



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

**AŞAĞI – YUKARI HAREKETLİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRÜ
MODELLEME VE KONTROL UYGULAMASI (FROG – FORM 2)**

BERKAN ZÖHRA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Antakya/HATAY
TEMMUZ-2011**



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

**AŞAĞI – YUKARI HAREKETLİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRÜ
MODELLEME VE KONTROL UYGULAMASI (FROG – FORM 2)**

BERKAN ZÖHRA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Antakya/HATAY
TEMMUZ-2011**

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞAĞI – YUKARI HAREKETLİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRÜ
MODELLEME VE KONTROL UYGULAMASI (FROG – FORM 2)**

BERKAN ZÖHRA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Doç. Dr. Hakan Yavuz danışmanlığında hazırlanan bu tez 05.07.2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hakan Yavuz Başkan Yrd. Doç. Dr. Selçuk Mıstıkoğlu Üye Yrd. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR 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

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. DEK Sistemleri İçin Dalga ve Dalga Özellikleri	23
2.1.2. Dalgalar Tarafından Taşınan Enerji.....	29
2.1.3. Hareket Eden Bir Dalganın Matematiksel Temsili.....	34
2.1.4. Süperpozisyon İlkesi.....	37
2.1.5. Yansıma ve Geçme	39
2.1.6. Girişim	41
2.1.7. Duran Dalgalar; Rezonans	43
2.1.8. Dalganın Enerji ve Güç Yoğunluğu	45
2.1.9. Metre Başına Dalganın Gücü.....	46
2.1.10. Okyanus Dalgalarının Oluşumu	47
2.2. DEK Sistemlerinin Sınıflandırılması	50
2.2.1. Kıyı (Shoreline) DEK uygulamaları.....	58
2.2.2. Yakın Kıyı (Nearshore) DEK Uygulamaları	73
2.2.3. Açık Deniz Tipi DEK Uygulamaları	83
2.3. DEK Sistemleri İçin Önemli Tasarım Parametreleri.....	105
2.4. Dalga Enerjisi Konvertörleri İçin Güç Çekme Üniteleri.....	106
2.5. Dalga Enerjisi Konvertörlerinin Kontrol Sistemleri	111
2.6. DEK Çiftlikleri.....	117
2.7. Ekonomik Analiz.....	117
2.8. Türkiye’de Dalga Enerjisi	120
3. MATERYAL VE YÖNTEM	129

3.1. Materyal	129
3.1.1.FROG 1 FORM 2 Modeli.....	129
3.1.2.DEK Sisteminin Matematik Modeli	135
3.1.3. DEK sisteminin Matlab/Simulink Modeli	138
3.1.4. Geliştirilen modele ait hidrodinamik parametrelerin incelenmesi.....	151
3.1.5. Hidrodinamik Analiz	159
3.2. Yöntem	165
3.2.1. Frekans Uzayı Sistem Modeli ve Simülasyon Çalışmaları	165
3.2.2. Güç eldesi optimizasyonu.....	172
4. ARAŞTIRMA bulguları VE TARTIŞMA	200
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	204
KAYNAKLAR	205
TEŞEKKÜR	212
ÖZGEÇMİŞ	213

ÖZET

**AŞAĞI – YUKARI HAREKETLİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRÜ
MODELLEME VE KONTROL UYGULAMASI (FROG – FORM 2)**

Enerji tüm endüstrilerin temel ihtiyacıdır. Sürdürülebilir gelişme şartlarını sağlamak için tüm gelişmekte olan ülkeler enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile yatırım yapmaktadırlar. Fosil yakıtlara olan bağımlılık genel olarak çevresel problemlere sebep olmaktadır. Bu şartlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmaz görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları için yapılan çalışmalar genel olarak güneş, rüzgâr ve dalga enerjisine yoğunlaşmaktadır. Güneş enerjisi gün içinde mümkün olan bir kullanıma sahiptir. Rüzgar enerjisi ise güvenilir değildir. Dalga enerjisi ise tüm okyanuslar ve denizlerden elde edilebilmesi sebebi ile çok yüksek bir potansiyele sahiptir. Dalga enerjisinin bir başka önemli yönü ise benzer yenilenebilir kaynaklara göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır.

Dalga enerjisini kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüren sistemler dalga enerjisi konvertörü olarak isimlendirilmektedir. Bu sistemlerin yapılmasında en çok karşılaşılan zorluk ortam şartlarının olumsuz etkileri maksimum verim için gereken geometri ve kontrol yapısıdır. Bu amaçla, incelenen sistemin hidrodinamik özellikleri WAMIT programı ile incelenmiştir. Sistemin simülasyon çalışmaları ise MATLAB/SIMULINK paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Proje sonucunda elde edilen optimum çalışma şartları ise, optimum güç çekme ünitesi ayar değerleri olarak verilmiştir.

2011, 211 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dalga Enerjisi Konvertörleri, Yenilenebilir Enerji, Dalga Enerjisi Konvertörlerinin Performans Optimizasyonu

ABSTRACT**MODELLING AND CONTROL APPLICATION OF A HEAVING WAVE ENERGY CONVERTER (FROG – FORM 2)**

Energy is an important element of all industries. It can be seen that all developing countries are investing to meet this ever increasing demand for energy for sustainable development. The dependency on fossil fuels appears to be leading to environmental problems. In this case, the use of renewable energy becomes inevitable. The work on renewable energy has mainly focuses on solar, wind and wave energy. The solar energy is limited to day time. The wind energy is un-predictable. The wave energy, on the other hand, has a higher potential as oceans, seas and also shorelines are potential application areas. Another important aspect of the wave energy is that it has a high energy density than the other renewable sources.

The systems that convert wave energy into useful energy is called wave energy converter (WEC). One of the main issues in development of such systems is the control application and geometry optimisation of such systems. The presented study aims at developing a control strategy and a geometric model of a WEC system. To achieve the purpose, the hydrodynamic properties of the system are achieved using WAMIT software. The simulation model of the system is achieved in MATLAB/SIMULINK environment. The optimum power settings are provided in the form of power take off settings.

2011, 211 pages

Keywords: Wave Energy Converters, Renewable Energy, Performance Optimization of Wave Energy Converters

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACORD	Advisory Committee on Research and Development for Fuel and Power
AWS	Archimedes Wave Swing
PIU	Cabinet Office Performance and Innovation Unit
DEK	Dalga enerjisi konvertörleri
DEn	Department of Energy
DTI	Department of Trade and Industry
EDA	Electricidade dos Açores
EDP	Electricidade de Portugal
EMEC	European Marine Energy Centre
ETSU	Energy Technology Support Unit
FWPV	Floating Wave Power Vessel
GÇÜ	Güç Çekme Ünitesinin (Power take-off)
HMRC	Hydraulics and Maritime Research Centre
Iwave	Indian Wave Energy Device
IST	Instituto Superior Técnico
IEA-OES	International Energy Agency's Ocean Energy Systems
ECN	Netherlands Energy Research Foundation
OPT	Ocean Power Technologies
OSPREY	Ocean Swell Powered Renewable Energy
OSK	Osilatif Su Kolunu (Oscillation Wave Column)
OWEC	Ocean Wave Energy Company
PAM	Plane Angular Modulation
PAWEC	Point Absorber Wave Energy Converter
WEC	Wave Energy Converter

VI

F_3	3. Serbestlik derecesi dalga kuvveti, N
ω	Açısal Hız, rad/s
V	Anlık Hız, m/s
P_{ins}	Anlık güç, Watt
v	Dalga Hızı, m/s
ω_{wave}	Dalga frekansı, rad/s
f	Dalga kuvveti, N
H_s, H	Dalga Yüksekliği, m
λ	Dalgaboyu
$E_{density}$	Dalganın Güç Yoğunluğunu, Watt/m ²
d	Derinlik, m
m_{add}	Ek Kütle (Islak Kütle), kg
F_L, F_D, C_L, C_D	Eksenel kaldırma kuvveti, N
F_T	Enine Dalganın Hızı, m/s
ϕ	Faz Açısı, rad/s
f	Frekans, 1/s
A	Genlik
m_{dry}	Kuru Kütle, kg
m	Kütle, kg
μ	Lineer Sönümlenme Elemanının Sönümlenme Katsayısı
T_m	Ortalama Dalga Periyodu, s
P_{ort}, P_{avr}, P_t	Ortalama Güç, Watt
T	Periyot, s
t_{sim}	Simulasyon Zamanı, s
ω_{sistem}	Sistem Doğal Frekansı, rad/s
b	Sönümlenme Etkisi, Ns/m
μ	Sönümlenme Katsayısı
P_{ma}, E	Toplam Güç, Joule

VII

V_{top}	Toplam Hacim, m ³
m_{top}	Toplam Kütle, kg
E	Toplam Mekanik Enerjisi, Joule
k	Yay Katsayısı
λ	Yay Sertliği,
K_h	Yukarı-Aşağı (Heave) Hidrostatik Yay Katsayısı,
p	Yoğunluk, 1000 kg/m

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. DEK sistemlerinin geliştirilmesinde sistemin kıyıya göre konumu ve durum değerlendirmesi.....	56
Çizelge 2.2. DEXA DEK sistemi deneysel çalışması (http://www.dexawaveenergy.co.uk , 2010).....	93
Çizelge 2.3. AWS pilot sisteminin karakteristik ölçüleri.....	100
Çizelge 2.4. DEK sistemleri araştırma ve geliştirme konuları (Vinning, 1995).....	106
Çizelge 2.5. DEK sistemleri kontrol tipleri.....	115
Çizelge 2.6. İncelenen bölgeler ve kapsadıkları veri alanları	122
Çizelge 3.1. Frog 1 Form 2 Gerçek Sistemin Öngörülen Fiziksel Boyutları.....	134
Çizelge 3.2. Modele ait fiziksel özellikler ve analiz şartları	134
Çizelge 3.3. Lineerleştirilmiş Frog matematiksel modelinde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları.....	136
Çizelge 3.4. Simulink modelinde kullanılan blok elemanları	139
Çizelge 3.5. Frog 1 Form 2 DEK Simulink modeli model parametreleri	140
Çizelge 3.6. Simulink giriş parametreleri	153
Çizelge 3.7. <i>Frog M1</i> alt sistem bloğu parametreleri.....	163
Çizelge 3.8. Analizde kullanılan frekans değerleri	178
Çizelge 3.9. <i>k</i> ve <i>b</i> parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi	179

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dalga gücü seviyesinin yaklaşık olarak küresel dağılımı (Thorp, 1999).....	4
Şekil 2.2. kW cinsinden 10 yıl içerisinde kaydedilen Dünya yıllık dalga enerji potansiyeli (Cruz, 2008).....	6
Şekil 2.3. Dünya dalga enerjisi potansiyeli – Ocak ayı (Cruz, 2008).....	7
Şekil 2.4. Dünya dalga enerji potansiyeli – Temmuz ayı (Cruz, 2008).....	8
Şekil 2.5. Enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin aylık değişimi – Ocak ayı (Cruz, 2008).....	9
Şekil 2.6. Enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin aylık değişimi – Temmuz ayı (Cruz, 2008).....	9
Şekil 2.7. Enlemlere göre yıllık dalga enerjisi potansiyeli (Cruz, 2008).....	10
Şekil 2.8. Avrupa yıllık dalga enerjisi potansiyelinin tahmini değişimi, kW/m (Cruz, 2008).....	11
Şekil 2.9. Dalga enerjisinin yıl içerisinde sezondan sezona minimum değişim oranları (Cruz, 2008).....	12
Şekil 2.10. Dalga enerjisi potansiyelinin yıl içerisindeki değişim oranlarının enleme göre dağılımı (Cruz, 2008).....	13
Şekil 2.11. 100 yıl içerisinde kaydedilen ortalama dalga yükseklikleri (Cruz, 2008).....	14
Şekil 2.12. Aylara göre enerji ihtiyacı ve kullanılabilir dalga enerjisinin değişimi (Duckers, 2004).....	15
Şekil 2.13. Altı temel serbestlik derecesi.....	20
Şekil 2.14. Dalga enerji konvertörleri için üç temel hareket tipi.....	20
Şekil 2.15. Deniz dalgaları (http://theideaofoundation.blokspot.com , 2011).....	23
Şekil 2.16. Deniz suyunun harmonik hareketi (Önengüt, 2009).....	24
Şekil 2.17. Bir ip üzerinde ilerleyen dalganın yapısı (Önengüt, 2009).....	24
Şekil 2.18. Dalga Hareketi (Önengüt, 2009).....	26
Şekil 2.19. Uzayda ilerleyen tek elemanlı lineer bir dalganın karakteristikleri.....	27
Şekil 2.20. Enine ve boyuna dalga tipleri (Önengüt, 2009).....	28
Şekil 2.21. Enine ve boyuna dalganın bir kombinasyonu olan yüzey dalgası (Önengüt, 2009).....	29
Şekil 2.22. $\phi < 0$ durumu için sinüzoidal hareket örneği (Önengüt, 2009).....	30

Şekil 2.23. Esnek ortamda dalganın hareketi (Önengüt, 2009).....	33
Şekil 2.24. İleryen dalga (Önengüt, 2009)	34
Şekil 2.25. Bir boyutlu bir dalga için süperpozisyon ilkesi (Önengüt, 2009).....	37
Şekil 2.26. Kare dalga oluşturma (Önengüt, 2009).....	38
Şekil 2.27. Bir masa üzerinde uzanan bir ipteki dalga atmasının yansıması (Önengüt, 2009)	39
Şekil 2.28. Bir dalga atmasının bir ip üzerinde ilerlemesi (Önengüt, 2009).....	40
Şekil 2.29. Yayılan dalganın hareket doğrultusu (Önengüt, 2009).....	40
Şekil 2.30. İki dalganın birbirine geçmesi (Önengüt, 2009)	41
Şekil 2.31. Su dalgalarının girişi (Önengüt, 2009)	42
Şekil 2.32. Üç ayrı yerde zamanın fonksiyonu olarak iki özdeş dalga ve toplamlarını gösteren grafikler (Önengüt, 2009).....	42
Şekil 2.33. Farklı frekanslarda dalgaların girişiminin 3 boyutlu gösterimi (Scott, 2007)	43
Şekil 2.34. Üç rezonans frekansına karşılık gelen duran dalgalar (Önengüt, 2009)	44
Şekil 2.35. Çekip bırakılan bir telin rezonansı (Önengüt, 2009)	45
Şekil 2.36. Dalga güç yoğunluğu (Vining, 2005)	46
Şekil 2.37. Değişken derinliklerde dalga enerjisi yoğunluğu (Vining, 2005).....	47
Şekil 2.38. İdeal dalga karakteristiği (Duckers, 2004).....	48
Şekil 2.39. Ortamda bulunan rüzgâr karakteristiğine göre meydana gelen dalga yapısı (Duckers, 2004).....	49
Şekil 2.40. Dalganın su altında hareketi (Duckers, 2004).....	50
Şekil 2.41. PAWEC uygulaması (http://www.emec.org.uk , 2008)	52
Şekil 2.42. Tek serbestlik dereceli yukarı – aşağı (dalıp - çıkma) hareketi yapan yüzer gövde (Duckers, 2004).....	52
Şekil 2.43. İki serbestlik dereceli yukarı – aşağı (dalıp - çıkma) ve dönme (yalpa) hareketi yapan yüzer gövde (Duckers, 2004)	53
Şekil 2.44. Tek serbestlik dereceli dönme (yalpa) hareketi yapan gövde tasarımı	53
Şekil 2.45. Osilatif su kolunu (Duckers, 2004)	53
Şekil 2.46. Tek serbestlik dereceli ileri – geri (boy öteleme) hareketi yapan gövde tasarımı (Duckers, 2004).....	54

Şekil 2.47. Dek sistemlerinin konum açısından sınıflandırılması (Cluster Energia, 2010)	55
Şekil 2.48. DEK sistemlerinin tasarımlarının tiplere göre dağılımı (IEA-OES, 2008)...	57
Şekil 2.49. Mevcut DEK sistemlerinin tasarım düzeylerine göre dağılımı (IEA-OES, 2008)	58
Şekil 2.50. Tapchan DEK modeli (Duckers, 2004)	59
Şekil 2.51. Kayaya gömülü TAPCHAN uygulaması	61
Şekil 2.52. OSK LIMPED uygulaması	61
Şekil 2.53. Japon Pendular dalga enerjisi konvertörü (Duckers, 2004)	62
Şekil 2.54. OSK Limped sisteminin çalışması	63
Şekil 2.55. LIMPET'in kayaya gömülü tip uygulamasının inşasında izlenen adımlar (Duckers, 2004)	64
Şekil 2.56. LIMPET'in çalışması (Duckers, 2004)	65
Şekil 2.57. Eylül, 2000'de tamamlanan LIMPET uygulaması	65
Şekil 2.58. Wells türbin – jeneratör düzeneği kullanılarak inşa edilen 400 kW'lık Piko uygulaması (Cruz, 2008)	66
Şekil 2.59. Piko DEK sisteminin arkadan görünüşü	67
Şekil 2.60. Hint dalgakıran OSK (Duckers, 2004)	68
Şekil 2.61. Energetech Avusturalya PTY Dalga Enerjisi Konvertörü	69
Şekil 2.62. Wells türbinin çift yönlü çalışması	70
Şekil 2.63. Wells Türbinin çalışması (Duckers, 2004)	71
Şekil 2.64. Wells Türbinine etki eden çok yönlü kuvvetler	72
Şekil 2. 65. Wells türbinleri kullanarak elektrik şebekesinin beslenmesi	72
Şekil 2.66. OSPREY DEK modeli (Duckers, 2004)	73
Şekil 2.67. Oyster dalga enerjisi konvertörü ve yapısı ve çalışması (Folley, 2008)	74
Şekil 2.68. Oyster'in Queen's üniversitesinde yapılan havuz testleri (http://www.flickr.com/)	75
Şekil 2.69. Oyster 1 DEK uygulaması (http://www.offshore.no/ , 2011)	75
Şekil 2.70. Oyster 1 tasarımının su altından görünüşü (http://i.zdnet.com/bloks/imagesource129146enjpg.jpeg , 2011)	76
Şekil 2.71. Oyster 1 tasarımının EMEC'teki uygulaması - Su yüzeyinden görünüşü (Coastlines, 2010)	76

Şekil 2.72. Oyster DEK temiz su arıtma sistemi uygulaması (Folley, 2008)	77
Şekil 2.73. OWEC tasarımı kesit resmi (http://www.owec.com/ , 2010)	78
Şekil 2.74. OWEC gövde tasarımı (http://www.owec.com/ , 2010).....	78
Şekil 2.75. OWEC GÇÜ (http://www.owec.com/ , 2010)	79
Şekil 2.76. OWEC'in dalga çiftliği uygulaması (http://www.owec.com/ , 2010)	79
Şekil 2.77. WavePlain DEK sisteminin çalışması	80
Şekil 2.78. WavePlain DEK uygulaması üç boyutlu modeli – ön görünüş	80
Şekil 2.79. WavePlain DEK uygulaması üç boyutlu modeli – yan görünüş.....	81
Şekil 2.80. WavePlain prototipi – arkadan görünüş.....	81
Şekil 2.81. WavePlain prototipi denize indirilmiş hali	82
Şekil 2.82. Iwave'nin çalışması	83
Şekil 2.83. Pelamis 2 numaralı ana gövdesinin montajdan önceki görünümü.....	84
Şekil 2.84. Pelamis GÇÜ	85
Şekil 2.85. Pelamis güç çekme ünitesi devre şeması	86
Şekil 2.86. Pelamis sistemi deniz tabanına sabitlenmesi	87
Şekil 2.87. Pelamisin okyanus yüzeyindeki hareketi – ana modüllerin yukarı aşağı salınımı.....	87
Şekil 2.88. Dalganın döndürme etkisinde Pelamis'in çalışması	88
Şekil 2.89. PA1 isimli Portekiz kıyı şeridinde indirilen Pelamis modeli.....	88
Şekil 2.90. The Wave Dragon Nissum Bredning	89
Şekil 2.91. Overtopping düzeneği (Vining, 2005)	89
Şekil 2.92. DEXA sistemi	90
Şekil 2.93. DEXA sisteminin temel çalışma prensibi	91
Şekil 2.94. DEXA Sisteminin açık deniz uygulaması	94
Şekil 2.95. AWS dalga çiftliği bilgisayar modeli	95
Şekil 2.96. AWS konseptinin şematik gösterimi	95
Şekil 2.97. 2MW'lık pilot AWS uygulaması 2004 yılında Leixões limanında çekilen bir resmi.....	96
Şekil 2.98. AWS'nin HMRC Cork 'da yapılan model testleri.....	97
Şekil 2.99. AWS'nin WL Delft Hydraulics'te yapılan testleri	98
Şekil 2.100. AWS'nin 2 MW'lık prototipinin batırılma işlemi	99

Şekil 2.101. AWS'nin 2MW'lık prototipinde kullanılan lineer jeneratör (Cruz, 2008)	101
Şekil 2.102. Zıt kutuplu PM jeneratörün kesiti	102
Şekil 2.103. FWPV (Duckers, 2004)	103
Şekil 2.104. FWPV'nin çalışması (Duckers, 2004)	104
Şekil 2.105. PS. Frog DEK modeli (Thorp, 1999)	105
Şekil 2.106. Pelamis DEK sistemi için geliştirilen GÇÜ hidrolik devresi	108
Şekil 2.107. Hidrolik GÇÜ'nin hidrolik akışı	109
Şekil 2.108. Lineer jeneratör yapısı	110
Şekil 2.109. Aksisimetrik, yukarı-aşağı tek serbestlik dereceli DEK uygulaması şematik gösterimi	116
Şekil 2.110. Genel kilitleme kontrol yaklaşımı	116
Şekil 2.111. Dalga çiftleri	117
Şekil 2.112. Tahmini Kazanç Oranları(Thorp, 1999)	119
Şekil 2.113. İngiltere DEK sistemlerinin üretim maliyetlerinin yıllara göre enerji karşılaştırılması	120
Şekil 2.114. Türkiye dalga enerjisi potansiyeli için pilot bölgeler	121
Şekil 2.115. İğneadası birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları	124
Şekil 2.116. Sinop birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları	124
Şekil 2.117. Hopa birinci analiz bölgesi ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları	125
Şekil 2.118. Alanya birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları	126
Şekil 2.119. Karataş birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları	126
Şekil 2.120. Değerlendirilen beş bölge için soluğan dalgalar tarafından taşınan enerji	127
Şekil 2.121. Değerlendirilen beş bölge için rüzgâr kaynaklı dalgalar tarafından taşınan enerji	128
Şekil 2.122. Değerlendirilen beş bölge için soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalgalar tarafından taşınan toplam enerji	128

Şekil 3.1. Frog 1 Form1 ve Frog 1 Form 2 geometrisi	130
Şekil 3.2. Frog 1 Form 2 konseptti sistem geometrisi ve sistem elemanları (Bracewell, 1990)	131
Şekil 3.3. Frog 1 Form 2 Multisurf modeli	133
Şekil 3.4. Frog 1 Form 2 fiziksel boyutları	133
Şekil 3.5. Lineerleştirilmiş Frog matematiksel modelinin şematik gösterimi	135
Şekil 3.6. Yüzen bir silindirik bir gövdede meydana gelen ek kütle etkisi.....	137
Şekil 3.7. Radyasyon etkisi	138
Şekil 3.8. Simulink modeli y_1 toplam bloğu	142
Şekil 3.9. Simulink modeline DEK kütlelerinin dâhil edilmesi	142
Şekil 3.10. Toplam kütle fonksiyonu	142
Şekil 3.11. Ek kütle Fonksiyonu	143
Şekil 3.12. Simulink modeli y_1 toplam bloğu	143
Şekil 3.13. Simulink modeli v_1 ve y_1 parametrelerinin eldesi	144
Şekil 3.14. Simulink modeli Brad1 Bloğu	145
Şekil 3.15. f , b_{rad} ve K_h parametresinin modele dâhil edilmesi.....	146
Şekil 3.16. y_2 , parametresine bağlı Simulink modeli	147
Şekil 3.17. Frog 1 Form 2 Simulink modeli FROG alt sistem bloğu	148
Şekil 3.18. FROG alt sistem Bloğu	149
Şekil 3.19. Frog 1 Form 2 Simulink modeli PTO alt sistem bloğu	151
Şekil 3.20. Frog 1 Form 2 Simulink modeli	151
Şekil 3.21. DEK fonksiyonun çalışması	152
Şekil 3.22. Ek kütlelerin frekansa bağlı değişimi.....	153
Şekil 3.23. Radyasyon sönümlemesinin frekansa göre değişim	154
Şekil 3.24. Reaksiyon kütlelerinin yer değişimi	155
Şekil 3.25. Şamandıra kütlelerinin yer değişimi.....	155
Şekil 3.26. Şamandıra kütlesi ve reaksiyon kütlelerinin yer değiştirme oranları	156
Şekil 3.27. Sistemden elde edilen anlık gücün değişimi	157
Şekil 3.28. Sistemden elde edilen ortama gücün zamana göre değişimi	158
Şekil 3.29. Sistemden çekilen toplam gücün zamana göre artışı	159
Şekil 3.30. Frog 1 Form 2 Simulink Modeli	162

Şekil 3.31. <i>Frog M₁</i> alt sistem bloğu	164
Şekil 3.32. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekans grafiği.....	166
Şekil 3.33. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için DEK sistemi üzerine etki eden 3.serbestlik derecesi dalga kuvvetinin grafiği	167
Şekil 3.34. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için y_1 değerinin değişimi	167
Şekil 3.35. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için y_2 değerinin değişimi	168
Şekil 3.36 $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için yer değiştirme farkı $(y_1 - y_2)$	168
Şekil 3.37. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için v_1 ve v_2 hızlarının değişimi.....	169
Şekil 3.38. $w=1.3 \text{ rad/s}$ ve $w=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için anlık güç değişimi	170
Şekil 3.39. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için P_{avr} değerinin değişimi	171
Şekil 3.40. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için elde edilen P_{ma} değerlerinin değişimi	171
Şekil 3.41. $b=0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	173
Şekil 3.42. $k=0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	174
Şekil 3.43. $k=0.5 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	175
Şekil 3.44. $k=29.5 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	175
Şekil 3.45. $b=6.6 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	176
Şekil 3.46. $b=21 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi.....	177

Şekil 3.47. 0.1–5.1 rad / s Frekans aralığı için sistemden elde edilen P_t 'nin en yüksek değerleri	192
Şekil 3.48. 0.1–3.0 rad / s frekans aralığı için sistemden elde edilen P_t 'nin en yüksek değerleri	193
Şekil 3.49. 0.1–3.0 rad / s frekans aralığı için lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği	194
Şekil 3.50. 0.1–3.0 rad / s frekans aralığı için üstel eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği	194
Şekil 3.51. 0.1–5.1 rad / s frekans aralığı için lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği	195
Şekil 3.52. 0.1–5.1 rad / s frekans aralığı için 11. derece regresyon polinomu kullanılarak elde edilen $\omega - P_t$ grafiği	195
Şekil 3.53. $\omega = 1.3 rad / s$ frekansı için elde edilen b, k, P_t ilişkisi	196
Şekil 3.54. $\omega = 1.3 rad / s$ frekansı farklı k 'nın sistem cevabına etkisi	198
Şekil 3.55. 0.1–5.1 rad / s frekans aralığı için P noktasından elde edilen P_t değerleri	199

1.GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler beraberinde gittikçe artan oranda enerji tüketimini getirmektedir. Ancak, enerjinin üretimine bakıldığında bu teknolojik gelişmelerle beraber oluşan enerji açığının genellikle fosil yakıtlara veya nükleer enerjiye dayalı sistemlerce sağlandığı görülmektedir. Temel sorun fosil yakıtların enerji üretimi sırasında yüksek oranda atık oluşturması çevreye ciddi zarar vermekte ve doğayı geri dönüşü zor şekilde kirletmektedir. Ayrıca, enerji üretimi sırasında oluşan atık gazlar dünya çapında ısınma olayına sebep olmakta ve bu da tabiatın dengesini olumsuz etkilemektedir. Daha da önemlisi söz konusu fosil yakıtların sınırlı bir kaynak olması ve ileriye dönük planlamalarda sorun yaratmasıdır. Nükleer santraller ise radyoaktif madde ile çalıştıklarından çevreye zarar konusunda kalıcı etkiler bırakabilmekte ve özellikle canlıların DNA yapısına zarar verip, kansere yol açmaları sebebi ile kuşku ile bakılan bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Özellikle gelişen teknoloji ve her geçen gün artan insan nüfusu giderek artan oranlarda enerji tüketimine neden olmaktadır. Son yıllarda bu konunun hassasiyetinin farkında olan ülkeler kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ciddi önlemler almakta ve çeşitli çözüm önerileri üzerinde durmaktadır. Günümüzde enerji üretimi için termik ya da hidrodinamik santrallerden yararlanmak oldukça yaygındır. Nitekim kullanılan bu yöntemler santrallerin kurulduğu çevreyi hissedilir şekilde yıpratmakta ve doğanın dengesini bozmaktadır. İnsanlığın enerji üretmek için atmosfere yaydığı zararlı gazların etkisi ise olayın bir diğer kötü boyutudur. Söz konusu bu etkiler sonucu yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulması kaçınılmaz görünmektedir. Bugün enerji üretimi konusunda oldukça yol alınmış olup, birçok gelecek vaat eden enerji üretim sistemi üzerine çalışmalar da devam etmektedir. Bu çalışmalarda en büyük payı güneş ve rüzgâr enerjisi almaktadır. Kullanılması diğer enerji elde etme yöntemlerine nazaran daha kolay olan bu yöntemler ne var ki sürekli enerji üretimi için elverişli değildir. Güneş enerjisini emerek elektrik üreten sistemler oldukça pratik uygulamalar olsa da, sistemin gece çalışmaya uygun olmaması verimini büyük oranda düşürmektedir.

Rüzgâr enerjisi ise her ne kadar kullanılabilir bir enerji üretim biçimi olsa da hava şartlarına bağımlılığından dolayı yeterince güvenilir bir enerji üretim biçimi

olamamaktadır. Söz konusu bu yolların yanında enerji üretimi için kullanılabilir bir diğer enerji üretim biçimi okyanus ve deniz dalgalarından yararlanmaktır. Yapılan araştırmalar deniz ve okyanus dalgalarının enerji yoğunluğu bakımından güneş ve rüzgâr ile çalışan sistemlere göre kat kat fazla enerji taşıdığını ortaya koymuştur (Vining, 2005). Söz konusu bu enerji biçiminden yararlanmak için birçok üreteç modeli geliştirilmiştir. Dalga enerjisi konvertörleri (DEK) dalga enerjisini, mekanik bir güç aktarıcı yolu ile emerek elektrik üretme prensibine dayanmaktadır. Bugüne kadar yapılan DEK uygulamaları çalışma prensibi yönünden benzerlik gösterse de birçok farklı tipi vardır.

Tamamıyla hidrodinamik çalışma prensiplerine göre çalışan ve modellenen bu sistemlerin geliştirilmesi oldukça zahmetli bir süreçtir. Öyle ki şimdiye kadar geliştirilen çalışmalardan birçoğu olumsuz sonuçlanırken pek azı üretilebilir seviyeye ulaşmış, geleceğe yönelik bir yatırım niteliği kazanabilmiştir. DEK sistemlerin geliştirilmesinde ve kullanılmasında karşılaşılan en büyük problemler, dalgalanın karmaşık yapısı ve sistemde elde edilen enerjinin depolama-taşıma problemleridir. Bu çalışmada dalga enerjisinden en iyi şekilde yararlanmak için sistemin farklı dalga frekanslarına cevabı araştırılmıştır.

Çalışmalarda dalga etkisini incelemek için sistem, basit ve düzgün rejimli farklı sinüzoidal sinyallerle rezonansa edilmiş ve sistemin frekans cevabı incelenmiştir. Bu yaklaşımda, sonuçların frekans uzayında yer alması, diğer bir değişle zaman faktörünün göz ardı edilmesinden dolayı pratik uygulamalar açısından yetersiz kalmaktadır. Bu şartlarda zaman uzayında çalışmak zorunluluk haline gelmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar sistemin verimli şekilde çalışabilmesi için sistemin tabi frekansının dalga frekansı ile aynı ya da yakın olması gerektirdiğini göstermektedir (Thorp, 1999). Diğer bir değişle enerji dönüştürücünün elektrik üretebilmesi için dalganın etkisi ile rezonansa girmesi gerekmektedir. Dalga enerjisi dönüştürücülerinde diğer bir geliştirme parametresi dönüştürücünün dalganın özelliğine göre kendini en iyi şekilde ayarlayabilmesinin gerekliliğidir.

Bu çalışma, bir DEK sistemlerinin modellenmesi, simülasyonu ve kontrol uygulamasına yönelik bir çalışmadır. Çalışmada DEK sisteminin sürekli rezonansa kalmasını sağlayacak en uygun ayar parametreleri araştırılacaktır. Söz konusu bu rezonans durumu için ayarlanan ayar parametreleri sistemin kütlesi ve yay katsayısıdır.

İncelemelerde esas alınacak geometrik şekil Bracewell (1990) tarafından önerilen FROG modelinin ikinci tipi temel alınarak oluşturulmuş bir modeldir.

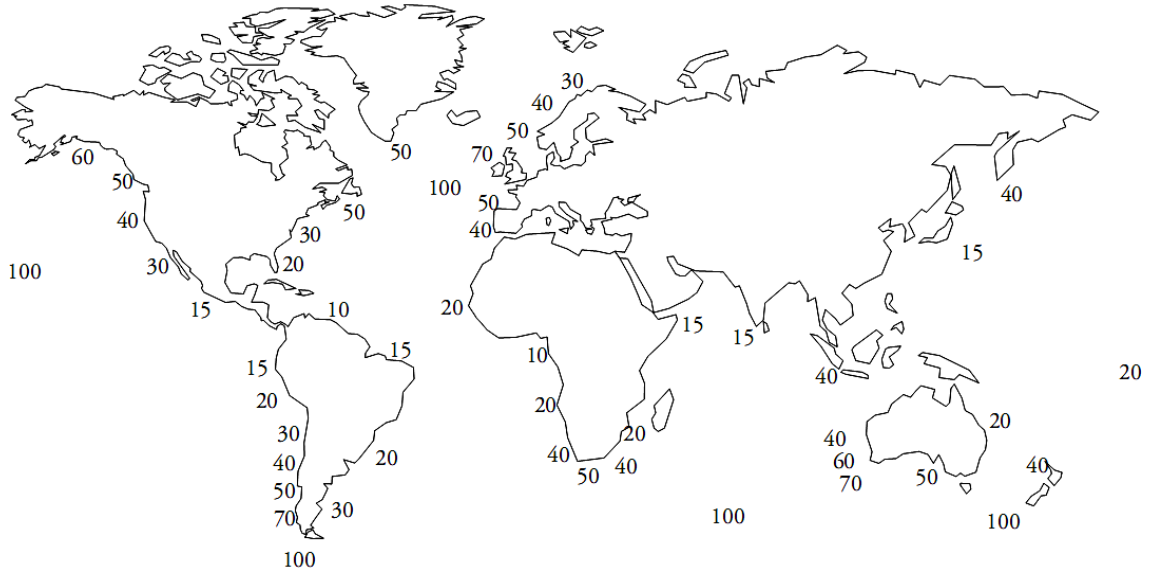
Frog 1 Form 2 (Bracewell, 1990) olarak isimlendirilen dalga enerjisi konvertörü modelinden yola çıkılarak yeni bir geometri modeli ortaya konmuş, modelin optimizasyonu ve sistemin performanslı çalışmasını sağlayacak en iyi sistem parametreleri araştırılmıştır. Bu amaçla çeşitli paket programlardan yararlanarak bir Frog 1 Form 2 modelinin yeni bir versiyonu oluşturulmuş ve modelin simülasyon çalışması yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Okyanuslarda karşılaşılan en yaygın enerji formları deniz akıntıları, gelgit akımları, jeotermal çukurlar ve dalgalardır. Tüm bu enerji biçimleri bir ölçüde güneş ya da yerçekimi enerjisinin yoğunlaştırılmış biçimleridir. Bununla beraber dalga enerjisi rüzgâr ve güneş enerjisine nazaran metre kare başına 15-20 kat daha fazla enerji kazanımı sağlayabilmektedir (Vining, 2005).

Okyanus dalgaları büyük ölçüde, sırası ile güneş ışınlarının rüzgâra ve rüzgârdan da suya enerji transferi ile meydana gelmektedir. Bununla beraber depremler, ay ve güneşin çekim gücü, deniz taşıtları gibi dış etkenler sonucu da meydana gelebilen dalgaların incelenmesinde, rüzgâr etkisi diğer dalga oluşum nedenlerine göre daha sürekliliği olduğu için enerji elde edilmesinde öncelikli olarak dikkate alınmaktadır.

Güneş enerjisinin etkisi ile oluşan rüzgâr enerjisinin dalgaları meydana getirmesi ile bu enerji suya aktarılır. Bir kez dönüşen bu dalga enerjisi çok az enerji kaybı ile okyanus yüzeyinde binlerce kilometre yol kat edebilmektedir. Dalga enerjisi ile ilgili diğer önemli bir faktör dalgaların güç yoğunluğunun bir kaç gün öncesinden doğru olarak tahmin edilebilmesidir. Şekil 2.1.'de yeryüzünde oluşan dalgaların dağılımı ve taşıdıkları maksimum enerji kW/m olarak gösterilmektedir (Thorp, 1999).



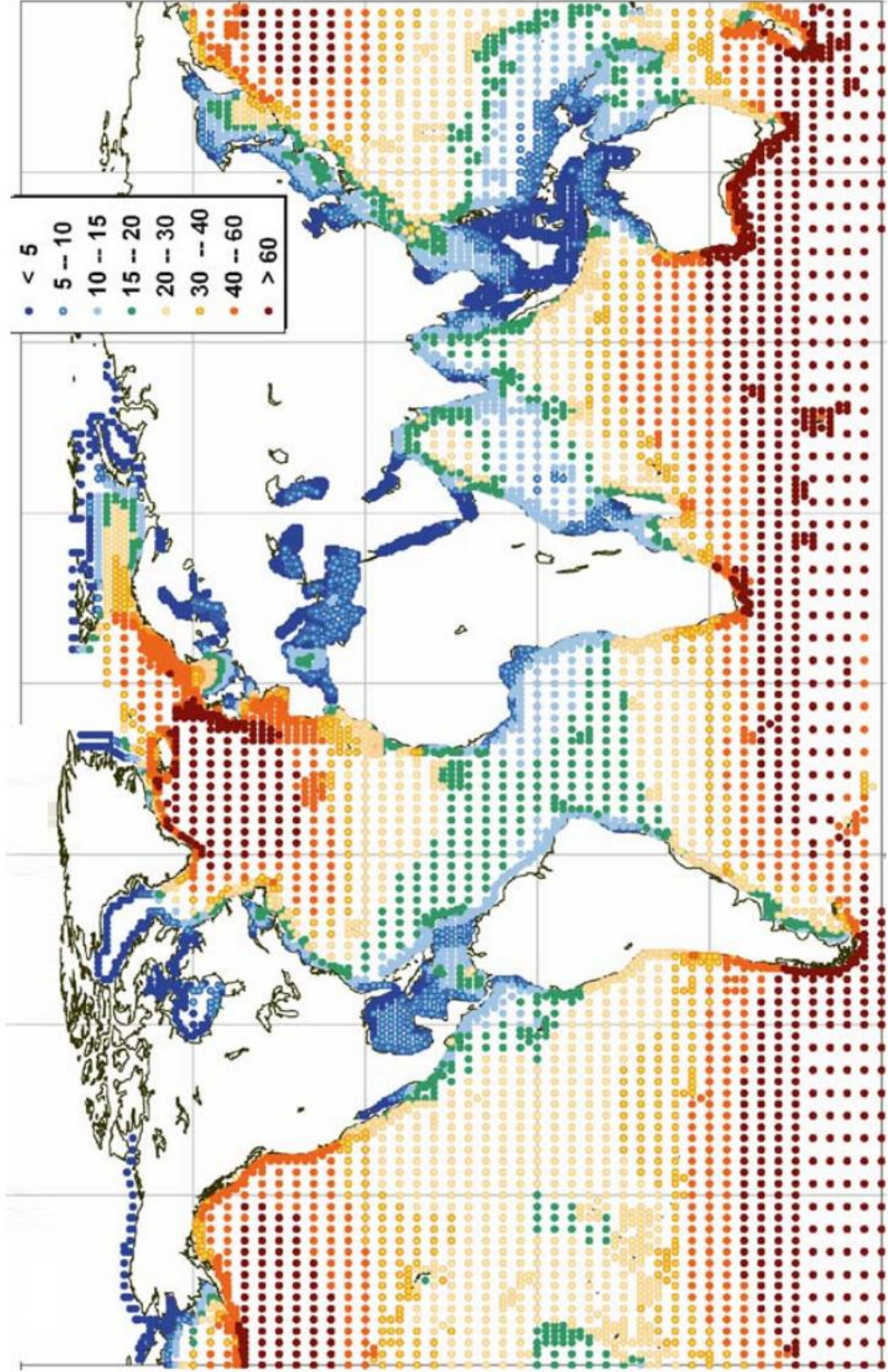
Şekil 2.1. Dalga gücü seviyesinin yaklaşık olarak küresel dağılımı (Thorp, 1999)

Okyanuslara her yıl 1 ila 10 TW arası dalga enerjisi aktarılmaktadır (Vining, 2005). Ortalama bir dalgaya bir metrede aktarılan enerji 10 – 15 kW'tır. Çok az enerji kaybı ile okyanus yüzeyinde hareket edebilen dalga, kıyıya yaklaştıkça sürtünmenin etkisi ile büyük oranda enerji kaybına uğrar (Cruz, 2008). Bu nedenle DEK tasarımı yapılırken Şekil 2.1.'deki veriler ve sistemin kıyıya göre konumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Bir bölgenin dalga enerjisinden en iyi şekilde yararlanmak için, bölgenin dalga ikliminin belirlenmesi gerekir. Dalga iklimi belirli bir alandaki dalga yüksekliğinin dağılımı ve suyun derinliğini ifade etmektedir. Şekil 2.1.'den elde edebildiğimiz önemli bir gözlem doğu rüzgârlarının daha güçlü olmasından dolayı batı kenarlarında meydana gelen dalgaların çok daha fazla enerji taşımasıdır. Şekil 2.1.'e yansımayan bir önemli faktörde dalgaların taşıdıkları enerjinin kış aylarında yaz aylarına nazaran altı kata daha fazla olmasıdır.

Dünya genelinde enerji tüketimi üzerine bir genelleme yapıldığında, dünya elektrik tüketiminin 2 TW civarında olduğu söylenebilmektedir. Bu yönü ile okyanus dalga enerjisi potansiyelinin %20 – 25'i ile insanlık için gerekli olan enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Okyanus dalga enerjisinde anahtar noktalar, enerjinin dalgalarda osilasyon mekanik enerjisi olarak tutulması ve dalgaların bu enerjiyi çok az enerji kaybı ile çok uzak mesafelere taşıyabilmesidir. Dalgaların okyanusta kat ettikleri uzun mesafelerde çok az enerji kayıpları meydana gelirken, rüzgâr gibi etkenlerden dolayı dalgalar daha da güçlenebilmektedir (Cruz, 2008).

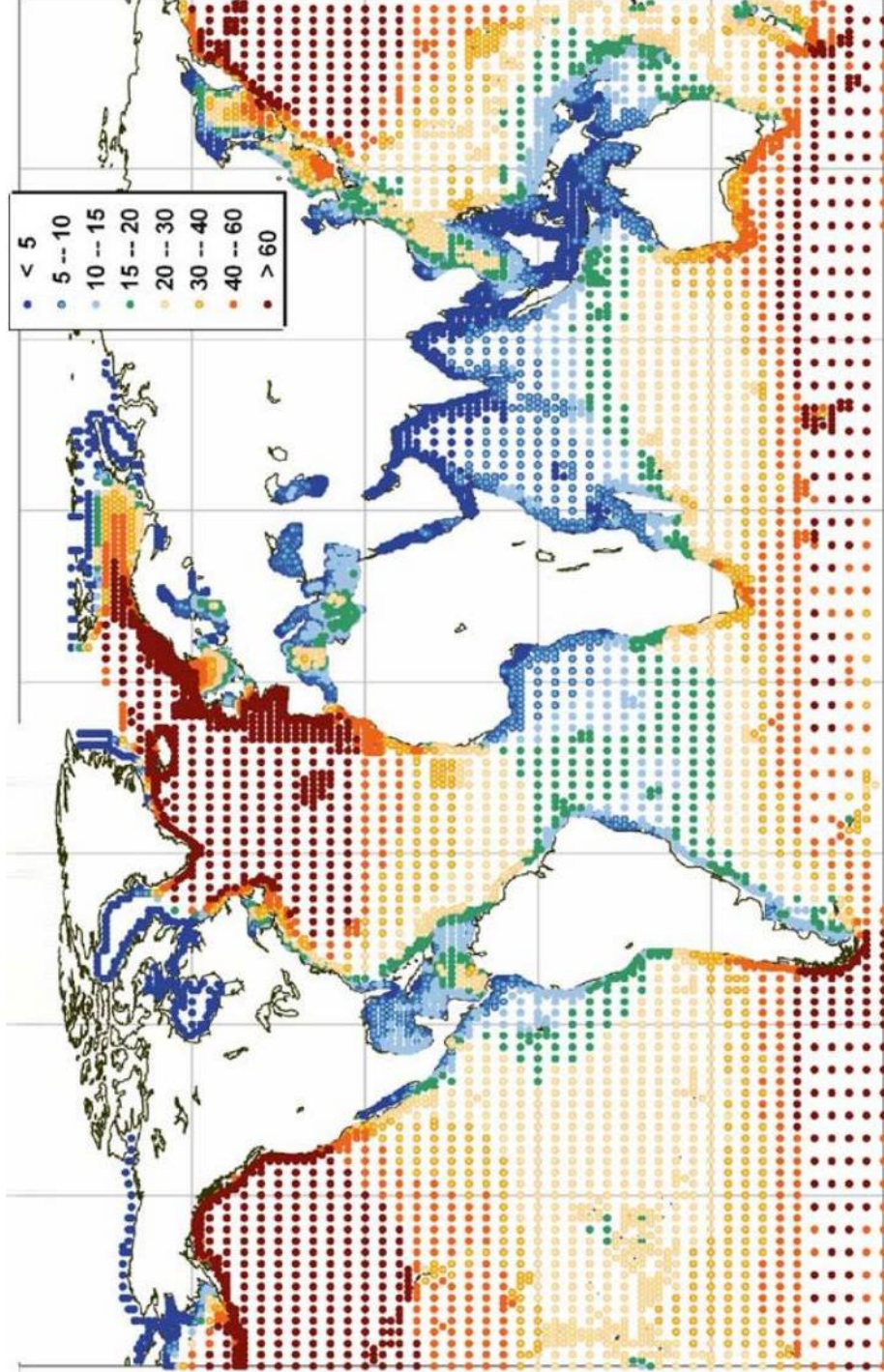
DEK sistemleri için uygun konumların seçilmesi açısından dalga enerjisi kaynaklarının tahmini çok kritik bir konudur. Şekil 2.2.'deki haritada WorldWaves veritabanından alınan veriler ışığında hazırlanmış, dünya genelinde veri noktalarından gelen verilere dayanan 10 yıllık ortalama dalga enerjisi potansiyeli gösterilmektedir. Haritada açıkça gördüğümüz gibi en zengin enerji potansiyeli, dünyanın her iki yarım küresinde 40 – 60° enlemleri arasındadır.



Şekil 2.2. kW cinsinden 10 yıl içerisinde kaydedilen Dünya yıllık dalga enerji potansiyeli (Cruz, 2008)

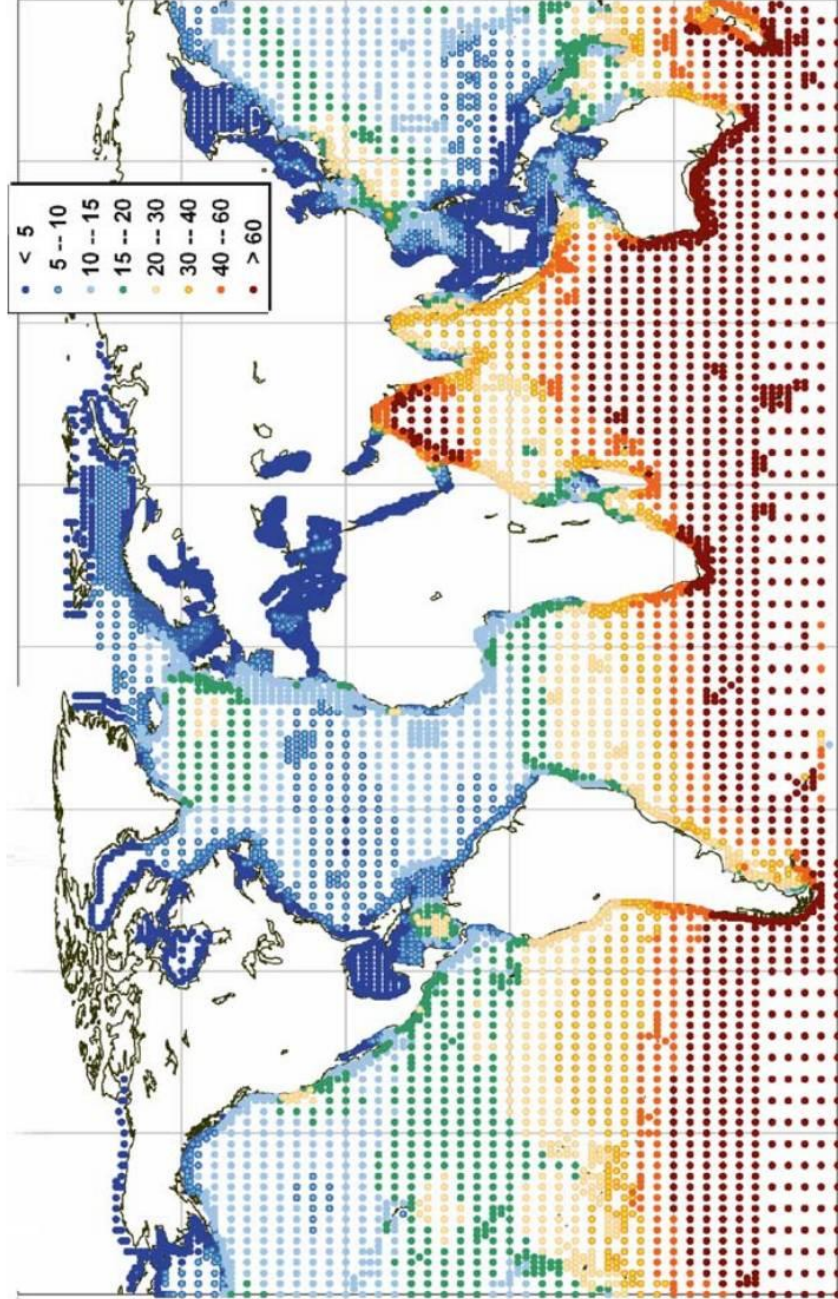
Şekil 2.2. dünyanın her iki yarım küresi içinde dalga potansiyeli açısından göreceli bilgiler vermektedir. Bununla beraber dalga enerjisi mevsimsel olarak ta

değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.3. ve 2.4.'te ocak ve temmuz aylarının ortalama dünya dalga enerji potansiyelinin dağılımı gösterilmektedir.



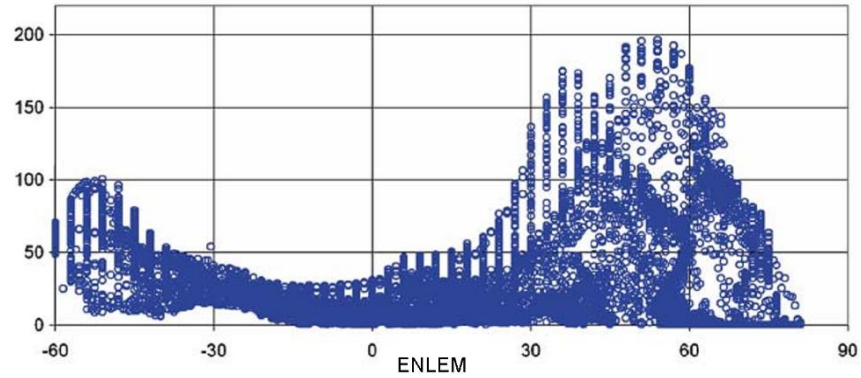
Şekil 2.3. Dünya dalga enerjisi potansiyeli – Ocak ayı (Cruz, 2008)

Şekil 2.4.'te mevsimlere göre değişkenlik gösteren dalga enerjisinin temmuz ayına ait dünya geneli dağılımı gösterilmektedir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi mevsimsel yönden güney yarım kürenin dalga enerjisi potansiyeli daha düşüktür. Şekillerden elde edilen diğer bir önemli veride kuzey yarım küre dalga enerjisinin mevsimlere göre daha fazla değişim gösterdiğiidir.

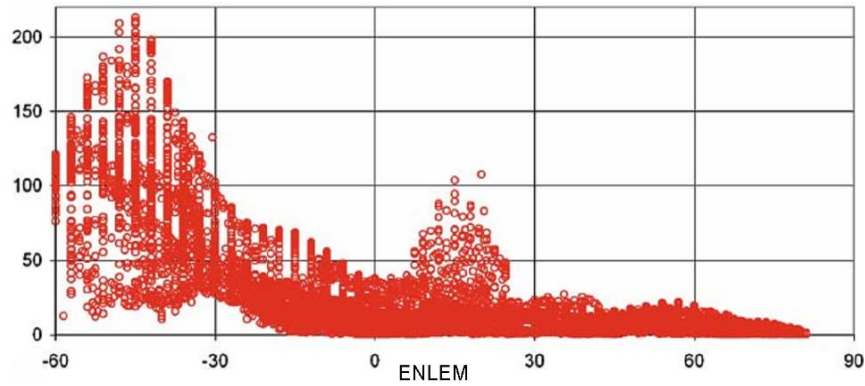


Şekil 2.4. Dünya dalga enerji potansiyeli – Temmuz ayı (Cruz, 2008)

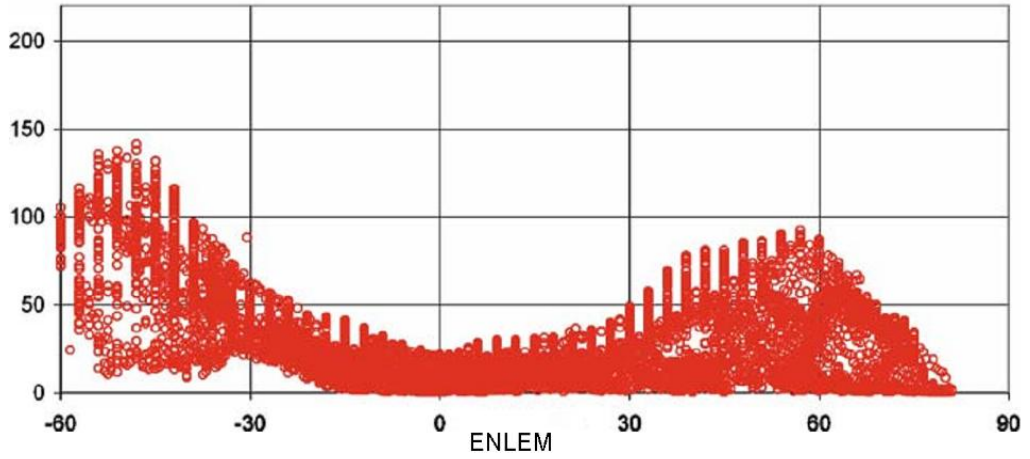
Şekil 2.2., 2.3. ve 2.4.'te en zengin enerji potansiyeline sahip bölgelerin, dünyanın her iki yarım küresinde 40 – 60° enlemleri arasında olduğu açıkça görülmektedir. Dünya dalga enerjisi potansiyelinin enlemlere göre dağılımı Şekil 2.5., 2.6. ve 2.7.'deki grafiklerde daha detaylı incelenebilir. Şekil 2.5.'te enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin ocak ayı için dağılımı gösterilmektedir. Şekilde 30 – 60° enlemleri arasındaki enerji yoğunluğunun kuzey yarım kürede çok daha fazla olduğu göz çarpmaktadır. Şekil 2.6.'da enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin temmuz ayı için dağılımı gösterilmektedir. Temmuz ayına ait grafikte kuzey yarım küredeki enerji yoğunluğunun güney yarım küreye kaydığı görülmektedir. İncelenen grafiklerde görüldüğü gibi kuzey yarım kürenin dalga enerjisi potansiyeli mevsimlere göre daha fazla değişim gösterir. Bunun en büyük nedeni donmuş suların etkisidir. Şekil 2.7.'de dalga enerjisi potansiyelinin enlemlere göre yıllık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin aylık değişimi – Ocak ayı (Cruz, 2008)



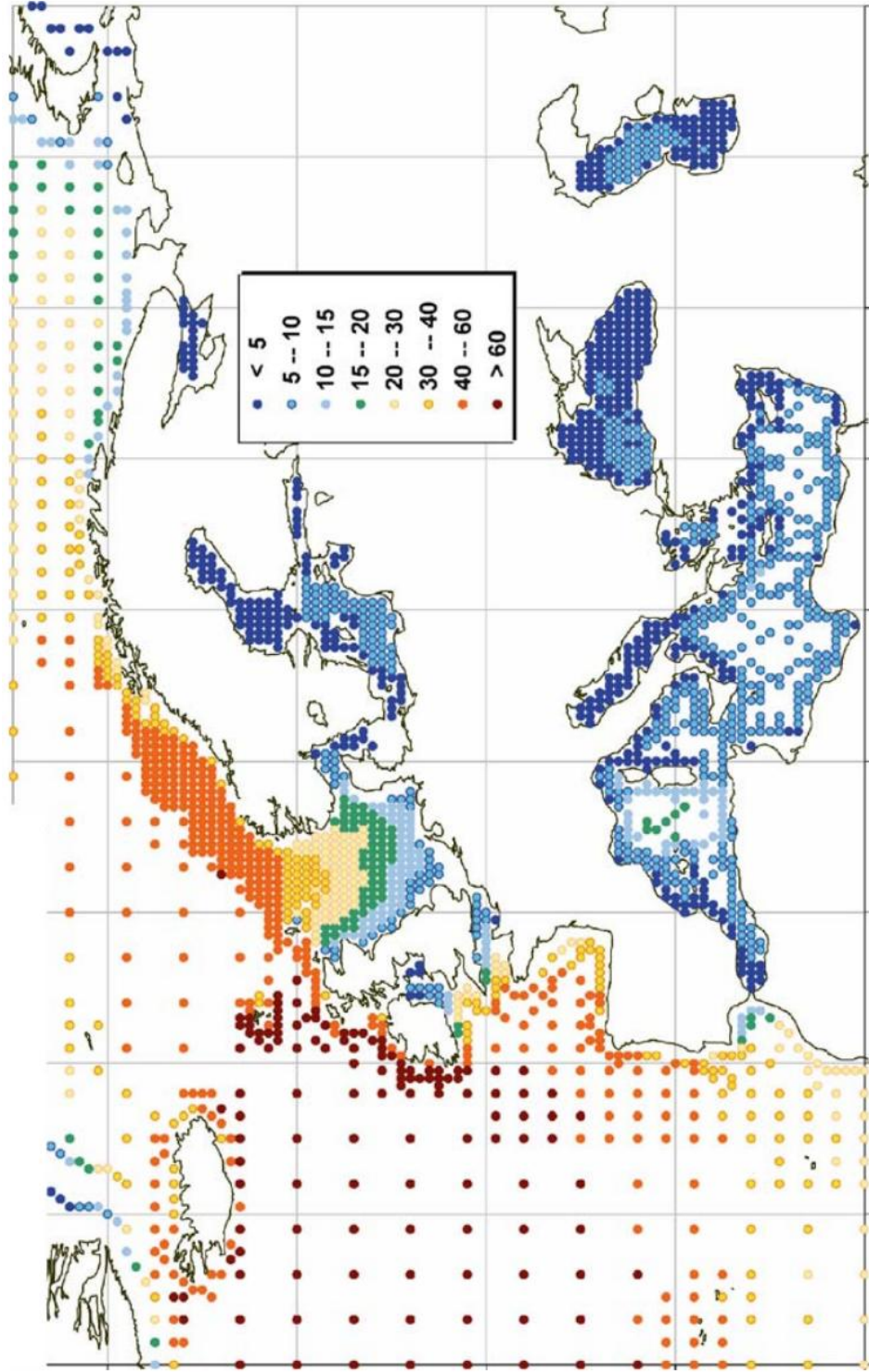
Şekil 2.6. Enlemlere göre dünya dalga enerjisi potansiyelinin aylık değişimi – Temmuz ayı (Cruz, 2008)



Şekil 2.7. Enlemlere göre yıllık dalga enerjisi potansiyeli (Cruz, 2008)

Dünyanın kuzey yarım küresinde yıllık ortalama dalga enerjisi potansiyeli açısından en zengin bölge İngiliz Adaları, İzlanda ve Grönland'tır (Şekil 2.8.). Biraz daha düşük olsa da diğer önemli dalga potansiyeli sahip bölgeler ABD ve Kanada Pasifik kıyı şerididir. Diğer bir yandan güney yarım kürede 50 m – 100 m açık deniz ortamında kaydedilen en büyük dalga enerjisi potansiyeli, Güney Şile, Kuzey Afrika, Avustralya ve Yeni Zelanda'nın tüm sahilleridir. Ekvatorial sularda ise en yüksek sahil dalga enerjisi potansiyeline sahip Peru ve Ekvator göze alındığında ortalama dalga enerjisi seviyesinin 5 – 20 kW/m civarında olduğu görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir noktada El-Nino etkisi ile bu bölgedeki verilerin değişkenlik gösterebilmesidir. Son olarak orta enlemlerde en zengin enerji kaynakları Batı Avustralya ve California'da olduğu görülmektedir.

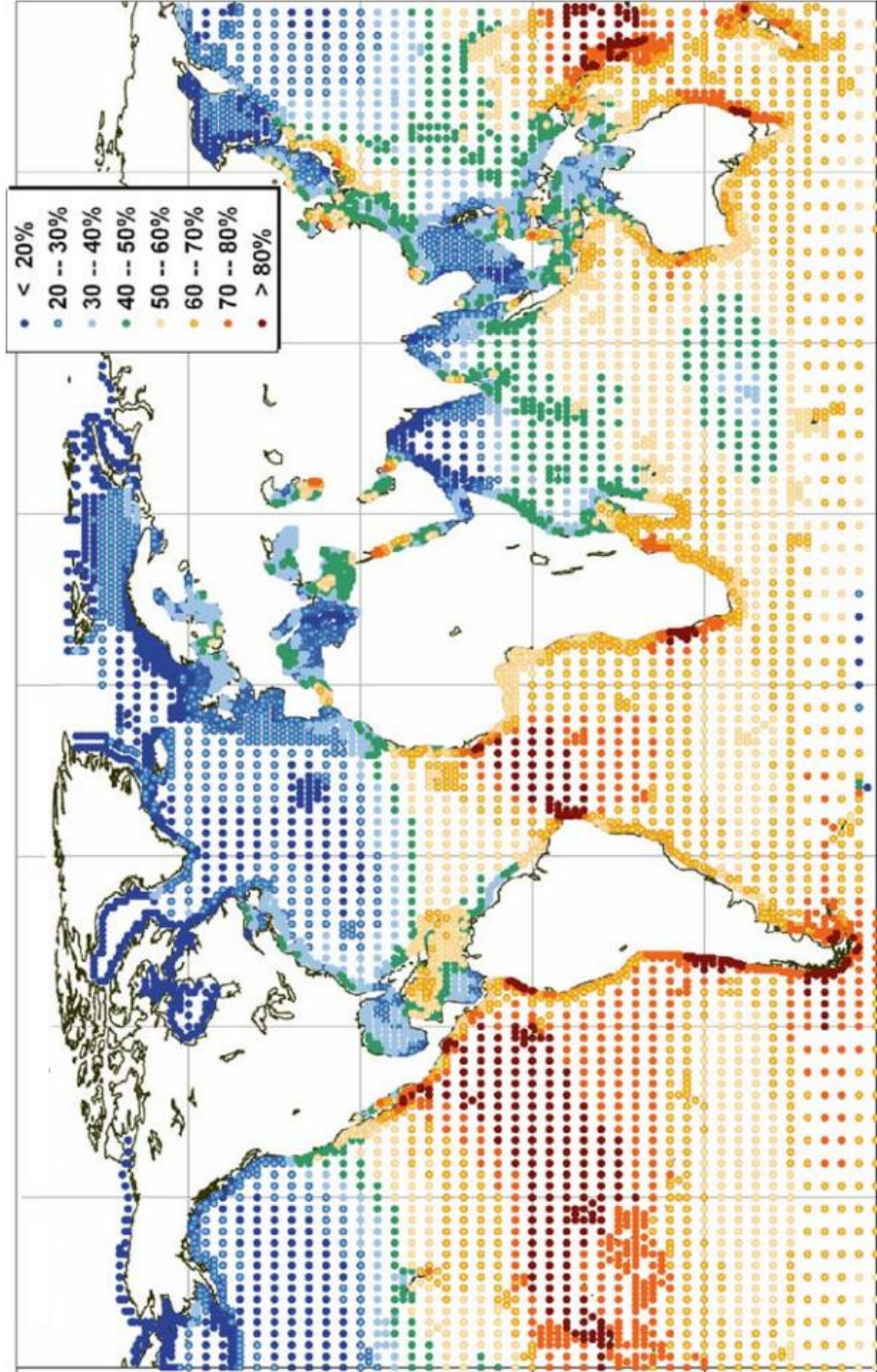
Dünya üzerindeki en iyi dalga potansiyeline sahip nokta ise Güney okyanusunda Kerguelen adasınının 1.400 km doğrusundadır. Burada kaydedilen yıllık dalga enerjisi potansiyeli 140 kW/m'dir. Kuzey yarım kürede kaydedilen en yüksek enerji potansiyeli ise Rockall'in 400 km batısındadır. Bu noktada kaydedilen ortalama yıllık dalga enerjisi potansiyeli 90 kW/m'dir. Dünyanın her iki yarım küresinde kaydedilen aylık dalga enerjisi potansiyeli toplamda 200 kW/m'dir. Diğer bir yandan tespit edilen bu noktalar maksimum enerji taşıyan dalga iklimine sahip olsalar da DEK sistemlerinin kullanımı için uygun değildir. DEK sistemleri ve dalga çiftlikleri için tercih edilen kurulum bölgeleri çoğunlukla derinliği 50 – 60 metreyi geçmeyen kıyı bölgeleridir (Cruz, 2008).



Şekil 2.8. Avrupa yıllık dalga enerjisi potansiyelinin tahmini değişimi, kW/m (Cruz, 2008)

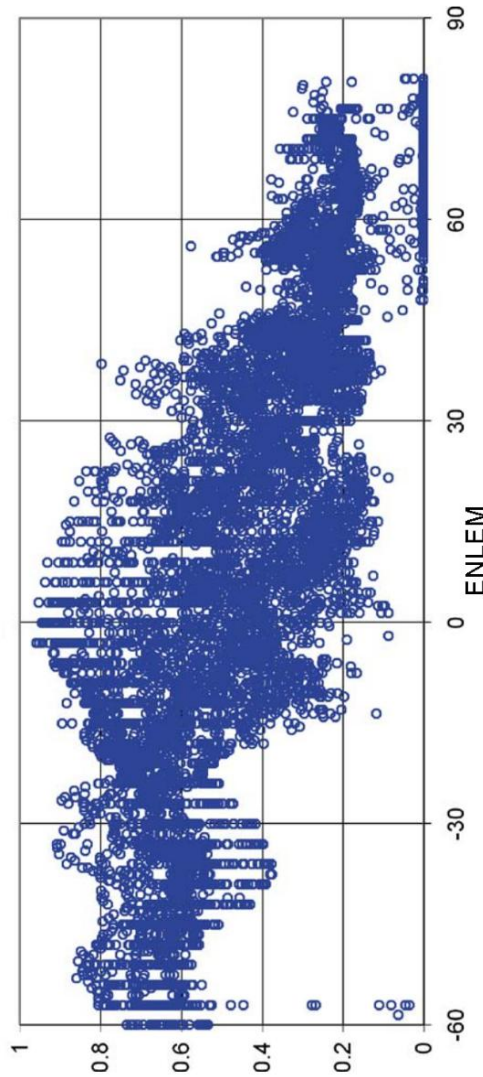
DEK sistemleri için mevsim değişimi etkisi göz ardı edilemez bir kriterdir. Sistemin çalıştığı bölgenin dalga ikliminin yıl içerisindeki değişimi aynı zamanda

sistemin yılın ne kadarını verimli geçireceğini belirlemektedir. Şekil 2.9.'da. dalga enerjisinin yıl içerisinde sezondan sezona minimum değişim oranları gösterilmektedir.

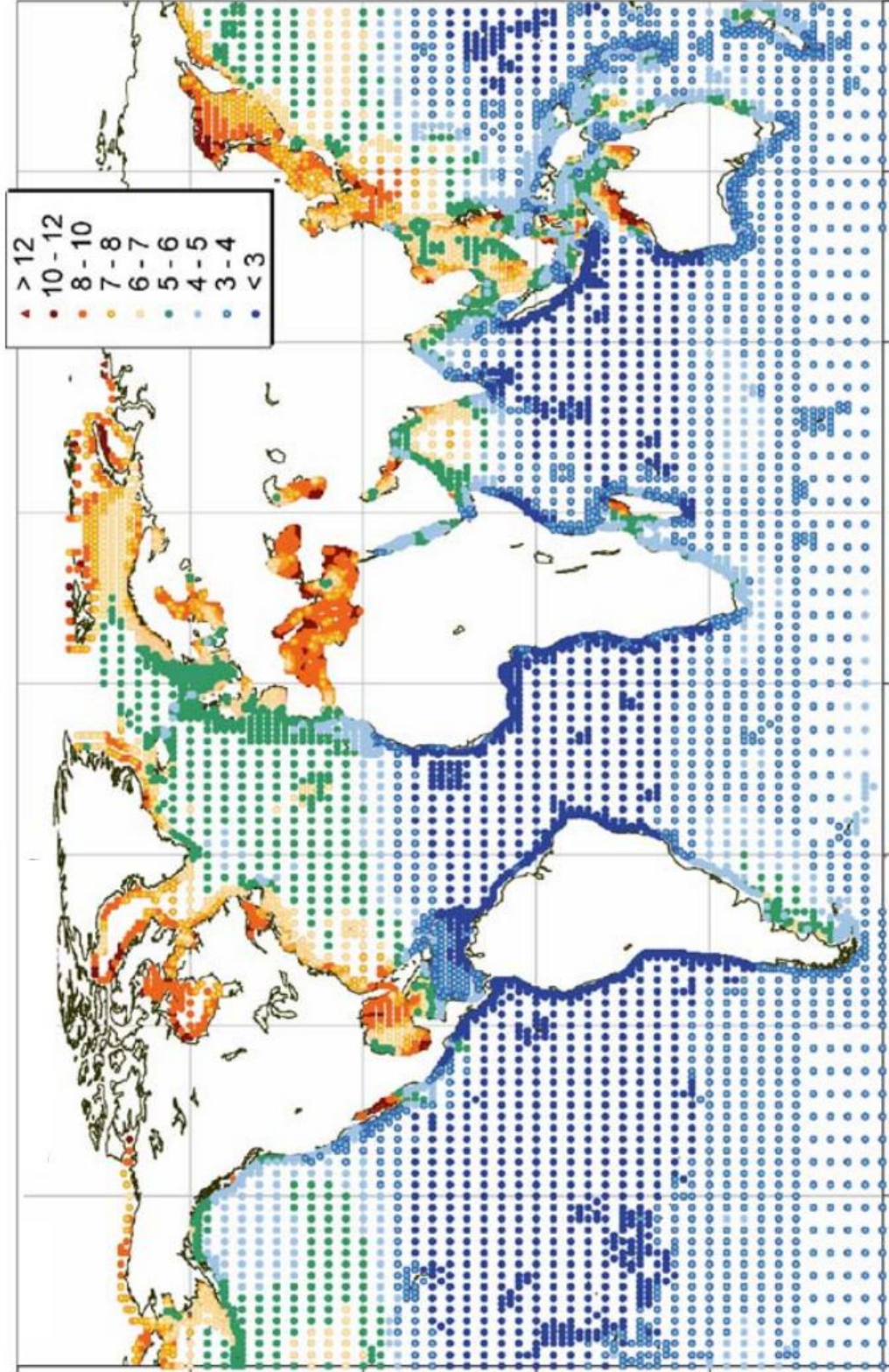


Şekil 2.9. Dalga enerjisinin yıl içerisinde sezondan sezona minimum değişim oranları (Cruz, 2008)

Şekil 2.3. ve 2.4.'te sezonluk dalga iklimi bilgileri gösterilmektedir. Diğer bir yandan Şekil 2.10. incelenirse, dalga enerjisinin aylara göre değişimini çok daha net görülebilmektedir. Şekil 2.10.'da daha önce Şekil 2.2., 2.3. ve 2.4.'te kullanılan veriler farklı şekilde sunulmuştur. Şekil 2.11.'de şiddetli dalgalar ile orta düzeyli dalgalar arasındaki farklar görülmektedir. Haritada görüldüğü gibi kuzey yarım küre dalga ikliminde 7-8 m'lik dalgalara sık rastlanırken, kuzey yarım kürede 3-4 m'lik dalgalar ağırlıktadır.



