M_y/d)} \quad (2.89)$$

şeklinde $u_{\max}$ değeri ifade edilmektedir. M ve N değerleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Yüksel vd.'den, 1998).

$$\frac{H}{d} = \frac{N}{M} \tan \frac{1}{2} M \left(1 + \frac{H}{d} \right) \quad (2.90)$$

$$N = \frac{2}{3} \sin^2 M \left(1 + \frac{2}{3} \frac{H}{d} \right) \quad (2.91)$$

2.1.3.6 Akım fonksiyonu (Stream Function) dalga teorisi

Şu ana kadar ifade edilen yüksek mertebeden dalga teorileri kullanılarak çözüm yapıldığında güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu sebeplerden ötürü herhangi bir mertebede çözüm için nümerik çözüm metoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu başarabilmek için hız potansiyelinin dikkate alındığı, ilk teori 1961'de Chappelle tarafından geliştirilmiş ve 1965'de ise Dean akım fonksiyonu kullanarak Chappelle (1961)'in verdiği yaklaşımdan daha basit ve kullanışlı olan "akım fonksiyonu dalga teorisi"ni geliştirmiştir. Bu teori için verilen formülasyon aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Yüksel vd.'den, 1998).

Lineer formdaki akım fonksiyonu

$$\Psi(x, z, t) = -\frac{H}{2} \frac{g}{\omega} \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.92)$$

şeklinde verilmiştir. Şayet koordinat sistemi c dalga yayılma hızı ile hareket ederse, akım fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Psi(x, z) = cz - \frac{H}{2} \frac{g}{\omega} \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} \cos kx \quad (2.93)$$

Bunun avantajı problemi kararlı bir forma kavuşturmak ve böylece sınır şartlarındaki terimlerde bir miktar azalma meydana getirmektir. Periyodik formda yayılan ağırlık dalgalarının akım fonksiyonu cinsinden ifade edilmesiyle problem bir sınır değer problemi tarzında ele alınır. Bu durumda, akım alanı içinde

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad \text{ve} \quad (2.94)$$

$z = \eta(x)$ dinamik serbest yüzey şartı için

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 \right] + g\eta = s b t = Q_B \quad (2.95)$$

$z = \eta(x)$ kinematik serbest yüzey şartı için aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2.96)$$

Serbest yüzeyinin bir akım çizgisi olması nedeniyle diğer şartlarda akım fonksiyonu kullanılarak tarif edilebilmektedir.

$$z = -d \text{ için } \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \quad (2.97)$$

Yanal sınır şartı

$$\psi(x, z) = \psi(x + L, z) \quad (2.98)$$

ikinci mertebeden dalga teorisi ile analogiden N'inci mertebeden akım fonksiyonu

$$\psi(x, z) = cz + \sum_{n=1}^N X(n) \sinh\{nk(z + d)\} \cos nkx \quad (2.99)$$

ve

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (2.100)$$

$$w = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.101)$$

lineer teori için

$$X(1) = -\frac{Hg}{\omega} \frac{1}{\sinh kd} \quad (2.102)$$

olur. Buradan su yüzeyi profili de benzer formda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\eta = \frac{T}{L} \psi_n - \frac{T}{L} \sum_{n=1}^N X(n) \sinh\left\{\frac{2\pi n}{L}(d + \eta)\right\} \cos\left(\frac{2\pi n}{L}x\right) \quad (2.103)$$

Burada N; serideki terimlerin sayısı, ψ_n serbest yüzeydeki akım fonksiyonunun aldığı değer (sbt) ve $X(n)$ sabitleridir. Denklem (2.99) ifadesi taban ve serbest su yüzeyi kinematik sınır şartlarını L , ψ_n ve $X(n)$ 'nin rasgele değerleri için sağlamakta olup, buna karşılık dinamik serbest yüzey şartı tam olarak sağlanamamaktadır. Bu sınır şartının

tanımlanan bir dalga yüksekliği için yeterince sağlanabilmesi maksadıyla L ve $X(n)$ 'in seçilmesi ve böylece iteratif bir işlem yapılması gereklidir. Bilgisayar destekli olarak bu şart her biri i ile gösterilecek şekilde dalga I adet parçaya ayrılacak şekilde mümkün olur. Bunun sonucunda dinamik serbest yüzey şartı verilen Q_{Bi} ile profil boyunca her bir i noktasında değerlendirilir ve dinamik serbest yüzey şartına göre Q_{Bi} 'nin Q_B 'ye eşit olması gerekir. Burada Q_B sabittir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q_{Bi} = \frac{\left(\frac{\partial \psi}{\partial z}\right)_i^2 + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}\right)_i^2}{2} + g\eta_i = Q_B \quad (2.104)$$

Fakat Q_{Bi} 'yi elde etmek için, $\partial \psi / \partial z$, $\partial \psi / \partial x$ ve η 'nin hesaplanması bunun için de $X(n)$ ($n=1,2,3,\dots,N$)'in bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Buradan da görüldüğü gibi bu işlem bir iterasyon gerektirmektedir. $X(n)$ değeri Q_{Bi} 'nin hesaplanması için kullanılır ve daha sonra Q_{Bi} yeni $X(n)$ elde edilmesi için kullanılacaktır. Bu şekilde işlemler sürdürülerek, sınır şartı sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Sınır şartının sağlanması kriteri, sınır şartının karelerinin verilen hata fonksiyonu ile belirlenmesi şeklindedir.

$$E_1 = \frac{2}{L} \int_0^{L/2} (Q_{Bi} - Q_B)^2 dx \quad (2.105)$$

$$Q_B = \frac{2}{L} \int_0^{L/2} Q_{Bi} dx \quad (2.106)$$

Burada tam çözümün temin edilebilmesi için E_1 sıfır olmalıdır (Yüksel vd.'den 1998).

2.1.3.7 Chakrabarti dalga teorisi

Bu yöntemde, Lineer teoriye göre saptanmış basınç dağılımının pürüzsüz su yüzeyinde belirli bir sıçrama yaptığı saptanmış ve bunun sonucunda, basınç dağılımının belirlenmesi için, lineer denklemin, Laplace denkleminin her yerde tam olarak sağlanmаса da dinamik sınır koşullarının tam olarak sağlanıncaya kadar değiştirilmesi (k.ζ eklenmesi) önerilmiştir (Graw, 1995 ; Örer vd.'den, 2003).

$$P = \rho g \{ \zeta \cosh[k(z + d)] / \cosh(k(d + \zeta)) \} \quad (2.107)$$

2.1.3.8 Wheeler dalga teorisi

Yatay hızın değişimi ile saptanan uyarlanmış dalga teorilerinden olan bu teoride; Lineer teoriye göre saptanmış, teorik tanecik hızlarını deneylerle ölçülen hızlara uydurmak için $\cosh[k(z+d)]/\cosh(kd)$ teriminde değişiklikler yapılmıştır (Graw, 1995 ; Örer vd.'den, 2003).

2.2. Dalga Enerjisinin Tarihçesi

Tüm dünyada önümüzdeki yüzyıllarda enerji tüketiminin ciddi boyutlarda artacağına tahmin edilmesi üzerine, şu an kullanılmakta olan geleneksel enerji elde etme yöntemlerinin topluma ve çevreye verdikleri zararların bilincinde olan ülkeler, enerji sektörlerini büyük bir yenilenme ve gelişmelere açmış, yenilenebilir enerjiyi bu yönde en uygun çözüm olarak görmüşlerdir. Yenilenebilir enerjinin dinamik evriminde önemli bir yer tutan dalga enerjisi, gelişmiş olan rüzgar enerjisi vb. gibi sektörlerle göre yeni ve ekonomik olarak yarışamaz durumda olsa dahi çalışmalar büyük destek görmektedir.

Deniz dalga enerjisinden yararlanma fikri sonucu ilk patentli teknikler 1799 yılında Girand ve Son (Fransa)'a aittir. Daha sonraları Leishman ve Scobie 1855-1973 yılları periyodundaki ilk İngiliz patentinden başlayarak dalga gücünden enerji alarak çalışan sistemleri ve gelişmelerini dikkatli bir şekilde belgelemişlerdir. O yıllarda 340 patent bulunmaktadır. Bir çok dalga enerjisi dönüşüm sisteminin dizayn ve model bazında test ve konfigürasyonları yapılmış ve bazıları halen kullanılmaktadır. Bugün itibariyle dalga enerjisi üretim sistemleri üzerine 1000'in üzerinde patent alınmıştır (Pelc, 2002 ; Ün'den, 2002).

Avrupa'da ve dünyada dalga enerjisi dönüşümü konusunda ileri seviyede araştırmalar devam etmiş, ancak bu çalışmalar 1973 yılındaki petrol fiyatlarının artışından sonra daha da hızlanmıştır. Dalga enerjisi kaynakları olan bir çok farklı Avrupa ülkesi dalga enerjisini enerji temini için potansiyel olarak görmüş ve programlar başlatmışlardır. İngiltere, Portekiz, İrlanda, Norveç, İsveç ve Danimarka ülkeleri başta olmak üzere kısa ve uzun dönem amaçlı dalga enerjisi transferi üzerine çalışmaya başlamışlardır. Bu alanda; Shaw, Lewis, Salter, Ross, Petrocint, Thorpe ve diğerleri tarafından çalışmalar yapılmaktadır. 1986 yılından itibaren bu alandaki çalışmaları gözleyen Avrupa Birliği verdiği teşvikle bu alandaki çalışmalara hız katmıştır. Komisyonun çalışmaları etkili olarak 1994 yılında "Framework" programıyla başlamış ve benzer çalışmalar bu programı takip etmiştir. 1993'ten başlayarak komisyon bir konferansı teşvik ederek bu alandaki çalışmaları canlandırma ve Avrupa'da okullarda, araştırma merkezleri ve endüstrideki çalışmaları koordine etmiştir. Son 25 yılda dalga enerjisi çalışmaları devirli bir sürece girmiş ve zaman zaman mutlu edici, zaman zaman olumsuzluklarla sonuçlanan

neticeler alınmıştır. Halen bir çok proje, sistemlerin büyük boyutlarda, ağır koşullarda çalışabileceğini ispatlamış olup, Avrupa, Avustralya, İsrail, Amerika, Japonya ve diğer ülkelerde son zamanlarda bu sistemler kurulmuştur (Clément et al., 2002).

2.3. Dalga Enerjisinin Oluşumu ve Özellikleri

Deniz kökenli tüm yenilenebilir enerjiler: Deniz dalga enerjisi, gel-git (med-cezir) enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisi olarak sıralanabilir. Çevre faktörleriyle, birlikte türbinlerin verimi de göz önüne alındığında, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisini günümüz teknolojik sistemleriyle ekonomik olarak elektrik enerjisine dönüştürme olanağı mümkün olmamaktadır (Graw, 1995 ; Örer vd.'den, 2003).

Devamlı olarak yinelenen kaynaklar olarak tanımlanan doğal enerji kaynaklarından olan dalga enerjisi, Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güçtür şeklinde ifade edilebilir.

2.3.1 Dalga enerjisi

Bir dalga dizisinin enerjisi, su parçacıklarının yörünge hareketlerinden doğan kinetik enerji ile dalga tepe ve çukurları arasındaki su düzeyleri farkından doğan potansiyel enerji toplamlarından oluşmaktadır. Kinetik enerji hız potansiyelinden elde edilmektedir. Yüksekliği boyuna göre küçük olan birim genişlikteki bir dalganın kinetik enerjisi, $\rho \Delta x \Delta z$ 1 elemansel kütlesine ait kinetik enerjilerin su ile

dolu bölge içindeki toplamalarına eşit olmaktadır. Bunun sonucunda, birim genişlikte ve bir dalga boyundaki su yüzeyi alanına karşılık gelen kinetik enerji aşağıdaki şekilde ifade edilir (Sabuncu, 1983).

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \int_{-d}^{\eta} \int_x^{x+L} [u^2 + w^2] dx dz \quad (2.108)$$

$$= \frac{1}{2} \rho \int_{-d}^{\eta} \int_x^{x+L} \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 \right] dx dz$$

Lineer dalga teorisi koşullarında, z'ye göre integrasyonda üst sınır η yerine sıfır alınabilir. Fakat η infinitesimal bir değer olup, u ve w'nin değerleri yerine konulduğunda aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \int_{-d}^0 \int_x^{x+L} \frac{g^2 a^2 k^2}{\omega^2 \text{ch}^2(kd)} \left[\text{ch}[k^2(z+d)] \text{Cos}^2(kx - \omega t) + \text{sh}^2[k(z+d)] \text{Sin}^2(kx - \omega t) \right] dx dz \quad (2.109)$$

Aşağıdaki özdeşliklerde kullanılarak,

$$\text{ch}^2[k(z+d)] \equiv \frac{1}{2} [1 + \text{ch}[2k(z+d)]]$$

$$\text{sh}^2[k(z+d)] \equiv -\frac{1}{2} [1 - \text{ch}[2k(z+d)]]$$

$$\cos^2(kx - \omega t) \equiv \frac{1}{2} [1 + \cos[2(kx - \omega t)]]$$

$$\sin^2(kx - \omega t) \equiv \frac{1}{2} [1 - \cos[2(kx - \omega t)]]$$

$$E_k = \frac{\rho g^2 a^2 k^2}{8\omega^2 \text{ch}^2(kd)} \int_{-d}^0 \int_x^{x+L} \left\{ [1 + \text{ch}[2k(z+d)]] [1 + \text{Cos}[2(kx - \omega t)]] \right. \\ \left. - [1 - \text{ch}[2k(z+d)]] [1 - \text{cos}[2(kx - \omega t)]] \right\} dx dz$$

$$= \frac{\rho g^2 a^2 k \text{sh}(2kd)}{8\omega^2 \text{ch}^2(kd)} \quad (2.110)$$

bulunur. Ayrıca $\text{sh}(2kd) = 2\text{sh}(kd)\text{ch}(kd)$ ve $\omega^2 = gk \text{th}(kd)$ olması nedeniyle, bunlar kinetik enerji bağıntısında yerlerine konulduğunda aşağıdaki denklem bulunur.

$$E_k = \frac{1}{4} \rho g a^2 L \quad (2.111)$$

Birim genişlikteki bir dalganın şematik gösterimi Şekil (2.18)'de verilmektedir. Burada, birim genişlikteki bir dalganın serbest su yüzeyinin üstünde kalan kısmına ait elemansel su kütlesi

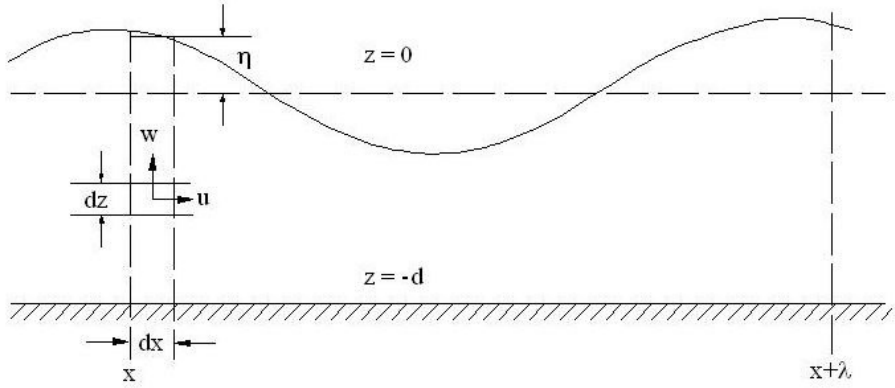
$$\Delta m = \rho \eta \Delta x \quad (2.112)$$

olup, böyle bir elemanın ağırlık merkezi, su yüzeyinden itibaren $z = \eta/2$ yüksekliğindedir. O halde elemansal su kütlesine ait potansiyel enerji aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\Delta E_p = \rho g (\eta^2/2) \Delta x \quad (2.113)$$

Bir dalga boyu uzunluk için bu potansiyel enerjileri toplamak suretiyle,

$$E_p = \int_x^{x+L} \rho g \frac{\eta^2}{2} dx \quad (2.114)$$



Şekil 2.18 Kinetik enerjinin şematik gösterilişi (Sabuncu, 1983).

yazılabilir. Burada;

$$\eta = a \cos(kx - \omega t)$$

dalga denklemi yerine konulduğunda;

$$E_p = \frac{1}{2} \rho g a^2 \int_x^{x+L} \cos^2(kx - \omega t) dx \quad (2.115)$$

$$= \frac{1}{2} \rho g a^2 \int_x^{x+L} \frac{1}{2} [1 + \cos[2(kx - \omega t)]] dx \quad (2.116)$$

$$= \frac{1}{4} \rho g a^2 L \quad (2.117)$$

olarak bulunur.

Buradan görüldüğü gibi, dalga enerjisinin yarısı kinetik, diğer yarısı da potansiyel olup, toplam enerji aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g a^2 L \quad (2.118)$$

veya dalga yüksekliği cinsinden yazılırsa;

$$E_T = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

olur. Buna karşılık olarak su yüzeyi sınır koşulunu tam olarak gerçekleyen trokoidal dalga teorisine göre daha doğru ve gerçeğe yakın olarak

$$E_T = \frac{1}{8} \rho g H_0^2 L_0 \left[1 - \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2 \right] \quad (2.119)$$

yazılır. Bu iki teoriye göre bulunmuş dalga enerjilerinin karşılaştırılmasından, dalga dikliğinin azalması oranında bu ikisi arasındaki farkında azaldığı görülmektedir. Örnek verilecek olursa;

$H_0/L_0 = 1/20$ için köşeli parantez içindeki $\frac{\pi^2}{2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2$ terimi birin

yanında %1.2 civarında bir değer almaktadır. Buda pratikte ihmal edilebilmektedir (Sabuncu 1983).

2.3.2 Dalga hareketindeki enerji akımı

Basit harmonik dalgalardan meydana gelen bir dalga dizisinde enerji, dalga ilerleme yönüne dik ve düşey olarak konmuş sabit bir kontrol düzleminden ortalama olarak grup hızıyla geçmektedir. Basıncın zamanla değişen kısmı p_d ve tespit edilen x konumundaki kontrol düzleminden sağa doğru geçen akışkanın yatay hızı u ile gösterilecek

olursa herhangi bir anda x konumunun sağında birim zamanda yapılan iş veya enerji akımı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Sabuncu, 1983).

$$\dot{w} = \int_{-d}^0 p_d u dz \quad (2.120)$$

Buradan bir periyotluk süre içinde birim zamanda yapılan ortalama iş (güç) veya ortalama enerji akımı;

$$\overline{\dot{w}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \dot{w} . dt = \frac{1}{T} \int_{-d}^0 \int_{t+T}^0 u p_d dz dt \quad (2.121)$$

şeklinde bulunur. Burada basıncın zamanla değişen kısmı alınmıştır. Eğer hidrostatik kısmı da alınmış olsaydı bu basınçtan doğan ortalama enerji akımı sıfır bulunacaktı. Bundan dolayı, enerji hesabında bu kısım göz önüne alınmamıştır. $\overline{\dot{w}}$ enerji akımı ile bir periyotluk süre içinde kontrol düzleminin önünde L boyunda yeni bir dalga üretilmiş olacaktır. p 'nin zamanla değişen kısmı ve u 'nun değerleri de denklemde yazılırsa,

$$\begin{aligned} \overline{\dot{w}} &= \frac{1}{T} \frac{\rho g^2 a^2 k}{\omega \cosh^2(kd)} \int_t^{t+T} \cos^2(kx - \omega t) dt \int_{-d}^0 \cosh^2[k(z+d)] dz \\ &= \frac{\rho g^2 a^2}{8\omega \cosh^2(kd)} \text{sh}(2kd) \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right] \\ &= \frac{\rho g^2 a^2}{4\omega} \text{th}(kd) \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right], \text{th}(kd) = \frac{\omega^2}{gk} \end{aligned} \quad (2.122)$$

olduğundan

$$= \frac{\rho g a^2}{4} \frac{\omega}{k} \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right]$$

$$= \frac{\rho g a^2}{2} \frac{c}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right]$$

burada

$$c_g = \frac{1}{2} c \left[1 + \frac{2kd}{\text{sh}(2kd)} \right]$$

olduğundan

$$\overline{\dot{w}} = \frac{\rho g a^2}{2} c_g \quad (2.123)$$

$$\overline{\dot{w}} = \frac{1}{8} \rho g H^2 c_g \quad (2.124)$$

bulunur. Buradan da görüleceği üzere ortalama olarak enerji grup hızıyla akmaktadır. Şayet toplam enerjiyi ifade eden denklem, L dalga boyuna bölünürse, su yüzeyinde birim alan başına dalga enerjisi veya enerji yoğunluğu elde edilecektir. Buda aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\overline{E} = \frac{ET}{L} = \frac{1}{2} \rho g a^2 = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2.125)$$

Bu bağıntıyla, birim zamanda akan ortalama enerji karşılaştırıldığında

$$\overline{\dot{w}} = \overline{E} c_g \quad (2.126)$$

olduğu bulunur. Grup hızının derin ve çok sığ suda aldığı değerlerden ve

$C_{go} = \frac{1}{2} C_0$ ile $C_g = c = \sqrt{gd}$ denklemlerinden enerjinin derin suda yarım

dalga hızında ve çok sığ suda dalga hızında aktığı görülür (Sabuncu, 1983).

2.4. Dalga Enerjisi Potansiyeli ve Yapılan Çalışmalar

Dalga enerjisi potansiyelinin; doğada mevcut hali doğal potansiyel, doğal potansiyelin teknoloji aracılığı ile kullanılabilir enerjiye dönüştürülmüş şekline teknik potansiyel ve diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması neticesinde ekonomik olarak nitelendirilen miktarı da ekonomik potansiyel olarak adlandırılmakta ve dünya deniz kaynaklı doğal enerji potansiyelinin 7.621.000 (milyar kWh) değeri ile hidrolik ve biyomas enerjisinin doğal potansiyelinden fazla, rüzgar enerjisi doğal potansiyelinin ise %25'i kadar olduğu anlaşılmaktadır (Örer vd.'den, 2003).

Dalga enerjisi üç yanı denizlerle çevrili ülkemizde yararlanılması gereken enerji kaynağı olup gerek ülkemiz gerekse dünyada büyük dalga enerjisi potansiyeli mevcuttur. Dalganın gücünün, genliğinin karesi ve hareket periyodu ile orantılı olması nedeniyle uzun periyotlu ($\sim 7-10$ s), büyük genlikli (~ 2 m) dalgaların metre olarak genişliğinin başına 40-70 kW enerji oluşmaktadır. Bunun yanında dalga enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi dünyada düzenli dağılıma sahip değildir. Dünyada yüksek dalga potansiyeline sahip birkaç bölge bulunmakta ve her iki yarımkürede $\sim 30^\circ$ ve $\sim 60^\circ$ enlemler arasında dalga hareketi batı rüzgarlarının hakimiyeti sebebiyle yüksek değere ulaşmaktadır. Dünya genelinde, elektrik üretiminde dalga enerjisi potansiyelinin 2000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Dalga enerjisi potansiyeli şu an için fosil kökenli yakıtlarla rekabet edebilecek durumda olmamakla birlikte son yıllarda maliyetler düşmektedir (Ün, 2003). Geçen 10 yıl içinde kıyıya yakın ve kıyıdan uzak uygulamaların mali değişimleri incelendiğinde,

firmaların tasarım esnasında 10 cent/kWh'den daha az hatta 5 cent/kWh'e düşebilecek maliyetleri amaçladığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda da tahmin edilen bu maliyet, dalga enerjisi tesislerinin diğer geleneksel güç tesisleriyle rekabet edebilecek seviyeye geleceğine imkan sağlamaktadır (Pelc et al. ; Ün, 2003'den).

Dalgalar bir kere yaratıldıktan sonra çok az enerji kayıpları ile binlerce kilometre seyahat ederler. Atlantik'in Amerika tarafında oluşan bir dalga, batı rüzgarlarının da etkisiyle batı Avrupa sahillerine ulaşır. Derin (açık) denizlerdeki enerji akımı çok büyük olmaktadır. Sahillere yakın bölgelerde ise deniz tabanı etkileşiminden dolayı ortalama enerji yoğunluğu düşüş gösterir. Kıyı bölgelerdeki oluşan enerji kayıpları kırılma, kırınım, yansıma, sapma gibi doğal olaylarla belli noktalarda enerji oluşumuna neden olur. Atlantik'in fırtınalı kısımlarındaki bu bölge batı Avrupa sahilleri ve yüksek enerji bölgesi olarak karakterize edilir. Buna karşın sadece Güney Amerika'nın güney kısmı ve Antipodelarda Atlantik'teki kutupsal fırtınalardan dolayı daha yüksek enerji bölgesi olarak nitelendirilebilirler. Son araştırmalara göre Atlantik'in kuzey batı sahilleri ve kuzey denizi bölgesinde 2906 W'lik enerji (güç) kaynağı bulunmaktadır. Avrupa'nın güney Atlantik sahillerinde 25 kW/m'a kadar ulaşan İrlanda ve İskoçya sahillerinde ise 75 kW/m'ye kadar ulaşan (yıllık bazda) güç kaynakları vardır. Daha kuzeye gidildikçe Norveç sahillerinde güç kaynakları yıllık bazda 30 kW/m'ye kadar düşmektedir.

Kuzey denizine gidildiğinde korunmasız bölgelerdeki 21 kW/m (yıllık) güç potansiyeli, korumalı güney sahillerine gidildiğinde bu değerlerin yarısına inmektedir. Akdeniz'de ise güç kaynağı 4~11 kW/m (yıllık) aralığında değişip en yoğun, güçlü kaynak bölgesi Ege

denizi bölgesi olmaktadır. Bu bölge yüksek rüzgar enerji potansiyeli taşıması ve limanlara vuran uzun dalgalarıyla karakterize edilir. Avrupa'nın Akdeniz sahillerinde 30 GW'lık potansiyelin bir bölümünü oluşturduğu toplam güç kaynağı 320 GW olmaktadır (Clément et al., 2002).

Dalga enerjisi potansiyeli ile ilgili rakamlarda dikkat edilmesi gereken nokta, bu tahminlerin belli kabullere dayandığı ve bu kabullerin her zaman tartışmaya açık olduğudur. Dalga enerjisi potansiyelinin daha gerçekçi olarak saptanabilmesi için, dalga enerjisinden yararlanılacak olan bölgede uzun yıllara dayanan oldukça pahalı olan ölçümlerin yapılması gerekliliğidir. Bu ölçümlerin yapılamadığı durumlarda buna nazaran daha ekonomik olan rüzgar ölçümleri yapılmakta, rüzgar-dalga arasındaki bağıntıyı veren ve bir çok ölçüm sonucundan elde edilmiş yarı ampirik formüllerle dalga enerjisinin hesaplanması mümkün olmaktadır (Özdamar vd., 2000).

2.4.1 Dünyada dalga enerjisi potansiyeli

Avrupa'da bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmaları bir çok ülkede sürmektedir. Dalga enerjisinin üretimi ve tüketimi ülkenin sağladığı doğal imkanlardan ileri gelmektedir. Yüksek kaynak potansiyeline sahip ülkelerde çalışmalar, bu ülkelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek seviyelere kadar ilerleyebilir. Danimarka, İrlanda, Norveç, Portekiz, İsveç ve İngiltere bu alandaki araştırmalarına yıllarca önce başlamıştır. Avrupa dışında Avustralya, Kanada, Çin, İran, Endonezya, İsrail, Japonya, Kore, Meksika, Rusya, Sri-Lanka ve ABD bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir (Clément et al., 2002).

2.4.1.1 Danimarka

Kuzey denizinin güney kısmı bu enerji üretimi için elverişli kaynağa sahiptir ve potansiyel gelişmelere imkan vermektedir. Ama ülkenin kuzey batı kısmı çok daha büyük bir potansiyele sahiptir. Tahmini yıllık enerji kaynağı 30 TWh, yıllık dalga oranı 7~24 kWh/m batı yönlü olması tahmin edilmektedir (Clément et al., 2002).

2.4.1.2 İrlanda

İrlanda bu alanda ciddi bir potansiyele sahiptir. Lewis'e göre bu ülkenin yıllık potansiyeli 375 MWh/m olup, toplam enerji tahmini 187,5 TWh olarak beklenmektedir (Clément et al., 2002).

2.4.1.3 Norveç

Norveç batı Atlantik ile batı rüzgarlarını alan uzun sahillere sahiptir. Yıllık enerji potansiyeli tahmini 400 TWh'tır. Kaynakların yüksek olmasına rağmen ülkedeki ekonomik belirsizlikler ve teknoloji yetersizliği bu çalışmaları yavaşlatmaktadır. 2020 yılı itibariyle dalga enerjisinin ülkeye katkısının 0,5 MWh olacağı tahmin edilmektedir. 1980'lerde Multi-Resonant OWC ve Tappered Channel (Tapchan) -500 ~350 kW'lık deniz kenarı dalga dönüşüm sistemleri geliştirilmiştir. 1985'te ise Kvaener Brug OWC sistemini Bergen'in 35 km kuzey batısında kurmuştur. Fakat kurulan bu sistem 1988-1991 yıllarında yaşanan fırtınalardan zarar görmüştür. Ancak yeni TAPCHAN'ın kurulması için planlamalar mevcuttur (Clément et al., 2002).

2.4.1.4 Portekiz

Portekiz'deki potansiyel 30/40 kWh/m tahmin edilir. Ülkenin en büyük potansiyeli, Portekiz'in kuzey batısındaki Adalar denizindedir. Tahmini tüm potansiyel 10 GW'dır (Clément et al., 2002).

2.4.1.5 İsveç

İsveç'teki potansiyel çok azdır. Ülkenin kuzey denizi ve Baltık denizi (Öland – Gotland adaları) bölgeleri potansiyel yerlerdir. Yıllık enerji üretim imkanı 5 - 10 TWh olmaktadır. Bu miktar İsveç'in 150 TWh'lık tüketim miktarıyla karşılaştırılabilir. Bu konuda 1976 yılında çalışmalar başlamış, 1983-1986 yıllarında House-Pump projesi denizde test edilmiştir (Clément et al., 2002).

2.4.1.6 İngiltere

Atlantik'in batı kıyısında, büyük fırtınaların olduğu ve batı rüzgarlarının etkisinde kalan bir bölgeye sahiptir. Yıllık potansiyel tahmini 120 GW'dır. 1973 yılında tüm dünyayı sarsan petrol krizi ile birlikte Edinburg Üniversitesince çalışmalara başlanmıştır. 1974 yılında S.Solter bu alandaki çalışmalarını yayımlamış ve aynı süreçte en az 10 dalga enerjisi projesi başlatılmıştır. 1983'e kadar devletin desteğiyle geniş kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. 1999 yılındaki LIMPET OWC projesinin başarısı 3. Scottish Renewable Obligation (SRO-3) 3 yeni projeye start vermiştir. 2 MW enerji üretecek olan bu 3 proje 15 yıllık bir anlaşma ile ödüllendirilerek 2003 yılı itibariyle Limpet, Pelamis, Flooting, Wave Power Vessel (FWPV) dönüşüm sistemleri Scotland'ın

batı kıyısındaki Islay adası ve Shetland'ın elektrik ihtiyacını karşılayacaktır (Clément et al., 2002).

