



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

BİR DALGA ENERJİSİ KONVERTÖR SİSTEMİNDE
GÜÇ OPTİMİZASYONU

İBRAHİM BİLGİÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

TEMMUZ-2011

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DALGA ENERJİSİ KONVERTÖR SİSTEMİNDE GÜÇ OPTİMİZASYONU

İBRAHİM BİLGİÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU danışmanlığında hazırlanan bu tez 05/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Selçuk Mıstıkoğlu
Başkan

Doç.Dr. Hakan Yavuz
Üye

Yrd.Doç.Dr. Ersin Özdemir
Üye

Bu tez Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr.Hüseyin GÖZÜBENLİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. DEK Sistemleri İçin Dalgalar ve Özellikleri.....	29
2.1.1. Dalgaların Oluşumu, Yayılması ve Çeşitleri	29
2.1.2. Dalga Hareketinin Temel Değişkenleri.....	36
2.1.3. Dalgaların Üst Üste Binmesi ve Girişimi	41
2.1.4. Sinüsel ve Sinüsel Olmayan Dalgalar.....	45
2.1.5. Dalga Teorileri ve Dalga Enerjisi Hesaplamaları	53
2.2. DEK Sistemlerinin Yapılarına Göre İncelenmesi	59
2.2.1. Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları	60
2.2.2. Yakın Kıyı (Near Shore) Uygulamaları	72
2.2.3. Açık Deniz (Offshore) Uygulamaları	90
2.3. DEK Sistemlerinin Enerji Dönüşüm Sistemine Göre İncelenmesi	179
2.3.1. Dalga Enerjisi Dönüşüm Teknikleri	182
2.3.2. İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Değerlendirmeler.....	188
2.4. DEK Sistemlerinin Kontrol Uygulaması Tipine Göre İncelenmesi	188
2.5. Frog Cihazı (Form 1).....	197
2.5.1. Frog Cihazının Tanımlanması.....	197
2.5.2.Frog Cihazının Testinde Kullanılan Dalga Tankları	202
2.5.3. Frog Cihazı İçin Test Edilen Şamandıra Formları	205

2.6. DEK Sistemleri İçin Önemli Tasarım Parametreleri.....	209
2.7. Türkiye'de Dalga Enerjisi Potansiyeli.....	211
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	216
3.1. Materyal.....	216
3.1.1. Frog Form 1 Geometrik Resim.....	216
3.1.2. Simulink Modeli.....	221
3.1.2.1. y1 değeri ile ilgili 1.denklem incelemeler.....	224
3.1.2.2. y2 değeri ile ilgili 2.denklem incelemeleri.....	227
3.1.3. Geliştirilen Modele Ait Hidrodinamik Parametreler.....	232
3.2. Yöntem.....	240
3.2.1. Frekans Uzayı Sistem Modeli ve Simülasyon Çalışmaları.....	240
3.2.2. Güç Eldesi ve Optimizasyonu.....	246
3.2.3. Güç Eldesindeki Hatanın Performansa Etkisi.....	262
3.2.3.1. Örnek Çalışma.....	262
4.ARAŞTIRMA VE TARTIŞMA.....	264
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	269
KAYNAKLAR.....	270
TEŞEKKÜR.....	276
ÖZGEÇMİŞ.....	277

ÖZET

BİR DALGA ENERJİSİ KONVERTÖR SİSTEMİNDE GÜÇ OPTİMİZASYONU

Enerji, insanlar için vazgeçilmez bir unsurdur. Gelişen teknoloji ile birlikte insanlığın enerji ihtiyacında bir artış meydana gelmektedir. Fosil yakıtlar ise (odun, kömür, petrol vb.) sınırlı kaynaklara sahiptir. Bu sebeple, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmazdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi de dalga enerjisidir. Dalga enerjisi, güneş enerjisinin yoğunlaştırılmış bir şeklidir. Dalga enerjisini dönüştüren sistemlere dalga enerjisi konvertörleri adı verilir. Tipik bir dalga enerjisi konvertörü, düzensiz dalga hareketlerini alır ve bunları düzenli mekanik hareketlere çevirir. Bu düzenli mekanik hareketler ise elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır. DEK sistemleri yerleşim tipine göre kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada, bir dalga enerjisi konvertörü modeli analiz edildi ve performans optimizasyonu gerçekleştirildi. Çalışma, söz konusu sistemin hidrodinamik özelliklerinin elde edildiği WAMIT programı üzerine yapılan çalışmalar ile başlatılmıştır. İncelenen sistemin simülasyon modeli için ise MATLAB/SIMULINK ortamı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar frekans uzayında gerçekleştirilmiş olup, güç optimizasyonu için sistemin çalışması tavsiye edilen ayar değerleri güç çekme ünitesinin ayar değerleri olarak verilmiştir.

2011, 298 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dalga enerjisi sistemleri, yenilenebilir enerji, dalga enerjisi konvertörlerinde güç optimizasyonu

ABSTRACT**POWER OPTIMISATION OF A WAVE ENERGY CONVERTER SYSTEM**

Energy is a vital need of mankind. Besides, the need for energy is ever increasing. Fossil fuels used for this purpose have limited resources. Therefore, it is obvious that there is a need for use of renewable energy resources.

One of the main renewable energy resources is wave energy. Wave energy is assumed to be a concentrated form solar energy. The system used for extraction of energy from waves is called wave energy converter. A typical wave energy converter (WEC) takes the irregular form of the wave motion and converts the motion into regular mechanical oscillations. These regular motions are then used in generation of the electricity. There are three different types, namely as shore-line, near-shore and off-shore.

In this study, a form of WEC model is analysed and performance optimisation process has been achieved. The study starts from WAMIT analysis of the model where hydrodynamic properties of the model are achieved. The actual simulation model of the system is conducted in MATLAB/SIMULINK environment. The study is performed in Frequency Domain and power optimization is achieved. The results of the study are presented in the form of power take off setting.

2011, 298 pages

Keywords: Wave energy systems, renewable energy, power optimisation of wave energy converters

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

S_{WL}	Ortalama deniz suyu seviyesi (Surface)
$E_{density}$	Dalga enerji yoğunluğu [J/m^2]
$E_{wavefront}$	Metre başına dalganın taşıdığı enerji [J / m]
$P_{density}$	Dalga güç yoğunluğu [W / m^2]
$P_{wavefront}$	Metre başına dalganın gücü [W / m]
h	S_{WL} (derinlik) [m]
ω	Dalga frekans [rad / sn]
λ (veya L)	Dalga boyu [m] = $GT^2 / (2\pi)$
ρ_{water}	Deniz suyu yoğunluğu [1000 kg/m^3]
g	Sabit yerçekimi [$9,81 \text{ m/s}^2$]
A	Dalga genlik [m]
H	Dalga yüksekliği [m]
T	Dalga periyodu [s]
C	Sürat (dalga hızı) [m / s]

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. kw/h cinsinden çeşitli enerji kaynaklarının tahmini üretim maliyetleri (Gökkuş ve Gücüyen, 2009).....	5
Çizelge 2.2. DEK kuruluş maliyeti ve dengelenmiş birim enerji maliyeti aralığı (Gökkuş ve Gücüyen, 2009).....	6
Çizelge 2.3. Dalga elektrik santrali tesisinin kurulu gücüne göre toplam yatırım bedeli (Gökkuş ve Gücüyen, 2009).....	7
Çizelge 2.4. Uygulama yerine göre DEK sistemlerinin karşılaştırılması.....	60
Çizelge 2.5. Pelamis için ortaya konulan şartname (Anonymous, 2010g).....	98
Çizelge 2.6. Dalga iklimine göre Wave Dragon sistemlerinin ünite başına yıllık güç üretim miktarları (Friis ve Madsen, 2005).....	102
Çizelge 2.7. Wave Dragon'un iki farklı uygulaması için temel veriler (Soerensen, 2006).....	103
Çizelge 2.8. 1:4.5 ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler.....	109
Çizelge 2.9. Tam ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler.....	109
Çizelge 2.10. Wave Dragon çalışmalarında önemli satır başları (Powergen Europe Conference, 2005).....	111
Çizelge 2.11. Dünyada teknoloji ve dalga enerjisi projelerinin geliştirilmesinde OPT ile çalışan ortakların bazıları (Anonymous, 2010i).....	118
Çizelge 2.12. AquaBuoy'a ait özellikler (Previsic, M., 2004).....	142
Çizelge 2.13. OreCon cihazına ait özellikler (Previsic, M., 2004).....	148
Çizelge 2.14. Orecon MRC1000 için Performans Durumları (Previsic, M., 2004)....	149
Çizelge 2.15. WaveBob'a ait yapısal özellikler (Previsic, M., 2004).....	155
Çizelge 2.16. İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler.....	189
Çizelge 2.16. (Devam)İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler....	190
Çizelge 2.16.(Devam)İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler....	191
Çizelge 2.16. (Devam)İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler....	192
Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler...	193
Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler...	194
Çizelge 2.17. Yakın geçmişte yayınlanmış olan DEK kontrolü makaleleri (Işıklı, T., 2008).....	196

Çizelge 2. 18. Frog notasyon simgeleri ve anlamları (Bracewell, R.H., 1990).....	201
Çizelge 2. 19. DEK sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar ve AR-GE konuları (Vinning, 1995).....	210
Çizelge 2. 20. Türk suları için dalga enerjisi seviyeleri atlasından hareketle bölgelere göre minimum ve maksimum güç değerleri aralıkları (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	213
Çizelge 3. 1. Matlab/simulink modelinde esas alınan Frog Form 1 cihazı için bazı fiziksel özellikler	220
Çizelge 3. 2. Frog Form 1 Cihazının Temel Çalışma Prensiğini Açıklayan Denklemlerde Kullanılan Kısaltmalar ve Açıklamaları	222
Çizelge 3. 3. b_2 değerleri ile güç değerlerinin değişimi arasındaki grafikler ve incelenen değer aralıkları	247
Çizelge 3. 4. k_2 değerleri ile güç değerlerinin değişimi arasındaki grafikler ve incelenen değer aralıkları	248
Çizelge 3. 5. Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251

Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri.....	251
Çizelge 3. 6. Çalışılan her bir frekans değeri için yukarıdaki grafiklerden elde edilen maksimum güç değerleri.....	260

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dünyadaki deniz ve okyanusların sahip olduğu dalga enerjisi potansiyelleri (kW/m cinsinden) (Alister ve Ngoc, 2008).....	8
Şekil 2. 2. kW/m cinsinden evrensel ortalama anlık dalga gücü hesaplamaları (Cruz, 2008).....	10
Şekil 2.3. kW/m cinsinden Ocak ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü (Cruz, 2008).....	11
Şekil 2.4. kW/m cinsinden Temmuz ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü (Cruz, 2008).....	12
Şekil 2.5. kW/m cinsinden aylık ortalama dalga gücü miktarları ve evrensel koordinatlarda enlemlere göre çeşitliliği (Cruz, 2008).....	13
Şekil 2.6. kW/m cinsinden Avrupa suları için ortalama yıllık dalga gücü hesaplamaları (Cruz, 2008).....	14
Şekil 2.7. Kaynağın mevsimlik çeşitliliğinin bir göstergesi olan aylık minimum dalga gücü hesaplamasının yıllık değerlere oranı (Cruz, 2008).....	15
Şekil 2.8. Güneyden uzaktaki daha düşük çeşitliliğin minimum ortalama aylık dalga gücünün yıllık ortalama dalga gücüne oranı cinsinden enlemlere göre gösterilmesi (Cruz, 2008).....	16
Şekil 2.9. Dalga enerji konvertörlerinin hareket tipleri (Alister ve Ngoc, 2008).....	25
Şekil 2.10. Bir çakıltaşının durgun suya atılmasıyla oluşan dalga (Serway ve Beichner, 2000).....	30
Şekil 2.11. Okyanus dalgalarına bir örnek (Bilim ve Teknik, Mayıs 2009).....	32
Şekil 2.12. Kıyı tipi bir DEK için deniz dalgalarının durumu (V.Rayn, 2009).....	32
Şekil 2.13. Dalgaların sınıflandırılması.....	33
Şekil 2.14. Dalga hareketinin temel değişkenlerini gösteren grafik.....	37
Şekil 2.15. Bir ip üzerindeki ilerleyen dalga hareketi (Serway ve Beichner, 2000).....	38
Şekil 2.16. Gerilmiş bir ip üzerinde enine ilerleyen bir dalga (Serway ve Beichner, 2000).....	39
Şekil 2.17. Gerilmiş bir yay boyunca boyuna bir dalganın gösterimi (Serway ve Beichner, 2000).....	40

Şekil 2.18. Su yüzeyindeki dalga hareketinin gösterimi (Serway ve Beichner, 2000).....	41
Şekil 2.19. Bir dalga leğeninde oluşturulan su dalgalarının girişimi (Serway ve Beichner, 2000).....	42
Şekil 2.20. Gerilmiş bir yay üzerinde birbirlerine göre zıt yönde hareket eden ve birbirini geçen iki dalga atması (Serway ve Beichner, 2000).....	43
Şekil 2.21. Birbirine eşit fakat zıt yönde yerdeğiştirmelere sahip ve zıt yönde ilerleyen iki dalga atması (Serway ve Beichner, 2000).....	44
Şekil 2.22. Sinüsel dalga (Serway ve Beichner, 2000).....	45
Şekil 2.23. y_1 ve y_2 genlikli iki özdeş dalganın (mavi) üst üste binmesi ile oluşan bileşke dalgalar (Serway ve Beichner, 2000).....	49
Şekil 2.24. Salınan bir sistemin sürücü frekansına göre genliğinin grafiği (Serway ve Beichner, 2000).....	50
Şekil 2.25. Bir kare dalganın Fourier sentezi (Serway ve Beichner, 2000).....	52
Şekil 2.26. Dalga teorilerinin sınıflandırılması ve yapısı.....	54
Şekil 2.27. Kıyı tipi bir DEK sisteminin arkadan görünüşü (Cruz, 2008).....	61
Şekil 2.28. Kıyı tipi DEK sistemlerinin çalışma prensibi (V.Rayn, 2009).....	62
Şekil 2.29. Kıyı tipi DEK sistemlerinin sınıflandırılması (Falnes,1997).....	62
Şekil 2.30. TAPCHAN'ın yapısının şematik gösterimi (Boyle, 1996).....	63
Şekil 2.31. Wells türbini modeli (Anonymous, 2010a).....	65
Şekil 2.32. Wells türbinine ait çalışma prensibi ve ilgili hesaplamalar (Anonymous, 2010a).....	65
Şekil 2.33. Jeneratör/Düzeltici hava türbini grubu (Rodrigues,2010).....	66
Şekil 2.34. Su kolonu salınımlı modeline ait şematik gösterim (Thorpe, 1999).....	66
Şekil 2.35. Salınımlı su kolonunun kıyıya yerleşimi (Rodrigues,2010).....	67
Şekil 2.36. Salyangoz (Limpet) kıyı tipi DEK (Thorpe, 1999).....	67
Şekil 2.37. Salyangoz (Limpet) modeline ait gerçek görünüm (Heath, 2008).....	68
Şekil 2.38. Dalga konumlarına göre su kolonu sistemlerinin çalışma prensibi (Anonymous, 2010b).....	69
Şekil 2.39. Penduların çalışma prensibini açıklayan model (Thorpe,1999).....	70
Şekil 2.40. Pendular hareketli enerji konvertörüne ait üst görünüş (Anonymous, 2010c).....	71

Şekil 2.41. Pendulara ait ön görünüş (Anonymous, 2010c).....	71
Şekil 2.42. Yakın kıyı tipi konvertörlerinden Osprey (Anonymous).....	73
Şekil 2.43. Osprey'e ait üç boyutlu model (Falnes, 1997).....	73
Şekil 2.44. Oyster dalga enerjisi konvertörü ve yapısı (Queen's University Belfast, 2007).....	75
Şekil 2.45. Oyster modeli (Queen's University Belfast, 2007).....	75
Şekil 2.46. Northen'de test edilen 1/20 ölçekli Oyster protitipi (Queen's University Belfast, 2007).....	76
Şekil 2.47. Fabrikada tamamlanmış halde bulunan Oyster (The Development of Oyster, 2009).....	77
Şekil 2.48. Oyster'in deniz kenarına taşınması (The Development of Oyster, 2009)....	77
Şekil 2.49. Oyster denize bırakıyor (The Development of Oyster, 2009).....	78
Şekil 2.50. Oyster denizde çalışı vaziyette (The Development of Oyster, 2009).....	78
Şekil 2.51. Yakın kıyı tipi bir DEK olan WOSP.....	79
Şekil 2.52. OWEC'in su yüzeyindeki görüntüsü (Anonymous, 2010d).....	80
Şekil 2.53. Tek bir OWEC ünitesi ve bağlantılarının modeli (Anonymous, 2010d)....	81
Şekil 2.54. Çok sayıda OWEC ünitesi ve bağlantılarının modeli (Anonymous, 2010d).....	81
Şekil 2.55. Bir OWEC sisteminin güç üretme mekanizması (Anonymous, 2010d).....	82
Şekil 2.56. Wave Plane modeli ve simetrik kısımlardan biri (Anonymous, 2010e).....	83
Şekil 2.57. Wave Plane prototipine ait gerçek görüntüler (Anonymous, 2010e).....	84
Şekil 2.58. Iwave cihazının yapısı ve elemanları (Anonymous, 2010f).....	85
Şekil 2.59. Iwave suyu içeri almış ve piston yukarı çıkıyor (Anonymous, 2010f).....	87
Şekil 2.60. Iwave'de piston aşağı iniyor (Anonymous, 2010f).....	87
Şekil 2.61. Iwave çalışırken elemanlarının konumu (Anonymous, 2010f).....	88
Şekil 2.62. Pelamis'in kuru havuzdaki görüntüsü (Anonymous, 2010g).....	91
Şekil 2.63. Pelamis'in havuzdaki görüntüsü (Anonymous, 2010g).....	91
Şekil 2.64. Pelamis'in denizdeki kıvrımlı görüntüsü (Anonymous, 2010g).....	92
Şekil 2.65. Pelamis'in dalgalara göre şeklini değiştirmesi.....	93
Şekil 2.66. Pelamis'in bükülen kısımlarının iç kesit görüntüleri ve içeriği (Anonymous, 2010g).....	94
Şekil 2.67. Pelamis'e ait bağlantı şekli (Anonymous, 2010g).....	95

Şekil 2. 68. Tek bir Pelamis'e ait ölçülendirme (Anonymous, 2010g).....	96
Şekil 2. 69. Pelamis'e ait güç dönüştürme modülünün iç görünüşü (Anonymous, 2010g).....	97
Şekil 2. 70. Wave Dragon'un çalışma prensibi (Anonymous, 2010h).....	100
Şekil 2. 71. Wave Dragon'da kullanılan hidrotürbinler ve modeli (Anonymous, 2010h).....	100
Şekil 2.72. 20 000 saati aşkın süredir test edilen prototip.....	101
Şekil 2. 73. Wave Dragon dalgalardan enerji elde ediyor (Anonymous, 2010h).....	101
Şekil 2. 74. Wave Dragon için üretilen gücün dalga iklimine göre değişimini gösteren grafik.....	102
Şekil 2. 75. Wave Dragon için geliştirilmiş ayarlama stratejisi (Soerensen, 2006).....	104
Şekil 2.76. SCADA programının ana ekran görüntüsü (Powergen Europe Conference, 2005).....	105
Şekil 2.77. Wave Dragon'a ait iki türbinin çalışmaya başlangıç esnasındaki değerlerini gösteren SCADA ekranı (Powergen Europe Conference, 2005).....	105
Şekil 2. 78. Wave Dragon'un 1:4.5 ölçekli modeline ait ön görünüş.....	106
Şekil 2. 79. Wave Dragon'un 1:4.5 ölçekli modeline ait üst görünüş (Tedd, 2007)....	106
Şekil 2. 80. Aalborg Üniversitesindeki modelin reflektör birleşim yeri incelemesi (Tedd, 2007).....	107
Şekil 2. 81. Aalborg Üniversitesi'nde 1:50 ölçekli modelin testi (Tedd, 2007).....	107
Şekil 2. 82. Wave Dragon'un bilgisayar ortamındaki modeli (Tedd, 2007).....	108
Şekil 2. 83. Wave Dragon modeline ait test standında test edilmekte olan türbin.....	108
Şekil 2. 84. Wave Dragon'a ait demirleme prensibi (Soerensen, 2006).....	112
Şekil 2. 85. Çok ayaklı CALM şamandırası (Soerensen, 2006).....	113
Şekil 2. 86. Demirleme olayının şematik görünümü (Tedd, 2007).....	113
Şekil 2. 87. 7 MW'lık Welsh gösterici için ölçüler (Soerensen, 2006).....	114
Şekil 2. 88. Wave Dragon güç üretme planı (Soerensen, 2006).....	114
Şekil 2. 89. Okyanusta test edilmekte olan bir OPT (Anonymous, 2010i).....	116
Şekil 2. 90. Kurulumu hazır bir OPT PowerBuoy (Anonymous, 2010i).....	116
Şekil 2. 91. OPT dalga parkına ait tipik kavramsal bir çizim (Anonymous, 2010i)....	117
Şekil 2. 92. Görsel etki açısından OPT ile rüzgar türbinin karşılaştırılması (Anonymous, 2010i).....	120

Şekil 2. 93. OPT PowerBuoy'un denize bırakılma aşamalarının şematik görünümü (Anonymous, 2010i).....	121
Şekil 2. 94. OPT PowerBuoy dalga çifliğinin su altındaki şematik görüntüsü (demirle sistemi gösterilmemiş) (Anonymous, 2010i).....	122
Şekil 2. 95. OPT PowerBuoy'a ait güç çekme ünitesinin şematik görüntüsü (Anonymous, 2010i).....	122
Şekil 2. 96. OPT PowerBuoy'a ait sualtı düşük voltaj kablolarının şematik görüntüsü (Anonymous, 2010i).....	123
Şekil 2. 97. USP'nin şematik görünümü ve iç kısmının gerçek görüntüsü (Anonymous, 2010i).....	124
Şekil 2. 98. Kurulumu hazır halde bulunan PB40ES PowerBuoy'a ait gerçek görüntü (Anonymous, 2010i).....	125
Şekil 2. 99. İspanya Santona'da açık denizde çalışmakta olan PB40ES PowerBuoy (Anonymous, 2010i).....	126
Şekil 2.100. PB150 PowerBuoy sisteminin feet cinsinden ölçeklendirilmesi (Anonymous, 2010i).....	127
Şekil 2. 101. OPT PowerBuoy'a ait demirleme biçiminin şematik olarak gösterilmesi (Previsic. M., EPRI Ocean Energy Programs).....	128
Şekil 2. 102. Archimedes Wave Swing (AWS) sisteminin şematik görünümü (Anonymous, 2010j).....	129
Şekil 2. 103. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin deniz dibindeki yapısının şematik olarak gösterimi (Anonymous, 2010k).....	130
Şekil 2. 104. Açık denizde çalışmakta olan gerçek bir AWS sisteme ait görüntü (Anonymous, 2010l).....	130
Şekil 2. 105. Birbirinden farklı DEK sistemlerinde kullanılmakta olan ortak çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (Bernhoff ve Leijon, 2006).....	131
Şekil 2. 106. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin çalışma prensibi (Bernhoff ve Leijon, 2006).....	132
Şekil 2. 107. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin çalışma prensibi (Anonymous, 2010m).....	133
Şekil 2. 108. Arşimet prensibi (Anonymous, 2010m).....	134

Şekil 2. 109. AWS sistemindeki hareketli parça ve hareket yönü (Rossouw, C., 2009.).....	135
Şekil 2. 110. Tipik bir AWS sistemi için yapılan ölçülendirme ve lineer jeneratörün yapısı (Rossouw, C., 2009).....	135
Şekil 2. 111. Su osilasyonlu tip DEK sistemine ait çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (Anonymous, 1996).....	136
Şekil 2. 112. Açık denizde konuşlandırılan ve test edilen 1/5 ölçekli pilot ünite.....	137
Şekil 2. 113. SPERBOY™'nin 2007 tasarımı (Anonymous,2007).....	139
Şekil 2. 114. SPERBOY™'nin şematik ve geometrik modeli (Anonymous,2007)....	139
Şekil 2. 115. SPERBOY™'nin yapısı ve şematik görünümü (Embley Energy Ltd, 2002).....	140
Şekil 2. 116. Finavera Renewables'e ait gerçek görüntüler (Previsic. M., 2004).....	142
Şekil 2. 117. AquaBuoy'un yapısı ve kısımlarının şematik gösterimi (Rossouw, C., 2009).....	143
Şekil 2. 118. Bir dalga parkı ve ölçülendirilmesinin şematik olarak gösterimi (Rossouw, C., 2009).....	144
Şekil 2. 119. AquaBuoy için su altı görüntüsü ve bağlantının şekli (Previsic. M., 2004).....	144
Şekil 2. 120. Floating Wave Power Vessel'e ait şematik gösterim (Centre for Renewables Energy (CRES), Wave Energy Utilization in Europe, 2002).....	145
Şekil 2. 121. Orecon'a ait demirleme sistemi ve altı adet bağlantı noktası (Previsic. M., 2004).....	147
Şekil 2. 122. Nokta absorblayıcı dalga enerji konvertörüne ait test edilmiş olan 1/10 ölçekli prototip (Anonymous, 2010p).....	150
Şekil 2. 123. PAWEC sistemine ait final tasarımı ve kısımları (University of New Hampshire, TECH 797 Undergraduate Ocean Reseaerch Project 2008-2009)....	151
Şekil 2. 124. Güç çekme ünitesini oluşturan piston silindir mekanizması ve kısımlarının şematik olarak gösterilmesi (University of New Hampshire, TECH 797 Undergraduate Ocean Reseaerch Project 2008-2009).....	152
Şekil 2. 125. Çalışmakta olan bir WaveBob açık deniz dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2010r).....	154

Şekil 2. 126. WaveBob'a ait şematik görüntü ve sistemin yapısı (Anonymous, 2010r).....	154
Şekil 2. 127. SeaDog dalga enerjisi konvertörünün konsepti (Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference San Francisco, California, USA, May 28-June 2, 2006).....	156
Şekil 2. 128. SeaDog DEK sisteminin çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008).....	157
Şekil 2. 129. SeaDog pompasına ait çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (piston yukarıda) (Anonymous, 2010s).....	158
Şekil 2. 130. SeaDog pompasına ait çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (piston aşağıda) (Anonymous, 2010s).....	158
Şekil 2. 131. Şubat 2007'de Mexico Gulf'te başarılı bir şekilde denizde denemesi yapılan SeaDog prototipi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008)....	159
Şekil 2. 132. 200 SeaDog için depolama ünitesine ait ölçüler ve kapasitesi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008).....	159
Şekil 2. 133. Bristol Silindiri'nin yapısı ve çalışma prensibi (Rodrigues, L., 2005)....	161
Şekil 2. 134. Bristol Silindiri'nin sualtındaki şematik görünümü (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	162
Şekil 2. 135. McCabe Dalga Pompasının taslak görünümü (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	164
Şekil 2. 136. McCabe Dalga Pompasının demirleme şeması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	164
Şekil 2. 137. McCabe Dalga Pompası'na ait üç boyutlu model (Polaski, 2003).....	165
Şekil 2. 138. PS Frog'a ait taslak görüntüsü (genel görünüm) (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	166
Şekil 2. 139. PS Frog'a ait şematik görünüm ve yapısı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	166
Şekil 2. 140. PS Frog'a ait cihaz konsepti (Bracewell, R.H., Lancaster University, 1990).....	167
Şekil 2. 141. PS Frog'a ait üç boyutlu şematik görüntü (Anonymous, 2010t).....	168
Şekil 2. 142. Eski PS Frog tasarımı ile Mark III Frog tasarımının geometrik olarak karşılaştırılması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	169

Şekil 2. 143. Eski PS Frog cihazlarının dizilişi (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)...	169
Şekil 2. 144. Salter'in Duck sistemi (Rodrigues, L., Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology, Nova University of Lisbon)...	171
Şekil 2. 145. 1983 Edinburgh Duck'a ait şematik görüntü ve Duck'ın kısımları (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	172
Şekil 2. 146. 1983 tasarımı Duck gövdesine ait ana özellikler (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	173
Şekil 2. 147. 1983 tasarımı Duck için güç kutusu ve halka kam için kesit görüntüleri ve kısımları (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	174
Şekil 2. 148. 1983 tasarımı Duck için maliyet parametreleri ve dağılımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	175
Şekil 2. 149. 1998 Duck'a ait yeni gövde tasarımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	176
Şekil 2. 150. 1998 Duck için güç toroidinin tasarımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	177
Şekil 2. 151. 1998 Duck için "Wedding Cake" olarak adlandırılan hidrolik ünite (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	177
Şekil 2. 152. 1998 Duck için omurga bölümlerinin coronet montajı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	178
Şekil 2. 153. 1991 Duck tasarımı ile 1998 Duck tasarımı ekonomik parametreler cinsinden karşılaştırılması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999).....	178
Şekil 2. 154. Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretimini açıklayan akış şeması (Alister ve Ngoc, 2007. Wave Energy Centre).....	180
Şekil 2. 155. Dalga enerjisi için mevcut sistemler ve işlemler (Sağlam, M., Uyar, 2010).....	181
Şekil 2. 156. Heaving enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005).....	183
Şekil 2. 157. Heaving enerji dönüşüm şekline göre çalışan OPT cihazının 1:4 ölçekli modeli (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)...	184

Şekil 2. 158. Pitching enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005).....	185
Şekil 2. 159. Pelamis cihazına ait gerçek görüntü.....	185
Şekil 2. 160. OWC enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005).....	186
Şekil 2. 161. Overtopping enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005).....	187
Şekil 2. 162. Frog cihazı genel kavramı (Bracewell, R.H., 1990).....	198
Şekil 2. 163. Lineerleştirilmiş Frog modeli (Bracewell, R.H., 1990).....	200
Şekil 2. 164. FROG Güç Testi Sırasında Dalga Tankı Planının Görünüşü (Bracewell, R.H., 1990).....	203
Şekil 2. 165. Frog cihazı için test edilen şamandıra formları (Bracewell, R.H., 1990).....	205
Şekil 2. 166. PowerShape 2011 öğrenci sürümünde çizilmiş Form1'e ait üç boyutlu görünüm, ön görünüşten alınmış bir kesit ve izdüşümlü çizim.....	206
Şekil 2. 167. PowerShape 2011 öğrenci sürümünde yapılan çizimlerden alınan görüntülerle Frog Form 1'e ait ön, üst, sağ yan ve trimetrik görüntüler.....	207
Şekil 2. 168. Türkiye için dalga potansiyeli atlası (Anonymous,2010u).....	211
Şekil 2. 169. Türk suları için asgari dalga enerjisi seviyeleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	212
Şekil 2. 170. Türk suları için azami dalga enerjisi seviyeleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	212
Şekil 2. 171 Karadeniz Bölgesi DEGİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	214
Şekil 2. 172 Akdeniz Bölgesi DEGİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	214
Şekil 2. 173 Marmara Denizi DEGİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	215
Şekil 2. 174 Ege Denizi DEGİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).....	215
Şekil 3. 1. Frog Form 1 için m cinsinden ölçülendirme.....	217
Şekil 3. 2. Frog Form 1 için x,y ve z eksenlerine göre konumlandırılarak çizilmiş üç boyutlu görüntü.....	218

Şekil 3. 3. Frog Form 1 için ön görünüş.....	218
Şekil 3. 4. Frog Form 1 için üç boyutlu görüntünün rendering formu.....	219
Şekil 3. 5. Frog Form 1 cihazı için çalışma prensibinin şematik görünümü.....	221
Şekil 3. 6. Kullanılacak blok elemanları.....	224
Şekil 3. 7. Simulink şeması için toplama noktasının görünümü (1.denklem).....	225
Şekil 3. 8. Toplama noktasından çıkış yapan \dot{y}_1 değerinin $(m_1 + m_a)$ katsayısı ile çarpılması.....	225
Şekil 3. 9. Kullanılan iki integral elemanı ile y_1 değerinin eldesi.....	226
Şekil 3. 10. \dot{y}_1 ($y1dot$) değerinin sabit bir frekansta üretilen brad değeri ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi.....	226
Şekil 3. 11. K_h değerinin y_1 ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi.....	227
Şekil 3. 12. Toplama noktasından çıkan değer önüne $1/m_2$ katsayılı kazanç elemanı konulması.....	227
Şekil 3. 13. \dot{y}_2 değerinin simulink şemasına arka arkaya konan iki integral elemanı ile sırasıyla \dot{y}_2 ve y_2 değerine dönüştürülmesi.....	228
Şekil 3. 14. 1. ve 2. denklem için akış şemasının kombine edilmesi.....	229
Şekil 3. 15. Frog Form 1 cihazı için simulink şemasının son durumu.....	230
Şekil 3. 16. Ana simulink şeması.....	231
Şekil 3. 17. Güç çekme ünitesine ait simulink şeması.....	231
Şekil 3. 18. Ek kütleyle ilgili simulink şeması.....	234
Şekil 3. 19. Ek kütleyle ilgili grafik (ω, m_{add})	234
Şekil 3. 20. Sönümlenme ile ilgili simulink şeması.....	234
Şekil 3. 21. Sönümlenme ile ilgili grafik (ω, b_{rad})	235
Şekil 3. 22. Şamandıra kütesinin yerdeğiştirmesi (y_1) ile ilgili grafik.....	235
Şekil 3. 23. Reaksiyon kütesinin yerdeğiştirmesi (y_2) ile ilgili grafik.....	236
Şekil 3. 24. Şamandıra kütesinin yerdeğiştirme oranı/reaksiyon kütesinin yerdeğiştirme oranı (y_1/y_2) ile ilgili grafik.....	236
Şekil 3. 25. Ortalama güç (P_m) değeri ile ilgili grafik.....	237
Şekil 3. 26. Anlık güç değeri (P_{ins}) ile ilgili grafik.....	237
Şekil 3. 27. Enerji ile ilgili grafik.....	238
Şekil 3. 28. Frekans uzayı için ana simulink şeması.....	243

Şekil 3. 29. Frog Form 1 cihazına ait simulink modeli.....	243
Şekil 3. 30. y_1 yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik.....	244
Şekil 3. 31. y_2 yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik.....	244
Şekil 3. 32. v_1 hızının zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik.....	245
Şekil 3. 33. v_2 hızının zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik.....	245
Şekil 3. 34. $\omega = 0.39$ rad/s değerindeki maksimum güç için grafiği.....	249
Şekil 3. 35. $\omega = 0.39$ rad/s değerindeki maksimum güç için grafiğindeki maksimum güç eğrisi.....	250
Şekil 3. 36. Çalışılan frekans değerleri ile bu frekanslarda elde edilen maksimum güç arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler.....	261
Şekil 3. 37. Frekans değeri 4.050 rad/s iken sistemin performansı ile ilgili grafik.....	263
Şekil 3. 38. Frekans değeri 4.050 rad/s olması gerekirken 3.90 rad/s alındığı zaman sistemin performansındaki değişimi gösteren grafik.....	263

1.GİRİŞ

Enerji, tüm insanlık için çok önemlidir. Teknolojik gelişmeler sonucunda insanlığın enerji ihtiyacında önemli ölçüde bir artış görülmüştür. İnsanlar bu ihtiyacı karşılayabilecek yeni enerji kaynakları arayışına yönelmiştir.

İnsanlar fosil yakıtlar, doğalgaz ve nükleer enerji gibi tükenmekte olan, sınırlı, çevreyi kirleticisi ve doğal dengeyi bozucu birçok zararı olan yenilenemeyen enerji kaynakları yerine, temiz ve çevre dostu olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, bio enerji, gel-git enerjisi ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde henüz tam anlamıyla değerlendirilememiş olan ve halen geliştirilen dalga enerjisi önemli bir yere sahiptir. Okyanuslar, bu amaçla henüz kullanılmamıştır. Ölü enerji diye tanımladığımız çok büyük bir enerjiyi içlerinde barındırmaktadır. Dalga enerjisi konusunda yapılan çalışmalar, bu enerji kaynağının hatırı sayılır derecede önemli olduğuna vurgu yapmaktadır. Bu enerji kaynağı konusundaki teknolojik gelişmelerin bu enerjiyi elde etmek için uygulanması konusunda yetersiz olduğu ortaya konmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak yapılmış olan çalışmalar dikkate alındığında, kıydan uzaklaştıkça bu enerjinin potansiyelinin daha da arttığı gözlemlenmiştir. Açık denizlerde potansiyel olarak daha fazla olan bu enerjiyi elde edebilmemiz için kuracağımız sistemin bu enerjiyi verimli bir şekilde absorbe edebilmesi ve elde edilecek mekanik enerjiyi doğrudan kullanıma uygun elektrik enerjisine dönüştürebilecek enerji dönüşüm sistemine sahip olması gerekmektedir.

Son otuz yılda yapılan çalışmalar ve araştırmalar açık deniz ortamında enerji konvertörünün salınımlar yapması gerektiğini ve yapacağı bu salınımların etkileşim içinde bulunduğu dalga ile aynı fazda yani uyum içinde olması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Bu noktadan hareketle de sistemin sürekli olarak rezonansta kalması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Enerji potansiyelinin daha yüksek olduğu açık deniz şartlarında enerji konvertörünün sürekli olarak rezonansta kalması bir şarta bağlıdır. Bu şart ise, makinenin sahip olduğu kendi titreşim frekansının dalganınkine göre ayarlanabilmesi yani eşit yada yaklaşık eşit yapılabilmesidir. Bunu gerçekleştirebilecek bir makinenin ise sistemin modeline uygun şekilde tasarlandığını varsaydığımız ve kabul ettiğimiz yay ve değişken kütle elemanlarının özelliklerini amacına uygun olarak değiştirmesi gerekmektedir. Yay ile ilgili bir özelliği değiştirmek için yay elemanının yaylanma katsayısını değiştirebiliriz. Kütle ile ilgili bir özelliği değiştirmek için sistemdeki su deposuna amacımıza uygun olarak su ekleyip çıkarabiliriz. Tüm bu ayarlamaları yapabilmemize rağmen temel olarak en büyük problemimiz, deniz dalgasının karmaşık yapısı ve bu çok değişken şartlarda ayar parametrelerimizin alması gereken değerlerin kontrolüdür.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde bu önemli ve temiz enerji kaynağı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar çok azdır. Ülkemizde bu konuyla ilgili olarak sadece dört makaleye ulaşılmıştır. Bu alandaki otuz yıllık literatürü taradığımızda sadece iki adet yoğun ilgi gören hızlı tip kontrol uygulamasına ait teori ile karşılaşmaktadır. Bunlar kompleks eşlenik (complex conjugate) ve kilitleme kontrol (latching control) şeklinde isimlendirilmiştir. Kompleks eşlenik kontrol, faz ve genlik kontrolü olmak üzere iki ayrı kontrol işleminden oluşurken kilitleme kontrol, sadece sönümleme elemanı kontrolünü içerir.

Bu çalışmadaki amaç; ülkemizin geleceği için çok önemli bir kaynak olabilecek dalga enerjisini çok yönlü olarak ele alarak ondan nasıl faydalanabileceğimizin incelenmesidir. Dalga enerjisi, enerji krizlerinin kol gezdiği günümüzde çok önemli bir çıkış yolu olabilir.

Dalga enerjisi konusundaki çalışmalar düzenli ve düzensiz dalga formları olarak iki ayrı düzeyde ele alınmaktadır. Bu konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar genellikle frekans uzayında incelenmiştir. Bu çalışmada, modeli oluşturulan bir dalga enerjisi konvertörünün sistem performansını araştırmaya yönelik olarak frekans uzayında analizler yapılmıştır. Dalga enerjisinin pratikte nasıl üretildiği, en son gelişmeler dikkate alınarak simülasyonlar yardımıyla sistemin enerji üretim performansı değerlendirilmiştir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Enerji yoktan var edilemez ve varolan enerji yok edilemez, sadece başka bir enerjiye dönüştürülebilir. Enerjinin bizim için en önemli olan çeşidi kullanılabilir enerjidir. Bu yüzden enerjinin kullanılabilir bir şekilde bize en faydalı olan hale dönüşmesini sağlamalıyız. Okyanus dalgalarındaki enerjinin kullanılabilir bir enerji formuna dönüşmesini sağlayan cihazlar dalga enerjisi konvertörleridir. İlerleyen teknolojiyi ve artan enerji ihtiyacını göz önünde bulundurursak enerjinin ne kadar önemli olduğunu daha iyi anlayabiliriz. Enerji sektöründe temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli ve kesintisiz bir şekilde ve en düşük maliyetlerle, güvenli bir arz sistemi içinde karşılanabilmesidir. Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi, araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken diğer yandan daha verimli sistemlerin tasarlanması ve var olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması yönünde çalışmaların yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

Enerji kaynakları, yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında; kömür, petrol ve petrol ürünleri, doğalgaz ve nükleer enerji kaynaklarını sayılabilir. Yenilenebilen enerji kaynakları arasında ise; biyokütle (odun, bitki artıkları vb.), rüzgar, hidrolik, jeotermal, güneş enerjisi ile dalga ve gelgit enerjisi kaynakları sayılabilir.

Bu enerji kaynakları arasında başta işlendikten sonra taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilen petrol kaynakları gelmektedir. Petrol kaynakları doğrudan kullanıma uygun enerji kaynaklarıdır. 1970'li ve 1980'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizleri enerji alanında yapılan araştırmalara yön vermiş ve petrol kaynaklarına alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları arayışlarına sebep olmuştur. Bu yakıtların sera etkisi, asit yağmurları ve kentsel hava kirliliği gibi birçok zararı da bulunmaktadır. Bu nedenle yenilenemeyen enerji kaynakları yerine temiz ve çevre dostu olan yenilenebilen enerji kaynaklarına yönelim ortaya çıkmıştır. Yeni enerji kaynakları arayışı konusunda öncelikle rüzgar ve güneş enerjisi alanında çalışmalar yapılmış ve şu an kullanılmakta olan sistemler geliştirilmiştir.

Güneş enerjisi, sonsuz bir enerji kaynağıdır. Direkt kullanım amacıyla elde etmemiz gereken gücü sağlamamız için kullanılan güneş enerjisi panelleri çok büyük yüzey alanına gereksinim duyarlar. Geceleri ve bulutlu havalarda ise güneş enerjisinden verimli olarak faydalanılamamaktadır. Rüzgar enerjisi ise güneş enerjisi gibi yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra bölgeden bölgeye farklılıklar göstermekte ve sürekliliği bulunmamaktadır. Ayrıca gürültü probleminin yanı sıra kuşlar için de büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisinin artan ihtiyaca cevap verememesi dalga enerjisinin de araştırılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dalga yüzeylerinin farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından 10 ila 15 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Bulduğu yerlere göre farklılıklar gösterse de ortalama günlük güneş enerjisi akışı metre kare başına 100 W'dır. Güneş enerjisinin kullanımında çok büyük yüzey alanlarına ihtiyaç duyulduğundan ve yüzey alanı birinci dereceden etkin olduğundan; ideal şartlarda 1 kW elektrik üretimi için 10 metrekarelik bir alan gereklidir. Rüzgar enerjisi kullanılarak aynı miktarda elektrik üretimi yapılmak istenirse 2 metrekarelik bir alan gereklidir. Dalga gücü için ise bu alan sadece 1 metrekaredir (kıyı dalgası için). Açık denizde ise bu değer çok daha aşağılara inmektedir (Thorpe, 1999).

Dalga enerjisinin rüzgar ve güneş enerjisi gibi yukarıda anlatılan yenilenebilir enerji kaynaklarına göre sahip olduğu bazı belirgin ve üstün özellikler vardır. Öncelikle dalgaları tahmin etmek ve önceden kestirmek rüzgara göre daha kolay olmaktadır. Üstelik dalgalar, rüzgardan 50 kat fazla enerji yoğunluğuna sahiptirler. Dalga enerjisi, güneş enerjisinin etkisiyle oluşan rüzgar enerjisinin yoğunlaştırılmış şeklidir (Bilim ve Teknik Dergisi, 2005).

Dünya yüzeyinin % 70'i sularla kaplıdır ve bu bizim için temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağının varlığı demektir. Dünyadaki sınırsız enerji kaynaklarından biri de dalga enerjisidir. Bu enerjinin temeli, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin çeşitli sistemler ile elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanmaktadır. Su, havadan ağır olduğu için dalganın yarattığı enerji, aynı hacimli rüzgar ve hava enerjisinden 800-1000 kat daha fazladır. Bu nedenle dalgalar yüksek yoğunluklu rüzgar enerjisi olarak da ifade edilebilir. Rüzgarın deniz yüzeyine sürtünmesiyle oluşan dalgalarla rüzgarın enerjisi suya aktarılır. Suyun dalgalanması yüksek ve düşük enerji eşikleri oluşturur.

Çizelge 2.1.'de çeşitli enerji kaynaklarının tahmini üretim maliyetleri (kw/h) gösterilmiş ve dalga enerjisinin bu konudaki potansiyeli ortaya konmuştur.

Çizelge 2.1. kw/h cinsinden çeşitli enerji kaynaklarının tahmini üretim maliyetleri (Gökkuş ve Gücüyen, 2009)

Enerji tipi	Adı	Tahmini üretim maliyeti (kw/h)
Fosil yakıt	Kömür	2-6 cents
Fosil yakıt	Gaz	3-4 cents
Nükleer Enerji	Nükleer	2-14 cents
Yenilenebilir Enerji	Büyük ölçekli hidroelektrik santraller	1.5-2.5 cents
Yenilenebilir Enerji	Küçük ölçekli hidroelektrik santraller	5-12 cents
Yenilenebilir Enerji	Biyokütle	3-9 cents
Yenilenebilir Enerji	Jeotermal	4-6 cents
Yenilenebilir Enerji	Rüzgar	3-9 cents
Yenilenebilir Enerji	Güneş	12-40 cents
Yenilenebilir Enerji	Yakıt hücreleri	8-15 cents
Yenilenebilir Enerji	DALGA ENERJİSİ	4-9 cents

Çizelge 2.2.'de ise dalga elektrik santrallerinin kuruluş maliyeti ve dengelenmiş birim enerji maliyeti aralığı diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslanmış ve potansiyeli ortaya konmuştur. Çizelgeden de anlaşıldığı gibi kuruluş maliyeti ve dengelenmiş birim enerji maliyeti aralığı cinsinden olaya yaklaşıldığında, nükleer santrallerden sonra en yüksek maliyetin güneş enerjisine ait olduğuna karar verebilir. Dalga elektrik santralleri için elde edilen değerlerin de hatırı sayılır derecede iyi olduğunu görebilir. Çizelge 2.3.'de ise dalga elektrik santrali tesislerinin kurulu güçlerine göre toplam yatırım bedelleri ortaya konmuştur.

Çizelge 2.2. DEK kuruluş maliyeti ve dengelenmiş birim enerji maliyeti aralığı (Gökkuş ve Gücüyten, 2009)

Santralin Cinsi	Kuruluş Maliyeti \$/kwh(Finansman maliyeti hariçtir.)	Dengelenmiş birim enerji maliyeti aralığı (cent/kwh)
Termik Santraller (kömür)	1200-1359	4.80-5.50
Doğalgaz Santralleri	500-600	3.90-4.40
Biyomas-Atık	-	5.80-11.60
Rüzgar Santralleri	1000-1100	4.00-6.00
Güneş Pili	3000-6000	25.00-100.00
Nükleer Santraller	3500-4000	11.10-14.50
Hidroelektrik Santraller	800-1000	5.10-11.30
Dalga Elektrik Santralleri	1200-2000	2.70-3.60

Çizelge 2. 3. Dalga elektrik santrali tesisinin kurulu gücüne göre toplam yatırım bedeli (Gökkuş ve Gücüyen, 2009)

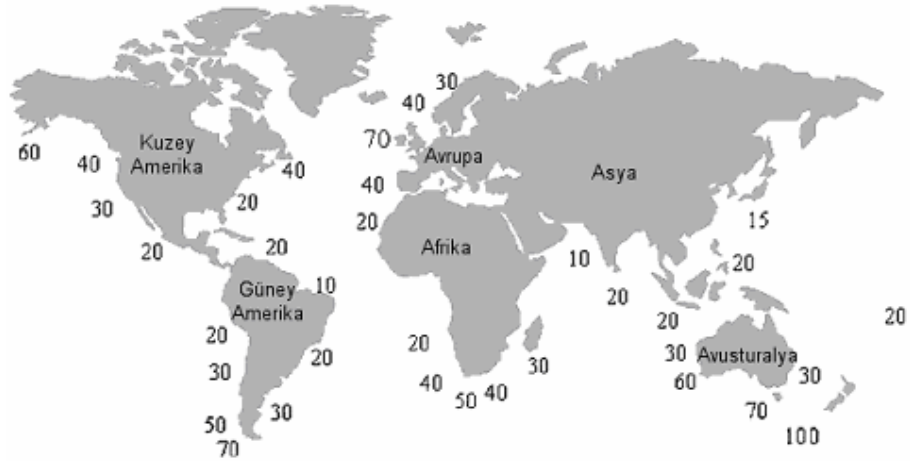
Tesisin Kurulu Gücü	5 MW	10 MW	30 MW	60 MW	100 MW
İşin Cinsi					
Deniz yapısı, ana şase ve sensörler	4.780.000	7.950.000	19.256.000	36.000.000	59.000.000
Teknolojik teçhizat	4.705.000	7.835.000	16.980.000	35.500.000	56.800.000
Taşıma, sigorta, gümrükleme	70.000	170.000	382.000	785.000	1.300.000
Montaj giderleri	30.000	85.000	196.000	390.000	850.000
Diğer giderler	45.000	128.000	296.000	580.000	980.000
Toplam Yatırım Bedeli: USD	9.630.000	16.168.000	37.110.000	73.255.000	118.930.000

Çizelge 2.3.'den ise en yüksek maliyetleri tesisin yapısının ve kullanılan teknolojik tesisatın oluşturduğu görülmektedir. Fosil temelli yakıt üretim tesislerinin yüksek maliyeti yakıtın fiyatına yansımaktadır. Buna karşın iyi bir biçimde tasarlanmış deniz ve okyanus dalgalarından enerji temin ünitesi ile tesisin işletme maliyeti daha az olacağından, minimum maliyet girdisi ile maksimum elektrik enerjisi temini gerçekleştirilebilmektedir. Denizlerde oluşan dalgaların sahip olduğu enerji potansiyelinin; doğada bulunan durumuna doğal potansiyel, sahip olduğumuz teknoloji ve pratik bilgiler ışığında faydalanılabilir ve iş görür enerjiye dönüştürülmüş durumuna teknik potansiyel ve tüm diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslanması neticesinde ekonomik olarak nitelenebileni ise ekonomik potansiyel olarak adlandırılmaktadır (İ.Uygur ve ark., 2006). Bütün kıyılardan aynı oranlarda dalga enerjisi eldesi mümkün olmamakla birlikte, deniz dalga konvertörlerinin tek sıra halinde dizilmesi gerekmediğinden, açık cephe kıyı uzunluğunun fazla bir önemi yoktur (G.Örer ve ark, 2003). Ayrıca dalga konvertörlerinin, deniz rüzgâr türbinleri ile bütünleşmiş bağlantılı olarak şebekeyi besleyen türleri genelde tercih sebebi olmaktadır.

Türkiye kıyılarının 1/5'inden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli, 18.5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Bu da enerji ihtiyacımızın yaklaşık % 13'ü dolayındadır (G., Örer ve ark., 2003). Deniz ve okyanuslarda oluşan dalgaların enerjileri sanıldandan daha yüksektir. İşte bu durum son zamanlardaki çalışmaların artmasının en önemli sebeplerindedir. Örneğin İskoçya ve İngiliz adalarının çevresinde meydana gelen dalgaların sahip olduğu enerji potansiyeli 70 kW/m'yi bulmaktadır (İ.Uygur ve ark., 2006).

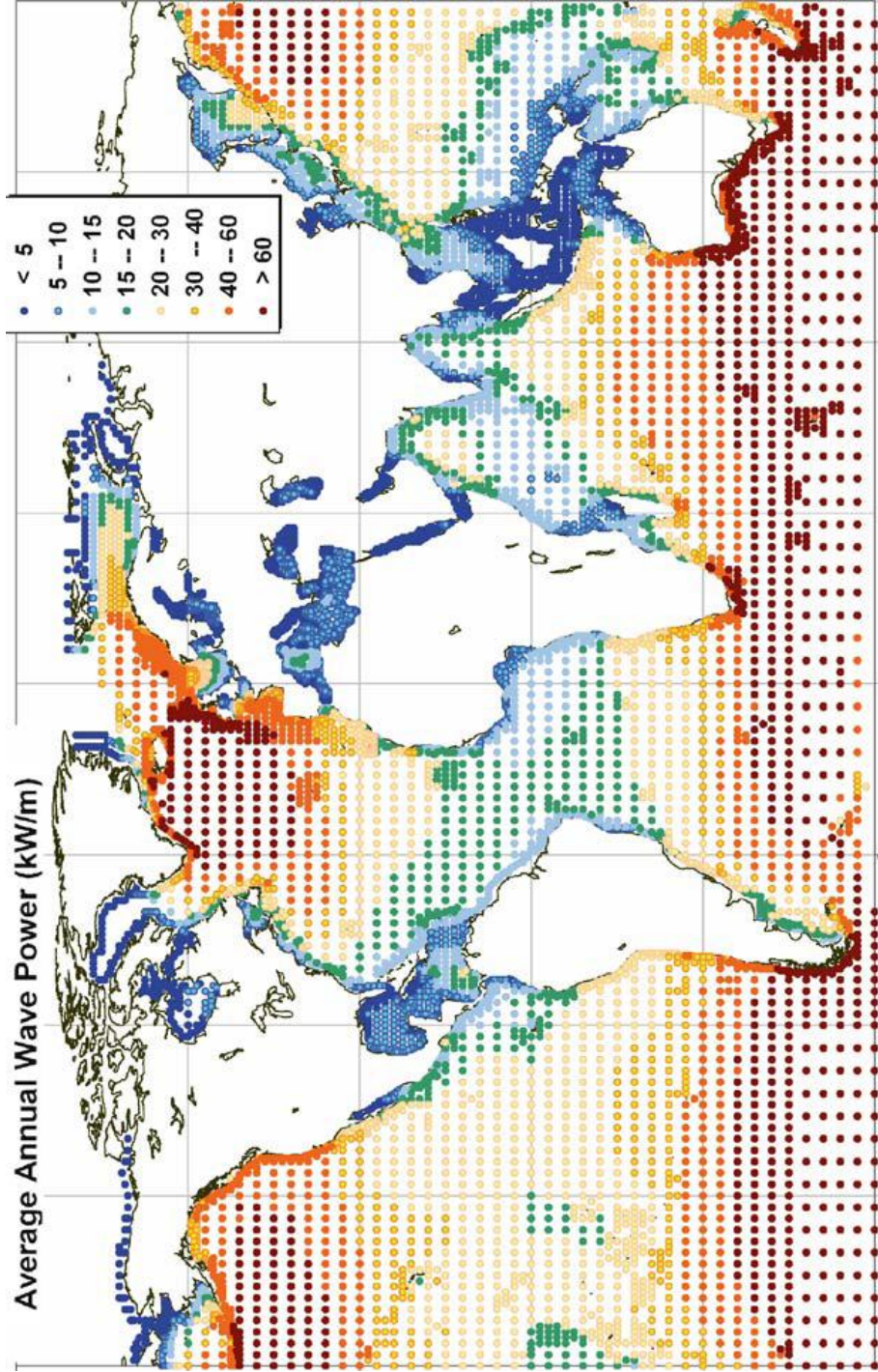
Bu enerji kaynağından faydalanmaya en çok yönelen ülkeler şüphesiz denize kıyısı olan ülkelerdir. Buna karşın denize kıyısı olmadığı halde bu konuyla ilgili teknoloji üretip yatırım yapan ülkeler de vardır. Açık deniz kıyıları 8 bin 200 km'yi bulan ülkemizin gündemine henüz girmeyen dalga enerjisini en kısa zamanda kullanma ve değerlendirme yoluna gidilmelidir. Bizden daha az kıyı şeridi ve su potansiyeli olan Norveç'te, okyanus kıyılarında öncü santraller kurulmuştur.

Şekil 2.1.'de Dünya sularının sahip olduğu dalga enerjisi potansiyelleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi özellikle okyanuslardaki dalga potansiyel enerjileri çok yüksektir. Özellikle Kuzey Amerika ile İngiltere arasındaki Atlas okyanusunda dalga enerji potansiyeli en yüksek değere ulaşmaktadır (İ.Uygur ve ark., 2006). Bu da deniz derinliği, yer hareketleri ve iklimsel farklılıklar nedeni ile oluşan güçlü dalgalarla kaynaklanmaktadır.

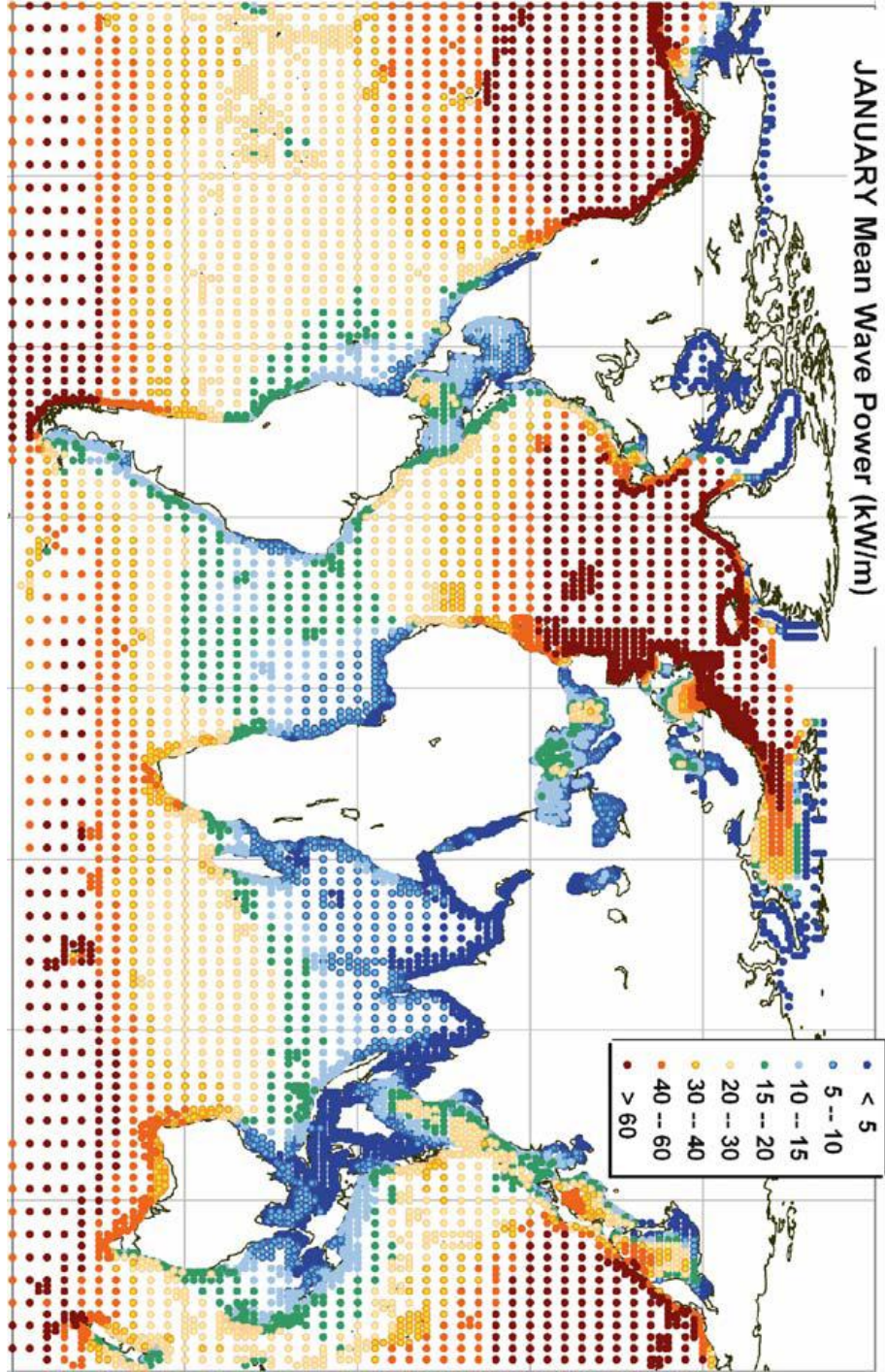


Şekil 2.1. Dünyadaki deniz ve okyanusların sahip olduğu dalga enerjisi potansiyelleri (kW/m cinsinden) (Alister ve Ngoc, 2008)

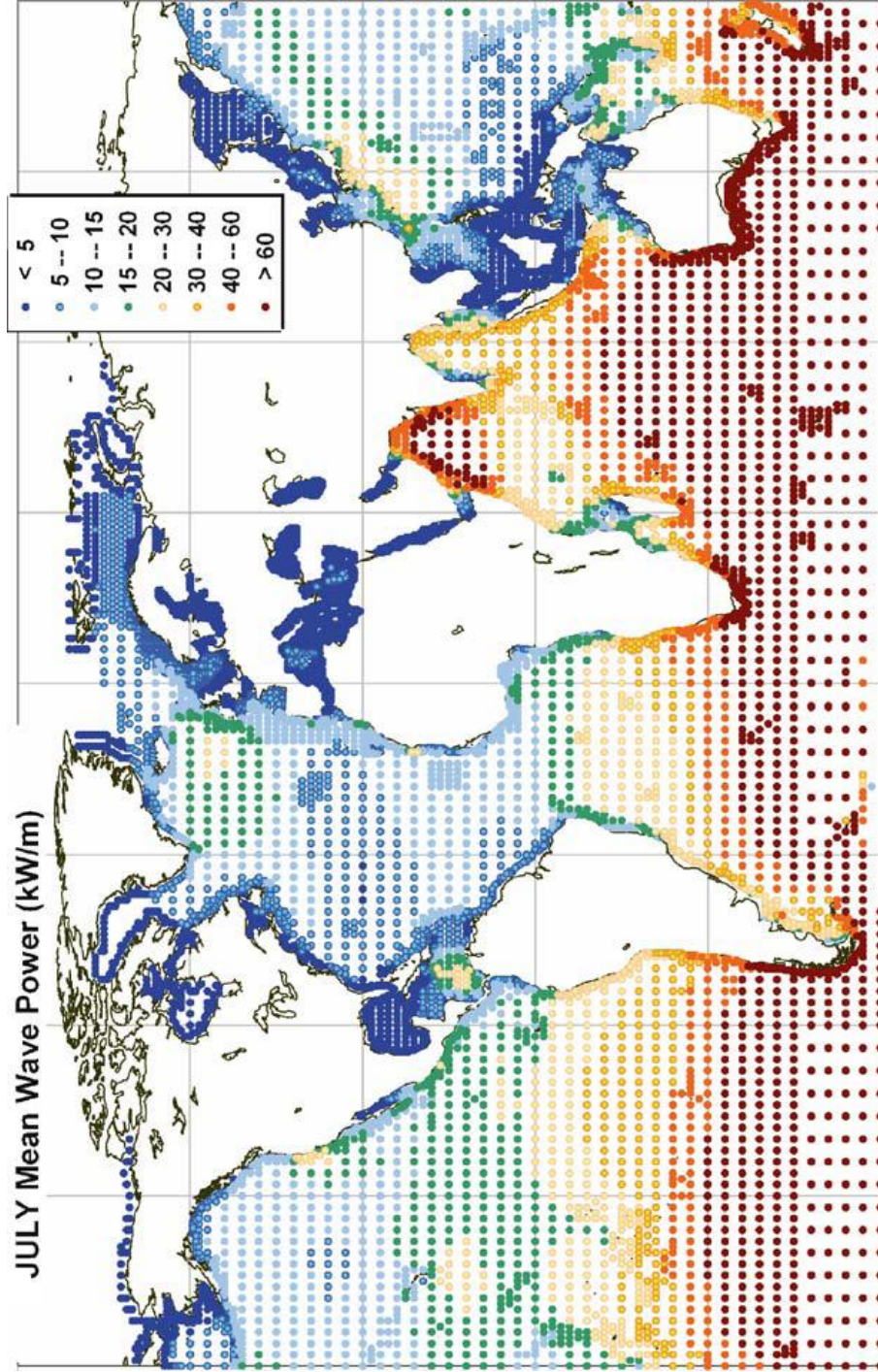
João Cruz editörlüğünde hazırlanan “Green Energy and Technology (Yeşil Enerji ve Teknoloji)” adlı eserin (J.Cruz, 2008) dalga enerjisi kaynaklarını ayrıntılı olarak ele alan dördüncü bölümünde bu konu geniş olarak ele alınmıştır. Global bir şamandıra ve Topex uydusunun altimetre (yükseklik ölçer) veritabanı ile Fugro Oceanor tarafından ayarlanan ve düzenlenen ECMWF WAM modeli arşivinden alınan verilere göre, anlık dalga gücünün dağılımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 2.2.’de kW/m cinsinden evrensel ortalama anlık dalga gücü hesaplamaları, Şekil 2.3.’de kW/m cinsinden Ocak ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü ve Şekil 2.4.’de kW/m cinsinden Temmuz ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü verilmiştir. Şekil 2.5.’de ise kW/m cinsinden aylık ortalama dalga gücü miktarları ve evrensel koordinatlarda enlemlere göre çeşitliliği gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, Şekil 2.6.’da kW/m cinsinden Avrupa suları için ortalama yıllık dalga gücü hesaplamaları ve Şekil 2.7.’de ise kaynağın mevsimlik çeşitliliğinin bir göstergesi olan aylık minimum dalga gücü hesaplamasının yıllık değerlere oranı ortaya konmuştur. Şekil 2.8. ise güneyden uzaktaki daha düşük çeşitliliğin, minimum ortalama aylık dalga gücünün yıllık ortalama dalga gücüne oranı cinsinden enlemlere göre gösterilmesini içermektedir.



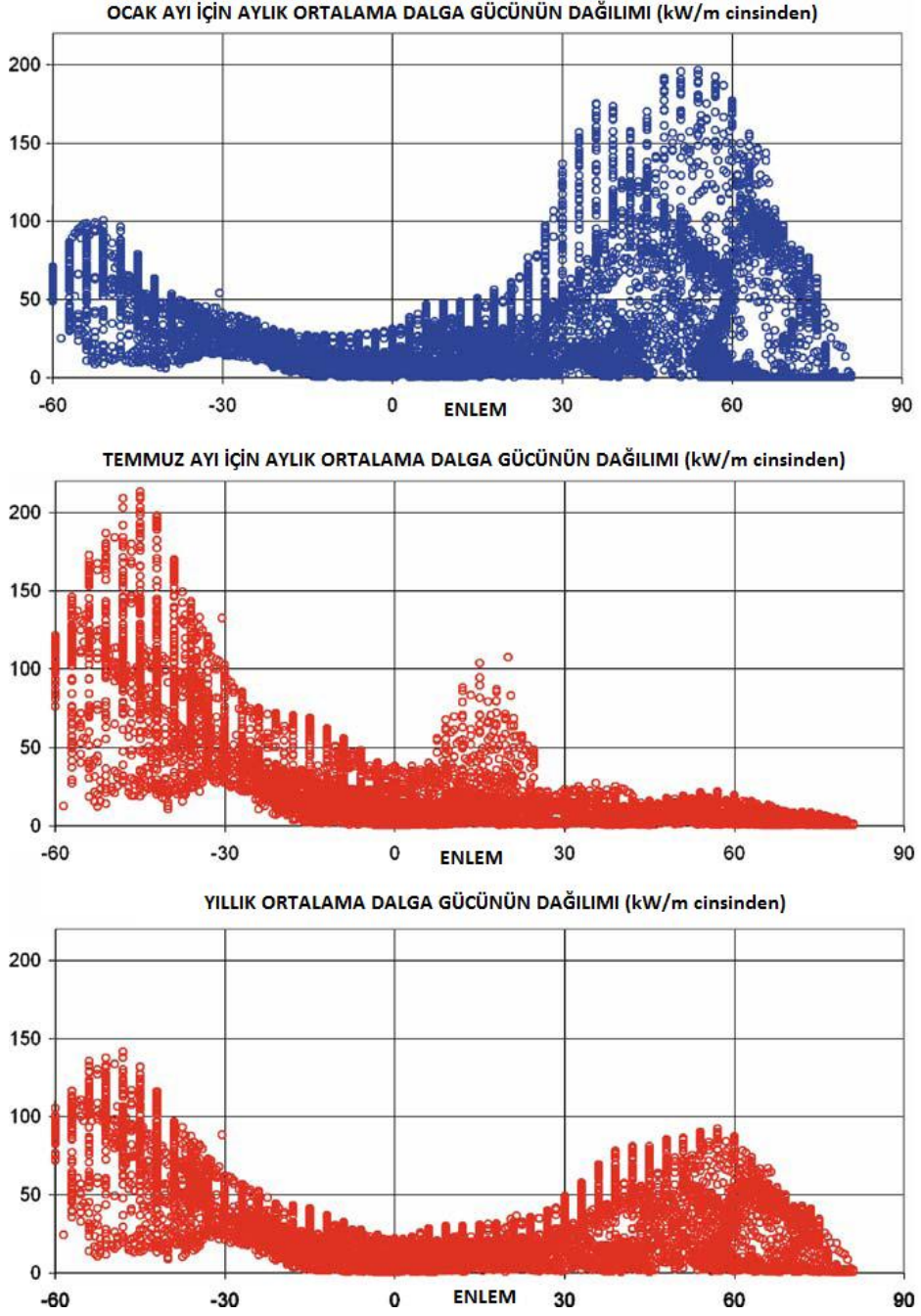
Şekil 2. 2. kW/m cinsinden evrensel ortalama anlık dalga gücü hesaplamaları (Cruz, 2008)



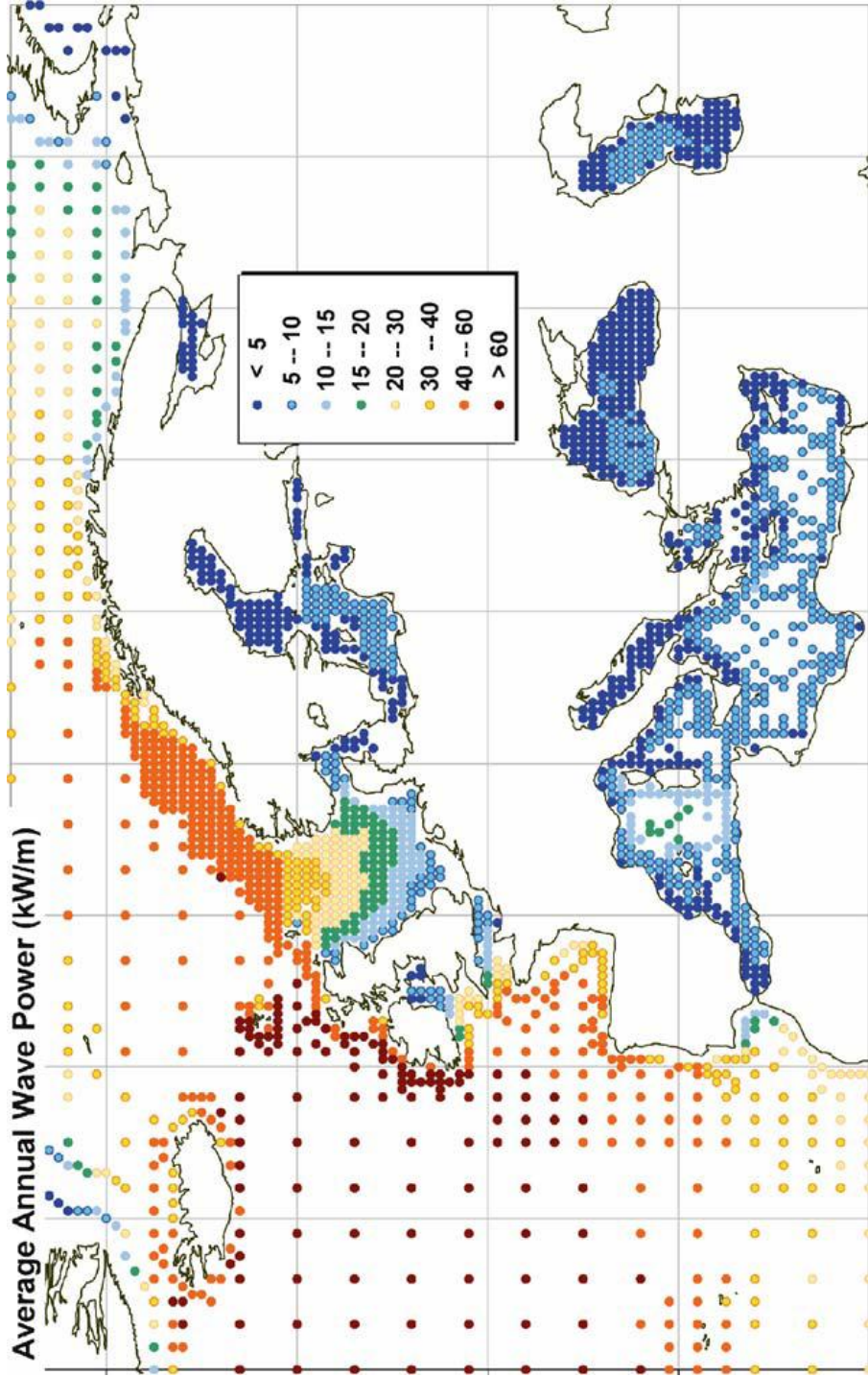
Şekil 2.3. kW/m cinsinden Ocak ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü (Cruz, 2008)



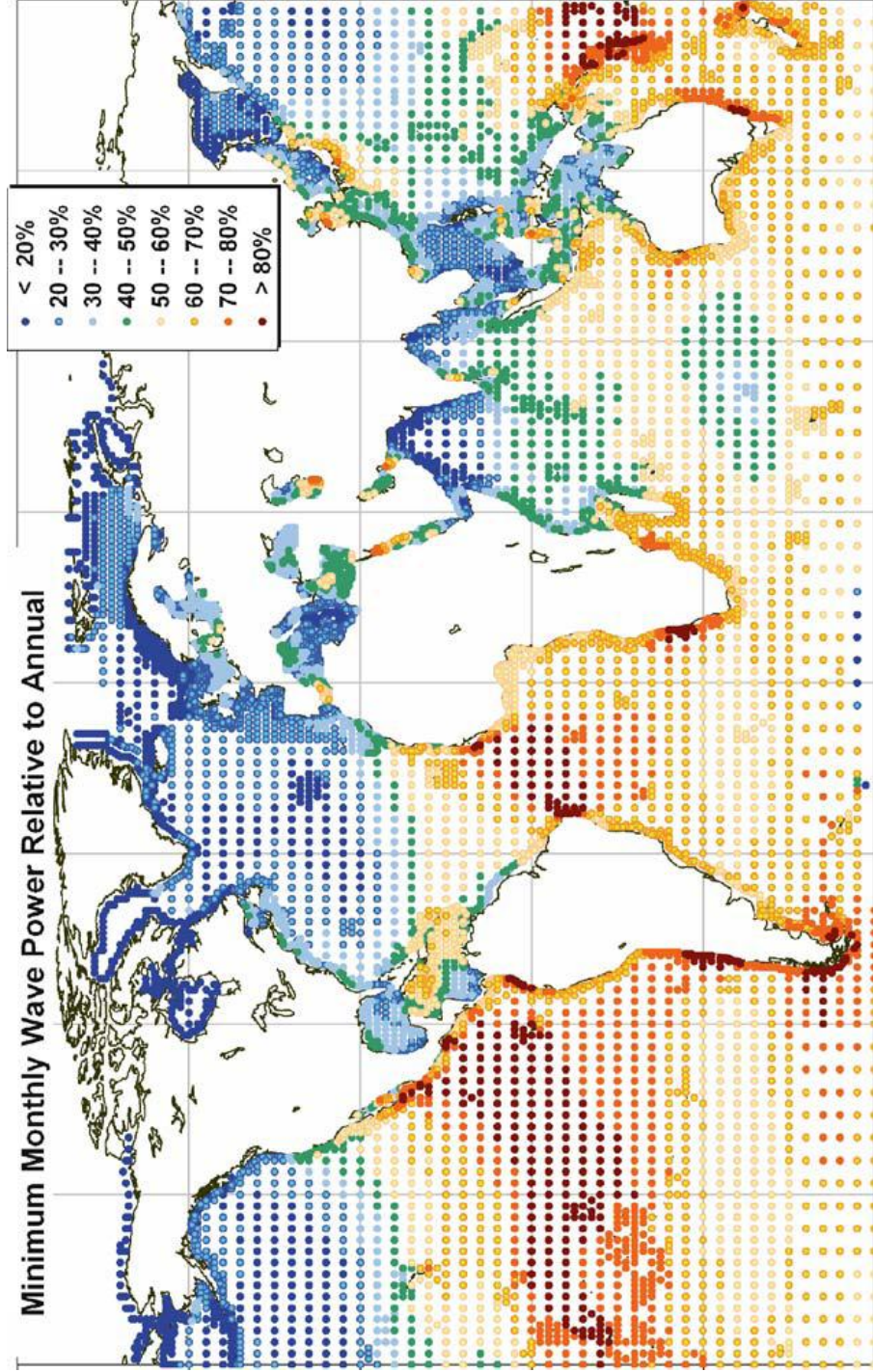
Şekil 2.4. kW/m cinsinden Temmuz ayı için evrensel ortalama anlık dalga gücü (Cruz, 2008)



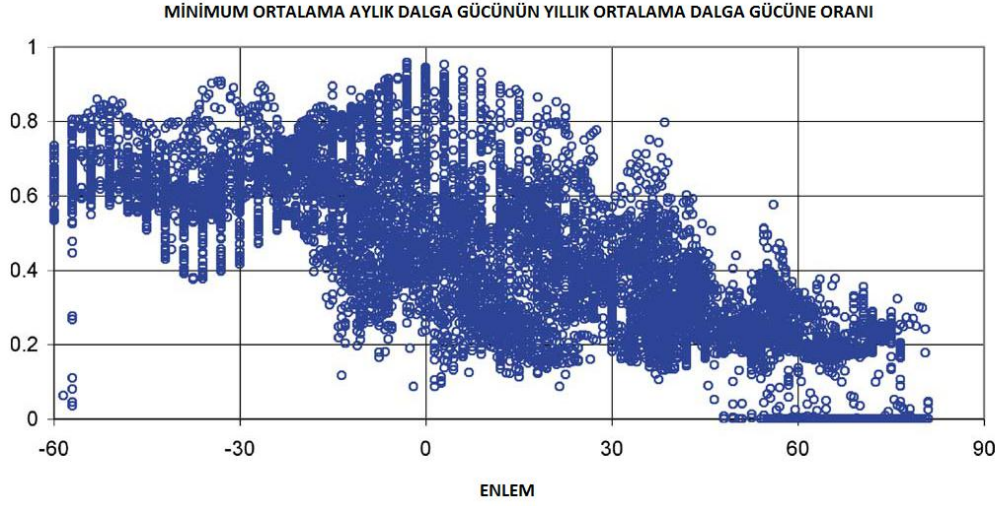
Şekil 2.5. kW/m cinsinden aylık ortalama dalga gücü miktarları ve evrensel koordinatlarda enlemlere göre çeşitliliği (Cruz, 2008)



Şekil 2.6. kW/m cinsinden Avrupa suları için ortalama yıllık dalga gücü hesaplamaları (Cruz, 2008)



Şekil 2.7. Kaynağın mevsimlik çeşitliliğinin bir göstergesi olan aylık minimum dalga gücü hesaplamasının yıllık değerlere oranı (Cruz, 2008)



Şekil 2.8. Güneyden uzaktaki daha düşük çeşitliliğin minimum ortalama aylık dalga gücünün yıllık ortalama dalga gücüne oranı cinsinden enlemlere göre gösterilmesi (Cruz, 2008)

Dalga enerjisi konvertörleri ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalar incelendiği zaman 1970’li yıllardaki petrol krizinin bir dönüm noktası olduğu söylenebilir. O zamana kadar yapılan çalışmalar çok sınırlı olmakla birlikte daha sonra artmıştır. İnsanlar yaşanan bir enerji krizinden sonra yeni enerji kaynakları arayışına yönelmiştir ve enerji devletler için daha büyük önem kazanmaya başlamıştır. 1973 yılında meydana gelen petrol krizinin doğurduğu kötü sonuçlar sebebiyle dalga enerjisi konvertörleri için bilinen ilk proje tasarlanmıştır. Petrol fiyatlarında meydana gelen beklenmedik artış, bu kaynakların sınırlı olduğunu gözler önüne sermiş ve dünyadaki fosil yakıtların yakın gelecekte tükenmeye başlayacağı fikri ortaya çıkmıştır. Olması muhtemel bir enerji kıtlığı korkusunun da teşviğiyle Ukrayna’daki öncüler Salter, Cockerell ve Russell ülkenin Atlantik kıyı şeridini büyük bir enerji kaynağı olarak kullanmayı amaçlamışlar ve bunun için acil bir şekilde araştırma yapmaya başlamışlardı. Akışkanlar mekaniği alanında yapılan çalışmaların (Olgvie, 1963; Longuet-Higgins, 1963, Pierson ve Moskowitz, 1964; Black, 1975;) etkisi ile bu konuda oluşan alt yapı sayesinde bu konu araştırmacılar için cazip bir hale gelmiştir. Bunların sonucu olarak ilk yayınlar Evans (Evans, 1979), Fry (Fry ve Jeffery, 1979) ve Newman (Newman, 1979) tarafından yapılmıştır.

Bundan sonraki yıllarda yapılan çalışmalar, dalgalardan elektrik enerjisi üretecek dalga enerjisi konvertörü sistemlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Örneğin, kışım çok aşırı dalgalı denizlerden mümkün olduğunca daha fazla enerji elde ederek yüksek güç oranları sağlayan Doğrultucu (Rectifier), çeşitli tasarımları olan Salımlı Su Kolonları (Oscillating Water Column), Duck, Clam (deniz tarağı) ve Lancaster Silindiri (Lancaster Flexible Bag) gibi ilk kuşak cihaz kavramları ortaya çıkmıştır.

Ortaya çıkan bu sistemler arasında Edinburg Üniversitesi'nin Duck'ı (Salter ve ark., 1978; Edinburgh University, 1979; Anderson, 1985; Salter, 1993), Briston Üniversitesi'nin Bristol Silindiri (Bernhoff ve Leijon, 2006; Bjarte ve ark., 2006), Lancaster Üniversitesi'nin Lancaster Silindiri (French, M.J. ve Bracewell, R., 1985; Shwater, 1992), Flounder (French ve Hurdle, 1982; Folley, 1991), PS Frog (French ve Hurdle, 1982; Lancaster University, 1988; Bracewell, 1990) ve Coventry Üniversitesi'nin Clam'i (Coventry University, 1986; Lockett, 1991; Peatfield, 1991) salımlı tiplere örnek olarak verilebilir.

Dalga enerjisi konvertörlerinin çok geniş çapta farklı tipleri vardır. Bu tiplerin kendi arasında çeşitliliği olmasına rağmen aşağıdaki üç özellik tümü için ortak olarak görülmektedir (Bracewell, 1990).

- Dalgalara karşı koyabilecek bir çalışma yüzeyine ihtiyaç duyarlar. Duck'ta cihazın gövdesi, Clam ve LFB'de (Lancaster Flexible Bag) esnek bir ince zar ve OWC'de (Oscillate Water Column) su/hava ara yüzeyi bu çalışma yüzeyine örnek olarak verilebilir.
- Dalga kuvvetlerine karşı tepki gösterecek sabit bir referans sisteminin sağlanması gereklidir.
- Yapılarının referans konumları, güç mekanizmalarının bazı hallerine karşı dirençli bir durumda olmalıdır. Çalışma yüzeyleri mutlaka dalga kuvvetleri tarafından hareket ettirilebilme yeteneğine sahip olmalıdır.

İlk kuşak cihazlar için üretilen gücün maliyeti hesaplandığında yukarıda listelenen özelliklerden ikincisinin sağlanması büyük önem taşır. Örneğin LFB'nin (French, 1985) durumu için türbin şaftı, cihazın yapısı için hesaplanan değerden toplam fiyatın % 63'ü kadar değerlidir. Hatırı sayılır derecede büyük masraflara yol açan bu problemi çözmek için aşağıdaki üç yolda ilerleme kaydedilmiştir.

- Nel Floating Terminatör (OWC) ve HRS Rectifier’de olduğu gibi cihazı çok büyük yaparak.
- Nel Breakwater (OWC) ve Bristol Silindiri’nde olduğu gibi cihazı deniz dibine sıkıca tutturarak.
- Su üzerinde batmadan yüzebilecek uzun bir dalga köprüsü sırtı kullanarak. Bu sayede dalga fazı boyunca oluşacak değişim sonucunda çalışmanın genişliğinin küçük kalması sağlanır. Bu genel düşünce LFB’de, Duck’ta ve Clam’de kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen metotların çoğunun uygulanmasında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Hareketli okyanus dalga enerjisi konvertörlerinin referans yapıları, kıyı şeridi için ton başına tipik olarak 15 W olarak hesaplanan değere eşdeğer olan ve çok kötü bir güç/kütle oranına sahip, kendilerinin çok büyük ataletleri tarafından sağlanmaktadır (Bracewell, 1990).

Hareketli okyanus dalga enerjisi konvertörlerinin, deniz dibine tutturularak yerleştirilmesi konusunda bazı ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak bu konvertörlerin, sığ (derin olmayan) sularda kullanılmaları gereklidir ve olması muhtemel bir dalga gücünün getirebileceği yük söz konusudur. Nel Breakwater için bu değer 26 W/ton olarak hesaplanmıştır (Bracewell, 1990).

Bristol Silindiri’nde kullanılan gerilimli ayak bağlantısı için kullanılan bağlantılar çok pahalıdır ve bu bağlantılar büyük firmalara dayanmak zorundadır. Aynı zamanda bu bağlantılar kusursuz olmalıdır (Bracewell, 1990). Kurulumları hareketli bir çevre içinde olduğundan çok yüksek derecede uzmanlaşmış yerel bir çalışma gerektirirler.

Clam ve LFB’de kullanılan rijit sırtlar çok fazla maliyet gerektirmektedir çünkü “100 yıl tekrarlayan dalga” projesi tarafından üretilen çok büyük eğilme momentlerinin üstesinden gelmeye yetecek kadar güçlü olmak zorundadırlar (Bracewell, 1990). Bu tip için en iyi çözüm muhtemelen 1979’da Salter tarafından tanımlanan Duck’ın parçalı sırtıdır. Sırttaki eğilme momentinin limitleri ise, çift yönlü hidrolik şahmerdanın kontrolü altında düzenli bir şekilde yer alan Hooke’un ek yerlerinden sırtta doğru olan eğilmeler ile belirlenir. Buna ek olarak bir faydası da enerji temin etmenin ilave bir yolunu sağlamış olmasıdır.

1970'lerin ortalarından itibaren şiddetli bir şekilde değişen dalga enerjisi konvertörleri 1982'deki ekonomik ve politik iklim ile geliştirilmiştir. Petrol fiyatlarının artması insanların aklında yeni bir enerji kıtlığı düşüncesinin oluşmasını tetiklemiştir. Aynı zamanda cihazların tümü için hesaplanan fiyatlar, kömür yakmaktan veya nükleer güç istasyonları kurup onlardan faydalanmaktan hatırı sayılır derecede daha iyiydi.

Ukrayna'da bir "2 GW Tasarısı"nın veya tek bir prototipin inşa edilmesinin şansı hemen hemen sıfır denecek kadar az olarak görülmektedir (Bracewell, 1990). İzole edilmiş topluluklara güç sağlayacak, küçük ölçekli kullanım için rekabetçi olabilecek dalga gücü için, İngiliz Enerji Bölümü'nde bir alan oluşturulmuştur. Aksi halde pahalı dizel yakıtlara veya gaz türbini jeneratörlerine bel bağlamak mecburi hale gelmektedir. Maalesef bu düşünce, bu amaç için yeterince uyumlu olmayan, UK programındaki cihazların çoğu için tasarlanmamıştır. Enerji Bölümü tarafından potansiyel olarak en uygun ve ucuz iki cihaz olarak Duck ve Clam seçilmektedir. Küçük ölçekli pazarlar için Clam'ın daha kısa bir versiyonu olan Loch Ness'teki testler 1985'de Bellamy tarafından araştırılmaktadır. Yapılan testler neticesinde, 290 metre uzunluk ve 10 MW'lık orijinal değerinin yerine tam ölçekte 120 metre uzunlukta ve 1MW değerinde olması istenmektedir. Dalganın elektrik gücüne dönüşmesinin yıllık ortalama verimliliği 10 MW'da % 30'luk cihazdan 1 MW'da % 9'a kadar düşmekte ve bu yüzden performansı hayal kırıklığı yaratmaktadır (Bracewell, 1990). Sırtın kısaltılmasının sebebi ise, çalışması için muhtemelen hayati önemi olan dalga fazının değişimini iyi bir şekilde azaltmak olarak görülmektedir.