Şekil 2.10. Dalga enerjisi potansiyelinin yıl içerisindeki değişim oranlarının enleme göre dağılımı (Cruz, 2008)



Şekil 2.11. 100 yıl içerisinde kaydedilen ortalama dalga yükseklikleri (Cruz, 2008)

Burada değinilmesi gereken bir noktada daha düşük dalga rejimlerine sahip bölgelerin DEK sistemler için daha uygulanabilir olmasıdır. Bunu temel nedeni aşırı şiddetli dalga iklimlerinde, ortam koşullarından dolayı vuku veren DEK sisteminin kurulum ve işletilmesinin zorluğudur.

Şekil 2.12.'de Kuzey-doğu Atlantik (UK, Danimarka ve Norveç) sahillerinden elde edilen veriler ışığında mevsimlere göre ihtiyaç duyulan enerji miktarı ve bölgelere ait kullanılabilir dalga enerjisi potansiyeli oranları gösterilmektedir. (Duckers, 2004). İlgili grafik incelendiğinde kış aylarında (kötü hava şartlarında) hem enerji ihtiyacının hemde kullanılabilir dalga enerjisi miktarının artış gösterdiği görülebilmektedir.



Şekil 2.12. Aylara göre enerji ihtiyacı ve kullanılabilir dalga enerjisinin değişimi (Duckers, 2004)

DEK sistemleri üzerine yapılan çalışmaların kronolojisi incelendiği zaman, çalışmaların ilk temellerinin 1960'lı yıllarda atıldığı gözlenmektedir. Daha sonrasında 1970'li yıllarda baş gösteren petrol krizi ile alternatif enerji arayışları ivme kazanmıştır. Alternatif enerji üzerine yapılan ilk çalışmaların güneş ve rüzgâr enerjisi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak, geliştirilmesi ve kullanıma sunulması DEK sistemlerine göre oldukça kolay olan bu sistemler artan enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmıştır. Buda DEK sistemlerin geliştirilmesinde itici güç olmuş ve yapılan çalışmaların krize paralel olarak hız ve önemini artmasını sağlamıştır. Muhtemel bir

enerji darboğazının teşvikiyle Salter, Cockerell ve Russell adlı İngiliz araştırmacılar, ülkenin Atlantik kıyı şeridindeki dalga enerjisi potansiyelini fark etmiş ve bu konuda yapılan araştırmalara öncülük etmişlerdir (Falnes, 2002). Akışkanlar mekaniği konusunda yapılan çalışmaların dalga enerjisi araştırmaları için gerekli olan alt yapısının (Olgivie, 1963; Longuet-Higgins, 1963, Pierson ve Moskowitz, 1964; Black, 1965) tarafından yapılan çalışmalarla oluşturulmasının ardından bu konu araştırmacılar için daha cazip bir hale gelmiştir. Daha sonraki yıllarda dalga enerjisi konusunda yapılacak araştırmalara temel oluşturacak ilk yayınlar Evans (1979), Fry ve Jeffery (1979) ve Newman (1979) tarafından yapılmıştır.

Sonraki yıllarda yapılan çalışmalar, dalgalardan elektrik enerjisi üretecek dalga enerjisi konvertörü sistemlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarla, doğrultucu (Rectifier), çeşitli tasarımları olan Salınlı Su Kolonları (Oscillating Water Column), Duck, Clam (Deniztarağı) ve Lancaster Silindiri (Lancaster Flexible Bag) gibi ilk kuşak sistemler ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu sistemlere daha sonraki dönemler için ise Edinburg Üniversitesi'nin Duck'ı (Salter ve ark., 1976; Edinburg 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) salınlı tipleri eklenmiştir.

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).

1. Dalgalara karşı koyabilecek bir çalışma yüzeyine ihtiyaç duyarlar
2. Dalga kuvvetlerine karşı tepki gösterecek sabit bir referans sisteminin sağlanması gereklidir.
3. 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 sistemler için üretilen gücün maliyeti hesaplandığında yukarıda listelenen özelliklerden ikincisinin sağlanması büyük önem kazanmıştır. Üretim maliyetlerini düşürmek için tasarımda bazı düzenlenmeler yapılmıştır. Bunlar,

1. Sistemin boyutlarının çok büyütülmesi
2. Sistemin deniz dibine sabitlenmesi
3. Sistemin su üzerinde batmadan yüzebilecek uzun bir dalga köprüsü şeklinde tasarlanması şeklinde olmuştur. Üçüncü yöntem ile sistemin küçük genliklerde çalışabilmesi olanaklı olmuştur.

1970'lerin ortalarından itibaren geliştirme çalışmaları başlatılan dalga enerjisi konvertörleri, 1980'li yıllarda yavaş da olsa gelişimine devam etmiştir. Daha sonraki dönemde ise, petrol fiyatlarının artması insanların aklında yeni bir enerji darboğazı düşüncesinin oluşmasını tetiklemiştir. Bunun sonucu olarak da, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik projelere verilen destek artış göstermiştir. Ancak bu çalışmalara konu olan sistemlerin incelemeleri lineer dalga ve de lineer sistem yapısı ve davranışı ile sınırlı kalmıştır. Özellikle karşılaşılan lineer sistem ve ortam sınırlamalarına rağmen önemli katkılarıyla Budal ve Falnes (1980) rezonans ve noktasal soğurumlu dalga enerji konvertörü (Point Absorber Wave Energy Converter - PAWEC) tanımlarını ortaya koyup, bu sistemlerin çalışmasına dair detaylarını açıklayan ilk araştırmacılarıdır. Özellikle Budal ve Falnes'in bu çalışmaları daha sonraki yıllarda ki çalışmalara yön vermiş ve Evans, Jeffery ve Newman'dan sonraki dönemin en önemli araştırmacıları olmalarına sebep olmuştur.

Söz konusu yıllarda bilgisayar sistemlerinin kısıtlı özellikleri ile araştırmadaki kısıtlı kullanımı ve akışkanlar mekaniği konularındaki yazılımların henüz geliştirilmemiş olması, yapılan çalışmaları lineer teori sınırlarda kalmaya zorlamış, yapılan deneysel çalışmalar da bu teorik çalışmaların lineer yapılarına uygun şekilde ispata yönelik olmuştur.

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 araştırma çalışmaları bir ölçüde devam etmiştir (Spiegel, 1965; French, 1982; Bracewell, 1990; Folley, 1991). Azalan 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 veya 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 popülerliğinin artması ve nükleer enerji kaynaklarına olan tepkilerin yükselmesi sebebi ile yeniden dalga enerjisine yönelim oluşmuş ve bu alanda yapılan çalışmalara olan ilgi artmıştır. Dalga enerjisi ile ilgili olarak yapılan araştırmaların seyrini büyük oranda petrol fiyatları, diğer enerji kaynaklarına ait gelişmeler ve enerjinin birim maliyetinde meydana gelen değişimler etkilemiştir.

DEK sistemlerinin gelişimi ülkeler bazında incelendiği zaman, yapılan çalışmalarda İngiltere'nin öncü ülkelerden biri olduğu görülmektedir. 1970'lerdeki enerji krizi ile beraber İngiltere'de özellikle dalga enerjisi olmak üzere, yenilebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artış göstermiştir. Bunun nedeni İngiltere'nin muazzam dalga enerjisi potansiyeline sahip olmasıdır. Bu yönü ile artık DTI (Department of Trade and Industry)'ın bir parçası olan Enerji Departmanında (Department of Energy - DEEn) desteği ile birçok sistem tasarlanmış, matematiksel modelleri oluşturulmuş ve testleri yapılmıştır. Ne yazık ki yeterli zaman ve paranın olmaması ile bu çalışmalar yeterli düzeye ulaşamamıştır. Daha sonra 1982 yılında Advisory Committee on Research and Development for Fuel and Power (ACORD) tavsiyesi ile DEEn İngiltere dalga enerjisi programından düşürülmüştür (Ross 1995).

Bazı araştırma timleri dalga enerjisi konusunda çalışmalara kısıtlı olsa devam etmiştir. 1989 yılında 75 kW'lık OSK (Osilatif Su Kolonu, Oscillating Water Column) İskoçya, Islay'da kurulmuştur. Bu çalışma tamamıyla ACORD'un tavsiyesi sonucu DEEn'in yaptığı yatırımlarla gerçeklemiştir. ACORD'un yaptığı teklifi normalde enerji kaynağı olarak dizel yakıtı kullanan adalar için küçük ebatlı DEK prototiplerinin geliştirilmesi yönünde olmuştur (ETSU 1985).

İngiltere'de yapılan uzun vadeli enerji kaynakları üzerine çalışmalar devam ederken Japonya ve Norveç başta olmak üzere bazı ülkeler, dalga enerjisi alanında araştırma ve geliştirme departmanlarını arttırmaya başlamıştır. Norveç'teki hidroelektrik

potansiyeli göz alındığında çalışmalar daha da hız kazanmıştır. Japonya'nın çok zengin dalga enerjisi kaynakları olmasa da orta düzeyin üzerindedir.

1990 yılında dalga enerjisi potansiyeli bazı ülkelerin ve politikacıların gündeminde tekrar yer edinmeye başlamıştır. Özellikle European Union Initiati birkaç DEK prototipin geliştirilmesine (Garratti et al., 1993) ve European Wave Energy Thematic Network'ün şekillenmesine yardım etmiştir. Yapılan çalışmalarda altı ana sistem modeli İngiltere açık deniz ortamında denenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda denenilen sistemlerden çoğunun rekabet edebilir düzeyde elektrik üretemeyeceği görülmüştür. Bununla beraber sistem maliyetlerinin düşürülmesi ile bunun mümkün olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada ölçülen maliyet değerleri kWh başına 6 p ile 16 p (pence) civarında olmuştur. (ETSU, 1985; Thorpe, 1992)

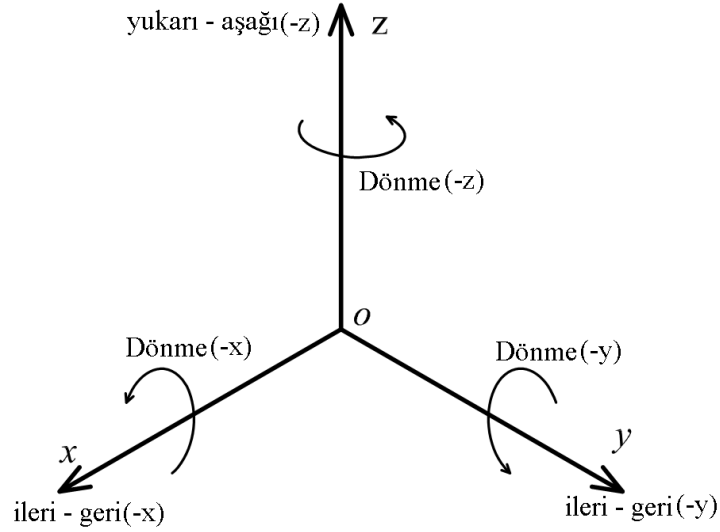
Bir diğer yetkin araştırmada DTI tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada daha fazla umut vadeden küçük ölçekli konseptler değerlendirilmeye alınmıştır. Çalışmada DEK sistemlerin için enerji üretim maliyetinin 5 p – kWh'lik değerlere kadar düştüğü görülmüştür (Thorpe, 1998). Daha sonra Thorpe (2001) tarafından yapılan çalışmalar tekrarlanmış 4 p – kWh'lik enerji üretim maliyeti oranına ulaşılmıştır (Thorpe, 2001).

2001 yılında House of Commons Select Committee tarafından sunulan rapora göre, İngiltere yönetimi 100 milyon £'luk yenilebilir enerjiye tahsis edilen bütçesinin büyük bölümünü dalga enerjisine ayırmıştır. Kasım 2001'de Cabinet Office Performance and Innovation Unit (PIU) tarafından dalga ve gelgit enerjisi sistemlerinin geliştirilmesine 5 milyon £'luk bütçe ayrılması önermiştir (Duckers, 2004).

1970'lerden bugüne DEK sistemleri üzerine yapılan çalışmalar belli bir düzeye ulaşmıştır. Günümüzde DEK sistemleri deniz ortamında serbest yüzer, sabit ya da bir veya birkaç serbestlik derecesinde hareket edebilecek şekilde tasarlanabilmektedir.

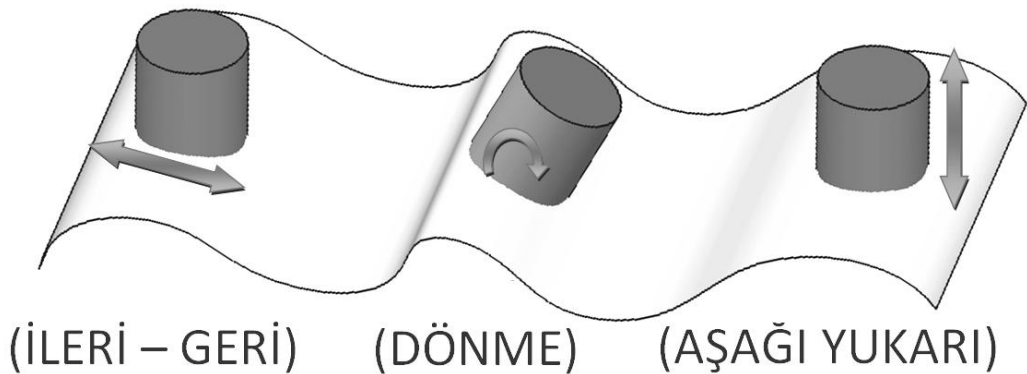
Deniz yüzeyinde serbest halde, yüzer durumda olan bir cisim üzerine etki eden dalgaların etkisi ile altı farklı eksenel hareket yapabilmektedir. Bu nedenle, deniz yüzeyinde serbest yüzer halde bulunan her cisim altı serbestlik dereceli dinamik bir sistem olarak tanımlanabilir (Sabuncu, 1983). DEK sistemleri de benzer bir yaklaşımla hareketlerinde bir kısıtlama olmaması durumunda, altı serbestlik derecesi olan dinamik sistemler olarak değerlendirilebilir. Şekil 2.13.'de O sabit eksen takımına göre dalga etkisi ile meydana gelen, ileri – geri, $-x$ (boy öteleme), ileri – geri, $-y$ (yan sürüklenme),

ileri – geri, $-z$ (dalıp çıkma), Dönme, $-x$ (yalpa), Dönme, $-y$ (kıç vurma), Dönme, $-z$ (savrulma) altı serbestlik derecesi görülmektedir (Sabuncu, 1983).



Şekil 2.13. Altı temel serbestlik derecesi

Bununla beraber dalga enerjisi konvertörlerinin hareket tipleri ve enerji özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, üç hareket tipinin en yoğun enerji potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle DEK sistemleri üzerine yapılan çalışmalar bu üç eksen üzerine yoğunlaşmıştır (Bracewell, 1990; French, 1991). Söz konusu serbestlik dereceleri, aşağı-yukarı, $-z$, ileri-geri, $-x$ ve deniz yüzeyine paralel dalga yönüne dik bir eksende dönme (dönme, $-y$) Şekil 2.14.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Dalga enerjisi konvertörleri için üç temel hareket tipi

DEK sistemlerinin geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar sistem geometrisi, enerji dönüştürme sistemi ve söz konusu sistemlerin sürekli salınımda kalmasını sağlayacak olan kontrol sistemlerinin geliştirilmesi olarak sıralanabilir.

Sadece sistem geometrisi alanında yapılan çalışmalarda geometrik çeşitlilik açısından seksene varan bir rakama ulaşılmıştır. Benzer mantıkla çalışsa bile farklı geometrik yapılarda olan sistemler vardır. Geometrik açıdan DEK sistemlerinin 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 daha önce belirtmiştik. Buna ek olarak bu kadar fazla sayıda geometri söz konusu olmasına rağmen çoğu halen tasarım aşamasındadır (Whittaker, 1965; Hotta ve ark., 1965; Zhi ve ark., 1965; Kofoed, 1988; 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 (Nielson ve ark., 1995) gerçek boyutlarda uygulama imkânı 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 rezonansa 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 aynı zamanda sistemin sürekli olarak rezonansa kalması anlamına gelmektedir. Bir sistemin rezonansa kalabilmesi için konvertörün tabi frekansı ile dalganın geometrik yüzeyinde oluşan kuvvetin frekansının birbirine eşit ya

da 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.

DEK sistemlerinde kontrol sisteminin birincil görevi konvertörün içinde bulunduğu dalga şartları için analiz yapmak ve dalganın ana gövdede sahip olduğu kuvvetin frekansını bulmaktır. Yani 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 tabi frekansını ayarlamamız gerekir (Budal ve Falnes, 1978; Hoskin ve Nichols, 1986; Nichols ve ark., 1991). Bu çalışmada esas alınan Frog 1 Form 2 DEK sistem modelinin çalışma prensipleri dikkate alacak olursa, bu sistemlerin sürekli olarak enerji üretmek için sürekli olarak rezonansta kalmaları gerektiğini anlaşılır. Bu sürekliliği sağlayamayan bir dalga enerjisi konvertörü verimli olarak çalışmaz ve enerji üretmez. Bu sürekliliğin sağlanması konvertörler için kritik bir şarttır.

Kısaca bir DEK sisteminin rezonansta kalması için kontrol sistemi tarafından dalgaların ve sistemin durumu incelenmeli, elde edilen verilere göre ayarlamalar yapılmalı ve konvertörün tabi frekansının dalga kuvvetinin frekansına eşit ya da hemen hemen eşit olması sağlanmalıdır. Bahsettiğimiz bu ayarlamalar sistemin tabi frekansının değiştirilmesini gerektirdiği için aşağıdaki üç farklı özellik üzerinde ayarlamalar yapılabilir

1. Konvertörün fiziksel özelliklerinden olan kütlesi değiştirilerek.
2. Enerji dönüşüm sisteminin oluşturduğu yay etkisini düzenleyerek.
3. Enerji dönüşüm sisteminin sönümlenme etkisini değiştirerek.

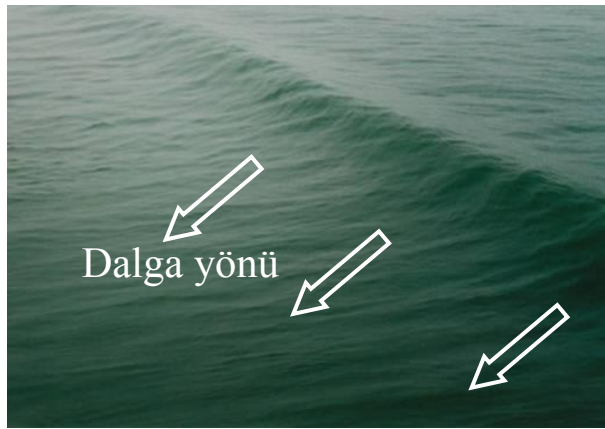
Bu üç özellik ilgili detaylara DEK kontrol sistemleri başlığı altında yer verilmiştir. DEK sistemlerine, kontrol sistemi tasarımı açısından yaklaşılacak olursa, tipik mühendislik uygulamalarına göre birçok yönden farklılıklar olduğunu görülmektedir. Bu farklılıkların başında DEK sistemlerinin enerji üretebilmesi için, dalganın etkisi ile rezonansta kalmasının gerekliliği durumu gelmektedir. Tipik

mühendislik uygulamalarında deforme edici etkilerinden dolayı sistem rezonanstan korumaya çalışılmaktadır. Örneğin deprem araştırmaları ve analizleri için yapılan çalışmalarda DEK sistemleri için yürütölen çalışmaları tam tersi niteliğindedir. Bir depremde binanın frekansının fay kuvvetlerinin frekansına eşit olması ve rezonansta kalması karşılaşılabilecek en tehlikeli durumlardan biridir.

DEK sistemlerinde enerji üretimi için şart olan sistemin rezonansta kalması durumu ancak sistemin aktif bir kontrol yapısı ile bütünleşmesi ile sağlanabilmektedir. Söz konusu bu aktif kontrol yapısının görevi sistemin fiziksel özelliklerini dalganın etkisi ile rezonansta kalacak şekilde düzenlemektir. Kontrol sisteminin üstlendiği bir diğere görevde fırtına, kasırğa, hortum ve deprem ortamında DEK sistemin fiziksel özelliklerini değıştirerek sistemin güvenliğini sağlamaktır.

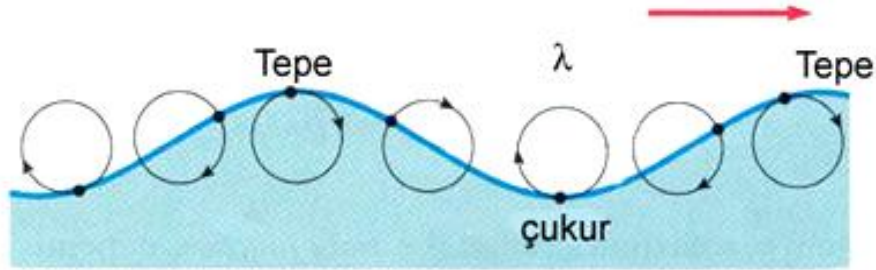
2.1. DEK Sistemleri İçin Dalga ve Dalga Özellikleri

DEK sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması açısından dalgaların anlaşılması büyük önem arz etmektedir. Bu başlık altında incelenen konular, dalgaların temel yapısı, oluşumu, taşıdıkları enerji miktarı, enerji ve güç yoğunluğu, dalgaların matematiksel ifadesi, girişim, yansıma ve geçme durumu ve okyanus dalgalarının oluşumu konularını kapsamaktadır. Bölüm içeriğı temel fizik konuları olan salınım hareketleri, dalgalar ve okyanus dalgalarının oluşumu konularının bir derlemesi niteliğindedir. Dalgalar yalnızca suda değıl her türlü maddesel ortamda hareket eden ritmik bir titreşimlerdir. Okyanus veya denizdeki dalgalara baktığımızda su yukarı aşağı hareket ederken dalganın ileri doğru hareket ettiğini gözlemleyebiliriz (Şekil 2.15.).



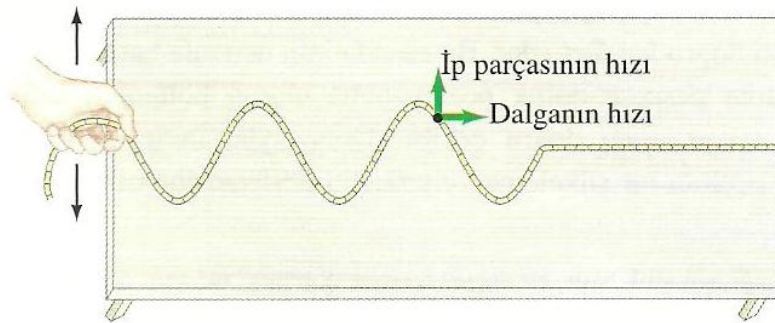
Şekil 2.15. Deniz dalgaları (<http://theideaofoundation.blokspot.com>, 2011)

Kırılmadan sahile doğru ilerleyen dalgaları incelediğimiz zaman dalgalar suyu sahile taşıyormuş gibi görünebilir. Aslında su sabit bir nokta etrafında salınım yaparak dalgayı iletir. Dalga hareketinde hiçbir madde dalga ile beraber ilerlemez. Bunun suyun yüreğine atılan bir yaprağı inceleyerek kolaylıkla gözlemleyebiliriz. Suyun yüzünde duran yaprak dalganın gelmesi ile dalga ile beraber yukarı - aşağı salınım yapar dalganın geçmesinden sonra eski konumuna geri döner. Yani yaprak suyun hareketi ile belli bir referans çevresinde basit salınım yapabilir ama yer değiştirme yapmaz. Bunun nedeni ortamın yani suyun dalga ile beraber yaptığı Şekil 2.16.'da gösterilen basit harmonik hareketidir.



Şekil 2.16. Deniz suyunun harmonik hareketi (Önengüt, 2009)

Bir göl veya havuzun içine bir taş fırlatıldığında su yüzeyinde dairesel dalgalar oluşur ve taşın atıldığı noktadan dışa doğru hareket ederler. Bir masa üzerinde yatay olarak uzanmış olan bir ipin bir ucu ileri geri titreştirilirse, ipin üzerinde bir dalgalanma oluşur ve Şekil 2.17.'de gösterildiği gibi ip boyunca da hareket edecektir. Su dalgaları ve bir ip üzerindeki dalgalar maddenin salınımları olarak yayılan mekanik dalgaların iki yaygın örneğidir.



Şekil 2.17. Bir ip üzerinde ilerleyen dalganın yapısı (Önengüt, 2009)

Bir ip üzerinde ilerleyen dalganın yapısı Şekil 1.17.'de görülmektedir. Dalga ip boyunca sağa doğru ilerler ve masa üzerindeki ipin parçaları ileri geri titreşir.

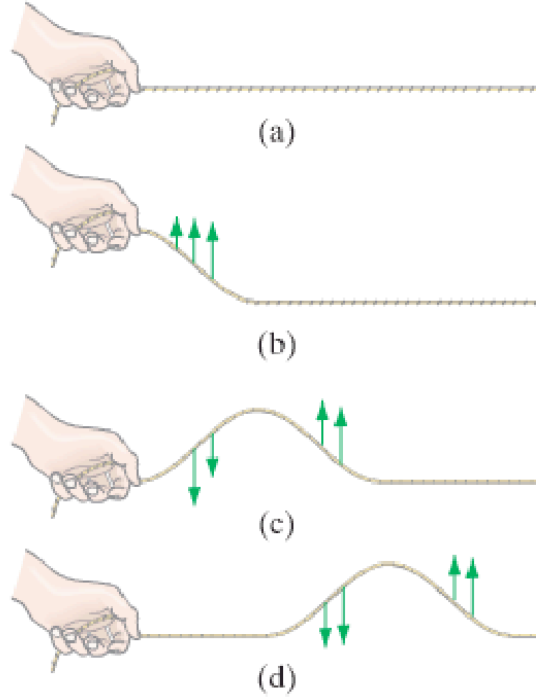
Kırılmadan önce sahile doğru ilerleyen okyanus dalgalarını izlediyseniz, dalgaların açık denizden suyu plaja taşıyıp taşımadığını merak etmiş olabilirsiniz. Su dalgaları fark edilebilir bir hızla hareket ederler. Fakat bu dalga hareketinde her su parçacığı sadece bir denge noktası etrafında salınım yapar. Bu durum gölette hareket eden bir dalganın, suda yüzmekte olan bir yaprağın altından geçerkenki durumda açıkça görülebilir. Hareket eden dalga yaprağın altından geçerken yaprak sadece bulunduğu nokta çevresinde salınım hareketi yapar yani yaprak dalga ile ileriye taşınmaz. Yaprak suyun özgün hareketinden dolayı bir denge noktası civarında basit bir şekilde salınır.

Dalgalar uzun mesafeler boyunca hareket edebilir, fakat ortamın kendisi sadece (su veya ip) basit harmonik harekette olduğu gibi bir denge noktası civarında salınım yapan sınırlı bir harekete sahiptir. Dolayısıyla, dalga, madde olmamakla birlikte dalga deseninin madde içinde hareket edebildiğinden söz edilebilir. Bir dalga, maddeyi birlikte taşımaksızın hareket eden salınımlardan ibarettir.

Dalgalar bir yerden diğerine enerji taşır. Enerjinin bir su dalgasına aktarılması örneğini incelersek, enerji suya atılan bir taş ile veya denizdeki rüzgâr ile verilebilir. Deniz ortamında suya aktarılan enerji dalgalar tarafından sahile taşınır. Şekil 1.17.'de görüldüğü gibi titreşim enerjisi ipe aktarılır ve bu enerji ipte taşınır veya ipin sonundaki bir nesneye aktarılabilir. Hareket eden dalgaların tüm şekillerinde enerji taşınır.

Bir dalganın nasıl şekillendiğine ve nasıl yol aldığına biraz daha yakından bakıldığında tek bir dalga atımı, Şekil 2.17.'deki gibi elin yukarı aşağı hızlı bir hareketiyle ip üzerinde oluşturulabilir. Elin yukarıya doğru hareketi ile ipi yukarı doğru çeker. İp tutulduğu noktadan itibaren yükselme hareketine başlarlar. İpin birbirini izleyen bölümleri yükselirken dalga tepesi ip boyunca dışarıya doğru hareket eder. Bu esnada ipin ucu elle başlangıç pozisyonuna geri döndürülmüştür. İpin peşpeşe doruk (tepe) pozisyonuna ulaşan bölümleri bitişik bölümlerden gelen gerilmeyle tekrar aşağı doğru çekilir. Dolayısıyla, ipin bitişik bölümlerinin birbirlerine uyguladığı kuvvetler de harekete geçirici bir silkelemeye ve atmanın ilerlemesine neden olmaktadır. Bütün dalgalar olduğu ortam farklı olsa dahi benzer bir biçimde oluşturulabilir ve dışarı doğru yayılır. Okyanusun altında, yerin kabuğundaki bir depremle oluşturulan bir tsunami veya

gelgit dalgası buna bir örnektir. Bir kapı çarptığında duyduğunuz ses de bir dalga atmasıdır.



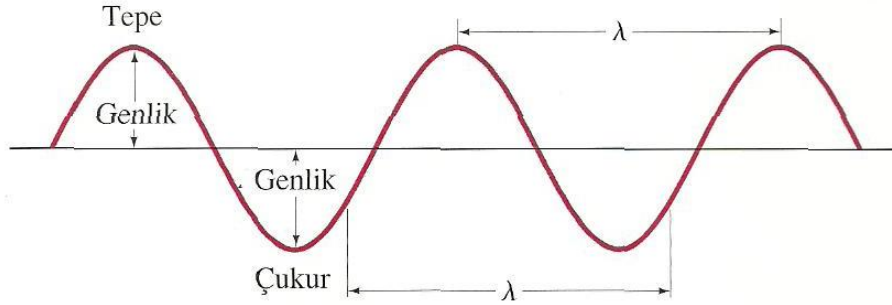
Şekil 2.18. Dalga Hareketi (Önengüt, 2009)

Şekil 1.18.'de görüldüğü gibi bir sürekli veya periyodik dalganın kaynağı, sürekli ve titreşen bir yer değiştirmedir. Yani kaynak bir titreşimdir. Şekil 1.18.'de bir el ipin bir ucuna salınım yaptırıyor. Su dalgaları, su yüzeyindeki herhangi bir titreşen cisim (eliniz gibi) tarafından üretilebilir veya suyun kendisi rüzgâr estiğinde veya içine bir taş fırlatıldığında titreşir. Titreşen nesnelerin hemen hemen hepsi dalga yayımlarlar.

Dalganın kaynağının kendisinde, dışarı doğru yayılıp dalgayı oluşturan da bir titreşim kaynağıdır. Kaynak basit harmonik bir hareket ile sinüzoidal titreşirse, dalganın kendisi de, ortamın tamamen esnek olması durumunda uzay ve zamanda sinüzoidal bir şekle sahip olacaktır. Dalganın uzayda hareketi esnasında herhangi bir zaman anında dalganın resmi çekilirse, dalganın bir sinüs veya kosinüs fonksiyonu şeklinde olduğu görülecektir. Diğer bir yandan uzun bir zaman periyodunda belli bir noktadan geçen su dalgalarına bakılırsa su parçalarının yukarı ve aşağı hareketinin basit harmonik hareket olduğu görülecektir. Görülen bu hareket suyun zaman içinde yukarı ve aşağı sinüzoidal olarak hareketidir.

Periyodik sinüzoidal bir dalgayı tasvir etmek için kullanılan önemli niceliklerin bazıları Şekil 2.19.'da gösterilmiştir. Bir dalga üzerindeki en yüksek noktalar tepe, düşük noktalar ise çukur olarak isimlendirilir. Şekilde görülen Genlik, (A) değeri normal (veya denge) seviyesine göre bir tepenin maksimum yüksekliği veya bir çukurun maksimum derinliğidir. Bir tepeden bir çukura toplam yer değiştirme genliğinin iki katıdır. Ardışık iki tepe arasındaki mesafeye dalgaboyu, (λ) denir. Dalgaboyu aynı zamanda dalga üzerinde herhangi ardışık iki özdeş nokta arasındaki mesafeye eşittir. Frekans, (f) birim zamanda verilen bir noktadan geçen tepe veya tam bir devir sayısıdır. Periyot, (T) değeri, uzayda aynı noktadan geçen ardışık iki tepe arasında geçen zaman olarak tanımlanır ve f değeri ile arasındaki ilişki Denklem 2.1. ile gösterilen eşitlikle tanımlanır.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1.)$$



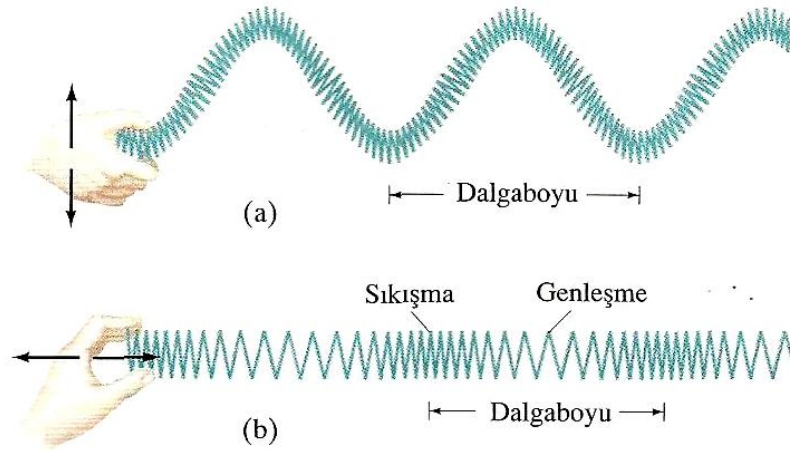
Şekil 2.19. Uzayda ilerleyen tek elemanlı lineer bir dalganın karakteristikleri

Dalga hızı, (v) ileriye hareket eden dalga tepelerinin (veya dalga üzerinde seçilen herhangi bir nokta ya da kısmın) hızıdır. Dalga tepesi bir T periyoduna eşit bir zamanda λ , dalgaboyu kadar yer değiştirir. Böylelikle Denklem 2.2. eşitliğindeki dalga hızı eşitliği elde edilmektedir. Dalga hızının frekans cinsinden ifadesi Denklem 2.1.'deki eşitliğin, Denklem 2.2. ile verilen eşitlikte yerine konması ile Denklem 2.3.'deki halini almaktadır.

$$v = \frac{k}{T} \quad (2.2.)$$

$$v = \lambda f \quad (2.3.)$$

Bir dalga bir ip boyunca hareket ettiğinde Şekil 2.20.'deki gibi soldan sağa doğru ve ip parçacıkları dalganın kendi hareketine göre enine bir doğrultuda (dik olarak), aşağı ve yukarı titreşir. Böyle bir dalga enine dalga olarak isimlendirilir (Şekil 2.20a.). Bir diğer dalga tipide boyuna dalgadır. Boyuna bir dalgada ortamın parçacıklarının titreşimi dalganın hareket doğrultusu boyunca olur. Boyuna dalgalar gerilmiş bir yayın bir ucunun peşpeşe sıkıştırıp gerilmesi ile kolayca oluşturulabilir. Boyuna dalga hareketi ve oluşturulması örneği Şekil 2.20b.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Enine ve boyuna dalga tipleri (Önengüt, 2009)

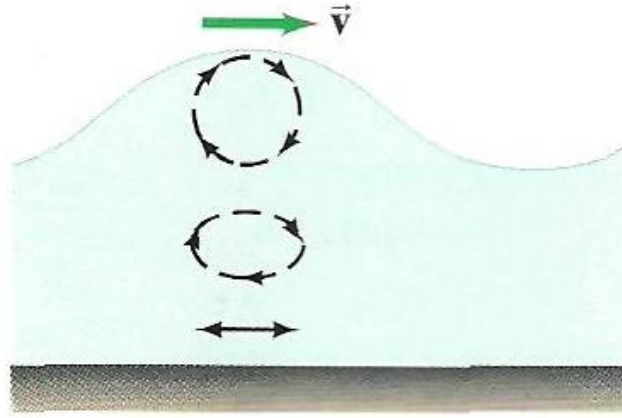
Şekil 2.20a.'da bir dizi sıkıştırma ve genişleme yay boyunca yayılır. Sıkışmalar sarmalların bir an için birbirine yakın olduğu bölgelerdir. Genleşmeler sarmalların anlık olarak birbirinden uzaklaştığı bölgelerdir. Sıkıştırma ve genişlemeler enine dalgaların tepelerine ve çukurlarına karşılık gelirler.

Bir dalganın hızı ilerlediği ortamın özelliklerine bağlıdır. Örneğin, gerilmiş bir ipteki enine bir dalganın hızı ipteki F_T , gerilmesine ve ipin birim uzunluk başına düşen kütlemsine (μ) bağlıdır. Küçük genlikli dalgalar için bağıntı Denklem 2.4.'deki bir ip üzerindeki enine dalga eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} \quad (2.4.)$$

Boyuna bir dalga'nın hız denklemi, enine dalga'nın hız denklemine benzemektedir ve Denklem 2.5.'teki eşitlikteki gibidir. Enine ve boyuna dalga'nın bir kombinasyonu olan yüzey dalga'sının yapısı Şekil 2.21.'de görülmektedir.

$$v = \sqrt{\frac{\text{esnek kuvvet faktoru}}{\text{eylemsizlik faktoru}}} \quad (2.5.)$$



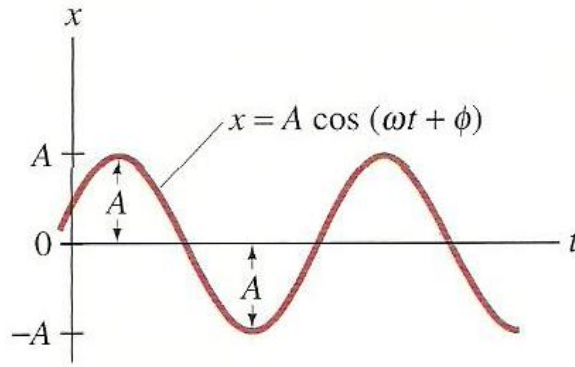
Şekil 2.21. Enine ve boyuna dalga'nın bir kombinasyonu olan yüzey dalga'sı (Önengüt, 2009)

2.1.2. Dalgalar Tarafından Taşınan Enerji

Dalgalar enerjiyi bir yerden diğerine taşır. Dalgalar bir ortamda hareket ederken, enerji ortamın bir parçacığından diğer parçacığına titreşim enerjisi olarak transfer edilir. f frekanslı bir sinüzoidal dalga hareketinde parçacıklar **basit harmonik hareket** yapar. Basit harmonik hareket yapan sistemler sinüzoidal sistemlerdir. Bir harmonik salıcının (sinüzoidal sistemin) hareket denklemi, Denklem 2.6.'daki eşitlikte görülmektedir.

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.6.)$$

Denkleimde görülen A genliği, t zamanı ve w değeri açısal hıza karşılık gelir. Denkleimde görülen ϕ değeri faz açısı olarak tanımlanır. Faz açısı sinüzoidal sistemin $t=0$ başlangıç şartlarından ne kadar önce veya sonra $x=A$ tepe noktasına ulaşacağını belirler. ϕ değeri sinüzoidal hareketin genliği ya da periyodunu etkilemez. Şekil 2.22.'de $\phi < 0$ durumunu gösteren bir sinüzoidal hareket örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.22. $\phi < 0$ durumu için sinüzoidal hareket örneği (Önengüt, 2009)

Sinüzoidal sistemlerde ω , Denklem 2.7.'te görülen eşitliklerden hangi biri ile hesaplanabilir. Eşitliklerde yer alan k değeri orantı sabiti olarak tanımlanır ve sistemin yay etkisine göre değeri değişir.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.7.)$$

Denkleimde kullanılan w ve f değerlerinin farklı özdeşlikler olduğuna dikkat edilmelidir. Denklem 2.6. ve Denklem 2.7.' gösterilen eşitliklerin birleştirilmesi ile Denklem 2.8. ve Denklem 2.9.'daki eşitlikleri edebiliriz.

$$x = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \phi\right) \quad (2.8.)$$

ve ya

$$x = A \cos(2\pi ft + \phi) \quad (2.9.)$$

Denklem 2.7.'de görülen $w = 2\pi f = \sqrt{k/m}$ eşitliği, Denklem 2.10. ve Denklem 2.11.'de görüldüğü gibi yazılabilir. Denklemde görülen m değeri kütleyle karşılık gelir.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10.)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.11.)$$

Frekans ve periyodun genliğe bağlı olmadığına dikkat edilmelidir. Harmonik salıncının genliğinin değişimi frekansını etkilemez. Denklem 2.10.'daki eşitlik bize, kütledeki artışın frekansı küçülteceğini ve yayın sertliğindeki artışın ise frekansı arttıracaklarını söylemektedir. Bu durum mantıklıdır çünkü kütlelerin büyüklüğü demek büyük eylemsizlik dolayısıyla daha yavaş tepki (veya ivmelenme) demektir ve aynı şekilde k 'nın daha büyük olması daha büyük kuvvet demektir ve dolayısıyla daha çabuk tepki (veya ivmelenme) olacaktır. Bir basit harmonik salıncının doğal olarak titreştiği f frekansına (Denklem 2.10.) doğal frekans denir. Basit harmonik hareketin tanımına göre sistem harmonik hareket yaparken, sistemin $x=0$ konumundan uzaklaşması ile sisteme x uzaklaşma miktarı ile orantılı bir geri çağırıcı F kuvveti etki eder. $x=0$ konumu kütlelerin denge konumu olarak isimlendirilir. F geri çağırıcı kuvveti ile x yer değiştirmesi arasındaki bağıntı Denklem 2.12. 'de gördüğümüz eşitlikteki gibidir.

$$F = -kx \quad (2.12.)$$

Denklemdeki F kuvveti geri çağırıcı kuvveti, k değeri sistemin yay sabitini gösterir. Denklemde kullanılan eksi işareti ($-$) geri çağırıcı kuvvetin daima x yer değiştirmesi yönüne ters yönde olduğunu gösterir (Hooke Yasası, Giancoli 2009).

Basit harmonik harekette, x yer değişim değeri $+A$ ile $-A$ arasında düzenli olarak gezinmesi ile sinüzoidal hareket meydana gelir. Yer değişiminin sabit olmaması nedeniyle, yer değişimi ile orantılı olarak kuvvetlerde değişim gösterir. Böyle bir sistem için geri çağırıcı kuvveti Denklem 2.12.'deki eşitlikte görmüştük. Bir yay düzeneği ya da dalgadaki gibi kuvvetin sabit olmaması durumunda taşınan potansiyel enerjisi, esneklik potansiyel enerjisi formülü ile hesaplanır. Denklem 2.13'de gösterilen esneklik potansiyel enerjisi eşitliği malzemelerin hareketlerinin incelenmesinde kullanılabilir.

$$U = -\int Fdx = \frac{1}{2}kx^2 \quad (2.13.)$$

Verilen eşitlikte integral sabitini sıfıra eşitlersek, $x=0$ olması durumunda, $U=0$ sonucu elde edilir (denge korunumu). Toplam enerji, E , kinetik ve potansiyel enerjinin toplamıdır (Denklem 2.14.).

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \quad (2.14.)$$

Denklem 1.14.'deki eşitlikte kullanılan v değeri, m kütle değerinin merkezden x kadar uzak olduğu noktadaki hızıdır. Basit harmonik hareket ancak sürtünmenin olmadığı ve toplam E mekanik enerjisinin sabit kaldığı durumlarda gerçekleşir. Kütle ileri geri salınırken enerjide sürekli olarak potansiyelden kinetiğe ve kinetikten potansiyele dönüşüm gerçekleşir. Salınımın en uç noktalarında yani, $x=-A$ ve $x=+A$ iken tüm enerji potansiyel enerji biçimindedir. Bu en uç noktalarda kütle hareket yönünü değiştirmek için çok kısa bir süre durur, bu nedenle kütle hızı $v=0$ olur ve Denklem 2.15.'deki eşitlik ile gösterilmektedir.

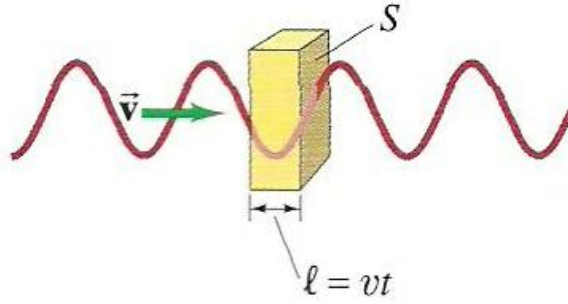
$$E = \frac{1}{2}m(0)^2 + \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (2.15.)$$

2.15'deki eşitliğe göre her parçacığın enerjisi $E=1/2kA^2$ kadardır. Eşitlikteki A , boyuna veya enine hareketin maksimum yer değiştirmesi yani genlik değeridir.

Denklem 2.10.'daki eşitlik kullanarak $k = 4\pi^2mf^2$ denklği yazılabilir. Bu eşitliğin Denklem 2.15.'deki eşitlikte yerine konması ile Denklem 2.16.'daki eşitliğı elde edebiliriz.

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = 2\pi^2mf^2A^2 \quad (2.16.)$$

Esnek bir ortamda hareket eden üç boyutlu dalgalar için ortamın yoğunluğu p ve ortamın küçük bir diliminin hacmi V kabul edilirse, kütlesi $m = pV$ olur. Hacim $V = S\ell$ 'dir. Burada S dalganın geçtiğı dik kesit alanını gösterir (Şekil 2.23.). ℓ 'yi dalganın t süresinde gittiğı yol olarak alabiliriz, $\ell = vt$ dalganın hızıdır.



Şekil 2.23. Esnek ortamda dalganın hareketi (Önengüt, 2009)

Böylece, kütle $m = pV = pS\ell = pSvt$ ve Denklem 2.16.'daki eşitlik kullanılarak Denklem 2.17.'de gördüğümüz eşitlik elde edilir.

$$E = 2\pi^2pSvtf^2A^2 \quad (2.17.)$$

Bu denklemden çıkaracağımız önemli bir sonuç, bir dalga tarafından taşınan enerji, genliğin ve frekansın kareleriyle orantılıdır. Enerji transferinin ortalama hızına bağlı olarak ortalama gücü, (P_{ort}) Denklem 2.18.'deki eşitlik ile elde edebiliriz.

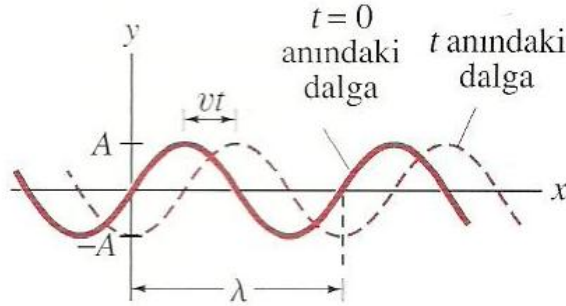
$$P_{ort} = \frac{E}{t} = 2\pi^2pSvf^2A^2 \quad (2.18.)$$

Sonuç olarak, bir dalga'nın şiddeti, (I), enerji akış doğrultusuna dik olan birim alandan geçen ortalama güç olarak tarif edilir (Denklem 2.19.).

$$I = \frac{P_{ort}}{S} = 2\pi^2 v p f^2 A^2 \quad (2.19)$$

2.1.3. Hareket Eden Bir Dalga'nın Matematiksel Temsili

Sıvı ile dolu bir tüpte $-x$ eksenini boyunca hareket eden bir boyutlu sinüzoidal bir dalga düşünelim. $t=0$ anında, dalga'nın şekli Şekil 2.24.'teki sürekli eğri gibi olsun ve dalga denkleminin $D(x) = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ formunda verildiğini düşünelim. Burada $D(x)$, x konumundaki dalga'nın yer değiştirmesi ifade etmektedir.



Şekil 2.24. İleriyen dalga (Önengüt, 2009)

$\sin 4\pi = \sin 2\pi = \sin 0$ olmasından dolayı, $x=0$, $x=\lambda$ ve $x=2\lambda$ noktasında yer değiştirmenin aynı olması gerekir. Bu bağıntı dalgaya, kendisini her dalgaboyunda tekrarlayan bir şekil verir. Şimdi v hızıyla sağa doğru hareket eden bir dalga düşünelim, t , süresi sonunda dalga'nın her bölümü sağa doğru vt mesafesini alır, bu durum Şekil 2.24.'te kesikli eğri ile gösterilmiştir. $t=0$ anında herhangi bir dalga noktasını, örneğin x konumundaki bir tepeyi göz önüne alalım, t süresi sonunda, tepe vt mesafesini alır. Böylelikle yeni konumu eski konumundan vt kadar daha büyük olur. Dalga şekli üzerinde bu aynı noktayı betimlemek için sinüs fonksiyonunun argümanı aynı olmalıdır,

dolayısıyla $D(x) = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ eşitliğinde x yerine $(x-vt)$ yerleştirelim (Denklem 2.20.)

$$D(x,t) = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x-vt) \right] \quad (2.20.)$$

Diğer bir ifadeyle, bir dalga tepesine bindiğimizde, sinüs fonksiyonunun argümanı $(2\pi/\lambda)(x-vt)$ aynı kalır, t artarken x 'de aynı oranda artmalı ki, $(x-vt)$ sabit kalsın.

Denklem 2.20. ile verilen eşitlik sağa doğru, $-x$ eksenini boyunca (artan yönünde) ilerleyen sinüzoidal bir dalganın matematiksel gösterimidir. Bu denklem seçilen herhangi bir x noktasında ve t zamanında dalganın $D(x,t)$ yer değiştirmesini verir. $D(x,t)$ fonksiyonu, t zamanında uzayda dalganın gerçek şeklini temsil eden eğriyi betimler, $v = \lambda f$ olduğundan (Denklem. 1.3.), Denklem 2.20. ile verilen eşitlik, Denklem 2.21. ile verilen eşitlikteki biçimde yazılabilir.

$$D(x,t) = A \sin \left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (2.21.)$$

Burada $T = 1/f = \lambda/v$ periyota karşılık gelir ve

$$D(x,t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (2.22.)$$

elde edilir. $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ açısal frekansı tanımlar. Bu eşitlikteki w açısal frekans değerinin Denklem 2.22. ile verilen eşitlikte yerine konması ile dalga sayısını, (n), veren Denklem 2.23.'teki eşitlik elde edilir.

$$n = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.23.)$$

Denklem 2.20., 2.21. ve 2.22.'de gösterilen üç eşitlikte eşdeğerdir ve pozitif yönde ilerleyen bir boyutlu dalga denklemi olarak tanımlanırlar. Eşitliklerden en yaygın kullanılanı ve yazımı en basit olanı Denklem 2.22.'de gösterilen eşitliklerdir. $(kx - \omega t)$ niceliği ve onun diğer iki denklemdeki eşdeğerleri dalganın fazı olarak isimlendirilir. Dalganın v hızı, dalganın fazının (veya şeklinin) hızını temsil ettiğinden genelde faz hızı olarak isimlendirilir. w ve k cinsinden Denklem 2.24.'deki eşitlikteki gibi gösterilir.

$$v = \lambda f = \left(\frac{2\pi}{k} \right) \left(\frac{\omega}{2\pi} \right) = \frac{\omega}{k} \quad (2.24.)$$

$-x$ eksenini boyunca (x değeri azalırken) sola doğru ilerleyen bir dalga için Denklem 2.20., 2.21. ve 2.22. için yapılan işlemleri tekrarlayalım. Önceki uygulamadan farklı olarak hızın şimdi $-v$ olduğunu göz önünde bulunduralım. Dalga üzerinde seçilen özel bir noktanın konumu, t zamanı içinde $-vt$ kadar değişir, bu nedenle $D(x) = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ eşitliğindeki x değeri, $(x + vt)$ ile değiştirilir. Böylece, v hızı ile sola doğru (negatif yönünde) ilerleyen bir boyutlu dalga için,

$$D(x, t) = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x + vt) \right] \quad (2.25.)$$

$$D(x, t) = A \sin \left[\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{2\pi t}{T} \right] \quad (2.26.)$$

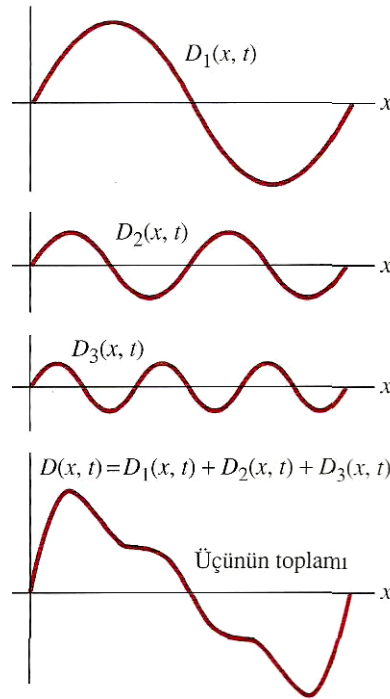
$$D(x, t) = A \sin(kx + \omega t) \quad (2.27.)$$

eşitlikleri yazılabilir.

2.1.4. Süperpozisyon İlkesi

İki veya daha fazla dalga aynı anda uzayın aynı bölgesinden geçtiğinde, gerçek yer değiştirmenin, ayrı ayrı yer değiştirmelerin vektörel (veya cebirsel) toplamı olduğu görülür. Buna süperpozisyon (üst üste gelme) ilkesi denir.

Süperpozisyon ilkesinin bir sonucu, uzayın aynı bölgesinden iki dalganın geçmesi durumunda, bunların birbirinden bağımsız bir şekilde hareket etmesidir. Örneğin, farklı noktalarda suya çarpan iki taşın su yüzeyinde oluşturduğu küçük dalgaların (iki boyutlu dalgalar) birbirinin içinden geçtiği gözlemlenebilir.



Şekil 2.25. Bir boyutlu bir dalga için süperpozisyon ilkesi (Önengüt, 2009)

Şekil 2.25. ile süperpozisyon ilkesinin bir örneğini gösterilmektedir. Gerilmiş bir sicimde her birinin genlikleri ve frekansları farklı üç dalga vardır. Örnekte herhangi bir anda, herhangi bir x konumunda gerçek genlik, üç dalganın bu konumdaki genliklerinin cebirsel toplamıdır. Üç dalganın toplamı ile oluşan dalga sinüzoidal değildir ve *birleşik* (veya *kompleks*) dalga olarak isimlendirilir. Herhangi bir *kompleks* dalganın farklı genliklerde, dalgaboylarında ve frekanslardaki pek çok basit sinüzoidal dalganın karışımı olarak kabul edilebileceği gösterilebilir. Bu durum *Fourier teoremi*

olarak bilinir. T periyodu kompleks periyodik bir dalga, frekansları $f = 1/T$ 'nin integral katları olan saf sinüzoidal terimlerin toplamı olarak temsil edilebilir. Dalga periyodik değilse, toplam bir integraldir ve *Fourier integrali* olarak isimlendirilir. Herhangi bir dalga şekli saf sinüzoidal dalgaların bir toplamı olarak düşünülebilir. Bir kare dalganın oluşturulması örneğini inceleyelim

$t = 0$ anında, $D_1 = A \cos kx$, $D_2 = -(1/3)A \cos 3kx$ ve $D_3 = (1/5)A \cos 5kx$ şeklinde üç dalga verilsin. Burada, $A = 1.0 \text{ m}$ ve $k = 10 \text{ m}^{-1}$ 'dir. $x = -0.4 \text{ m}$ 'den $x = +0.4 \text{ m}$ 'ye üç dalganın toplamını çiziniz (Bu üç dalga, bir kare dalganın ilk üç Fourier bileşenleridir).

D_1 dalgası,

1 m genliğinde ve $\lambda = 2\pi / k = (2\pi / 10) \text{ m} = 0.628 \text{ m}$ dalgaboyundadır.

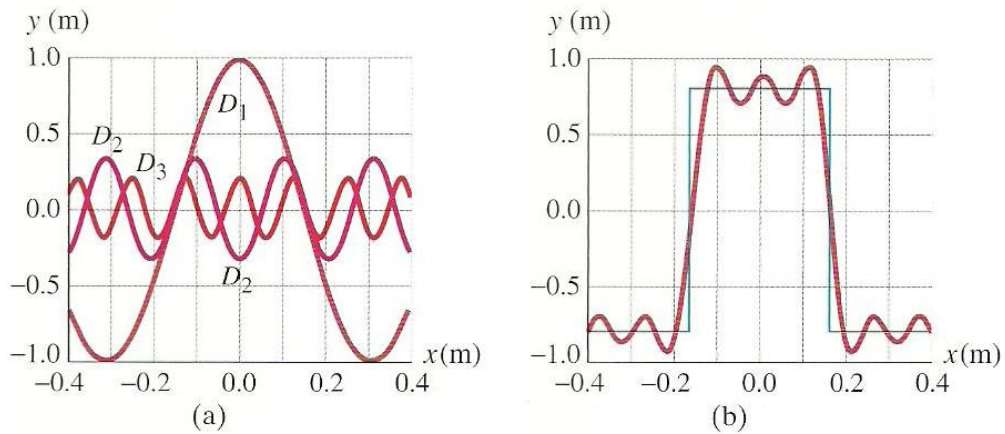
D_2 dalgası,

0.33 m genliğinde ve $\lambda = 2\pi / 3k = (2\pi / 30) \text{ m} = 0.209 \text{ m}$ dalgaboyundadır.

D_3 dalgası,

0.2 m genliğinde ve $\lambda = 2\pi / 5k = (2\pi / 50) \text{ m} = 0.126 \text{ m}$ dalga boyundadır.

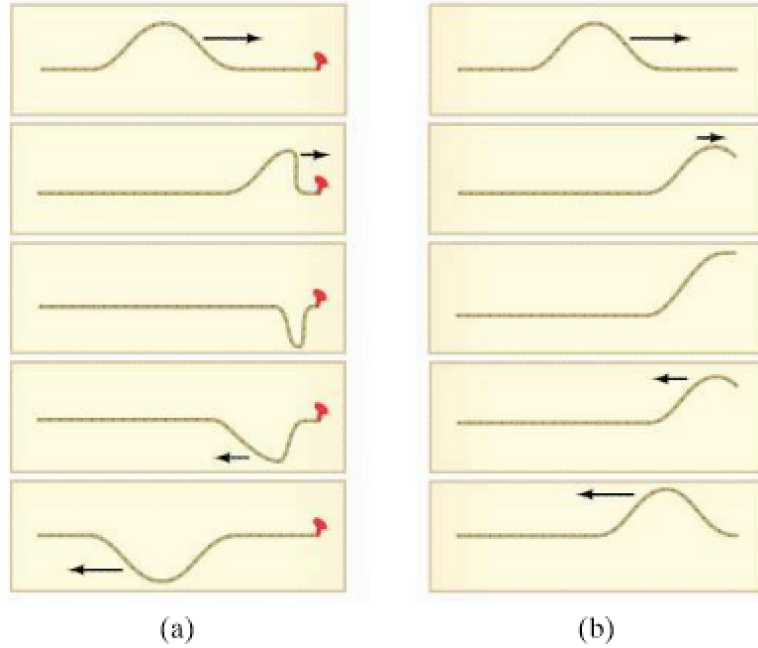
Dalgaların üçü de Şekil 2.26a.'da görülmektedir. Üç dalganın toplamı Şekil 2.26b.'de gösterilmektedir. Toplam giderek Şekil 2.26b.'de ince çizgi olarak gösterilen bir kare dalgayı anımsatmaya başlar.



Şekil 2.26. Kare dalga oluşturma (Önengüt, 2009)

2.1.5. Yansıma ve Geçme

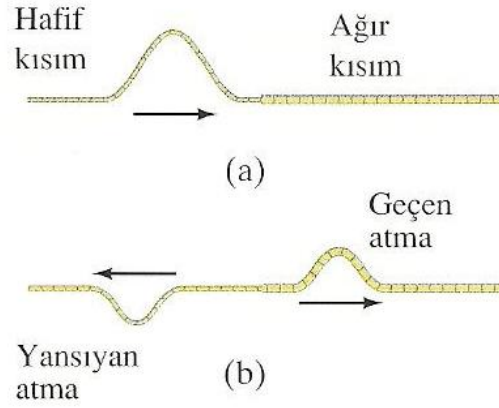
Bir dalga bir engele çarptığında veya içinde hareket ettiği ortamın sonuna geldiğinde, dalganın en az bir kısmı yansır. Muhtemelen kayalardan veya yüzme havuzunun kenarından yansıyan su dalgalarını görmüşsünüzdür. Yankı olarak isimlendirilen uzak bir kayalıktan yansıyan bağırsı duymuşsunuzdur. Bir ip boyunca hareket eden bir dalga atması Şekil 2.27.'de görüldüğü gibi yansır (reaksiyon oluşturur). İpin ucu sabitleştirilmişse, yansımış atma Şekil 2.27a'daki gibi ters dönerek geri gelir, ipin ucu serbestse, Şekil 2.27b.'de gösterildiği gibi düz olarak geri döner. Şekil 2.27a.'daki gibi uç bir desteğe tutturulmuşsa, sabit uca ulaşan atma desteğe, resme göre yukarı yönde olacak şekilde bir kuvvet ile tepki verir. Destek ise (Newton'un üçüncü yasası) ipe ters yönde ve aşağı doğru eşit bir kuvvet uygular. İp üzerindeki bu aşağı yönlü kuvvet ters dönmüş yansımış atmayı üreten şeydir.



Şekil 2.27. Bir masa üzerinde uzanan bir ipteki dalga atmasının yansıması (Önengüt, 2009)

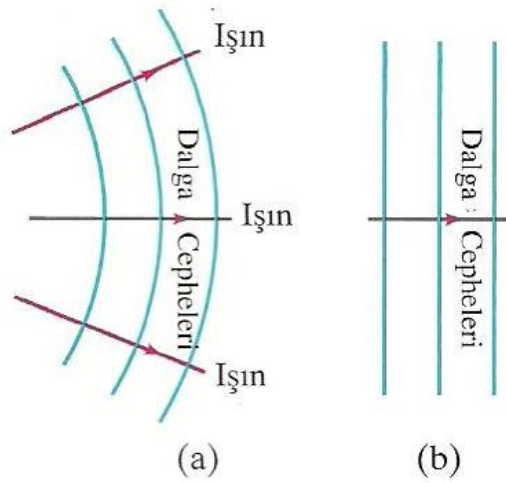
Şekil 2.28.'de gösterildiği gibi, hafif ve ağır kısımları içeren bir ip boyunca hareket eden bir atma düşünelim. Görüldüğü gibi dalga atması iki kısmının arasındaki sınıra ulaştığında, atmanın bir kısmı yansır ve bir kısmı geçer. İpin ikinci kısmı ne kadar kalın olursa, o kadar az enerji geçişi olur. Periyodik bir dalga için, geçen dalganın

frekansı, sınır noktası da aynı frekansta titreştiğinden sınırı geçerken değişmez. Bu yüzden geçen dalga daha düşük hızda ise, onun dalgaboyu da daha az olur (Denklem 2.3.).



Şekil 2.28. Bir dalga atmasının bir ip üzerinde ilerlemesi (Önengüt, 2009)

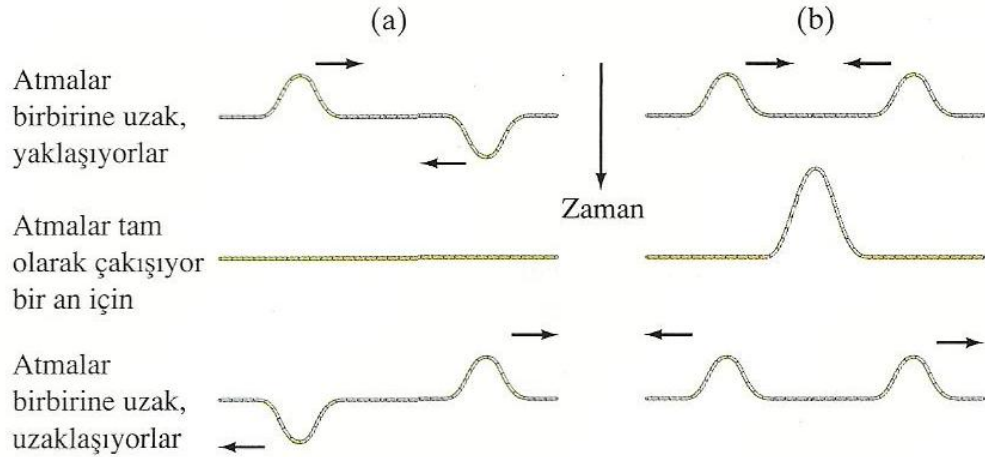
Su dalgaları gibi iki veya üç boyutlu dalgalar için, dalga boyunca dalga tepelerini oluşturan tüm noktalar dalga cephesi olarak nitelendirilir. Şekil 2.29.'da gösterildiği gibi hareket doğrultusunda dalga cephesine dik olarak çizilen doğruya ışın denir. Kaynaktan çok uzaktaki dalga cephesi eğriliklerini hemen hemen kaybeder (Şekil 2.29b.) ve okyanus dalgaları gibi düzleşirler, bu tip dalgalar, düzlem dalga olarak isimlendirilir.



Şekil 2.29. Yayılan dalganın hareket doğrultusu (Önengüt, 2009)

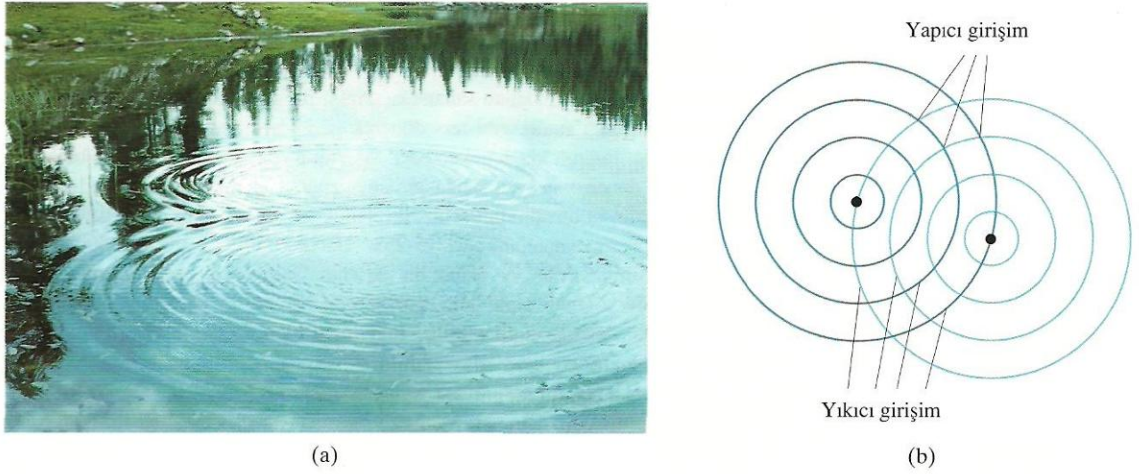
2.1.6. Girişim

Girişim, iki dalga aynı zamanda uzayın aynı bölgesinden geçtiğinde oluşan durumu ifade etmektedir. Şekil 2.30.'da gösterildiği gibi bir ip üzerinde birbirine doğru hareket eden iki dalga atması buna bir örnektir. Şekil 2.30a.'da iki atma aynı genliktedir, fakat biri tepe diğeri çukur şeklindedir. Şekil 2.30b.'de her ikisi de çukurdur. İki durumda dalgalar karşılaşır ve birbirlerinin içinden geçerler. Çakıştıkları bölgede net yer değiştirme ayrı ayrı yer değiştirmelerin cebirsel toplamıdır ve toplama yapılırken tepeler pozitif, çukurlar negatif kabul edilir. Bu durum süperpozisyon ilkesine diğerk bir örnektir. Şekil 2.30a.'da iki dalga birbirini geçtiği anda yer değiştirmeleri zıttır ve toplamları sıfırdır. Sonuç yıkıcı girişim olarak isimlendirilir. Şekil 2.30b.'de iki dalga üst üste geldiği anda, ayrı atmaların yer değiştirmelerinden daha büyük bir net yer değiştirme üretirler ve sonuç yapıcı girişim olarak isimlendirilir.



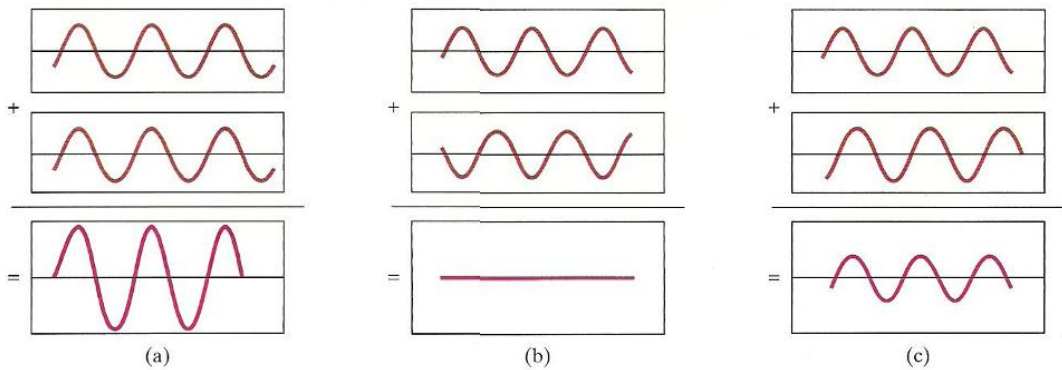
Şekil 2.30. İki dalganın birbirine geçmesi (Önengüt, 2009)

İki taş eşzamanlı olarak bir gölete fırlatıldığında, iki grup dairesel dalga Şekil 2.31a'da olduğu gibi birbiriyle girişim yapar. Üst üste gelen bazı alanlarda bir dalganın tepesi diğerkinin tepesiyle (veya birinin çukuru diğerkinin çukuruyla) karşılaşır, Şekil 2.31b. Yapıcı girişim bu noktalarda gözükür ve su her birinin ayrı ayrı genliğinden daha büyük genlikle, sürekli olarak aşağı ve yukarı doğru titreşir. Zaman içinde suyun aşağı ve yukarı hareket etmediği diğerk alanlarda yıkıcı girişim vardır. Bu bölgeler bir dalganın tepesinin diğerkinin çukuruyla (veya tam tersi) karşılaştığı yerlerdir.



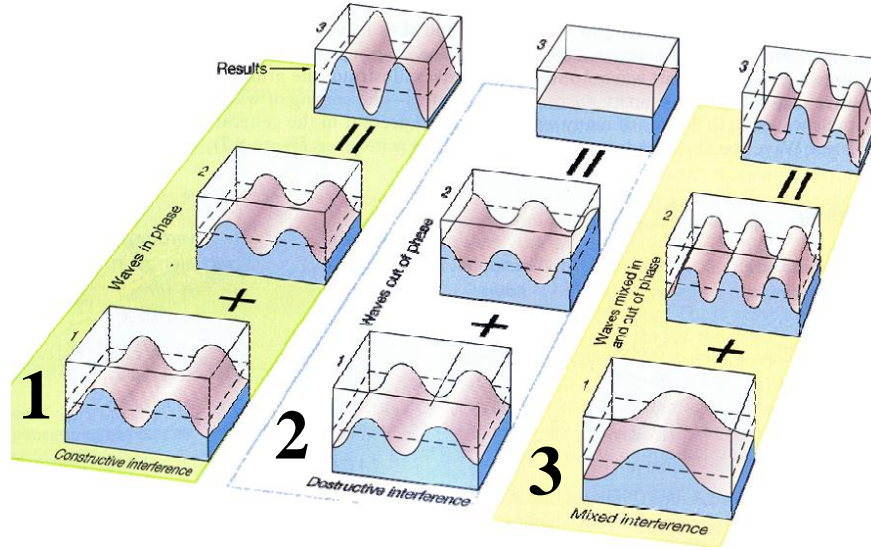
Şekil 2.31. Su dalgalarının girişimi (Önengüt, 2009)

Şekil 2.32a iki özdeş dalganın ve yapıcı girişim durumu için toplamlarının yer değiştirmelerini, zamanın bir fonksiyonu olarak grafikte göstermektedir. Yapıcı girişim için (Şekil 2.32a), iki dalga aynı fazdadır. Yıkıcı girişimin olduğu noktalarda, (Şekil. 2.32b.), bir dalganın tepesi sürekli diğer dalganın çukuruyla karşılaşır, iki dalga, yarım dalgaboyu veya 180° faz farkına sahip olduklarından zıt fazda olarak nitelendirilir. Bir dalganın tepeleri diğer dalganın tepelerinin yarım dalgaboyu arkasından gelir. Şekil 2.32.'deki iki su dalgasının bağıl fazı, çoğu alanlarda, bu iki ucun arasında bir yerde olup, Şekil 2.32c.'de gösterildiği gibi kısmi yıkıcı girişimle sonuçlanır. Girişim yapan iki dalganın genlikleri eşit değilse tamamen yıkıcı girişim gözlenmez (Şekil 2.32b.).