2.4.1.7 Belçika, Hollanda, Almanya

Bu ülkelerin sahil kesimi uzunlukları kısa olmakla birlikte sahil trafikleri yoğundur. Tüm bu nedenlerden dolayı, ülkelerin bu alanda önemli çalışmaları yoktur (Clément et al., 2002).

2.4.1.8 Fransa

Atlantik ve Akdeniz ile uzun sahillere sahip olan Fransa'daki potansiyel bölge Gascoigne'nin Guif bölgesidir. Yıllık güç kapasitesi 40 kW/m ve potansiyeli 28 GW tahmin edilmektedir. Ülkenin Akdeniz sahillerindeki üretimin 4-5 kW/m olduğu tahmin edilir. Yüzyılın sonuna doğru önemli projeler olsa da ülke bu alanda önemli bir gelişme sağlayamamıştır.

2.4.1.9 Yunanistan

16.000 km'lik Ege ve Ionya sahillerine sahiptir. Ege denizindeki Kuzey-Güney akıntılarının 4-11 kW/m yıllık ortalamaya sahip bir potansiyeli mevcuttur. Dalga enerji tesisleri daha çok adalara elektrik ulaşımında (dizel istasyonlar kullanan) yer bulacaktır. Adalardaki yüksek enerji maliyeti dalga enerjisinin gelişmesi imkanını yaratacaktır. Ancak devletin ve özel yatırımcıların desteğini almış olan rüzgar enerjisi tatbik edilebilirliğini ispatlamış durumdadır (Clément et al., 2002).

2.4.1.10 İtalya

Uzun sahilleri ile büyük bir potansiyele sahipmiş gibi gözükse de yıllık ortalama 5 kW/m'den düşük gözükmektedir. Aynı zamanda Sicilya, Sardunya gibi adaların belli noktalarında 10 kW/m'lik bir potansiyeli bulunmaktadır (Clément et al., 2002).

2.4.1.11 Avustralya

Avustralya'nın büyük kaynakları 100 GW'lık bir üretim potansiyeli oluşturmaktadır. Fakat enerji kullanımı ülkedeki kaynaklara göre düşük orandadır (Clément et al., 2002).

2.4.1.12 Hindistan

1983'te Indian Institute of Tech Modros'la araştırmalar başlamıştır. 1991 yılında Vizhinjam'da 100 kW'lık gösterim tesisi kurulmuştur. Aynı zamanda WEC, OWC ve BBDB'lerin üzerine geliştirme amaçlı çalışmalar devam etmektedir (Clément et al., 2002).

2.4.1.13 İsrail

İsrail bu alanda yüzen bir güç ünitesi inşa ederek yenilik yapmıştır. Sistemin çalışma prensibi dalga enerjisini hidrolik basınca çevirerek elektrik enerjisi elde etmektir. Bu alanlarda bir çok model dizayn ve test edilmiştir. Dizayn edilen 40 kW'lık ünite başarıyla çalışmıştır (Clément et al., 2002).

2.4.1.14 Japonya

35000 kW'lık enerji alımıyla dış güçlere bağlı bir ülke olup bu alandaki çalışmalar sürekli desteklenmektedir. Ülkede bir çok firma

tarafından çalışmalar sürdürülmektedir. Şu an için büyük ölçekli açık deniz projesi olan Mighty Whale gerçekleştirilmiştir. Ayrıca diğer küçük ölçekli projeler limanlar, terminaller ve basit aydınlatmalarda kullanılmaktadır. Masuda tarafından tasarlanan şamandıra tipli bir santralden yaklaşık 1200 tane üretilmiş ve bunlardan 20 yıl kullanılanlar olmuştur. Böyle bir santral, 1983'te Japonya'nın Sanze bölgesinde yapılmış olup, 40 kW güce sahiptir. Ayrıca başka bir santral, 30 kW güçtedir ve 1987 yılından beri Japonya'nın Kujukuri bölgesinde çalıştırılmaktadır. Bunların dışında Niigata'da hem dalgakıran olarak kullanılan hem de 40 kW güç üretecek şekilde yapılan santral iki yıl kullanılmıştır. Sakata'da inşa edilmiş santral, hem dalgakıran olarak hizmet verirken, hem de 60 kW nominal güce sahip bir türbini çalıştırmaktadır (Clément et al., 2002).

2.4.1.15 Sri-Lanka

Dalga ve termal güneş enerjisi çevrimi National Aquatic Resource Agency tarafından gerçekleştirilmektedir. 2000 yılında gösterim amaçlı 150 kW'lık OWC prototipi Ministry of Science and Tech tarafından inşa edilmiş ve başarıyla çalışmıştır (Clément et al., 2002).

2.4.1.16 Amerika Birleşik Devletleri

Çalışmalar 1950'lerde başlamıştır. Kuzey batı sahillerindeki potansiyel 235 kW/m olarak hesaplanmıştır. McCabe Wave Pump ve OPT WEC gibi 2 büyük proje yürütülmektedir (Clément et al., 2002).

2.4.2 Türkiye’de dalga enerjisi potansiyeli

Dalga enerjisinin kullanılması, Türkiye’nin gündemine henüz girmemiş olup, Marmara denizi dışındaki açık deniz kıyıları 8210 km’yi bulmasına rağmen dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri mevcut değildir. Dalga cephesinin gücü Akdeniz kıyıları için ortalama 13 kW/m olarak verilmektedir. Türkiye dışında Akdeniz’de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyunca 8,4 – 15.5 kW/m arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler doğal olarak iç denizlerde daha da düşmektedir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18.5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir (Eral, 1998 ; Ün’den, 2003).

İzmir Çeşme yöresine yönelik olarak yapılan bir çalışmada dalga enerjisinin en fazla olduğu ayın Şubat ay’ı olduğu tespit edilmiş, Kasım - Mart aylarından oluşan 5 ayda diğer aylara nazaran daha fazla dalga elektriği üretilebileceği ortaya çıkmıştır. Ortalama dalga gücünün 7.16 – 39.66 kW/m arasında değiştiği ve birim genişliğe etkiyen ortalama dalga gücünün 14.84 kW/m olarak alınabileceği tespit edilmiştir (Özdamar vd., 2000).

Ayrıca Karadeniz’e ait dalga rasatları olmamakla birlikte, ortalama dalga gücünün Çeşme’den daha yüksek olacağı aşıkardır.

Türkiye’nin Batı, özellikle Kuzey kıyılarının dalga enerjisi yönünden oldukça zengin olduğu görülmekte ve bu kıyılarda özellikle Tapchan tipi ve sabit OWC sistemleri kurularak, ilgili bölgelerdeki küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi gereksinimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir (Örer vd., 2003).

2.5. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

Kazandıkları enerjiyi kıyılara taşıyan dalgalar önüne yerleştirilecek özel enerji dönüşüm sistemleriyle, dalga enerjisinin bir kısmı önce mekanik, sonra da elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Enerji üretilmesinde aktif sistemler olarak nitelendirilen sistemlerde aletin bir veya birden fazla elemanı dalga kuvvetiyle hareket eder ve mekanik enerji üretilir. Örnek olarak “Duck” ve “The Raft” verilebilir. Pasif sistemler ise çok fazla dalgaların bulunduğu sahillerde dalganın itişmesinin önce hidrolik yükseltiye çevrilmesi ve bir yapı arkasında kalan havuzda bulunan su seviyesinin yükselerek potansiyel enerji kazanması prensibi ile tasarımlanır, sabit olup mekanik teçhizatları yoktur. Sadece içlerindeki havanın ilerlemesi için olanak sağlarlar. Örnek olarak “OWC” ve “Tapchan” verilebilir (Jun et al., 1990).

Dalga enerji düzeyinin yıl boyunca mevsimlere bağlı olarak gösterdiği değişikliklerin yanı sıra, çok kısa sayılabilecek zaman aralıklarında da görülebilen değişimler, bu sistemlerde önemli gelişmelerin oluşmasına neden olmuştur (Jun et al., 1990). Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin tesis edileceği yer, büyük dalga kuvvetleri ve şiddetli deniz fırtınaları göz önünde bulundurulduğunda büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, o yöreye ait sadece dalga yüksekliği göz önünde bulundurulmayıp, rüzgar ve dalga istatistikleri yapıp, bu uzun dönem rüzgar dalga istatistiklerine göre dizayn edilmelidir. Kaldı ki daha önce bu çalışmaların yeterince yapılmaması nedeniyle bir çok dönüştürücü sistemin dalga etkileri yüzünden kullanılmaz hale geldiği, hasar gördüğü literatürde yer almaktadır.

İdeal bir dönüştürücü sistemi rasgele değişimler gösteren enerji verilerini kabul edebilen, dalga yönündeki olumsuzluklardan fazla etkilenmeyen, kısa süreli bir depolama kabiliyeti ile enerji düzeyindeki değişimleri karşılayabilen ve ayrıca tasarım düzeyinin çok üzerinde çıkabilecek enerji girdilerine de direnç göstererek bu durumlarda dönüştürme verimini kademeli olarak azaltabilecek özelliklere sahip olmalıdır (Jun et al., 1990).

Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana parametreleridir. Dalga enerjisinin bir avantajı da, her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesidir (Clément et al., 2002).

2.5.1 Kıyı şeridi (Shoreline) uygulamaları

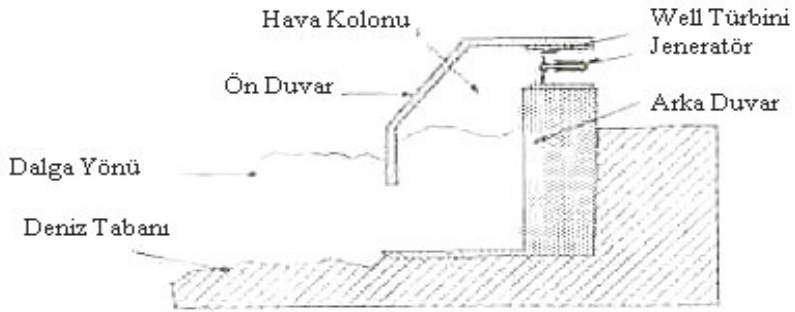
Bu tür uygulamalarda enerji dönüşüm sistemleri kıyıda sabitlenmiş veya gömülü şekilde bulunurlar. Bakım ve inşası diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Buna karşılık daha az güce sahip dalga rejimi nedeniyle elde edilen dalga enerjisi daha az olabilmektedir. Bu tür uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır (Clément et al., 2002).

2.5.1.1 Salınlımlı su kolonu (OWC: Oscillating Water Column)

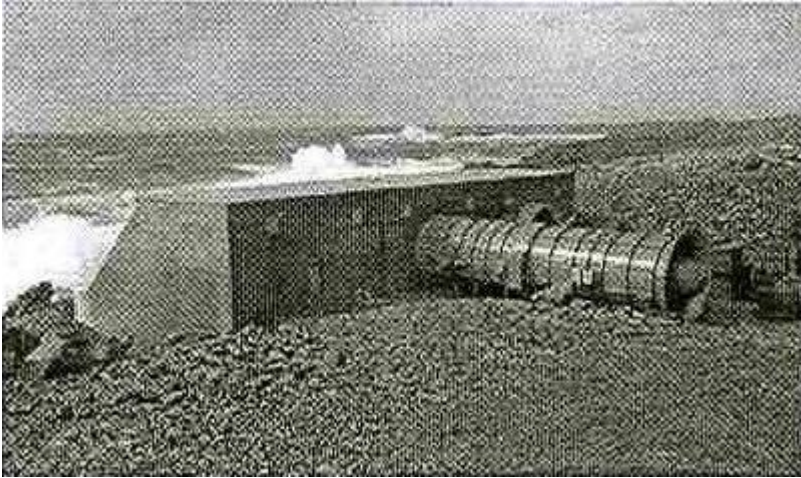
Bu tür yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur olarak dizayn edilirler. Sistemlerde bir su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu mevcuttur. Buradaki temel prensip su seviyesi üzerinde yer alan bir kapalı hacimde havayı hapsetmeye dayanmaktadır. Sistemin altta ve üstte olmak üzere iki açıklığı bulunmaktadır. Alttaki açıklık deniz seviyesinin altında, üstteki ise deniz seviyesinin üzerinde yer almaktadır. Kapalı hacmi oluşturan kolon içindeki su seviyesi Froude Krylov Hipotezine göre kolonun altındaki açıklık nedeniyle ikincil derecede önem arz eden difraksiyon ve radyasyon etkileri ihmal edildiğinde kolon dışındaki ile aynı kabul edilebilmektedir. Bunun sonucunda dışarıdaki dalga tepe ve çukurlarına bağlı olarak kolonun içerisinde de su seviyesi yükselmekte yada alçalmakta ve kolonun su üzerindeki hacmini daraltıp genişletmektedir. Kolonun üstü atmosfere açık olduğu için dalga tepesi durumunda daralan kolondaki hava sıkışıp dışarıya basılmakta iken dalga çukurunda oluşan alçak basınç nedeniyle kolonun içine alınmaktadır. Bu sistemin üst tarafında yer alan boşluğuna bir türbin monte edilir. Havanın hareketiyle türbin dönmekte, böylece dalga enerjisi hareket enerjisine dönüştürülmektedir. Türbinin ucuna bir jeneratör bağlandığında türbinden elde edilen hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Konvansiyonel türbinler akışkanın belli bir yönde ilerlemesi için tasarlanmışlardır. Bunun sonucunda türbinlerin hareketli su kolonu enerji dönüşüm sisteminde kullanılmaları halinde seçime bağlı olarak ya hava emilirken, yada basılırken enerji

üretebileceği anlamına gelmektedir. Bu, elde edilebilecek enerjinin yarısından fazlasının kaybı anlamına gelmektedir. Sistemin üretebileceği maksimum enerjiyi üretmek için havanın basılması ve emilmesi esnasında dönecek ve jeneratöre aynı yönde hareket iletecek bir türbinine ihtiyaç duyulmaktadır. Hareketli su kolonu enerji dönüşüm sistemi prototipi ikinci dünya savaşından hemen sonra Yoshio MASUDA tarafından denenmiş ve alınan sonuçlar günümüzde bu sistemle çalışan bir çok bilim adamına öncülük etmiştir. Masuda prototipinde hem kolona hava emilirken, hem de kolondan hava basılırken jeneratöre tek bir yönde hareket ileten Wells Türbini’ni kullanmıştır. Bu türbinin en önemli özelliği, her bir kanadın kanat merkezinden geçen eksene göre simetrik olmasıdır. Günümüzde Wells Türbini tek bir pervaneden oluşmamakta, iki pervaneli “duo” ve üç pervaneli “tandem” modelleri mevcuttur. Kanat boyutlarını ve sayılarını optimize edebilmek için sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi nümerik yöntemlere ve deneylere başvurulmaktadır (McCormick, 1983 ; Bak, 2003).

OWC sistemi Şekil (2.19)’da gösterilmiştir. Bu dönüşüm sistemlerinin dünya genelinde birkaç çeşidi geliştirilmiştir. Bunlarda; European Pilot Tesisi, Portekiz Azures de Pico adasında geliştirilmiştir. 400 kW’lık bu sistem test amaçlı kurulmuştur. İngiltere’de Belfast Queen’s Üniversitesi tarafından 1991 tarihinde Islay adasında 75 kW’lık bir prototip olan Şekil (2.20)’de gösterilen Limpet OWC kurulmuştur.



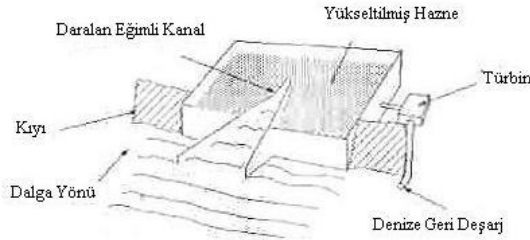
Şekil 2.19 OWC sistemi (Ün, 2003).



Şekil 2.20 Limpet OWC (Clément, 2002).

2.5.1.2 Daralan kanal sistemi (TAPCHAN: Tapperated Channel Device)

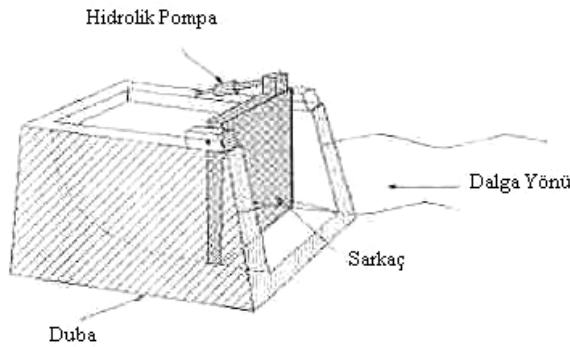
Bu sistem geleneksel hidroelektrik enerji üretim sistemiyle aynı prensibe dayanmaktadır. Bu sistemler su seviyesinin 3 - 5m. üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır (Şekil 2.21). Kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığından hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Bununla beraber bütün kıyı kesimleri için uygulanabilirliği yoktur. Bu sistemde asıl enerji dönüşüm sistemlerini oluşturan türbin ve jeneratörün açık deniz koşullarına maruz kalmamaları en temel avantajıdır. Sistemin çalışma prensibi gereği suyun akışını hareket enerjisine dönüştürme görevini yerine getiren türbin tek yönde dönecek şekilde tasarlanır (Mc Cormic 1983 ; Clément et al., 2002).



Şekil 2.21 TAPCHAN sistemi (Ün, 2003).

2.5.1.3 Sarkaçlı dönüşüm sistemi (PENDULAR)

Bu sistem bir enerji dönüşüm sisteminden çok bir dalgakıran şeklinde düşünülür ve bu çalışmanın konusu olan yatay batmış plak levha dalgakırandan enerji dönüştürme kapsamında irdelenebilir. Sistem, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir. Bu açık kısma sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Hızla gelen dalga bu kapağa çarpmakta ve onu ileri geri hareket ettirmektedir. Bu nedenle bu sistemin kapağına kapak yerine sarkaç denmektedir. Kapak gelen dalga karşısında içeriye doğru açılırken temel yapı içine de suyun girmesine kısmen izin verilir. Dalga enerjisini kaybettikten sonra dalga tepesi yerini dalga çukuruna bıraktığında sarkacın ağırlığının oluşturduğu basınç temel içindeki suyun basıncından yüksek olmakta ve sarkaç suyu temelden dışarıya basmaktadır. Böylece bu hareket ileri-geri sürekli devam etmekte ve sarkacın kendisine bağlı olan bir hidrolik pompayı tahrik ederek enerji üretimi ve dalga yüksekliğinin indirgenmesi sağlanmaktadır Sistem Şekil 2.22’de gösterilmiştir (Bak, 2003).



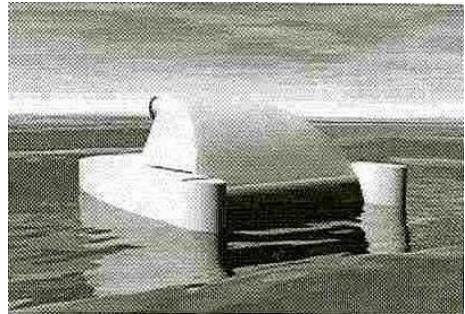
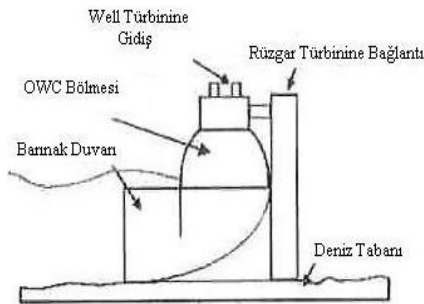
Şekil 2.22 Sarkaçlı dönüşüm sistemi (PENDULAR) (Ün, 2003).

2.5.2 Kıyıya yakın (Near Shore) uygulamalar

Bu sistemler kıyıya yakın, 15-25 m. su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerde OWC'nin değişik tasarımları uygulanmıştır.

2.5.2.1 Osprey

Wavegen tarafından geliştirilen OSPREY'in gücü 1,5 MW'lık bir rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkartılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmakta ve özellikle inşa maliyetinin azaltılması maksadıyla çalışmalar devam etmektedir. İlk prototip olan OSPREY I, kurulum aşamasında (1996) çelik gövdeli sistem problem yaratmıştır. Yeni OSPREY 2000 ise kompozit malzemeden açık denizlerde kısa sürede kurulacak şekilde imal edilmiştir. 15 m. su derinliğinde ve kıyıdan 1 km uzaklıklara kurulacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem şekil 2.23'de gösterilmektedir. (Clément et al., 2002 ; Ün, 2003).



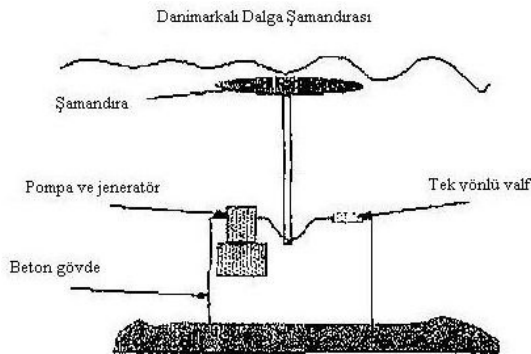
Şekil 2.23 OSPREY (Clément et al, 2002 ; Ün, 2003).

2.5.2.2 Wosp 3500 (Rüzgar ve okyanus salınım enerjisi)

Kıyıya yakın dalga ve rüzgar enerji istasyonunun birleştirilmiş bir şekli olup, eklenen 1.5 MW'lık rüzgar üretim kapasitesi tesisin kapasitesini 3.5 MW'a çıkarır (Ün, 2003).

2.5.2.3 Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi

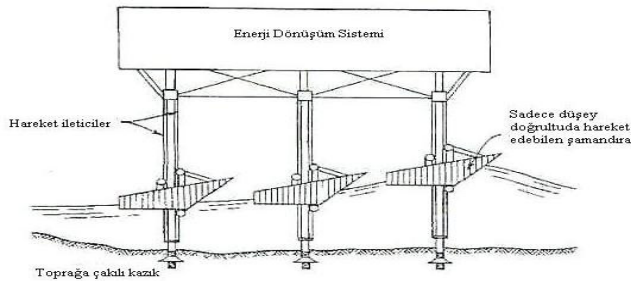
En basit dalga pompası sistemlerinden biridir. Sistemin gövdesi deniz dibine bağlanır ve sistemin üzerinde iki açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıklardan biri sisteme deniz suyu girişini, diğeri ise sistemden su çıkışını sağlamaktadır. Giriş kısmına tek yönlü bir valf, sistem çıkışına bir türbin konulmaktadır. Türbin bir jeneratöre bağlanmakta, sistemin içerisine giren suyun türbine basılması için gereken enerji piston hareketi ile elde edilmektedir. Söz konusu “piston” hareketi dalga tepe yada çukuruna göre yukarıya veya aşağıya hareket eden şamandıra vasıtasıyla sağlanır. Sistem Şekil 2.24'te gösterilmektedir (Bak, 2003).



Şekil 2.24 Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).

2.5.2.4 Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi

Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin büyük çoğunluğunda en önemli ve hassas elemanları olan türbin, jeneratör gibi parçalar su seviyesinde veya altında yer almakta olup, bu elemanların deniz suyu kimyasal etkileri ve dalga kuvvetlerinden olumsuz etkilenmeleri en önemli problemi yaratmaktadır. Bu olumsuzluk farklı avantajlı sistem arayışlarını sürekli gündemde tutmaktadır. Dalga motoru P. Wright tarafından 20. yüzyılın başlarında patent almıştır. Sistemde jeneratörün deniz seviyesinden yukarıda olması yukarıda bahsedilen olumsuzluğun giderilmesinde avantaj sağlamıştır. Deniz dibinde çakılı kazıklara asılan halatlara su seviyesi civarında şamandıralar asılmak suretiyle dalga tepe çukuruna göre şamandıralar aşağıya ve yukarıya doğru hareket ederler. Böylece hareket eden halatlar, hareketi sistemin en üst noktasındaki jeneratöre iletirler. Bu sistemlerde en büyük dezavantaj uzun süre dayanım için tercih edilen halatların sürtünme dirençleri nedeniyle kayıplar oluşturmalarıdır. Halatların çelikten yapılması düşünülmekte ancak buda deniz suyunun özellikleri nedeniyle korozyona maruz kalmakta ve kısa sürede deforme olmaktadır (Mc Cormick, 1983 ; Bak, 2003). Sistem Şekil 2.25'te gösterilmektedir.



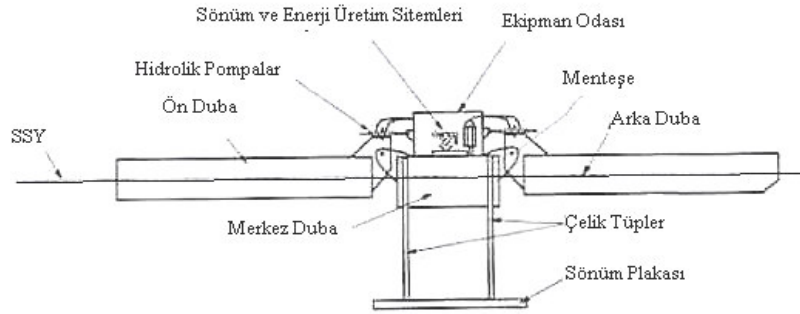
Şekil 2.25 Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi (Mc Cormick, 1983)

2.5.3 Kıydan uzak (Off-shore) uygulamalar

40 m'ten daha derin sularda yüksek dalga rejimleri için kıydan uzak dönüşüm sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde enerjinin iletimi için uzun elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler McCabe Dalga Pompası, OPT dalga enerji dönüştürücüsü, Pelamis, Archimedes Dalga Salınımı, Salter Duck, Floating Wave Power, Vessel, Mighty Whale, PS Frog, Wave Dragon, Swedish House Pump, DWP Float, Point Absorber Wave Energy Converter, SDE olarak isimlendirilebilir. Bu sistemler aşağıda kısaca değinilmektedir (Clément et al., 2002).

2.5.3.1 McCabe dalga pompası

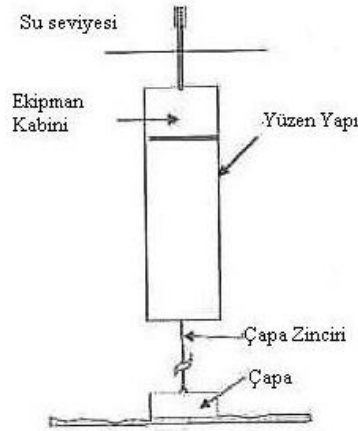
Bu sistem 1980'de teorik çalışmalar ve deneyimler sonucu Peter McCabe tarafından oluşturulmuştur. Sistem birbirine menteşe ile bağlanmış, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4m genişliğinde) dubadan oluşmaktadır. Bu sayede sistem denize göre kendini ayarlayabilme özelliğine sahiptir. Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasına monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. 40 m. uzunluğundaki bir prototip 1996 yılında Kilbaha, Country Clare ve İrlanda da kurulmuştur. Sistem şematik olarak Şekil 2.26'da gösterilmiştir (Clément et al., 2002).



Şekil 2.26 McCabe Dalga Pompası (Clément et al., 2002).

2.5.3.2 OPT dalga enerji dönüştürücüsü

Amerika Birleşik Devletlerindeki Okyanus Güç Teknolojisi (OPT) tarafından geliştirilen Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC), 2 - 5 m çaplı üstü kapalı tabanı denize açık silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Kondansatörün tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasında hidrolik bir pompa yerleştirilmiştir. Kondansatörün hareketi çelik yüzen parçayı iter, bunun sonucu olarak da hidrolik sistem yüksek basınca ulaşan yağı jeneratöre pompalar. Yapının yüzücüye göre hareketinden elektrik üretilir. Doğu Atlantik'te test edilen modelin prototipleri Avustralya ve Pasifik'te kurulmaktadır. Sistemdeki enerji dönüştürücüleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde 20-50 kW üretim kapasitesine sahip olup, sıralı dizim yöntemiyle kapasitenin artırımı amaçlanmıştır (Clément et al., 2002). Sistem Şekil 2.27'de gösterilmektedir

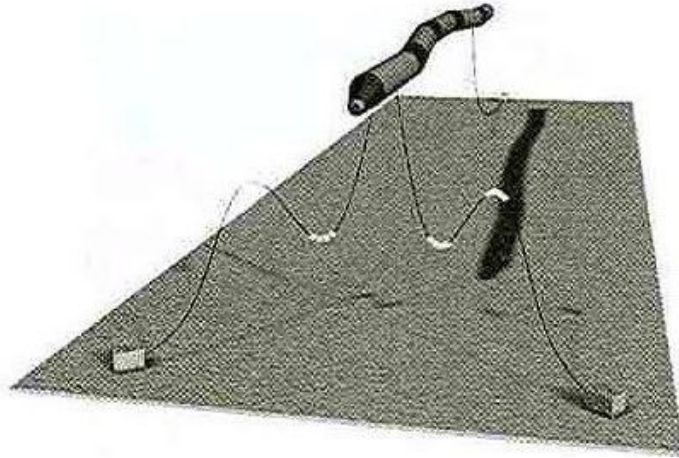


Şekil 2.27 OPT Enerji Dönüşüm Sistemi (Clément et al., 2002).