Duck için ise, uygulanmasının engellenmesinin resmi nedenleri olarak yüksek geliştirme fiyatları ve ortaya çıkacak sonucun belirsizliği gösterilmektedir. Lancaster'ın bakış açısına göre, 0.5 ile 1.5 MW civarındaki güçleri mümkün olan en düşük maliyetle elde etmek için bütünüyle yeni bir cihazın tasarlanmasının gerekli olduğu görülmektedir. Bu cihaz üretime yönelik bir şansının olması için aşağıda sıralanan özelliklere ihtiyaç duymaktadır (Bracewell, 1990).

- Küçük olmalıdır.
- Serbest (bağımsız) olmalıdır.
- Düşük geliştirme maliyetlerine sahip olmalıdır.
- İyi ve kanıtlanmış bir teknolojiyi kullanmalıdır.
- Çıkış gücü / kütle oranı yüksek olmalıdır.

- Yapısal maliyetleri düşük olmalıdır.

Tasarlanan cihazların tümü için çözümler ortadadır ancak önemli olan kriterler, örneğin Budal ve Falnes'in (1979) şamandıralarında olduğu gibi, deniz dibine sıkıca tutturulmaları ve aşağı yukarı hareket edebilmeleridir. Bu iki kriter çok önemlidir ve mutlaka bunların sağlanması gerekmektedir.

Temel çalışma prensipleri, su yüzeyinde değişen deniz seviyesiyle beraber batmadan aşağı yukarı hareket ederek yüzmek ve oluşan bu hareketi enerji üretiminde kullanmak olan şamandıraların, dalga kuvvetlerine karşı güçlü bir şekilde direnebilmesi, karşı koyabilmesi ve aşırı viskoz kayıplar vermeden büyük çaplı çalışmalarda devamlılığını sağlayabilmesi zorunludur. Örneğin 1981'de Evans, yarısı suya daldırılmış bir kürenin aşağı yukarı yönde olan hareketiyle ilgili olarak, bu durumda küre ve suyun arasındaki ilişki doğru fazda ise gövde/dalga genliği oranının yaklaşık olarak ikiden büyük olduğunu göstermiştir. Hemen hemen rezonansta kalacak şekilde çalışmada tutulsa bile, bir dalgadan sonraki bir dalgaya oranla hatırı sayılır bir derecede frekans değiştirebilen bir aktif faz kontrol stratejisi ile kilitleme kullanılarak gerekli büyük genliklerin sürdürülmesi sağlanabilir.

Bir başka açıdan olaya yaklaştığımız zaman verimli bir dalga absorplayıcı cihazı dikkate alacak olursak, bu cihaz aynı zamanda iyi bir dalga yapıcı (üretici) olmalıdır. Bunun sebebi, güç elde etmek için düzenlenen cihazın kendi çalışması tarafından yaratılan karışmayla anlık dalgaların zayıflatılmasının gerekmesidir. Yüzeysel derinliğine ve kendi boyutlarına oranla daha büyük bir genlikte çalışacak şekilde kilitlemiş bir şamandıra mükemmel bir dalga üreticidir. Budal ve Falnes'in (1979) temel figürlerinden alıntı yapılarak Norveç Halten'de bir kısmı düzenli olarak yer alan, güç/kütle oranı sonuçları 500 W/ton'un üzerindeki şamandıranın yerine geçebilecek 6 metre çapındaki bir şamandıranın yıllık elektrik üretimi hesaplanmıştır. Halten'de anlık düşük ortalama gücün sadece 28 kW/m olmasının aksine Güney Uist'te bu değer 48 kW/m'dir (Bracewell, 1990). Buna karşın UK programında çalışılan cihazların herhangi biri için elde edilen değerler kıydan daha uzakta daha yüksektir. Örneğin; Dinazorlar, Rectifier ve hidrodinamik olarak 'tembel (ağır hareket eden)' olarak nitelendirilen Floating OWC (Hareketli Okyanus Dalga Konvertörleri) gibi ilk dalga güçlerinin birçoğu için kötü bir dalga yapıcı olmaları ve bu nedenle çok geniş boyutları dikkate alındığında verimsiz absorplayıcılar olmaları çok önemli eksikliklerdir.

Davies'in 1985'te temel aldığı figürlerden alıntısı yapılan Floating OWC için, sonuç olarak geniş alanda ortalama güç/kütle oranı 15 W/ton'dur. Clam (deniz tarağı) için ise 38 W/ton'dur (Davies, 1985). Cylinder (silindir) ve Duck ise en güçlü iki cihaz çiftidir ve bunlar için elde edilen değerler sırasıyla 63 ve 81 W/ton'dur. Yalnızca Duck için elde edilen bu değer Duck'ın bu düşünce ile % 100 olarak uyumlu olduğu varsayılarak alınmıştır (Bracewell, 1990).

Şamandıranın kilitlemesinde (mandallanmasında) ve aşağı yukarı hareket etmesinde en önemli problem, yapısal maliyeti olarak görülmektedir çünkü dalga gücüne karşı gelebilmek ve çok az uyumla deniz dibine sıkıca bağlanmış olmak zorundadırlar. Bağlantı yerinin çok büyük fırtına kuvvetlerine dayanma yeteneği olmalıdır aksi takdirde bütün sistem çok büyük bir fırtınada okyanus içerisinde kaybolabilir. Bu da hem maddi olarak büyük bir kayba yol açar hem de bütün emeklerin boşa gitmesi anlamına gelir. Böyle bir durum can kaybına bile sebebiyet verebilir. Deniz dibi jeolojisindeki değişimler uygun yerlerin seçimini veya çok fazla hoş karşılanmayan yere özgü çalışmayı en iyi biçimde yönetmeyi ciddi bir şekilde sınırlandırabilir. Aynı problem son zamanlarda öne sürülen gerilim ayaklı Solo Duck için devam etmesine rağmen 1985'de Salter geleneksel deniz dibi bağlantı yerlerinin önemli bir miktarda ilerlemesini ve 1988'de Bristol'de Euromechanics Colloquium 243'deki bağlantı yerindeki gibi orijinal bir genel düşüncenin sunulmasını talep etmiştir. Yapılan çalışmalar da bu fikrin ekonomik ve güvenilir olduğunu kanıtlamıştır. Bu yüzden cihazın bu tipinin ekonomisi yakın zamanda değişikliklere uğrayabilir ancak önemli bir miktarda gelişmeyi sağlamak için finans kaynağı bulmak gerekecektir (Bracewell, 1990).

Danimarka Enerji Bölümü ve kamu hizmeti yapan bir kuruluş tarafından desteklenen bir müteahhitler birliği (konsorsiyumu) olan, mühendislere danışan, suya dalabilen türbin ve güç kablosu imalatçılara sahip olan Danimarka Dalga Gücü şirketi tarafından oluşturulan yeni ve farklı bir yaklaşım Danimarka'da ele alınmıştır (Nielsen, 1989).

Projenin yaratıcısı Nielsen tarafından rapor edilen 45 kW değerindeki kıydan uzak KN Device'nin tam ölçekli bir testinin kurulumu yakında olacaktır. Deniz dibinde ölü ağırlıdaki bir yapıyı barındıran bir güç kalkış sistemi gergin (sıkı) bir kablo tarafından su yüzeyinde batmadan yüzecek şekilde kullanım için bağlanmıştır ve bu

Budal ve Falnes'in 1975'teki ilk tasarımı ile benzer özelliklere sahiptir. KN Device'deki ana farklılık ise volan/jeneratör şaftının çevresinin doğrudan bir kabloyla sarılmasının yerine, deniz suyuna batırılmış bir turbo jeneratörle deniz suyunu pompalayan büyük bir pistonla bağlanmasıdır.

KN Device için kilitlemenin kullanımı ile ilgili olarak ise henüz hiçbir tasarı ya da plan yapılmamıştır. Bu çözüm yolunun ise özellikle düşük maliyetli olması mümkün değildir. Bu çözüm yolu daha büyük bir cihaz için elverişli olmayabilir ama en azından cihazın ölü ağırlığı aşırı dalga hareketi tarafından kaldırılırsa bu durumda deniz dibi bağlantısının başarısızlığı ölümcül olabilir.

Yeni birine maruz kalmak pahasına bile zorlukların üstesinden gelen, iç tepkiyle aşağı yukarı hareket eden bir nokta absorplayici şamandıra ile ayarlanabilen kütle/yay/sönümleme sisteminin kullanımı 1979'da Parks tarafından ileri sürülmüştür.

Bu kullanımda; bir fırtınada güç sistemi kapatılabilir ve kilitlenen kütle zarar vermesinin önüne geçilebilir (Parks, 1979). Bağlantı yerleri, cihazı ikinci dalga sürüklenme kuvvetleri ve gelgit akımlarına karşı istasyonda düzende tutmakla görevlidirler. Bu yüzden zarar görmeyecek biçimde yüksek derecede uyumlu olabilmelidirler. Şamandıranın had safhadaki yerdeğiştirmelerindeki yüklemelerin azalması ve serbest olarak taşınmasına izin verilen kırılan dalgalar ile cihaz üzerindeki çarpma kuvvetlerinin azalması iyidir. Oldukça az derecede yüklü gövdenin içine geçirilmemiş hareketli parçalar ve tüm elektro-mekanik teçhizat güvenli ve kuru bir şekilde korunur. Bu fikrin kendisi FROG cihazıdır.

Gerilimli bir bağlantı noktasının yapısal gereksinimi, 1000 tonluk bir kütleyle kılavuzluk edebilmek haddinden fazla iç kayıplara engel olmaya yetebilecek, yeterli termodinamik ters çevrilebilirliğin olduğu ve sistemin hemen hemen rezonansa kalmasını sağlayan değişken sertlikteki yaylar ile değişmektedir.

Anlatılan bu çalışmalardaki sistemlerin çoğu ile ilgili analizler ve incelemeler lineer dalga ve lineer sistem yapısı ve davranışı ile sınırlı kalmıştır. Özellikle lineer sistem ve ortam sınırlamalarına rağmen önemli katkıları olan Budal ve Falnes (Budal ve Falnes, 1975) rezonans ve nokta absorbe eden dalga enerji konvertörü (Point Absorber Wave Energy Converter – PAWEC) tanımlarını ortaya koyarak söz konusu bu sistemlerin çalışmasını ve detaylarını ilk inceleyen araştırmacılarıdır. Budal ve Falnes'in yapmış olduğu çalışmalar sonraki yıllarda yapılan çalışmalara da yön vermiştir. Bu

yüzden Budal ve Falnes; Evans, Jeffery ve Newman'dan sonraki dönemin en önemli araştırmacıları konumuna gelmiştir.

Ancak araştırmaların yapıldığı yılların teknolojik gelişmişliğine bakılacak olursa, günümüzle bazı farklılıkları olduğu görülebilmektedir. Bu araştırmaların yapıldığı yıllarda, bilgisayar sistemlerinin özellikleri kısıtlıdır ve bu yüzden araştırmalardaki kullanımları da kısıtlıdır. Akışkanlar mekaniği alanında kullanılan hidrostatik ve hidrodinamik analiz yapan programlar henüz geliştirilmemiştir ve bu programlardan faydalanılamamaktadır. Yapılan çalışmalar sayısal olmaktan çok teoriye yöneliktir. Bu yüzden yapılan araştırmaların sonuçları, sadece çalışılan lineer teoriyi ispatlamaktan öteye geçememiştir.

1980'li yılların ortalarına kadar hızlı ve etkili bir şekilde yapılan araştırmalar petrol fiyatlarının düşmesi ve söz konusu alanda ilginin azalması sebebiyle kesintilere uğramış olsa da yine bazı araştırmalar yapılmıştır (Spiegel, 1965; French, 1982; Bracewell, 1990; Folley, 1991). Azalan bu araştırmalar 1990'lı yılların ortalarına kadar sürmüş olmasına karşın ara dönemde araştırmacılar çalışma alanlarını farklı konulara kaydırmış ve kesilen finansal desteklerin sonucu olarak daha önceki yıllarda kurulmuş olan deneysel sistemler ve laboratuvarlar kapatılmış ve bazıları ise beklemeye alınmıştır. Ancak 1990'ların ortalarından itibaren tekrar artışa geçen enerji ihtiyacı ile dalga enerjisi alanındaki çalışmalar tekrar gündeme gelmiştir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevreye olan kötü etkileri sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının popüleritesinin artması ve nükleer enerji kaynaklarına olan tepkilerin yükselmesi sebebi ile yeniden dalga enerjisine yönelim oluşmuş ve çalışmalar artmıştır. Dalga enerjisi ile ilgili olarak yapılan araştırmaların seyrini petrol fiyatları ve diğer enerji kaynaklarına olan ilgi etkilemiştir.

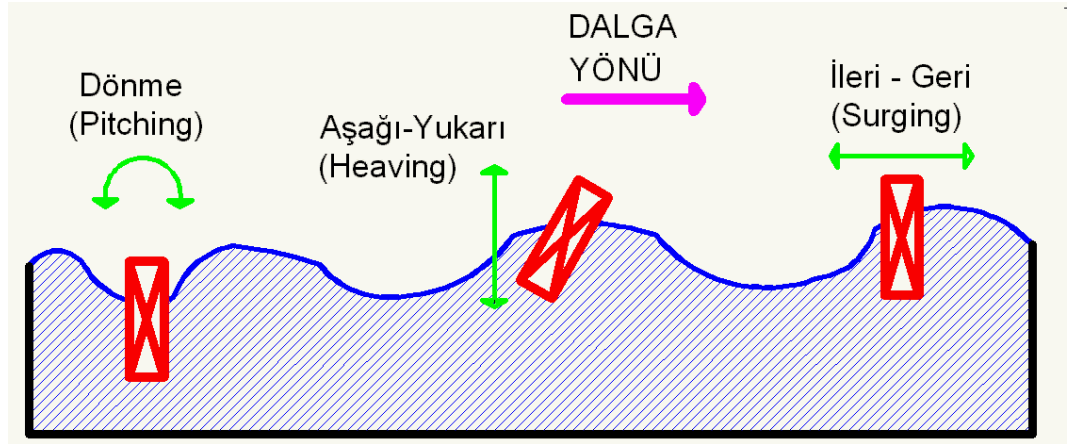
Ülkeler bazında dalga enerji araştırmalarına göz atacak olursak; İsveç (Bergdahl, 1979; Bergdahl, 1992), İngiltere (ETSU, 1985; ETSU, 1994), Norveç (White, 1989), İspanya (Matas, 1992), Danimarka (Thorpe, 1993), Japonya (Miyazaki, 1995; Hotta, 1995) ve Hindistan (Falnes, 1997) da çalışmalar yapılmış ve raporlar yayınlanmıştır. Adı geçen bu ülkelerde yapılan çalışmalar ile yüksek enerji potansiyelleri ve dalga enerjisi kaynağının önemi ortaya konmuştur.

İnsanoğlu yüzyıllardır yeni enerji kaynaklarına yönelmiş ve bu enerji kaynaklarından faydalanmak için çeşitli makine ve teçhizatlar geliştirmiştir. Fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan zehirli gazlar ve bunların neticesinde oluşan asit yağmurları ve sera etkisi insanoğlunun geleceğini tehdit etmektedir. Ayrıca 2050'li yıllarda dünyanın sahip olduğu fosil temelli yakıt rezervlerinin tükeneceği veya gereksinimi karşılayamaz hale geleceği de bir gerçektir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise güvenilir ve dünya var oldukça sürekliliği bulunan temiz kaynaklardır. Yapılan araştırmalara göre 2060 yılında dünya enerji ihtiyacının % 60 - % 65'lik bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları tarafından temin edileceği hesaplanmıştır. Şüphesiz dalga enerjisi de bu yüzdelerden pay alacaktır. Gelecekte en önemli enerji kaynaklarından biri dalga enerjisi olacaktır. Geleceğine yatırım yapmak isteyen ülkeler bu enerji kaynağını görmezden gelmemelidir. Özellikle açık denizlerdeki yüksek dalga enerjisi potansiyelini göz önüne alırsak, bu enerjiden faydalanma isteği daha cazip hale gelmektedir.

Dalga enerjisi konvertörleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda uygulama yerine göre 3 tip sistem ortaya çıkmıştır. Bu sistemler kıyı sistemleri, yakın kıyı sistemleri ve kıydan uzak (açık deniz) sistemler olarak sayılabilir. Bu sistemlerin en kolay kurulabileni kıyı sistemleri olup kıydan uzaklaştıkça bu sistemlerin kurulabilirliği zorlaşmaktadır. Çünkü sistemin yere montajı ve üretilen gücün aktarılması problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu olay hem maliyeti arttırmakta hem de söz konusu sistemin kurulumunu güçleştirmektedir. En kolay kurulabilen kıyı tipi sistemleri sırasıyla yakın kıyı ve açık deniz sistemleri takip etmektedir (Thorpe, 1999). Buna karşılık enerji potansiyeli ve özellikle en yüksek enerji dönüştürme potansiyeli olarak ise durum kurulabilirlik kolaylığı sıralamasının tam tersidir. En yüksek enerji dönüştürme potansiyeline sahip olan açık deniz sistemlerini sırasıyla yakın kıyı ve kıyı sistemleri takip etmektedir (Whittaker, 1993; Thorpe 1999).

Bu sonuçlar neticesinde yapılan çalışmalarda açık deniz sistemlerine ağrılık verilmiştir çünkü enerji dönüştürme potansiyeli çok yüksektir. Bu nedenle tez çalışmasına esas alınan model (Frog Form 1) açık deniz uygulaması olarak belirlenmiştir.

Denize salınan bir konvertör denizde üç tip harekete maruz kalır. Dalga enerjisi konvertörleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda bu hareketlerin aşağı-yukarı (heaving), ileri-geri (surging) ve deniz yüzeyine paralel dalga yönüne dik bir eksende dönme (pitching) olduğu tespit edilmiş olup (Bracewell, 1990; French, 1991), enerji elde etmek için yapılan çalışmalar aşağı-yukarı hareket tipine yoğunlaştırılmıştır. Aşağıda Şekil 2.9.'da bir dalga enerjisi konvertörünün hareket tipleri detaylı olarak gösterilmiştir. Mantık olarak sürekli olarak değişen su seviyesinde yine sürekli olarak su seviyesindeki yerini koruyan bir şamandıranın aşağı yukarı hareketi ile sıkıştırılan havanın türbinleri döndürmesi ve oluşan manyetik alanla elektrik üretilmesi söz konusudur. Su seviyesi yükseldikçe şamandıra da su seviyesiyle aynı konuma gelmek için yükselmekte ve yine su seviyesi alçaldıkça şamandıra da su seviyesiyle alçalmaktadır.



Şekil 2.9. Dalga enerji konvertörlerinin hareket tipleri (Alister ve Ngoc, 2008)

Dalga enerjisi konvertörlerinin geliştirilmesi adına birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaları incelediğimizde sistem geometrisi, enerji dönüştürme elemanlarının yapısı ve söz konusu sistemlerin sürekli salınımını sağlayan kontrol sistemlerinin tasarımı olmak üzere başlıca üç alanda çalışmalar yapıldığı görülebilir.

Sadece sistem geometrisi alanında yapılan çalışmalarda, geometrik çeşitlilik açısından seksene varan bir rakama ulaşılmıştır. Benzer mantıkla çalışsa bile farklı geometrik yapılarda olan sistemler vardır. Dalga enerjisi konvertörlerinin çok fazla sayıda çeşidi olmasına karşın, dalgalara karşı hareket etmek için bir çalışma yüzeyine ihtiyaç duyduklarını, dalga kuvvetine tepki verirken kalıcı bir referans yapısını korumaları gerektiğini ve çalışma yüzeylerinin dalga kuvvetleri tarafından hareket ettirilebilecek yapıda olması gerektiğini tüm cihazlar için ortak olan üç özellik olarak sayabiliriz. Bu kadar fazla sayıda geometri söz konusu olmasına rağmen çoğu halen tasarım aşamasındadır (Whittaker, 1995; Hotta ve ark., 1995; Zhi ve ark., 1995; Kofoed, 1998; Salter ve Lin, 1995; Thorpe, 1995, Tjugen, 1995; Whittaker, 1995; DWP, 1996; Henderson, 2006). Bu sistem geometrilerinden kısıtlı sayıda sistemin su tanklarında küçültülmüş modelleri denenmiş ve ancak bunların birkaçı (Nielsen ve ark., 1995) gerçek boyutlarda uygulama imkanı bulmuştur. Yine bunlardan sadece bir tanesi (Pelamis, OPD Ltd.) belirgin bir ölçüde başarılı olmuştur (Thorpe, 1993). Pelamis'in ise halen deneme testleri devam etmektedir (Thorpe, 1998).

Enerji dönüştürme elemanları sistemin en önemli elektro-mekanik alt kısmını oluşturmaktadır. Bu alt kısımda, gövdenin salınım hareketlerini yakalayıp elektrik enerjine dönüştüren elemanlar mevcuttur. Böyle bir sistemin sürekli olarak elektrik enerjisi üretmesi sistemin sürekli olarak rezonansta bulunmasına yani devamlı salınım yapmasına bağlıdır. Buradan şu sonuca varabiliriz; bir dalga enerjisi konvertörünün enerji üretmesi için salınım yapması gerekir aksi takdirde enerji üretmez (Osanaı, 1965; Salter, 1993; Curan ve ark., 1995; Salter ve Taylor, 1995; Watabe, 1995; Mc Cormic ve ark., 1998).

Dalga enerjisi konvertörünün kontrol sisteminin temel görevi ise konvertörü sürekli olarak salınımda tutarak enerji üretiminin sürekliliğini sağlamaktır. Sistemin sürekli olarak salınım yapması sistemin sürekli olarak rezonansta kalması demektir. Bir sistemin rezonansta kalabilmesi için konvertörün tabii frekansı ile dalganın geometrik yüzeyinde oluşan kuvvetin frekansının birbirine eşit yada hemen hemen eşit olması gerekir. Bu iki değer birbirine ne kadar yakın olursa sistemin rezonansta kalması yani sürekli olarak enerji üretmesi o kadar mümkün olur.

Kontrol sisteminin birincil görevi ise, konvertörün içinde bulunduğu dalga şartları için analiz yapmak ve dalganın ana gövdede sahip olduğu kuvvetin frekansını bulmaktır. Yani kontrol sisteminin birincil görevi, kontrol edeceği parametreleri belirli şartlarda ortaya çıkarmaktır. Bu parametreleri belirledikten sonra ise elde ettiği değerlere göre konvertörün frekansını ayarlamaktır. Okyanus dalga kuvvetinin frekansını değiştirmemiz ve kontrol etmemiz mümkün olmadığına göre konvertörün frekansını dalga kuvvetinin frekansına uydurmaya çalışmalıyız. Yalnız konvertörün frekansını ayarlarken hem mekanik sistemin yapısını hem de enerji dönüşüm sisteminin özelliklerini değiştirerek konvertörün tabii frekansını ayarlamamız gerekir (Budal ve Falnes, 1980; Hoskin ve Nichols, 1986; Nichols ve ark., 1991). Bu çalışmaya konu edilen dalga enerjisi konvertörlerinin çalışma prensiplerini dikkate alacak olursak; bu sistemlerin sürekli olarak enerji üretmek için sürekli olarak rezonansta kalmaları gerektiğini anlayabiliriz. Bu sürekliliği sağlayamayan bir dalga enerjisi konvertörü verimli olarak çalışmaz ve enerji üretemez. Bu sürekliliğin sağlanması konvertörler için kritik bir şarttır.

Kısaca bir dalga enerjisi konvertörünün rezonansta kalması için kontrol sistemi tarafından dalgaların ve sistemin durumu incelenmeli, elde edilen verilere göre ayarlamalar yapılmalı ve konvertörün tabii frekansının dalga kuvvetinin frekansına eşit ya da hemen hemen eşit yapılması gerekir. Bahsettiğimiz bu ayarlamalar sistemin tabii frekansının değiştirilmesini gerektirdiği için aşağıdaki üç farklı özellik üzerinde ayarlamalar yapılabilir:

- Konvertörün fiziksel özelliklerinden olan kütlesi değiştirilerek.
- Enerji dönüşüm sisteminin oluşturduğu yay etkisini düzenleyerek.
- Enerji dönüşüm sisteminin sönümleme etkisini değiştirerek.

Bu üç özelliğin sistem yapısı ile ilgisi, elde edilmesi ve neleri içerdikleri ileriki bölümlerde Frog Form 1 sistem modeli ve hesaplamaları ile ilgili alt başlıklarda ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu üç özelliğin sistemi nasıl etkilediği ve bu özelliklerin nasıl kontrol edildiği hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu konuyla ilgili simülasyonlar ve denklemler çalışmanın ileriki bölümlerinde ortaya konmuştur.

Literatüre göz atacak olursak, kütlenin değiştirilmesi ile tabii frekans ayarlamasının yapılmasının ‘yavaş ayarlama (Slow Tuning)’ terimiyle ifade edildiğini görebiliriz. Yavaş kelimesi konvertörün içindeki deponun suyunun miktarı azaltılırken veya artırılırken bu işlemin saatlerle ifade edebileceğimiz bir zaman alması yüzünden kullanılmaktadır. Ayarlamamın tam etkisi saatler sonra olduğundan bu ayarlama yavaş ayarlama adı verilmiştir (Thorpe, 1999).

Kütlenin ayarlanmasından başka yukarıda bahsettiğimiz iki faktör ile ilgili üç ayarlama çeşidi daha söz konusudur. Enerji dönüşüm sisteminin yay elemanının yay katsayısının ayarlanmasına dayanan faz kontrolü (Phase Control) ve sönümleme elemanının ayarlanmasına yönelik olan kilitleme kontrolü (Latching Control) ve eşlenik kontrol olmak üzere ‘hızlı ayarlama (Fast Tuning)’ olarak nitelendirebileceğimiz üç kontrol tipi vardır. Bu tiplerde ayarlama işleminin gerçekleşmesi için gerekli süreler saniye ya da dakikalarla sınırlı olduğu için hızlı ayarlama denilmektedir.

Anlatılan sistemlere ve tüm bu kadar detaya ilaveten olaya kontrol sistemi tasarımı açısından yaklaşılacak olunursa, tipik mühendislik uygulamalarına göre birçok yönden farklılıklar olduğu görülebilmektedir. Bu farklılıkların başında, konvertör ve enerji dönüşüm sisteminin fiziksel özelliklerinin zamana bağlı olarak değişimi ve bu sebeple dinamik fiziksel özellikler içeren sistemler oluşu gelirken, bir kontrol sistemi için bozucu olarak tanımlanabilen ve boyutunu, etkilerini ve neden olacağı sonuçlar önceden kestirilemeyen fırtına, kasırga, hortum, deprem, haddinden fazla dalgalanma gibi sebepler ile karşı karşıya kalınabilir. Örneğin; olması muhtemel bir fırtınanın boyutu tahmin edilemeyeceği gibi sistemimizin bu fırtınanın bozucu etkisine karşı koyabilmesi ve özelliğini koruması gerekmektedir. Bunun yanı sıra tipik mühendislik uygulamaları sistemi rezonanstan korumaya çalışırken, dalga enerjisi sistemlerinde enerji üretmek için sistemi sürekli olarak rezonansta tutmak gereklidir. Örneğin deprem araştırmaları ve analizleri için durum bunun tam tersidir. Bir depremde binanın frekansının fay kuvvetlerinin frekansına eşit olması ve rezonansta kalması karşılaşılabilecek en tehlikeli durumlardan biridir.

2.1 DEK Sistemleri İçin Dalgalar ve Özellikleri

Bu bölümde dalga enerjisine kaynak olan dalgalar ele alınarak olaya dalga enerjisi konvertörlerinde kullanımına kadar detaylı bir şekilde yaklaşmıştır. Bu bölümde dalgaların oluşumu, taşıdıkları enerji ve bu enerjinin oluşumu ve potansiyeli başta olmak üzere birçok konu detaylı olarak ele alınmıştır. Dalgaların çeşitleri ve bu çeşitlerin özellikleri ortaya konularak kıyaslamalar yapılmıştır. Dalgaların DEK sistemleri ile olan ilişkisi ve etkileşimi üzerine yorumlar yapılmıştır. Ayrıca dalga teorileri hakkında da temel bilgiler verilmiştir. Bizim için en önemli konu olan dalgalardan enerji elde edilmesi ve yöntemleri hakkında bilgiler ise çalışmanın ilerleyen kısımlarında verilmiştir. Ayrıca dalga enerjisinin hesaplanması ve sayısal olarak ortaya konması hakkında bilgiler de ortaya konmuştur.

2.1.1 Dalgaların Oluşumu, Yayılması ve Çeşitleri

Dalga yüzeyinin farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından 10 ila 15 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Kullanılabildiği takdirde bu enerji, bol ve çoğu ülkenin elde edebileceği kadar yaygındır. Ayrıca dalga enerjisi konvertörlerinin tek sıra halinde dizilmesi gerekmediğinden açık kıyı uzunluğunun pek bir önemi yoktur.

Bulunduğu yerlere göre farklılıklar gösterse de ortalama günlük güneş enerjisi akısı metre kare başına 100 W'dır. Güneş enerjisinin kullanımında çok büyük yüzey alanlarına ihtiyaç duyulduğundan ve yüzey alanı birinci derecede etkin olduğundan; ideal şartlarda 1 kW elektrik üretimi için 10 metrekarelik bir alan gereklidir. Rüzgar enerjisi kullanılarak aynı miktarda elektrik üretimi yapılmak istenirse 2 metrekarelik bir alan gereklidir. Dalga gücü için ise bu alan sadece 1 metrekaredir (kıyı dalgası için). Açık denizde bu değer çok daha aşağılara inmektedir. Ayrıca okyanuslardaki bu gücün sadece yüzde biri, bugünkü dünya enerji talebinin beş katından fazladır.

Esnek cisimlerin çoğuna bir kuvvet uygulayıp kestiğimizde titreşim hareketi yapar. Bir cismin şekli bir kere bozulduğu zaman, tabii olarak denge konumuna geri gelmeye çalışır. Hatta bir katı içindeki atomlar, komşu atomlara bir yayla bağlanmış gibi denge konumuna göre titreşir. Dalga hareketi titreşim (salınım) olayı ile yakından ilişkilidir. Ses dalgaları, deprem dalgaları, gerilmiş bir yaydaki dalgalar ve su dalgaları gibi bütün dalgalar, titreşim kaynakları tarafından oluşturulur. Su dalgaları da bir havuzda yayılırken, su molekülleri aşağıya ve yukarıya doğru titreşir. Dalgalar bir ortamdan geçerken ortamın parçacıkları periyodik olarak hareket eder. Böylece parçacıkların hareketi, salınan bir sarkacın ya da yaya bağlı bir kütlelin hareketine çok benzer.

Şekil 2.10.'da gösterildiği gibi bir çakıltaşımı su dolu bir havuza attığımız zaman dalgaların oluştuğunu görebiliriz. Çakıltaşımın oluşturacağı sarsıntı küçük çapta dalgaların meydana gelmesine sebep olur. Bu dalgalar dışarı doğru hareket ederek havuzun kenarında sonlanır. Fakat sarsıntının yakınında yüzen bir yaprağın hareketi göz önüne alınırsa, ilk konumunun etrafında aşağı yukarı hareket ettiğini ancak sarsıntının kaynağından hiç uzaklaşmadığını veya ona yaklaşmadığını görebiliriz. Bu bize su dalgalarının bir yerden başka bir yere hareket ederken suyun onunla beraber sürüklenmediğini gösterir. Eğer sürüklenseydi yaprağın da havuz kenarına doğru sürüklenmesi gerekirdi (Simon ve Schuster, 1961).



Şekil 2.10. Bir çakıltaşımın durgun suya atılmasıyla oluşan dalga (Serway ve Beichner, 2000)

Einstein ve Infeld'in bir kitabından alınan aşağıdaki okuma parçası bize dalga olayı ile ilgili ilginç fikirler verir (Simon ve Schuster, 1961).

“Washington’da başlayan küçük bir dedikodu çabucak New York’a ulaşır. Gerçi, bu iki şehir arasında dedikodunun yayılmasında tek bir kişinin rol almadığı görülür. Burada farklı iki hareket vardır. Birisi, Washington’dan New York’a giden söylenti, diğeri bu söylentileri yayan kişilerdir. Bir ekin tarlasından geçen rüzgar, tarlanın bir ucundan diğeri ucuna yayılan bir dalga oluşturur. Burada, yine küçük salınım yapan ayrı bitkilerin hareketi ile dalganın hareketini ayırt etmeliyiz... Ortamı oluşturan parçacıklar yalnız küçük titreşimler yaparken, büyük hareket ilerleyen bir dalgadır. Burada gerçekten yeni olan şey, maddesel olmayan bazı şeylerin hareket ettiğini yani madde içinde yayılan enerji olduğunu ilk kez düşünmemizdir.”

Dünyada pek çok dalga çeşidi bulunmaktadır. Bunları, mekanik dalgalar ve elektromanyetik dalgalar olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz. Mekanik dalgalara; ses dalgaları, su dalgaları ve tanecik dalgaları gibi örnekler verebiliriz. Bu dalgaların her biri için bozulabilen bir ortam olmalıdır. Özellikle bu üç örnekte; hava molekülleri, su molekülleri ve tanecikler titreşmelidir. Elektromanyetik dalgalar ise yayılmak için bir ortama ihtiyaç duymazlar. Elektromanyetik dalgalara örnek olarak görünür ışık, radyo dalgaları, televizyon sinyalleri ve x ışınlarını verebiliriz.

Dalga kavramı oldukça soyuttur. Bir su yüzeyine bakarken, su dalgası olarak adlandırıp gördüğümüz olay, su yüzeyinin yeni bir düzene geçme halidir. Su olmasa dalga da olmayacaktır. Sarmal yay olmasa, üzerinde ilerleyen bir dalga da olmayacaktır. Ses dalgaları, hava molekülleri olmasa hava içinde ilerlemeyecekti. Bu yüzden mekanik dalgaları, bir ortam içinden geçerken oluşturduğu sarsıntının yayılmasına karşılık geldiği şeklinde yorumlayabiliriz.

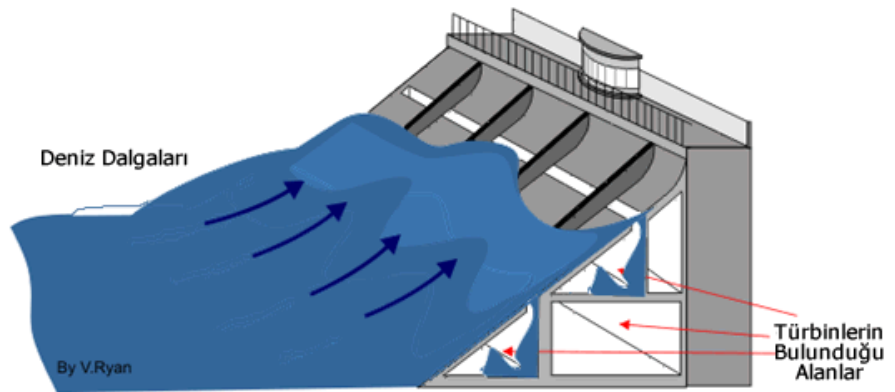
Mekanik dalgalar üç şeye ihtiyaç duyarlar:

- Sarsıntı kaynağına,
- Sarsıntı oluşturabilen bir ortama ve,
- Ortamın komşu kısımlarından geçerek birbirini etkileyebilen birtakım fiziksel ilintiye ya da mekanizmaya (Serway ve Beichner, 2000).

Bütün dalgalar bünyelerinde enerji taşırlar. Bir ortamdan geçerken enerji miktarı ve enerjii iletmekten sorumlu olan mekanizma bazı farklılıklar gösterir. Örneğin; bir fırtına esnasında okyanus dalgalarının gücü, bir insan sesinin ürettiği ses dalgalarının gücünden çok büyüktür (Serway ve Beichner, 2000). Aşağıda Şekil 2.11.'de okyanus dalgalarına bir örnek gösterilmiştir. Şekil 2.12.'de ise kıyı tipi DEK için deniz dalgalarının durumu gösterilmiştir.

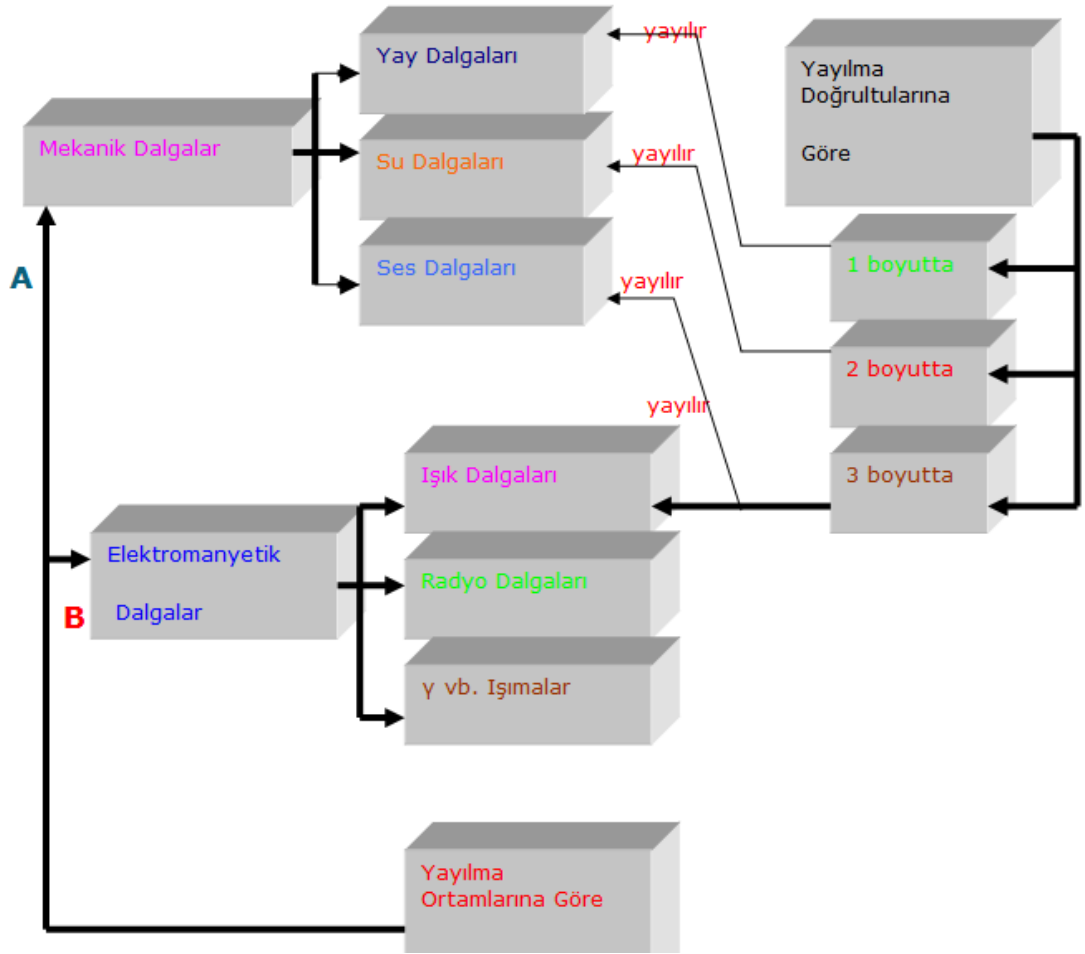


Şekil 2.11. Okyanus dalgalarına bir örnek (Bilim ve Teknik, 2009)



Şekil 2.12. Kıyı tipi bir DEK için deniz dalgalarının durumu (V.Rayn, 2009)

Aşağıda Şekil 2.13.'de dalgaların çeşitliliği ve sınıflandırılması üzerine hazırlanmış bir tablo gösterilmiştir. Tabloda dalgaların iki ana çeşidi olan mekanik ve elektromanyetik dalgaların da kendi içlerindeki sınıflandırmaları yayılma doğrultularına göre yapılmıştır. Ayrıca tabloda ok üzerinde A harfi yönündeki dalgalar yayılmak için bir ortama ihtiyaç duyarken B harfi yönündeki dalgalar ise yayılmak için bir ortama ihtiyaç duymazlar.



Şekil 2.13. Dalgaların sınıflandırılması

Çok çeşitli etkenlerle meydana gelen deniz dalgaları, onları meydana getiren etkenlere ve deniz ortamının değişkenlik gösteren derinlik ve sınır şartları durumuna göre farklı özellikler gösterirler. Bu dalgalar arasında ender (freak) dalgalar, soluğan (swell) dalgalar, rezonans dalgaları, gel-git dalgaları ve depreşim (tsunami) dalgaları gibi dalgalar diğer dalga tipleriyle kıyaslanacak olurlarsa, daha uzun periyotlu oldukları görülür. Bu dalgaların fiziksel özellikleri ve kıyılarda meydana getirdikleri etkiler birbirinden farklıdır.

Soluğan dalgalar, açık denizlerde esen fırtınalar sonucunda meydana gelen ve kıyılara kadar ulaşma imkanı bulabilen dalgalardır. Soluğan dalgalar benzer özelliklerde olan ve uzun periyotlu dalgalardır. Genellikle kıyılarda fırtına olmadığı zaman gözlemlenirler ve özellikle küçük tekneler ve yatlar için rahatsız edici etkide bulunurlar. Soluğan dalgaların ulaştıkları yerlerde rüzgar olmadığı halde var olmaları dolayısı ile ölü dalga olarak da adlandırılırlar çünkü soluğan dalgalar çok uzun mesafeler alarak kıyılara kadar ulaşabilen dalgalardır. Bu yüzden rüzgarsız bir yerde bile dalga görülmesine sebep olabilirler. Soluğan dalgaların periyotları genellikle 5, 8, 10, 15 saniye gibi değerler alırken bu değerler okyanuslarda 25 saniyeyi bulabilmektedir. Çünkü kabarma mesafesi diye tabir ettiğimiz mesafe, okyanuslarda binlerce kilometre olduğundan oluşan dalgalar da çok uzun periyotlu olabilmektedir.

Ender (freak) dalgalar, soluğan (swell) dalgalar, rezonans dalgaları, gel-git dalgaları ve depreşim (tsunami) dalgaları ayrı ayrı uzun periyotlu dalgalar olmalarına karşın farklı oluşumlara sahiptirler ve buna bağlı olarak farklı davranışlar gösterirler. Denizlerde ve kıyılarda sakin havalarda bazen belirgin bir biçimde gözlenen ve küçük tekneler ve yatlar için rahatsız edici olabilen soluğan dalgalar ise farklı karakterdedirler (Yalçınmer ve diğerleri, 2003).

Ender dalga olarak nitelendirilen dalga türü, düzensiz dalgalar dizini olan hemen hemen her fırtınada, çok kısa aralıklarla ortaya çıkan, tek bir dalgadan oluşan ya da iki dalganın birleşimi olan dalgalardır. Ender dalgaların yüksekliği bazen çok büyük olabilir. Bu tür dalgalar kıyılarda veya genellikle açık denizlerde bir fırtına esnasında ortaya çıkabilen dalgalardır. Bu tür dalgalar, çok küçük bir zaman diliminde teknelerin ve hatta büyük gemilerin bile alabora olmalarına yetecek büyüklükte dalgalardır. Bu tür dalgalar ile ilgili ayrıntılı bilgiler Pelinovsky ve Kharif(2000a,b), Pelinovsky ve diğerleri (2000) ve Yalçınmer (2004)'te verilmiştir.

Göller veya kapalı denizlerde ya da körfezler ve limanlar gibi yarı kapalı basenlerde hareket eden küçük genlik ve peryotlu dalgalar, bir süre sonra içerisinde buldukları su ortamında uzun periyotlu ve yüksek genlikli dalgaların oluşmasına sebep olabilirler. Bu tür uzun periyotlu dalgalar, basen ya da denizin serbest salınımları olarak bilinirler ve rezonans ya da seşş olarak isimlendirilirler. Bu dalgaların peryotları ve genlikleri basenin biçimi, sınır şartları ve yansıma özelliklerine bağlıdır. Buna göre her basen ya da kapalı su hacminin serbest salınım dönemleri farklı değerlerdedir (Yalçın, 2004).

Dünya, ay ve güneşin çekim kuvvetleri nedeniyle denizlerde meydana gelen uzun peryotlu dalgalar gel-git dalgası olarak nitelendirilirler. Bu tür dalgaların peryotları genellikle 6 ya da 12 saattir. Ancak genlikleri dünyanın farklı yerlerinde çok büyük farklılıklar gösterir. Gel-git enerjisi elde edilirken, akıntı ya da gel-git nedeniyle yerdeğıştiren su kütesinin sahip olduğu kinetik ya da potansiyel enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Su seviyesindeki değışimler, Dünya'nın Ay'a ve Güneş'e göre konumuna ve deniz tabanının ve kıyı şeridinin yapısına bağlıdır.

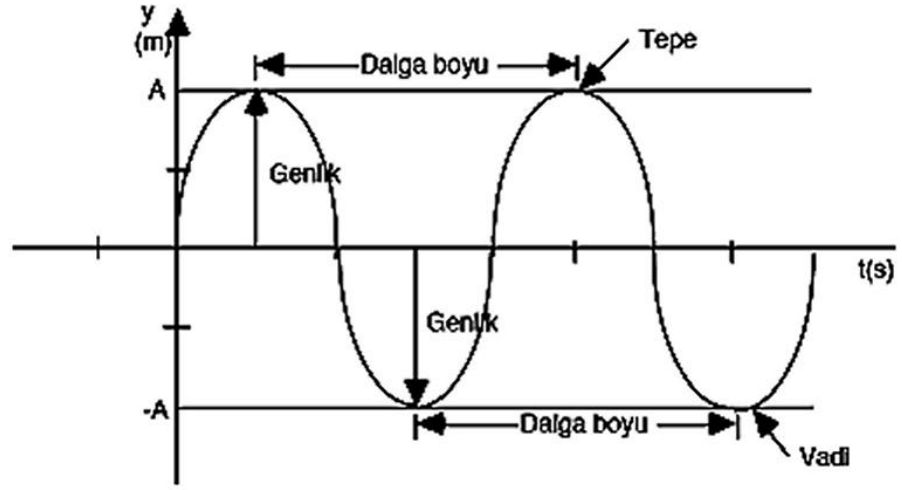
Denizin herhangi bir kısmında yerel olarak oluşan depreşim nedeniyle ortaya çıkan dalgalar depreşim dalgalarıdır ve aynı zamanda Japonca'da "tsunami" olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda uzun dönemli dalgalarıdır. Bu dalgaların fiziksel özellikleri, oluşumu, hareketi ve kıyılardaki davranışları konusunda yapılmakta olan araştırmalar sayesinde yeni bulgular elde edilmeye başlanmıştır.

2.1.2 Dalga Hareketinin Temel Değişkenleri

Bir akarsuda ya da gölde bir tekneye ya da bir sala bindiğimizde dalgalar bizim yanımızdan geçerken bizim de aşağıya ve yukarıya doğru hareket ettiğimizi gözlemleyebiliriz. Suyu doğru baktığımız zaman sanki su bize doğru yaklaşıyor gibi görünür. İşte suyun normal seviyesinden itibaren yerdeğiştirebildiği en yüksek noktaya dalga tepesi denir. Bir tepe ile komşu bir tepe arasındaki uzaklığa ise dalga boyu (λ) denir. Başka bir deyişle dalga boyu, bitişik dalga üzerindeki herhangi iki özdeş nokta (dalga tepesi gibi) arasındaki minimum uzaklıktır.

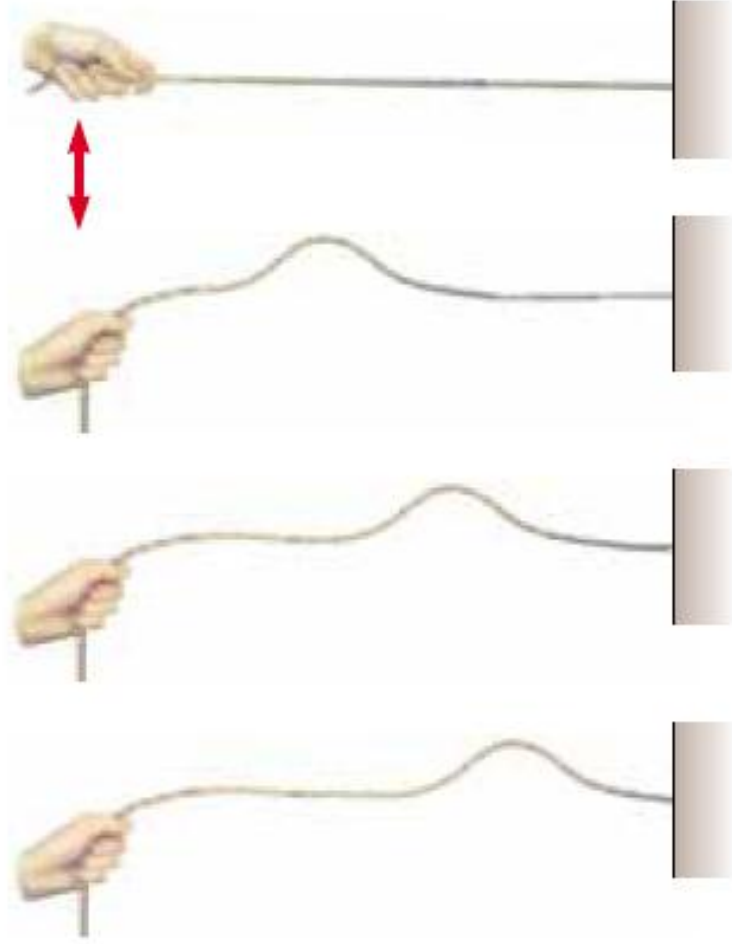
Ardışık olan iki dalganın meydana gelişleri arasındaki süre saniye olarak sayılırsa dalganın periyodu (T) ölçülmüş olur. Periyot, dalgaların meydana gelme sıklığı gibi düşünülebilir. Genel olarak periyot, bir noktadan geçen ardışık dalgaların özdeş iki noktası için (dalga tepeleri gibi) gerekli olan süredir. Aynı bilgi literatürde bazı kaynaklarda periyodun tersi ($T = 1/f$) olan frekans (f) niceliği cinsinden verilir. Aşağıda Şekil 2.14.'de dalga hareketinin temel değişkenlerini gösteren grafik verilmiştir.

Dalga içerisindeki bir parçacığın maksimum yerdeğiştirmesine ise dalganın genliği denir. Su dalgalarının genliği, dalgalar ilerken suyun durgun yüzeyi ile titreşen yüzeyi üzerindeki su moleküllerinin en yüksek yerdeğiştirmesidir. Dalgalar oluşturuldukları ortamın özelliklerine bağlı olan özel bir hızla ilerler ya da yayılır. Örneğin, ses dalgaları havada oda sıcaklığında 343 m/s (781 mil/saat) hızla yayılır, halbuki katıların çoğunda 343 m/s den daha büyük hızla yayılmaktadır (Serway ve Beichner, 2000) .



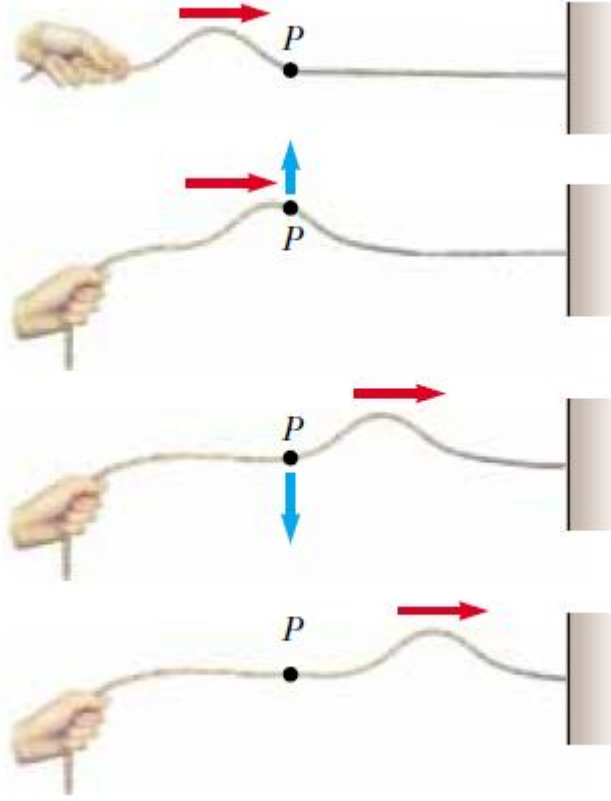
Şekil 2.14. Dalga hareketinin temel değişkenlerini gösteren grafik

Dalga hareketini göstermenin bir yolu Şekil 2.15.'de gösterildiği gibi ve bir ucu bir yere sabitlenmiş uzun bir ipin (sicimin) diğer ucunu ani olarak hareket ettirmektir. Bu durumda, tek bir dalga atması (pulsu) meydana gelir ve belli bir hızla hareket eder (şekilde sağa doğru olduğu görülmekte). Bu tip sarsıntıya 'ilerleyen dalga' denir. Şekil 2.15. aynı zamanda ilerleyen dalganın dört atmasını göstermektedir. Böyle bir tek atma için, bir atma treninin aksine; frekans, periyot ve dalga boyu olmaz. Bununla beraber, atma belirli bir genliğe ve hıza sahiptir. Dalganın hızını tayin eden ortamın özellikleri, ipteki gerilim ve onun birim uzunluk kütesidir (Serway ve Beichner, 2000).



Şekil 2.15. Bir ip üzerindeki ilerleyen dalga hareketi (Serway ve Beichner, 2000)

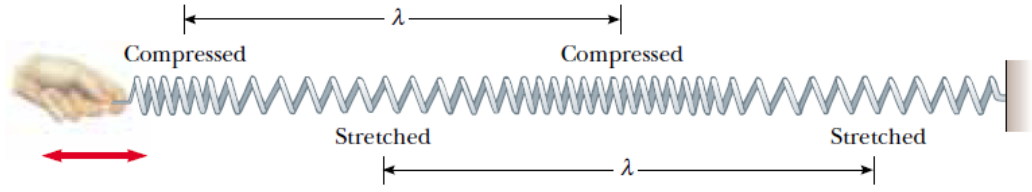
Dalga atmasının şekli, ip üzerinde yayılırken çok az değişir. Dalga atması ip boyunca ilerlerken, sarsılan ipin her parçası dalga hareketine dik doğrultuda hareket eder. Şekil 2.16.'da P ile gösterilen özel bir parça, böyle bir durumu gösterir. İpte dalga doğrultusunda bir hareket görülüyor.



Şekil 2.16. Gerilmiş bir ip üzerinde enine ilerleyen bir dalga (Serway ve Beichner, 2000)

Sarsılan ortamın parçacıkları, dalga hızına dik olarak hareket ettiğinde, bu tip ilerleyen bir dalgaya **enine dalga** deriz. Şekil 2.17.'de görüldüğü gibi, bu dalgayı gerilmiş bir yay boyunca ilerleyen hareketin oluşturduğu başka bir tip dalgayla karşılaştırırsak şöyle bir durumla karşılaşırız:

Yayın sol ucu hafifçe sağa itilir ve sonra sola doğru çekilir. Bu hareket yayın bu bölgesinde ani bir sıkışma oluşturur. Sıkışma bölgesi yay boyunca (sağa doğru) ilerler. Sıkışma bölgesi, yayın gevşediği bir bölgeyi takip eder. Yay halkalarının yerdeğiştirme doğrultusunun sıkışan bölgenin yayılma doğrultusuna paralel olduğuna dikkat etmeliyiz. O halde, ortamın parçacıklarının, dalganın hareket doğrultusuna paralel hareket etmesiyle oluşan ilerleyen dalgaya **boyuna dalga** denir.

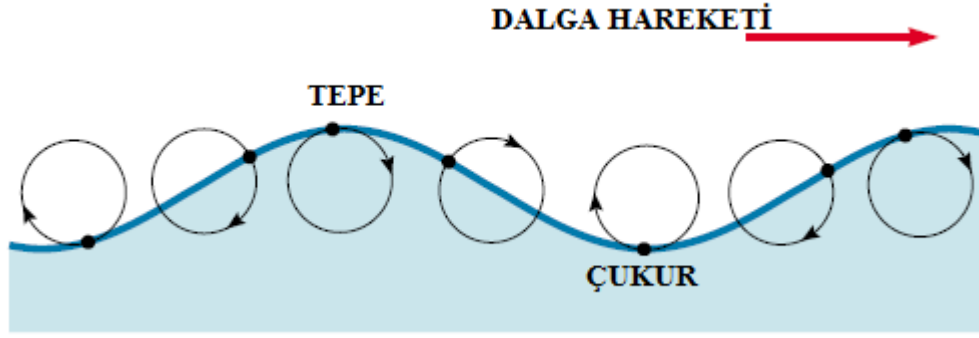


Şekil 2.17. Gerilmiş bir yay boyunca boyuna bir dalganın gösterimi (Serway ve Beichner, 2000)

Doğadaki bazı dalgalar, enine ve boyuna yerdeğştirmelerin bileşimidirler. Bunlara en iyi örnek su yüzeyindeki dalgalardır. Derin bir suyun yüzeyindeki dalgalar ilerlerken, yüzeydeki su molekülleri Şekil 2.18.'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak dairesel yollar boyunca hareket ederler. Bir sarsıntının, enine ve boyuna bileşenlere sahip olduğuna dikkat etmeliyiz. Su moleküllerinin düşey konumundaki değışmeler gibi, enine yerdeğştirme de şekil 2.18.'de gösterilmiştir.

Boyuna yerdeğştirme şöyle açıklanabilir; Dalga, suyun yüzeyinden geçerken tepelerdeki su molekülleri, dalganın yayılma yönünde hareket ederler; fakat çukurlardaki moleküller, yayılma doğrultusuna ters yönde ilerlerler. Şekil 2.18.'de işaretli tepedeki molekül yarım periyot sonra çukurda olacağından bunun dalganın yayılma yönündeki hareketi, ters yöndeki hareketi tarafından yok edilir. Bu durum, dalga tarafından sarsılan öteki tüm moleküller için de geçerlidir. O halde, tam bir periyotluk sürede, herhangi bir su molekülü yerdeğştirme yapmaz. Moleküller, net bir yerdeğştirme yapmamasına karşın, dalga su yüzeyi boyunca yayılır (Serway ve Beichner, 2000).

Şekil 2.18.'de gösterildiği gibi su yüzeyinde bulunan parçacıklar, dairesel harekete benzer bir şekilde hareket ederler. Hareket eden her parçacık, denge konumundan düşey ve yatay doğrultularda şekilde çemberlerle gösterilen doğrultudaki yerdeğştirmeleri yaparlar.



Şekil 2.18. Su yüzeyindeki dalga hareketinin gösterimi (Serway ve Beichner, 2000)

2.1.3 Dalgaların Üst Üste Binmesi ve Girişimi

Doğadaki pek çok ilginç dalga olayı, hareketli tek bir atma ile açıklanamaz. Bunun yerine, pek çok ilerleyen dalganın bir araya geldiği bileşke dalga şekillerini analiz etmeliyiz. Böylece oluşan bileşke dalgayı analiz etmek için **üst üste gelme ilkesini** kullanabiliriz:

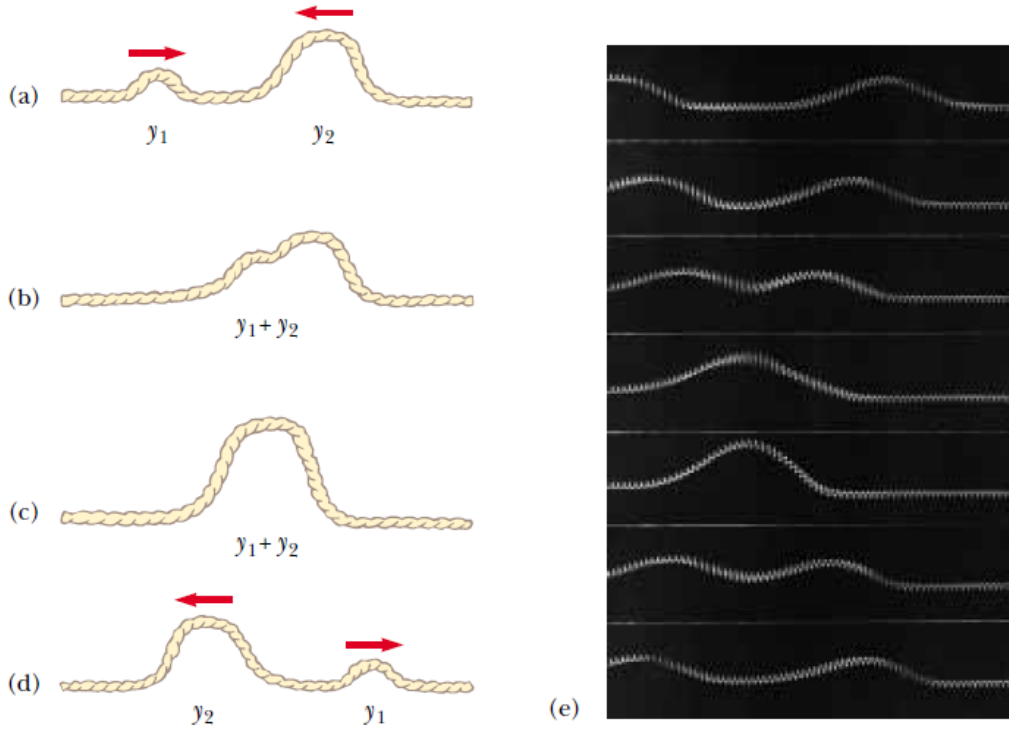
İki ya da daha fazla ilerleyen dalga bir ortam içinde hareket ediyorsa, herhangi bir noktadaki bileşke dalga, bireysel dalga fonksiyonlarının cebirsel toplamıdır. Bu oldukça çarpıcı özellik, doğadaki pek çok dalgada görülür. Bu ilkeye uyan dalgalara lineer dalgalar denir ve bunlar genellikle küçük dalga genlikleriyle karakterize edilirler. Üst-üste gelme prensibine uymayan dalgalara lineer olmayan dalgalar denir ve onlar da genellikle büyük genliklerle karakterize edilirler.

Üst-üste binme (veya süperpozisyon) ilkesinin bir gözlem sonucu şudur; İki ilerleyen dalga, birbirini değiştirmeden ya da bozmadan, birbiri içinden geçebilir. Örneğin iki çakıltaşı bir havuzun içine atıldığı zaman, su yüzeyindeki genişleyen dairesel dalgalar birbirini bozmazlar. Gerçekte, dalgalar birbiri içinden geçerler. Şekil 2.19.'da gözlenen karışık desen, genişleyen dairelerin bağımsız iki takımı olarak görülebilir (Serway ve Beichner, 2000).



Şekil 2.19. Bir dalga leğeninde oluşturulan su dalgalarının girişimi (Serway ve Beichner, 2000).

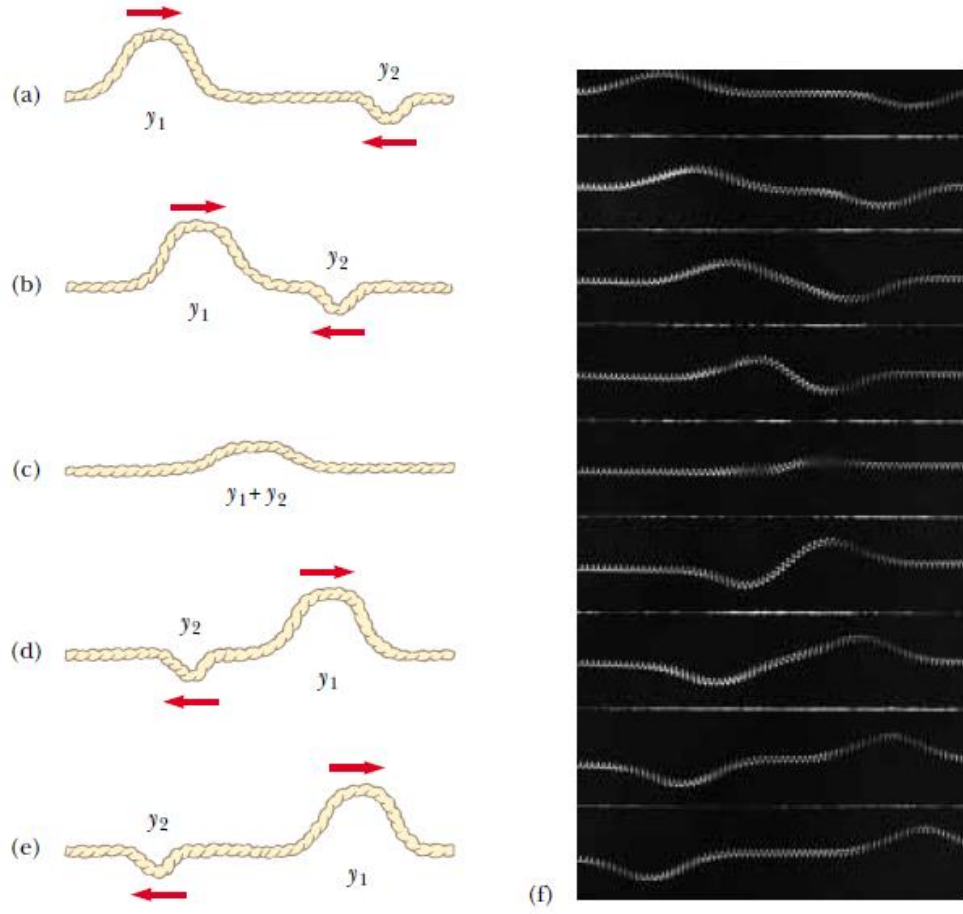
Üst üste binme ilkesi aşağıda Şekil 2.20.'de gösterildiği gibi gerilmiş bir yay üzerinde birbirine zıt yönde ilerleyen iki dalga aracıyla gösterilebilir. Şekil 2.20.'de görüldüğü gibi sağa doğru hareket eden dalganın fonksiyonu y_1 ve sola doğru hareket eden dalganın fonksiyonu y_2 olmak üzere atmaların aynı hıza ve farklı şekillere sahip olduğunu varsayalım. Atmaları da simetrik olarak kabul edelim ve her atmanın yerdeğişmesini pozitif kabul edelim. Dalgalar üst üste gelmeye başladığı zaman oluşan bileşke dalga şekli $y_1 + y_2$ olarak verilir. Atmaların tepeleri üst üste geldiği zaman Şekil 2.20.'de c'de gösterildiği gibi $y_1 + y_2$ bileşke dalgası simetrik olur. Sonra ise d'de gösterildiği gibi iki atma ayrılır ve eski yönlerinde devam ederler. Burada iki atmanın asla birbirine karışmamış gibi son dalga şekillerinin değişmediğine dikkat etmeliyiz (Serway ve Beichner, 2000).



Şekil 2.20. Gerilmiş bir yay üzerinde birbirlerine göre zıt yönde hareket eden ve birbirini geçen iki dalga atması (Serway ve Beichner, 2000).

Uzayın aynı bölgesinde, bir bileşke dalga oluşturmak üzere farklı dalgaların birleşmesine girişim adı verilir. Şekil 2.20.'de görülen atma için, bireysel atmaların yerdeğştirmeleri aynı yöndedir ve atmalar üst üste geldiği zaman oluşan dalga şekli bileşen atmaların ayrı ayrı yerdeğştirmelerinden daha büyük bir yerdeğştirme oluşturur. Bu olaya **yapıcı girişim** adı verilir.

Bir de bu olayın tam tersi söz konusudur. Yıkıcı girişim olarak nitelendirebileceğimiz bu olay ise aşağıda Şekil 2.21.'de gösterilmiştir. Sonsuz uzun gerilmiş bir ip üzerinde zıt yönlerde ilerleyen iki özdeş olmayan atmayı ele alalım. Bu durumda atmalar üst üste geldiği zaman bileşke dalga, iki ayrı yerdeğştirme büyüklüğünün farkıdır. Atmalar birbiri içerisinde geçmez ve Şekil 2.20.'de görüldüğü gibi iki atma birbirini yok etmez. Zıt yönde olan bu atmaların üst üste gelmesine **yıkıcı girişim** denir (Serway ve Beichner, 2000).

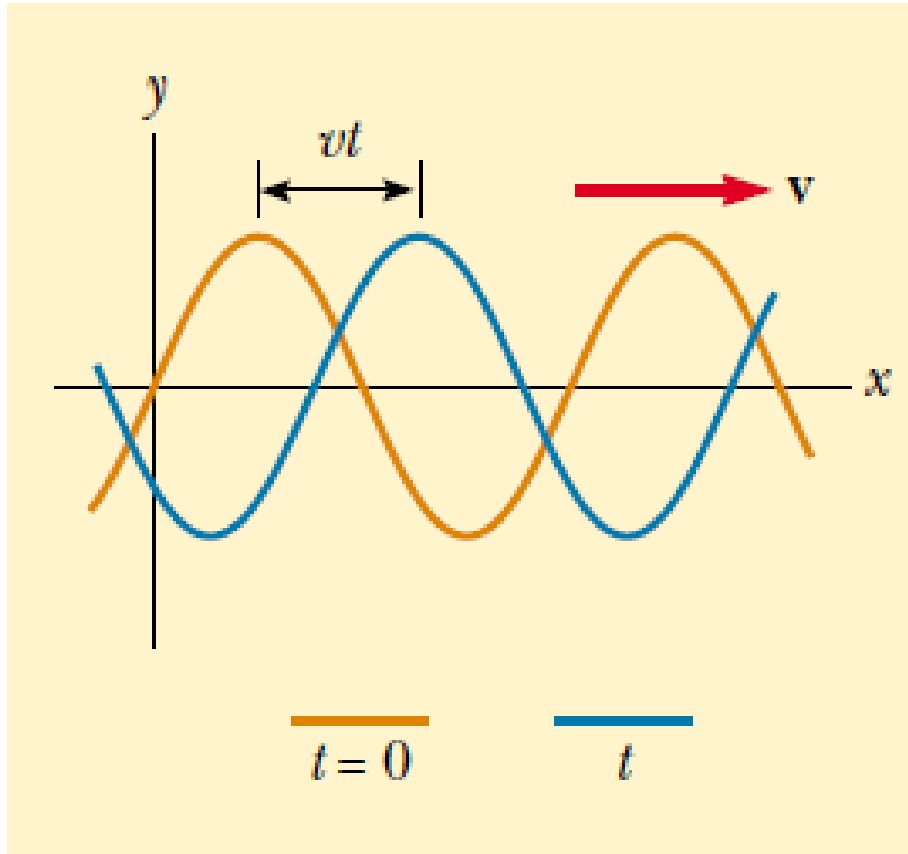


Şekil 2.21. Birbirine eşit fakat zıt yönde yerdeğiştirmelere sahip ve zıt yönde ilerleyen iki dalga atması (Serway ve Beichner, 2000).

2.1.4 Sinüsel ve Sinüsel Olmayan Dalgalar

Bu bölüme, aşağıda Şekil 2.22.'de de biçimi gösterilen sinüsel dalgalar ile başlanılmıştır. Sinüsel dalgalar tanıtıldıktan sonra sinüsel dalgaların üst üste binmesi ve girişimi hakkında bilgiler verilmiştir.. Daha sonra ise rezonans konusuna değinilerek bu bölüm sinüsel olmayan dalga desenleri ile bitirilmiştir.

Bir $\sin\theta$ fonksiyonunun θ 'ya göre çizimine benzeyen eğriyle temsil edilen dalga, sinüsel dalga adını alır. Sinüsel dalga, periyodik ve sürekli dalganın basit bir örneğini oluşturur ve daha karışık dalgaların oluşturulmasında kullanılabilir. Kırmızı eğri, ilerleyen dalganın $t = 0$ anındaki durumunu, mavi eğri ise t süre sonraki durumunu gösterir (Serway ve Beichner, 2000).



Şekil 2.22. Sinüsel dalga (Serway ve Beichner, 2000)

Sinüsel dalganın içinden geçtiği ortamın parçacığının $t = 0$ 'da, konumunu belirleyen fonksiyon (2.1) deki gibi yazılabilir. Burada A sabitine dalganın genliği denir ve maksimum yerdeğiştirmeyi gösterir. λ sabiti, dalga boyu adını alır ve iki ardışık maksimum, yani dalga tepeleri arasındaki ya da aynı fazdaki iki komşu nokta arasındaki uzaklığa eşittir. O halde, x , λ 'nın tam katları olacak şekilde artarsa, yerdeğiştirmesinin kendini tekrar ettiğini görürüz.

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \quad (2.1)$$

Dalga, v hızı ile sağa doğru hareket ederse, t süre sonra dalga fonksiyonu;

$$y = A \sin\left[\left[\frac{2\pi}{\lambda}\right](x - vt)\right] \quad (2.2)$$

şeklinde olur. Yani yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, sinüsel dalga t süresi içinde $v t$ uzaklığı kadar sağa hareket eder. Dalga fonksiyonunun $f(x - vt)$ biçiminde olduğuna ve sağa doğru ilerleyen bir dalgayı gösterdiğine dikkat etmeliyiz. Eğer dalga sola doğru hareket ediyorsa $x - vt$ yerine $x + vt$ niceliği gelir. Dalganın bir dalga boyu kadar mesafe alması için gereken süreye T periyodu denir. Bu nedenle dalga hızı, dalga boyu ve periyot arasında;

$$v = \left(\frac{\lambda}{T}\right) \quad (2.3)$$

bağıntısı vardır ve (2.2) eşitliğinde yerine konursa;

$$Y = A \sin\left[2\pi\left(\left(\frac{x}{\lambda}\right) - \frac{t}{T}\right)\right] \quad (2.4)$$

bulunur. Dalga fonksiyonunun bu biçimi açıkça, y 'nin periyodik olduğunu gösterir. Yani verilen herhangi bir t anında (dalganın bir andaki durumu) x , $x + \lambda$, $x + 2\lambda$ vb. konumlarında y aynı değerde olur. Dahası, verilen herhangi bir x konumunda y 'nin değeri t , $t + T$, $t + 2T$, vb. zamanlarda da aynı olur.

Sinüsel dalga fonksiyonunu, başka iki nicelik tanımlayarak daha uygun bir biçimde ifade edebiliriz. Bu nicelikler, k **açısal dalga sayısı** ve ω **açısal frekans**ıdır.

Açısal dalga sayısı (k) ve açısal frekans (ω) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.5)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikler kullanılarak (2.4) eşitliği daha basit bir şekilde yazılarak sinüsel bir dalga için dalga fonksiyonu daha sade bir şekilde ifade edilebilir.

$$y = A \sin(kx - \omega t) \quad (2.7)$$

Bir sinüsel dalganın frekansı, saniyede, sabit bir noktadan geçen bir dalga tepesinin (ya da dalganın herhangi bir noktasının) sayısına eşittir. f in en çok kullanılan birimi s^{-1} ya da hertz ve T 'nin birimi ise saniye (s) dir. Frekans, periyoda bağlı olarak şu şekilde yazılabilir;

$$f = 1/T \quad (2.8)$$

Dalgaların en önemli özelliklerinden biri, aynı ortamda yayılan iki ya da daha çok dalganın birleşebilmesidir. Lineer bir ortamda birleşebilen sinüsel dalgalar, aynı frekans ve dalga boyuna sahipse kararlı (duran) dalga deseni elde edilir. Bu dalgalar belli şartlarda belli frekanslarda üretilebilirler. Sinüsel olmayan dalga biçimleri, sinüs ve cosinüs fonksiyonlarının toplamı yardımıyla ifade edilebilirler.

Üst üste binme ilkesi, iki yada daha fazla dalganın aynı çizgisel (doğrusal) ortamda ilerlerken, ortamda herhangi bir noktadaki toplam yerdeğiştirmenin (bileşke dalga) tüm dalgaların yerdeğiştirmelerinin cebirsel toplamına eşit olduğunu ifade eder. Bu prensibi, doğrusal bir ortamda aynı yönde yayılan iki sinüsel dalgaya uygulayalım. İki dalga aynı frekansa, aynı dalga boyuna, aynı genliğe sahipse, fakat sadece fazları farklı ise sağa doğru yayılan bu dalgaların her birini;

$$y_2 = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.9)$$

olarak tanımlayabiliriz. Burada; $k = 2\pi / \lambda$, $\omega = 2\pi f$ ve ϕ ise faz sabitidir. O halde bileşke dalga fonksiyonu y için;

$$y = y_1 + y_2 = A [\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \phi)] \quad (2.10)$$

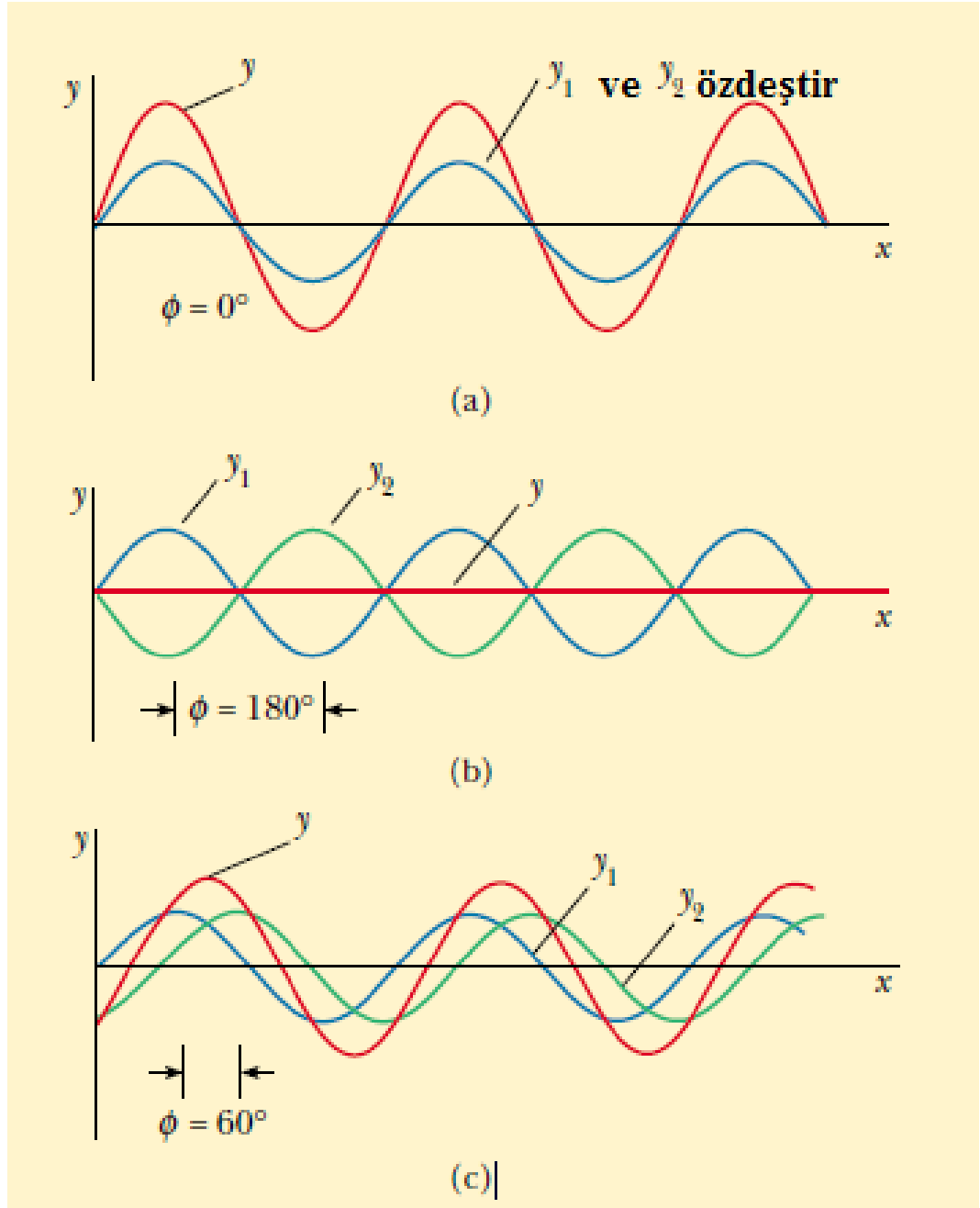
yazabiliriz. Bu ifadeyi basitleştirmek için $\sin a + \sin b = 2 \cos \left(\frac{a - b}{2} \right) \sin \left(\frac{a + b}{2} \right)$ trigonometrik özdeşliği kullanabiliriz. Bu özdeşliği bizim denkleminize $a = (kx - \omega t)$, $b = (kx - \omega t + \phi)$ olarak uyarlarsak;

$$y = 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \quad (2.11)$$

sonucunu elde ederiz. Bu sonucun birkaç önemli özelliği vardır. y bileşke dalga fonksiyonu, y_1 ve y_2 dalgaları ile aynı frekansa, aynı dalgaboyuna sahiptir ve sinüsseldir. Orijinal dalga fonksiyonunda olan k ve ω ile aynı değerlere sahip bileşke dalganın genliği $2A \cos \left(\frac{\phi}{2} \right)$ dir ve faz $\left(\frac{\phi}{2} \right)$ ye eşittir. ϕ faz sabiti sıfıra eşit ise, $\cos \left(\frac{\phi}{2} \right) = \cos 0 = 1$ ve bileşke dalganın genliği $2A$ olur. Başka bir deyişle, bileşke dalganın genliği, her bir dalganın genliğinin iki katıdır. Bu durumda dalgaların aynı fazda olduğu ve her yerde **yapıcı olarak girişim** gösterdiği görülür.

Yani, y_1 ve y_2 dalgalarının tepe ve çukurları, Şekil 2.23.a'da gösterildiği gibi aynı konumda olur ve kırmızı eğriyi oluşturmak üzere birleşirler. Dalgalar aynı fazda olduğundan, tek bir mavi çizgi ile gösterilmiştir ve ayırt edilemezler. Genellikle yapıcı girişim, $\cos \left(\frac{\phi}{2} \right) = \pm 1$ olduğunda veya $\phi = 0, 2\pi, 4\pi \dots$ nin çift katı değerlerini aldığı zaman oluşur.

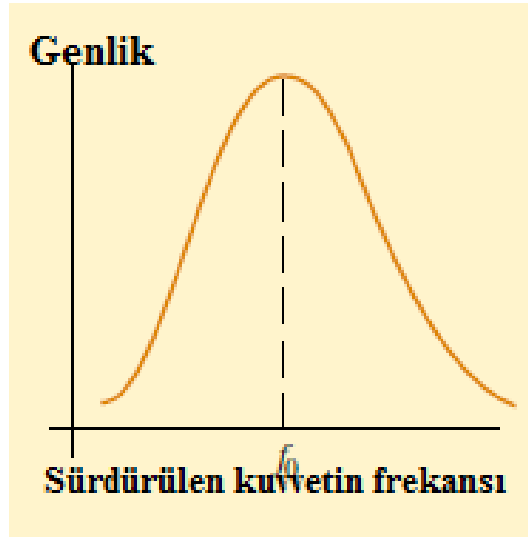
Φ, π radyana veya π' nin tek katına eşit olursa; $\cos \left(\frac{\phi}{2} \right) = \cos \left(\frac{\pi}{2} \right) = 0$ olur ve bileşke dalga her yerde sıfır genliğe sahip olur. Yani bir dalga tepesi diğerrinin çukuru ile üst üste gelir (Şekil 2.23.b) ve bunların yerdeğıştirmeleri her yerde birbirini yok eder. Böylece, **yıkıcı girişim** meydana gelir. Son olarak; faz sabiti Şekil 2.23.c'de olduğu gibi, 0 ile π yıkıcı girişim arasında herhangi bir değerde olduğu zaman, bileşke dalga 0 ile $2A$ arasında bir genliğe sahiptir (Serway ve Beichner, 2000).



Şekil 2.23. y_1 ve y_2 genlikli iki özdeş dalganın (mavi) üst üste binmesi ile oluşan bileşke dalgalar (Serway ve Beichner, 2000)

Gergin bir tel gibi, bir veya daha fazla titreşim kipinde salınım yapabilme özelliğine sahip bir sisteme, periyodik bir kuvvet uygulanırsa sistemin bileşke hareketine ait genlik, uygulanan kuvvetin frekansı, sistemin doğal frekanslarından birine eşit (veya yaklaşık olarak eşit ise) olursa, genlikten daha büyüktür. Mekanik sistemler için bu olay **rezonans** olarak adlandırılır. Bir kütle-yay sistemi veya bir basit sarkaç sadece bir doğal frekansa sahip olmasına karşın, duran dalga sistemleri doğal frekansların tüm kümesine sahiptir. Titreşen bir sistem, doğal frekanslarından biri ile titreşime zorlandığı zaman büyük bir genliğe sahip olacağından, bu frekanslara çoğu kez **rezonans frekansları** denir (Serway ve Beichner, 2000).

Şekil 2.24. çeşitli sürücü frekanslarda titreşen bir sistemden elde edilmiştir. Bu sistemin rezonans frekanslarından biri f_0 ile gösterilmiştir. Sistemin genliğinin, sürücü kuvvetin frekansının rezonans frekansına eşit olduğu zaman en büyük olduğuna dikkat etmeliyiz. Maksimum genlik sistemdeki sürtünme ile sınırlanmıştır. Sürücü kuvvet, başlangıçta durgun olan sistemi titreşime zorlarsa, sisteme verilen enerji titreşimin genliğini artırmaya ve sürtünme kuvvetini yenmeye harcanır. Maksimum genliğe ulaşıncaya, sürücü kuvvet tarafından yapılan iş sadece sürtünme kuvvetini yenmede kullanılır.

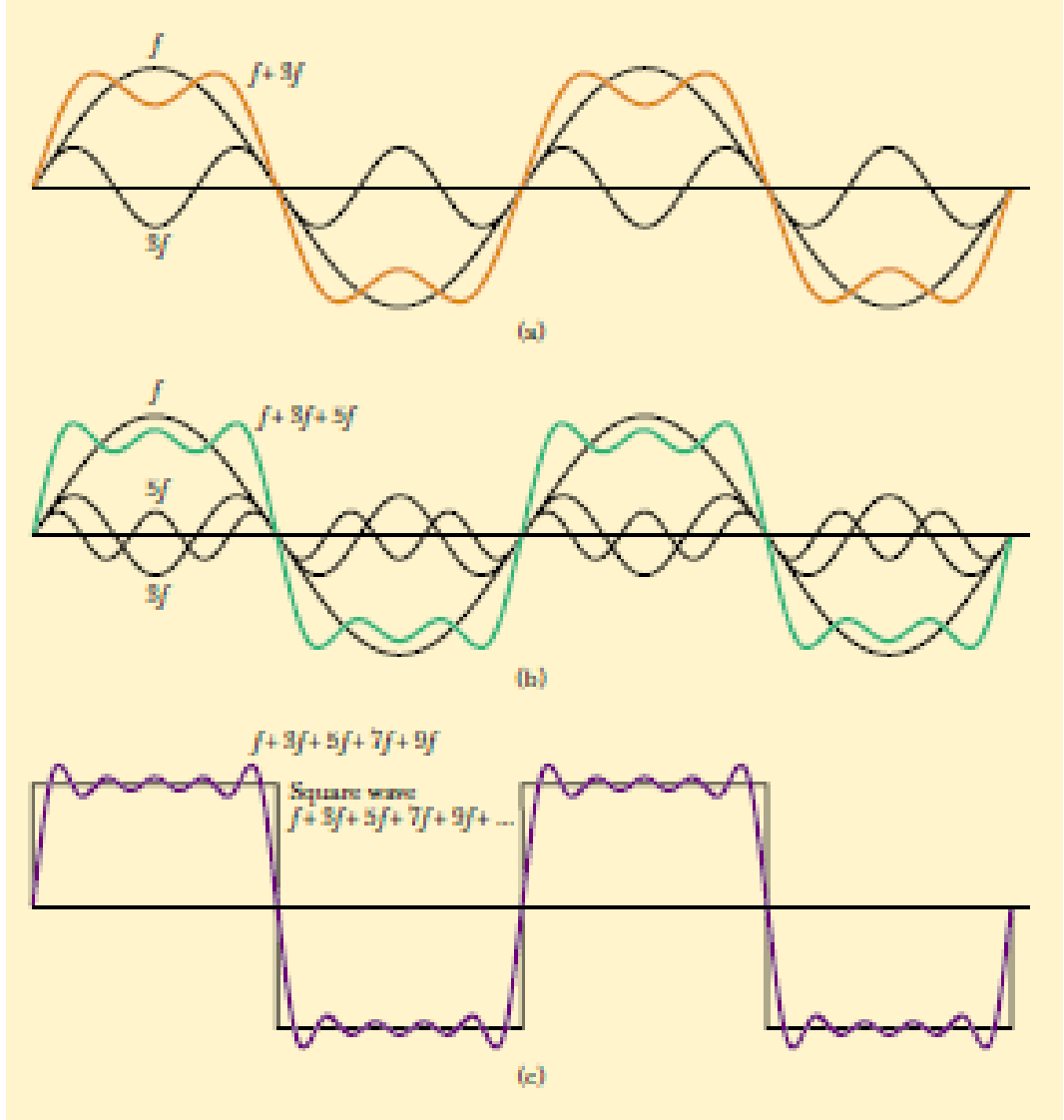


Şekil 2.24. Salınan bir sistemin sürücü frekansına göre genliğinin grafiği (Serway ve Beichner, 2000)

Bu sistemde, sürtünme kuvveti kolayca üstesinden gelinebilecek kadar küçük olduğu zaman, sistemin zayıfça snml olduğu söylenir. Böyle bir sistem rezonans frekanslarından biriyle srldğu zaman büyük bir genliğe sahip olur ve titreşimler, sürücü kuvvet kaldırıldığında uzun süre devam eder. stesinden gelinmesi gereken dikkate değer büyüklükte bir sürtünme olan sistemin kuvvetli snml olduğu söylenir. Rezonans frekansında uygulanan sürücü kuvvet için aşıırı snml salıncının (titreşkenin) maksimum genliği, zayıf snml salıncının genliğinden daha kktir. Aşıırı snml salıncıda sürücü kuvvet kaldırılınca genlik zamanla hızlı bir şekilde azalır.