Şekil 2.32. Üç ayrı yerde zamanın fonksiyonu olarak iki özdeş dalga ve toplamlarını gösteren grafikler (Önengüt, 2009)

Şekil 2.33.'de dalgaların girişim olayı daha açık görülmektedir. Şekilde sırasıyla birinci durumda aynı fazda iki dalganın yapıcı girişimi, ikinci durumda ters fazda iki dalganın yıkıcı girişimi ve üçüncü durumda ise yapıcı ve kısmi yıkıcı girişim durumu bir arada görülebilmektedir.



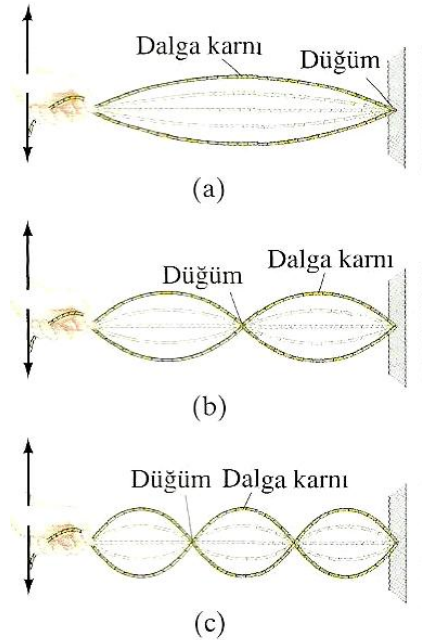
Şekil 2.33. Farklı frekanslarda dalgaların girişiminin 3 boyutlu gösterimi (Scott, 2007)

2.1.7. Duran Dalgalar; Rezonans

Bir ucu sabit tutulan bir ipin bir diğer ucunu sallarsak, sürekli bir dalga sabit uca doğru hareket eder ve Şekil 2.27a.'da gördüğümüz gibi ters dönerek geri yansır. İpi titreştirmeye devam edersek, dalgalar her iki doğrultuda hareket eder ve elimizden uzağa doğru ip boyunca ilerleyen dalga ile geri dönen yansıyan dalga girişim yapar. Genellikle bir karışıklık olur. Fakat ipi tam doğru frekansla titreştirebilerseniz, iki ilerleyen dalga, büyük genlikli bir duran dalga üretecek şekilde girişim yaparlar (Şekil 2.34.). Hareket etmiyor gibi gözüktüğü için "duran dalga" olarak isimlendirilir. İp, sabit bir desende yukarı ve aşağı doğru titreşen parçalardan yapılmış gibi görünür. İpin tüm zamanlarda hareketsiz kaldığı yıkıcı girişim noktaları, düğüm noktaları olarak isimlendirilir. İpin maksimum genlikle titreştiği yapıcı girişim noktaları karın noktaları olarak isimlendirilir.

Düğüm ve karnın noktalarının konumları belli bir frekans için sabittir. Duran dalgalar birden fazla frekansta oluşabilir. Bir duran dalga üreten en düşük frekanslı titreşim Şekil 2.34a.'da gösterilen desene yol açar. Şekil 2.34b. ve 2.34c.'de gösterilen duran dalgalar, ipteki gerilim sabit kabul edilirse, en düşük frekansın sırasıyla tam iki ve üç katında üretilir. İp en düşük frekansın dört katında da dört karnıyla titreşir.

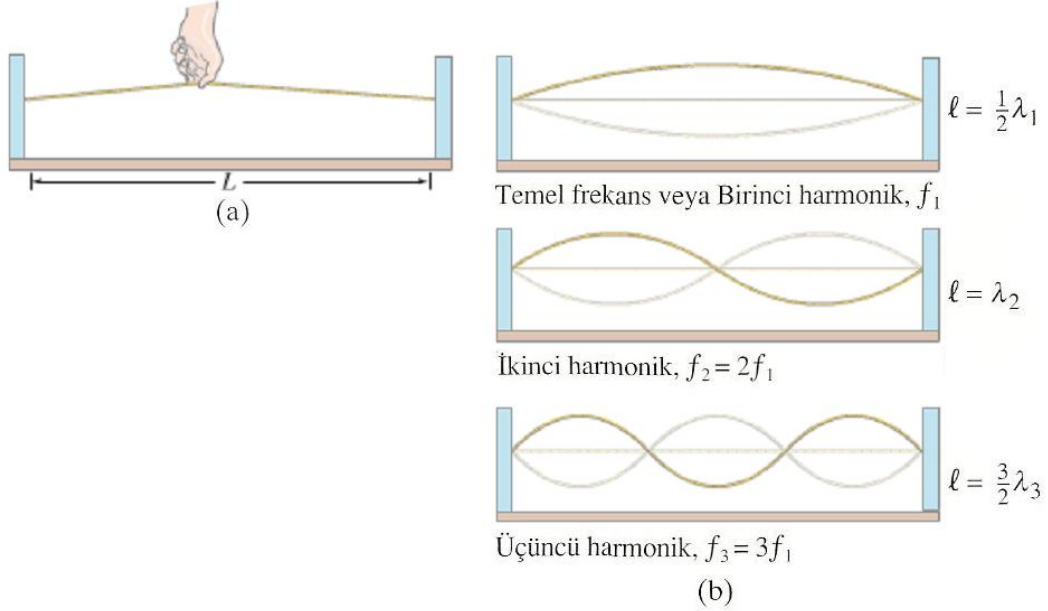
Duran dalgaların üretildiği frekanslar doğal frekanslar veya ipin rezonans frekanslarıdır. Şekil 2.34.'te gösterilen, birbirinden farklı dalga desenleri farklı rezonans titreşim modları'dır. İp üzerindeki bir duran dalga, zıt yönlerde ilerleyen iki dalganın girişiminin sonucudur. Duran bir dalga aynı zamanda rezonansa titreşen bir nesne olarak da düşünülebilir.



Şekil 2.34. Üç rezonans frekansına karşılık gelen duran dalgalar (Önengüt, 2009)

Bir gitar veya kemandaki gibi, iki destek arasında gerilmiş bir tel düşünelim (Şekil 2.35a). Tel boyunca her iki yönde de hareket edecek olan çeşitli frekanslara sahip dalgalar uçlardan yansır ve ters yönde geri dönerler. Bu dalgaların çoğu birbirleriyle girişim yapar ve hızlı bir şekilde yok olurlar. Yalnız telin rezonans frekanslarına karşılık gelen dalgalar kalır. Telin uçları, sabit olduklarından düğüm noktaları oluştururlar. Başka düğümler de oluşabilir. Bazı olası rezonans titreşimin modları (duran dalgalar) Şekil 2.35b.'de gösterilmiştir. Genel olarak, hareket bu farklı rezonans modlarının bir

kombinasyonu olacaktır, fakat sadece bir rezonans frekansına karşılık gelen frekanslar gözlenecektir.



Şekil 2.35. Çekip bırakılan bir telin rezonansı (Önengüt, 2009)

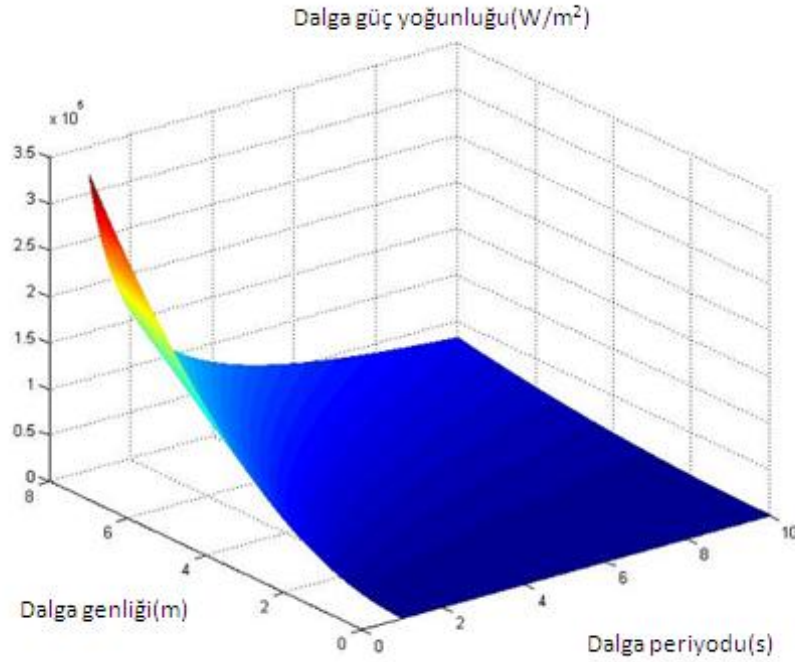
2.1.8. Dalganın Enerji ve Güç Yoğunluğu

Bir dalganın enerji yoğunluğu, Denklem 2.28.'deki eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Vining, 2005). Dalga periyodu başına düşen enerji güç yoğunluğu, Denklem 2.29.'daki eşitlikte gösterildiği gibi dalga enerjisinin yoğunluğunun periyoduna bölünmesi ile bulunabilmektedir. Şekil 2.36.'daki grafikte dalga güç yoğunluğunun dalga genliği ve periyota göre değişimi gösterilmektedir.

$$E_{density} = \frac{\rho_{water} g H^2}{8} = \frac{\rho_{water} g A^2}{2} \quad (2.28.)$$

$$P_{density} = \frac{E_{density}}{T} = \frac{\rho_{water} g H^2}{8T} = \frac{\rho_{water} g A^2}{2T} \quad (2.29.)$$

Burada, dalganın periyodu (T), genliği (A) ve güç yoğunluğunu ($E_{density}$) ile gösterilmiştir. Bunların yanı sıra (ρ) suyun yoğunluğunu, (g) yerçekimi ivmesini, dalga yüksekliği ise (H) ile gösterilmiştir. Burada, $H = 2A$ olarak alınmaktadır.

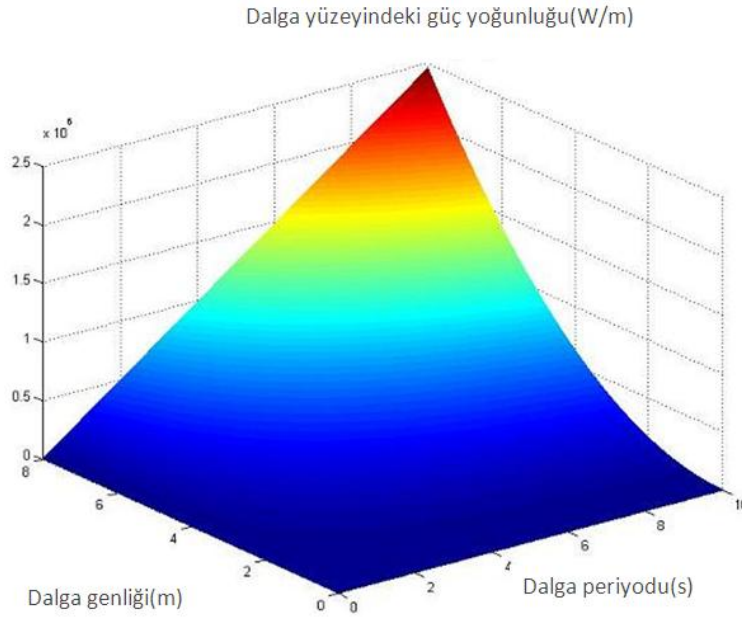


Şekil 2.36. Dalga güç yoğunluğu (Vining, 2005)

2.1.9. Metre Başına Dalganın Gücü

Bir dalga kaynağı metre başına dalganın gücü olarak tanımlanabilmektedir. Bu enerji değeri dalganın hızının enerji yoğunluğuna çarpımı ile elde edilmektedir (Denklem 2.30.). Şekil 2.37.'de metre başına dalganın taşıdığı enerjinin dalganın genliğinin ve periyodunun artışı ile artışı karakterize etmektedir (Vining, 2005).

$$P_{\text{wavefront}} = C * E_{\text{density}} = \frac{\rho_{\text{water}} g^2 H^2}{16\omega} = \frac{\rho_{\text{water}} g^2 A^2}{4\omega} \quad (2.30.)$$



Şekil 2.37. Değişken derinliklerde dalga enerjisi yoğunluğu (Vining, 2005)

Düzgün boyuttaki bir su altı enerji dönüştürücü için çalışma derinliğindeki dalga gücü bilinmelidir. Genellikle dalga enerjisi suyun altında $-2\pi d / \lambda$ ile bağıntılı olarak zayıflar. Burada d deniz seviyesinin altındaki derinliği ifade etmektedir. Derinlik ve yüzey enerjisi arasındaki ilişki Denklem 2.31.'daki eşitlik ile gösterilmektedir.

$$E_{(d)} = E_{(h)} * e^{-\frac{2\pi d}{\lambda}} \quad (2.31.)$$

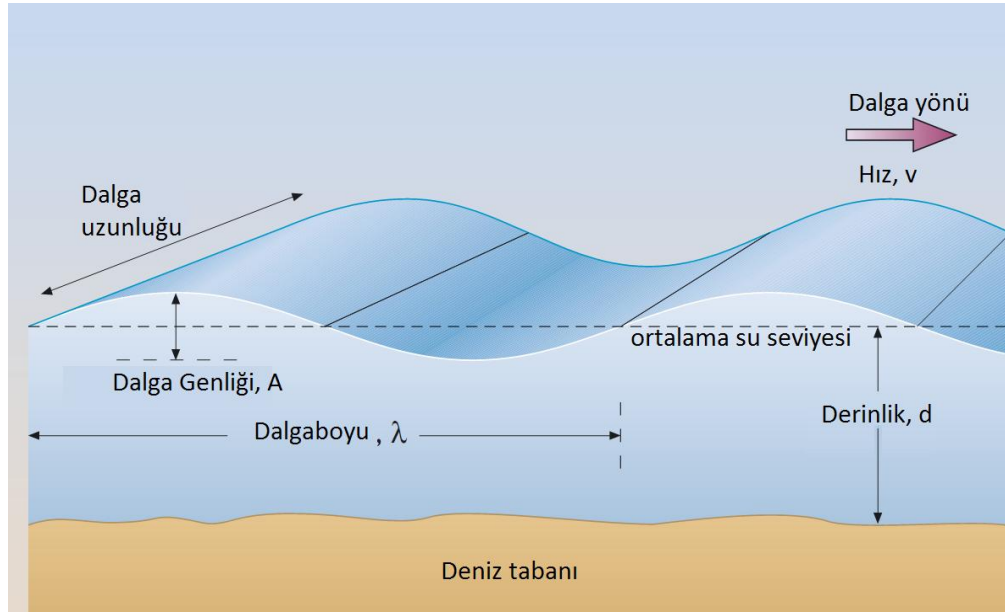
2.1.10. Okyanus Dalgalarının Oluşumu

Okyanus dalgaları rüzgârın su yüzeyine sürtünmesi ile meydana gelmektedir. Rüzgârın su yüzeyi ile etkileşim mekaniği hala tam anlamıyla anlaşılamayan bir konudur (Duckers, 2004). Dalgaların rüzgâr etkisi ile meydana gelmesinde temelde 3 faz bulunur,

1. Rüzgârın su yüzeyinde akışı sırasında su yüzeyine baskı uygular ve bu baskının etkisi ile temel dalga yapısı oluşur.
2. Türbülanslı hava akışı etkisi ile su yüzeyinde stres ve basınç değişimleri meydana gelir. Bir etkileşim osilatif sistem karakteristiği gösterir.

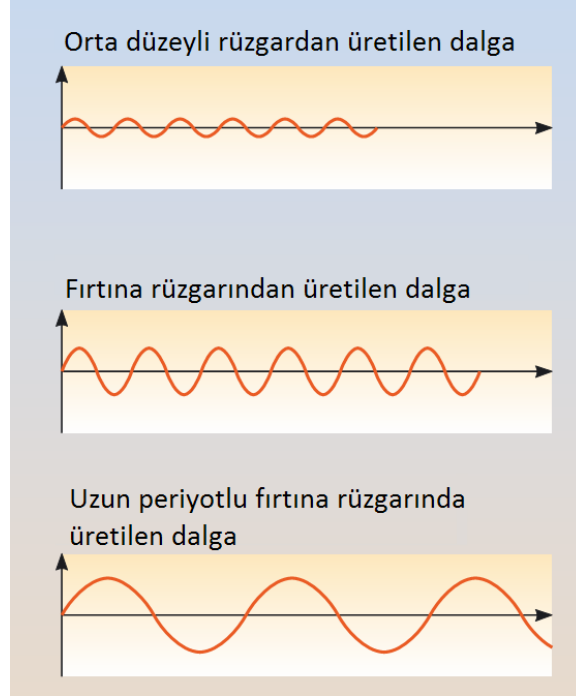
Meydana gelen osilatif etki sonucunda ortamda var olan dalgaya rüzgârın doğru fazda etkisi ile dalga güçlenir.

3. Son olarak dalganın güçlenmesi ve uygun ebatlara ulaşması ile rüzgâr dalga yüzeyine doğrudan etki edebilir ve dalganın büyümesine daha da fazla katkıda bulunur (Duckers, 2004).



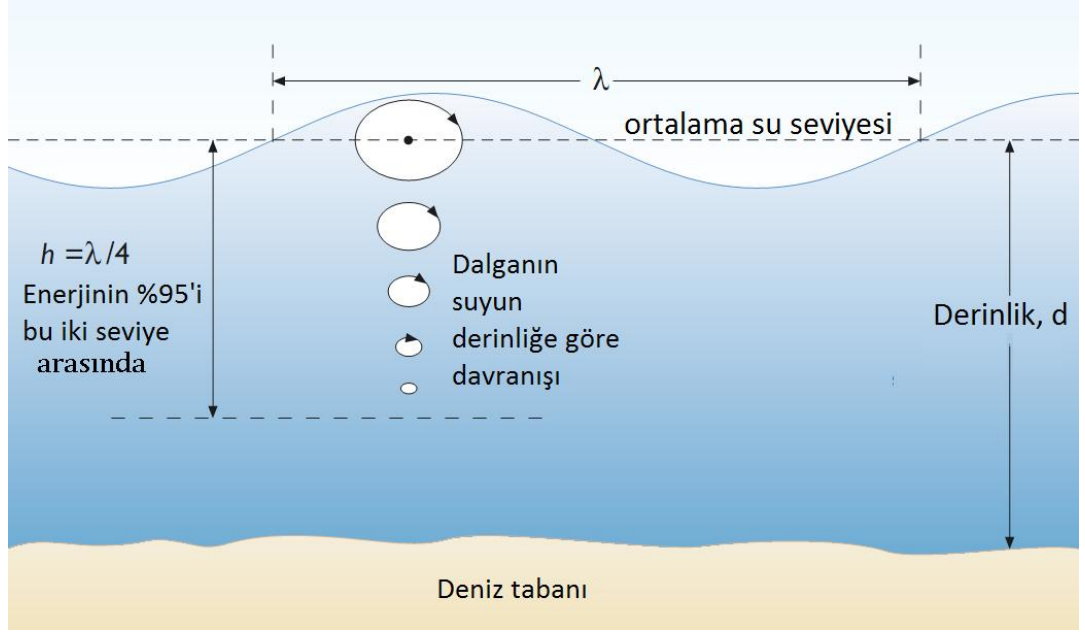
Şekil 2.38. İdeal dalga karakteristiği (Duckers, 2004)

Okyanus dalgalarının yapısı kendisi meydana getiren rüzgârın yapısı ile doğrudan bağıntılıdır. Deniz yüzeyine etki eden rüzgârın gücüne göre dalganın büyüklüğü doğru orantılı olarak artmaktadır. Yine etki eden rüzgârın karakteristiğine göre meydana gelen dalganın periyotları da değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.38.'de deniz dalgasının yapısı gösterilmiştir. Bununla beraber Şekil 2.39.'da rüzgâr karakteristiğine bağlı olarak meydana gelen dalga yapıları örneklenmiştir.



Şekil 2.39. Ortamda bulunan rüzgâr karakteristiğine göre meydana gelen dalga yapısı (Duckers, 2004)

Okyanus yüzeyinin yapısı oldukça açık bir şekilde incelenebilmektedir. Ne var ki bunun yanında su yüzeyinin altında (yardımcı su yüzeyinde) neler olduğunun da anlaşılması gerekmektedir. Bir dalganın okyanus yüzeyinden okyanus tabanına kadar yapısını Şekil 2.40.'da olduğu gibi düşünebiliriz. Dalgalar kendi etrafına yörüngesel hareket yapmaktadır. Su yüzeyinin hemen yanında bu yörünge hareketi dalganın yüksekliği ile aynı büyüklükte olmaktadır. Fakat deniz tabanına yaklaştıkça bu yörünge hareketi giderek üstel fonksiyon şeklinde küçülmektedir (Denklemler 2.31.). Dalgadan maksimum enerji eldesi bu yörünge hareketlerinin hepsinin birden yakalanması ile mümkün olabilmektedir. Fakat bu tür bir uygulama ne pratik nede ekonomik olmaktadır. Bunun temel nedeni, küçük yörünge hareketlerinin çok az enerji taşımasıdır. Dalganın toplam taşıdığı enerjinin %95'i dalga uzunluğuna h olmak üzere, yüzeyden itibaren $h/4$ kadar derinliğe kadar olan bölümdedir.



Şekil 2.40. Dalganın su altında hareketi (Duckers, 2004)

2.2.DEK Sistemlerinin Sınıflandırılması

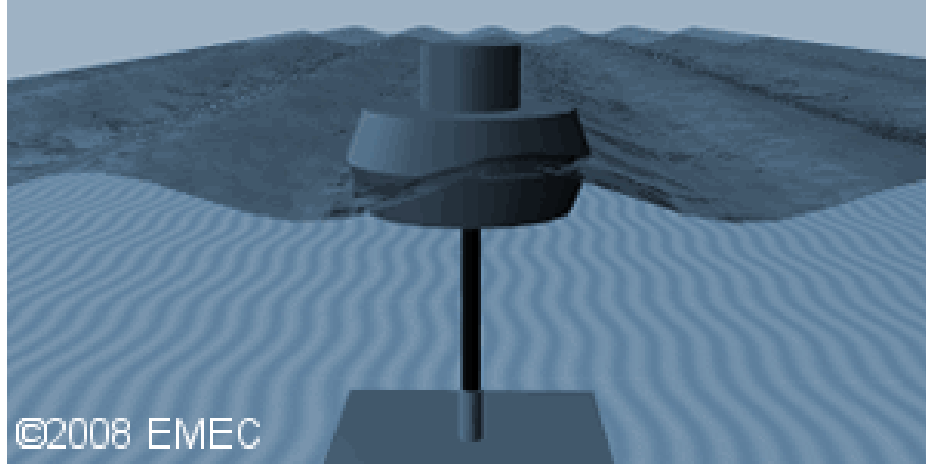
Geçmişten bu güne kadar DEK sistemleri üzerine birçok çalışma yürütülmüştür. Çalışmalar sonucunda geliştirilen DEK sistemleri, bu enerji dönüşüm işlemini sistemin hareketini ve şeklini değiştirerek yâda su basıncından veya hava basıncını kullanarak gerçekleştirmişlerdir (Vining, 2007). DEK sistemlerinde dalga enerjisinden elektrik üretebilmek için, dalganın etkisi ile hareket edebilecek ve istenen durumlarda dalgaya karşı koyabilecek bir yapının olması şarttır. Dalganın etkisi ile hareket eden ve genellikle ikincil bir gövde formunda olan bu yapı dalga enerjisini başarılı bir şekilde mekanik enerjiye (ya da doğrudan elektrik enerjisine), çevirebilmek için anahtar noktadır. DEK sisteminin ana gövdesi (birincil gövde), ara bir bağlantı ile deniz tabanına sabitlenmiş (demirlenmiş) ya da yüzebilen bir yapı olabilmekle beraber bazı tasarımlarda da doğrudan deniz tabanına sabitlenmektedir. Fakat önemli nokta tasarımda bazı parçaların dalganın etkisine karşılık hareket edebilme yeteneğine sahip olabilmesidir. İkincil gövde (aktif bölüm) dalganın etkisi ile serbest hareket edebilir iken birincil gövde stabil kalarak ikincil gövdeye destek sağlayabilmelidir. Diğer bir deyişle hareketli gövdenin desteklenmesi için alternatif bir eylemsizlik etkisi ile desteklenmektedir. Buda ana gövdenin doğrudan deniz tabanından destek almasını

gerektirmektedir. Deniz tabanından destek almayan uygulamalar da ana gövde ikincil gövdeden daha büyük ya da eş boyular da tasarlanarak ana gövdenin stabil olması sağlanabilmektedir. İkincil gövdenin hareketlerinin, stabil ana gövde tarafından sınırlaması ile DEK sisteminin deniz ortamında sürekliliği sağlanabilmektedir.

DEK sistem gövdesinin fiziksel boyutları performans yönünden kritik bir faktördür. Uygun gövdenin boyutlarının tahmini için, dalga içindeki faaliyet alanı göz önünde bulundurulmaktadır. Birçok DEK uygulamasında gövdenin hacmi aynı zamanda dalganın etkisi altında karşı koyulan su miktarının belirlemekte ve buda doğrudan çekilen enerjiye miktarına etki etmektedir. DEK sistem gövdesinin şekli ve boyutlarının belirlenmesinde diğer önemli etkenler, sistemin işleyişi ve ortam limitleridir. Burada tartışılması gereken DEK tasarımlarından biriside dalga toplayıcı olarak tasarlanan PAWEC sınıfı DEK sistemleridir.

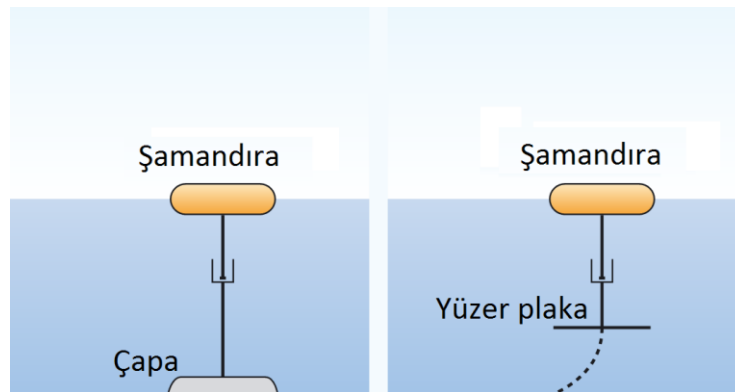
PAWEC sınıfı DEK sistemlerinin tasarımların da, sistem ana gövdesi su yüzeyinde serbest biçimde hareket edebilmektedir. Ama burada dikkat edilmesi gereken nokta gövdenin deniz tabanına demirli olmasıdır. Point absorber olarak ta isimlendirilen bu sistemlerde, gövdelerinin dalga toplayıcı olarak tasarlanmasından dolayı, sistem daha fazla dalga ile etkileşime girebilmektedir. Böylelikle diğer DEK tasarımlarına göre daha fazla performans alınabilmektedir. Teoride en iyi dalga yakalayan PAWEC sistemin gövde genişliğinin gelen dalga yüzeyinin $\lambda/2\pi$ katı olması gerektiğini söylemektedir. Örneğin dalga periyodunun 6 s olduğu durumda, dalga boyunun 56 m–72 m aralığında olduğunu düşünelim. Deniz ortamının derin ya da sığ olmasına bağlı olmakla beraber teoride bu ortam için en iyi dalga yakalayıcı PAWEC'in gövde genişliği 10 m civarında değildir. Gerçekte ise gövdenin dikey genlik hareketlerinin limitlerinin olmasından dolayı elde edilen dalga yakalama oranı çok daha az olmaktadır. Bu performans kaybının matematiksel nedenleri deneysel sonuçları ile beraber Nielsen ve Plum (2000) tarafından açıklanmıştır (Nielsen ve Plum, 2000). PAWEC tasarımlarında optimal performans elde edilmesi açısından Latching (kilitleme) kontrolden yararlanılmaktadır. Bu kontrol tipinde sistemin gövdesinin hareketlerinin sınırlanması ile dalga etkisi de gövdenin suya gömülmesi ya da sınırlamanın kaldırılması ile gövdenin yüzer konuma gelmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışma mantığı ile gelen dalgadan maksimum yararlanarak en iyi enerji çekim oranları elde edilebilmektedir (Falnes ve

Lillebekken, 2003). Şekil 2.41.'de bir PAWEC sınıfı bir DEK uygulaması örneği gösterilmektedir.

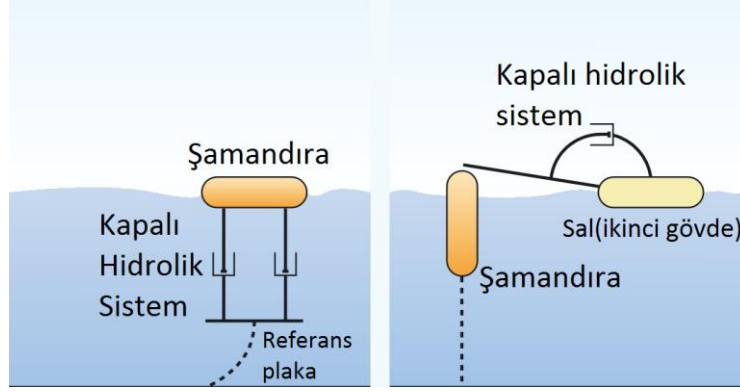


Şekil 2.41. PAWEC uygulaması (<http://www.emec.org.uk>, 2008)

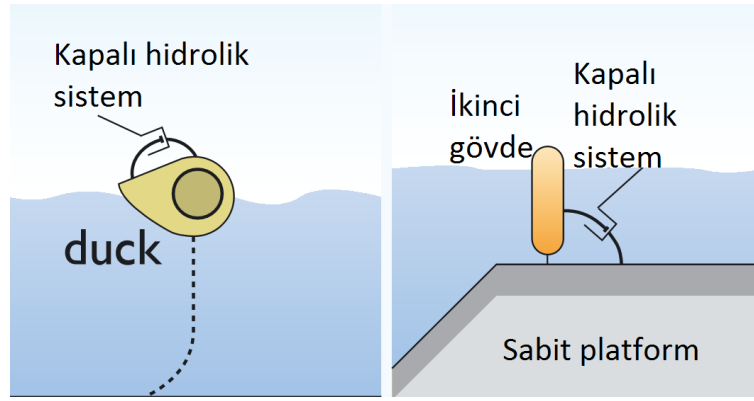
PAWEC ve benzeri serbest yüzer DEK tasarımlarında seçilen gövde hacminin, ortam rejimlerinin altında, daha küçük boyutlu dalgalarla çalışacak şekilde seçildiği durumlarda mevcuttur. Bu tip uygulamalarda daha çok enerji taşıyan büyük boyutlu (fırtına esnasında meydana gelen dalgalar gibi) dalgalardan verimli bir şekilde yararlanılmadığı için toplam verim daha düşük olabilmektedir. Yapısal yönden birçok farklı tipte DEK sistemi mevcuttur. Şekil 2.42., 2.43., 2.44., 2.45.ve 2.46.'da Falnes ve Løvseth (1991) tarafından ortaya konan DEK sistemlerinin yapısal yönden bir sınıflandırması şematik olarak görülebilmektedir.



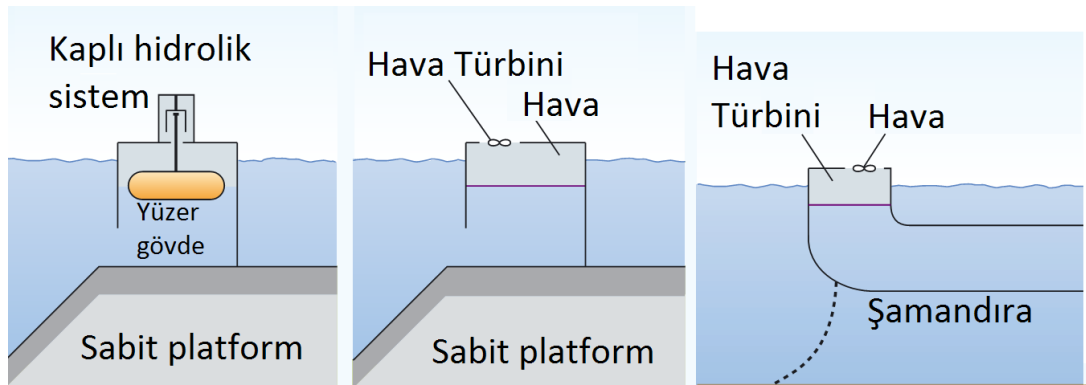
Şekil 2.42. Tek serbestlik dereceli yukarı – aşağı (dalıp - çıkma) hareketi yapan yüzer gövde (Duckers, 2004)



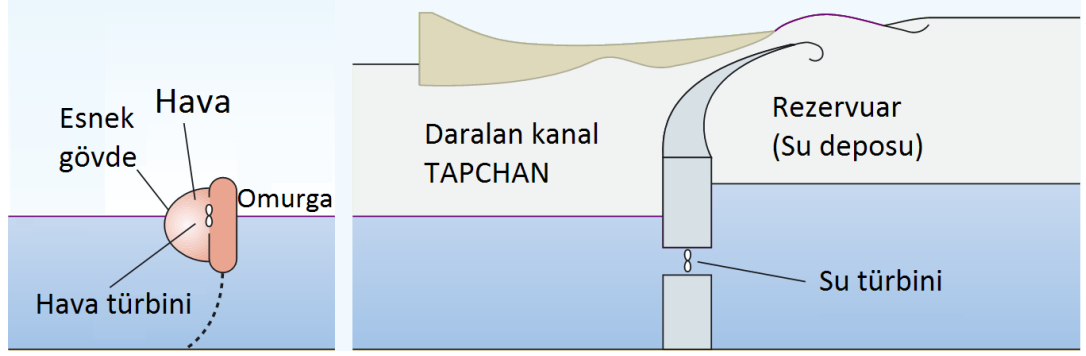
Şekil 2.43. İki serbestlik dereceli yukarı – aşağı (dalıp - çıkma) ve dönme (yalpa) hareketi yapan yüzer gövde (Duckers, 2004)



Şekil 2.44. Tek serbestlik dereceli dönme (yalpa) hareketi yapan gövde tasarımı



Şekil 2.45. Osilatif su kolunu (Duckers, 2004)



Şekil 2.46. Tek serbestlik dereceli ileri – geri (boy öteleme) hareketi yapan gövde tasarımı (Duckers, 2004)

Şekil 2.42.'de gördüğümüz şematik şekilde dalganın yukarı – aşağı, (dalıp – çıkma) hareketinden yararlanan bir DEK tasarımı örneklenmiştir. Şekil 2.43. ile gördüğümüz DEK tasarımları aynı anda hem yukarı - aşağı hemde dönme (yalpa) hareketi yaparak elektrik üretmektedir. Şekil 2.44. ile gördüğümüz uygulamalarda sadece dönme hareketinden yararlanmaktadır. 2.45.'deki DEK sistemleri ise daha çok kıyaya konulanan, dalganın hem potansiyel hemde kinetik enerjisinden yararlanan sistemlerdir. Şekil 2.46. ile gördüğümüz DEK tasarımı, dalganın ileri – geri (boy öteleme) enerjisinden yararlanmaya yönelik DEK tasarımlarıdır. Şekilde gösterilen daralan kanal uygulaması nehir ve benzeri tek yön akıntılı ortamlarda da kullanılabilir bir tasarım şeklidir.

Dalga enerjisi konvertörleri aynı zamanda,

1. Deniz tabanına sabitlenmiş (genellikle sığ sularda)
2. Açık denizde yüzer biçimde
3. Orta dereceli bir derinlikte bağlanarak (demirlenerek) yüzer biçimde
4. Sahile konumlandırılmış uygulamalar

şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Diğer bir yandan çalışma ortamlarına göre de farklılık gösteren DEK sistemlerinin sınıflandırmasında sunum kolaylığı ve tezin içeriği açısından sistemin kıyıya göre konumunu esas alan sınıflandırma biçimi tercih edilmiştir. Bu sınıflandırmada DEK'ler,

1. Kıyı uygulamaları (Shoreline)
2. Yakın Kıyı Uygulamaları (Nearshore)
3. Açık deniz, okyanus uygulamaları (Offshore) olarak 3 başlık altında incelenmiştir.



Şekil 2.47. Dek sistemlerinin konum açısından sınıflandırılması (Cluster Energia, 2010)

Şekil 2.47.'de gösterildiği gibi kıyı tipi DEK sistemlerinin ayrı konumlandırılmış ya da doğrudan bir iskele (ya da dalgakıran) üzerine kurulan tasarımları mevcuttur. Ayrı konumlandırılmış kıyı uygulamalarında DEK sistemi kıyının çok az açığında ya da sahilde tek başına konumlanmış olabilmektedir. İskele ya da dalgakıran gibi yapılardan destek alınarak kurulan yapılar ise, bu yapılardan destek aldıkları için yapı maliyetleri daha aza indirgenebilmektedir. Yakın kıyı uygulamalarda ise DEK sistemi serbest yüzer

ya da deniz tabanından destekli (ya da demirli) olabilmektedir. Açık deniz uygulamalarında DEK sistemi serbest yüzer ya da deniz tabanına bir bağlı olabilmektedir. Derin sularda deniz tabanına yapılan bu bağlantı beraberinde bazı tasarım zorlukları getirmekte ve ciddi maliyet artışlarına neden olabilmektedir.

DEK sistemlerinin geliştirilmesinde sistemin kıyıya göre konumu oldukça önemli bir tasarım parametresidir. Bunun temel nedeni gerek kıyı ortamının gerekse açık deniz ortamının çalışma şartları ve dalga rejimleri açısından çok farklılık göstermesidir.

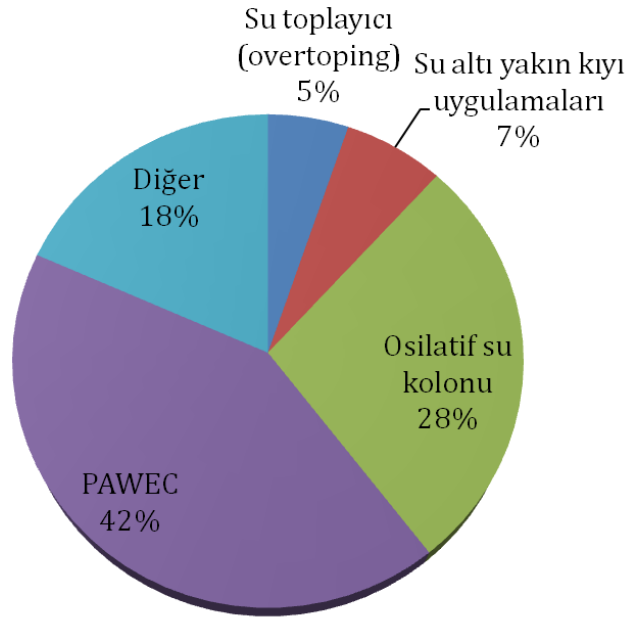
Çizelge 2.1. DEK sistemlerinin geliştirilmesinde sistemin kıyıya göre konumu ve durum değerlendirmesi

	<i>KIYI</i>	<i>YAKIN KIYI</i>	<i>AÇIKDENİZ</i>
<i>Ortamdaki dalga enerjisi</i>	● (Düşük)	●● (Orta)	●●● (Yüksek)
<i>Dalga yönleri</i>	●	●●	●●● (Çok yönlü)
<i>Tasarım kolaylığı</i>	●●●	●●	●
<i>Kurulum zorluğu</i>	●	●●	●●●
<i>Enerjinin kıyıya aktarılması</i>	●	●●	●●●
<i>Bakım giderleri</i>	●	●	●●●
<i>Enerji kazanımı</i>	●	●●	●●●
<i>Yönetimi</i>	●	●	●●●
<i>Toplam maliyet</i>	●	●●	●●●

Deniz yüzeyinde çok az enerji kaybı ile hareket eden dalgalar, kıyıya yaklaştıkça su seviyesinde oluşan sığlaşma ve bunun sonucunda artan sürtünme kuvvetinin etkisi ile daha fazla enerji kaybına uğramaktadır. Bu doğrultuda DEK sistemleri kıyıdan uzaklaştıkça daha fazla enerji taşıyan dalga rejimlerinde çalışma imkânı bulmaktadır. Diğer bir yandan sistemin kıyıdan uzaklaşması birçok tasarım zorluğunu beraberinde getirmekte ve sistemin üretim maliyetlerini arttırmaktadır (Thorpe, 1999). DEK sistemlerinin kıyıya göre konumunun sağladığı avantaj ve dezavantajlar Çizelge 2.1.'de ana hatları ile ortaya konmuştur. Gösterilen çizelgede dalgaların taşıdıkları enerji

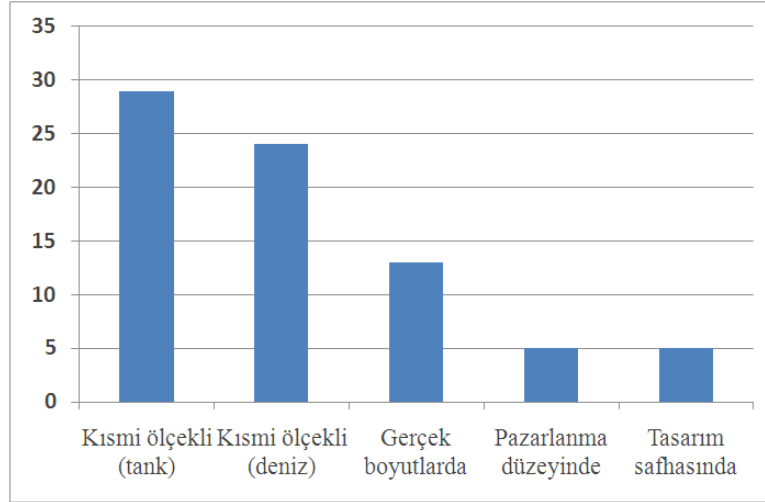
miktarının değişiminin yanında kıyı durumuna göre dalga yönlerinin de farklılık gösterdiği görülebilmektedir. Çizelge’de incelenen diğer önemli parametreler DEK sistemlerinin kıydan uzaklaştıkça maruz kaldığı ortam şartlarının zorlaştığını ve dolayısı ile daha yüksek geliştirme ve üretim maliyetlerinin gerektiğini ortaya koymaktadır. Buna rağmen dalganın potansiyel güç yoğunluğunun fazla olmasından dolayı yapılan çalışmalar daha çok kıydan uzak uygulamalar üzerine kaymıştır.

DEK sistemlerinin geliştirmesi evresin de birçok farklı yollar izlediği aşıkârdır. Bununla beraber DEK sistemlerinin geliştirilmesinde en fazla çalışma PAWEC ve OSK sistemleri üzerine yapılmıştır (IEA-OES, 2008). Şekil 2.48.’de gösterilen grafikte IEA-OES tarafından incelenen 76 DEK sisteminin tipleri yüzde oranı görülebilmektedir.



Şekil 2.48. DEK sistemlerinin tasarımlarının tiplere göre dağılımı (IEA-OES, 2008)

Diğer bir açıdan geliştirilen DEK sistemlerinin birçoğu hala uygulanabilir düzeye ulaşamamıştır. Şekil 2.49.’da, Şekil 2.48. için incelenen 80’ yakın DEK sistemi üzerine yapılan çalışmaların hangi düzeyde olduğu gözlemlenebilmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere geliştirilen sistemlerin çoğu tasarım düzeyinde kalmıştır.



Şekil 2.49. Mevcut DEK sistemlerinin tasarım düzeylerine göre dağılımı (IEA-OES, 2008)

2.2.1. Kıyı (Shoreline) DEK uygulamaları

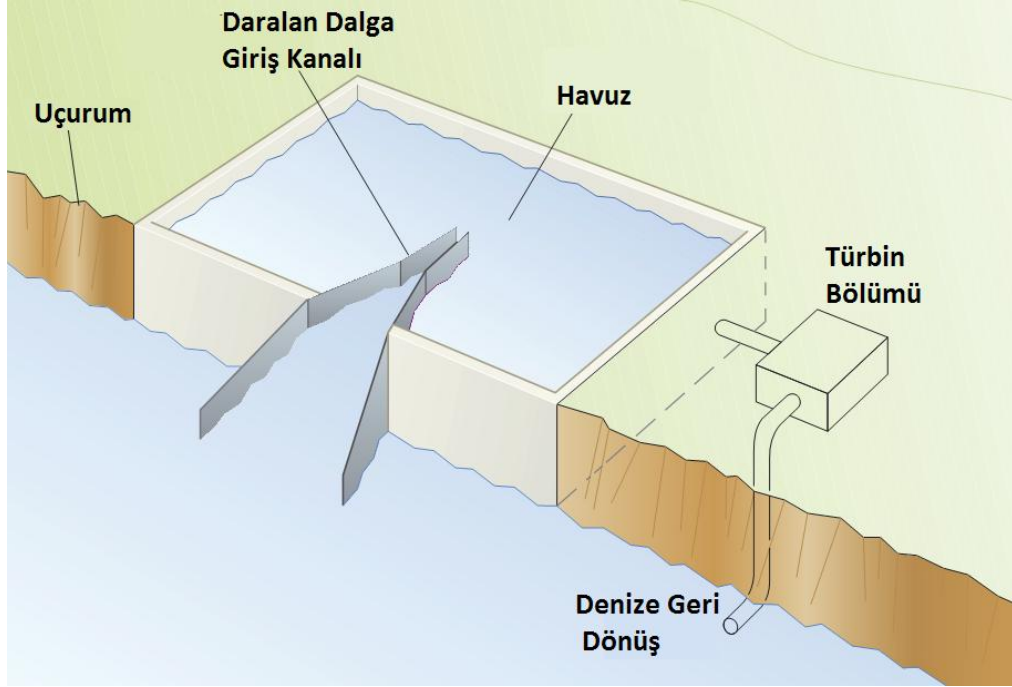
Kıyı uygulamaları deniz kıyısına sabitlenen, kurulum ve yönetimi kolay olan alternatif DEK sistemleridir. Derin sularda çalışmadığı için yüzer bir düzenek olmayan bu sistemlerde kıyıya güç aktarımı sağlayan iletim kablolarına gerek kalmamaktadır. Bunun yanında açık denizin yıpratıcı etkilerine maruz kalmayan bu tip sistemlerin çalışma ömrünün diğer tiplere göre daha yüksek olduğu görülür. Ulaşılması kolay olmasından dolayı bakım maliyetleri de oldukça düşüktür. Kıya yaklaştıkça dalganın taşıdığı enerjinin azalmasından dolayı bu sistemler çok daha az güçlü dalga rejimleri ile çalışmak zorundadır. Buda bu sistemlerin güç üretim oranlarını büyük oranda düşürmektedir. Kıyı tipi DEK sistemlerinin tercih edilmemesinin bir diğer nedeni de ses ve görsel kirliliğine neden olmasıdır.

Yinelenebilir kıyı dalgalarından yararlanan kıyı tip sistemlerin planlanması ve tasarımı, çalışacağı kıyının jeolojik yapısı, gelgit aralığı ve dalga rejimi göz önünde bulundurularak, kıyının doğal yapısı bozmadan yapılmalıdır (Thorp, 1995).

Kıyı tipi DEK sistemlerini üç sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar,

1. Tapchan (**T**apered **C**hannel -Konik Kanal)
2. LIMPET
3. Salınımlı tip hidrolik pompa

Tapchan modeli DEK tasarımı basit ve dayanıklı olmasından dolayı tercih edilen DEK modellerinden biridir. En yaygın kıyı tipi DEK uygulaması olan Tapchan'ın şematik bir modeli Şekil 2.50.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.50. Tapchan DEK modeli (Duckers, 2004)

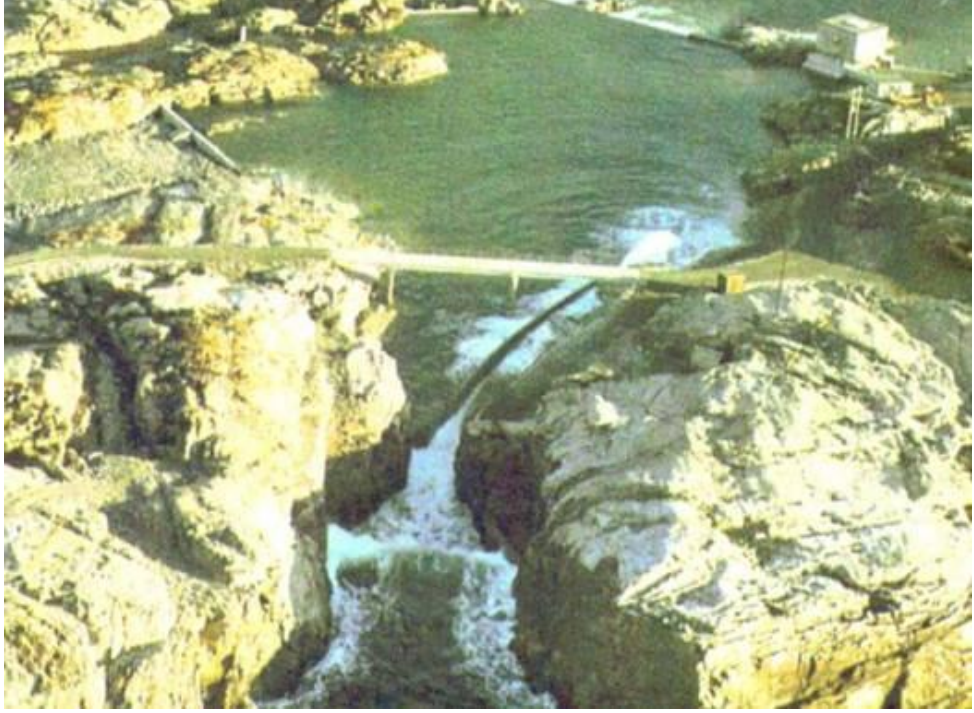
1986 yılında 350 kW'lık bir prototipi Nomware şirketinin işbirliği ile Bergen'de küçük Norwegian Adasının 40 km kuzeydoğusunda kurulan Tapchan DEK sistemi ismini '**Tapered Channel** (Konik Kanal) kelimelerinin birleşiminden almaktadır. Tasarımda kullanılan kanal ağzının genişliği 40 m'dir. Sistemde gelen dalğanın etkisi suyu seviyesini yükselmekte ve hazneyi su ile doldurmaktadır. Hazne duvarlarının yüksekliği 7 m'si suyun altında, 3 m'si suyun üstünde olmak üzere toplam 10 m, genişliği 170 m'dir. Çalışma ortamındaki ortalama dalga iklimi için, bu prototipte haznedeki toplam seviye yükselmesi 3 m olarak ayarlanmıştır. Sistemin temel çalışma mantığı dalğanın taşıdığı kinetik enerji, suyun haznede birikmesi ile potansiyel enerjiye dönüşmektedir. Haznede biriken suyun rezarvuvar yolu ile türbinden geçirilerek tekrar deniz ortamına geri dönmektedir. Bu yolla dalga enerjisi türbine aktarılmaktadır. Türbine bağlı bir jeneratör yardımı ile elektrik üretilmektedir. Sistemde hidroelektrik uygulamalarında kullanılan Kaplan tipi türbin (Ingram, 2007) kullanılmıştır. Bu tasarım

ile Norwegian adasına 350 kW'lık enerji kazancı sağlanmıştır. Oldukça basit olan bu DEK modelinde hareketli parçaların azlığından dolayı bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Bununla beraber sistemin güvenilirliği çok yüksektir. Normal şartlarda deniz dalgalarının düzensiz yapısından dolayı bu sistemlerden elde edilen elektrik sürekli düzensiz bir yapıdadır. Bu DEK modelinde ise hazne düzeneğinden dolayı türbin doğrudan dalga ile etkileşime girmemekte ve böylelikle sistemden çekilen elektrik daha düzenli olmaktadır. Sistem daha dikkatli incelenirse Kaplan türbinin devrinin etkileyen tek etken haznedeki suyun seviyesinin dalga ile ne kadar yükseldiğidir. TAPCHAN sisteminin Endonezya dâhil birçok bölgede kurulumunun yapılması planlanmaktadır. 1990'larda Norwave'te sistemin gelecekteki uygulamalarının maliyetlerinin düşürülmesi ve daha işlevsel hale getirilmek istenmiştir. Sistemin önceden dalganın büyüklüğünü tahmin etmesi kaplan türbinin daha verimli şekilde çalışacak şekilde kontrol etmesi düşülmüştür. Bununla beraber haznedeki su seviyesinin düşürülmesi, sistemin daha büyük boyutlu dalgalar ile çalışacak şekilde tasarlanması gibi uygulamalar düşünülmüştür (Petroncini ve Yemm, 2000).

TAPCHAN sistemleri birçok avantajının yanında ekonomik yönden hala uygulanabilir olmayan sistemlerdir. Bunun nedeni sistemin veriminin dört temel unsura oldukça bağımlı olmasıdır. Bu unsurlar,

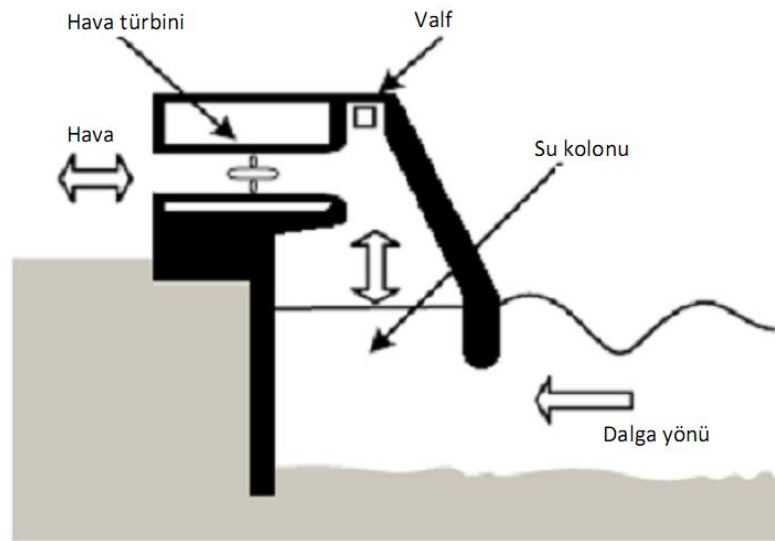
1. İyi bir dalga iklimi; ortalama dalga enerjisinin yüksek olması ve dalgaların sürekliliği
2. Sistemin kurulacağı yerin belirli bir minimum derinliğe sahip olması
3. 1 m'den daha düşük gelgit etkisi
4. Uygun ve ucuz hazne ortamı (inşa edilerek ya da doğal unsurlardan yararlanarak)

Kıyı tipi DEK uygulamalarında maliyetlerin düşürülmesi açısından başvurulan yöntemlerden biride sistemin doğal olarak var olan bir kaya ya da sahil düzeneğine kurulmasıdır. Şekil 2.51.'de gördüğümüz TAPCHAN uygulaması buna bir örnektir.



Şekil 2.51. Kayaya gömülü TAPCHAN uygulaması

Şimdiye kadar geliştirilen kıyı tipi DEK'ler arasında en önemlilerinden biri salınan su kolonudur. Bir salınan su kolonu tipi olan LIMPED uygulaması Şekil 2.52.'de görülmektedir. Bu sistem deniz seviyesinin altında bir düzeye, kıyıda bir oyuk oluşturacak şekilde konumlandırılır.

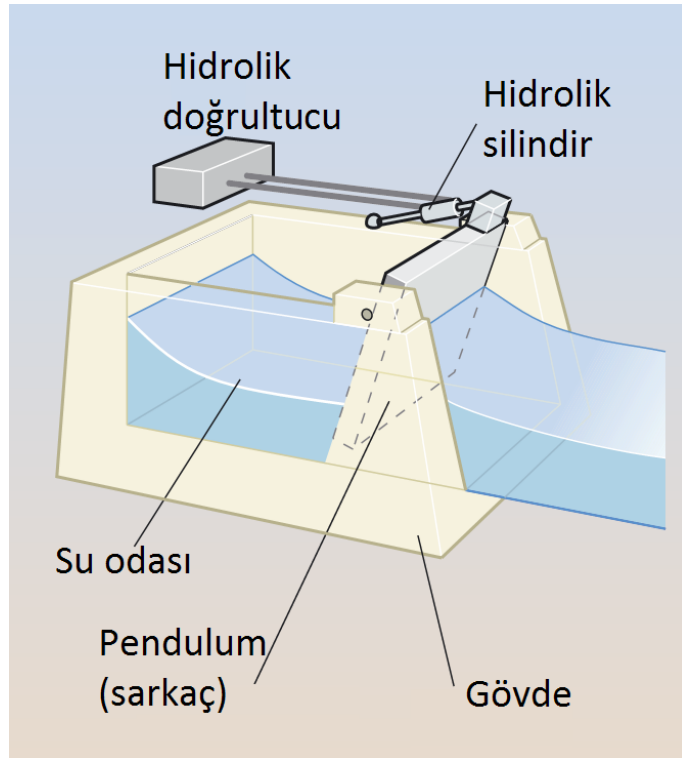


Şekil 2.52. OSK LIMPED uygulaması

Salınlı su kolonu sisteminde iki adımlı elektrik üretilir. Şekil 2.52.'de gördüğümüz gibi çalışma prensibi dalganın etkisi ile artan hava basıncının bir rüzgâr türbinini indüklemesidir. Şekilde görülen dalga haznesi dalganın önüne yerleştirilir. Dalganın etkisi ile su seviyesi yükselecek ve hava haznesinde hava basıncı artacaktır. Dalga tepe değerine ulaştıktan sonra geri çekilmeye başlayacak ve su seviyesi düşecektir. Buda haznede bir alçak basınç oluşmasına neden olacaktır. Sistemde hava haznesine havayı içeri ve dışarı iletebilen bir türbin yerleştirilerek enerji üretilebilmektedir.

Bu sistemde normal bir türbin kullanılırsa su odaya girdiğinde ve odadan çıkarken türbin pervanesi farklı yönlere dönecektir. Bu durumda pervane durup durup çalıştığı için enerji üretimini azaltacaktır. Bu problem Wells tipi özel türbinler (Duckers, 2004; Robert ve Tease, 2009) kullanılarak aşılabilmektedir.

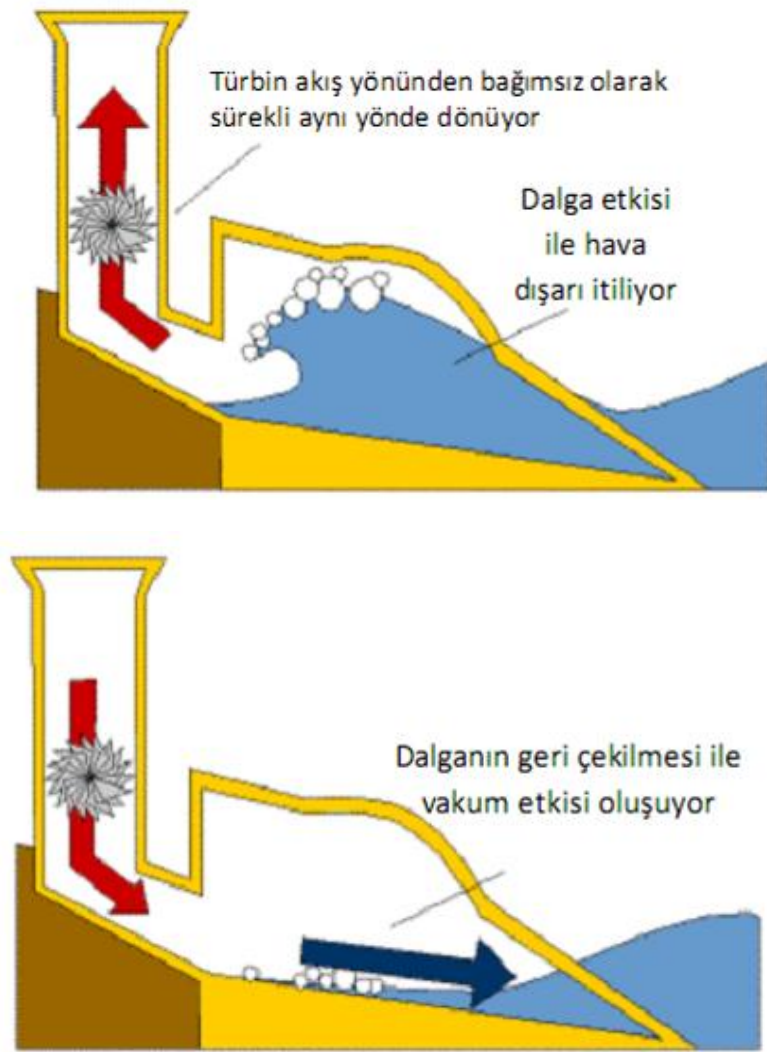
Osilatif su kolonu uygulamalarına bir diğer örnekte Japonya'da testleri yapılan Pendular tasarımıdır. Bu tasarımda dalganın etkisi ile hareket edebilen bir kanatçık, sabitlenmiş ana yapı çerçevesi ve ara bağlantıyı sağlayan menteşe vardır. Pendular'ın şematik gösterimi Şekil 2.53.'de görülmektedir.



Şekil 2.53. Japon Pendular dalga enerjisi konvertörü (Duckers, 2004)

Yapıda Pendular kapısı ana gövdeye dalganın etkisi ile maksimum hareket yapacak şekilde üstten menteşelenmiştir. Pendurlar kapısının büyüklüğü çalıştığı dalga iklimine göre değişiklik göstermektedir. Japonya’da yapılan testlerde kapının menteşelenmesi dalga uzunluğunun dörtte birine etki edecek şekilde ayarlanmıştır.

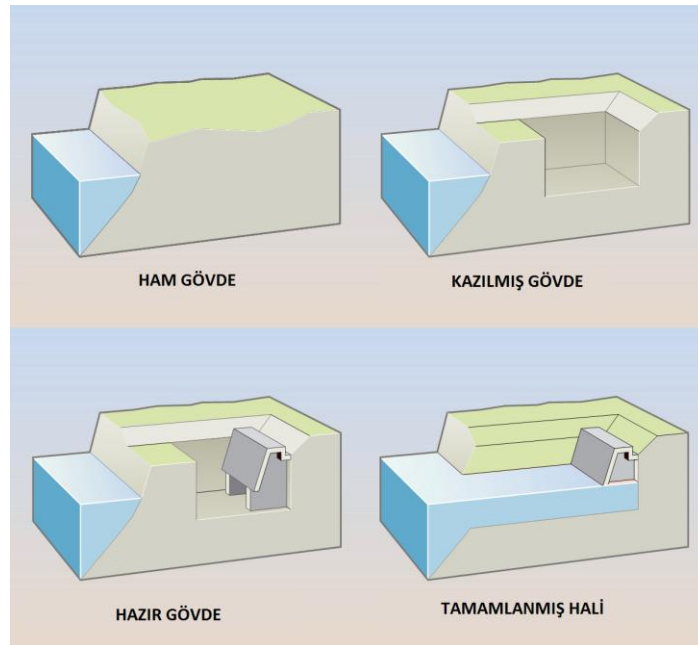
Pendular kanadın dalgadan çektiği mekanik enerji, bir aç-kapa hidrolik sisteminden yararlanarak elektriğe çevrilmektedir (Şekil 2.54.). 1980’lerden bu yana nominal güçleri 5 kW olan iki prototipi Hokkaido, Japonya’da çalışmaktadır. Diğer bir yandan tasarımın ileri uygulama planları ile ilgili çalışmalar hala yapılmaktadır. Japonya ve Sri-Lanka’da uygulamak üzere 250 kW’lık tasarı planlanmaktadır. Maliyetin 7 p/kWh olacağı düşünülmektedir (Watabe ve ark., 1999).



Şekil 2.54. OSK Limped sisteminin çalışması

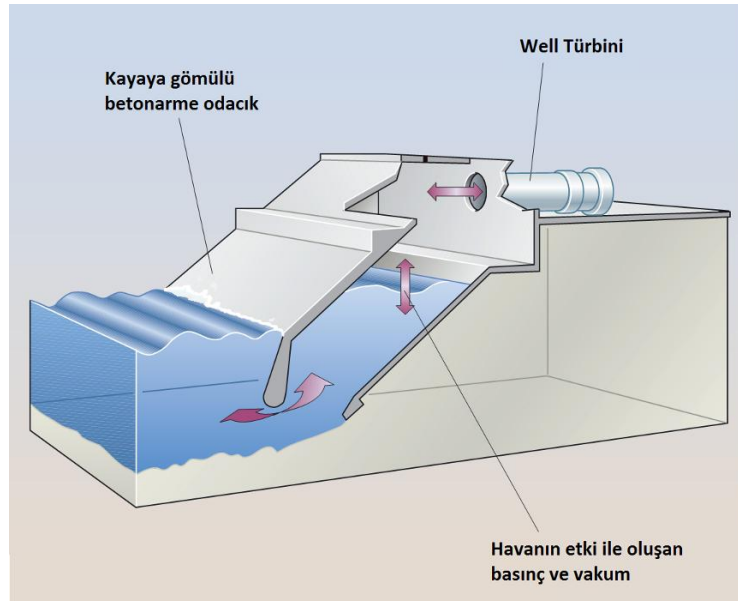
DEK sistemleri tasarlanırken çalışacağı iklim şartları kullanılacağı yerdeki dalga periyodu, dalga yüksekliği ve bölgedeki dalga karakteristikleri göz önünde bulundurulmalıdır (Thorp, 1995). Eğer sistem doğru ölçekli olmaz ise dalgalar sistem üzerinde bir çeşit vibrasyon etkisi oluşturabilmektedir. Bu etki ile sistemde oluşan istenmeyen rezonans enerji üretimini olumsuz etkileyebilmektedir. Yapılan araştırmalar jeneratör tasarımında kullanılan jeneratör büyüklüğü ve jeneratör katsayısı parametrelerinin dalga ikliminden neredeyse tamamen bağımsız olduğunu göstermiştir (Thorp, 1995). Diğer bir yandan dalga enerjisinden olabildiğince fazla yararlanabilmek için, tasarlanan hava haznesinin türbinden hava akışına elverişli olacak şekilde olması gerekmektedir. Bu nedenle türbin kanalının ağzı huni biçiminde yapılmaktadır. Böylelikle hava akışı ve türbin hareketi düzenli olacaktır (Thorp, 1995).

Queen's University, Belfast, (QUB) 1985 yılında OSK tipi bir sistemin geliştirilmesi için çalışmalar yürütmeye başlamıştır. İskoçya adalarında kullanılmak için tasarlanan bu sistem 1989 yılında kurulmuş ve 1999 yılında geri sökülüştür. 1991 - 1999 yılları arasında aktif elektrik üretimi sağlamıştır. 2000 yılına değin yapılan çalışmalar ile tecrübeler edinilmiş ve sistemin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Sistemin inşasında izlenen adımlar Şekil 2.55.'de görülmektedir.



Şekil 2.55. LIMPET'in kayaya gömülü tip uygulamasının inşasında izlenen adımlar (Duckers, 2004)

Şekilden de anlaşılacağı gibi hem yapı maliyetlerinin düşürülmesi hem de dayanıklı olması açısından yapı kayalardan oyularak meydana getirilmiştir. Eylül 2000’de tamamlanan LIMPET tasarımı Şekil 2.56.’da görülmektedir. Şekil 2.57.’de sistemin tamamlanmış hali gösterilmiştir. Tamamlanan bu model içerisinde iki adet hava odası barındırmaktadır. Sistemde bu odalara bağlı birer Well Türbinin yardımı ile elektrik üretilmektedir. Her odaya bağlanan jeneratörler 250 kW’lıktır. Sistemin toplam enerji üretimi 500 kW’tır (Boake et al., 2002).

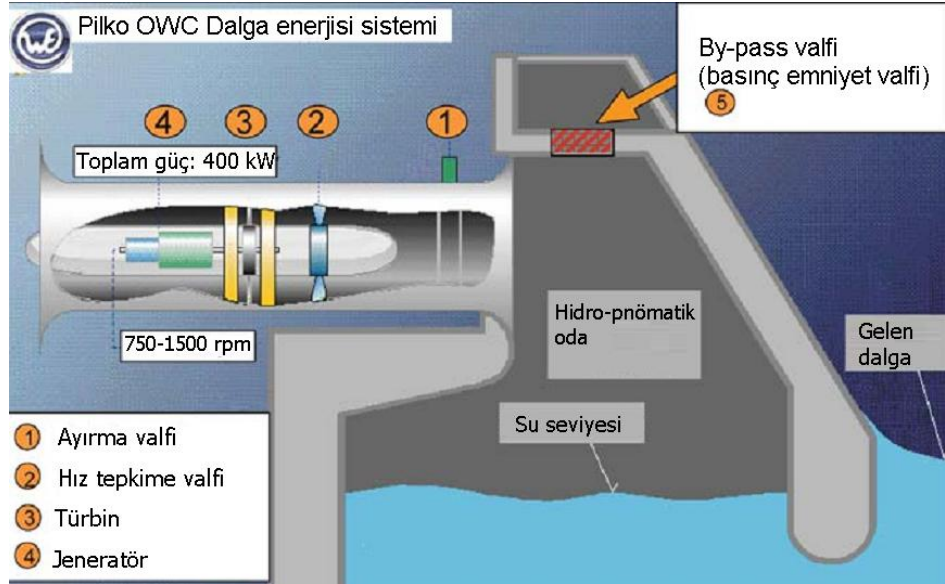


Şekil 2.56. LIMPET’in çalışması (Duckers, 2004)



Şekil 2.57. Eylül, 2000’de tamamlanan LIMPET uygulaması

Yakın kıyı ve kıyı tipi DEK uygulamalarında OSK tipi sistemlerin geliştirilmesinde geliştirilen ve pilot uygulamaları yapılan bir diğer DEK sistemide Arizona'da hayata geçirilen, GÇÜ olarak 2.3 m'lik Wells Türbin – jeneratör sistemi kullanılmış 400 kW'lık "Piko" sistemidir. Türbinlerine iki adet kılavuz sabit rotor eklenmiş bu tasarımda, sistem elektriği üretirken aynı zamanda güç elektroniği donanımından yararlanarak elektriğin doğrultması ve modülasyonu işlemlerini yapmaktadır. Bu tasarımda aynı zamanda Şekil 2.58.'de görüldüğü gibi türbin düzeneğine bir basınç emniyet valfi dâhil edilmiştir. Şekil 2.58.'de aynı zamanda hava odası ile hava kanalı arasında yer alan belt kapağı ayırma valfi ve hızlı tepkime valfi görülmektedir. Bu tasarım türbinin uzun süre düzensiz çalışması ve yüksek hızlara çıkarak beslediği elektrik ile sisteme zarar vermesine engel olması için kullanılmıştır.



Şekil 2.58. Wells türbin – jeneratör düzeneği kullanılarak inşa edilen 400 kW'lık Piko uygulaması (Cruz, 2008)

Bu tasarımda sisteme dâhil edilen sensör donanımı ile sistem üzerinde şu verilerin izlenmesi sağlanmıştır.