2.5.3.3 Pelamis

Sistemin şeklinden dolayı, bir deniz yılanı cinsi olan “pelamis” in ismi bu sisteme verilmiştir. Yapı kısmi olarak su içinde yer alan menteşelerle birbirine bağlantılı silindirik şamandıralardan oluşan eklemlı bir yapıdır. Sistem deniz yüzeyine yerleştirilirken yer değiştirmesini önlemek için bazı noktalarından deniz dibine sabitlenir. Uzun Pelamis gelen bir dalga karşısında su yüzeyinde kalacak şekilde hareket eder. Hidrolik silindirler içinde yer alan hidrolik yağ, silindirler içinde hareket ederken yine silindirler içinde yer alan ve hidrolik sıvının hareketiyle tahrik edilen bir pompayı harekete geçirir. Jeneratöre bağlı bu pompa jeneratörün çalışmasıyla elektrik üretimine sebep olur. Üretilen elektrik deniz dibinden kablolar vasıtasıyla karaya iletilir. “Ocean Power Delivery Ltd.” şirketinin patenti olan bu sistem açık deniz yapılarında kullanım için ideal olarak düşünülebilir. Şirket tarafından 130 m. uzunluğunda, 3,5 m. genişliğinde 375 kW gücünde silindirler kullanmak

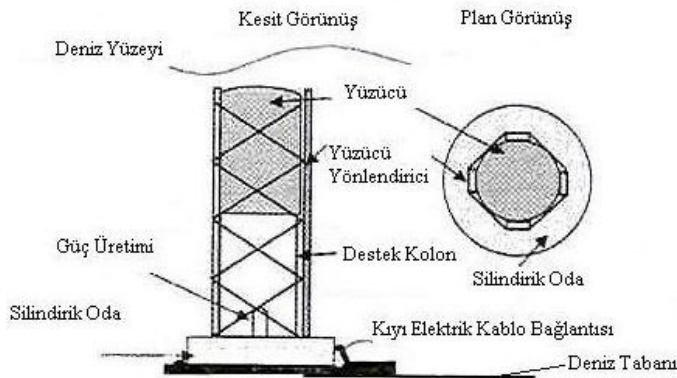
suretiyle sistemden uygun şartlarda düzenli olarak 375 kW gücünde, 0.75 Mwatt enerji elde edilmesi planlanmıştır. Ancak bu sistemin kullanılmasında deniz dibinden geçirilecek enerji nakil hatlarının tesis edilmesi ile bakım masraflarının yüksek olması bir dezavantajdır. Bu maksatla bu tür sistemlerin öncelikle deniz platformları için uygulanmaları daha mantıklı olacaktır. Sistemin 130 m. uzunluğa sahip olması nedeni ile aynı anda çok farklı dalga yüklerinin farklı yönlerde ve şiddetlerde etkimesi sonucunda bu yükler esnek bağları zorlayacak ve sistemi dibe sabitlemede kullanılan halatların ani yüklerle gerilmelerine ve yıpranmalarına neden olacaktır. Bunun için dibe bağlı halatları doğrudan sisteme bağlanmak yerine hareketli makaralara, makaralarında sistemin kendisine bağlanması uygun olacaktır. (McCormick, 1983 ; Clément et al., 2002). Sistem Şekil 2.28’de gösterilmektedir.



Şekil 2.28 Pelamis Enerji Dönüşüm Sistemi (Clément et al., 2002).

2.5.3.4 Archimedes dalga salınımı sistemi (AWS: Archimedes Wave Spring)

Bu sistem 10 – 20 m çapında silindirik, içi hava ile dolu bir yapıdan oluşmaktadır. Çalışma prensibi; sistemin üzerinden geçen dalganın, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltip veya düşürmesine bunun sonucunda da yüzücünün zemine göre yükselip alçalma hareketiyle enerji üretilmesine dayanır. Sistem Şekil 2.29’da gösterilmektedir. Sistem dalga pompası prensibine dayanmaktadır. Fakat klasik dalga pompası sisteminde ana sorunlardan olan “hantal yaylanma” bu sistemde kısmen giderilmiştir. Sistem kapalıdır. Sistemin doğal frekansının gelen dalganın frekansına eşit olduğu ve sistemin yay katsayısı ile dalganın sönüm katsayısının eşit olduğu anlar, sistemin en etkin olduğu anlardır. Bu sistemler arzu edildiğinde batırılabilen dubalar üzerine inşa edilebileceğinden bir yerden başka bir yere nakli mümkün olmaktadır (McCormick, 1983 ; Clément et al., 2002).

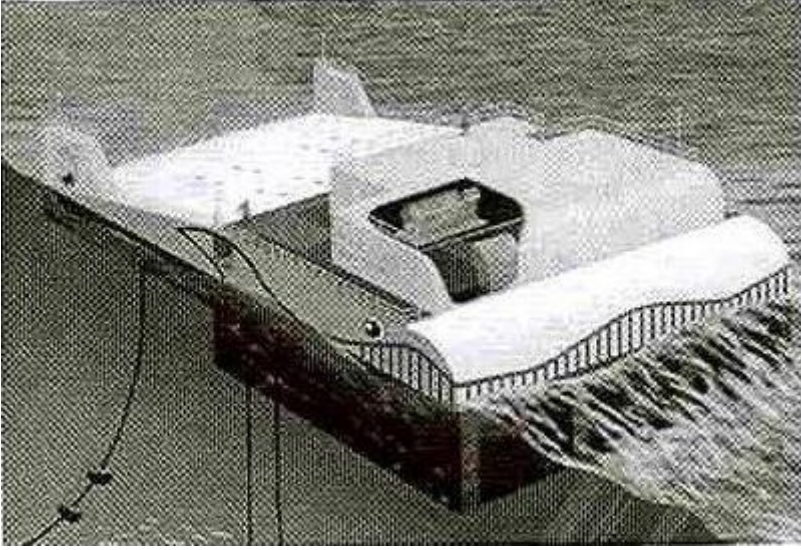


Şekil 2.29 Archimedes dalga salınım sistemi (Clément et al., 2002).

2.5.3.5 Büyük balina enerji dönüşüm sistemi (Mighty Whale)

Japan Marine Science ve Technology Center tarafından geliştirilen, hareketli su kolonundan esinlenerek tasarlanan ve aynı zamanda bir dalgakıran olarak da hizmet veren çok özel bir hibrit sistemdir. Genel görünümünden dolayı büyük bir balığı andıran sistem bu adı almaktadır. Sistem enerji dönüşüm amacının yanında koylarda kurulmuş olan balık çiftliklerini dalgalardan korumak amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 2.30’da görüldüğü üzere yüksek kısım gelen yüksek dalgaları karşılamakta ve buradan giren yüksek genlikli dalgalar hava odası içinde yükselirken bu odanın içindeki havayı sıkıştırmakta, bu sırada yukarı kısımda bulunan açıklıktan kaçan hava bir türbini döndürmekte ve jeneratöre hareket iletisini sağlamaktadır. Diğer bir yandan gerek içeride sıkışan havanın atmosfer basıncından daha yüksek olması nedeni gerekse hava odasının duvarlarına çarpması nedeniyle enerjisinin bir kısmını kaybetmektedir.

Bu sistemler gelen dalgaları yansıtılmamakta, gelen dalga enerjisinin %60’ını kullanabilmekte ve gelen dalgaların genliklerini %80 oranında azaltabilmektedir. 1998 yılından beri Nansei Town’ın 1.5 km açıklarında, 40 m derinliklerde 3 sıralı OWC’li prototip 120 kW’lık kapasitesiyle çalışmakta olup, sistemin dizaynı 50 yıllık fırtınalara dayanacak şekilde yapılmıştır (McCormick, 1983 ; Clément et al., 2002 ; Bak, 2003).

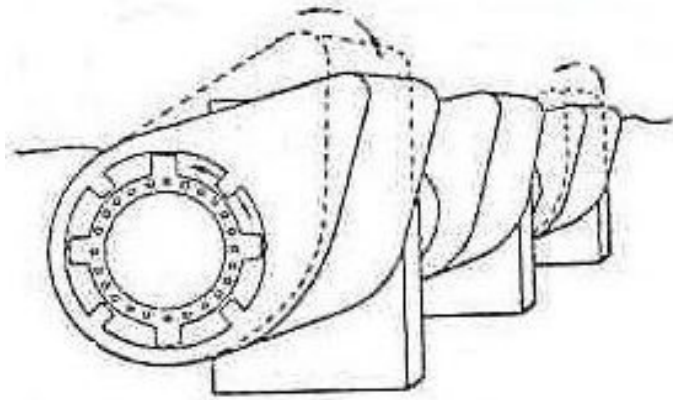


Şekil 2.30 Büyük balina (Mighty Whale) enerji dönüşüm sistemi (Clément et al., 2002).

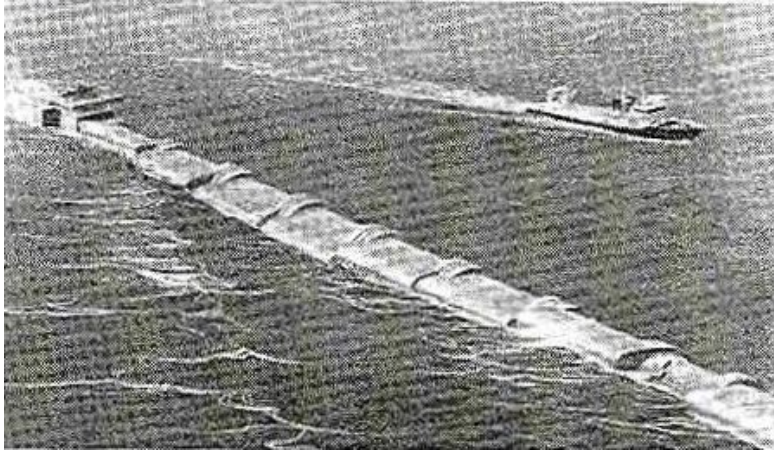
2.5.3.6 Salter's Duck enerji dönüşüm sistemi

Salter tarafından 1974 tarihinde dizayn edilmiştir. Sistemin en önemli özelliği dalganın kinetik ve potansiyel enerjilerini mekanik enerjiye %90 verimle çevirebilmesidir. Sistem enerji dönüşüm sisteminin yanında aynı zamanda dalgakıran olarak da kullanılabilir. Sistemde, dalga suyun içinde yer alan ve yumurtaya benzeyen bir forma çarparak kendi eksenini etrafında döndürür. Bu eksen üzerinden geçen bir şaft türbini harekete geçirir ve türbine bağlanan bir jeneratör ile elektrik elde edilmesi sağlanır. Aynı şafta birden fazla duck sistemi bağlanabilir. Enerjisinin bir kısmını duck'ı döndürmek için kullanan dalga eski şiddetinden önemli bir bölümünü kaybetmiş ve genliği azalmıştır. Böylece sistem jeneratöre iletilen hareket vasıtasıyla elektrik üretmiş ve aynı zamanda yüksekliği azalan dalga sebebiyle dalgakıran görevini de

yerine getirmiş olur. (McCormick, 1983 ; Clément et al., 2002 ; Bak, 2003). Sistem Şekil 2.31 ve Şekil 2.32’de gösterilmiştir.



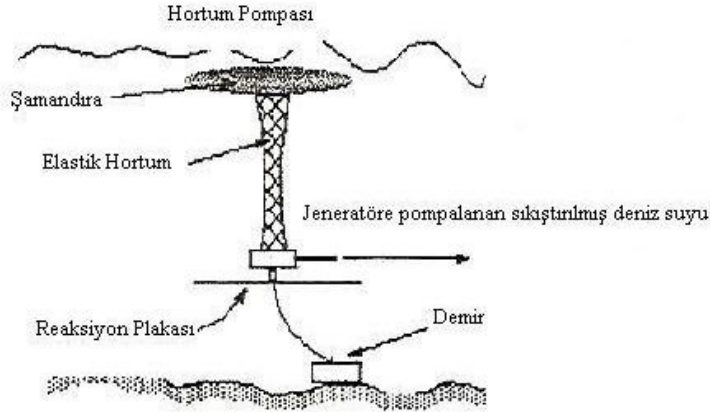
Şekil 2.31 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi çalışma prensibi (Graw, 1995).



Şekil 2.32 Salter Duck enerji dönüşüm sistemi (Graw, 1995).

2.5.3.7 Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi

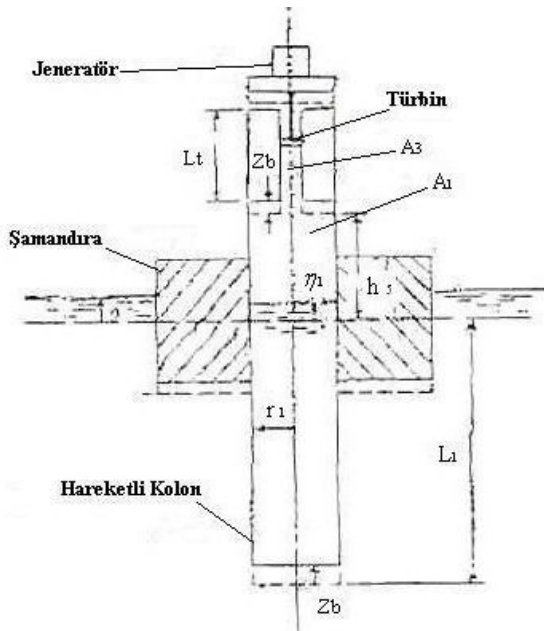
İsveç'te dalga pompası üzerine çalışmalar sonucu oluşturulan sistemlerdir. Dalga pompası esas alınmakla birlikte en önemli parça özel olarak güçlendirilen elastometrik bir hortumdur. Esnek olan bu hortumun çapı kısaldığında genişlemekte, uzadığında daralmaktadır. Sistem üç temel parça olarak incelenmekte olup, ilki reaksiyon plakası olarak adlandırılır ve dibe monte edilir. Bu parçanın üzerinde pompa görevini yapabilen hortum bulunur. Hortum pompanın dalga tepe ve çukuru arasında değişimlerde uzayıp kısılabilmesine imkan vermesi maksadıyla hortumun üzerinde bir şamandıra bulunmaktadır. Bir dalga çukuru altında kaldığında sistemde, aşağıya inen şamandıraya bağlı olan hortum kısıлып genişlemekte ve bunun sonucunda hortumun dış çeperini oluşturan metal ağ örgüsü gevşeyip hortumun içine su girişine izin vermektedir. Dalga tepesi altında kalındığında ise şamandıra yükselmekte ve hortumun boyu uzamakta ve böylece hortumun metal ağ örgüsünü gerip hortumun basma yapmasına sebep olmaktadır. Hortum içinde sıkışan su çoğunlukla reaksiyon plakası ile hortumun arasına konulan bir düzenekten sistemin dışındaki bir kollektöre basılmaktadır. “Kollektör” olarak adlandırılan bu hatta bir çok hortum pompası enerji dönüşüm sistemi bağlanmak suretiyle her birinin çıkışına birer adet tek yönlü valf konulduğunda elde edilen enerji miktarının düzenli olacağı düşünülmektedir (Bak, 2003). Sistem Şekil 2.33'te gösterilmiştir.



Şekil 2.33 Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).

2.5.3.8 Yüzen titreşimli su kolonu

Sistem etrafına bir şamandıra giydirilmiş bir kolondan meydana gelmiştir. Kolonun her iki ucu açıktır. Sistem kısmen batmış durumdadır. Suyun altında kalan bölümün içerisine su girmekte ve oluşturduğu basınç ile kolonun içindeki havayı dalga tepe yada çukuru durumlarından birine göre kolondan dışarı itmekte yada kolonun içerisine çekmektedir. Kolonun su üzerinde kalan ve havanın giriş çıkışını sağlayan bölüme bir türbin yerleştirilmesiyle giren ve çıkan hava türbini döndürmekte ve jeneratöre hareket iletmektedir. Sabitlenmemiş ve sabit olmak üzere çeşitli tipte uygulanmaktadır (McCormick, 1983 ; Bak, 2003). Sistem Şekil 2.34’te gösterilmektedir.

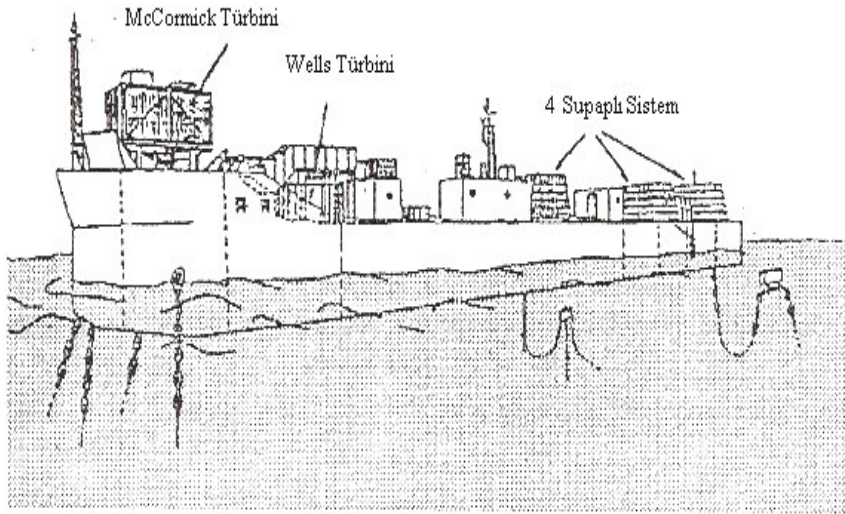


Şekil 2.34 Yüzen titreşimli su kolonu (McCormick 1983).

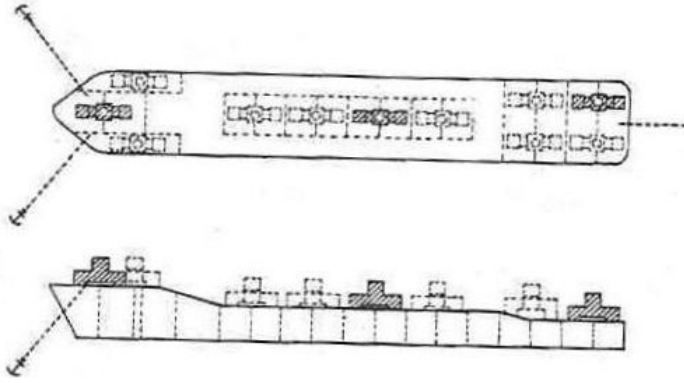
2.5.3.9 Kaimei enerji dönüşüm sistemi

Hareketli su kolonu enerji dönüşüm sistemi diğer sistemlere nazaran bir çok yönden avantajları olan bir sistem olup, hem açık denizlerde hem sığ sularda kullanılmaktadır. Kaimei Projesi Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Büyük Britanya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Japonya'nın katılımlarıyla yürütülmüş, Japon Deniz Bilimleri ve Teknoloji Merkezi (JAMSTEC) gözetiminde gerçekleştirilmiştir. Kaimei 80 m uzunluğunda, 13 m genişliğinde, 820 ton ağırlığında ve toplam 13 adet hava odasına sahip titreşimli su kolonlarının yerleştirilmesiyle oluşturulan bir geminin denenmesidir. Bu proje ile farklı jeneratörler ve farklı türbinler aynı anda test edilmiş ve bunlar arasında bir karşılaştırma olanağı bulunmuştur. Sistemde hava odaları

konvansiyonel titreşimli su kolonu sistemlerindeki kolonların görevini yapmaktadır. Sistemde bir adet Wells Türbini, bir adet McCormick Türbini (Wells türbini gibi çift yönlü çalışan bir türbin) ve bir adet 4 subaplı bir Türbin kullanılmıştır. İlk deneyler sonucunda toplam türbin kapasitesi 375 kW civarında olmuştur. İlk deneylerde kullanılan türbinlerin yerleşimleri Şekil 2.35'te gösterilmiştir. 1979-1980 yıllarında yapılan ikinci deneyde her biri 125 kW gücünde toplam 1000 kw'lık bir türbin kapasitesi ile bir adet jeneratör kullanılmış, 1985-1986 yılları arasındaki son testlerde ise 560 kW'lık bir türbin kapasitesi ile deneyler yapılmıştır. Sisteme ait şematik gösterim Şekil 2.36'dadır (McCormick, 1983 ; Graw, 1995 ; Bak, 2003).



Şekil 2.35 Kaimei (Graw, 1995)



Şekil 2.36 Kaimei (Graw, 1995).

2.6. Dalga Enerjisi Dönüşümü, İletimi ve Depolanması

Deniz dalgaları rüzgarlı deniz ve denizin kabarması gibi kurlsız ve tesadüfidir. Denizin bu zamana bağılı değışen doğasından dolayı dalga enerjisini doğrudan alternatif elektriksel akıma dönüştürmek genellikle zordur. Bu dönüşüm dalga enerjisinin ulusal elektrik ağını beslemesi gereken durumda gerekli olur. Bir ülkenin enerji ihtiyaçları, doğrudan elektrik iletiminden farklı yöntemlerle, kısmi olarak okyanus dalgalarından karşılanabilir. Bu yöntemler; doğru elektriksel akıma dönüştürme, bunu takip eden akülerde depolama ve alüminyum gibi gemi ile taşıyabilen “enerji yoğunluklu ürünlerin” meydana getirilmesini içerir. Dalga enerjisi dağınyık bir kaynak olup, bir çok bölgede dönüştürölme gerekliliğı vardır. Bu enerji doğrudan tek bir evde veya ulusal ağı bağılı olmayan deniz kıyısındaki bir yerleşim biriminde kullanılabilir. Doğru elektriksel akım bu durumlarda kabul edilebilir. Diğer yandan; karadan uzak kaynağın zamana bağılı olarak değışmediğı rüzgar kemerleri gibi yerlerde dalga enerjisinin dönüştürölmesi enerji yoğunluklu ürünlerin

üretimi için en uygun olanıdır. İlerleyen kısımlarda değişik elektromanyetik enerji dönüşüm sistemleri, iletim ve depolama yöntemleri anlatılacaktır (McCormick, 1983).

2.6.1 Temel elektromanyetik enerji dönüşüm teknikleri

2.6.1.1 Mekanik tahrikli jeneratörler

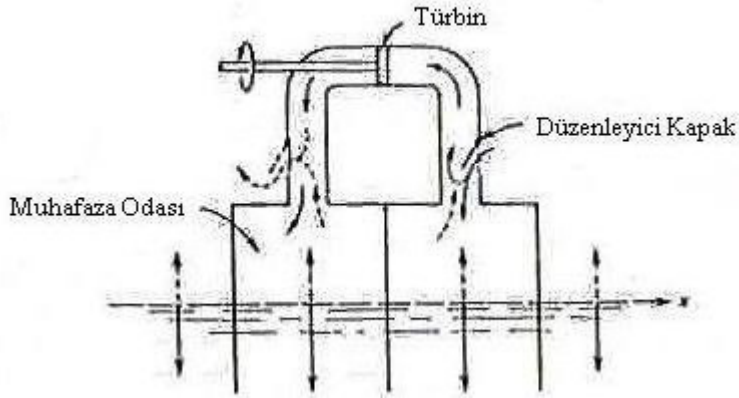
Yüzey bir şamandıra bir makara üzerinden bir elektrikli rotasyonel jeneratöre ve sonra da bir ağırlığa bir hat üzerinden bağlıdır. Ağırlık ipin gergin kalmasını sağlamaktadır. Şamandıra yükseldikçe makara saat yönünde döner, şamandıra alçaldıkça ise makaranın dönme yönü tersine döner. Mandallı bir çark mekanizması jeneratörün tek bir yönde dönmesini sağlar. Bu basit sistemin bir başka varyasyonu ise ağırlığın jeneratöre bağlı yay gergili bir makara sistemi ile değiştirilmesi sonucu elde edilen sistemdir. Bu sistemde sadece sallanan gövde bir çekme jeneratörü kullanılarak tasarlanmıştır. Dikey hareketli dalga enerjisi dönüştürücüleri için sıkça tavsiye edilen başka bir mekanik tahrikli sistem ise “dişli sistem”dir. Sistemde dikey hareketli sağ tarafında dişleri bulunan dik şafta tutturulmuş simetrik bir silindir vardır. Bu dişler sırasıyla jeneratör şaftına bağlanmış dişli çark ile birbirlerine uygundurlar. Yukarıda bahsedilen sistemlerde kullanılan rotasyonel jeneratörler doğru akım veya alternatif akım jeneratörleridir. Ancak dişli sistemlerde doğru akım jeneratörünün kullanılması daha iyi olacaktır (McCormick, 1983).

2.6.1.2 Pnömatik ve hidrolik tahrikli jeneratörler

Bu tip jeneratörler boşluklara hava veya su hapsedip bunların sıkıştırılması sonucu bulundukları ortamdan kaçmalarını sağlayan ve bu esnada bunların hareketlerinden faydalanarak enerji üreten sistemlerde kullanılan tiptedir. Bu sistemler dalga enerjisi dönüşüm tekniği rezonans kavitesi kullanırken, elektrik üretimi için hava türbinine veya su türbinine ihtiyaç duyarlar. Boşluklardan faydalanan sistemlerde iki tip hareket oluşmaktadır. Birincisi dalganın kabardığı anda kapalı hacminin içerisindeki su miktarının artması sırasında başka bir deyişle dalga tepesinde, ikincisi ise dalga tepesinin dalga çukuruna dönüştüğü anda oluşur. Bu hareketler birbirinin tersi olup, türbinin iki yönde dönmesi ihtiyacını doğurur. Ancak türbinin birkaç saniye içerisinde iki farklı yöne dönmesi türbinin çabuk yıpranmasına ve jeneratörün maksimum verime ulaşmadan durup, ters yönde çalışmaya başlaması nedeniyle arzu edilen elektriği üretememesine sebep olacaktır. Bunu çözebilmek için türbinlerin her iki hareket yönünde de jeneratöre aynı yönde bir hareket vermeleri, başka bir ifadeyle hareket yönünden bağımsız, sadece harekete bağımlı olarak çalışmaları gerekmektedir (McCormick, 1983 ; Bak, 2003).

Önceleri pnömatik (hava) kategorisinde olmak üzere çeşitli türbin yapıları tavsiye edilmiş ve denenmiştir. Daha sonra Masuda ve Miyasaki, Whittaker, Wells ve McCormick yayımlarında bunların bazılarını tanıtmışlardır. Buna göre birbirinden önemli farklarla ayrılan üç adet hava türbini tanımlanır (McCormick, 1983).

Masuda ve Miyasaki'nin türbin sistemi üç türbinin öncüsüdür. Çalışma sistemi iki tane rezonans odasına ihtiyaç duyar; bunlar birbirinden ayrı ve birbirine alternatif olarak kaynak tarafında yüksek basınç yaratan veya kaynağın ters tarafında kısmi bir vakum yaratırlar. Emme ve egzoz (giriş ve çıkış) kapakları türbin içinden geçen, tek yönde bir akış elde etmeyi sağlarlar. Teori analizi Hiramoto (1978) tarafından gerçekleştirilen bu türbin yapısı "Kaimei" deneyinde Japonlar tarafından kullanılmıştır (McCormick, 1983). Türbin Şekil 2.37'de gösterilmiştir.

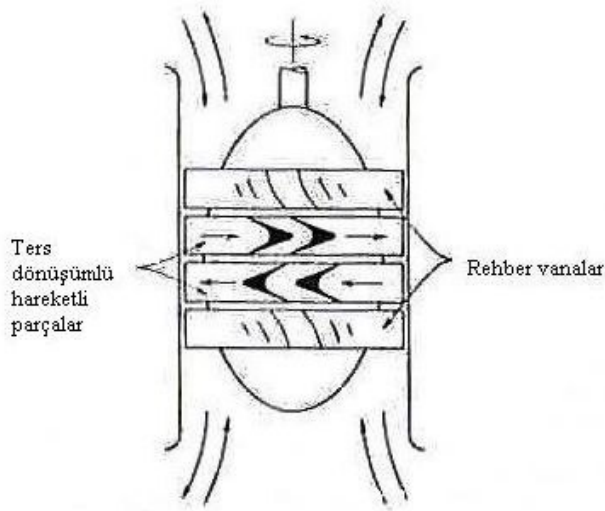


Şekil 2.37 Masuda ve Miyasaki tarafından tasarlanan pnömatrik türbin sistemi (McCormick, 1983).

"Wells türbini" olarak bilinen, kendi başına akımı doğrudan bir türbin Whittaker ve Wells (1978) tarafından ifade edilmiştir. Bu türbin yükseltmeye yaramayan (simetrik) profile sahip, bir rotara monte edilmiş pervane kanatlarından oluşur. Pervane kanatlarının profili simetrik olduğundan ve kanatların doğal tesir açısına sahip olmadıklarından, strok ve itmeyi sağlamak için bir ilk kaymaya ihtiyaç vardır. Türbinin çalışmasının aksiyal akış yönünden bağımsız olduğu açıktır, bu yüzden

kendinden redresör (doğrultucu) karaktere sahiptir. Bir önceki sistemdeki kapaklara ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden sadece bir adet rezonant odaya ihtiyaç vardır (McCormick, 1983).

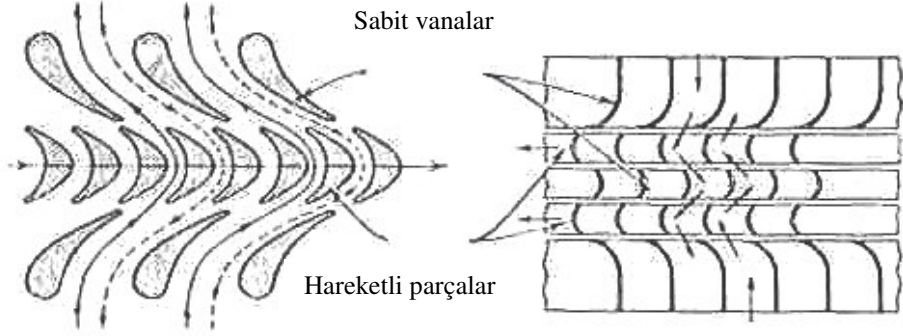
McCormick (1978) tarafından tarif edilen ve Şekil 2.38’de görülen hava türbini de kendinden doğrultucu karaktere sahiptir. Buna göre tekil rezonant odada hareketlendirilmiş hava kaynak tarafındaki rotoru; ki bu rotor primer güç rotoru olur, geçecek şekilde yönlendirilir. Bu rotor, bu sırada kaynağın uzağındaki tersine dönen sekonder güç rotoru için hareketli stator gibi davranır. Havanın akış yönü tersine döndüğünde rotorlar basitçe rollerini değiştirirler. Ters yönde dönen McCormick (1978) tarafından “Kaimei” deneyi için tasarlanmıştır (McCormick, 1983).



Şekil 2.38 McCormick’in zıt dönüşlü hava türbini (McCormick, 1983).

Diğer kendinden doğrultucu türbin sistemlerinin patentler; I.A. Babinsten tarafından ve G.D. Filipenco tarafından 1975 yılında

alınmıştır. Babinsten'in projesi Şekil 2.39'da, Filipenco'nun tasarısı Şekil 2.40'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39 Babinsten hava türbini
(McCormick, 1983).

Şekil 2.40 Filipenco hava türbini
(McCormick, 1983).

Pnömatik türbinlerin analizi hava akışının düzensiz olması nedeniyle karmaşıktır. Pnömatik tahrikli jeneratörler ile mekanik tahrikli jeneratörler karşılaştırıldığında, pnömatik cihazın sürekli işletimden dolayı üstün olduğu görülmektedir. Ayrıca elektrik üretimi için arzu edilen yüksek dönme hızları pnömatik sistemde elde edilebilmektedir (McCormick, 1983).