Rezonans olayına dalga enerjisi konvertörleri açısından bakacak olursak, daha önce belirttiğimiz gibi rezonans olayının dalga enerjisi konvertörü sistemlerinin salınımlar yaparak enerji üretebilmeleri için zorunlu olduğunu görebiliriz. Sistemin sürekli ve verimli bir şekilde enerji üretebilmesi için sürekli salınımlar yapması ve yine sürekli salınımlar yapabilmesi için sürekli olarak rezonansta kalması gerekir. Bir sistemin rezonansta kalabilmesi için konvertörün tabii frekansı ile dalganın geometrik yüzeyinde oluşan kuvvetin frekansının birbirine eşit yada hemen hemen eşit olması gerekir. Bu iki değer birbirine ne kadar yakın olursa, sistemin rezonansta kalması yani sürekli olarak enerji üretmesi o kadar mümkün olur.

Sinssel olmayan dalgaları analiz etme problemi ilk bakışta oldukça zor bir iş olarak görülmektedir. Bununla beraber, dalganın biçimi periyodik ise; sinüssel dalgalardan oluşan çok sayıdaki trigonometrik dalganın bir araya getirilmesiyle temsil edilebilir. Gerçekte, Fourier Teoremine dayanan, matematiksel bir teknik kullanılarak sinüs ve kosinüs terimlerinin bir serisi, herhangi bir periyodik fonksiyonu temsil için kullanılabilir. Periyodik dalgayı temsil eden terimlere ait toplam, Fourier serisi olarak adlandırılır. Aşağıda Şekil 2.25.'de bir kare dalganın Fourier sentezi ile nasıl elde edilebileceği  aşamada gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Bir kare dalganın Fourier sentezi (Serway ve Beichner, 2000)

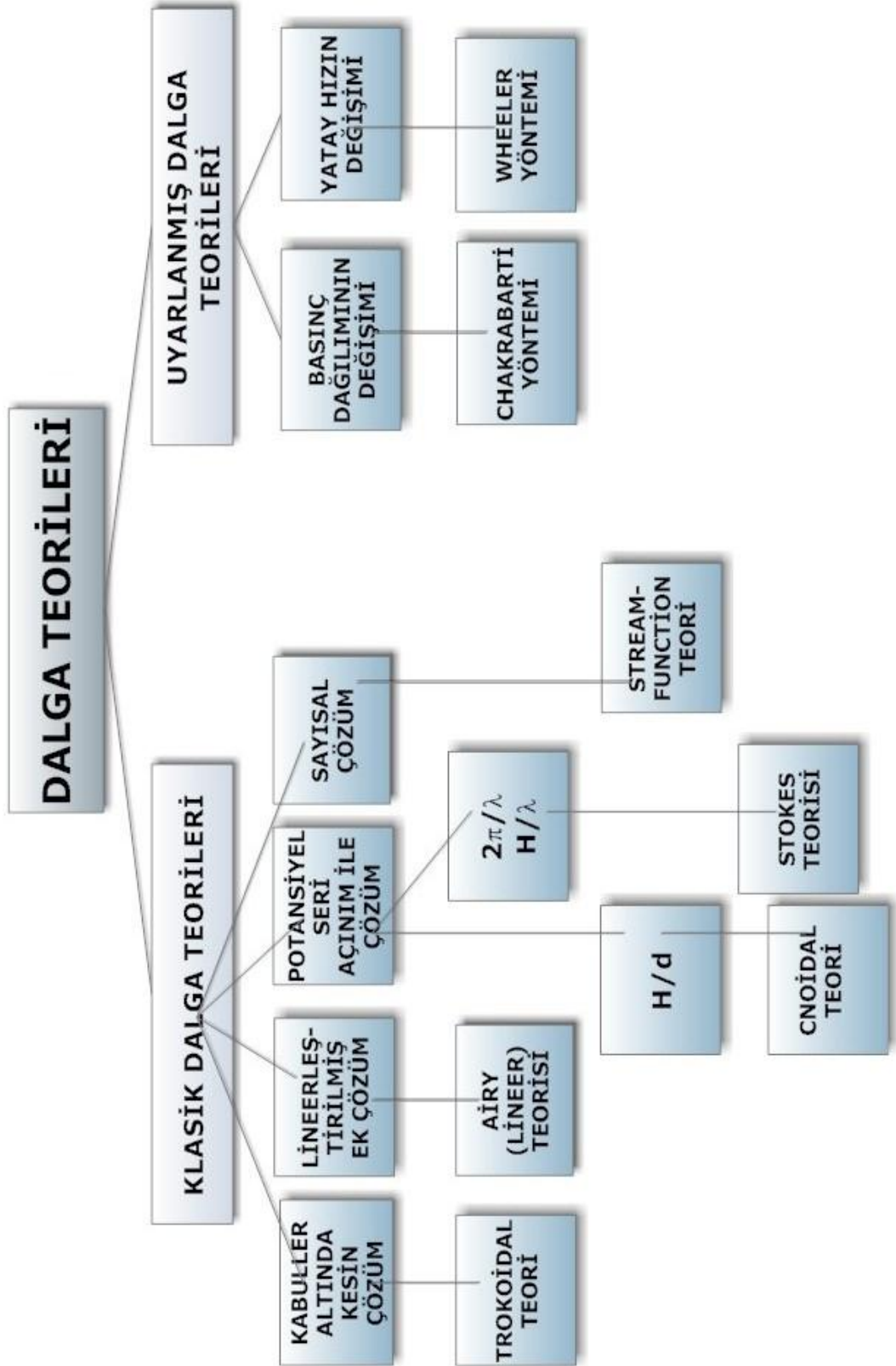
2.1.5 Dalga Teorileri ve Dalga Enerjisi Hesaplamaları

Bu bölümde dalgalar ile ilgili olarak ortaya konulan teoriler incelenmiştir. Daha sonra bu teorilerin seçimi hakkında bilgiler verilmiş ve bize en uygun teoriyi seçerken nelere dikkat etmemiz gerektiği ortaya konmuştur. Dalgalar sayısal açıdan ele alınıp enerji ve güç gibi değerlerin nasıl hesaplandığına değinilmiştir. Dalga enerjisini hangi faktörlerin nasıl etkilediği üzerinde durulmuştur.

Dalgaları yapısal olarak inceleyecek olursak, çok karmaşık bir yapıya sahip olduklarını ve değişkenlikler gösterdiklerini gözlemleyebiliriz. Dalgalar hakkında geçerli fikirler ortaya koymamız ve yorumlarda bulunabilmemiz için bazı kabuller yapmamız gerekir. Bu kabuller olmadan dalgaları bir yönüyle bile ele almamız çok zordur. Örneğin dalgaları incelerken sürtünmeleri hesaba katacak olursak işin içinden çıkmamız mümkün olmaz. Ya da dalgaları üç boyutlu olarak irdelemeye kalkarsak dalgalar ve dalgalarla ilgili hesaplamalar karmakarışık olur. Bu yüzden dalgalarla ilgili olarak yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda ortaya çıkan tüm teorilerde aşağıdaki kabuller yapılarak yola çıkılmıştır.

- Akışkanın sıkıştırılmaz olduğu kabul edilir.
- Akışkanın sürtünmesiz olduğu kabul edilir.
- Akışkanın yüzeyindeki basıncın sabit olduğu kabul edilir.
- Deniz dibinin yatay konumda olduğu ve geçirgen olmadığı kabul edilir.
- Problemler iki boyutlu olarak incelenir ve çözülür.
- Dalga hareketi, potansiyel akış olarak kabul edilir.

Bu sınır koşulları lineer değildir. Bu koşulların tamamıyla sağlanması gereklidir, aksi takdirde problem için kapalı bir analitik çözüm bulunamaz. Şekil 2.26.'da belirtilen teorilerle, dalga formu ve hız potansiyeli için yaklaşık çözümler geliştirilmiştir (Graw, 1995).



Şekil 2.26. Dalga teorilerinin sınıflandırılması ve yapısı

- **Lineer teori:** Karakteristik parametreler olarak sayılan dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı, dalga yüksekliğinin derinliğe ve dalga boyunun derinliğe oranlarının (H/λ , H/d , λ/d) sınırlanmasıyla diferansiyel denklem lineerleştirilerek basitleştirilir. Burada yapılan sınırlandırma, derinliğe ve dalga boyuna göre dalga yüksekliğini çok küçük kabul etme şeklindedir ($H \ll \lambda$ ve $H \ll d$). Neticede dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranında, $H/\lambda < 1/50$ değerlerinin söz konusu olması durumu “derin su” olarak ifade edilir ve dalganın kinematik özellikleri Lineer teori aracılığıyla çok büyük bir yaklaşıklık ile hesaplanabilir. Tüm bu sebeplerden ötürü Lineer teori çok geniş kullanım alanına sahiptir.

-**Trokoidal teori:** Yalnızca derin sular için geçerlidir. Bu teoride, moleküllerin rotasyon yapmakta olup, hareketin hız potansiyeli taşımadığı kabulleri yapılabilmek için kesin çözüm ortaya konulur. Gemiler başta olmak üzere, yüzer cisimlerin dalgalı deniz için yapılan mukavemet hesaplarında Trokoidal teoriden yararlanır.

-**Stokes teorisi:** Seriyeye açarak ve derin su özelliklerini dikkate alarak diferansiyel denklemin çözümü H/λ veya $2a/\lambda$ üsleriyle gerçekleştirildiğinde, Stokes teorisi ile çözüm yapılmış olur.

-**Cnoidal teori:** Seriyeye açarak ve derin su özelliklerini dikkate alarak diferansiyel denklemin çözümü H/d üsleriyle yapılan çözümler ise Cnoidal teori olarak adlandırılan çözümleri verir.

-**Streamfunction teorisi:** Diferansiyel denklemin sayısal olarak yaklaşık çözümünü bulmak mümkündür. Akım fonksiyonunu, verilen sınır değer problemine yaklaştırmak çözümlerden biridir ve bu çözüme Streamfunction teorisi denir.

-**Chakrabarti teorisi:** Lineer teoriye göre saptanmış basınç dağılımının pürüzsüz su yüzeyinde belirli bir sıçrama yaptığını saptamıştır. Bundan dolayı, basınç dağılımının belirlenmesi için lineer denklemin, Laplace denklemi her yerde sağlanamasa da dinamik sınır koşulları tam olarak sağlanıncaya kadar değiştirilmesini (k, ζ) eklenmesini önermiştir:

$$P = \rho g \left[\frac{\zeta \cosh[k(z+d)]}{\cosh[k(d+\zeta)]} z \right] \quad (2.12)$$

-**Wheeler teorisi:** Lineer teoriye göre saptanmış, teorik tanecik hızlarını deneylerle ölçülmüş olan hızlara uydurmak için $\cosh[k.(z+d)]/\cosh(k.d)$ teriminde değişiklikler yapmıştır.

Köken bakımından dalgalar; rüzgar kökenli ve deprem kökenli (tsunami) dalgalar olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Rüzgar kökenli dalgalar ise düzenli (teorik olarak veya laboratuvar ortamında) ve düzensiz (doğal ortamda) olmak üzere hidrodinamik hesaplamalarda dikkate alınmaktadır. Dalga enerjisinin teorik olarak hesaplanmasında temel parametre dalga yüksekliğidir. Bazen dalga yüksekliği fazla iken süresi kısa, bazen ise dalga yüksekliği az iken süresi uzun olur.

Belli bir süreçte teorik olarak gerçekleşmesi mümkün gözükten dalga enerjisinin miktarı ancak tasarlanan dalga parametrelerinin (genlik, periyot ve yön) istatistik ve spektrum yöntemleriyle doğru bir şekilde hesaplanmasıyla saptanabilecektir (Gökkuş). Birim genişlik için dalga boyu su yüzeyi ile taban arasındaki su kütesinin toplam enerjisi; kinetik ve potansiyel enerjilerin toplanmasından elde edilmektedir.

Kinetik dalga enerjisi (E_K) aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E_K = \int_{-d}^0 \int_0^\lambda \frac{\rho}{2} (U^2 + \omega^2) dx dz \quad (2.13)$$

Burada u ve ω ; dalga partikülünün sırasıyla yatay ve düşey hızlarıdır. λ ise dalga boyunu temsil eder. Potansiyel dalga enerjisi (E_P) ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E_P = \int_0^L \rho g \eta^2 dx \quad (2.14)$$

Burada ρ ; suyun özgül kütlesi, g ; yerçekimi ivmesi ve η ise su yüzeyinin dalgalanmamış referans düzeye arasındaki düşey mesafe olarak nitelendirilmektedir. Toplam dalga enerjisi (E_T) potansiyel ve kinetik enerjinin toplamı olacaktır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \left\langle \frac{H}{2} \right\rangle^2 L \quad (2.15)$$

Tek bir dalgayı ele alacak olursak, kıyıya yayılımı sırasında dalga enerjisinin değiştiğini ve enerjisinin bir kısmını viskoz kuvvetler etkisiyle deniz tabanına transfer ettiği gözlemlenir. Bundan dolayı dalga partikül hızları ve su yüzü profilinin salınımı

derinliğin değiştiği her kesitte farklılaşmaktadırdır. Düzenerli dalga hareketi tek bir dalgayı temsil etmekte ve partikül hız yörüngeleri ve su yüzü profile değişimi de görülmektedir. Bu parametrelerin kıyıya yaklaşımıyla hem büyüklüklerinde hem de yörüngelerinde farklılıklar gözlemlenir.

Derinlik, dalga yüksekliği ve periyoduyla belirlenecek her bir teoninin gerektirdiği hesap esasları ve değişken parametreler sözkonusudur. Basitçe üç boyutlu deniz dalgalarının birim uzunluğuna tekabül eden güç (Mc Cormic, 1981);

$$P = [\rho \cdot (g \cdot H^2 \cdot C_g)] / 8 \quad (2.16)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;

ρ : Deniz suyu yoğunluğu (1025 kg/m³),

g : Yerçekimi ivmesi (9.81m/sn²),

C_g : Grup hızı (m/sn),

H : Ortalama dalga yüksekliği (m),

P : Güç (kW)

Enine ilerleyen bir dalğanın hızı, dalğanın içerisinde bulunduğu ortamın özellikleri ile yakından ilişkili olmaktadır. Örnek olarak bir iptte yayılan dalğanın v hızı, F_t gerilmesine ve ip için birim uzunluk başına tespit edilen kütle değerine bağlıdır. Bu kütle değeri μ ile sembolize edilirse, $\mu = m/l$ olur. Küçük genlik değerine sahip dalgalar için bu bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$v = \sqrt{\frac{F_t}{\mu}} \quad (2.17)$$

Bu bağıntıdan hızın, gerilim ile doğru birim uzunluktaki kütle miktarı ile ters orantılı olduğunu anlayabiliriz. Enine ilerleyen dalgalar için hız bağıntısı yukarıdaki gibi iken boyuna dalgalardaki hız bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$v = \sqrt{\frac{\text{esnek kuvvet faktörü}}{\text{eylemsizlik faktörü}}} \quad (2.18)$$

Uzunlamasına katı bir çubuk boyunca dalğanın hızı ise, katı çubuğun esneklik faktörü (E) ile doğru orantılı olmasına karşın yoğunluğu (ρ) ile ters orantılıdır.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.19)$$

Bir sıvı ya da akışkan içerisinde boyuna ilerleyen dalga için ise hız, hacim modülü (B) ile doğru orantılı olmasına karşın yoğunluğu (ρ) ile ters orantılıdır.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.20)$$

Dalga hızları ile ilgili olarak dikkate almamız gereken bir diğer nokta ise sürtünen (temas halindeki) yüzeyler arasındaki dalga hızlarının birbirinden farklı olabilmesidir. Deniz dibindeki dalganın alt kısmında ile sürtünmesi, su seviyesindeki dalganın hava ile sürtünmesinden fazla olacağı için, su seviyesindeki dalganın hızı daha yüksek olacaktır.

Dalga periyodu (T), genliği (A), güç yoğunluğu ($E_{density}$), su yoğunluğu (ρ_{water}), yerçekimi ivmesi (g) ve dalga yüksekliği (H) olmak üzere dalgaların enerji ve güç yoğunlukları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Vining, 2005).

$$E_{density} = \frac{\rho_{water} g H^2}{8} = \frac{\rho_{water} g A^2}{2} \quad (2.21)$$

$$P_{density} = \frac{E_{density}}{T} = \frac{\rho_{water} g H^2}{8T} = \frac{\rho_{water} g A^2}{2T} \quad (2.22)$$

2.2 DEK Sistemlerinin Yapılarına Göre İncelenmesi

Dalga enerjisi, direk dalgaların yüzeylerinden veya yüzey altındaki basınç değişimlerinin yakalanmasıyla oluşan bir enerji türüdür. Çeşitli tasarımlar dalgalardan gelen bu enerjiyi elde etmek için üretilmiştir. Bu tasarımları yapılarına göre inceleyecek olursak bazı farklılıklar gösterdiklerini anlayabiliriz. Bu farklılıklardan en belirgin olanı uygulanma yerlerinin farklılığıdır. Kimisi kıyıda yer alırken kimisi kıyıdan biraz uzakta yer almaktadır. Bazıları ise açık denizde yer almaktadır. İşte bu yüzden dalga enerjisi konvertörleri ile ilgili olarak karşılaşılan tipleri aşağıda maddelendiği gibi üç ana grupta inceleyebiliriz.

- 1) Kıyı uygulamaları
- 2) Yakın kıyı uygulamaları
- 3) Açık deniz uygulamaları

Bundan dolayı dalga enerjisi konvertörlerini yapılarına göre incelerken bu sınıf ayrımını da dikkate almalıyız. Bu sistemlerin en kolay kurulabileni kıyı sistemleri olup kıyıdan uzaklaştıkça bu sistemlerin kurulabilirliği zorlaşmaktadır. Çünkü sistemin yere montajı ve üretilen enerjinin aktarılması problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu olay hem maliyeti arttırmakta hem de söz konusu sistemin kurulumunu güçleştirmektedir. En kolay kurulabilen kıyı tipi sistemlerini sırasıyla yakın kıyı ve açık deniz sistemleri takip etmektedir (Thorpe, 1999).

Buna karşılık enerji potansiyeli ve özellikle en yüksek enerji dönüştürme potansiyeli olarak ise durum kurulabilirlik kolaylığı sıralamasının tam tersidir. En yüksek enerji dönüştürme potansiyeline sahip olan açık deniz sistemlerini sırasıyla yakın kıyı ve kıyı sistemleri takip etmektedir (Whittaker, 1993; Thorpe 1999). Bu yüzden yapılan çalışmalarda ağırlık açık deniz sistemlerine verilmiştir. Bu sistemler aşağıda Çizelge 2.4.'te birbiri ile kıyaslanmış ve üstün özellikte olanı “ > ” simgesi ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Uygulama yerine göre DEK sistemlerinin karşılaştırılması

KURULABİLME KOLAYLIĞI	KIYI TİPİ>YAKIN KIYI TİPİ>AÇIK DENİZ TİPİ
ENERJİ DÖNÜŞTÜRME POTANSİYELİ	AÇIK DENİZ TİPİ>YAKIN KIYI TİPİ>KIYI TİPİ

2.2.1 Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları

Bu bölümde, dalga enerjisi konvertörlerinin bir grubunu oluşturan kıyı tipi dalga enerjisi konvertörleri üzerinde durulmuştur. Kıyı tipi dalga enerjisi konvertörleri ayrıntılı olarak anlatılmış ve yapısal özellikleri ortaya konmuştur. Aynı zamanda bolca örneklerle ve resimlerle desteklenerek çeşitliliği de ortaya konmuştur. Aşağıda Şekil 2.27.'de kıyı tip bir DEK sistemi gösterilmiştir.

Bu tip sistemlerde, enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş ve gömülü bir halde bulunur. Bu sistemlerin bakım ve inşası diğer sistemlere göre daha kolay ve basittir. Diğer sistemlere oranla ulaşım kolaylığı söz konusudur. Derin su bağlantılarına veya uzun sualtı elektrik kablolarına gereksinim duyulmaz. Bu kadar üstün yönüne rağmen diğer tip uygulamalardan ayrıldığı nokta, sahip olduğu dalga rejimi sebebiyle elde edilen dalga enerjisinin diğer tiplerden daha az olmasıdır. Dalga yüksekliği ve buna bağlı olarak enerji dönüştürme potansiyeli kıydan uzaklaştıkça artmaktadır.

Kıyı tipi DEK sistemlerini yüzeysel olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür. Bu sınıflar şunlardır;

- 1) DEK Su Oluğu Sistem
- 2) Kanal Kaplı Sistem (TAPCHAN)
- 3) Salımlı Tip Hidrolik Pompa

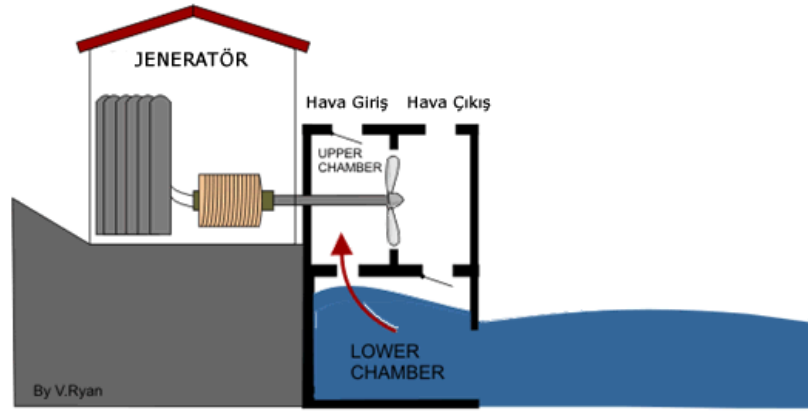


Şekil 2.27. Kıyı tipi bir DEK sisteminin arkadan görünüşü (Cruz, 2008)

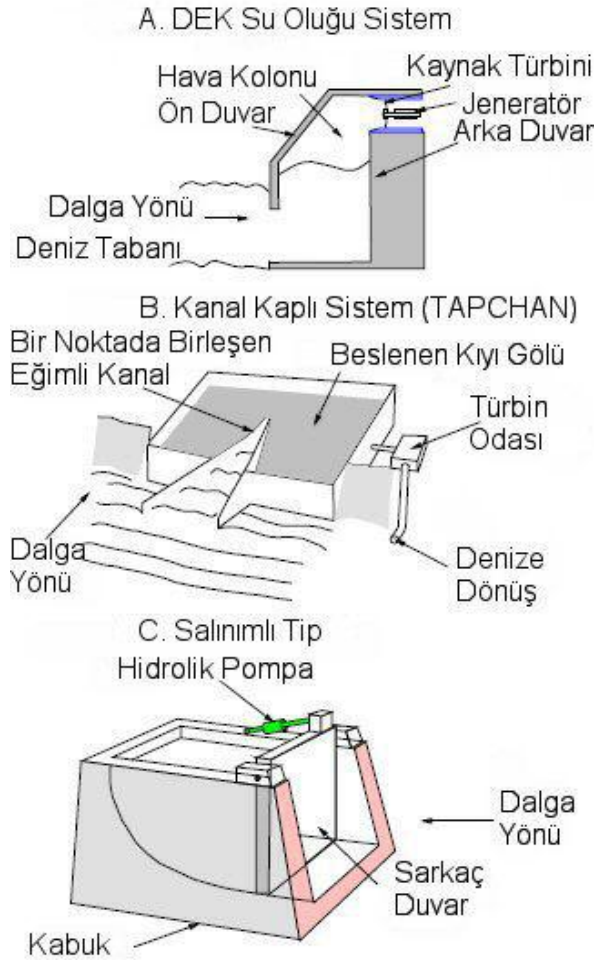
Bu üç sınıftaki kıyı tipi DEK sistemlerinin ortak mantıkları, kıyıya doğru belli hızlarda gelmekte olan dalganın sahip olduğu enerjiyi aşağıda sıralanan işlemler ile elektrik enerjisine dönüştürmeleridir;

- Kıyıya doğru gelen dalgalar sayesinde tampon parça hareket ettirilir.
- Hareket kazandırılan parçalar, bir piston ya da kabin içerisindeki havayı sıkıştırır.
- Havanın hareketi ile türbinler döner ve oluşan manyetik alan ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleşir.

Aşağıda Şekil 2.28.'de bu işlemlerin nasıl gerçekleştiğini gösteren bir şekil yer almaktadır. Şekil 2.29.'da ise kıyı tipi DEK sistemlerinin üç ana çeşidi gösterilmiştir.



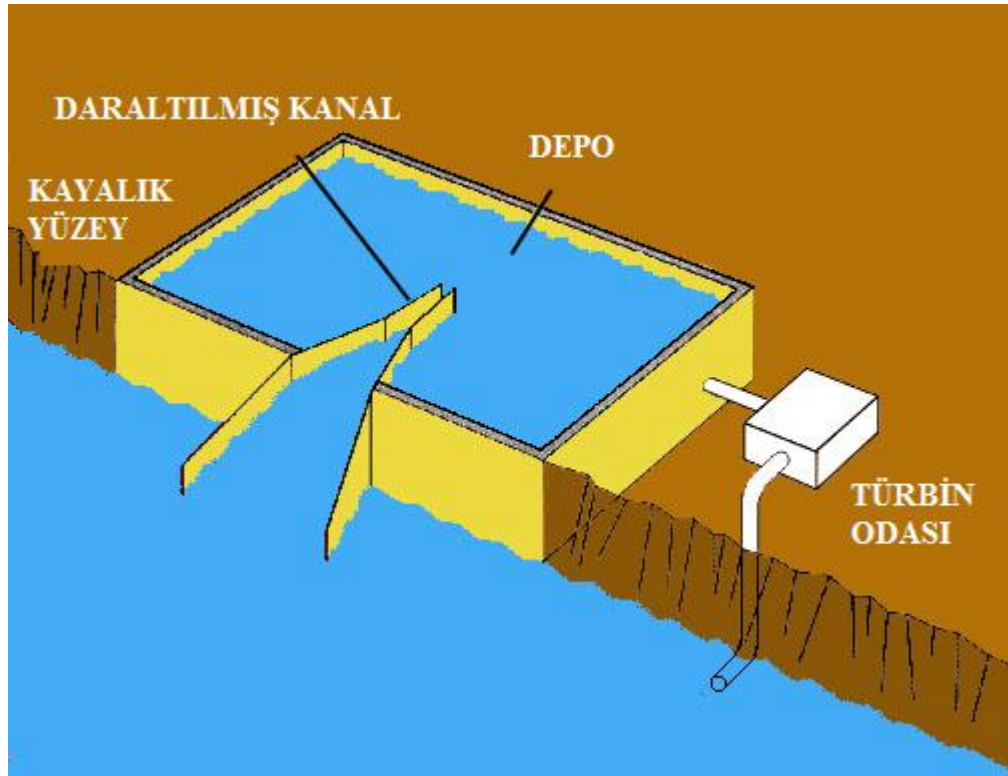
Şekil 2.28. Kıyı tipi DEK sistemlerinin çalışma prensibi (V.Ryan, 2009)



Şekil 2.29. Kıyı tipi DEK sistemlerinin sınıflandırılması (Falnes,1997)

Bu çeşitler içerisinde şekilde (b) ve (c) ile gösterilmiş olan kanal kaplı sistem (TAPCHAN) ve salımlı tip hidrolik pompa, ilk gösterilen su oluğu sistemi kadar verimli olamamaktadır.

İkinci sınıftaki (b) kanal kaplı sistemde, denizden gelmekte olan dalgaların basıncı ve yüksekliği eğimli kanal sayesinde sıkıştırılarak artırılır ve yüksekliği artırılmış olan su kütlesi kanalın son kısmında hazırlanmış olan havuzcuğa dökülür ve su burada biriktirilir. Havuz tabanının hemen altında ve deniz seviyesinin hemen üstündeki bir seviyeden açılmış olan bir kanal sayesinde biriktirilmiş olan su kütlesi tekrar denize dökülür. Bu su kütlesinin sahip olduğu potansiyel enerji önce mekanik enerjiye ve daha sonra türbin ve jeneratör ikilisi sayesinde elektrik enerjisine dönüşür. Bu sistemler su seviyesinin 3-5 metre üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır. Daralan kanal sistemi olan TAPCHAN'ın şematik yapısı aşağıda Şekil 2.30.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.30. TAPCHAN'ın yapısının şematik gösterimi (Boyle, 1996)

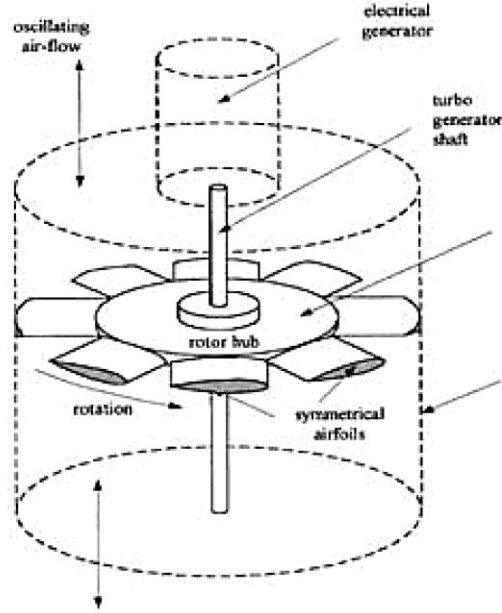
Şekil 2.30.'da görüldüğü gibi kanalın daralması yüksekliğin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su ise türbine verilir. Çok az sayıda hareketli parçaya sahip olduğundan aşınma ve yıpranma olayları diğer tiplere göre daha az olur ve bu yüzden düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyduğumuz kadar enerji depolayabiliriz ancak bu sistem bütün kıyı kesimleri için uygun olmayabilir.

Salımlı su kolonu tipi DEK sistemlerinde, su kolonu ve onun üzerinde ise bir hava kolonu vardır. En alt kısımda yer alan kapı suyun içeri girmesini sağlar. İçeri giren su tarafından daralan hacimde sıkıştırılan hava sayesinde çıkıştaki türbinlerin hareket ettirilmesi sağlanır. Dalga geri çekilirken ise bu durumun tam tersi olacak şekilde içerideki havayı boşaltacak ve türbinin yeniden hareket etmesini sağlayacaktır. Bu tür sistemde normal bir türbin kullanılırsa, su odaya girdiğinde ve odadan çıkarken türbin pervanesi farklı yönlerde hareket edeceğinden sistem kesintili çalışma yapar ve bu da sistemin verimini düşürür. Bu durumda sistemin enerji üretimi de süreklilik sağlanamadığı için düşük olur. Bu yüzden bu tür sistemler için wells türbinin kullanılması uygundur.

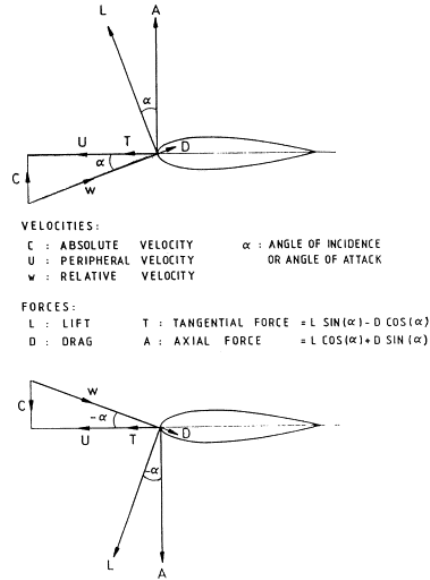
Wells türbini özel yapısından dolayı her zaman tek yöne doğru dönüş temin eder ve bu kesintileri engelleyip zaman kaybı yaratmayacağından ötürü sistemde sürekliliğin (her zaman tek yöne dönüş) oluşmasını ve daha verimli bir şekilde enerji üretilmesini sağlar. Aşağıda Şekil 2.31.'de bir Wells türbini modeli gösterilmiştir. Şekil 2.32.'de ise Wells türbinin çalışma prensibi ve üzerindeki kuvvetlerin hesaplanması şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.33.'de ise jeneratör ve türbin grubunun gerçek resmi verilmiştir. Şekil 2.34.'de ise su kolonu salımlı modeline ait şematik bir gösterim yer almaktadır ve bu şekilde yukarıda bahsetmiş olduğumuz çalışma prensibi ortaya konmuştur.

Salımlı su kolonu modelinin kıyıya nasıl kurulduğunu ve yerleştirildiğini gösteren şekil ise Şekil 2.35.'de verilmiştir. Şekil 2.36.'da ise Salyangoz (Limpet) kıyı tipi dalga enerjisi konvertörü gösterilmiştir. Burada modeli gösterilmiş olan kıyı tipi salyangoz modelinin uygulanmış gerçek tipine ait bir görüntüsü ise Şekil 2.37.'de yer almaktadır. Dikkate almamız gereken nokta ise Şekil 2.29. (a)'da su oluşu sınıfında yer alan kıyı tipi DEK sistemleri için ortak olarak görülen temel mantık dalganın geliş

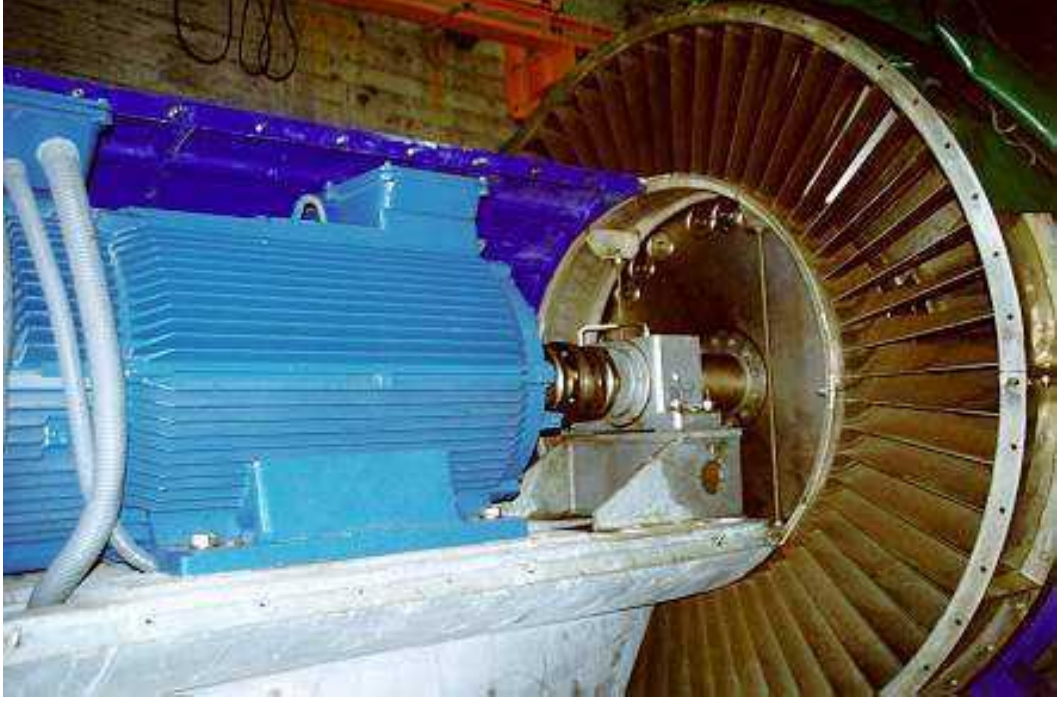
yönüne karşı olarak yer alan yarı kapalı bir kap gibi bir öğeyi içine alıp barındırabilecek şekilde tasarlanmış olmalarıdır.



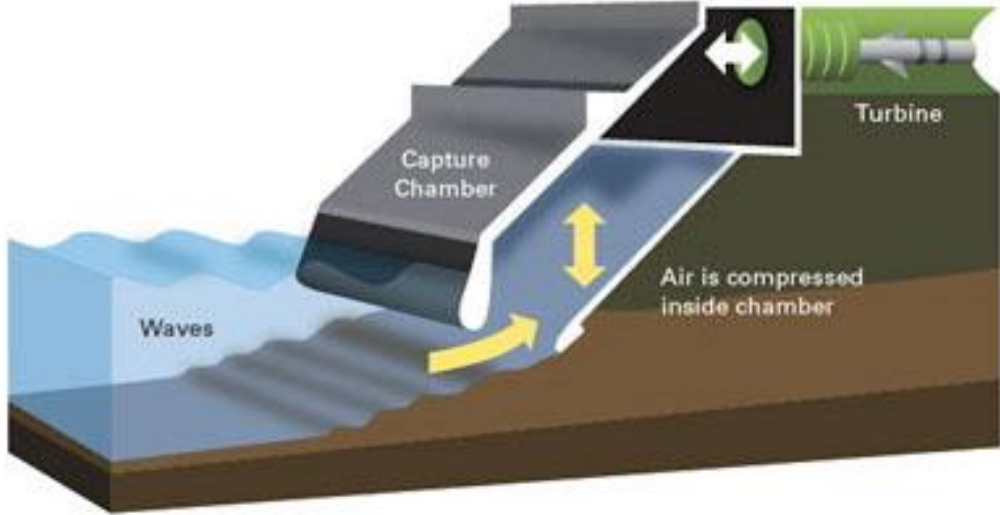
Şekil 2.31. Wells türbini modeli (Anonymous, 2010a)



Şekil 2.32. Wells türbinine ait çalışma prensibi ve ilgili hesaplamalar (Anonymous, 2010a)



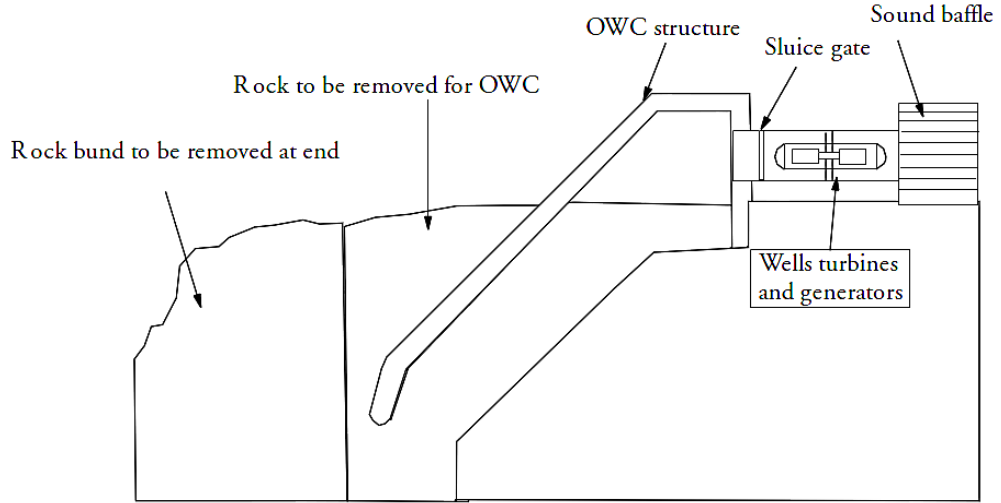
Şekil 2.33. Jeneratör/Düzeltilci hava türbini grubu (Rodrigues,2010)



Şekil 2.34. Su kolonu salınımlı modeline ait şematik gösterim (Thorpe, 1999)



Şekil 2.35. Salımlı su kolununun kıyıya yerleşimi (Rodrigues,2010)



Şekil 2.36. Salyangoz (Limpet) kıyı tipi DEK (Thorpe, 1999)

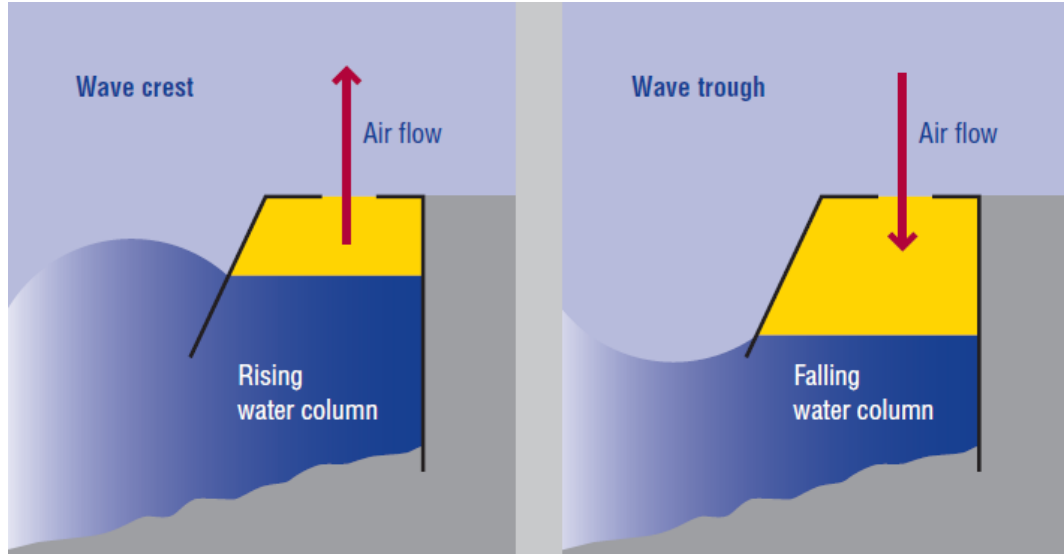


Şekil 2.37. Salyangoz (Limpet) modeline ait gerçek görünüm (Heath, 2008)

Şekil 2.36. ve Şekil 2.37.'de verilen sistem, dalganın kıyıya ulaşmasıyla beraber konvertörün salınım yapan kısmına yığıldığından, biriken su kütleinin artan yüksekliği sebebiyle basıncı da artmış olur. Böylece su kütlesi, kapalı kısmın sahip olduğu düşük basınç sebebiyle yarı kapalı kabın kapalı tarafına doğru harekete geçer. Bundan dolayı kapalı olan tarafta bulunan hava sıkışmaya zorlanır. Sıkışan hava sistemin çıkış kanalından dışarı kaçar. Bu esnada kaçan hava yine kanal içerisinden geçerken türbini döndürür ve basıncından kaynaklanan kuvvet sayesinde iş yapmış olur. Bu kısımda bulunan jeneratör ile dönme hareketi yapan mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Bu olayın sonucu olarak ise dalga kuvveti ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmiş olur.

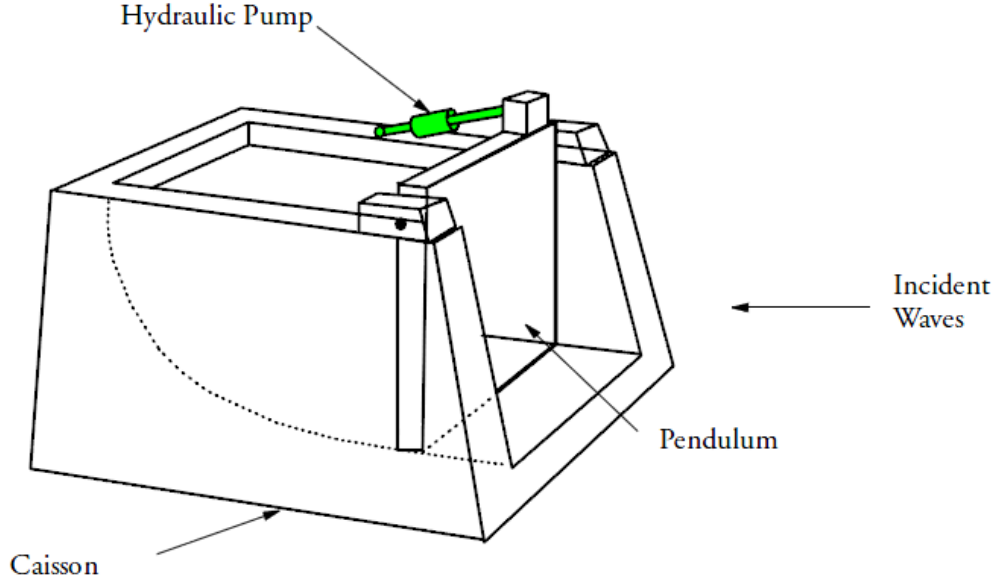
Her ne kadar tasarım ve şekil yönünden birbirinden farklı gibi görünseler de kıyı tipi dalga enerjisi konvertörlerinin birbirlerine çok benzeyen özellikleri vardır. Herbiri tek tek ele alındığı zaman birbirinin türevi ya da geliştirilmiş yeni bir modeli olarak düşünülebilir. Örneğin Şekil 2.34.'te gösterilen salımlı su kolonu modeli ile Şekil 2.36.'de gösterilen Salyangoz (Limpet) modeli arasında çok büyük benzerlikler göze çarpar. İkisi de Şekil 2.29. (a)'daki gruba dahil olan bu sistemlerin çalışma mantıkları tamamen aynıdır.

Aşağıda Şekil 2.38.'de ise bahsettiğimiz (a)'da yer alan sistemler için çalışma prensibi dalgaların giriş ve çıkışına göre ortaya konmuştur. Şeklin bir kısmında dalgalar çekilirken meydana gelen dalga düşüşü, diğer kısmında ise dalgalar kıyıda ön duvarda yığıldığı zaman meydana gelen dalga yükselmesi ve buna bağlı olarak daralan hacimde havanın sıkışması gösterilmiştir.



Şekil 2.38. Dalga konumlarına göre su kolonu sistemlerinin çalışma prensibi (Anonymous, 2010b)

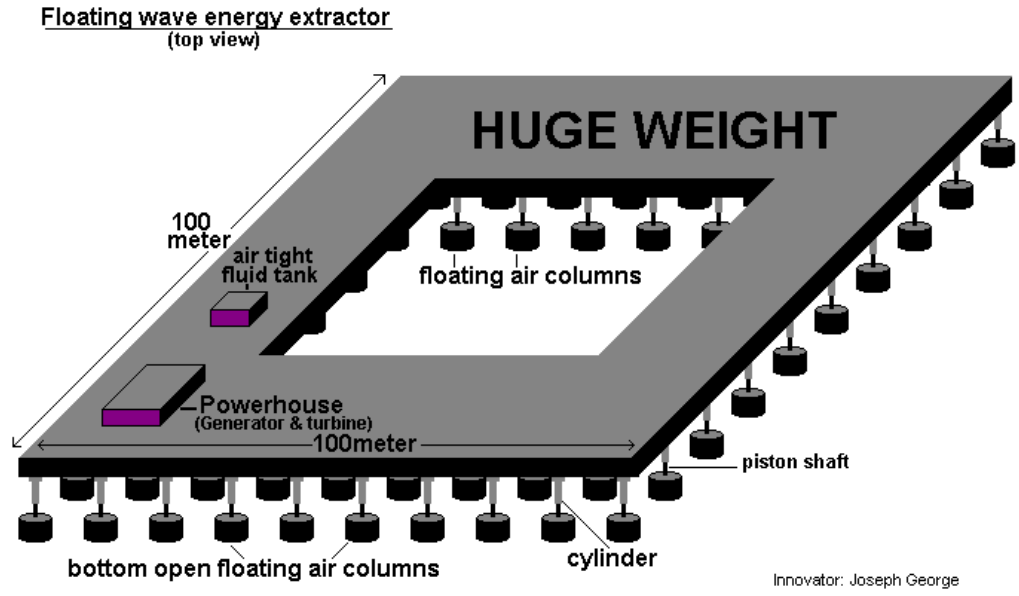
Şekil 2.29. (c)'de gösterilen salınlı tip hidrolik pompa sistemleri için çalışma mantığı dalgaların sahip olduğu kuvveti, dalganın çarpmasıyla salınlı yapabilecek şekilde düzenlenmiş olan bir plakanın hareketi aracılığıyla piston silindir mekanizmasına benzeyecek şekilde daha düzenli bir hale getirmektir. Böylece daha düzenli hale getirilen kuvvetin etkisiyle hareket eden plaka sayesinde yağ pompalanacak ve gerçekleşen mekanik işin ardından elektrik enerjisi üretilmiş olacaktır. Bu sisteme yapılacak bir piston ilavesi ile plakanın ters yönde (geri dönerken) hareketi ile de aynı şekilde enerji elde etmek mümkündür. Bu sistemin işleyişini açıklayabilecek olan bir modeli aşağıda Şekil 2.39.'da gösterilmiştir. Şekil 2.39.'da görüldüğü gibi plakaya gelen anlık dalgalar plakanın ileri geri hareket ederek yerdeğiştirmesini sağlar ve plakanın hareketi ile pistonlar yağ pompalar ve bu sayede elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilir.



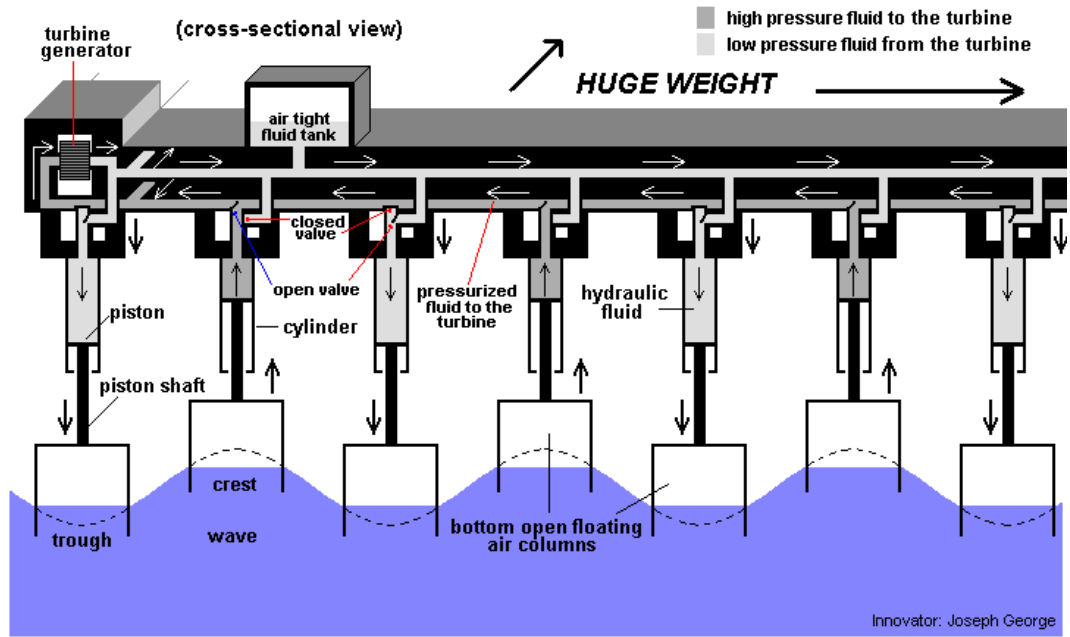
Şekil 2.39. Penduların çalışma prensibini açıklayan model (Thorpe,1999)

Penduları yapısal olarak inceleyecek olursak bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklinde olduğunu görebiliriz. Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketiyle birlikte ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratör ve hidrolik pompanın çalışması için kullanılır. Birkaç küçük tasarısı (≥ 5 kW) Japonya’da inşa edilen ve geliştirilen Pendular için daha büyük tasarılar vardır (Osanaı, 1995; Watabe, 1995).

Pendular, enerji dönüştürücüsünü hareketli kapak sisteminden (levha) dolayı hareketli dalga enerjisi konvertörü olarak nitelendirebiliriz. Aşağıda Şekil 2.40.’da Pendular hareketli dalga enerjisi konvertörünün, üstten yüzeysel gösterimi vardır. Şekilde $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ ebatlarında dikdörtgensel yüzeye sahip olan çok büyük ağırlıktaki hareketli kapak ve üzerindeki elemanlar gösterilmiştir. Şekil 2.41.’de ise sistemin önden görünüşü gösterilmiş ve sistemdeki düşük ve yüksek basınçlı akışkana sahip alanlar koyu gri ve açık gri renklendirmeye ayırt edilmiştir.



Şekil 2.40. Pendular hareketli enerji konvertörüne ait üst görünüş (Anonymous, 2010c)



Şekil 2.41. Pendulara ait ön görünüş (Anonymous, 2010c)

2.2.2 Yakın Kıyı (Near Shore) Uygulamaları

Bu bölümde yakın kıyı tipi DEK sistemleri detaylı olarak ele alınarak bu sistemlerin yapıları, çalışma prensipleri ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu bilgiler görsellerle desteklenmeye çalışılmıştır. Bu sistemlerden her birinin gelişimi ve geldiği nokta ile potansiyeli ortaya konmaya çalışılmıştır.

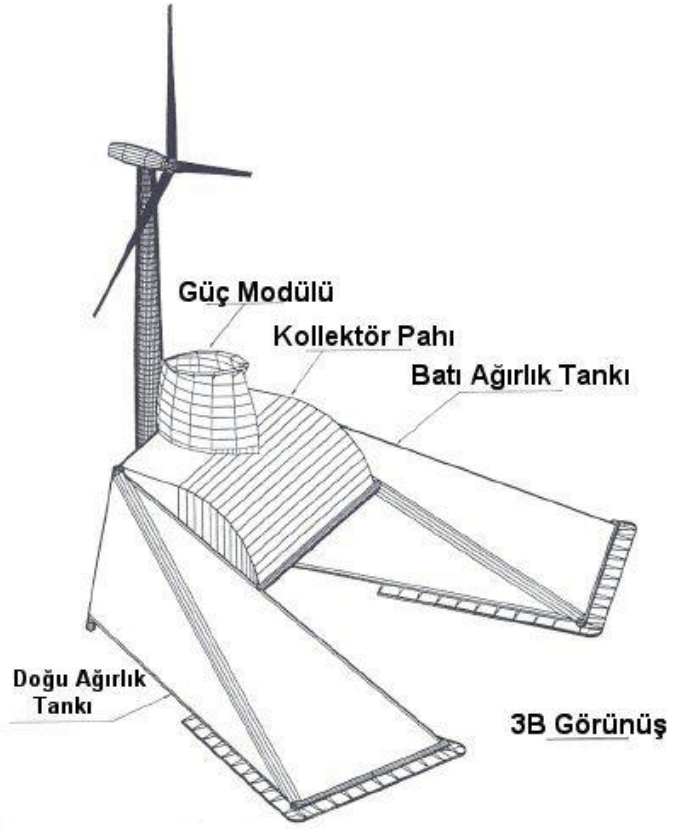
Yakın kıyı tipi DEK sistemlerinin Osprey, Oyster, WOSP, OWEC, Wave Plane gibi çeşitli tip uygulamaları vardır ve bu uygulamalar halen geliştirilmektedir. Bu bölümde, her tip kendi içerisinde detaylı olarak ele alınmış ve özellikleri ortaya konmuştur.

Yakın kıyı tipi DEK sistemlerine genel olarak bakılırsa, 10-25 metre su derinliklerinde çalışmakta oldukları görülebilir. Daha önce de belirttiğimiz gibi bu tip sistemler, kıyı tipi ve açık deniz tipi DEK sistemleriyle kurulabilme kolaylığı ve enerji dönüştürme potansiyeli açısından kıyaslandığında hep ikinci sırada yer alır. Daha önce oluşturulan Çizelge 2.4. "Uygulama yerine göre DEK sistemlerinin karşılaştırılması" incelenirse bu görülebilir.

Yakın kıyı tipi dalga enerjisi konvertörlerinden biri OSPREY (Balık Kartalı) olarak adlandırılan ve aşağıda Şekil 2.42.'de gösterilen konvertördür. Burada gelen dalga akımları, kıyı tipi konvertörlerinin bazı modellerine benzer şekilde, eğimli ve yükselen yan duvarlar sayesinde yoğunlaştırılarak yükseltilir ve kolektör içerisinde bulunan hava sıkıştırılır. Sıkıştırılan havanın dışarı doğru hareketi ile türbinler döndürülür ve yine birçok konvertör çeşidinde olduğu gibi bu hareketten önce mekanik enerji daha sonra da elektrik enerjisi elde edilir. Wavegen tarafından geliştirilen Osprey'in gücü 1,5 MW'lık rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari olarak gösterimine yönelik olarak çok fazla çalışma yapılmıştır. Özellikle inşa (ilk kurum) maliyetinin azaltılması amacıyla yapılan çalışmaların ise halen devam ettiği bilinmektedir. Şekil 2.43.'de ise Osprey'e ait model gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Yakın kıyı tipi konvertörlerinden Osprey



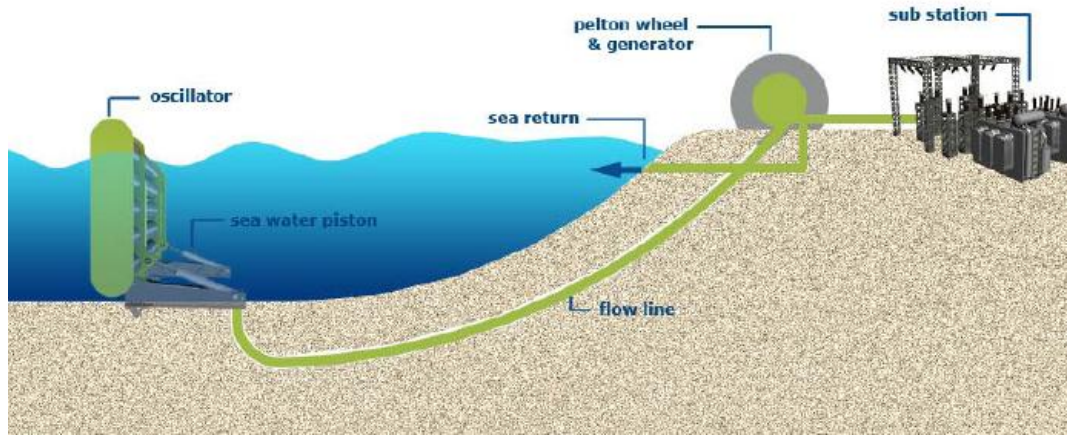
Şekil 2.43. Osprey'e ait üç boyutlu model (Falnes, 1997)

Şekil 2.43.'de de görüldüğü gibi doğu ve batı ağırlık tankları ile sistem dengede kalır ve enerji elde etmenin ilave bir yolu olarak da yapısında rüzgar türbini bulunur. Doğu ve batı ağırlık tanklarını dikkatle izlenirse geometrilerinin dalgaların yoğunlaşmasını sağlayacak şekilde eğimli olduğu görülebilir.

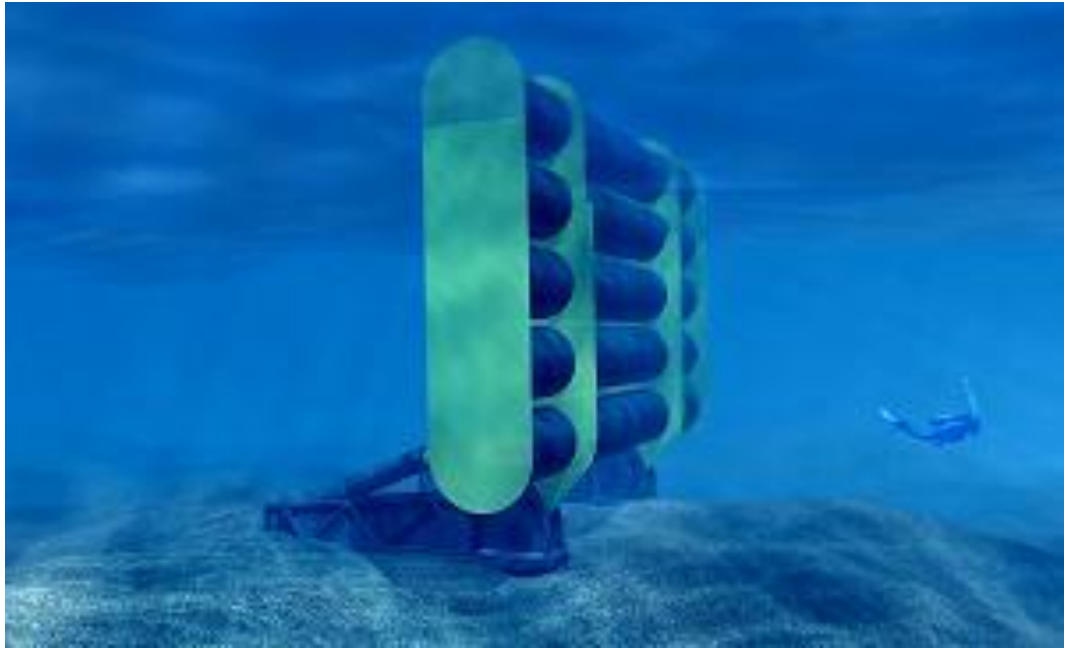
Yakın kıyı tipi dalga enerjisi konvertörü olarak adlandırabileceğimiz diğer bir konvertör çeşidi ise “Oyster” dir. Oyster, Aquamarine Power Limited ve Queen’s University Belfast tarafından geliştirilmiştir. Bu ortak girişim tarafından yapılacak araştırmalarla, önümüzdeki yıllarda bu dalga gücü dönüştürücü çeşidinde gelişmeler olması beklenmektedir.

Oyster, temel çalışma prensibi olarak dalgaların ileri-geri (surging) hareketiyle yapılan salınımları elektrik enerjisine dönüştüren çelik yapı bir konvertördür. Oyster, çift yönlü su pistonlarına sahiptir ve 10 ile 15 metre arası derinliklerde yakın kıyıda çalışması için geliştirilmiştir. Dalgalar Oyster’i harekete geçirip çalıştırdığı zaman, aşağıda Şekil 2.44.’de görüldüğü gibi denizin alt kısmında yer alan düz bir boru hattı ile sahile doğru yüksek basınçlı su pompalar. Sistemin en karmaşık kısmı, denizden karaya (kıyıya) elektrik gücü üretmek için kullanılan sistem olan geleneksel standart hidroelektrik jeneratörleridir.

İlk Oyster’in, Orkney’in kıyılarında yer alan Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi’nde (European Marine Energy Centre) çalıştırılması planlanmıştır. Yakın gelecekte 350 kW’lık bir prototipin Orkney kıyılarına kurulması planlanmıştır. Bu gerçekleştiği zaman, yakın gelecekte bize Oyster’in uygulanabilirliği ve deniz şartlarında çalışmasına devam edip edemeyeceği hakkındaki araştırmalarımız için önemli veriler sağlayacaktır. Şekil 2.45.’de ise Oyster’in su altındaki görünümü verilmiştir.



Şekil 2.44. Oyster dalga enerjisi konvertörü ve yapısı (Queen's University Belfast, 2007)



Şekil 2.45. Oyster modeli (Queen's University Belfast, 2007)

Aşağıda Şekil 2.46.'da Northern Ireland'daki dalga tanklarında test edilen 1/20 ölçekli Oyster modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.46. Northen'de test edilen 1/20 ölçekli Oyster protitipi (Queen's University Belfast, 2007)

Oyster, fabrikada imal edildikten ve kontrolleri yapıldıktan sonra denize bırakılmaya hazır hale gelir. Uygun bir araçla deniz kenarına kadar getirilen Oyster, kullanılan vinç sayesinde denize bırakılır ve çalışmaya uygun hale gelir. Aşağıdaki şekillerde Oyster'in geçirdiği bu aşamalar Aquamarine Power tarafından hazırlanan ve Ocak 2009'da yayınlanan "The Development of Oyster-1" den (Oyster'in Gelişimi-1) adlı yayından alınan görseller yardımıyla gösterilmiştir. Şekil 2.47.'de fabrikada tamamlanmış halde bulunan Oyster, Şekil 2.48.'de Oyster'in deniz kenarına taşınması, Şekil 2.49.'da Oyster'in denize bırakılması ve son olarak da Şekil 2.50.'de denizde çalışır vaziyette bulunan Oyster'e ait görüntü verilmiştir.



Şekil 2. 47. Fabrikada tamamlanmış halde bulunan Oyster (The Development of Oyster, 2009)



Şekil 2.48. Oyster'in deniz kenarına taşınması (The Development of Oyster, 2009)



Şekil 2.49. Oyster denize bırakılıyor (The Development of Oyster, 2009)



Şekil 2.50. Oyster denizde çalışı vazyette (The Development of Oyster, 2009)

Yakın kıyı DEK sistemlerinden biri de hem rüzgar enerjisinden hem de dalga enerjisinden faydalanan bir prensibe göre çalışan ve “WOSP 3500” diye adlandırılan sistemdir. WOSP (Rüzgar ve Okyanus Salınım Enerjisi), kıyıya yakın dalga ve rüzgar enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir. Eklenen 1.5 MW’lık rüzgar üretim kapasitesi sayesinde toplam üretim kapasitesi 3.5 MW’a yükselmiştir. Yakın kıyı tipi bir WOSP aşağıda Şekil 2.51.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.51. Yakın kıyı tipi bir DEK olan WOSP

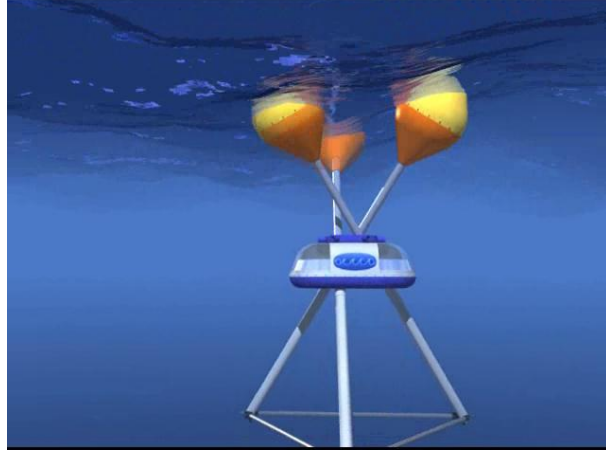
Yakın kıyı tipi DEK uygulamalarına yakın zamanda geliştirilmiş olan OWEC sistemini örnek olarak verebiliriz. 1 Nisan 2008’de United States Patent’i (Patent No:7352073) alınan sistem dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için tasarlanmıştır. Sistem adını OWEC isimli ABD’li üreticisinden almaktadır.

Dalgaların düşey yönlü (aşağı yukarı) hareketini pistonlara iletmeyi sağlayan sistem uygulanabilir özelliktedir. OWEC, çok sayıda düşey hareket sağlayan ünitenin bir araya gelmesiyle büyük güç değerlerine ulaşmayı hedeflemektedir. Üreticisinin resmi web adresi olan www.owec.com da verilen animasyondan çeşitli resimler alınarak sistem aşağıdaki şekiller yardımıyla tanıtılmaya çalışılmıştır. Aşağıda Şekil 2.52.'de sistemin denizin üst yüzeyindeki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntü bize su üzerinde batmadan yüzen duba gibi cisimleri andırmaktadır. Deniz yüzeyinde görmüş olduğumuz bu cisimler suyun kaldırma kuvveti yüzünden sürekli su seviyesinde kalacak ve konumlarını koruyacaklardır. OWEC, sisteminin enerji üretim prensibini ise bu noktadan itibaren anlatmaya başlayabiliriz. Bu cisimler sürekli olarak değişen su seviyesi ile birlikte daha önce hareket tiplerinde anlatmış olduğumuz gibi aşağı yukarı (heaving) hareket yapmaktadırlar.



Şekil 2.52. OWEC'in su yüzeyindeki görüntüsü (Anonymous, 2010d)

Su yüzeyinde batmadan yüzen ve sürekli olarak aşağı yukarı hareket eden cisimler aşağıda Şekil 2.53.'de görüldüğü gibi her biri ayrı ayrı bağlantı kollarıyla denizin içerisinde yer alan güç üretme ünitesine bağlanmıştır. Yine şekilden görüleceği üzere güç üretme ünitesi de bağlantı kollarıyla deniz dibine kilitlenmiştir.



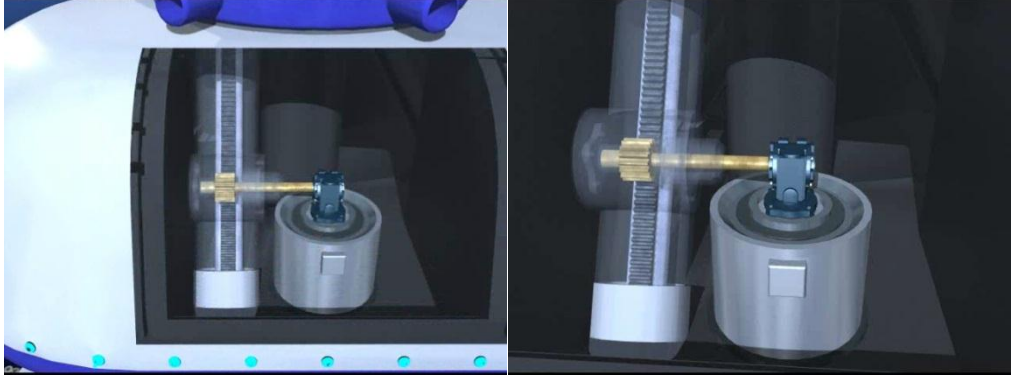
Şekil 2.53. Tek bir OWEC ünitesi ve bağlantılarının modeli (Anonymous, 2010d)

Bu düşünce ile üretilen özdeş OWEC sistemleri Şekil 2.54.'te görüldüğü gibi sıralar halinde dizili olacak şekilde bir arada bulunabilir. Böylece ayrı ayrı güç üretim üniteleri ve bunların birleşimi sayesinde yüksek güç değerleri elde edilebilir.



Şekil 2.54. Çok sayıda OWEC ünitesi ve bağlantılarının modeli (Anonymous, 2010d)

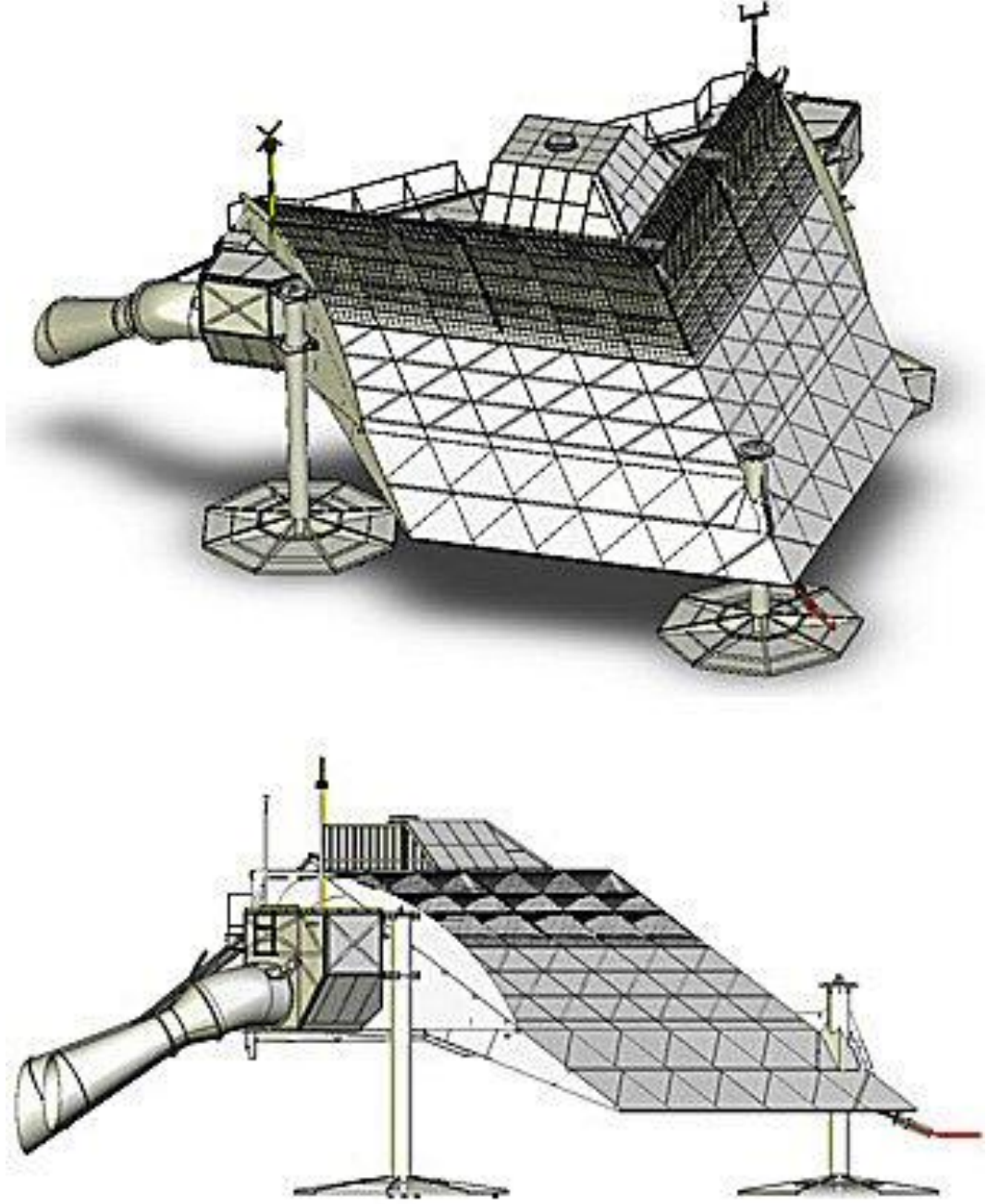
Bir OWEC sisteminin enerji üretim mekanizması şöyle işler. Su üzerinde batmadan yüzen ve sürekli olarak aşağı yukarı hareket eden (salınım yapan) cisimlerin bağlı olduğu kolun düşey hareketi, güç üretme ünitesinde aşağıda Şekil 2.55.'te göreceğimiz şekilde dişli çark mekanizmasıyla dairesel harekete çevrilir ve meydana gelen dönme hareketi ile jeneratörden elektrik enerjisi elde edilir.



Şekil 2.55. Bir OWEC sisteminin güç üretme mekanizması (Anonymous, 2010d)

Son zamanlarda yeni olarak geliştirilmekte olan bir diğer yakın kıyı tipi DEK sistemi “WavePlane” olarak adlandırılmaktadır. 1990 yılında Danimarka’da patenti alınan sistem ile ilgili ilk prototip 2008 yılında hazırlanmıştır. Prototipin, henüz kesin olmamakla birlikte Kuzey Denizi’nde bir yere yerleştirilmesi bekleniyor. Ürünün ticari olarak üretilmesi ve çalışan sistemi için 3-5 yıllık bir süre öngörülmüş ve sistem geliştirilme aşamasındadır. Wave Plane, V biçiminde şekillendirilmiş bir gövdeye sahiptir. V şeklindeki eğimli yüzey denizden gelen dalgalara maruz kalır. Wave Plane’de gövdenin bu kısmının ön tarafındaki yüzey çizgileri yapay bir kıyı oluşturacak şekilde donatılmıştır. Bunun sebebi ise daha yüksek verimle enerji elde etmektir. Wave Plane, simetrik bir konstrüksiyona sahiptir. Her bir yanı, farklı su seviyelerinde olan ve farklı boylara sahip dalgaları yakalar. Ayrıca su girişinde, türbin borusuna teğetsel olarak gelen dalgaların girmesine izin verilir. Buradan sonra, yönetilebilecek hacimdeki değere sahip olan suyun kinetik enerjisi elde edilir. Bu kinetik enerji, türbinleri döndürür ve elektrik enerjisi elde edilir. Bu dönüşüm sistemi, V şeklindeki ayakların kesişim yerinin hemen arkasındadır. Anlatılan bu sistemin üç boyutlu olarak ön yüzeyinin görünüşü ve simetrik olan her iki kısmın birine ait olan detaylı üç boyutlu

modelinin görüntüleri Şekil 2.56.'da gösterilmiştir. Şekil 2.57.'de ise bu sisteme ait prototipin çeşitli açılardan çekilmiş üç adet gerçek görüntüsü mevcuttur.

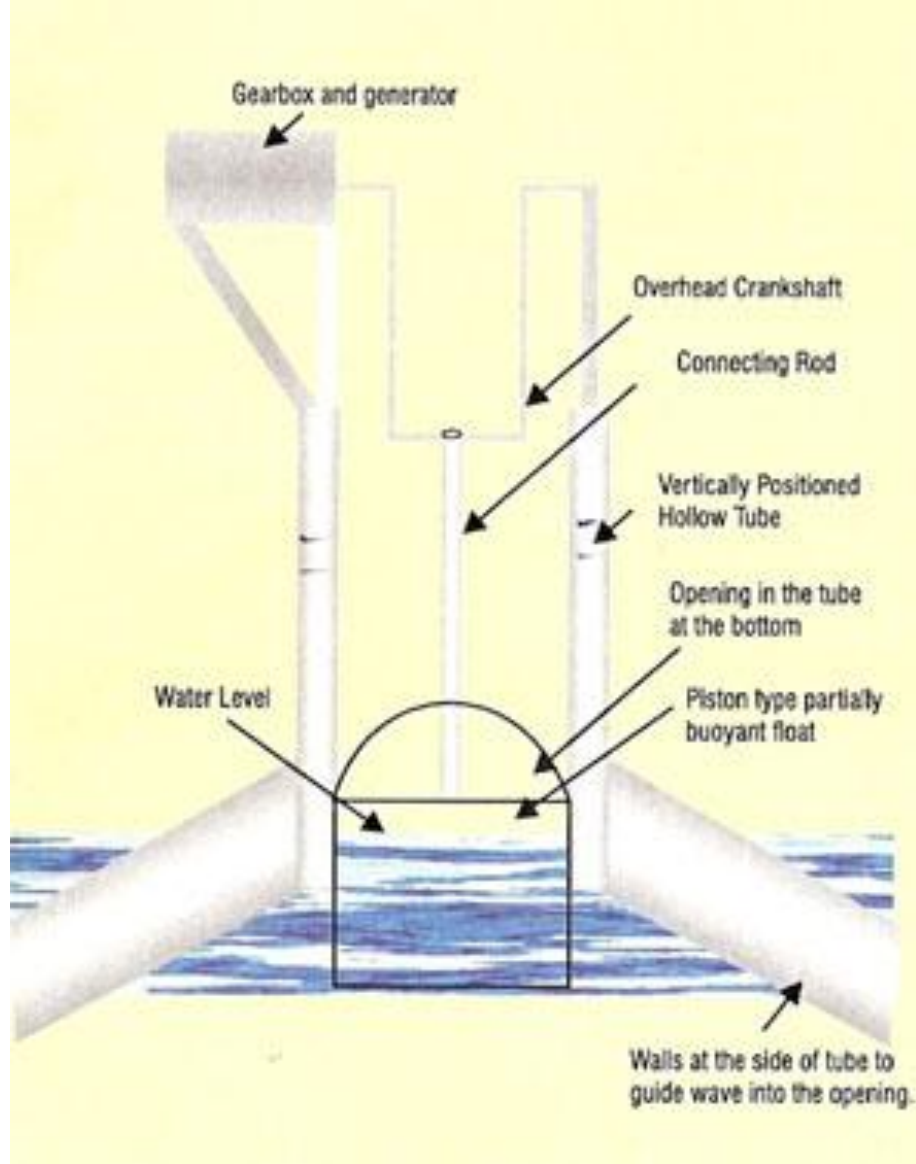


Şekil 2.56. Wave Plane modeli ve simetrik kısımlardan biri (Anonymous, 2010e)



Şekil 2.57. Wave Plane prototipine ait gerçek görüntüler (Anonymous, 2010e)

Bir diğerk yakın kıyı tipi uygulaması ise Iwave (Indian Wave) olarak adlandırdığımız uygulamadır. Daha önce de bahsettiğimiz üzere, okyanus dalgası çok karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu yüzden ondan enerji elde edip kullanılmaya hazır hale getirilmesi çok zor olmuştur. Bu cihazın tasarımı, ucuz enerjinin başarılı bir biçimde üretimi için çok önemlidir. Aşağıdaki Şekil 2.58.'de Iwave cihazının yapısı ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2. 58. Iwave cihazının yapısı ve elemanları (Anonymous, 2010f)

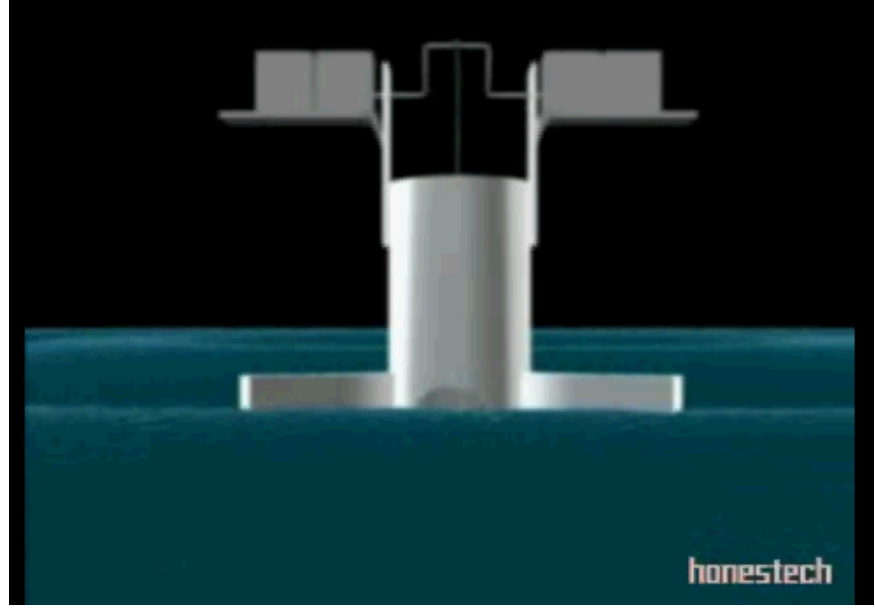
Hepimizin bildiği gibi bu enerji, su tarafından değil de dalgalar tarafından taşınır. Bu konuya daha önce “DEK Sistemleri İçin Dalgalar ve Özellikleri” adlı bölümde değinilmiş ve dalgalar yayılırken yaprak örneği verilmişti. Yaprığın denize atılan bir çakıtaşının oluşturduğu dalga ile ilk konumunun etrafında aşağı yukarı hareket ettiği ancak sarsıntının kaynağından hiç uzaklaşmadığı veya ona yaklaşmadığı görülmüştü. Bu bize su dalgalarının bir yerden başka bir yere hareket ederken suyun onunla beraber sürüklenmediğini göstermişti. Okyanus dalga enerjisinin nedeni su değildir ve dalga yüksekliğidir. Eğer sudan elde edilen enerji kaldırılırsa, dalga yüksekliği artmaz.

Iwave, dalgaların deniz seviyesinin üzerine çıkabileceği kıyıya yakın bir noktada su üzerinde yüzer halde bulunur ve dalgalarla karşı karşıya kalacak şekilde konumlandırılır. Dalgalar, kıyı şeridinin bulunduğu kara parçasına karşı paralel bir şekilde yol alır.

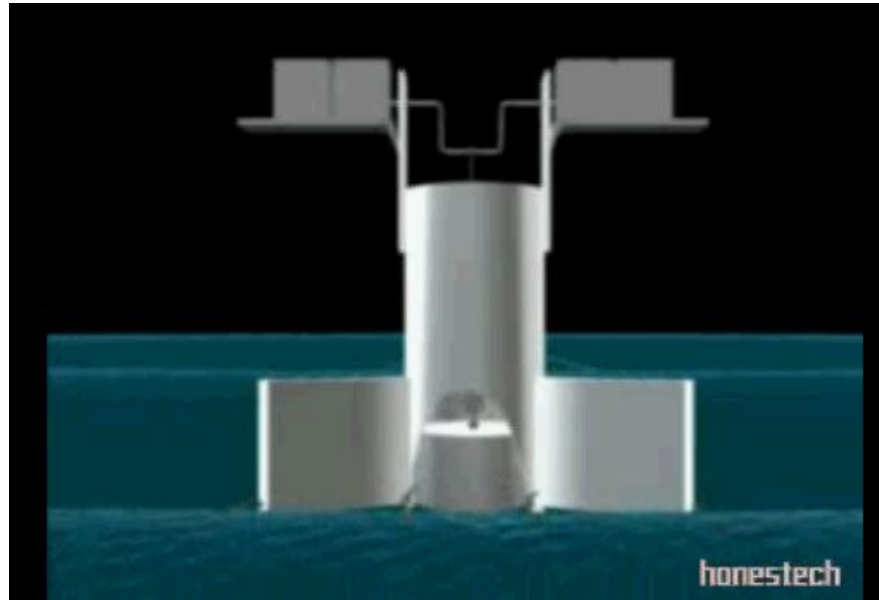
Temel direkleri (kazıklar) denizin dibine çakılır ve cihazın yatay ve dikey hareketini önlemek için gergin bir tel (bağlantı elemanı) vasıtasıyla tahrik edilir. Cihazın duvarları, dalgaların açıklıkta (delikte) toplanmasına yardımcı olur. Dalgalar çarptığı zaman, ağır ve batmaz piston yarım turluk bir dönüş ile krankşaftın üzerine doğru çıkar. Dalgalar çekildiği zaman, piston yine yarım bir tur tamamlanıncaya kadar krankşaft ile aşağıya kadar iner. Krank milinin, bu hareketiyle elektrik üretmesi için iki tarafına şanzımanlar (vites kutuları) ve alternatörler bağlanır. Çalışma prensibi bu kadar basittir. Özetle, bir piston silindir mekanizmasının krank miline verdiği hareketle elektrik üretimi söz konusudur. Bu hareket ise okyanus dalgalarının seviyesinin sürekli olarak değişmesinden ve bu yüzden meydana gelen aşağı yukarı hareketten kaynaklanır. Karmaşıklıklar ise aşağıda sıralanan maddelerde meydana gelen varyasyonlar ile ortaya çıkar;

- Dalga yüksekliği.
- Her bir dalganın çarpması için geçen süre (dalganın periyodu).
- Küçük ve büyük dalgaların kombinasyonu.
- Fırtınalar.

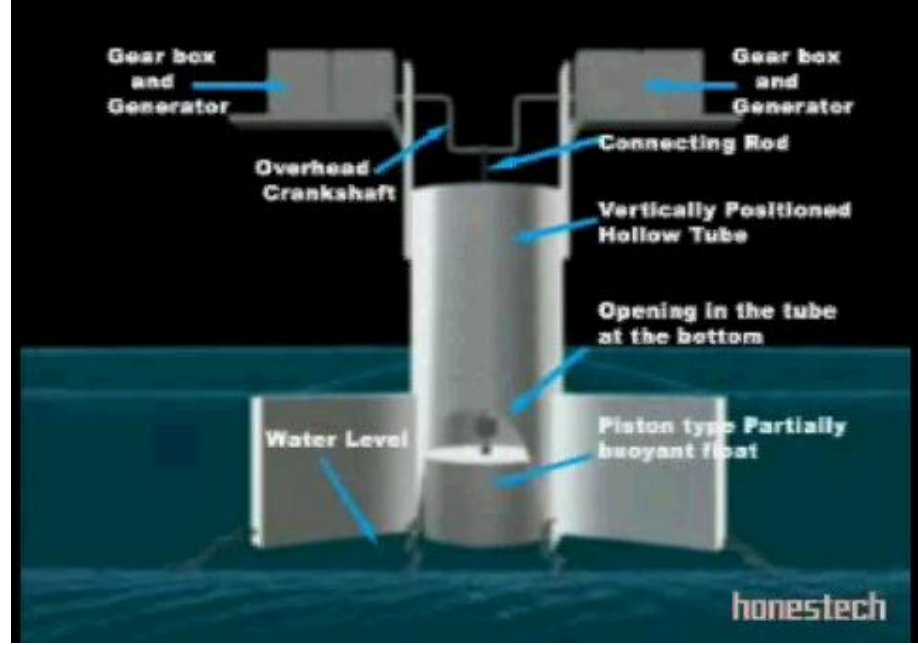
Şekil 2.59.'da Iwave cihazının suyu içeri alışı ve pistonun yukarı çıkışı, Şekil 2.60.'da pistonun aşağıya geri inışı gösterilmiştir. Şekil 2.61.'de ise çalışır vaziyetteki Iwave için elemanlarının konumu gösterilmiştir.



Şekil 2. 59. Iwave suyu içeri almış ve piston yukarı çıkıyor (Anonymous, 2010f)



Şekil 2. 60. Iwave'de piston aşağı iniyor (Anonymous, 2010f)



Şekil 2. 61. Iwave çalışırken elemanlarının konumu (Anonymous, 2010f)

Bir bisikleti ve onun krankında yer alan pedal şaftını düşünelim. Pedala daha fazla basınç yaptığımız zaman daha hızlı gideriz. Bu sadece bizim daha fazla verdiğimiz kısmi basınç ile sağlanır. Yokuş aşağı bir yolda bisikletinizle çok hızlı bir şekilde gidiyorsanız pedalin bir etkisi olmaz. Çünkü enerji sadece bir yolda transfer edilmiş olur. Bununla birlikte pedala yapılan basınç belirli süre aralıklarla olduğu zaman da hareketin sürekliliği sağlanabilir ve bisiklet yol alabilir.

Yukarıdaki paragraftaki anlatım, bu cihazın çalışmasına benzediği için yapılmıştır. Dalgalar yüksek olduğu zaman, yükselen piston tarafından uygulanan tork da yüksektir. Bu yüksek tork krank tarafından vites kutusuna aktarılır. Bu yüksek tork, tekerleğin hızlı bir şekilde hareket ettiği an gibi düşünülebilir. Bu durumda daha geçerli bir şekilde üretim yapılabilir. Eğer tsunami veya fırtına anındaki gibi aşırı bir dalga durumuyla karşılaşılırsa, bir önlem olarak cihazın en üst kısmından su serbest bırakılır ve cihaz korunmuş olunur. Bu cihaz aynı zamanda kapanan duvarları tarafından da kapatılabilir. Cihaza alt kısmından gelen dalgaların seviyesi düşük olduğu zaman ise aşağıda yer alan duvarlar uzatılır ve dalgaların daha fazla konsantre bir şekilde toplanması sağlanabilir.