1. Dönme hızı
2. Hava basıncı ve osilasyon ile yükselen su seviyesi
3. Sistemin içine ve dışına doğru meydana gelen hava akışı ile rotor üzerinde oluşan iki yönlü basınç etkisinin hızlı bir şekilde ölçülmesi

4. Üç ayrı noktadan alınan dinamik basınç değerlerinin ölçülüp ortalaması alınarak statik basıncın elde edilmesi
5. Turbo – jeneratör yataklarında meydana gelen titreşim miktarı ve yatakların yağ sıcaklığının ölçülmesi
6. Üç devre fazından her birinin voltaj ve ısı değerlerinin ölçülmesi
7. Yağlama akışı
8. Beslenen elektrik sistemine verilen aktif, reaktif ve toplam güç
9. Üretilen toplam enerji

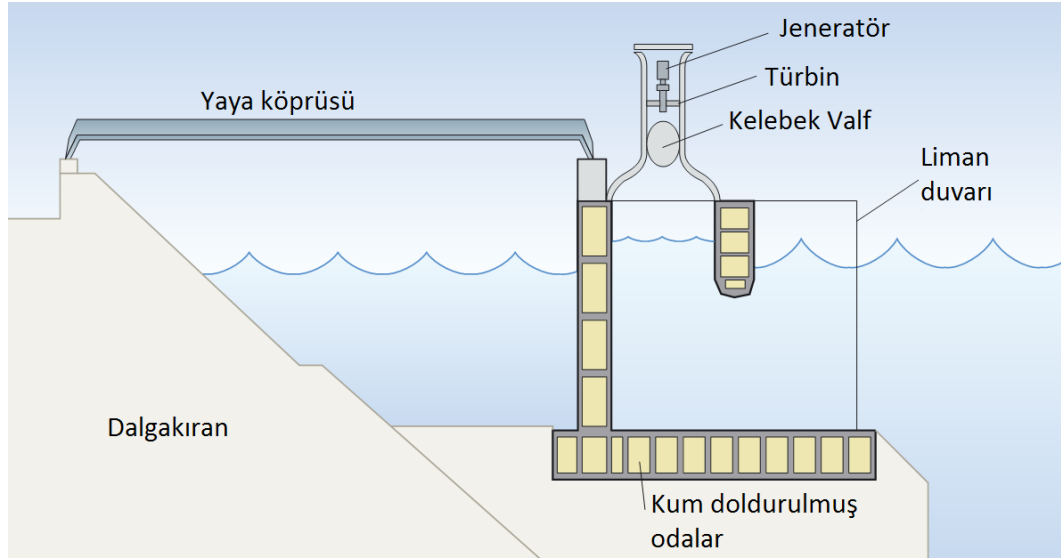
Sistemin uluslararası EDP (Electricidade de Portugal) ve yerel EDA (Electricidade dos Açores) projesinin inşasında Avrupa komisyonundan yararlanılmıştır. Piko DEK sisteminin arkadan görünüşü Şekil 2.59.'da görülmektedir.



Şekil 2.59. Piko DEK sisteminin arkadan görünüşü (Cruz, 2008)

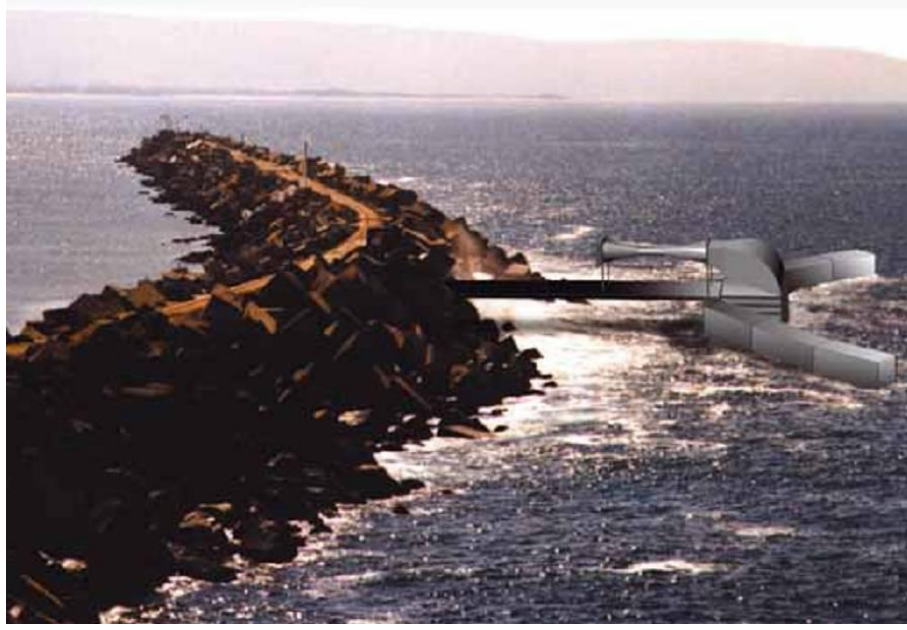
1991 yılında Trivandrum sahilinde denemeleri yapılan Hint dalgakıran OSK'da kıyı tipi DEK sistemleri arasındadır. Bu OSK sistemi bir dalgakıran içine kurulmuş ve 2 m çapında Wells türbinlerinden yararlanarak 150 kW'lık bir jeneratör sürülmüştür. Dalgakıran hem DEK sistemine kurulum alanı oluşturması açısından hem de kurulum maliyetlerini düşürmesi açısından kolaylık sağlamıştır (Şekil 2.60.). Bu şekilde, sistem

tarafından üretilen elektriğin maliyeti de düşmektedir. Sistemin mevsimlik periyotta olmak üzere, nisan-kasım ayları arasında 75 kW, aralık-mart ayları arasında 25 kW'lık ortama enerji üretimi yaptığı rapor edilmiştir (Duckers, 2004).



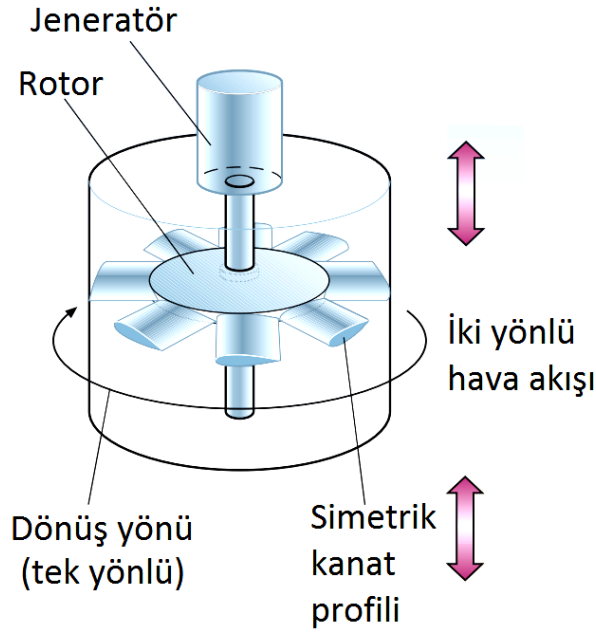
Şekil 2.60. Hint dalgakıran OSK (Duckers, 2004)

DEK kıyı uygulamalarına gösterilebilecek bir diğer örnekte Energetech Avustralya PTY tarafından geliştirilen yakın kıyı DEK konseptidir. Bu alternatif yakın kıyı uygulamasında değişken devirli bir türbinden yararlanılmıştır. Bununla beraber sistemin gövdesine eklenen parabolik duvarlar deniz ortamında dalga toplayıcı görevini üstlenmiştir. Bu tasarım bir liman ya da kaya yapısından yararlanılarak kıydan uzağa nispeten daha derin sularda kullanılmıştır. Gövdeye gelen dalga yan duvarların parabolik şeklinden dolayı ana yapıya gelene kadar üç katı kadar yükselerek ve 8 – 10 m'lik yüksekliklere ulaşabilmektedir. Prototip Şekil 2.61.'de görülmektedir. 500 kW'lık bir tasarım Port Kembla, New South Wales'te hayata geçirilmiştir. Geliştiricilerin ve bölgesel enerji üreticisi Integral Energy'nin ortak girişimi ile yılda 1 GWh'dan fazla enerji kazanımı umulmaktadır. Prototipi üretim maliyeti 2 p/kWh civarında olması beklenmektedir (Caddet, 2000).



Şekil 2.61. Energetech Avusturalya PTY Dalgı Enerjisi Konvertörü (Cruz, 2008)

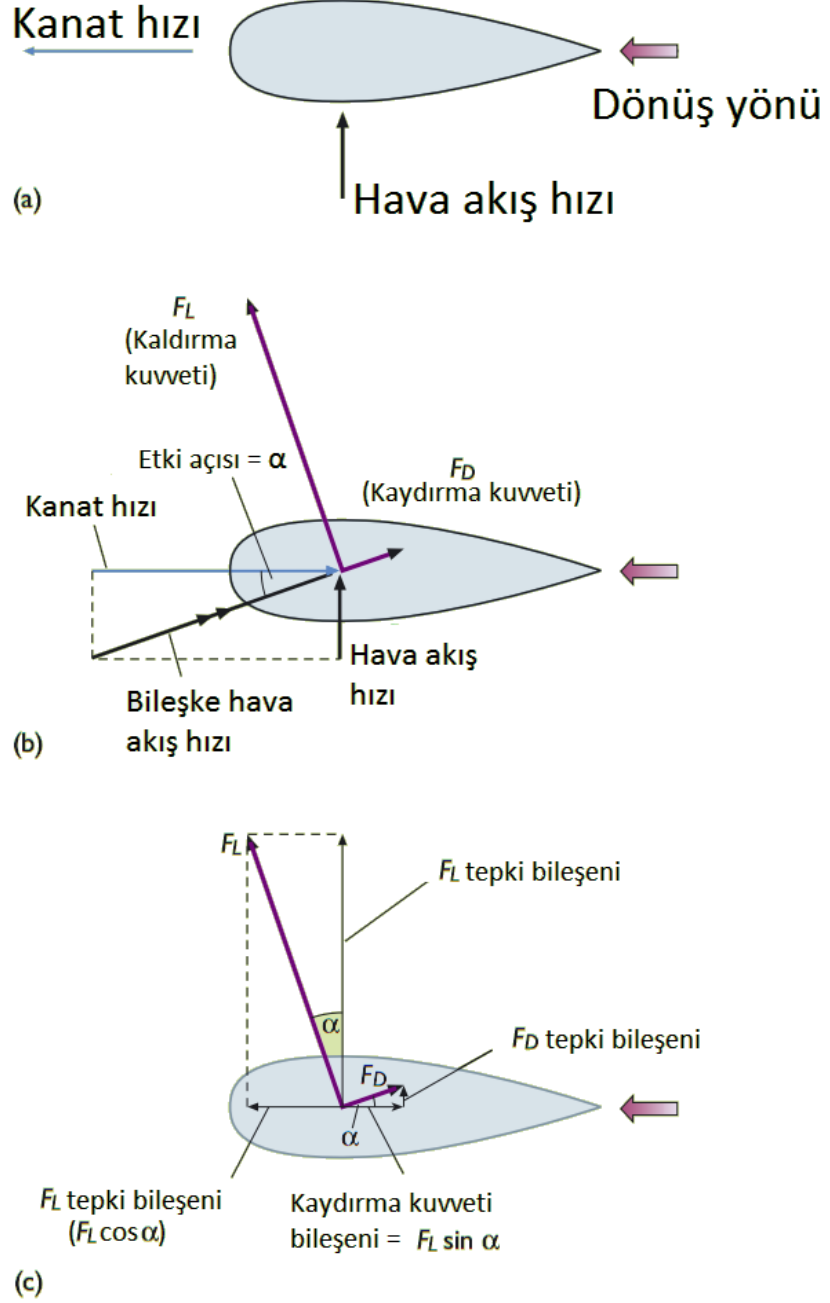
Kıyı uygulamalarının maliyeti ve tasarım kolaylığı açısından diğery tiplere göre artıları olsa da zayıf güç seviyeli dalgalar ile çalışması ve aşırı gürültülü sistemler olmasından dolayı cazipliğini yitirmektedir. Deniz tabanına sabitlenmiş ya da sahile konumlanmış bu DEK sistemlerinin yinede birçok uygulaması mevcuttur. Bu tip dek sistemleri sahile daha yakın oldukları için sığ sularda çalışmakta ve daha az enerji taşıyan dalga rejimlerinde çalışmaları gerekmektedir. Bununla beraber gelecekte içinde bu tip birçok DEK sistemi barındıran dalga çiftliklerinin kurulması düşünülmektedir. En öne çıkan sabit sistem DEK tipi OSK daha önce tartışılmıştır. Birçok OSK sisteminde Wells Türbinlerin kullanılması tercih edilmiştir. Bu türbin tipi aksel hava akış kanalından geçen havanın yönüne bakılmaksızın her daim aynı yönde dönmesinden dolayı tercih edilmektedir (Şekil 2.62.).



Şekil 2.62. Wells türbinin çift yönlü çalışması

Wells türbinleri, Profesör Alan Wells tarafından her iki yönde aksel hava akışını kabul edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Temelde türbinin böyle çalışabilmesi için kanatların dönme düzlemine göre simetrik, sıfır yalpa açısına sahip olmalıdır. Wells Türbinin ileri doğru çalıştığı durumda hava akışı ile türbin arasında oluşan açı farkında dolayı bir F_L kaldırma kuvveti meydana gelir. Bu kuvvet türbini ileri harekete zorlar. Bu çalışma şekli yatay-eksenel rüzgâr türbinlerinki ile oldukça benzerlik gösterir. Yukarı yönde çalışan türbin kanatçığının şematik resmi Şekil 2.63a.'da görülmektedir. Kanatçığa dönme eksenine göre referans düzlemden bakmamız durumunda, kanatçığın yön vektörünün hızı vektörüne ters olmasına bağlı olarak, kanatçık hareket etse bile sabit olarak görünür (Şekil 2.63b). Bu vektörlerin çözülmesi durumunda Şekil 2.63c. elde edilmektedir. Şekil 2.63c.'de gösterildiği gibi $F_L \sin \alpha - F_D \cos \alpha > 0$ olması durumunda kanat referans eksenine göre, kanadı dönmeye zorlayan ileri itici kuvveti net olarak görebiliriz. Reaksiyon elemanları için çok önemli olmasa da türbin yataklarının bu açılısal kuvvetlere dayanabilmesi gerekmektedir. İleri itici kuvvetin sıfırdan büyük olması durumunda bu kuvvet türbine harekete geçirilerek hava akışından elektrik üretilmiş olacaktır. Türbin hareketinde kanatçık tasarımı büyük önem taşımaktadır. Tasarımın şekline bağlı olarak Şekil 2.63.'de görülmeyen önemli bir faktörde itici

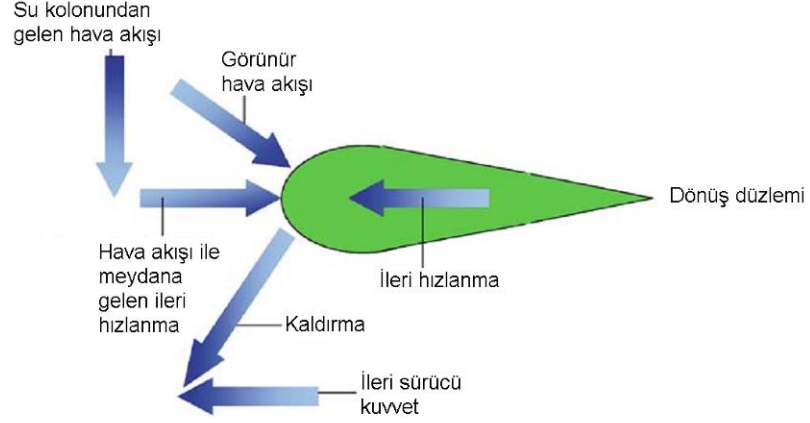
kuvvetin etkisi ile türbin yataklarında meydana gelen aksenal C_L ve C_D kaldırma ve kayma kuvvetleri meydana gelmektedir.



Şekil 2.63. Wells Türbinin çalışması (Duckers, 2004)

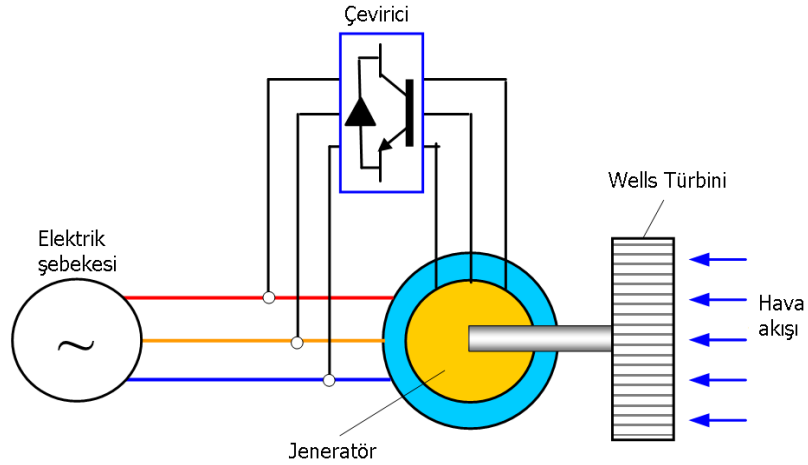
Şekil 2.63.'de, a) Hava Akışı ve Kanat Hızı b) Hava akış hızının Kaydırma ve Kaldırma Kuvveti Bileşkeleri c) Kanat Düzlemine Etki Eden Açısal Kuvvetleri

göstermektedir. Wells türbinini çalışması esnasında türbin kanatları üzerinde meydana gelen çok yönlü kuvvetlerin tümü Şekil 2.64.'de görülmektedir.



Şekil 2.64. Wells Türbinine etki eden çok yönlü kuvvetler

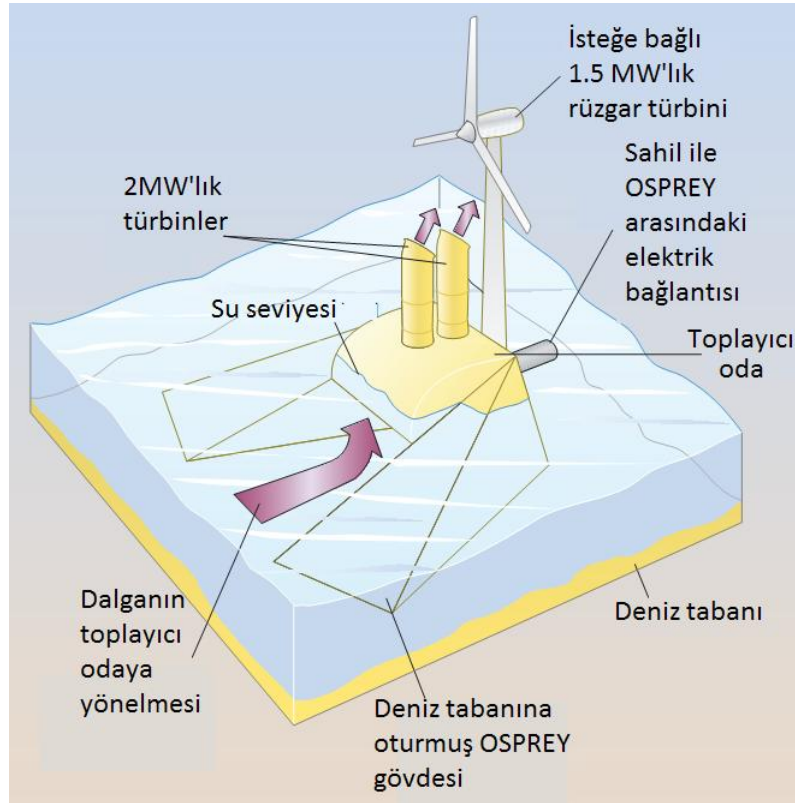
Well Türbinleri daha çok kıyıya yakın ya da monteli tip (OSK gibi) DEK sistemlerinde kullanılmaktadır. Maliyeti daha düşük ve inşa süresi daha kısa olan bu DEK sistemlerinin günümüze değin birçok uygulaması yapılmış ve faaliyete geçirilmiştir. Bu tasarım kullanılarak doğrudan ya da dolaylı olarak şehir şebekesini besleyen kıyı tipi DEK uygulamaları yapılmıştır. Şekil 2.65.'de Well Türbin kullanılan bir DEK sisteminin şehir şebekesi ile bütünleşik hali şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 65. Wells türbinleri kullanarak elektrik şebekesinin beslenmesi

2.2.2. Yakın Kıyı (Nearshore) DEK Uygulamaları

Daha önce avantaj ve dezavantajlarından bahsedilen yakın kıyı DEK'ler, 20 metreden derin olmayan sularda kıydan uzakta konumlanacak şekilde geliştirilen sistemlerdir (Thorp, 1995). Bu tip sistemlere en iyi örneklerden biri İskoç şirketi Wavegen tarafından geliştirilen OSPREY 1 (Ocean Swell Powered Renewable Energy) DEK modelidir. Çelik bir konstrüksiyona sahip tasarım ilk kez 1995 yılında denize indirilmiş ancak istikrarlı olmamasından dolayı Hurricane Felix tarafından uygulamadan kaldırılmıştır (Duckers, 2004). Daha sonra firma 2000 yılında tasarımın ikinci bir versiyonunu İrlanda sahilleri için tasarlamış ve bu tasarıma OSPREY 2000 adı verilmiştir. Bu yeni model çelik konstrüksiyonun deniz ortamına uygun olmamasından dolayı beton bir prototip olarak geliştirilmiştir (Şekil 2.66.). Ticari kullanım için hala araştırma ve geliştirme çalışmaları devam eden bu tasarımın üzerine yapılan çalışmalar özellikle inşa maliyetlerini azaltmaya yöneltilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tasarıma ek olarak 1.5 MW'lık rüzgâr türbini eklenebilmektedir.



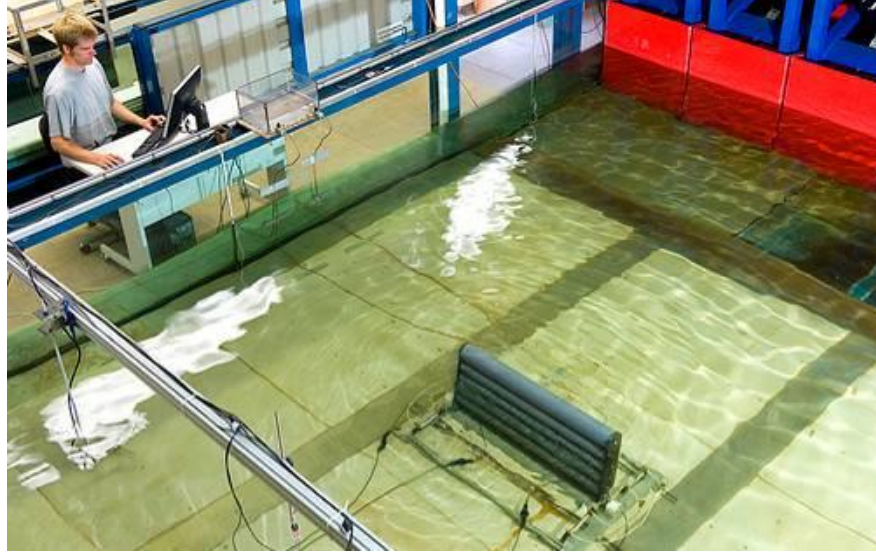
Şekil 2.66. OSPREY DEK modeli (Duckers, 2004)

Bir diğerk yakın kıyı tipi DEK uygulaması da ‘‘Oyster’’ tasarımıdır. Oyster, Aquamarine Power Limited ve Queen’s University Belfast işbirliğı ile 2005 geliştirilmiştir. Sahile yakın, 10 – 15 metrelik derinlerde konumlandırılan DEK sistemi dalgaların ileri-geri hareketi ile osilasyona girerek elektrik üretmektedir. Dalganın ileri-geri hareketini etkin bir şekilde kullanabilen Oyster tasarımı, topladığı mekanik enerjiyi deniz suyu pistonlarına aktarmaktadır. Oyster’in salınması ise deniz suyu ile dolan pistonlar, tek yönlü bir akış düzeneğı ile basınçlı deniz suyunu sahile aktarmaktadır. Deniz tabanına sabitlenmiş şase düzeneğıne menteşeli, yüzeyinden tabanına kadar uzanan yüzer osilatif kolanlarının dalgada salınımı ile osilasyona giren Oyster tasarımında dâhili bir jeneratör düzeneğıne yer verilmemiştir. Şekil 2.67.’de gösterildiğı gibi elde edilen hidrolik basınç gücünün elektriğe dönüştürülmesi sahile konumlandırılmış Penton türbini (Collier ve ark., 2009; Gilkes, 2003) ve jeneratör düzeneğı ile yapılmaktadır (Collier ve ark., 2009; George, 2008; Folley, 2008).



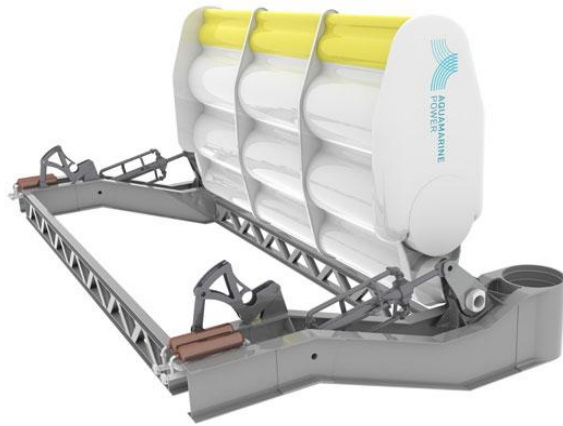
Şekil 2.67. Oyster dalga enerjisi konvertörü ve yapısı ve çalışması (Folley, 2008)

İki yıllık çalışmadan sonra tank testleri tamamlanan DEK tasarımı ilk geçerli sayılabilecek konsepti Nigg – Isleburn tershanesinde 2008 yılında üretmiştir. ‘‘Oyster 1’’ olarak isimlendirilen bu tasarım bir kilometre taşı olarak kabul edilmiş ve 2009 ağustosunda Orkney kıyılarında yer alan Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi’nde (EMEC - European Marine Energy Centre) başarı ile kurulmuştur. Bu tasarım ilk kez 2009’un ekim ayında şehir elektrikliğine destek sağlamaya başlamıştır.

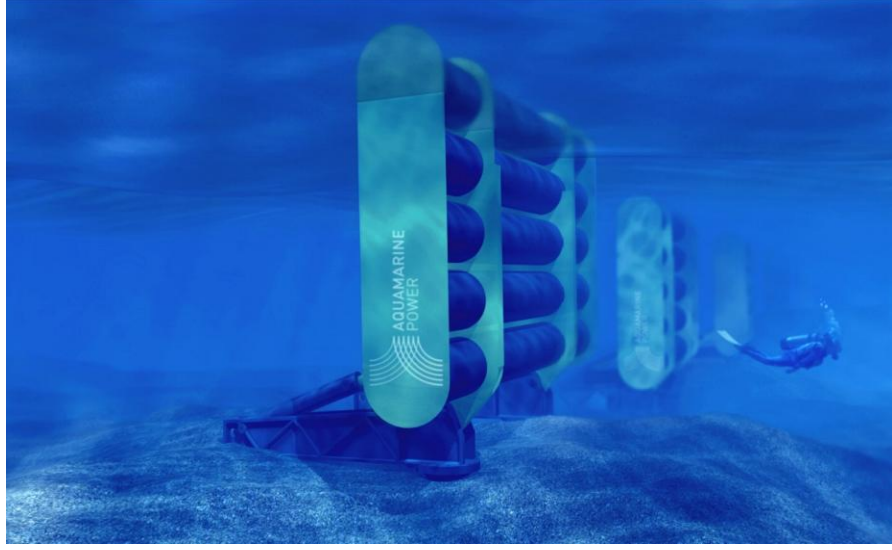


Şekil 2.68. Oyster'in Queen's üniversitesinde yapılan havuz testleri (<http://www.flickr.com/>)

Oyster'in geliştiricileri kurulumu yapılan birinci nesil oyster tasarımından elde edilen araştırma ve geliştirme çalışmalarının ışığında "Oyster 2" olarak isimlendirilen ikinci prototipin tasarımlarına başlamıştır. Tasarımda, 2011 yılında tam kapasitesi 2 MW'lık kurulum yapılması amaçlanmaktadır. Yeni tasarımın kurulumunda önceki konseptte olduğu gibi EMEC'e yapılması planlanmaktadır. Şekil 2.68.'de Queen's Üniversitesinde yapılan bir havuz testi görülmektedir. Şekil 2.69'da "Oyster 1" tasarımının tamamlanmış hali, Şekil 2.70. ve Şekil 2.71.'de deniz ortamında ki uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2.69. Oyster 1 DEK uygulaması (<http://www.offshore.no/>, 2011)



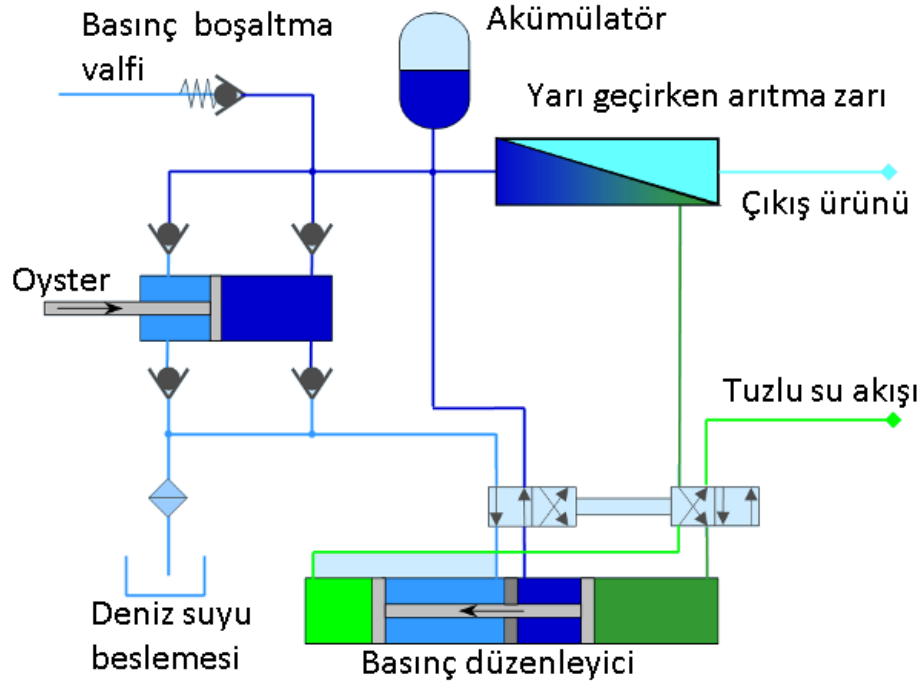
Şekil 2.70. Oyster 1 tasarımının su altından görünüşü (<http://i.zdnet.com/bloks/imagesource129146enjpg.jpeg>, 2011)



Şekil 2.71. Oyster 1 tasarımının EMEC'teki uygulaması - Su yüzeyinden görünüşü (Coastlines, 2010)

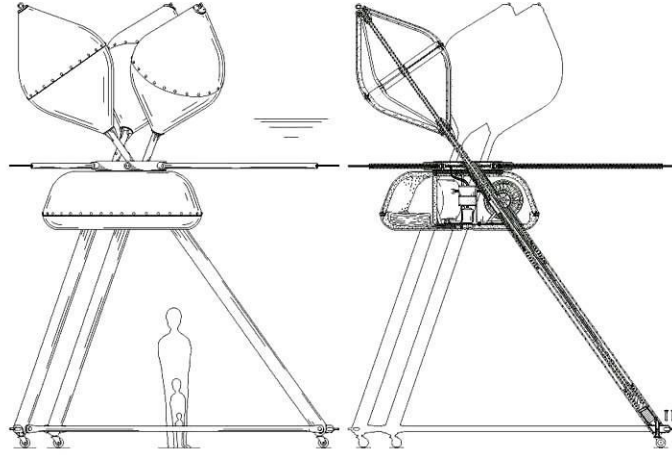
Şekil 2.72.'de çalışmaları Queen's üniversitesi dalga enerjisi araştırma grubu tarafından yapılan yeni bir Oyster tasarımı gösterilmektedir. Bu yeni tasarımda Oyster'in temiz su arıtma sistemi olarak çalıştırılması amaçlanmaktadır. Yeni tasarımda eskisinde olduğu gibi Oyster'den gelen dalga gücü deniz suyunu sisteme pompalanmak için kullanılmaktadır. Basınçlı deniz suyu doğrultucu bir valf düzeneğinden geçerek membran yarı geçirgen arıtma bölümüne aktarılmaktadır. Basınç altında yarı geçirgen zardan geçirilen su, % 80 oranında filtrelenmekte ve çıkış ürünü olarak dışarı

verilmektedir. Sistemde aynı zamanda bir akümülatör, basınç alıcı valf ve basınç düzenleyici vardır. Basınç alıcı valf sistemde meydana gelecek fazla basıncı dışarı atarken, akümülatör elemanı akış kalitesini arttırmaktadır. Sistemdeki diğer basınç düzenleyici eleman basınç düzenleyici pistondur. Bu eleman akümülatörden farklı olarak membran bölümünün optimum çalışmasını sağlayacak şekilde sistem basıncını değiştirmektedir.

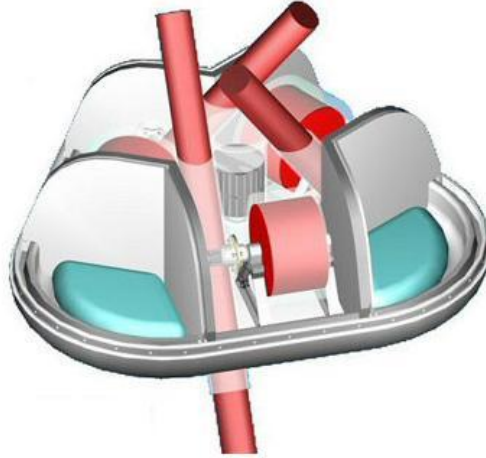


Şekil 2.72. Oyster DEK temiz su arıtma sistemi uygulaması (Folley, 2008)

Yakın kıyı DEK uygulamalarına gösterilebilecek diğer bir örnekte OWECO (Ocean Wave Energy Company) tarafından 2008 yılında patenti alınan OWEC tasarımıdır. Bu tasarımda, birbirine özel bir açı ile konumlandırılmış, bağımsız hareket eden 3 adet yüzer dubanın, dalganın yukarı-aşağı hareketi ile osilasyona girmesi sonucu elektrik üretmektedir (Şekil 2.73.). Yüzer dubalar, tripod benzeri bir şase ile deniz tabanına oturmuş bir ortak gövdeye bağlanmıştır. Patenti alınan gövde tasarımı Şekil 2.74'te gösterilmektedir.

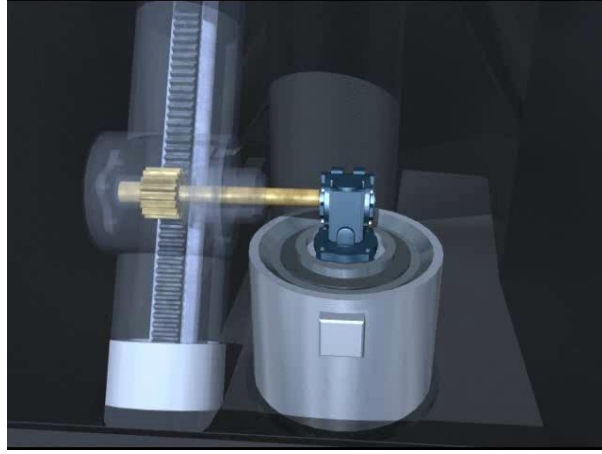


Şekil 2.73. OWEC tasarımı kesit resmi (<http://www.owec.com/>, 2010)



Şekil 2.74. OWEC gövde tasarımı (<http://www.owec.com/>, 2010)

Tasarımda güç dönüşümü için yine firma adına lisanslanmış özel bir direct-drive ünitesi kullanılmıştır. Dubaların bağlandıkları ortak gövde içine yerleştirilen GÇÜ doğrudan dubalara bağlanmıştır. Böylelikle dalganın hareketi ile salınan dubaların doğrudan GÇÜ'ne etki etmesi sağlanmaktadır (Şekil 2.75.).



Şekil 2.75. OWEC GÇÜ (<http://www.owec.com/>, 2010)

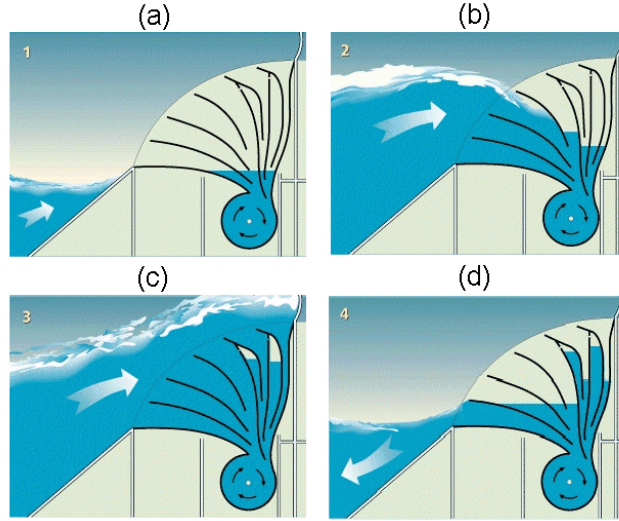
Daha çok dalga çiftliği olarak tasarlanan bu prototipte çok sayıda modülün yan yana getirilmesi ile enerji kazanımının artırılması amaçlanmıştır. OWEC için hazırlanmış bir dalga çiftliği uygulamasının bilgisayar simülasyonundan alınan bir görüntü Şekil 2.76.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.76. OWEC'in dalga çiftliği uygulaması (<http://www.owec.com/>, 2010)

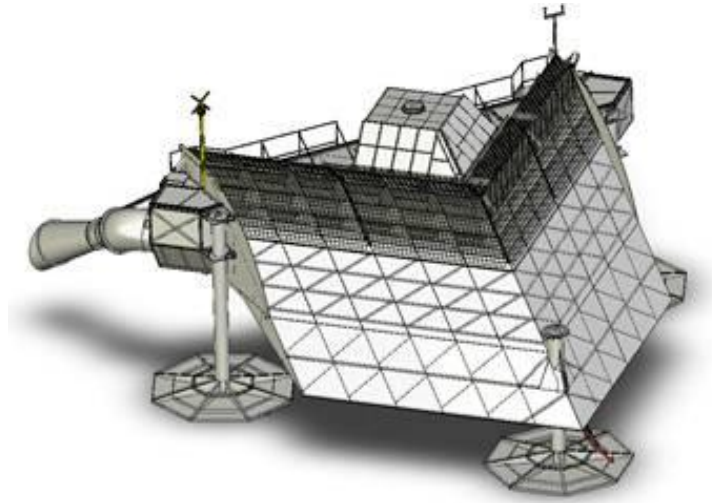
İncelenen kıyı tipi DEK uygulamalarından bir diğeri de WavePlane'dir. V şeklinde tasarlanmış bir gövdeye sahip tasarımda, gelen dalganın gövdenin üzerinden yükselerek gövdenin arkasında yer alan türbine ulaşması amaçlanmıştır. Yapay bir kıyı şeklinde tasarlanan WavePlane, bu gövde şeklinin yardımı ile gelen dalgadan verimli bir şekilde yararlanabilmektedir. Gövdenin üst bölümünde yer alan çok kanallı yapı

sayesinde gelen dalganın etkisi ile yükselken, kanallardan geçerek türbine aktarılmaktadır (Şekil 2.77.). Türbinlere ulaşan su, kazandığı kinetik enerji ile türbinleri döndürmekte ve böylelikle elektrik üretimi sağlanmaktadır.

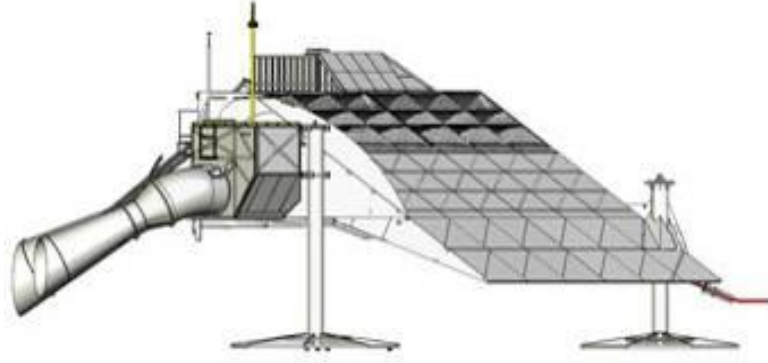


Şekil 2.77. WavePlain DEK sisteminin çalışması

Şekil 2.78. ve Şekil 2.79.'da WavePlain'in yapay kıyı şeklindeki gövdesinin ön ve yan tasarımı görülmektedir.



Şekil 2.78. WavePlain DEK uygulaması üç boyutlu modeli – ön görünüş



Şekil 2.79. WavePlain DEK uygulaması üç boyutlu modeli – yan görünüş

Tasarımcı Erik Skaarup'un yorumuna göre, yüksek verimli olabilmesi, basit bir tasarımı olması ve türbin düzeneği dışında hareketli parçaya içermemesinden dolayı WavePlane, mevcut DEK uygulamalarına alternatif olabilmektedir. 1990 yılında patenti alınmasına karşın henüz tasarım safhasında olan WavePlain'in ilk prototipi 2008 yılında üretilmiştir. Üretilen prototip Şekil 2.80. ve Şekil 2.81.'de gösterilmektedir. Şekil 2.80.'de gövdenin kanatlı yapısı daha net görülebilmektedir.

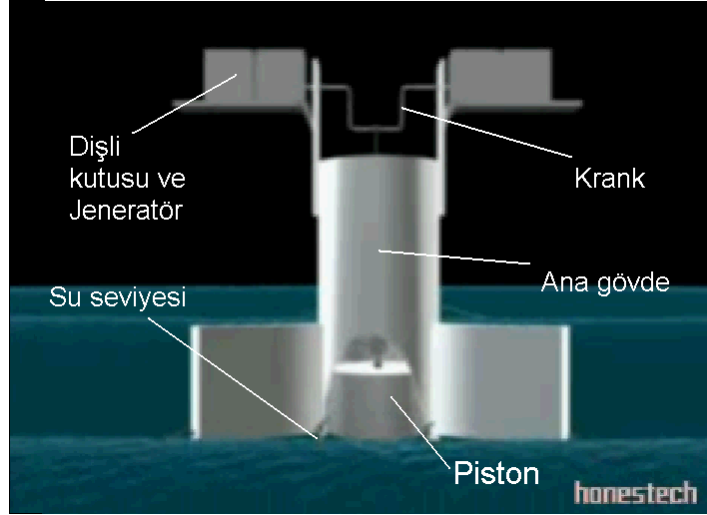


Şekil 2.80. WavePlain prototipi – arkadan görünüş



Şekil 2.81. WavePlain prototipi denize indirilmiş hali

Yakın kıyı tipi DEK uygulamalarından bir diğeri de Iwave'dir (Indian Wave Energy Device – Hint Dalga Enerjisi Konvertörü). Düşük maliyet ile imal edilerek, ucuz enerjinin başarılı bir biçimde üretimi amaçlayan bu tasarımda, diğer DEK sistemlerinin farklı olarak DEK gövdesinin büyük bölümü suyun üzerindedir. Şekil 2.82.'de gösterildiği gibi Iwave'nin ana gövdesi sadece alt kısmı denize temas edecek şekilde tasarlanmıştır. Temelde dalganın yukarı – aşağı hareketinden elektrik üreten Iwave DEK sisteminin çalışması en basit hali ile piston – biyel mekanizması gibidir. Tasarımda dalga ile etkileşime giren eleman suda batmayan bir pistondur. Gövdenin alt kısmına, dalga ile etkileşime girecek şekilde konumlandırılan piston, dalganın etkisi ile yukarı – aşağı hareket etmektedir. Piston ile beraber çalışan biyel kolu bağlı olduğu ana mil (krank mili) yardımı ile pistonun doğrusal hareketini, dairesel harekete çevirmektedir. Bu dairesel hareket elektrik üretimine kullanılmaktadır (Şekil 2.82.). Gövdenin sabit kalmasını sağlamak için gövdeden deniz tabanına kadar uzanan kazıklardan yararlanılmıştır.



Şekil 2.82. Iwave'nin çalışması

2.2.3. Açık Deniz Tipi DEK Uygulamaları

40 metreden daha derin sularda çalışan DEK tipleridir. Derin sularda güçlü dalga rejimleri ile çalışabilecek şekilde bu sistemlerde daha güçlü sönümlenme mekanizmalarına gerek duyulmaktadır. Dalga enerjisinden yararlanabilmesi için yüzer biçimde yâda yüze yakın konumlandırılması gereken bu sistemler genellikle bir şamandıra düzeneği ve iletim kabloları içermektedir.

Her birinin artı ve eksileri olan birçok açık deniz DEK modeli geliştirilmiştir. Bu açık deniz uygulamalarına McCabe Wave pompası (McCabe, 1980), Pelamis (Thorp, 1995), Duck (Dounreay, 1992), Hexa (Cockerell, 1980), PS Frog (Bracewell, 1990) ve bu tezde temel alınan Frog 1 Form 2 (Bracewell, 1990) modeli örnek gösterilebilir. Tez çalışması PAWEC sınıfı sistemlerin çalıştığı açık deniz uygulamaları olduğundan, açık deniz uygulaması tipindeki sistemler bir sonraki bölümde daha detaylı olarak ele alınmaktadır.

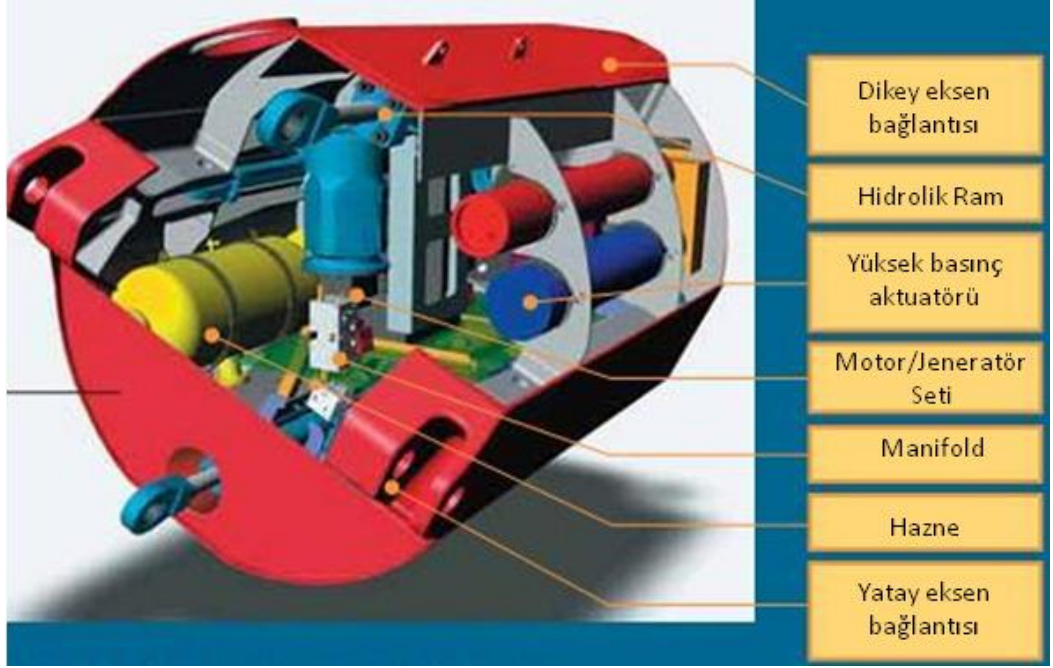
Açık deniz kıyı DEK uygulamalarına gösterilebilecek en belirgin örneklerden biri Pelamis sistemidir. Pelamis, dalga enerjisi dönüştürücüleri arasında bir benzeri olmayan bir modeldir. Pelamis adlı bir firmanın ürettiği 50 metreden az derinlikteki sularda çalışmak üzere tasarlanan bu model P-750 olarak adlandırılmıştır (Thorp, 1995). 150 m. uzunluğunda ve 3,5 m. çapındaki Pelamis'te birbirine bağlı dört tüp ve bu tüplerin bağlantılarını sağlayan üç ara modül yer almaktadır. Tasarımda tüp ve ara modüller birbirlerine menteşe mekanizması ile bağlanmıştır. Böylelikle dalganın etkisi

ile tp ve ana modüller aralarında açısal hareket yapabilmektedir. Tüpler gelen dalganın etkisi ile hareket etmekte ve bu hareket mentee mekanizmasını yanına yerleştirilen basıncılı yağ ile dolu pistonlar üzerinde kuvvet ihtiva etmektedir. Pistonlar üzerinde biriken kuvvet modüllerin içine yerleştirilen hidrolik bir devreye aktarılmaktadır. Hidrolik devrede yüksek basıncılı yağ pompalarına bağlı olan pistonlar, yağ basıncı etkisi ile pompaları ve dolayısı ile pompaların bağlı olduğu jeneratörleri alıtırmaktadır.

Sistemde kullanılan ikinci ana tüpün montajdan önceki hali Şekil 2.83.'de gösterilmektedir. Pelamis tasarımında ara modüller aynı zamanda sistemin G olarak çalışmaktadırlar. Şekil 2.84'de Pelamis ara modüllerinden biri modül üzerinde yer alan G elemanları ile birlikte gösterilmektedir.

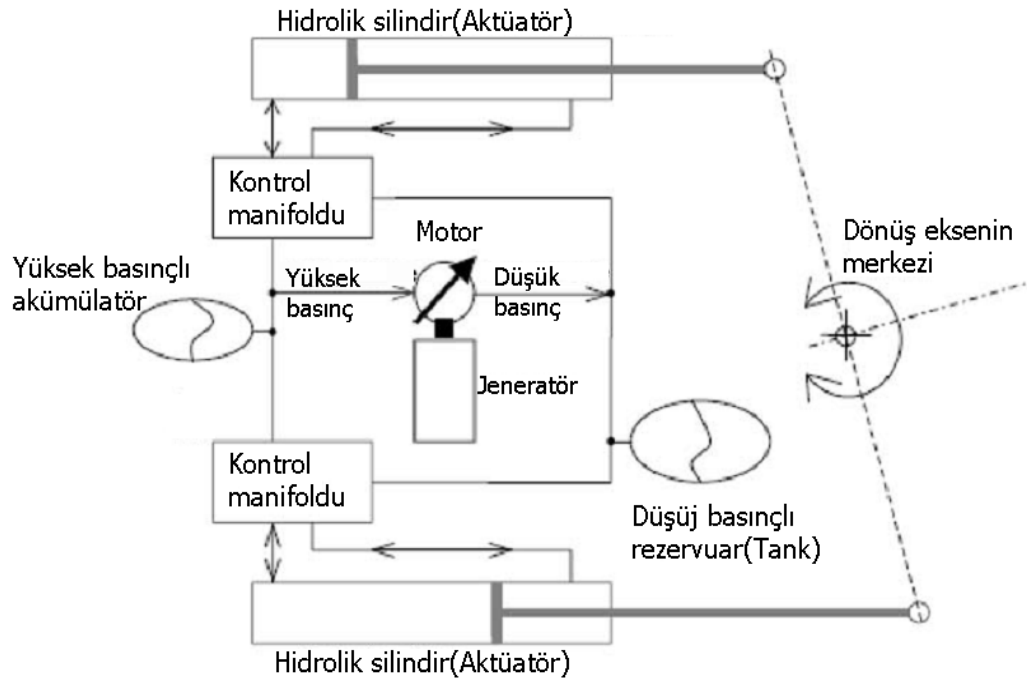


Şekil 2.83. Pelamis 2 numaralı ana gövdesinin montajdan önceki görünümü



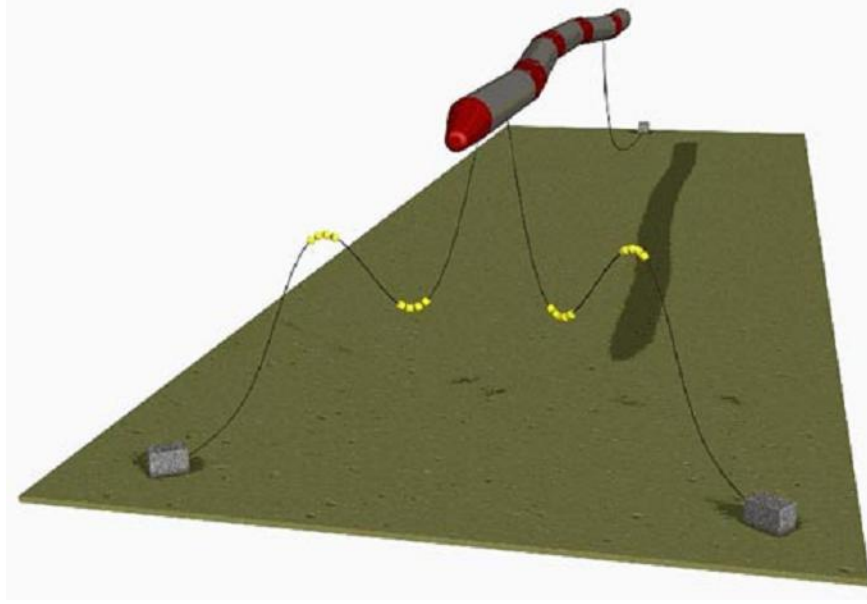
Şekil 2.84. Pelamis GÇÜ

Pelamis'te kullanılan GÇÜ'nin devre şeması Şekil 2.85.'de gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi hidrolik devre, hidrolik silindir, akümülatör, kontrol manifoldu, motor ve jeneratör elamanlarından oluşmaktadır. Devrede pistonların çift yönlü çalışmasından dolayı, sisteme çift yönlü basınçlı akışkan girişi olmaktadır. Motoru çalıştırmak için uygun olmayan çift yönlü akış kontrol manifoldunda tek yönlü akışa çevrilmekte ve buradan da motor- jeneratör düzeneğine gönderilmektedir.



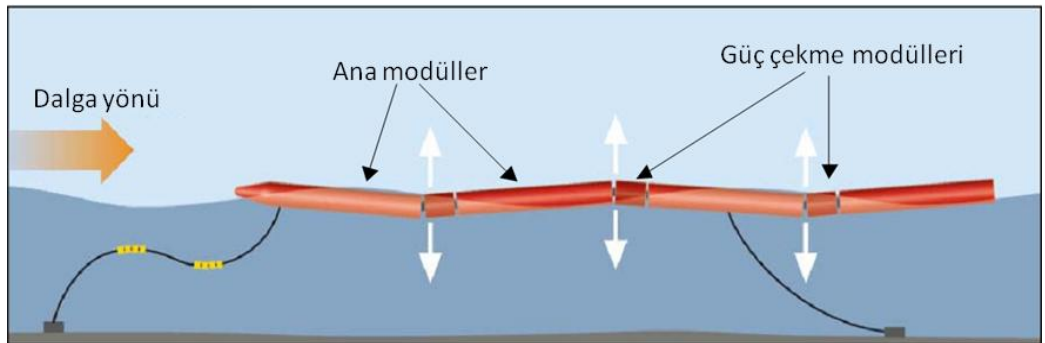
Şekil 2.85. Pelamis güç çekme ünitesi devre şeması

Okyanus üzerindeki büyük bir yılanı andıran Pelamis sistemi bir zincir ve ağırlık düzeneği ile deniz tabanına bağlanmaktadır (Şekil 2.86.) Kullanılan bu zincir düzeneği Pelamis'in konumunu korumasını sağlarken modelin hareket esnekliğini azaltmaktadır. Bu sayede sistemin başboş hareketi önlenerek verim artırılabilir. P-750 DEK tasarımının tam ölçekli bir prototipi 750 kW güç üretebilmektedir. Pelamis tasarımında her modülü tam bir elektro-hidrolik enerji üretim sistemi gibi çalışmaktadır. (Vining, 2005).

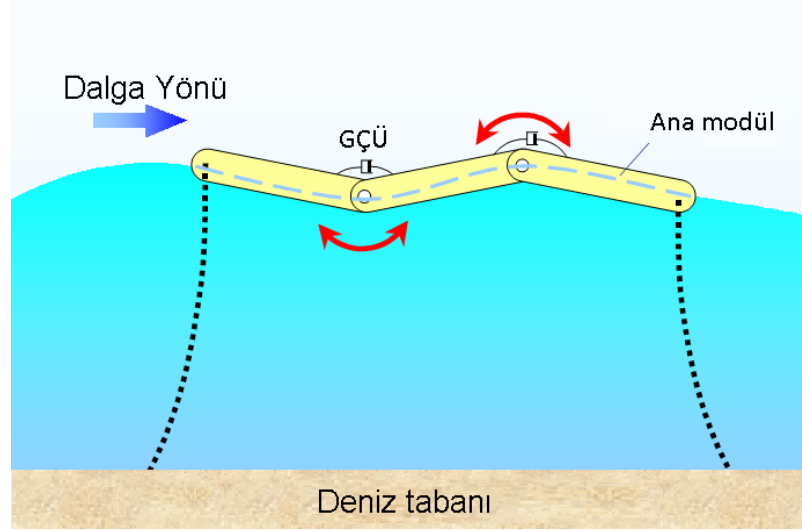


Şekil 2.86. Pelamis sistemi deniz tabanına sabitlenmesi

Bir yılını andıran tasarımı nedeni ile deniz dalgaları ile daha uyumlu çalışabilen Pelamis sistemi şimdiye kadar yapılmış en verimli DEK uygulamasıdır (Thorp, 1999). Ana modül ve güç çekme modülünden (ara modül) meydana gelen bu sistemde güç çekme modülleri, ana modüller arasına yerleştirilmektedir. Dalganın gövde üzerinde oluşturduğu dönme (yalpa) etkisi ile eklem yerlerinden bükülmeye zorlanan gövde, özel menteşeli tasarımı nedeni ile farkı aksenal bükme kuvvetlerine cevap verebilmektedir. 2.87. ve Şekil 2.88.'de dalganın sisteme etkisi ve bu etki ile gövdeler arasında oluşan aksenal bükülme gösterilmektedir. Son olarak Şekil 2.89.'da Portekiz sahiline indirilen PA1 isimli Pelamis modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.87. Pelamis'in okyanus yüzeyindeki hareketi – ana modüllerin yukarı aşağı salınımı



Şekil 2.88. Dalganın döndürme etkisinde Pelamis'in çalışması



Şekil 2.89. PA1 isimli Portekiz kıyı şeridinde indirilen Pelamis modeli

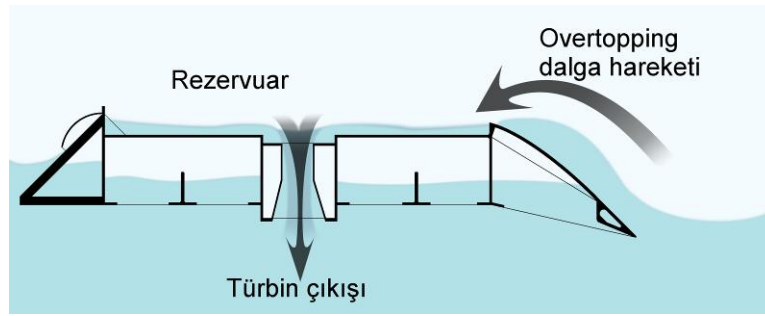
Açık deniz DEK sistemlerine gösterilebilecek bir diğer örnekte Wave Dragon'dur. Wave Dragon Danimarka'da Löwenmark şirketinden Mühendis Erik Friis-Madsen tarafından tasarlanıp geliştirilen ve patenti alınan açık deniz dalga enerjisi dönüştürücüsüdür. Wave Dragon bir çeşit rezarvuvar düzeneği ile dalga yakalayan ve overtopping olarak tanımlanan DEK uygulamalarıdır. Tam ölçekli tasarlanan bu düzenek uygun dalga şartlarında 4 – 11 MW'lık enerji üretimi yapacak şekilde tasarlanmıştır.

The Wave Dragon Nissum Bredning olarak tanımlanan bir prototip 1:4.5 ölçekle 20 kW'lık enerji üretimi için Mayıs 2003'ten Ocak 2005'e kadar 20 aylık bir süre Danimarka'da test edilmiştir. Sistemin denemelerde çekilen bir resmi Şekil 2.90.'da gösterilmektedir (Thorp, 1999).



Şekil 2.90. The Wave Dragon Nissum Bredning

Enerji üretebilmesi için deniz seviyesinden yükseğe konumlanması gereken bu sistemin önüne overtopping dalga hareketine imkân verecek bir rampa düzeneği yerleştirilmiştir (Vining, 2005). Dalganın rampanın üzerine gelmesi ile gövdenin eğimli yapısı sayesinde su seviyesi gövdenin üzerine doğru yükselir (Overtopping). Rampanın üzerine çıkan su bir rezervuara aktarılır ve buradan bir türbinden geçirilir. Böylelikle enerji üretimi sağlanmaktadır (Şekil 2.91.). En basit hali ile suyun potansiyel enerjisinden yararlanan bu düzeneğe türbinleri korumak için bir filtre sistemi ilave edilmektedir.



Şekil 2.91. Overtopping düzeneği (Vining, 2005)

Sistemde aynı zamanda yüzer sistemin batma miktarının ayarlamak için bir pnömatik düzenek, jeneratörün devrini düzenlemek için türbine sabitlenmiş bir mıknatıs ve inventör düzeneği yer alır (Vining, 2005). Diğer açık deniz uygulamalarında olduğu

gibi Wave Dragon'da da üretilen enerjiyi aktarmak için iletim kablolarına gerek duyulur.

Sistemin kontrolü bir redresördü PLC ile yapılır. Bu sayede sistem dalga şartlarına göre farklı çalışma modlarına geçiş yapabilir. Bununla beraber PLC kontrolör yüzer sistemin stabilirligi, batma miktarı, otomatik kapanma, bekleme gibi işlevlerini yerine getirir.

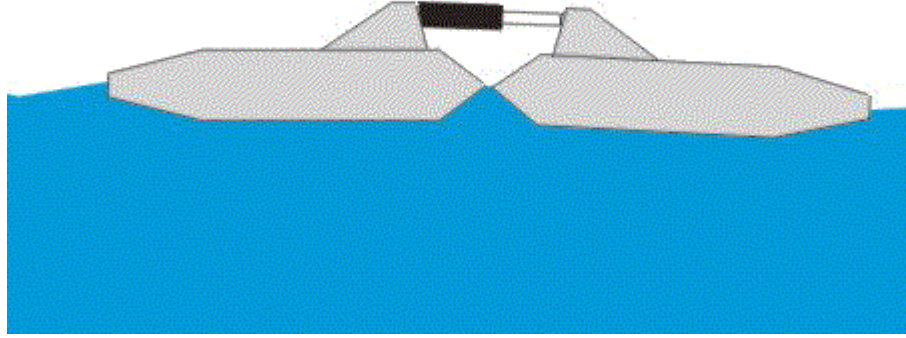
Açık deniz DEK uygulamalarından bir diğeri de DEXA DEK sistemidir. DEXA sisteminin tasarımında yüzey açı modülasyonu (plane angular modulation, PAM), temel alınmıştır. Çok basit yapısı ile güvenilir bir çalışma prensibine göre çalışan HEXA sistemi, birbiri ile menteşeli iki düzlemden ya da şamandıradan meydana gelmektedir. Sistemin çalışması dalgaların etkisi ile şamandıraların aralarındaki açı değişimini temel alır (Şekil 2.92.).



Şekil 2.92. DEXA sistemi

Sistem üzerindeki dalga kuvvetinin etkisi ile şamandıra eklem noktalarında gövdeyi bükülmeye zorlayan bir kuvvet oluşur. Bükülme kuvveti etkisi ile eklemlerle bütünleşmiş hidrolik yağı dolu silindirler içinde basınç meydana gelir. Bu basınçlı yağ bir hidrolik motora aktarılır. Hidrolik motordan elde edilen bu dönme hareketi bir jeneratöre aktarılarak enerji üretilmiş olur. Bu prensibin en önemli yararı düşük dalga yüksekliği durumlarından yüksek verim sağlayabilmesi ve yüksek, devasa dalgalarda daha düşük verim ile çalışarak sistemin kendini koruyabilmesidir. Diğer bir değişle sistem hem yüksek hemde düşük dalga seviyelerinde enerji üretebilmekte ve fırtınalardan zarar görmeden çıkabilmektedir. Gelgitlerden bağımsız olması, sistemin batmaya, fırtınalara ve korozyona karşı dayanıklı olması, kolay bakım yapılabilmesi,

kısa servis süresi ve düşük maliyet bu sistemin en ön plana çıkan özellikleridir (Şekil 2.93.).



Şekil 2.93. DEXA sisteminin temel çalışma prensibi

DEXA sisteminde enerji dönüşüm işlemi dalga enerjisinin hidrojene dönüştürülüp depolanması ve buradan kıyıya taşınması şeklinde gerçekleşir. İlk kez çelik konstrüksiyon olarak tasarlanan bu sistemden sonraki tasarımlarda düşük maliyetli güçlendirilmiş beton kullanılmaya başlanmış ve sistem büyük oranda ekonomikleştirilmiştir. Sistemde yapılan bu değişiklik kW başı maliyetin düşürülebileceğini ve bununla beraber 20 kat daha hızlı inşa yapılabileceği ortaya konmuştur.

Çelik ile tasarlanan sistemin ton başına maliyeti 3400 €/ton, beton ile tasarlanan sistemin ki ise 200 €/ton olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında üretilecek sistemde hem çeliğe hemde betona yer verilmesi planlanmaktadır.

HEXA konvertörü çalışma prensibi bakımından 1980 yılında ünlü mucit Sir Christopher Cockerell tarafından geliştirilen ekstraksiyon sistemi ilham alınarak geliştirilmiştir. Cockerell'in kurtaran botu iki tane birbirine menteşeli yüzer şamandıra düzeneği ve bu düzeneğe bağlı bir yay - hidrolik silindir sistemi içeren güç çekme ünitesinde meydana gelmektedir. Bununla beraber okyanus dalgalarında enerji çıkarmak için geliştirilen bu tasarım modeli hiç üretime geçirilememiştir. Cockerell botu üzerine yapılan analizler teknik sorunlar nedeni ile sistemin kısa ömürlü ve düşük verimli olduğunu göstermektedir. DEXA sistemlerde basitleştirilen ve yeniden şekillendirilen

Cockerell botu, yeni sistemde de temel teknolojisinde olduğu gibi bir çift yüzer şamandıra ve hidrolik sistem barındırmaktadır. Bu yolla HEXA sistemi çok az bakım gerektiren, düşük maliyetli uzun çalışma ömürlü haline kavuşulmuştur. Bu yeni DEK sistemi, modern alternatif materyaller ve teknik çözümler temel alınarak üretilmiş ve patenti alınmıştır.

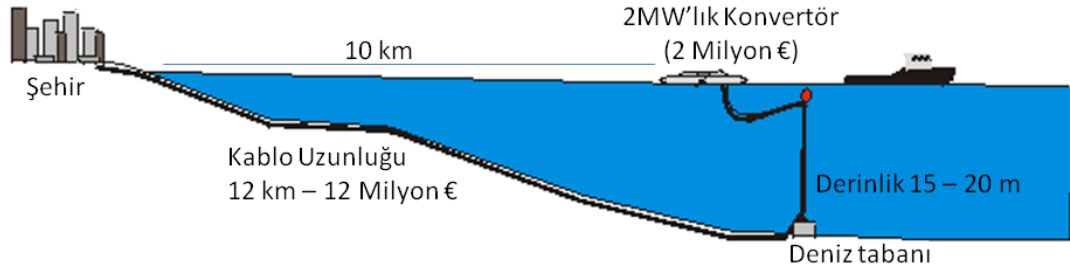
Sistemde kullanılan iki şamandıra düzeneğinin birbirine göre %40 -%50'lik açısal değişimi ile eklemlere yerleştirilen küçük ve yüksek basınçlı hidrolik silindirler üzerinde basınç etkisi oluşmaktadır. Dalga kuvveti ile elde basınç, hidrolik düzenek aracılığı ile bir hidrolik motoru çalıştırmakta buradan da yüksek hızlı dönme kuvveti elde edilmektedir. Hidrolik pistonu besleyen çift yönlü yağ basıncı tek yönlü valfler ile doğrultulmuştur ve böylelikle tek yönlü sürekli bir akış elde edilebilmiştir. Sistemde basınç aracılığı ile elde edilen dönme hareketi benzer DEK sistemlerinde olduğu gibi bir jeneratörü döndürmekte ve böylelikle elektrik üretimi sağlanmaktadır. Alışıla gelmiş DEK sistemlerinden üretilen enerji doğrudan kıyıya aktarılmaya çalışılmaktadır. Oysa HEXA sisteminde farklı bir yol izlenmiş ve üretilen enerji doğrudan hidrojen üretiminde kullanılmıştır. Hidrojen üretici sistem elektroliz temelli çalışmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı elektroliz işleminde kullanılan elektriğin kalitesinin daha az önem taşıyan bir faktör olmasıdır. Bu nedenle sistemde üretilen 400 V DC voltaj doğrudan elektroniz işleminde kullanılabilir. Bu voltaj değeri dalga periyodunun aşıldığı durumlarda değişim gösterebilmektedir fakat bu değişim (yükselme) hidrojen üretimini etkilememektedir. Sistemin düşük frekans değerlerinde stabil üretim yapabilmekte fakat daha az verim elde edilmektedir. Sistemin her bir şamandırası için sürücü piston üzerinde ölçülen basınç değeri 700 bar'dır. Bu kuvvet doğrudan hidrojeni üretmek ve stoklamak için kullanılmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarda sistem noktasal çalışmayan DEK sistemlerine göre dört kat, açık deniz rüzgâr çiftliklerine göre ise on kat daha verimli olduğunu ortaya göstermiştir (<http://www.dexawaveenergy.co.uk>). Çizelge 2.2'de farklı skalalı sistemler için elde edilen analiz verileri gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. DEXA DEK sistemi deneysel çalışması
(<http://www.dexawaveenergy.co.uk>, 2010)

	Panellerin Boyutları	Panellerin Ağırlığı	Kurulum Gücü	Tahmini Yıllık Üretimi
Sınıf 1	1x1x0.2 m	100 kg	220 W	330 kW hrs
Sınıf 2	2.2x2.2x0.45 m	1 Ton	2.2 kW	3.3 MW hrs
Sınıf 3	4.5x4.5x0.9 m	10 Ton	22 kW	33 MW hrs
Sınıf 4	10x10x2 m	100 Ton	220 kW	330 MW hrs
Sınıf 5	22x22x4.5 m	1000 Ton	2.2 MW	3300 MW hrs

DEK sistemlerinde üretimindeki en büyük ortak problemlerden biride deniz tabanına yerleştirilen kabloların maliyetidir. Birçok sahilde ortalama kıyıdan 5 – 15 km açıkta çok iyi dalga iklimleri elde edilebilmektedir. Bu bölgelere yerleştirilen sistemlerin kıyı ile iletişiminin sağlanabilmesi için deniz tabanına sabitlenen (ya da gömülen) kablolardan yararlanılması gerekmektedir. Kullanım ömrü açısından korozyon, çarpma yıkım etkileri gibi dış etkenlere maruz kalan bu kablolama sistemlerinin en az 30 – 35 yıl dayanabilmesi gerekmektedir. Açık deniz DEK sistemlerin toplam kurulum maliyetine en büyük etki kablolama maliyetleridir. Daha önce yapılan çalışmalarda km başına deniz tabanına döşenen kablo sisteminin maliyeti 1 milyon € olarak hesaplanmıştır. HEXA sisteminin deneysel çalışmasında kıyıdan 12 km açığa konumlanan 2 MW'lık bir tesisin kablolama maliyetinin tesisin maliyetinden 6 kat fazla olduğunu görülmüştür (Şekil 2.94.). Bununla beraber çalışmada ortak bir hidrolik dönüştürme ünitesinden yararlanan ve sahilden 12 km uzakta konumlandırılmak istenen DEK çiftliğinin toplam maliyeti 32 milyon € olarak hesaplanırken bu çiftliğinin toplam kablolama maliyeti 48 milyon € olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.94. DEXA Sisteminin açık deniz uygulaması

Geliştirilen alışagelmış DEK sistemlerinde üretilen enerji regüle edilip kablolama sistemi aracılığı sahile aktaracak şekilde tasarlanmıştır. Bu iletim sisteminin maliyeti dışında diğer bir olumsuz tarafı kablo direncinden kaynaklanan büyük enerji kayıplarıdır. Öyle ki sistemde üretilen enerjinin %15 - %30 kadarı direnç etkisi ile kaybolmaktadır. Buda HEXA sistemin ön plana çıkmasının diğer nedenlerinden biridir.

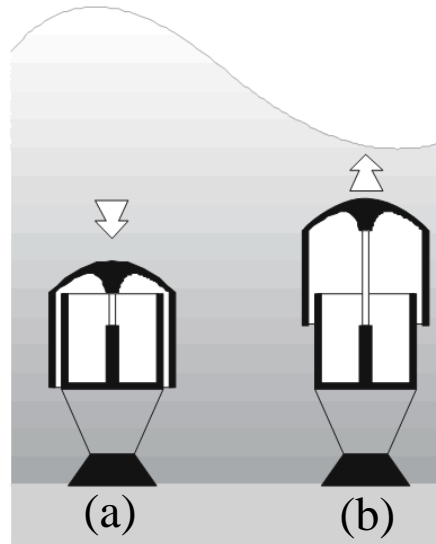
Anlatılanlara ek olarak HEXA sisteminin bir dezavantajı da veriminin PAWEC sınıfı DEK sistemine göre %25 daha az olmasıdır.