2.6.2 İleri elektromekanik enerji dönüşüm teknikleri

Bundan önceki kısımda bahsedilen enerji dönüşüm tekniklerinin ihtiyaç duyduğu pek çok sistem elemanı “stoktan temin edilir” cinsten olup, bu yüzden maliyet nispeten düşüktür. Aşağıda üç tip standart dışı enerji dönüşüm fikri açıklanacaktır. Bunların bir dereceye kadar

geliştirilmelerinin tamamlanmamış olmasından ve sistem elemanlarının ikliminden tam olarak tecrit edilebilmelerinden dolayı bu teknikler “ileri” olarak tanımlanmaktadır (McCormick, 1983).

2.6.2.1 Lineer (doğrusal) endüktans

Bir lineer endüktans jeneratörü basitçe bir bobinin içinde hareket eden daimi bir mıknatıstan veya bunun tam tersinden oluşur. Burada mıknatısın yer değiştirmeleri sonucu etrafındaki manyetik alanın değişime uğraması sarımlı tel tarafından bu değişimin algılanıp doğru akımda elektrik üretilmesi söz konusudur. Sarım çerçevesi, dalgalar tarafından tetiklenen ve dikey hareket yapan bir cisme göre sabitlenmiştir. Yaylar tercihen “yumuşaktır” ve bu yüzden mıknatısların hareketlerini sarım – dikey hareketli cisim sisteminin hareketlerinden tecrit eder. Elektriksel akım tel sargıda, tel sargı ve mıknatısın arasındaki izafi hareketler sonucu üretilir (McCormick, 1983).

2.6.2.2 Piezoelektrik

Latince “ basmak” anlamına gelen “piezo” kelimesinden türetilen bu kavram, basitçe üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilmektedir. Bu kristallerden bazıları kuvars, turmalin ve Rochelle tuzu olup bu kristallerden faydalanmak suretiyle yapılan tek yada daha çok katlı plakalar suyun içerisine bırakıldığında, üzerine binen dalganın oluşturacağı basınç piezoelektrik kristalleri harekete geçirecek ve elektrik üretilmesini sağlayacaktır.

Aynı şekilde bu kristallerden yapılmış bir “halı” deniz yüzeyine serilip batması engellendiğinde, yüzey hareketlerini takip eden

piezoelektrik kristaller elektrik üreteceklerdir (Bak, 2003). Daha önceki sonuçlarla kıyaslandığında piezoelektrik malzemelerin dalga enerjisi dönüşümü için yeterince uygulanabilir olmadığı sonucuna varılabilir. Önemli teknolojik ilerlemeler dahi bu doğrudan enerji dönüşüm metodu için pek fazla umut olmadığını göstermektedir. Piezoelektrik malzeme teknolojisindeki atılımların dönüşüm veriminde en fazla %1’lik bir iyileşme sağlayacağı Taylor tarafından ifade edilmiştir (McCormick, 1983).

2.6.2.3 Protonik iletim

1978 yılında R. E. Saloman tarafından bu teknik ifade edilmiştir. Bu teknik, protonik iletkenlere sahip bir elektro-kimyasal hidrojen konsantrasyon pilinden faydalanır. Moleküler hidrojen içeren iki hücre, sadece bu hücrelerdeki hidrojen konsantrasyonu birbirinden farklı olduğunda proton geçişine izin veren bir malzeme ile birbirinden ayrılmıştır. Moleküler hidrojen H_2 her biri bir tek proton ve bir tek elektron içeren iki hidrojen atomundan oluşmuştur. Protonlar iletkeni geçerlerken, elektronlar elektrotlar üzerinde kalırlar ve bu dış devrede bir elektrik akımına yol açar.

2.6.3 Enerji iletimi ve depolanması

Rüzgar enerjisi dönüşümündeki önemli bir problem alanı dönüşüm cihazından kıyıya olan enerji transferidir. Akla gelen ilk enerji iletim tekniği direkt kablo ile elektrik iletimidir. Enerji ihtiyacı için dalga enerjisi ele alındığında, dalga kaynağı derin sularda kıyı bölgelerinden çok fazla olduğu için açık denizlerdeki dalgalar göz önünde bulundurulmalıdır. Dip sürtünmesi dahil, sığlaştırma etkileri dalga

kırılma bölgesine girdiği zaman derin su dalgasının enerjisini %90'a kadar azaltır. Bundan dolayı derin su dalgalarından dönüştürülen enerji taşımak için elektrik kablosu üzerinden iletim haricindeki teknikler kullanılmaktadır (McCarmick, 1983).

2.6.3.1 Elektrik kabloları

Dalga enerjisinden dönüştürülmüş elektrik enerjisinin bir kıyı terminaline iletimi 18.6 mil'e (30 km) kadar olan mesafelerde en kolay alternatif akım kablosu ile yapılabilir. Bu mesafe dahilinde derinlik normal olarak 1500 ft (457m)'dir. Dönüşen elektrik alternatif akım olduğundan, doğrudan güç şebekesine ikmal edilebilir. 18.6 mil (30 km)'den büyük 80 mil'den (129 km) küçük mesafelerde doğru akım kablo iletimi daha uygundur. Doğru akım uzun mesafe iletimi, alternatif akım iletiminin istediği 3 kondüktöre karşılık 2 kondüktör ile daha verimli ve daha masrafsızdır. Denizaltı kablosu ile alternatif akım ve doğru akım iletimi aynı konstrüksiyon değerlerine sahiptir. Birincisi, iletim kayıpları nominal gücün %10'undan küçük olmalıdır. Bu kayıplar kondüktör ebadını büyüterek, dolayısıyla da masrafları artırarak düşürülür. İkincisi, kablolar deniz yatağına korunma maksadıyla 3 - 6 ft (0.914-1.83 m) gömülmelidir. Doğal olarak bu istek su derinleştikçe daha pahalı hale gelir. Üçüncüsü, kablo sisteminde mekanik ve elektriksel olarak en zayıf noktalar kablo bağlantıları olduğundan, bunlardan mümkün olduğunca az kullanmak gerekir. 6 mil'e (10 km) kadar uzun kablolar bulunabilir, ancak bunlar pahalıdır. Son olarak, kablodan dalga enerjisi dönüşüm platformuna olan elevatör zorlu deniz koşullarına dayanabilecek şekilde dizayn edilmelidir (McCormick, 1983).

2.6.3.2 Enerji yoğunluklu ürünler

Bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi ve kıyı arasındaki mesafe 80 mil'in (129 km) üzerinde ise kablo ile doğrudan enerji iletimi uygun değildir. Doğrudan elektrik enerjisi iletimi konusunda olduğu gibi OTEC ile ilgili enerji iletimi ve depolanmasındaki alternatif konulara büyük çaba harcanmıştır. Bu metotların içine alüminyum gibi enerji yoğunluklu ürünlerin üretimi de dahildir. Dalga kaynağı, okyanus termal kaynaklarına göre oldukça değişken olduğundan üretilen ürünün tipi için dikkat gösterilmelidir. Winer ve Konopka tarafından 1975 ve 1977 yıllarında büyük lityum pillerinin uzak mesafelerde doğru akım elektriği taşımakta kullanılmasını teklif etmişler ve Konopka ile arkadaşları 1977'de elektro-kimyasal köprü olarak bilinen enerji iletim ve depolama tekniğinin analizini gerçekleştirmiştir. Bu tür büyük batarya sisteminin gerçekleştirilmesinin Lityum pillerinin basitliklerinden ve dalga enerji dönüşümünde yüksek iletim verimlerinden dolayı büyük bir fırsat olarak görülmektedir (McCormick, 1983).

2.7. Dalga Enerjisi Ve Dönüşüm Sistemlerinin Fayda Ve Sakıncaları

2.7.1 Dalga enerjisi ve dönüşüm sistemlerinin faydaları

Dalga enerjisinin ve dalga dönüşüm sistemlerinin sosyal, ekonomik, çevresel vb. yönden bir çok avantajları aşağıda ifade edilmektedir.

a.Dalga enerjisi temiz, doğal dengeyi koruyan, solunabilir temiz havayı sağlayan ve devamlı yinelenen doğal enerji kaynağıdır.

b.Fosil yakıtlarının tükenme eğilimine girdiği günümüzde, dünyadaki enerji gereksiniminin karşılanmasında yeni arayışlara yönelme zorunluluğu dalga enerjisi teknolojisinin gelişmesine yol açacak ve gelecekte bu alanda enerji temininde büyük kazanımlar sağlanacaktır.

c.Dalga hareketinin yinelenmesi (2 - 8 s periyotlu), akarsular gibi yılda bir veya iki kez yinelenen kaynaklara göre uygulanacak enerji dönüşüm sistemleriyle daha uzun süreli enerji elde edilmesini sağlamaktadır.

d.Her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesi önemli bir avantajdır.

e.Enerji dönüşüm sistemleri denize bıraktığı fiziksel, kimyasal ve organik kirletici etkisi olmaması nedeniyle çevre dostudurlar.

f.Uygun dönüşüm sistemleri geliştirildiğinde büyük güce sahip dalgalardan kayda değer enerji elde edilebilmektedir.

g.Adalar ve platformlar gibi açık deniz yapılarının elektrik ihtiyaçlarının kıyı bölgelerinden temin edilmesi güçlükleri karşısında bu yapılara yakın olarak tesis edilecek dalga enerjisi dönüşüm sistemleri ile enerji temini sağlanabilmektedir.

h.Kıyıya yakın bölgelerde konuşlandırılan dönüşüm sistemleri daha yüksek verimle ve daha düşük maliyetle enerji üretebilmektedir.

ı.Bir çok dalga enerji dönüşüm sistemi bu çalışmada seçilen sistem gibi enerji dönüşüm sistemi görevinin haricinde dalgakıran görevi

üstlenerek dalga yüksekliklerinin azaltılmasında önemli rol oynar. Bunun sonucunda kıyı ve deniz yapılarının korunması imkanını sağlarlar.

i.Dalgakıran özelliğiyle balık çiftlikleri, su altı balıkçılığı ve dalış gibi su altı sporları için uygun ortamlar yaratırlar.

2.7.2 Dalga dönüşüm sistemlerinin sakıncaları

Gerek dalgaların ve gerekse bu dalgalardan elde edilecek enerjinin temininde aşağıda ifade edilen güçlüklerle karşılaşmaktadır.

a.Sistemlerin en verimli şekilde dizayn edilebilmeleri ve dalga potansiyelinin gerçekçi belirlenebilmesi için dalga yüksekliği ve periyotlarına ve bunların yıllık hâтта uzun dönem statistiki değerlerine ihtiyaç duyulmakta olup oldukça maliyet gerektiren çalışmalar yapılması zorunluluğu doğurur.

b.Dalga enerjisinden elektrik elde eden sistemlerin teorik çözümleri genelde çok değişkenli ve doğal şartların tam anlamıyla belirlenmemesi sebebiyle zordur.

c.Dalga enerji dönüşüm sistemleri dizayn edilirken konuşlandırılacakları yörenin rüzgar ve dalga iklimine göre en verimli şekilde dizayn edilme ihtiyacını doğurur.

d.Dalga enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılan türbin veya jeneratörler ve bağlantı elemanları açık deniz şartlarından (fırtına, büyük dalgalar) ve deniz suyunun kimyasal (korozyon, plankton vb.) etkilerinden olumsuz olarak etkilenirler. Bu maksatla seniz suyunun korozif etkilerine karşı sistemlerin kapalı bir kutu içerisinde dizayn edilerek korunmaları ihtiyacı doğar.

e. Enerji dönüşüm sisteminden elde edilen enerjinin iletilmesi için ihtiyaç duyulacak enerji nakil hatlarının ilk bakışta tesis edilmesi ve daha sonraki bakım maliyetleri yüksek olmaktadır.

f. Açık denizden karaya döşenen enerji nakil hatlarının kayıpları çok fazla olmaktadır. Açık denizde üretilen enerjinin en verimli piller olan lityum-iyon pilleri ile depolanarak karaya nakli ise lityum-iyon pillerinin ilk yatırım maliyetleri, nakil bedelleri ve sınırlı pil ömrü nedeniyle ekonomik olamamaktadır.

g. Dalgalardaki enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan dalga türbinlerinin nominal güçlerinin saptanmasında, mevcut ortalama dalga güç potansiyeli birinci derecede rol oynamaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde, mevcut ortalama dalga gücünden daha büyük nominal güce sahip dalga türbinlerinin kullanılması, türbin gücünün büyük bir kısmının atıl kalması sonucunu doğurmaktadır. Bunun sonucunda da birim dalga elektriğinin maliyeti artmaktadır (Örer vd., 2003).

h. Bu sistemler hidrodinamik çevre üzerinde etkileri olacağından yer seçiminde dikkatli olunması gündeme gelmektedir.

i. Kıyı şeridi ve kıyıya yakın bölgelerde sistemlerde kullanılan Wells türbinlerinden kaynaklanan gürültü kirliliği gündeme gelebilir, bu yüzden yapıların ses geçirmez özellikte tesis edilmesi ihtiyacı doğar.

j. Deniz trafiğinde tehlike yaratabileceklerinden, uygun, görsel ve radar uyarı sistemleri konulması ihtiyacı doğar.

k. Kıyı ve yakın kıyı bölgelerinde estetik açıdan olumsuzluk oluşturabilir.

3. BATIK PLAKALI DALGA ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ

3.1. Dalgakıranlar

Kıyı ve kıyı yapılarının olumsuz deniz koşullarından etkilenmemesi, istenilen bir kıyı kesiminde dalga etkinliğinin azaltılması amacıyla gelen dalga enerjisini imkanlar dahilinde sönümleyen ve yansıtan, bunun sonucunda da geçen dalga enerjisini ve yüksekliğini indirgeyen mühendislik yapılarına dalgakıran ismi verilir. Dalgakıranlar %95'i taş, yapma beton blok, beton blok ve taş karışımı, çelik ve ahşaptan yapılmış sabit, yüzer ve basınçlı havalı tipler olarak inşa edilirler. Dalgakıran tipleri genel olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Dalgakıranlar kullanılan malzemelere göre aşağıda ifade edilen şekilde sınıflandırılabilirler (Meral, 1976 ; Akyarlı, 1980):

- a. Taş veya beton plakla, diğer beton elemanlarla veya taş ile beton blok karışık olarak tasarlananlar,
- b. Beton blokla yapılan ağırlık duvarları,
- c. Beton, betonarme veya çelik kesonlarla yapılanlar,
- d. Hücreli palplanşlarla içi taş dolu olarak yapılanlar,
- e. Anroşmanlı ahşap olarak yapılanlar,
- f. Betonarme veya çelik palplanşlı duvarlar,
- g. Basınçlı havalı (pünomatik), hidrolik veya yüzer dalgakıranlar

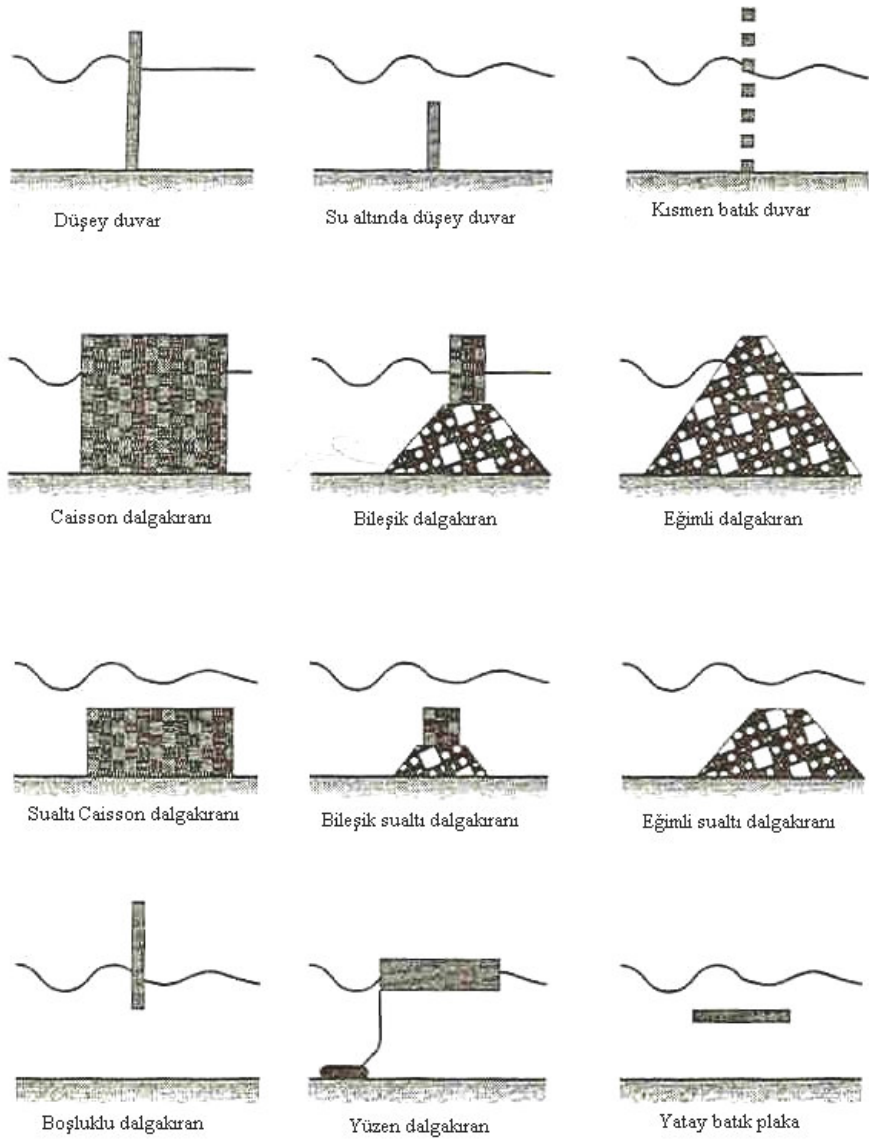
Dalgakıranlar; yapım biçimlerine göre düşey yüzlü, şevli yüzlü, basınçlı havalı ve hidrolik, yüzer tipler olarak da sınıflandırılmakta olup,

çeşitli cinsten malzemelerin kullanılmasıyla ve tüm derinlik boyunca inşa edilen düşey ve şevli yüzölçümlü dalgakıranlar, geçmişten günümüze kadar geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Bununla beraber günümüz teknolojisi derinliğin çok fazla olduğu kesimlerde de (açık deniz platformları, su kesimi derin rıhtımlar, vb.,) tesisler geliştirmeye yöneldiğinden, bu kesimlerde düşey ve şevli yüzölçümlü dalgakıranların yapılması güç, çok masraflı ve bazı durumlarda olanaksız olmaktadır. Bu amaçla farklı tipte dalgakıran tipleri önem kazanmaktadır. Bu dalgakıranlardan bir çeşidi de batık plak dalgakıranlardır (Meral, 1976 ; Akyarlı, 1980).

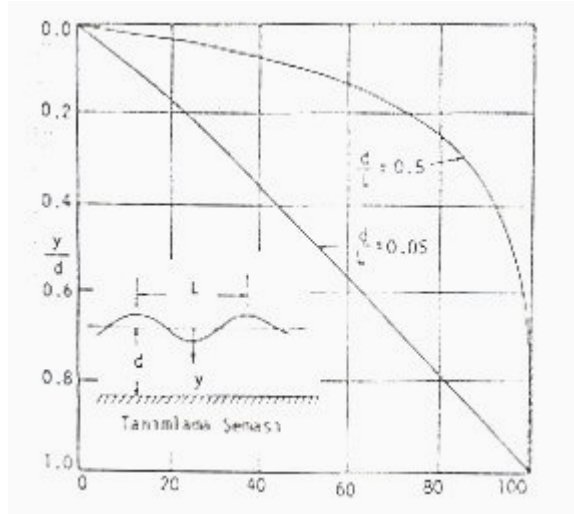
Bu çalışmada; dalgakıran tipleri içerisinde yer alan, batık yatay plak dalgakıranlardan enerji dönüşüm sistemi olarak yararlanılması araştırılmaktadır.

3.2. Batık Plakalı Dalgakıranlar

Bir bölgedeki dalga etkinliğinin indirgenebilmesi için gelen dalga enerjisinin yansıtılarak geri çevrilmesi ve/veya bir başka şekle dönüşerek sönmölenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlevi yerine getiren sistemlerden dalgakıran veya dalga enerji dönüşüm sistemi olarak yararlanılabilir. Bir diğer yandan ilerleyen bir dalga için enerjinin derinlikle değişimi küçük genlikli dalgalar varsayımına dayanarak incelendiğinde, yüzeyde enerjinin yoğunlaştığı görülür ki, derin su koşullarında, toplam kinetik enerjinin %73'ü derinliğin %20'si kalınlığındaki yüzey tabakasında bulunmaktadır (Ippen,1966; Akyarlı'dan, 1980). y/d düzeyi üzerinde yoğunlaşmış kinetik enerji Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Dalgakıran tipleri (Graw, 1995).



Şekil 3.2 y/d düzeyi üzerinde yoğunlaşmış kinetik enerji (Akyarlı, 1980).

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılabacağı üzere, batık plak dalgakıranlar dalga enerjisini indirgeme ve sönümleme açısından elverişlidirler.

Bir diğer yandan, dalga enerjisinin bir başka enerjiye dönüşümünü sağlayan dört tür oluşum bulunmakta olup, aşağıda ifade edilmişlerdir (HRS, 1969 ; Bowley, 1974 ; Akyarlı'dan, 1980):

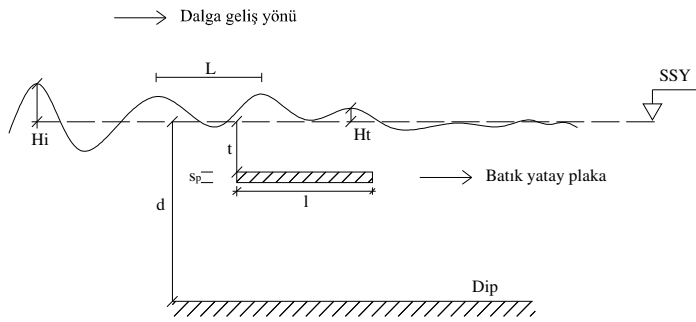
- Viskozite,
- Dalga kırılmaları,
- Yörüngesel dalga hareketlerini türbülanslı akıma dönüştürmek,
- Sönümleyici fazlardaki dalgaların süperpozisyonu

Akım kesidini kapatma oranı küçük olan rijit ve rijit olmayan yatay platform türleri ve bu çalışmada esas alınan batık plaklarda, yörüngesel

dalga hareketlerini türbülanslı akıma dönüştürerek sönümleme önemlidir (Akyarlı, 1980).

3.3. Temel Kavramlar

Batık plak dalgakıranlar basit olarak Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Batık plak dalgakıran.

Burada; l: plaka boyu, t: batma derinliği, s_p : levha kalınlığı ve L: dalga boyu olmak üzere plaka parametreleridir. Gelen dalga yüksekliği: H_i , geçen dalga yüksekliği: H_t olmak üzere; geçen dalganın, gelen dalgaya oranına geçiş katsayısı adı verilir ve K_t ile ifade edilir.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (3.1)$$

Ayrıca parametre oranları;

$\frac{L}{l}$: Rölatif dalga boyu,

$\frac{H}{L}$: Dalga dikliği,

$\frac{H}{t}$: Derinlik açısından rölatif dalga yüksekliği,

$\frac{H}{l}$: Levha uzunluğu açısından rölatif dalga yüksekliği,

$\frac{t}{l}$: Plaka uzunluğu açısından rölatif batma derinliği,

$\frac{t}{d}$: Su derinliği açısından rölatif batma derinliği,

olarak ifade edilmektedir. Plaka altında oluşan atılımli akımın hidrodinamik şartlarının belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümler; dalga boyu, periyodu, levha boyu, levha batma derinliği, dalga yüksekliği, su derinliği parametrelerinin varsayımı ile araştırılmaktadır.

3.4. Plaka Çevresindeki Akımın Açıklanması

Dalgalar altına yerleştirilmiş yatay plaka çevresinde bir akıntı 1968 yılında Dick tarafından ifade edilmiş olmakla birlikte, bu konu ile ilgili olarak hiçbir açıklama verilmemiştir. Yapılan bazı deneyler, dalga yüksekliğindeki azalmanın plaka altındaki yönlenmiş bir akıntı ile ilişkilendiğini göstermiştir. Plakanın bir dalga filtresi olmasının fiziksel ilkesi aşağıda ifade edildiği şekildedir (Graw, 1994):

a. Yatay plakaya ulaşmak yönünde yayılan bir su dalgası iki parçaya bölünmektedir; plaka üzerinde bir yerçekimi dalgası ve altında yayılan bir basınç distorsiyonu. Plakanın üzerindeki enerji akımı,

plakanın üzerindeki yüksekliği azalmış dalganın ağırlığı ile oluşur. Plakanın altındaki akıntı hızı ise daha dūřuktur.

b. Plaka üzerinden aşmakta olan yerçekimi dalgası, plaka arkasındaki bölgeye varır varmaz, ilk dalgayla aynı boyda ama daha az enerjiye sahip ve plakadan uzaklaşan bir dalga oluşmaktadır.

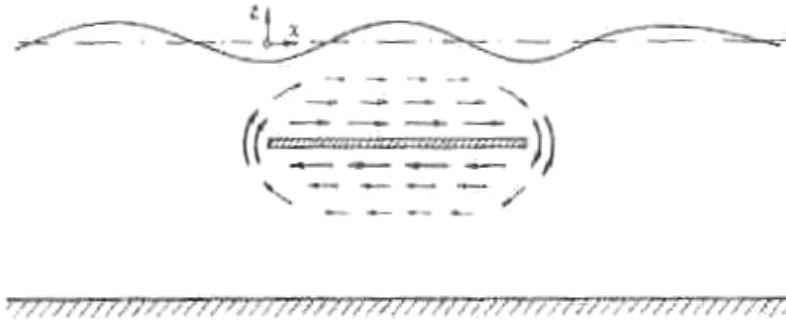
c. Ayrıca, plaka üzerinden geçmekte olan dalganın enerjisinin bir kısmı geriye doğru ve plakanın altına doğru yayılmaktadır. Plaka boyuna ve orijinal enerji salınımının derinliğine dağılmasına bağlı olarak dalga yayılımının tersi yönde güçlü bir titreşimli/atılımlı akıntı oluşmaktadır.

d. Bu akıntı sayesinde geriye aktarılan enerji müteakip/izleyen dalgaların plaka altındaki bölgeye girmesiyle oluşan basınç bükülmesini olanaksız hale getirmekte ve böylece akıntı güçlenerek büyümektedir. Enerjinin bu yapı etrafından yansıtılmasının fiziksel sebebi bu akıntıdır. Akıntı plaka altındaki ön ve arka kısmın enerji dengesine bağlı olduğundan, plaka bir dalga filtresi görevi görmektedir. Bu performansın tariflenebilmesi için ana parametreler; dalga boyunun (L), plaka boyu (l)'e oranı ve plakanın bağlı derinliğidir (Graw, 1994).

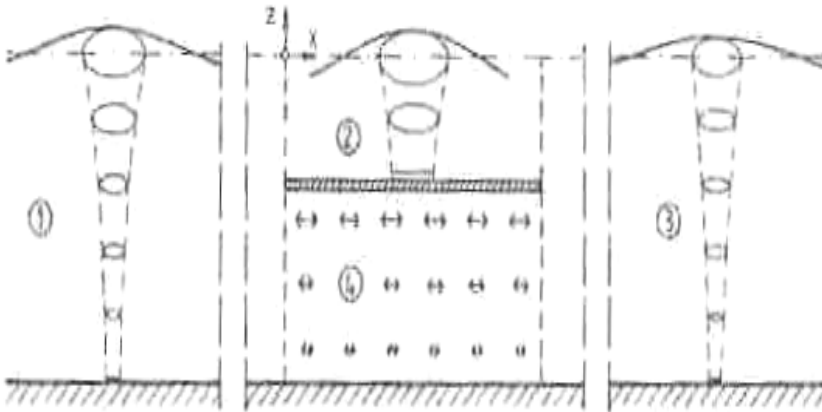
Çevre akımının yön eşitliği üzerine bir şey söylenemez. Yani, teori, levhanın arkasında sadece yüksek mertebeli dalgaların olmaması durumunu açıklayabilir. Hoeborn 1986 yılında yapmış olduğu çalışmasında, atılımlı akımın etkisini ifade etmiştir. Buna göre; plaka çevresindeki akımın açıklama modeli için şart, plakanın üzerinde ve önündeki parçacıklarının farklı orbital harekette olmasıdır. Onun modelinde, plaka üzerindeki su parçacıklarının eliptik yörüngesi yatayda genişler ve parçacıklar, plaka önündeki karşılaştırılan parçacığa göre

yarım dalga periyodu esnasında daha büyük yatay uzaklığa gider. Bu şekilde parçacıklar arasındaki hacim farkı, levha altındaki bölgede periyodik akım şeklinde karşılanır ve bir akım oluşur (Graw, 1994).

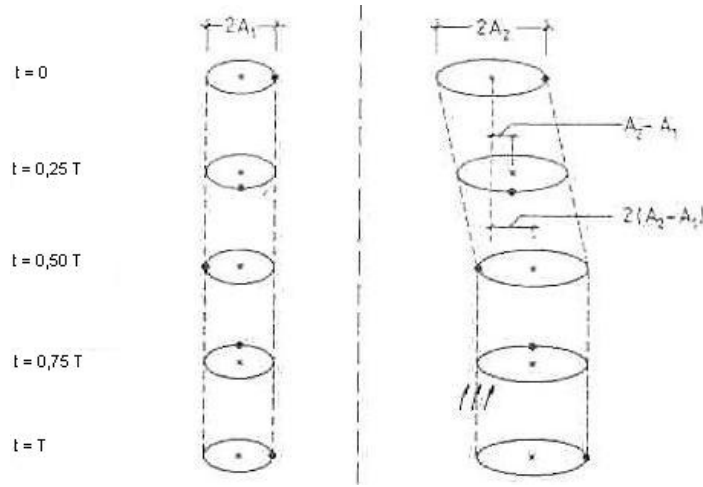
3.4.1 Atılımlı akımın açıklanması



Şekil 3.4 Plaka çevresindeki akım (Hoeborn, 1986).



Şekil 3.5 Atılımlı akımın açıklanması (Hoeborn, 1986).



Şekil 3.6 Su parçacıklarının orbital hareketleri (Hoeborn, 1986).