Çok küçük dalgaların olduğu durumda piston kısmen hareket edebilir ve krank/vites kutusuna enerji transfer edilebilir. Böyle bir durumda krank tam bir tur dönme yapmadan aşağıya geri ulaşacaktır ve piston gelecek bir sonraki dalgayı bekleyecektir. Bu durumda kesik kesik olarak üretilen enerji depolanıp kullanılabilir.

Bu cihaz basit bir yapıya sahiptir ve devamlılığı kolaydır. Tüm elektriksel ve kritik kısımlar suyun üzerindedir ve bu yüzden bu kısımlara kolayca ulaşıp tamir ve bakımı yapılabilir. Bir yakın kıyı tipi sistem olan bu cihazın tamir ve bakımının ekonomik olarak yapılabilmesi bu sayede mümkün olur. Bu sistemden üretilen güncel enerjinin tahliyesi kolaydır ve pahalı bir kablolama gerektirmez. Bu cihaz, diğer dalga enerjisi konvertörü sistemleriyle karşılaştırılacak olursa, mekanik enerjiden alternatör kullanımıyla doğrudan elektrik enerjisi ürettiği için dalga enerjisinin direk dönüşümü söz konusudur. Bu yüzden enerji kaybı değerleri minimum seviyede kalmaktadır. Diğer cihazlar, deniz dalgasından üretilen yani dalgadaki enerjinin kullanılabilir bölümünü, pnömatik/hidrolik sistemlerin mevcut kayıpları ile dönüştürüp kullanırlar. Bu cihaz tarafından üretilen enerji, tüm diğer enerji formlarıyla rekabet edebilecek seviyededir.

2.2.3 Açık Deniz (Offshore) Uygulamaları

Bu bölümde açık deniz (uzak kıyı) tipi DEK sistemleri detaylı olarak ele alınmış ve bu sistemlerin yapıları, çalışma prensipleri ile çeşitleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu bilgiler görsellerle desteklenmeye çalışılmıştır. Bu sistemlerden her birinin gelişimi ve geldiği nokta ile potansiyeli ortaya konmaya çalışılmıştır.

Açık deniz uygulamaları daha önce de belirtildiği gibi en yüksek enerji dönüştürme potansiyeline sahip olan uygulamalardır. Bu yüzden DEK sistemleri üzerine yapılan araştırmalar açık deniz sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistemler, aynı zamanda kurulması en güç ve en pahalı uygulamalar grubunda da yer almaktadırlar. Bununla birlikte, bu maliyet külfetine karşın bu sistemlerin halen popüler olmasını sağlayan şey ise elde edilebilecek enerji potansiyelinin çok yüksek olmasıdır. 40 metreden daha derin olan sularda, kıydan uzak olarak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde, elde edilen elektrik enerjisinin kıyıya iletilmesi için uzun su altı elektrik kablolarına gereksinim söz konusudur.

Açık deniz uygulamalarına örnek vermek gerekirse, ilk akla gelen uygulama Pelamis (Su Yılanı) olacaktır. Pelamis, bu uygulamalar içerisinde adı en çok duyulan DEK sistemidir. Pelamis, adını şeklinden alır. Pelamis, şeklinden dolayı kıyı ve yakın kıyı uygulamalarından belirgin şekilde farklılıklar gösterir. Aşağıda Şekil 2.62.'de Pelamis'in kuru bir havuzdaki gerçek görüntüsü, Şekil 2.63.'de dalga havuzundaki görüntüsü ve Şekil 2.64.'de ise denizdeki Pelamis'e ait görüntü yer almaktadır.



Şekil 2. 62. Pelamis'in kuru havuzdaki görüntüsü (Anonymous, 2010g)

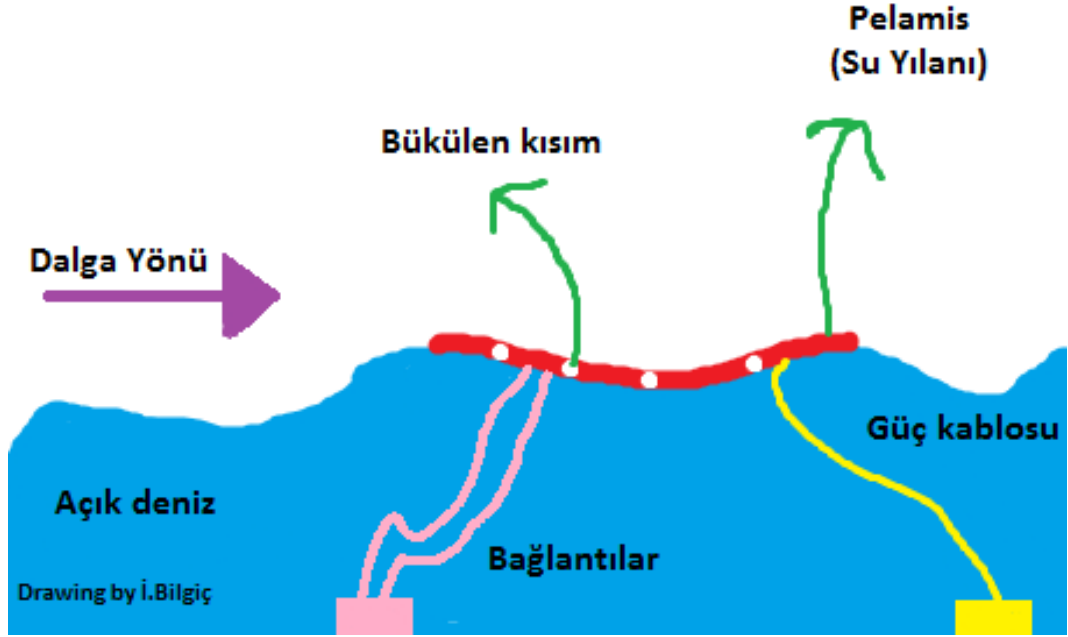


Şekil 2. 63. Pelamis'in havuzdaki görüntüsü (Anonymous, 2010g)



Şekil 2. 64. Pelamis'in denizdeki kıvrımlı görüntüsü (Anonymous, 2010g)

Şekil 2.62.'de Pelamis, kuru bir havuzda ve düz bir zeminde iken kendi şekli de düzdür. Şekil 2.63.'de Pelamis, az dalgalı havuzda iken kendi şekli de az bükülmüş olarak görülmektedir. Şekil 2.64.'de ise Pelamis, dalgalı bir denizde iken kendi şeklinin de çok bükümlü olduğunu görebiliriz. Yani Pelamis, şeklini bulunduğu ortama göre değiştirmektedir. Tıpkı bir yılanın sürünürken, süründüğü yerin şeklini alması gibi Pelamis de yüzerken, içerisinde bulunduğu dalganın şeklini almaktadır. Aşağıda Şekil 2.65.'de Paint ücretsiz programı ile çizilen şekille bu durum ortaya konmaya çalışılmıştır. Pelamis ve altında bulunan dalgaları incelenecek olursa, ne kadar benzer görünümde oldukları anlaşılabilir.



Şekil 2. 65. Pelamisin dalgalara göre şeklini değiştirmesi

Pelamis, Şekil 2.65.'de görülen bu özelliğini yapısından kazanmaktadır. Kıyı ve yakın kıyı tipi uygulamalarda böyle bir yapıyla karşılaşılmaz. Onların yapıları genelde düzgün olur. Pelamis, en basit şekilde ifade etmeye çalışılırsa birbirine döner mafsallarla bağlanmış uzun çubuk gövdelerin birleşimi şeklinde açıklanabilir. Bu çubukların bağlantı noktalarında ise kinetik enerjiden elektrik enerjisi üretmemizi sağlayacak pistonlar bulunur.

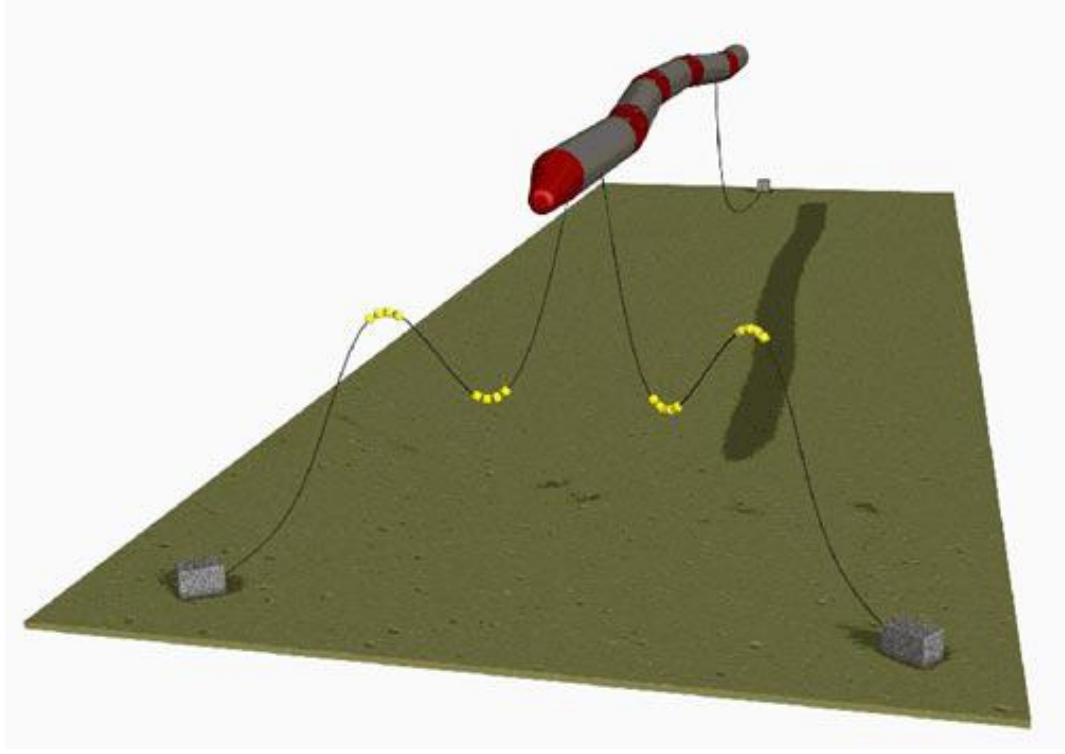
Pelamis bu yapısı sayesinde, içerisinde bulunduğu deniz ortamıyla uyumlu bir şekilde hareket eder ve dalgalanma hareketi yapar. Bu dalgalanma hareketi aslında bağlantı noktalarındaki çubukların, farklı su seviyelerinde kalan kısımlarının farklı şekillerdeki hareketi ile meydana gelen bir bükülme hareketidir. Bu çubukların farklı konumları sayesinde bağlantı yerinde oluşan bükülme hareketi pistonlara aktarılır ve pistonların açılıp kapanması sağlanır. Bu mekanizma sayesinde deniz dalgasının bünyesinde barındırdığı düzensiz ve kontrolsüz kuvvet, düzenli bir mekanik hareket haline dönüştürülmüş olur. Şekil 2.66.'da Pelamis'in büküm kısımlarının içeriği ve güç çekme ünitesi kesitler alınarak gerçek görüntüsüyle verilmiştir.



Şekil 2. 66. Pelamis'in bükülen kısımlarının iç kesit görüntüleri ve içeriği (Anonymous, 2010g)

Bu görüntüden yola çıkarak Pelamis'in en önemli kısımlarının bu bağlantı noktaları olduğunu söyleyebiliriz. Çünkü Pelamis'in amacı deniz dalgalarıyla yapacağı salınımlarla, kullanıma uygun elektrik enerjisi üretmektir. Bahsettiğimiz bu kısımlar ise sistemin enerji ürettiği kısımlar olduğundan en önemli kısımlardır.

Elde edilen mekanik hareket, daha sonra diğer DEK sistemlerinde olduğu gibi elektrik enerjisine çevrilebilir. Bu da kullanılan sistemin yapısına bağlı olarak bazen yağ pompalayarak bazen de içerisinde elektrik üretimi görevini gerçekleştirebilecek olan ve temel olarak stator gibi elemanlar barındıran pistonlarla doğrudan elektrik enerjisi üreterek gerçekleştirilir. Aşağıda Şekil 2.67.'de ise Pelamis'e ait bağlantı şekli şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 67. Pelamis'e ait bağlantı şekli (Anonymous, 2010g)

Pelamis'in, kendi çalışmasına engel teşkil etmeyecek ve çevresindeki doğal hayata zarar vermeyecek şekilde çalışacağı bölgeye montajı gerekmektedir. Pelamis'in yüksek verimle çalışıp, yüksek enerji değerleri elde etmesi için yüksek dalga enerjisi potansiyeline sahip olan bölgelerde çalışması en mantıklı düşüncedir. Çünkü Pelamis, her yerde aynı miktarda enerji üretmez.

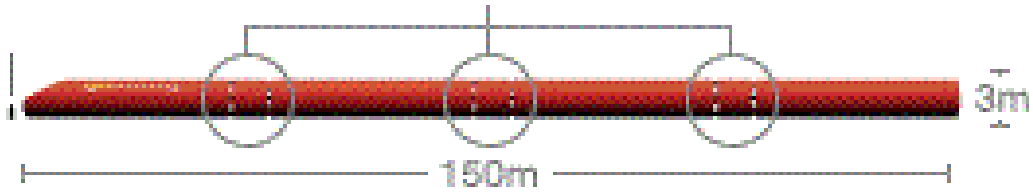
Dalga potansiyeli ve durumu Pelamis'in elde edebileceği (denizden çekebileceği) enerji miktarını doğrudan etkiler. Bununla beraber Pelamis'in her ne kadar deniz içerisinde serbest olarak çalışması gerekli ise de çevresindeki deniz trafiğini engellememesi için de çalışmasını belli miktarlarda kısıtlamak gereklidir. Pelamis'in çalışacağı hareket alanı işte bu olaylar göz önünde bulundurularak tespit edilir ve buna göre bağlantı ve montajlar yapılır.

Yukarıda Şekil 2.67.'de görebileceğimiz gibi Pelamis, ön tarafta iki noktadan, arka tarafta ise tek noktadan deniz tabanına bağlanmıştır. Bu şekilde bağlanmasının asıl sebebi, çalışması esnasında ileri-geri veya sağa-sola dönmesini fazla engellemeden yeterli miktarda hareket serbestliğine sahip olmasını sağlamaktır.

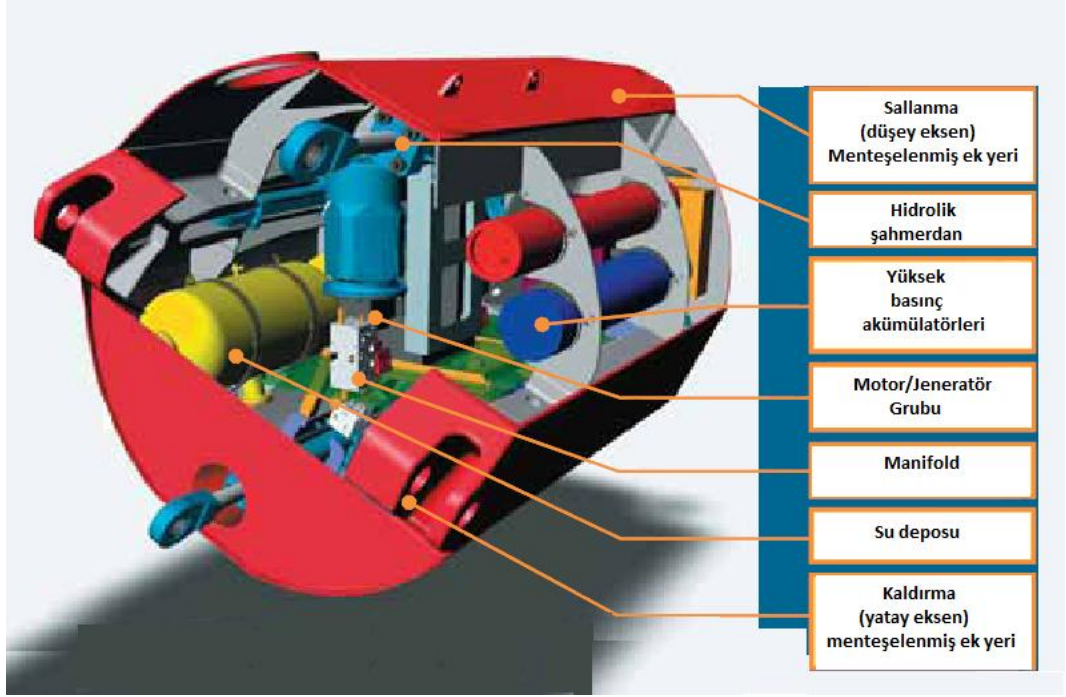
Şekil 2.67.'ye dikkatlice bakacak olursak, aşağıda ve yukarıda ikişer adet olmak üzere toplam dört adet sarı noktalı olarak gösterilmiş parçayı görebiliriz. Bu sarı parçalardan aşağıda olan iki tanesi ağırlık grubu olarak, yukarıda kalan iki tanesi ise batmayan kaldırımlar olarak adlandırılır.

Bu parçalar aşağı ve yukarı yönde oluşturacakları gerilimlerle, halatların gergin kalmasını sağlarlar. Aynı zamanda sistemin hiçbir bükülme hareketi yapmadan dalga yönünde hareket etmesini engellerler. Bu da verimin biraz daha artmasını sağlar çünkü Pelamis'te ne kadar fazla bükülme hareketi meydana gelirse, o kadar fazla elektrik üretimi gerçekleşir. Tüm bu mekanizma sayesinde Pelamis'in deniz içerisinde sınırlı bir hareket serbestliğine sahip olmak kaydıyla hareket etmesi sağlanır.

Aşağıda Şekil 2.68.'de ise tek bir Pelamis'e ait ölçülendirme, Şekil 2.69.'da ise Pelamis'e ait bir güç dönüştürme modülünün iç görünüşü verilmiş ve kısımları şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.68.'de görüldüğü gibi her bir Pelamis'te üç adet güç dönüştürme modülü bulunur ve hepsi birlikte toplam 750 kW değerinde güç üretmeye çalışır. Şekil 2.69.'da görüldüğü gibi her bir güç dönüştürme modülünün içerisinde düşey ekseninde sallanma ve yatay ekseninde kaldırma yapan menteşelenmiş ek yerleri, su deposu, manifold, yüksek basınç akümülatörleri, hidrolik şahmerdan ve motor/jeneratör grubu yer almaktadır.



Şekil 2. 68. Tek bir Pelamis'e ait ölçülendirme (Anonymous, 2010g)



Şekil 2. 69. Pelamis'e ait güç dönüştürme modülünün iç görünüşü (Anonymous, 2010g)

Üretilmiş ve çalışmakta olan Pelamis için, bazı standartlar ve özellikleri www.pelamiswave.com'dan edinebileceğimiz "Pelamis P-750 Wave Energy Converter" adlı broşürde ortaya konmuştur. Pelamis'in büyüklüğü, özellikleri, kapsamı, yapısı ve diğer kaynaklarla kıyaslanması gibi konularda bize sayısal olarak da veriler vererek Pelamis hakkında yorumlarda bulunmamızı sağlayacak bilgiler, bu broşürdeki tabloda ortaya konmuştur. Bu tablonun dilimize çevrilmiş şekli, Çizelge 2.5.'de verilmiştir. Bu çizelgeyi incelediğimiz zaman göze çarpan en belirgin özellikler Pelamis'in 150 metre uzunlukta ve 3,5 metre çapta olmasıdır. Boyuna oranla çapı çok küçük kalmaktadır. Bu bize yılan şekline benzerliğini de ispatlamaktadır. Ayrıca güç dönüştürme ünitesinin birbirinden bağımsız çalışan üç kısımdan oluşması da dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Karşılaştırmalar kısmında verilen bilgiler ise bize Pelamis'ten ziyade dalga enerjisi teknolojilerinin geldiği noktayı göstermektedir.

Çizelge 2.5. Pelamis için ortaya konulan şartname (Anonymous, 2010g)

ŞARTNAMELER**YAPI (STRUCTURE)**

Toplam uzunluk (herşey dahil)	150 metre
Çap	3.50 metre
Deplasman	700 ton (kendi ağırlığı dahil)
Burun kısmı	5 metre uzunluğunda, eğilmiş konik
Güç çekme ünitesi	Birbirinden bağımsız 3 güç dönüştürme ünitesi

GÜÇ DÖNÜŞTÜRME ÜNİTESİ

Güç çekme ünitesi	4 hidrolik şahmerdan (2 sallama, 2 kaldırma)
Şahmerdan hızı	0-0.1 m/s
Güç düzeltme/depolama	Yüksek basınçlı akümülatörler
Çalışma basıncı	100-350 Bar
Güç dönüştürme	2 değişken (birbirinin yerini alan) motor
Jeneratör	2 tane 157 kVA / 125 kW
Hız	1500 rpm

GÜÇ

Toplam güç değeri	750 kW
Yıllık çıktısı	2.7 GWh
Nominal dalga gücü	55 kW / m
Hidrostatik güç sınırlaması	> 6-7 metre önemli dalga yüksekliği
Jeneratör tipi	Eş zamanlı olmayan
Sistem voltajı	3 faz, 415 / 690 Vac 50 / 60 Hz
Dönüştürücü	11 kV veya 33 kV kademelerinde 950 kVA

DEMİRLEME YERİ

Derinlik	> 50 metre
Yaygın olan (genel)	< 1 knot
Demirleme sistemi	gevşek demirlenmiş (Uysal)

KARŞILAŞTIRMALAR

Gaz türbini-fuel eşdeğeri	600 ton / yıl
Gaz türbini-CO ₂ emisyonları	2000 ton / yıl

Açık deniz ya da uzak kıyı (offshore) DEK sistemi olarak nitelendirebileceğimiz sistemlerden biri de Wave Dragon'dur. İlk prototipi Danimarka'da Nissum Bredning'de halen geliştirilmekte ve bağlı durumdadır. Wave Dragon'un yapımcıları tarafından aşağıda maddelenmiş olan üç özellik, firmanın kendi web sitesinde bu düşünce için üç iyi neden olarak ortaya konmuştur.

- 1) Wave Dragon fikri, var olan kıyadan uzakta enerji üretimi ve hidro türbin teknolojisinin yeni bir yolla birleşimidir.
- 2) Wave Dragon, meydana gelebilecek gelişmeler altında özgür bir şekilde daha yüksek boyutlarda ölçeklendirilebilen tek dalga enerjisi konvertörü teknolojisine sahiptir.
- 3) Boyutları yüzünden bakımı ve önemli tamir işleri denizde tamamlanabilir ve bu da diğer sistemlere göre O&M maliyetlerini daha aşağı çeker.

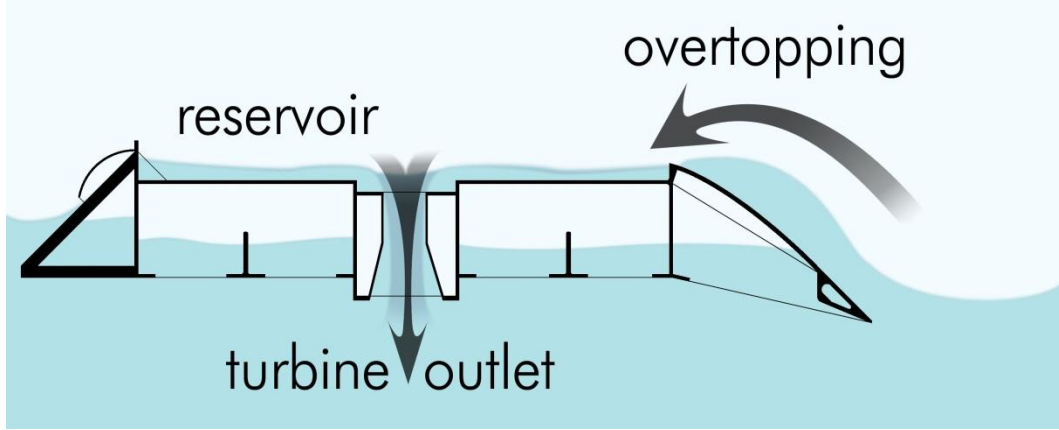
Wave Dragon dalga enerjisi konvertörünün temel fikri; kıyadan uzakta yüzdürülen bir platformda, geleneksel yöntemlerle sudan elde edilen güç projelerinin iyi bilinen ve iyi geliştirilebilen prensiplerine sahip olan kullanımıdır. Bu prensip, gerçekten çok basittir. Wave Dragon (Dalga Ejderhası) üç aşamada elektrik üretimi sağlar. Bunlar aşağıda maddelenmiştir.

- 1) Deniz suyunu yukarı kaldırma (overtopping)
- 2) Depolama (reservoir)
- 3) Güç çekme ünitesi (power-take-off)

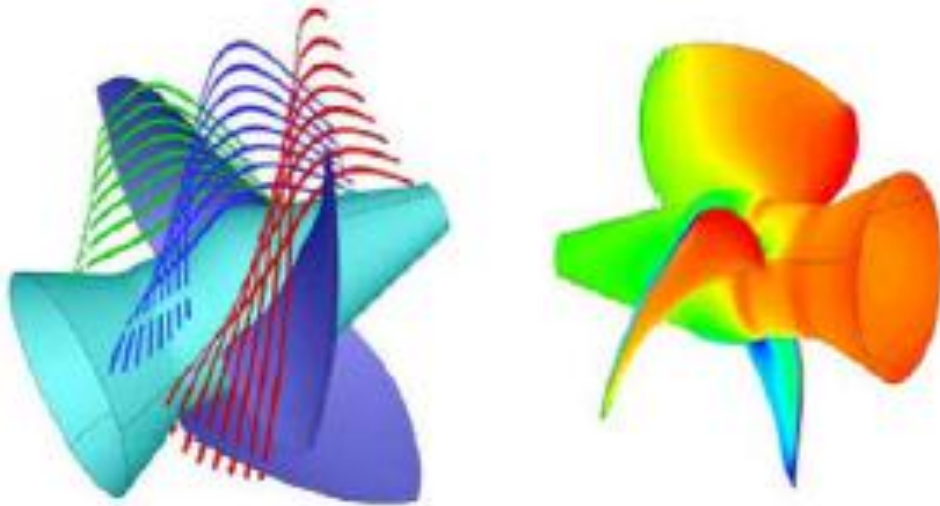
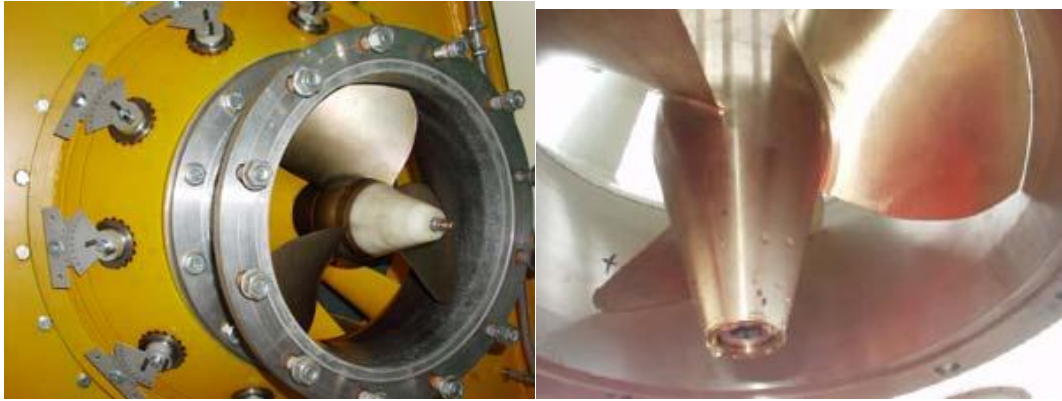
Bu olaylar sırasıyla şu şekilde gerçekleşir:

Wave Dragon cihazı, okyanus dalgalarını depo haznesinin üzerine kadar kaldırır ve burada depolanmasını sağlar. Daha sonra depolanan su türbinlerden geçirilir ve türbinlerin dairesel hareketi (dönmesi) güç çekme ünitesi ile elektrik enerjisine dönüştürülür.

Wave Dragon'un sahip olduğu bu çalışma prensibi aşağıda Şekil 2.70.'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.71.'de Wave Dragon'da kullanılan hidro türbin çeşidi gösterilmiştir. Şekil 2.72.'de ise Wave Dragon'un 20 000 saati aşan bir süre zarfında test edilmekte olan prototipi gösterilmiştir.



Şekil 2. 70. Wave Dragon'un çalışma prensibi (Anonymous, 2010h)



Şekil 2. 71. Wave Dragon'da kullanılan hidrotürbinler ve modeli (Anonymous, 2010h)



Şekil 2.72. 20 000 saati aşkın süredir test edilen prototip

Şekil 2.73.'de ise Wave Dragon'un denizde dalgaların vurmasıyla oluşan görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntüde dalgaların durumuna dikkat edecek olursak az önce bahsettiğimiz overtopping (yukarı kaldırma) olayını daha iyi fark edebiliriz.



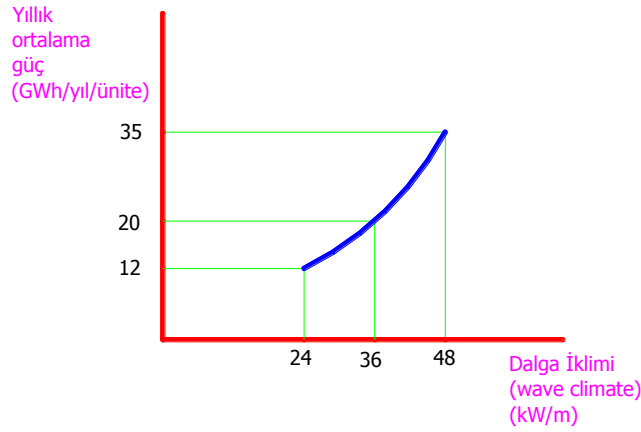
Şekil 2. 73. Wave Dragon dalgalardan enerji elde ediyor (Anonymous, 2010h)

Wave Dragon, bağlantı kollarıyla demirlenen bir DEK sistemidir ve yeterli dalga iklimi ile su derinliğinin 20 metreden fazla olduğu yerlerde, tek başına bir yere yerleştirilebilir veya park edilebilir.

Aşağıdak Çizelge 2.6.'da dalga iklimine göre ünite başına yıllık tahmini güç üretim miktarları gösterilmiştir. Şekil 2.74.'de ise bu tablodaki verilerden elde edilen grafik gösterilmiştir. Bu grafiği dikkatlice inceleyecek olursak, dalga iklimi değerlerinin artmasıyla güç üretimi değerlerinin de arttığını gözlemleyebiliriz. Dalga iklimi değeri iki katına ulaştığında (24 kW/m'den 48 kW/m ye geldiğinde) güç değeri yaklaşık olarak üç katına (12 GWh/yıl/ünite'den 35 GWh/yıl/ünite'ye çıkıyor) yakın bir değere ulaşıyor.

Çizelge 2.6. Dalga iklimine göre Wave Dragon sistemlerinin ünite başına yıllık güç üretim miktarları (Friis ve Madsen, 2005)

Dalga İklimi	Güç Üretimi
24 kW/m	12 GWh/yıl/ünite
36 kW/m	20 GWh/yıl/ünite
48 kW/m	35 GWh/yıl/ünite



Şekil 2. 74. Wave Dragon için üretilen gücün dalga iklimine göre değişimini gösteren grafik

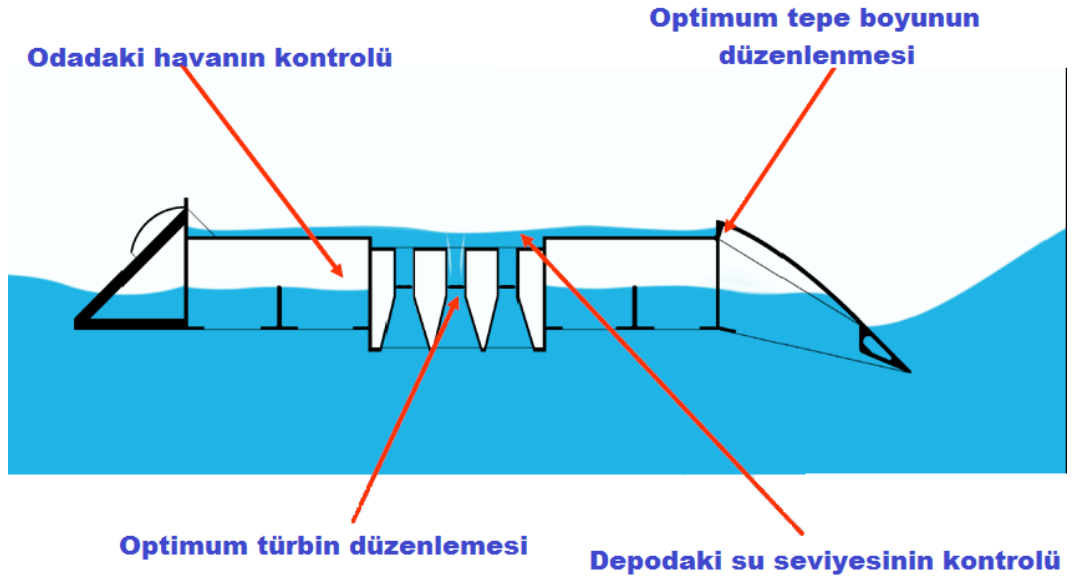
Çizelge 2.7.'de ise, 0.4 kW/m ve 36 kW/m lik Wave Dragon üniteleri için ağırlık, genişlik, uzunluk, türbin sayısı, tahmini güç üretimi ve çalışma derinliği gibi temel veriler ortaya konulmuştur.

Çizelge 2. 7. Wave Dragon'un iki farklı uygulaması için temel veriler (Soerensen, 2006)

Anahtar Sözcükler, kısımlar	0.4 kW/m	36 kW/m
Ağırlık (çelik ve beton kısım)	237 ton	33 000 ton
Toplam genişlik ve uzunluk	58×33 metre	300×170 metre
Yükseklik	3.6 metre	19 metre
Deniz seviyesinden yükseklik	0.6 - 1.5 metre	3 – 7 metre
Türbinlerin sayısı	7	16 - 20
Jeneratörler	PMG	PMG
Birim ünite için güç değeri	20 kW	7 MW
Birim ünite için yıllık tahmini güç üretimi (GWh/yıl)	0.04	20
Çalışması için gerekli su derinliği	6 metre	> 25 metre

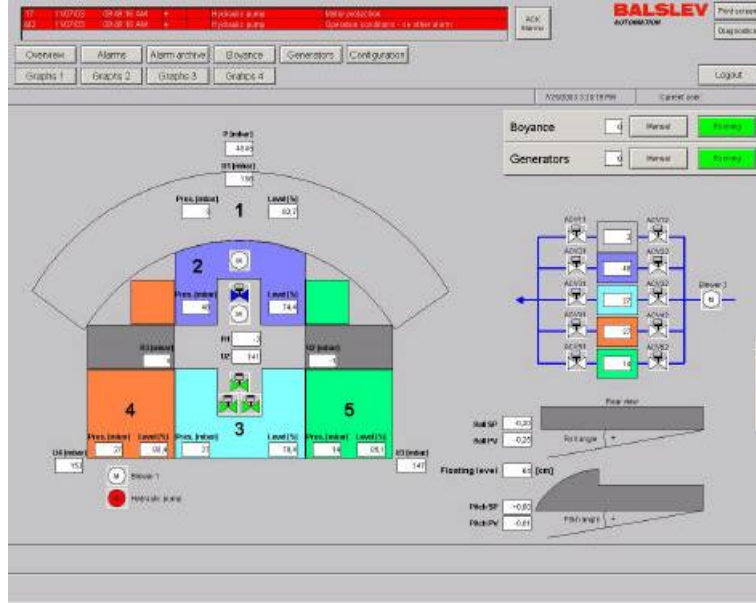
Wave Dragon, deniz suyunun yukarı kaldırma (overtopping) olayı ile su deposu içerisine alınarak, kullanılan hidrotürbinler aracılığı ile mekanik olarak elde edilen enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanan prensibe göre enerji üreten bir DEK sistemidir.

Wave Dragon DEK sisteminden en iyi şekilde faydalanıp, yüksek verimle çalışmasını sağlayıp, daha yüksek değerlerde enerji üretmesini mümkün kılacak, kontrol ve geliştirme araştırmaları halen devam etmektedir. Optimum tepe noktasının dzenlenmesi ve bulunması, optimum tdrbin dzenlemesi (en uygun tdrbin tipinin seçilmesi), depodaki su seviyesinin yksekliğinin kontrolu ve odadaki havanın kontrolu gibi başlıca etkenleri içerisine alan Wave Dragon için geliştirilmiş kontrol stratejisi aşağıda Şekil 2.75.'de gsterilmiştir.



Şekil 2. 75. Wave Dragon için geliştirilmiş ayarlama stratejisi (Soerensen, 2006)

Wave Dragon, uzaktan kontrol edilmesine ve standart gęuę planı ęalıřmalarına izin veren bir SCADA programı ile donatılmıştır. Şekil 2.76.'da SCADA programının ana ekranı, Şekil 2.77.'de ise Wave Dragon'un iki tdrbininin ęalıřmaya başlangığ esnasındaki değerlerinin değişimini gsteren ekran verilmiştir.

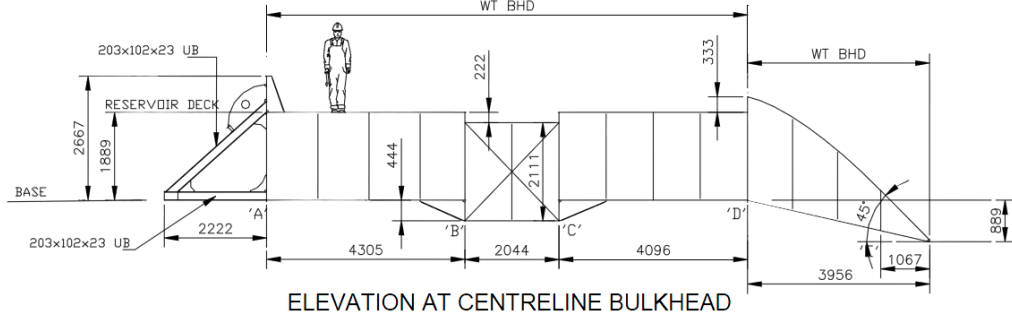


Şekil 2.76. SCADA programının ana ekran görüntüsü (Powergen Europe Conference, 2005)

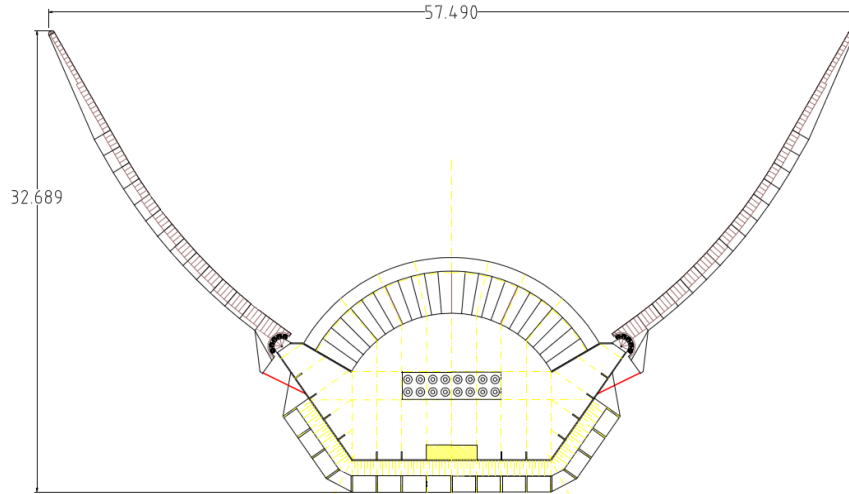


Şekil 2.77. Wave Dragon'a ait iki türbinin çalışmaya başlangıç esnasındaki değerlerini gösteren SCADA ekranı (Powergen Europe Conference, 2005)

Wave Dragon için Danimarka'da Nissum Bredning'de yapılan testlerde kullanılan 1:4.5 ölçekli DEK sisteminin modeline ait ölçülemeleri de beraberinde içeren, ön ve üst plan görünüşleri sırasıyla Şekil 2.78. ve Şekil 2.79.'da verilmiştir.

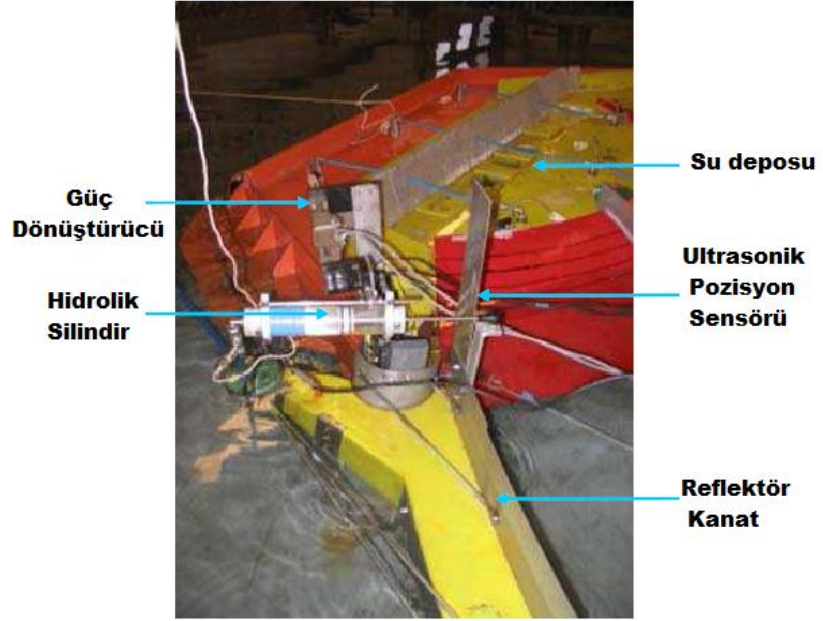


Şekil 2.78. Wave Dragon'un 1:4.5 ölçekli modeline ait ön görünüş (Tedd, 2007)



Şekil 2.79. Wave Dragon'un 1:4.5 ölçekli modeline ait üst görünüş (Tedd, 2007)

2005 yazında Aalborg Üniversitesi tarafından geliştirilen 1:50 ölçekli laboratuvar cihazı üzerinde testler yapılmıştır. Aşağıda Şekil 2.80.'de Aalborg Üniversitesi'ndeki dalga havuzunda, reflektör (yansıtıcı) birleşim yerinin kurulumu gösterilmiş ve yapısı tanıtılmıştır. Ayrıca Çizelge 2. 8.'de 1:4.5 ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler, Çizelge 2. 9.'da ise tam ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler ortaya konmuştur.

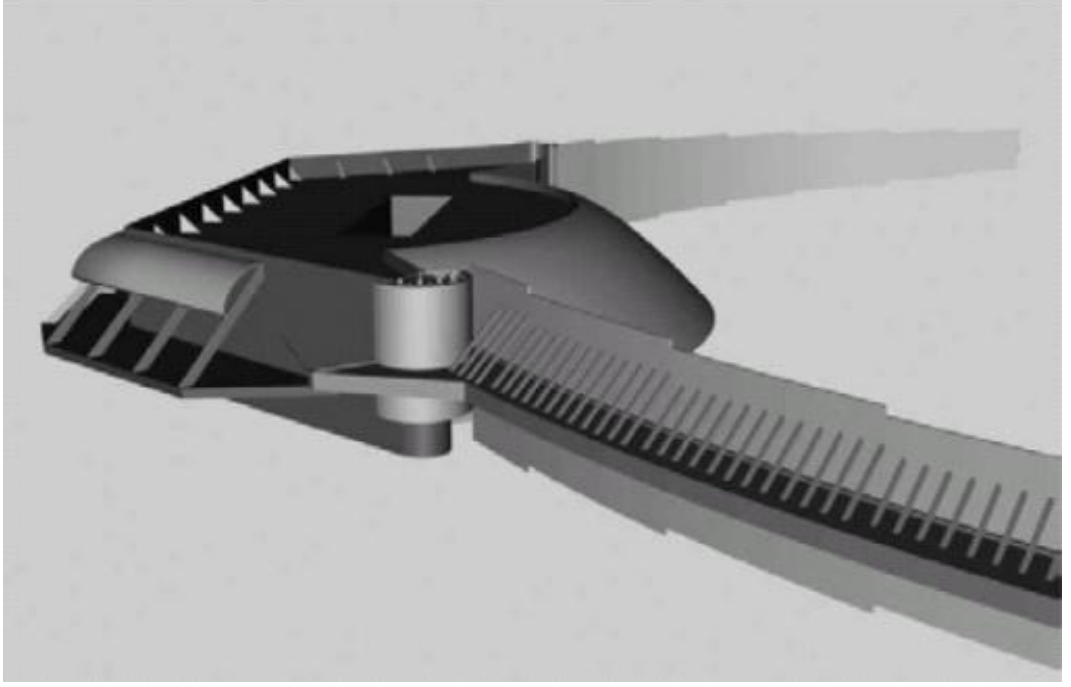


Şekil 2. 80. Aalborg Üniversitesindeki modelin reflektör birleşim yeri incelemesi (Tedd, 2007)

Aalborg Üniversitesi'nde test edilen 1:50 ölçekli modelin dalga havuzundaki görüntüsü Şekil 2.81.'de gösterilmiştir. Ayrıca bilgisayar ortamında tasarlanmış bir başka görüntüsü ise Şekil 2.82.'de ortaya konmuştur. Şekil 2.83.'de ise Wave Dragon modeline ait test standında test edilmekte olan türbin gösterilmiştir. Aynı türbin 1:4.5 ölçekli projeye uygulanabilir.



Şekil 2. 81. Aalborg Üniversitesi'nde 1:50 ölçekli modelin testi (Tedd, 2007)



Şekil 2. 82. Wave Dragon'un bilgisayar ortamındaki modeli (Tedd, 2007)



Şekil 2. 83. Wave Dragon modeline ait test standında test edilmekte olan türbin (Tedd, 2007)

Çizelge 2. 8. 1:4.5 ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler

Özellik	Sayısal Veri
Denize doğru açılan dalga reflektörleri arasındaki genişlik	57 m
Dalga reflektörü uzunluğu	28 m
Rampa tepesinin genişliği	27 m
Su deposunun hacmi	55 m ³
Toplam ağırlık	237 ton
Güç değeri	20 kW
0.7 metre tepe yüksekliğinde türbinin hidrolik verimliliği	% 87
Demirleme	Gevşek demirlenmiş
Jeneratör tipi	Eş zamanlı
Proje bütçesi	1.7 milyon €

Çizelge 2. 9. Tam ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler

Özellik	Sayısal Veri
Denize doğru açılan dalga reflektörleri arasındaki genişlik	260 m
Dalga reflektörü uzunluğu	125 m
Rampa tepesinin genişliği	120 m
Su deposunun hacmi	5,000 m ³
Toplam ağırlık	21,750 ton
Güç değeri	4 MW
0.7 metre tepe yüksekliğinde türbinin hidrolik verimliliği	% 91
Demirleme	Gevşek demirlenmiş

Çizelge 2. 9. (Devam) Tam ölçekli Wave Dragon modeline ait veriler

Jeneratör tipi	Eş zamanlı
Hesaplanan tahmini maliyet	13,5 milyon €
24 kW/m lik dalga iklimi için hesaplanan tahmini yıllık üretim	10 GWh/y
Hesaplanan tahmini üretim fiyatı	0,11 €/kWh
Uzun dönem için (2016) hesaplanan tahmini fiyat	0,04 €/kWh

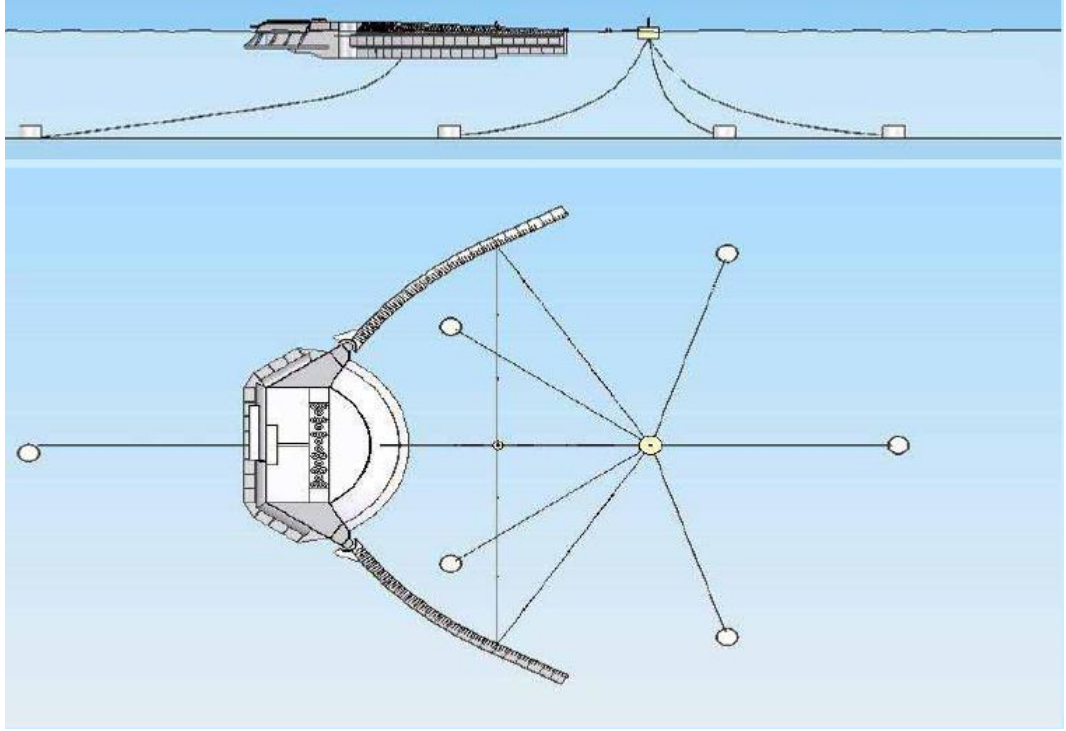
Wave Dragon için 1:4.5 ölçekli ve 1:50 ölçekli olarak hazırlanan protiplerle yapılan deneyleri ve meydana gelen gelişmeleri anlattıktan sonra Wave Dragon ile ilgili olarak yapılmış çalışmalarla ilgili önemli satır başlarını Çizelge 2.10.' da olduğu gibi ortaya koyabiliriz. Bu çizelgedeki bilgiler, Powergen 2005 Europe Conference'de ortaya konmuştur.

Çizelge 2. 10. Wave Dragon çalışmalarında önemli satır başları (Powergen Europe Conference, 2005)

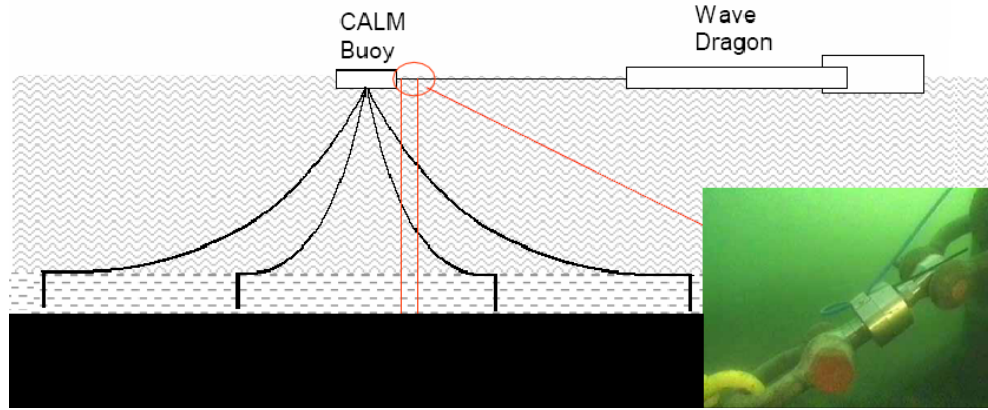
TARİH AKTİVİTE

- 1987** Erik Friis – Madsen Wave Dragon dalga enerjisi konvertörü konseptini geliştirdi.
- 1984** Patentli uygulama teslim edildi.
1999’da Danimarka patenti, 2001’de Avrupa patenti verildi.
- 1995-1999** Yapısal düzenlemesi yönünden, ekonomik açıdan, geometrisi bakımından, türbin konfigürasyonun seçimi açısından ve Wave Dragon’un hareketi için ilk çalışmalar yapıldı
- 1998-2000** Su üzerinde batmadan yüzebilen 1:50 ölçekli model Danimarka Denizcilik Enstitüsü (Danish Maritime Institute) tarafından yapıldı ve Aalborg Üniversitesi ve Danimarka Enerji Programındaki University College Cork. Funding tarafından test edildi.
- 1998-2000** Düşük basınç türbini ve kontrol ekipmanları geliştirildi.
- 2001-2005** EC ve Danimarka Enerji Ajansı tarafından desteklenen Danimarka Dalga Enerjisi’nin Nissum Bredning’de yaptığı 1:4.5 (20 kW) lık prototipin geliştirilmesi ve testi yapıldı.
- 2005** Yeni bir platform/reflektör tasarımının geliştirilmesi ve test edilmesi, Nissum Bredning’deki 1:4.5 lik prototipin ve ikincil bir güç çekme ünitesinin 1:50 ölçekli dalga tanklarında test edilmesi gerçekleşti. Bu olaylar finansal olarak Danimarka tarafından desteklendi.
-

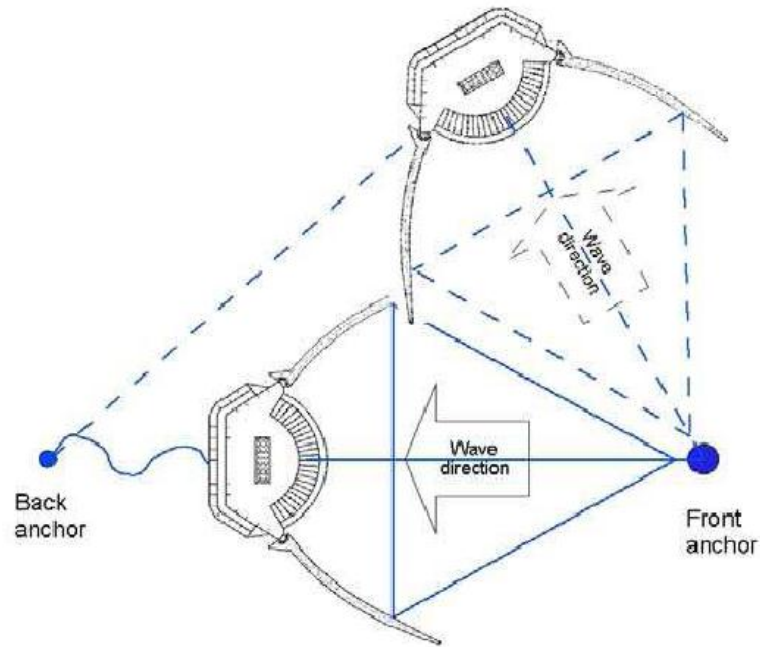
Wave Dragon, daha önce de belirttiğimiz gibi bir açık deniz uygulamasıdır ve kıyıdan uzakta bir yere montajı ve sabitlenmesi (demirlenmesi) gerekmektedir. Aynı zamanda üretilen elektrik enerjisinin su altı kablolarıyla kıyıya iletilmesi söz konusudur. Wave Dragon'un tam ölçekli olarak tasarlanan cihazı, birkaç katener zincire sahip bir CALM şamandıra sistemi ile demirlenmiştir. Şekil 2. 84.'de Wave Dragon'a ait demirleme prensibi ve Şekil 2.85.'de çok ayaklı CALM şamandırası gösterilmiştir. Şekil 2.86.'da görebileceğimiz gibi iki tip dayanak (demirleme) noktası söz konusudur. Bunlar arka dayanak noktası (back anchor) ve ön dayanak noktası (front anchor) olarak adlandırılmaktadır. Bu dayanak noktalarının bir kıyı oluşturacak şekilde olması için hareketi, şekilde görüldüğü gibi $\pm 60^\circ$ sınırlanmıştır.



Şekil 2. 84. Wave Dragon'a ait demirleme prensibi (Soerensen, 2006)

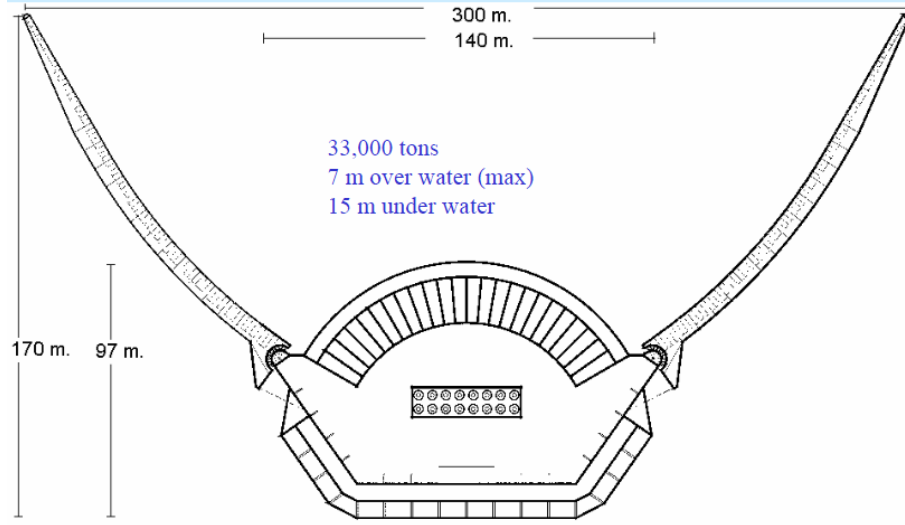


Şekil 2. 85. Çok ayaklı CALM şamandırası (Soerensen, 2006)



Şekil 2. 86. Demirleme olayının şematik görünümü (Tedd, 2007)

Geliştirilmekte olan Wave Dragon prototiplerine göz atacak olursak, tam ölçekli prototipin güç değerinin 4 MW olarak belirtildiğini Çizelge 2.9.'dan görebiliriz. Son gelişmeler altında 7 MW'lık Welsh gösterici (demonstrator), 10 üniteden sonra 77 MW'dan fazla güç sağlayan ve 5000-6000 aileye yetecek kadar güç üretecek bir uygulamadır ve Şekil 2. 87.'de 7 MW'lık Welsh gösterici için ölçüler verilmiştir.



Şekil 2. 87. 7 MW'lık Welsh gösterici için ölçüler (Soerensen, 2006)

Wave Dragon'un güç üretme projesini incelediğimizde, 4 km lik bir çizgi boyunca Şekil 2.88.'de gösterildiği gibi yan yana bulunacak 7 ünitenin toplamda 50 – 80 MW arasında bir değerde üretim yapabileceğini görürüz. Aynı gücün elde edilmesi için açık denizde 3.2 km²'lik bir alanın % 75'lik bir kısmına rüzgar çiftlikleri kurulması gereklidir.



Şekil 2. 88. Wave Dragon güç üretme planı (Soerensen, 2006)

Wave Dragon, diğer DEK sistemleriyle karşılaştırılacak olursa, yapısının tamamen suyun doğrudan su türbinlerini döndürmesiyle enerji üretecek şekilde tasarlandığını görebiliriz.

Diğer sistemlerden farklı olarak, tek adımda enerji dönüşümü söz konusudur. Hareketli parça sayısı çeşidi çok azdır ve tek hareketli parçası da türbinlerdir. Bu da onun konstrüksiyonunun çok basit olmasını sağlar. Ama halen yapısı çok kompleks bir tasarıma sahiptir. Üniversiteler ve endüstri tarafından onun aşağıda maddelenen konularda geliştirilmesi amacıyla tasarımı, modellenmesi ve test edilmesi alanlarında yoğun çabalar sarf edilmektedir.

- Yukarı kaldırma olayının (overtopping) optimize edilmesi.
- Sıvının kaldırma gücü ile cihazın dönmesine ve iniş çıkışına karşı, rafine hidrolik yanıt vermesi.
- Dalga reflektörlerine (yansıtıcılarına) ve demirleme sistemine gelen kuvvetlerin etkili bir şekilde azaltılması.
- Türbinlerin verimliliğinin geliştirilmesi.
- Güç üretimini optimize etmek için bir türbin stratejisinin geliştirilmesi.
- Kurulum (yapım), bakım ve çalışma fiyatlarının azaltılması.

Bu alanlarda önemli bir şekilde gelişmeler olması halinde, daha fazla miktarda elektrik üretimi, mümkün olan en düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilecektir. Bu şekilde enerji elde etmenin çevre dostu ve güvenilir bir yolu ortaya çıkmış olacaktır (Powergen Europe Conference, 2005).

Daha önce de bahsettiğimiz gibi dünyamız, temiz, güvenli ve daha verimli bir şekilde enerji ihtiyacımıza karşılık verebilecek enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu kaynak ise okyanus dalgalarından elde edilen gücü kullanılabilir enerjiye dönüştürebildiğimiz okyanus enerjisidir. Ocean Power Technologies (Okyanus Gücü Teknolojileri) ya da kısaltılmış olarak OPT, bu ihtiyaca karşılık verebilecek ve bir açık deniz DEK sistemi olarak nitelendirebileceğimiz bir diğer DEK sistemidir.

OPT'nin PowerBuoy'u (Güç Şamandırası), okyanus dalgalarında var olan doğal enerjiyi çıkaran ve patenti alınmış; hidrodinamik, elektronik, enerji dönüşümü ve bilgisayar sistemleri gibi temelleri olan bir sistemdir. PowerBuoy, değişik dalga formlarına uygun cevap verebilecek "akıllı" olarak nitelendirilebilen bir sistemdir. Sonuç olarak ise, temiz ve çevreye yararlı bir şekilde güvenilir olarak elektrik üreten, okyanusta test edilmiş, öncü ve patentli bir sistemdir. Aşağıda Şekil 2.89.'da okyanusta test edilmekte ve çalışmakta olan bir OPT gösterilmiştir. Şekil 2.90.'da ise kurulumu hazır bir OPT gösterilmiştir.



Şekil 2. 89. Okyanusta test edilmekte olan bir OPT (Anonymous, 2010i)



Şekil 2. 90. Kurulumu hazır bir OPT PowerBuoy (Anonymous, 2010i)

OPT, Dr. George W. Taylor tarafından oluşturulmuştur. Son zamanlarda Dr. Joseph R. Burns tarafından dünya okyanuslarındaki sınırsız enerjiden faydalanma vizyonu takip edilmektedir. Deniz dibine demirlenen, büyük ve yüzen şamandıralardan elde edilen ve modern güç çekme sistemlerinde kullanılan elektrik enerjisini üretebilen özel PowerBuoy teknolojisine odaklanma 1994 yılında başlamıştı. 1997 yılında New Jersey’de sahile kapalı alanda testi yapılan yüzer şamandıra, dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştürdü. Teknolojinin tam ölçekli uygulaması için büyüyen gelişme eğrisi sayesinde Hawaii ve New Jersey’de 40 kW’lık PowerBuoy’lar kuruldu.

Ekim 2003’de Ocean Power Technologies, başarılı bir şekilde halka arz edildi ve “OPT” adı altında piyasada işlem gördü. Firma Nisan 2007’de ABD IPO ve Nasdaq “OPTT” adı altında işlem gördü.

OPT’nin İspanya’nın kuzey kıyısı açıklarında 1,39 MW’lık dalga çiftliğinin kurulumu için ilk aşaması başlamıştır. İngiltere sularında 5 MW’lık dalga çiftliğinin kurulumu ise tasarım aşamasındadır. Şekil 2.91.’de OPT dalga parkına ait tipik kavramsal bir görüntü verilmiştir.



Şekil 2. 91. OPT dalga parkına ait tipik kavramsal bir çizim (Anonymous, 2010i)

OPT, geliştirme, üretim, test ve dağıtım için stratejik bir ortak küresel ağ geliştirmeye devam ediyor. Çizelge 2.11.’de, dünyada teknoloji ve dalga enerjisi projelerinin geliştirilmesinde OPT ile çalışan ortakların bazıları verilmiştir.

Çizelge 2. 11. Dünyada teknoloji ve dalga enerjisi projelerinin geliştirilmesinde OPT ile çalışan ortakların bazıları (Anonymous, 2010i)

ORTAK	İLİŞKİ	ÜLKE
ABD Deniz Kuvvetleri	Teknoloji Geliştirme	Amerika Birleşik Devletleri
İskoç Hükümeti	Proje Geliştirme	İskoçya
ABD Enerji Bakanlığı	Ar-Ge Finansman Desteği	Amerika Birleşik Devletleri
Enerji Oregon Bölümü	Ar-Ge Finansman Desteği	Amerika Birleşik Devletleri
Iberdrola SA	Ortak Girişim Ortağı	İspanya
PNGC Güç	Proje Geliştirme	Amerika Birleşik Devletleri
Lockheed Martin Corp	Lojistik Yönetimi	Amerika Birleşik Devletleri
Leighton Müteahhitler	Ortak Girişim Ortağı	Avustralya
	Proje Geliştirme	

OPT PowerBuoy teknolojisi, sahip olduğu ilave patentler ile, çok sayıda ABD ve uluslar arası patente sahiptir. Patent portföyü de dahil olmak üzere, teknolojileri aşağıda maddelenen geniş bir yelpazeyi kapsar:

- Sistem Tasarımı
- Kontrol Sistemleri
- Güç Dönüşümü
- Demirleme ve Bağlama
- Dalga Çiftliği Mimarisi

OPT PowerBuoy, dalga üretme sistemi okyanusta mevcut olan ve dalga enerjisini düşük fiyatlı temiz elektriğe dönüştüren “akıllı” bir okyanus şamandırasını kullanır. Açık deniz sistemi olarak çalışan sistemin çalışma prensibi aşağıdaki paragrafta anlatılmıştır.

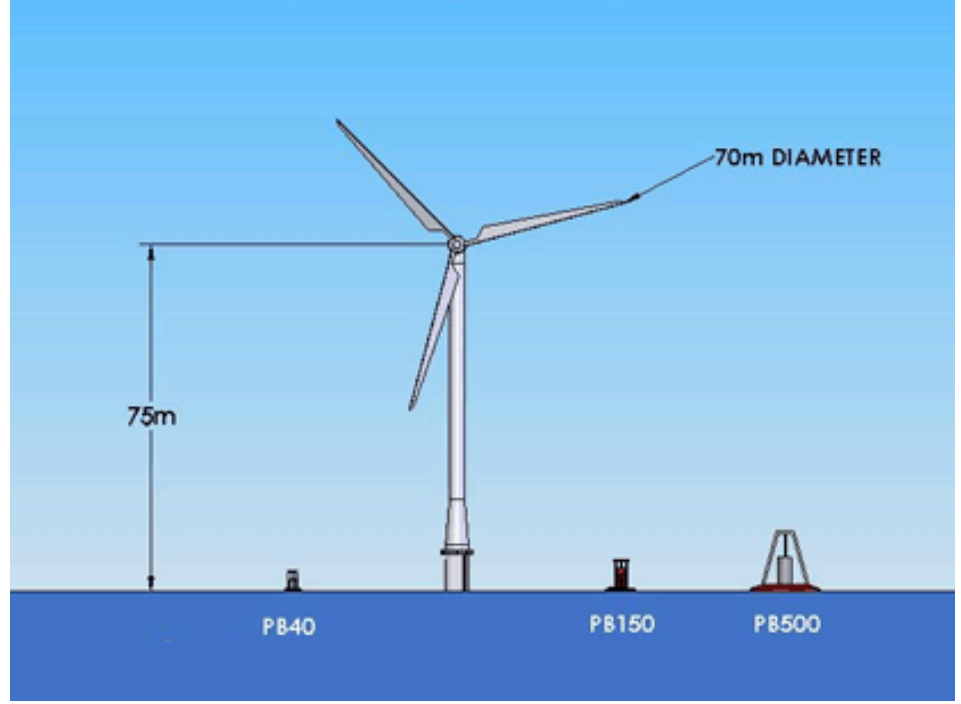
Dalgaların alçalıp yükselmesi, şamandıranın serbest bir biçimde aşağı yukarı hareket etmesine neden olur. Bunun sonucunda oluşan mekanik strok, sofistike bir güç çekme ünitesinin aracılığı ile bir elektrik jeneratörüne aktarılır. Burada üretilen güç, su altı kabloları aracılığı ile kıyıya aktarılır. 10 MW'lık bir OPT Güç Santrali, 30 dönümlük bir yer (0,125 km²) işgal eder.

PowerBuoy üzerinde yer alan sensörler, sürekli olarak okyanus çevresinin durumunu ve çeşitli yardımcı sistemlerin performansını kıyıya iletir. Elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak kıyıya iletilir. Yaklaşmakta olan çok büyük dalga durumlarında sistem otomatik olarak kilitlenir ve güç üretimi durdurulur. Dalga boyları normale döndüğü zaman ise sistem kilidini açar ve çalışması eski durumuna döner. Sistemin temel özellikleri şunlardır;

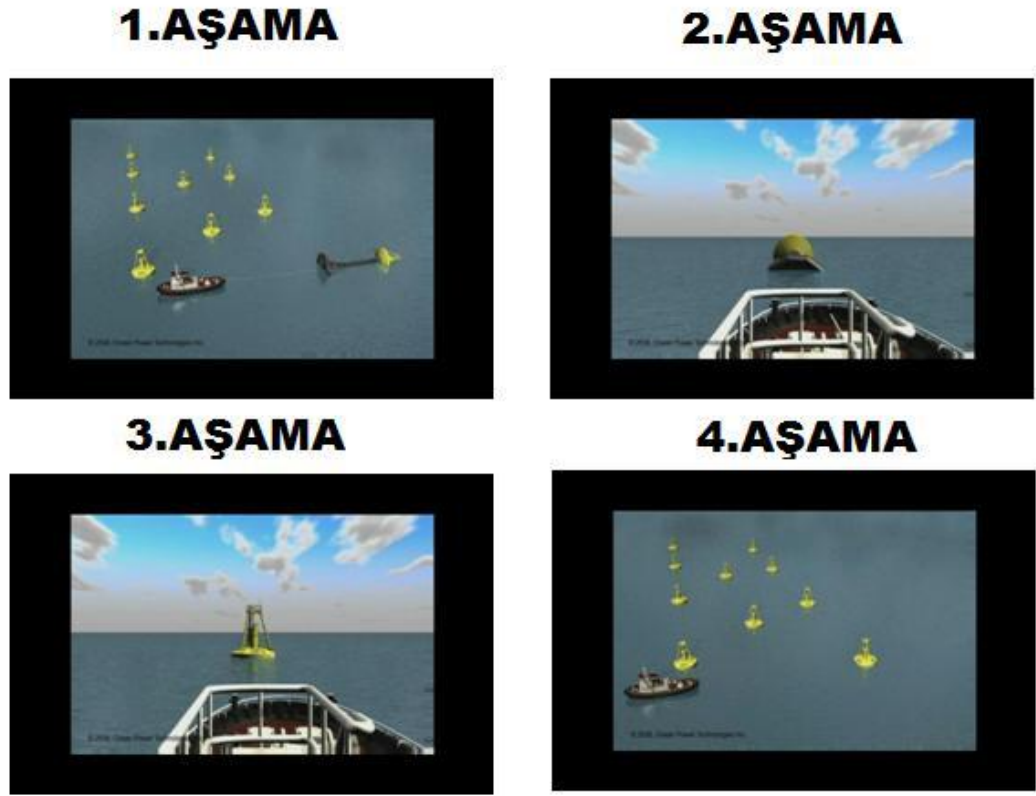
- Şamandıralar, maksimum enerji elde edecek şekilde yerleştirilmelidir.
- Sağlam ve basit bir çelik konstrüksiyona sahip olmalıdır.
- Konvansiyonel demirleme sistemi kullanılmalıdır.
- Liman tekneleri ve alt yapısı sayesinde kurulumu basittir.
- 100+MW gibi büyük güç istasyonları için ölçeklendirilebilir.

Olaya görsel etki açısından yaklaştığımız zaman, birçok topluluğun güç projelerine bu yüzden karşı çıktığını görebiliriz. OPT'nin PowerBuoy'u rüzgar türbinleri ile bu yönden dolayı karşılaştırılacak olunursa, arada büyük bir fark olduğu görülebilir. OPT'nin PowerBuoy'u neredeyse göze bile gelmez.

Bir OPT dalga enerjisi santrali genellikle kıyıdan 1-3 mil uzakta açık denizde olduğundan büyük bir kısmı sadece yakın mesafeden görülebilir ve genellikle kıydan görünmez. Bu durum aşağıda Şekil 2.92.'de gösterilmiştir. Şekil 2.93.'de ise bir OPT'nin kurulumu dört aşamada anlatılmıştır.



Şekil 2. 92. Görsel etki açısından OPT ile rüzgar türbinin karşılaştırılması (Anonymous, 2010i)

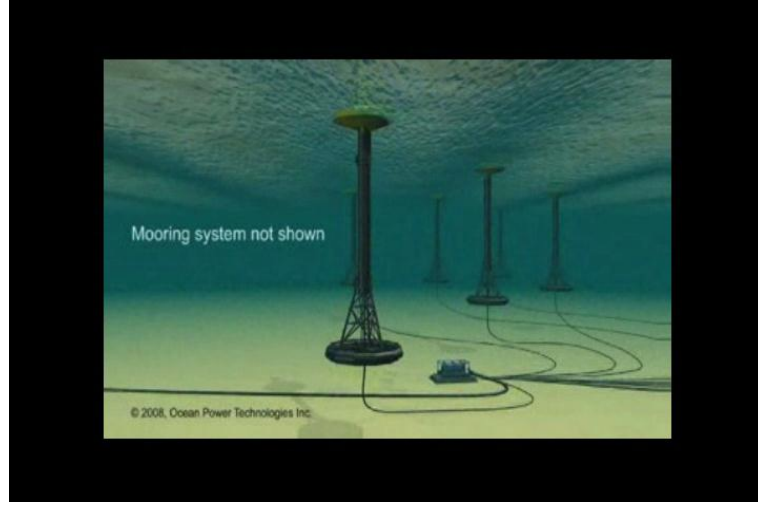


Şekil 2. 93. OPT PowerBuoy'un denize bırakılma aşamalarının şematik görünümü (Anonymous, 2010i)

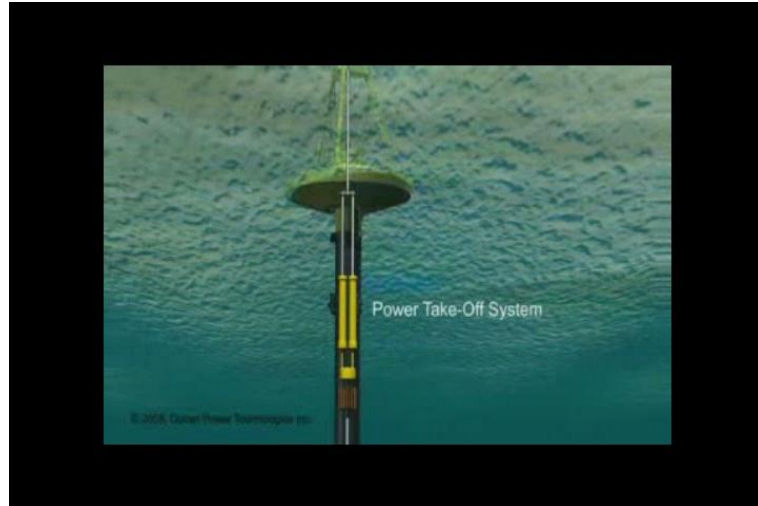
Şekil 2.93.'de de görüldüğü gibi OPT'nin kurulumu dört aşamada yapılabilmektedir. Bu dört aşama aşağıda anlatılmıştır. Çok sayıda OPT'nin bir arada bulunmasıyla hem elde edilen bileşke güç artmakta hem de bir dalga enerji çiftliği oluşturulmuş olmaktadır.

- Bir gemi ya da tekne aracılığıyla kurulumu hazır OPT'nin kıydan çalışma alanına getirilmesi
- Çalışma sahasına gelen OPT'nin serbest bırakılması
- OPT'nin su altı montajının yapılması
- OPT'nin yerini alarak çalışması ve teknenin uzaklaşması

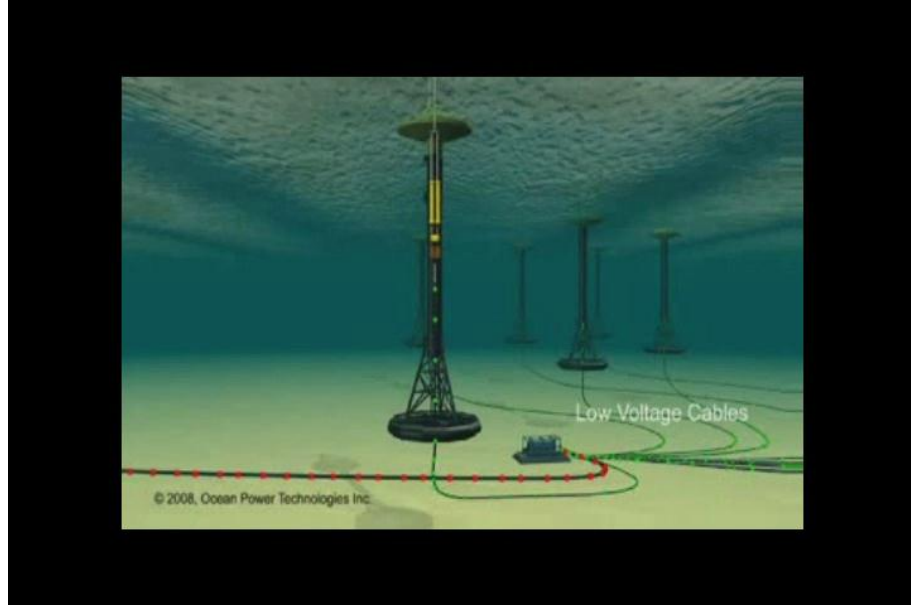
Şekil 2. 94.'de OPT PowerBuoy dalga çiftliğinin su altındaki ve Şekil 2. 95.'de OPT PowerBuoy'a ait güç çekme ünitesinin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 2. 96.'da ise OPT PowerBuoy'a ait sualtı düşük voltaj kablolarının şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. 94. OPT PowerBuoy dalga çiftliğinin su altındaki şematik görüntüsü (demirle sistemi gösterilmemiş) (Anonymous, 2010i)



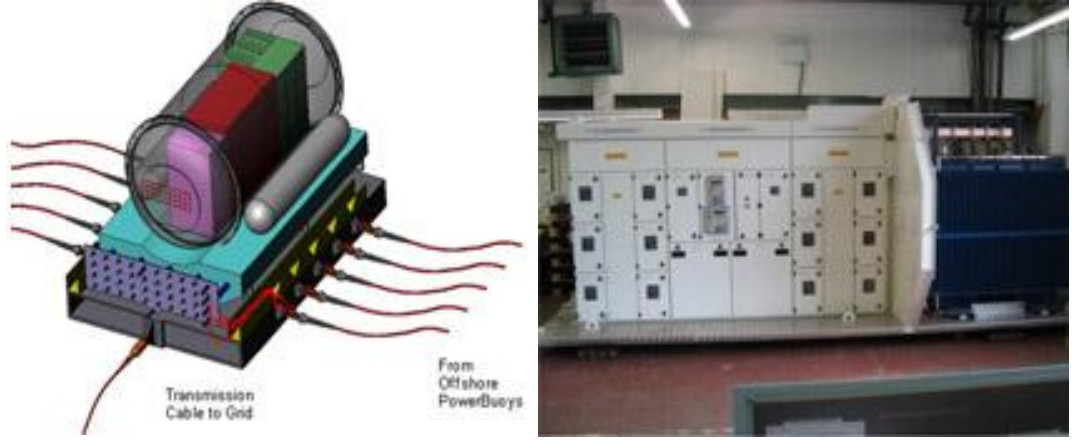
Şekil 2. 95. OPT PowerBuoy'a ait güç çekme ünitesinin şematik görüntüsü (Anonymous, 2010i)



Şekil 2. 96. OPT PowerBuoy'a ait sualtı düşük voltaj kablolarının şematik görüntüsü (Anonymous, 2010i)

Ocean Power Technologies (OPT) tarafından yeni Sualtı Trafo Podu (Underwater Substation Pod (USP)) geliştirildi. USP, kıydan uzakta elde edilen gücün ve ağdaki çevresel etkilerin güvenilir bir şekilde anlaşılıp kıyıya gönderilmesi için maliyeti etkin bir sistemdir.

USP (Underwater Substation Pod) Şekil 2.96.'da görüldüğü gibi 10 adede kadar uzak kıyı (açık deniz) güç üretme cihazını (dalga, gelgit ve kıydan uzaktaki rüzgar enerjisi cihazları gibi), tek bir ortak noktaya ekonomik bir şekilde bağlayabilen ve denizaltından güç dönüşümünü ve veri iletişimini sağlayan bir cihazdır. USP, yaklaşık olarak 150 ft'e (50 m) kadar derinliklerde yapılan uygulamalar için tasarlanmıştır ve deniz dibi koşullarında kurulumu yapılabilir. Şekil 2.97.'de ise bir USP şematik olarak gösterilmiş ve hemen yanında ise iç kısmının gerçek görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. 97. USP'nin şematik görünümü ve iç kısmının gerçek görüntüsü (Anonymous, 2010i)

1.5 MW'lık bir USP, Iberdrola Renewables Projesi'nin bir parçası olarak Santona'nın OPT'si adıyla İspanya'da kurulmuş ve test edilmiştir. OPT, aynı zamanda kendisi ile uyumlu olarak çalışabilen ve ona entegre edilen bir dizi çoklu uygulamanın gelişmesini sağlamıştır. Entegre edilen uygulamalar aşağıda sıralanmıştır:

- Harici cihaz bilgilerini kaydedecek modem
- Gerçek zamanlı dalga ve güncel kaynakların değerlendirilmesi için çekilen Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) (Akustik Doppler Akım Profilleri) kablosu
- Deniz altında yer alan kablolar ve deneysel parametreler gibi cihazların izlenebilmesi için sökülüp takılabilen ROV uygulaması.
- Akustik izleme için hidrofonlar

OPT'nin bunlara ek olarak, en yeni okyanus test programı PB40 Enhanced System (PB40ES) (Power Buoy 40 Geliştirilmiş Sistemi) dir. Bu cihaz şimdiye kadar OPT tarafından geliştirilen en büyük PowerBuoy cihazıdır ve 40 kW gücündedir.

PB40ES'in ilk evresi, Iberdola S.A. Projesi tarafından İspanya Santona'da geliştirilmiştir. PB40ES, New Jersey kıyılarında (A.B.D) geliştirilen PowerBuoy uygulaması olan PB40 prototipi ele alınarak aynı tasarımın temelleri baz alınarak ölçeklendirilmiştir. PB40ES PowerBuoy'a ait kullanılan ve kantlanan tasarım prensipleri, şirketin ilk ticari ölçekli cihazı olan ve birbirine grid bağlantılı olarak kurulan PB150 PowerBuoy'da temel alınmıştır.

Kantlanan PB40ES PowerBuoy, dalga enerjisi ile ilgili bir cihazın ölçeklendirilmesi için birçok özellik sağlamıştır. Verilen dalga yüksekliği değeri için çalışılan durumunda ne kadar güç üretebileceğini ortaya koymuştu. Şekil 2.98.'de kuruluma hazır PB40ES'e ait görüntü, Şekil 2.99.'da İspanya Santona'da okyanusta çalışır vaziyette olan PB40ES gösterilmiştir.



Şekil 2. 98. Kurulumu hazır halde bulunan PB40ES PowerBuoy'a ait gerçek görüntü (Anonymous, 2010i)

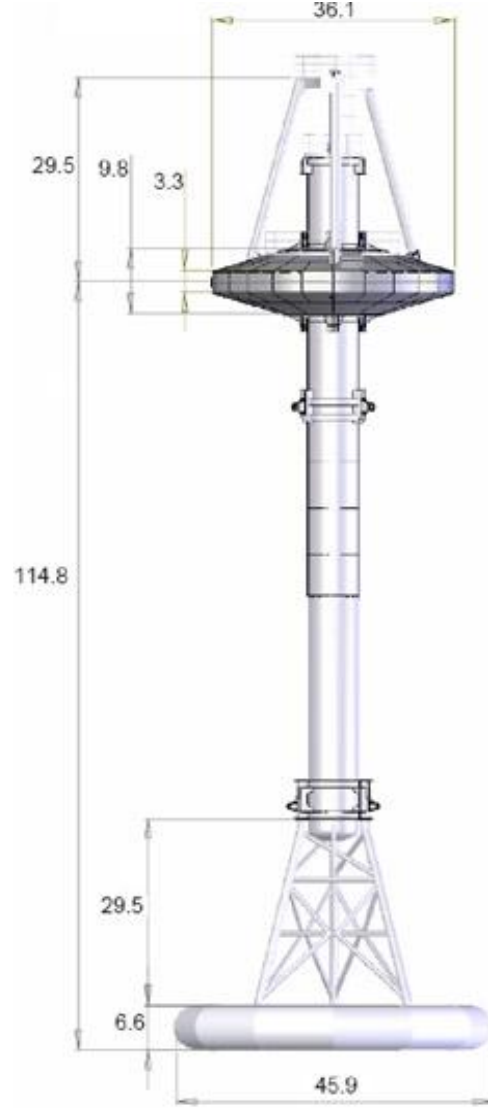


Şekil 2. 99. İspanya Santona’da açık denizde çalışmakta olan PB40ES PowerBuoy (Anonymous, 2010i)

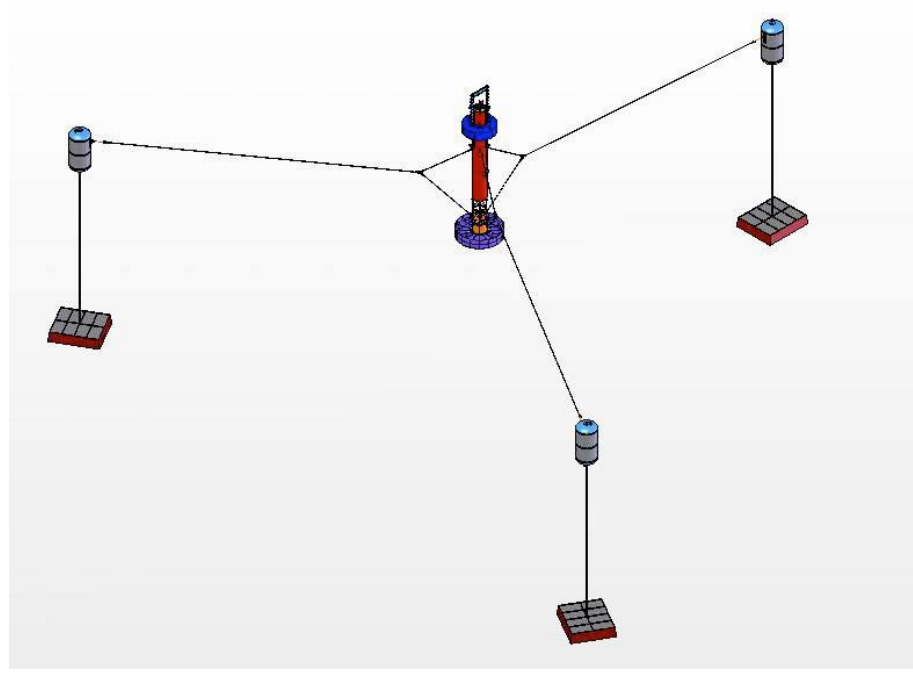
OPT’nin üretim yelpazesine yeni eklenen sistem ise PB150 PowerBuoy’dur. Cihaz, 150 kW değerinde güç üretmektedir. 150 kW güç değerine sahip olacak PowerBuoy için İskoçya’da fabrika kurulumuna başlanması ve İskoçya Orkney’deki European Marine Energy Centre (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi) de 2010 yılında konuşlandırılması planlanmaktadır. Aynı zamanda ikinci PowerBuoy PB150 konuşlandırılması için, 2010 yılında Oregon Reedsport’ta 10 tane PowerBuoy’dan ilkinin konuşlandırılması planlanmaktadır.

PB150 PowerBuoy, dalga enerjisi projeleri için birçok özellik sunmaktadır. Bunlardan biri olarak 1.5 m ve 7 m değerleri arasındaki dalga yüksekliklerinde enerji üretebilecek olması gelmektedir. OPT’nin demirleme şekli ve PowerBuoy sisteminin yapısı; bu sistemin gelgit, fırtınada meydana gelen dalga durumunda ve çalışma şartlarında meydana gelebilecek değişik dalga iklimi durumlarında uyumlu olarak karşılık verecek şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 2.100.’de PB150 PowerBuoy

sisteminin feet cinsinden ölçeklendirilmesi gösterilmiştir. Şekil 2.101.'de ise OPT PowerBuoy'a ait demirleme biçimi gösterilmiştir.



Şekil 2.100. PB150 PowerBuoy sisteminin feet cinsinden ölçeklendirilmesi (Anonymous, 2010i)



Şekil 2. 101. OPT PowerBuoy'a ait demirleme biçiminin şematik olarak gösterilmesi
(Previsic. M., 2004)

Bir diğer açık deniz DEK sistemi Archimedes Wave Swing (Arşimet Dalga Salınımı) olarak adlandırdığımız sistemdir. Şekil 2.102.'de Arşimet Dalga Salınımı sistemine ait şematik bir görüntü verilmiştir. Şekil 2.103.'de Arşimet Dalga Salınımı sisteminin deniz dibindeki yapısı şematik olarak verilmiştir. Şekil 2.104.'de ise açık denizde çalışmakta olan gerçek bir sisteme ait görüntü verilmiştir.