Açık deniz DEK sistemlerine verilecek bir diğer örnekte Archimedes Wave Swing (AWS) tasarımıdır. AWS tamamı ile su altına batırılmasından dolayı, tam ölçekli DEK konseptleri arasında eşsiz sayılabilecek bir açık deniz DEK uygulamasıdır. Aynı zamanda bu tasarım nedeni ile fırtınalara karşı oldukça savunmasız kalan AWS ile oluşturulabilecek dalga çiftliklerini tamamı ile görünmez olmaktadır. Çalıştığı dalga iklimi yönünden küçük ölçekli PAWEC'e benzeyen bu tasarımın, Pelamis uygulamasındaki gibi belli bir alana yayılması ile birkaç MW'lık elektrik üretimi mümkün olabilmektedir. Şekil 2.95'de örnek bir AWS çiftliğinin bilgisayar ortamında oluşturulmuş tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.95. AWS dalga çiftliği bilgisayar modeli

AWS tasarımı, deniz tabanına oturmuş içi dolu bir oda ve açık olan üst tarafı yüzebilen bir silindir ile kapatılmış silindir (silo) düzeneğinden meydana gelmektedir. İki silindir arasında yer alan su geçirmez bölmeye hapsolmuş hava bulundurulmaktadır. Gelen dalganın etkisi ile yüzer gövdenin üzerinde basınç artışı ya da basınç azalması meydana gelmektedir. Bu etki sonucu yüzer silindir yukarı ya da aşağı hareket ederek iki silindir arasındaki havanın sıkışmasına neden olmaktadır ya da ara haznede vakum etkisine neden olmaktadır (Şekil 2.96.).



Şekil 2.96. AWS konseptinin şematik gösterimi

Silindir düzeneğinin dalganın etkisi ile meydana getirdiği osilasyon hareketi, sisteme dâhil edilen bir güç çekme ünitesi yardımı elektriğe dönüştürülmektedir. AWS tasarımında elektrik dönüştürme işlemi için sürekli mıknatıslı lineer jeneratörden yararlanılmıştır. Sistemin frekansının dalganın frekansına uydurulması ile sistemin yaptığı toplam kurs uzunluğu dalga yüksekliğinden büyük olabilmektedir. 2 MW'lık pilot bir uygulamanın 2004 yılında Leixões limanında çekilmiş bir resmi Şekil 2.97.'de görülmektedir.



Şekil 2.97. 2MW'lık pilot AWS uygulaması 2004 yılında Leixões limanında çekilen bir resmi

Ana fikri 1994 yılında Teamwork Technology B.V isimli bir firma tarafından ortaya atılan AWS'in testlerine bir yıllık aradan sonra başlanmıştır. Düzenli dalga ortamında yapılan bu testler ECN (Netherlands Energy Research Foundation – Hollanda Enerji Araştırma Kurulu) ve WL Delft Hydraulics ortaklığı ile yapılmıştır. Tam ölçekli testlerin yapılacağı yer için Portekiz tercih edilmiştir. Yapılan bu seçimde testlerin yapılacağı uygun dalga ikliminin yanında sahile ve elektrik şebekesine yakınlıkta göz

önünde bulundurulmuştur. Seçilen test bölgesinde limanların yer olması da sisteme kolaylıkla bakım yapılabilmesi açısından çok önem kazanmıştır.

Takip eden yıl içerisinde yapılan testler ile sisteme ait tüm tasarımın performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ECN, WL Delft Hydraulics, Instituto Superior Técnico (IST) , Team-work Technology ve birkaç endüstriyel ortak ile yönetilmiştir. Bir sonraki adım olarak 1997 yılında 1:20 skalalı yeni bir prototipin testlerine düzensiz dalga ortamında başlamıştır (Şekil 2.98.). Sistemin performans analizleri ve sayısal simülasyonu yardımı ile sistemin düzenlenmesi, üretilen elektriğin taşınması üzerine çalışma yürütülmüştür. 1997'nin ortalarında AWS B.V. NUON, ECN, Delft Hydraulics ve birkaç yatırımcı birleşerek bir ortaklık kurulmuştur. Bir sonraki yılda 1:50 skalalı bir prototipin testleri yapılmıştır (Şekil 2.99.). Testleri yapılan prototipin hidrolik sisteminden istenilen performans elde edilmiş ve modelin Cork'teki HMRC'de (Hydraulics and Maritime Research Centre – Hidrolik ve Sahil Araştırmaları Merkezi) ve İrlanda'da kurulumu yapılmıştır. Kurulumu tamamlanan prototipin güç çekme ünitesinde küçük değişiklik yapılarak hedeflenen 2 MW'lık kapasiteye ulaşılmıştır.



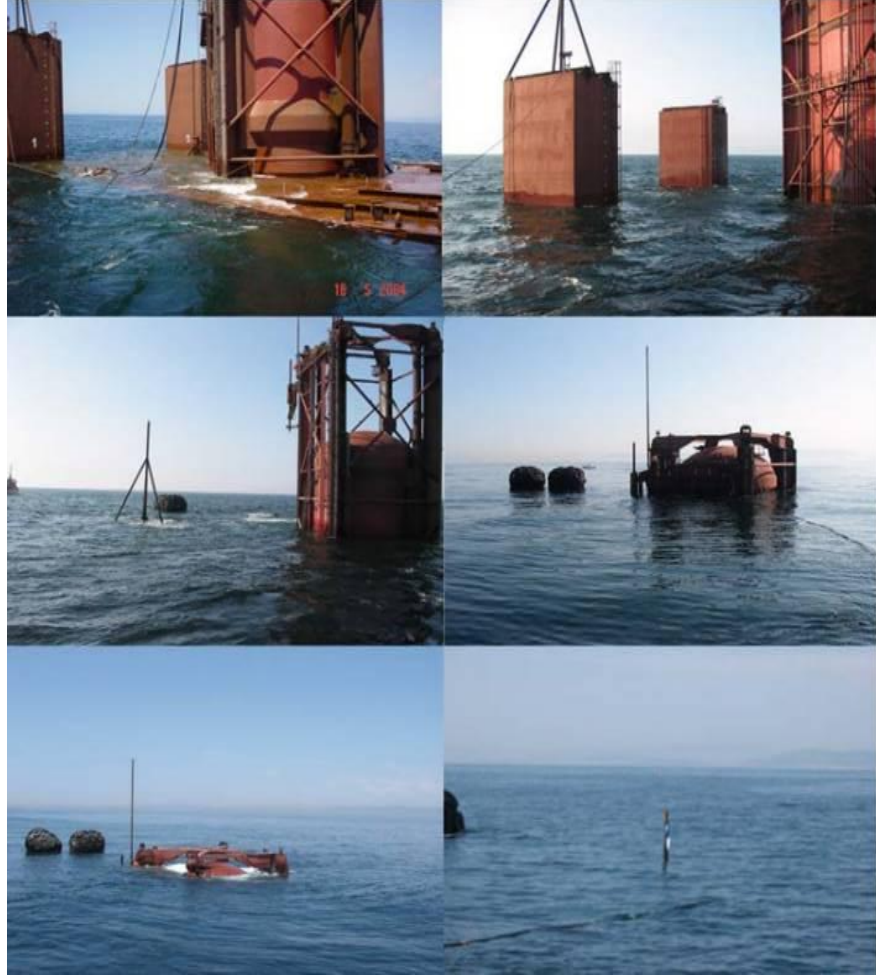
Şekil 2.98. AWS'nin HMRC Cork 'da yapılan model testleri



Şekil 2.99. AWS'nin WL Delft Hydraulics'te yapılan testleri

1999 yılının başlarında AWS tasarımı tamamlanmış ve sistem için gereken elemanların siparişi partnerlerden verilmiştir. Pilot sistemin kurulumu Romanya'ya yapılmıştır. Kurulan pilot sisteme, OWS'nin denize batırılıp çıkarılmasında kullanılmak üzere taşıyıcı dubalar ve sistemin yüzer bölümünün yukarı-aşağı dikey hareketine yardım eden bir kılavuz iskelet eklenmiştir. Eklenen bu iki unsurda gelecekte üretilecek tasarımlarda kullanılmamıştır. Bununla beraber gelecekte yapılacak çalışmalarda prototipe bir kontrol sisteminin eklenmesi planlanmıştır. Kasım 2001 yılında, Portekiz sahilinde tasarımın ilk denize batırma denemeleri yapılmıştır. Bu denemelerde konseptin istikrarsız olması nedeni ile sistem askıya alınmış ve Leixões limanına çekilmiştir (Şekil 2.97.). Yapılan bir sonraki denemede başarıya ulaşmasa da edinilen tecrübe ve önceki testlerden toplanan faydalı bilgiler yardımı ile son olarak 2004 yılında deniz tabanına batırılan bir pilot sistem başarıya ulaşmıştır. Bu pilot sistemin birçok

dalga ortamında ve ortam şartlarında testleri yapılmıştır. Testler Aguçadoura sahilinde geliştiricilerin gözetimi altında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya tüm sistemin zaman uzayında yapılan testleri de dâhil edilmiştir.



Şekil 2.100. AWS'nin 2 MW'lık prototipinin batırılma işlemi

Şekil 2.100.'de 2004 yılında Leixões limanında çekilen sistemin suya batırılması süreci gösterilmektedir. Şekilde sisteme eklenen kılavuz iskelet ve her damper için bir adet olmak üzere dört adet duba (şekilde su ile doldurulmuş) görülmektedir. Çizelge 2.3.'de Şekilde gösterilen konseptin sayısal değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.3. AWS pilot sisteminin karakteristik ölçüleri

Tanım	Uzunluk (m)	Çap (m)	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Ağırlık (ton)
Yüzer gövde	–	9.5	21	–	400
Duba	48	–	5.5	28	1200
Kılavuz iskelet	–	–	33.5	–	120

Maksimum 2 MW'lık güce sahip konseptte toplam kurs uzunluğu 7 m, ortalama hız 2.2 m/s'dir. Bu tasarıma jeneratörün herhangi bir nedenle nemlenmesi ya da sistemde arıza yapması durumlarına karşı sistemin kendini koruyabilmesi için fren sistemi ilave edilmiştir. Tasarımda yüzer gövdenin yukarı – aşağı hareket ederek altındaki havayı sıkıştırması için iki adet silindir kullanılmıştır. Sıkışan havanın doğrudan bir orifize (hava kanalı) akması sağlanmıştır. Basınç etkisi ile alanı değişebilen orifiz doğrudan fren sistemine bağlanmıştır. Orifizin alanı, ayarlanan basınç limitlerinin aşılması durumunda daha çok genişlemekte ve fren sistemini uyarmaktadır. Yapılan testler esnasında orifizin ayarı daima minimumda tutulmuş ve sistemin sönümlenme ayarı çok azaltılmıştır. Çizelge 2.3.'de gösterildiği gibi test edilen konseptin sadece yüzer bölümünün ağırlığı 400 tondur. Dubalar ve balans tanklarına alınan 5000 ton su ile beraber sistemin kütlesi yaklaşık 7000 tona ulaşmaktadır. Ağırlığın büyük bölümü, sistemin batırılması ya da su yüzüne çıkarılması için kullanılan balans tanklarındadır. Sistemin orta seviyede durabilmesi için gereken hava hacmi yaklaşık 3000 m³ civarındadır. Bu değer suyun içeri ya da dışarı pompalanması ile değiştirilebilmektedir.

AWS'nin tasarımında kullanılmak üzere geliştirilen güç çekme ünitesinde etkili olan temel unsurlar aşağıdaki gibidir.

1. Maksimum kurs boyu: 7 m
2. Maksimum hız: 2.2 m/s
3. Maksimum güç: 1 MW
4. Sağlamlık
5. Bakım gereksiniminin mümkün olduğu kadar az olması
6. Verimlilik

7. Maliyet

AWS'nin güç çekme ünitesinin tasarımında yukarıda ki gereksinimleri karşılamak için tasarımda bazı değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişikliklere aşağıda kısaca değinilmiştir. Aşağıda verilen liste João Cruz editörlüğünde hazırlanan "Green Energy and Technology" adlı eserinden alınmıştır.

1. Geleneksel jeneratör kullanılan güç çekme ünitelerinde kullanılan dişli sistemi, sistemde üretilen doğrusal hareketin dairesel harekete çevrilmesi işlemi ile geleneksel jeneratör için gereken dairesel hareketi üretmektedir. Bu yöntemin inşasının oldukça zor görünmekte ve daha fazla bakım gerektirmektedir. Bu nedenle sistemde lineer jeneratör tercih edilmiştir. Sistemde kullanılan lineer jeneratör Şekil 2.101.'de gösterilmektedir.

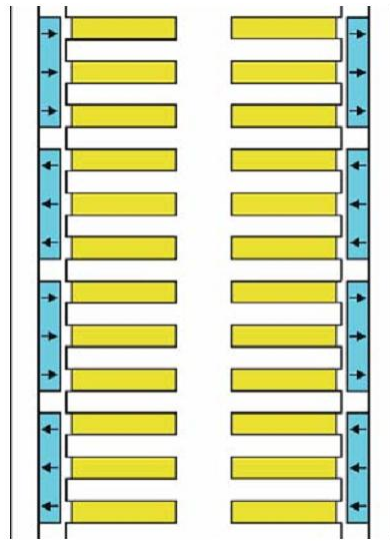


Şekil 2.101. AWS'nin 2MW'lık prototipinde kullanılan lineer jeneratör (Cruz, 2008)

2. Dalga etkisi sistemde çok büyük kuvvetler meydana gelebilmektedir. Böylesi bir kuvveti karşılayabilecek büyüklükte bir lineer jeneratör

sisteminin kurulması hem çok masraflı hem de neredeyse imkânsız olmaktadır. Bu nedenle sisteme, dalganın etkisi ile meydana gelebilecek aşırı yüklemeleri emen bir amortisör düzeneği eklenmiştir. Böylelikle sistemin ürettiği kuvvet lineer jeneratör ile uyumlu hale getirilmiştir.

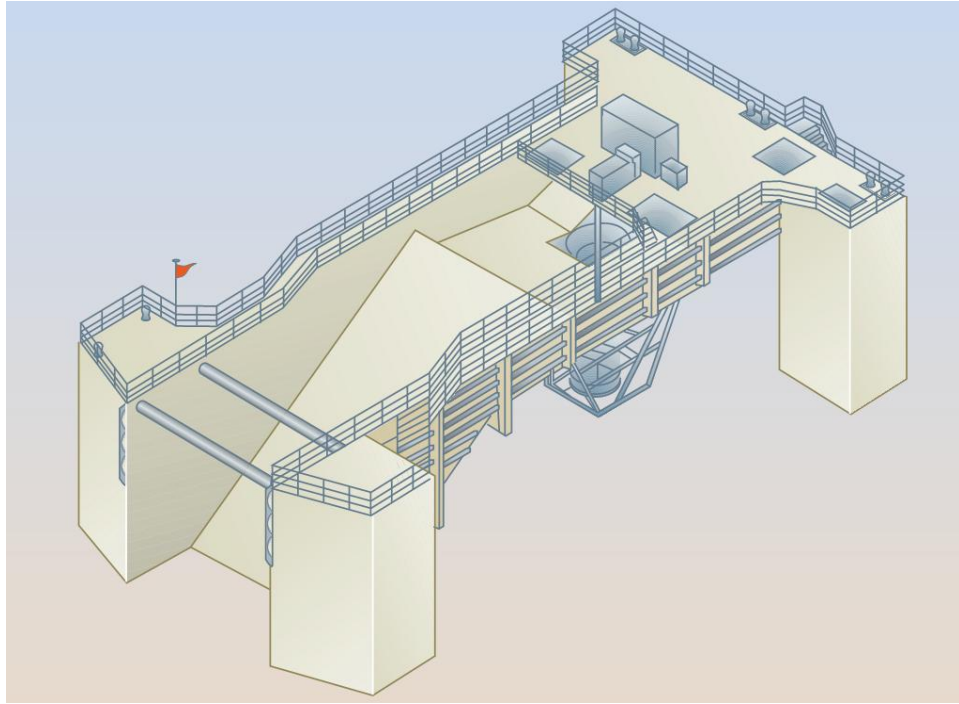
3. Lineer jeneratör sisteminde mıknatıslar translatör elemanın üstüne dizilmiştir ve hareket eden parçalar (translatör ve statör) arasında herhangi bir elektrik bağlantısı olmaması için elemanlar dayanıklı bir kaplama ile kaplanmıştır.
4. Jeneratör tasarımı yatıktır. Böylelikle lineer jeneratör, AWS şasesine kolaylıkla yerleştirilebilmektedir. AWS tasarımında tek bir jeneratör kullanımı ile sistem daha ucuza mal edilebilmekte ve yatık yapısından dolayı sistemin inşası kolaylaşmaktadır.
5. Lineer jeneratörün mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmesi için PM (permanent magnet – kalıcı mıknatıslı) jeneratör kullanılmıştır. PM jeneratörün tercih edilme nedeni büyük yük değerlerinde çalışabilmesi ve düşük hızlı çalışmalarda veriminin yüksek olmasıdır.
6. Lineer jeneratör dalganın etkisi ile meydana gelen balanslı kuvvetleri stator ve translatörün iki simetrik tasarımı ile karşılamaktadır (Şekil 2.102.).



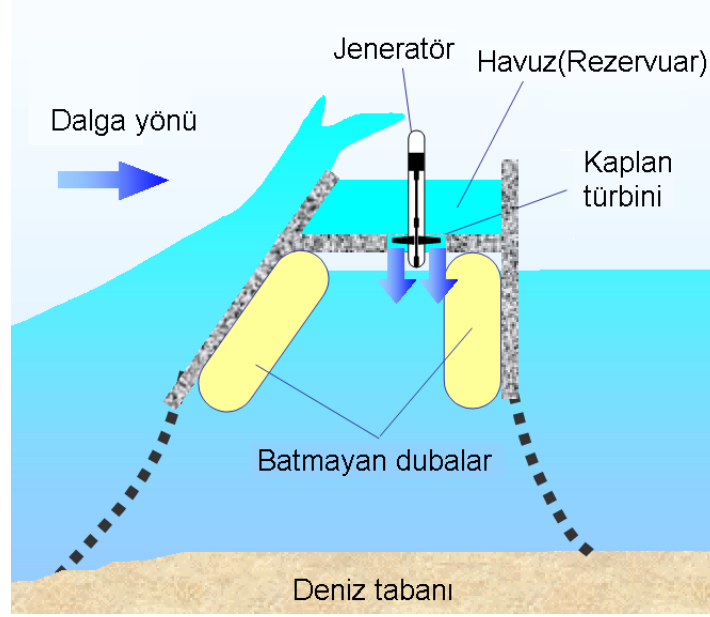
Şekil 2.102. Zıt kutuplu PM jeneratörün kesiti

7. Jeneratörün statorunun soğutulması için su soğutmalı bir sistem kullanılmıştır.
8. Üretilen elektriğin şehir şebekesi için dönüştürülmesi işlemi sahilde yapılarak problem çözülebilmektedir. Jeneratör terminalinden sahile elektrik aktarımı için 6 km uzunluğunda bağlantı kablosu kullanılmıştır.

Açıkdeniz tipi DEK uygulamalarına verebileceğimiz bir diğer örnekte FWPV (Floating Wave Power Vessel) DEK sistemidir. Bu kıyı tipi DEK modeli, 1992 yılında Sea Power International tarafından İsviçre batı sahilinde test edilmiştir. Yapı olarak TAPCHAN'a oldukça benzeyen bu DEK modeli, TAPCHAN'da olduğu gibi meyilli bir rampa yardımıyla gelen dalganın etkisi ile gövdeye alınan suyu bir ana hazneye aktarmaktadır (Şekil 2.103.). Hazneye alınan su, low-head tipi türbinlerin yer aldığı bir kanal aracılığı ile tekrar denize dönmektedir (Şekil 2.104.). Bu tasarım gel-git etkilerinden etkilenmemekte ve farklı dalga yüksekliklerinde çalışabilmektedir. Aynı tasarım 2002 yılının başlarında 1500 kW'lık pilot versiyon olarak Batı Shetland sahilinin 500 m uzunluğundaki bölümüne kurulmuştur (Duckers, 2004).

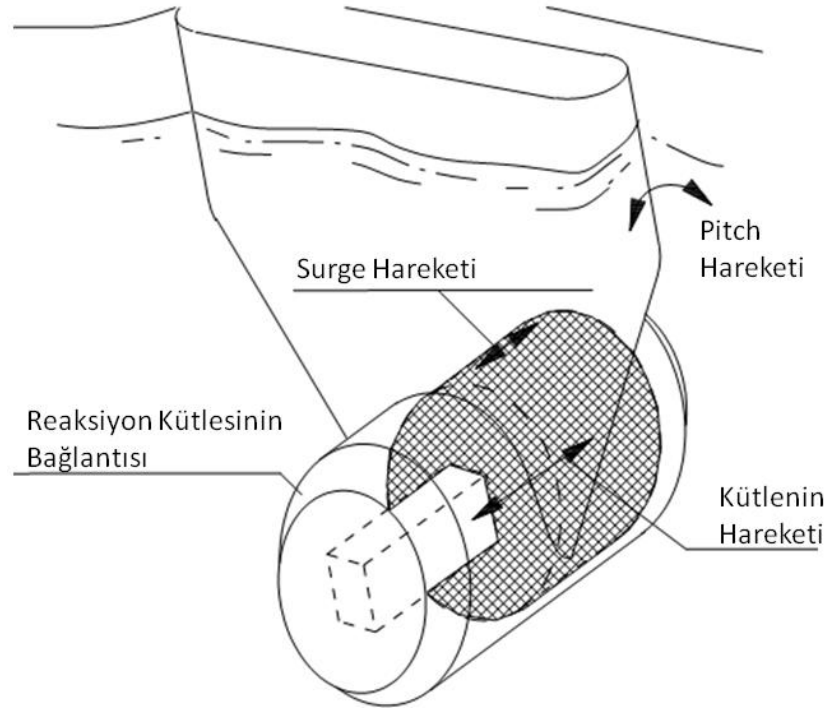


Şekil 2.103. FWPV (Duckers, 2004)



Şekil 2.104. FWPV'nin çalışması (Duckers, 2004)

Açıkdeniz tipi DEK sistemleri başlığı altında incelenen son açıkdeniz DEK sistemi PS Frog DEK konseptidir. PS Frog tasarımı, su yüzeyinde osilasyonunu kolaylaştıran ve gövdenin yaydığı radyasyon dalgasını minimize eden bir uzantı içermektedir (Thorp, 1999). Bu sistem kabaca kare bir rakete benzetilebilmektedir. Sistem gövdesi, sistemin çalışma eksenine paralel maksimum dalga yüksekliklerinde bile çalışarak enerji üretebilecek bir yüzer kısım içermektedir. Yüzer kısmı içinde Şekil 2.105.'te gösterildiği gibi hareket edebilen bir yoğunlaştırılmış bir hücre içerir. Bu ilginç tasarımda tahmin edilen dalga durumuna göre kütle ileri-geri kayma hareketi yaparak sistemin dalgaya ve yerçekimine karşı gösterdiği mukameveti artırılır. Bu özelliği sistemin dönme ve ileri – geri dalga modülasyonlarından en iyi şekilde yararlanmasını sağlamıştır. Akıntılı sularda suyun sürtünmesinden kaynaklanan yuvarlanma hareketlerinden (Vortex-shedding) etkilenmeden çalışabilecek şekilde tasarlanan sistem salınım durumunda en iyi oranda güç çekebilmek için aktif bir kontrol yapısına ihtiyaç duymaktadır. Sistemde kullanılan kontrol yapısı kilitleme kontrolü ile yâda kütlelin hareketini sınırlayan bir yayın faz kontrolünden ile yararlanarak yapılabilmektedir (Bracawell, 1990). PS. Frog sisteminin küçük ölçekli on adet prototipi İngiltere kuzey batı sahillerinde denenebilmiştir (Thorp, 1999).



Şekil 2.105. PS. Frog DEK modeli (Thorp, 1999)

2.3. DEK Sistemleri İçin Önemli Tasarım Parametreleri

DEK sistemlerinin geliştirilmesinde birçok mühendislik alanından yararlanılmaktadır. Dayanıklılık, sualtı elektrik kabloları, sistemin kullanılabilirliği, inşaat teknolojileri, invertör uygulamaları gibi farklı disiplinlerden yararlanarak geliştirilen bu sistemlerin çok yönlü ve farklı dalgalarla çalışması gerektirdiğinden sisteme aynı zamanda jeneratörün voltaj ve frekansının değişken olması gerekmektedir. Böylelikle farklı dalga tipleri ile üretilen enerji daha düzenli olabilmektedir. DEK sistemleri üzerinde yapılan çalışmaların dayandığı farklı disiplinler Çizelge 2.4.'deki gibi sınıflandırabilmektedir (Vinning, 1995).

Çizelge 2.4. DEK sistemleri araştırma ve geliştirme konuları (Vinning, 1995)

Mekanik	Elektrik	Diğer alalar
Hidrodinamik karakteristik	Doğrudan güç çekme üniteleri	Gerçek zamanlı dalga davranışı için hava tahmini
Indirect Take-Off güç Yöntemleri	Güç dönüşümü	Gövde hareketleri
Mekanik güvenilirlik	Güç kontrolü	Sistemin 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		

2.4. Dalga Enerjisi Konvertörleri İçin Güç Çekme Üniteleri

DEK sistemlerinde güç üretim süreci başlı başına önem arz eden bir konudur. Sistemin bulunduğu ortamdan çektiği dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan ara sistemler güç çekme üniteleri (power take-off) olarak adlandırılmaktadır. Geliştirilen DEK sistemleri incelendiği zaman kullanılan güç çekme yönteminin sistemden sisteme farklılık gösterdiği görülmektedir.

Her ne kadar seçilen metotlar birbirinden farklılık gösterse de güç çekme ünitesinin temel çalışma mantığı birçok DEK sisteminde değişmemiştir. Güç çekme üniteleri temelde üç ana kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısım dalga ile etkileşime giren bölümü, ikinci kısım taşıyıcı bölümü ve üçüncü kısım jeneratör düzeneğini kapsamaktadır. Birinci kısım dalga kuvveti ile etkileşime girerek dalga kuvvetini mekanik olarak depolayan kısımdır. Temelde birinci kısım ile üçüncü kısım arasındaki enerji aktarımını sağlayan ikinci kısım, bu aktarım işlemi sırasında aldığı

enerjinin doğrultulması ve jeneratöre aktarılabilecek şekilde tekrar düzenlenmesi gibi görevlerde üstlenmektedir.

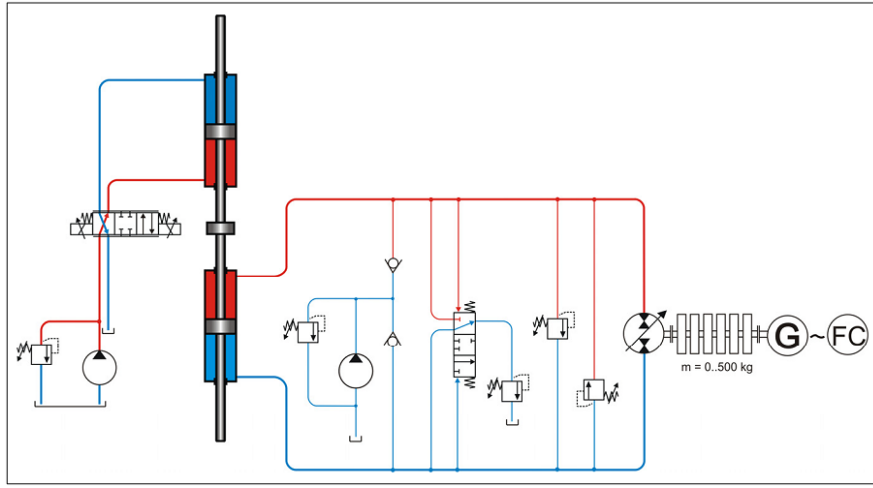
DEK sisteminin yüksek verimlilikte çalışması GÇÜ ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle yüksek verimlilikte çalıştırılacak bir DEK sistemi için en doğru GÇÜ tasarımı kullanılması çok önemlidir. GÇÜ tasarımında izlenen birkaç farklı temel yöntem bulunmaktadır. Seçilen yöntem sistem tasarımına göre de farklılık göstermektedir. Birçok DEK tasarımında dalgadan çekilen enerjinin, jeneratöre aktarılmadan önce, yönünün değiştirilmesi ve güç dalgalanmalarından arındırılması ara işlemlerinden geçirilmesi gerekir. DEK tasarımına göre ara işlem sayısı artabilmektedir. Diğer bir yandan yukarı – aşağı ve dönme hareketi yaparak çalışan bazı DEK sistemlerinde ünitenin birinci kısmı doğrudan üçüncü kısma yani jeneratöre bağlanabilmektedir. Böylelikle birinci kısımda dalgadan çekilen enerji doğrudan jeneratöre aktarılabilmektedir ve ara işlemlere gerek kalmamaktadır.

DEK sistemleri için GÇÜ tasarımında kullanılan üç ana yöntem vardır. Sistemde kullanılan yöntem aynı zamanda GÇÜ tipini de belirlemektedir. Güç çekme ünitesi tipleri,

1. Türbin tipi GÇÜ
2. Hidrolik GÇÜ
3. Lineer jeneratörlü GÇÜ olmak üzere üç başlık altında toplanabilmektedir.

Üstte belirtilen yöntemlerden türbin tipi ünitelerde temelde bir türbin-jeneratör düzeneğinden yararlanılmaktadır. Bu elektrik dönüşüm tipinde türbin tipi iletim kavramı doğrudan jeneratöre bağlanmış bir türbinin akış etkisi ile sürülmesi anlamında kullanılmaktadır. DEK sistemlerinde türbin tipi GÇÜ uygulamaları çoğunlukla osilatif su kolonu ve overtopping tipi DEK sistemleridir. Türbin tipi uygulamaların en önemli avantajı, sistemin sızıntı yapma riski olmadığı için çevre için bir problem oluşturmamasıdır. Buna karşılık bu türbinlerin dezavantajı, deniz suyuna uygun tasarımda sorunlarla karşılaşılmasıdır. Bunun temel nedeni, deniz suyunun içerisinde karakteristikleri belirlenemeyen çeşitli birleşenler taşınmasından dolayı deniz suyunun karmaşık bir akışkan olmasıdır. Buna ek olarak yakın kıyı uygulamalarında aşındırıcı parçacıklar valfler ve sızdırmazlık elemanlarının hasar görmesine neden olabilmektedir.

Geliştirilen DEK sistemlerinde her ne kadar alternatifleri olsa da en çok tercih edilen GÇÜ yöntemi hidrolik elemanlarla kurulan yöntemdir. Ayrıca hidrolik sistemler düşük osilasyon hızlarında enerji dönüşümü için idealdir. Deniz dalgaları düşük hızlarda çok büyük dalga kuvvetleri meydana getirebilmektedir. Bu gibi durumlarda enerjinin çekilmesi için hidrolik sistemler kullanımı oldukça avantaj sağlamaktadır. Dalganın meydana getirdiği basınç etkisi ile sistem üzerinde ciddi bir kuvvet oluşabilmektedir. Oluşturulan kuvvet etkisinde en iyi elektrik makinesi bile iyi sonuç vermektedir. Böylesi bir kuvvet altında hidrolik sistemler çok daha güvenilirdir. Şekil 1.106.'da Pelamis DEK sistemi için geliştirilen GÇÜ hidrolik devresi gösterilmektedir.

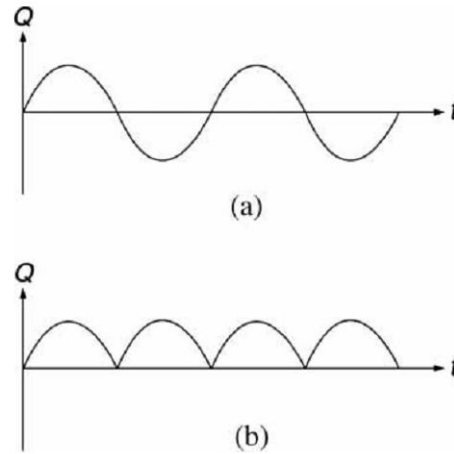


Şekil 2.106. Pelamis DEK sistemi için geliştirilen GÇÜ hidrolik devresi

Şekilde verilen hidrolik devrede, hidrolik silindir kolları doğrudan dalganın hareketi ile hareket eden Pelamis gövde modülüne bağlanmıştır. Böylelikle sistemin yüzer modüllerinin dalganın etkisinde hareket geçmesi ile silindirler aşağı ve yukarı zorlanmaktadır. Kolun zorlanması ile meydana gelen akışkan basıncı çek valfler ve akış doğrultucudan geçerek hidrolik motora ulaşmaktadır. Bu tip sistemlerde genellikle uygulamada kullanılan jeneratör sabit hızlı olabilmektedir. Buna karşılık hidrolik motorun jeneratörü yakın hızlarda sürebilmesi için değişken kapasiteli olması gerekmektedir. Devrede kullanılacak hidrolik motorun kapasitesinin kontrolü ve hesaplanmalarında sistemin çalıştığı dalga iklimine göre karar verilmelidir. Buna ek olarak sisteme emniyet valfinin eklenmesi sistemin güvenliğini artırmaktadır. Hidrolik tipi GÇÜ'nin geliştirmesinde akışkanın akış kalitesinin artırılması için sisteme

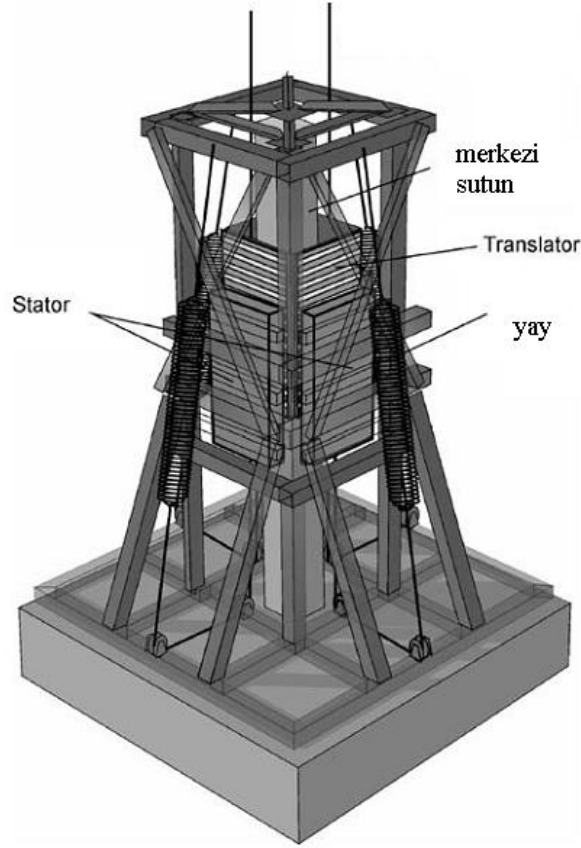
akümülatör eklenmesi oldukça yaygın bir yöntemdir. Sisteme akümülatörlerin dâhil edilmesi ile sistemde biriken fazla enerji stoklanabilmekte ve devre basıncının düşmesi gibi tam tersi bir durumda akümülatörün sisteme basınç tahliye etmesi ile devre basıncı dengelenebilmektedir. Bu yolla düzensiz akışın neden olduğu kavitasyon riski azaltılmaktadır.

Hidrolik GÇÜ uygulamalarında sisteme gelen dalganın sinüzoidal olduğu durumlarda hidrolik silindirin portlarındaki akışkanın akışına ait detaylar Şekil 2.107a.'da gösterildiği gibidir. Akışkanın çek valflerden geçtikten sonraki doğrultulmuş hali Şekil 2.107b'de gösterilmektedir. Sistemde akümülatör kullanılması durumunda diyagramda görülen dalgalı akışkan akışı düzenlenebilmekte ve bu akışkanın değişken kapasiteli bir hidrolik motora aktarılması ile jeneratör için gerekli olan döndürme momenti elde edilebilmektedir.



Şekil 2.107. Hidrolik GÇÜ'nin hidrolik akışı

Konu başlığı altına incelenen son GÇÜ yöntemi lineer jeneratörlerdir. Lineer jeneratörler, mekanik dönüş enerjisini elektrik enerjisine çeviren geleneksel jeneratörlere benzemektedir. Bununla beraber yapılan bu tip uygulamalarda rotor elemanı yerine bir genellikle translator (çevirici) olarak tanımlanan eleman kullanılmaktadır (Şekil 2.208).



Şekil 2.108. Lineer jeneratör yapısı

Traslator elemanın hareketi geleneksel jeneratör rotorlarının dönüş hareketinin aksine yukarı ve aşağı şeklinde olmaktadır. Lineer jeneratörlerin avantajı dalga hareketini aracı hidrolik sistemlere veya dişli kutularına ihtiyaç duymadan doğrudan elektrik enerjisine çevirmesidir. Daha az hareket eden parçanın olması sistemin hidrolik sistemlere göre daha verimli çalışmasına neden olmaktadır. GÇÜ’ünde lineer jeneratör kullanılmasının diğer bir avantajı da bu yöntem ile sistem daha hafif olabilmekte ve maliyet daha düşük seviyelere indirebilmektedir. Lineer jeneratörlerin dezavantajı ise kullanılan lineer jeneratörün özel olarak tasarlanmasının gerekliliğidir. Bu yöntemde hidrolik sistemlerde olduğu gibi sistem elemanları raftan alınıp doğrudan kullanılamamaktadır. Bu nedenle lineer jeneratör düşüncesinin oldukça pahalıya gelmektedir. Bu sistemlerin diğer bir önemli dezavantajı da jeneratörün doğrudan dalga ile etkileşime girmesinden dolayı, herhangi bir devasa dalga durumunda, lineer jeneratörün doğrudan bu ciddi bir dalga kuvveti ile karşı karşıya kalmasıdır. Bu problem

birçok uygulamada sisteme ek bir frenleme ya da kilit sisteminin eklenmesi ile çözülmeye çalışılmıştır.

2.5. Dalga Enerjisi Konvertörlerinin Kontrol Sistemleri

Deniz ortamında PAWEC sınıfı DEK sistemlerinden en iyi performansın elde edilmesinde, sistemlerin kontrolü üzerine çalışmalar 1970'li yıllara kadar varmaktadır. Ne var ki hidrodinamik analiz tekniklerinden yararlanarak geliştirilen kontrol teknikleri DEK sisteminin güç çekme performansını garanti edememektedir. Yani diğer bir deyişle her ne kadar sistem en iyi şekilde tasarlanırsa da sistemden beklendiği seviyede güç çekilemeyebilmektedir. Buna ek olarak sistemin sınırlayıcı etkenlerinin analiz edilip, filtrelenmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Kontrol sisteminin tasarımı üzerine yapılan çalışmalarda ilk olarak giriş – çıkışlar arasında kaybedilen nedir sorusu sorulmaktadır. Bu bakış açısı hidrodinamik perspektifte en iyi DEK modelinin ve kontrol yönteminin tasarlanması için oldukça kullanışlıdır.

Kontrol üzerine yapılan ilk çalışmalar, düzenli deniz şartlarında, PAWEC tipi DEK'lerin çektiği gücü maksimum yapmak üzere olmuştur. Bu tip bir kontrol yaklaşımında maksimum güç için seçilen osilasyon ve faz eğrisi değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kontrol sisteminde faz ve kontrol kavramı faz kontrol ve genlik kontrol olmak üzere iki ayrı başlık olarak incelenmektedir. Bununla beraber optimal güç çevrimi amacı ile optimal kontrol yaklaşımı ortaya atılmıştır. Sistemin ortamdaki maksimum enerji yakalamasını amaçlayan bu yaklaşım, hem faz hemde genlik kontrolünü içinde barındırmaktadır. Diğer bir deyişle optimal kontrol yapısında kontrol çalışmalarında hem faz hemde genlik etkisi göz önünde bulundurulmaktadır.

DEK sistemlerinin kontrolünde, konvertör tamamı ile mekanik bir sistem kabul edilmektedir. Kontrol hesaplamaları iki temel veri setine göre yapılmaktadır. Bu veri setleri geometri verileri ve kontrol verileridir. Geometri verisi tasarım safhasında belirlenmektedir. Bu veri setinin sistemin inşasından sonra değiştirilmesine imkân yoktur. Diğer veri seti ise kontrol verileridir. Bu veri seti GÇÜ ve dalga ortamına ait ayar bilgilerini kapsamaktadır. Her iki veri setide sistemden sisteme farklılık göstermektedir. Bu değerler doğrudan sistemi geometrik yapısı ve GÇÜ mekanizması ile ilişkilidir. DEK sisteminin tasarımının amacı geometrik parametreleri ve bazı kontrol

parametreleri belirlemektedir. Tasarım safhasında yapılan kontrol çalışmalarının amacı DEK sisteminin performanslı bir şekilde çalışmasını sağlamak ve inşa aşamasında daha iyi bir kontrol seti ölçütü yakalayabilmektir.

DEK'in kontrolünde her ne kadar kontrol ve geometri parametreleri en iyi şekilde ayarlansa da, parametrelerin doğruluğu yinede kesin olmamakta ve tasarım stratejinde kullanılan parametreler birbirine karışabilmektedir. Tasarımın başlangıcında sistemin düzenli dalga ortamında denenmesi çok önemlidir. Böylelikle sistemin hareket karakteristiği ve sınır şartları incelenebilmektedir. Çalışmada bir sonraki adım olarak sistem hidrodinamik perspektiften incelenmeli ve kontrol oranları üzerine tartışılmalıdır.

DEK sistemden çekilen enerji, temelde sistemin maruz kaldığı dalga frekansına ve sistem parametrelerinin doğru seçilmesine bağlıdır. Sistem kontrol parametrelerinin doğru ayarlanması ile DEK sistemi dalga etkisi ile rezonans durumuna girmekte ve sistemin performanlını çalışmasından söz edilebilmektedir.

Günümüz geliştirilen mekanik sistemlerin genelinde sistemin doğal frekansı göz önünde bulundurulması gereken önemli bir tasarım parametrelerinden biridir. Öyle ki standart tasarım sürecinde sistemin doğal frekansı üzerine yapılan çalışmalar, sistemin doğal frekans değeri ile sistemin çalışacağı ortamın frekans değerinin birbirinden farklı olması üzerine olmaktadır. Böylelikle sistem rezonans etkisinden korunabilmekte ve sistemin çalışma ömrü arttırılabilmektedir. DEK sistemlerinde ise sistemin doğal frekansı üzerine yapılan çalışmalar genel mühendislik uygulamalarının tam tersi niteliğindedir. DEK sistemlerinde sisteminin dalga etkisi ile rezonansa kalması şarttır. Sistemin rezonansa kalması durumunda sistem gövdesinde toplanan rezonans mekanik enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Sistemin rezonansa girme durumu ise sistemin doğal frekansının (ω_{sistem}), ortamdaki dalga frekansına (ω_{wave}) eşit ya da yakın olması durumunda sağlanabilmektedir (Denklem 2.32.).

$$\omega_{sistem} \cong \omega_{wave} \quad (2.32.)$$

DEK sistemleri gibi suda salınım yaparak hareket eden bir sistem için, geri çağırıcı kuvvetin negatif yer değiştirme ile orantılı olması durumunda (Denklem 2.12.) sistemin basit harmonik yaptığı söylenebilmektedir. Basit harmonik hareket yapan bir sistemin kütlesi ile yay etkisi arasındaki ilişki daha önce Denklem 2.7. ile

açıklanmaktadır. Basit harmonik hareketten yola çıkarak Denklem 2.34. ve 2.35.'deki eşitlikler yazılabilmektedir.

$$k / m - \omega_{sistem}^2 = 0 \quad (2.34.)$$

ya da

$$\omega_{sistem} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.35.)$$

Burada verilen ω_{sistem} değeri sistemin kendi doğal frekansı ve m değeri ise sistemin kütlesi göstermektedir. Verilen eşitlikten anlaşılacağı gibi bir DEK sisteminin doğal frekansı, sistemin yay etkisinin sistem kütlesine oranına bağlıdır. DEK sistemleri için geliştirilen kontrol yaklaşımlarında sistemin deniz ortamında yay etkisi ya da kütlesini değiştirerek sistemin doğal frekansının dalga frekansına eşit ya da olabildiğince yakın olması amaçlanmaktadır.

PAWEC tipi DEK sistemlerinin çalışma prensipleri dikkate alındığında söz konusu sistemlerin sürekli olarak salınım halinde bulunması gerektiği görülmektedir. Ancak söz konusu salınımlar sürekli iken enerji dönüşüm sistemi sürekli olarak sistemin salınımindan enerji absorbe ederek elektrik enerjisi üretebilmektedir. Dolayısı ile konvertörün sürekli salınım yapması şarttır. Bu açıdan DEK sistemini, sürekli bulunduğu ortamdaki dalga durumunu incelemelidir ve buna karşılık sistem kütlesi ya da enerji dönüşüm sistem parametrelerinden yay etkisi ve/veya sönümlenme etkisini ayarlayarak, DEK'in rezonansa tutmalıdır. Bu durum Denklem 2.35.'de gösterildiği gibi sistemin k veya m değerlerinde değişiklik yaparak sağlanabilmektedir. DEK sistemlerinin kontrolü konulu yapılan çalışmalarda sistemin kütlesinin değiştirilerek doğal frekansın ayarlanma işlemine yavaş ayarlama (*slow tuning*) adı verilmektedir. İsminden de anlaşılacağı gibi bu yöntem ile yapılan ayarlama işlemi oldukça zaman almaktadır. Diğer yöntemlere göre görece daha basit olan bu ayar yönteminde, sistemi istenen doğal frekansa ayarlamak için DEK gövdesine gereken miktar kadar su alınarak kütlesi arttırılmakta ya da gövdede bulunan suyun gerektiği kadar tahliye edilerek kütlesi azaltılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan kontrol uygulamalarında DEK sistemi,

sistem doğal frekansını birkaç saat ya da bir gün sonrası için karşılaşılabilecek bir dalga durumuna göre ayarlayabilmektedir. Buna ilaveten enerji dönüşüm sistem parametrelerinin ayarlanma işleminde ise üç farklı kontrol tekniğinden yararlanılmaktadır.

GÇÜ mekanizma ayar parametreleri değiştirilerek yapılan söz konusu üç kontrol uygulamasında DEK sisteminin ortamın dalga durumuna göre kısa sürece cevap verebilmesinden dolayı bu yöntemle yapılan kontrol uygulamalarına hızlı ayarlama (*fast tuning*) denmektedir.

Bu teknikler,

1. Faz kontrol
2. Eşnelik kontrol
3. Kilitleme kontrolüdür.

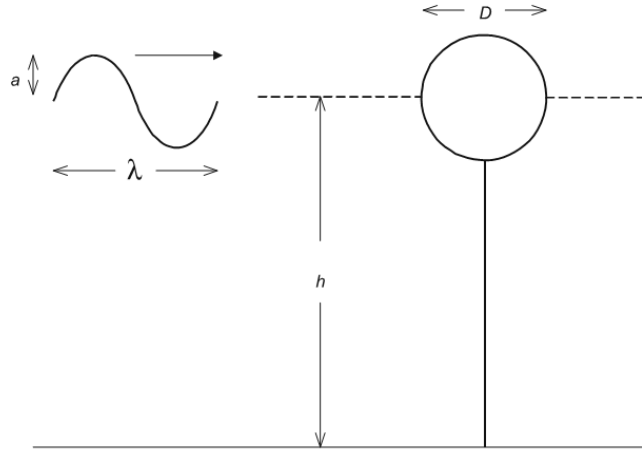
Yukarıda verilen kontrol yöntemlerinden faz kontrol ve eşnelik kontrol yöntemlerinde sistemin doğal frekansını ayarlamak için GÇÜ yay elemanı eklenmekte ya da çıkarılmaktadır. Böylelikle sistemin yay etkisi değiştirilmekte ve sistemin doğal frekansı istenen değere getirilebilmektedir. Benzer şekilde kilitleme kontrol yönteminde GÇÜ sönümlenme etkisi değiştirilerek, sistemin doğal frekansı istenen değere getirilebilmektedir. Çizelge 2.5.'de anlatılan kontrol yöntemleri ve yaklaşık cevap süreleri ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

DEK sistemleri için kontrol modeli oluşturmada sistem tamamıyla ile kurulmuş ve inşa edilmiş kabul edilebilmektedir. Sistemin tasarlanmasında sorulan birinci soru hangi kontrol yönteminin söz konusu sistem için en iyi olduğu sorusudur. Sorulan bu soru aynı zamanda sistemin fiziksel özellikleri ile de alakalıdır.

Çizelge 2.5. DEK sistemleri kontrol tipleri

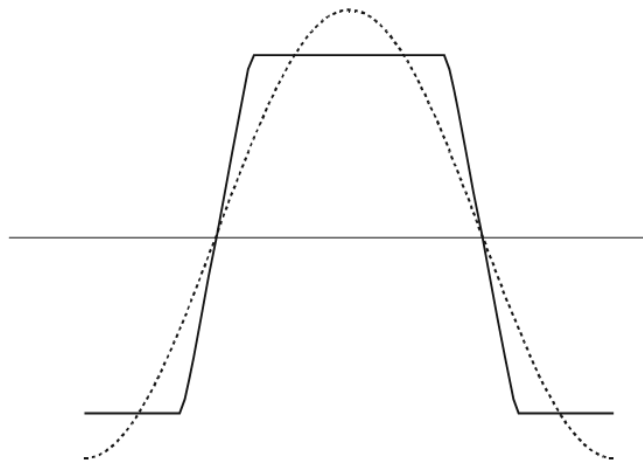
	<i>Kontrol tipi</i>	<i>Cevap süresi</i>	<i>Ayar parametresi</i>
<i>Yavaş ayarlama</i>	Yavaş ayarlama	Çok uzun	Sistem kütlesi (m)
<i>Hızlı ayarlama</i>	Faz kontrol	Kısa(birkaç dakika)	GÇÜ yay katsayısı (Kpto)
<i>Hızlı ayarlama</i>	Eşlenik kontrol	Kısa(birkaç dakika)	GÇÜ yay katsayısı (Kpto)
<i>Hızlı ayarlama</i>	Kilitleme kontrol	Kısa(birkaç dakika)	GÇÜ yay sönümlenme etkisi(Bpto)

Sözü geçen kontrol modelleri arasında düzenli dalga yolculuğunu en iyi açıklayan metot kilitleme tipi kontroldür. Bu kontrol tipinde yapılan çalışmalar GÇÜ harmonikleri ve düzenli dalga oranları üzerinedir. Belirli hidrodinamik oranlarla tanımlanan kilitleme kontrol yöntemi 1980’de Budal ve Falnes tarafından PAWEC tipi bir sistemde kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan, aksi-simetrik, yukarı – aşağı tek serbestlik derecesinde çalışan şamandıra şeklinde tasarımın şematik gösterimi Şekil 2.209’da gösterilmektedir.



Şekil 2.109. Aksisimetrik, yukarı-aşağı tek serbestlik dereceli DEK uygulaması şematik gösterimi

Yapılan çalışmada kullanılan Froude-Frylov yaklaşımında gelen dalga ile meydana gelen basınç etkisi ve DEK gövdesinde oluşan uyarıcı kuvvetler doğru olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar ile gelen dalganın fazına göre dalganın sistem üzerinde kuvveti elde edilebilmektedir. Çıkış kontrol metodu olarak çalışan kilitleme kontrol yöntemi aslında hareket denklemlerinin zamana bağlı formu üzerinedir. Bu açıdan kilitleme kontrol yöntemi her türlü deniz ortamına uygulanabilmektedir. Şekil 2.110.'daki grafikte kilitleme kontrol yönteminin basitleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 2.110.Genel kilitleme kontrol yaklaşımı

Grafikte görülen düz çizgiler sistemin yer değişimini, kesikli çizgilerse gelen dalgayı temsil etmektedir. Grafikte aynı zamanda aynı fazda olan iki hareketin arasındaki ilişki görülmektedir.

2.6. DEK Çiftlikleri

Dalga çiftlikleri, DEK, güç toplama ünitesi ve kıyı istasyonu (ana merkez) olmak üzere 3 ana kısımdan meydana gelir (Şekil 2.111).



Şekil 2.111. Dalga çiftleri

1. DEK sisteminin ana bağlantısı hareketli bir kablo (statik kablo) kullanılarak yapılmaktadır.
2. Birden çok DEK sistemin ana bağlantısı bağlantı kutularında toplanmaktadır.
3. Ana kabloların toplandığı bağlantı kutuları, deniz yüzeyindeki bir şamandıra düzmeğine bağlanmaktadır. Böylelikle çevresel etkilerinden dolayı yerinin kaybolma riski en aza indirilebilmektedir.
4. Ana toplayıcı kutu, deniz tabanından statik bir kablo ile bir ana kontrol noktasına buradan da kıyı istasyonuna bağlanmaktadır. Böylelikle dönüştürücü sistemlerden çekilen güç istasyona iletilebilmektedir.
5. Ana istasyona ulaşan elektrik son olarak voltajı yükseltilerek, şehir elektrik şebekesini beslemektedir.

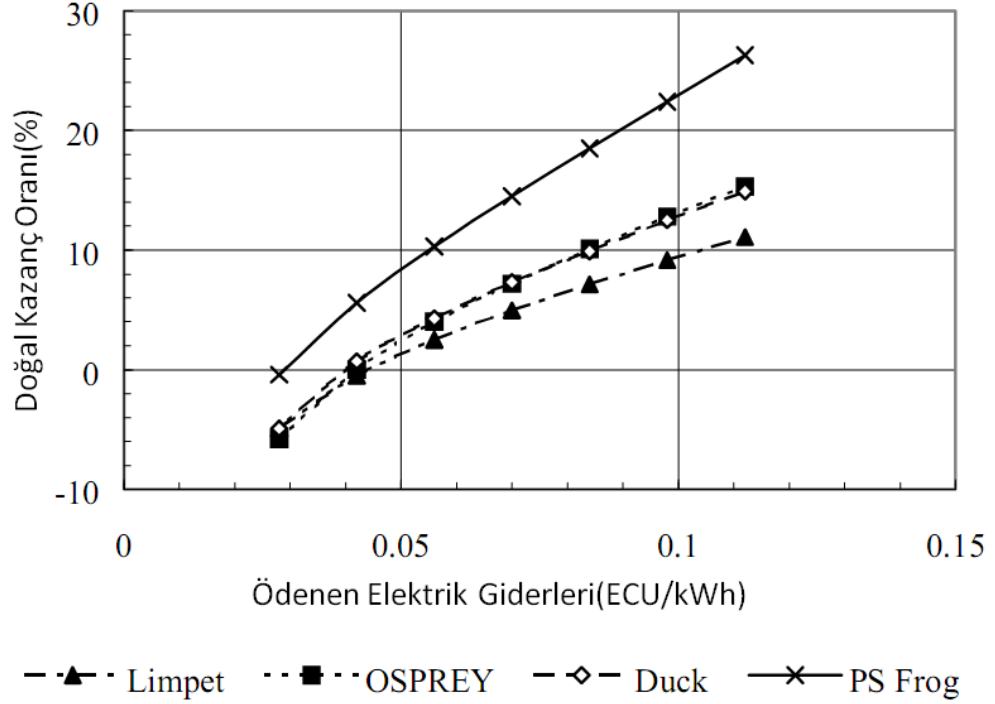
2.7. Ekonomik Analiz

Dalga enerjisi üzerine yapılan geniş çaplı çalışmalar bu sistemlerin geliştirilmesinde sistemin verimliliği, sermaye maliyeti, uygulanabilirliği ve sistemin

işletme maliyetleri üzerine yoğunlaştığını göstermektedir (Thorp, 1999). Daha önce yapılan gelişmeler gerek kıyı, yakın kıyı gerekse açık denizde çalışan sistemler üzerine olmuştur. DEK sistemlerin denizden uzaklığı maliyete etki eden en büyük faktördür. Öyle ki sistemin kıyıdan uzaklaşması ile artan kablolama maliyetleri diğer tüm maliyetlerin toplamından daha yüksek olabilmektedir.

DEK sistemlerinin ekonomikliği söz konusu olduğunda göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli unsurda sistemin devreye alınması, devreden çıkarılması ve bakım maliyetleridir. Burada devreye alma ve devreden çıkarma işlemleri sık sık tekrarlanmazken asıl göz önünde bulundurulması gereken unsur belli zaman aralıklarıyla tekrarlanan periyodik bakım maliyetleridir. Geliştirilen birçok DEK sisteminin tasarımında daha az hareketli parça kullanılarak, sistemin bakım ihtiyacı en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Böylelikle sistemin bakım, onarım maliyetleri düşürülebilmektedir.

Şekil 2.112. ile gösterilen grafikte, DEK sistemlerinin ekonomik yönden gelişmeleri ana hatları ile incelenmiştir. İncelemede kıyı uygulaması, Limped, yakın kıyı uygulaması, OSPREY ve açık deniz uygulamaları için Duck ve PS. Frog sistemi karşılaştırılmaktadır. Temsili olarak seçilen bu sistemler kendi alanlarında yapılan geniş çaplı araştırmaları temsil etmektedir. Yapılan çalışmalar olası bir gelecekte maliyet ve performans konusunda başarılı sistemler tasarlanabileceğini göstermektedir (Thorp, 1999).



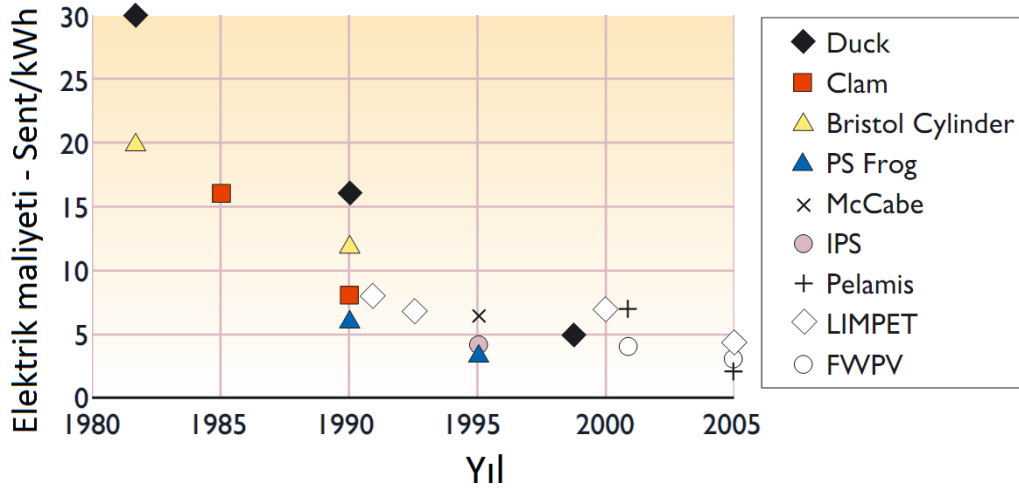
Şekil 2.112. Tahmini Kazanç Oranları(Thorpe, 1999)

Şekil 2.112.'de LIMPED sisteminin 20 MW/m'lik dalga rejimindeki 1 MW'lık enerji üretimi, 10 OSPREY sisteminin 30 kW/m'lik dalga rejiminde 35 MW'lık toplam üretimi, yine İngiltere kuzey batı kıyı sahillerinde denenen tam ölçekli bir Duck sisteminin 2 GW'lık üretimini ve 10 adet küçük boyutlu PS. Frog sistemi ile yapılan denemelerin sonucunda ürettiği 15 MW'lık enerji üretiminin tahmini kazanç oranları gösterilmektedir (Thorpe, 1999).

İndirgeme işlemi ve bakım maliyetleri DEK sistemlerinin ekonomisinde kilit noktadır. Dalga enerji sistemlerinin kW başına düşen maliyeti, fosil yakıtlarının kW başına maliyetini en az ikiye katlamaktadır. DEK sistemlerinin enerji üretim maliyet hesaplamalarında bir diğer yük faktörü de dalga iklimidir. Doğada yakıt ya da dalga enerjisi maliyetleri sıfırken bununla beraber asıl değerlendirme kriterleri sistemin kurulumu, devre dışı bırakma ve bakım masraflarıdır. Karşılaştırmaların doğru olması için dalga dönüşüm sistemin güvenilir olması ve sistemin uzun yıllar dalga ikliminde kalabilmesi önemlidir. Diğer bir yandan DEK sistemleri çok az hareketli parça içerecek ve yaşam ömrü uzun olacak şekilde tasarlanmalıdır. TAPCHAN bu koşullara uyan iyi bir örnektir.

Dalga enerjisi sistemleri için yatırılan sermaye sistemin toplam verim oranlarına ve konumuna bağlıdır. Günümüze kadar tasarlanan birçok DEK sisteminin verimi %30'un üzerine çıkmamaktadır. DEK sistemlerinin maliyet hesaplamalarında en önemli kriter kW başına üretim maliyetidir.

Avrupa beşinci Framework (1999) programında elektrik üretimde kullanılan faal dalga enerjisi sistemleri için hedef maliyet oranının 10 p/kWh olması kararlaştırılmıştır. Hali hazırda birçok DEK sistemi bu değeri karşılamaktadır. Şekil 2.113.'de dokuz DEK tasarımının, tasarlandıkları yılları ve üretim maliyet oranları gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 1970'lerde DEK sistemleri için toplam üretim maliyeti 20 p/kWh'in üstündedir. Bu değer 1990 yılında baraj olarak belirlenen 10 p/kWh'in altında inmektedir. 2005 yılında Pelamis ve FWPV DEK sistemlerinde üretim maliyet oranların 2.5 – 3 p/kWh'e kadar düşürülebildiği gözlemlenmektedir.



Şekil 2.113. İngiltere DEK sistemlerinin üretim maliyetlerinin yıllara göre enerji karşılaştırılması

2.8. Türkiye'de Dalga Enerjisi

Bu başlık Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeli ilgili bilgiler içermektedir. Konu başlığı altında sahillerimizden bazı bölgeler pilot olarak seçilmiş ve bu bölgelerin dalga iklimine dair bilgiler sunulmuştur. Başlık altında sunulan bilgiler, Duman, Ç., 2010. Evaluation and comparison of the wave energy potential in selected coastal regions in

Turkey, Middle East Technical University, The degree of master çalışmasından alınmıştır.

Yapılan tez çalışmasında, Türkiye sahillerinden seçilen lokal bölgeler için soluğan dalga tipi ve rüzgâr kaynaklı dalgaların hızı, yönü, yüksekliği ve ortalama periyodu değişimleri incelenmektedir. Türkiye sahillerinin dalga iklimini karşılaştırmayı amaçlayan çalışmada, incelemek için üçü Karadeniz, ikisi Akdeniz olmak üzere 5 farklı lokal bölge seçilmiştir. Seçilen lokal araştırma alanları İğne ada, Sinop, Hopa, Alanya ve Karataş bölgelerindedir (Şekil 2.114.).



Şekil 2.114. Türkiye dalga enerjisi potansiyeli için pilot bölgeler

Şekil 2.114.'de çalışmada incelenen bölgeler gösterilmektedir. Bununla beraber çalışmada, seçilen her bölge için birkaç farklı veri alanları belirlenmiş ve belirlenen veri alanları birbirileri ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sürecinde incelenen her bölge, haritaya ve birbirine göre konumunu temel alan bir matris kodlaması ile birbirinden ayrılmıştır. Çizelge 2.6.'da seçilen her bölge ve kapsadığı incelenen veri alanları gösterilmektedir. Ayrıca çizelgede her veri alanının matris kodlaması ve enlem – boylam olarak konumu da gösterilmektedir.

Çalışmada incelenen soluğan dalga tipi, seçilen bölge kaynaklı olmayan, yani bölgeye dışarıdan gelen fırtına ve benzeri nedenlerle meydana gelmiş dalgalardır. Rüzgâr dalgaları ise söz konusu bölgenin rüzgâr iklimi etkisi ile meydana gelen yüzey

dalgalarıdır. Seçilen bölgelerin incelenmesinde kaynak veri tabanı olarak ECMWF, 2008 veri tabanından yararlanılmıştır.

Çizelge 2.6. İncelenen bölgeler ve kapsadıkları veri alanları

<i>Konum matrisi</i>	<i>Bölge Adı</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>
38x24	İĞNEADA	41.385	286.76
38x25	İĞNEADA	41.885	28.676
39x24	İĞNEADA	41.385	29.176
39x25	İĞNEADA	41.885	29.176
49x26	SİNOP	42.202	34.528
50x26	SİNOP	42.202	35.028
51x26	SİNOP	42.202	35.528
61x24	HOPA	41.215	40.161
61x25	HOPA	41.715	40.161
62x24	HOPA	41.215	40.661
62x25	HOPA	41.715	40.661
63x25	HOPA	41.715	41.161
44x13	ALANYA	35.93	31.775
44x14	ALANYA	36.43	31.775
45x13	ALANYA	35.93	32.275
46x13	ALANYA	35.93	32.775
50x13	KARATAŞ	35.968	34.80
50x14	KARATAŞ	36.468	34.80
51x13	KARATAŞ	35.968	35.30
51x14	KARATAŞ	36.468	35.30

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, araştırılan bölgeden, 01.01.1996 – 31.12.2008 tarihleri arasında, toplamda 156 aylık bir sürede, 6 saatlik aralıklarla alınan veriler ışığında hazırlanmıştır. Seçilen her bölge için 55 km’lik bir dairesel alan dikkate alınmış ve her bölge birbirinden bağımsız değerlendirilmiştir. Alınan bölgesel verilerin işlenmesinde Serkan Sağlam tarafından geliştirilen WWIA-SIM 2.2 yazılımından yararlanılmıştır.

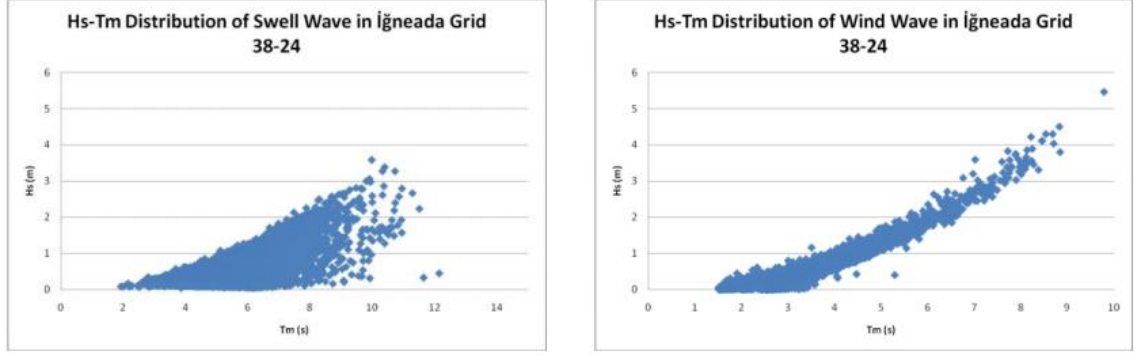
Çalışma çerçevesinde araştırılan, lokal bölgenin dalga iklimine ait veri tipleri,

1. Araştırılan bölgedeki soluğan dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu,
2. Araştırılan bölgedeki rüzgâr kaynaklı dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu,

3. Soluğan dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodunun değişimi
4. Rüzgâr kaynaklı dalgaların yüksekliği ve ortalama dalga periyodunun değişimi
5. Soluğan dalgalarının gç değişim eğrileri
6. Rüzgâr kaynaklı dalgaların gç değişim eğrileridir.

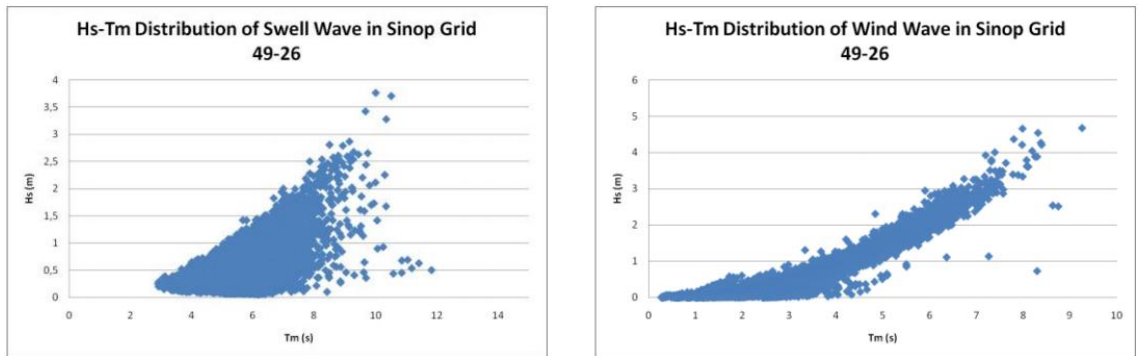
Yukarıda çalışmanın detayları ilgi bilgiler sunulmuştur. Buna ek olarak ilerleyen bölümlerde çalışmada incelenen her pilot bölge için ilk veri alanından elde edilen veriler grafiklerle incelenmiştir. Esas çalışmada incelenen her bölge için grafiklerle detaylı incelemeler yapılmakta ve bölgeye ait tanımlamalar gösterilmektedir. Burada verilen bilgiler çalışmanın küçük bir kısmını kapsamaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen birinci bölge İğneadası'dır. Şekil.2.115.'de İğneadası için belirlenen birinci analiz bölgesinden elde edilen dalga yüksekliği (H_s) ve ortalama dalga periyodu, (T_m) arasındaki ilişki gösterilmektedir. İncelenen veri alanı İğneadası burnunun 76 km güneydoğusunda ve deniz kıyısından 4.4 km uzaklıktadır. Bu bölgede görülen soluğan dalga yükseklikleri incelendiği zaman dalga oluşumunun çoğunlukta 10 s periyodunun altında olduğu görülmektedir. Buna ek olarak dalga yüksekliğinin 3 m'nin üstüne çıktığı birkaç veri noktası rastlanmaktadır. Bölgede görülen en yüksek soluğan dalga yüksekliği ise 3.58 m'dir. Birinci bölgeye ait verilen ikinci grafikte bölgeye ait rüzgâr kaynaklı dalgaların H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi soluğan bölge dalga grafiğine benzer Şekilde ortalama dalga periyotları 10 s değerine kadar ulaşabilmektedir. Grafik genelinde dalga veri yığılımları periyotun 9.79 s değerine kadar çıkmaktadır. Bu değerin üstüne sadece bir noktanın çıktığı görülmektedir. Bölgede elde edilen en yüksek rüzgâr dalgası yüksekliği 5.46 m'dir.



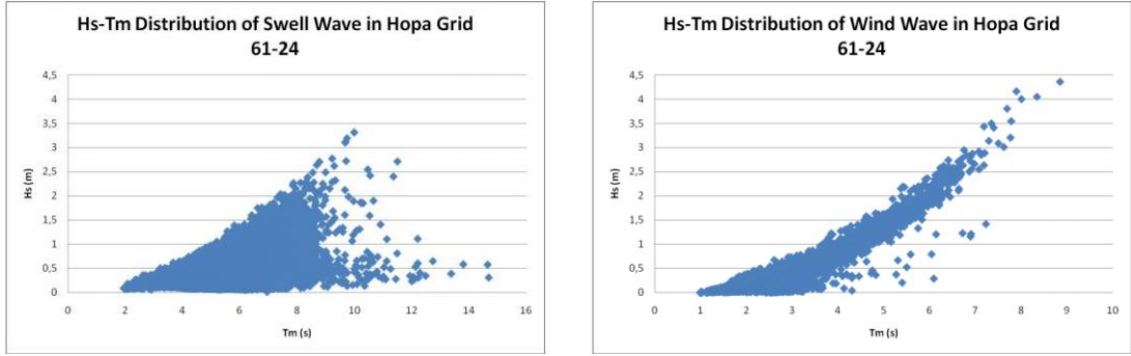
Şekil 2. 115. İğneadası birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları

Çalışma kapsamında incelenen ikinci bölge Sinop'tur. Sinop bölgesine ait incelenen birinci veri alanı Sinop burnunu yaklaşık 56 km kuzeybatısında, sahilinden 25 km uzaklıktadır. Şekil 2.216.'da Sinop için belirlenen birinci analiz bölgesinden elde edilen H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekilde verilen birinci grafikte soluğan dalga yüksekliği değerlerinin bazı bölgelerde 10 s'lik dalga periyotunun üstüne çıkabildiği görülmektedir. Seçilen bölge için, soluğan dalga yüksekliği birkaç veri noktası hariç 3 m'yi geçmemektedir. Bölgeden alınan en yüksek soluğan dalga yüksekliği verisi 3.76 m'dir. Şekilde verilen ikinci grafikte bölgeye ait rüzgâr kaynaklı dalgalar için H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Rüzgâr kaynaklı dalgalar için bölgede kaydedilen en yüksek dalga yüksekliği 6.32 m'dir. Yükseklik verisinin alındığı noktaya karşılık gelen dalga periyodu 9.18 s'dir.