Yatay katı batmış bir plakadaki önemli olaylardan birisi, Şekil 3.4'te gösterilen atılımlı şeklindeki, plaka çevresindeki akımdır. Bu etki, lineer dalga teorisi ile Şekil 3.5 yardımıyla aşağıdaki şekilde açıklanabilir. 1 bölgesinde ilerleyen bir dalga (dalga yüksekliği H_1 , L_1 , T) oluşturulsun. Bu dalga lineer dalga teorisine göre kesin olarak bir orbital harekette bağlanır. Plakanın üstünde (2 bölgesinde) H_2 yüksekliği ile ilerleyen bir dalga oluşur. L_2 (dalga boyu) ile hareket eden bu dalgaya ait bir orbital hareket vardır. 1 ve 2 bölgesindeki orbital hareketler Denklem (2.38)'den

$$\frac{\xi^2}{A^2} + \frac{\zeta^2}{B^2} = 1$$

bağıntısındaki elips denklemiyle anlatılabilir. Parçacıklar, T zamanında kapalı bir orbital yörünge (elips) izler. Parçacıklar, bu zamanda, yatay ve

düşey (orta durumlarına göre) yer değiştirmeler yaparlar. Maksimum yer değiştirmeler A ve B ile verilir. Denklem 2.39 ve 2.40'tan

$$A = a \frac{\cosh k(z + d)}{\sinh kd}$$

$$B = a \frac{\sinh k(z + d)}{\sinh kd}$$

olup, bu denklemlerden açık olarak görülür ki, A ve B, dalga boyu L'ye, su derinliği, D'ye ve yükseklik ordinatı z'ye bağlıdır. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi A ve B artan derinlikle düşerler. Bu şekilde ek olarak sığ sudaki yatay maksimum yer değiştirmedeki azalmanın derin suya göre daha küçük olduğu da verilmiştir. 1. bölgeden gelen dalga, sıçramalı şekilde 2. bölgedeki sığ suya geçer. Buna göre A denkleminde sıçramalı büyük maksimal yatay yer değiştirmeler oluşur.

Başka bir düşünce modelinde, plakanın hemen üstündeki 2 parçacığın hareket yörüngelerini irdeleyelim ki, bunlar, 2 bölgenin ayrılma çizgisinin dibinde olsunlar. 1 parçası plakanın hemen önünde, 2 parçası levhanın hemen üstünde olsun. 1. parça 1. bölgeye ait orbital hareketi yapsın. Onun hemen komşusundaki 2 parçacığı da, 2 bölgesinin orbital hareketini yapsın. 2 bölgesindeki yatay yer değiştirme 1'e göre önemli ölçüde daha büyüktür. Şimdi bu orbital hareketler, her 2 parçacık için T periyodunda incelensin. 1 parçacığı dalganın boyutlarıyla, su derinliğiyle ve derinlik ordinatıyla büyük A₁'li elips formunda orbital hareket yapar. Bu orbital hareket, stabildir. Çünkü, bu, gelen dalgaya uyar. 1 parçacığının orbital hareketinin dalga periyodu T zamanındaki gidişatı, Şekil 3.6'da gösterilmektedir. 2 parçacığı 2 bölgesi tarafından

belirlenmiş daha büyük yatay A_2 ile ifade edilir. $t = 0$ anında her iki parçacıkta yörüngelerinin en sağında $t = 0$ 'dan $t = 0.5T$ 'ye kadar aynı zamanda geçer. Bu düşünce modelinde parçacıklar sonsuz komşu olacaklarından, parçacık 1'in durumu gelen dalga ile verildiği için, bu zaman içerisinde 2 parçacığının orbital yörüngesinin orta noktası $2(A_2 - A_1)$ kadar dalga ilerleme yönünde yer değiştirir. $t = 0.5T$ 'den $t = T$ 'ye kadar orbital hareketin 2. zaman diliminde parçacıklar sağ tarafa geçerler. Parçacık 2, parçacık 1'den uzaklaşır. Çünkü daha büyük yol gider. Plakanın üzerinde gerçekten bir stabil dalga oluşmaktadır. Bunun anlamı da, süreklilik nedeniyle 1 ve 2 parçacıklar arasındaki hacim doldurulmalıdır. Bu nedenle, orbital hareketinin 2. yarısı süresince 4 bölgesinden, su, plakanın ön kenarından 2. bölgeye akar. Suyun bu sonraki akımı, sadece 2 orbital hareketin 2. yarısında olduğu için, atılımlı akım şeklinde bir akım meydana gelir. 1 ve 2'nin (direk komşu parçacıklar olan) arasında orbital hareketlerin ait oldukları bölgeleri değiştirdikleri kabulü, sadece düşünce modelidir.

Doğada, bu 2 bölge arasında bir geçiş bölgesi olur. Anlatılan düşünce modeline göre 2 parçacığın $2(A_2 - A_1)$ kadar yer değiştirmesinden (T periyodu içinde) ortalama akım hızı

$$U_s = \frac{2(A_2 - A_1)}{T} \quad (3.2)$$

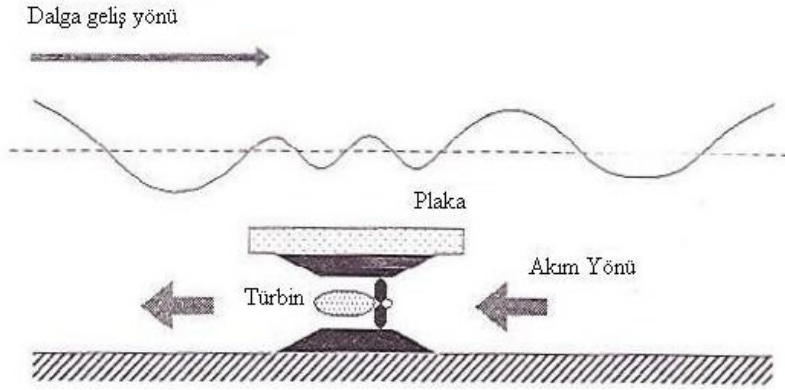
olur. $(A_2 - A_1)/A_2$ oranı oluşturulursa T periyodu içinde 2. bölgedeki orbital yörüngelerinin rölatif yer değiştirmesi elde edilir. Akım plakanın çevresinde yoğunlaşır ve su serbest yüzeyine doğru azalır. Plakanın üzerindeki bölge orbital hareketin 2. kısmında 4 bölgesinden gelen su ile

dolarken, dalga yüzeyi bölgesi bu direkt akımdan pek etkilenmez, öyle ki 2 bölgesindeki parçacık süreklilik nedeniyle 1 bölgesindeki komşu parçacıktan çok az uzaklaşabilir ve bu nedenle daha az akım meydana gelir. Son olarak, atılımlı akımın açıklanması üzerine orbital yörüngelerin sadece yatay bileşenlerine gereksinim duyulduğu anlarda, lineer dalga teorisi temelinde geometrik uyumsuzlukların ortaya çıktığı belirtilmelidir. Çünkü, düşey doğrultuda teorik olarak ortaya çıkan uyumsuzluklar, serbest su yüzeyi tarafından rahatlıkla karşılanabilir.

3.5. Batık Plakalı Dalgakıranların Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Olarak Kullanılması

Dalga yüksekliğini azaltmak için yatay olarak suyun içerisine yerleştirilen rijit bir plaka, konvansiyonel dalgakıranlara göre bir çok avantaja sahiptir. Plakalı dalgakıranlar, tüm frekanslardaki dalgaları optimal olarak sönmümezler, fakat bunun zorunlu olmadığı yerlerde, plaka ekonomik bir çözümdür. Konvansiyonel dalgakıranlarda, enerjinin büyük bir kısmı cismin yüzeyindeki sürtünmeyle kaybolur. Bu nedenle de, dalgakıran büyük yüklere maruz kalır. Plakada ise, en uygun durumda plakanın etrafındaki akışkanda enerji dağılımı meydana gelir. Bu enerji azalması levha köşelerinde oluşan çevrintiyle olur. Gelen dalgaların enerjilerinin bir kısmı bu girdapta yansır. Dalgakıranlar, dalgada bulunan enerjiyi yutarlar ve yansıtırlar. Bunun yanında yapı tarafından dönüştürülen enerjinin kullanılması istenen bir şeydir. Böylece, dalga sönmü daha iyi olacaktır. Yapılan bir çok çalışmada plaka altında gelen dalga yönünün tersi yönde güçlü bir akıntının olduğu gözlemlenmiştir. Bu akıntının, ilk dalga enerjisinin büyük bölümünü içerdiği düşünülürse,

bu ilke üzerine bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi geliştirmek mümkün olacaktır. Plaka altında oluşan bu atımlı akım, bir türbini tahrik etmede kullanılabilir (Graw, 1994). Dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak batık plakalı dalgakıran Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak batık plakalı dalgakıran (Graw, 1995).

Bu sistemin optimizasyonundaki amaç, dalga sönümünün gerçekleşmesi ve atımlı akımın hızlanmasıdır. Bu da $Q=V.A$ süreklilik denklemi uyarınca levha altındaki enine kesitin küçülmesi ile olur. Teorik olarak çok küçük kesitlerde sonsuz hızlar elde edilir. Fakat sürtünme gibi nedenlerle akım hızının bir sınırı vardır. Başka bir ifadeyle plakanın batma derinliği, mümkün olan en küçük levha boyunda, en büyük hasar oluşturma potansiyeline sahip dalgaların sönümü en fazla sağlayacak şekilde seçilmelidir. Plakalı dalgakıranın altındaki akım, büyük oranda gelen dalga enerjisinden oluştuğu için, bu prensibe dayanan bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi yapmak mümkündür. Bu şekilde bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi kurmak için plaka altındaki bölge ile deniz dibi arasındaki kesiti kapatmak ve bu kesitteki hızın

artmasına sebep olacaktır. Ancak böyle bir sistem gerçekleştirilirken aşağıda belirlenen unsurların tamamıyla incelenip araştırılması, sistemden maksimum düzeyde faydalanılmasını sağlayacaktır (Graw, 1995):

- a. Plakalı dalga enerjisi dönüşüm sisteminin verimi,
- b. Yapının boyutları,
- c. Plaka altındaki enine kesitin azaltılma kriterleri,
- d. Böyle bir sistemin kıyıya olan etkisi,
- e. Yapının çevresindeki akımın, yapının tabanına/temeline etkisi,
- f. Dalgaların yapıya etkisi,
- g. Model seçimi ve prototip tasarımı,
- h. Yapı çevre etkileşimi,
- i. Plaka-türbin sisteminin hidrodinamik şartlarda optimum dizaynı.

3.6. Sistemin Verimi

Sistem verimi, levha ile yapı arasından geçen akışkandaki gücün, dalga gücüne oranıdır ve;

$$\eta_s = \frac{P_{a\check{c}ı\kappa lı\kappa}}{P_{dalga}} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $P_{akım}$ ve P_{dalga} sırasıyla

$$P_{akım} = \frac{1}{2} \rho h_{a\check{c}ı\kappa lı\kappa} b_{a\check{c}ı\kappa lı\kappa} V_x^3 \quad (3.4)$$

$$P_{dalga} = \frac{1}{16} \rho g H_i^2 \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right] \frac{L}{T} b_{açıklık} \quad (3.5)$$

şeklinde olup; aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\eta_s = \frac{\frac{1}{2} \rho h_{açıklık} b_{açıklık} V_x^3}{\frac{1}{16} \rho g H_i^2 \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right] \frac{L}{T} b_{açıklık}}$$

bağıntısıyla elde edilir. Burada;

η_s = Verim,

L = Dalga boyu,

$h_{açıklık}$ = Plaka ile levha arasındaki açıklık,

$b_{açıklık}$ = Plaka altındaki levhanın genişliğidir.

3.7. Batık Plakalı Dalga Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Avantajları

Bu çalışmada incelenen bahse konu sistemin bilinen diğer dalga enerjisi dönüşüm sistemlerine göre, aşağıda ifade edilen önemli avantajlara sahip olduğu görülür (Graw, 1994 ; 1995).

a. Tüm su derinliği boyunca devam etmezler ve deniz tabanına oturmazlar. Deniz tabanına oturmadıkları için oyulma ve yığılmaların yol

açabileceği temel sorunları yaratmazlar ve zemine iştiraklendikleri kısımlar dışında zemin özelliklerinden etkilenmezler.

b. Akış kesitini tam olarak kapatmadıklarından, akıntıları, sürüntü maddesi hareketini, balık geçişlerini, su kalitesinin korunumunu sağlayan su donanımlarını engellemezler. Açık deniz ve korunan alan arasında ekolojik olarak arzulanan bir su değişimini mümkün kılar.

c. Kazıklarla taşınan bir beton blok yapı yerine, kazıklarla desteklenen batık plakalı bir dalgakıran tasarımı su altında kalması nedeniyle kıyıda görülmemekte ve çevreye olumsuz etkileri azaltılmış olmaktadır.

d. Sistem tamamen batmış olduğu için, büyük ve kırılan dalgaların etkisi, enerjisi yüzeyde veya yüzeye yakın sistemlerde meydana gelen ve bu sistemlerin üzerinde sürtünmeyle kaybolan enerji konumuna sahip olmazlar ve bu durumda sistem büyük yüklere maruz kalmaz.

e. Sistem batmış olduğundan, sisteme ait elemanların su-hava teması sonucu su değişim bölgesinde oluşacak önemli korozyon problemlerinden etkilenmesi azalmış olmaktadır.

f. Su altına yerleştirilmeleri nedeniyle, küçük deniz taşıtları için tehlike oluşturmazlar.

g. Sistem dalga yüksekliğini indirgeyen bir su altı dalgakıranı ve aynı zamanda dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak işlev görecektir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Genel Bakış

Tez kapsamında, dalgalar altına yatay olarak yerleştirilmiş batmış plaka altındaki akış hızlarının artırılmasına yönelik olarak deneysel çalışmalar yapılmış ve bu deneylerde değişik varyasyonlar denenmiştir. Bu çalışmalarda dalga yüksekliği azalımını ve titreşimli/atılımlı akımın yoğunluğunu plaka kesitinin kısmi azaltılması ile (optimize etmek) en elverişli hale getirmek için yapılan deneyler, $Q=V.A$ bağıntısı üzerine temellendirilmiştir. Kuramsal olarak çok küçük bir kesitle sonsuz yükseklikte hızları yakalamak mümkün olmakla birlikte, sürtünme kayıpları gibi hızı düşüren olası etmenler vardır. Deneylerde, plaka altındaki açıklığın engellenmesi; dairesel bir delikle engelleme, bir duvar ile engelleme ve duba şeklinde dizayn edilen konstrüksiyonlarla sağlanmıştır (Klietsch, 2000). Daha önce yapılan bu çalışmalarda amaç plaka altındaki suyun geçeceği alanın değiştirilerek değişik açıklıklardaki hız değerlerinin ölçülmesidir. Burada plaka altında suyun geçeceği kesitin alanının, levha altındaki alanına oranı açıklık oranı olarak ifade edilmektedir.

Bu deneysel çalışma kapsamında batmış plaka altındaki kesit alanı; üçgen bir konstrüksiyon olarak beş ayrı açıklık oluşturacak şekilde dizayn edilen beş adet üçgen levhanın orta noktalarında hız ölçümleri yapılmış ve iki değişik yükseklikte plaka altında dikdörtgen bir konstrüksiyonla aynı şekilde hız ölçümleri yapılarak bu engellemelerin dalga indirgenmesine etkileri de araştırılmıştır. Burada amaç plaka

altındaki engellemeyi sağlayacak olan yapı konfigürasyonlarının hız ve dalga indirgemesini incelemektir.

4.2. Deney Düzeneği

Deneyisel çalışmalar Ulaştırma Bakanlığı; Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı bünyesinde yer alan, Liman Hidrolik Araştırma Merkezi, Macunköy, Ankara’da Haziran 2005 ayı başında başlamak üzere bir ay süre ile gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği; dalga kanalı, dalga makinası (jeneratörü), plaka, plaka altına yerleştirilen üçgen ve dik engelleme levhaları, dalga ölçer ve hız ölçerlerden oluşmakta ve çalışmalar bilgi işleminin gerçekleştiği gözlem odasından yönlendirilmektedir. Deney düzeneğine ait şematik gösterim Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

4.2.1 Dalga kanalı

Çelik profil ve çelik sac’dan oluşan dalga kanalı 40 m uzunluğunda, 1.20 m yüksekliğinde ve 0.60 m genişliğinde olup, dalga kanalında maksimum 40 cm yüksekliğinde dalgalar oluşturulmaktadır. Deney süresince 60 cm su derinliğinde, $T = 1.16 - 2.05$ s periyot aralıklarında ve $H = 2-10$ cm yüksekliğinde dalgalar dalga jeneratörü tarafından oluşturulmuştur. Dalga kanalında deney düzeneğinin gözlemlenebilmesi için gözlem odasına bakan kısmı camdan oluşturulmuştur. Dalga kanalının bir ucunda dalga makinası diğer ucunda ise gelen dalgaların yansımaları önlemek amacıyla ölçekli olarak modellenmiş ve 1/3 eğimle taşlardan oluşturulmuş şev bulunmaktadır.

Dalga kanalı şekil 4.2 de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Dalga Kanalı.

4.2.2 Dalga makinası (Jeneratörü)

Piston tip olarak dizayn edilen dalga makinası sinüs formulu düzenli ve düzensiz dalgaların oluşturulmasında kullanılır. Dalga makinası dalga kanalında bir uçta dizayn edilmiştir. İleri geri piston hareketi ile maksimum $H=40$ cm yüksekliğinde ve $T=0.5\sim 4.0$ s periyotlu dalgalar oluşturulur. Deney düzeneği dalga makinasından 24 m mesafede dizayn edilmiştir. Dalga kanalına bağlanmış kontrol sistemi ve uygun programa sahip bir bilgisayar ile dalga periyodu, yüksekliği verilerek çeşitli dalga varyasyonları elde edilmektedir. Dalga makinası Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Dalgı Makinası

4.2.3 Plaka, üçgen ve dik engelleme levhaları

Deneyde kullanılan plaka; 1 metre uzunluğunda, 0,60 m eninde ve 2 cm kalınlığında sacdan yapılmıştır. Deney serilerinde plaka 60 cm su derinliğinde serbest su seviyesinden itibaren 6 cm derinlikte olacak şekilde tabana sabitlenmiştir. Levha, yeterince rijittir. Plaka altındaki alanın kapatılması için sacdan yapılmış üçgen ve dik formda oluşturulmuş levhalar kullanılmıştır. Üçgen levhalar, tabandan itibaren 10 cm yüksekliğinde, 20 cm yüksekliğinde, 30 cm yüksekliğinde, 40 cm yüksekliğinde ve 50 cm yüksekliğinde plaka altındaki alanı belirli oranlarda kapatacak şekilde yerleştirilmiştir. Beş ayrı seride, açıklık orta noktalarında hız ölçümleri yapılmıştır. Üçgen levhalar ile ölçümlerin tamamlanmasına müteakip, plaka altındaki yapı şeklinin atılımı akıma etkisini incelemek ve kıyaslamak amacıyla üçgen formdaki levhalar

yerine dik duvar oluşturulacak şekilde; tabandan itibaren 40 cm yüksekliğinde ve 50 cm yüksekliğinde dikdörtgen levhalar kullanılmış ve açıklık ortalarında hız ölçümleri yapılarak, üçgen levha ile dikdörtgen levhalar arasında kıyaslama yapılmıştır.

4.2.4 Veri toplama ve hız ölçümü

Deneylerde, dalga makinasından gelen, tanımlanan belirli bir periyot ve yüksekliğe sahip dalgaların plakaya ulaşarak burada sığlaşma etkisiyle dalga yüksekliğinin ve periyodunun değişimini incelemek amacıyla plakadan sonra 1 m mesafede olacak şekilde bir dalgaölçer kullanılmıştır. Hız ölçümlerinin yapılabilmesi maksadıyla plaka ön ve arka kısmından 2.5 cm mesafede akımölçerler yerleştirilerek, bu noktalardaki hız ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, tüm deney serilerinde plaka altındaki tüm açıklıkların orta noktalarında hız ölçümleri yapılmıştır. Akımölçerler, kanal üzerine monte edilmiş ve bilgiler, buradan kablolar ile bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerde kullanılan elektromanyetik akımölçerler, KENEK CO., Ltd. şirketi tarafından geliştirilmiş, VM-801H model ana ünite ile VMT2-200-04P model detektör ünitelerden oluşmaktadır. Akımölçer, Faraday'ın elektromanyetik tümevarım kuralını uygulayarak geliştirilmiştir. Sensörün içerisinde herhangi bir hareketli parça çalışmadığından, akımölçer akım oranını uzun bir süre doğru ve sürekli ölçebilmektedir. Küçük tipteki sensör ünitesi (Ø4*L18) karışık su hareketini minimize etmektedir. Geniş bir alandaki suyun akım oranını ölçebilen akımölçer 4 farklı derecede akım ölçmektedir.

0 ~ ± 25 cm/s; 25 cm/s'lik kısım içerisindeki akım hızı ölçümü

0 ~ ± 50 cm/s; 50 cm/s'lik kısım içerisindeki akım hızı ölçümü

0 ~ ± 100 cm/s; 100 cm/s'lik kısım içerisindeki akım hızı ölçümü

0 ~ ± 200 cm/s; 200 cm/s'lik kısım içerisindeki akım hızı ölçümü

Düşey olarak yerleştirilen sensör X ve Y ekseninde hız ölçümleri yapmaktadır. “X” ekseninde (+) yön dalga akış yönünü, (-) yön dalga akış yönünün tersi yönünü ifade etmektedir.

Hız ölçümleri sonucunda X ve Y eksenlerindeki hızlar elde edilmiş, ancak yorumlarda X eksen yönündeki hızlar göz önünde bulundurulmuştur. Dalga ölçer Şekil 4.4’de, akım ölçer Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Dalga ölçer.



(a)



(b)

Şekil 4.5 Akımölçer, a. Ana ünite, b. Dedektör

4.2.5 Ölçüm sonuçlarının analizi

Bilgisayarda, konu ile ilgili olarak öncelikle dalga üretimi gerçekleştirilmektedir. Kullanılacak olan dalga yüksekliği ve periyodu tanımlanarak dalga üreticisine gönderilir. Daha sonra, data programı vasıtasıyla gerekli verilerin girilmesiyle, dalga üretimi başlatılır. Ölçümlerin alınması için belirlenen sürenin tamamlanmasına müteakip, analiz programına geçilir. Analiz programındaki gerekli işlemlerin tamamlanmasıyla hız ölçümleri çıktı olarak alınır. Çıktı örneği, Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Ölçüm sonuçları çıktı örneği

File Name : H10T205-S-2											
Irregular wave Analysis(Seet-1)											
Comment :											

File Date : 105/06/2 12:45:49											
List Date : 105/06/2 12:46:25											
X	Y	Name	Min	Max	Ave	Var	Std	Xbar	Xrms	Xskw	Xkrt
0.00	0.00	CX-14	-3.767	3.447	-0.395	5.006	2.237	-9.313e-010	2.233e+000	3.548e-001	1.573e+000
0.00	0.00	CY-14	-0.425	0.710	0.097	0.066	0.257	-2.328e-010	2.569e-001	-2.016e-001	1.880e+000
0.00	0.00	BX-9	-4.463	3.672	-0.523	6.544	2.558	7.357e-008	2.553e+000	2.267e-001	1.539e+000
0.00	0.00	BY-9	-0.960	0.752	-0.131	0.184	0.429	4.657e-010	4.283e-001	1.003e-001	1.851e+000
0.00	0.00	D3	-4.105	5.502	-0.079	8.426	2.903	1.770e-008	2.897e+000	5.680e-001	1.843e+000

4.3. Deney Programı

Deneylerde plakanın dalga makinası tarafındaki kısmı plaka önü: ö, arka kısmı: a, ve plakanın orta noktası: c notasyonları ile ifade edilmiş, deneyler boyunca tüm alternatiflerde merkezde (c) alınan ölçümler “H” dalga yüksekliği (2, 4, 6, 8, 10) ve “T” periyot (1.16, 1.50, 1.87, 2.05s) olmak üzere bu değerlerin 2’li kombinasyonlarının denenmesi şeklinde ($H_2T_{1.16}$; $H_4T_{1.16}$; $H_6T_{1.16}$; $H_8T_{1.16}$; $H_{10}T_{1.16}$; $H_2T_{1.50}$; $H_4T_{1.50}$) 20 ölçüm değeri alınmıştır. Plaka önü (ö) ve plaka arkasında (a) ise 4’er ölçüm değeri ($H_4T_{1.16}$; $H_6T_{1.50}$; $H_8T_{1.87}$; $H_{10}T_{2.05}$) alınmıştır.

4.4. Deney Ölçüm Serileri

4.4.1 “0”, A_0 ölçüm serisi

Deney serilerine başlanmadan önce deneyin yapılacağı bölümde plaka ve levhalar olmadan -9, -14, -24 ve -34 kotunda dalga kanalında boş olarak hız ölçümleri yapılmış olup, bu ölçümlere “0” ölçümleri

denmiştir. Belirtilen kotlarda 2 kez ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. Daha sonra su zerrelerinin yatay hız hesabı yapılmış ve bulunan değerler kıyaslanmıştır. Ölçüm sonuçları ile hesaplanan hızların karşılaştırılmasından, akım ölçerlerle yapılan hız ölçümlerinin doğru yapıldığı, cihazların kalibrasyonlarının kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Akım ölçerlerle yapılan birinci ölçüm, 2 nci ölçüm ve ölçüm sonuçları ortalamaları değerleri Çizelge 4.2’de, hesaplanan hız değerleri Çizelge 4.3’de, ölçülen ve hesaplanan hız değerleri Çizelge 4.4’te, ölçülen ve hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 A₀ ölçüm serisi 1nci ve 2nci ölçüm hız değerleri ve aritmetik ortalamaları (cm/sn).

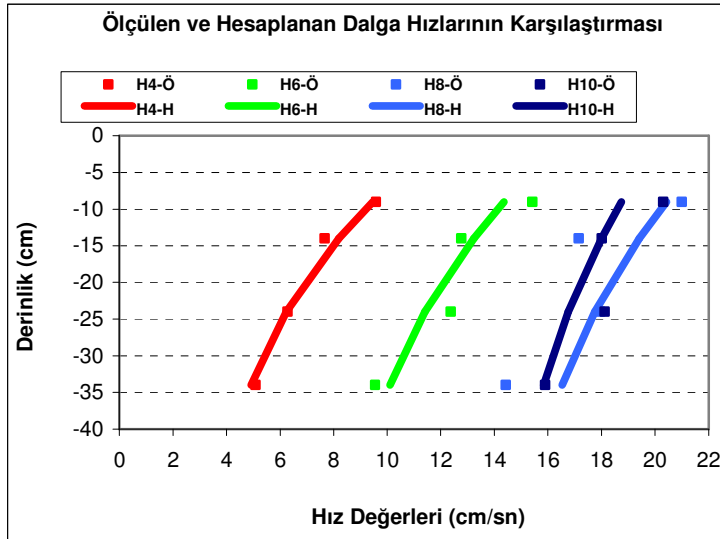
	Yük. H(cm)	Per. T(s)	(-9) kotu (cm/s)		(-14) kotu (cm/s)		(-24) kotu (cm/s)		(-34) kotu (cm/s)	
			min	max	min	max	min	max	min	max
1. Ölçüm	4	1,16	-10,90	8,66	-8,30	7,46	-6,54	5,80	-5,10	4,50
	6	1,50	-15,66	14,10	-13,76	11,90	-12,74	11,06	-10,10	8,24
	8	1,87	-21,44	19,60	-17,70	16,54	-19,24	16,34	-15,14	12,90
	10	2,05	-21,70	18,84	-18,70	17,26	-19,76	16,06	-17,20	14,04
2. Ölçüm	4	1,16	-10,40	8,39	-7,90	6,99	-6,83	5,94	-6,10	4,64
	6	1,50	-17,16	14,77	-13,78	11,64	-13,83	11,91	-10,61	9,24
	8	1,87	-23,49	19,46	-17,10	17,28	-19,30	16,91	-15,59	14,08
	10	2,05	-22,32	18,36	-18,84	17,24	-19,56	17,09	-18,21	14,16
Ortalama	4	1,16	9,59		7,66		6,28		5,09	
	6	1,50	15,42		12,77		12,38		9,55	
	8	1,87	21,00		17,15		17,95		14,43	
	10	2,05	20,30		18,01		18,12		15,90	

Çizelge 4.3 A_0 ölçüm serisi hesaplanan hız değerleri.

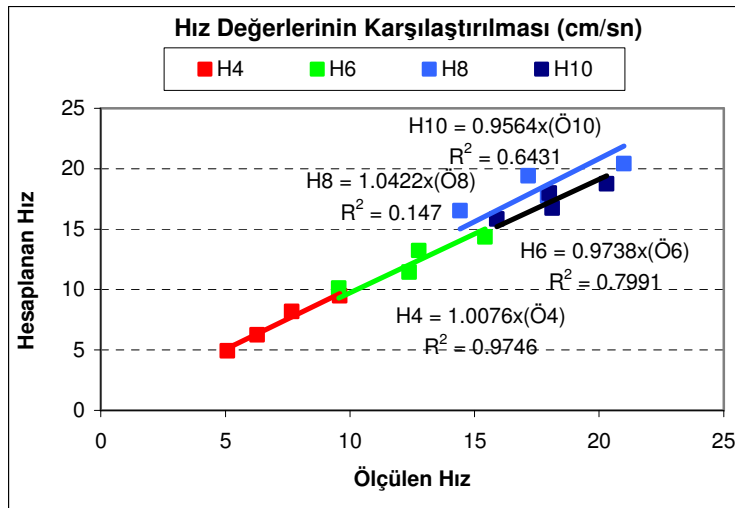
H (cm)	T (s)	Lo (cm)	d (cm)	z (cm)	L (cm)	$k=2\pi/L$	$\omega=2\pi/T$ (rad/s)	Cosh [$k^*(d-z)$]	sinh (k^*d)	Vx (cm/s)
4,341	1,152	207,3	60,0	9,0	198,2	0,03	5,45	2,62	3,28	9,46
4,341	1,152	207,3	60,0	14,0	198,2	0,03	5,45	2,27	3,28	8,19
4,341	1,152	207,3	60,0	24,0	198,2	0,03	5,45	1,73	3,28	6,23
4,341	1,152	207,3	60,0	34,0	198,2	0,03	5,45	1,36	3,28	4,91
6,815	1,492	347,8	60,0	9,0	297,0	0,02	4,21	1,64	1,64	14,36
6,815	1,492	347,8	60,0	14,0	297,0	0,02	4,21	1,51	1,64	13,24
6,815	1,492	347,8	60,0	24,0	297,0	0,02	4,21	1,30	1,64	11,42
6,815	1,492	347,8	60,0	34,0	297,0	0,02	4,21	1,16	1,64	10,11
9,856	1,861	540,7	60,0	9,0	398,9	0,02	3,38	1,34	1,09	20,42
9,856	1,861	540,7	60,0	14,0	398,9	0,02	3,38	1,27	1,09	19,41
9,856	1,861	540,7	60,0	24,0	398,9	0,02	3,38	1,17	1,09	17,75
9,856	1,861	540,7	60,0	34,0	398,9	0,02	3,38	1,09	1,09	16,53
9,096	2,062	664,1	60,0	9,0	452,8	0,01	3,05	1,26	0,93	18,74
9,096	2,062	664,1	60,0	14,0	452,8	0,01	3,05	1,21	0,93	18,00
9,096	2,062	664,1	60,0	24,0	452,8	0,01	3,05	1,13	0,93	16,76
9,096	2,062	664,1	60,0	34,0	452,8	0,01	3,05	1,07	0,93	15,84

Çizelge 4.4 Ölçülen ve hesaplanan hız değerleri (cm/s).