Şekil 2. 102. Archimedes Wave Swing (AWS) sisteminin şematik görünümü (Anonymous, 2010j)



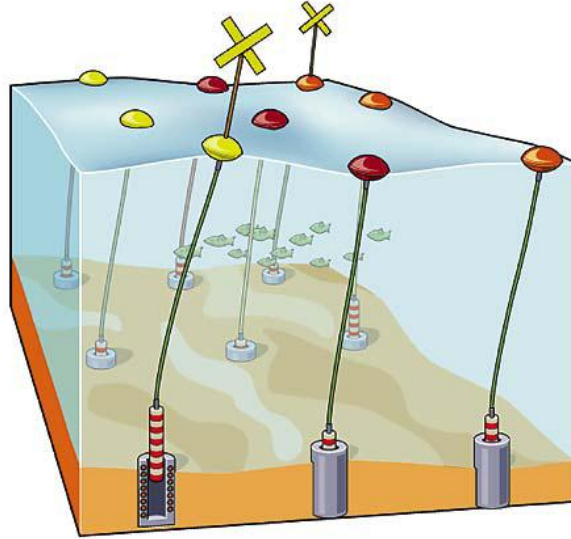
Şekil 2. 103. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin deniz dibindeki yapısının şematik olarak gösterimi (Anonymous, 2010k)



Şekil 2. 104. Açık denizde çalışmakta olan gerçek bir AWS sistemine ait görüntü (Anonymous, 2010l)

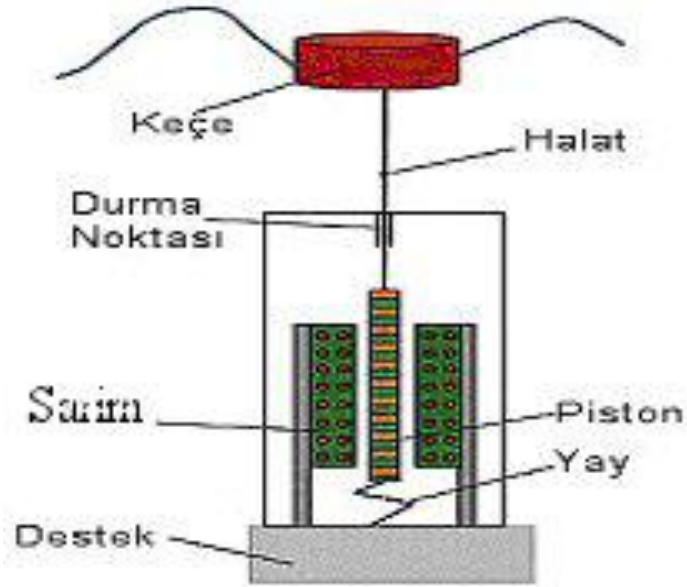
Bu sistemin çalışma prensibine temel olan düşünceye göz atacak olursak; deniz seviyesinde (yüzeyinde) kalarak batmadan yüzen simit, duba, keçe gibi cisimlerin deniz tabanına konuşlandırılmış olan bir silindire bağlanması ve denizde meydana gelen dalgalanma ile bu silindirin aşağı yukarı hareketi (heaving) sayesinde üretilen mekanik enerjinin önce jeneratörler vasıtasıyla manyetik enerjiye, daha sonra da kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmesi olduğunu görebiliriz.

Deniz yüzeyinde yer alan ve içi hava ile dolu olan kaplar sürekli olarak deniz seviyesindeki yerlerini korumak isteyeceklerinden, deniz seviyesinin meydana gelen dalgalanma ile alçalıp yükselmesiyle bu kaplar da bu değişime paralel olacak şekilde alçalıp yükselecektir. Meydana gelen bu alçalma ve yükselme, tabana bağlı vaziyette olan pistonun konumunun artıp azalmasını sağlayacaktır. Bu çalışma prensibi birçok DEK sisteminde ortak olarak görülmektedir. Bu prensibin gösterimi aşağıda Şekil 2.105.'de verilmiştir.

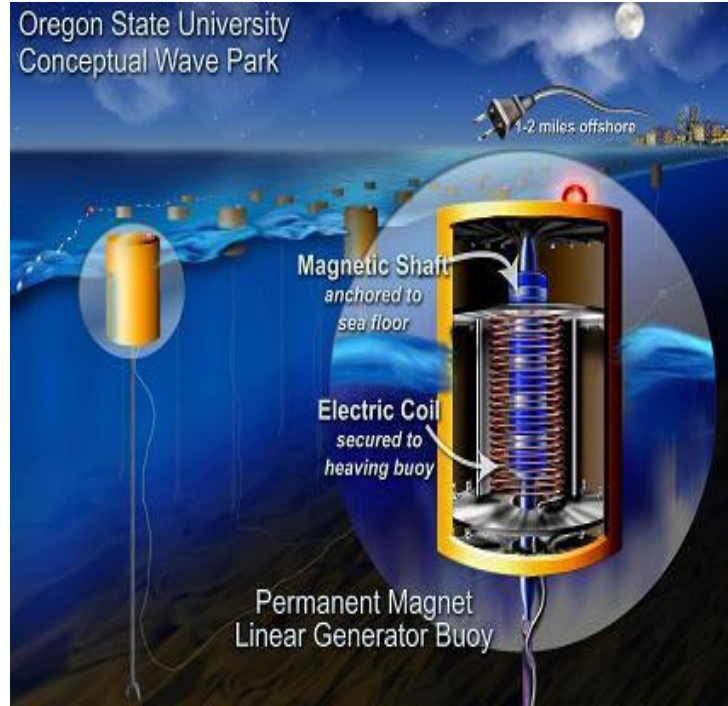


Şekil 2. 105. Birbirinden farklı DEK sistemlerinde kullanılmakta olan ortak çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (Bernhoff ve Leijon, 2006)

Arşimet Dalga Salınımı da yukarıda anlatılmakta olan prensibe benzer bir şekilde çalışmaktadır. Arşimet Dalga Salınımı sisteminde, deniz dalgalandıkça üzerindeki basıncın değişmesinden dolayı aşağı yukarı hareket eden pistonun çalışması esnasında meydana gelen yerdeğiştirme görülebilir. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.106.'da gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi statorun orta kısmında bulunan ve hareketli pistonun belirlenen bir noktadan sonra daha fazla yükselmesini engelleyecek bir durma noktası tasarlanmıştır. Bu durma noktasının konma sebebi, hem aşırı zorlanma ve yükselme neticesinde pistonun silindire zarar vererek fırlamasını önlemek hem de pistonun verimli bir şekilde enerji üretebileceği aralıkta yol almasını sağlamaktır. En alt kısımda ise bir yay görülmektedir. Bu yayın konulma sebebi ise normalden daha fazla seviyede meydana gelen dalgalarda enerjinin fazlasını depolamaktır. Ayrıca yayda depolanan bu fazla enerji sayesinde üst kısma (yukarı) çıkan piston tekrar eski konumuna getirilmiş olur ve böylece sistemin çift yönlü olarak çalışması sağlanmış olur. Şekil 2.107.'de ise sistemdeki silindirin iç yapısı detaylı olarak gösterilmiştir.



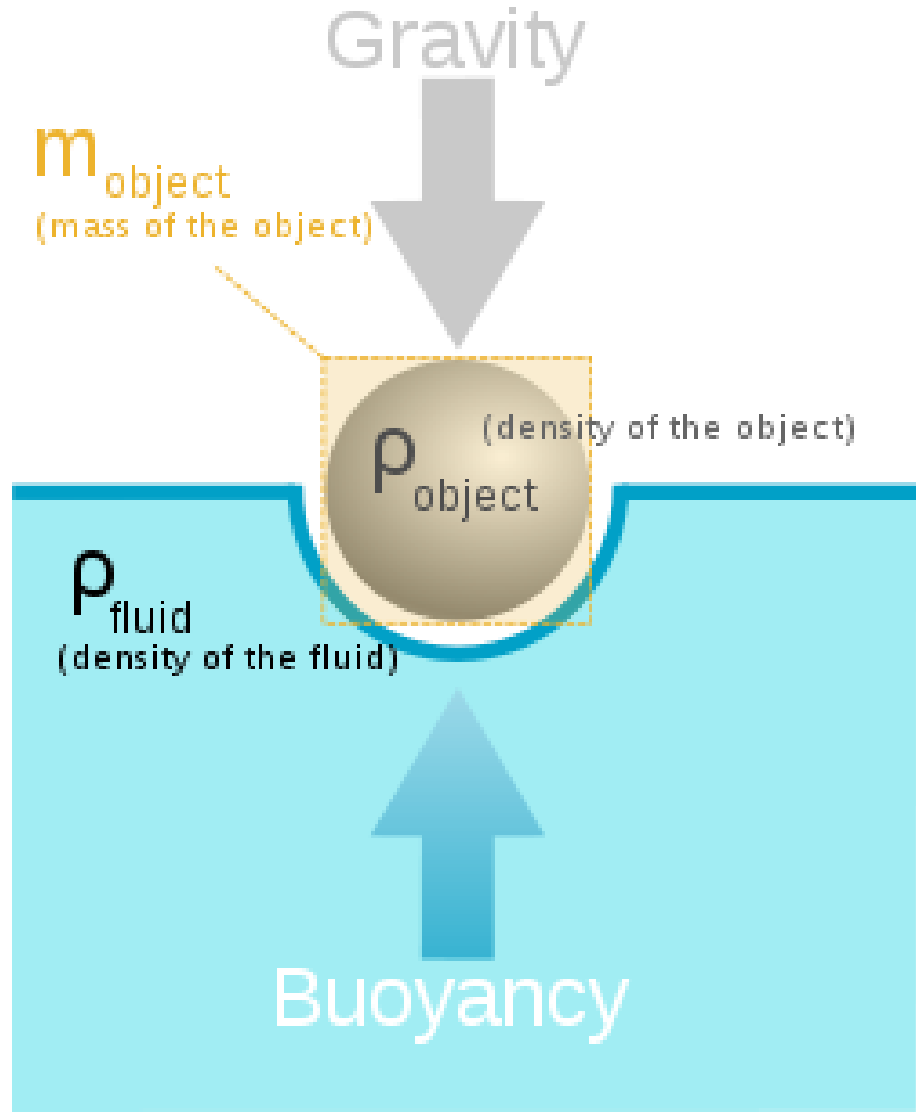
Şekil 2. 106. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin çalışma prensibi (Bernhoff ve Leijon, 2006)



Şekil 2. 107. Arşimet Dalga Salınımı sisteminin çalışma prensibi (Anonymous, 2010m)

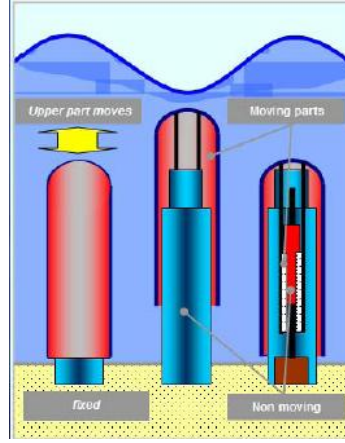
Bu sistemde basınç değişimi, pistonun hareketi ile gazın sıkıştırılması sayesinde sağlanır. Sıkıştırılan gazın basıncı artar ve basıncın yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere doğru gaz geçişi olur ve bu da türbinleri döndürür. Böylece oluşan manyetik alanla jeneratör sayesinde elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur. Sistem, sadece tek bir hareketli parçaya (yüzer şamandıraya) sahip olduğundan bakım ve onarım masrafları azdır ve daha güvenilir bir sistemdir.

Bu sisteme Arşimet Dalga Salınımı denmesinin temel nedeni aslında Arşimet prensibine göre çalışmasıdır. Arşimet prensibine göre, bir nesne sıvı içerisinde ortaya konduğu zaman yukarı doğru bir kuvvet nesne üzerine etki eder. Bu kuvvet, kaldırma kuvvetidir. Aynı zamanda bu kuvvet, sıvının ağırlığına eşittir. Sıvının ağırlığı $W = m.g$ formülü ile bulunabilir. Burada m kütle ve g ise yerçekimi ivmesini belirtmektedir. Arşimet prensibi aşağıda Şekil 2.108.'de gösterilmiştir.



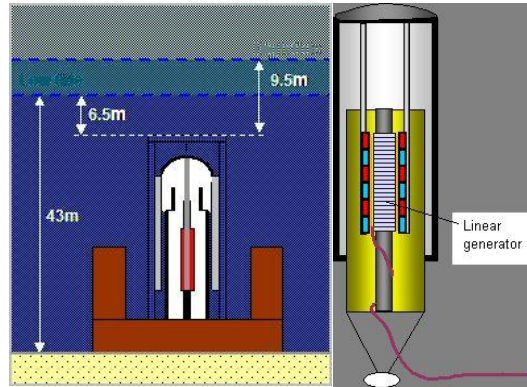
Şekil 2. 108. Arşimet prensibi (Anonymous, 2010m)

Arşimet Dalga Salınımı sisteminde tek bir hareketli parça bulunduğunu ve diğer parçaların konularının sabit kaldığı Şekil 2.109.'da gösterilmeye çalışılmıştır. Bu şekilde kırmızı ile renklendirilmiş olan parça hareketli parçadır ve sarı oklar ile hareket yönü gösterilmiştir.



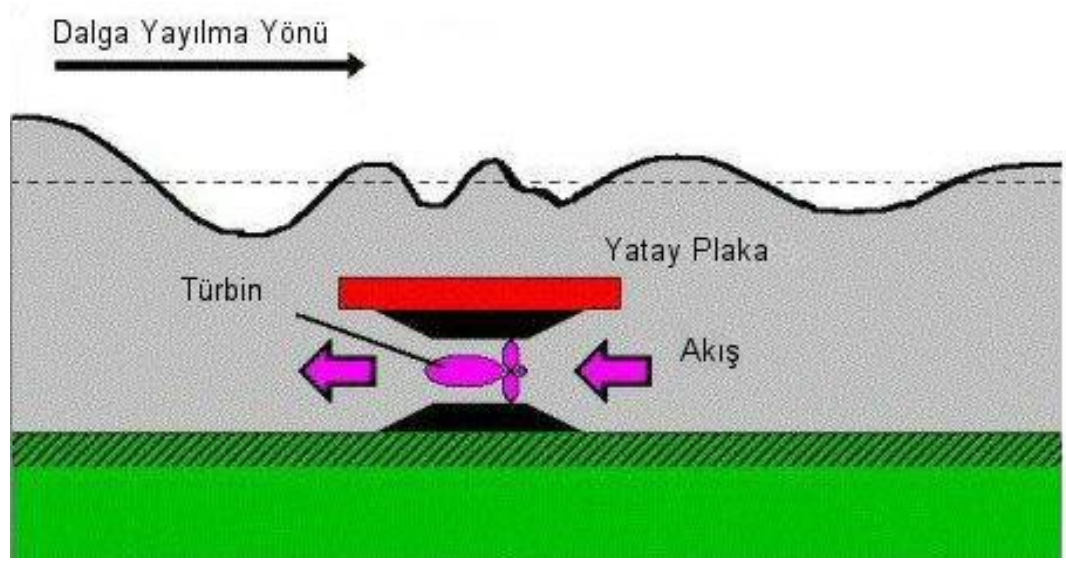
Şekil 2. 109. AWS sistemindeki hareketli parça ve hareket yönü (Rossouw, C., 2009)

AWS sistemleri için genel olarak güç kapasite değeri 4 MW civarındadır ama bu değer dalga iklimine bağlı olarak değişebilir. Yüzücü çapı genellikle 9.5 m civarında olup 40-100 m arasındaki derinlikte su altında çalışabilmektedirler. Genellikle kıydan 1-2 mil çalışmak için uygundur ve yapıları çeliktir. Şekil 2.110.'da tipik bir AWS sistemi için yapılan ölçülendirme ve hemen sağında lineer jeneratörün yapısı gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2. 110. Tipik bir AWS sistemi için yapılan ölçülendirme ve lineer jeneratörün yapısı (Rossouw, C., 2009)

Bir diğ er açık deniz DEK sistemi, su osilasyonlu tip DEK sistemi olarak adlandırılan sistemdir. Bu sisteme temel olan fikir, denizlerde ya da okyanuslarda meydana gelen akış sayesinde ortaya çıkan basınç farkından dolayı, suyun yüksek basınçtan alçak basınçlı olan yere hareketi esnasında, sahip olduğ u kuvvetin yakalanarak kullanılmasına yöneliktir. Yakalanan bu kuvvet, önce mekanik enerjiye daha sonra da kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülür. Ş ekil 2.111.'de su osilasyonlu tip DEK sistemine ait çalışma prensibi ş ematik olarak gösterilmiştir.



Ş ekil 2. 111. Su osilasyonlu tip DEK sistemine ait çalışma prensibinin ş ematik olarak gösterimi (Anonymous, 1996)

Ş ekil 2.111.'de de gösterildiğ i gibi, deniz tabanına yerleştirilmiş olan türbinin dönmesi sağlanır ve böylece mekanik enerji elde edilmiş olunur. Bu olayın gerçekleşmesi ise; denizde meydana gelen dalgalanma hareketi ile sistemin bir tarafındaki su seviyesinin yüksek, diğ er tarafındaki su seviyesinin ise daha alçak olmasından dolayı suyun basıncın yüksek olduğ u yerden basıncın düşük olduğ u yere hareketinden kaynaklanır. Türbinin bu şekilde döndürülmesi ile elde edilen mekanik enerji jeneratör vasıtasıyla kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.

Bir diğerk açık deniz DEK sistemi uygulaması ise, Embley Energy Ltd tarafından geliştirilen ve okyanus dalga enerjisinden üretilen elektriğindünya lideri olabilecek bir potansiyele sahip olduğunu iddia eden ve SPERBOY™ olarak adlandırılan uygulamadır. Bilindiğı üzere, dalga enerjisi temiz bir enerji türüdür ve fosil yakıtlarda olduğu gibi çevreyi kirletici etkileri olan karbondioksit yayılımı yoktur. SPERBOY™, UK Government's Carbon Trust (Ukrayna Karbon Güvenliğı İdaresi) tarafından hazırlanan kısa listede, gelecek için en umut verici denizden enerji üreten konsept olarak gösterilmiştir.

Şekil 2.112.'de gösterilen 1/5 ölçekli pilot ünite, denizde başarıyla konuşlandırılmış ve ürünün tasarım konsepti kanıtlanmıştır. Embley Energy Ltd (EEL), şu anda gelinmiş olunan bu noktadan sonra, ürünün tam ölçekli prototipinin test edilmesi ve ticari olarak yaygınlaşması için önemli bir yatırım periyoduna gerek duymaktadır. Embley Energy, ürünün ticari olarak kanıtlanıp teslim edilmesi için gerekli olan ilave kaynakları onaylamaya hazırdır ve ayrıca yatırım yapmaya hazır yatırımcıların arayışı içerisinde dir.

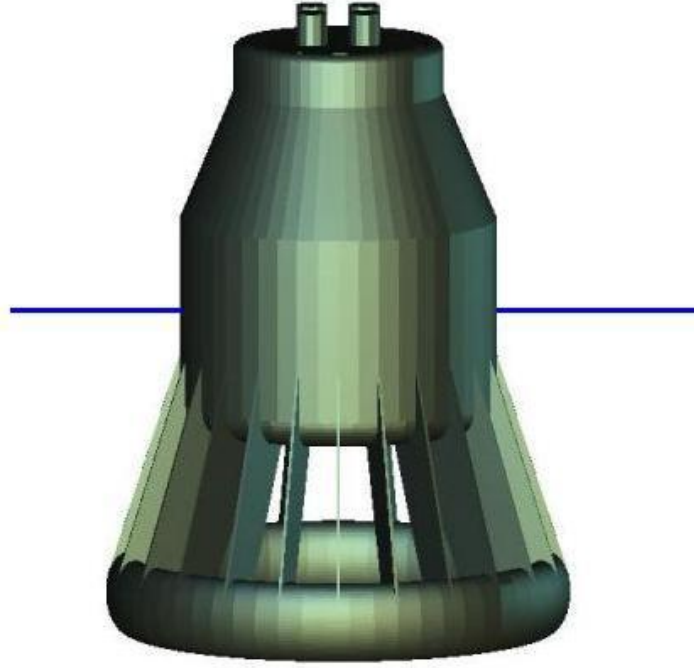


Şekil 2. 112. Açık denizde konuşlandırılan ve test edilen 1/5 ölçekli pilot ünite

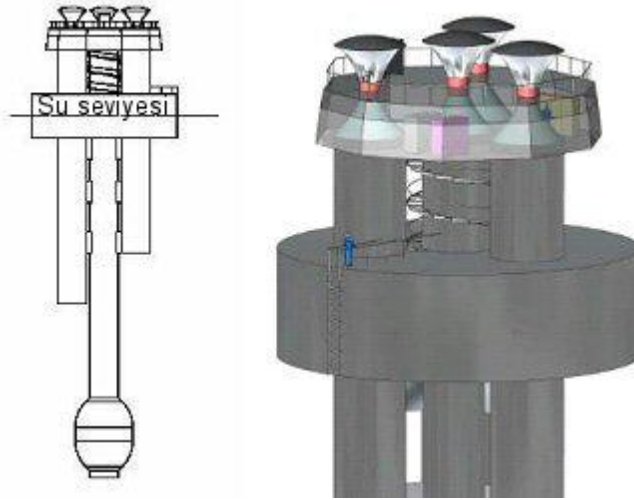
Şirket, ek olarak gelecek parayla; yenilenebilir enerji, mühendislik ve üretime tabi tutma konularında yetenekli olan uzmanları çağırmayı planlamaktadır. Araştırma için 7 milyon £ değerinde olan toplam yatırımın 4 milyon £ değerindeki kısmının mühendislik ve üretim ortaklarından gelebileceği beklenmektedir. Bu yüzden özel girişimden 3-4 milyon £ değerinde nakit para beklenmektedir. Bunun gerçekleşmesi ise 2 adet tam ölçekli DEK prototipinin yapılıp denizde test edilmesini mümkün kılacaktır.

SPERBOY™, enerjisini denizdeki dalgaların hareketinden alır. Bu yüzden bütünüyle yenilebilir bir enerji kaynağıdır ve ayrıca hem ekonomiktir hem de çevre için yararlıdır. Dalga enerjisinin denizde en fazla miktarda elde edilebileceği açık deniz ortamında çalışması için tasarlanan SPERBOY™, enerji üretimini şu şekilde gerçekleştirmektedir:

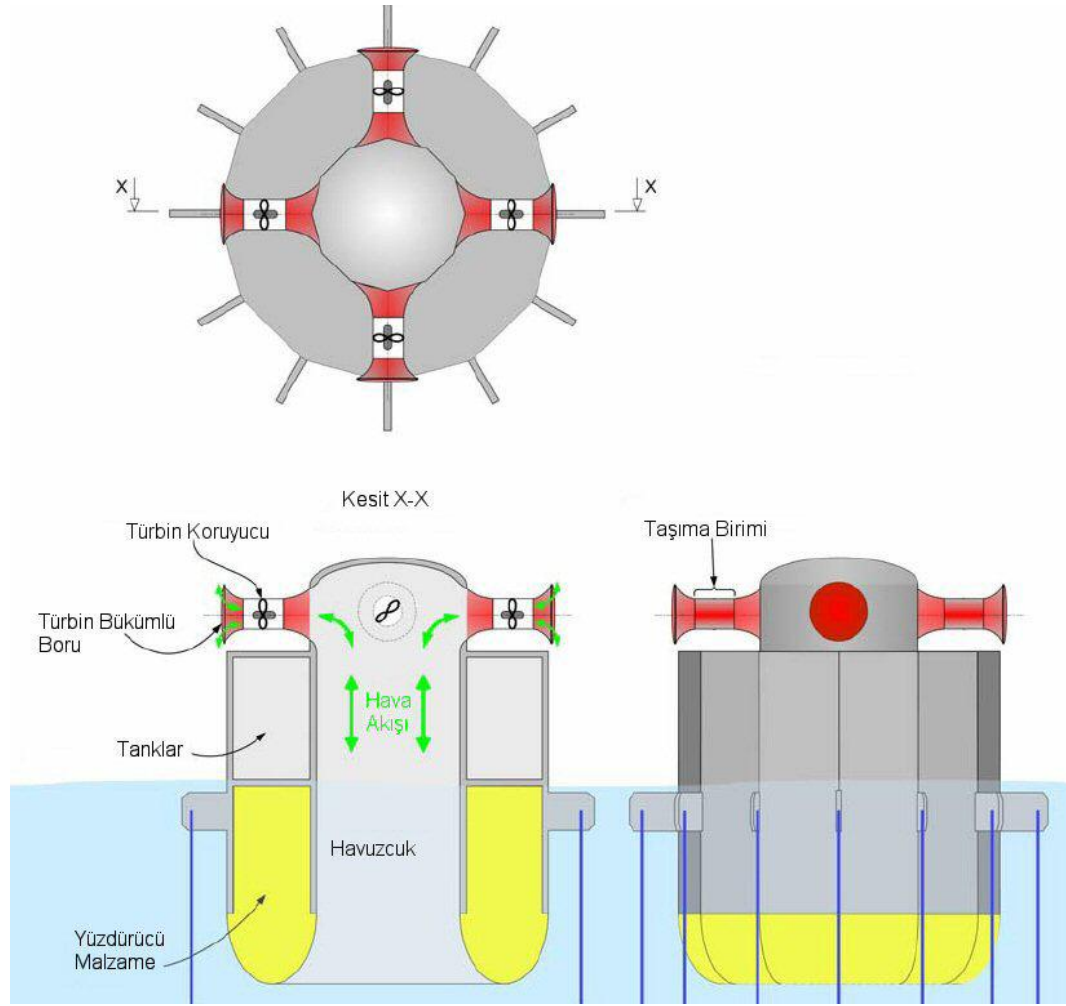
Dalga hareketinin etkisiyle sıkıştırılan hava, hava türbinlerini döndürür ve bu türbinlere bağlı olan jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur. Oscillating Water Column (OWC) prensibine göre çalışan ve su üzerinde batmadan yüzen bir yapıya sahip olan SPERBOY™, dalgalardan tek bir yolla ve verimli bir şekilde enerji elde eder. Şekil 2. 113.'de SPERBOY™'nin 2007 tasarımı, Şekil 2. 114.'de SPERBOY™'nin şematik ve geometrik modeli ve son olarak da Şekil 2. 115.'de SPERBOY™'nin yapısı ve şematik görünümü alınan kesitlerle ortaya konmuştur. Bir SPERBOY™ tasarımı için genel olarak çap 30 m, toplam yükseklik 50 m, çalışabileceği maksimum derinlik 35 m ve ağırlığı 3500 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. 113. SPERBOY™'nin 2007 tasarımı (Anonymous,2007)



Şekil 2. 114. SPERBOY™'nin şematik ve geometrik modeli (Anonymous,2007)



Şekil 2. 115. SPERBOY™'nin yapısı ve şematik görünümü (Embley Energy Ltd, 2002)

Bildiğimiz gibi OWC tipi sistemde yine sıkıştırılan havanın türbinleri döndürmesi ve dönen türbinlerin mekanik enerjisinden jeneratör aracılığı ile elektrik enerjisi üretilmesi söz konusu idi. Ancak OWC sistemleri kıyı tipi uygulamalar grubuna dahildir ve dalga yükseklikleri kıyıda daha düşük olduğundan maksimum enerji üretim değerleri bu yüzden bir açık deniz uygulaması olan SPERBOY™'den daha düşük değerlerde olacaktır. Bu yüzden SPERBOY™, diğer OWC tipi DEK sistemleri ile kıyaslandığında lider konumdadır. Bunun sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çalışma prensibinin yanında yapısı da basittir.
- Bakımı kolaydır.
- Çalışma ömrü uzundur.
- Yapısal maliyet fiyatı düşüktür.
- Üretilen enerjinin birim maliyeti düşüktür.
- Açık deniz tipi olduğundan ve yüksek dalga boylarında çalıştığından maksimum enerji üretim kapasitesi yüksektir.

Avrupa'nın Atlantik kıyı şeridinde konuşlandırılan her bir bağımsız ünitenin yaklaşık olarak birer MW değerinde güç kapasitesine sahip olması beklenmektedir. Kanada, ABD, Japonya, Güney Afrika, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde uygulamaları mevcuttur. Ayrıca enerji pazarına, TWh'lik dalga gücü üretimi katabileceğine inanılmaktadır.

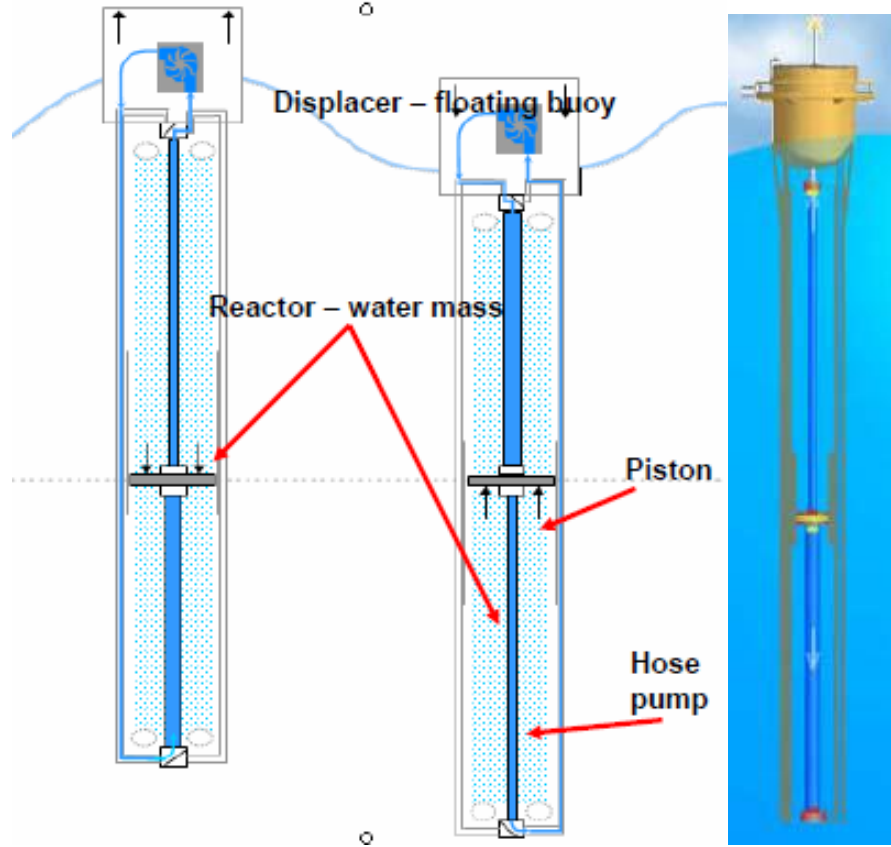
Bir diğer açık deniz DEK sistemi ise, bir nokta absorblayıcı konvertör çeşidi olan AquaBuoy'dur. AquaBuoy dalga enerjisi konvertörü, okyanus dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve Hose-Pump adıyla bilinen düşük maliyetli ve yenilikçi bir bileşen (parça) kullanan bir sistemdir. Hose-Pump, akışkanın pompalanmasına uyumlu olarak çalışabilecek ince, içi boş, elastik yapılı bir silindiridir. Hose-Pump bir şamandıraya bağlandığında, dalga hareketi tarafından üretilen ve zorlanan akışkanın baskısıyla periyodik uzamalar (genişlemeler) meydana gelir. Dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm şeklinin çözümü, standart bir hidro-güç türbini ve jeneratörden oluşmak üzere iki adet çoklu cihaz tipi aracılığı ile dönüşümün komple bir şekilde yapılmasıdır. Aşağıda Şekil 2.116.'da Finavera Renewables'e ait AquaBuoy görüntüleri yer almaktadır. Şekil 2.117.'de ise AquaBuoy'un yapısı ve kısımları gösterilmiştir. Çizelge 2.12.'de ise AquaBuoy'a ait özellikler ortaya konmuştur.



Şekil 2. 116. Finavera Renewables'e ait gerçek görüntüler (Previsic. M., 2004)

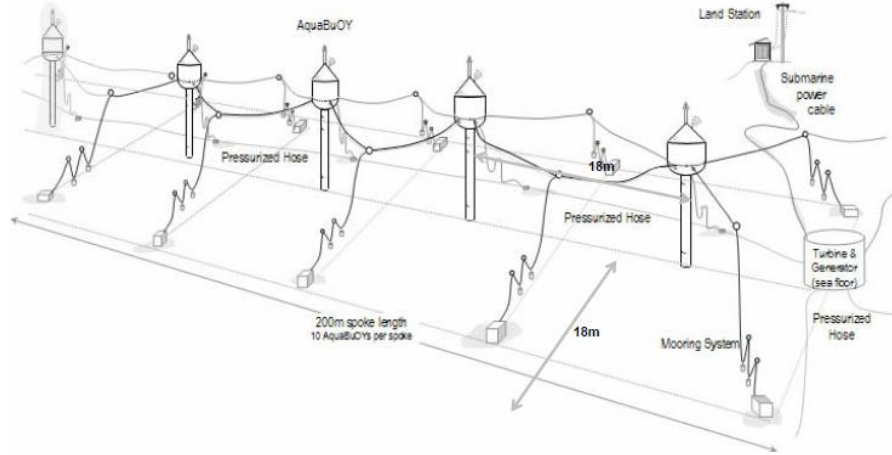
Çizelge 2. 12. AquaBuoy'a ait özellikler (Previsic. M., 2004)

Şamandıra Çapı	6 m
Yüzebileceği Derinlik	30 m
Su Derinliği	> 50 m
Güç Çekme Ünitesi	Su altında düşük basınç hidrolikleri
Güç Değeri	250 kW'a kadar (deniz durumuna göre değişebilir)
Demirleme	Önemlidir ve en yüksek maliyetli kısımdır.
Yapı malzemesi	Çelik



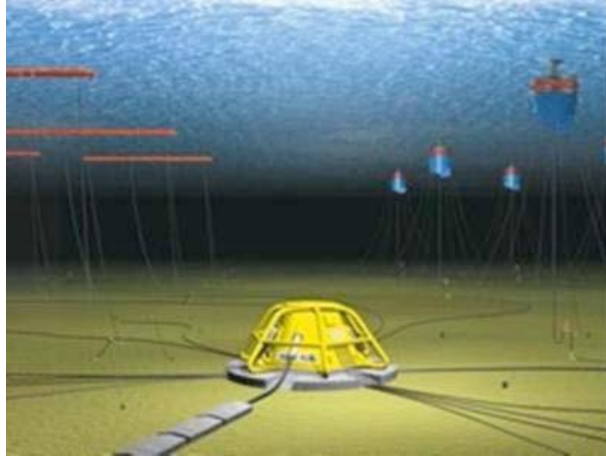
Şekil 2. 117. AquaBuoy'un yapısı ve kısımlarının şematik gösterimi (Rossouw, C., 2009)

AquaBuoy DEK sisteminde, hareketli olan ve yerdeğiştirmeyi sağlayan kısım su yüzeyinin üzerinde bulunur. Bu kısmın çapı genellikle 6 m civarındadır. Şekil 2.117.'de görüldüğü gibi su kütlesi pistonu hareket ettirir. Bu da suyun Hose-Pump kısmından içeri girip baskı yaratmasıyla gerçekleşir. Şekil 2.118.'de ise beş adet AquaBuoy'dan meydana gelen bir dalga parkı ve ölçülendirilmesi şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.119.'da ise AquaBuoy şamandıraları için su altı görüntüsü verilmiş ve bağlantının şeklinin nasıl olduğu gösterilmiştir.



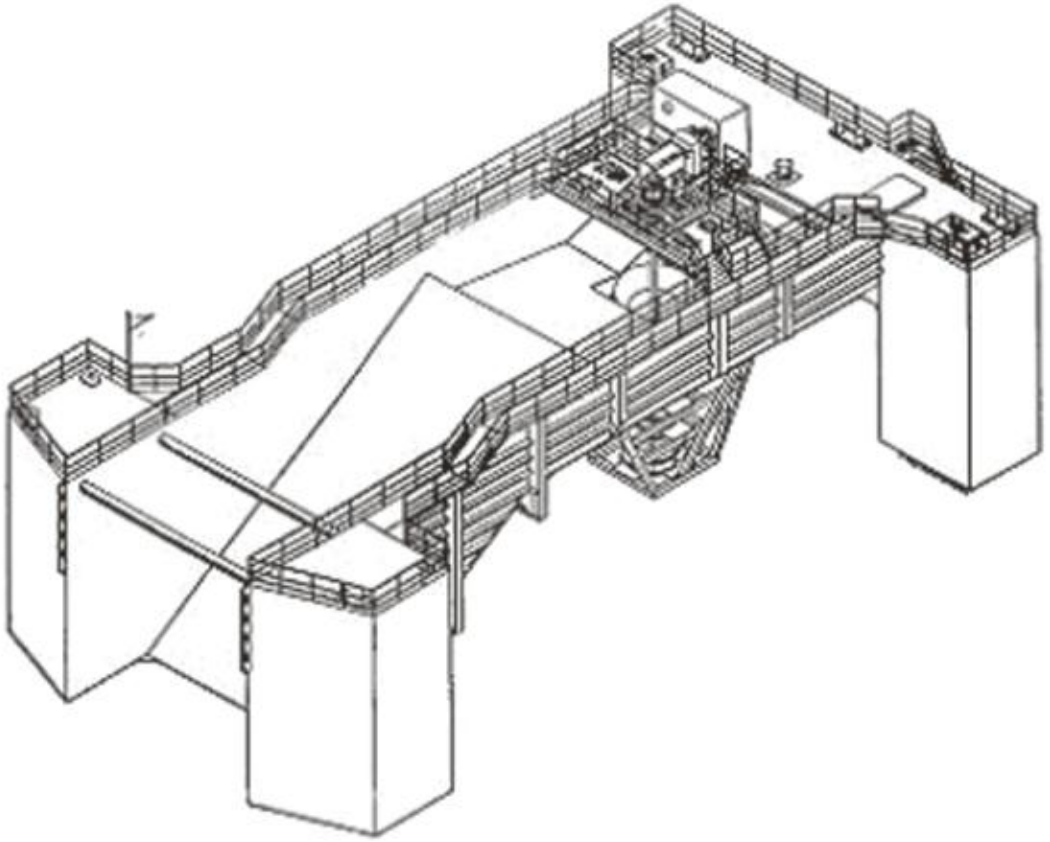
Şekil 2. 118. Bir dalga parkı ve ölçülendirilmesinin şematik olarak gösterimi (Rossouw, C., 2009)

AquaBuoy'da kullanılan şamandıra teknolojisi, iyi hazırlanmış ve test edilmiştir. Kısımları modüler olduğundan bir yerden başka bir yere taşınması ve tamiri kolaydır. Ayarlaması hızla bir biçimde yapılamaz. Yüksek demirleme ve iletim maliyetleri söz konusudur.



Şekil 2. 119. AquaBuoy için su altı görüntüsü ve bağlantının şekli (Previsic. M., 2004)

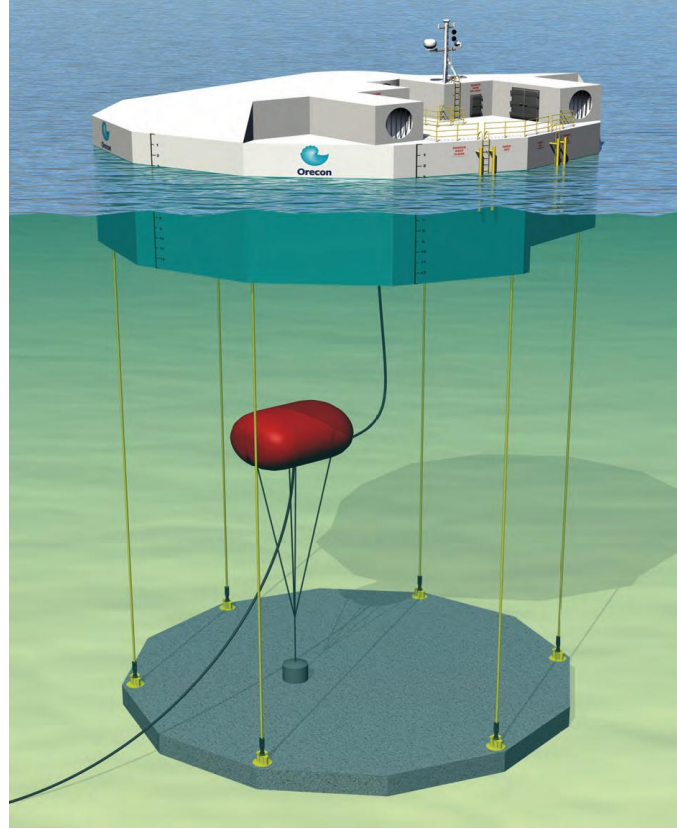
Bir diğerk açık deniz uygulaması ise, Floating Wave Power Vessel (Suda Yüzen Dalga Gücü Kabı) olarak adlandırılan, kıydan uzakta ve overtopping (yukarı kaldırma) prensibine göre çalışan bir DEK cihazdır. İsveç’de Sea Power International (Uluslararası Deniz Gücü) tarafından desteklenmiş ve geliştirilmiştir. Şekil 2.120.’de Floating Wave Power Vessel şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, ağırlıklarla dengelenen ve dört kısımdan oluşan dalga havuzundan meydana gelmiştir.



Şekil 2. 120. Floating Wave Power Vessel’e ait şematik gösterim (Centre for Renewables Energy (CRES), Wave Energy Utilization in Europe, 2002)

Çalışma prensibi, daha önce anlattığımız ve yine bir açık deniz uygulaması olan Wave Dragon ile benzerlik göstermektedir. Patentli demirleme (kitleme) sistemi, sistemin en iyi şekilde enerji elde edebileceği yönde yönlendirilmesine izin verir. Sistemin bir pilot uygulaması 80'lerde İsveç Stockholm'de geliştirilmiş ve konuşlandırılmıştır. 1.5 MW'lık bir vessel uygulamasının ise açık denizde kıydan 500 m uzakta ve 50-80 metre arası derinlikte Shetland, Mu Mess'de konuşlandırılması planlanmaktadır.

Bir diğerk açık deniz uygulaması ise, OreCon olarak adlandırılan DEK sistemidir. Orecons MRC1000 (Multiple Resonant Chamber), açık denizde serbestçe konuşlandırılabilen ve çoklu rezonans odasına sahip bir salınlımlı su kolonu uygulamasıdır. Cihaz değişik boylarda, farklı salınım frekanslarını (her odada her boy için ayrı ayrı) yakalayabilecek çoklu dikey odalara sahiptir. Cihaz, farklı dalga frekansı değerleri aralğı için, yüksek verimliliğe izin veren bir yapıya sahiptir. Farklı odalardaki hava basınçları birleştirilir ve tek bir hava türbini, bu basınçla beslenir. Dönme hareketinin hidrolik basınca dönüştürülmesi ile jeneratör takımı döndürülür. Bu kısım, deniz dibine bağlanan 6 adet bağlantı noktasıyla gevşek bir biçimde demirlenir. Şekil 2.121.'de OreCon'a ait demirlenen kısım ve 6 adet bağlantı halatı gösterilmiştir. Çizelge 2.13.'de ise Orecon cihazına ait özellikler verilmiştir.



Şekil 2. 121. Orecon'a ait demirleme sistemi ve altı adet bağlantı noktası (Previsic. M., 2004)

Çizelge 2. 13. OreCon cihazına ait özellikler (Previsic, M., 2004)

Cihaz Çapı	32 m
Su Derinliği	> 50m
Cihazın Merkez Çizgisinin Mesafesi	100 m
Yapısal Ağırlığı	1250 ton
Güç Değeri	1000 kW
Güç Çekme Ünitesi	Hidrolik aşama aracılığı ile hava türbini

OreCon cihazına ait güç çekme ünitesi, daha ayrıntılı bir biçimde incelenecek olunursa, güç çekme ünitesinde enerjinin üç aşamada üretildiği görülebilir. Bu aşamalar aşağıda verilmiştir.

- **1.aşama:** Sınımlı su kolonunun hava odasındaki havanın basıncı, kullanılan bir impuls (hava) türbinine dönme hareketi verir.
- **2.aşama:** Dönme hareketi, hidrolik basınca dönüştürülür.
- **3.aşama:** Hidrolik basınç, kullanılan bir jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

İmalatçının sağladığı performans değerleri, hava türbinlerindeki şaftların mekaniksel çıkış değerleri ile belirlenir. Çizelge 2.14.'de, % 50'lik kapasite faktörü ile çeşitli yerlerde çalışmakta olan Orecon sistemlerinin performans durumları ortaya konmaya çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve elde edilen veriler "E2I EPRI Internal Worksheet – OreCON "MRC1000" Performance Estimate" esas alınarak yapılmıştır.

OreCon DEK için, 1/250 ve 1/20 ölçekli tank testleri, kontrollü olarak yapılmıştır. Ölçeklendirilmiş deniz testleri 1/10 ölçekliye kadar ilerlemiştir. Nümerik modellemesi yapılmış ve performans verileri ölçeklendirilmiş testlerden sisteme entegre edilmiştir. Güç çekme ünitesi ve yapısal mühendisliğin maliyeti ürünün endüstriyel gelişimi için önemlidir.

Çizelge 2. 14. Orecon MRC1000 için Performans Durumları (Previsic. M., 2004)

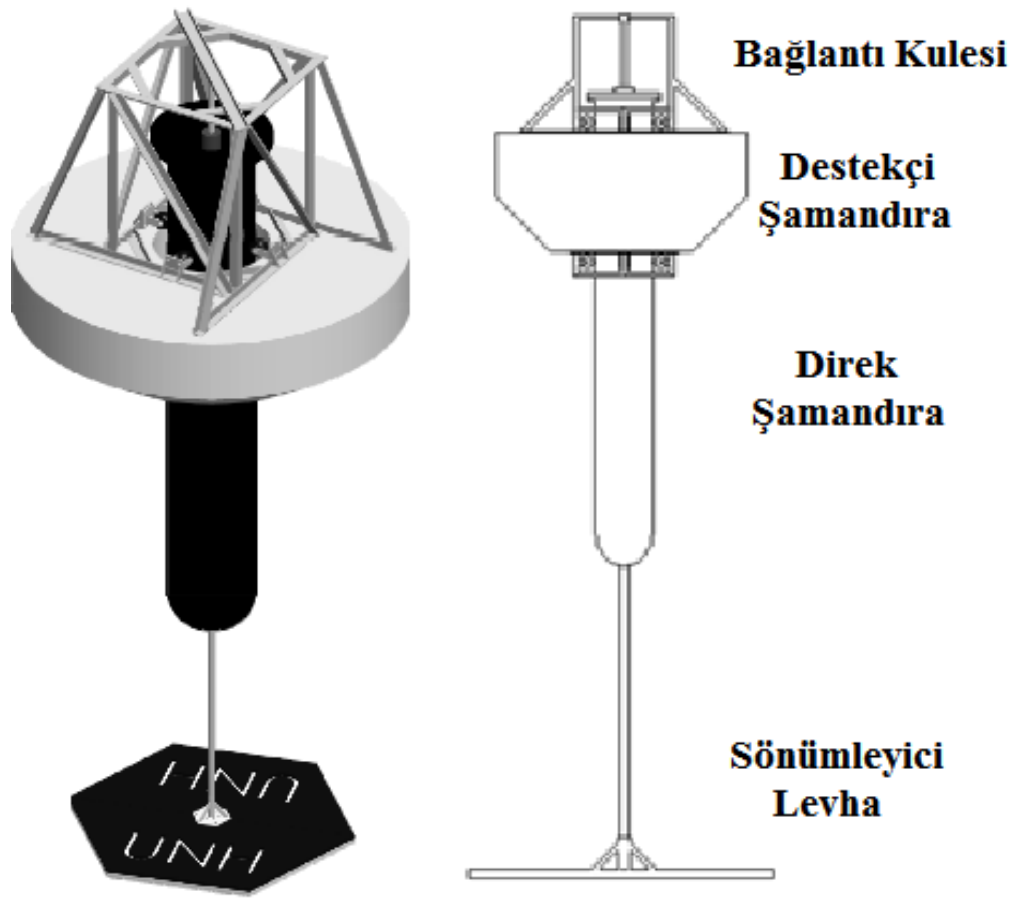
Yer	Dalga Gücü Yoğunluğu	Hesaplanan Yıllık Enerji Üretimi	Varsayılan Kapasite Faktörü
Maine	12.4 kW/m	2782 MWh	% 50
Oregon	21.2 kW/m	4661 MWh	% 50
Washington	26.5 kW/m	4915 MWh	% 50
Hawaii	15.2 kW/m	4488 MWh	% 50

Bir diğerk açık deniz DEK sistemi uygulaması olan Point Absorber Wave Energy Converter (PAWEC-Nokta absorblayıcı Dalga Enerjisi Konvertörü), Danimarka'da Rambøll tarafından geliştirilmiştir. Su üzerinde batmadan yüzen ve polyester bir halat tarafından bağlanmış bir absorblayıcı dubadan meydana gelmektedir. Deniz üzerinde batmadan yüzen duba ile deniz dibindeki piston silindir mekanizmasının çalışması birbirine bağlıdır. Sistemin 1/10 ölçekli bir modeli, Danimarka Nissum Bredning'de üç ayı aşan bir zaman periyodu boyunca test edilmiş ve şu anda 2.5 m çapındaki 1/4 ölçekli model için açık deniz testleri yapılmaktadır. Şekil 2.122.'de test edilen 1/10 ölçekli modele ait gerçek görüntü verilmiştir.

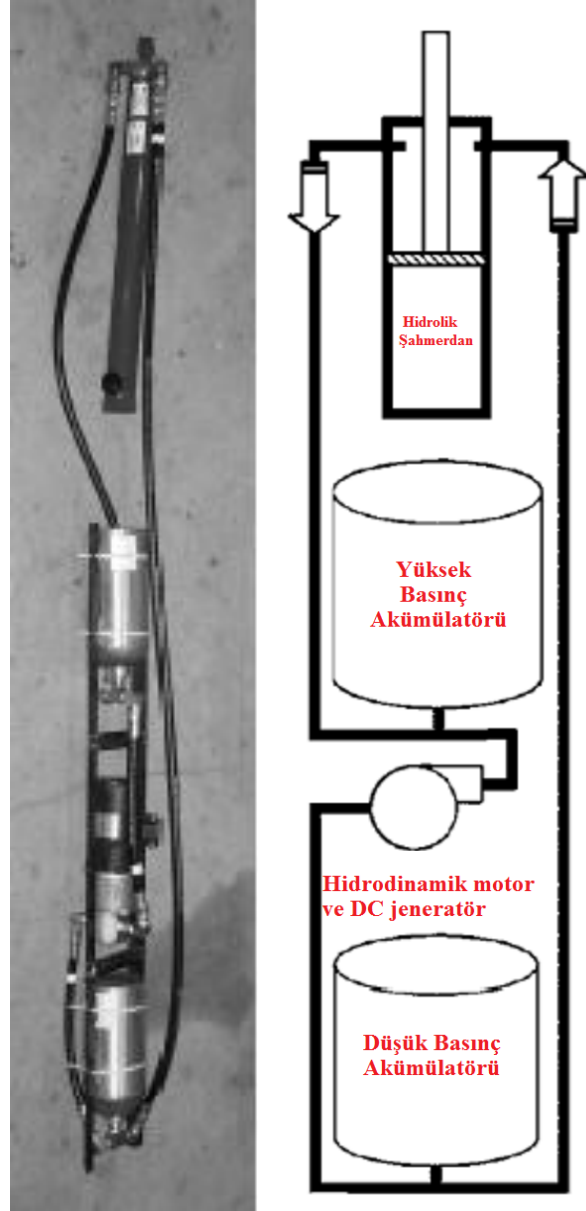


Şekil 2. 122. Nokta absorblayıcı dalga enerji konvertörüne ait test edilmiş olan 1/10 ölçekli prototip (Anonymous, 2010p)

Su üzerinde batmadan yüzen şamandıra, deniz dalgalarının etkisiyle meydana gelen seviye farkından dolayı aşağı yukarı yönde hareket (heaving) edecek ve bu sayede şamandıra ile pistonu birbirine bağlayan halat sayesinde ortak bir hareket oluşacak ve piston hareket etmeye başlayacaktır. Pistonun hareketi ile oluşan mekanik hareketin yarattığı basınç, türbinleri döndürecek ve bu sayede elektrik üretimi gerçekleşecektir. Şekil 2.123.'de sistemin final tasarımı ve kısımları, Şekil 2.124.'de ise güç çekme ünitesini oluşturan piston silindir mekanizması gösterilmiş ve kısımları ortaya konmuştur.



Şekil 2. 123. PAWEC sistemine ait final tasarımı ve kısımları (University of New Hampshire, TECH 797 Undergraduate Ocean Research Project 2008-2009)



Şekil 2. 124. Güç çekme ünitesini oluşturan piston silindir mekanizması ve kısımlarının şematik olarak gösterilmesi (University of New Hampshire, TECH 797 Undergraduate Ocean Research Project 2008-2009)

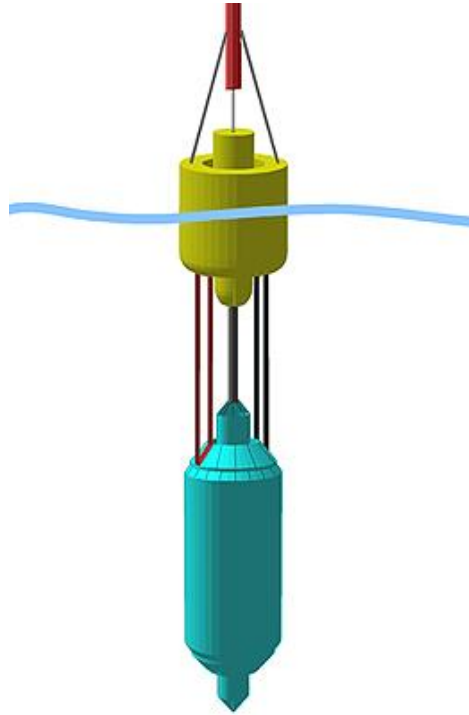
Bir diğer açık deniz DEK sistemi uygulaması ise WaveBob'dur. WaveBob, İrlandalı bir şirketin fizikçisi olan William Dick tarafından 1999 yılında kurulmuştur. Şirketin geliştirmiş olduğu eşsiz sistem "WaveBob" olarak adlandırılmış ve bu sistem okyanus dalgalarından temiz bir şekilde ve yenilenebilir bir enerjiyi çok büyük miktarlarda üretebilmiştir. Şirket, özellikle son on yılda bu sistemin araştırılması ve geliştirilmesi için çok önemli olan yatırımlar yapmış ve şu anda bu sistem dalga enerjisi teknolojileri için iddialı bir hale gelmiştir.

WaveBob, su üzerinde serbest bir biçimde batmadan yüzen axi-simetrik bir nokta absorblayıcı konvertördür. Bu cihaz tipinde, anlık dalga hareketi için ayarlanmış ve patenti alınarak kullanılan bir sistem söz konusudur. Bu sistem, cihazın doğal rezonans frekansını, yüzen kısımda çekilme olmadan değiştirebilmektedir. Buna ek olarak, güç çekme ünitesinde kullanılan dijital kontrol sistemi, cihazın söntümlenmesinde dinamik olarak değişimlere izin vermektedir. Ayrıca, cihazın gerçek zamanlı olarak çalışmasının ayarlanmasında da kullanılabilir. Kullanılan teknoloji ile ilgili olarak WaveBob tarafından verilen bilgi sınırlıdır. Buna karşın, bu sistemin potansiyel olarak rekabet edebilecek seviyede olabileceği görülmektedir. Şekil 2.125.'de çalışmakta olan WaveBob gösterilmiştir. Şekil 2.126.'da ise yapısı şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilde çizilen mavi çizgi su seviyesini göstermektedir. WaveBob için çalışma prensibi incelendiğinde; temelinde yüzen şamandıra cihazı için dalga iklimine ve ortam koşullarına karşı kendini maksimum güç üretebilecek seviyede ayarlayıp karşılık verebilmesi gelir.



WAVEBOB

Şekil 2. 125. Çalışmakta olan bir WaveBob açık deniz dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2010r)



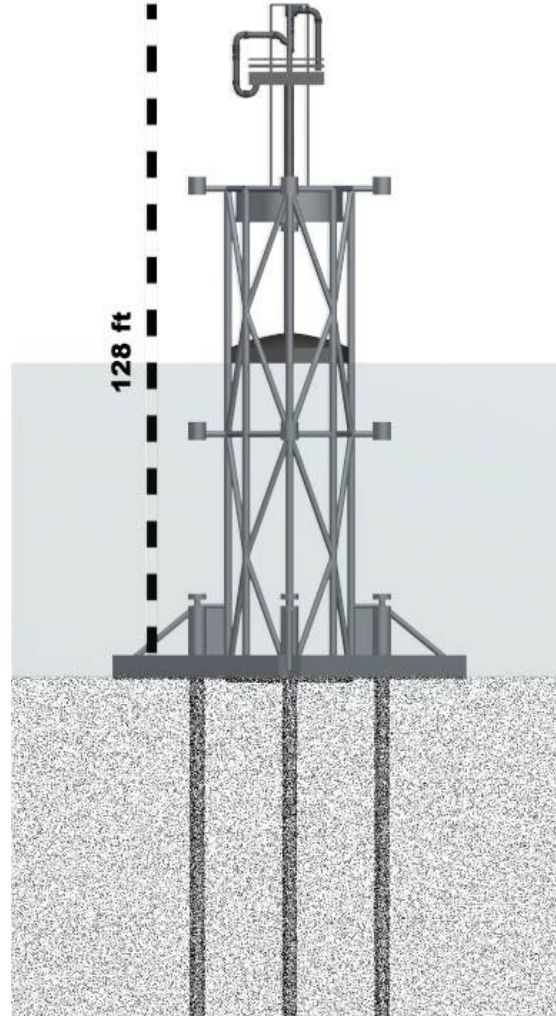
Şekil 2. 126. WaveBob'a ait şematik görüntü ve sistemin yapısı (Anonymous, 2010r)

WaveBob, diğer aşağı yukarı hareket (heaving) yapan şamandıraların çalışamayacağı frekanslarda çalışabilir. Yüksek dalgalara ve uzun periyotlara karşılık verebilir. Çok büyük dalgalardan, faydalı bir biçimde enerji elde edebilir. WaveBob için doğal çalışma frekansı, okyanus dalgalarının frekansına çok yakın ve uyumludur. Bu da dalgalarda enerjiyi absorbe etmesini kolaylaştırır. Düşük çalışma ve bakım maliyetlerine sahiptir ve aynı zamanda kullanıma elverişlidir. Su altı için herhangi bir araç gerece ya boş bir havuza gereksinimi yoktur. Ortalama elektrik gücü 500 kW değerindedir ve ayrıca Kuzey Atlantik'te bunun daha da artması beklenmektedir. Çizelge 2.15.'de ise WaveBob'a ait yapısal özellikler ortaya konmuştur.

Çizelge 2. 15. WaveBob'a ait yapısal özellikler (Previsic, M., 2004)

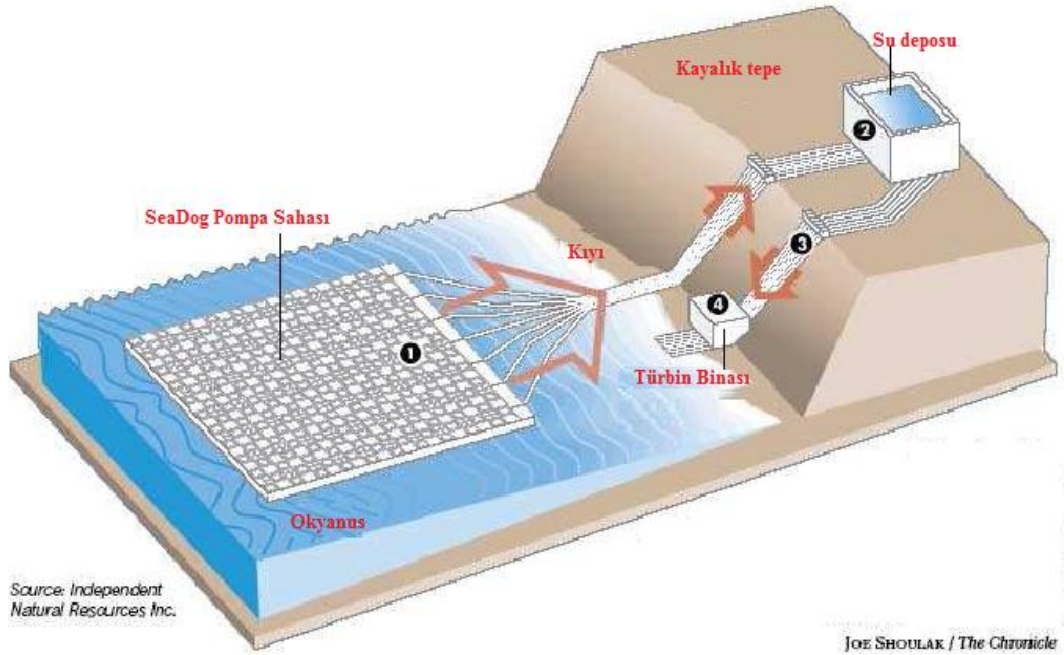
Şamandıra Çapı	15 m
Su Altında Kalan Kısmı	30-40 m
Çelik Yapısının Ağırlığı	440 ton
Güç Değeri	Ortalama 500 kW
Su Derinliği	> 50 m
Güç Çekme Ünitesi	Çürüyüp çevrede ayrışabilen akışkan kullanarak standart yağ hidroliği

Independent Natural Resources Ltd. (Bağımsız Doğal Kaynaklar) tarafından geliştirilen ve WaveDog olarak adlandırılan dalga enerjisi konvertörü de açık deniz DEK sistemlerine örnek olarak verilebilir. Bu teknoloji, enerjiyi temiz ve çevre dostu biçimde elde etmemizi sağlamaktadır. Bu sistem, okyanus dalgaları ve gelgitlerinin sahip olduğu enerjiyi kullanılabilir mekanik enerjiye dönüştürür. SeaDog pompası bir nokta absorblayıcı dalga enerjisi konvertörü çeşididir. Şekil 2.127.'de SeaDog dalga enerjisi konvertörünün konsepti şematik olarak gösterilmiştir.

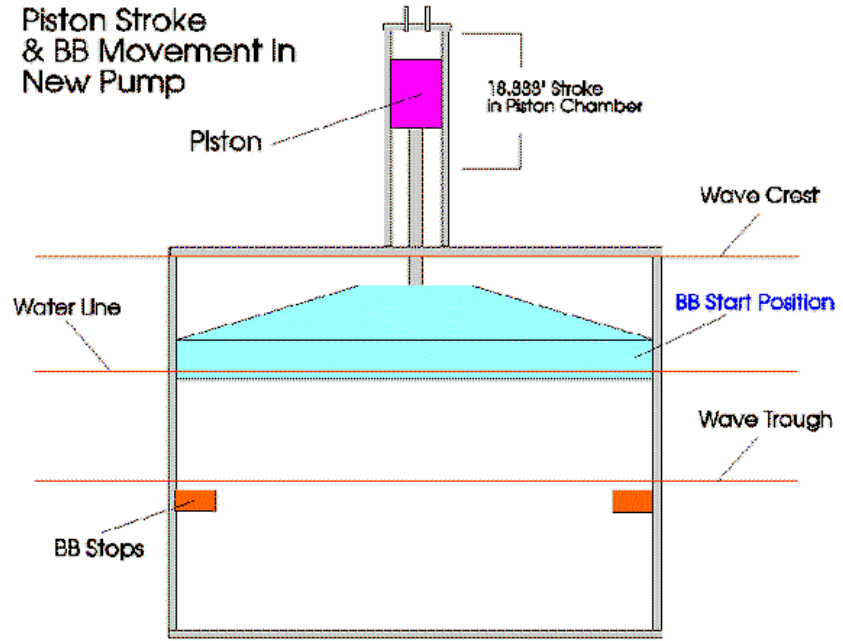


Şekil 2. 127. SeaDog dalga enerjisi konvertörünün konsepti (Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference San Francisco, California, USA, May 28-June 2, 2006)

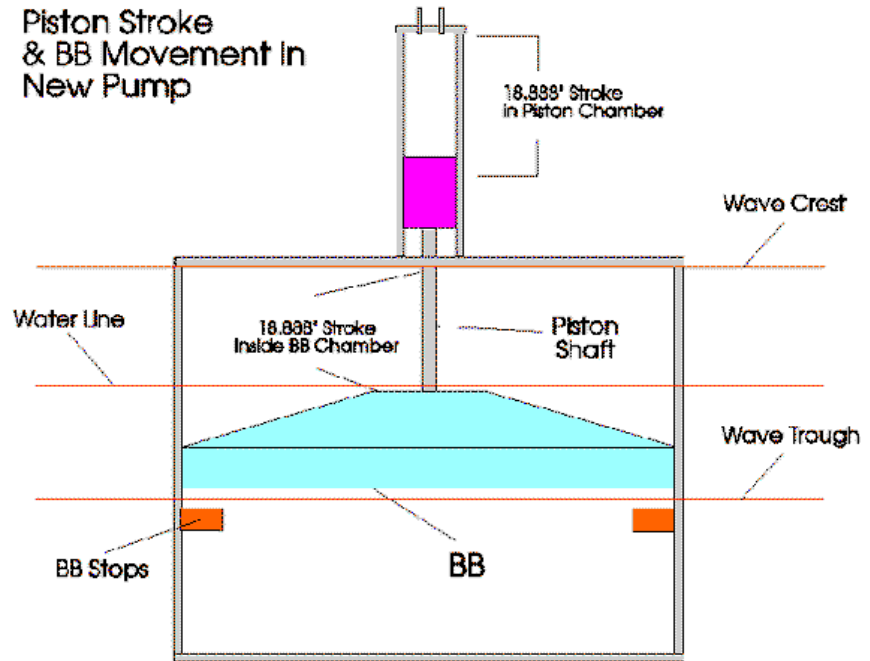
Seadog, su üzerinde batmadan taşıyabileceği hacimdeki suyu gaz, likit veya bunların kombinasyonları ile pompalayarak dalga enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümünü sağlamaktadır. Seadog ile açık denizden başarıyla çekilen su aşağı iner ve sıkıştırılarak yukarı çıkar. Pompalanan su, borular aracılığıyla kıyadaki depolama yerine gönderilir. Depolama yerinden aşağı bırakılan su, sahip olduğu potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürür ve türbin binasından geçerek oradaki türbinleri döndürür ve bu dönme hareketi jeneratöre verilerek sistemin bu şekilde temiz ve yenilenebilir bir biçimde elektrik enerjisi üretmesi sağlanır. Şekil 2.128.'de ise SeaDog'a çalışma prensibi detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 2.129. ve Şekil 2.130.'da ise SeaDog pompasının çalışma prensibi, pistonun yukarıda ve aşağıda olduğu konumlar için ayrı ayrı şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.131.'de ise Şubat 2007'de Mexico Gulf'te başarılı bir şekilde denizde denemesi yapılan SeaDog prototipi gösterilmiştir.



Şekil 2. 128. SeaDog DEK sisteminin çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008)



Şekil 2. 129. SeaDog pompasına ait çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (piston yukarıda) (Anonymous, 2010s)

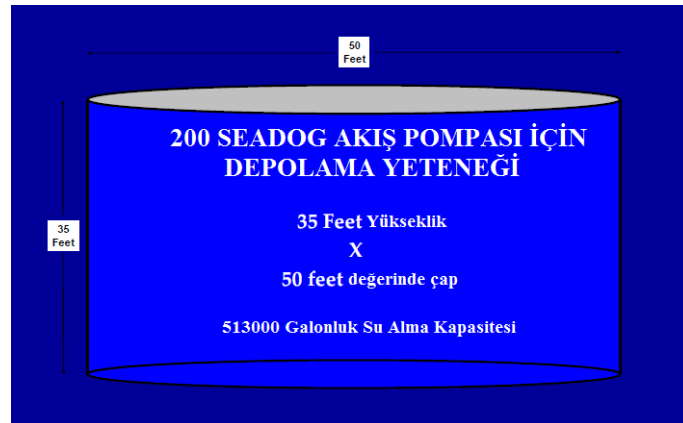


Şekil 2. 130. SeaDog pompasına ait çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (piston aşağıda) Anonymous, 2010s)



Şekil 2. 131. Şubat 2007'de Mexico Gulf'te başarılı bir şekilde denizde denemesi yapılan SeaDog prototipi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008)

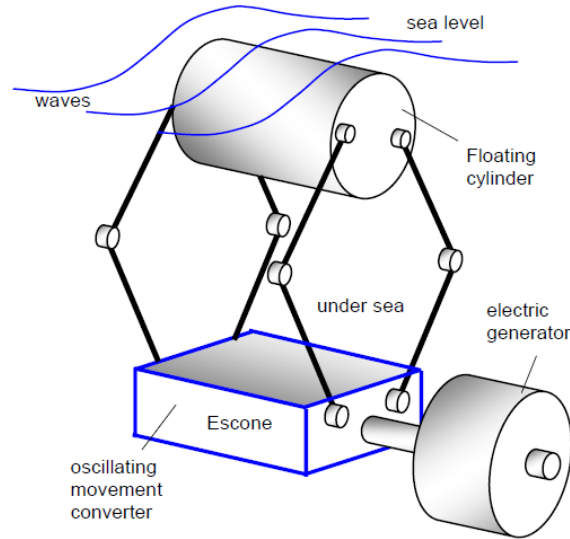
Bu konu ile ilgili olarak daha önceki literatürü taradığımız zaman, 200 adet SeaDog pompası için gerekli alan ve depolama kabiliyeti ile sayısal verilerin ortaya konduğunu görebiliriz. Okyanus zemininde 1875 feet . 1875 feet (yaklaşık olarak 80 acre = 80 . 0,404 hektar = 32,32 hektar) genişliğinde yer kaplar. Depolama ünitesi 35 feet yüksekliğe ve 50 feet çapa sahiptir. 513000 galonluk sıvı alma kapasitesine sahiptir. Bu özellikler Şekil 2.132.'de gösterilmiştir.



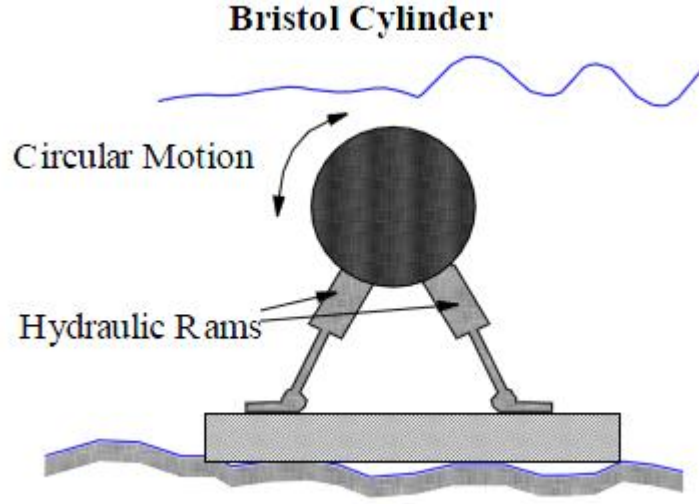
Şekil 2. 132. 200 SeaDog için depolama ünitesine ait ölçüler ve kapasitesi (Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008)

SeaDog, tutarlı bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik ve deniz suyundan tuz çıkarma teknolojileri hazır durumdadır. Çevreyle dosttur, temiz bir şekilde çevreyi kirletmeden enerji elde edebilmektedir. Fosil yakıt kullanımını gerektirmezler. Ticari olarak uygulanması için gereksinimleri normaldir. Multifonksiyonal (çok fonksiyonlu) bir sistemdir. Deniz suyundan tuz çıkarma, güç üretimi, motor soğutma, hava iklimlendirme ve hava basıncı ile ilgili birkaç uygulaması olmak üzere birçok fonksiyonu vardır. Fosil yakıt kullanmadan doğru bir biçimde deniz suyundan enerji çekmemizi sağlar.

Bir diğer açık deniz DEK sistemi uygulaması Bristol Silindiri olarak adlandırılan uygulamadır. Bristol silindiri, dalga hareketine bağlı olarak su üzerinde kalarak batmadan yüzen bir silindirden meydana gelir. Bu silindir, enerji ünitesine elastiki bağlantılar ve çubuklar aracılığı ile mekanik olarak bağlıdır. Çubuklar, silindirin hareketiyle yavaşça hareket eder ve mekanizmanın karşılıklı olarak devam eden bu hareketi akslar yardımıyla dönüştürme ünitesine transfer edilir. Esko Raikano tarafından bulunan ve Escone olarak adlandırılan dönüştürme ünitesi, sistemin kalbi gibi düşünülebilir ve sistemin karşılıklı olarak bu şekilde çalışması; yüksek verimle elektrik enerjisi üretmek için tasarlanmış bir jeneratörün türbin şaftına doğrudan bağlanmasıyla dönme hareketini verir ve mekanik enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm manyetik alan sayesinde gerçekleşir. Enerji ünitesi için uygun olacak düşük hızla çalışan bir jeneratöre ihtiyaç duyulmaktadır. Mekanik kollar aracılığı ile dönüştürücüye hareketi transfer etme işlemi ve dönme hareketi, jeneratöre mümkün olan en yüksek derecede verimle aktarılmalıdır. Bristol silindiri, sualtında Şekil 2. 133.'de gösterildiği gibi çalışır. Bu şekilde yukarıda anlatılan çalışma prensibi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 2.134.'de ise başka bir açıdan su altındaki görüntüsü şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2. 133. Bristol Silindiri'nin yapısı ve çalışma prensibi (Rodrigues, L.,2010)



Şekil 2. 134. Bristol Silindiri'nin sualtındaki şematik görünümü (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

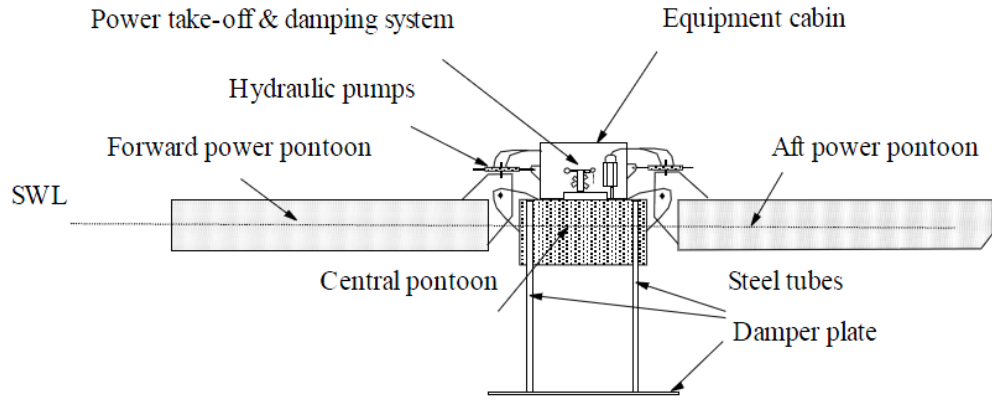
İki ya da daha fazla sayıda Bristol Silindiri, beraber çalışacak şekilde paralel olarak bağlanabilir. Aynı zamanda yakın kıyıda dalga parkı oluşturulması mümkün olabileceği gibi açık denizde rüzgar gücü üniteleri de bağlanarak beraber çalışmaları sağlanabilir. Açık deniz uygulamalarında dönüştürücü (yüzen kısım) parçaları su seviyesinin üzerinde yer alabilir ve kolektörün dönmesi su yüzeyinin hemen aşağısında olabilir. Dalga enerjisi kolektörünün bu metodunun uygulanması için gerekli patentlerin Finlandiya'da alınması planlanmaktadır.

Açık deniz uygulamalarına verebileceğimiz bir diğer örnek, McCabe Wave Pump (McCabe Dalga Pompası) olarak adlandırılan DEK sistemi olabilir. 1980 yılında Peter McCabe tarafından tasarlanan cihaz üzerinde, daha sonra hem teorik (McCormick, 1998) hem de deneysel olarak çalışılmıştır. 1996 yılının Ağustos ayında 40 metre uzunluğunda bir prototip, İrlanda County Clare'da Kilbaha sahilinde konuşlandırılmış ve yeni bir cihazın kanıtlanması için çalışmalar şu anda başlatılmış durumdadır.

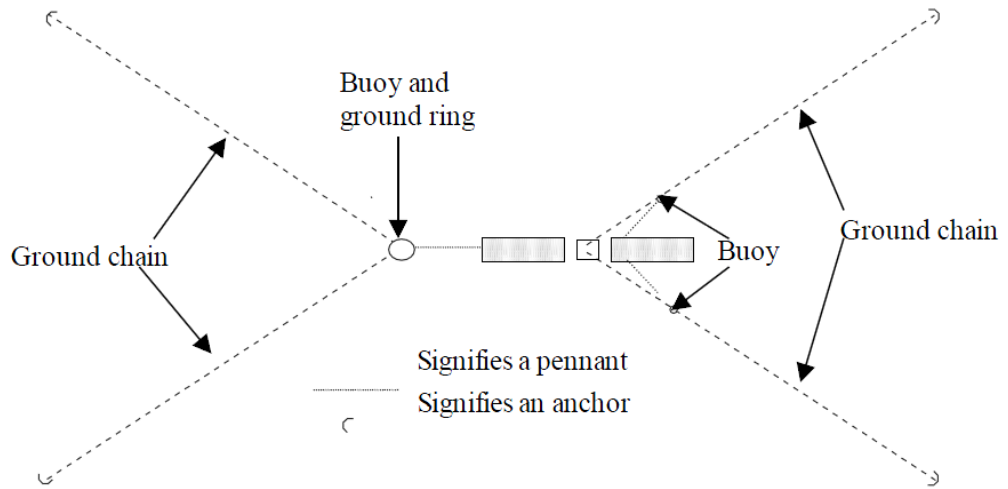
Cihaz, Şekil 2.135.'de gösterilen dikdörtgen şeklindeki üç adet dubadan meydana gelmektedir ve bunlar karşılıklı yer alan kirişe birlikte menteşelenmiştir. Bu dubalar, gelen dalgalara karşı baş kısımları uzunlamasına doğru olacak şekilde hizalanmış durumdadırlar. Ön tarafta yer alan iki duba, yay ile gevşek bir şekilde kilitlemiştir ve arka tarafta yer alan iki duba bu kısma eklenmiştir. Bu durum Şekil 2.136.'da gösterilmiştir. Dubaların bu şekilde yerleştirilmesi sistemin, denizden dubaların baş kısmı üzerine gelen dalgalara karşı çeşitli şekillerde hizalama yapılabilmesine izin verebilmektedir.

Üç duba, gelen dalgalarla birlikte birbirine göre bağlı hareket yapmaktadır. Merkez dubaya, plan için gerekli boyda amortisör tabakası (sönümleyici) eklenmiştir. Bu eklenti, merkez dubanın ataletini (eklenen kütleinin etkisiyle) arttırmaktadır. Bu sebepten ötürü ön ve arka dubalar, merkez dubaya bağlı olacak şekilde menteşelerinin yakınında dönme hareketi yaparlar. Meydana gelen bu dönme hareketinin, menteşelenmiş noktalarda yerleştirilmiş olan ve merkez dubalarla diğer iki dubanın arasında yer alan lineer hidrolik şahmerdanlara verilmesi ile enerji elde edilmiş olur.

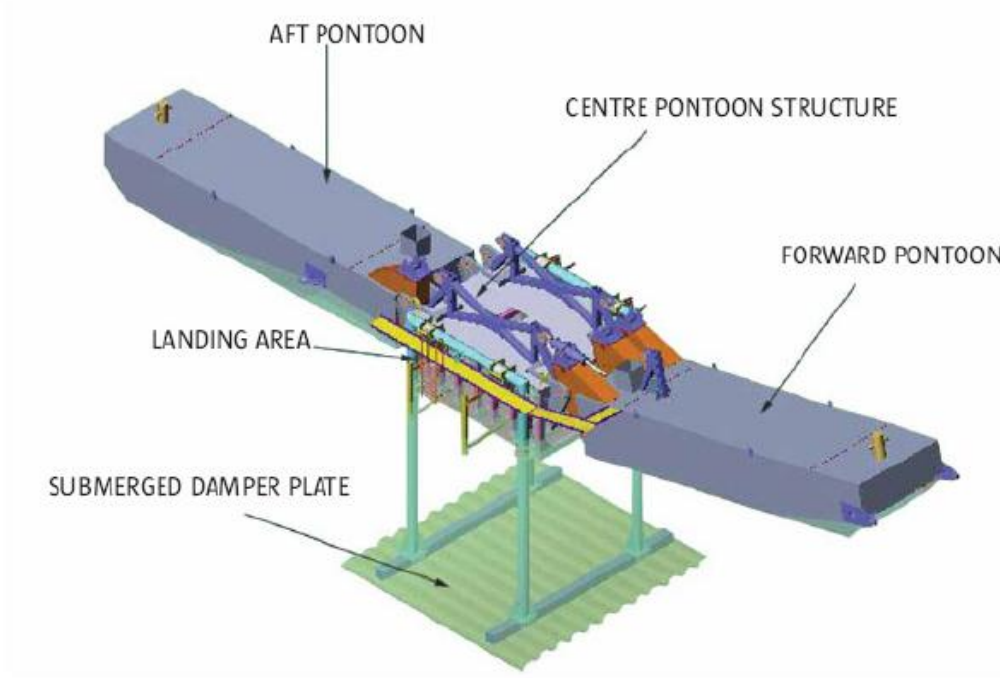
Hidrolik sistem karakteristiklerinin kontrol edilmesine izin veren cihaz, enerji elde edilmesini optimum seviyede ayarlayabilecek deniz yerleşimine sahiptir. Şekil 2.137.'de ise McCabe Dalga Pompası'na ait üç boyutlu model gösterilmiştir.



Şekil 2. 135. McCabe Dalga Pompasının taslak görünümü (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)



Şekil 2. 136. McCabe Dalga Pompasının demirleme şeması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

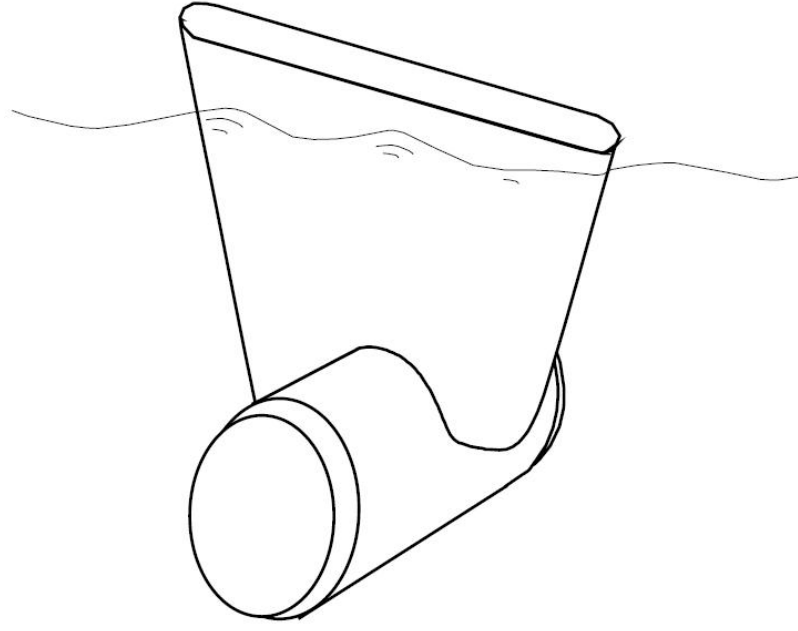


Şekil 2. 137. McCabe Dalga Pompası'na ait üç boyutlu model (Polaski, 2003)

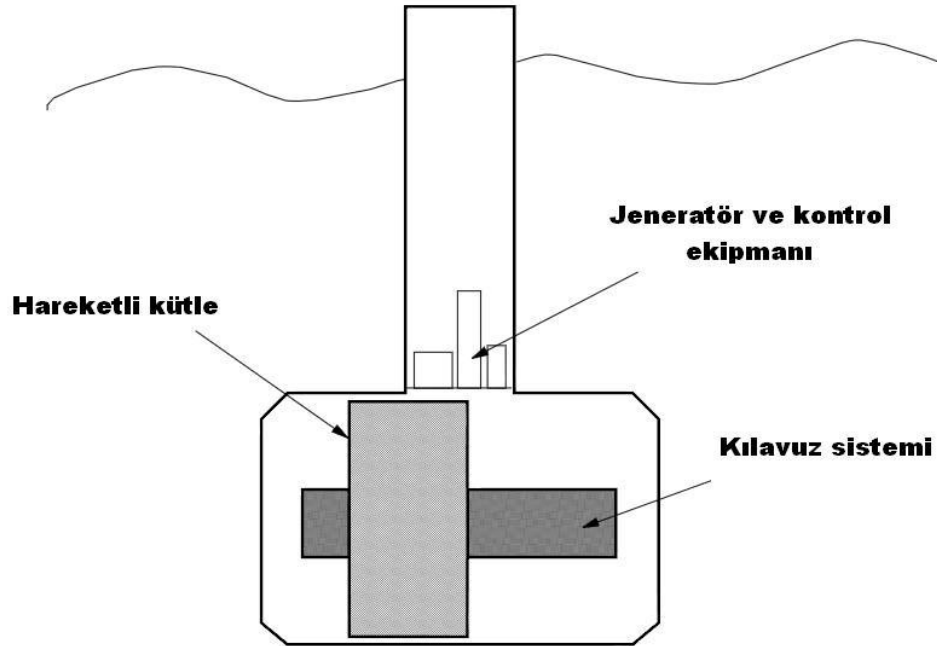
Lancaster Üniversitesi'nin mühendislik tasarımı çalışmaları sonucu ortaya çıkmış yeni bir cihaz olan PS Frog, açık deniz tipi DEK sistemlerinden biridir. Bu cihaz üzerinde yapılan mühendislik çalışmalarında, cihazın surging (ileri-geri) ve pitching (bir eksen etrafında dönme) hareketlerinin bir kombinasyonu olarak çalışması geliştirilmiştir. Öncelikle, cihazın çıkış gücü için maliyetlendirme ve deneme çalışmalarına yönelim olmuştur (Lancaster Üniversitesi, 1988). Daha sonra yapılan çalışmalar ise, cihazın tasarımının optimize edilmesi üzerine olmuştur (French, 1991). Cihazın hidrodinamiği anlaşılmış (Bracewell, 1990) ve en iyi verimin alınabileceği şekilde cihazın yapılandırması belirlenmiştir (Folley, 1991).

Cihaz, UK Dalga Enerjisi Araştırmaları'nın bir parçası olarak değerlendirilmiştir. Cihazın gelişme evreleri diğer DEK cihazlarına oranla daha erken olmuştur ama yine de gelecek için en umut verici cihazlardan biri olarak görülmektedir.

Orjinal Frog cihazı, kürek şeklinde üst kısma eklenmiş silindirik alt kısımdan oluşmuştu. Bu durum Şekil 2.138.'de gösterilmiştir. Şekil 2.139.'da ise PS Frog'a ait şematik görünüm verilmiştir.