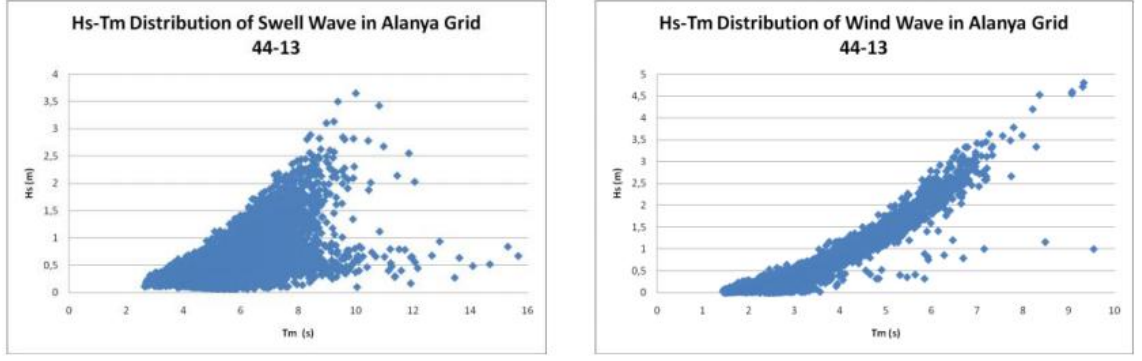
Şekil 2.116. Sinop birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları

Çalışma kapsamında incelenen üçüncü bölge Hopa'dır. Hopa bölgesine ait incelenen birinci veri alanı Hopa'nın 106.8 km batısında, sahilden 27.75 km uzaklıktadır. Şekil 2.117.'deki grafikte Hopa için belirlenen birinci analiz bölgesinden elde edilen H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekilde verilen birinci grafikte soluğan dalga yüksekliği değerlerinin yaklaşık 10 s'lik dalga peyotunda 2.5 m'lik dalga yüksekliğini aştığı görülmektedir. Bölgeden alınan en yüksek dalga yüksekliği verisi 3.31 m. Şekilde verilen ikinci grafikte rüzgâr kaynaklı dalgalar için H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Rüzgâr kaynaklı dalgalar için bölgede kaydedilen en yüksek dalga yüksekliği 4.36 m'dir. Yükseklik verisinin alındığı noktaya karşılık gelen dalga periyodu 8.85 s'dir.



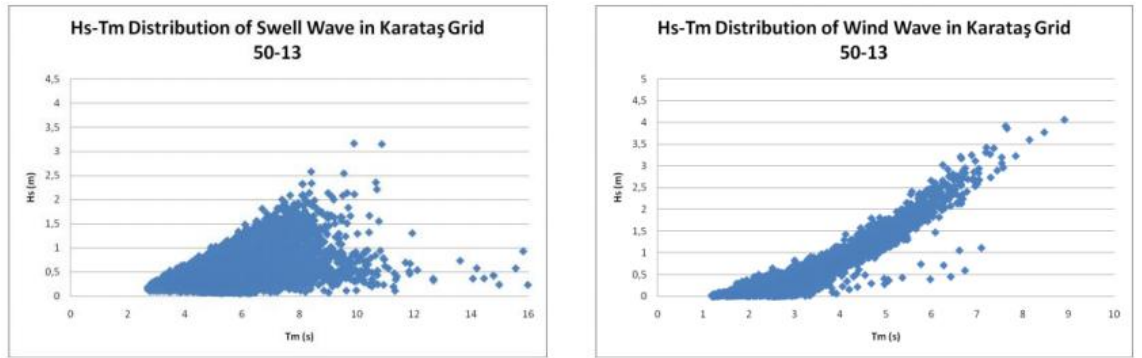
Şekil 2.117. Hopa birinci analiz bölgesi ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları

Çalışma kapsamında incelenen dördüncü bölge Alanya'dır. Alanya bölgesine ait incelenen birinci veri alanı Alanya'nın yaklaşık 72.75 km güneybatısında, sahilden yaklaşık 58 km uzaklıktadır. Şekil 2.118.'deki grafiklerde Alanya için belirlenen birinci analiz bölgesinden elde edilen H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Seçilen bölge için, soluğan dalga yüksekliği birkaç veri noktası hariç 2.5 m'yi geçmemektedir. Bölgeden alınan en yüksek soluğan dalga yüksekliği verisi 3.65 m'dir. Şekilde verilen ikinci grafikte rüzgâr kaynaklı dalgalar için H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Rüzgâr kaynaklı dalgalar için bölgede kaydedilen en yüksek dalga yüksekliği 4.80 m'dir. Yükseklik verisinin alındığı noktaya karşılık gelen dalga periyodu 9.33 s'dir.



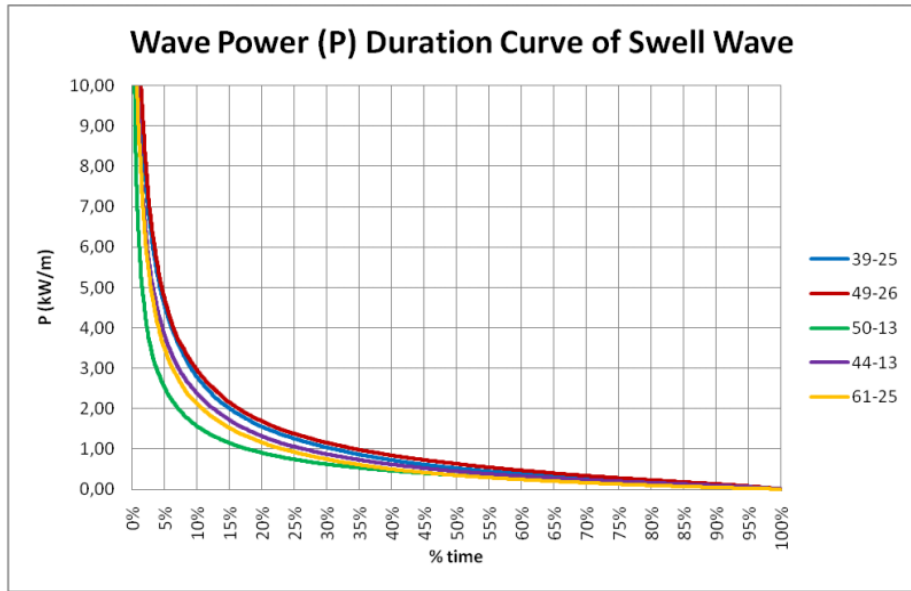
Şekil 2.118. Alanya birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları

İncelenen beşinci bölge Karataş'tır. Karataş bölgesine ait birinci veri alanı Karataş'ın yaklaşık 79.7 km güneybatısında, sahilden yaklaşık 76 km uzaklıktadır. Şekil 2.119.'da Karataş bölgesi için belirlenen birinci analiz bölgesinden elde edilen H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Seçilen bölge için, soluğan dalga yüksekliği birkaç veri noktası hariç 2 m'yi geçmemektedir. Bölgeden alınan en yüksek soluğan dalga yüksekliği verisi 3.6 m'dir. Şekildeki ikinci grafikte bölgeye ait rüzgâr kaynaklı dalgalar için H_s ve T_m arasındaki ilişki gösterilmektedir. Rüzgâr kaynaklı dalgalar için bölgede kaydedilen en yüksek dalga yüksekliği 4.06 m'dir. Yükseklik verisinin alındığı noktaya karşılık gelen dalga periyodu 8.91 s'dir.

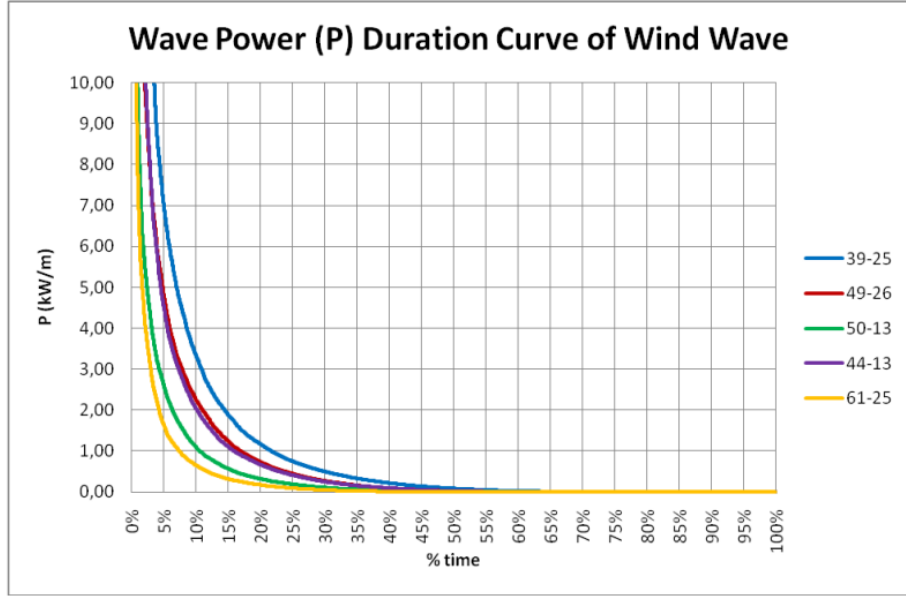


Şekil 2.119. Karataş birinci analiz bölgesine ait soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyotları

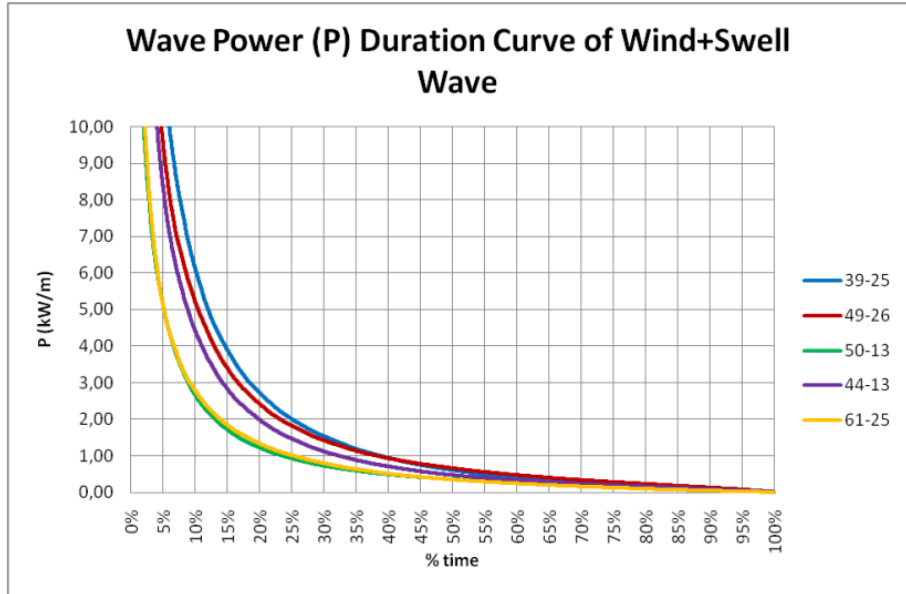
Şekil 2.116., 2.117., 2.118., ve 2.119. ile verilen grafiklerle her bölge için yapılan incelemelere birer örnek gösterilmektedir. Şekil 2.120., 2.121. ve 2.122. ile verilen grafiklerde ise veri toplanan beş farklı bölgenin birbirleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 2.120.'de, değerlendirilen beş bölge için soluşan dalgalar tarafından taşınan enerjinin değişimi karşılaştırılmaktadır. Şekil 2.21.'de değerlendirilen beş bölge için rüzgâr kaynaklı dalgalar tarafından taşınan enerjinin değişimi karşılaştırılmaktadır. Son olarak Şekil 2.122.'de gösterilen grafikte beş farklı bölge için her iki dalga tipi tarafından toplam enerji değişimi değerlendirilmektedir.



Şekil 2.120. Değerlendirilen beş bölge için soluşan dalgalar tarafından taşınan enerji



Şekil 2.121. Değerlendirilen beş bölge için rüzgâr kaynaklı dalgalar tarafından taşınan enerji



Şekil 2.122. Değerlendirilen beş bölge için soluğan tipi ve rüzgâr kaynaklı dalgalar tarafından taşınan toplam enerji

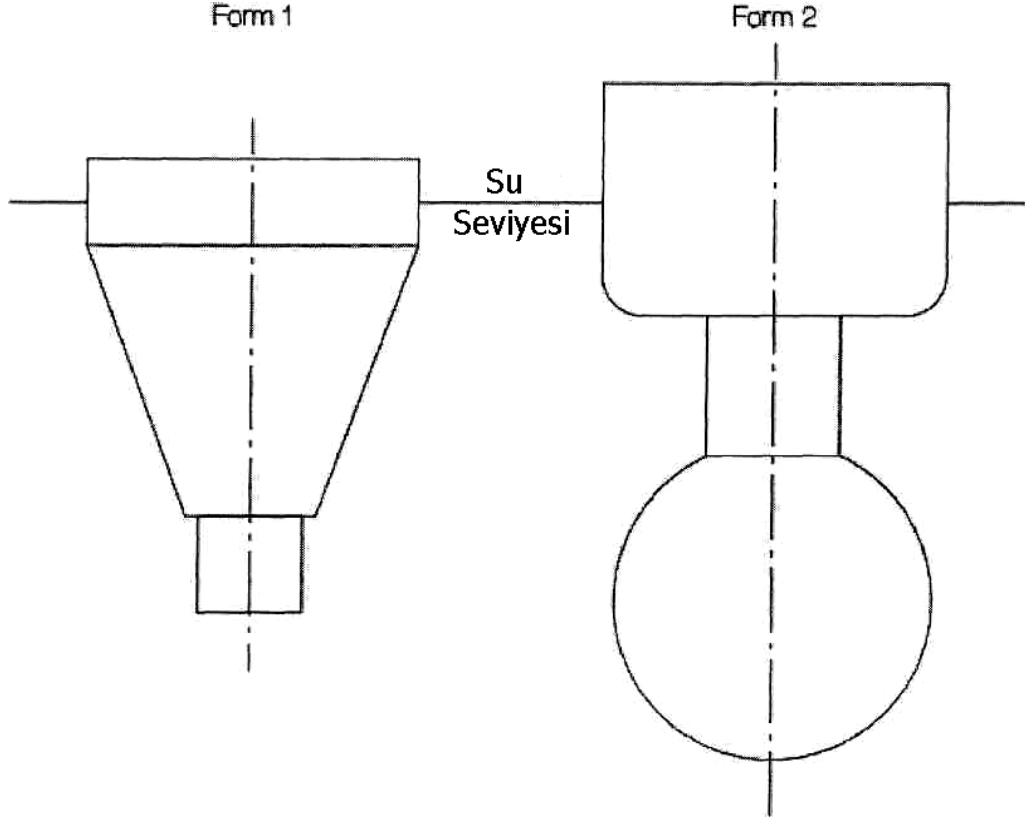
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu başlık altında çalışmada esas alınan Frog1 Form2 DEK sisteminin tek serbestlik derecesinde modellenmesi yapılmakta ve kontrol problemleri tanımlanmaktadır. Bu çerçevede esas alınan DEK modelinin fiziksel özellikleri, geometrik yapısı ve modellenmesine yönelik bilgiler verilmektedir. DEK sisteminin fiziksel modellenmesinde kullanılan Multisurf yazılımından alınan görsellerden de yardım alınarak kullanılan DEK sisteminin geometrik yapısı daha anlaşılır hale getirilmeye çalışılmıştır. Sistemin fiziksel modellenmesi hakkında bilgiler sunulmuştur. Tez çalışmasında, DEK sistemini frekans uzayında analizlerinin yapıldığı Matlab/Simulink modeli ilgili detaylar verilmiştir. Bu çerçevede DEK sisteminin matematiksel modeli esas alınarak oluşturulan Simulink modelinin işleyişi ve blok parametreleri ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. DEK sisteminin verimi etkileyen önemli parametrelere ışık tutulacaktır. Söz konusu bu parametreler sistemin radyasyon sönümlenme katsayısı ve ek kütesidir. Bu parametreler DEK sistemine uygulanan dalga'nın frekansına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu parametrelerin değişimi hidrodinamik analiz sonucu elde edilen verilerden yararlanarak karakterize edilmiştir.

3.1.1.FROG 1 FORM 2 Modeli

Bu bölümde çalışmada esas alınan Frog 1 Form 2 DEK sistem geometrisi ilgili ayrıntılar yer almaktadır. Frog 1 Form 2 geometrisi, 1979 yılına Bracewell tarafından şamandıra şeklinde tasarlanmış DEK geometrilerinden birisidir. Tezin önceki bölümünde bahsettiğimiz gibi PS Frog (Bracewell, 1990), modelinin geliştirilmesinde ilk ortaya konulan geometrilerden birisi olan Frog 1 Form 2 geometrisi $-z$ eksenine göre (dikey yönde) aksi-simetrik özellik gösteren, dalga'nın yukarı – aşağı hareketi ile salınma giren DEK sistemidir. PS Frog'un geliştirilmesinde iki farklı aksi-simetrik geometri konsepti üzerine çalışmalar yapılmıştır. Frog 1 Form1 ve Frog1 Form 2 olarak isimlendirilen bu DEK tasarımlarının geometrik gösterim Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



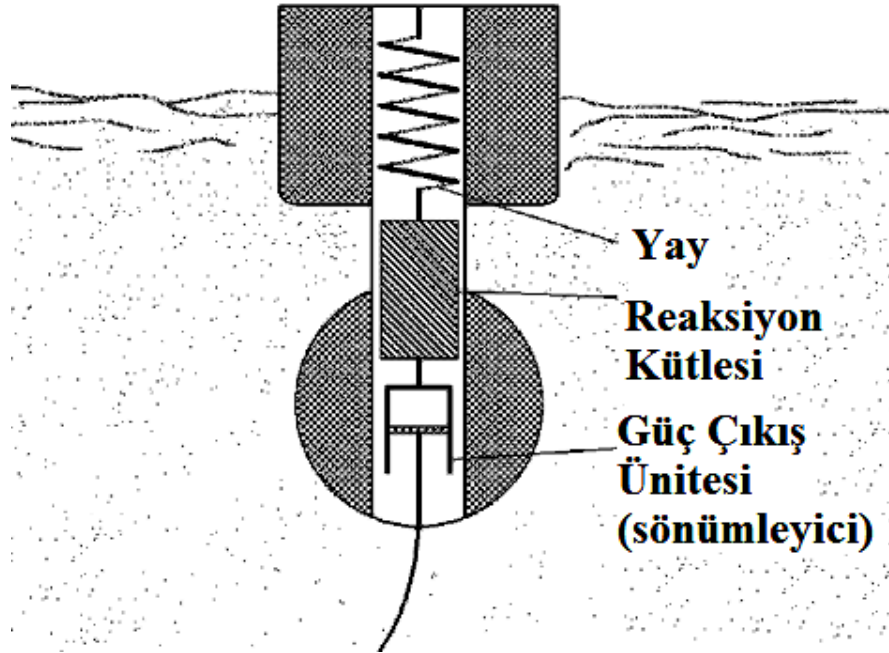
Şekil 3.1. Frog 1 Form1 ve Frog 1 Form 2 geometrisi

Şamandıra şeklinde tasarlanan Frog sistemi yüzeyinde batmadan yüzen PAWEC sınıfı DEK sistemlerine gösterilecek bir örnektir. Bracewell (1980) tarafından kullanılan geometrilere, Frog 1 Form 2 geometrisinin tez kapsamında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Frog 1 Form 2 konsepti, Parks (1979) tarafından teorik analizleri yapılan Frog 1 Form 1 geometrisinin gelişmiş bir versiyonudur. Bu tasarım şekli üç ana bölüme meydana gelmektedir. Birinci bölüm suyun altında yer alan küre şeklindeki bölümdür. Bu bölüm ilk olarak geniş bir silindir olarak tasarlanıp, daha sonra köşelerinin yuvarlanması ile küre biçimini almıştır. Gövdenin bu tasarımı ile girdap dökülme (vortex shedding) riski azaltılmıştır. Tasarımın ikinci bölümü küre bölümüne üstten bağlanmış, boğaz şeklindeki dar silindir bölümüdür. Tasarımın üçüncü bölümü geometrinin en geniş parçasıdır. Bir tarafı suyun üzerinde kalan bu bölüm, dikey dalga kuvvetlerini karşılayabilmesi için geniş bir silindir şeklinde tasarlanmıştır. Bu tasarım ile dalga basıncı silindirin üzerinde dağılmakta ve sistem su yüzeyine yakın olduğu durumlarda daha iyi performans gösterebilmektedir. Bu özel durumu nedeni ile

büyük genlikli dalgalarda, dalga doruğunda gövdenin suyu terk etmemesi gerekmektedir.

Tasarımda birinci bölümü (küre şeklindeki bölüm), sahip olduğu eylemsizlik etkisi ve su içerisinde bu bölüm etrafında meydana gelen ek kütle etkisi ile gövdenin doğal yukarı – aşağı frekansı azalmakta ve orta seviyeli dalga spektrumlarına yaklaşmaktadır. Sonuç olarak kütle hareketi ile elde edilecek güç yakalama oranı artmaktadır. Bu konseptte kullanılan temel prensip 1985 yılında Ferdinante ve Vantorre tarafından da ‘İkili PAWEC’ tasarımında da kullanılmıştır.

Frog1 Form 2 konsepti sistem gövdesin su yüzeyinden aşağı doğru silindirik bir şekilde tasarlanmasını sağladığı bir diğer avantajda, sistem gövdesinin farklı tipte dalga formlarına karşılık verebilmesidir. Gövdenin bu tasarımı sayesinde, yüksek genlikli dalgalarda çalışırken, DEK sisteminin dikey yer değiştirmesi ile sisteminin Hidrostatik serliğinin lineer kalması sağlanabilmektedir. Frog 1 Form 2 geometrisinin temel sistem elemanları Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



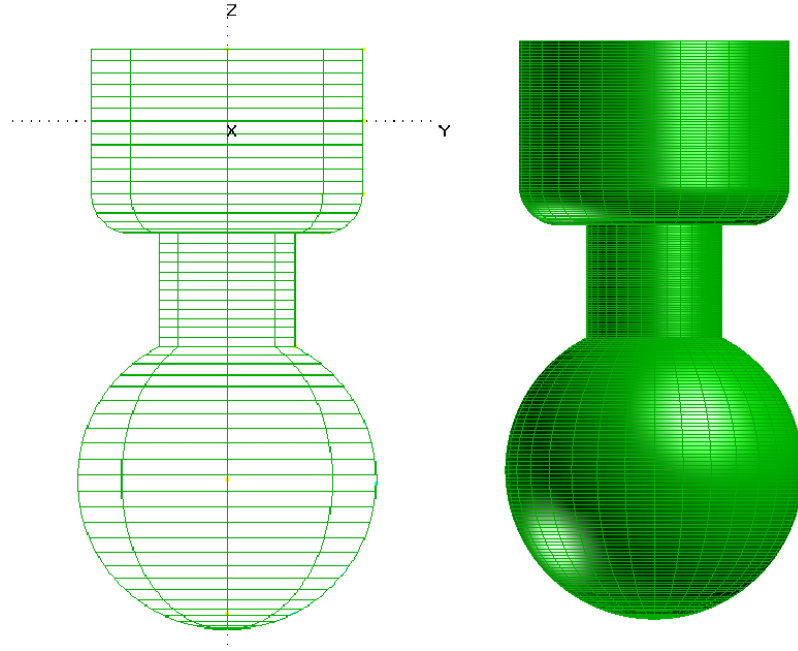
Şekil 3.2. Frog 1 Form 2 konsepti sistem geometrisi ve sistem elemanları (Bracewell, 1990)

French tarafından 1985 yılında Frog sisteminin çalışması şunu şekilde tanımlanmıştır; “Tasarımda kullanılan sönümlenme elemanında (yay) meydana

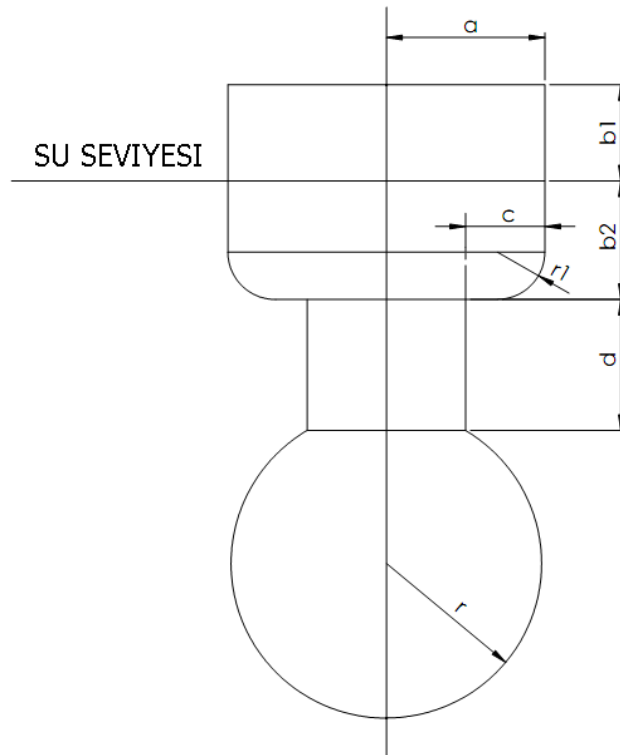
gelebilecek bir ters etki ile gerçek bir sönümleyiciden farklı olarak, sönümlenmekte olan gövde kısmındaki titreşim en aza indirilemezken, çevresinden çekilen enerjinin miktarı en yüksek dereceye çıkarılabilmektedir.” Bu durum gerilmiş bir yayda asılı olan kütlelerin idealleştirilmesi gibidir. Böylelikle kütle sadece şamandıra aksi-simetrik ekseninde hareket edebilmekte ve lineer bir amortisör şeklinde gösterilen GÇÜ ile yavaşlamaktadır. Bunlara ek olarak Frog konseptinde gövdenin değişken dalga etkisinde sistemin her zaman rezonansta kalabilmesi için efektif yay sertliğinin değişken olması zorunludur (Bracewell, 1990).

Tez kapsamında Frog 1 Form 2 geometrinin modellenmesi işlemi gemi mühendisliğinde kullanılan, gelişmiş yüzey modelleme programı MultiSurf'ten yararlanarak yapılmıştır. Program aynı zamanda, hidrodinamik analizde kullanılan panelleme metodunu desteklemektedir. Şekil 3.3.'de çalışmalarda kullanılan Frog 1 Form 2 MultiSurf tasarımı gösterilmektedir. Şekilde tasarımı yapılan DEK geometrisinin tel ızgara görünümü ve hidrodinamik modellemede esas alınan panel metodu ile panellere ayrılmış durumu gösterilmektedir. Şekil 3.4.'de modelin fiziksel boyutlarına ait detaylar notasyonla gösterilmektedir.

Model özellikle sistemin -x ve -y eksenlerine göre simetrik oluşu açısından analizi kolaylaştırmanın yanı sıra sistemin uygulamasında da kolaylıklar sağlamaktadır. Bu kolaylıklar özellikle dalga yönüne göre yapılması gereken hesaplamaları gereksiz hale getirmektedir. Diğer bir deyişle, yapının simetrik özelliğinden dolayı, sistemin dalganın yönünden bağımsız olarak çalışmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Frog 1 Form 2 Multisurf modeli



Şekil 3.4. Frog 1 Form 2 fiziksel boyutları

Çizelge 3.1. Frog 1 Form 2 Gerçek Sistemin Öngörülen Fiziksel Boyutları

Notasyon	Uzunluk(m)
a	10.000
b ₁	5.300
b ₂	8.300
c	5.000
d	8.310
r	9.800
r ₁	3.000

Çizelge 3.1.'de dalga Frog 1 Form 2 DEK modelinin fiziksel boyutları gösterilmektedir. Çizelge 3.2.'de modele ait diğer fiziksel parametreler ve analiz şartları gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Modele ait fiziksel özellikler ve analiz şartları

Notasyon	Özellik	Değer	Birim
L_T	Yükseklik	40.139	m
L_{diff}	Suyun altında kalan bölümün uzunluğu	36.000	m
V_{top}	Toplam hacim	8699.260	m ³
V_{diff}	Suyun altında kalan hacim	7898.950	m ³
m_{dry}	Kuru kütle	2054.000	ton
z_g	Kuru kütle ağırlık merkezi	-10.000	m
I_{yy}	-y eksenine göre atalet momenti	278145.824	ton. m ²
G	Yerçekimi ivmesi	9.806	m/ s ³
Rho	Suyun özkütlesi	1.027	ton/ m ³

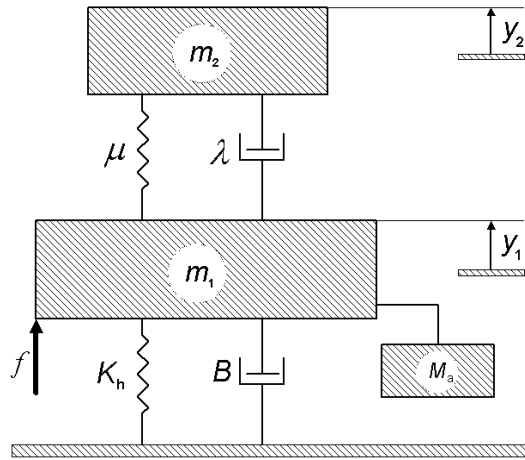
Çizelge 3.2.'de tez çalışması kapsamında analizler de esas alınan DEK sisteminin bazı fiziksel özellikleri ve ortam değişkenleri gösterilmektedir. Burada L_T ile DEK sisteminin aksi-simetrik eksenine göre toplam uzunluğu L_{diff} ile aynı eksenindeki suyun altında kalan bölümün uzunluğunu gösterilmektedir. Yine benzer

notasyondan yararlanan V_{top} ve V_{diff} gösterimleri sırası ile DEK sisteminin toplam hacmini ve suyun altında kalan bölümün hacmine karşılık gelmektedir. DEK gövdesinin kuru kütlesi (m_{dry}) çelik konstrüksiyon kütlesini ifade etmektedir. Islak kütlesi ise hidrodinamik analiz sonucu hesaplanan ek sıvı kütlesi ile kuru kütle toplamına eşittir.

3.1.2. DEK Sisteminin Matematik Modeli

Bu başlık altında önceki bölümde incelenen Frog 1 Form 2 DEK modelinin matematiksel modeli incelenmiştir. Bir sıvı içerisinde yüzen bir yapının matematiksel modellenmesinin en kolay yolu, modellemenin frekans uzayında yapılmasıdır. Bu nedenle birçok DEK sisteminin modellenmesine frekans uzayından başlanmaktadır. Frekans uzayında modellemenin amacı sistemin farklı frekanslara cevabını karakterize etmektedir. Zamandan bağımsız olarak sistemin cevabını inceleyen bu yöntemde, sisteme homojen ve lineer yapı dalgalar uygulanmaktadır.

Bu çalışmada Frog 1 Form 2 DEK sisteminin modellenmesinde 1984'te French tarafından optimizasyon ve indirgeme çalışmalarında kullanılan, DEK matematiksel modelinden yararlanılmaktadır. Kullanılan matematiksel modelin şematik gösterimi Şekil 3.5.'te gösterilmektedir. Model denklemleri, 3.1. ve 3.2. nolu eşitliklerde gösterildiği gibidir. Model'de kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları Çizelge 3.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Lineerleştirilmiş Frog matematiksel modelinin şematik gösterimi

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

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

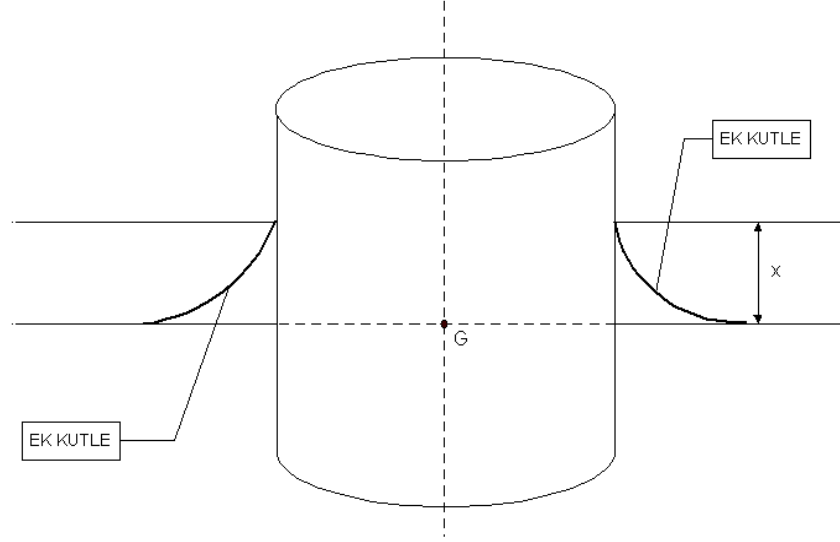
Çizelge 3.3. Lineerleştirilmiş Frog matematiksel modelinde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları

Notasyon	Açıklama
m_1	Şamandıranın kütlesi
m_2	Reaksiyon kütlesi
m_a	Ek kütle
K_h	Şamandıranın yukarı – aşağı(heave) hidrostatik yay katsayısı(Yüzey alanı x ρg)
B	Frekansa bağlı radyasyon katsayısı
y_1	Şamandıranın yer değiştirme miktarı
y_2	Reaksiyon kütesinin yer değiştirme miktarı
μ	Yay sertliği
λ	Lineer sönümlenme elemanının sönümlenme katsayısı
f	Dalga kuvveti

DEK sisteminin modellenmesinde kullanılan y_1 ve y_2 parametreleri sırası ile gövdenin (şamandıra ana gövdesinin) ve reaksiyon kütesinin yer değiştirme miktarını göstermektedir. Denklemede kullanılan m_a değeri, DEK sisteminin sıvı ortamında kazandığı ek kütle (ıslak kütle) göstermektedir. Bu değer DEK sisteminin hareket etmesi esnasında gövdeye tutunan ek sıvının kütlesidir. Ortam frekansına, zamana, sistem gövdesinin şekline, hacmine ve ağırlığına olmak üzere daha birçok model parametresine göre değişiklik gösteren bu değer, hidrodinamik analiz programlarından

yararlanarak hesaplanmaktadır. Gövde üzerine tutunan sıvı miktarı, gövdenin hızının artması ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

Şekil 3.6.'da silindirik bir gövdeye etki eden ek kütle etkisi gösterilmektedir. Şekilde görülen x gövdenin yukarı – aşağı (heave) hareketine karşılık gelmektedir.



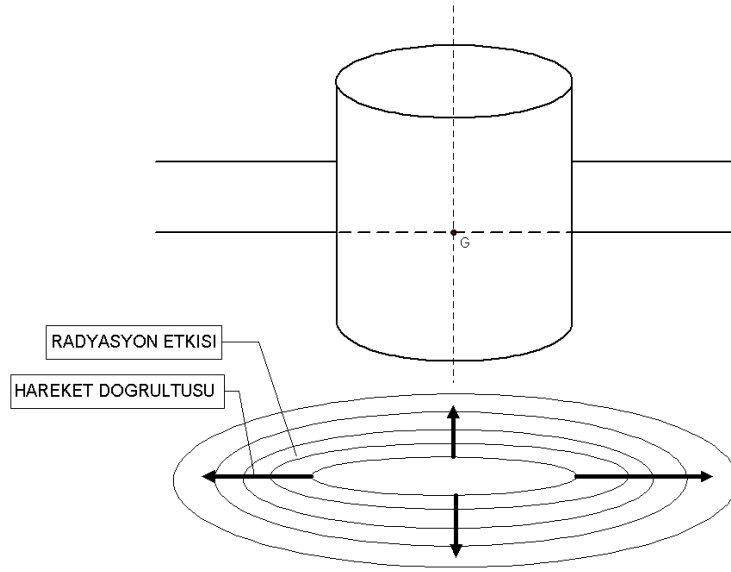
Şekil 3.6. Yüzen bir silindirik bir gövdede meydana gelen ek kütle etkisi

DEK sisteminin hareketi esnasında gövdeye tutunan sıvı kütesinin etkisi ile sisteminin toplam kütlesi sürekli değişim göstermektedir. Denklem 3.3. ile gösterilen eşitlikte, m_1 parametresi gövdenin konstrüksiyon kütlesine karşılık gelmektedir. Bu değer kuru kütle olarak ta isimlendirilir ve sabittir. m_2 parametresi ile sistemin reaksiyon kütlesi gösterilmektedir. DEK modelinin toplam kütlesi ek kütle ile kuru kütle toplamı ile hesaplanmaktadır (Denklem 3.4). Ek kütle, (m_{top}) anlık değişen bir parametre olmasından dolayı, DEK sisteminin sudaki toplam kütlesi de değişkenlik göstermektedir.

$$M_{dry} = (m_1 + m_2) \quad (3.3.)$$

$$m_{top} = (M_{dry} + m_a) \quad (3.4.)$$

Sıvı yüzeyinde denge halinde olan yüzer bir gövdeye bir dalganın etki etmesi ile gövde salınma geçer. Gövdenin yüzeyine etki eden dalga, gövdeyi konum değişikliğine zorlar. Dalganın harmonik etkisi sonucu, gövde üzerinde bir rezonans oluşur. Bu etki ile beraber gövde suda salınım hareketi yapmaya başlar. Gövde, yaptığı salınım hareketi nedeni ile gelen dalganın tersi yönünde, gövde merkezli yansıma dalgalar üretmektedir. Bu yansıma dalgaları radyasyon etkisi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.7.'de silindirik bir gövdenin meydana getirdiği radyasyon etkisi şematik olarak gösterilmektedir.







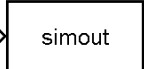
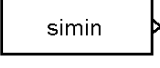

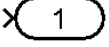





Şekil 3.7. Radyasyon etkisi

DEK sistemlerinde gövdenin ürettiği radyasyon dalgaları sistemin performansına doğrudan etki eder. DEK tasarımında kullanılan gövdenin aşırı radyasyon üretmesi durumunda sistemin kayıpları da fazla olur. Gövde gelen dalgayla yakın bir frekansta salınım yapması durumunda daha az radyasyon dalgası üretir.

3.1.3. DEK sisteminin Matlab/Simulink Modeli

Bu başlık altında önceki bölümde, DEK sisteminin modellenmesinde temel alınan DEK matematik modelinde yararlanarak, Frog 1 From 2 DEK sisteminin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi yapılmaktadır. Bu çerçevede modelde kullanılan hidrodinamik parametrelerin frekans ile değişimi ve değişen parametrelerin birbirine etkisi incelenmektedir.

Çizelge 3.4. Simulink modelinde kullanılan blok elemanları

Blok Elemanı	Blok ismi	Açıklama
	Add	Toplam bloğu
	Divide	Bölme bloğu
	Integrator	Ek kütle
	Constant	Veri tutucu
	To Workspace	Matlab çalışma alanından veri okuma bloğu
	From Workspace	Matlab çalışma alanına veri yazma bloğu
	In(İçeri)	Bir alt sistem bloğunun diğer alt sistem bloğundan veri alması için kullanılır.
	Out(Dışarı)	Bir alt sistem bloğunun diğer alt sistem bloğuna veri gönderebilmesi için kullanılır.
	Gain	Kazanç bloğu
	Math Function (Square)	Kare alma
	Clock	Zamanlayıcı
	Lookup Table	Tek boyutlu yakınsama bloğu
	Subsystem	Alt sistem bloğu

DEK sisteminin matematiksel modeli incelendiği zaman eşitliklerde temel dört işlem ve integral hesabından yararlanıldığı görülmektedir. Matlab ortamında bu işlemleri yapmak için toplam bloğu (Add), bölüm bloğu (Divide) ve integral bloğu (Integrator) elemanlarından yararlanılmaktadır. Buna ek olarak DEK modelinin oluşturulmasında verilerin okunması, yazılması gibi işlemler için ek yardımcı bloklardan yararlanılmaktadır. Modelin oluşturulmasında kullanılan bloklar ve açıklamaları Çizelge 3.4.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Frog 1 Form 2 DEK Simulink modeli model parametreleri

<i>Notasyon</i>	<i>Açıklama</i>	<i>Birim</i>
f	Dalga kuvveti	N
ω	Dalga frekansı	rad/sn
v_1	Şamandıra kütlelerinin hızı	m/s
v_2	Reaksiyon kütlelerinin hızı	m/s
y_1	Şamandıranın yer değiştirme miktarı	m
y_2	Reaksiyon kütlelerinin yer değiştirme miktarı	m
P_{ins}	Anlık güç	N/s ²
P_{avr}	Ortalama güç	N/s ²
E	Toplam güç	N/s ²
K_h	Şamandıranın yukarı – aşağı(heave) hidrostatik yay katsayısı	-
μ	Lineer sönümlenme elemanının sönümlenme katsayısı	-
λ	Yay sertliği	-
m_{add}	Ek kütle	kg
m_{dry}	Kuru kütle	kg

Simulink DEK modelinin oluşturulmasında, DEK sisteminin lineer frekanslı bir dalga kuvvetinin etkisinde reaksiyon kütlesi ve gövdenin yer değişiminden (modelde kullanılan y_1 ve y_2 parametreleri) yola çıkılarak hazırlanmıştır. Daha sonra modelde kullanılan diğer parametreler Simulink modeline eklenerek modelleme tamamlanmıştır. Modelde kullanılan tüm notasyon parametreleri Çizelge 3.5. ile gösterilmektedir.

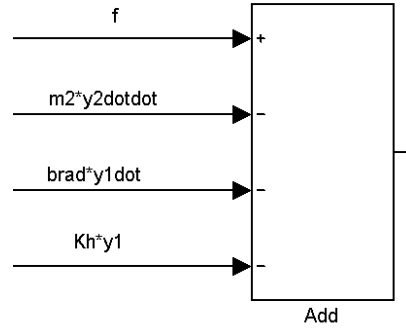
Frog 1 From 2 DEK sisteminin modellemesinde kullanılan DEK modeli Denklem 3.1. ve Denklem 3.2. olmak üzere iki eşitlikten meydana gelmektedir (bkz Bölüm 3.2.1). Verilen bu eşitliklerden Denklem 3.1.'deki y_1 ve y_2 değerleri yalnız bırakılırsa, Denklem 3.6. ve Denklem 3.7., Denklem 3.2.'deki, y_2 değerleri yalnız bırakılırsa Denklem 3.8.'deki eşitlikler elde edilmektedir.

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_{top}} [f - m_2 \ddot{y}_2 - b \dot{y}_1 - K_h y_1] \quad (3.6.)$$

$$y_1 = \frac{(f - (m_1 + m_a) \ddot{y}_1 - m_2 \ddot{y}_2 - b \dot{y}_1)}{K_h} \quad (3.7.)$$

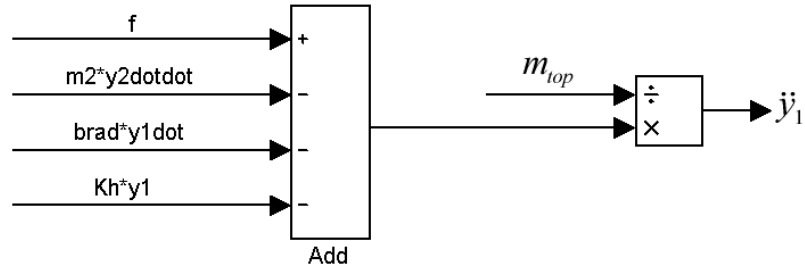
$$\ddot{y}_2 = - \frac{(\lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \mu(y_2 - y_1))}{m_2} \quad (3.8.)$$

Denklem 3.6.'daki eşitlik incelenirse, eşitliğin f değerinin toplam durumunda, $m_2 \ddot{y}_2$, $b \dot{y}_1$, $K_h y_1$ değerlerinin çıkarma durumunda olduğu görülmektedir. Simulink ortamında modelleme işlemine toplam bloğu ile başlanmıştır (Şekil 3.8.). Daha sonra diğer eşitlik elemanları da model blokları kullanılarak sisteme dâhil edilmektedir. Eşitliğin Simulink ortamında toplam bloğunda yararlanarak modellenmiş hali Şekil 3.8.'de gösterilmiştir. Blok çalışma alanına eklendikten sonra blok girişi sayısı dörde çıkarılıp ve blok girdileri şekilde görüldüğü gibi (+, -, -, -) olarak ayarlanmıştır.



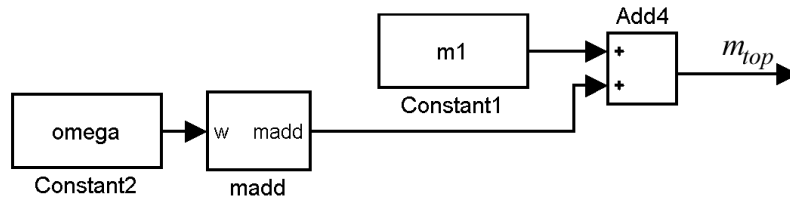
Şekil 3.8. Simulink modeli y_1 toplam bloğu

Böylelikle toplam bloğu çıkışından $f - m_2\ddot{y}_2 - b\dot{y}_1 - K_h y_1$ değeri elde edilmektedir. Bir sonraki adım olarak bloğun çıkışı $1/m_{top}$ değeri ile çarpılarak \ddot{y}_1 değeri elde edilmektedir (Şekil 3.9.).



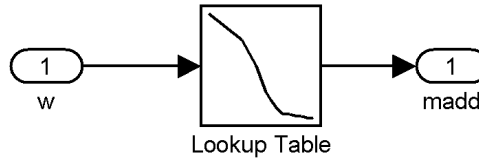
Şekil 3.9. Simulink modeline DEK kütesinin dâhil edilmesi

Denklemden kullanılan m_{top} değeri sistemin kuru kütlesi ile ek kütesinin toplamına eşittir (Denklemler 3.4.). Bu toplama işlemi Şekil 3.10.'da görülen blok bölümü ile yapılmaktadır.



Şekil 3.10. Toplam kütle fonksiyonu

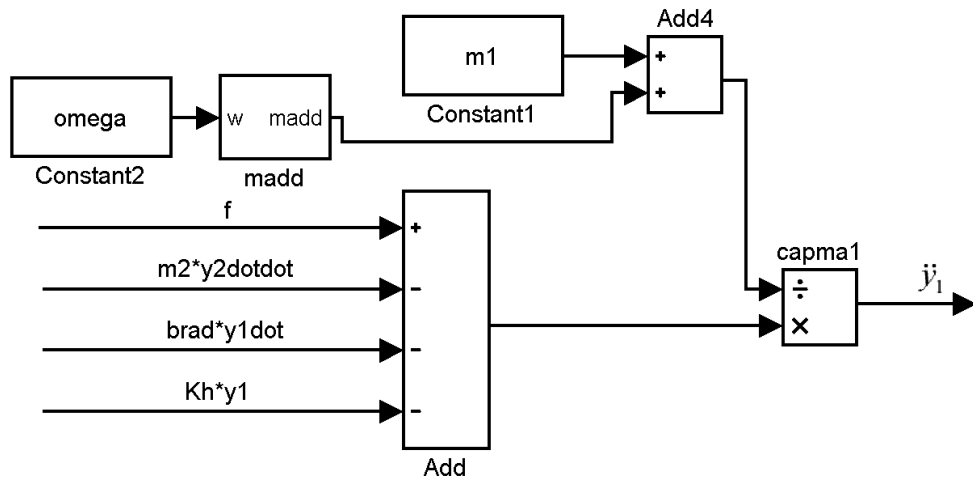
Sistemin kuru kütlesi (m_1) sabit bir değer olduğu için, bir veri tutucu bloğundan yararlanarak ya da doğrudan Matlab çalışma alanından okutularak simülasyona dâhil edilebilmektedir. Fakat sistemin ek kütlesi m_a değeri frekansa göre değişkenlik gösterdiği için, frekansın bir fonksiyonu ($m_a(\omega)$) olarak tanımlanmalıdır. Bu tanımlama işlemi Şekil 3.11.'de görülen *madd* alt sistem bloğundan yararlanarak yapılmıştır.



Şekil 3.11. Ek kütle Fonksiyonu

Şekilde gösterildiği gibi $m_a(\omega)$ fonksiyonu, bir yakınsama bloğundan yararlanarak tanımlanmıştır. Yakınsama bloğunun görevi interpolasyon - dış değer bulma metotlarından yararlanarak gelen frekans bilgisine göre çıkış bilgisi üretmektir. Blok bu verileri, bloğun ayar parametrelere girilen giriş vektörü ve veri matrisine bağlı olarak üretmektedir.

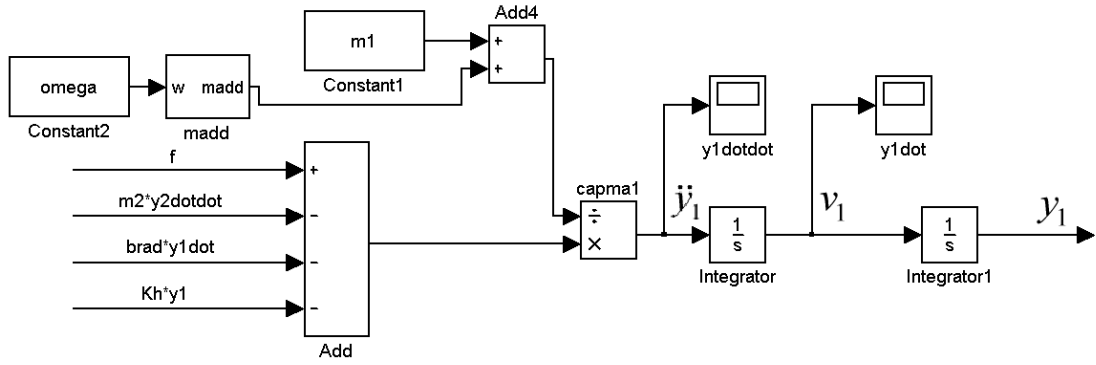
Sistem modeline m_{top} değerinin de dâhil edilmesi ile model Şekil 3.12.'de görülen halini almaktadır.



Şekil 3.12. Simulink modeli y_1 toplam bloğu

Modellemenin bir sonraki adımı olarak kuru kütlenin hızı (v_1) ve yer değişimi (y_1) değerleri modele dâhil edilmektedir. Şimdiye kadar yapılan işlemler ile hali hazırda \ddot{y}_1 değeri elde edilmiştir. \ddot{y}_1 değerinin bir kez integre edilmesi ile \dot{y}_1 değeri elde edilmektedir. Kuru kütlenin yer değişiminin türevine karşılık gelen \dot{y}_1 değeri aynı zamanda bize kuru kütlenin hızını vermektedir (Denklemler 3.9.). Elde edilen, \dot{y}_1 değerinin tekrar integre edilmesi ile kuru kütlenin yer değişimi, (y_1) elde edilmektedir (Şekil 3.13.).

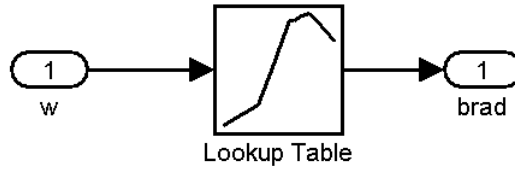
$$\dot{y}_1 = v_1 \quad (3.9.)$$



Şekil 3.13. Simulink modeli v_1 ve y_1 parametrelerinin eldesi

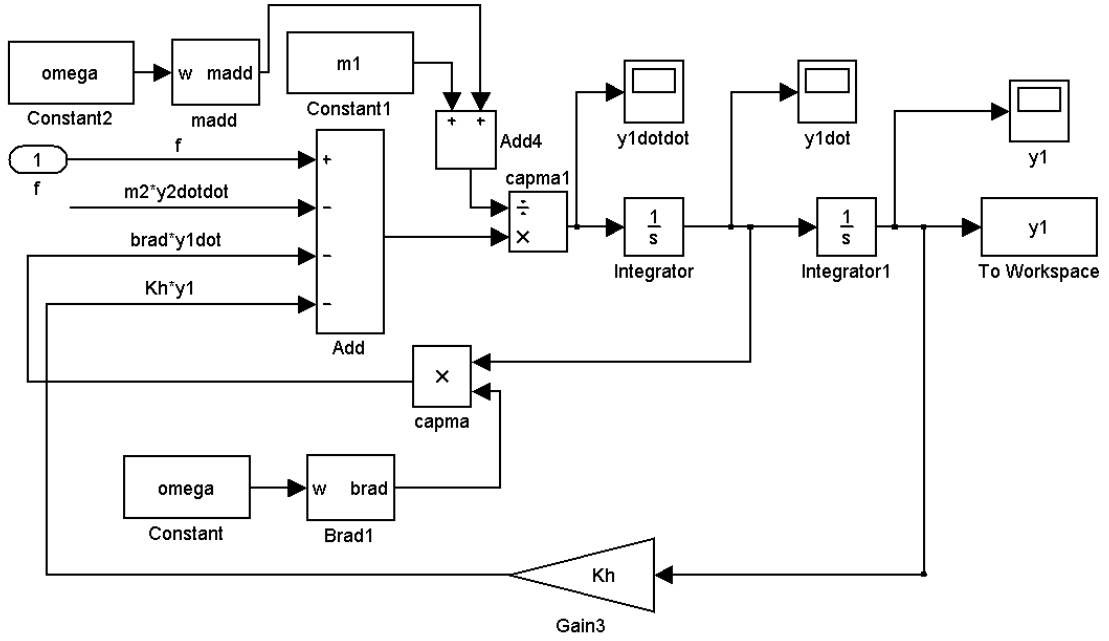
Şimdiye kadar yapılan çalışmalar ile y_1 toplam bloğunun çıkışı m_{top} parametresi ile çarpılıp birinci kütlenin hızı ve yer değişimi değerleri hesaplanmaktadır. Bundan sonraki adımda y_1 toplam bloğunun giriş parametreleri modele dâhil edilmektedir. Konunun başından hatırlanacağı gibi y_1 toplam bloğunun giriş parametreleri f , $m_2\ddot{y}_2$, $b\dot{y}_1$, $K_h y_1$ 'dir. Burada gösterilen f parametresi dalga kuvvetine karşılık gelmektedir ve diğer parametrelerden farklı olarak simülasyona başlanmadan hesaplanıp ve Matlab çalışma alanına alınmaktadır. Bu nedenle, f değerinin simülasyona dâhil edilmesinde In (içeri) bloğundan yararlanılmıştır. $m_2\ddot{y}_2$, değerlerinde yer alan \ddot{y}_2 parametresi, henüz modele dâhil edilmediği için modelin bu

bölümü ilerleyen adımlarda incelenecektir. Model bloğunun girişinde kullanılan b_{y_1} parametresi, b_{rad} parametresi ile birinci kütle hızının çarpıma eşittir. Eşitlikte kullanılan b_{rad} parametresi, DEK modelinin radyasyon etkisine karşılık gelmektedir ve frekansın bir fonksiyonudur. Bu nedenle $b_{rad}(\omega)$ fonksiyonunun modele dâhil edilmesinde ek kütle fonksiyonunda ($m_a(\omega)$) olduğu gibi yakınsama bloğundan yararlanılmış ve bir alt sistem bloğu ile modele dâhil edilmiştir. Modelde kullanılan B_{rad1} bloğu Şekil 3.14.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Simulink modeli Brad1 Bloğu

Toplam bloğunun girişinde kullanılan $K_h y_1$ değeri, eşitlikten anlaşıldığı gibi hidrostatik yay katsayısı (K_h) ve yer değiştirmenin (y_1) çarpımına eşittir. Gövdenin yukarı - aşağı hidrostatik yay katsayısına karşılık gelen K_h parametresi frekanstan bağımsızdır. Bu nedenle bu parametre modele bir veri tutucu bloğu yardımı ile ya da Matlab çalışma alanından çağırılarak kolaylıkla alınabilmektedir. K_h parametresinin doğrudan y_1 parametresi ile çarpım durumunda olmasından dolayı, kazanç bloğu ile çağrılıp modele dâhil edilmesi daha basit bir yöntemdir. Şekil 3.15.'de DEK modelinin, $K_h y_1$ değeri dâhil edilmiş hali gösterilmektedir. Ayrıca, şekildeki modelin son hali, B_{rad1} bloğunu ve modele dışarıdan çağırılan f kuvvetini kapsamaktadır.



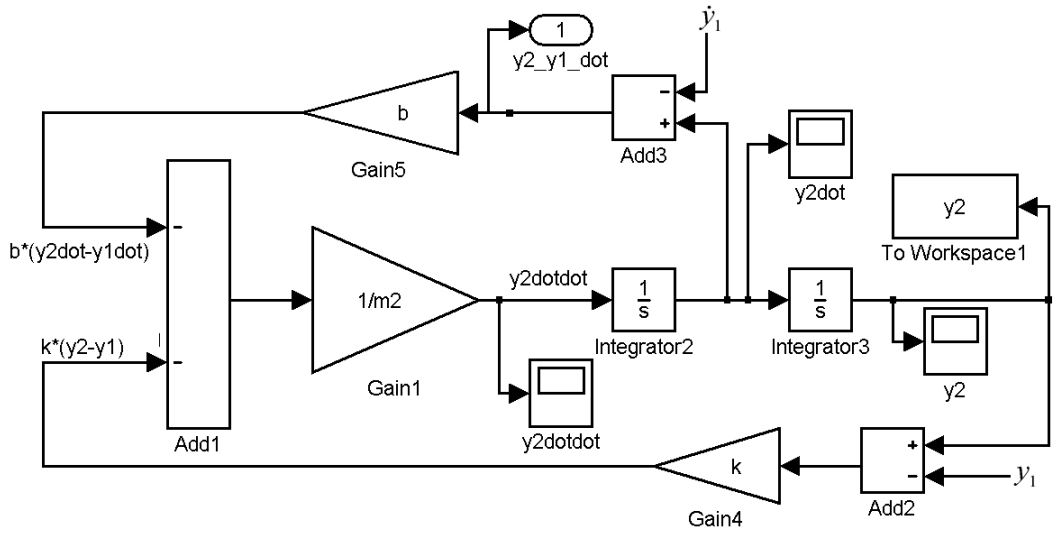
Şekil 3.15. f , b_{rad} ve K_h parametresinin modele dâhil edilmesi

Buraya kadar olan bölümde 3.1.'nolu eşitlik Simulink ortamında modellenmeye çalışılmıştır. Şimdiye kadar oluşturulan Simulink modeline eşitlik de yer alan f , b_{rad} ve K_h parametreleri modele dâhil edilmiştir. Bununla beraber modelden yararlanarak v_1 ve y_1 parametreleri elde edilmiştir. Böylelikle Denklem 3.1. ile verilen eşitliğin Simulink modeli oluşturulmuştur. Çalışmanın bir sonraki adımı y_2 parametresi modele dâhil edilmektedir. Modellemenin bu adımında Denklem 3.2.'deki DEK modeli eşitliği kullanılarak elde edilen Denklem 3.8.'deki eşitlikten yola çıkılmaktadır.

Denklem 3.8 ile gösterilen eşitlik incelenirse modelleme işleminin yine toplam bloğundan yola çıkılarak kolaylıkla yapılabileceği görülmektedir. Eşitliğin sağ tarafında yer alan negatif işaretin eşitliğe dağıtılması ile eşitlik Denklem 3.10'daki halini almaktadır.

$$\ddot{y}_2 = \frac{-\lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - \mu(y_2 - y_1)}{m_2} \quad (3.10)$$

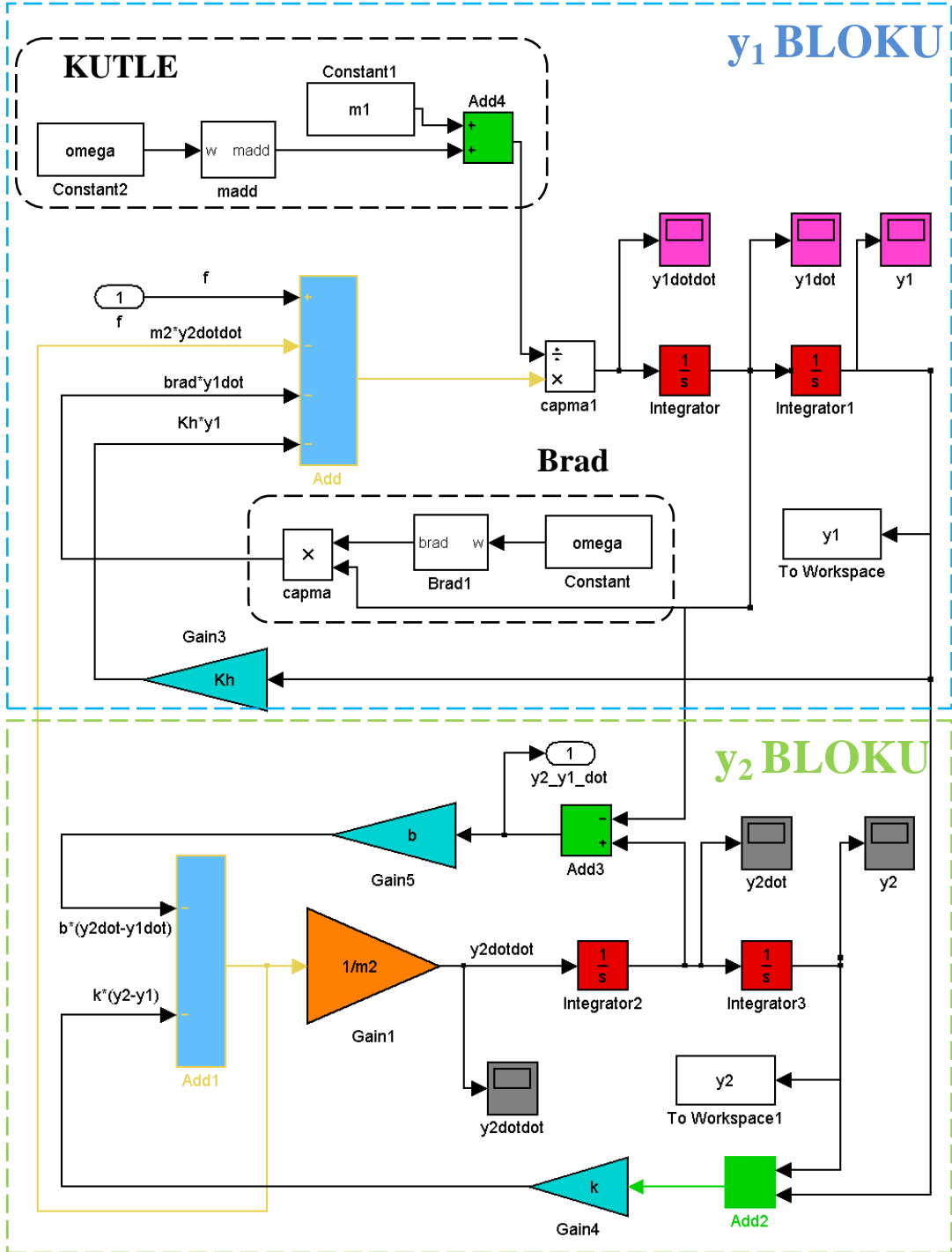
Eşitlikte yer alan $-\lambda(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)$ ve $-\mu(y_2 - y_1)$ değerleri şimdiye kadar oluşturulan Simulink modelinden yararlanılarak kolaylıkla elde edilip modele dâhil edilebilmektedir. Denklemden yer alan diğer iki parametre, yay katsayısı (λ) ve sönümlenme elemanın sönümlenme katsayısı (μ) frekanstan bağımsız olan parametrelerdir. Eşitlikte çarpım durumunda olan bu parametreler kazanç bloğundan yararlanarak doğrudan Matlab çalışma ortamından çağırılmaktadır y_2 , parametresine bağlı olarak oluşturulan Simulink modeli Şekil 3.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. y_2 , parametresine bağlı Simulink modeli

Modelde görülen toplam bloğunun oluşturulmasında, y_1 bloğundaki toplam bloğunun oluşturulmasında izlenen adımlara benzer adımlar izlenmektedir. Toplam bloğunun çıkışı, 3.1. nolu eşitlik ile gösterilen DEK modelinde olduğu gibi, modele kazanç elemanı ile Matlab çalışma ortamından çağırılan m_2 parametresine bölünmüştür. Daha sonra elde edilen çıkış iki kez integre edilerek reaksiyon kütlelerinin hızı (v_2) ve yer değişimi (y_2) elde edilmiştir. λ ve μ parametreleri modelde sırası ile k ve b ile gösterilmiştir. y_2 , parametresine bağlı olarak oluşturulan model incelendiğinde \dot{y}_1 ve y_1 parametrelerinin modele dışarıdan verilmektedir. Modelde eksik olan bu parametreler, daha önce y_1 bağlı olarak oluşturulan modelde hesaplanmıştır. Bununla

beraber y_1 'e bağlı oluşturularak modelde \ddot{y}_2 parametresi eksiktir. y_1 ve y_2 'ye bağlı olarak oluşturulan iki modelin birleştirilmesi ile her iki modelde birbirini tamamlanmış ve böylelikle tek serbestlik dereceli DEK sisteminin modellenmesi büyük oranda tamamlanmıştır. Her iki modelin birleştirilmiş hali Şekil 3.17.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Frog 1 From 2 Simulink modeli FROG alt sistem bloğu

Şekil 3.17.'de oluşturulan Simulink modelin en son hali görülmektedir. Şekilde y_1 bloğu, y_2 bloğu B_{rad} ve kütle bölümleri ayrıca gösterilmiştir. Oluşturulan bu Simulink sistem modeli, tek serbestlik dereceli (yukarı – aşağı) DEK modeli için sisteme girilen kütle verileri (m_a , m_1 , m_2), sönümleme katsayısı (μ , b), yay katsayıları (λ , K_h), dalga kuvveti (f), dalga frekanslarını (ω) kullanarak DEK modelinin uygulanan frekansa göre kütle değerlerinin yer değişimini (y_1, y_2), yer değişim hızlarını (v_1, v_2) hesaplamaktadır. Oluşturulan bu modelin bir sonraki modelleme adımlarının kolaylaştırılması açısından tek alt sistem bloğu haline getirilmesi modeli daha anlaşılır hale getirmektedir. Oluşturulan modelde f dalga kuvveti hariç bütün model giriş parametreleri ya matlab çalışma alanından çağırılmakta ya da model içinde hesaplanmaktadır. Dalga frekansının (ω) bir fonksiyonu olan $f(\omega)$ dalga kuvveti ise daha önce belirtildiği gibi simülasyondan önce hesaplanmaktadır. Bu nedenle oluşturulan modelin tek alt sistem bloğu halinde gösterilmesi halinde, $f(\omega)$ değeri modele giriş parametresi olarak girilmektedir. Modelin tek sistem bloğu haline getirilmiş hali Şekil 3.18.'de gösterilmiştir. Verilen şekilde görüldüğü gibi alt sistem bloğuna *FROG* ismi verilmiştir.



Şekil 3.18. *FROG* alt sistem Bloğu

Şekilde görülen bir diğer ayrıntı, $(y_2 - y_1)^{\bullet}$ değerinin blok çıkışın olarak ayarlandığıdır. Oluşturulan DEK modelinde, $(y_2 - y_1)^{\bullet}$ farkı, iki kütlenin arasındaki mesafe değişiminin birinci türevidir ve bize anlık hızı, (V) vermektedir. (Denklem 3.11.). Blok çıkışı olarak ayarlanan bu değer, daha sonra GÇÜ'ne aktarılarak güç hesaplamalarında (P_{ins} , P_{avr} , E) kullanılmaktadır.

$$V = (y_2 - y_1)^{\bullet} \quad (3.11.)$$

Modellemenin bir sonraki adımı olarak sisteme GÇÜ'nin bloğu eklenmektedir. Daha önce belirtildiği gibi GÇÜ bloğunda, $(y_2 - y_1)^{\bullet}$ bilgisi kullanılarak DEK sisteminin anlık çekilen güç (P_{ins}), ortalama güç (P_{avr}) ve toplam güç (E) değerleri hesaplanmaktadır. GÇÜ'nin kuvveti (F_{bpto}), Denklem 3.12. ile verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

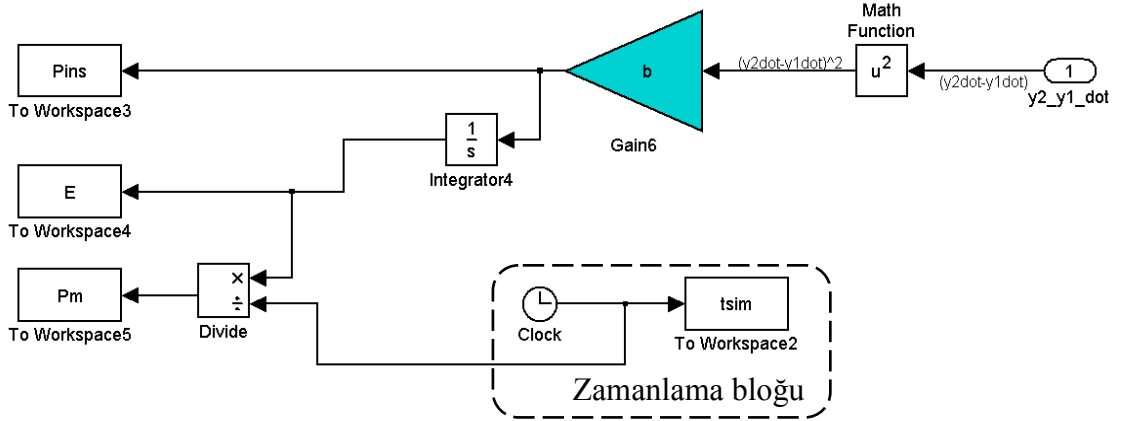
$$F_{bpto} = b_{pto} * V \quad (3.12.)$$

Eşitlikte görülen V değeri anlık hıza karşılık gelmektedir. GÇÜ'nin anlık gücü ise Denklem 3.13.'teki eşitlik kullanılarak elde edilir. Bu eşitlikte F_{bpto} parametresi yerine, Denklem 3.12. ile gösterilen eşitlik, V parametresi yerinede Denklem 3.11.'de gösterilen eşitliğin konulması ile Denklem 3.13. ile gösterilen eşitlik elde edilip ve bu eşitlik Simulink modelinin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

$$P_{ins} = F_{bpto} * b_{pto} \quad (3.13.)$$

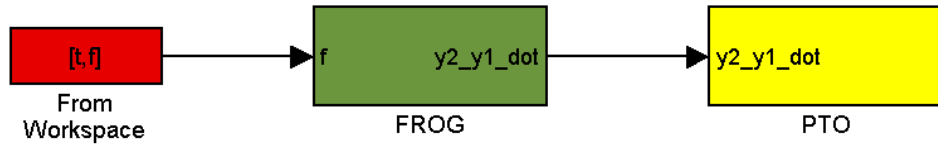
$$P_{ins} = b_{pto} * ((y_2 - y_1)^{\bullet})^2 \quad (3.14.)$$

Şekil 3.19'da oluşturulan GÇÜ bloğu içeriği gösterilmektedir. P_{ins} parametresi şekilde görüldüğü Simulink ortamında hesaplanmaktadır. Bununla beraber, P_{ins} değeri integre edilerek toplam güç (E) değeri hesaplanır. Son olarak hesaplanan toplam güç zamana bölünerek ortalama güç (P_{avr} , modelde, P_m olarak gösterilmiş) hesaplanır. *PTO* alt sistem bloğunun sağ altında yer alan zamanlama bloğu (*clock - tsim* bölümü) simülasyon zamanını gösterir. Bu bloğun kullanılmasının amacı tüm simülasyonun eş zamanlı yapılmasını sağlamaktır. t_{sim} değeri sistemin analiz süresini göstermekte dolayısı ile toplam simülasyon adımını belirlemektedir.



Şekil 3.19. Frog 1 Form 2 Simulink modeli *PTO* alt sistem bloğu

PTO bloğunun oluşturulması ile tek serbestlik dereceli DEK Simulink modeli tamamlanmaktadır. Oluşturulan tek serbestlik dereceli DEK sisteminin Simulink modeli Şekil. 3.20.'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi t ve f değerleri modele Matlab çalışma alanından çağırılmaktadır. Daha öncede söz ettiğimiz gibi f değeri dalga kuvvetini, t değeri de simülasyon zamanlama verisini tutmaktadır.