Yük. H(cm)	Periyot T(s)	Ölçülen hız (cm/s)				Hesaplanan hız (cm/s)			
		-9	-14	-24	-34	-9	-14	-24	-34
4	1,16	9,59	7,66	6,28	5,09	9,46	8,19	6,23	4,91
6	1,50	15,42	12,77	12,38	9,55	14,36	13,24	11,42	10,11
8	1,87	21,00	17,15	17,95	14,43	20,42	19,41	17,75	16,53
10	2,05	20,30	18,01	18,12	15,90	18,74	18,00	16,76	15,84



(a)



(b)

Şekil 4.6 Ölçülen ve hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması. (a) Derinlik hız değerleri ilişkisi, (b) Ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki ilişki

4.4.2 Plakalı “A₁” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın bu bölümünde kanal içerisine plaka yerleştirilmiş ve bu plaka dört köşesinden tabana vidalanarak sabitlenmiştir. Plaka ile taban arasındaki orta nokta olan -34 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlere ek olarak plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plakalı “A₁” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Plakalı “A₁” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.3 Plaka altında üçgen levhalı “A₂” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın bu bölümünde plaka altındaki açıklığın daraltılması ve bu olayın atılımlı akıma etkisini incelemek amacıyla tabandan itibaren 10 cm yüksekliğinde üçgen levha tabana sabitlenmiştir. Plaka ile üçgen levhanın arasındaki açıklığın orta noktası olan -29 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Ayrıca plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plaka altında üçgen levhalı “A₂” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Plaka altında üçgen levhalı “A₂” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.4 Plaka altında üçgen levhalı “A₃” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın bu bölümünde plaka altındaki açıklığın daraltılması ve bu olayın atılımlı akıma etkisini incelemek maksadıyla tabandan itibaren 20 cm yüksekliğinde üçgen levha tabana sabitlenmiştir. Plaka ile üçgen levhanın arasındaki açıklığın orta noktası olan -24 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Ayrıca plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plaka altında üçgen levhalı “A₃” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Plaka altında üçgen levhalı “A₃” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.5 Plaka altında üçgen levhalı “A₄” ölçüm serisi

Deneyisel çalışmanın bu bölümünde plaka altındaki açıklığın daraltılması ve bu olayın atılımlı akıma etkisini incelemek maksadıyla tabandan itibaren 30 cm yüksekliğinde üçgen levha tabana sabitlenmiştir. Plaka ile üçgen levhanın arasındaki açıklığın orta noktası olan -19 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Ayrıca plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plaka altında üçgen levhalı “A₄” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Plaka altında üçgen levhalı “A₄” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.6 Plaka altında üçgen levhalı “A₅” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın bu bölümünde plaka altındaki açıklığın daraltılması ve bu olayın atımlı akıma etkisini incelemek maksadıyla tabandan itibaren 40 cm yüksekliğinde üçgen levha tabana sabitlenmiştir. Plaka ile üçgen levhanın arasındaki açıklığın orta noktası olan -14 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Ayrıca plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plaka altında üçgen levhalı “A₅” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Plaka altında üçgen levhalı “A₅” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.7 Plaka altında üçgen levhalı “A₆” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın bu bölümünde plaka altındaki açıklığın daraltılması ve bu olayın atılımlı akıma etkisini incelemek maksadıyla tabandan itibaren 50 cm yüksekliğinde üçgen levha tabana sabitlenmiştir. Plaka ile üçgen levhanın arasındaki açıklığın orta noktası olan -9 kotunda, plakanın yatay ve düşey merkezinde 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Ayrıca plakanın önünde ve arka noktasında -9 ve -14 kotunda 4'er adet hız ölçümleri yapılmıştır. Plaka altında üçgen levhalı “A₆” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Plaka altında üçgen levhalı “A₆” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.8 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₅₅” ölçüm serisi

Deneysel çalışmada plaka altında üçgen levhalı ölçüm serilerinin tamamlanmasına müteakip, üçgen levha ile dikdörtgen levhanın atılımlı akıma etkisini kıyaslayabilmek için aynı deney koşullarında iki değişik yükseklikte dikdörtgen levha kullanılarak plaka ile dikdörtgen levha arasındaki orta noktada hız ölçümleri yapılmıştır. İlk olarak tabandan itibaren 40 cm yükseklikte dikdörtgen levha kullanılmış ve plaka ile levha arasında orta nokta olan -14 kotunda 20 adet hız ölçümü yapılmıştır. Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₅₅” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₅₅” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.4.9 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₆₆” ölçüm serisi

Deneysel çalışmanın son aşamasında, tabandan itibaren 50 cm yüksekliğinde dikdörtgen levha kullanılarak, plaka ile levha arasındaki orta nokta olan -9 kotunda 20 hız ölçümü yapılmıştır. Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₆₆” ölçüm serisine ait deney düzeneği Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Plaka altında dikdörtgen levhalı “A₆₆” ölçüm serisi deney düzeneği.

4.5. Ölçüm Sonuçları

4.5.1 Plaka altında üçgen levhalı ölçüm serileri sonuçları

4.5.1.1 Plakanın düşey ve yatay merkezinde yapılan hız ölçümleri

Plaka altında üçgen levhalı ölçüm serilerinde plakanın düşey ve yatay merkezinde yapılan ölçümlerde elde edilen maksimum hız değerleri Çizelge 4.5'te, minimum hız değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Hız değerlerinin incelenmesinden, plaka altında kalan açıklığın azalması ile hızların arttığı tespit edilmektedir. Aynı periyotlu dalgalarda dalga yüksekliği arttıkça hızlarda artma meydana gelmektedir. Aynı şekilde dalga yüksekliği ve periyotların artmasıyla hızlarda artış gözlemlenmektedir. Ölçüm serileri içerisinde ters akımın olduğu yönde (dalga geliş yönünün tersi yön) maksimum hız değerleri $H=10$ cm dalga yüksekliğine ve $T= 1.87$ s periyoduna sahip dalgalarda edilmiştir. Dalga geliş yönünde elde edilen maksimum hızlar ise $H=10$ cm dalga yüksekliğine ve $T=2.05$ s periyoduna sahip dalgalarda elde edilmiştir.

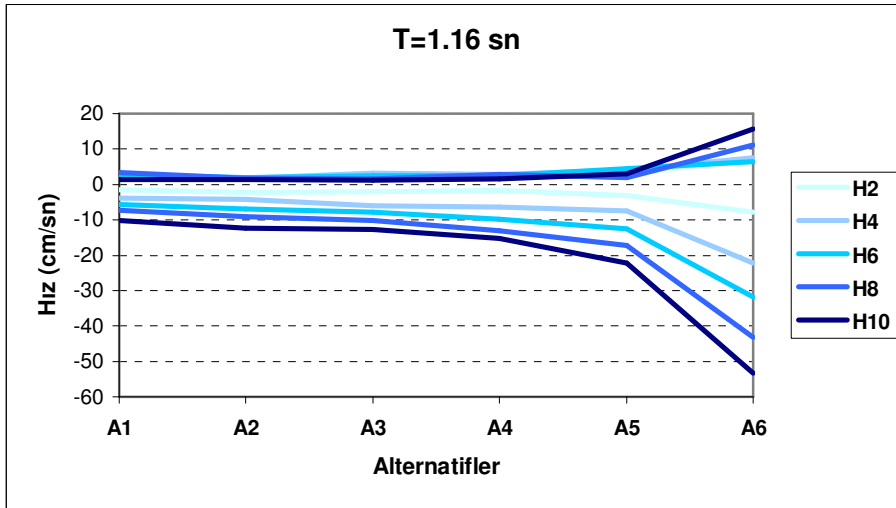
Çizelge 4.5 Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen maksimum (dalga geliş yönündeki) hızlar

Yük. H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
2	1,16	1,500	1,560	1,500	2,500	2,940	7,300
4	1,16	2,315	1,800	3,140	2,800	4,100	7,500
6	1,16	2,790	1,860	2,500	2,500	4,400	6,540
8	1,16	3,315	1,800	1,500	2,900	1,940	11,200
10	1,16	1,460	1,400	1,260	1,660	3,060	15,600
2	1,50	1,865	1,440	1,600	2,900	3,500	6,940
4	1,50	3,160	3,100	3,360	4,000	5,100	15,860
6	1,50	4,625	5,840	3,960	5,300	6,800	26,500
8	1,50	6,390	4,700	5,500	8,300	9,640	36,400
10	1,50	11,200	5,960	9,100	7,800	15,600	45,060
2	1,87	4,510	5,640	5,300	6,340	7,860	20,960
4	1,87	6,735	6,600	7,000	11,060	18,560	36,940
6	1,87	12,000	11,200	8,660	13,900	29,900	53,400
8	1,87	11,535	12,740	13,700	14,340	29,240	57,700
10	1,87	15,075	14,700	14,800	24,100	35,460	62,560
2	2,05	3,875	3,760	4,860	6,260	7,860	21,700
4	2,05	5,675	6,760	7,100	10,860	15,140	38,060
6	2,05	7,600	10,240	12,940	13,460	27,400	49,340
8	2,05	9,975	12,360	14,700	24,940	36,640	58,240
10	2,05	14,200	16,900	16,100	24,940	43,640	67,560

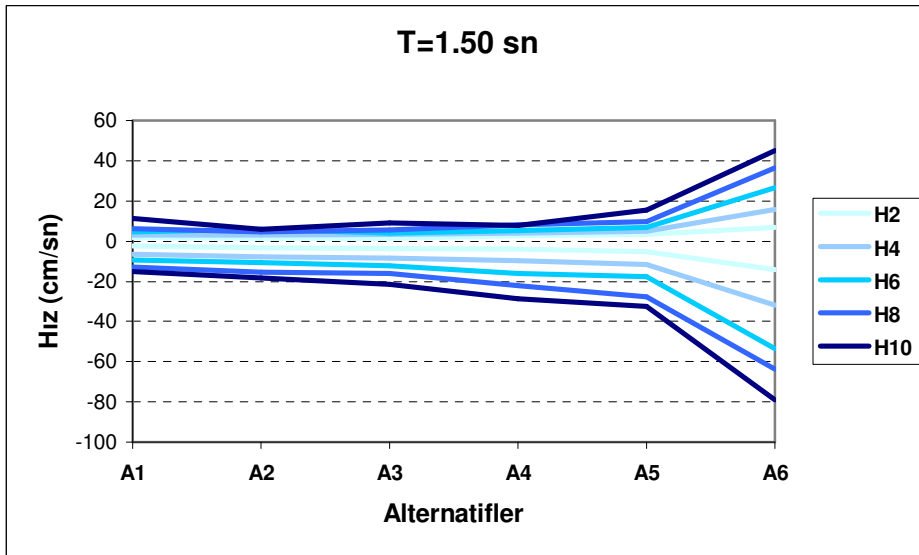
Çizelge 4.6 Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen minimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar

Yük H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
2	1,16	-1,490	-2,160	-2,100	-1,740	-3,100	-7,740
4	1,16	-3,775	-4,200	-6,000	-6,300	-7,460	-22,300
6	1,16	-5,560	-6,900	-7,860	-9,800	-12,500	-31,900
8	1,16	-7,200	-9,040	-10,240	-13,000	-17,160	-43,240
10	1,16	-10,085	-12,260	-12,740	-15,240	-22,340	-53,240
2	1,50	-2,475	-3,440	-3,540	-3,900	-5,100	-14,100
4	1,50	-6,415	-7,640	-8,400	-9,640	-11,700	-31,800
6	1,50	-9,440	-10,500	-12,200	-15,900	-17,740	-53,500
8	1,50	-12,685	-15,400	-15,900	-22,140	-27,760	-63,860
10	1,50	-15,215	-18,400	-21,300	-28,700	-32,700	-79,140
2	1,87	-4,085	-6,540	-4,900	-6,660	-8,560	-29,800
4	1,87	-7,650	-8,460	-10,240	-13,500	-21,740	-56,060
6	1,87	-11,385	-13,040	-16,640	-20,460	-36,840	-75,300
8	1,87	-16,740	-17,740	-19,600	-28,600	-52,000	-88,860
10	1,87	-20,640	-22,300	-27,660	-32,660	-54,300	102,400
2	2,05	-3,740	-4,060	-4,560	-5,200	-7,900	-28,500
4	2,05	-7,410	-7,400	-8,800	-11,100	-19,500	-49,340
6	2,05	-10,025	-11,160	-14,240	-16,440	-32,400	-65,740
8	2,05	-13,650	-16,200	-18,260	-24,700	-51,360	-80,700
10	2,05	-18,410	-21,260	-23,060	-31,060	-57,040	-95,100

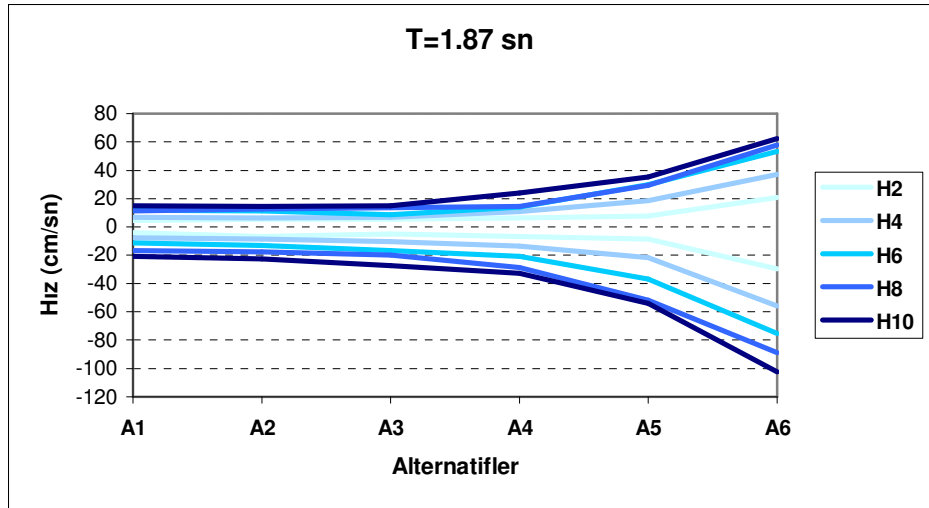
Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen hızlara ait grafiksel gösterim Şekil 4.15 ile Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



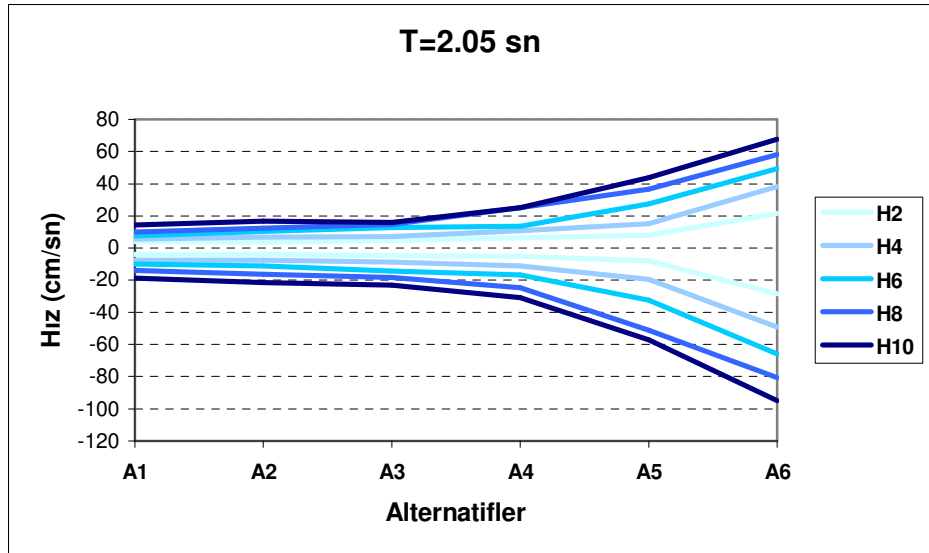
Şekil 4.15 T=1.16 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.



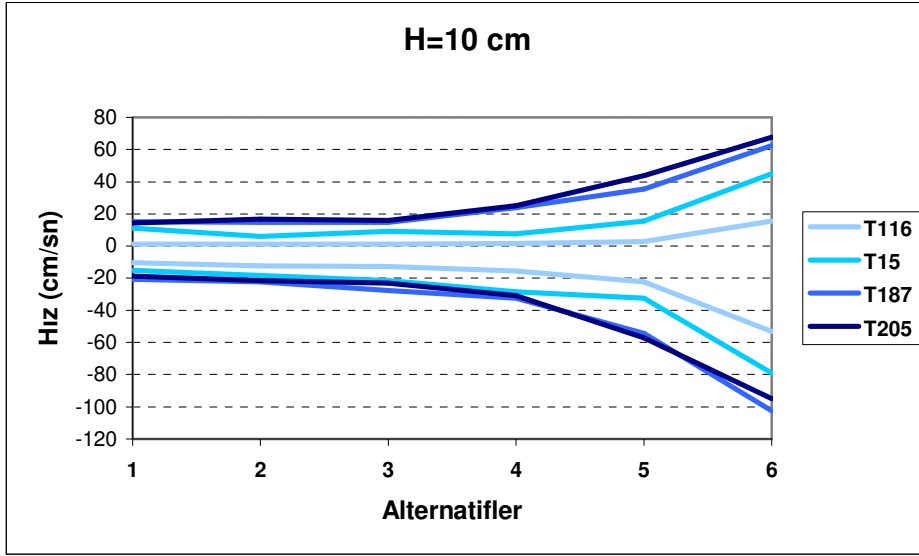
Şekil 4.16 T=1.50 s periyotlu dalgalarda, çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.



Şekil 4.17 T=1.87 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.



Şekil 4.18 T=2.05 s periyotlu dalgalarda çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.



Şekil 4.19 H=10 cm dalga yüksekliğindeki dalgalarda, çeşitli dalga yüksekliği ve ölçüm serilerine göre plaka altında düşey ve yatay merkezde ölçülen hızlar.

4.5.1.2 Plakanın ön ve arka noktalarında yapılan hız ölçümleri

Plakanın ön ve arka noktalarında -9 ve -14 kotlarında 4'er adet hız ölçümü yapılmıştır. Plaka arka bölgesinde -9 kotunda dalga ilerleme yönündeki (maksimum) hızların, dalga ilerleme yönünün tersi yöndeki (minimum) hızlara göre büyük olduğu tespit edilmiştir. -14 kotunda yapılan ölçümlerde ise ters yöndeki (minimum) hızların, dalga geliş yönündeki hızlardan büyük olduğu tespit edilmiştir. Burada suyun teorik olarak daha önce açıklanan plaka çevresi akımda plaka arkasında dalganın plakayı aştıktan sonra düşmesiyle o bölgede oluşan çevrinti nedeniyle yüzeye yakın kotta (-9) dalga yönünde daha büyük hıza,

yüzeyden daha derinde (-14) çevrinti nedeniyle ters yönde daha büyük hıza sahip olduğu gözlemlenmektedir. Plaka arka noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri Çizelge 4.7’de, plaka arka noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri Çizelge 4.8’de, plaka ön noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri Çizelge 4.9’da, plaka ön noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri Çizelge 4.10’da, hızlara ait grafiksel gösterimler ise Şekil 4.20 ile Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Plaka arka noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri (cm/s).

PLAKA ARKASI (PA-9)		Yükseklik H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri Hız Değerleri (cm/s)					
				A1	A2	A3	A4	A5	A6
	MINİMUM								
		4	1,16	-7,360	-6,800	-8,060	-6,700	-6,600	-4,360
		6	1,50	-24,700	-9,600	-13,460	-12,360	-14,960	-12,940
		8	1,87	-23,160	-10,660	-14,600	-14,800	-14,200	-19,900
		10	2,05	-29,800	-20,860	-10,660	-19,600	-14,900	-10,500
	MAKSİMUM								
		4	1,16	2,540	5,100	7,100	8,560	3,700	4,140
		6	1,50	52,240	50,800	51,400	50,260	45,600	13,500
		8	1,87	53,240	59,300	61,360	57,000	54,100	43,440
		10	2,05	58,240	81,200	74,660	67,200	62,700	54,700

Çizelge 4.8. Plaka arka noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri (cm/s).

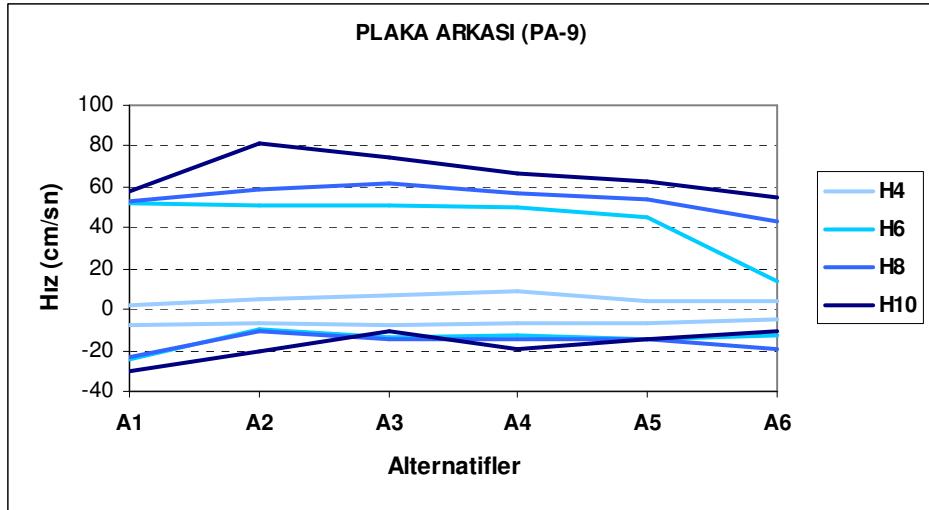
PLAKA ARKASI (PA-14)		Yükseklik H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri Hız Değerleri (cm/s)					
				A1	A2	A3	A4	A5	A6
	MINİMUM								
		4	1,16	-4,700	-3,400	-3,360	-3,900	-3,300	-4,140
		6	1,50	-32,400	-28,760	-25,900	-24,940	-20,700	-10,340
		8	1,87	-41,700	-43,240	-44,700	-45,060	-39,040	-26,340
		10	2,05	-48,600	-51,300	-46,360	-44,200	-45,300	-31,940
	MAKSİMUM								
		4	1,16	1,940	2,700	2,760	3,360	1,900	1,860
		6	1,50	7,360	9,000	9,960	7,860	1,800	3,060
		8	1,87	14,860	15,000	18,360	16,260	9,440	10,760
		10	2,05	29,200	16,100	23,760	22,440	12,460	24,000

Çizelge 4.9. Plaka ön noktası -9 kotunda ölçülen hız değerleri (cm/s)..

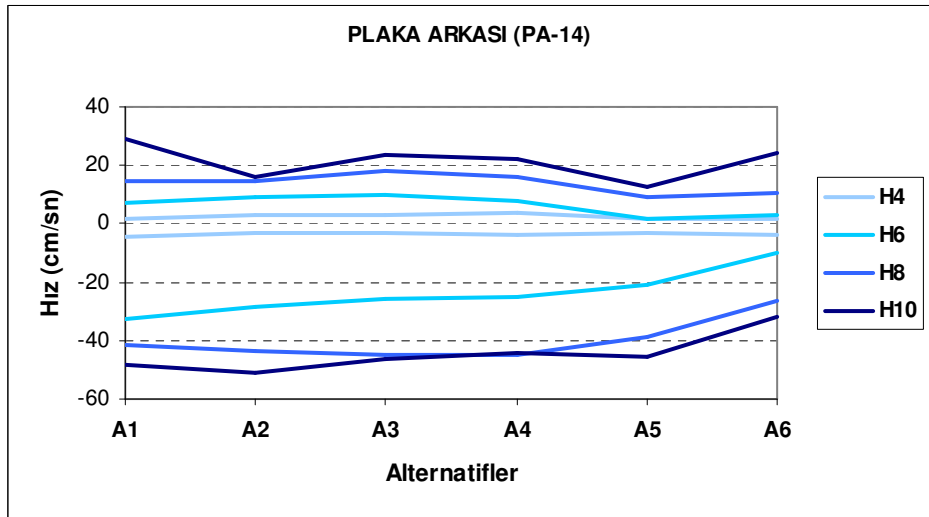
PLAKA ÖNÜ(PÖ-9)		Yükseklik H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri Hız Değerleri (cm/s)					
				A1	A2	A3	A4	A5	A6
	MINIMUM	4	1,16	-6,160	-7,500	-6,060	-8,800	-6,760	-5,300
		6	1,50	-19,700	-18,560	-11,640	-20,560	-20,900	-29,840
		8	1,87	-35,900	-41,640	-17,540	-44,140	-41,300	-43,500
		10	2,05	-33,100	-41,000	-21,160	-39,200	-51,760	-41,560
	MAKSİMUM	4	1,16	5,560	5,640	2,300	5,700	5,400	5,140
		6	1,50	11,500	10,500	5,360	12,460	12,060	14,560
		8	1,87	19,140	16,800	10,440	17,540	17,200	27,300
		10	2,05	19,040	19,300	13,300	18,100	19,860	22,040

Çizelge 4.10. Plaka ön noktası -14 kotunda ölçülen hız değerleri (cm/s).

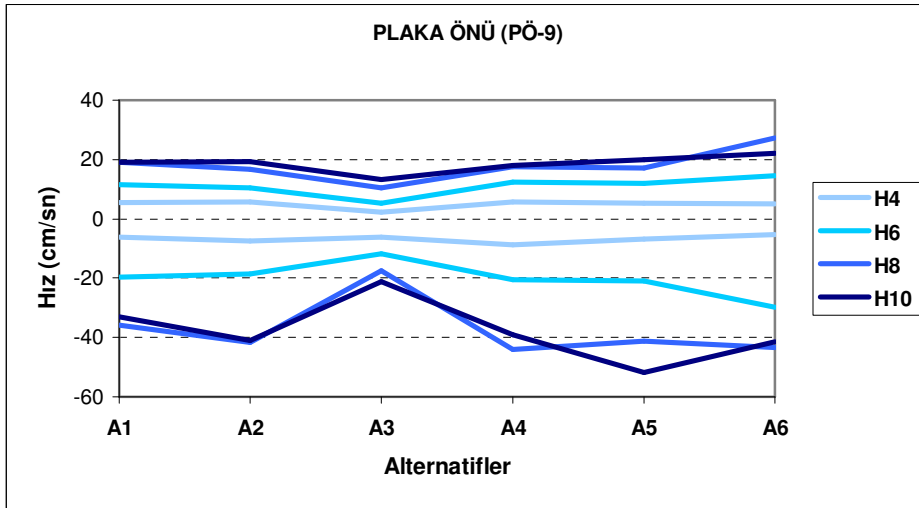
PLAKA ÖNÜ(PÖ-14)		Yükseklik H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri Hız Değerleri (cm/s)					
				A1	A2	A3	A4	A5	A6
	MINIMUM	4	1,16	-5,140	-5,640	-5,300	-1,740	-6,160	-3,900
		6	1,50	-12,060	-11,300	-14,000	-10,900	-11,400	-21,000
		8	1,87	-20,000	-19,860	-20,660	-19,040	-33,840	-25,500
		10	2,05	-23,460	-23,400	-22,100	-23,060	-35,700	-25,060
	MAKSİMUM	4	1,16	3,540	3,700	4,440	1,660	2,340	2,840
		6	1,50	7,300	7,140	7,460	7,000	4,260	6,540
		8	1,87	15,860	17,400	17,400	14,100	17,600	19,760
		10	2,05	15,760	17,300	16,960	14,900	17,060	18,600



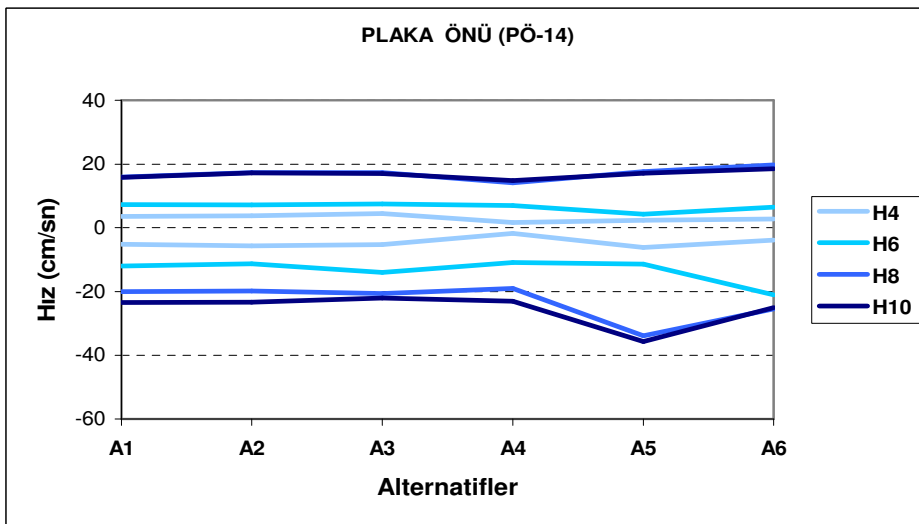
Şekil 4.20. Plaka arka noktası -9 kotunda ölçülen hızlar.



Şekil 4.21. Plaka arka noktası -14 kotunda ölçülen hızlar.



Şekil 4.22. Plaka ön noktası -9 kotunda ölçülen hızlar.