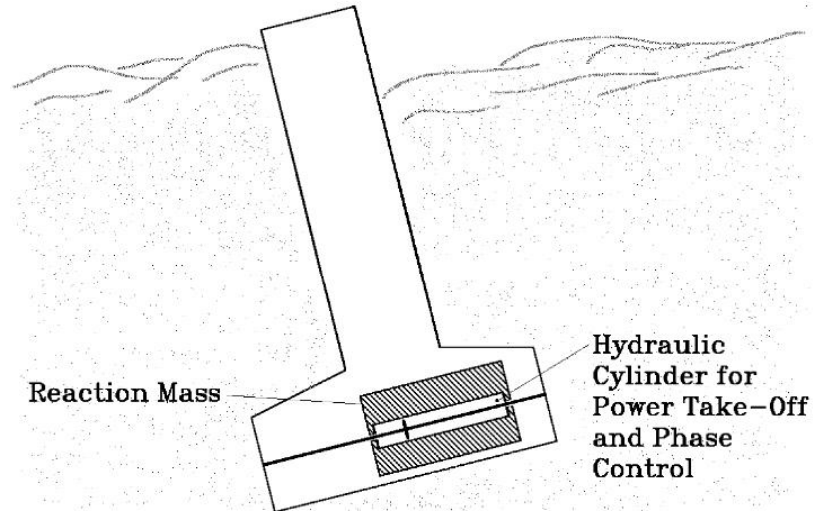


Şekil 2. 138. PS Frog'a ait taslak görüntüsü (genel görünüm) (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

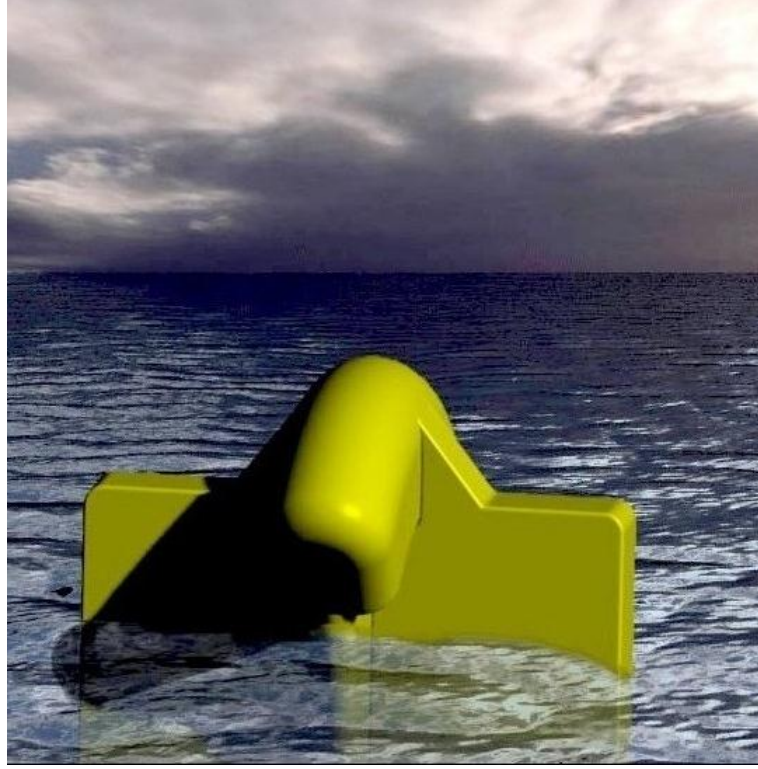


Şekil 2. 139. PS Frog'a ait şematik görünüm ve yapısı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

Su yüzeyinde kalarak çalışan üst kısım formları, mekanik ve elektriksel tüm teçhizatın dahil olduğu bir reaksiyon kütesinden meydana gelen ve daha alt tarafta kalan kısımdaki gövdeyi hareket ettirir. Eğer bu kütle olmasaydı cihaz, dalgaların hareketine karşı pasif kalacaktı ve güç elde edilemeyecekti. Hidrolik şahmerdanlar kütleli hareket ettirir ve yüksek basınçlı yağ aracılığıyla enerji elde edilebilmesini mümkün kılar. Bu yağ bir akümülatörü besler ve oradan da bir hidrolik motor elektrik jeneratörünü besler. Elde edilen elektrik, kıyıya esnek denizaltı kabloları aracılığıyla iletilir. Şekil 2.140.'da bir PS Frog cihazının çalışma konsepti gösterilmiştir. Şekil 2.141.'de ise PS Frog'a ait üç boyutlu görüntü şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2. 140. PS Frog'a ait cihaz konsepti (Bracewell, R.H., 1990)

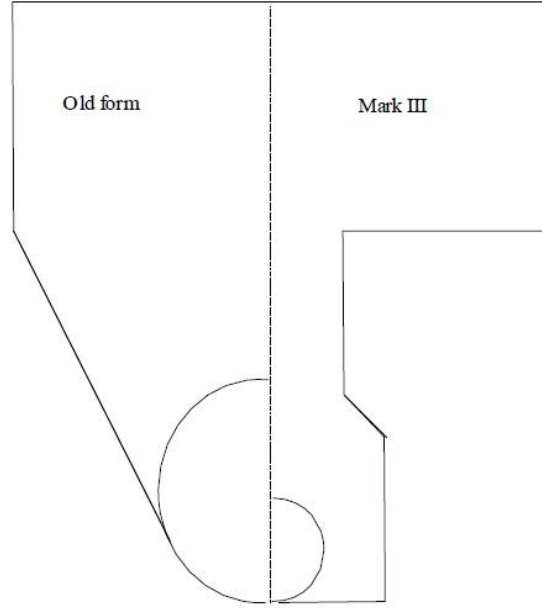


Şekil 2. 141. PS Frog'a ait üç boyutlu şematik görüntü (Anonymous, 2010t)

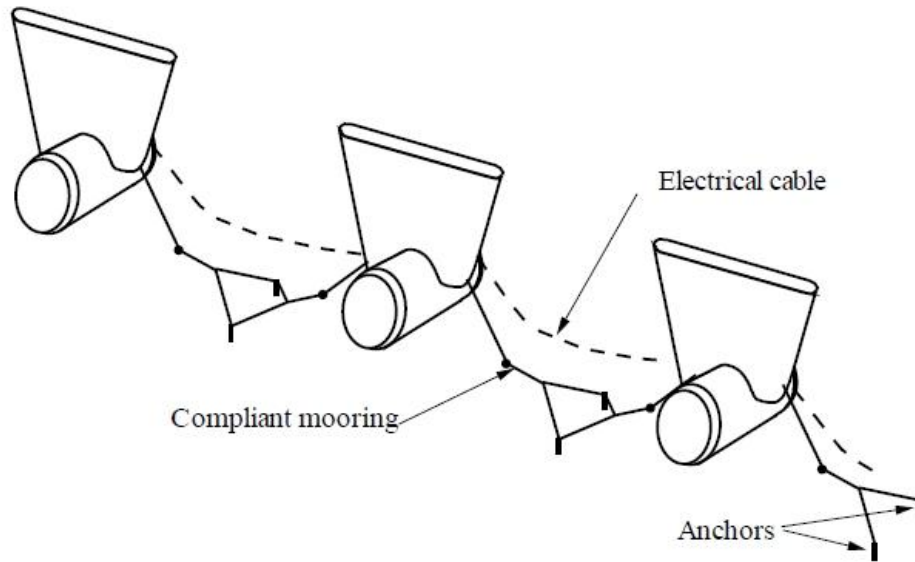
Cihazın şekli üzerinde gerçekleştirilen yeni modifikasyon (Mark III) ile pedal kısmı önceki haline göre daha büyük duruma gelmiş ve 21 m civarındaki dalgalara karşılık verebilen bir yapıya kavuşmuştu. Bu durum Şekil 2.142.'de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu şekilde eski PS Frog tasarımı ile Mark III'e ait PS Frog tasarımının geometrik olarak karşılaştırılması da gösterilmiştir. Cihazın bu şekli radyasyon (yayıma) katsayısını düşürmüştür ama basıncın merkezindeki efektif genliğinin artmasına sebep olmuştur. Buna bağlı olarak sistem, daha küçük bir kayma kütesinin kullanımına izin vermektedir.

Mark III Frog cihazı, 12 mm kalınlığında kaynaklanmış çelik kabuktan (dip kısma 24 mm yakınlıkta) meydana gelen bir yüzücü kısımdan oluşmaktadır. Yeniden tasarlanan cihazda, daha küçük reaksiyon kütesinin kullanılması çelik yapının toplam ağırlığının % 50 oranında azalmasına izin vermiştir. Cihaz, deniz dibine uyumlu olacak demirleme (kilitleme) bağlantılarıyla bağlanmıştır. Cihazın bu şekilde bağlanması, büyük hareketlerde cihazın zarar görmesinin önlenmesine izin vermiştir. Cihaz, denizde istenilen su derinliğinde istenilen genişlikte dizilebilir ama optimum derinliğin 40 m

olduğu düşünölmektedir. Şekil 2.143.'de gösterildiği gibi cihazlar lineer bir şekilde dizilebilir ve bu cihazların toplam çıkış güçleri kıyıya transfer edilerek birleştirilebilir.



Şekil 2. 142. Eski PS Frog tasarımı ile Mark III Frog tasarımının geometrik olarak karşılaştırılması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

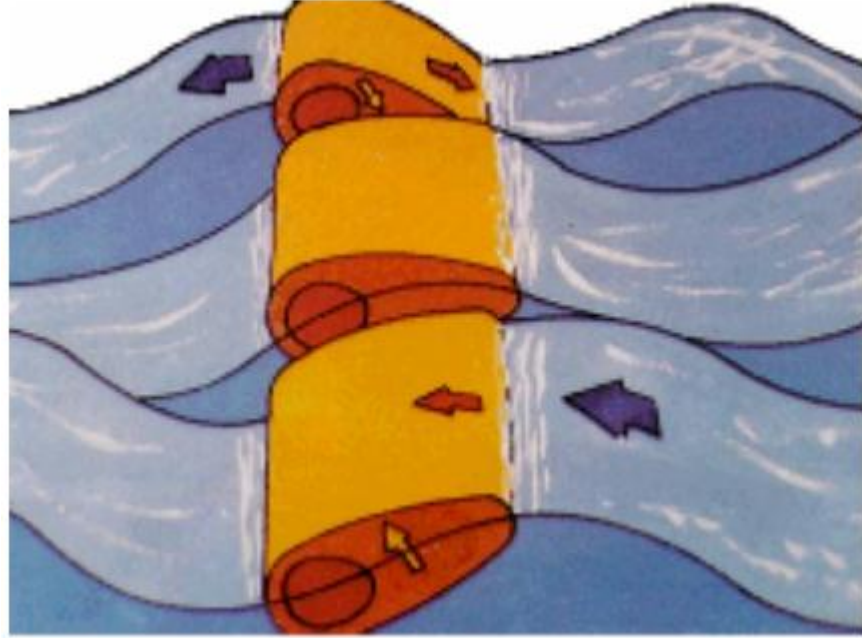


Şekil 2. 143. Eski PS Frog cihazlarının dizilişii (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

Cihaz, surging (ileri-geri) ve pitching (bir eksen etrafında dönme) hareketlerinin bir kombinasyonu olarak hareket eder. 400 ton ağırlığındaki bir reaksiyon kütlesi, bu iki hareket çeşidinin kombinasyonu olacak şekilde kılavuz rayları üzerinde ileriye ve geriye doğru hareket etmeye çalışır. Bununla birlikte kayma, her iki yan taraf için de hidrolik şahmerdanlar tarafından kontrol edilir. Cihaz aşağıdaki bu üç yoldan biriyle çalışabilir:

- Şahmerdan hareketsiz bir durumda iken kapatılıp tutulursa,
- Yüksek basınçlı bir yağ sistemine bağlanıp sistem yukarı doğru şarj edilerek hareketi sağlanırsa,
- Düşük basınçlı bir yağ sistemine bağlanıp cihazdaki kütlenin hareketi için küçük direnç gerektirmesi sağlanırsa.

Açık deniz DEK sistemlerine verebileceğimiz örneklerden birisi de okyanus dalgalarından mekanik enerji elde edilmesini sağlayan ilk metotlardan biri olan ve 1970’li yıllarda İskoçya’da Edinburgh Üniversitesi’nden Profesör Stephan Salter tarafından bulunan Duck sistemidir. Bu sistem, o dönemde yaşanan petrol krizi koşullarına bir karşılık olarak ortaya konmuştur. Çünkü yaşanan petrol krizi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji krizi, insanları alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi, dalga enerjisi ile ilgili araştırmaların seyrini yaşanan bu petrol krizleri ve alternatif enerji arayışları yönlendirmiştir. Şekil 2.144.’de Salter’in Duck sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 144. Salter’in Duck sistemi (Rodrigues, L.,2010)

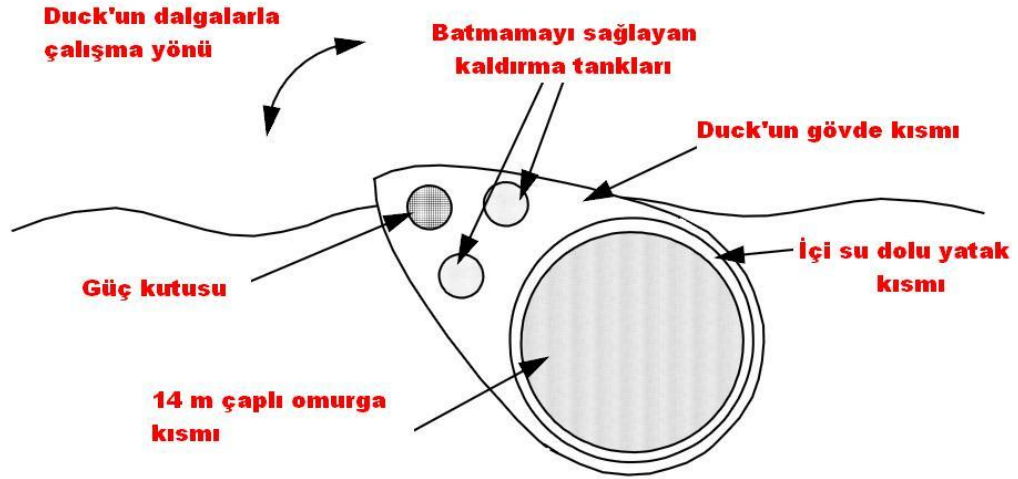
Dubanın hareketinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi zordur çünkü sistemin salınımları çok yavaştır. Uygun materyal ve dalga kaynaklarının kullanımının, mümkün olan en iyi verimle ortaya konulması için çalışmalar devam etmektedir. Ancak her şeyden önce, cihaz asla denizde konuşlandırılmamıştır çünkü karmaşık hidrolik sistemi artan uygulamalar için uygun değildir ve tam ölçekli cihaz için maliyet ve risk değerleri yüksek olmuştur.

Yapılan absorblama testlerinde kullanılan prototiplerin çoğu için elde edilen kullanılabilir dalga gücü değerleri çok düşük miktarlarda idi ve sonuç olarak kütle / güç oranı değerleri teorik olarak hesaplanan maksimum değerlerinden çok uzakta kalmıştır.

UK Dalga Enerjisi'nin izlenimine göre Duck'a ait iki tasarım olduğu ortaya konmaktadır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

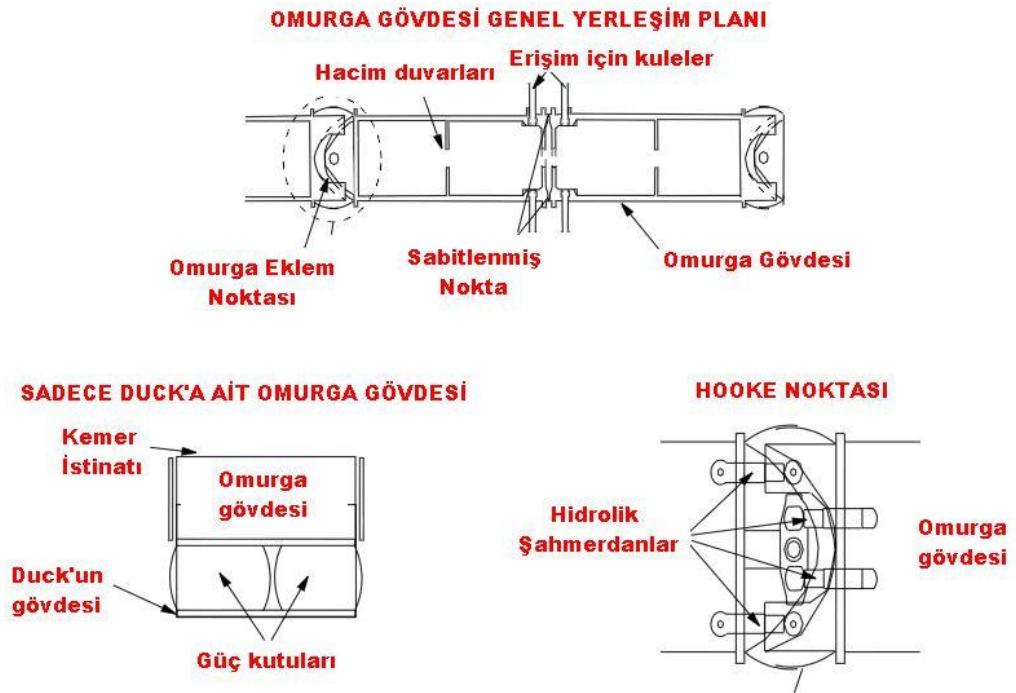
- UK Dalga Enerjisi Programı (ETSU, 1985) altında geliştirilen 1983 Duck (Edinburgh, 1979).
- Dalga enerjisi alanındaki araştırmaların ilerlemesi ve gelişmesine bağlı olarak ortaya çıkan geliştirilmiş tasarım olan 1991 Duck.

Cihazın 1983 tasarımı için 2 GW'lık bir Edinburgh Duck dalga gücü projesi, su seviyesinden 100 m derinlikte esnek urganlar tarafından demirlenmiş (kilitlenmiş) ve her biri 54 adet yüzen beton silindir yada omurga bölümünden meydana gelen 8 adet sırt dizisinden oluşmaktadır. Bu durum Şekil 2.145.'de ortaya konmuştur.

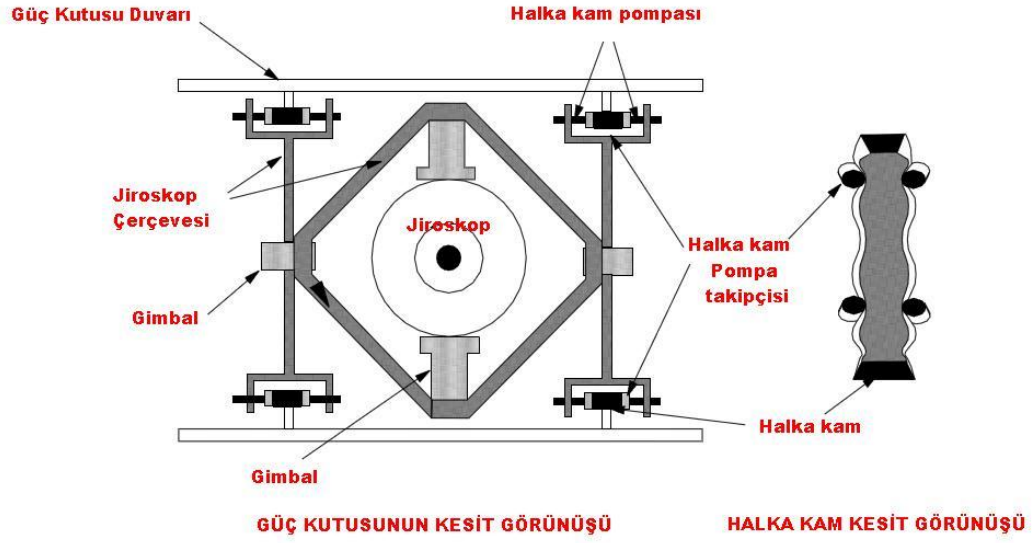


Şekil 2. 145. 1983 Edinburgh Duck'a ait şematik görüntü ve Duck'ın kısımları (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

İki Duck gövdesinin her biri, birbirine omurga kısımlarından kemer (kayış) istinatı tarafından bağlanmıştır. Bu bağlantı Duck'un omurga kısmı etrafında dönebilmesine izin vermektedir ve buna bağlı olarak Şekil 2.146.'da gösterildiği gibi dalgalara karşılık verebilmektedir. Hidrolik şahmerdanlar, omurga bölümlerinin her biri arasında takılı durumdadır ve böylece fırtınalı durumlarda omurganın esnek olarak davranabilmesine izin verebilmektedir. Her Duck gövdesi, iki adet bağımsız güç kutusundan oluşur ve bunların her biri düşük basınç koşullarında tamamiyle ana mekanik ve elektriksel planın kontrolü altındadır. Bu durum Şekil 2.147.'de gösterilmiştir. Güç üretmek amacıyla Duck'un yapacağı eğilme hareketi, belli bir referans ekseninde bulunan iki adet jiroskop tarafından gimbal yapısındaki çerçeveye sabitlenmiş her bir güç kutusu ile sağlanır.



Şekil 2. 146. 1983 tasarımı Duck gövdesine ait ana özellikler (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

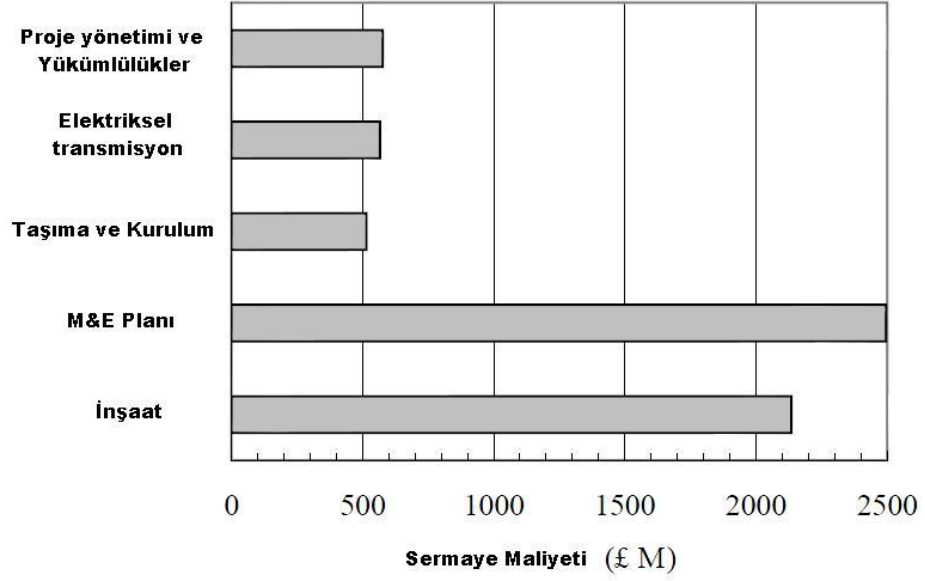


Şekil 2. 147. 1983 tasarımı Duck için güç kutusu ve halka kam için kesit görüntüleri ve kısımları (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

1983 tasarımı Duck, teknik açıdan değerlendirilecek olursa tasarımı ile ilgili potansiyel problemleri ortaya çıkmıştır ve bu problemler çözüldüğü zaman cihaz teknik açıdan daha da ilerleme sağlamış olacaktır.

1983 tasarımı Duck, ekonomik açıdan ele alınacak olunursa; maliyet, çalışma karakteristikleri ve enerji üretim maliyetleri gibi parametreler üzerinden Edinburgh takımı tarafından değerlendirilmiş ve kısaca aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

2 GW'lık proje için cihazın Güney Uist'in batısında uygun bir şekilde konuşlandırılması için toplam parametrik maliyet her bir Duck için 6.3 ile 7 M£ arasında bir değerdedir. Şekil 2.148.'de bu değeri oluşturan parametrelerin dağılım grafiği verilmiştir. Bu proje kapsamında yıllık çalışma ve bakım maliyetleri toplam olarak 197 M£ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. 148. 1983 tasarımı Duck için maliyet parametreleri ve dağılımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

1983 tasarımı Duck beklentilere göre düşük düzeyde olarak değerlendirilmiş ve Edinburgh takımı cihaz üzerinde iyileştirmeler yapmak üzere çalışmalara başlamıştır. Cihaz üzerindeki tartışmalar üzerine cihazın güç projesi üzerinde değişiklikler yapılmış ve geliştirilen bu cihaz “1991 Duck” olarak adlandırılmıştır.

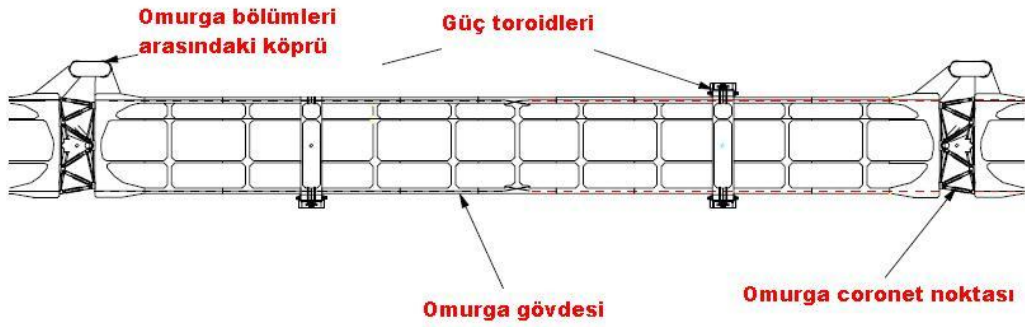
1983 Duck cihazı üzerinde yapılan bazı değişiklikler ve buna bağlı olarak meydana gelen iyileştirmeler sayesinde cihaz, 1991 Duck haline gelmiştir. Cihaz üzerinde yapılan ana değişiklikleri kısaca aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Onarım için omurgaya erişim
- Güç kutusunun yenisiyle değiştirilmesi
- Halka kam pompa tasarımı üzerindeki iyileştirmeler
- Güç kutusu şaftının tasdik edilmesi
- Omurga noktasındaki hidrolik şahmerdanların geliştirilmesi

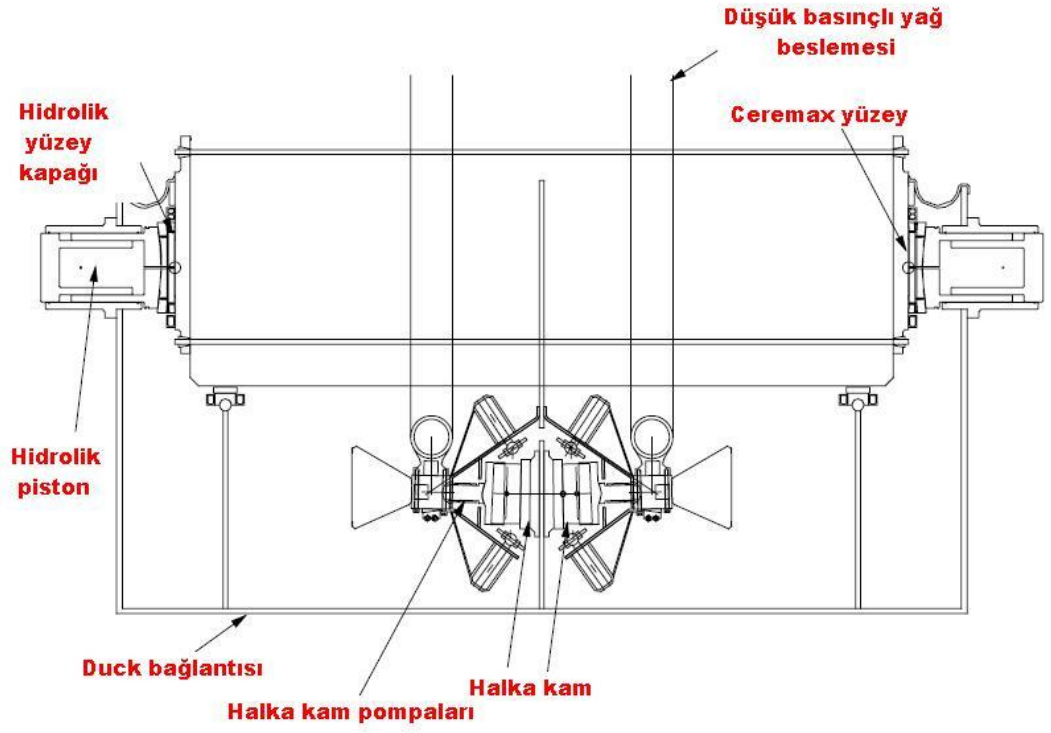
Edinburgh takımının dalga enerjisi incelemeleri sonrasında cihaz için belirlediği eksiklikler ve problemler hızla ele alınarak, Duck'un radikal bir şekilde yeniden tasarlanması için çalışmalara başlanmıştır (Salter, 1993). Meydana gelen bu olaylar son zamanlarda meydana gelen değişiklikler ile 1998 Duck olarak adlandırılan cihaz tipinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu cihazda üç önemli alanda değişiklikler göze çarpmıştır.

- Elektriksel transmisyon kablosunun yönlendirilmesi
- Güç çekme ünitesi
- Hooke noktaları arasındaki omurga bölümleri

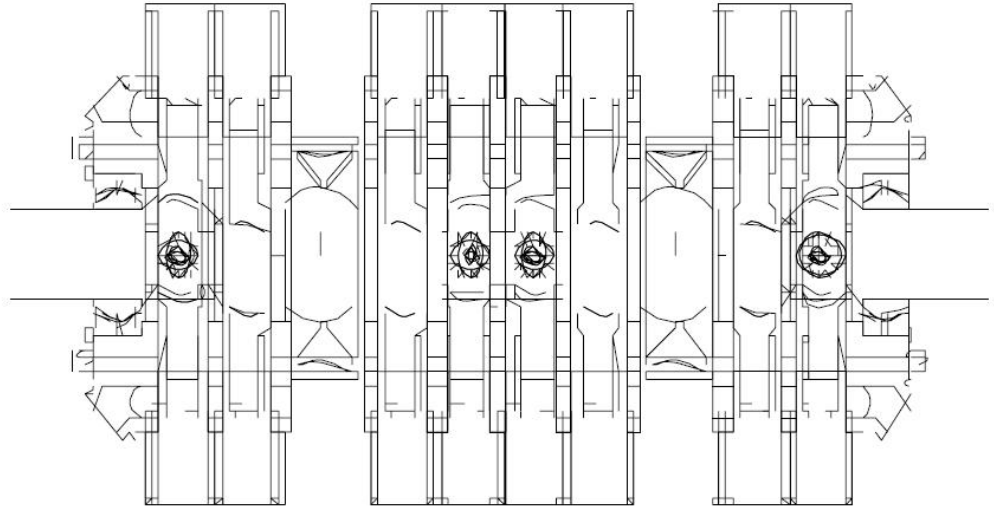
Şekil 2.149.'da 1998 Duck'a ait yeni gövde tasarımı gösterilmiştir. Şekil 2.150.'de 1998 Duck için güç toroidinin tasarımı gösterilmiştir. Şekil 2.151.'de ise "Wedding Cake" olarak adlandırılan hidrolik ünite gösterilmiştir. Omurga bölümlerinin coronet montajı ise Şekil 2.152.'de gösterilmiştir.



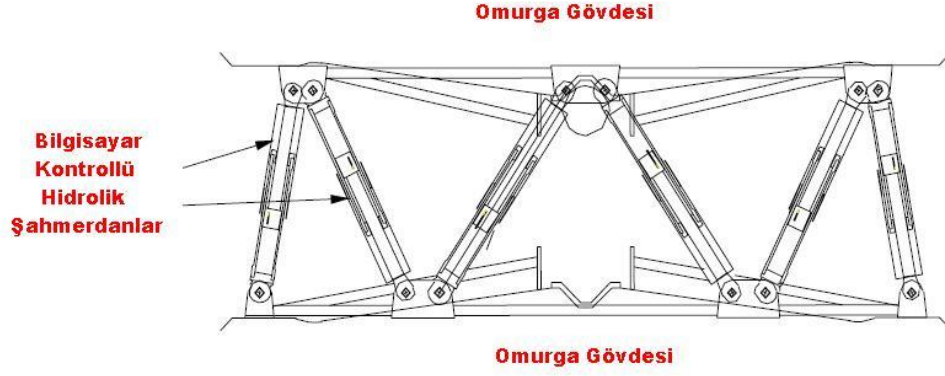
Şekil 2. 149. 1998 Duck'a ait yeni gövde tasarımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)



Şekil 2. 150. 1998 Duck için güç toroidinin tasarımı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

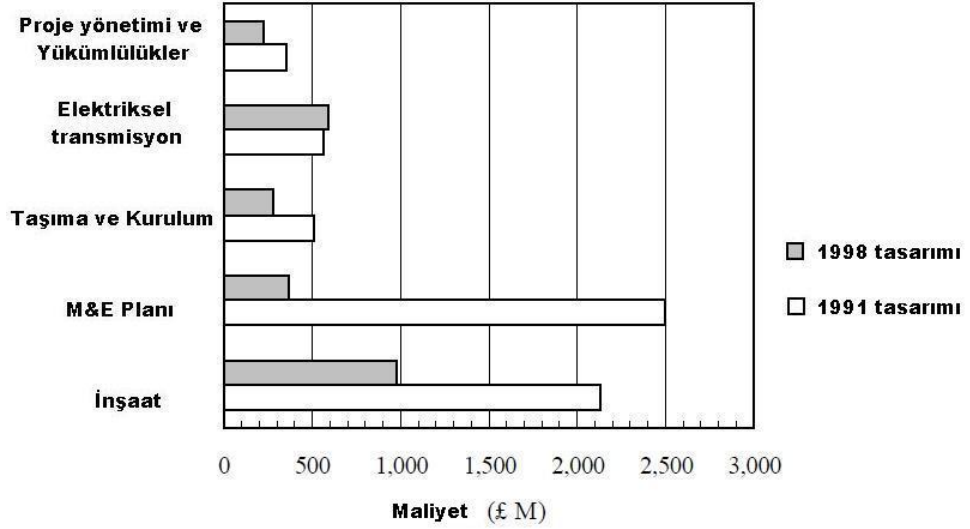


Şekil 2. 151. 1998 Duck için "Wedding Cake" olarak adlandırılan hidrolik ünite (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)



Şekil 2. 152. 1998 Duck için omurga bölümlerinin coronet montajı (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

Şekil 2.153.'deki grafikte ise 1991 Duck tasarımı ile 1998 Duck tasarımı ekonomik parametreler cinsinden aynı grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekilde de görülebileceği gibi 1991 tasarımı beyaz, 1998 tasarımı koyu gri çizgilerle gösterilmiştir. 1998 tasarımının tüm parametreler için baskın olarak daha az maliyetli olduğu aşağıdaki grafikten anlaşılabilir. İnşaat açısından maliyetin yaklaşık olarak yarıya düştüğü, M&E Planı maliyetinin yaklaşık olarak beşte birine düştüğü grafikten yüzeysel olarak okunabilir.



Şekil 2. 153. 1991 Duck tasarımı ile 1998 Duck tasarımı ekonomik parametreler cinsinden karşılaştırılması (Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999)

2.3. DEK Sistemlerinin Enerji Dönüşüm Sistemine Göre İncelenmesi

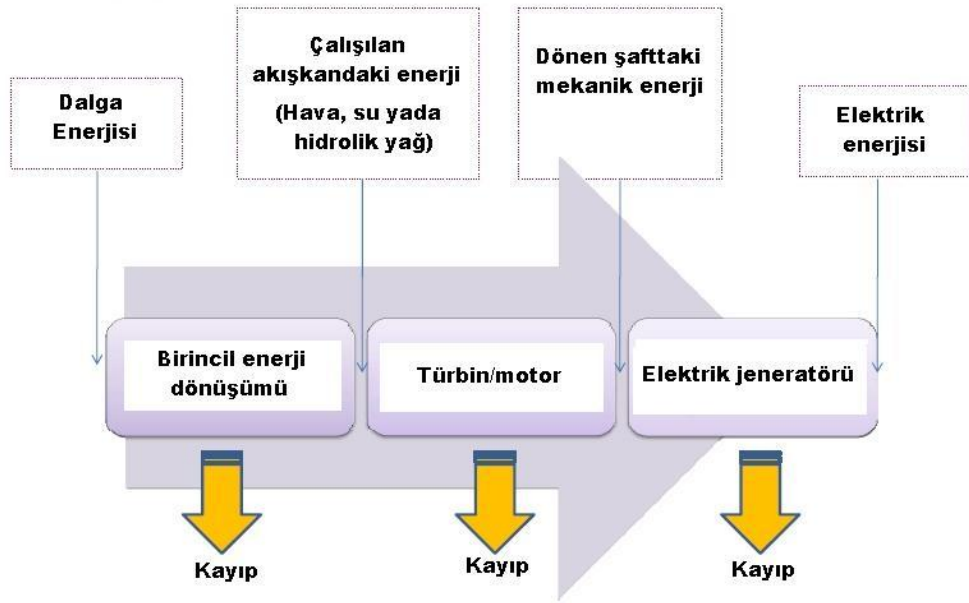
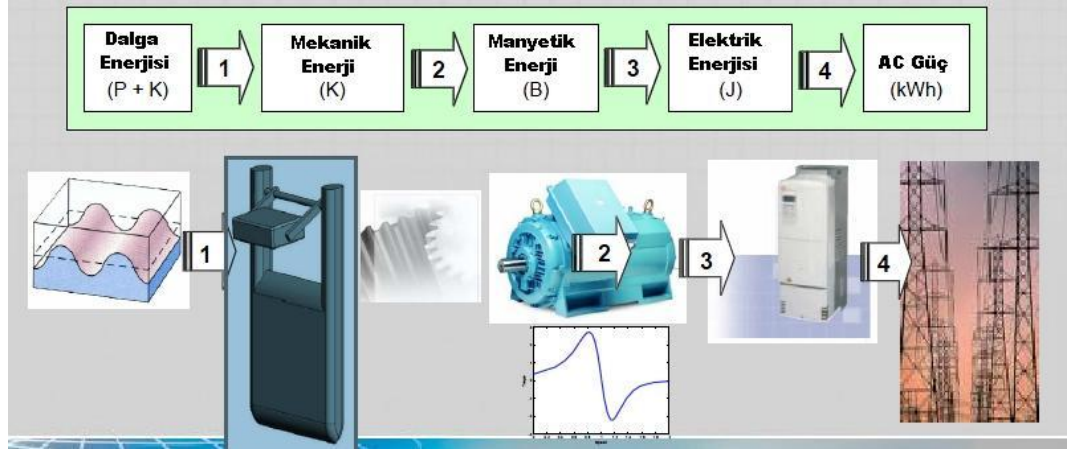
Bu bölümde, deniz dalgalarının sahip olduğu okyanus dalga enerjisinin nasıl kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüğü detaylarıyla ve örnekleriyle açıklanmıştır. Bu dönüşümün aşamaları ve sırası üzerinde açıklamalar yapılmıştır.

Deniz dalgası, iki tip enerji yoğunluğuna sahiptir. Bunlardan ilki dalganın yüksekliğinden yani konumundan dolayı sahip olduğu potansiyel enerjidir. İkincisi ise dalganın hareketinden yani hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerjidir. Bu iki enerji çeşidinin bileşkesi ise bize mekanik enerjiyi vermektedir. Mekanik enerji, potansiyel ve kinetik enerjinin toplamıdır.

Deniz dalgasının sahip olduğu bu enerjinin kullanılabilir elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamamız için deniz dalgasının sahip olduğu hareketin ve potansiyelin, bir dalga enerjisi konvertörü (DEK) ile daha düzenli bir hareket haline çevrilmesi gereklidir. Bu düzenli hareket, bir pistonun hareketi ya da bir kanalda ilerleyen havanın hareketi olabileceği gibi bir yay hareketi de olabilir. Ancak bu hareket, hangisi olursa olsun ortak noktalarının dalganın sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjinin tümünün mekanik enerjiye dönüştürüleceği olduğu unutulmamalıdır.

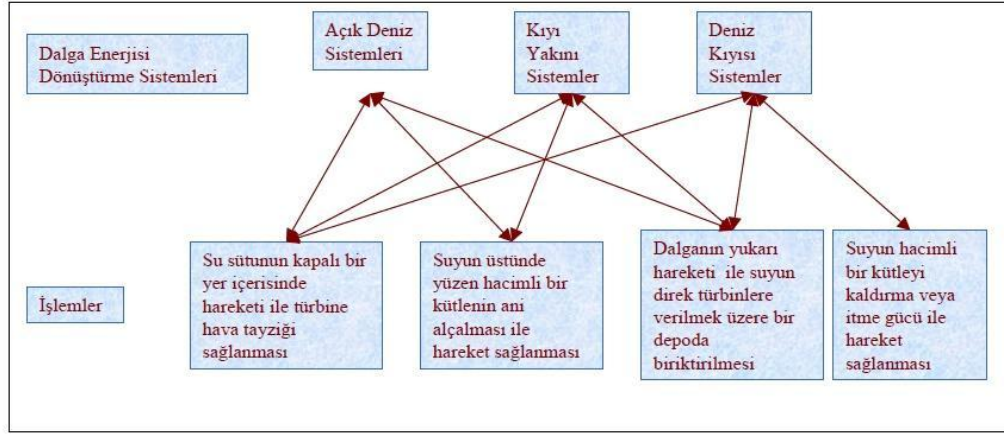
Deniz dalgasının düzensiz olarak nitelendirebileceğimiz hareketi, yukarıda bahsedildiği gibi düzenli bir harekete çevrildikten ve mekanik bir enerjiye dönüştürüldükten sonra, sıra bu mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde etmeye gelir. Bu dönüşüm ise mekanik enerjinin önce manyetik enerjiye dönüştürülmesi ile olur.

Manyetik enerji ise daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Manyetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi genellikle bir jeneratör tarafından sağlanır. Bir jeneratörde, dönen bir cismin kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Deniz dalgasının düzensiz hareketi, düzenli formda bir türbinin dönmesini sağlayacak harekete çevrilebilir ve türbinin bu dönme hareketi de jeneratöre verilebilir. Üretilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanılabilmesi için doğru akıma çevrilmesi gerekir. Doğru akıma çevirme işlemi de tamamlandıktan sonra ürettiğimiz enerji, elektrikli cihazları çalıştıracak standartlara ulaşmış olur. Şekil 2.154.'de, yukarıda anlatılan dönüşüm işlemleri sırasıyla gösterilmiş ve akış şeması çizilmiştir.



Şekil 2. 154. Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretimini açıklayan akış şeması (Alister ve Ngoc, 2007)

Kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi gibi sistemler yapısal olarak farklılıklar göstermelerine rağmen, enerji dönüşüm sistemleri açısından incelendikleri zaman benzer noktalarla da karşılaşılabilir. Şekil 2.155.'de dalga enerjisi için mevcut sistemler (yerleşim tipine göre) ve gerçekleşen işlemler ortaya konmuş ve aralarındaki bağlantılar oklar yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 2. 155. Dalganın enerjisi için mevcut sistemler ve işlemler (Sağlam, M., Uyar, T.S., 2010)

2.3.1. Dalga Enerjisi Dönüşüm Teknikleri

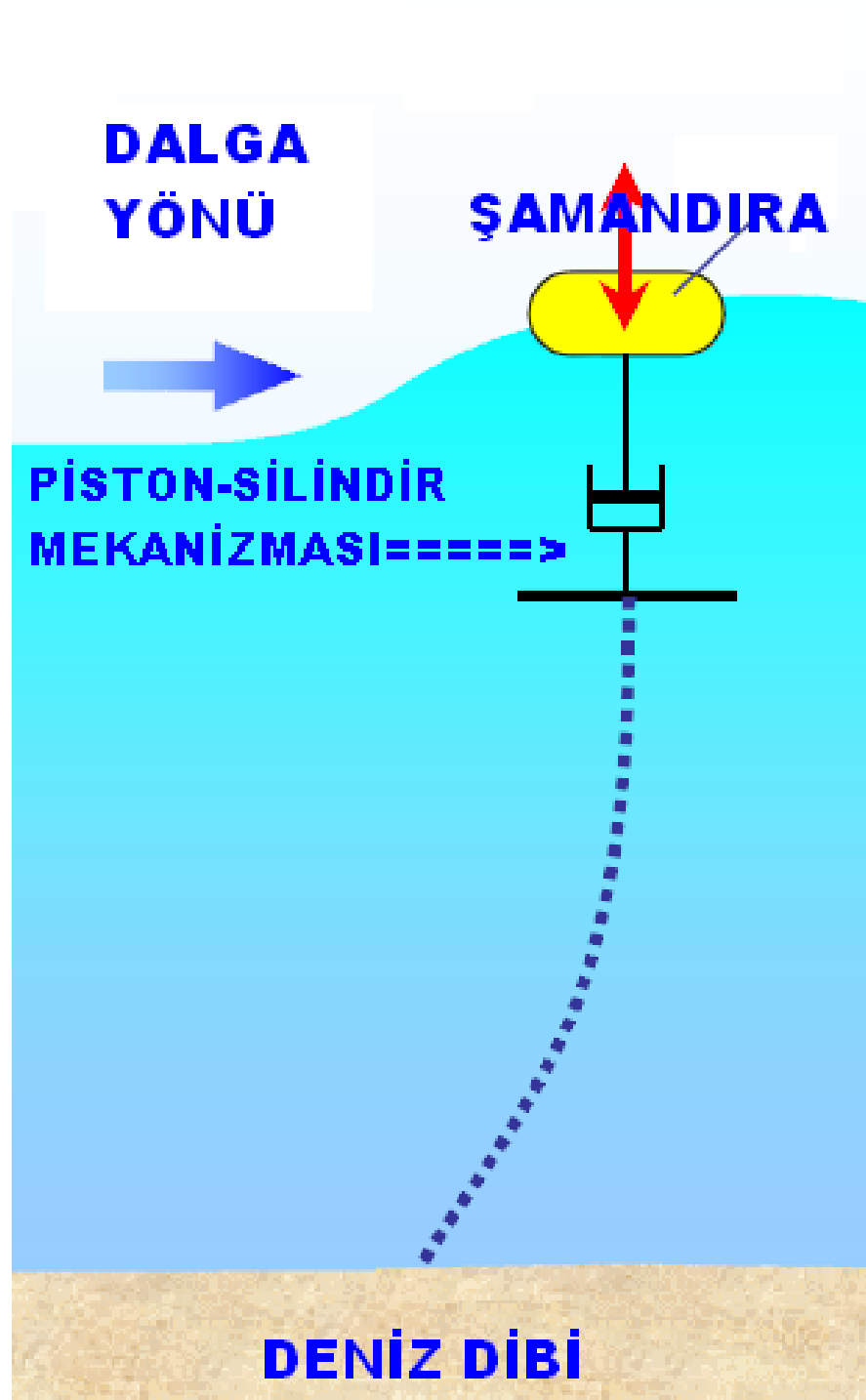
Daha önceki bölümlerde, DEK sistemleri yerleşim tiplerine göre kıyı, yakın kıyı ve açık deniz uygulamaları olmak üzere ayrılarak üç ana başlık altında incelenmişti. Her uygulama şekli için ayrı ayrı ve bolca örnekler vermeye çalışılarak bu örnekleri detaylı olarak inceleyip görsellerle desteklemeye çalışılmıştı.

Bu bölümde ise daha önce anlatılan bu sistemlerin enerji dönüşüm teknikleri üzerinde durulmuştur. Bu bölümde, DEK cihazları belirli enerji dönüşüm prensiplerine göre sınıflandırılarak örneklerle anlatılmaya çalışılmıştır. Dalga enerjisi dönüşüm tekniklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

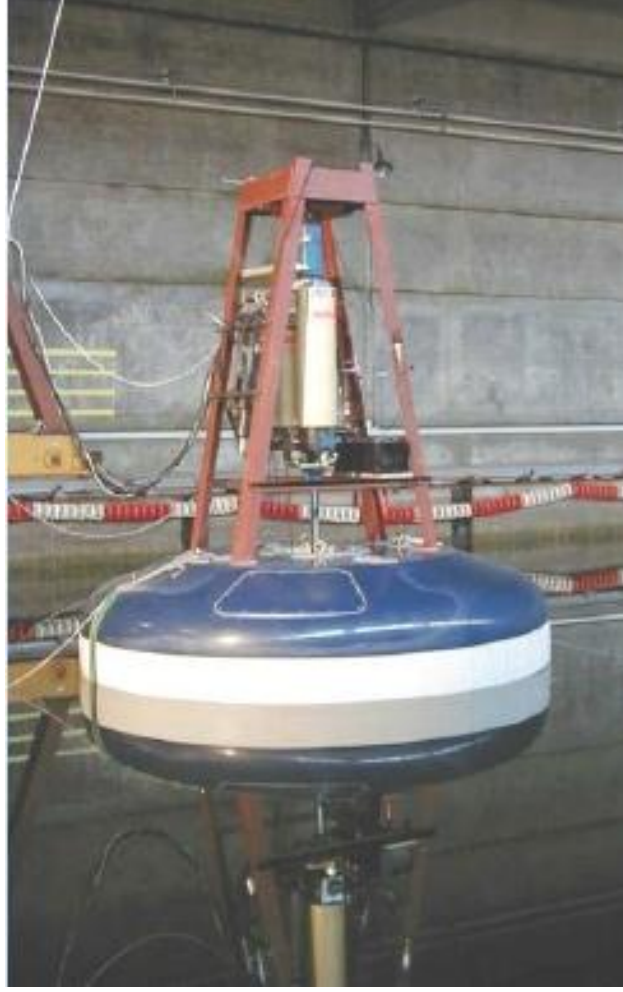
- Heaving (kaldırma hareketi yada aşağı yukarı hareket eden) cihazları
- Surging (ileri-geri hareket) cihazları
- Pitching (belli bir eksen etrafında dönme hareketi yapan) cihazları
- Oscillating Water Column (salımlı su kolonu) cihazları
- Overtopping (aşırma) cihazları
- Yukarıda sıralananlardan birine dahil edemeyeceğimiz cihazlar

Heaving (kaldırma hareketi ya da aşağı yukarı hareket eden) cihazları için çalışma prensipleri sade ve basittir. Genellikle bu tip sistemlerde, su seviyesinde kalarak batmadan yüzen bir şamandıra bulunur. Bu şamandıra değişen su seviyesiyle beraber su seviyesindeki yerini korumak için aşağı yukarı hareket eder. Oluşan bu dairesel hareket bir piston silindir mekanizmasında bulunan hava, yağ vb. bir akışkanın sıkıştırılmasını sağlar ve bu sıkışmanın yarattığı basıncın etkisiyle elektrik üretmek için çalışan bir jeneratöre bağlı durumda bulunan türbin döndürülür. Bu şekilde dumanın yarattığı doğrusal hareket dönme hareketine çevrilir ve jeneratörde oluşan manyetik alan ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Cihazın bu şekilde çalışmasını açıklayan şematik görünüm Şekil 2.156.'da verilmiştir.

Şekil 2.157.'de Danimarka Rambøll'da açık denizde 1:10 ölçekli prototipinin testleri yapılmış olan OPT cihazının 2.5 m çaplı ve 1:4 ölçekli test modeli gösterilmiştir.

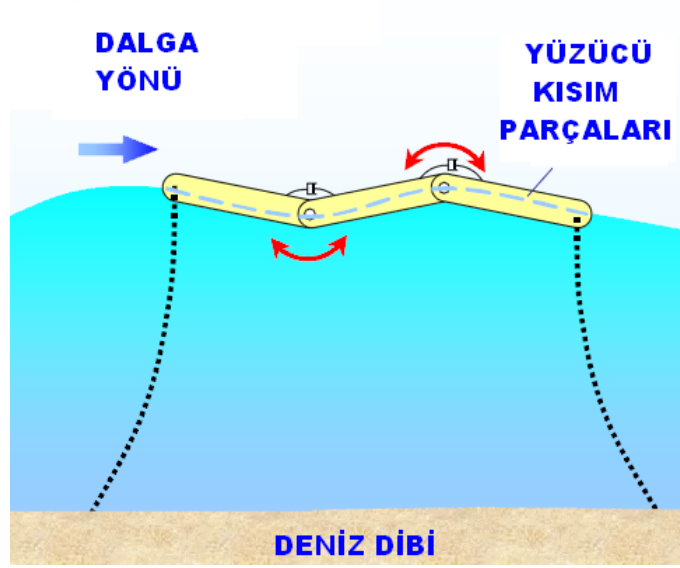


Şekil 2. 156. Heaving enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Koføed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)



Şekil 2. 157. Heaving enerji dönüşüm şekline göre çalışan OPT cihazının 1:4 ölçekli modeli (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)

Pitching (belli bir eksen etrafında dönme hareketi yapan) enerji dönüşüm prensibine göre çalışan cihazlara verilebilecek en iyi örnek Pelamis'tir. Pelamis, daha önce de anlatıldığı gibi birbirine eklemlerle bağlanmış bir su yılanı gibi düşünülebilir. Deniz seviyesindeki dalgalanmalara bağlı olarak ek yerlerinde meydana gelecek bükülmelerden kaynaklanan hareket, piston silindir mekanizmasını çalıştırır ve bundan sonraki aşamalarda daha önce anlatmış olduğumuz gibi elektrik enerjisi üretilir. Bu çalışma prensibinin şematik görünümü Şekil 2.158.'de verilmiştir. Şekil 2.159.'da ise bu prensibe göre çalışan Pelamis DEK cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2. 158. Pitching enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofloed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)



Şekil 2. 159. Pelamis cihazına ait gerçek görüntü

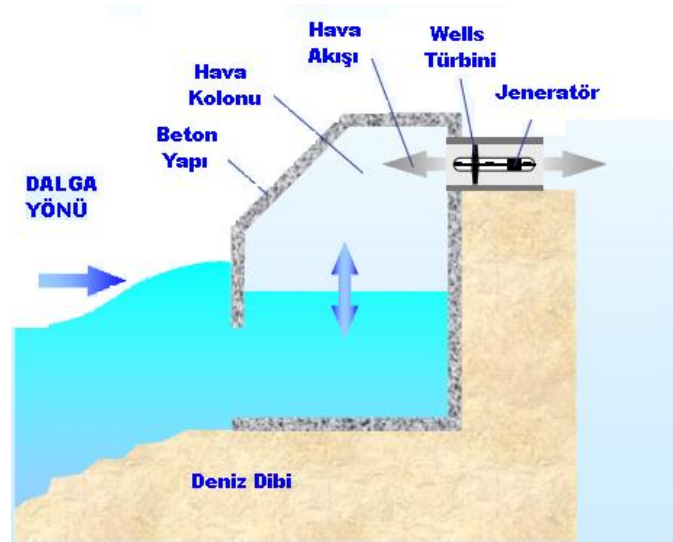
Surging (ileri-geri hareket) cihazlarına örnek olarak;

- Kıyı tipi bir uygulama olan Pendular,
- Yakın kıyı tipi bir uygulama olan Oyster,
- Bir açık deniz tipi uygulama olan ve tasarım aşamasındaki su osilasyonlu tip DEK verilebilir.

Bu tip cihazlar için, ister kıyı, ister yakın kıyı isterse de uzak kıyı tipi olsun önemli olan esas ortak nokta, dalgaların kıyıya doğru yani ileri geri istikametteki

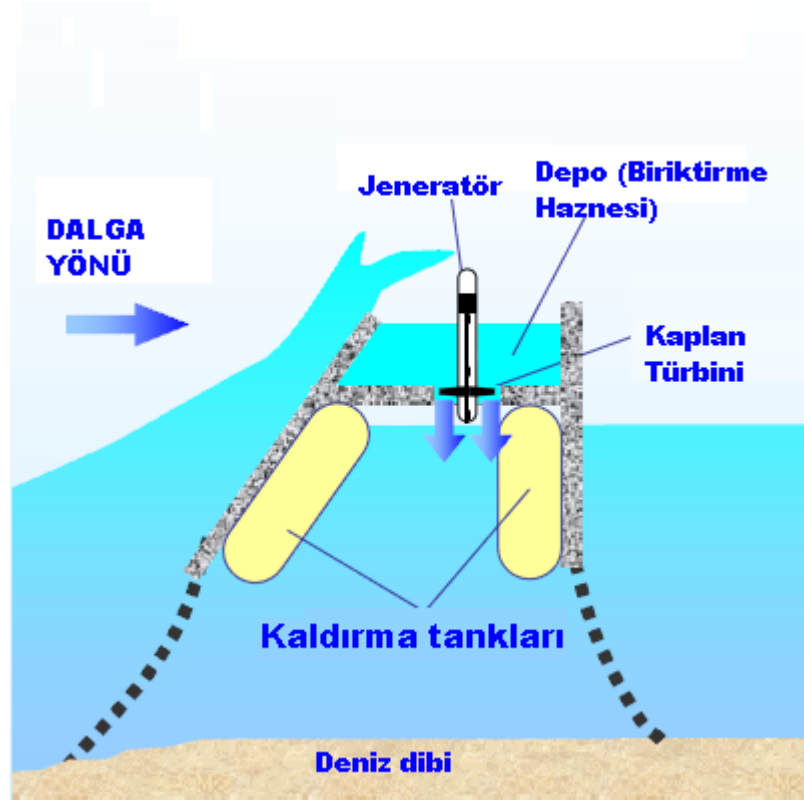
hareketinin, düzenli bir hareket formuna çevrilerek elde edilen mekanik hareketten bir şekilde elektrik üretiminin sağlanmasıdır. Bu durum Pendular cihazı için kıyıdaki bir tabakanın ileri geri hareketinin piston-silindir mekanizmasına verilmesiyle olabileceği gibi su osilasyonlu tip cihazda doğrudan akış hareketinin türbinleri döndürmesinin sağlanmasıyla da olabilir.

Oscillating Water Column (salınlı su kolonu) enerji dönüşüm prensibine göre çalışan cihazlarda, sisteme alınan dalganın su seviyesini yükseltmesiyle daralan hacimdeki havanın basıncı arttırılarak wells türbinlerini döndürmesi sebebiyle jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmesi söz konusudur. Bu cihazlara örnek sistemler, daha önce kıyı tipi sistemler başlığı altında verilmiş ve detaylı olarak incelenmişti. Şekil 2.160.'da ise bu tip cihazların çalışma prensipleri şematik olarak açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2. 160. OWC enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)

Overtopping (aşırma) tipi enerji dönüşüm sistemine sahip olan cihazlara verilebilecek en iyi örnek, daha önce bahsetmiş olduğumuz ve bir açık deniz tipi DEK uygulaması olan Wave Dragon'dur. Wave Dragon cihazı, okyanus dalgalarını depo haznesinin üzerine kadar kaldırır ve burada depolanmasını sağlar. Daha sonra depolanan su türbinlerden geçirilir ve türbinlerin dairesel hareketi (dönmesi) güç çekme ünitesi ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Şekil 2.161.'de, bu tip dönüşüm sağlayan sistemler için çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 161. Overtopping enerji dönüşüm şekline göre çalışan cihazların çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi (Kofoed, J.P., Madsen, E.F., Soerensen, H.C., Christiansen, L., 2005)

2.3.2. İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Değerlendirmeler

Daha önceki bölümlerde DEK sistemlerinin yerleşim tipine (kıyı, yakın kıyı, açık deniz) ve enerji dönüşüm prensibine yani enerji elde etme şekline göre (heaving (aşağı-yukarı hareket), pitching (sabit bir eksen etrafında dönme), surging(ileri-geri hareket), overtopping (yukarı kaldırma-aşırma), salınlı su kolonu tipi vb.) sınıflandırılabilirdiğinden bahsedilmişti. Bu bölümde ise, incelenen bu sistemler hakkında aşağıda maddelenen özellikler hakkında değerlendirmeler yapılmış ve bu değerlendirmeler Çizelge 2.16.'da özet bilgiler halinde verilmiştir. İncelenmiş olan özellikler şunlardır:

- Yerleşim tipi
- Güç değeri
- Çalıştığı hareket tipi ve enerji elde etme yöntemi
- Cihazın geldiği aşama
- Referanslar

Yerleşim tipi ile ilgili kısımda cihazın kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tiplerinden hangisine ait olduğu belirtilmiştir. Güç değeri ile ilgili kısımda, cihaz için yapılan araştırmalardan elde edilen güç değeri ortaya konmaya çalışılarak cihazın enerji üretim potansiyeli belirlenmiştir.

Çalıştığı hareket tipleri ile ilgili kısımda ise, cihazın daha önce bahsettiğimiz enerji elde etme yöntemlerinden hangilerini, ne şekilde kullandığı ortaya konmaya çalışılmıştır. Bunu belirtirken de basitçe, ilgili cihazın çalışma prensibine değinilmiştir.

Cihazın geldiği aşama ile ilgili kısımda ise, araştırmalar sonucunda edinilen bilgilere göre, hem cihaz hakkında sonuç bilgileri vermeye çalışılmış hem de cihazın gelecekte erişebileceği potansiyeli ortaya konmaya çalışılmıştır.

Referanslar kısmında ise, yapılan araştırmada baz alınan referanslar belirtilmiştir. Cihazlar hakkında daha detaylı bilgilere erişilmek istenirse, bu referansların incelenmesinde fayda vardır. Yapılan bu çalışma, şimdiye kadar anlatılan sistemlere genel bir bakış niteliğinde olup, anlatılan bilgilerin bir tablo halinde özetlenmesidir.

Çizelge 2. 16. İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
TAPCHAN (Daralan Kanal Sistemi)	Kıyı tipi	-	Sistem hareketsizdir. Yüksekliği artırılarak depolanan suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür.	Geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.	Boyle,1996
OWC (Salımlı Su Kolonu)	Kıyı tipi	-	Suyun sabit hacimdeki havayı sıkıştırması sonucu basıncı artan hava türbinleri döndürür. Türbinlerin hareketinin jeneratöre verilmesiyle elektrik üretimi gerçekleştirilir.	Tam ölçekli cihazının testleri yapılmaktadır.	Falcao,2002 Thorpe,1999 Perdigao ve Sarmiento, 2003
Salyangoz (LİMPET)	Kıyı tipi	-	Suyun sabit hacimdeki havayı sıkıştırması sonucu basıncı artan hava türbinleri döndürür. Türbinlerin hareketinin jeneratöre verilmesiyle elektrik üretimi gerçekleştirilir.	Tam ölçekli cihazının testleri yapılmaktadır.	Heath,2008 Thorpe,1999
Pendular	Kıyı tipi	≥ 5 kW	İleri-geri (surging)	Geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.	Thorpe,1999
Osprey	Yakın kıyı tipi	1.5 MW + 0.5 MW rüzgar gücü	Dalganın etkisiyle hava sıkıştırılır ve bu sayede türbinler döndürülür. Türbinlerin hareketinin jeneratöre verilmesiyle elektrik üretimi gerçekleştirilir.	İlk kurulum maliyeti azaltılarak geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam ediyor.	Falnes, 1997
Oyster	Yakın kıyı tipi	350 MW olarak planlanıyor.	İleri-geri (surging)	Orkney kıyılarında 350 kWlık bir prototip inşası planlanıyor.	Queen's University Belfast
WOSP	Yakın kıyı tipi	3.5 MW (1.5MW rüzgar)	Sıkıştırılan hava türbinleri döndürür. Türbinlerin hareketinin jeneratöre verilmesiyle elektrik üretimi gerçekleştirilir.	Geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.	Anonymous
OWEC	Yakın kıyı tipi		Aşağı-yukarı (heaving)	Geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.	www.owec.com

Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
Wave Plane	Yakın kıyı tipi		V şeklindeki gövdesi ile topladığı dalganın kinetik enerjisini kullanır.	Ticari gelişimi için 3-5 yıllık bir süre öngörülüyor.	www.waveplane.com
Iwave	Yakın kıyı tipi		Aşağı-yukarı (heaving)	Geliştirilmesi yönelik çalışmalar devam ediyor.	www.waveenergy.nualgi.com
Pelamis	Açık deniz tipi	750 kW	Bükülme hareketi yapar.	Tam ölçekli cihazın testleri yapılıyor	www.pelamiswave.com
Wave Dragon	Açık deniz tipi	4 MW	Yukarı kaldırma (Aşırma-overtopping)	Tam ölçekli cihazın testleri yapılıyor.	www.wavedragon.net Tedd,2007
OPT PowerBuoy	Açık deniz tipi	40 kW	Aşağı-yukarı (heaving)	İspanya → 1.39 MW İngiltere → 5 MW planlanıyor	Ocean Power Technologies
AWC (Arşimet Dalga Salınımı)	Açık deniz tipi	2 MW	Aşağı-yukarı (heaving) hareket tipinde Arşimet prensibine göre çalışır.	Tam ölçekli testi devam ediyor.	Rossouw, C.
SPERBOY TM	Açık deniz tipi	Birim ünite başına 1MW olarak tasarlanıyor. Henüz kesinleşmiş bir değer yok.	OWC çalışma prensibi ile benzer olarak çalışır. Suyun sabit hacimdeki havayı sıkıştırması sonucu basıncı artan hava türbinleri döndürür. Türbinlerin hareketinin jeneratöre verilmesiyle elektrik üretimi gerçekleştirilir.	Diğer OWC sistemlerine kıyasla daha yüksek enerji potansiyeline sahiptir. Bunun sebebi diğerlerinin yakın kıyı, kendisinin ise açık deniz uygulaması olmasıdır.	Embley Energy Ltd.
Su Osilasyonlu Tip DEK	Açık deniz tipi		İleri-geri (surging) tipteki akış hareketinden (basınç farkından dolatı kaynaklanan) elektrik enerjisi üretilir.	Tasarım aşamasındadır.	Anonymous, 1996

Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
AquaBuoy	Açık deniz tipi	250 kW'a kadar (deniz şartlarına göre değişir)	Bir nokta absorplayıcı DEK sistemidir. Dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm şeklinin çözümü, standart bir hidro-güç türbini ve jeneratörden oluşmak üzere iki adet çoklu cihaz tipi aracılığı ile dönüşümün komple bir şekilde yapılmasıdır.	Geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.	Previsic, M.,2004; Rossouw, C., 2009
Floating Wave Power Vessel	Açık deniz tipi		Yukarı kaldırma (Aşırma-overtopping) prensibine göre Wave Dragon'a benzer olarak çalışır.	1.5 MW'lık bir vessel uygulamasının ise açık denizde kıydan 500 m uzakta ve 50-80 metre arası derinlikte Shetland, Mu Mess'de konuşlandırılması planlanıyor.	Centre for Renewables Energy (CRES), Wave Energy Utilization in Europe, 2002
OreCon (MRC 1000)	Açık deniz tipi	1000 kW	Çoklu rezonans odasına sahip bir salımlı su kolonu uygulamasıdır. Farklı odalardaki hava basınçları birleştirilir ve tek bir hava türbini, bu basınçla beslenir. Dönme hareketinin hidrolik basınca dönüştürülmesi ile jeneratör takımı döndürülür ve elektrik enerjisi üretilir.	1/250 ve 1/20 ölçekli tank testleri, kontrollü olarak yapılmıştır. Yapılan testler 1/10 ölçekliye kadar ilerlemiştir.	E21 EPRI, Previsic, M.,2004

Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
PAWEC	Açık deniz tipi		Aşağı-yukarı (heaving)	Sistemin 1/10 ölçekli bir modeli, Danimarka Nissum Bredning'de üç ayı aşan bir zaman periyodu boyunca test edildi ve şu anda 2.5 m çapındaki 1/4 ölçekli model için açık deniz testleri yapılmaktadır.	http://www.waveenergy.dk ,
WaveBob	Açık deniz tipi	500 kW	Aşağı-yukarı (heaving)	Benzer DEK sistemlerinden farklı olarak onların çalışmadığı yüksek frekans değerlerinde çalışabilir. Ayrıca 500 kW değerinde ortalama gücün Kuzey Atlantik'de daha da artması bekleniyor.	http://www.wavebob.com/about_us/ , Previsic, M.,2004; William Dick, 1999
SeaDog	Açık deniz tipi		Bir nokta absorplayıcı sistem olan SeaDog,,batmadan taşıyabileceği hacimdeki suyu kıyıda daha yüksekte olan bir depoya pompalar ve artan potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi mantığı ile elektrik üretimi sağlanır.	Deniz suyundan tuz çıkarma, güç üretimi, motor soğutma, hava iklimlendirme ve hava basıncı ile ilgili birkaç uygulaması olmak üzere birçok fonksiyonu vardır.	Independent Natural Resources,Inc (INRI), 2008 , http://www.inri.us/index.php/SEADOG

Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
Bristol Silindiri	Açık deniz tipi		Silindirde meydana gelen dairesel hareketin pistonlara verilmesiyle piston-silindir mekanizmasından elektrik üretimi söz konusudur.	Uygulanması için gerekli patentlerin Finlandiya’da alınması planlanıyor. Yakın kıyıda dalga parkı oluşturulması mümkün olabileceği gibi açık denizde rüzgar gücü üniteleri de eklenebilir.	Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999 , Rodrigues, 2010
McCabe Wave Pump	Açık deniz tipi		On ve arka dubaların merkez dubaya bağlı olacak şekilde birbirine göre bağıl hareketinden dolayı meydana gelen dönme hareketinin menteşelenmiş noktalarda yerleştirilmiş olan ve merkez dubalarla diğer iki dubanın arasında yer alan lineer hidrolik şahmerdanlara verilmesi ile enerji elde edilmiş olur.	1996 yılının Ağustos ayında 40 metre uzunluğunda bir prototip, İrlanda County Clare’da Kilbaha sahilinde konuşlandırılmış ve yeni bir cihazın kanıtlanması için çalışmalar şu anda başlatılmış durumdadır.	Polaski, 2003, Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999, McCormick, 1998, McCormick ve Murtagh, 1992,

Çizelge 2.16. (Devam) İncelenen DEK Sistemlerine Genel Bakış ve Özet Bilgiler

DEK Tipi İsimleri	Yerleşim Tipi	Güç Değeri	Çalıştığı Hareket Tipleri	Cihazın Geldiği Aşama	Referanslar
PS Frog	Açık deniz tipi		İleri-geri (surging) ve bir eksen etrafında dönme (pitching) hareketlerinin bir kombinasyonu olarak çalışması geliştirilmiştir.	Cihazın hidrodinamiği anlaşılmış ve en iyi verimin alınabileceği şekilde cihazın oluşumu belirlenmiştir. Daha sonra Mark III tarafından cihaz üzerinde modifikasyon yapılmıştır.	Lancaster Üniversitesi, 1986 , Bracewell, 1990 , French, 1991, Folley, 1991, Thorpe, 1992, Thorpe, T.W., ETSU-R120, 1999,
Duck	Açık deniz tipi		Bir eksen etrafında dönme (pitching) söz konusudur. Dubanın hareketinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi zordur çünkü sistemin salınımları çok yavaştır.	Uygun materyal ve dalga kaynaklarının kullanımının, mümkün olan en iyi verimle ortaya konulması için çalışmalar devam etmektedir.	Rodrigues, L.,2010; Edinburgh, 1979 ETSU, 1985 Thorpe, 1992, Salter, 1993

2.4. DEK Sistemlerinin Kontrol Uygulaması Tipine Göre İncelenmesi

Bu bölümde, daha önce detaylı olarak anlatılmış olan DEK sistemleri, kontrol uygulaması tipine göre ele alınmıştır. DEK sistemlerinin kontrol uygulamaları için literatür taraması yapıldığı zaman, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda daha çok tek serbestlik dereceli (1 SD) sistemlere ağırlık verildiği görülebilir. Yine yapılan bu çalışmalar incelendiğinde, çalışılan hareket tipi olarak aşağı yukarı (heaving) ya da ileri geri (surging) hareketi ile çalışılan sistemlere ağırlık verildiği görülebilir. Bununla beraber bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunun frekans uzayında (frequency domain) yapıldığı anlaşılabilir.

Frekans uzayında yapılan bu çalışmaların ise lineer kabuller altında yapıldığını da göz önünde bulundurmalıyız. Bu yüzden, lineer kabullerin yapıldığı frekans uzayı şartlarında yapılan çalışmaların sistemlerin gerçek çalışmasını yansıtmamasının mümkün olmadığını ve teorik ispatlara yönelik olduğunu görebiliriz. Bu noktadan hareketle, frekans uzayında gerçek deniz dalga modellerinin denenmesinin de olanaklar dahilinde olmadığını çıkarabiliriz. Eğer gerçek modeller için gerçek çalışma denemesi yapılmak isteniyorsa, zaman uzayında çalışmamız gerektiğini unutmamalıyız.

Çizelge 2.17.'de son yıllarda yayımlanan dalga enerjisi konvertör kontrolü makaleleri gösterilmiş ve incelenen özelliklere ait veriler ortaya konmaya çalışılmıştır. Ancak bu makalelerdeki kontrol tiplerine ve çeşitlerine tabloda yer alan özet bilgiler ile değinilmiştir. Her kontrol tekniği ve tipi için ayrı ayrı denklemler ve eşitlikler söz konusudur. Bu bölümde özet olarak bilmemiz gereken en önemli nokta DEK sistemlerinin gerçek olarak kontrolü için yapılacak çalışmalarda frekans uzayı yerine zaman uzayında çalışılmasının gerekliliğidir. Çünkü sistemlerin gerçekte çalışması için en önemli parametre zamandır. Frekans uzayında ise sadece teoriye yönelik veriler elde edilmekte ve zaman kavramı ele alınmamaktadır.

Çizelge 2. 17. Yakın geçmişte yayınlanmış olan DEK kontrolü makaleleri (Işık, T., 2008)

Makaleler	İncelenen Özellikler				
	Hareket	Model Tipi	Kontrol Tipi	Dalga Tipi	Güç Hesabı
Falnes, 1993	1 SD	FU	Kompleks E.K.	Lineer tek eleman	-
Eidsmoen, 1998	1 SD	ZU	Kompleks E.K.	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
Korde, 1999	1 SD	FU	Kompleks E.K. ve Kilitleme Kontrol	Lineer ve karmaşık	FD model esaslı
Korde, 2001	1 SD	ZU	Kilitleme Kontrol	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
Korde, 2002	1 SD	ZU	Kilitleme Kontrol	Lineer tek eleman	Yapılmış
Korde, 2003	1 SD	FU	Faz Kontrol	Lineer tek eleman	-
Babarit, Duclos, Clement, 2004	1 SD	ZU	Kilitleme Kontrol	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
Nolan, Ringwood, Leithead ve Butler, 2005	1 SD	ZU	Kilitleme Kontrol	Lineer tek eleman	Yapılmış
Bjarte, 2006	1 SD	FU	Kilitleme Kontrol	Lineer tek eleman	Yapılmış

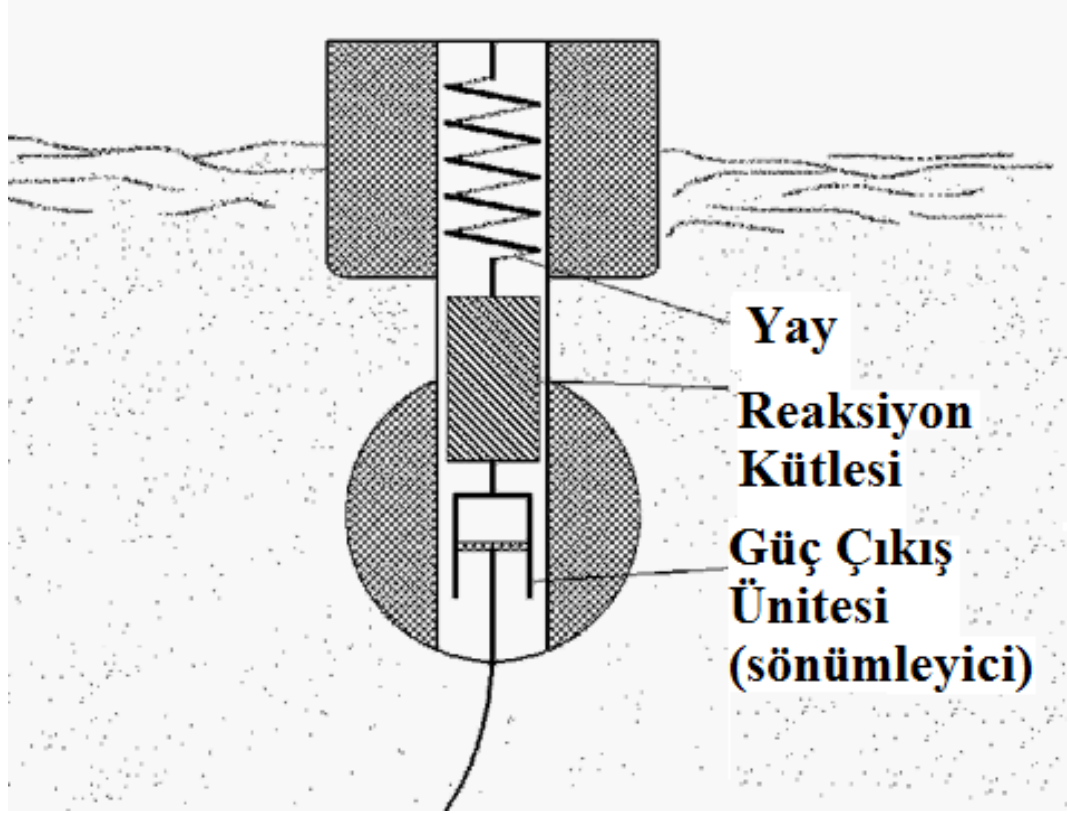
2.5. Frog Cihazı (Form 1)

Bu bölümde açık deniz DEK sistemlerinden biri olan Frog cihazı detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Frog cihazının özellikleri, yapısı, çalışma prensibi, gelişme aşamaları vb. konuları ele alınmıştır. Özellikle Frog cihazının 1.formu üzerinde durulmuştur. Bu çalışma, Frog cihazına ait tasarım şekilleri ve görsellerle de desteklenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu bölümün ilerleyen kısımlarında Frog cihazının 1. ve 2. Formu arasındaki geometri farkı ortaya konmuş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

2.5.1. Frog Cihazının Tanımlanması

Frog cihazı, su üzerinde batmadan yüzen ve düşey olarak axi-simetrik bir yapıda olan şamandıradan meydana gelir. Cihazın su yüzeyinden içeri doğru nüfuz eden kısmı silindirik bir yapıdadır. Bu yüzden şamandıranın gövde kısmı, farklı biçim değişikliklerine izin verebilmektedir. Buna bağlı olarak cihaz, yüksek genlikli çalışmalarda dikey olarak yer değiştirerek, hidrostatik sertliğin lineer (düzgün) olarak kalmasını sağlar. Frog cihazına ait genel gösterim ve elemanları Şekil 2.162.'de ortaya konmuştur.

French tarafından Frog cihazının çalışması için 1985'te yapılan tanımlama şunu içerir; "Tasarlanan titreşim söndürücüde meydana gelebilecek bir ters etki ile gerçek bir sönümleyiciden farklı olarak, sönümlemekte olan gövde kısmındaki titreşim en aza indirilemez ama onun çevresinden çekilen enerjinin miktarı en yüksek dereceye çıkarılabilir." Bu durum gerilmiş bir yayda asılı olan kütlenin idealleştirilmesi gibidir. Bu yüzden kütle sadece şamandıra eksenini boyunca yer değiştirebilir. Aynı zamanda bu kütle, güç çekme ünitesiyle birlikte hareket eden ve lineer çalışan bir amortisör tarafından yavaşlatılır.



Şekil 2. 162. Frog cihazı genel kavramı (Bracewell, R.H., 1990)

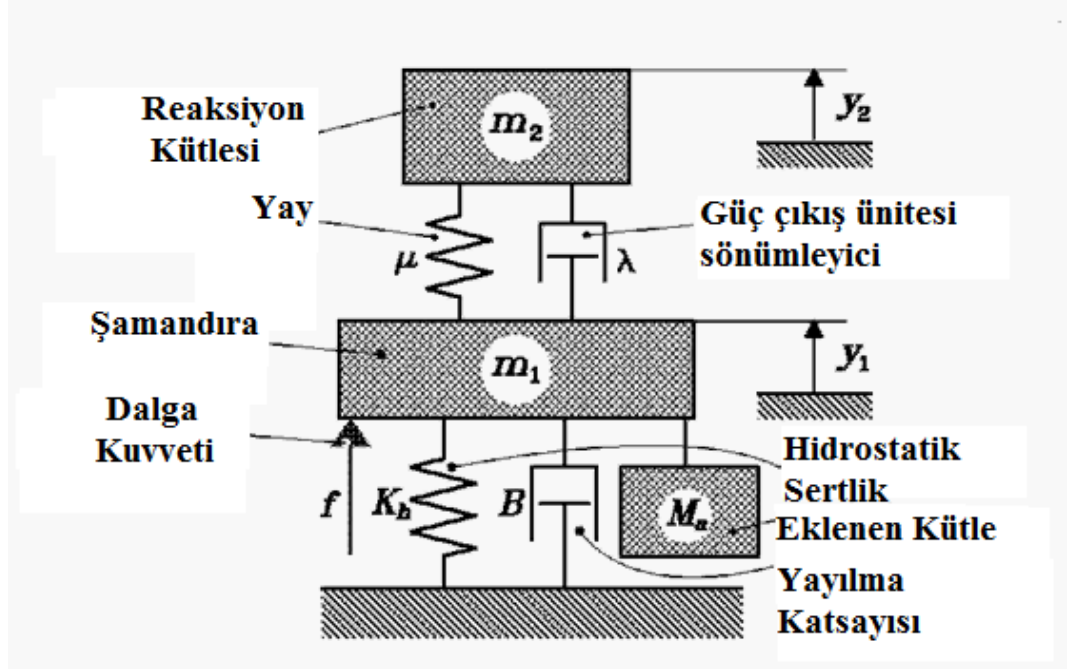
Şekil 2.162. dikkatlice incelendiğinde, su seviyesi değişikçe yayın referans noktasının aşağı yukarı hareket edeceğini ve kendisine bağlı olan kütleyle de hareket ettireceğini görebiliriz. Kütle aşağı-yukarı doğrultuda hareket ederken aynı zamanda yay onu yukarı çağırır yani geri çekmeye çalışan bir etki yapar. Kütlenin bağlı olduğu güç çekme ünitesini de düşündüğümüzde, bir piston silindir mekanizmasını çalıştırarak enerji ürettiğini görebiliriz. Bu noktadan hareketle cihazın çalışma mekanizması için en önemli özelliğin, cihazın gelen dalgalara karşı her zaman rezonansa kalabilmesi için efektif yay sertliğinin değişken kalmak zorunda olmasıdır. Bunun sağlanması için uygulanan ve başarılı olan iki temel esas vardır:

- Budal ve Falnes tarafından kullanılan kilitleme (latching) yöntemi ile.
- Bu cihazın geliştirilmesi için 1985'te French tarafından bulunan Sertlik Ayarlaması (Stiffness Modulation (SM)) ile.

Kilitleme (latching) olarak adlandırılan olay, kütle kavranmış halde iken çalışmasının uç noktalarının her birinde belli bir zaman dilimi için sabit (durağan) olması demektir. Kilitleme konusuyla ilgili olarak daha önce birkaç çalışma yapılmıştır ama Sertlik Ayarlaması ile ilgili kötü deneysel sonuçlara ek olarak, cihazın tam ölçekli uygulamasına bağlı olan zorluklar göz önüne alınca kısa bir süre içerisinde bu çalışmadan vazgeçilmiştir. Bu zorluklar aşağıdaki iki nedene dayandırılabilir:

- Belli bir zaman dilimi boyunca kilitlenen kütle için sinüsoidal olmayan çalışması yüzünden yüksek harmoniklerde yayılan güçlerin ortaya çıkması.
- Budal ve Falnes'in şamandıralarındaki kilitlemeler arasında var olan ana farklılık, tek serbestlik derecesinin sıfıra düşmesini içerir ve Frog'a ait reaksiyon kütlelerinin kilitletmesinde sistemin serbestlik derecesinin ikiden bire düşmesini içerir. Birinci durumda, şamandıra kilitlendiği zaman sabit tutulur ve istenilen dalgayı yakalaması için bekletilir. Ama Frog cihazı için uzun dalga periyotlarında, reaksiyon kütlelerinin salınımının etkisi, şamandıranın doğal aşağı yukarı hareket periyodunu arttırır. Kütle kilitlemek için uygun olmadığı zaman, dalga yakalanıncaya kadar şamandıradan uzakta tutulur. Bu durum da çalışmasının frekansını arttırır. Bu yüzden dalgalar onun arkasından düzgün bir biçimde sistemi terk eder.

Şekil 2.163.'te ise Frog cihazının mekanizmasını anlatan Lineerleştirilmiş Frog Modeli gösterilmiştir. Çizelge 2.18.'de ise Frog sistemlerinin hesaplama ve kabullerinde kullanılan semboller ve anlamları gösterilmiştir.



Şekil 2. 163. Lineerleştirilmiş Frog modeli (Bracewell, R.H., 1990)

Çizelge 2. 18. Frog notasyon simgeleri ve anlamları (Bracewell, R.H., 1990)

SEMBOL	ANLAMI
ρ	su yoğunluğu
ω	açısal frekans
f	sabit(durağan) şamandırayı yukarı doğru zorlayan dalga kuvveti
y_1	şamandıranın yukarıdan mutlak yer değiştirmesi
y_2	Reaksiyon kütesinin yukarıdan mutlak yer değiştirmesi
r	şamandıra yönündeki reaksiyon kütesinin yukarıdan bağıl yerdeğiştirmesi
X	f kuvvetinin fazörü
A	Rahatsız etmeyen dalga olayı için şamandıranın eksenindeki su yüzeyinin yükselmesinin fazörü
Y_1	y_1 in fazörü
Y_2	y_2 nin fazörü
R	r nin fazörü
m_1	şamandıranın kütlesi (taşınan (hareketli) kütle hariç)
m_2	taşınan reaksiyon kütlesi
$B(\omega)$	ω açısal frekansında şamandıranın aşağı yukarı hareketindeki yayılma katsayısı
$M_a(\omega)$	ω açısal frekansında şamandıranın aşağı yukarı hareketinde eklenen kütle
K_f	şamandıranın aşağı yukarı hareketindeki hidrostatik yay etkisi (sertliği)(su yüzeyi alanı $\times \rho g$)
μ	yay sertliği
λ	“lineer (doğrusal) amortisör” ün sönümlenme katsayısı
g	dünyanın yerçekimsel sabiti
i	karekök -1
P	elde edilen (yakalanan) güç
l	herhangi bir değişkenin alt simgesi hakkındaki ifadenin optimize edilmiş güç şartlarındaki ideal değeri
o	herhangi bir değişkenin alt simgesi hakkındaki ifadenin pratikte izin verilen maksimum değeri
β	$\tan^{-1}(U / V)$, taban ile üçgen yapan optimize edilmiş fazörün kenarlarının açısı
η	$ R $ faktörü için pratiksel sınırlama
v	$ Y_1 $ faktörü için pratiksel sınırlama
N_{KC}	1979’da Standing tarafından tanımlanan Keulegan-Carpenter boyutsuz sayısı

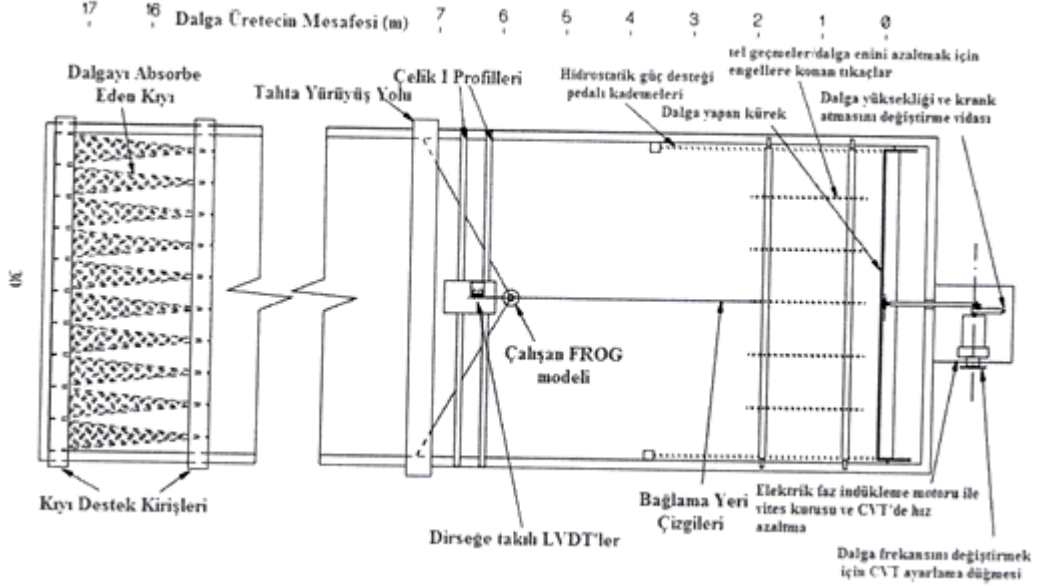
2.5.2. Frog Cihazının Testinde Kullanılan Dalga Tankları ve Özellikleri

Frog cihazı üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan Frog modellerinin dalga tankları için çok çeşitli testler yapılmıştır. Yapılan bu testlerde kullanılan modellerin işler durumda olan ve olmayanlarının her ikisi için de iki farklı temel gövde şekli söz konusudur. Bizim için söz konusu olan iki amaç aşağıda anlatılmıştır:

- Birbirinden farklı fiziksel şamandıra şekillerinin sahip oldukları hidrodinamik ölçüm katsayıları, güç elde etme hesaplamalarının yapılmasında bize veriler sağlamaktadır. Crabb tarafından 1984 yılında, standart bir dalga ikliminin kullanımı hakkındaki çalışma, Ukrayna'nın güneyinde bir yerde 45 m derinlikte hazırlanmıştır. Bunun etkisiyle cihazların yıllık ortalama verimliliklerini kestirmek mümkün hale gelmiştir. Bu noktadan hareketle, birbirinden farklı olan iki Frog tasarımı arasında karşılaştırma yapmamıza olanak sağlanmış olmuştur. Aynı zamanda Frog tasarımlarının, diğer cihazlarla da karşılaştırılabilmesi mümkün hale gelmiştir. Bahsetmiş olduğumuz bu yöntem "Frog'larda Güç Elde Etme Hesaplamaları" bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.
- Güç üretmek için yapılan testlerde çalışılan modellerde, hidrodinamik katsayı ölçümlerinin ve bu ölçümlerden elde edilen sonuçlarla, güç üretmek için yapılan hesaplamaların doğruluğu test edilmiştir. Özellikle; lineer olmayan etkilerin, büyük şamandıra genliklerinde ve/veya dalga yüksekliklerinde ve girdap akımlarında önemli olup olmadığını gösterecektir. Aynı zamanda çalışılan modeller için, ciddi bir güç üretim sınırının olup olmayacağını gösterecektir.

Bütün deneysel çalışmalar, Lancaster Üniversitesi Mühendislik Bölümü'nün kendi dalga tankları üzerinde yapılmıştır. Şekil 2.164.'de planı gösterilmiş olan tesis, 17.5 m uzunluğunda, 5 m genişliğinde ve 1.2 m derinliğindeydi. Uzun sırt yani tepe oluşturabilme yeteneğine sahipti. Aynı zamanda bu tesis, 0.7 ile 1.8 saniyelik periyotlar arasında düzenli dalgalar oluşturabiliyordu. Bu tesiste oluşturulan dalgalar için dalga oranının boylamsal durumu % 4'den daha azdı ve gücün % 0.16'sından daha az miktarı kıyıya yansıtırdı. Bununla birlikte, bu dalga tankında test edilen tek dalga absorplayıcı,

bir saniyenin daha aşağısındaki kısa periyot limitlerinde etkiliydi çünkü çaprazlama konumunda duran dalga rezonanslarının kalabalıklığından kurtulmak çok zor bir hale geliyordu (Bracewell, R.H., 1990).