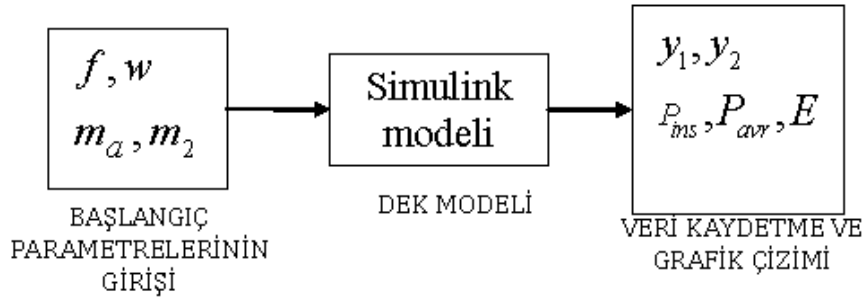
Şekil 3.20. Frog 1 Form 2 Simulink modeli

3.1.4. Geliştirilen modele ait hidrodinamik parametrelerin incelenmesi

Bu bölümde 3.1.2. ve 3.1.3. kısımlarında tamamlanan tek serbestlik dereceli frekans uzayı DEK modelinde kullanılan model parametrelerinin frekans ile değişimi incelenmekte ve model giriş parametrelerinin çıkış parametrelerine etkisi grafiklerle açıklanmaktadır. Sistemin frekans cevabı için Denklem 3.15. ile gösterilen eşitliğe uygun dalga oluşumu incelenmektedir.

$$f = F \sin(\omega t) \quad (3.15.)$$

Verilen eşitlikte F kuvvetinin genliğini, ω dalga frekansı, f dalga kuvvetini göstermektedir. f dalga kuvveti önceki bölümlerde gösterildiği gibi analizden önce hesaplanır. Bu hesaplama işlemi için bir model fonksiyonundan yararlanılmaktadır. Model fonksiyonunda f dalga kuvvetinin hesaplanmasının yanı sıra model için gerekli olan giriş parametreleri Matlab çalışma alanına kaydedilmektedir. Model çıkış parametrelerinin analizleri yapıp grafik çizimleri yapılmaktadır (Şekil 3.20.).



Şekil 3.21. DEK fonksiyonun çalışması

f, w, m_a, m_2 giriş parametrelerinin Şekil 3.20.'de gösterildiği gibi DEK model fonksiyonunda tanımlanır. Bu parametrelerin yanında simülasyona başlamadan önce kullanılan DEK modeline ait b_{pto} ve k parametrelerinin önceden modele girilmiş olması gereklidir.

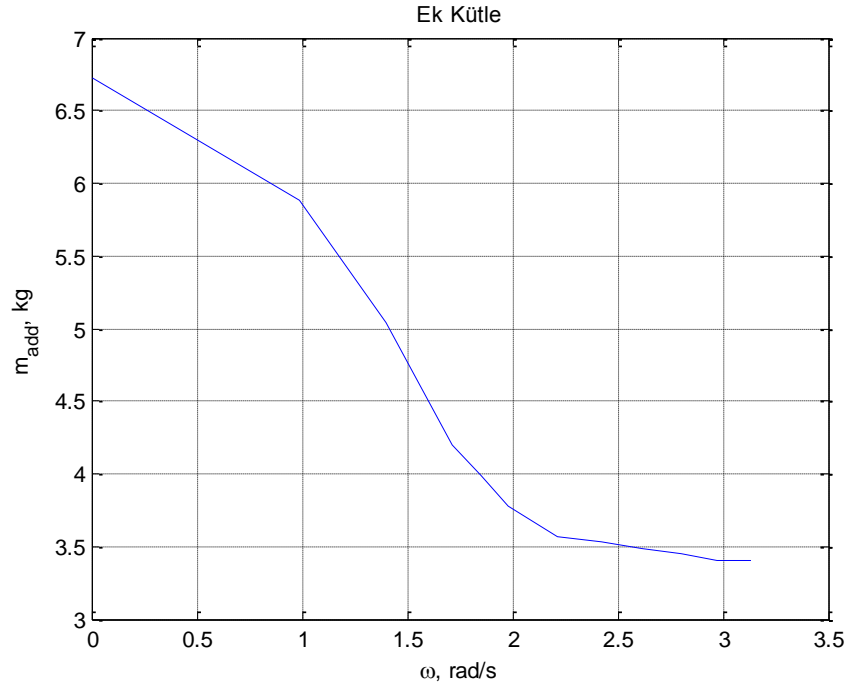
Buraya kadar olan bölümde DEK sisteminin Simulink modelinin oluşturulması ile ilgili detaylara yer verilmiştir. Çalışmanın bir sonraki adımı olarak belirlenen bir frekans değeri için sistem parametrelerinin değişimi incelemek ve simülasyon sonuçları grafiklerle açıklanmaktadır. Simülasyon da yer alan önemli giriş parametreleri Çizelge 3.6.'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Simulink giriş parametreleri

Notasyon	Simülasyon değeri
m_1	10 kg
m_2	2 kg
m_a	3 kg
k	10
b	10
K_h	10
b_{rad}	20
F_0	1000 N

İnceleme için sisteme uygulanan frekans değeri $\omega = 39 \text{ rad/s}$ esas alınmıştır. Çalışmanın bu bölümünde modelde kullanılan b_{pto} ve k değerleri hidrodinamik analiz sonucu elde edilmektedir. Bu parametrelerin grafikleri aşağıda gösterildiği üzeredir.

Şekil 3.22.'de DEK modelinin farklı frekanslar etkisinde değişen ek kütlesi gösterilmektedir. Herhangi yüzer cismin üzerindeki ek kütle miktarı yüzer cismin hızı ile orantılı olarak artış göstermektedir. Grafikte gösterildiği gibi model üzerinde oluşan ek kütle miktarının, frekansın yükselmesi ile düştüğü gözlemlenmektedir.

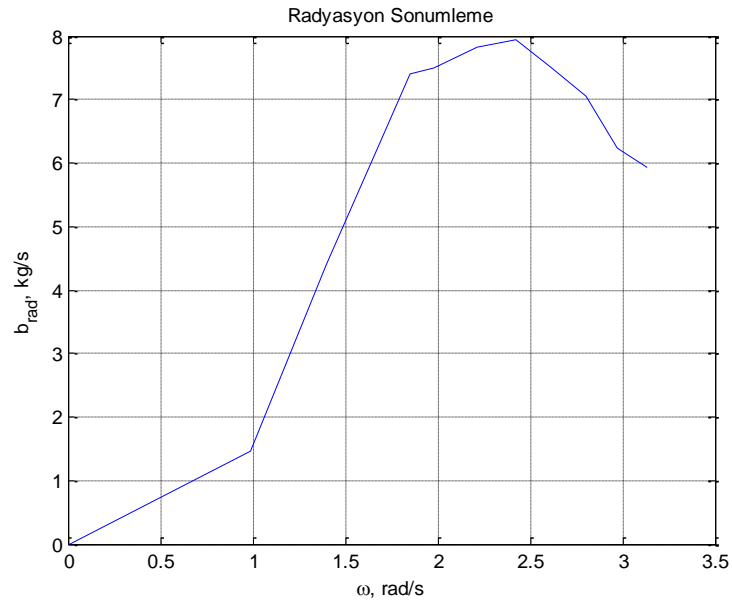


Şekil 3.22. Ek kütleinin frekansa bağlı değişimi

b_{rad} DEK sisteminin etrafa yaydığı dalgaya karşılık gelmektedir. DEK sistemi, salınım etkisi ile etrafa yaydığı bu dalga ile beraber aynı zamanda DEK gövdesinin dalgadan çektiği mekanik gücün bir miktarı da deniz ortamına geri aktarılmaktadır. Bu nedenle b_{rad} kayıp olarak nitelendirilmektedir. Denklem 3.16.'da gösterilen b_{loss} , sistem mekanik kayıpları ve benzeri kayıpları göstermektedir. Bu değer incelemelerde $b_{loss} = 0$ olarak kabul edilmiştir. b DEK sisteminin dalgadan çektiği toplam gücü, b_{pto} GÇÜ'nin çektiği gücü göstermektedir.

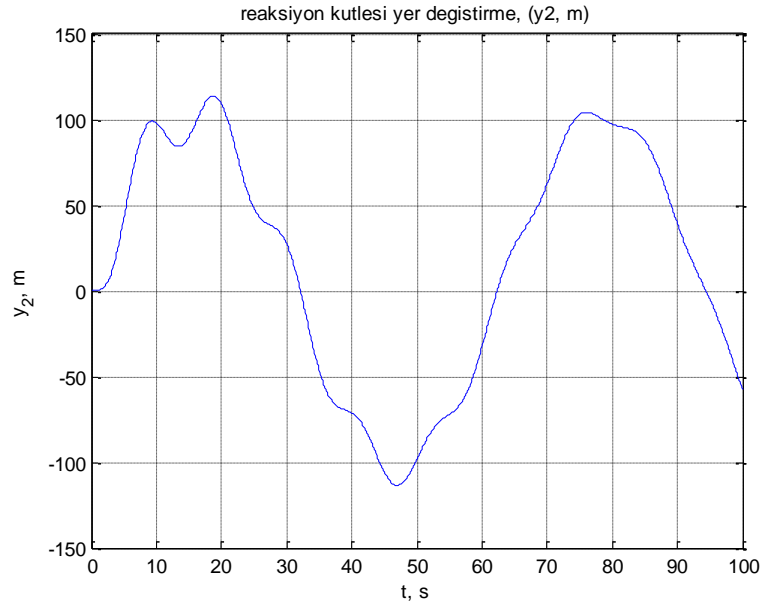
$$b_{rad} = b - (b_{loss} + b_{pto}) \quad (3.16.)$$

Şekil 3.23. ile gösterilen grafikte b_{rad} değerinin frekans etkisi ile değişimi incelenmektedir. Grafikte b_{rad} değerinin frekansa bağlı olarak düzenli artış göstermediği görülmektedir. Frekansın 2.4 rad/s civarında olduğu bölgede b_{rad} değeri en yüksek değerlere ulaşmaktadır.

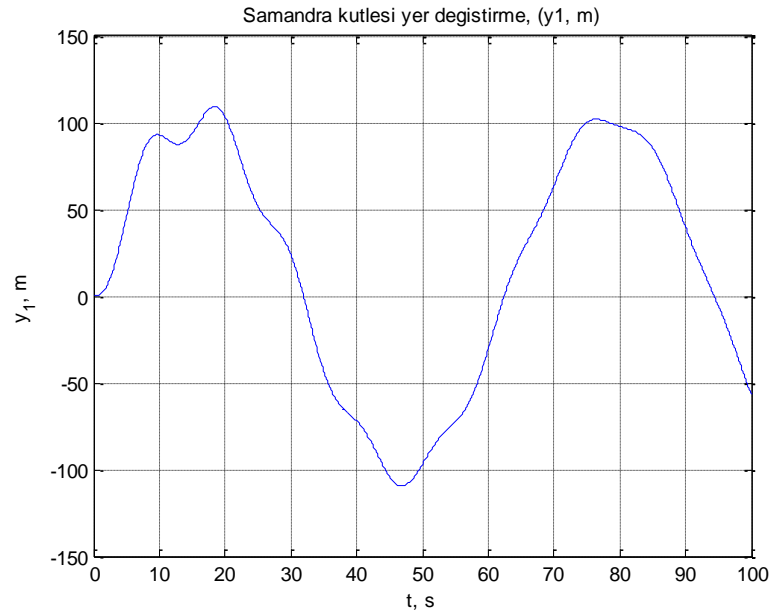


Şekil 3.23. Radyasyon sönümlemesinin frekansa göre değişim

Şekil 3.24. ve Şekil 3.25.'de şamandıra (y_1) ve reaksiyon kütlelerinin (y_2) simülasyon zamanına göre yer değişimi gösterilmektedir. Simulink modelinin oluşturulması bölümünde incelediği gibi DEK sisteminden çekilen güç doğrudan $(y_1 - y_2)$ eşitliğine bağımlılık göstermektedir.

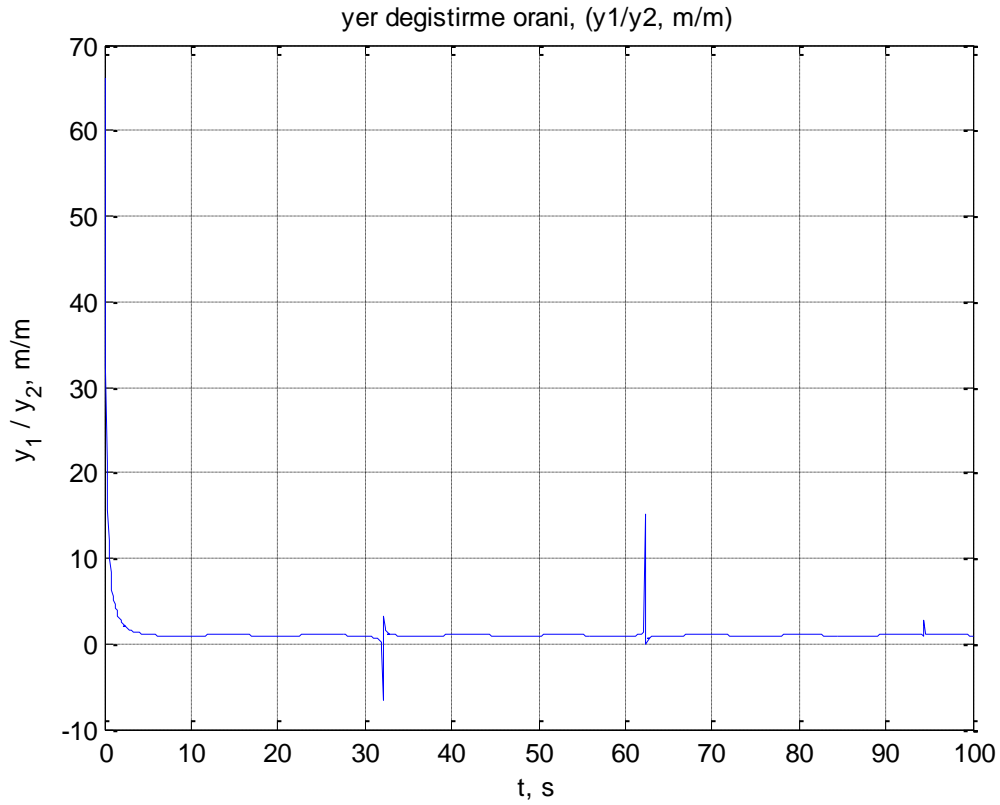


Şekil 3.24. Reaksiyon kütesinin yer değişimi



Şekil 3.25. Şamandıra kütesinin yer değişimi

Şekil 3.24. ve Şekil 3.25.'te incelenen grafikte gösterildiği gibi şamandıra kütlesi ve reaksiyon kütlesinin simülasyon zamanına göre yer değişimi büyük oranda örtüşmektedir. Buda bize $(y_1 - y_2)$ farkının yaklaşık aynı değerlerde seyrettiğini göstermektedir. Şekil 3.26. ile gösterilen grafikte y_1 ve y_2 'nin birbirlerine göre değişim oranları gösterilmektedir. Grafikte gösterildiği gibi çoğunlukla aynı değerlerde seyreden y_1 / y_2 oranının değişimi sadece birkaç noktada kısa sıçramalar yapmaktadır.

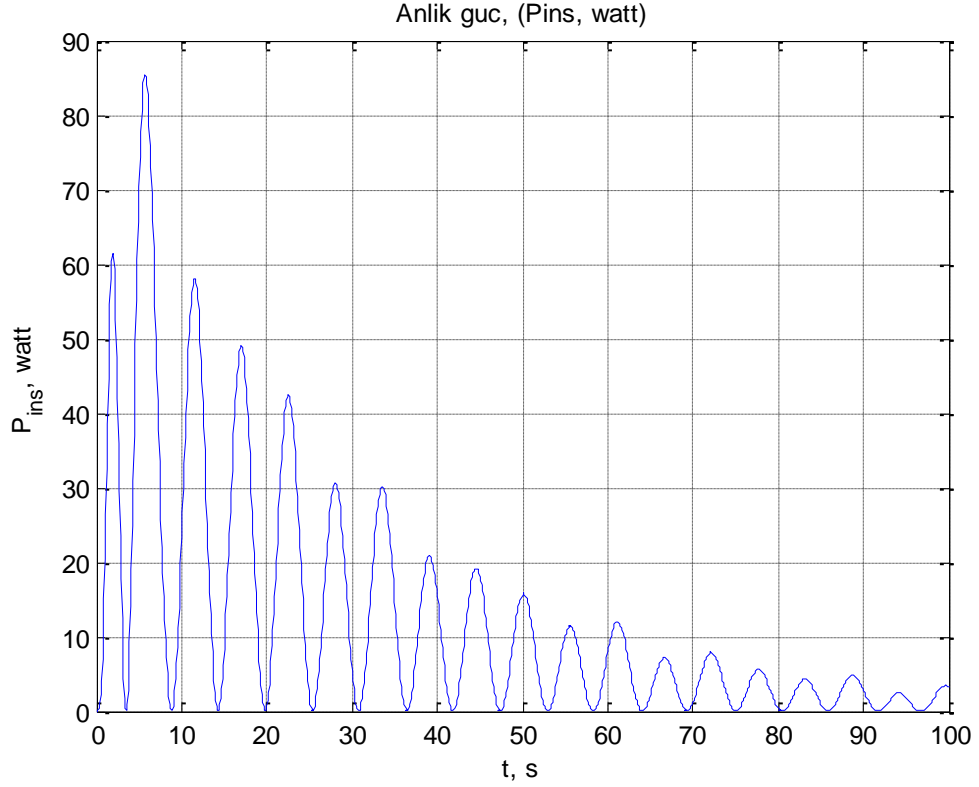


Şekil 3.26. Şamandıra kütlesi ve reaksiyon kütlesinin yer değiştirme oranları

DEK sisteminden çekilen anlık güç bölüm 3.2'de incelediğimiz gibi b_{pto} ve $(y_1 - y_2)$ değerlerine bağlıdır (Denklem 3.17. ve Denklem 3.18.). Şekil 3.27. ile gösterilen grafikte bu iki değer değişimine bağlı olarak elde edilen ani gücün, (P_{ins}) zamana göre değişimi gösterilmiştir.

$$(y_2 - y_1) \bullet = \sqrt{\frac{P_{ins}}{b_{pto}}} \quad (3.18.)$$

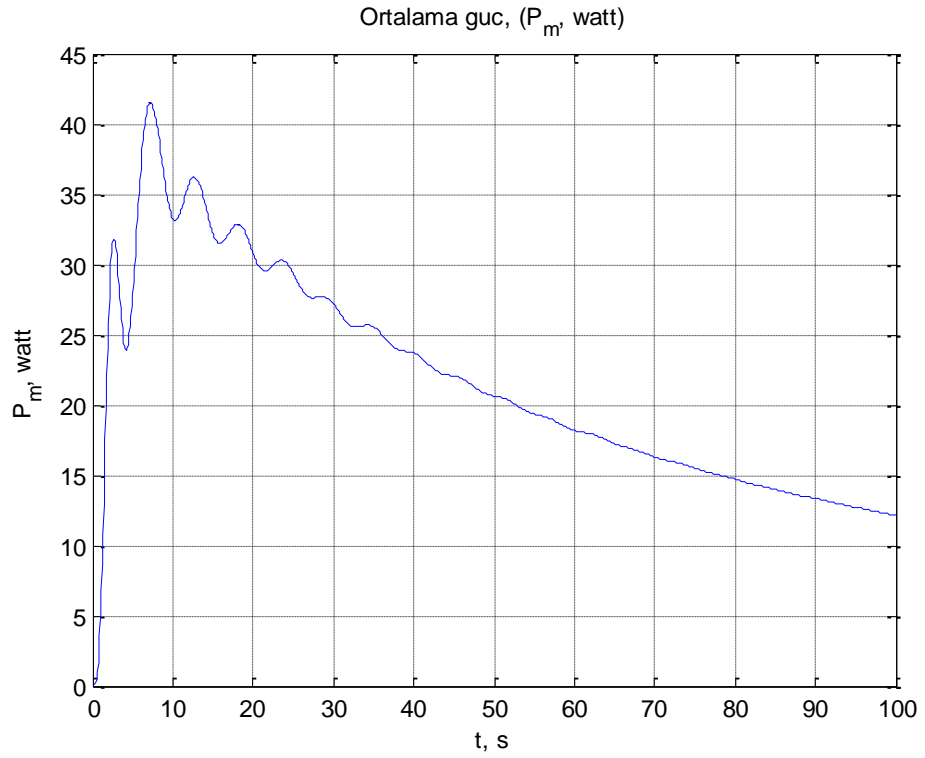
$$b_{pto} = \frac{P_{ins}}{((y_2 - y_1) \bullet)^2} \quad (3.19.)$$



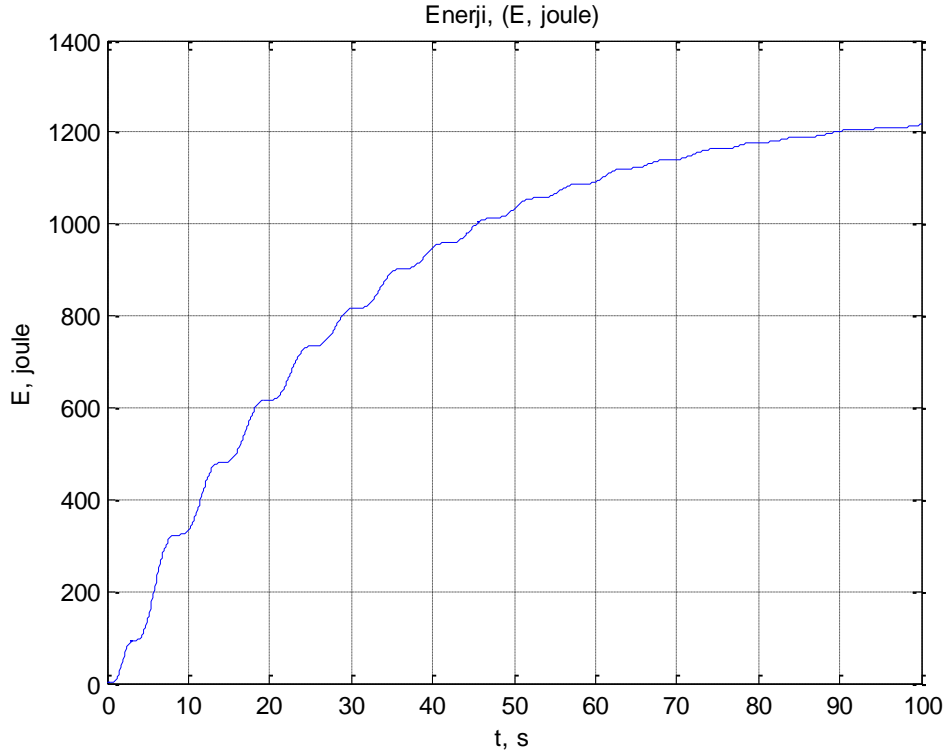
Şekil 3.27. Sistemden elde edilen anlık gücün değişimi

Daha önce incelenen, Şekil 3.24., Şekil 3.25. ve Şekil 3.26. ile gösterilen grafiklerde $(y_1 - y_2)$ değerinin değişimi incelenmektedir. Şekil 3.27. ile gösterilen grafikte ise DEK sisteminden çekilen gücün zamana göre değişimi görülmektedir. Verilen grafikte görüldüğü gibi sistemden çekilen güç, ilk 10 s'de tepe değerine ulaşırken, simülasyon ilerledikçe DEK sisteminin çektiği anlık azalmaktadır. Frekans (ω) değerinin sabit olmasından ve dolayısı ile sistemin sürekli rezonansa kalamamasından dolayı çekilen güç giderek düşmektedir. Şekil 3.28. ve Şekil 3.29. ile gösterilen grafiklerde sistemden çekilen P_{avr} , ortama güç ve E , toplam enerjinin

zamana göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafiklerde de Şekil 3.27.'de gözlenen rezonans etkisi görülmektedir. Sistemden çekilen P_{avr} , ortama güç simülasyonun başlarında tepe değerlerine ulaşırken, daha sonrasına sistemden çekilen gücün azalması ile giderek düşmektedir. Sistemden çekilen toplam enerji, E , simülasyonun başında ani artış gösterirken simülasyonun ilerlemesi ile yükselme miktarı giderek azalmaktadır. Yani sistem performansı düşmektedir.



Şekil 3.28.Sistemden elde edilen ortama gücün zamana göre değişimi



Şekil 3.29. Sistemden çekilen toplam gücün zamana göre artışı

3.1.5. Hidrodinamik Analiz

Tez çalışmasında esas alınan Frog 1 Form 2 DEK sisteminin hidrodinamik parametrelerinin hesaplamasında WAMIT programından yararlanılmıştır. Bir hidrodinamik analiz paket programı olan WAMIT, hesaplamalarda panelleme metodundan yararlanmaktadır. Gemi mühendisliğinde ve platformların tasarlanmasında kullanılan bu yazılım yardımı ile suda yüzer halde bulunan ya da deniz ortamında sabitlenmiş yapıların hidrodinamik hesaplamaları yapılmaktadır. Analizi yapılan modelin ek kütlelerinin, sönümlenme etkisinin ve yer değişiminin gerek zamana gerekse frekansa göre değişimini dalga yönünü de hesaba katarak hesaplamaktadır. Analizde tamamen yüzey (surface) tipi geometri ile çalışan programa analizde giriş parametreleri olarak temelde modelin geometrik bilgisi, modelin fiziksel özellikleri, analiz ortamı ve analiz ayarları olmak üzere dört farklı tipte veri girişi yapılmaktadır. Bu analiz parametreleri text formatında hazırlanmış giriş dosyaları aracılığı ile WAMIT'e tanıtılmaktadır. Yalnızca solver (problem çözücü) olarak çalışan ve bir kullanıcı arayüzüne sahip olmayan programının giriş dosyaları manuel olarak oluşturulabilmekte

ya da Multisurf gibi panelleme metodunu destekleyen programlardan yararlanarak oluşturulabilmektedir. Tez çalışması kapsamında da, giriş dosyalarının aktarımında WAMIT için özel bir export (dışa aktarım) modülü içeren Multisurf programından yararlanılmıştır.

WAMIT ile yapılan analiz çalışması sonucu elde edilen veriler özel bir dosya formatı ile kaydetmekte ve/veya içinde analiz verilerini tutan bir transfer fonksiyonundan yararlanarak başka bir programa aktarılabilir. Analiz sonuçlarının aktarılmasında kullanılan transfer fonksiyonunda, model üzerinde tüm serbestlik derecelerinde meydana gelen hidrodinamik – hidrostatik kuvvetleri, modelin ek kütle değerleri ve radyasyon değerleri, analizi yapılan her dalga yönü ve her dalga frekansı için ayrı ayrı saklanmaktadır.

Tez çalışması çerçevesinde WAMIT programından elde edilen analiz sonuçlarının Matlab ortamına aktarımı transfer fonksiyonundan yararlanarak yapılmaktadır. Daha önce oluşturduğumuz Simulink DEK modelinde yer alan dalga kuvveti B_{rad} ve M_{add} değerleri transfer fonksiyonundan alınmıştır. Transfer fonksiyonunda yer alan verilerin DEK Simulink sistem modeline aktarılması için model üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Modelin değiştirilmiş hali Şekil 3.30.'da gösterilmektedir. Buna ek olarak simülasyonda kullanılan model fonksiyonu aşağıda verilmektedir.

```
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% FROG FILES for simulation of Frog Form 2
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 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.
```

```

%-----
load Frog1From2_data.mat % berkan
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;
% *****
k2 = 1;
b2 = 1;

%*****
% Simulation (Regular-wave Example)
%*****
dt = 0.05; % Simulation time-step, s.
omega = 0.78; % wave frequency, rad/sec
alpha = 0.10; % wave amplitude, m.

% %%%%%%%%%%
% Time and wave elevation settings

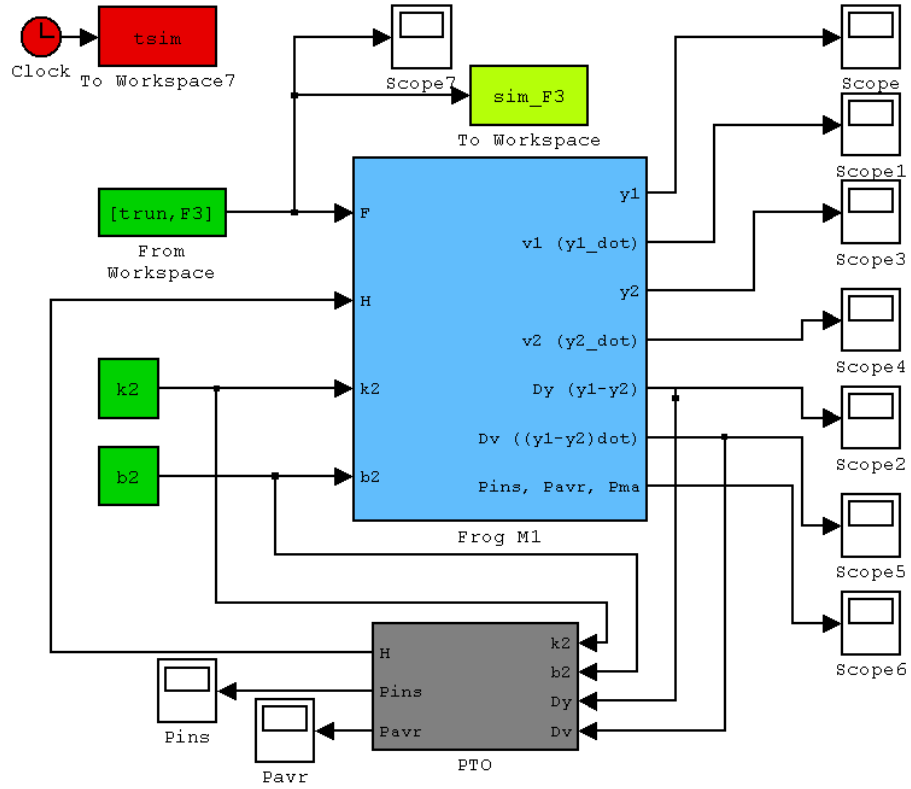
tssim = 0; % simulation start time, s.
tfsim = 1200; % simulation end time, s
trun = [tssim:dt:tfsim]'; % time ordinates, s
wave_elev = alpha*cos(omega*trun); % wave elevation vector, m

%*****
% 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');
%*****

```



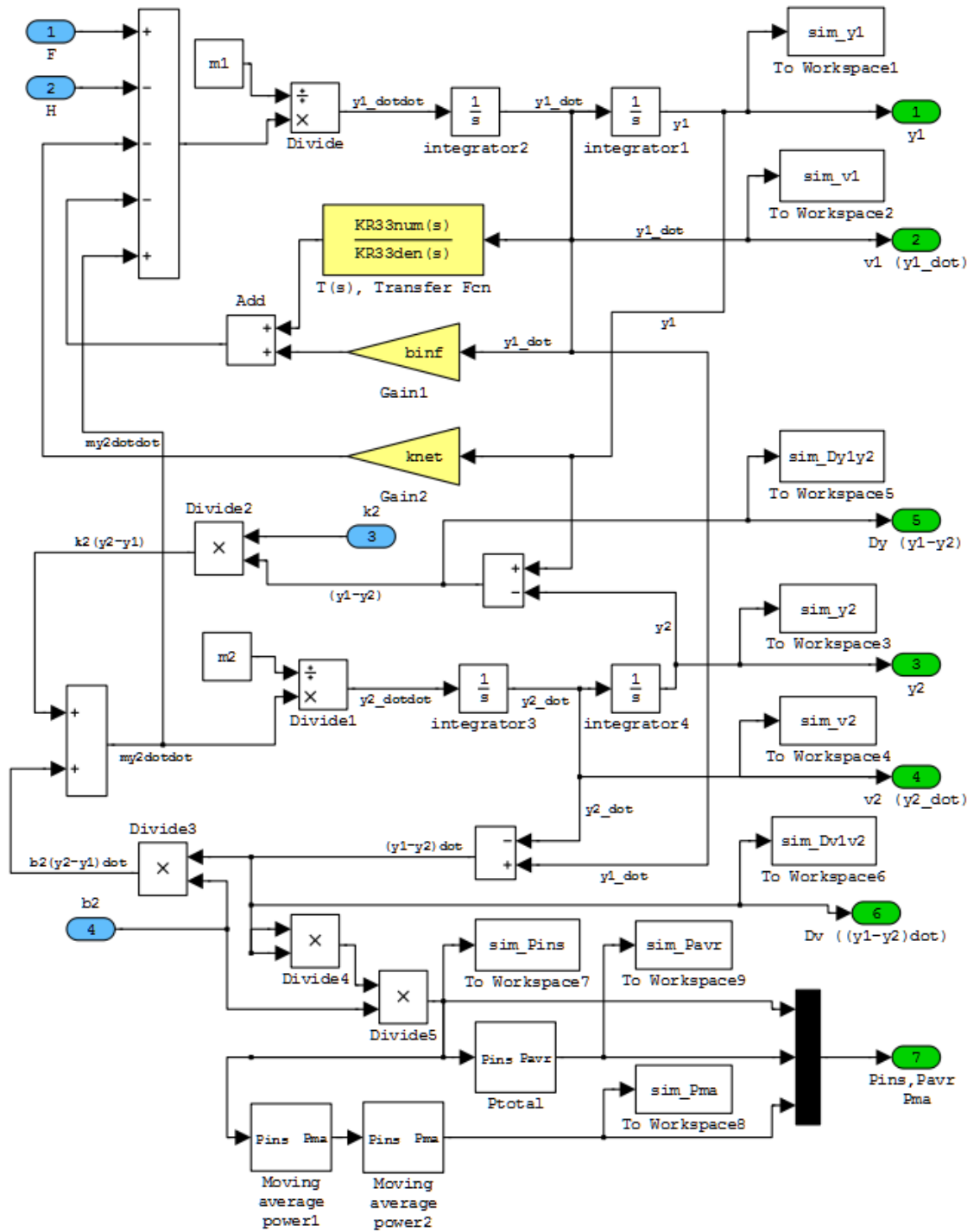
Şekil 3.30. Frog 1 Form 2 Simulink Modeli

Şekil 3.30.'da gösterildiği gibi modelin yeniden düzenlenmiş hali önceki Simulink modelinde olduğu gibi iki alt sistem bloğundan meydana gelmiştir. *Frog M1* isimli birinci alt sistem bloğu DEK sisteminin yer değiştirme, hız ve güç hesaplar ilgili hesaplamaları yaparken, *PTO* alt sistem bloğu, GÇÜ'nin sisteme uyguladığı kuvveti, (H) ve güç hesaplamalarını yapmaktadır. Sol üstte görülen *clock - t_{sim}* bölümü simülasyon zamanını göstermektedir. Önceki modelde olduğu gibi bu bloğun kullanılmasının amacı tüm simülasyonun eş zamanlı yapılmasını sağlamaktadır. t_{sim} değeri sistemin analiz süresini tutmaktadır. Yapılan simülasyonda bu değer 1200'e ayarlanmıştır. t_{run} değeri hesaplanan dalga hızını göstermektedir. Bloкта yer alan F_3 parametresi sisteme üçüncü serbestlik derecesinden yani yukarı - aşağı hareketinden hesaplanan kuvvetin girdiğini göstermektedir.

Çizelge 3.7. *Frog M1* alt sistem bloğu parametreleri

<i>Blok parametresi</i>	<i>Veri Tipi</i>	<i>Açıklama</i>
F	Giriş verisi	Dalga Kuvveti
H	Giriş verisi	GÇÜ kuvveti
$T(s)$	$T(s)$ verisi	Transfer fonksiyonu
m	$T(s)$ verisi	Toplam kütle ($M_{dry} + m_a$)
b_{inf}	$T(s)$ verisi	Radyasyon yay katsayısı
k_{net}	$T(s)$ verisi	Yay sabiti
x	Çıkış verisi	DEK'in yukarı – aşağı hareketi
v	Çıkış verisi	DEK'in yukarı – aşağı hareket hızı

Şekil 3.31.'de *Frog M1* alt sistem bloğunun detayları gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi diğer alt sistem bloklarından veri alan bloklar maviye, diğer alt sistem bloklarına veri gönderen bloklar yeşile boyanmıştır. Sarı ile boyanan bloklar ise Transfer fonksiyonundan veri alan bloklardır. Çizelge 3.7.'de farklı renklere boyanan veri blokları ile ilgili detaylara yer verilmektedir.



Şekil 3.31. Frog M1 alt sistem bloğu

3.2. Yöntem

3.2.1. Frekans Uzayı Sistem Modeli ve Simülasyon Çalışmaları

DEK sistemden çekilen enerji, sistemin maruz kaldığı dalga frekansına ve sistem parametrelerinin doğru seçilmesine bağlıdır. Bir dalganın taşıdığı enerji dalga kuvveti (F_{mag}) ve dalga frekansına (ω_{wave}) bağlı olarak hesaplanır. Düzgün bir dalgada dalga kuvveti büyüklüğü, (F_{mag}) - dalga genliği, (A) uyumundan dolayı λ dalga boyu boyunca sabittir ve dalga genliği birim başına düşen güç (P_ω) dalga frekansına (ω_{wave}) göre değişir. Metre başına dalganın taşıdığı enerjinin ($P_{wavefront}$) dalganın genliğinin ve periyoduna bağlı olarak Denklem 3.20.'de gösterilen eşitlik ile karakterize edilmektedir (Vining, 2005).

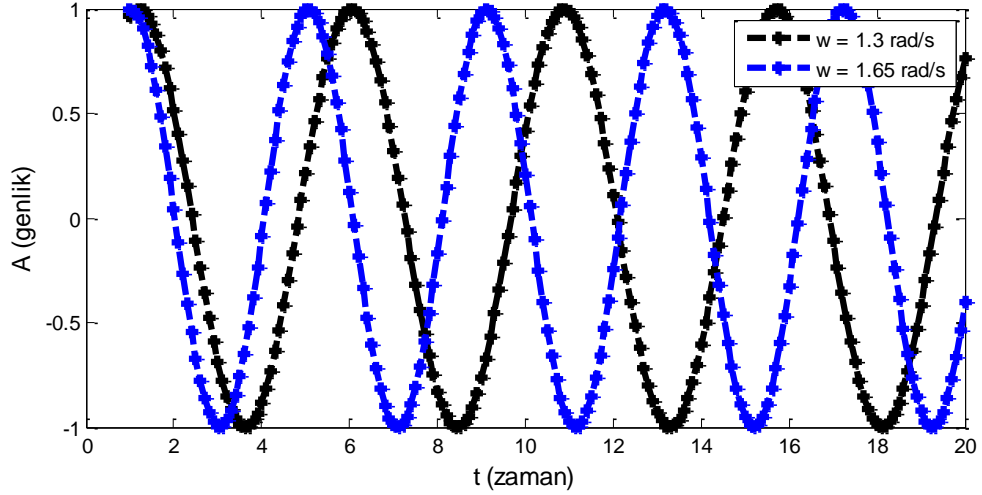
$$P_{wavefront} = \frac{\rho_{water} g^2 A^2}{4\omega_{wave}} \quad (3.20.)$$

Diğer bir açıdan sisteminde w değerinin değişimi doğrudan $b_{pto}(\omega)$, $m_{add}(\omega)$ ve k değerlerine etki etmektedir. Verilen $b_{rad}(\omega)$ ve $m_{add}(\omega)$ değerleri frekansın bir fonksiyonudur ve frekans ve zamana göre değişmektedir. Dalga frekansının (ω_{wave}), sistem frekansına ω eşit olması durumunda DEK sistemi dalga etkisi ile rezonans durumuna girmekte ve sistemin performanlı çalıştığına söz edilebilir. Dalga frekansının, ω_{wave} , sistem frekansına, ω eşit kabul edilmesi durumunda ($\omega_{wave} = \omega$), k_{pto} ile ω_{wave} arasındaki ilişki Denklem 3.20. ile gösterilen eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$k_{pto} = \omega_{wave}^2 m - k_{net} \quad (3.20.)$$

Çalışmanın bu bölümünde $\omega = 1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega = 1.55 \text{ rad/s}$ frekansları esas olarak sistemin frekans cevabı incelenmiştir (Şekil 3.32.). Seçilen frekans değerleri için

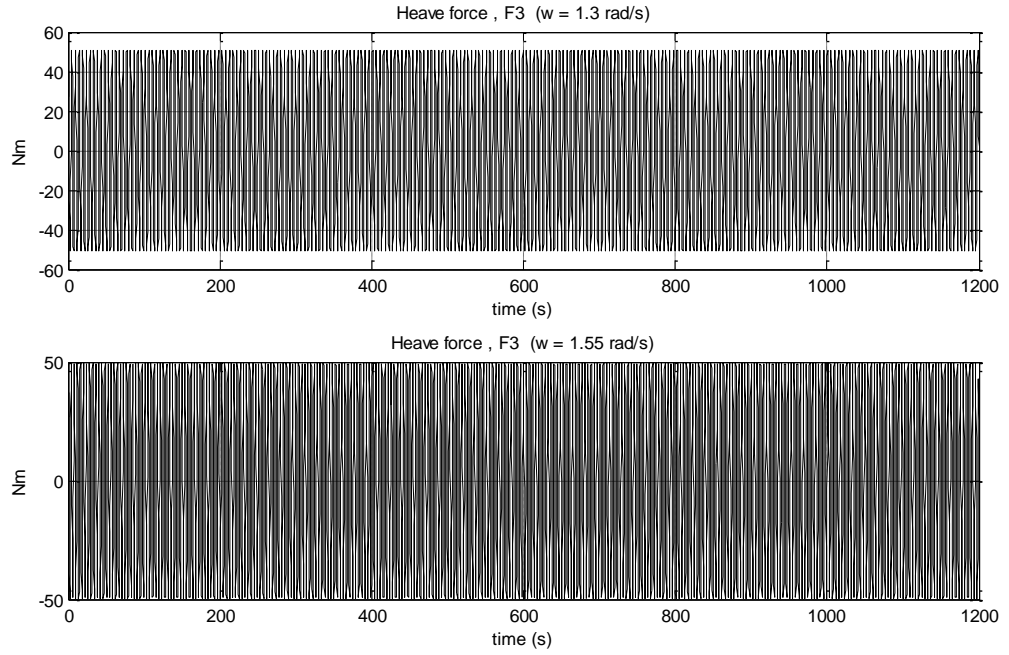
ek kütle, radyasyon sönümlenmesi ve yay katsayısı değerlerinin değişimleri analiz edilip grafiklerle ortaya konulmuştur ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.32. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekans grafiği

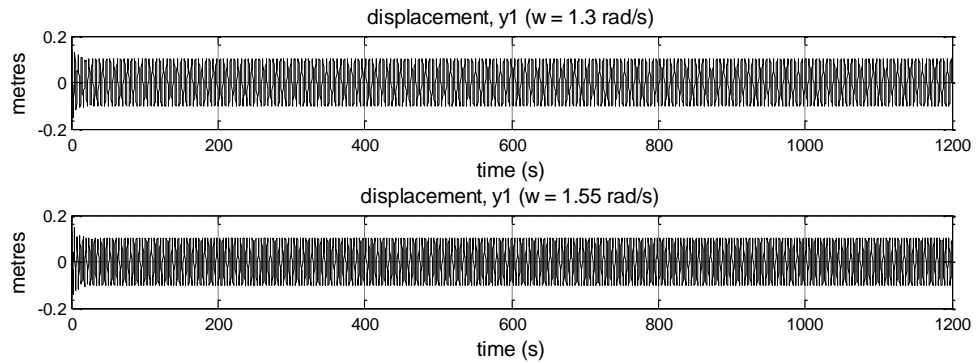
Analizde kullanılan M_{add} , B_{rad} ve F_t dalga kuvveti değerleri transfer fonksiyonu kullanılarak WAMIT Frog 1 Form 2 analizinin çalışmasından alınmıştır. İncelenen sonuçta elde edilen simülasyon verilerine dayanarak her iki frekans değeri içinde DEK sisteminin şamandıra kütlesi ve reaksiyon kütesinin zamana göre yer değişimi ve hız değerleri grafiklerle ortaya konmuş ve karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen anlık, ortalama ve toplam güç değişimleri grafiklerle incelenmiştir.

Şekil 3.33.'de $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için DEK sistemi üzerine etki eden üçüncü serbestlik derecesi (yukarı - Aşağı) dalga kuvvetinin zaman göre grafiği gösterilmektedir.

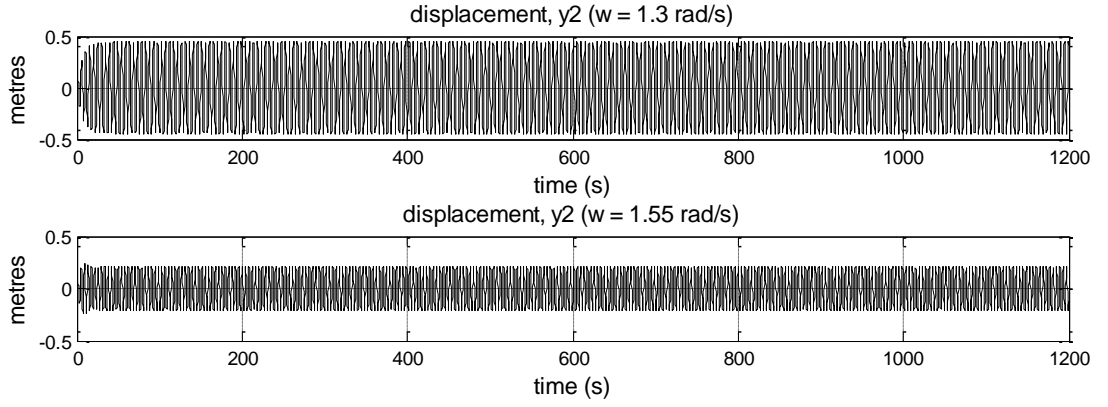


Şekil 3.33. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için DEK sistemi üzerine etki eden 3.serbestlik derecesi dalga kuvvetinin grafiği

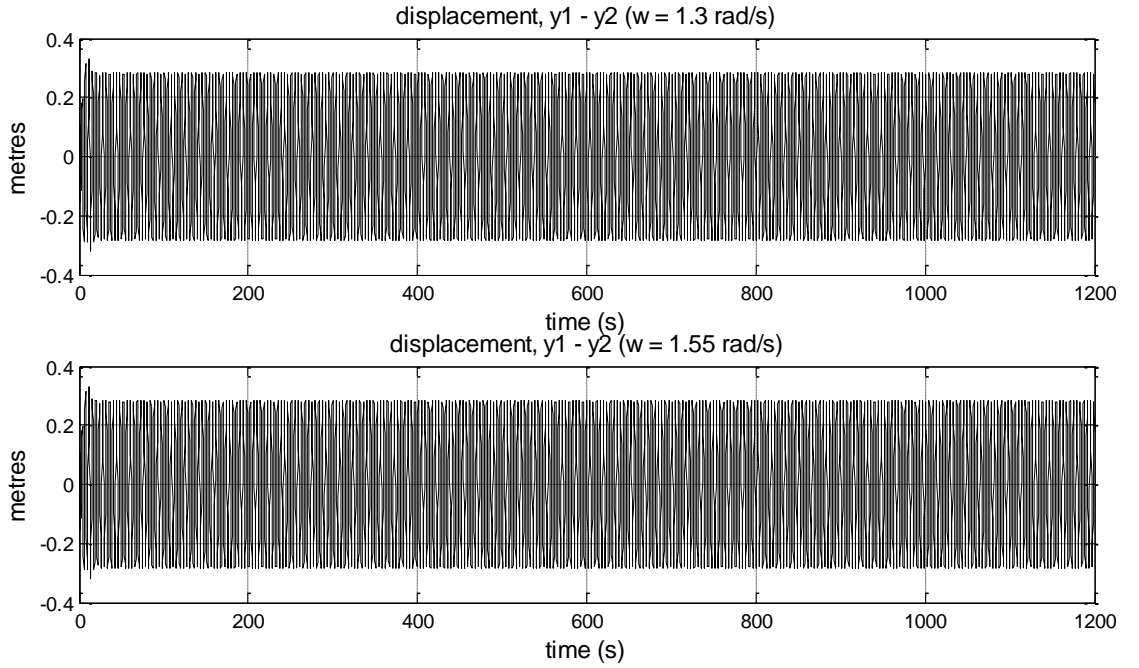
Şekil 3.34., Şekil 3.35. ve 3.36. ile gösterilen grafiklerde sistemin belirlenen dalga frekansları ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen y_1 ve y_2 değerlerinin değişimi ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Şekil 3.34. ile gösterilen grafik şamandıra kütlesi yer değişimini, (y_1), Şekil 2.35. ile gösterilen grafik reaksiyon kütlesinin yer değişimini, (y_2) göstermektedir. Şekil 3.36.'deki grafikte ($y_1 - y_2$) yer değişme farkı gösterilmektedir.



Şekil 3.34. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için y_1 değerinin değişimi

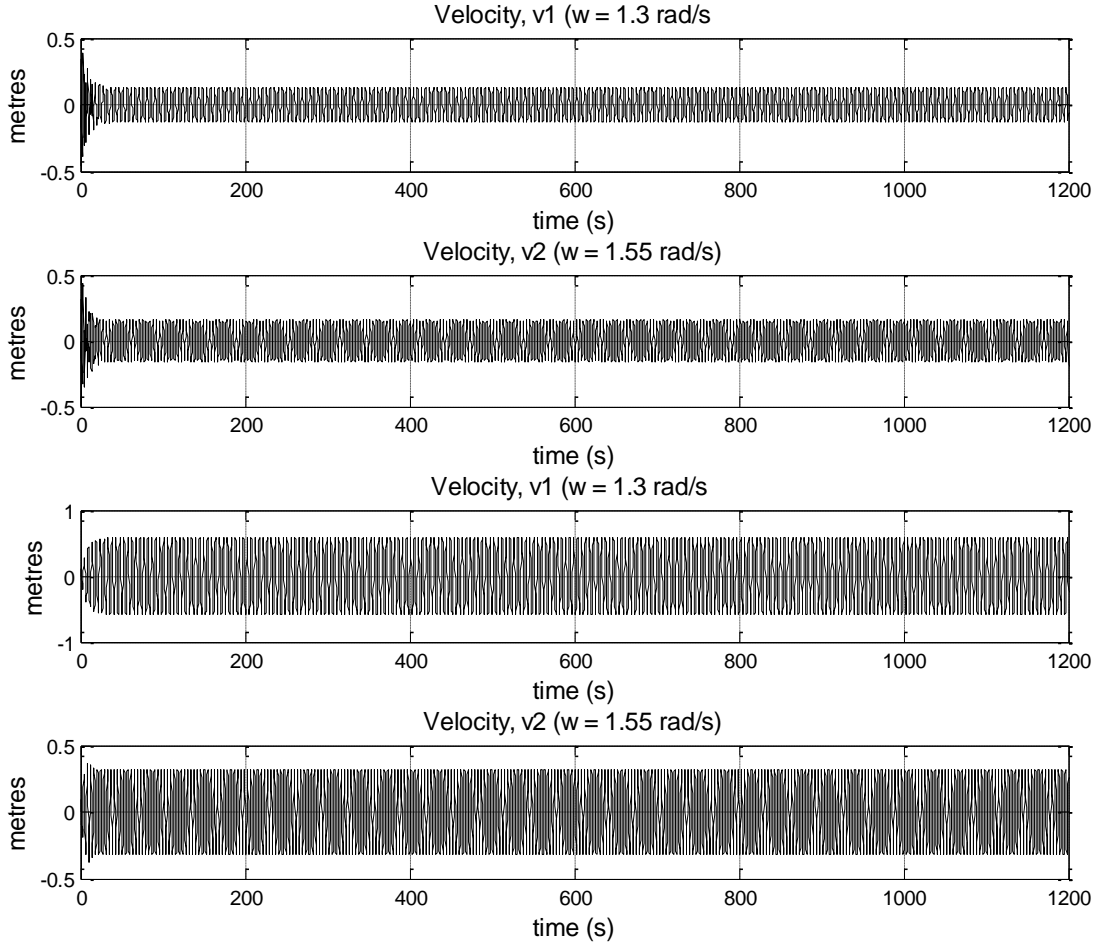


Şekil 3.35. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için y_2 değerinin değişimi



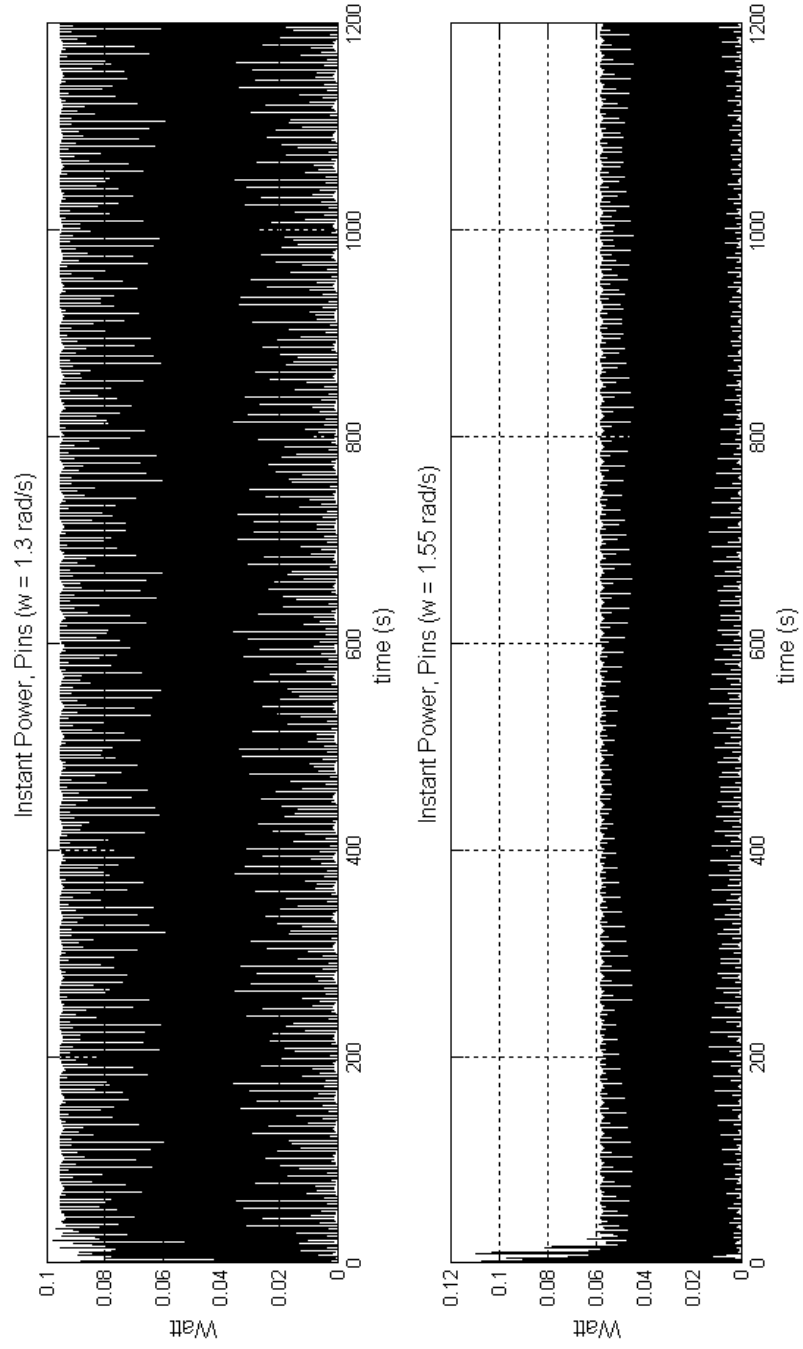
Şekil 3.36 $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için yer değiştirme farkı ($y_1 - y_2$)

Şekil 3.34., 3.35. ve 3.36. ile gösterilen grafiklerde $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansı için y_1 ve y_2 değerlerinin yer değişimi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şekil 3.37.'deki grafikte her iki kütle için simülasyon zamanına göre hızlarının değişimi gösterilmektedir.



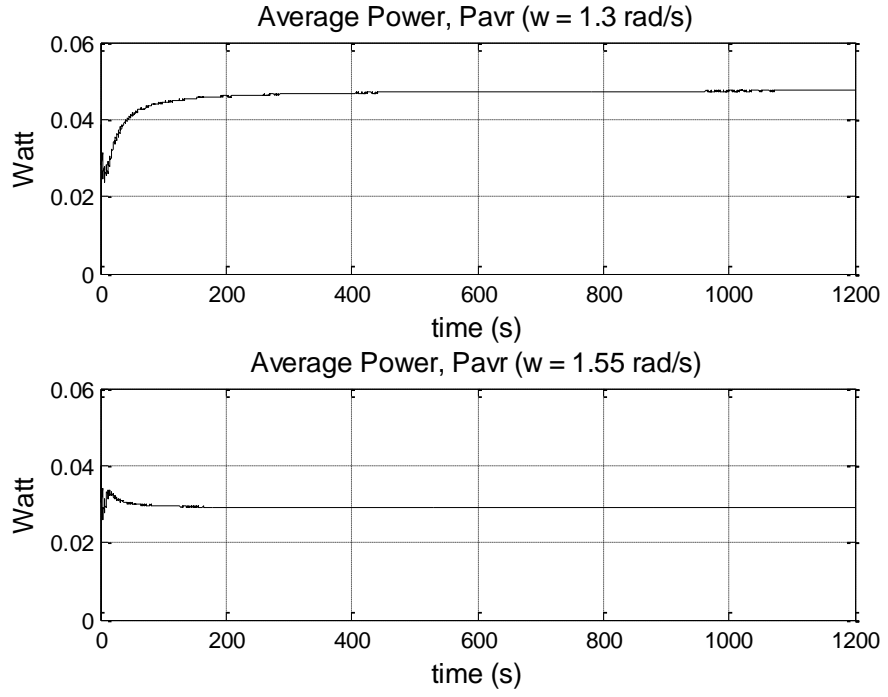
Şekil 3.37. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için v_1 ve v_2 hızlarının değişimi.

Şekil 3.38., 3.39. ve 3.40.'da $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansı için DEK sistem cevabının incelenmesi sonucu elde edilen güç grafikleri görülmektedir. Şekil 3.38. ile verilen grafik DEK sisteminin dalgadan çektiği anlık gücünü göstermektedir.

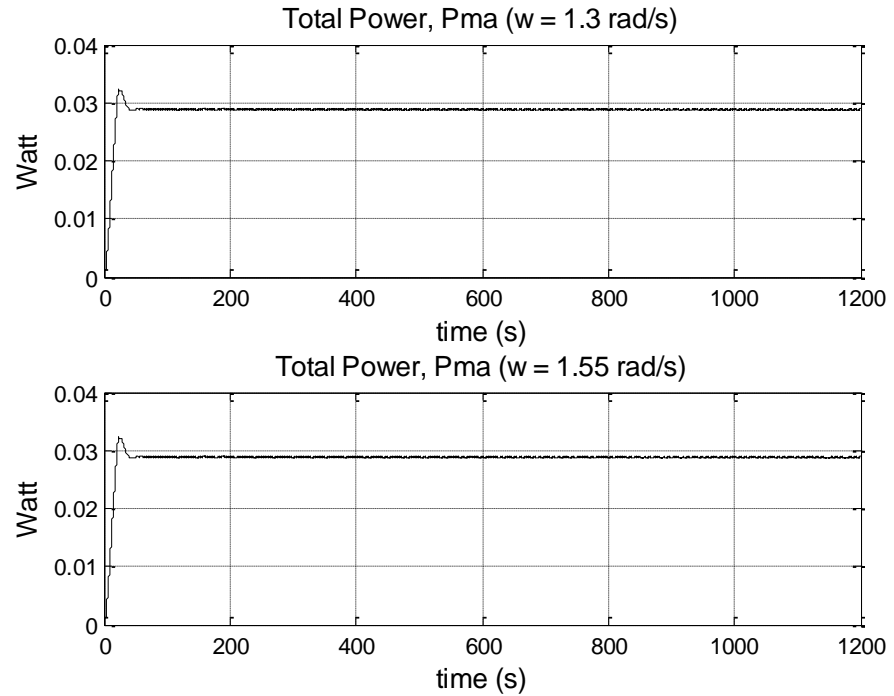


Şekil 3.38. $w=1.3 \text{ rad/s}$ ve $w=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için anlık güç değişimi

Şekil 3.39. ile gösterilen grafik ortalama çekilen gücü, (P_{avr}) ve son olarak Şekil 3.40. ile gösterilen grafik toplam gücü, (P_{ma}) göstermektedir.



Şekil 3.39. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için P_{avr} değerinin değişimi



Şekil 3.40. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ frekansları için elde edilen P_{ma} değerlerinin değişimi

3.2.2. Güç eldesi optimizasyonu

Bu başlık altında DEK sistemin farklı frekans değerlerine cevabı ve frekans değişiminin performansa etkisi incelenip, elde edilen veriler grafiklerle 3 boyutlu olarak karşılaştırılmış. Bu çerçevede DEK sisteminden çekilen gücün en yüksek olabilmesi için seçilebilecek en uygun GÇÜ ayar parametreleri araştırılmış ve elde edilen değer grafiklerle 3 boyutlu olarak karşılaştırılmıştır.

Önceki bölümlerde tartışılan konudan hatırlacağı gibi DEK sisteminin doğal frekansının, dalga frekansına eşit ya da yakın değerlerde olması durumunda dalgadan çekilen enerji en yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu açıdan sistemin doğal frekansının, sisteme etkiyen dalganın frekansı ile uyuşmaması durumunda sistemde meydana gelecek performans kayıplarının incelenmesinde yarar vardır. Konunun ilerleyen bölümlerinde DEK sistemi doğal frekansının belli bir yüzde hatalı olması durumunda meydana gelebilecek güç kayıpları araştırılmıştır. Hatanın sistem performansına etkisi incelenmiştir.

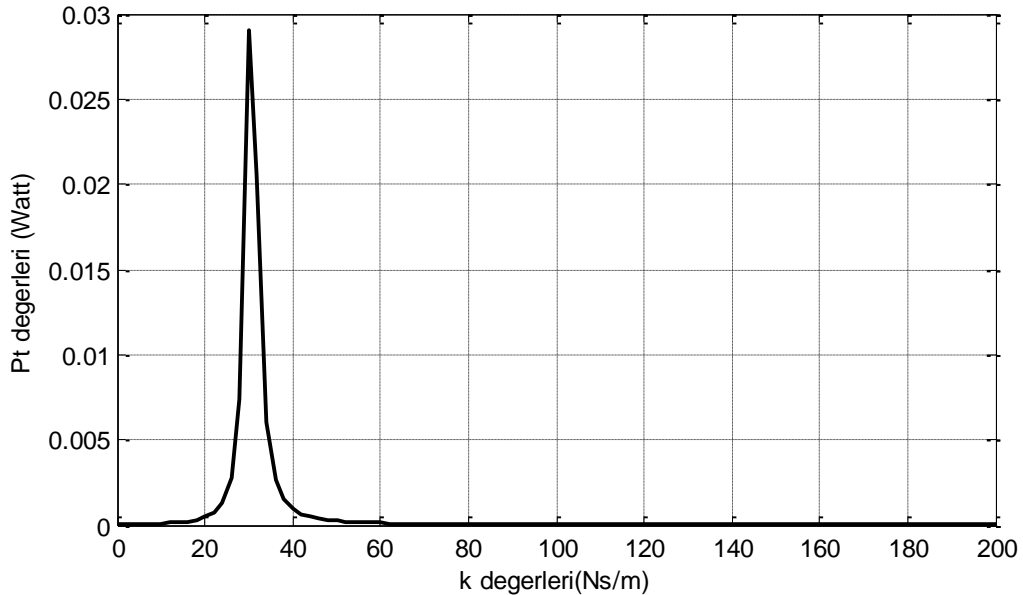
DEK sistemlerinin, durgun su dalgalarından, fırtınalı hava şartlarında meydana gelen dalgalara kadar farklı büyüklükte dalgalarla çalışmaları gerekmektedir. Bu nedenle tasarlanmalarında, sistemin çalıştırılacağı ortamın dalga iklimi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada DEK sistemlerinin farklı dalga frekanslarında, frekans cevabı önem kazanmaktadır. Bu çerçevede çalışmanın önceki bölümünde DEK sistemine iki farklı frekans uygulanıp, frekans cevapları incelenip karşılaştırılmıştır. Diğer bir yandan sistemin frekans cevabına etki eden diğer önemli tasarım parametresi de k değerleridir. Bir diğer önemli parametrede GÇÜ'nin performansına etki eden b sönümleme katsayısıdır. Bu iki değer DEK'in çalışacağı dalga iklimi göz önünde bulundurularak tasarım safhasında tanımlanabilmektedir. Bunun yanında günümüze kadar geliştirilen birçok DEK sistemi, sistemin dalga iklimine uyum sağlayabilmesi ve en iyi performans değerlerini yakalayabilmesi açısından bu iki fiziksel parametreyi değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu açıdan k ve b simülasyon parametrelerinin sistemin performansına etkisinin incelenmesi önemlidir.

Çalışmanın bu bölümünde $\omega = 0.49 \text{ rad/s}$ frekans değeri için modelde kullanılan radyasyon etkisi, b ve yay etkisi, k 'nin sistem performansına etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmada k ve b parametrelerinden birisini sabit tutarak, diğer parametrenin değişiminin DEK sisteminin frekans cevabına etkisi incelenmiş ve

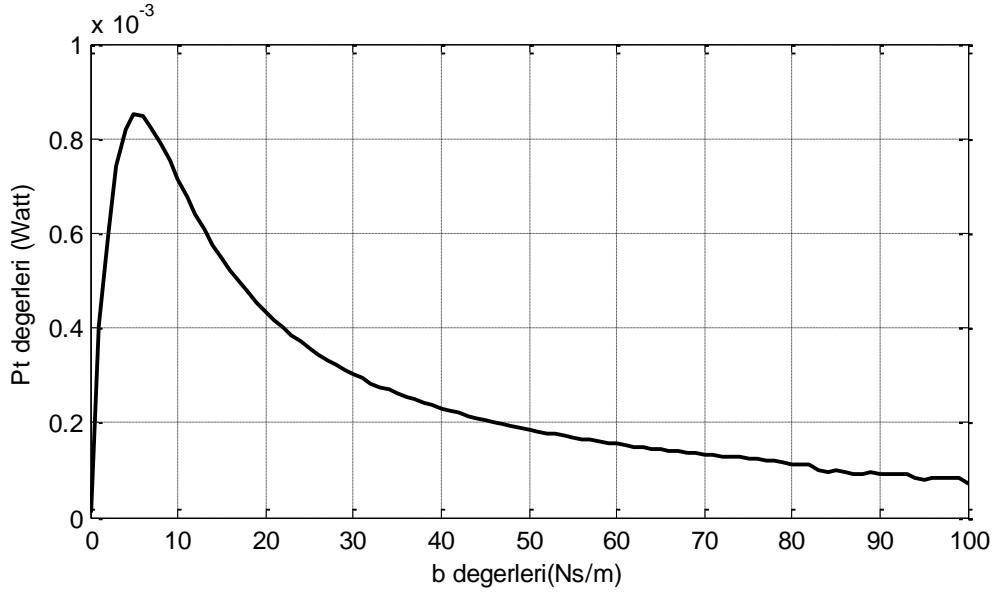
daha sonra parametreler yer değiştirilerek işlem tekrarlanmıştır. İzlenen bu yöntem ile $\omega=0.49 \text{ rad/s}$ frekansında sistemin performanslı çalışması için en uygun k ve b değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

Sistem için kararlı k ve b değerlerinin aranmasında izlenen yöntemde her iki parametre içinde değer aralıkları belirlenip, bu değer aralığındaki sistem cevabı grafiklerle karşılaştırılmıştır. Parametrelerin simülasyonda alacakları en küçük değer 0.01 olarak kabul edilmiştir. Analize ilk olarak k için $k=(0.01-200)$, ve b için $b=(0.01-100)$, değer aralığında çalışma yapılmıştır. Daha sonra elde edilen grafiklere bağlı olarak yeni çalışma aralıkları belirlenmiştir. Böylece çalışma sonunda DEK sistemi için en uygun olan k ve b değer aralıkları tespit edilmiştir.

b ve k parametrelerin en küçük ($b=0.01 \text{ Ns/m}$ ve $k=0.01 \text{ Ns/m}$) değerleri için elde edilen grafikler Şekil 3.41. ve Şekil 3.42.'de gösterilmektedir. Şekil 3.41. ile gösterilen grafikte, $b=0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değerleri için elde edilen, $k=(0.01-200)$ aralığında, k parametresinin değişimine bağlı ortalama güç (P_t) eğrisi verilmektedir. Şekil 3.42. ile gösterilen grafikte ise $k=0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değerleri için elde edilen, $b=(0.01-100)$ aralığında, b parametresinin değişimine bağlı P_t güç eğrisi verilmektedir.



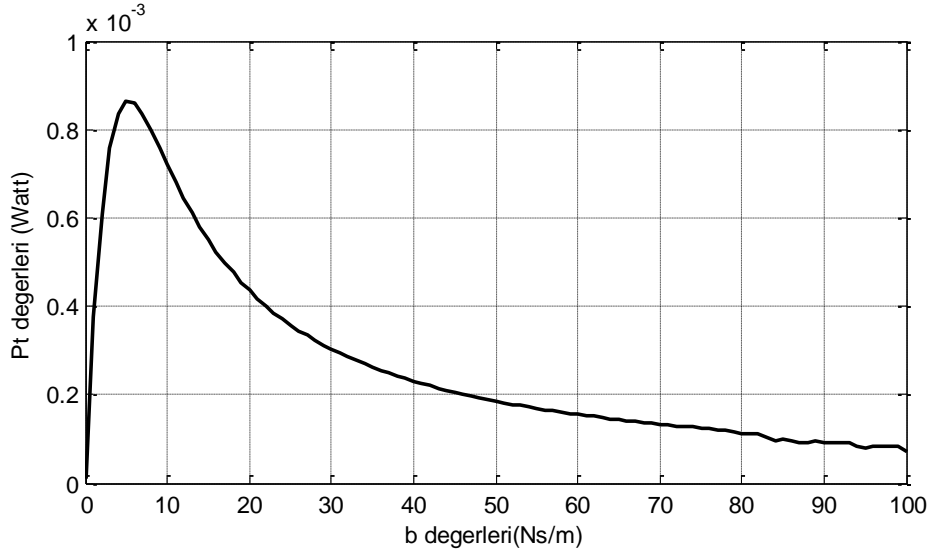
Şekil 3.41. $b=0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi



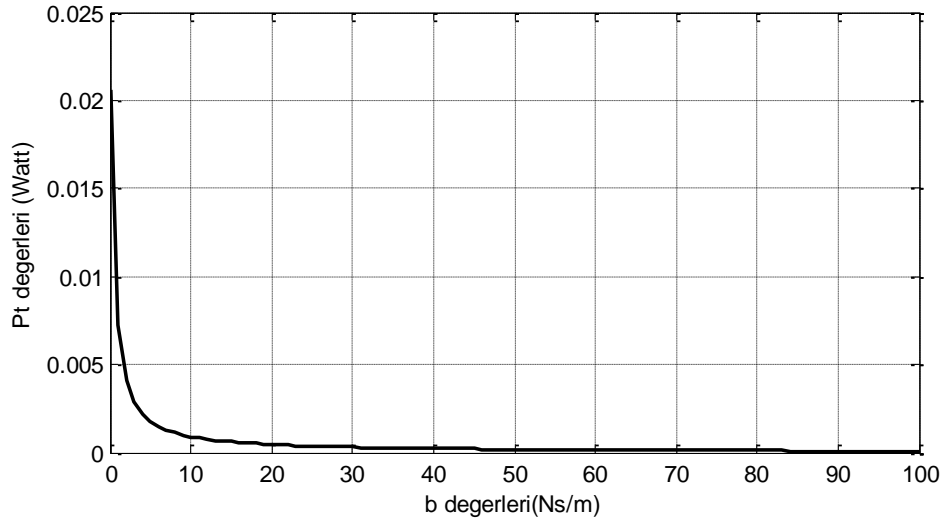
Şekil 3.42. $k = 0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi

Şekil 3.41. ile gösterilen grafikte, $b = 0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için verilen P_t eğrisindeki sıçramalar incelendiği zaman, $k = 30 \text{ Ns/m}$ civarında bir ani sıçrama değerlerinin olduğu görülmektedir. Şekil 3.42.'de gösterilen grafik incelendiğinde $k = 0.01 \text{ Ns/m}$ değeri için verilen P_t eğrisinde ise elde edilen güçteki değişimin düzenli olduğu görülmektedir. Diğer bir değişle k sabit değeri için elde edilen güç eğrilerinin, b 'nin sabit seçildiği grafiğe nazaran daha düzenli artış ya da azalış gösterdiği görülmektedir. Buna ek olarak 3.42.'de gösterilen grafikte verilen P_t eğrisinin $b = 6.5 \text{ Ns/m}$ civarında en yüksek değerine ulaştığı söylenebilmektedir.

Çalışmanın bir sonraki adımında sabit kabul edilen $k = 0.01 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için, Şekil 3.42.'de gösterilen grafikten yola çıkılarak $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ sabit değerleri için sistemin b 'nin değişimine cevabı incelenmiştir. Buna ek olarak Şekil 3.42. ile gösterilen grafikteki güç eğrisinin k 'nın sifıra yakın olduğu bir değerinde elde edildiği düşünülürse sistemin bu bölgedeki değer aralığında incelenmesinde yarar vardır. Bu nedenle $k = 0.5 \text{ Ns/m}$ sabit değerleri içinde sistemin b 'nin değişimine cevabı incelenmiştir. $k = 0.5 \text{ Ns/m}$ ve $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ değerleri için incelenen b 'nin değişimine bağlı güç eğrileri sırası ile Şekil 3.43. ve Şekil 3.44.'de gösterilmektedir.