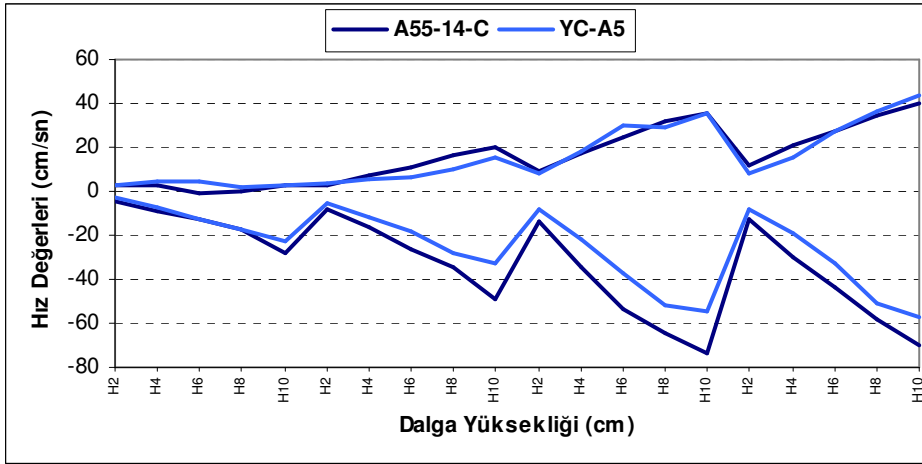
Şekil 4.23. Plaka ön noktası -14 kotunda ölçülen hızlar.

4.5.2 Plaka altında dikdörtgen levhalı ölçüm serileri sonuçları

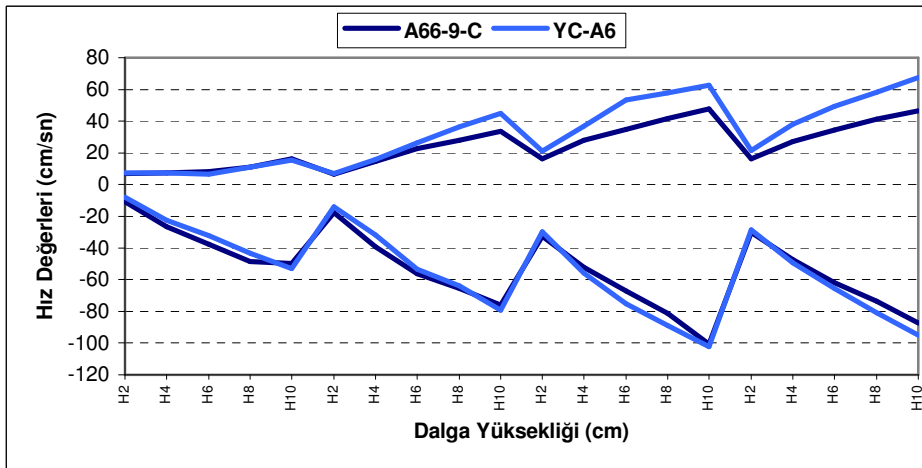
Plaka altında dikdörtgen levhalı ölçüm serilerinde plakanın düşey ve yatay merkezinde -14 kotunda “A₅₅” ölçüm serisi sonuçları ve -9 kotunda “A₆₆” ölçüm serisi sonuçları Çizelge 4.11’de, hızlara ait grafiksel gösterim ise Şekil 4.24 ve 4.25’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11.Plakanın altında dikdörtgen levhalı ölçüm serilerinde düşey ve yatay merkezde ölçülen maksimum (dalga geliş yönü) ve minimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar (cm/s).

Yükseklik H(cm)	Periyot T(s)	Ölçüm Serileri Hız Değerleri (cm/s)			
		A55 (-14)		A66 (-9)	
		Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
2	1,16	-4,700	2,460	-10,800	6,940
4	1,16	-8,700	3,140	-26,500	7,300
6	1,16	-12,300	-1,100	-37,800	8,240
8	1,16	-16,900	-0,040	-48,700	11,100
10	1,16	-27,860	2,340	-49,860	16,300
2	1,50	-8,140	2,400	-17,640	6,800
4	1,50	-16,700	7,600	-39,300	14,800
6	1,50	-26,300	10,960	-56,200	22,600
8	1,50	-34,100	16,600	-65,740	27,800
10	1,50	-49,260	20,400	-76,060	33,700
2	1,87	-13,500	8,760	-32,560	16,300
4	1,87	-34,240	17,100	-52,440	28,100
6	1,87	-53,760	24,800	-67,300	34,800
8	1,87	-64,260	31,940	-81,140	41,800
10	1,87	-73,440	35,660	-100,600	47,640
2	2,05	-12,600	11,960	-29,940	16,100
4	2,05	-29,900	21,200	-47,440	27,140
6	2,05	-43,240	27,040	-62,100	34,600
8	2,05	-58,400	34,540	-73,500	41,440
10	2,05	-70,260	40,100	-87,300	46,500



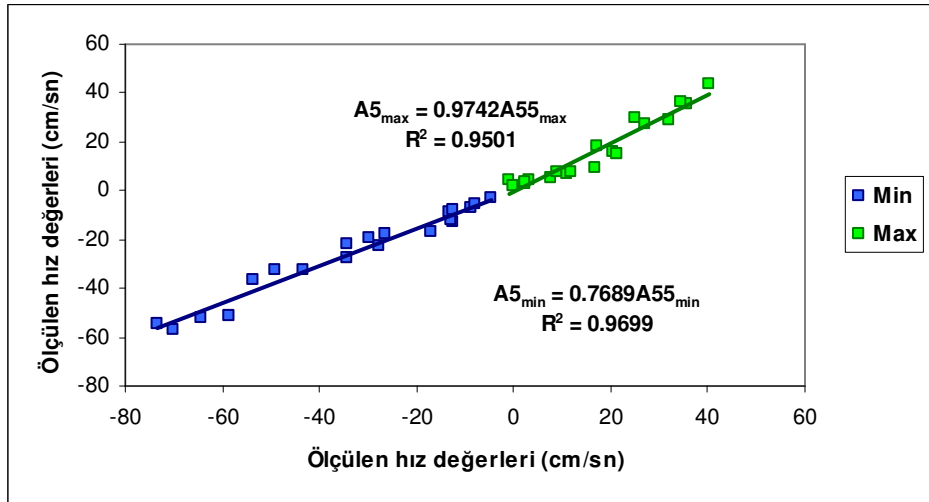
Şekil 4.24. Plaka altında yatay ve düşey merkezde -14 kotunda “A₅” ve “A₅₅” ölçüm serilerine ait hızların grafiksel karşılaştırılması.



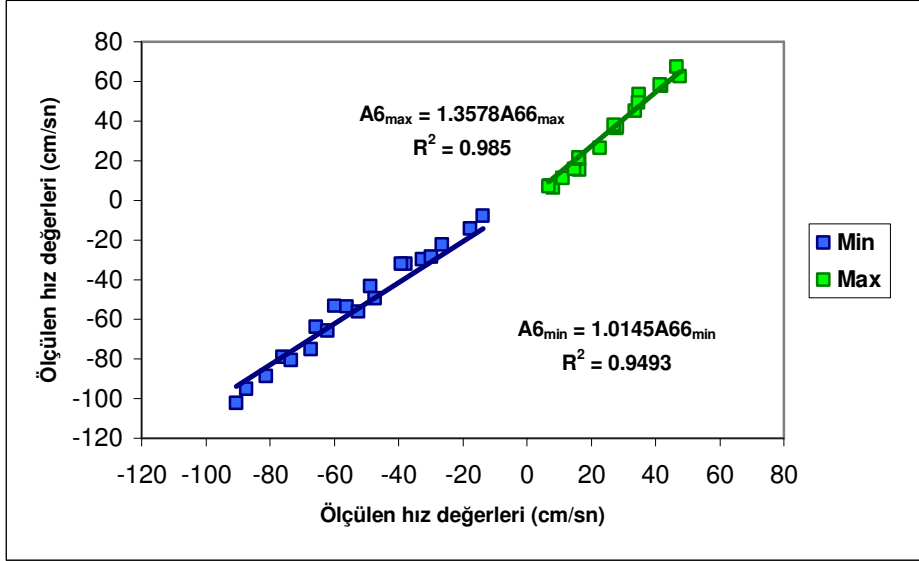
Şekil 4.25. Plaka altında yatay ve düşey merkezde -9 kotunda “A₆” ve “A₆₆” ölçüm serilerine ait hızların grafiksel karşılaştırılması

4.5.3 Plaka altında üçgen ve dikdörtgen levha alternatiflerinin karşılaştırılması

Plaka altında üçgen ve dikdörtgen levha alternatiflerinin karşılaştırılması Şekil 4.26 ve 4.27’de gösterilmiştir. Buradan görüleceği üzere plaka ile levha arasındaki açıklığın fazla olduğu konumda (“A₁”, “A₂”, “A₃”, “A₄”, “A₅” ölçüm serilerindeki açıklığa kadar) plaka altındaki levhanın dikdörtgen levha olarak dizayn edilmesi ters akıntı hızını yaklaşık %25 civarında, dalga yönündeki akıntı hızını yaklaşık %3 civarında arttırmaktadır. Plaka ile levha arasındaki açıklığın dar olduğu (“A₆” ölçüm serilerindeki açıklık) konumda plaka altındaki levhanın üçgen levha olarak dizayn edilmesi ters akıntı hızını yaklaşık %1 civarında, dalga yönündeki akıntı hızını ise yaklaşık %35 civarında arttırmaktadır.



Şekil 4.26. Plaka altında üçgen levha “A₅” ve dikdörtgen levha “A₅₅” ölçüm serilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.27. Plaka altında üçgen levha “A₆” ve dikdörtgen levha “A₆₆” ölçüm serilerinin karşılaştırılması.

4.5.4 Batık plakanın dalga geçirgenliği

Batık plakanın; dalga yüksekliğini düşüren bir dalga filtresi olarak kullanılmasının avantajları daha önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Yapılan deneylerde dalga yüksekliğindeki azalmanın plaka altındaki yönlendirilmiş bir akıntı ile ilişkilendiğini göstermektedir. Çalışma kapsamında dalga kanalında dalga geliş yönüne göre plakadan sonra 1.0m. ileriye yerleştirilen bir dalgaölçer ile gelen dalgaların yüksekliğinin plakayı aştıktan sonraki yükseklikleri ölçülmüştür. Belirlenen dalgaların dalga makinasında üretildikten sonra boş kanalda alınan ölçüm sonuçları Çizelge 4.12’de, Plaka altında üçgen levha olması durumunda alınan birinci ölçüm sonuçları Çizelge 4.13’de, İkinci ölçüm sonuçları Çizelge 4.14’de, Plaka altında dikdörtgen levha olması

durumunda dalga geçirgenliği ölçüm değerleri Çizelge 4.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Belirlenen gelen dalgaların ölçülen yükseklik ve periyot değerleri.

Ölçüm Serileri	Yükseklik H (cm)	Periyot T (S)	Yükseklik H (cm)	Periyot T (S)
Kanal boş	4	1,16	4,196	1,154
	6	1,50	6,522	1,489
	8	1,87	9,095	1,834
	10	2,05	11,138	2,068

Plaka ile yapılan deneylerde ulaşılabilir dalga sönümü K_t geçiş katsayısı ile ifade edilmektedir. Bu katsayı plaka sonrasında geçen dalga yüksekliğinin, plaka öncesindeki dalga yüksekliğine oranı olup, denklem 3.1’de ifade edilmiştir.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i}$$

Aynı şekilde geçen dalganın periyodunun gelen dalganın periyoduna oranı Periyot Geçirgenliği katsayısı ile ifade edilmekte olup K_p ile gösterilmektedir.

$$K_p = \frac{T_t}{T_i} \quad (4.1)$$

Dalga geçiş katsayısı K_t ile periyot geçirgenliği katsayısı K_p değerleri Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Dalga geçirgenliği 1. ölçüm değeri.

Ölçüm Serileri	Yükseklik H (cm)	Periyot T (S)	Hmax (cm)	H1/10 (cm)	H1/3 (cm)	Hbar (cm)	Tmax (s)	T1/10 (s)	T1/3 (s)	Tbar (s)
A ₁	4	1,16	3,185	3,185	2,899	1,960	0,825	0,825	0,950	0,619
	6	1,50	3,224	3,224	2,977	2,287	0,818	0,818	0,707	0,690
	8	1,87	4,017	3,670	3,308	2,603	0,825	0,749	0,700	0,697
	10	2,05	6,968	6,929	5,989	3,390	1,910	2,035	2,048	1,189
A ₂	4	1,16	3,321	3,321	3,122	2,060	0,823	0,823	0,826	0,662
	6	1,50	3,341	3,211	2,918	2,434	0,751	0,669	0,715	0,719
	8	1,87	5,726	5,726	5,335	4,030	1,760	1,760	1,825	1,462
	10	2,05	6,207	6,207	5,488	3,533	1,947	1,947	2,034	1,311
A ₃	4	1,16	3,276	3,276	3,203	1,998	0,796	0,796	0,886	0,667
	6	1,50	3,438	3,174	2,894	2,222	0,690	0,638	0,653	0,679
	8	1,87	5,434	5,434	5,096	4,273	1,865	1,865	1,821	1,555
	10	2,05	6,630	6,630	5,780	4,368	1,997	1,997	2,056	1,684
A ₄	4	1,16	3,172	3,172	2,993	2,288	0,812	0,812	0,887	0,748
	6	1,50	3,698	3,571	3,002	2,077	0,761	0,709	0,683	0,658
	8	1,87	5,688	5,688	5,177	4,214	1,746	1,746	1,860	1,674
	10	2,05	6,071	6,071	5,499	4,307	1,991	1,991	2,073	1,809
A ₅	4	1,16	2,821	1,956	2,791	1,956	1,088	1,060	1,097	1,060
	6	1,50	3,425	3,328	2,915	2,002	0,812	0,752	0,723	0,676
	8	1,87	4,530	4,530	4,342	3,750	1,734	1,734	1,587	1,692
	10	2,05	5,310	5,310	4,863	3,423	2,108	2,108	1,825	1,488
A ₆	4	1,16	2,652	2,652	2,626	2,075	1,147	1,147	1,136	0,848
	6	1,50	3,282	3,165	2,866	1,964	0,843	0,868	0,835	0,684
	8	1,87	3,809	3,635	3,298	1,748	0,867	0,827	0,802	0,626
	10	2,05	4,693	4,352	3,534	1,596	1,150	1,123	0,937	0,614

Çizelge 4.14. Dalga geçirgenliği 2. ölçüm değerleri.

Ölçüm Serileri	Yükseklik H (cm)	Periyot T (S)	Hmax (cm)	H1/10 (cm)	H1/3 (cm)	Hbar (cm)	Tmax (s)	T1/10 (s)	T1/3 (s)	Tbar (s)
A₁	4	1,16	3,133	3,133	3,001	2,086	0,823	0,823	0,896	0,713
	6	1,50	3,139	3,018	2,799	2,196	0,662	0,588	0,628	0,644
	8	1,87	5,642	3,850	5,324	3,850	1,968	1,243	1,900	1,243
	10	2,05	6,825	6,491	6,825	6,491	1,936	2,016	1,936	2,016
A₂	4	1,16	3,354	3,354	3,152	2,066	0,857	0,857	0,889	0,663
	6	1,50	3,263	3,222	3,080	2,426	0,891	0,723	0,668	0,696
	8	1,87	5,908	5,908	5,360	3,905	1,764	1,764	1,861	1,419
	10	2,05	6,844	6,844	5,992	4,348	2,180	2,180	2,049	1,576
A₃	4	1,16	3,159	3,159	3,097	1,943	0,792	0,792	0,882	0,665
	6	1,50	3,555	3,371	3,062	2,324	0,849	0,775	0,688	0,693
	8	1,87	5,473	5,473	5,069	3,831	1,750	1,750	1,827	1,443
	10	2,05	6,409	6,409	6,011	5,115	1,927	1,927	2,017	2,063
A₄	4	1,16	3,204	3,204	3,042	1,852	0,833	0,833	0,816	0,550
	6	1,50	3,737	3,408	2,966	1,958	0,573	0,615	0,690	0,635
	8	1,87	5,525	5,525	5,146	4,538	1,716	1,716	1,846	1,860
	10	2,05	5,518	5,518	5,221	3,711	1,991	1,991	2,069	1,507
A₅	4	1,16	3,178	3,178	3,101	2,123	0,802	0,802	0,792	0,691
	6	1,50	3,256	3,204	2,836	1,824	0,845	0,753	0,713	0,608
	8	1,87	5,089	4,992	4,519	3,025	1,744	1,404	1,583	1,185
	10	2,05	5,310	5,310	4,919	3,585	2,176	2,176	2,068	1,673
A₆	4	1,16	2,931	2,931	2,795	2,012	1,091	1,091	0,950	0,749
	6	1,50	3,308	3,187	2,936	2,004	0,709	0,769	0,814	0,679
	8	1,87	3,978	3,720	3,313	1,625	0,837	0,793	0,792	0,635
	10	2,05	4,862	4,626	3,936	1,900	0,831	0,929	1,140	0,723

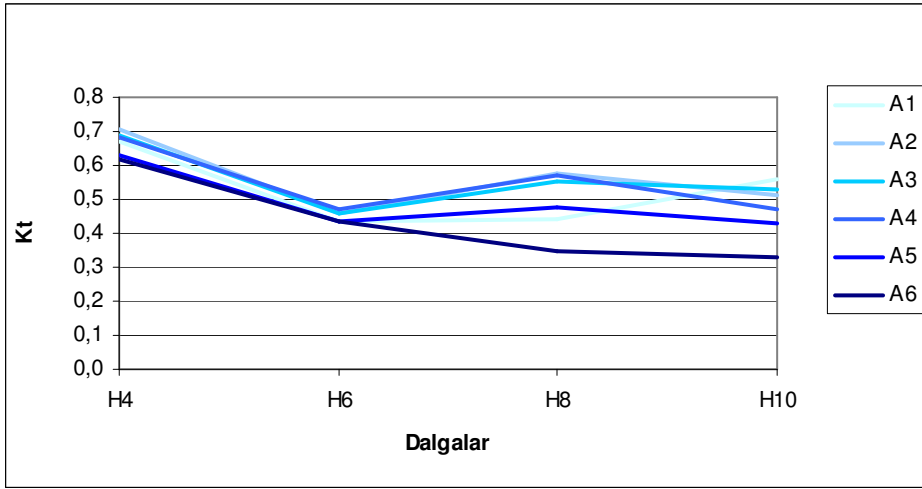
Çizelge 4.15. Plaka altında dikdörtgen levha olması durumunda dalga geçirgenliği ölçüm değerleri.

Ölçüm Serileri	Yükseklik H (cm)	Periyot T (S)	Hmax (cm)	H1/10 (cm)	H1/3 (cm)	Hbar (cm)	Tmax (s)	T1/10 (s)	T1/3 (s)	Tbar (s)
A₅₅	4	1,16	2,938	2,938	2,852	1,874	0,859	0,859	0,901	0,663
	6	1,50	3,276	3,207	2,714	2,007	0,550	0,590	0,668	0,700
	8	1,87	5,271	4,592	3,285	2,245	1,743	1,808	0,942	0,925
	10	2,05	5,037	5,021	4,027	2,428	2,061	1,989	1,390	1,007
A₆₆	4	1,16	2,457	2,457	2,446	1,938	0,660	0,660	0,963	0,817
	6	1,50	3,172	3,083	2,859	2,052	0,782	0,782	0,789	0,629
	8	1,87	3,549	3,308	3,019	2,119	0,803	0,745	0,693	0,834
	10	2,05	4,713	4,160	3,521	1,979	0,750	0,813	0,778	0,702

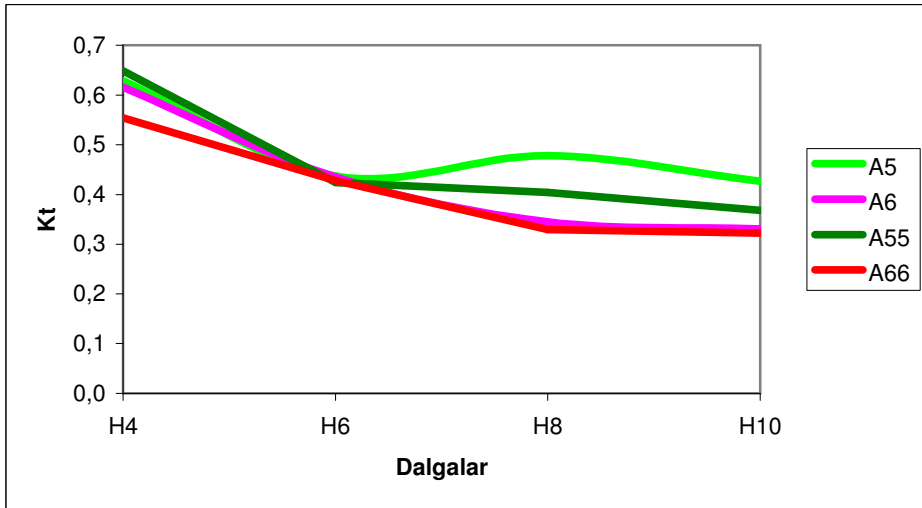
Plaka altında üçgen levha olması durumunda alternatif ölçüm serilerinde dalga geçirgenliğinin karşılaştırılması Şekil 4.28’de, Plaka altında üçgen levha veya dikdörtgen levha olması durumunda dalga geçirgenliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.29’da, plaka altında üçgen levha olması durumunda alternatif ölçüm serilerinin periyot geçirgenliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.30’da, plaka altında üçgen veya dikdörtgen levha olması durumunda periyot geçirgenliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. Dalga geçirgenliği ölçüm sonuçları.

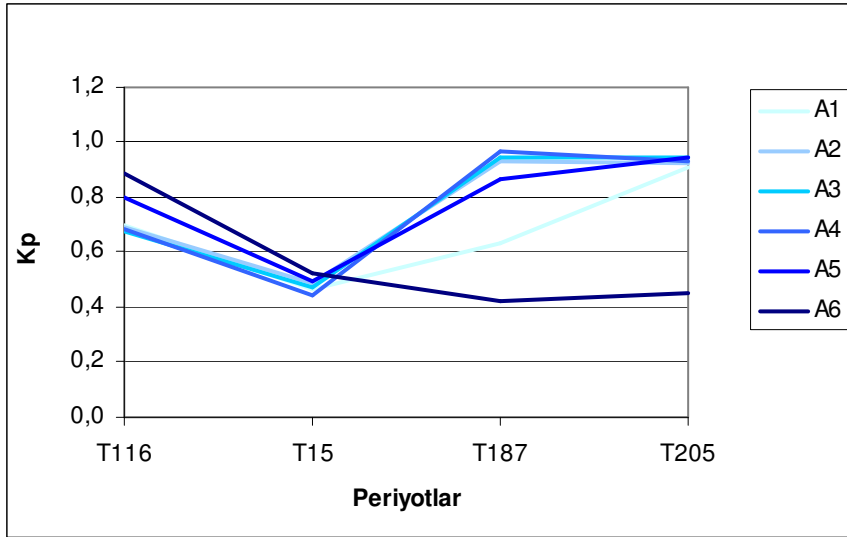
Ölçüm Serileri	Yükseklik H (cm)	Periyot T (s)	Geçen dalga Yüksekliği Ht (cm)	Geçen Periyot Yüksekliği Tt (s)	Dalga Geçirgenliği Katsayısı Kt	Periyot Geçirgenliği Katsayısı Kp
A ₁	4	1,16	2,823	0,809	0,673	0,701
	6	1,50	2,858	0,694	0,438	0,466
	8	1,87	4,033	1,166	0,443	0,636
	10	2,05	6,239	1,886	0,560	0,912
A ₂	4	1,16	2,969	0,800	0,708	0,693
	6	1,50	2,987	0,729	0,458	0,490
	8	1,87	5,237	1,702	0,576	0,928
	10	2,05	5,683	1,903	0,510	0,920
A ₃	4	1,16	2,889	0,785	0,689	0,680
	6	1,50	3,005	0,708	0,461	0,476
	8	1,87	5,010	1,735	0,551	0,946
	10	2,05	5,919	1,959	0,531	0,947
A ₄	4	1,16	2,866	0,786	0,683	0,681
	6	1,50	3,052	0,666	0,468	0,447
	8	1,87	5,188	1,771	0,570	0,966
	10	2,05	5,240	1,928	0,470	0,932
A ₅	4	1,16	2,638	0,924	0,629	0,801
	6	1,50	2,849	0,735	0,437	0,494
	8	1,87	4,347	1,583	0,478	0,863
	10	2,05	4,754	1,953	0,427	0,944
A ₆	4	1,16	2,584	1,020	0,616	0,884
	6	1,50	2,839	0,775	0,435	0,521
	8	1,87	3,141	0,772	0,345	0,421
	10	2,05	3,687	0,931	0,331	0,450
A ₅₅	4	1,16	2,721	0,836	0,648	0,725
	6	1,50	2,769	0,645	0,425	0,433
	8	1,87	3,675	1,292	0,404	0,704
	10	2,05	4,102	1,593	0,368	0,771
A ₆₆	4	1,16	2,325	0,775	0,554	0,672
	6	1,50	2,792	0,746	0,428	0,501
	8	1,87	2,999	0,769	0,330	0,419
	10	2,05	3,593	0,761	0,323	0,368



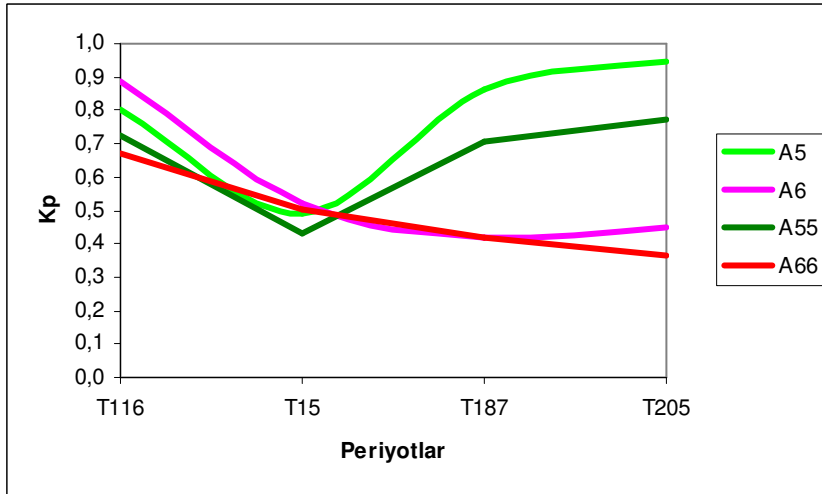
Şekil 4.28. Alternatif ölçüm serilerinin dalga geçirgenliklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.29. Plaka altında üçgen levha ile dikdörtgen levha olması durumunda dalga geçirgenliklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.30. Plaka altında üçgen levha olması durumunda alternatif ölçüm serilerinin periyot geçerliliklerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.31. Plaka altında üçgen levha ile dikdörtgen levha olması durumunda periyot geçerliliklerinin karşılaştırılması.

Deney sonuçlarına göre plaka altındaki açıklığın kapatılmasında $H=2\text{cm}$, $H=4\text{cm}$ ve $H=6\text{ cm}$ 'lik dalga yüksekliğine kadar olan dalgalarda, dalga sönümlenmesi benzer şekilde ve $K_t= 0.45$ civarında sağlanmaktadır. $H=10\text{ cm}$ 'lik dalga yüksekliğinde plaka altındaki açıklığın daraltılması dalga sönümünü artırmaktadır. Büyük dalga boylarında açıklık azaldıkça dalga sönümü artmaktadır. Plaka altında üçgen levha veya dikdörtgen levha kullanılması durumunda karşılaştırma yapıldığında dikdörtgen levhanın üçgen levhadan küçük mertebede daha iyi sönüm yaptığı gözlemlenmektedir. Açıklık oranlarının, sönümde küçük bir etkisi olmakla birlikte plakanın sönüme etkisi büyük dalga boylarında daha fazla olmaktadır.

4.6. Verim Analizi

Dalga enerjisi dönüşüm cihazı olarak plakanın verimi denklem 3.3'de belirtildiği şekilde;

$$\eta_s = \frac{P_{akı m}}{P_{dalga}} = \frac{\frac{1}{2} \rho h_a b_a V_x^3}{\frac{1}{16} \rho g H_i^2 \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\text{Sinh}\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right] \frac{L}{T} b_a}$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Alternatif ölçüm serilerine göre plaka altındaki açıklık oranları Çizelge 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Plaka altındaki açıklık oranları.

Ölçüm Serileri	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₅₅	A ₆₆
Plaka altındaki açıklığın yüksekliği, h (cm)	52	42	32	22	12	2	12	2
Açıklık oranı χ (%)	0,87	0,70	0,53	0,37	0,20	0,03	0,20	0,03

Tüm ölçüm serilerinde plaka altında düşey ve yatay merkezde dalga geliş yönünün tersi yönünde ölçülen maksimum hızlar Çizelge 4.18’de, alternatif ölçüm serilerine göre elde edilen verim değerleri Çizelge 4.19’da gösterilmektedir.

Çeşitli dalga yükseklikleri ve periyotlara göre çizilen verim grafikleri Şekil 4.32- 4.36’da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre plaka altının tamamen boş olması durumunda maksimum verim %5.41 olarak bulunmuştur. Bu düşük değer plaka altına yapılacak yapılarla yükseltilebilir. En büyük verim değeri plaka altında dikdörtgen levhanın bulunduğu A₅₅ ölçüm serisinde elde edilmiş olup verim %60.47’dir.

Düşük periyotlu dalgalarda tüm yükseklikler için düşük verim değerleri elde edilmiştir. En yüksek verim değeri T=1.87 s periyodunda elde edilmiştir. Netice itibari ile en iyi sistem verimi T=1.87 s periyodunda elde edilmiştir. H=2cm yüksekliğindeki dalgalar için en yüksek verim değerleri plaka altında dikdörtgen levha olduğu A₆₆ ölçüm

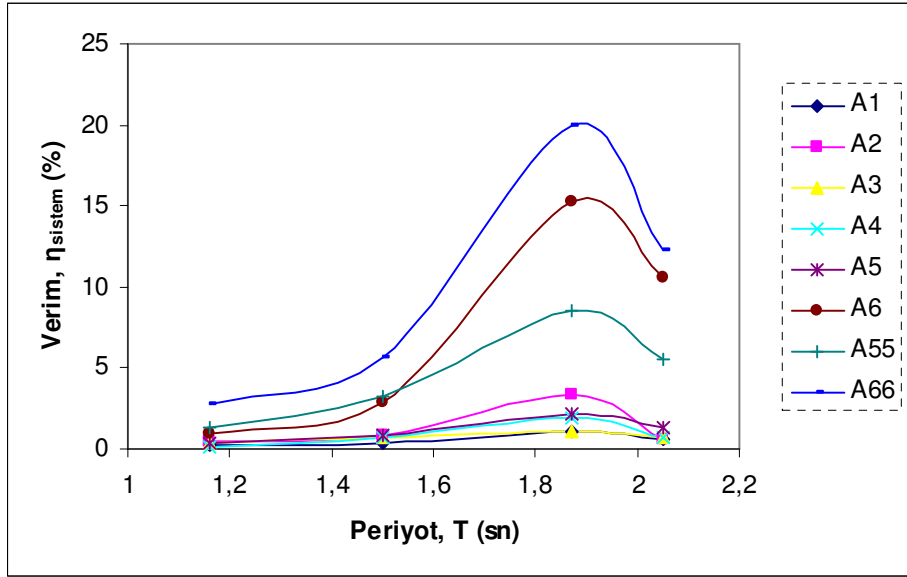
serisinde, $H=4-6-8-10$ cm yüksekliğindeki dalgalar için en yüksek verim değerleri ise; $T=1.87$ s periyodunda plaka altında dikdörtgen levha olduğu durum olan A_{55} ölçüm serilerinde elde edilmiştir. En düşük verimler ise $H=2-8$ cm'lik dalgalar için A_4 ölçüm serisinde, $H=4-6-10$ cm'lik dalgalar için ise A_1 ölçüm serisinde oluşmaktadır.