Şekil 2. 164. FROG Güç Testi Srasında Dalga Tankı Planının Görünüşü (Bracewell, R.H., 1990)

Şekil 2.164.'de de gösterildiği gibi, tankın sonundaki duvarın tamamını kaplayan ve temel boyunca dayalı olan rijit pedal tarafından dalgalar üretilir. Güçlü bir üç fazlı indüksiyon motoru aracılığıyla bu durum devam ettirilir ve sürekli değişken (kararsız) bir aktarma, frekansın değiştirilmesiyle ve krank atmasının ayarlanmasıyla dalga yüksekliği değiştirilir. Pedaldaki hidrostatik güç, iki adet güçlü ama düşük sertliğe sahip yay tarafından sağlanır. Bu yayların her birinin sonu, tankın kenar duvarları boyunca bağlanmış ve uzatılmıştır. Bu yöntemle cihaz, dalga üretmek için sadece dinamik güçleri gerektirmektedir (Bracewell, R.H., 1990).

Tankın öteki ucunda, dalga absorbe eden ve on adet uzun ve dar formda olan tel ağdan oluşan kamalar vardır. Her biri alt kısımda 2.5 m uzunluğunda ve 0.5 m genişliğindedir. Bu kamalar, dip kısımdan su yüzeyine kadar uzanır. Bitişik durumda olan bu kamalar, kendi aralarında sivrilen kanallar oluşmasına sebep olur. Sistem,

TAPCHAN WEC'e (Tapchan dalga enerjisi konvertörleri) biraz benzer biçimde çalışır. Dalga yüksekliği yavaş yavaş artar ve onları tıkaç kısmında absorbe eder.

Tamamen derinde yer alan ve birbirine paralel olan 5 adet, 1.8 m uzunluğunda, 25 mm kalınlığındaki tıkaçların çevresi, boylamsal olarak sıralı bir biçimde dizilmiş olan eşit aralıklı ve çapraz biçimde gelen dalgaların gelişmesini engelleyen pedalın önündeki tel ağlar tarafından sarılmıştır.

Dalga tankındaki su seviyesinin yüksekliği, yerleştirilmiş olan Churchill Kontrolü ile ölçülür ve ikiz tel elektriksel direnç dalga ölçümü sisteminin kurulmasıyla taşınabilir çapraz sinyal tankın duvarlarında durur. Bu şekilde, bu cihaz istenilen her yerde ölçüm için yerleştirilebilirdi.

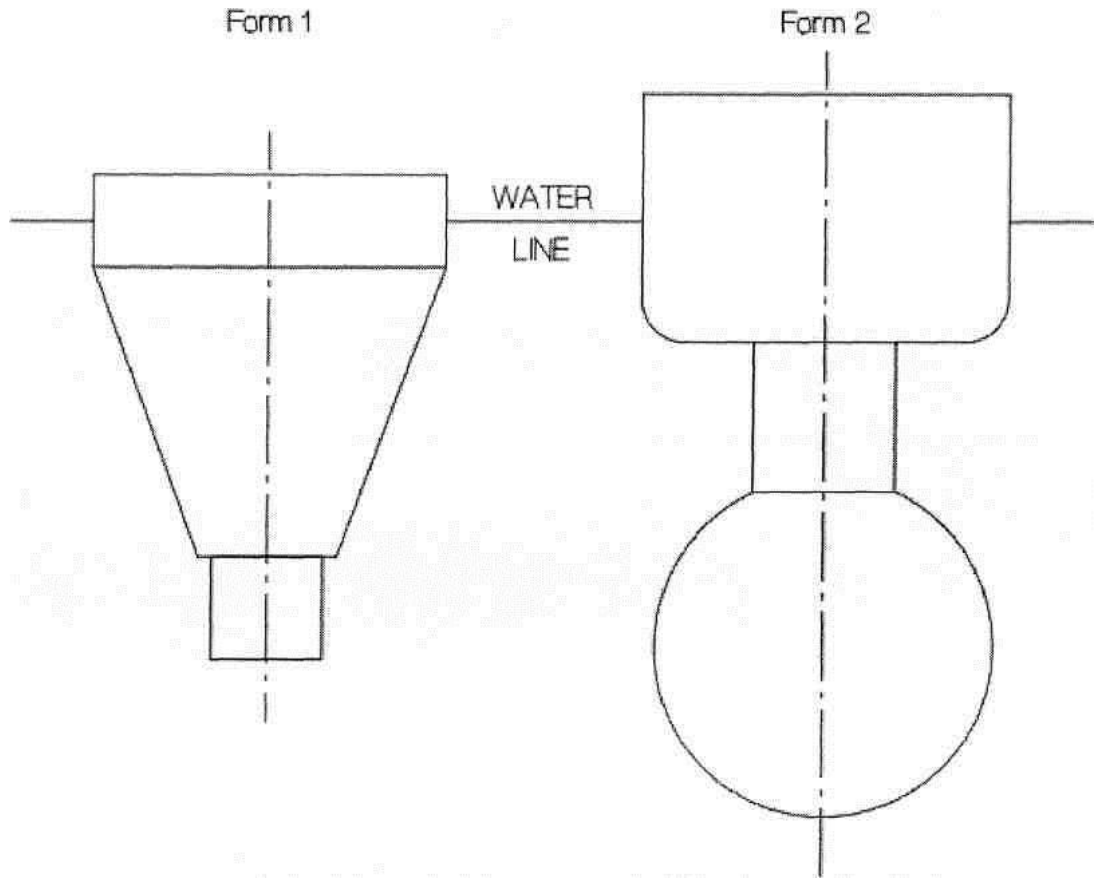
Dalga tankına giriş için, ahşaptan bir yürüyüş yolu ve deneysel aygıtların rijit bir biçimde montajının sağlanması için iki adet çelik malzemeden yapılmış I profili uzatılmıştır. Bu çelik profiller, tank içerisinde arzu edildiği gibi aşağı yukarı taşınabilirdi.

Elde edilebilen mevcut frekansların sıklığı, tankın yaklaşık olarak 1/100 ile 1/60 arasındaki doğrusal ölçülerdeki deniz dalgalarında olduğu gibi Güney Uist'in modellenmesinde de etkili olmuştur. Buna karşın LFB'nin (Lancaster Flexible Bag) testi için orijinal olarak uzun ve "düşürücü" tipte bir cihaz tasarlanmıştır ama yine de tek nokta absorplayıcılarının testi için çapraz duran dalgaların yarattıkları problemlere rağmen yeterli olarak nitelendirilmelerine karşın ideal değildiler.

Axi-simetrik yapıdaki şamandıra formlarının hidrodinamik katsayıları iyice düşünülürse bütünüyle mantıklı bir biçimde hesaplanabilirdi. Örneğin; PS Frog cihazından sonra onun kullanımına benzer olan kaynak dağıtımının kullanımı faydalı değildir. Nedeni ise büyük bir program olması ve mevcut olan küçük bütçe ile ancak iyi bir biçimde gelişen öğrenme eğrisi ile gerçek anlamda bu işin hakkından gelinebilecek olmasıydı. Bunun yerine sadece küçük ölçekli deneysel model testlerine itimat etmeye karar verilmişti ama cihazın bu çeşidi için aşağıdaki konularda araştırma yapılmasına ağırlık verilirse, cihaz için yapılan çalışmalar daha fazla emek harcamaya değer hale gelecektir. Bu araştırma konuları; güç elde etme ve optimizasyonu ile gövde şeklinin ve maliyetinin optimizasyonudur.

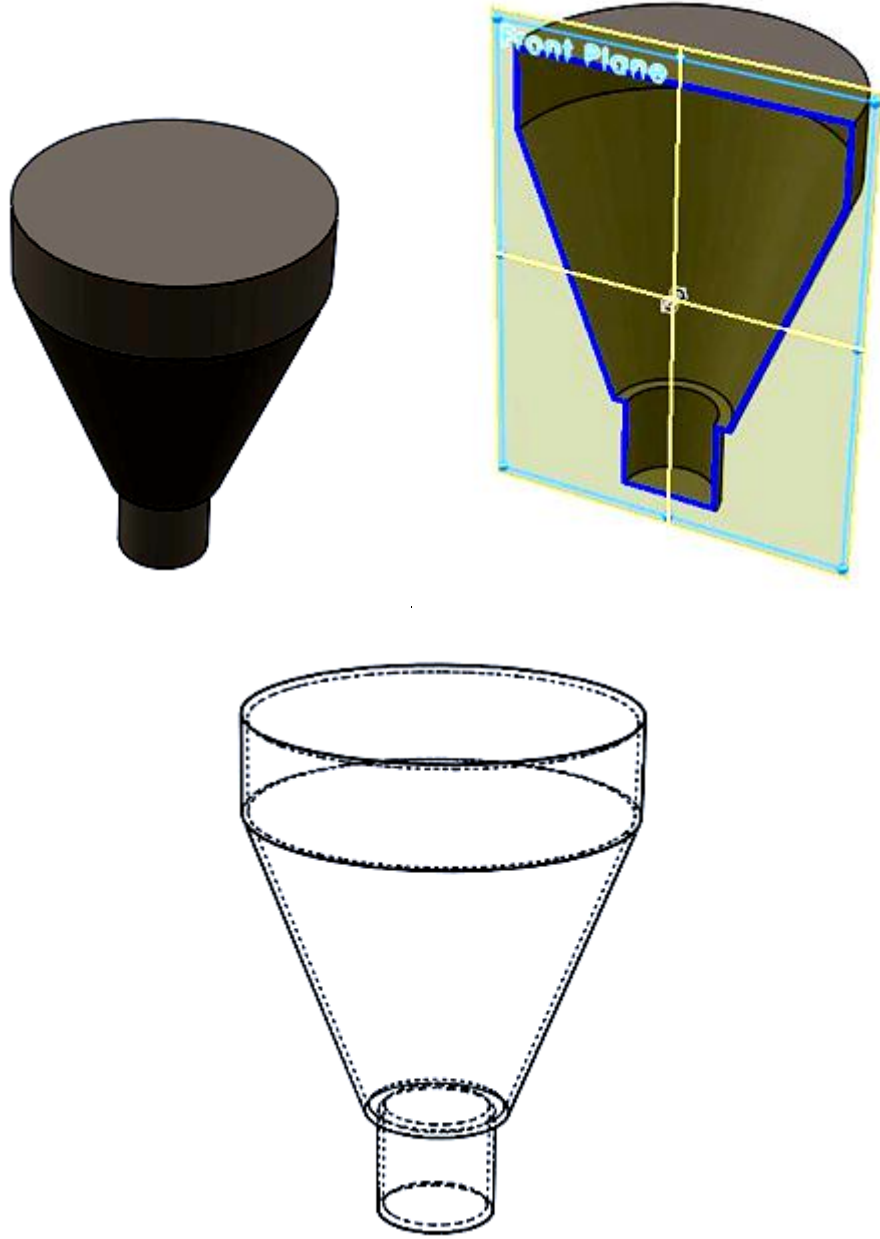
2.5.3. Frog Cihazı İçin Test Edilen Şamandıra Formları

Frog cihazı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda iki farklı şamandıra şekli ortaya çıkmıştır. Şekil 2.165.'de Form 1 ve Form 2 olarak adlandırılarak iki farklı gövde yapısına sahip şamandıraların geometrik biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 165. Frog cihazı için test edilen şamandıra formları (Bracewell, R.H., 1990)

Form 1 olarak adlandırdığımız ve Şekil 2.165.'de kabaca yüzeysel olarak göstermiş olduğumuz basit konik şekil, 1979 yılında Parks tarafından teorik olarak analiz edilen şamandırayı ifade etmektedir. Şekil 2.166. ve Şekil 2.167.'de Frog Form 1'e ait model çizimleri verilmiştir. Bu çizimler, PowerShape 2011 programının ücretsiz lisans sağladığı öğrenci sürümünde yapılmıştır.



Şekil 2. 166. PowerShape 2011 öğrenci sürümünde çizilmiş Form1'e ait üç boyutlu görünüm, ön görünüşten alınmış bir kesit ve izdüşümlü çizim



Şekil 2. 167. PowerShape 2011 öğrenci sürümünde yapılan çizimlerden alınan görüntülerle Frog Form 1'e ait ön, üst, sağ yan ve trimetrik görünümle

Form 2 olarak adlandırdığımız geometri ise, Şekil 2.165.'de kabaca yüzeysel olarak göstermiş olduğumuz ve Form 1'e göre daha karmaşık şekilli olan ve ilk olarak geniş, sığ ve düz tabanlı bir silindirden meydana gelen tasarımıdır. Köşesi yuvarlatılmış alt çerçeve girdap riskini azaltmak için iyi durumda değildir.

Silindir, doğrudan aşağısında yer alan küreye batırılmış durumda olan oldukça daha dar silindirik yapı (tüp) tarafından bağlanmıştır. Düşey dalga kuvveti için daha iyi olan kısmı, silindirin taban kısmında kullanılmaktadır ve yüzeysel derinlik artışıyla dalga basıncı bozuldukça daha yakın noktalarda yüzey performansı daha iyi olur.

Burada söz konusu olan sınırlama, çalışmasının tepe noktasında su ayrılmaksızın büyük bir genlik için çalışmasına izin vermeye gereksinim duymasdır. Kürenin kendi ataletinin ve çevresindeki suyla eklenen külenin aritmetik ortalaması ile doğal kaldırma frekansı azalır ve dalga olayının ortasında kapanmasına sebep olur. Dalga spektrumu olayının orta nokta noktasını daha aşağılara çekmiş olur. Bunda tamamıyla, $\sec \beta$ değerini azaltma ve mümkün olan elde edilebilerek verilecek gücü azaltmaya eğilim vardır. Benzer prensip, Ferdinande and Vantorre'nin 1985'teki "Bipartite Point Absorber" görüşünde kullanılmıştır (Bracewell, R.H., 1990).

2.6. DEK Sistemleri İçin Önemli Tasarım Parametreleri

DEK sistemlerinin tasarımı ve tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken parametreler çok yüksek öneme sahiptir. DEK sistemleri aşağıda maddelenen şu özellikler dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

- Değişken dalga ve ortam şartlarına uyum sağlayabilecek bir yapıda olmalıdır.
- Maksimum verimle çalışıp yüksek değerlerde enerji üretimi gerçekleştirebilecek bir yapıda olması gereklidir.
- Fırtına, kasırga ve hortum gibi kontrol sistemine bozucu etkisi yapabilecek durumlarda, referans yapısını koruyabilmelidir. Sistemin kendisinin zarar görmesini engelleyecek bir yapıya sahip olması gerekmektedir.
- Sistem, denizdeki doğal hayata ve deniz trafiğine engel olmayacak şekilde konuşlandırılmalıdır.
- Tamiri ve bakımı az masrafla kolay bir biçimde yapılacak şekilde konuşlandırılmalıdır.

DEK sistemleri dayanıklılık (mukavemet), su altı kabloları, cihazın kullanılabilirliği, inşa teknolojileri, invertör uygulamaları, kontrol uygulamaları ve hidrodinamik analiz programları ve uygulamaları gibi çok geniş bir yelpazeden destek almaktadır. Aynı zamanda jeneratör ve güç türbinleri gibi elemanları güç çekme ünitesinde kullanmaktadır (Vinning, 1995).

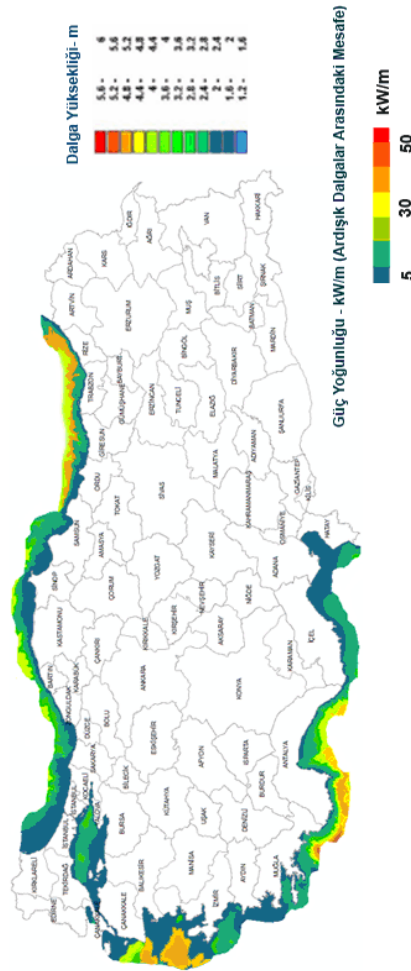
DEK sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar ve AR-GE konuları Çizelge 2.19.'da gösterilmiştir.

Çizelge 2. 19. DEK sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar ve AR-GE konuları (Vinning, 1995).

Mekanik Kısım	Elektrik Kısım	Diğer Kısımlar
Hidrodinamik karakteristik	Doğrudan güç çekme üniteleri	Gerçek zamanlı dalga davranışı için hava tahmini
Indirect Take-Off güç Yöntemleri	Güç dönüşüm	Cihaz hareketleri
Mekanik güvenilirlik	Güç kontrolü	Cihazların Standart testleri
• Şamandıralar	Güç iletimi	Maliyet:
• Altyapı	Elektriksel güvenilirlik	Su yalıtımı
• demir atma düzeneği	Elektriksel bakım	Korozyona dayanıklı malzemeler
Mekanik bakım	Sistemin iletişim gereksinimleri	Erişim
Kurulum		

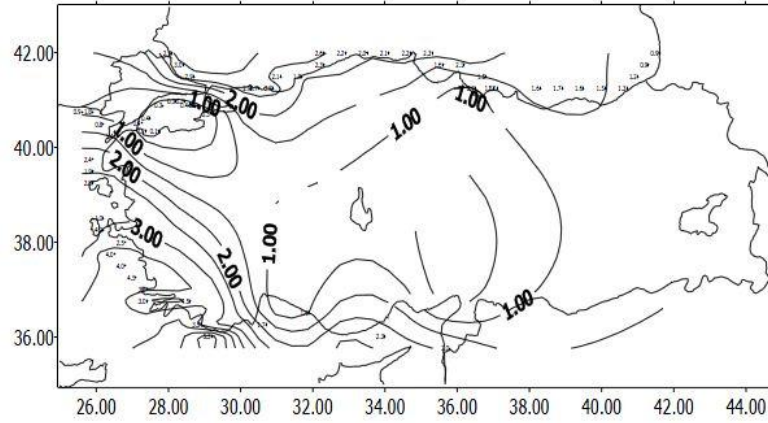
2.7. Türkiye’de Dalga Enerjisi Potansiyeli

Bu bölümde ülkemiz için dalga enerjisi potansiyeli ile ilgili olarak yapılan çalışmalara ve bu çalışmalardan çıkarılan yorumlara yer verilmiştir. Bu çalışmalar daha önce yapılan rüzgar ölçümleri ve bu ölçümlerden hareketle oluşturulan dalga atlasları kılavuzluğunda yapılmıştır. Şekil 2. 168.’de Türkiye için dalga potansiyeli atlası verilmiştir.

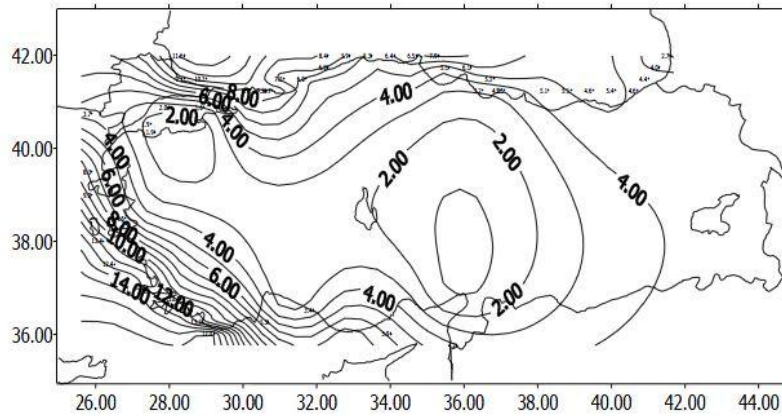


Şekil 2. 168. Türkiye için dalga potansiyeli atlası (Anonymous,2010u)

NATO TU WAVE projesinin bir sonucu olarak meydana gelen ‘‘Türk Kıyı Rüzgarları ve Derin Dalga Atlası’’ verilerinden hareketle, dalga yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) değerleri ile minimum seviyede enerji akışı için aylık ortalama, maksimum seviyede enerji akışı için aylık ortalamaların aritmetiksel ortalaması ve en yüksek tepe değerlerinin düşük olanları seçilerek hesaplanan Türk sularının hali hazırda kullanıma uygun yaklaşık azami ve asgari dalga enerjisi seviyeleri Şekil 2.169. ve Şekil 2.170.’de verilmiştir (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010).



Şekil 2. 169. Türk suları için asgari dalga enerjisi seviyeleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)



Şekil 2. 170. Türk suları için azami dalga enerjisi seviyeleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)

Bu dalga enerjisi seviyeleri atlasından hareketle bölgelere göre minimum ve maksimum güç değerleri aralıkları Çizelge 2.20.'de gösterildiği gibi şekillenir.

Çizelge 2. 20. Türk suları için dalga enerjisi seviyeleri atlasından hareketle bölgelere göre minimum ve maksimum güç değerleri aralıkları (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)

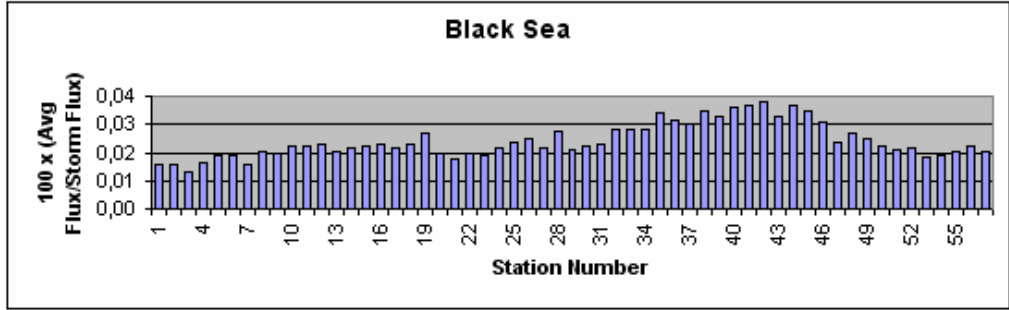
BÖLGE	MİNİMUM-MAKSİMUM GÜÇ ARALIĞI (kWh/m)
Karadeniz	1.96-4.22
Marmara Denizi	0.31-0.69
Ege Denizi	2.86-8.75
Akdeniz	2.59-8.26
İzmir-Antalya	3.91-12.05

Çizelge 2.20.'den hareketle, Karadeniz'in diğer denizlere göre daha dalgalı olduğu şeklindeki görüşlerin tersine, güneybatı Anadolu yönünde egemen olan Ege Denizi ve Akdeniz üzerindeki rüzgar potansiyeli daha yüksek ve yoğundur.

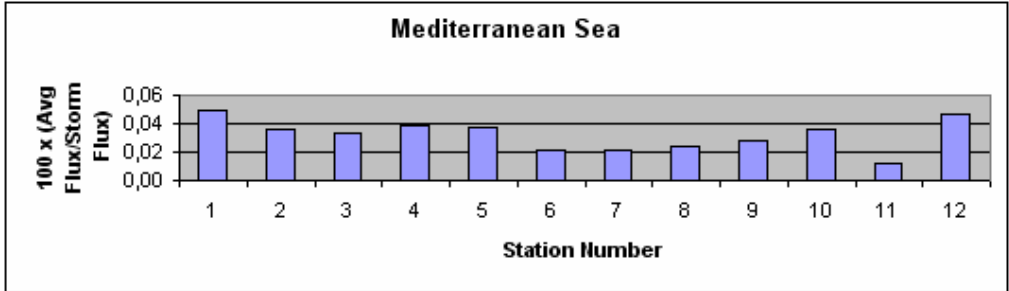
Toplam ortalama dalga enerjisi kaynakları derin sularda, toplam kıyı şeridi boyunca dalga güçlerinin toplanmasıyla dikkate alınabilir. Gemilerin rotaları, denizaltı tatbikat sahaları, Marmara Denizi'nin kıyı yerleşim yerleri vb. bu şeridin dışında bırakılırsa Türkiye'nin toplam 8210 km'lik kıyı uzunluğunun beşte biri kadarı dalga enerjisi elde etme maksadıyla kullanıma uygun olur. Bu noktadan hareketle, sadece bir dizi küçük ölçekli dönüştürücüden, ortalama olarak yıllık 4-17 kW/m arasında dalga gücü olan sularda yaklaşık olarak toplamda en az 10 TWh/yıl seviyesinde bir enerji elde edilebilir. Bu değer de ekonomik olarak üretilebilir Türkiye Hidroelektrik enerji potansiyelinin %12.5'ine tekabül etmektedir.

Olaya bir başka açıdan yaklaşacak olursak, bu sonuçlar daha önce bölgesel olarak ölçümü yapılan rüzgar verilerinden hareketle hesaplanan dalga enerjisi seviyeleri üzerinden yapılan yorumların ve tahminlerin sonuçlarıdır. Bu sonuçlar, yaklaşık sonuçları ortaya koymaktadır. Gerçeğe en yakın sonuçlar, sadece Türk suları değerlerine uygun bir DEK prototipinin geliştirilerek düzenli ölçümleri ile elde edilebilir.

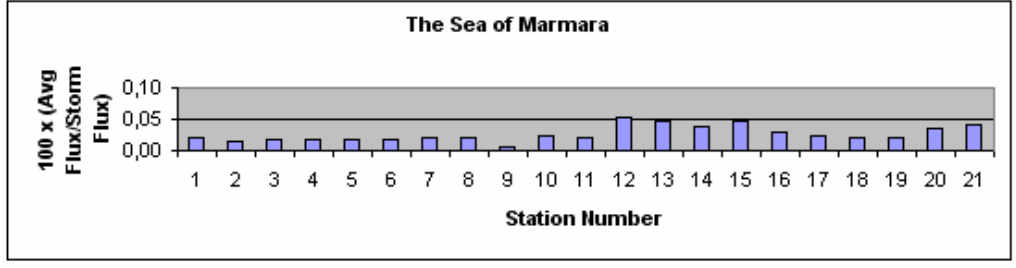
Proje başlangıcı için diğer bir önemli parametre “Dalga Enerjisi Gelişim İndeksi” (DEĞİ) değeridir. Bu değer, yıllık ortalama dalga enerjisi akışının fırtına boyutlarındaki dalga enerjisi akışına bölünmesiyle elde edilir ve dolayısıyla birimsiz bir değer elde edilir. Bu değer DEĞİ değeridir. Denizlerde bu değeri yüksek olmayan fakat dalga enerji seviyesi yüksek olan noktalar en iyi üretim noktaları olarak nitelendirilmektedir. Şekil 2.171., Şekil 2.172., Şekil 2.173. ve Şekil 2.174.’de sırasıyla Karadeniz, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgeleri için değişik istasyonlardan elde edilen DEĞİ değerleri verilmiştir.



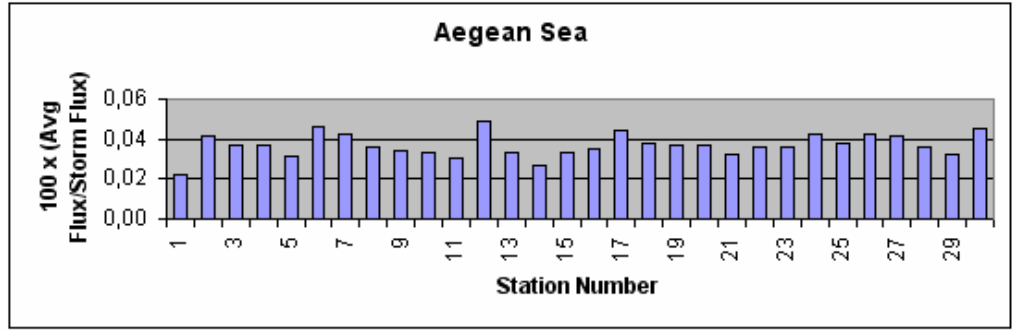
Şekil 2. 171 Karadeniz Bölgesi DEĞİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)



Şekil 2. 172 Akdeniz Bölgesi DEĞİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)



Şekil 2.173 Marmara Denizi DEĞİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)



Şekil 2.174 Ege Denizi DEĞİ Değerleri (M.Sağlam, T.S. Uyar, 2010)

Hepimizin bildiği gibi ülkemizin mevcut enerji yapısı çoğunlukla ithal fosil yakıtlara dayanmaktadır. Türkiye, enerjinin 2010 yılında %72'sini, 2020 yılında %80'ini ithal edecektir (S.Uyar, 2003). Büyük bir petrol krizinin gerçekleşmesi halinde, Türkiye tüm dünyada bu krizlerden en çok etkilenen ülkelerden biri olacaktır. Elektrik üretimi için kullanılacak büyük ölçekli bir hidrodinamik güç santralının sayısal ve çevresel maliyeti göz önünde bulundurulursa, Türkiye'nin ilk kurulumundan başka kayda değer maliyet gerektirmeyen DEK sistemleri aracılığı ile dalga enerjisi kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Dalga enerjisi, ülkemizin enerji geleceği açısından bir çıkış noktası olacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

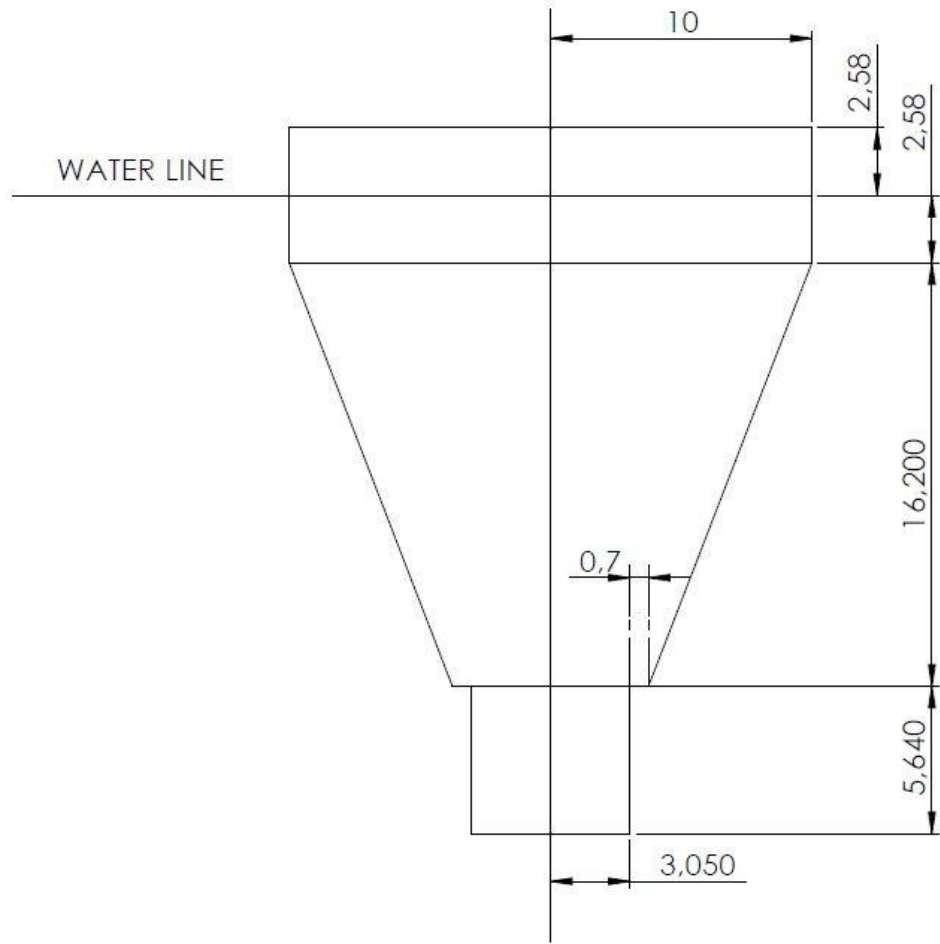
3.1. Materyal

Bu bölümde bir açık deniz DEK sistemi olan Frog Form 1 cihazı için sistemin özellikleri, geometrisi, yapısı ve modellenmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Bunun yanı sıra geliştirilen Frog Form 1 cihazı için hidrodinamik parametreler ortaya konmuş ve bunların değişiminin sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Multisurf ortamında yapılan çalışmalar ile sistemin geometrik modeli ortaya konmaya çalışılmıştır. Matlab ve simulink ortamında yapılan çalışmalar ile de sistemin işleyişi ve kontrolü üzerine incelemeler yapılmıştır. Frog Form 1 cihazı için sistem performansı ve sistem performansına etki eden parametreler üzerine irdelemeler yapılmış ve sonuçlar Matlab/simulink ortamından elde edilen grafikler ile ortaya konularak yorumlanmaya çalışılmıştır.

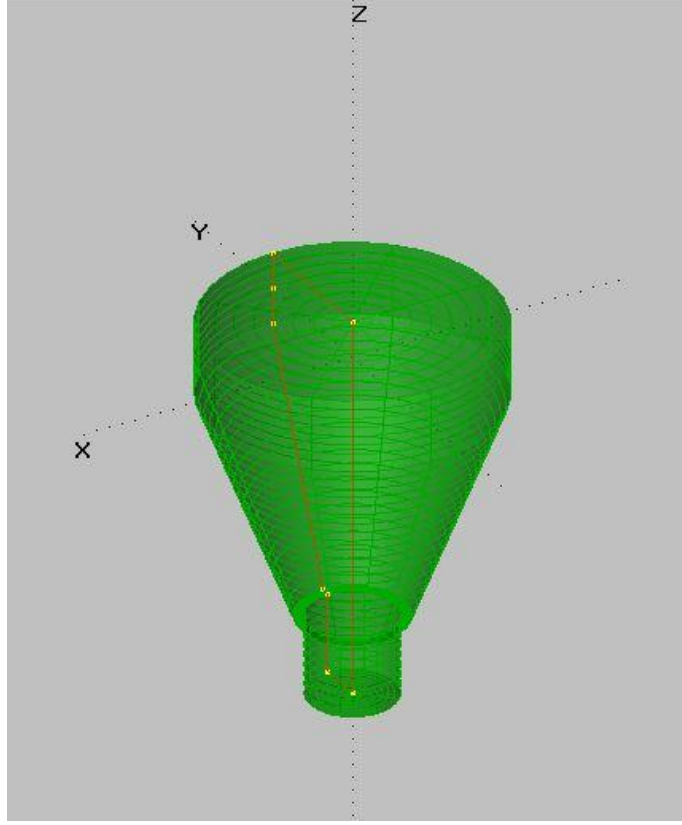
3.1.1. Frog Form 1 Geometrik Resim

Bu bölümde Frog Form 1 cihazı için multisurf ortamında hazırlanmış çizimlerle sistemin geometrisi ortaya konulmuştur. Bölüm 2.4.'de de bahsedildiği gibi Frog cihazı, su üzerinde batmadan yüzen ve düşey olarak axi-simetrik bir yapıda olan şamandıradan meydana gelmektedir. Cihazın su yüzeyinden içeri doğru nüfuz eden kısmı silindirik bir yapıdadır. Frog Form 1 cihazı için Şekil 3.1.'de metre cinsinden sistemin ölçülendirilmesi ile ilgili çizim verilmiştir. Bu çizimdeki simetrik görüntünün multisurf ortamında çizilerek döndürülmesiyle elde edilen ve x, y ve z eksenlerine göre konumlandırılarak çizilmiş üç boyutlu görüntüsü ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.

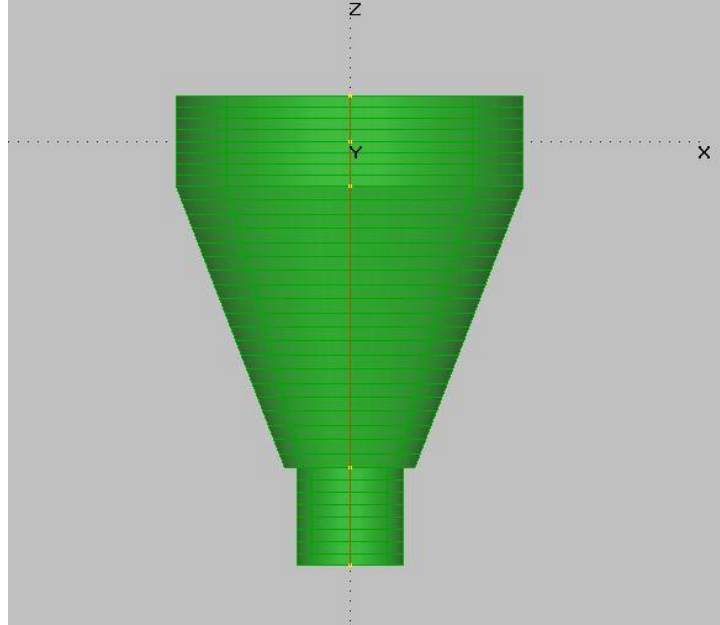
Şekil 3.1.'de water line olarak gösterilen çizgi su seviyesini göstermektedir. Ayrıca bu şekilden su seviyesindeki silindirik yapının yarıçapının 10 m civarında olduğu görülmektedir. Sistemin 2.58 m'lik bir kısmının su seviyesinin üzerinde kaldığı görülmektedir. 10 m yarıçaplı geometrinin su seviyesinin 2.58 m aşağısından sonra 16.2 m boyunca daralarak konik bir şekil oluşturacak biçimde silindirik yarıçapın azaldığı görülmektedir. En alt kısımda ise 5.64 m'lik bir kısım boyunca silindirik yarıçapın 3.05 m civarında olduğu görülmektedir. Şekil 3.3.'de ortaya konan sistem modelinin ön görünüşü verilmiştir. Şekil 3.4.'de ise sistemin gerçeğe yakın görüntüsünü oluşturmak amacıyla rendering formu verilmiştir.



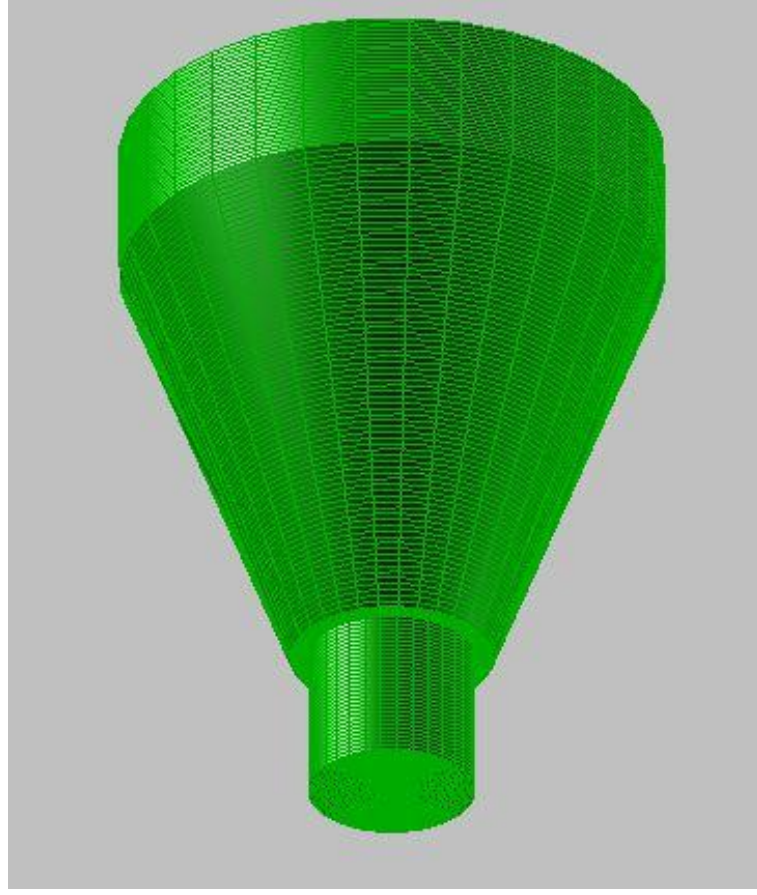
Şekil 3. 1. Frog Form 1 için m cinsinden ölçülendirme



Şekil 3. 2. Frog Form 1 için x,y ve z eksenlerine göre konumlandırılarak çizilmiş üç boyutlu görüntü



Şekil 3. 3. Frog Form 1 için ön görünüş



Şekil 3. 4. Frog Form 1 için üç boyutlu görüntünün rendering formu

Yukarıdaki paragrafta anlatılan boyutsal özelliklerden yola çıkılarak sistemin geometrisi hakkında fikir yürütülebilir. Sistemin hacmi ve yoğunluk özelliğinin de ortaya konmasıyla da ağırlığı hakkında fikir yürütülebilir. Yani bu noktadan hareketle sistemin fiziksel özellikleri hakkında bilgilere ulaşabilir.

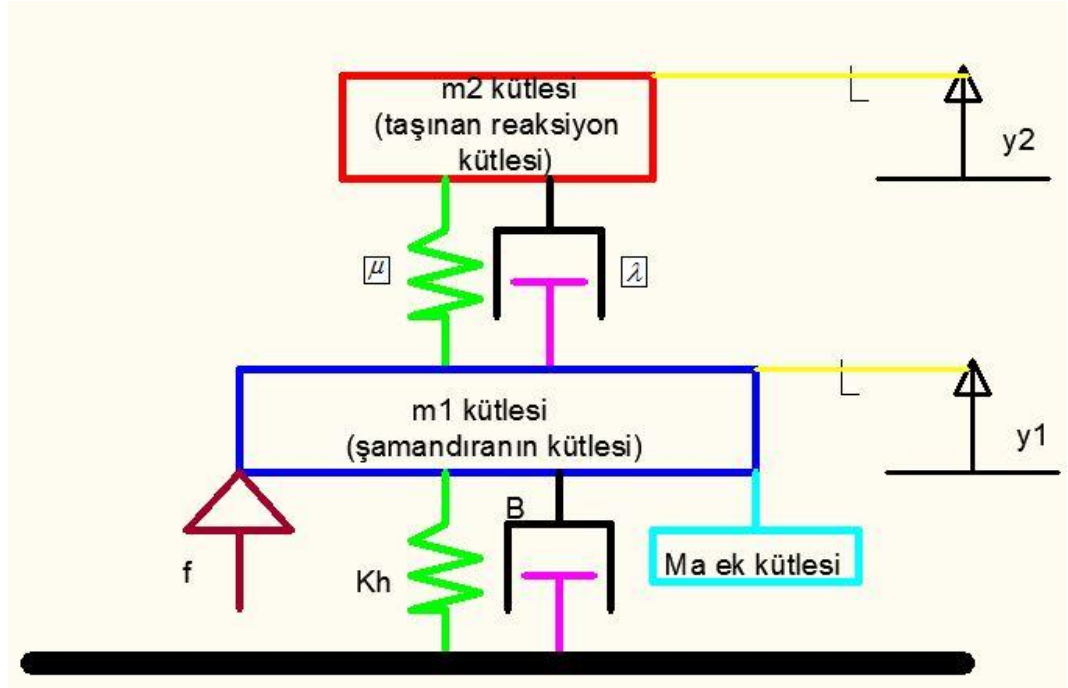
Çizelge 3.1.'de ise Matlab/simulink modelinde esas alınan Frog Form 1 cihazı için yerçekimi ivmesi, su yoğunluğu, batan kısmın yüksekliği, kuru kütle ve kuru kütle için ağırlık merkezi, dalga genliği ve serbest yüzeydeki atalet momenti gibi özellikler ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3. 1. Matlab/simulink modelinde esas alınan Frog Form 1 cihazı için bazı fiziksel özellikler

Notasyon	Özellik	Değer	Birim
g	Yerçekimi ivmesi	9.80665	m/s ²
rho	Suyun yoğunluğu	1.027	ton/m ³
m _{dry}	Toplam kuru kütle	2054	ton
BigG	Kuru kütleinin ağırlık merkezi	-10	m
I _{yy}	Serbest yüzeydeki atalet momenti	278145.8246	ton/m ²
alpha	Dalga genliği	0.10	m
L	Suya batan kısmın yüksekliği	24.42	m

3.1.2. Simulink modeli

Çalışmanın bu kısmında bir önceki bölümde geometrisi açıklanmış olan Frog Form 1 cihazı için Matlab/Simulink ortamında hazırlanan simulink modeli anlatılmıştır. Bu modelde sistemdeki hidrodinamik parametreler ortaya konulup incelenmiş ve bu parametrelerin değişiminin sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca çalışmanın ilerleyen kısmında geliştirilen modele ait hidrodinamik parametrelerin sisteme etkisini gösteren grafikler de verilmiştir. Şekil 3.5.'de Frog Form 1 cihazı için çalışma prensibini açıklayan serbest cisim diyagramı, A9CAD ücretsiz ve açık kaynaklı 2D çizim programı ile hazırlanarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu şekilde kullanılan değişkenler ve açıklamaları ise Çizelge 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3. 5. Frog Form 1 cihazı için çalışma prensibinin şematik görünümü

Çizelge 3. 2. Frog Form 1 Cihazının Temel Çalışma Prensiğini Açıklayan Denklemlerde Kullanılan Kısaltmalar ve Açıklamaları

Simge	Anlamı
m_1	Şamandıranın kütlesi
m_2	Taşınan reaksiyon kütlesi
m_a	Eklene kütlesi
K_h	Hidrodinamik yayılma katsayısı
b	Hidrodinamik sönümleme
y_1	Şamandıranın yukarıdan mutlak yerdeğiştirmesi
y_2	Reaksiyon kütesinin yukarıdan mutlak yerdeğiştirmesi
μ	Yay sertliği
λ	Lineer amortisörün sönümleme katsayısı

Frog Form 1 için simülük modeli oluştururken kullanacağımız ana denklemler iki tanedir ve bunlar aşağıda verilmiştir (Bracewell, 1990).

1.denklem:

$$(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 + m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1 = f \quad (3.1)$$

2.denklem:

$$m_2\ddot{y}_2 + \lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \mu(y_2 - y_1) = 0 \quad (3.2)$$

1.denklemden \ddot{y}_1 çekilirse;

$$(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 + m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1 = f$$

$$(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 = f - (m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1)$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_a} [f - (m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1)] \quad (3.3)$$

1.denklemden y_1 çekilirse ;

$$(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 + m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1 = f$$

$$K_h y_1 = f - (m_1 + m_a)\ddot{y}_1 - m_2\ddot{y}_2 - b\dot{y}_1$$

$$y_1 = \frac{(f - (m_1 + m_a)\ddot{y}_1 - m_2\ddot{y}_2 - b\dot{y}_1)}{K_h} \quad (3.4)$$

2.denklemden \ddot{y}_2 çekilirse;

$$m_2\ddot{y}_2 + \lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \mu(y_2 - y_1) = 0$$

$$\ddot{y}_2 = -\frac{(\lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \mu(y_2 - y_1))}{m_2} \quad (3.5)$$

Frog Form 1 cihazı için serbest cisim diyagramını ve ana denklemleri ortaya koyarak bu denklemlerdeki değişkenler açıklandıktan sonra sistemin simulink modeli oluşturulmaya başlanabilir.

Yukarıdaki 1.denklem olan $(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 + m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1 = f$ incelenecek olunursa; \ddot{y}_1 değerinin yani y_1 değerinin ikinci türevinin $(m_1 + m_a)$ ile çarpılarak, \ddot{y}_2 değerinin yani y_2 değerinin ikinci türevinin m_2 ile çarpılarak, \dot{y}_1 değerinin yani y_1 değerinin birinci türevinin b ile çarpılarak ve son olarak da y_1 değerinin K_h ile çarpılarak toplandığını ve bu toplamın f değerine eşitlendiği görülebilir.

Bu durumun Matlab/Simulink ortamında ifade edilmesi için; toplama noktası, kazanç elemanı ve integral elemanı gibi elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılması gereken bu blok elemanları Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

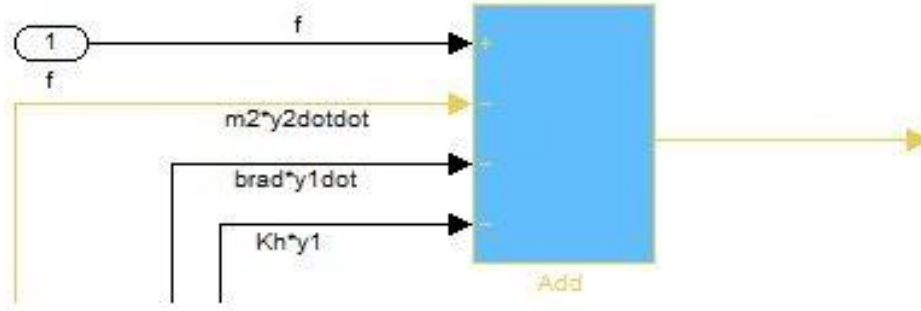


Şekil 3. 6. Kullanılacak blok elemanları

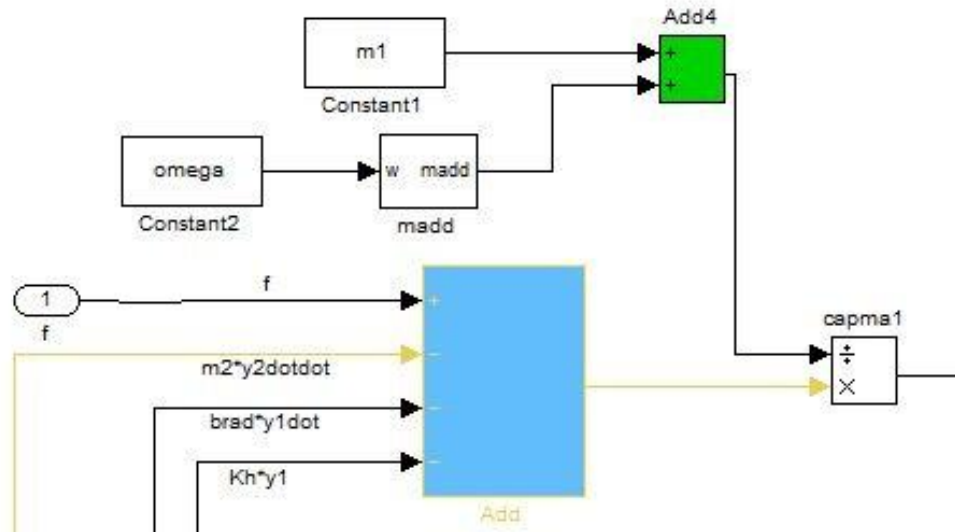
3.1.2.1 y_1 değeri ile ilgili 1.denklem incelemeleri:

$(m_1 + m_a)\ddot{y}_1 + m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1 = f$ ana denklemi dikkate alınarak toplama noktası Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Burada $(m_2\ddot{y}_2, b\dot{y}_1, K_h y_1)$ değerlerinin toplama noktasına (-) işareti ile yani çıkarılarak eklendiğine dikkat edilmelidir. Bunun sebebi de denklemden $\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_a} [f - (m_2\ddot{y}_2 + b\dot{y}_1 + K_h y_1)]$ değeri bu şekilde çekildiği zaman parantezin önünde (-) işaretinin yer almasıdır.

Toplama noktasından bu değerler giriş yaptıktan ve işleme konduktan sonra toplama noktasından çıkış yapan \ddot{y}_1 değerinin $(m_1 + m_a)$ katsayısı ile çarpılması gereklidir. Bu durum için $(m_1 + m_a)$ ayrı bir toplama noktası ile eklenerek sisteme dahil edilmekte ve Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi sisteme eklenmektedir.

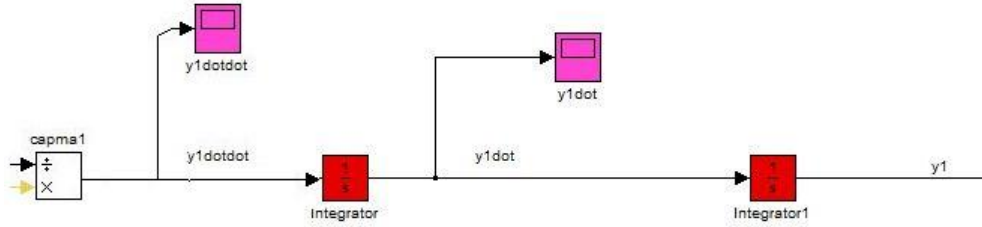


Şekil 3. 7. Simulink şeması için toplama noktasının görünümü (1.denklemler)



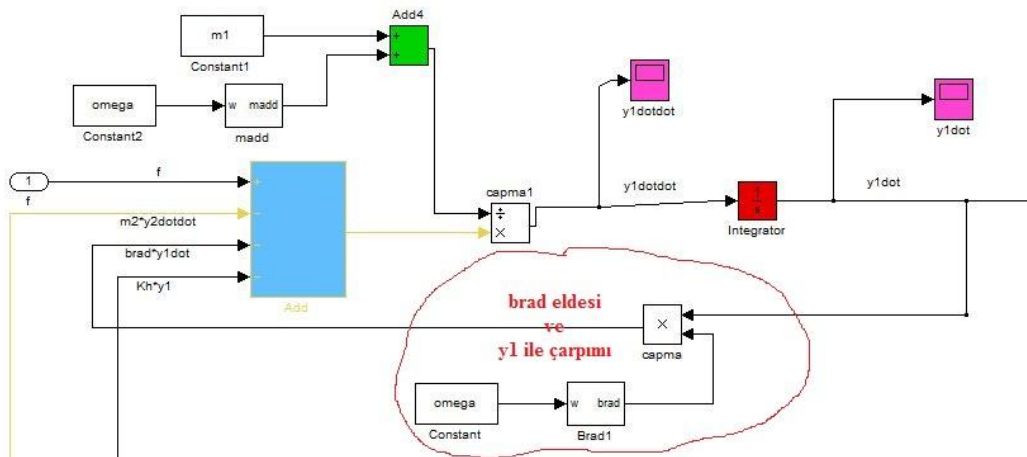
Şekil 3. 8. Toplama noktasından çıkış yapan \ddot{y}_1 değerinin $(m_1 + m_a)$ katsayısı ile çarpılması

Şekil 3.9.'da ise arka arkaya kullanılan iki integral elemanı ile \ddot{y}_1 (y1dotdot) değerinin önce \dot{y}_1 (y1dot) daha sonra ise y_1 değerine dönüştürülmesi gösterilmiştir ve pembe kutucuklarla gösterilen scope elemanına bu değerler taşınmıştır.

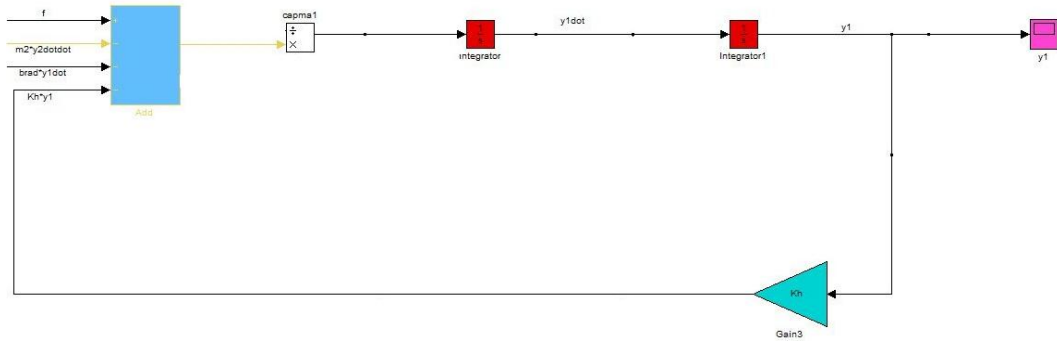


Şekil 3. 9. Kullanılan iki integral elemanı ile y_1 değerinin eldesi

Şekil 3.10.'da ise elde edilen \dot{y}_1 (y1dot) değerinin sabit bir frekansta üretilen brad değeri ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi gösterilmiştir. Bu ekleme işleminin çarpma elemanı ile yapıldığına dikkat edilmelidir. Bu durum Şekil 3.10.'da kırmızı kutucuk içerisinde gösterilmiştir. Şekil 3.11.'de ise K_h değerinin y_1 ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi gösterilmiştir. y_1 değeri ile ilgili çarpımlar yapılp toplama noktasına eklendikten sonra y_2 değeri ile ilgili 2. denklem incelemelerine başlanmıştır.



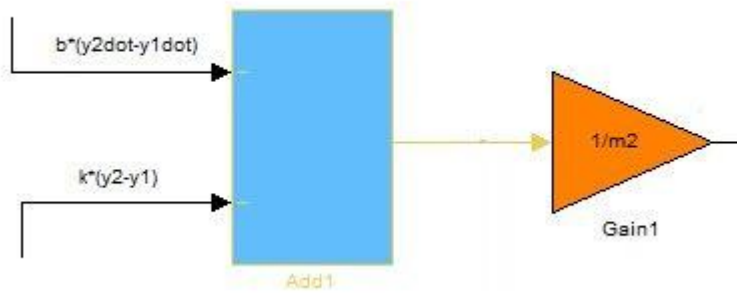
Şekil 3. 10. \dot{y}_1 (y1dot) değerinin sabit bir frekansta üretilen brad değeri ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi



Şekil 3. 11. K_h değerinin y_1 ile çarpılarak toplama noktasına eklenmesi

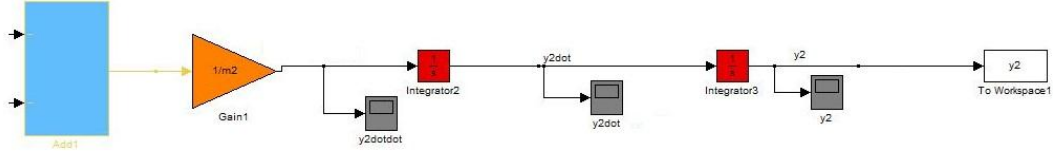
3.1.2.2. y_2 değeri ile ilgili 2.denklem incelemeleri:

Eşitlik 3.5'ten hareketle, yukarıda \ddot{y}_1 için yapılan işlemlere benzer şekilde \ddot{y}_2 için de simulink modeli hazırlanabilir. Hazırlanan bu model ile önceki modelin kombinesi sistemin esas simulink şemasını oluşturmaktadır. Eşitlik 3.5'den görülebileceği gibi \ddot{y}_2 değeri ile ilgili eşitliğin sağ tarafında $1/m_2$ ifadesi söz konusudur. Bu durum, toplama noktasından çıkan değerün önüne $1/m_2$ katsayılı kazanç (gain1) elemanı konmasıyla simulink şemasında gerçekleştirilmektedir. Bu durumun simulink şemasına yansması Şekil 3.12.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 12. Toplama noktasından çıkan değerün önüne $1/m_2$ katsayılı kazanç elemanı konulması

Bu noktadan sonra \ddot{y}_2 (y2dotdot) değerinin simulink şemasına arka arkaya konan iki integral elemanı ile sırasıyla önce \dot{y}_2 (y2dot) ve daha sonra y_2 değerine dönüştürülmesi ise Şekil 3.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 13. \ddot{y}_2 değerinin simulink şemasına arka arkaya konan iki integral elemanı ile sırasıyla \dot{y}_2 ve y_2 değerine dönüştürülmesi

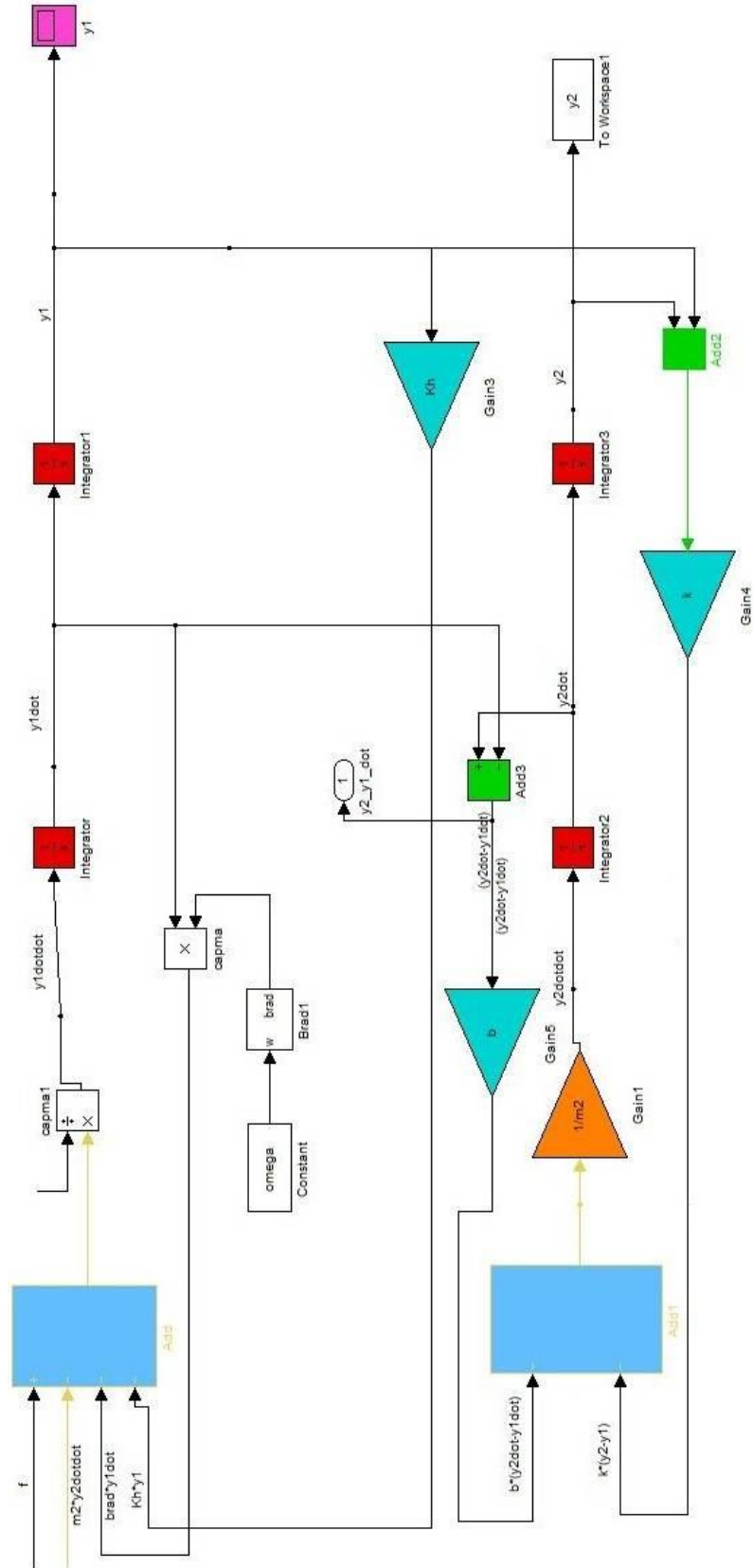
Simulink şemasında yer alan toplama noktalarından çıkan \dot{y}_1 ve \ddot{y}_2 değerlerinden sırasıyla \dot{y}_1 ve y_1 ile \dot{y}_2 ve y_2 değerleri elde edildikten sonra yukarıdaki denklemlere göre, bunların kombinesi ile aşağıdaki anlatıldığı gibi bu iki akış şeması birleştirilir.

1. denklemdeki akış şemasından y_1 değeri ve 2.denklemdeki akış şemasından y_2 değeri alınır ve bir toplama noktasında işaretleri ayarlanarak $(y_2 - y_1)$ değerini verecek biçimde birleştirilir ve bu toplama noktasından çıkan değer k katsayılı kazanç elemanı ile çarpılarak 2. denklemin toplama noktasında birleştirilir.

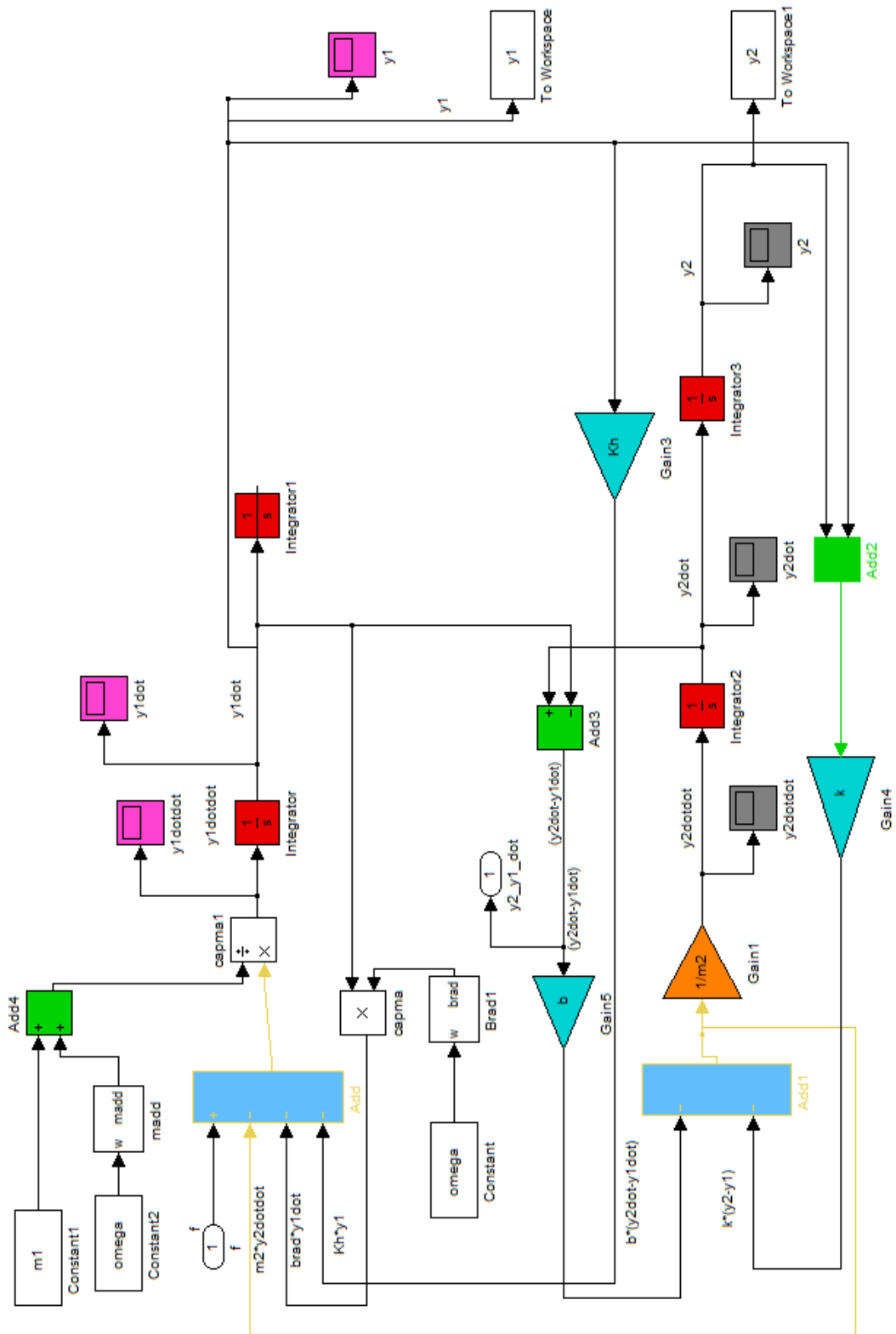
1. denklemdeki akış şemasından \dot{y}_1 ve ikinci denklemdeki akış şemasından \dot{y}_2 değerleri alınır ve bir toplama noktasında işaretleri ayarlanarak $(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)$ değerini verecek biçimde birleştirilir ve bu toplama noktasından çıkan değer b katsayılı kazanç elemanı ile çarpılarak 2. denklemin toplama noktasında birleştirilir.

Yukarıdaki iki paragrafta anlatılan işlemler aşağıda Şekil 3.14.'de gösterilmiştir. Bu işlemlerde kullanılan b ve k katsayılı kazanç elemanı katsayıları sırasıyla sönümlenme ve yay katsayısını belirtmektedir.

Yapılan işlemler bu noktaya geldikten sonra Frog Form 1 cihazı için simulink şeması tamamlanmış olur ve bu şemaya elde edilen değerleri saklaması ve aktarması için scope elemanlarının eklenmesiyle simulink şeması son halini alır. Simulink modelinin bu son durumu Şekil 3.15.'de verilmiştir.

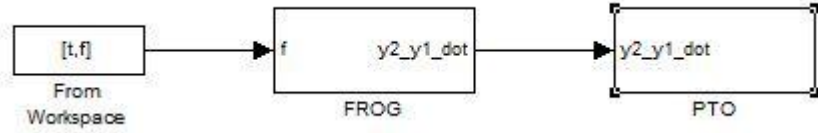


Şekil 3. 14. 1. ve 2. denklem için akış şemasının kombine edilmesi

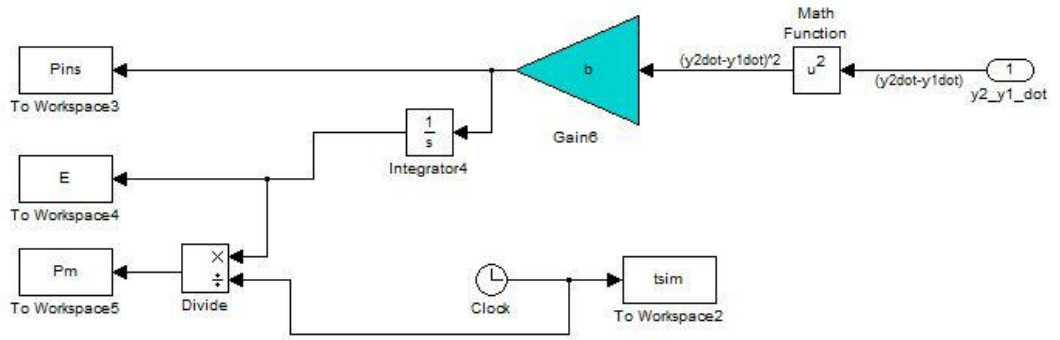


Şekil 3. 15. Frog Form 1 cihazı için simulink şemasının son durumu

Şekil 3.16.'da simulink ana şeması verilmiştir. Şimdiye kadar anlatılmış olan ve Şekil 3.15.'te son durumu verilmiş olan model aşağıdaki şekilde FROG olarak gösterilmiştir. Şekil 3.17.'da ise aşağıdaki şekilde PTO olarak gösterilen kısmın yani güç çekme ünitesinin (Power Take Off) içeriği detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3. 16. Ana simulink şeması



Şekil 3. 17. Güç çekme ünitesine ait simulink şeması

3.1.3. Geliştirilen Modele Ait Hidrodinamik Parametreler

Bu sisteme ait ilk denemeler frekans uzayında yapılmıştır. Bu doğrultuda Frog Form 1 cihazına ait frekans uzayı modeli oluşturulmuştur. Bu model için frekansa bağlı olan radyasyon sönümleme katsayısı ve ek kütle terimleri Bracewell'dan alınmıştır.

Matlab/Simulink ortamında yapılan ve yukarıda simulink modeli verilen çalışmada kullanılan matlab dosyasına ait kodlar aşağıda verilmiştir.

```

ts = 0;
tf = 100;
dtc = 0.1;

t = [ts:dtc:tf];
t = t';

Fo = 1000; % N
omega = 0.1 ; % rad/s

f= Fo*sin(omega.*t);

m1 = 10;
m2 = 10;

k = 10;
b = 5.9;

Kh = 10;

model_name = 'frog_form';

sim(model_name)

figure(1)
plot(tsim,y1)
title('Samandra kutlesi yer degistirme, (y1, m)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('y_1, m')

figure(2)
plot(tsim,y2)
title('reaksiyon kutlesi yer degistirme, (y2, m)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('y_2, m')

```

```

figure(3)
plot(tsim,y1./y2)
title('yer degistirme orani, (y1/y2, m/m)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('y_1 / y_2, m/m')

```

```

figure(4)
plot(tsim,Pins)
title('Anlik guc, (Pins, watt)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('P_{ins}, watt')

```

```

figure(5)
plot(tsim,E)
title('Enerji, (E, joule)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('E, joule')

```

```

figure(6)
plot(tsim,Pm)
title('Ortalama guc, (P_m, watt)')
grid
xlabel('t, s')
ylabel('P_m, watt')

```

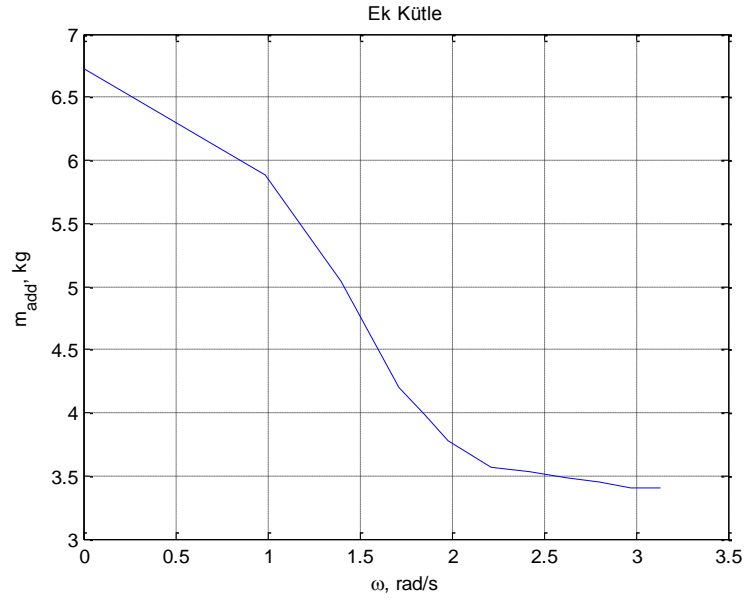
Verilen bu kodlardan, bu çalışmanın hangi şartlar ve veriler altında yapıldığı hakkında bilgi edinilebilir. Bu çalışmada F_0 değeri 1000 N olarak alınmış ve $f = F_0 \cdot \sin(\omega t)$ fonksiyonu kullanılmıştır.

Bu programdan da anlaşılacağı üzere, birden altıya kadar olmak üzere altı ayrı figür programa çizdirilmiştir. Şamandıra kütesinin yerdeğiştirmesi, reaksiyon kütesinin yerdeğiştirmesi, bu yerdeğiştirmelerin birbirine oranı, anlık güç, enerji ve ortalama güç ile ilgili olarak çizdirilen bu grafikler aşağıda verilmiş ve yorumlanmaya çalışılmıştır. Şekil 3.18.'de ek kütleyle ilgili simulink şeması, Şekil 3.19.'da ek kütleyle ilgili grafik verilmiştir. Şekil 3.20.'de sönümlemeyle ilgili simulink şeması, Şekil 3.21.'de sönümleme ile ilgili grafik verilmiştir. Şekil 3.22.'de şamandıra kütesinin, Şekil 3.23.'de reaksiyon kütesinin değişim grafiği verilmiştir. Şekil 3.24.'de ise amandıra kütesinin yerdeğiştirme oranı/reaksiyon kütesinin yerdeğiştirme oranı (y_1/ y_2) ile ilgili

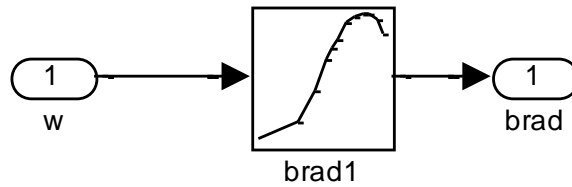
grafik verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.'da sırasıyla ortalama ve anlık güç için grafikler verilmiştir. Son olarak Şekil 3.27.'de enerji ile ilgili grafik verilmiştir.



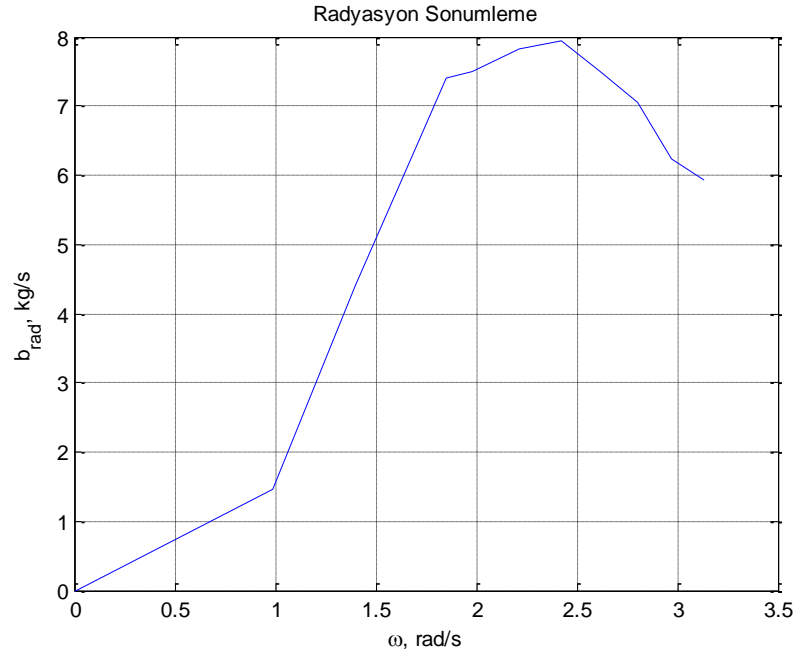
Şekil 3. 18. Ek kütleyle ilgili simulink şeması



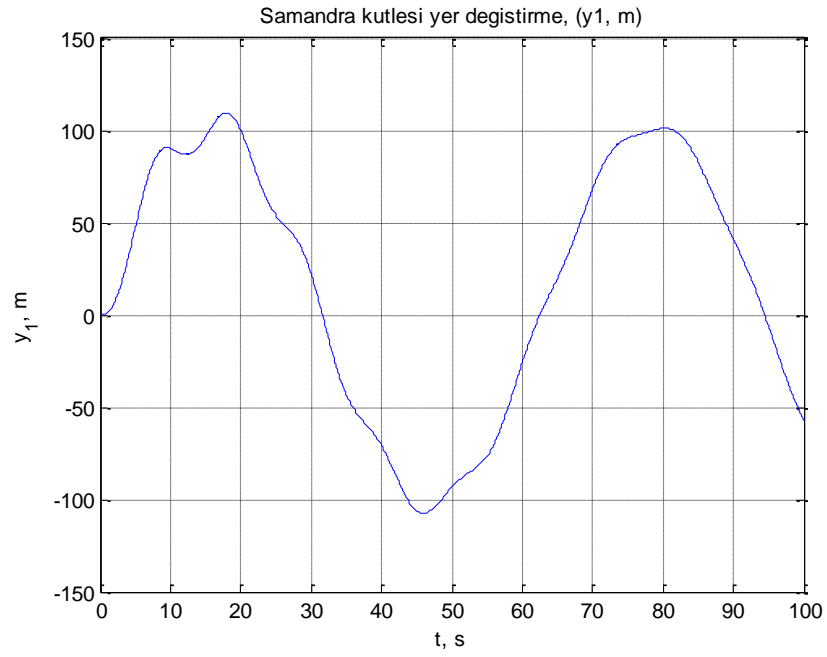
Şekil 3. 19. Ek kütleyle ilgili grafik (ω, m_{add})



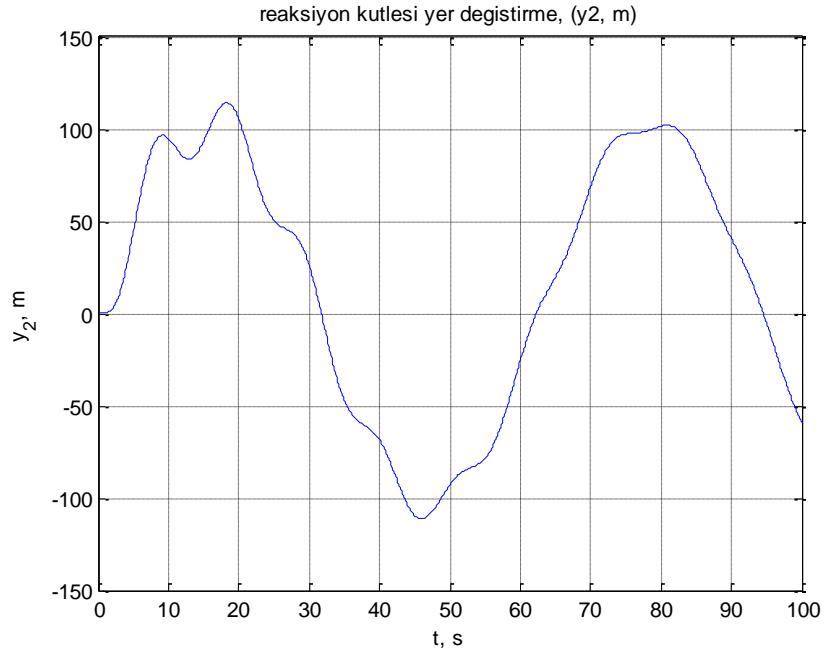
Şekil 3. 20. Sönüleme ile ilgili simulink şeması



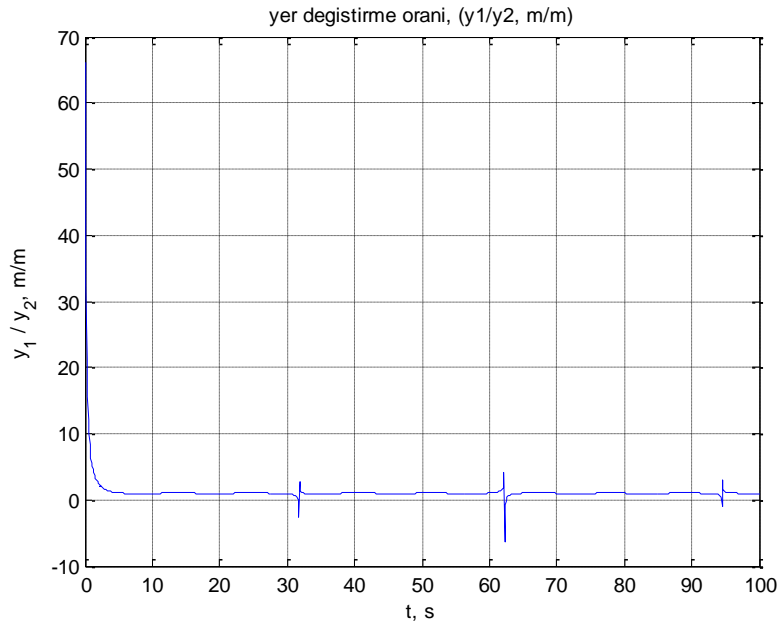
Şekil 3. 21. Sönümlenme ile ilgili grafik (ω, b_{rad})



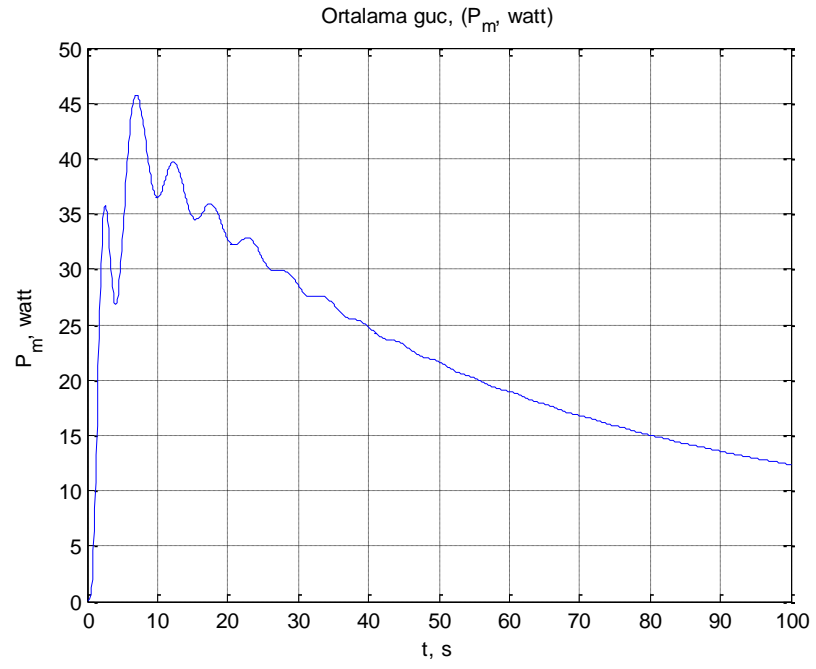
Şekil 3. 22. Şamandra kütlesinin yerdeğiştirmesi (y_1) ile ilgili grafik



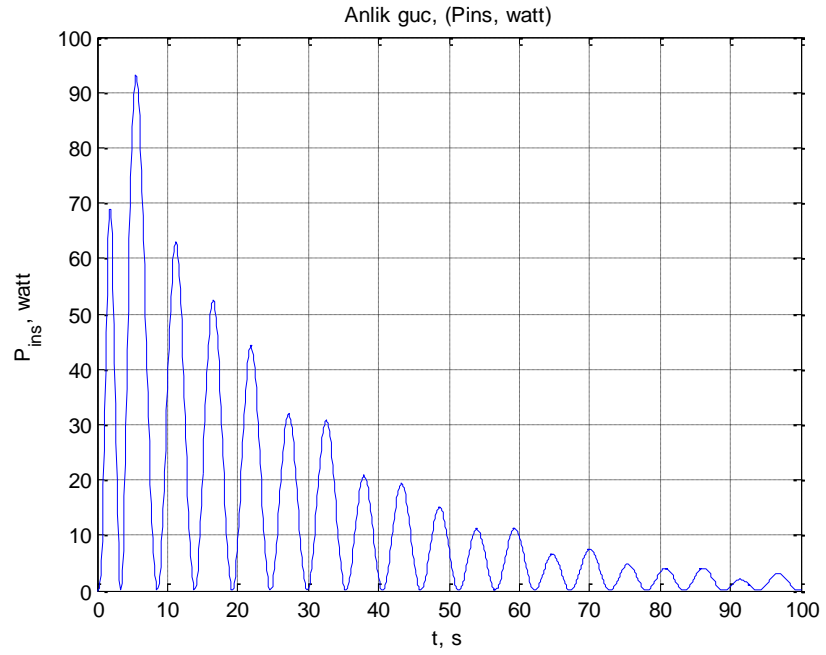
Şekil 3. 23. Reaksiyon kütesinin yerdeğiştirmesi (y_2) ile ilgili grafik



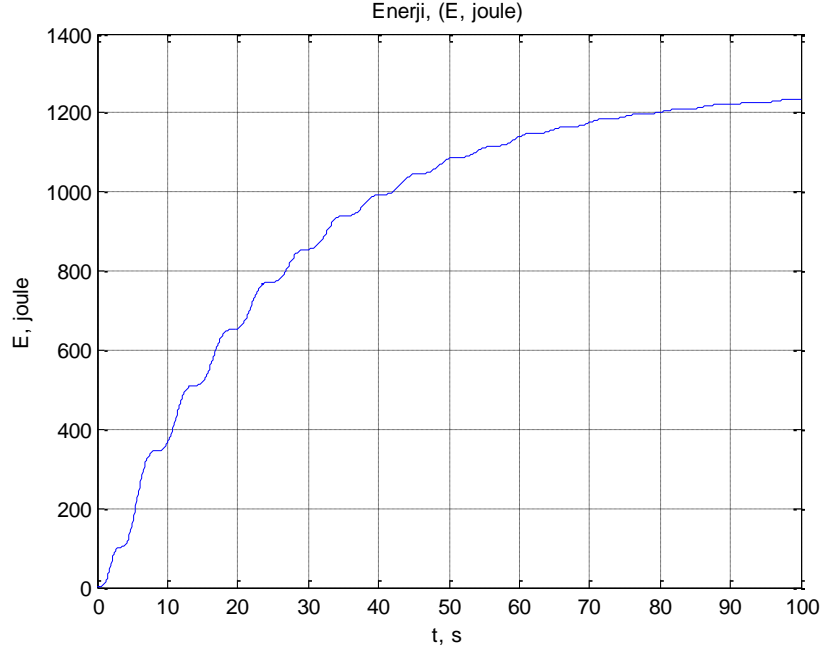
Şekil 3. 24. Şamandıra kütesinin yerdeğiştirme oranı/reaksiyon kütesinin yerdeğiştirme oranı (y_1/y_2) ile ilgili grafik



Şekil 3. 25. Ortalama güç (P_m) değeri ile ilgili grafik



Şekil 3. 26. Anlık güç değeri (P_{ins}) ile ilgili grafik



Şekil 3.27. Enerji ile ilgili grafik

Elde edilen bu grafiklerden yola çıkılarak, sistem performansına etki eden hidrodinamik parametreler hakkında aşağıda maddeler halinde verilen yorumlar çıkarılabilir:

- Ek kütle'nin sistem performansına etkisi ile ilgili (ω, m_{add}) grafikten (Şekil 3.19.) yola çıkarak frekans değeri arttıkça ek kütle'nin azaldığını gözlemlenebilir.
- Sönümlenmenin sistem performansına etkisi ile ilgili grafikten (ω, b_{rad}) yola çıkarak (Şekil 3.21.), frekansta meydana gelen artış ile belli bir noktaya kadar sönümlemede artış olduğunu ve belli bir noktadan sonra ise sönümlemede azalmanın başladığını gözlemlenebilir.
- Şamandıra kütle'si ve reaksiyon kütle'lerinin yerdeğıştirmeleri ile ilgili grafiklerin birbiri ile benzer ve paralel doğrultuda olduğunu görebiliriz. Şamandıra kütle'sinin yerdeğıştirme oranı/reaksiyon kütle'sinin yerdeğıştirme oranı (y_1/ y_2) ile ilgili grafikten hareketle, bu oranın genellikle 1 civarında olmasına rağmen yer yer sapmalar olduğunu görülebilir.

- Ortalama güç değeri ile grafik (Şekil 3.25.) incelendiğinde ise güç değerinin sürekli olarak sabit olmadığını, belli aralıklarda artıp azaldığını görebiliriz. Yaklaşık olarak 7. saniyede ortalama gücün bir maksimum noktasına ulaştığını ve bu noktadan sonra ise azalarak daha düşük değerlerde kaldığını söylenebilir.
- Anlık güç değeri ile ilgili grafik (Şekil 3.26.) incelendiğinde ise sürekli olarak salınımların olduğunu ve bu salınımların zamanla daha düşük güç değerlerinde devam ettiğini görülebilir.
- Enerji ile ilgili grafiği (Şekil 3.27) incelediğimiz zaman ise enerjinin sürekli olarak artan bir yapıda olduğu gözlemlenebilir. Belli bir zaman diliminden (40 s) sonra ise bu artışın daha az bir şekilde gerçekleşerek devam ettiğini farkedilebilir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Frekans Uzayı Sistem Modeli ve Simülasyon Çalışmaları

Bu bölümde, Frog Form 1 cihazı için frekans uzayındaki sistem modeli ve simülasyon çalışmaları üzerinde durulmuştur. İlk olarak, belli bir frekans (ω) değeri tanımlanmış ve sisteme uygulanmıştır. Daha sonra elde edilen çıktılar grafiksel olarak ortaya konmuştur. Daha sonra maksimum güç çizgisi şekil üzerinde gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, maksimum gücü elde etme ve güç optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında sistem performansı hakkında değerlendirmeler ve yorumlar yapılmaya çalışılmıştır.

Matlab ortamında fiziksel datanın ve model datasının tanımlanması aşağıdaki gibidir.

```
% Physical data *****
g = 9.80665; % acceleration due to gravity, m/s^2
rho = 1.027; % density of water, tonne/m^3

%*****
% Load model data
%-----
% variables:
% sysF3_fore, sysF3_back ... Heave force transfer functions.
% KR33num, KR33den ..... Heave - heave radiation transfer function
numerator and denominator.
% Minf_1 ..... Inverse of mass / inertia matrix.
% Btotmat ..... Damping matrix (includes infinite-
frequency radiation and additional damping, see notes).
% Ktotmat ..... Stiffness matrix (see notes).
% BigG ..... Dry centre of gravity, -10.00 m.
% mdry ..... total dry mass, 2054 tonne.
% Iyy ..... moment of inertia at free surface,
278145.8246 tonne-m^2.
%-----
```

Yukarıda tanımlanan model dataları, hazırlanan matlab dosyasından programa tanıtılarak aktarılır. Program, hazırlanan bu model data dosyasındaki verileri kullanarak işlem yapar. Hazırlanan dosyanın (HFrog_form1_modeldata_hy1) programa tanıtılması ve çeşitli değişkenler için kullanılan değerler aşağıda verilmiştir. "load" komutu ile matlab çalışma alanına aktarılan model dataları WAMIT hidrodinamik analiz programından yararlanılarak hazırlanmıştır.

```
fprintf('\n\n Loading model data .... \n\n');

load HFrog_form1_modeldata_hy1

binf = 0;           %Ns/m
knet = C33;        % N/m
m1 = (mdry+Ainfs(3)); % kg
m2 = 1;           %second mass, kg

dtc = 0.2;
Td1 = 5;
Td2 = 20;
```

Düzenli dalga ortamı için kullanılan değerler açıklamaları ve birimleri ile aşağıda verilmiştir.

```
%*****
% Simulation (Regular-wave Example)
%*****

omega = 0.39;           % wave frequency, rad/sec

k2 = 0.05;
b2 = 0.05;

dt    = 0.05;           % Simulation time-step, s.
alpha = 0.10;          % wave amplitude, m.

% %%%%%%%%%%
```

Ayrıca simülasyon ortamı için zaman ve dalga yüksekliği ayarları da aşağıda belirtilmiştir. Burada 1. koşul olarak düzenli dalga ortamı kastedilmiştir. Eğer düzensiz dalga ortamında çalışılacaksa, else komutunu izleyen satırdaki işlemler uygulanır ve jonswap verilerine gereksinim duyulur.

```

% Time and wave elevation settings

if 1

    tssim      = 0;                % simulation start time, s.
    tfsim      = 1200;           % simulation end time, s
    trun       = [tssim:dt:tfsim]'; % time ordinates, s
    wave_elev  = alpha*cos(omega*trun); % wave elevation vector, m

else
    % %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % For irregular waves the wave elevation signal needs to be
    redefined..
    jonswap1_0p5_1
    tssim = t(1);
    tfsim = t(end);
    trun = t;
    % time spacing is unequal.... needs to be worked on
end

%*****

```

Dalga gücü ve moment hesaplamaları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir. Ayrıca sistemde çalıştırılan ve 'Frog_1DOF' olarak adı geçen model Şekil 3.28.'de verilmiştir.

```

% Wave Force / Moment calculations
U_fore = wave_elev;
U_back = flipud(wave_elev);

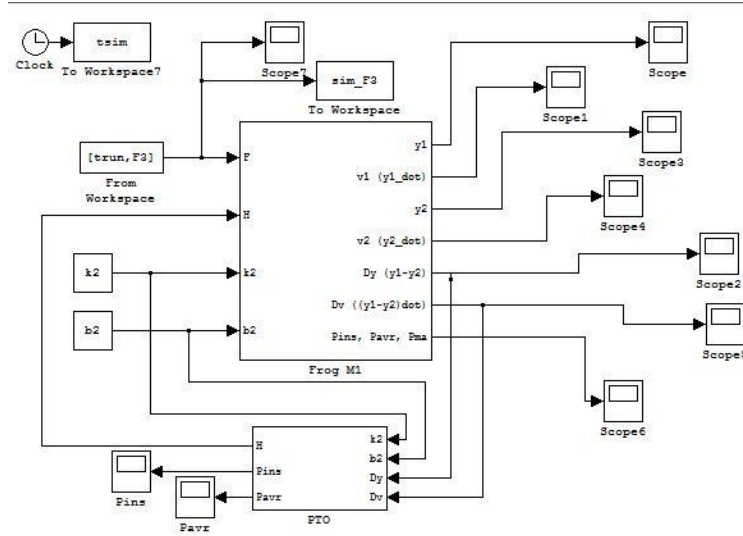
Y3_fore = lsim(sysF3_fore,U_fore,trun);
Y3_back = lsim(sysF3_back,U_back,trun);
F3       = Y3_fore + flipud(Y3_back);

%*****
%Simulink bit
fprintf('\n Running simulation \n\n');
sim('Frog_1DOF');           % Run three-d.o.f. model
fprintf('\n Done.... \n\n');

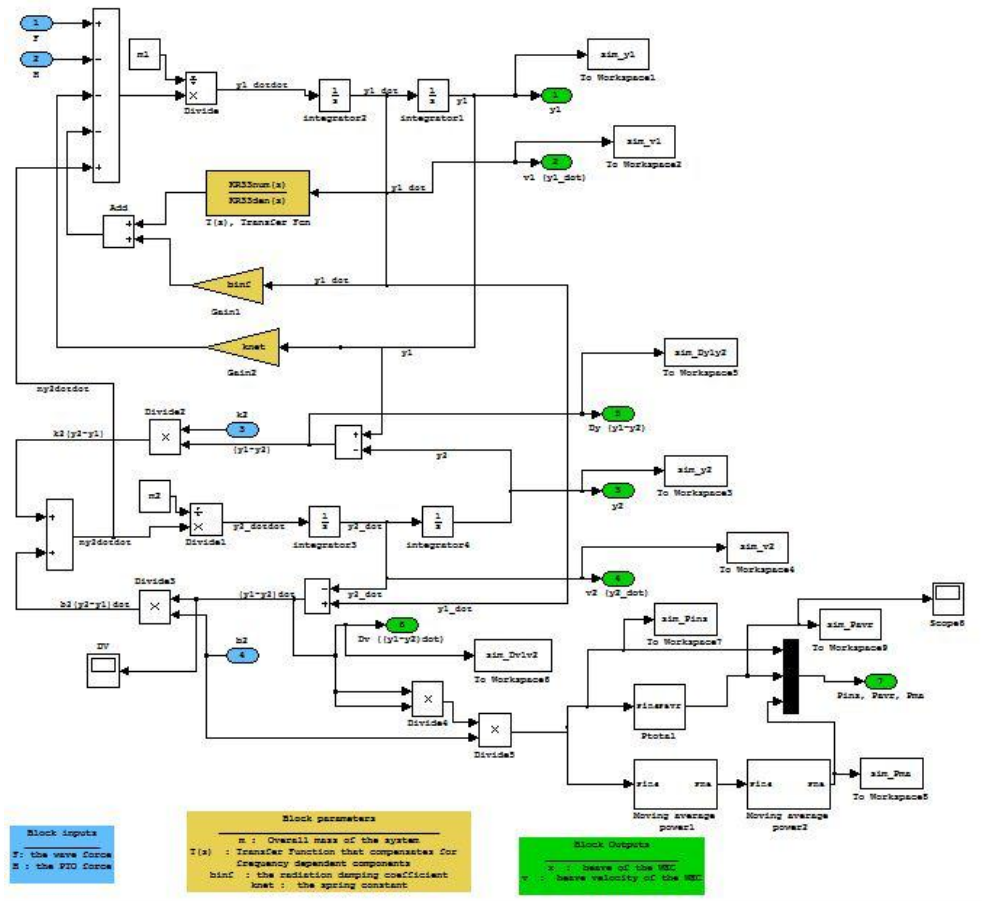
%*****

```

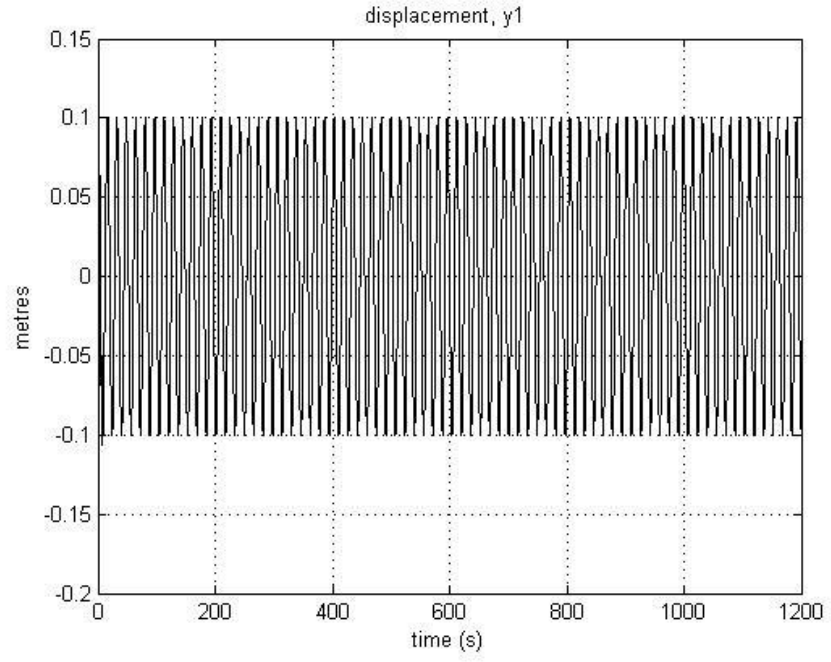
Yukarıda belirtilen programda kullanılan ana simulink şeması Şekil 3.28.'de verilmiştir. Ayrıca bu şekilde Frog M1 olarak gösterilen Frog Form 1 cihazına ait simulink modeli ise Şekil 3.29.'da verilmiştir. Bu noktadan hareketle y_1 (Şekil 3.30.) ve y_2 (Şekil 3.31.) yerdeğiştirmeleri ile v_1 (Şekil 3.32.) ve v_2 (Şekil 3.33.) hızlarına ait grafikler de aşağıda verilmiştir.



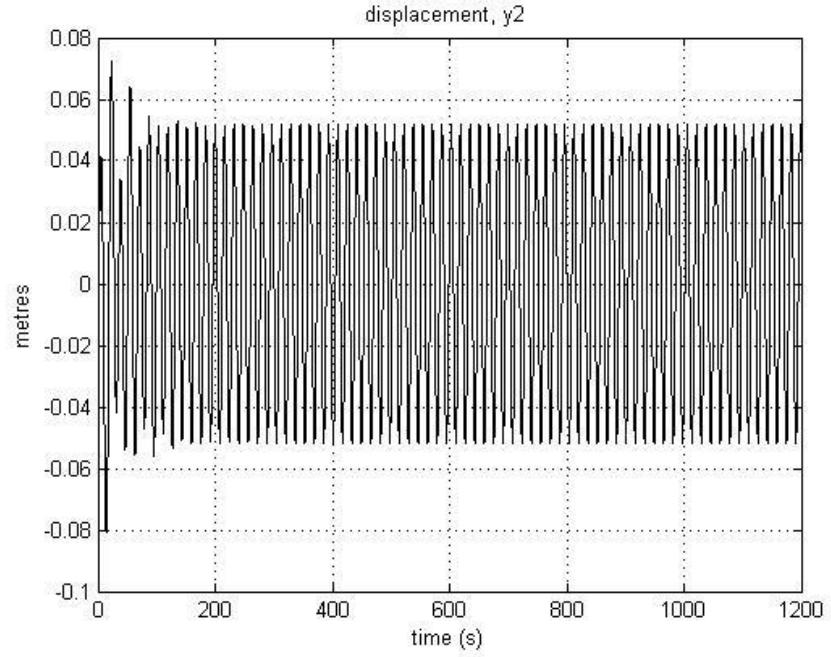
Şekil 3. 28. Frekans uzayı için ana simulink şeması



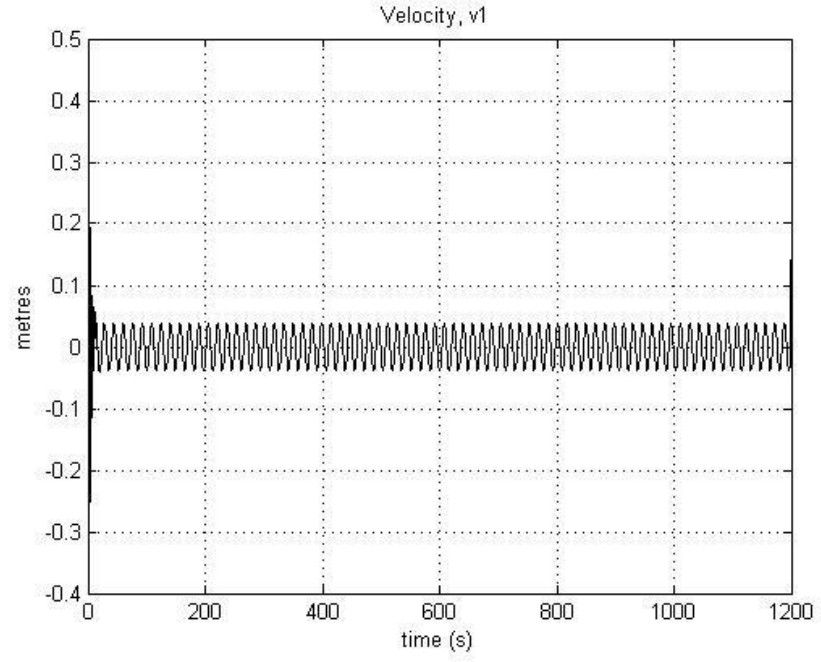
Şekil 3. 29. Frog Form 1 cihazına ait simulink modeli



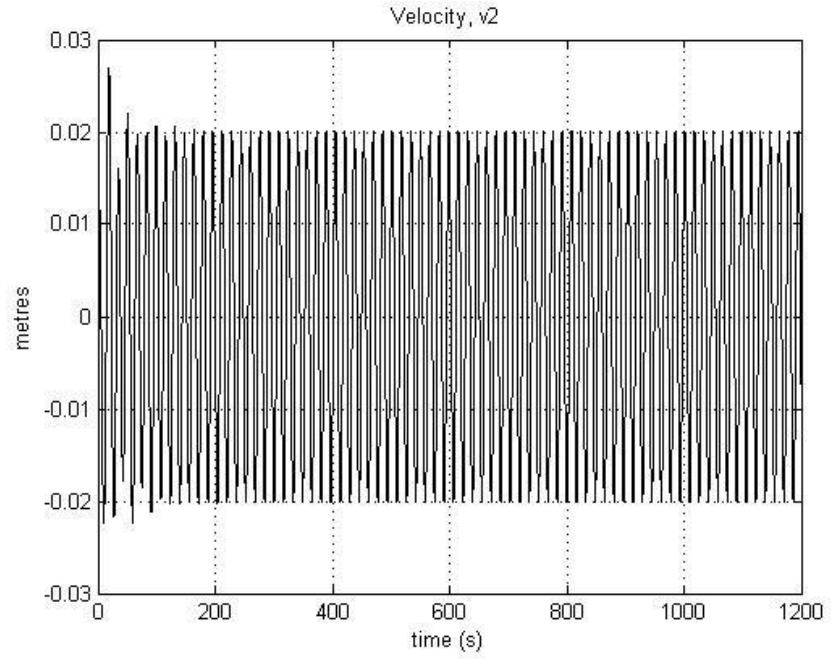
Şekil 3. 30. y_1 yerdeğıştirmesinin zamana bağıl değışimi ile ilgili grafik



Şekil 3. 31. y_2 yerdeğıştirmesinin zamana bağıl değışimi ile ilgili grafik



Şekil 3. 32. v_1 hızının zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik



Şekil 3. 33. v_2 hızının zamana bağlı değişimi ile ilgili grafik

3.2.2. Güç Eldesi ve Optimizasyonu

Çalışmanın bu kısmında yukarıda simülük modeli anlatılan Frog Form 1 cihazı için güç eldesi ve elde edilen bu gücün optimizasyonu üzerine Matlab ortamında incelemeler yapılmış ve sonuçlar grafiksel olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Daha önce de bahsedildiği gibi Frog Form 1 sistemi için en önemli iki kontrol parametresi yay katsayısı olan k ve sönümleme katsayısı olan b 'dir. Çalışmanın bu noktasındaki amaç, sistemden en yüksek verimin alınabileceği yani en yüksek güç değerlerinin elde edebileceği koşulların tespitidir. Bu noktadan hareketle, en yüksek güç değerlerini veren b ve k değişkenlerinin değerlerini tespit ederek, bu ikisinin kombinasyonu ile oluşturulan değişken şartlar bölgesinde incelemeler yapılabilir.

Yukarıda $\omega=0.39$ rad/s frekans değerinde çalıştırılan sistemde, maksimum gücü veren b_2 ve k_2 değerleri için araştırmalar yapılarak güç optimizasyonu hakkında değerlendirmelerde bulunulabilir. İlk olarak maksimum gücü veren b_2 değerleri için incelemelerde bulunulmuştur. Bunun için ayrıca $k_2=0.05$ olarak sabit bir değerde alındı. Yapılan araştırmalar sonucunda b_2 değerleri ile güç değerlerinin değişimi arasındaki grafikler ve incelenen değer aralıkları Çizelge 3.3.'de verildiği gibidir.

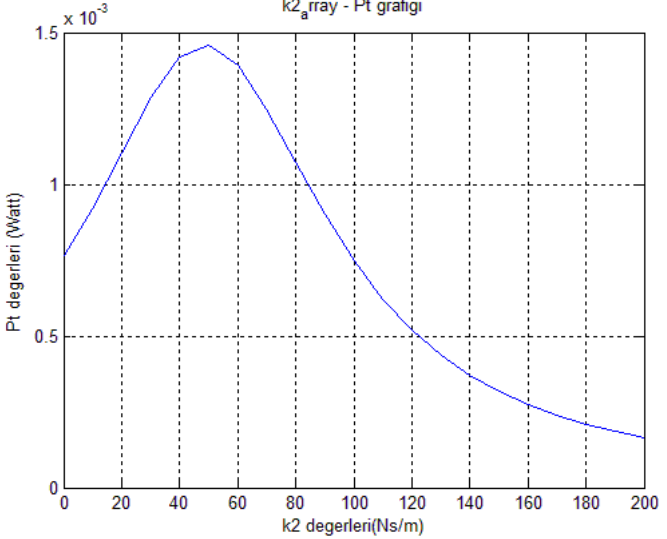
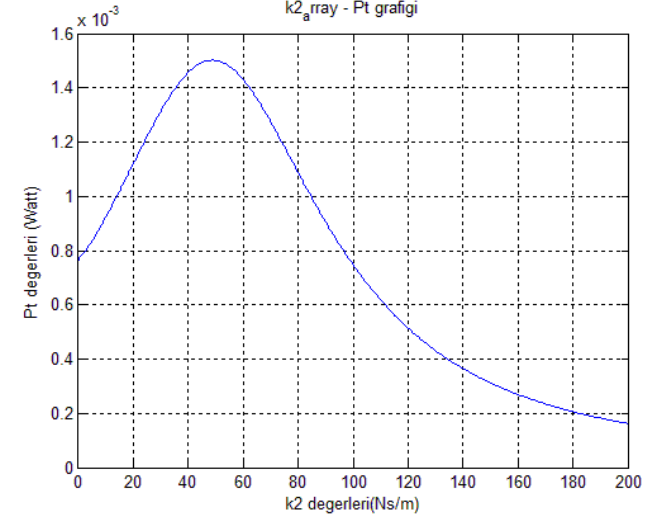
Bu çizelgede çeşitli aralıklarda incelenen b_2 değerleri için çizilen grafiklerden temel olarak çıkarılabilecek fikir, belli bir noktaya kadar b_2 değerinin artışıyla P değerlerinin arttığı ve bir tepe noktadan sonra sürekli olarak b_2 değerleri artmasına rağmen P değerlerinde düşme olduğudur. Matlab ortamında yapılan çalışmalar ve çizdirilen grafikler ışığında maksimum güç değerini veren b_2 değeri 6.81 Ns/m olarak tespit edilmiştir.

Sabit ω ve k_2 değerlerinde maksimum güç değerini veren b_2 değeri 6.81 Ns/m olarak bulunduktan sonra, maksimum gücü verecek k_2 değerleri araştırılmaya başlanmıştır. Maksimum gücü verecek k_2 değerlerini araştırırken $\omega=0.39$ rad/s ve $b_2=6.81$ Ns/m olarak alınmıştır. Maksimum gücü veren k_2 değerleri için çalışmaların yapıldığı aralıklar ve bu aralıklardan elde edilen güç grafikleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. b_2 değerleri ile güç değerlerinin değişimi arasındaki grafikler ve incelenen değer aralıkları

b_2 değerleri için inceleme yapılan aralık	b_2 ve P (güç) grafiği
1-10	
1-20	
1-60	
1-100	

Çizelge 3. 4. k_2 değerleri ile güç değerlerinin değişimi arasındaki grafikler ve incelenen değer aralıkları

k_2 değerleri için inceleme yapılan aralık	k_2 ve P (güç) grafiği
<p>0-200 arası Bölme sayısı=20</p>	<p>k_2 array - Pt grafiği</p> 
<p>0-200 arası Bölme sayısı=500</p>	<p>k_2 array - Pt grafiği</p> 

Maksimum güç değerini verecek k_2 değeri ile ilgili olarak; sabit ω ve en yüksek güç değerini veren b_2 değerinde ve ayrıca 0-200 N/m aralığında yapılan çalışmada çizdirilen yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere en yüksek güç değerini veren k_2 değeri 48.8076 olarak bulunmuştur.

En yüksek güç değerini veren b_2 ve k_2 değerleri tespit edildikten sonra sistem için çalışma aralıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

```
bolme_sayisi =100;
k2_min= 0.0;
k2_mak= 97.6152;
degisimk2= (k2_mak - k2_min)/bolme_sayisi;

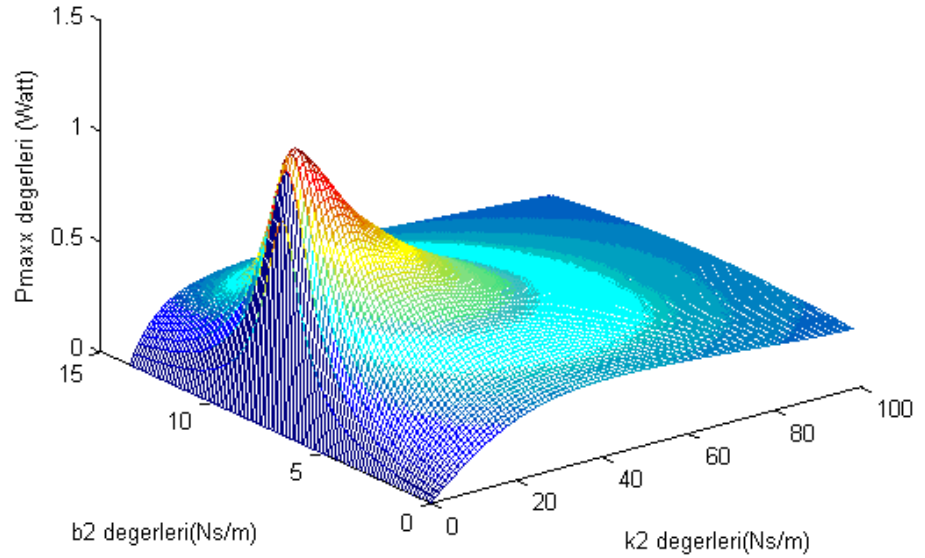
k2_array = [k2_min:degisimk2:k2_mak] ;

b2_min= 0.0;
b2_mak= 13.62;
degisimb2= (b2_mak - b2_min)/bolme_sayisi;

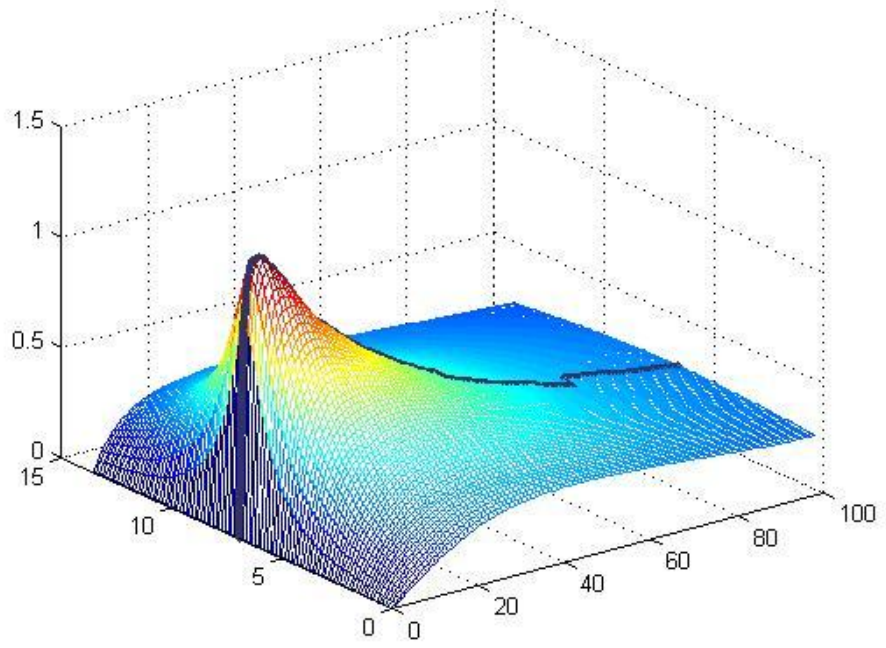
b2_array = [b2_min:degisimb2:b2_mak] ;
```

Yukarıda da gösterildiği gibi b_2 ve k_2 değerleri için belirlenen ve 100 bölmeden oluşan aralıkta, sistemin $\omega = 0.39$ rad/s değerindeki maksimum güç değerleri için grafiği Şekil 3.34.'de verilmiştir. Ayrıca bu grafikte maksimum gücü veren değerlerin geçtiği eğri Şekil 3.35.'de gösterilmiştir.

k2_array - b2_array - Pmaxx grafiği



Şekil 3.34. $\omega = 0.39$ rad/s değerindeki maksimum güç için grafiği

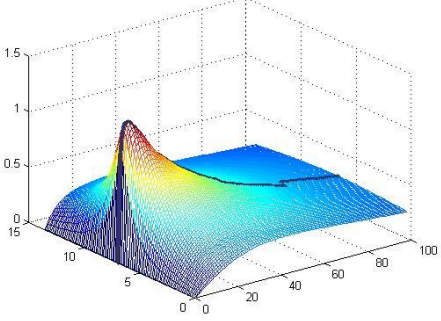
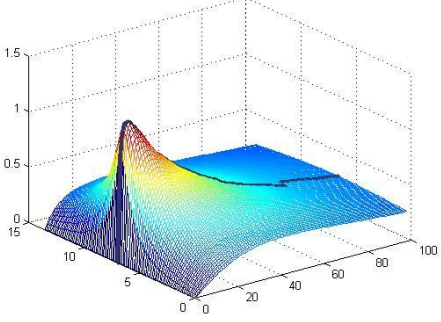
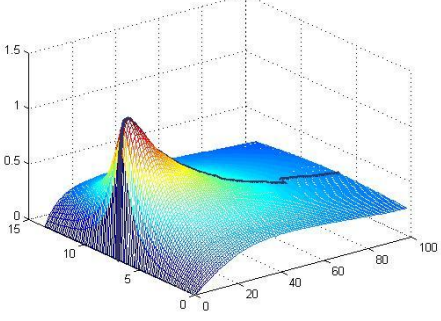
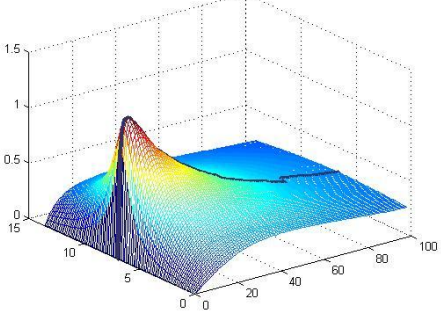


Şekil 3. 35. $\omega = 0.39$ rad/s değerindeki maksimum güç için grafiğindeki maksimum güç eğrisi

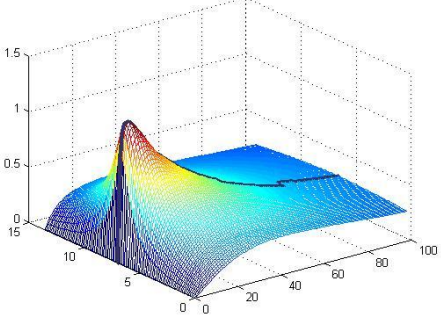
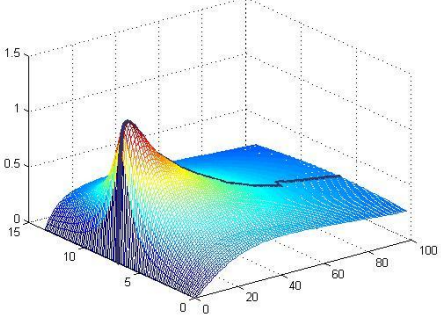
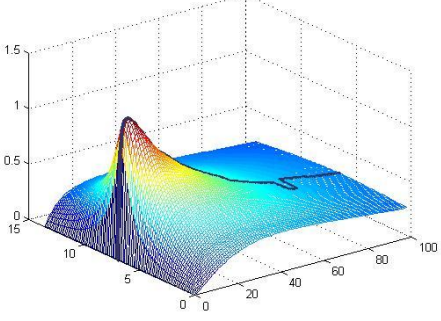
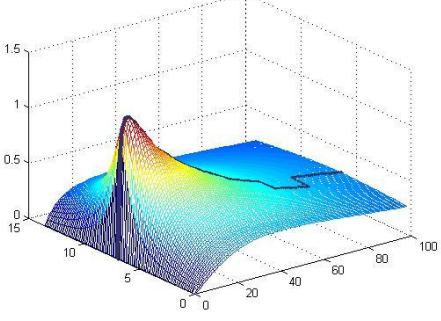
Yukarıda $\omega = 0.39$ rad/s değeri için yapılan çalışmadan elde edilen maksimum güç eğrisi, 101×101 'lik Pmaxx değerlerinin kesiştiği eğriyi göstermektedir. Bu eğri üzerindeki her noktada, programın çalıştırıldığı frekans değeri için güç değeri maksimum seviyededir.

Çizelge 3.5.'de, 34 farklı frekans değeri için ayrı ayrı çalıştırılan ve analiz edilen bu sisteme ait maksimum güç değerlerini veren grafikler ve eğriler verilmiştir. Bu grafikler ve maksimum güç eğrilerinden yola çıkılarak Matlab programının her bir frekans değeri için oluşturduğu mat uzantılı dosyalardan elde edilen maksimum güç değerleri ise Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

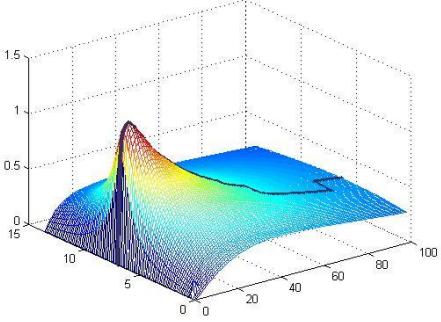
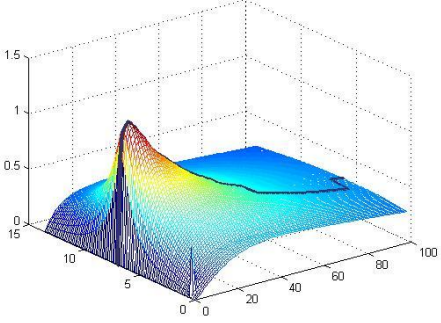
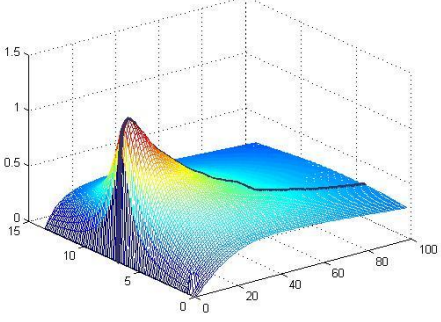
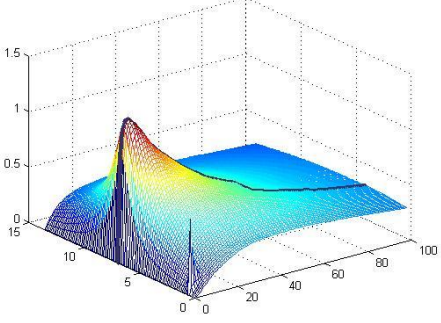
Çizelge 3. 5. Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi ile ilgili grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
0.1 rad/s	
0.2 rad/s	
0.39 rad/s	
0.40 rad/s	

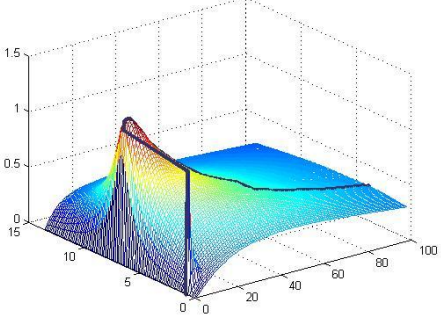
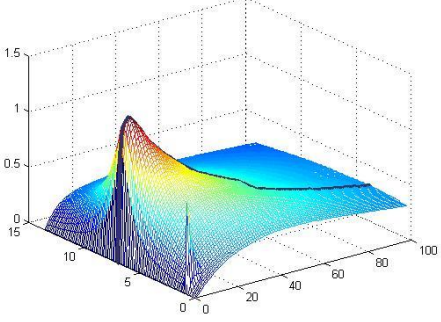
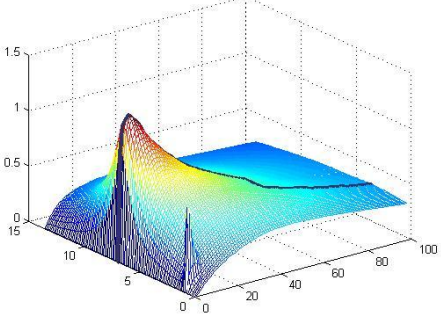
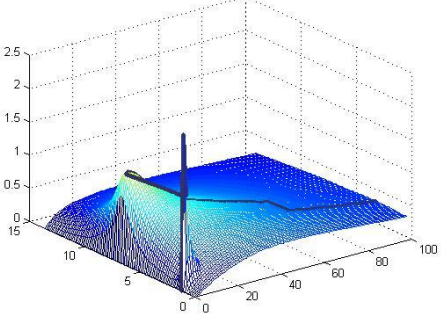
Çizelge 3.5.(Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
0.7 rad/s	
0.9 rad/s	
1.20 rad/s	
1.50 rad/s	

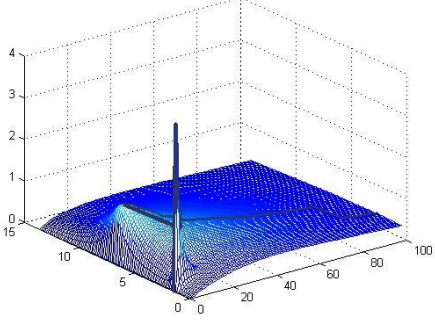
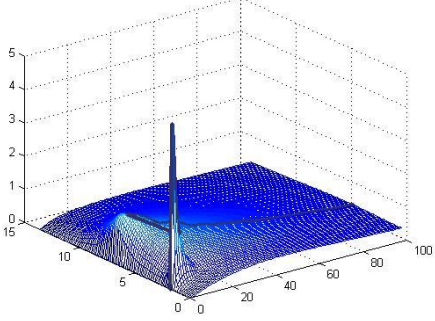
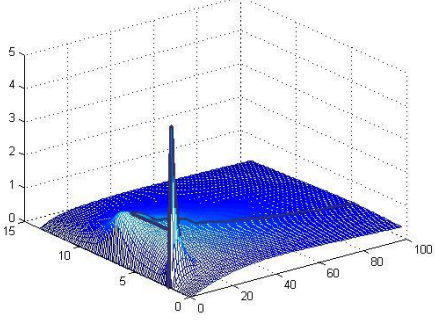
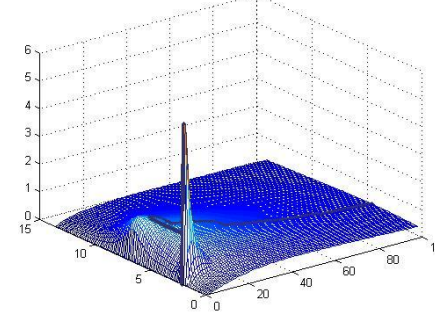
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
1.80 rad/s	
1.95 rad/s	
2.10 rad/s	
2.25 rad/s	

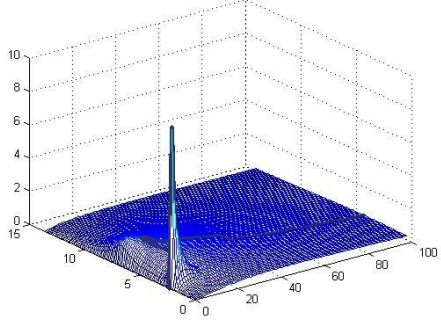
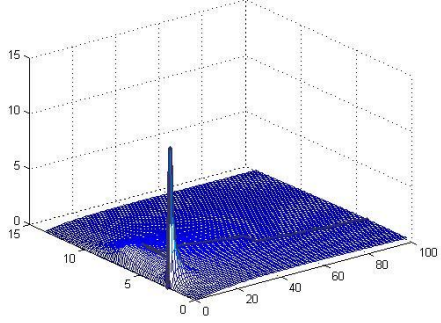
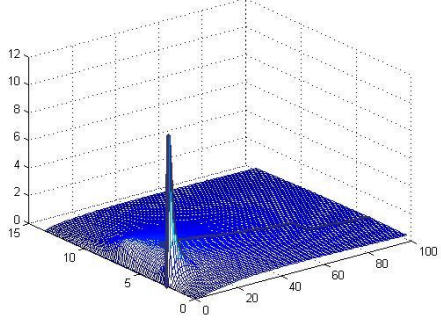
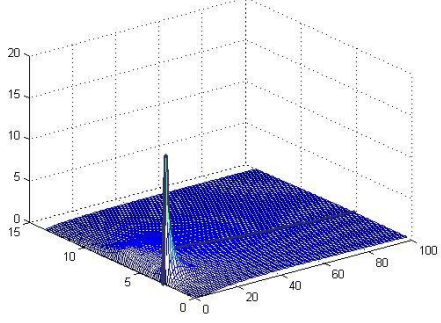
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
2.40 rad/s	
2.55 rad/s	
2.70 rad/s	
3.00 rad/s	

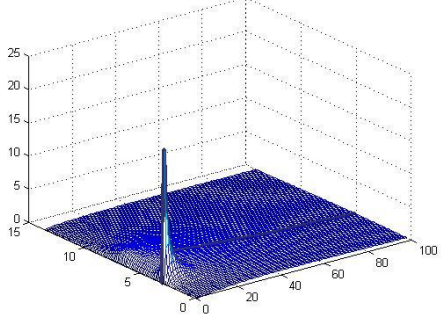
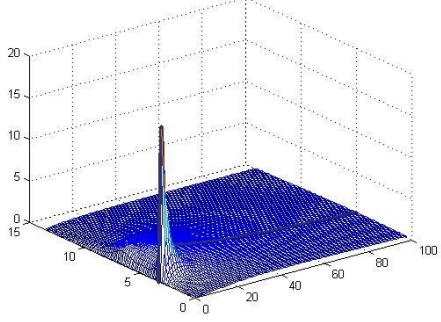
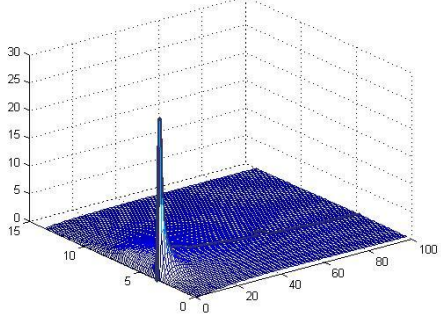
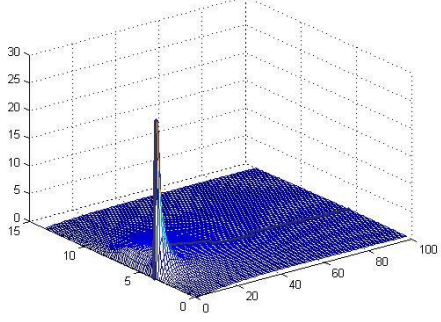
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
3.30 rad/s	
3.60 rad/s	
3.75 rad/s	
3.90 rad/s	

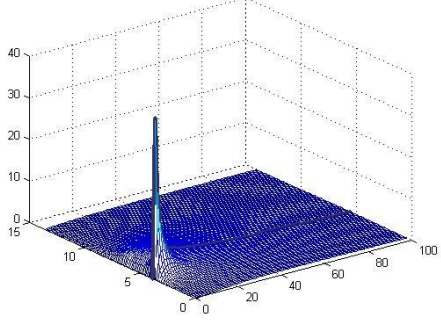
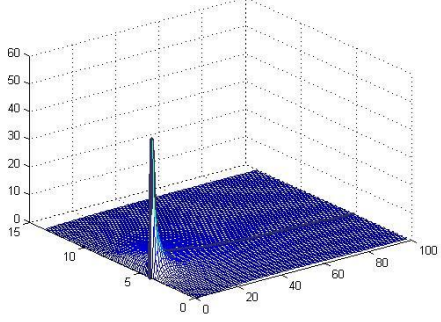
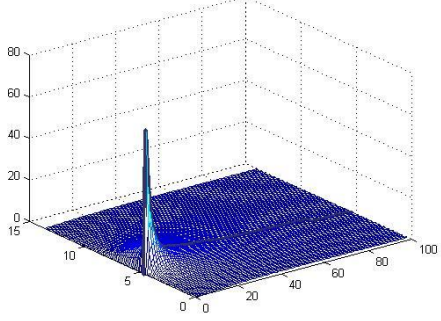
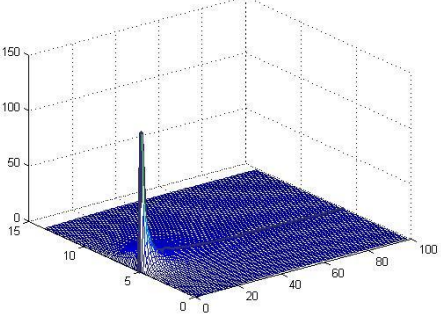
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
4.05 rad/s	
4.20 rad/s	
4.35 rad/s	
4.50 rad/s	

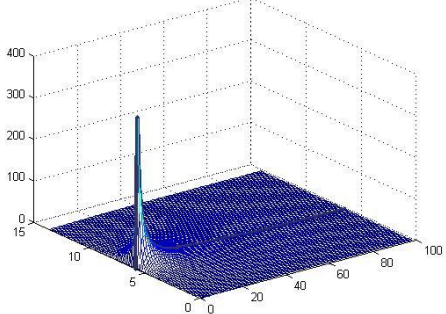
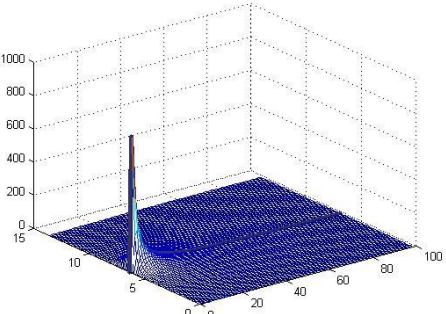
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
4.65 rad/s	
4.80 rad/s	
4.95 rad/s	
5.10 rad/s	

Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
5.25 rad/s	
5.40 rad/s	
5.80 rad/s	
6.00 rad/s	

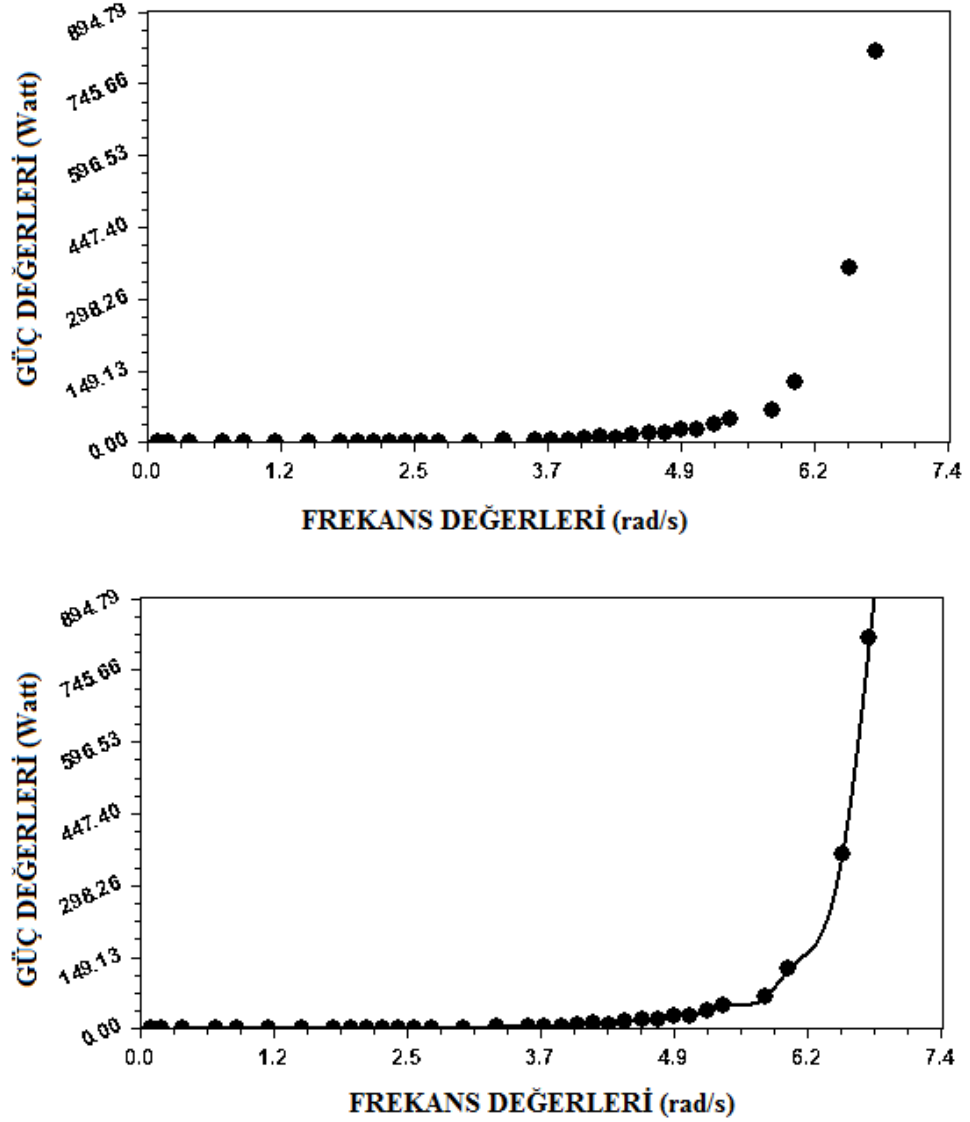
Çizelge 3.5. (Devam) Çeşitli frekans değerlerinde b_2 ve k_2 değerleri için seçilen aralıklarda yapılan maksimum güç incelemesi için grafikler ve maksimum güç eğrileri

Çalışılan frekans değeri	Maksimum güç grafikleri ve maksimum güç eğrileri
6.50 rad/s	 A 3D surface plot showing the maximum power distribution for a frequency of 6.50 rad/s. The vertical axis (z-axis) represents power, ranging from 0 to 400. The horizontal axes (x and y) range from 0 to 100. The plot shows a sharp peak at the center of the domain, reaching a maximum power of approximately 400.
6.75 rad/s	 A 3D surface plot showing the maximum power distribution for a frequency of 6.75 rad/s. The vertical axis (z-axis) represents power, ranging from 0 to 1000. The horizontal axes (x and y) range from 0 to 100. The plot shows a sharp peak at the center of the domain, reaching a maximum power of approximately 1000.

Çizelge 3. 6. Çalışılan her bir frekans değeri için yukarıdaki grafiklerden elde edilen maksimum güç değerleri

ω	P_{\max}
0.1	1.2641
0.2	1.2643
0,39	1.2643
0.4	1.2643
0.7	1.2648
0.9	1.2654
1.20	1.2668
1.50	1.2697
1.80	1.2754
1.95	1.2788
2.10	1.2824
2.25	1.2874
2.40	1.2935
2.55	1.3028
2.70	1.3150
3.00	2.3577
3.30	3.9999
3.60	4.9673
3.75	4.8398
3.90	5.7987
4.050	9.6891
4.20	12.6329
4.35	10.8712
4.50	15.3952
4.65	20.0625
4.80	18.6240
4.95	29.0783
5.10	28.5159
5.25	38.5952
5.40	50.0542
5.80	69.1184
6.00	125.19
6.50	363.98
6.75	813.45

Çizelge 3.6.'da verilen maksimum güç değerlerinden hareketle, maksimum güç ile frekans değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik oluşturulabilir. Bu grafik Şekil 3.36.'da gösterilmiştir. Ayrıca grafik üzerinde elde edilen bu noktaların kübik uydurma yöntemi ile birleştirilmesiyle elde edilen grafik de Şekil 3.36.'da verilmiştir. Bu grafiklerden hareketle, çalışılmamış olan ara frekans değerleri hakkında da sistemin davranışı üzerine fikir yürütülebilir.



Şekil 3. 36. Çalışılan frekans değerleri ile bu frekanslarda elde edilen maksimum güç arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler

Yukarıdaki grafik, sistemin çalışmakta olduğu frekans değeri ile bu değerde elde edilebilecek maksimum güç arasında bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Yukarıdaki grafikten genel olarak çıkarılabilecek sonuç, çalışılan frekans değeri arttıkça elde edebileceğimiz maksimum gücün arttığı yönündedir.

3.2.3. Güç Eldesinde Hatanın Performansa Etkisi

Bir önceki kısımda da incelendiği gibi, çalışılan frekans değerinin sistemden elde edilebilecek güce yani sistemin performansına etkisi söz konusudur. Sistemden yüksek verimle performans elde edilmesi için, sistemin uygun frekans değerinde çalışması bir zorunluluktur. Bu yüzden sistemin çalışacağı frekans değerinin tespiti çok önemlidir. Aşağıdaki örnek çalışmada frekans değerinin seçiminin performansa etkisi araştırılmıştır.

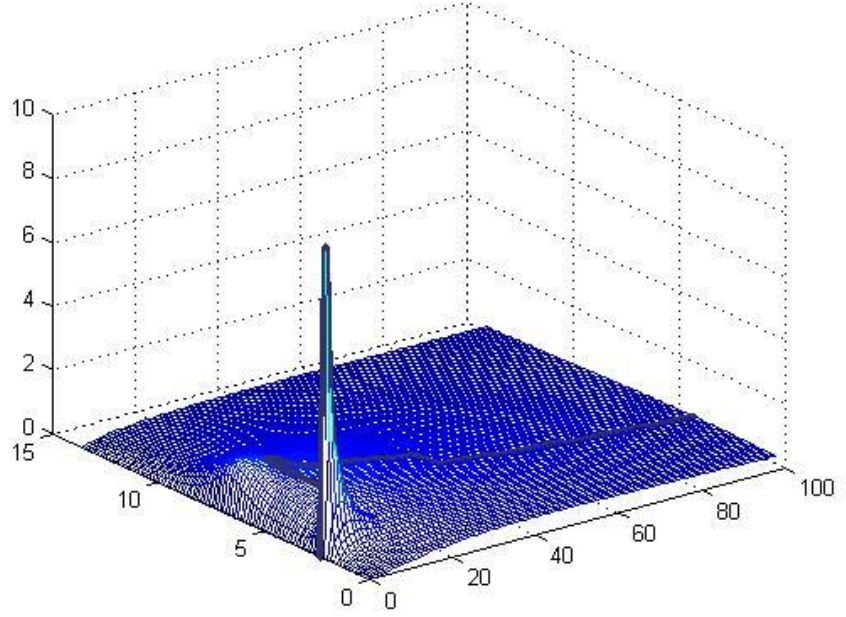
3.2.3.1. Örnek Çalışma

Bu örnek çalışmanın amacı, frekans seçiminde yapılacak bir hatanın sistemin performansına nasıl etki edeceğinin araştırılmasıdır. Frekans değerinin 4.05 rad/s olarak alınması gereken bir çalışmada, 0,15 rad/s eksikle 3,90 rad/s alınmasıyla sistemin performansında meydana gelecek değişiklik araştırılmıştır.

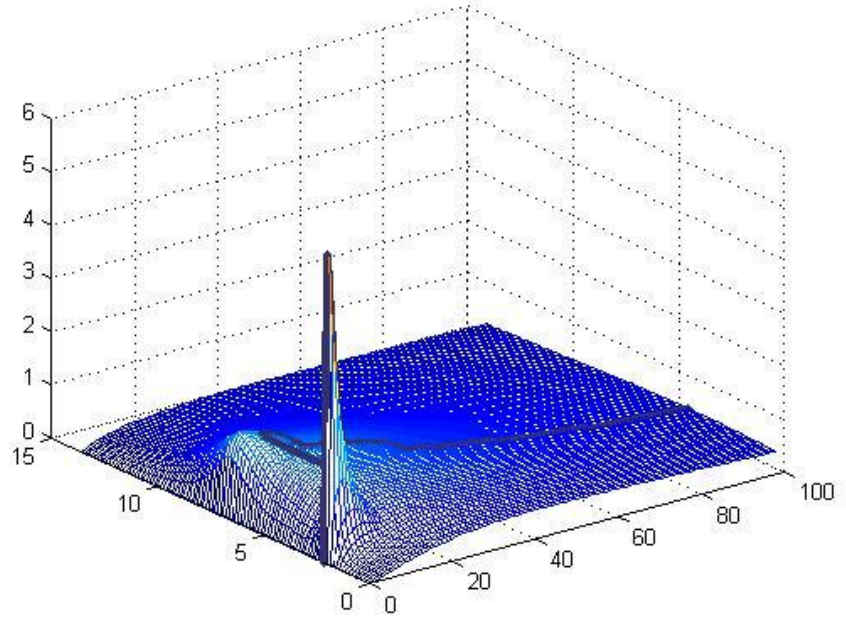
Frekans değeri 4,05 rad/s iken sisteme ait maksimum güç grafiği Şekil 3.37.'de gösterildiği gibidir ve maksimum güç değeri 9.6891 Watt civarındadır.

Frekans değeri yapılan bir hata sonucu 4.05 rad/s yerine 3.90 rad/s alındığı zaman ise sistemin performansı ile ilgili grafik Şekil 3.38'de verildiği gibidir. Bu grafikten okunan maksimum güç değeri ise yaklaşık olarak 5.7987 Watt civarındadır.

Bu değerlerden yola çıkılarak, frekans değerinde yapılacak %5-10'luk bir hatanın güç değerinde %50-60'lara varan bir hataya sebep olabileceğine varılabilir. Bu yüzden optimum sistem performansına ulaşmak için optimum frekans değerinin seçilmesinin bir gereklilik olduğunun dikkate alınması gerekir.



Şekil 3. 37. Frekans değeri 4.050 rad/s iken sistemin performansı ile ilgili grafik



Şekil 3. 38. Frekans değeri 4.050 rad/s olması gerekirken 3.90 rad/s alındığı zaman sistemin performansındaki değişimi gösteren grafik

4. ARAŞTIRMA VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, enerji krizlerinin ciddi boyutlara ulaştığı çağımızda alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olan dalga enerjisinin özellikleri, potansiyeli, uygulamaları ve geldiği nokta ortaya konulmuştur. Dalga enerjisinden çeşitli metotlar aracılığı ile kullanılabilir elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan farklı dalga enerjisi konvertörü cihazları, yapıları, çalışma prensipleri ve özellikleri ortaya konulmaya çalışılarak, bolca görsel öğelerle desteklenerek araştırılmaya çalışılmıştır. Özellikle bir açık deniz DEK sistemi olan Frog Form 1 cihazı detaylı olarak incelenmeye çalışılmıştır.

“Önceki Çalışmalar” kısmında, DEK sistemleri ile ilgili literatür taraması çeşitli kaynaklardan yapılarak bu sistemler hakkında yorumlarda bulunulmuştur. Dalga enerjisi konvertörleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda cihazlar, uygulama yerine göre kıyı, yakın kıyı ve açık deniz uygulamaları olarak sınıflandırılarak anlatılmıştır. Bu cihazlardan enerji dönüştürme potansiyeli en yüksek sınıf olan açık deniz uygulamalarına ağırlık verilmiştir. Ayrıca bir açık deniz tipi DEK uygulaması olan esas tez konum Frog Form 1 cihazı, ayrı bir bölüm olarak ele alınarak detaylarıyla anlatılmıştır. Anlatılan cihazlarda yapılan araştırmalar ile her cihaza ait çalışma prensibi, geometrik modeli, geldiği aşama ve potansiyeli gibi temel özellikler verilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısmında bu cihazlar hakkında temel bilgileri özet olarak içeren bir çizelge hazırlanarak ortaya konmuştur.

Ayrıca çalışmanın “DEK Sistemleri İçin Dalgalar ve Özellikleri” adlı bölümünde dalgaların oluşumu, yayılması, özellikleri, çeşitleri, girişimi ve dalgalardan nasıl elektrik enerjisi üretildiği gibi konulara değinilmiştir. Ayrıca bu bölümde, dalgalardan enerji üretimi ile ilgili hesaplamalara da yer verilmiştir. Dalga teorileri ortaya konularak, bu teorilerin hangi kabuller altında yapıldığı araştırılmıştır.

DEK sistemlerinin geliştirilmesine yönelik olarak birçok alanda çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar, sistem geometrisi, enerji dönüştürme elemanlarının yapısı ve bu sistemlerin sürekli olarak salınmada (rezonansta) kalmasını sağlayan kontrol sistemlerinin tasarımı olarak belli başlı üç alanda yapılmıştır.

Sistem geometrisi alanında yapılan çalışmalarda, seksene varan farklı geometri olmasına karşın dalgalara karşı koyacak çalışma yüzeyine gereksinim duymalarımın, kalıcı bir referans yapısını korumaları gerektiğinin ve çalışma yüzeylerinin dalga kuvvetleri tarafından hareket ettirilebilecek bir yapıda olması gerektiğinin üç ortak özellik olduğunu ortaya koymuştuk. Enerji dönüştürme elemanları açısından ise sistemin en önemli elektro-mekanik alt kısmını oluşturduklarını ve sürekli olarak enerji üretilmesi için sistemin sürekli olarak rezonansta kalması gerektiğini ortaya koymuştuk. Kontrol sistemleri açısından olaya yaklaştığımız zaman ise, kontrol sisteminin temel görevinin sistemi sürekli olarak salınmada tutarak enerji üretiminin devamlılığını sağlamak olduğunu görebiliriz. Bu da sistemi sürekli olarak rezonansta tutarak yani konvertörün tabii frekansı ile dalganın geometrik yüzeyinde oluşan kuvvetin frekansının birbirine eşit ya da hemen hemen eşit yapmaya çalışarak olur.

DEK sistemlerinin kontrolüne ilişkin olarak, belli başlı üç değişken üzerinde ayarlamalar yapılarak sistemin sürekli olarak rezonansta kalması sağlanabilir. Bunlar konvertörün fiziksel özelliklerinden biri olan kütlenin değiştirilmesi, enerji dönüşüm sisteminin oluşturduğu yay etkisinin düzenlenmesi ve enerji dönüşüm sisteminin sönümlenme etkisinin ayarlanmasıdır.

“DEK Sistemlerinin Enerji Dönüşüm Sistemine Göre İncelenmesi” adlı kısımda deniz dalgalarından elde ettiğimiz mekanik enerjinin nasıl kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüğü ve bu dönüşümün çeşitleri anlatılmıştır. Deniz dalgası, bilindiği üzere iki tip enerji yoğunluğuna sahiptir. Bunlar, yüksekliğinden dolayı sahip olduğu potansiyel enerji ve hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerjidir. Deniz dalgasının kinetik ve potansiyel enerjisinin toplamı bize deniz dalgasının mekanik yani toplam enerjisini vermektedir. DEK sistemlerinde öncelikle deniz dalgasının düzensiz hareketi, düzenli bir harekete çevrilir ve daha sonra elde edilen mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu dönüşüm ise mekanik enerjinin önce manyetik enerjiye dönüştürülmesi ile olur. Manyetik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü ise genellikle bir jeneratör vasıtasıyla gerçekleştirilir. Dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm tekniklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Heaving (kaldırma hareketi yada aşağı yukarı hareket eden) cihazları
- Surging (ileri-geri hareket) cihazları
- Pitching (belli bir eksen etrafında dönme hareketi yapan) cihazları
- Oscillating Water Column (salınlımlı su kolonu) cihazları
- Overtopping (aşırma) cihazları
- Yukarıda sıralananlardan birine dahil edemeyeceğimiz cihazlar

Bu çalışmada, yaklaşık olarak 27 farklı DEK sistemi yapısı, özellikleri, çalışma prensibi, potansiyeli, demirleme şekli, geldiği aşama vb. konularda ele alınarak detaylı olarak anlatılmış ve yukarıda bahsetmiş olduğumuz enerji dönüşüm tiplerinden hangisine sahip olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan dalga enerjisinden kullanılabilir elektrik enerjisi üretiminin öneminin ortaya konması amaçlanmıştır. Enerji krizlerinin kol gezdiği günümüzde, dalga enerjisi çok önemli bir çıkış yolu olacaktır. Özellikle açık deniz uygulamalarının potansiyeli incelendiği zaman bu konu daha cazip hale gelmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizin de gündemine girmesi gereken dalga enerjisi, geleceğin enerjisi olacaktır. Çünkü daha önceki bölümlerde bahsetmiş olduğumuz gibi, dalga enerjisi rüzgar enerjisinin yoğunlaştırılmış şeklidir. Ayrıca çevreyi kirletici ve zararlı bir etkisi de söz konusu değildir.

Çalışmanın Frog Form 1 cihazı ile ilgili kısımda, bu cihazın geometrik şekline, tasarımına, ölçülendirilmesine, çalışma prensibine vb. konulara açıklık getirilerek ortaya konmaya çalışılmıştır. Bununla beraber, Frog Form 1 cihazına ait fiziksel sistemin çalışmasını açıklayan temel denklemlerden ve sistemle ilgili olarak elimizdeki verilerden hareketle, Matlab/Simulink ortamında sistemin modellenmesi ile analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizler ile sistem performansı incelenmeye çalışılmıştır. Kütle, yay ve sönümlenme gibi üç temel kontrol parametresinin değişiminin sistemin performansı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Maksimum gücü elde edebileceğimiz yani sistemden maksimum seviyede verim alabileceğimiz ortam koşulları araştırılmıştır.

Sistemin maksimum verimle çalışabileceği optimum koşulların tespitine yönelik olarak öncelikle, sabit bir frekans ve yay katsayısı değeri için maksimum gücü elde edebileceğimiz sönümlenme değeri bulunmuştur. Bu noktadan sonra ise yine sabit frekans değeri için bulmuş olduğumuz maksimum gücü veren sönümlenme değerinde yay katsayısı araştırılmıştır. Maksimum gücü veren sönümlenme (b) ve yay katsayısı (k) değerlerini tespit ettikten sonra ise bu değerler için tespit edilen çalışma aralığı 100'er bölme altında incelenerek maksimum güç analizleri yapılmış ve elde edilen grafikler üzerinde maksimum güç eğrileri oluşturularak çizdirilmiştir. Bu analizler, çeşitli frekans değerleri için ayrı ayrı yaptırılarak, çalışılan frekans değerindeki değişimin maksimum güç üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Her bir frekans değeri için ayrı ayrı (b,k,P_{max}) grafiği çizdirilmiş ve bu grafikler üzerinde maksimum güç eğrileri gösterilmiştir. Bu grafikler çalışmanın üçüncü bölümünde Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen kısmında, elde edilen bu grafiklerden hareketle eğri uydurma çalışması yapılarak frekans değerleri ile maksimum güç değerlerin değişimini gösteren grafik (Şekil 3.36.) elde edilmiştir. Bu grafikten hareketle, analizi yapılmamış olan bir frekans değerine karşılık gelen maksimum güç değeri interpolasyon yardımıyla hesaplanabilir. Genel olarak 0.1 ile 3.00 rad/s arasında değişen frekans değerleri çalışmaya uygundur. Yapılan çalışmada frekans değerleri 0.1 ile 6.75 rad/s aralığına kadar incelenerek araştırılmıştır. Böylelikle daha yüksek frekanslarda sistemin nasıl bir tepki vereceği araştırılmıştır. Yapılan araştırma ve analizlerden frekans değeri arttıkça maksimum güç değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Sistem performansı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar bu aşamaya geldikten sonra, sistemin çalışma frekansının seçiminde yapılabilecek bir hatanın sistem performansına etkisi araştırılmıştır. Sistemin çalışma frekansında %5-10 seviyesinde yapılabilecek bir hatanın güç eldesinde %50-60'lara varan hatalara sebep olabileceği bulunmuştur. Bu yüzden Frog Form 1 cihazı için, sistemden maksimum verimi alabileceğimiz optimum koşulların tespitinde frekans değerinin doğru seçilmesi çok önemlidir.

Özetle, Frog Form 1 cihazı tüm yönleriyle ele alınarak detaylı bir şekilde incelenmeye çalışılmıştır. WAMİT paket programından alınan değerler ile Matlab/Simulink ortamında modellenen sistemin frekans uzayında hidrodinamik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler ile de sistemin kontrolü ve güç optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma esas olarak Frog Form 1 cihazı ile ilgili olmasına karşın, geleceğin enerjisi olacak dalga enerjisine ve bu enerjiden güç elde etme tekniklerine de değinmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, Frog Form 1 cihazı için frekans uzayında, Matlab/Simulink ortamında hazırlanan model üzerinde yapılan hidrodinamik analizleri içermektedir. Tezin esasında, Frog Form 1 cihazının kontrolü ve sistem performansının optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar lineer (düzenli) dalga ortamında ve frekans uzayında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların gerçeğe daha yakın değerler vermesi ve pratikte daha uygulanabilir bir yapıya kavuşması için lineer olmayan yani düzensiz dalga ortamında ve zaman uzayında, simülasyon ve laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır.

Bu sonuçlara ek olarak, bir yenilenebilir enerji kaynağı olan dalga enerjisinin potansiyeli, geldiği nokta ve ileride gelebileceği noktalar dikkate alınmalıdır. Özellikle açık deniz uygulamalarında elde edilebilecek enerji seviyeleri dikkate alınırsa, dalga enerjisinin gelecekte çok daha popüler olacağını anlayabiliriz. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde de dalga enerjisi üzerine çalışmalar yapılması ve bu çalışmaların uygulama aşamasına getirilmesi ülkemizin geleceği açısından çok önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Alister G. ve Ngoc L., 2008. **“Wave Energy Conversion”**, http://www.ipenz.org.nz/conventionCD/Documents/Alister-Gardiner_presentation.pdf
- Anderson C G, 1985. **“First Assessment of the Magnetic-Hydrostatic Main Bearing Proposed for the Duck Wave Energy Converter”**, PhD Thesis, Edinburgh University, November.
- Anonymous, 1996. http://www.unileipzig.de/~grw/lit/texte_099/50__1996/50_1996_active/dateien/image004.gif
- Anonymous, 2007. **“Devices in the MEC”**. http://stage.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/Wave_devices.htm
- Anonymous, 2010a, **“Wells türbinleri tasarımı”**. <http://www.iafr.eu/TESI/1.htm>
- Anonymous, 2010b, **“Su kolonu sisteminin çalışma prensibi”** www.wavegen.co.uk
- Anonymous, 2010c, **“Pendular dalga enerjisi konvertörü”** http://www.chip.com.tr/blog/fizik/deniz-dalga-enerjisi_2352.html
- Anonymous, 2010d, **“OWEC dalga enerjisi konvertörü”** www.owec.com
- Anonymous, 2010e, **“Wave Plane dalga enerjisi konvertörü”** www.waveplane.com
- Anonymous, 2010f, **“Twave dalga enerjisi konvertörü”** <http://waveenergy.nualgi.com/>
- Anonymous, 2010g, **“Pelamis dalga enerjisi konvertörü”** www.pelamiswave.com
- Anonymous, 2010h, **“Wave Dragon dalga enerjisi konvertörü”** www.wavedragon.net
- Anonymous, 2010i, **“OPT dalga enerjisi konvertörü”** <http://www.oceanpower technologies.com/>
- Anonymous, 2010j, **“Arşimet Wave Swing dalga enerjisi konvertörü”** <http://www.powermag.com/Assets/Image/Imports/2008-05/48-02.jpg>
- Anonymous, 2010k, **“Arşimet Wave Swing dalga enerjisi konvertörü”** <http://www.waveswing.com/index/index.html>
- Anonymous, 2010l, **“Arşimet Wave Swing dalga enerjisi konvertörü”** <http://www.rise.org.au/info/Tech/wave/image022.jpg>
- Anonymous, 2010m, **“Arşimet Wave Swing dalga enerjisi konvertörü”** <http://www.hydrovolts.com/images/Waves.2.jpg>
- Anonymous, 2010n, **“Sperboy dalga enerjisi konvertörü ”** <http://www.sperboy.com>
- Anonymous, 2010p, **“Nokta absorblayıcı dalga enerji konvertörü”** <http://www.waveenergy.dk>
- Anonymous, 2010r, **“Wavebob dalga enerji konvertörü”** http://www.wavebob.com/about_us/
- Anonymous, 2010s, **“Seadog dalga enerji konvertörü”** <http://www.inri.us/index.php/SEADOG>
- Anonymous, 2010t, **“PS Frog dalga enerji konvertörü”** [http://domino.lancs.ac.uk/info/lunews.nsf/I/4B8F7A66F9F5F06080256EB7003B944A/\\$FILEFILE/Frpg.jpg](http://domino.lancs.ac.uk/info/lunews.nsf/I/4B8F7A66F9F5F06080256EB7003B944A/$FILEFILE/Frpg.jpg)
- Anonymous, 2010u, **“Türkiye İçin Dalga Potansiyeli Atlası”** www.teknodan.com.tr/download/roportaj.pdf
- Bellamy, N. W., 1985. **“The Circular Sea Clam Wave Energy Converter”**, Proc. IU TAM Int. Symp. on Hydrodynamics of Ocean Wave Energy Utilisation, Lisbon, Portugal, 8th July 1985.
- Bergdahl, L, 1979. **“The Swedish Wave Energy Research Programme”**, Proceedings of a Symposium on Wave Energy Utilisation, Gothenburg, Sweden.

- Bergdahl, L, 1992. **“Review of Research in Sweden”**, Proceedings of a Workshop on Wave Energy R&D, Cork, Ireland.
- Bernhoff, H. Leijon M., 2006. **“Conversion of wave energy to electricity”**, http://www.shipgaz.com/magazine/issues/2004/18/1804_artikel2.php.
- Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2005. **“Dalga Enerjisi”**. Sayfa 43.
- Bilim ve Teknik Dergisi, Mayıs 2009. **“Okyanuslardan Gelen Enerji Dalga Enerjisi”** Sf. 58-61.
- Bjarte-Larsson, T. ve Falnes, J. 2006. **“Laboratory experiment on heaving body with hydraulic power take-off and latching control”**, Ocean Engineering, 33,pp .847-877.
- Black, J.L., 1975. **“Wave forces on vertical axisymmetric bodies”**, J. Of Fluid Mechanics, 67(2):369-376.
- Boyle, 1996. <http://www.eepe.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/wave/index.html>
- Bracewell, R. H. 1990. **“Frog and PS Frog: a study of Two Reactionless Ocean Wave Energy Converters”** PhD. Thesis, Lancaster University, September.
- Budal, K. and Falnes, J., 1975. **“Power Generation from Ocean Waves Using a Resonant Oscillating System”**, Marine Science Communications vol. 1 parts 3 and 4, pp. 269-88.
- Budal, K. and Falnes, J., 1979. **“Interacting Point Absorbers With Controlled Motion”**, Proc. Conf. on Power from Sea Waves, Edinburgh, UK, 26th June 1979 . (**“Power from Sea Waves”** edited by B. M. Count, Academic Press, 1980)
- Budal, K. Ve Falnes J, 1980. **“Interacting point absorbers with controlled motion”**, Power from sea waves, Academic Pres, London, pp. 381-399.
- Centre for Renewables Energy (CRES), Wave Energy Utilization in Europe, 2002
- CETO, 2008. Major milestones http://www.ceto.com.au/news/milestones.php?milestone=milestones/Continued_Successful_Development_of_the_CETO_Technology/article.php (Accessed 26 November 2008).
- Coventry University, 1986. **“The Development of the circular SEAClam”**, Coventry Polytechnic and SEA Energy Associates, ETSU Report No. WV-1676-P1.
- Curan, R, Raghunathan, S, ve Whittaker, T.J.T. 1995. **“The Influence of Flow Profile on the Islay Wells Turbine Performance”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November.
- Davies, P. G. et al., 1985. **“Wave Energy - The Department of Energy’s R. and D. Programme 1974-1983”**, ETSU R26, HMSO, ISBN 0-7058-1270-7.
- DWP, 1996. **“Hansthalm Phase 2B. Offshore Energy Test 1994-1996”**, Danish Wave Power, Copenhagen, Denmark.
- Edinburgh University, 1979. **“Wave energy-Salter’s Duck Fifth Year Report”**, Edinburgh Wave Power Project, ETSU Report Number WV 1512, Parts 4A-4C, November.
- Embley Energy Ltd, **“Making waves for a cleaner future”**. Oakleigh Tockington Park Lane, Almondsbury Bristol BS32 4JE
- ETSU, 1985. **“The Department of Energy’s R&D Programme 1974-1983”**, ETSU Report R-26, March.
- ETSU, 1994. **“An Assessment of Renewable Energy for the UK”**, Report R-82, ETSU.
- Evans, D.V. ve ark., 1979. **“Submerged cylinder wave energy device theory and experiments”**, Applied Ocean Research, 1(1):3-12.

- Evans, D. V., 1981. "**Maximum Wave Power Absorption Under Motion Constraints**", Appl. Ocean Res. vol. 3 no. 4 pp. 200-3.
- Falnes, J., 1997. "**Principles for capture of energy from ocean waves phase control and optimum oscillation**". Department of Physics, NTNU, N-7034 Trondheim in Norway (available online at: <http://www.phys.ntnu.no/instdef/prosjekter/bolgeenergi/phcontrl.pdf>)
- Folley, M S, 1991. "**The Design of Point Absorbing Wave Energy Converters**", PhD Thesis, Lancaster University, September.
- French, M.J., ve Bracewell, R., 1985. "**Heaving Point Absorbers Reacting Against an Internal Mass**", IUTAM Symposium Conference Proceedings, pp 247-255, Lisbon, Portugal.
- French, M.J., & Hurdle, D.P., 1982. "**Research on Wave-Energy Conversion Using Small Bodies Moving in Surge ('Flounder')**" Report for SERC., 1982.
- French, M.J, 1991. "**PS Frog Mk 2: a Promising Design of Wave energy Converters**", Wave Energy Steering Committee, 23 August.
- Friis ve Madsen, 2005. "**Hydrokinetic Technologies Technical and Enviromental Issues Workshop the Wave Dragon Case**". HWETTEI-Workshop, October 26-28, Washington, DC
- Fry, R ve Jeffery E.R., 1979. "**Tank trials of model Kaimei**", CEGB Laboratory Note, R/M/N1072.
- Gökkuş ve Gücüyen, 2009. "**Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Dalga ve Akıntı Enerjisi**". Yenilenebilir Enerji ve Çevre Teknolojileri Sempozyumu, OSTİM, Ankara
- G. Örer, T. Gürsel, A. Özdamar, N. Özbalta, 2003. "**Dalga Enerjisi Tesislerine Genel Bakış**", Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi- Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir
- Heath T., 2008. "**Realities of Wave Technology**", <http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1727.pdf>.
- Hendersen, R. 2006. "**Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter**". Renew. Energy, 31 (2), 271–283.
- Hoskin, R.E. ve Nichols, N.k., 1986. "**Latching Control of a Point Absorber**", 3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC, and Small Scale Hydro Energy, Brighton, England, 14-16 May.
- Hotta, H, ve ark., 1995. "**On the Open Sea Testing of a Prototype Device of a Floating Wave Power Device: Mighty Whale**", Proceedings of the Second European Wave Power Conference, November.
- Işıklı, T., "**Tek Serbestlik Dereceli Dalga Enerjisi Konvertörleri ve Kontrol Uygulamaları**", Yüksek Lisans Tezi, H.Yavuz, Antakya, Hatay, Temmuz, 2008
- İ. Uygur, R. Demirci, H. Saruhan, A. Özkan, İ. Belenli, 2006. "**Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması**", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 12, Sayı 12, Sayı 1
- J.Cruz, 2008, "**Ocean Wave Energy Current Status and Future Perspectives**", Gerard Hassan and Partners Limited, St Vincent's Works, Silverthorne Lane, Bristol, United Kingdom
- Kofoed, J P, ve ark., 1998. "**Wave Dragon – a Slack Moores Wave Energy Converter**", Third European Wave Energy Conference, Patras, Greece, September

- Lancaster University, 1988. **“Design Study of the Engineering of a Reactionless Wave Energy Converter Buoy Working in Pitch and Surge (PS Frog)”**, ET SU Report on Contract Number E/5A/CON/1681/1852.
- Lockett, F.P., 1991. **“The CLAM Wave Energy Converter”**, I.Mech. E. Seminar on Wave Energy, 28 November
- Longuet-Higgins, M.S., Cartright, D.E. ve Smith, N.D., 1963. **“Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy”**, Proceedings of a Conference held Easton, Maryland, 1961, In Ocean Wave Spectra, Prentice Hall, pp. 111-135.
- Matas, A., 1992. **“Project OLAS-2000 Wave Energy in Spain”**, Proceedings of a workshop on Wave Energy R&D, Cork, Ireland, 1-2 October.
- McCormick, M.E., ve ark., 1998. **“Potable Water and Electricity Production by a Hinged-Barge Wave Energy Conversion System”**, paper provided by R.P. McCabe .
- Miyazaki, T., 1995. **“Japanese Wave Energy Devices”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995
- Newman, J.M ve Mei C.C., 1979. **“Wave power extraction by Floating bodies”**, Symposium on Ocean Wave Energy Utilization, Gothenburg.
- Nichols, N.K., ve ark., 1991. **“Optimal Phase Control of Wave Power Devices”**, Proceedings of a Seminar on Wave Energy, Institute of Mechanical Engineers, London, UK, 28th November.
- Nielsen, K., 1989. **“The Danish Wave Power Project: Planning a Full Scale Wave Power Conversion Test 1988-9”**, Proc. Int. Conf. on Ocean Energy Recovery, Hawaii, 1989.
- Nielsen, K ve ark., 1995. **“Hanstholm Offshore Wave Energy Experiment”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November.
- Olgivie, T.F., 1963. **“First and second order forces on a cylinder submerged under a free surface”**, J.of Fluid Mechanics, 16:451-472.
- Osanai, S, ve ark., 1995. **“Feasibility Tests of New Pendular Type Wave Energy Conversion System”**, Proceedings of the Second European Wave Power conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Queen’s University Belfast, QUB Wave Power Research Group, Space, 2007
- Parks, P. C., 1979. **“Wedges, Plates and Waves - Some Simple Mathematical Models of Wave Power Machines”**, Proc. Conf. on Power from Sea Waves, Edinburgh, UK, 26th June 1979. (“Power from Sea Waves” edited by B. M. Count, Academic Press, 1980)
- Peatfield, A.M., 1991. **“The Economic Viability of the Circular Clam for Offshore Wave Energy Utilisation”**, I Mech.E. Seminar on Wave Energy, 28 November 1991.
- Pelinovsky E. Kharif C., 2000a. **“Nonlinear wave focusing as a mechanism of the freak wave generation in the ocean”** Rogue waves 2000 workshop, Brest, 29 - 30 November.
- Pelinovsky E, Kharif C., 2000b. **“Simplified model of the freak wave formation from the random wave field”** Proc. 15th Int. Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Israel, 2000, 142-145.

- Pierson W.J. ve Moskowitz, L., 1964. “**A Proposed Spectral Form for Fully Developed Sea based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii**”, J. Geophysical Research, Volume 69(24), 1964, pp 5181-5190.
- Powergen Europe Conference, 2005. “**Wave Dragon**”. Christensen, Madsen and Kofoed, Denmark.
- Previsic, M., 2004. “**Overview of Wave Energy Technology**”. Technology Lead- EPRI Ocean Energy Programs
- Rodrigues, L., 2010., “**Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production**”. Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology Nova University of Lisbon 2829-516-Portugal
- Rossouw, C., 2009 ZLH Consulting Engineers LTD.
- Ryan, 2009, World Association of Technology Teachers.
- Sağlam, M., Uyar, T.S., 2010. “**Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli**”,
- Salter ve ark., 1978, “**The development of the DUCK Concept**”, Proc. Wave Energy Conf. Heathrow Hotel, London, UK, 22nd Nov. 1978, pp. 17-28.
- Salter, S. H., 1979. “**Recent Progress on DUCKS**”, Proc. First Symp. on Wave Energy Utilisation, Gothenburg, Sweden, pp. 36-76, 30th October 1979.
- Salter, S. H., 1985. “**Progress on Edinburgh DUCKS**”, Proc. IUTAM Int. Symp. On Hydrodynamics of Ocean Wave Energy Utilisation, Lisbon, Portugal, 8th July 1985.
- Salter, S., 1993. “**Changes to the 1981 Design of Spine-based Ducks**”, Proceedings of the First European Wave Power Conference, Edinburgh, UK, 21-24 July, 1993.
- Salter, S, ve Lin, C-P, 1995. “**The Sloped IPS Wave Energy Converter**”, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal 8-10 November, 1995.
- Salter, S, ve Taylor, J, 1995. “**The Design of a High Speed Stop Valve for Oscillating Water Columns**”, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Serway and Beicher, 2000. “**PHYSICS For Scientists and Engineers with Modern Physics**”. 5th Edition. Saunders College Publishing
- Shwater Ltd, 1992. “**Bristol Cylinder Wave Energy Device; Consultancy to Review of Wave Energy**”, Shwater Ltd., ETSU Report Number WV 1692, 1992.
- Simon ve Schuster, 1961. “**Fiziğin Evrimi. Dalga nedir? İsimli pasajı**”. New York.
- Soerensen, H.C., 2006. “**Wave Dragon-from th 20 kW to the 7 MW prototype device**”. EU Contractors' meeting, October 2006
- Spiegel, M. R. 1965. “**Schaum's outline of theory and problems of Laplace transforms**”, 1965 (Schaum Publishing, New York, USA).
- Tedd, J., 2007. “**Testing, Analysis and Control of Wave Dragon, Wave Energy Converter**”. PhD Thesis, Defended in public at Aalborg University (101207)
- Thorpe, T.W., 1993. “**A Methodology for Reliability, Economic and Environmental Assessment of Wave Energy**”, Proceedings of the 1993 European Wave Energy Symposium, Edinburgh, Scotland, 21-24 July 1993.
- Thorpe, T W, 1995. “**An Assessment of the ART OSPREY Wave Energy Device**”, ETSU Report Number R-90, October 1995.

- Thorpe, T.W., 1998. **“Wave Energy Potential in the UK”**, Report Number AEAT-3028 for the DTI, February 1998.
- Thorpe, T.W., 1999. **“A Brief Review of Wave Energy – A Report Produced for The UK Department of Trade and Industry”**, ETSU-R120, May 1999.
- Tjungen, K J, 1995. **“TAPCHAN Ocean Wave Energy Project at Java, Updated Project Status”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- University of New Hampshire, TECH 797 Undergraduate Ocean Research Project 2008-2009
- Watabe, T., 1995. **“New Pendulum and Its Field Test”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- White, P, 1989. **“Developments in Norwegian Wave Energy”**, Proceedings of a Conference on Wave Energy Devices, Coventry, UK, 1989.
- Whittaker, T J T, ve Stewart, T P, 1993. **“An Experimental Study of Nearshore and Shoreline Oscillating Water Columns with Harbors”**, Proceedings of the First European Wave Power Conference, Edinburgh, UK, 21-24 July, 1993
- Whittaker, T.J.T. 1995. **“Implications of Operational Experiences of the Islay OWC for the Design of Wells Turbines”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995
- Vining, J., 2005. **“Ocean Wave Energy Conversion”**, ECE 699: Advanced Independent Study Report Electrical and Computer Engineering Department University of Wisconsin-Madison, December 2005
- Yalciner A.C, 2003a. **“Ender (Freak) Dalga, Soluğan (Swell) Dalga, Salınım (Seiche) Dalga, Gel-Git (Tide) Dalgası, Depreşim (Tsunami) Dalgası; Özellikleri ve Örneklerle Karşılaştırılması”**, Poster Bildiri, Ulusal Su Günleri 2003, düzenleyen, Hacettepe Üniversitesi ve Türk Deniz Araştırmaları Vakfı, (Editör: Sedat Yerli), Ekim 2003.
- Yalçınmer A. C., Pelinovsky E., Synolakis C., Okal E., 2003b. NATO SCIENCE SERIES **“Submarine Landslides and Tsunamis”**, Publisher: Kluwer Academic Publishers, Netherlands, (Editors; Yalçınmer A. C., Pelinovsky E., Synolakis C., Okal E.) 329 Pages December, 2003, ISBN:1-4020-1348-5 (HB), ISBN: 1-4020-1349-3 (PB)
- Yalçınmer A. C., 2004. **“Ender (Freak) Dalgalar: Oluşum, Özellikleri ve Diğer Dalgalarla Karşılaştırılması”**, Türkiye Kıyıları Konferansı 2004, Kıyı Alanları Komitesi Türkiye Milli Komitesi, Adana, 4-7 Mayıs 2004.
- Zhi, Y, ve ark., 1995. **“Power Output of an Onshore OWC Wave Power Station at Dawanshan Island”**, Proceedings of the Second European Wave Power Conference, Lisbon, Portugal, 8-10 November.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından son anına kadar göstermiş olduğu sabır ve sınırsız yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Y.Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU'na teőekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca derslerini ve yardımlarını almış bulunduğum Sayın Y. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU, Sayın Doç. Dr. Hakan YAVUZ hocama yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım boyunca benden desteğini esirgemeyen ve hayatımın her anında bana destek olan değerli eşim ve aileme teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1987 Yılında Bursa'nın İnegöl ilçesinde doğdum. İlköğrenimimi Hatay'da tamamladım. Lise öğrenimimin tamamını Bursa Erkek Lisesi'nde aldım. 2005 Yılında yükseköğrenimime başladığım Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi'nden 2009 yılında Makina Mühendisi Ünvanı ile mezun oldum. 2009-2010 Eğitim-Öğretim yılında Lisansüstü eğitimine başladığım Mustafa Kemal Üniversitesi'nde Sayın Yrd.Doç.Dr. Selçuk Mıstıkoğlu hocam danışmanlığında eğitimime devam etmekteyim.