Çizelge 4.18 Plakanın altında düşey ve yatay merkezinde ölçülen maksimum (dalga geliş yönünün tersi yönündeki) hızlar

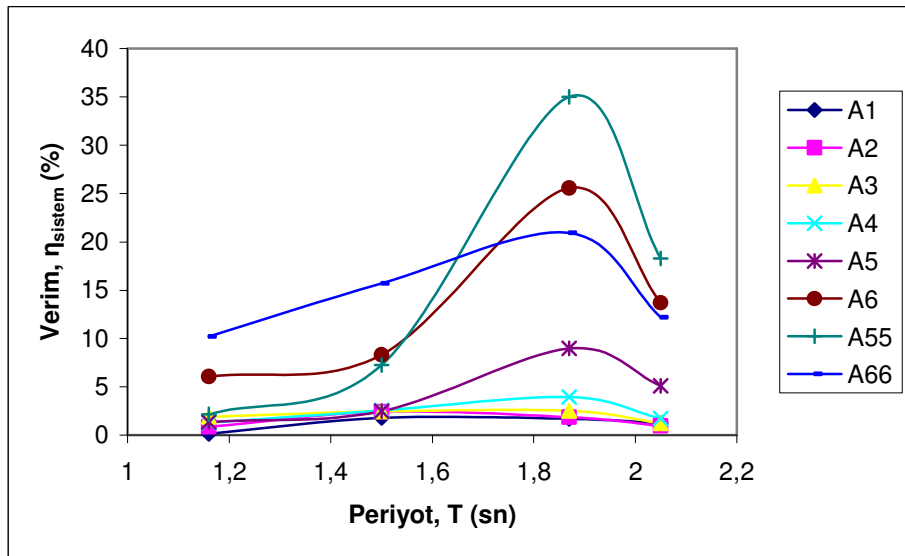
Yükseklik H(cm)	Periyot T (s)	Dalga boyu L (cm)	Ölçüm Serileri							
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A55	A66
2	1,16	200	1,490	2,160	2,100	1,740	3,100	7,740	4,700	10,800
4	1,16	200	3,775	4,200	6,000	6,000	7,460	22,300	8,700	26,500
6	1,16	200	5,560	6,900	7,860	9,800	12,500	31,900	12,300	37,800
8	1,16	200	7,200	9,040	10,240	13,000	17,160	43,240	16,900	48,700
10	1,16	200	10,085	12,260	12,740	15,240	22,340	53,240	27,860	49,860
2	1,50	297	2,475	3,440	3,540	3,900	5,100	14,100	8,140	17,640
4	1,50	297	6,415	7,640	8,400	9,640	11,700	31,800	16,700	39,300
6	1,50	297	9,440	10,500	12,200	15,900	17,740	53,500	26,300	56,200
8	1,50	297	12,685	15,400	15,900	22,140	27,760	63,860	34,100	65,740
10	1,50	297	15,215	18,400	21,300	28,700	32,700	79,140	49,260	76,060
2	1,87	396	4,085	6,540	4,900	6,660	8,560	29,800	13,500	32,560
4	1,87	396	7,650	8,460	10,240	13,500	21,740	56,060	34,240	52,440
6	1,87	396	11,385	13,040	16,640	20,460	36,840	75,300	53,760	67,300
8	1,87	396	16,740	17,740	19,600	28,600	52,000	88,860	64,260	81,140
10	1,87	396	20,640	22,300	27,660	32,660	54,300	102,400	73,440	100,600
2	2,05	451	3,740	4,060	4,560	5,200	7,900	28,500	12,600	29,940
4	2,05	451	7,410	7,400	8,800	11,100	19,500	49,340	29,900	47,440
6	2,05	451	10,025	11,160	14,240	16,440	32,400	65,740	43,240	62,100
8	2,05	451	13,650	16,200	18,260	24,700	51,360	80,700	58,400	73,500
10	2,05	451	18,410	21,260	23,060	31,060	57,040	95,100	70,260	87,300

Çizelge 4.19. Plakanın dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması durumundaki verimler (%)

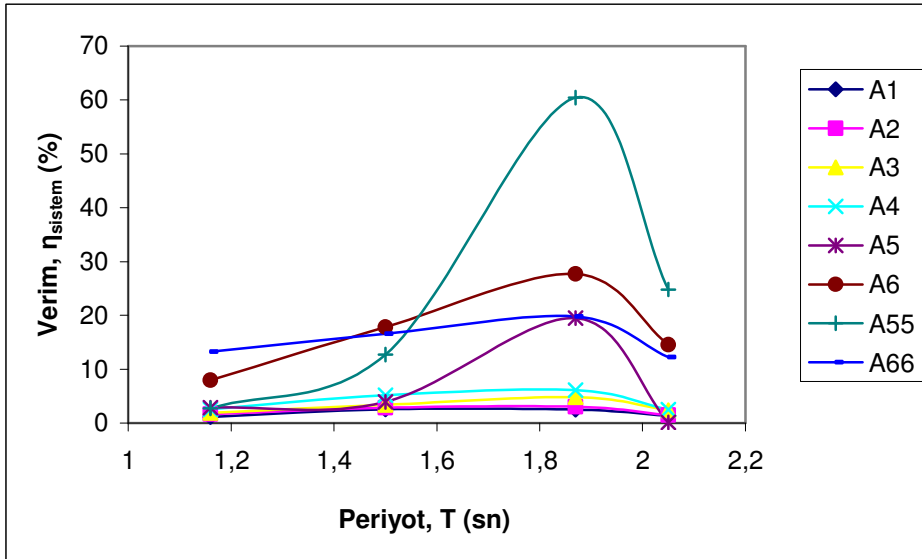
Yükseklik H(cm)	Periyot T (s)	Dalga boyu L (cm)	Ölçüm Serileri							
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₅₅	A ₆₆
2	1,16	200	0,190	0,460	0,320	0,130	0,390	1,010	1,360	2,740
4	1,16	200	0,120	0,850	1,890	1,300	1,360	6,070	2,160	10,190
6	1,16	200	1,100	1,690	1,900	2,540	2,870	7,950	2,740	13,230
8	1,16	200	1,320	2,110	2,340	3,290	4,120	10,990	3,940	15,700
10	1,16	200	2,320	3,370	2,880	3,390	5,820	13,130	11,290	10,780
2	1,50	297	0,400	0,870	0,720	0,670	0,810	2,860	3,300	5,590
4	1,50	297	1,780	2,420	2,450	2,550	2,490	8,320	7,240	15,710
6	1,50	297	2,550	2,830	3,380	5,150	3,900	17,830	12,710	20,660
8	1,50	297	3,460	5,000	4,190	7,790	8,370	16,980	15,520	18,530
10	1,50	297	3,930	5,620	6,640	11,170	9,010	21,290	30,810	18,900
2	1,87	396	1,030	3,400	1,090	1,880	2,180	15,310	8,540	19,970
4	1,87	396	1,690	1,850	2,500	3,930	8,960	25,590	34,990	20,950
6	1,87	396	2,490	2,020	4,780	6,110	19,460	27,700	60,470	19,780
8	1,87	396	4,580	4,400	4,520	9,660	31,670	26,340	59,760	20,050
10	1,87	396	5,410	5,520	8,020	9,080	22,750	25,430	56,280	23,730
2	2,05	451	0,620	0,640	0,690	0,710	1,350	10,580	5,490	12,270
4	2,05	451	1,210	0,970	1,240	1,720	5,080	13,700	18,300	12,180
6	2,05	451	1,340	1,490	2,360	2,500	0,104	14,530	24,820	12,250
8	2,05	451	1,900	2,560	2,790	4,750	5,850	8,150	13,910	6,870
10	2,05	451	2,910	3,620	3,520	5,910	19,970	15,420	37,310	11,930



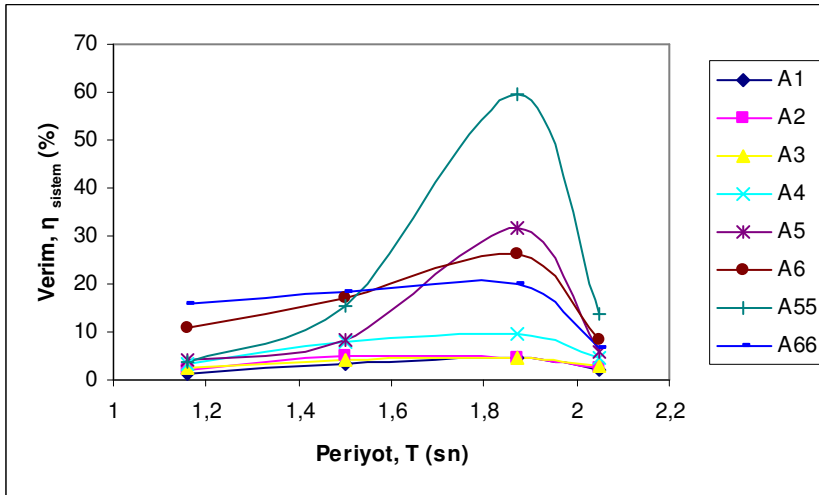
Şekil 4.32. Sistemin H=2 cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.



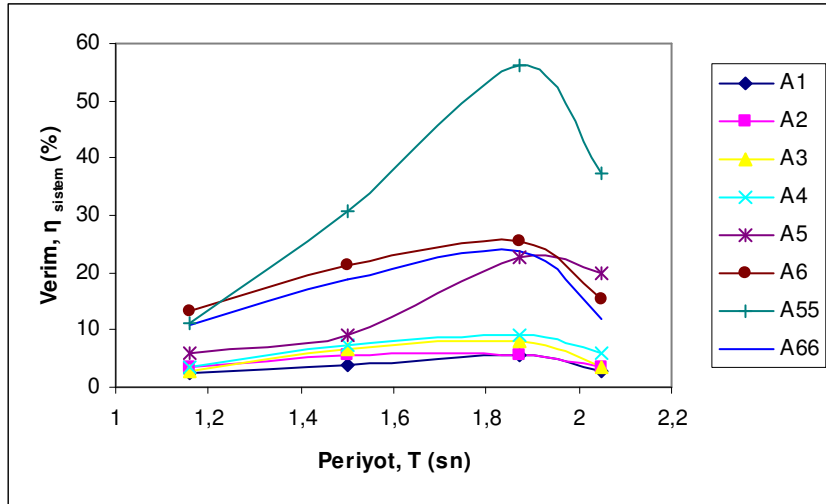
Şekil 4.33. Sistemin H=4 cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.



Şekil 4.34. Sistemin $H=6$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.



Şekil 4.35. Sistemin $H=8$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.



Şekil 4.36. Sistemin $H=10$ cm dalga yüksekliği için çeşitli periyotlara karşılık gelen verim değerleri.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu doktora çalışması kapsamında yapılan araştırmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Dünyada alternatif enerji kaynaklarından olan yenilenebilir enerji türü olan dalga enerjisinin gün geçtikçe önem kazandığı, bu büyük gücün kullanılabilir enerji olarak temini için çeşitli enerji dönüşüm sistemleri tasarlandığı ve bunların azımsanamayacak sayıda (yaklaşık olarak 1000'in üzerinde) patentlerinin alındığı tespit edilmiştir.

- Bir bölgedeki dalga etkinliğinin indirgenebilmesi için gelen dalga enerjisinin yansıtılarak geri çevrilmesi ve/veya bir başka şekile dönüşerek sönmülenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemi yerine getiren sistemlerden dalgakıran olarak istifade edilmesine ek olarak dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak yararlanılması da mümkündür (Ippen, 1966; Akyarlı'dan, 1980). Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda batık plaka altında kayda değer akım hızları ölçülmüştür.

- Batık plaka altında, plaka boyuna ve orijinal enerji salınımının derinliğe dağılmasına bağlı olarak dalga yayılımının tersi yönde güçlü bir titreşimli/atılımlı bir akıntı oluştuğu gözlemlenmiştir.

- Çalışma kapsamında yapılan deneylerde ölçülen hızların değerleri aynı dalga parametreleri kullanılarak nümerik olarak hesaplanmış ve ölçülen hız değerleri ile hesaplanan hız değerlerinin çok büyük yaklaşıklıkla yakın oldukları tespit edilmiştir.

- Plaka altında üçgen levhalı ölçüm serilerinde plakanın düşey ve yatay merkezinde yapılan hız ölçümlerinin incelenmesinde plaka altında

kalan açıklığın azaltılması ile hızların arttığı, aynı periyotlu dalgalarda dalga yüksekliği arttıkça hızlarda artma meydana geldiği ve aynı şekilde dalga yüksekliği ile periyotların artmasıyla hızlarda artış olduğu, ölçüm serileri içerisinde ters akımın olduğu yönde (dalga geliş yönünün tersi yön) maksimum hız değerlerinin $H= 10$ cm dalga yüksekliğine $T = 1,87$ s periyoduna sahip dalgalarda elde edildiği , dalga geliş yönünde elde edilen maksimum hızların ise $H= 10$ cm dalga yüksekliğine ve $T= 2,05$ s periyoduna sahip dalgalarda elde edildiği tespit edilmiştir.

- Plakanın ön ve arka noktalarında yapılan hız ölçümlerinde; plaka arka bölgesinde -9 kotunda dalga ilerleme yönündeki (maksimum) hızların, dalga ilerleme yönünün tersi yöndeki (minimum) hızlara göre büyük olduğu tespit edilmiştir. Plaka çevresinde oluşan akım nedeniyle, plaka arkasında dalganın plakayı aştıktan sonra düşmesiyle ve o bölgede oluşan çivrintiden dolayı yüzeye yakın -9 kotunda dalga yönünde daha büyük hıza, yüzeyden daha derinde olan -14 kotunda çivrinti nedeniyle ters yönde daha büyük hıza sahip olduğu belirlenmiştir.

- Plaka altında üçgen levha ile dikdörtgen levha alternatifleri karşılaştırıldığında plaka altındaki levhanın dikdörtgen levha olarak dizayn edildiği A_1 , A_2 , A_3 , A_4 ve A_5 ölçüm serilerindeki açıklığa kadar olan durumlarda ölçülen ters akıntı hızlarının yaklaşık %25 civarında, dalga yönündeki akıntı hızının ise yaklaşık %3 civarında arttığı, plaka ile levha arasındaki açıklığın dar olduğu A_6 ölçüm serisinde plaka altındaki levhanın üçgen levha olarak dizayn edilmesi durumunda ters akıntı hızının yaklaşık %1 civarında, dalga yönündeki akıntı hızının ise yaklaşık %35 civarında arttığı tespit edilmiştir.

- Ölçülen hız değerlerine göre sistemin verimi incelendiğinde; plaka altının tamamen boş olması durumunda maksimum verim %5.41 olarak bulunmuştur. Bu düşük değerin plaka altına yapılacak konstrüksiyonlarla arttığı gözlemlenmiş, en büyük verim değeri plaka altında dikdörtgen levhanın bulunduğu A₅₅ ölçüm serisinde elde edilmiş olup verim %60.47'dir.

- Düşük periyotlu dalgalarda tüm yükseklikler için düşük verim değerleri elde edilmiştir. En yüksek verim değeri T= 1.87 s periyodunda elde edilmiştir.

- H= 2 cm yüksekliğindeki dalgalar için en yüksek verim değerleri plaka altında dikdörtgen levha olduğu A₆₆ ölçüm serisinde, H= 4-6-8-10 cm yüksekliğindeki dalgalar için en yüksek verim değerleri ise T= 1.87 s periyodunda plaka altında dikdörtgen levha olduğu durum olan A₅₅ ölçüm serisinde elde edilmiştir.

- En düşük verimler ise H= 2-8 cm'lik dalgalar için A₄ ölçüm serisinde, H= 4-6-10 cm'lik dalgalar için ise A₁ ölçüm serisinde elde edilmiştir.

- Deney sonuçlarına göre sistemin dalga sönümü incelendiğinde; plaka altındaki açıklığın kapatılmasında H= 2 cm, H= 4 cm ve H= 6 cm'lik dalga yüksekliğine kadar olan dalgalarda, dalga sönümlemesinin benzer şekilde ve K_t= 0.45 civarında olduğu tespit edilmiştir. H=10 cm'lik dalga yüksekliğinde plaka altındaki açıklığın daraltılması dalga sönümünü artırmaktadır. Büyük dalga boylarında açıklık azaldıkça dalga sönümü artmaktadır. Plaka altında üçgen levha veya dikdörtgen levha kullanılması durumunda karşılaştırma yapıldığında dikdörtgen levhanın

üçgen levhadan küçük mertebede daha iyi sönüm yaptığı gözlemlenmektedir. Açıklık oranlarının, sönümde küçük bir etkisi olmakla birlikte plakanın sönüme etkisi büyük dalga boylarında daha fazla olmaktadır.

- Batık plakalı sistemin optimizasyonundaki amaç dalga sönümünün gerçekleşmesi ve atılımlı akımın hızlanmasıdır. Başka bir ifadeyle plakanın batma derinliği, mümkün olan en küçük levha boyunda, en büyük hasar oluşturma potansiyeline sahip dalgaların sönümünü en fazla sağlayacak şekilde seçilmelidir (Graw, 1995).

- Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda; sistemin verimi %3 olarak hesaplanmıştır (Graw, 1995). Bu çalışmada, plaka altında dikdörtgen levha kullanılması durumunda, A_{55} ölçüm serisinde $H=6$ cm yüksekliğinde ve $T=1,87$ s periyodunda %60,470 verim değerine ulaşılmıştır.

- Sistemden dalga yüksekliğini indirgeyen bir su altı dalgakıranı ve aynı zamanda dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak yararlanılabilecektir.

- Konu ile ilgili olarak yapılan bu çalışma ile; değişik dalga parametreleri, değişik plaka boyu ve değişik batma derinliklerinin kombinasyonlarının denenmesiyle plaka altındaki hız ve dolayısıyla verim değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, daha fazla kombinasyonların değerlendirilmesi sistemin geliştirilmesinde ve dizaynında daha gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akyarlı, A.**, 1980, Prizmatik Yüzen Dalgakıran Dalga İndirgeme Etkinliklerinin Sonlu Farklar Yöntemiyle Analizi, Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi, 180 s. (yayımlanmamış).
- Aoyama T, Isobe M, Izumiya T, Watanabe A.**, 1988, Study on wave control in offshore region using a submerged plate, 35th Japanese Conference on Coastal Engineering , Japan, pp.507-511.
- Aytek, A., Özger, M. ve Altunkaynak, A.**, 2002, Dalga enerjisi için gerekli parametreler, *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Kitapçığı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2:589-601
- Anonim**, 2002, Okyanus dalgalarından enerji üretimi, Termodinamik dergisi
- Anonim**, 2003, Deniz dalga enerjisi, The maritimeclub web sitesi haber arşivi : <http://www.maritimeclub.com>
- Anonim**, 2006, Avrupa patent ofisi web sitesi : <http://ep.espacenet.com/wavepowerplant>.
- Anonim**, 27-28 Nisan 2006 tarihli Milliyet Gazetesi
- Bak, U.**, 2003, Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisine Dönüşüm Sistenleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 70s. (yayımlanmamış).
- Balasubramanian T.**, 1976, Wave transmission characteristics of a submerged horizontal plate, Department of Civil Engineering, Indian Institut of Technology, Madras.
- Bowley, W.W.**, 1974, A Wave Barrier Concept. Newport, Proc.of the Floating Breakwaters Conf., Rhode Island, 91-112 p.
- Burke JE.**, 1964, Scattering of surface waves on an infinitely deep fluid, Journal of Mathematical Physics, Vol.5, No.6, pp.805-819,
- Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Neilsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström, B.O., Sorensen, H.C., Thorpe, T.**, 2002, Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 405-431.

KAYNAKLAR(devam)

- Çokan, M.**, 2003, Dalga enerjisi (Dalga elektrik santralleri), *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kitapçığı*, 1(439):118-125.
- Dattari J, Jothi Shankar J, Raman H.**, 1977. Laboratory investigations of submerged platform breakwaters, Proc.: 17th Int. IAHR-Congress, Karlsruhe, pp.89-96.
- Dick, T.M.**, 1968, On Solid and Bermeable Submerged Break Waters, Ph.D.Dissertation, Queen's University at Kingston, Kanada.
- Durgin WW, Shiau JC.**, 1975, Wave induced pressures on submerged plates, Journal of the Waterwaves, Harbors and Coastal Engineering Division, pp.59-71.
- Eral, M.**, 1998, Tubitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları platformu, Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Ergin, A.**, 2005, Kıyı mühendisliği, 5. *Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu Kitapçığı*, İnşaat Mühendisleri Odası, 1(618):3-6.
- Graw KU, Kaldenhoff H, Stieglmeier M**, 1989, An explanation of wave energy transmission around permeable breakwaters based on turbulence and resonance, Proc.: 23rd Int. IAHR-Congress, Ottawa, pp.A347-A354.
- Graw KU, Kaldenhoff H, Stieglmeier M.**, 1989 The use of flow visualization for the explanation of wave energy transmission around permeable breakwaters, Proc.: modern Techniques and Measurements in Fluid Flows, Beijing, pp.311-315.
- Graw, K.-U.**, 1992, The submerged plate as a wavefilter : the stability of the pulsating flow phenomenon, 23rd. International Coastal Engineering Conference
- Graw, K.-U.**, 1993, Shore protection and electricity by submerged plate wave energy converter, *European Wave Energy Symposium*, Edinburgh-U.K., 379-384
- Graw, K.-U.**, 1994, Is the submerged plate wave energy converter ready to act as a new coastal protection system, XXIV Convegno DI Idraulica E Costruzioni Idrauliche, Napoli.

KAYNAKLAR(devam)

- Graw, K.-U.**, 1995, Wellenenergie-Ein hydromechanische Analyse, Institut für Grundbau, Abfall-und Wasserwesen, Bergische Universität-Gesamthochschule wuppertal, ISSN0179-9444, 332p.
- Greene TR, Heins AE.**, 1953, Water waves over a channel of infinite depth, Quarterly Journal of Applied Mathematics, Vol11, No.2, pp.201-216.
- Guevel P, Landel E, Bouchet R, Manzone JM.**, 1985, Le phenomene d'un mur oscillant et son application pour proteger un site cotier soumis a l'action de la houle, Bulletin de l'Association Technique Maritime et Aeronautique, Vol.85, pp.229-245,
- Hattori M., Matsumoto H.**, 1977 Hydraulic performance of a submerged horizontal plate breakwater, 24th Japanese Conference on Coastal Engineering, pp.266-270, (in Japanese).
- Heins AE.**, 1948, Water waves over a channel of finite depth with a dock, American Journal of Mathematics, Vol.70, pp.730-748.
- Hoeborn, G.**, 1986, Einfluss einer starren horizontalen getauchten Platte auf Wellen, Wuppertal : Mitteilung Nr.2 des Lehr- und Forschungsgebietes Waerbau und Wasserwirtschaft, Bergische Universität-GH Wuppertal. 111p.
- Ippen, A.T.**, 1966, Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Company, NewYork, 743p.
- Jun, J., Kish, D., Kulaga, J., Lee, Y., Merris, W., Park, S., Zadlo, K.**, 1990, Alternate Power Generation Methodologies, TR-EE 90-61.
- Kaldenhoff H, Fischer C.**, 1988, Transfer of wave energy around structures-illustrated for a horizontal plate, Proc.: Int. Conference on Computational Methods in Flow Analysis, Vol.2, Okayama University of Science, Okayama, pp.777-784.
- Klietsch, S.**, 1993, Labormessungen zu den Möglichkeiten der Beeinflussung des Wirkungs-grades des Plattenwellen-brechers durch Veränderung der Plattenumströmung, Diplomarbeit, Wasserbau und Wasserwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal.

KAYNAKLAR(devam)

- Klietsch, S.**, 2000, Obstruction limits beneath the submerged horizontal plate wave filter, Proc: 26th Int. IAHR-Congress, Canada.
- Kojima H, Ijima T, Yoshida A.**, 1990, Decomposition and interception of long waves by a submerged horizontal plate, 22nd Coastal Engineering Conference, ASCE, Delft, pp.1228-1241
- Kojima H, Yoshida A, Ijima T.**, 1992, Second-Order interactions between waves and a submerged horizontal plate, 23rd Coastal Engineering Conference, ASCE, Venice.
- Liu PLF, Iskandarani M.**, 1989, Hydrodynamic wave forces on submerged horizontal plate, International Association for Hydraulic Research, XXIII Congress, Ottawa, pp.57-64.
- Mc Cormick, M.E.**, 1973, Ocean Engineerings Wave Mechanics Wiley-Interscience Publication, NewYork.
- Mc Cormick, M.E.**, 1981, Ocean Wave Energy Conversion, Wiley-Interscience Publication, Maryland, 233p.
- Meral, V.**, Liman ve Kıyı Yapı Notları, T.C.Bayındırlık Bakanlığı Limanlar İnşaatı İzmir Bölge Müdürlüğü, Seri No:17, İzmir, 176s.
- Neelamani S, Reddy MS.**, 1992. Wave transmission and reflection characteristics of a rigid surface and submerged horizontal plate, Ocean Engineering, Vol19, No.4, pp.327-341.
- Örer, G.**, 1998, Deniz ve Kıyı Yapılarına Tesir Eden Hidrodinamik Kuvvetlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 138 s. (yayımlanmamış).
- Örer, G., Gürsel, T., Özdamar, A., Özbalta, N.**, 2003, Dalga enerjisi tesislerine genel bakış, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, 1(439):126-140.
- Özdamar, A.**,2000, Dalga enerjisinden elektrik enerjisi eldesi üzerine bir araştırma : Çeşme örneği, *Su Ürünleri Dergisi*, 17:201-213.
- Özdamar, A.**,2000, Dalga Enerjisi Tesisleri, Yayımlanmamış Ders Notları, İzmir.

KAYNAKLAR(devam)

- Özdamar, A.**,2001, Rüzgar enerji ve rüzgar türbinlerine genel bakış, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, 1(331): 242-254.
- Patarapanich M.**, 1978, Wave reflection from a fixed horizontal plate, International Conference on Water Resources Engineering, Bangkok, pp.427-446
- Patarapanich M., Sylvester R.**, 1984, Optimum conditions for a submerged platform breakwater, 4th Congress-Asian and Pacific Division International Association for Hydraulic Research Chiang-Mai-Thailand.
- Patarapanich M., Cheong HF.**, 1989, Reflection and transmission characteristics of regular and random waves from a submerged horizontal plate, Coastal Engineering, Vol.13, pp.161-182.
- Pelc, R., Jujita, R.M.**, 2002, Renewable Energy from the Ocean, Marine Policy 26, 471-479p.
- Sabuncu, T.**, 1983, Gemi Hareketleri, İTÜ kütüphanesi, No:1248, İstanbul, 412s.
- Sendil U, Graf WH.**, 1974, Transmission of regular waves past floating plates, 14th Coastal Engineering Conference, Copenhagen, pp.1924-1936.
- Shore Protection Manual**, 1984, Vol.1-2, Department of the Army, Coastal Engineering Research Center, U.S. Government Printing Office, Washington.
- Siew PF, Hurley DG.**, 1977, Long surface waves incident on a submerged horizontal plate, Journal of Fluid Mechanics, Vol.83, pp.141-151.
- Silvester R.**, 1973, Submerged platform breakwaters, 1st Australian Conference on Coastal Engineering, Sydney, pp.182-189.
- Taşpınar, N.**, 1980, Dalga Teorisi, Ege Üniversitesi Makina Fakültesi, İzmir, 100s.
- Taşpınar, N.**, 1997, Kıyı ve Limanlar, Yayımlanmamış Ders Notları, İzmir.

KAYNAKLAR(devam)

- TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi**, 2001, Ulusal enerji politikaları, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, 1(331):1-11.
- TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası**, 2003, Enerji politikaları ve çözüm önerileri, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, 1(439):1-18.
- Ün, Ü.T.**, 2003, Dalga enerjisi teknolojisi, ekonomisi, çevresel etkisi ve dünyadaki durumu, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, 1(439):109-117.
- Yu X, Isobe M, Watanebe A.**, 1990, Numerical simulation of nonlinear wave transformation over a submergd plate, 22nd International Conference on Coastal Engineering, Delft, Holland, pp.136-149.
- Yueh CY, Kou YY.**, 1993, The nonlinear wave effects by a submerged horizontal plate to the vertical wall, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.31, No.5, pp.651-664.
- Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y.**, 1998, Kıyı ve Liman Mühendisliği, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Alaz Ofset, Ankara, 401s.

ÖZGEÇMİŞ

Gürkan ÖRER, 01.10.1969 yılında İzmir’de doğdu. İlköğrenimini Bostanlı Mustafa Reşit Paşa İlkokulu’nda, Orta ve Lise öğrenimini Karşıyaka Gazi Lisesi’nde 1986 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 1991 yılında mezun oldu. 1991 – 1997 yılları arasında sıra ile; Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları 3. ve 2. Bölge Müdürlükleri’nde Mühendis olarak görev yaptı. 1998 yılında “Deniz ve Kıyı Yapılarına Tesir Eden Hidrodinamik Kuvvetlerin Belirlenmesi” tez konulu Yüksek Lisans öğrenimini Prof. Dr. Nihat TAŞPINAR danışmanlığında tamamladı. 1997 yılında Deniz Kuvvetlerine katılarak, İzmir Bölgesi’ndeki çeşitli Birlik’lerde mühendis olarak görev yaptı. Halen Milli Savunma Bakanlığı İzmir İnşaat Emlak ve NATO Enfrastrüktür Bölge Başkanlığında yapı denetim görevlisi olarak görevine devam etmektedir.