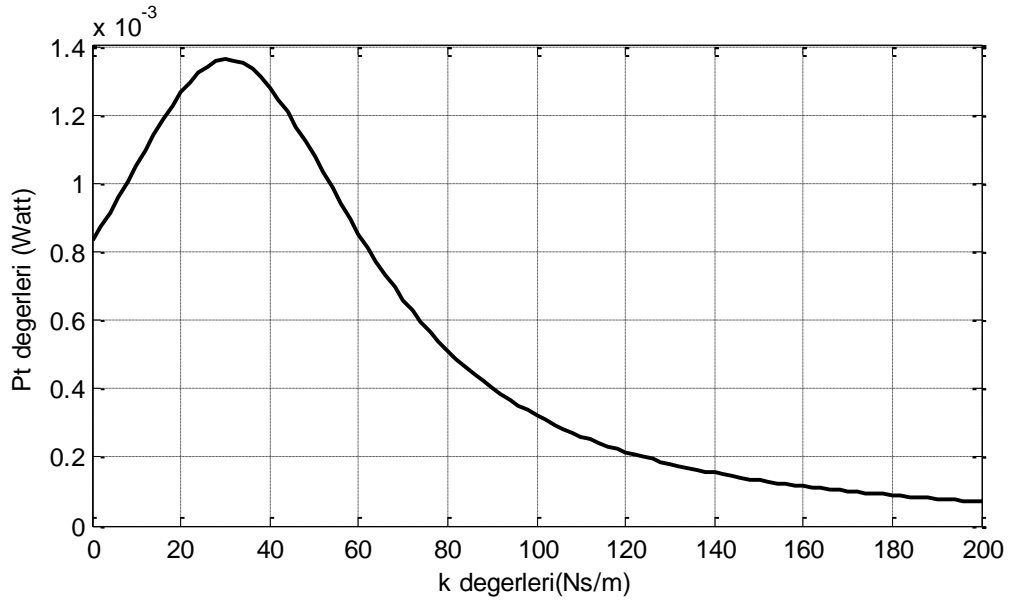
Şekil 3.43. $k = 0.5 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi



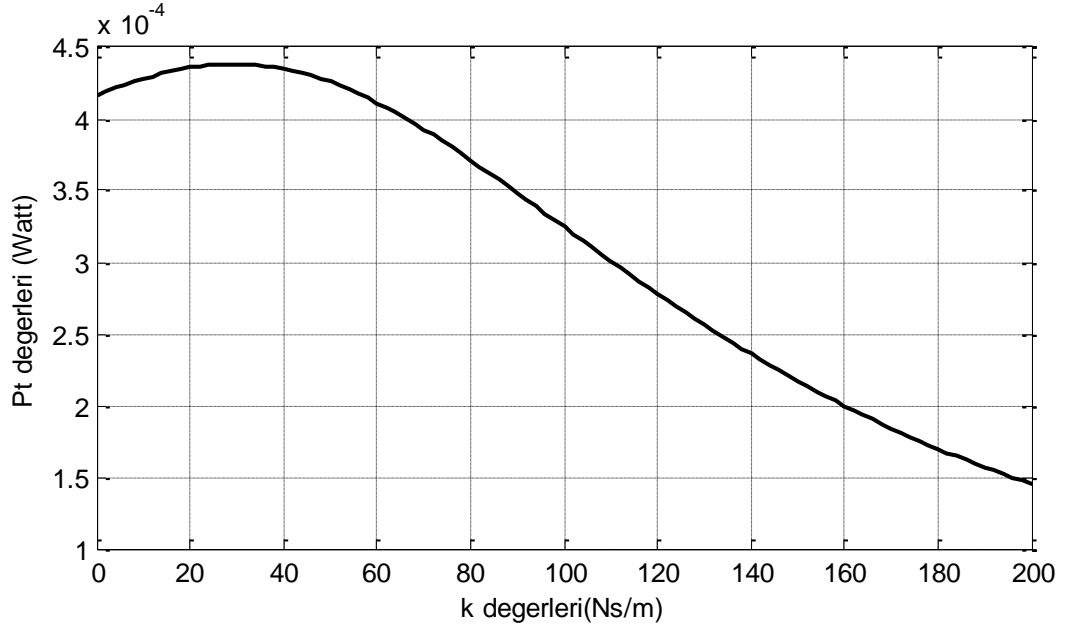
Şekil 3.44. $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen b 'nin değişimine bağlı P_t güç eğrisi

Şekil 3.43. ve Şekil 3.44. ile gösterilen grafiklerde görüldüğü gibi $k = 0.5 \text{ Ns/m}$ ve $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ değerleri altında DEK sisteminin frekans cevabı her iki k parametresi içinde farklıdır. Grafikleri karşılaştırdığımız zaman $\omega = 0.39 \text{ rad/s}$ frekansında, $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ değeri için DEK sisteminden çekilen enerjinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Diğer bir yandan burada elde edilen grafikler k 'nın

sabit olması durumu içindir. Çalışmanın sonraki adımı olarak b 'nın sabit kabul edilerek, k 'nın değer aralığı daraltılmaya çalışılmıştır. Şekil 2.43 ile gösterilen grafikten elde edilen verilere dayanarak $b = 6.6 \text{ Ns/m}$ ve $b = 21 \text{ Ns/m}$ sabit değerleri için sistemin k 'nın değişimine cevabı incelenmiştir. Her iki b parametresi için incelenen k 'nın değişimine bağlı P_t grafikleri $b = 6.6 \text{ Ns/m}$ ve $b = 21 \text{ Ns/m}$ değerleri için sırası ile Şekil. 3.45. ve Şekil 3.46.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.45. $b = 6.6 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi



Şekil 3.46. $b = 21 \text{ Ns/m}$ sabit değeri için elde edilen k 'nın değişimine bağlı P_t güç eğrisi

Daha önce incelenen grafiklerde görüldüğü gibi $k = 30 \text{ Ns/m}$ civarında DEK sistemden çekilen güç artış göstermektedir. Bununla beraber çizilen iki grafik, daha önce Şekil 3.44 ile gösterilen grafik ile karşılaştırıldığında $k = 29.5 \text{ Ns/m}$ ve $b = 0$ 'a yakın bölgelerde DEK sisteminden çekilen gücün en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Yapılan çalışmada sabit bir frekans altında DEK sisteminin frekans cevabının k ve b parametrelerine bağlı değişimi yorumlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada incelemeler $k = 0-200$, $b = 0-100$ aralığında yapılmıştır. Elde edilen grafiklerde görüldüğü gibi k 'nın $k = 0-100$ aralığı için sistemin performansı daha yüksektir. $k = 100$ 'dan sonra sistemden çekilen enerji giderek düşmektedir. Aynı durum b 'nin, $b = 15$ değerinden sonrası içinde geçerlidir. Bu nedenle çalışmanın devam eden bölümünde k 'nın değer aralığı, $k = 0-100$, b 'nin değer aralığı, $b = 0-15$ olarak daraltılmış ve belirlenen aralıkta sistemin k ve b 'nin değişimine bağlı performansı farklı frekanslar için incelenmiştir.

Çalışmanın bu adımında DEK sisteminin farklı frekans değerlerine göre cevabı ve frekans değişiminin performansa etkisi irdelenip elde edilen veriler grafiklerle üç boyutlu olarak karşılaştırılmıştır. k ve b DEK sistem parametrelerinin değişimine bağlı

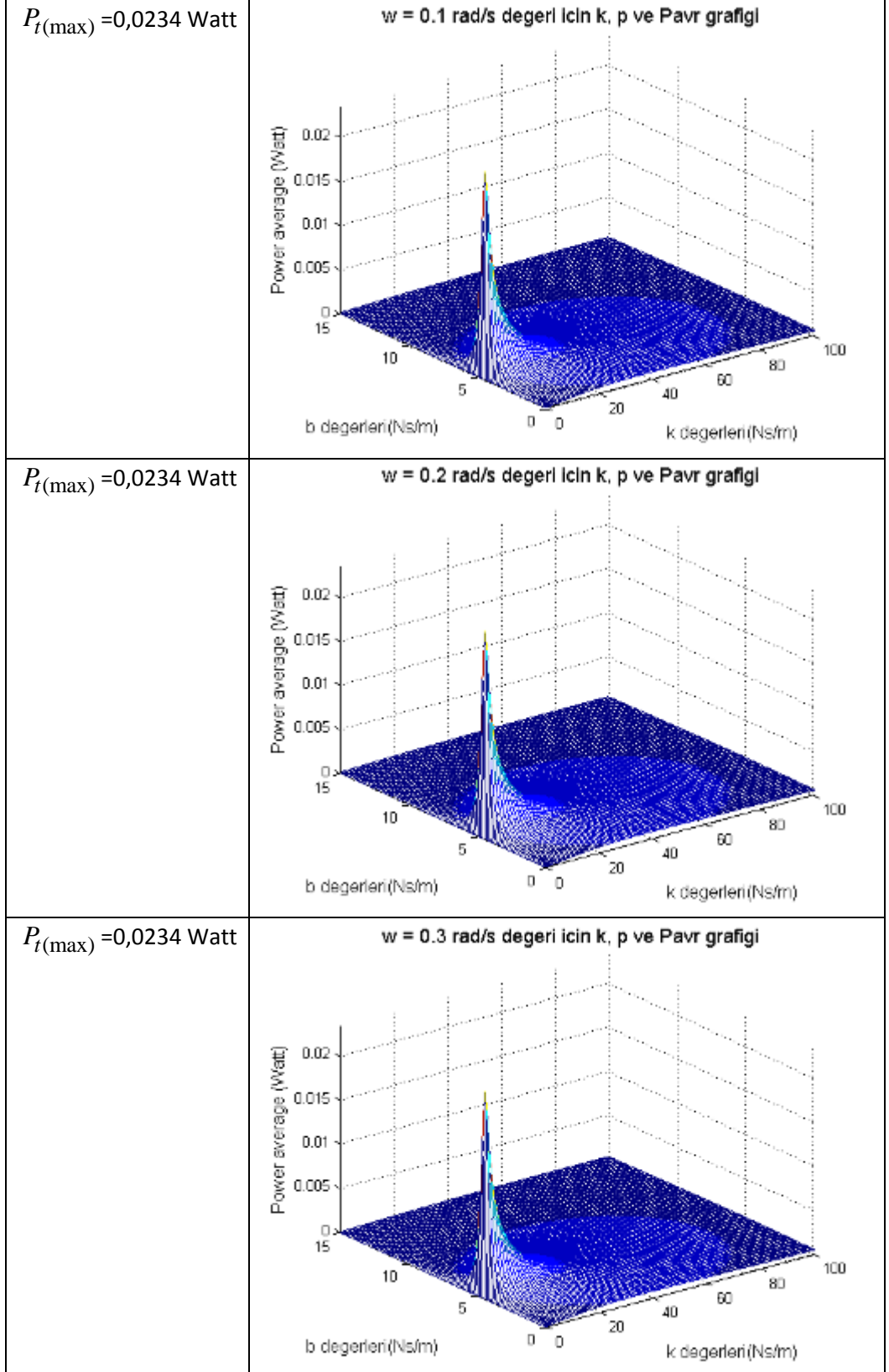
olarak sistemden çekilen ortalama güç karakterize edilmiştir. Analizde göz önünde bulundurulacak frekans değerleri deniz ortamına uyumlu olacak değerler seçilmiştir. Yapılan araştırmalar deniz ortamında meydana gelen doğal dalgaların en fazla $\omega = 3.0 \text{ rad/s}$ frekans değerine ulaştığını göstermiştir. Bu çerçevede yapılan çalışmada $\omega = 0.1 - 3.0 \text{ rad/s}$ dalga frekansı aralığı, analiz sayısı artırılarak daha detaylı incelenmiştir. Çizelge 3.7.'de analizde kullanılan frekans değerleri gösterilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi analizler frekansın $\omega = 5.1 \text{ rad/s}$ değerine kadar sürdürülürken, $\omega = 3.0 - 5.1 \text{ rad/s}$ aralığında yapılan analiz sayısı daha azdır.

Çizelge 3.8. Analizde kullanılan frekans değerleri

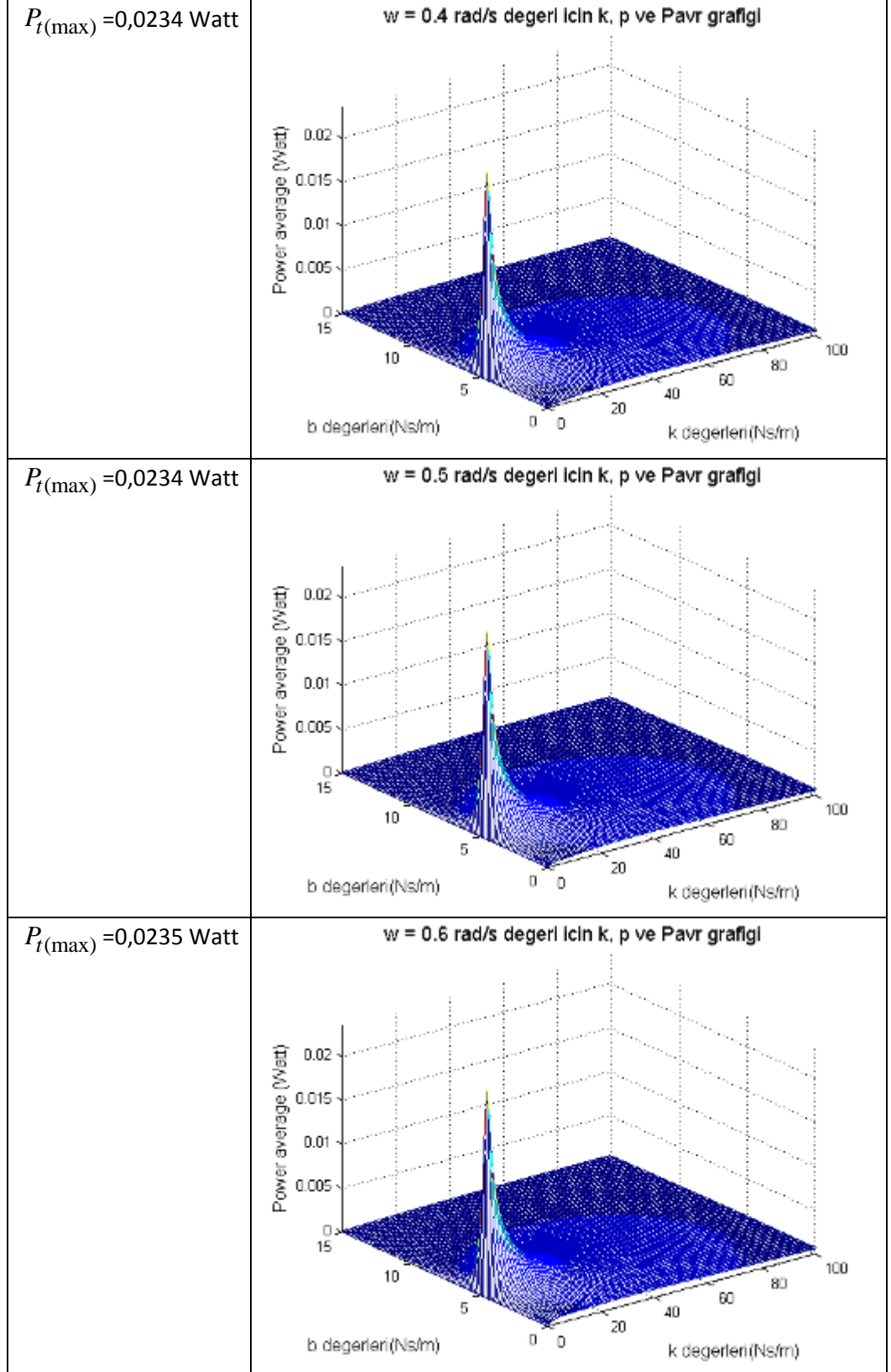
(rad/s)	(rad/s)	(rad/s)
$\omega_{(1)} = 0.1$	$\omega_{(14)} = 1.4$	$\omega_{(27)} = 2.7$
$\omega_{(2)} = 0.2$	$\omega_{(15)} = 1.5$	$\omega_{(28)} = 2.8$
$\omega_{(3)} = 0.3$	$\omega_{(16)} = 1.6$	$\omega_{(29)} = 2.9$
$\omega_{(4)} = 0.4$	$\omega_{(17)} = 1.7$	$\omega_{(30)} = 3.0$
$\omega_{(5)} = 0.5$	$\omega_{(18)} = 1.8$	$\omega_{(31)} = 3.3$
$\omega_{(6)} = 0.6$	$\omega_{(19)} = 1.9$	$\omega_{(32)} = 3.6$
$\omega_{(7)} = 0.7$	$\omega_{(20)} = 2.0$	$\omega_{(33)} = 3.9$
$\omega_{(8)} = 0.8$	$\omega_{(21)} = 2.1$	$\omega_{(34)} = 4.2$
$\omega_{(9)} = 0.9$	$\omega_{(22)} = 2.2$	$\omega_{(35)} = 4.5$
$\omega_{(10)} = 1.0$	$\omega_{(23)} = 2.3$	$\omega_{(36)} = 4.8$
$\omega_{(11)} = 1.1$	$\omega_{(24)} = 2.4$	$\omega_{(37)} = 5.1$
$\omega_{(12)} = 1.2$	$\omega_{(25)} = 2.5$	–
$\omega_{(13)} = 1.3$	$\omega_{(26)} = 2.6$	–

Çizelge 3.7. ile gösterilen grafiklerde seçilen frekanslar için, k ve b değerlerine bağlı olarak değişen ortalama güç, (P_t) değerleri verilmiştir. Çalışmada b sistem sönümleme değeri (1 – 15) aralığında, k yay katsayısı (0 – 100) aralığında değerlendirilmiştir. Ayrıca çizelgede incelenen frekans değeri için elde edilen en iyi P_t değerleri belirtilmiştir.

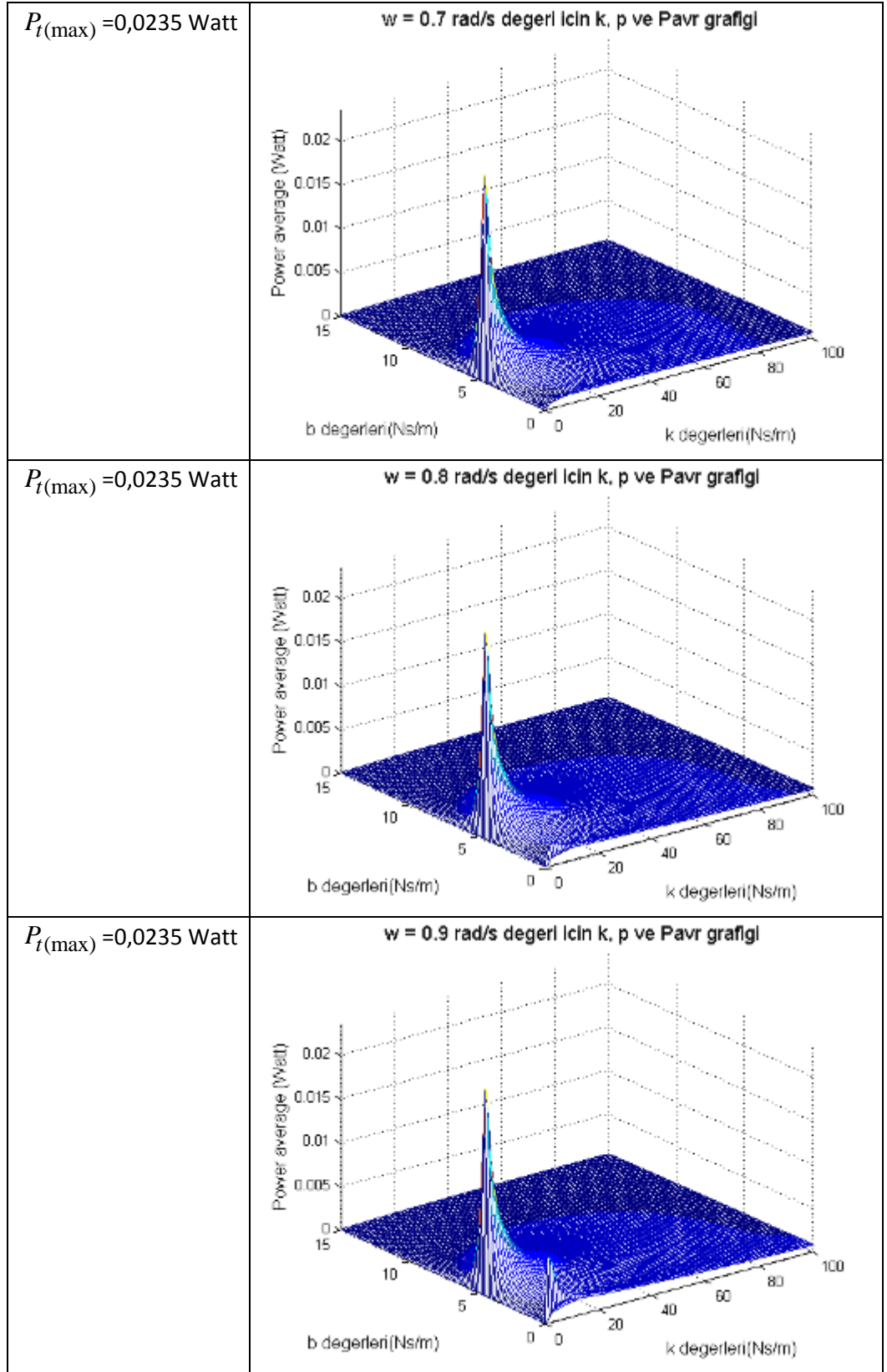
Çizelge 3.9. k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



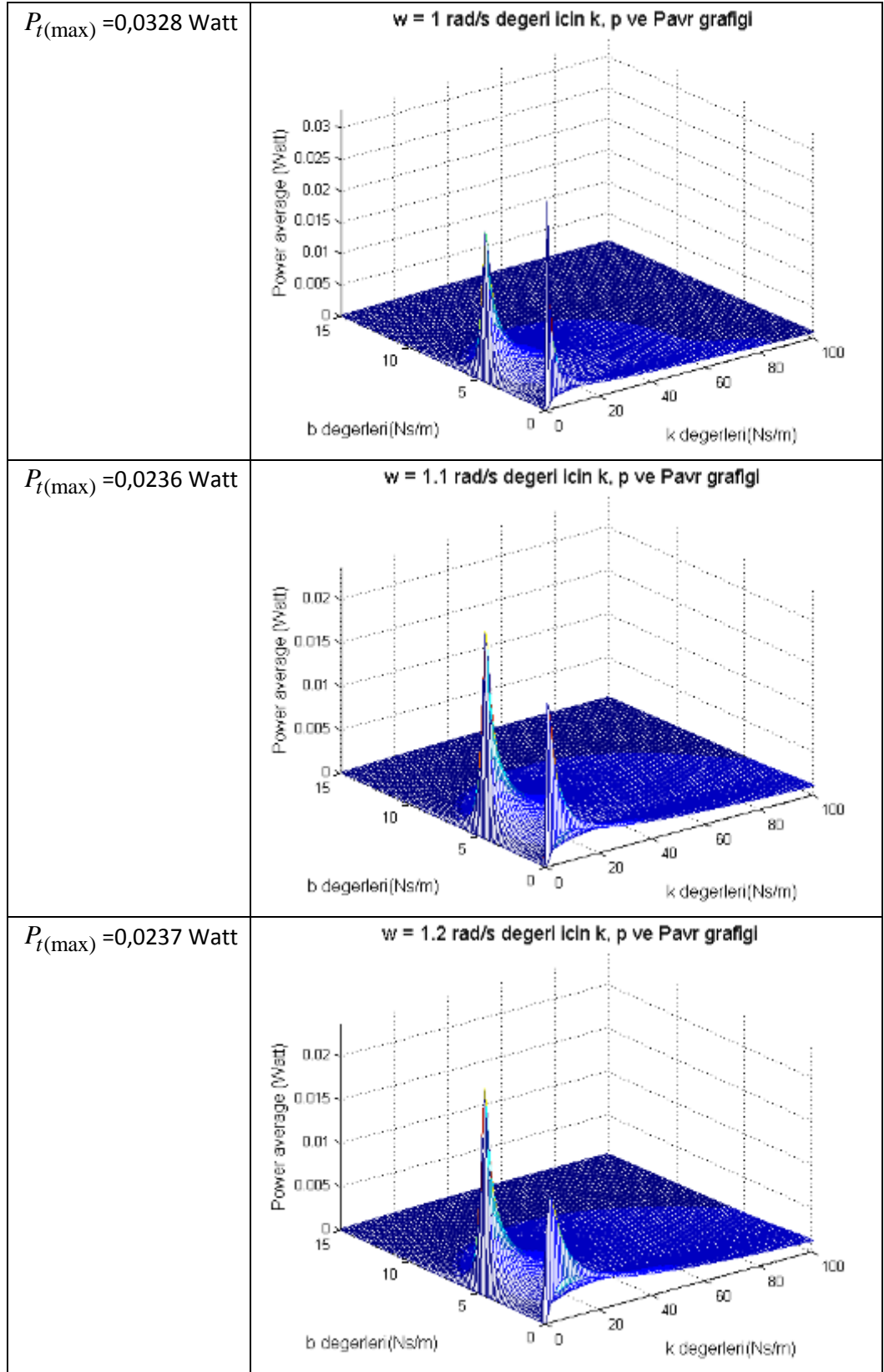
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



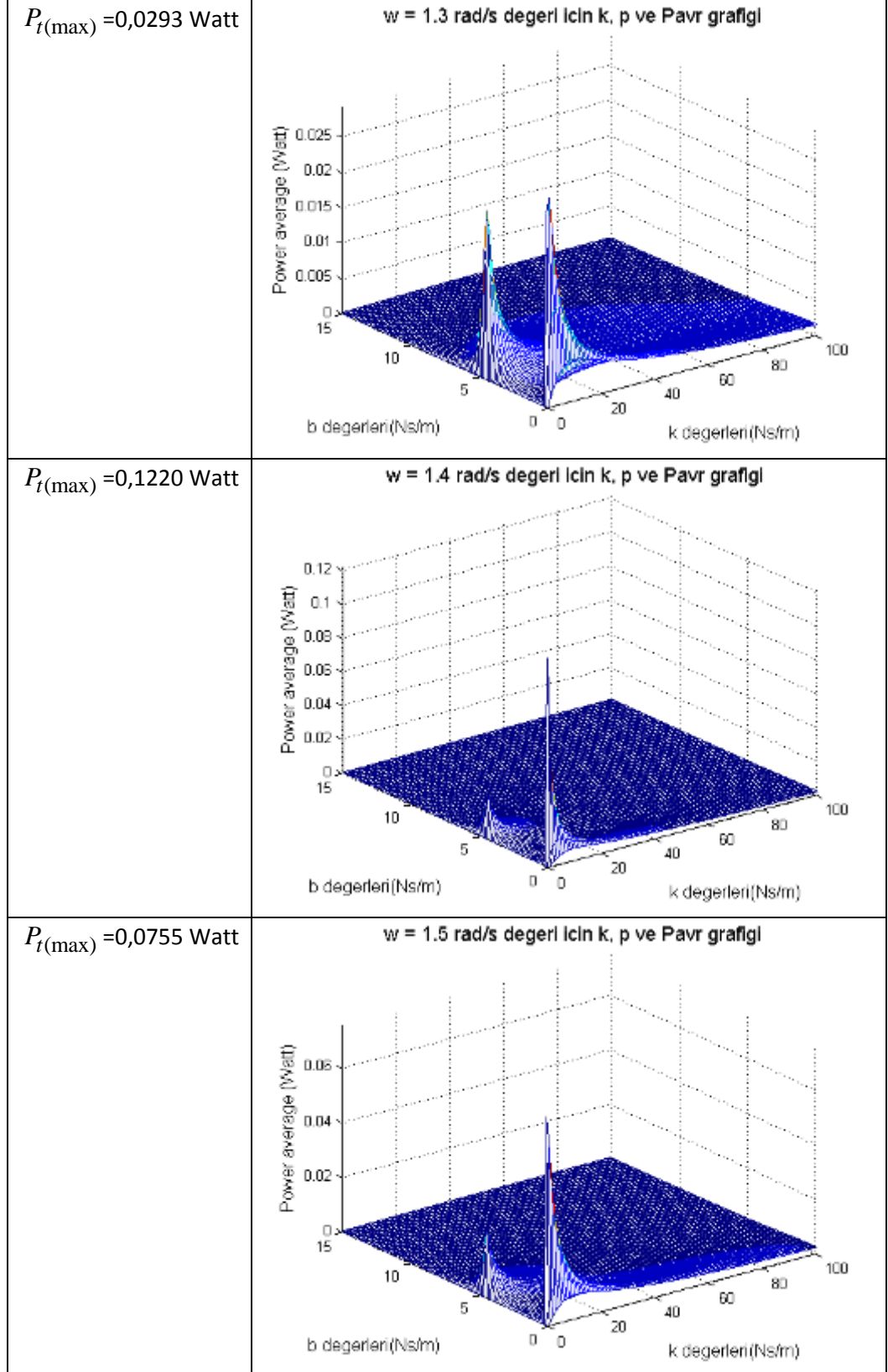
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



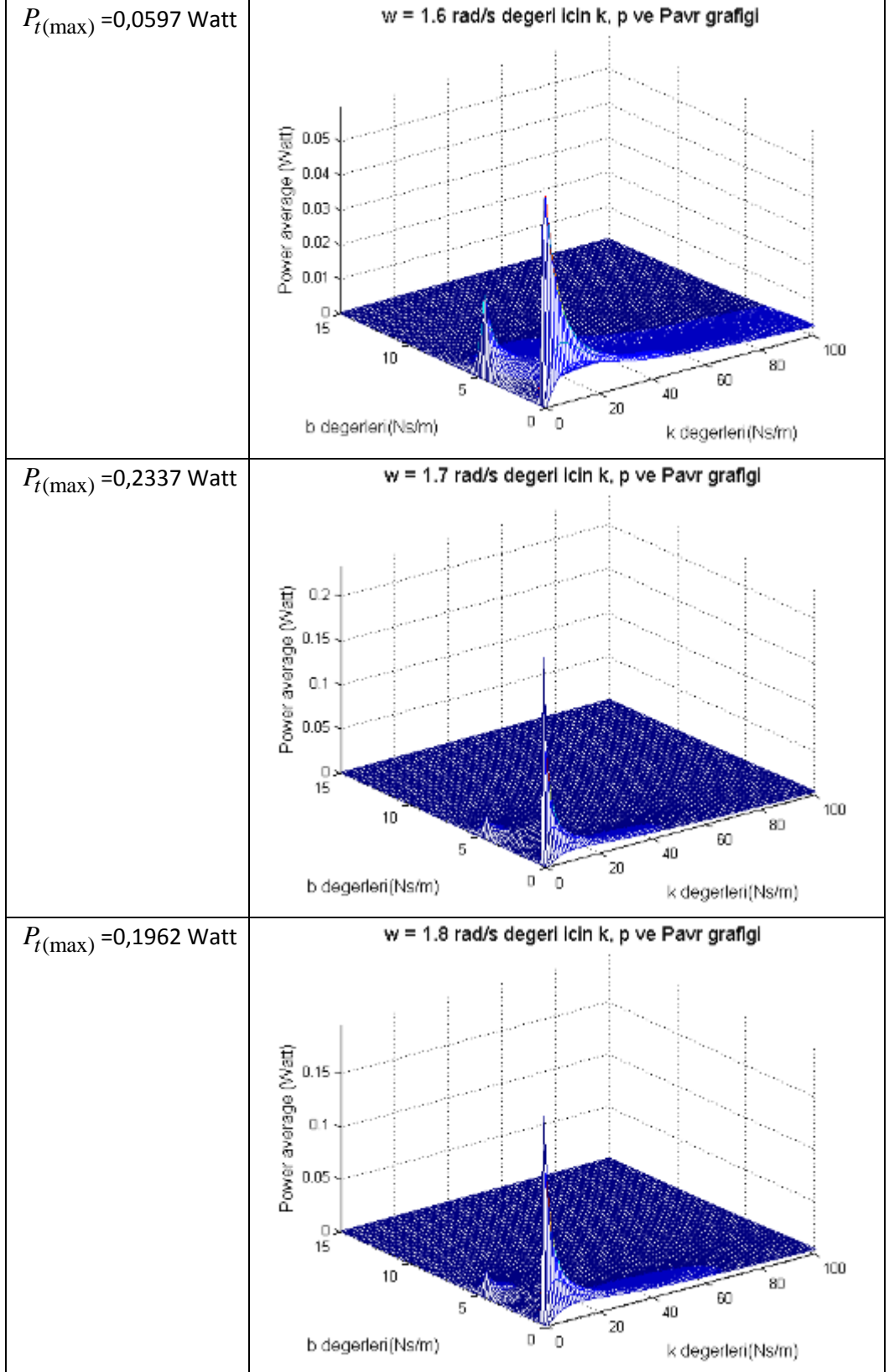
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



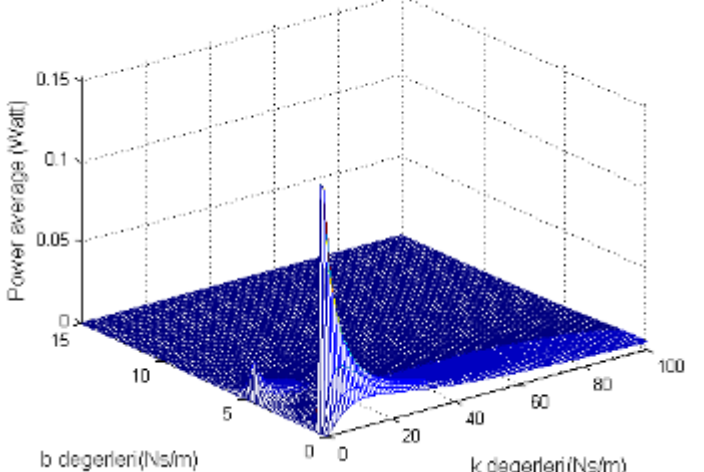
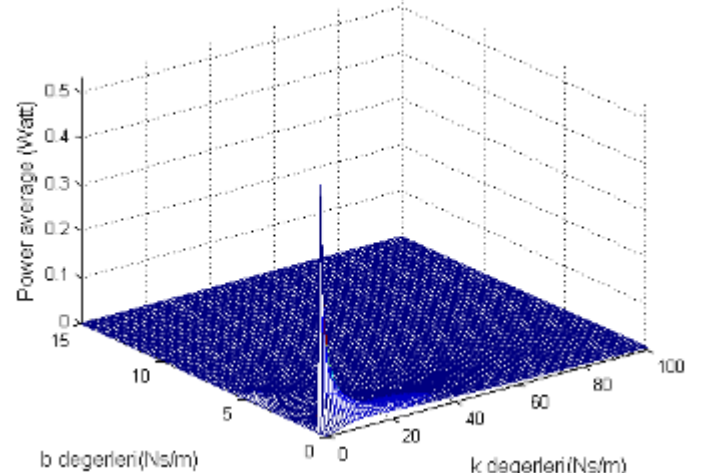
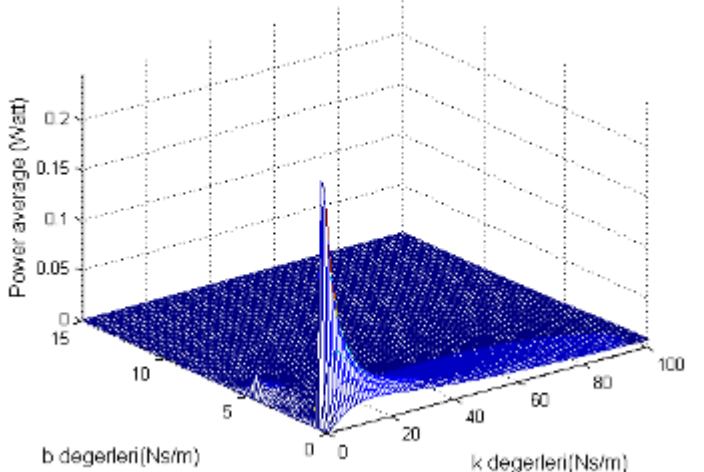
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



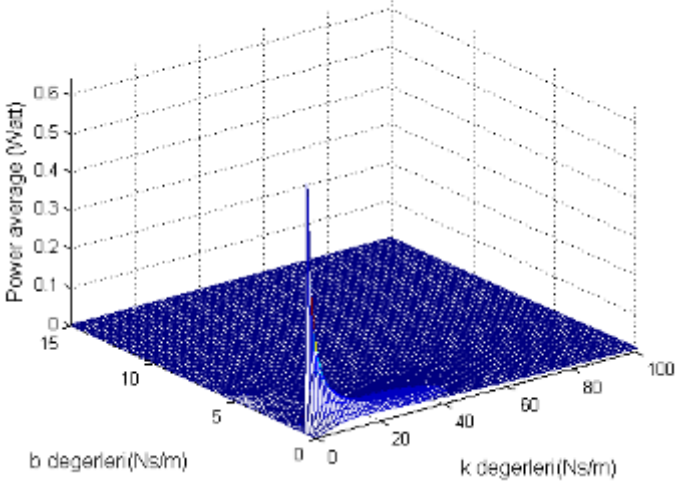
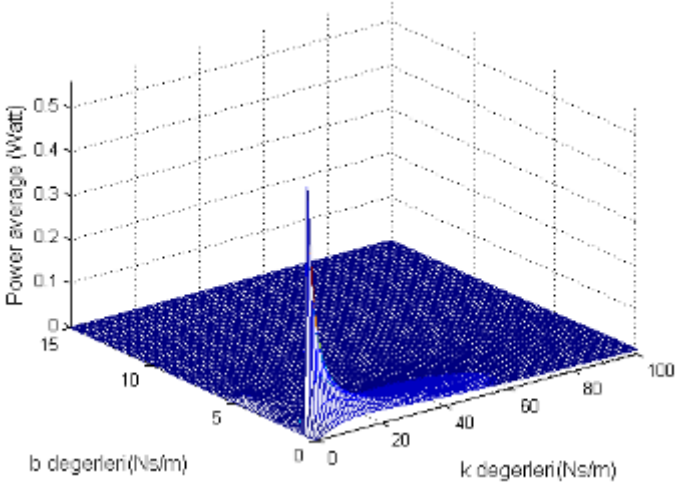
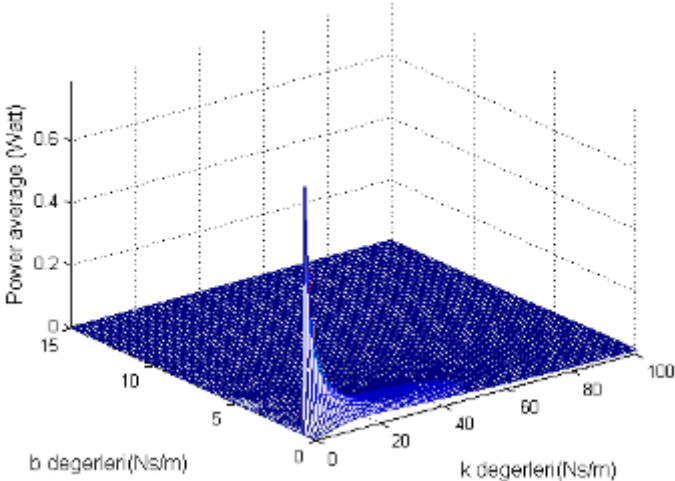
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



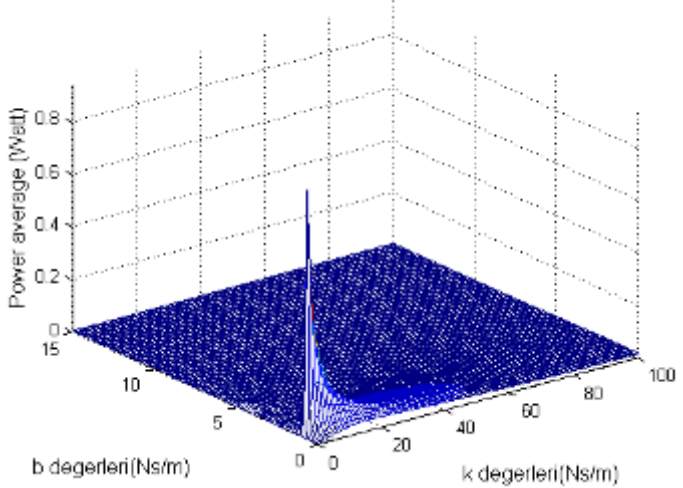
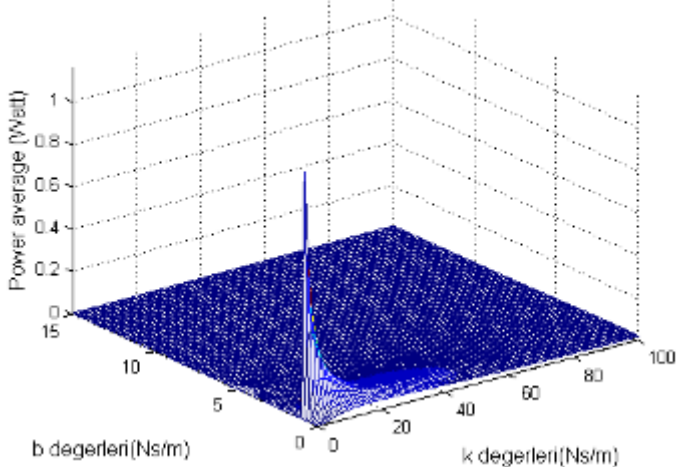
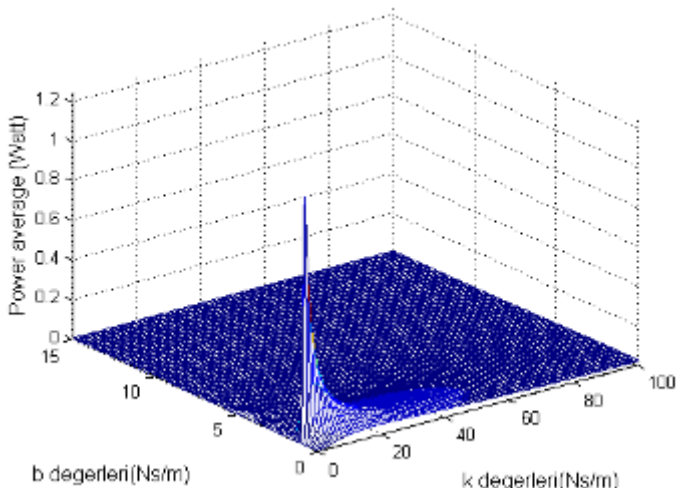
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi

$P_{I(\max)} = 0,1534$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 1.9 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{I(\max)} = 0,5340$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{I(\max)} = 0,2452$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.1 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 

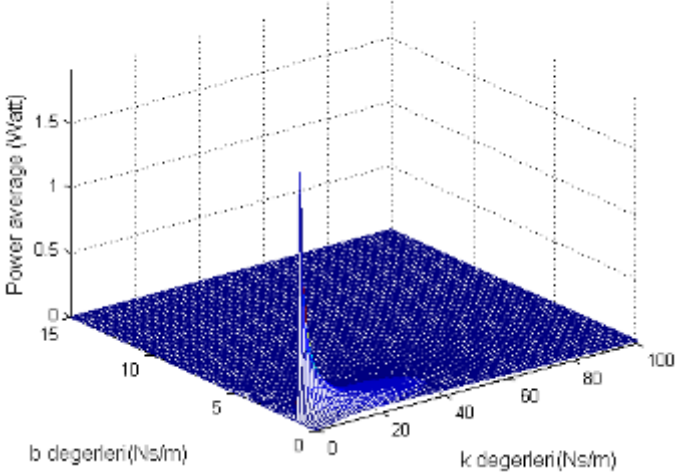
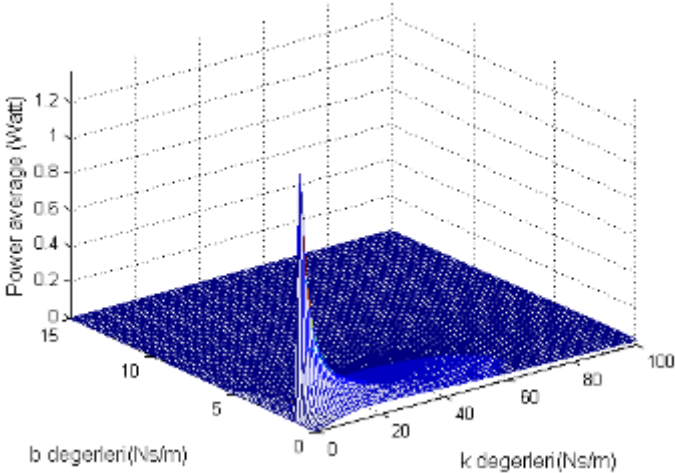
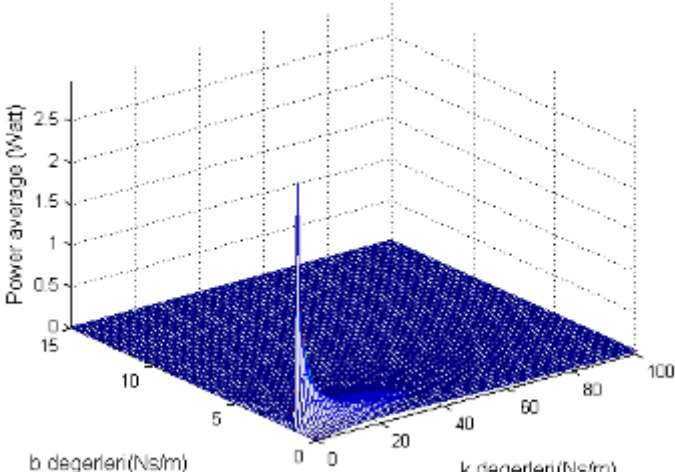
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi

$P_{t(\max)} = 0,6423$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.2 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 0,5611$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.3 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 0,7905$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.4 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 

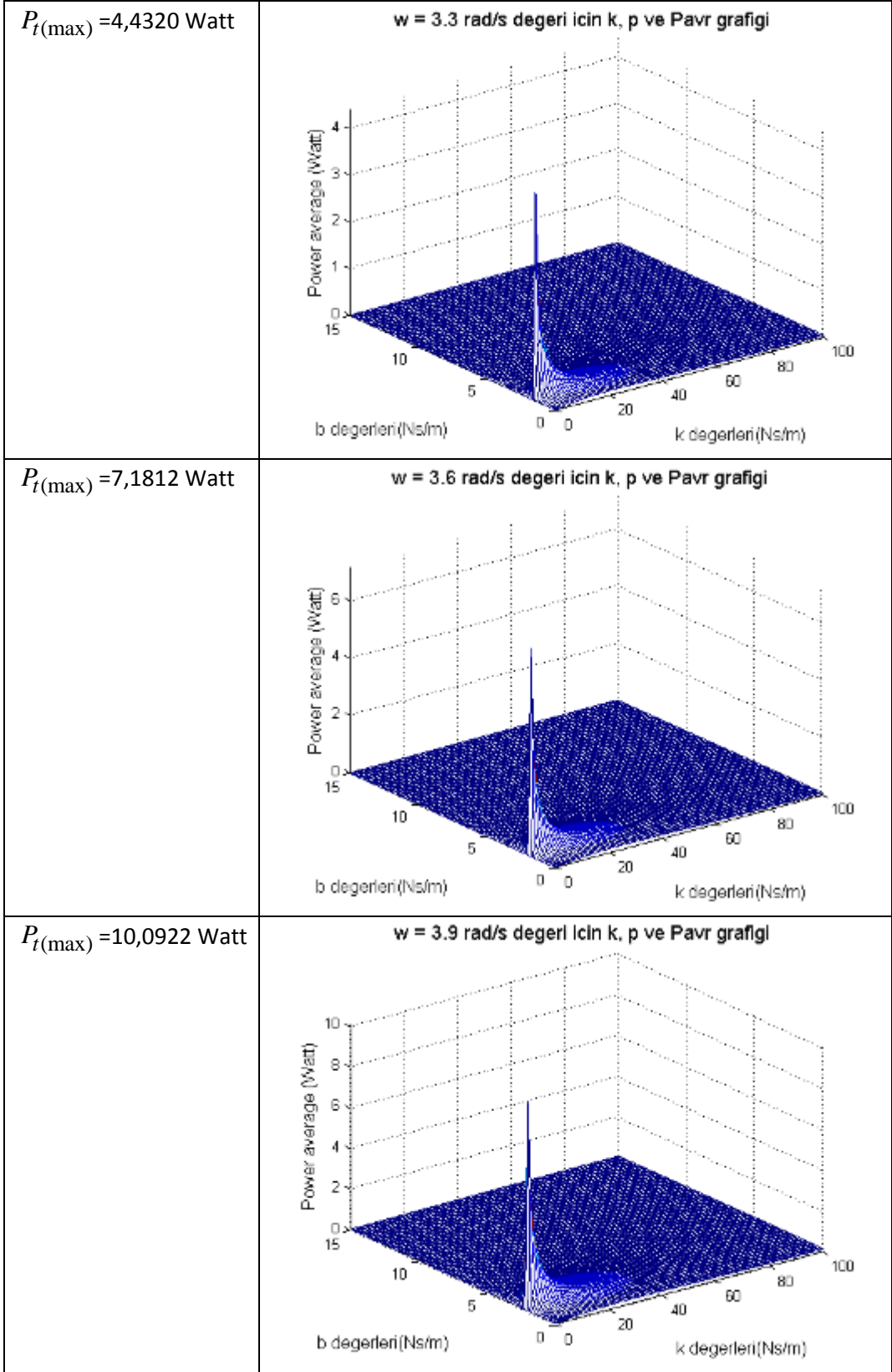
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi

$P_{t(\max)} = 0,9376$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.5 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 1,1608$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.6 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 1,2448$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.7 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 

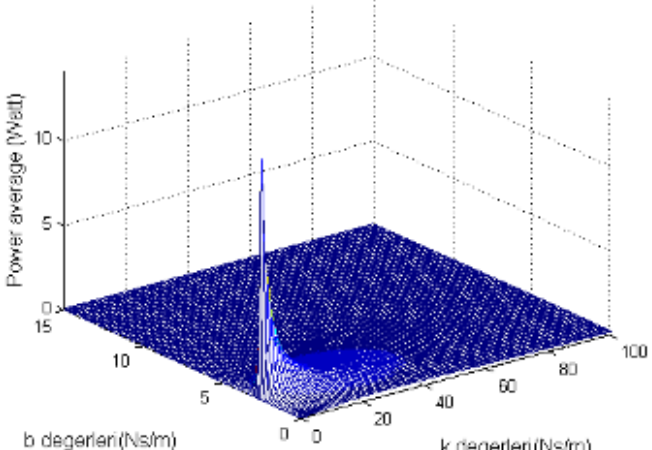
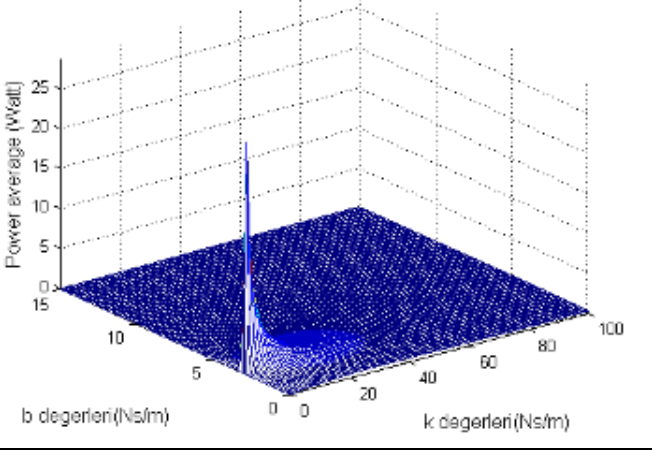
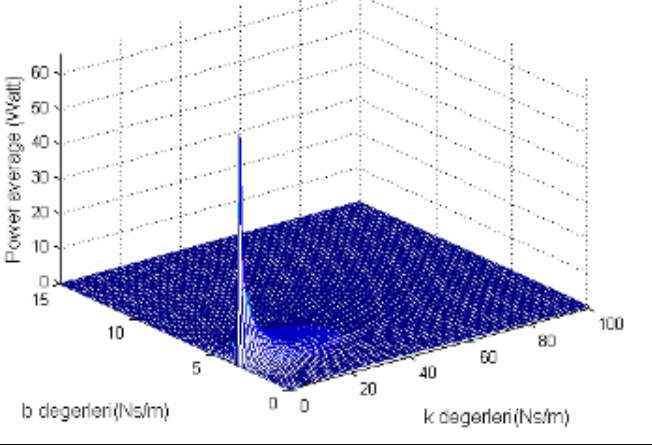
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi

$P_{t(\max)} = 1,9177$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.8 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 1,3673$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 2.9 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{t(\max)} = 2,9760$ Watt	<p style="text-align: center;">w = 3 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 

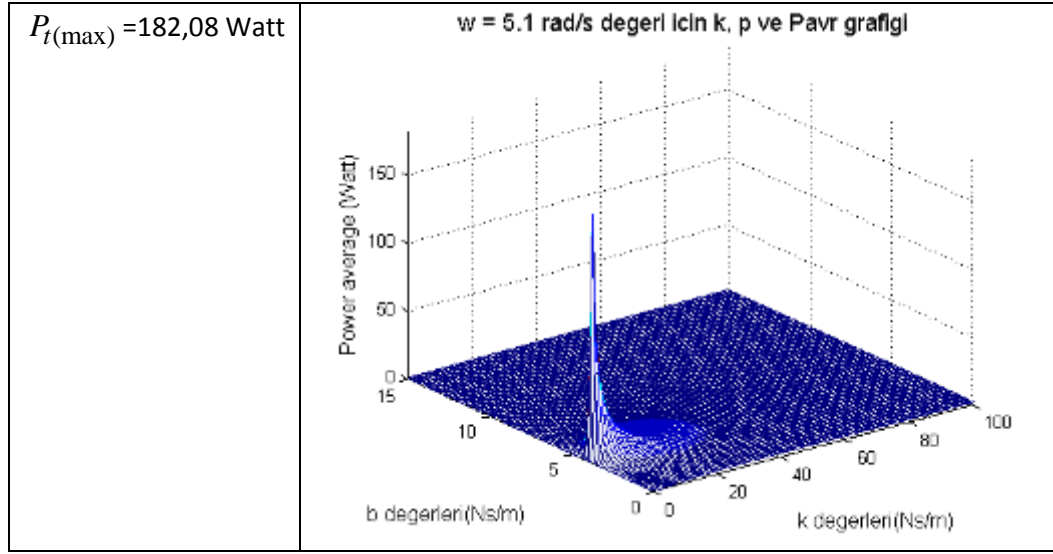
Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi

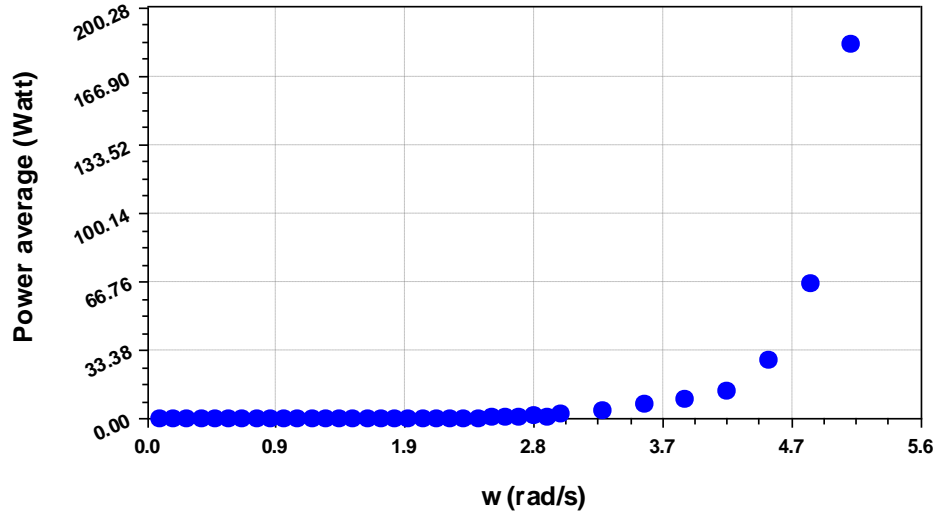
$P_{I(\max)} = 14,0846$ Watt	<p>w = 4.2 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{I(\max)} = 28,7989$ Watt	<p>w = 4.5 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 
$P_{I(\max)} = 66,0995$ Watt	<p>w = 4.8 rad/s degeri icin k, p ve Pavr grafigi</p> 

Çizelge 3.9. (Devam) k ve b parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistemden çekilen ortalama gücün farklı frekanslar için incelenmesi



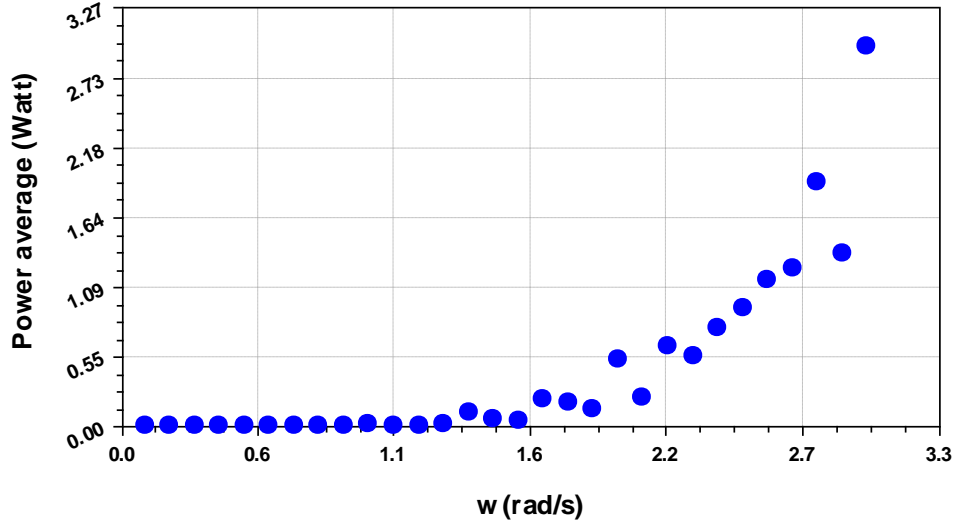
Şimdiye kadar anlatılan bölümlerde bir DEK sisteminin tek serbestlik derecesinde matematiksel modeli incelenmiş ve incelenen bu matematiksel modelden yararlanarak bir tek serbestlik dereceli DEK sisteminin Matlab/Simulink modeli oluşturulup tartışılmıştır. Bir sonraki adımda oluşturulan DEK-Simulink modeli ile yapılan analizlerin sonuçları, analiz sonucu elde edilen ortalama gücün en yüksek olduğu değerler, ($P_{T(\max)}$) referans alınarak incelenmektedir. Çalışmanın bu bölümünde daha önce analizde elde edilen verilerden yararlanarak $\omega - P_{T(\max)}$ değerleri arasındaki ilişkinin grafiksel değerlendirmelerine yer verilmiştir. Bununla beraber analizi yapılmayan ara değer frekanslarında, elde edilen ortama gücün yorumlanabilmesi için eğri uydurma (curve fitting) uygulaması yapılmıştır.

Eğri uydurma işleminde Çizelge 3.8.'de gösterilen, DEK sisteminden elde edilen maksimum enerji değerlerinden yararlanılmıştır. İnterpolasyon tekniğinden yararlanarak yapılan eğri uydurma uygulaması yardımı ile analizi yapılmayan frekans değerlerinde DEK sisteminin cevabı yorumlanabilmektedir. Şekil 3.47.'de frekansa göre DEK sisteminden elde edilen maksimum enerji değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir. Verilen grafik aynı zamanda eğri uydurma işleminde kullanılan giriş verileridir.



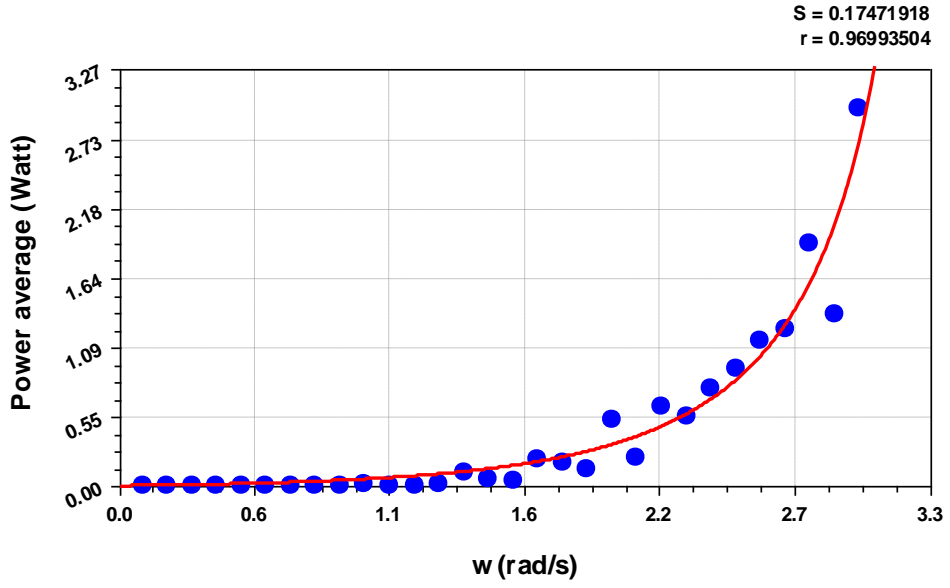
Şekil 3.47. 0.1–5.1 rad/s Frekans aralığı için sistemden elde edilen P_t 'nin en yüksek değerleri

Şekil 3.47. ile gösterilen grafikteki her bir veri ayrı bir frekans analize karşılık gelmektedir. Grafik incelendiği zaman $\omega=0.1-3.0 rad/s$ frekansı aralığında yapılan analizlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Buna ek olarak 3.0 rad/s frekansına kadar olan verilerin ayrı olarak incelenmesinde yarar vardır. Bu nedenle çalışmanın bu adımında Şekil 3.47.'de gösterilen sistemden çekilen enerjisinin frekansa bağlı değişimi verileri $\omega=0.1-3.0 rad/s$ ve $\omega=0.1-5.1 rad/s$ aralıkları için ayrı ayrı incelenmektedir. Şekil 3.48. ile gösterilen grafikte $\omega=0.1-3.0 rad/s$ aralığında elde edilen P_t 'nin en yüksek değerleri verilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi bu değer aralığında sistemden çekilen güç değerleri lineer artış göstermemektedir. $\omega=1.3 rad/s$ kadar sistemden çekilen enerjide gözle görünür bir sıçrama olmazken, bu frekans değerinden sonra elde edilen enerji değerinde dalgalanmalar olmakta ve sistemden çekilen güç artış göstermektedir. $\omega=3.0 rad/s$ değerinin de sistemden çekilen güç en yüksek değerine ulaşmaktadır.

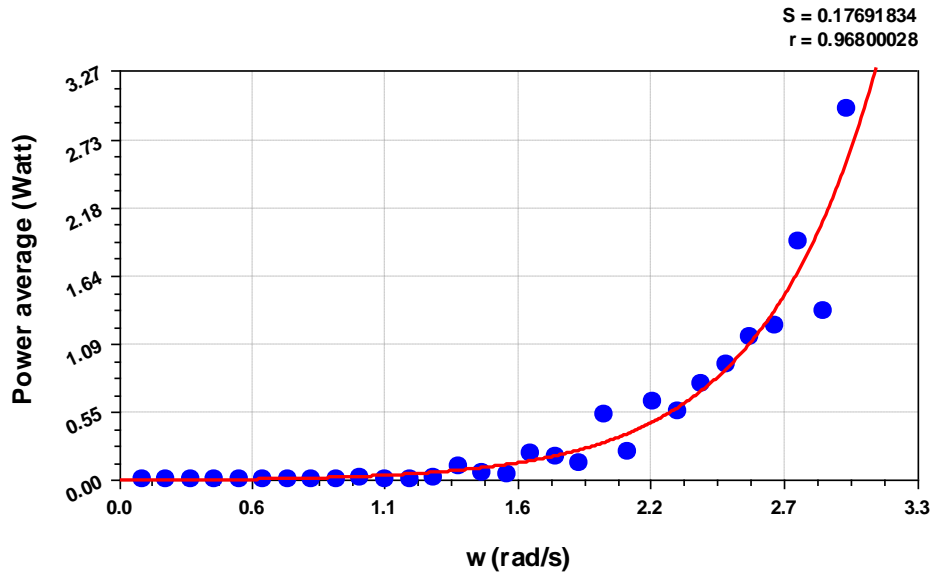


Şekil 3.48. 0.1–3.0 rad/s frekans aralığı için sistemden elde edilen P_t 'nin en yüksek değerleri

Eğri uydurma işlemi birçok farklı matematiksel yöntem kullanılarak yapılabilmektedir. Kullanılan eğri uydurma yöntemine göre elde edilen sonuçlarda farklılık göstermektedir. Bu nedenle amaca yönelik en uygun eğri uydurma yöntemi tercih edilmelidir. 0.1–3.0 rad/s frekans aralığı için eğri uydurma sonucu elde edilen $\omega - P_t$ grafiği Şekil 3.49. ve 3.50.'de gösterilmektedir. Şekil 3.49.'daki grafik ile, 0.1–3.0 rad/s frekans aralığı için lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ eğrisi, Şekil 3.50.'deki grafikte aynı frekans aralığında üstel eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ eğrisini göstermektedir.



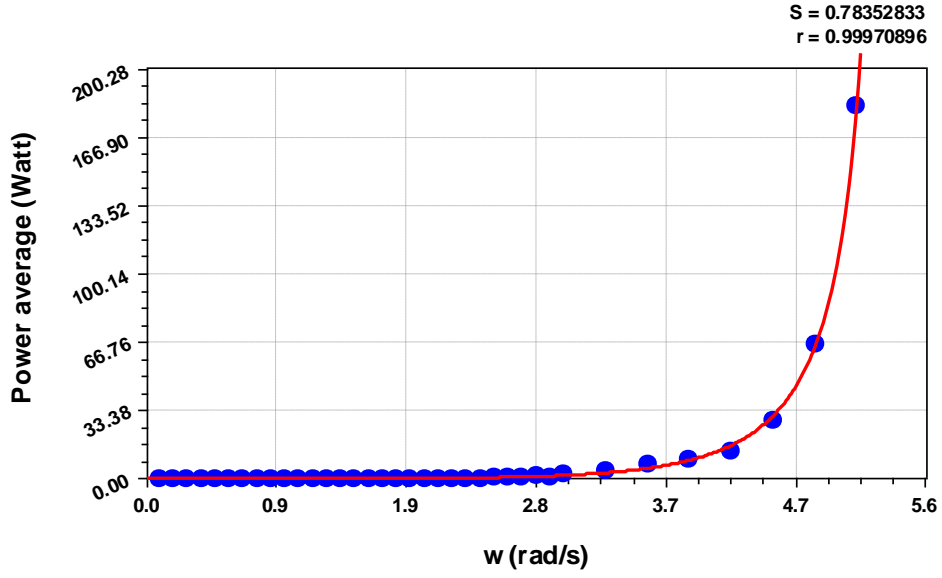
Şekil 3.49. 0.1–3.0 rad/s frekans aralığı için lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği



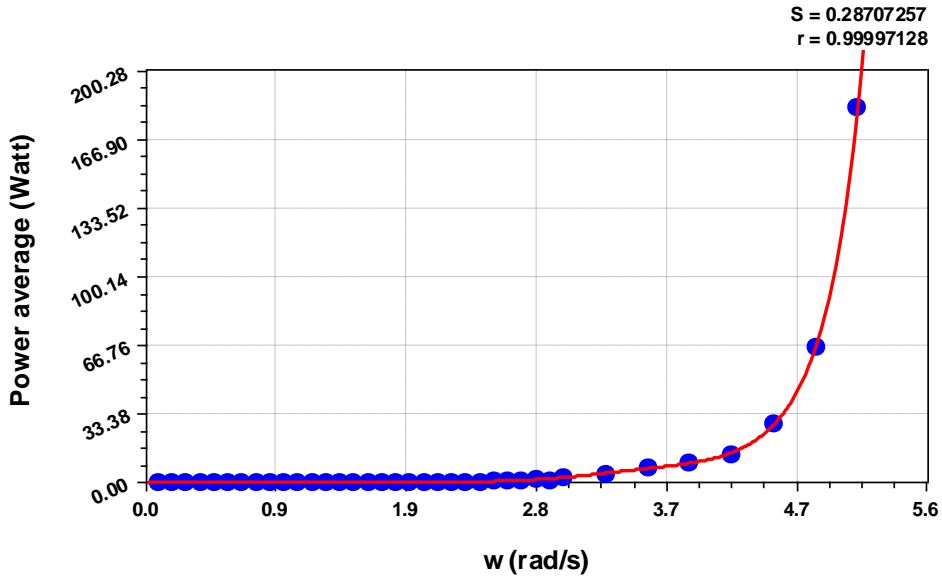
Şekil 3.50. 0.1–3.0 rad/s frekans aralığı için üstel eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği

0.1–5.1 rad/s frekans aralığı göz önünde bulundurularak yapılan eğri uydurma işlemi sonucu elde edilen grafikler Şekil 3.51. ve Şekil 3.52.'de gösterilmektedir. Şekil

3.51. ile gösterilen grafik lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilmiştir. Şekil 3.52. ile gösterilen grafik ise 11. derece regresyon polinomu kullanılarak elde edilmiştir.



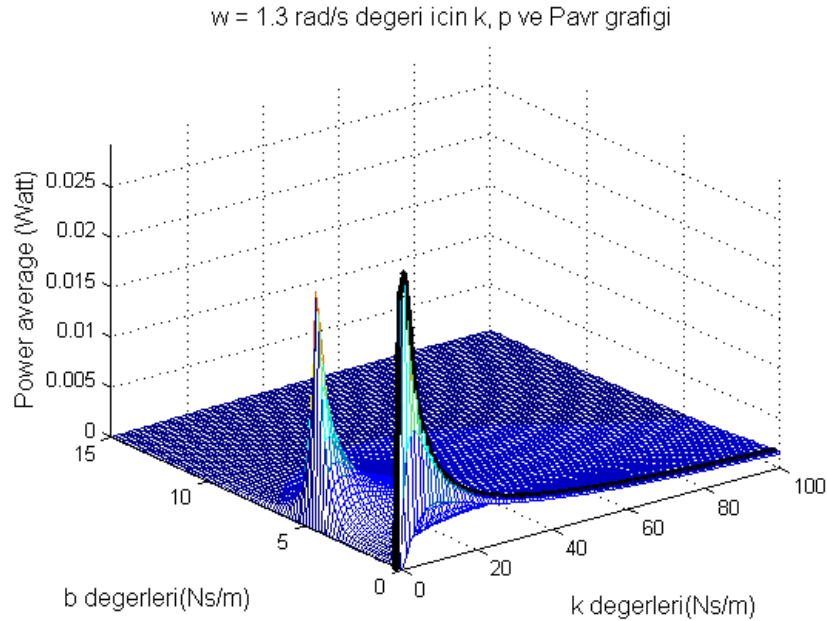
Şekil 3.51. 0.1–5.1 rad/s frekans aralığı için lojistik model eğri uydurma yöntemi ile elde edilen $\omega - P_t$ grafiği



Şekil 3.52. 0.1–5.1 rad/s frekans aralığı için 11. derece regresyon polinomu kullanılarak elde edilen $\omega - P_t$ grafiği

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarla b ve k değerlerinin farklı frekanslarda sistemin performansına etkisi çok yönlü olarak incelenmektedir. Çalışmanın bu bölümünde DEK sisteminin doğal frekansının dalga frekansına uyumlu olmaması durumunda DEK sistemde meydana gelen performans kayıpları incelenmiştir. Çalışmada öncelikle sistemin doğal frekansını belirleyen parametreler incelenip, daha sonra seçilen bir frekans değeri için, sistem doğal frekansını belirleyen parametrelerin doğru ayarlanmaması durumunda, hatanın performansa etkisi tartışılmıştır.

DEK sisteminin doğal frekansının dalga frekansına eşit ya da yakın olmaması durumunda sistemin verimi büyük oranda düşmektedir. Şekil 3.53. ile gösterilen grafikte $\omega = 1.3 \text{ rad/s}$ frekansı için elde edilen b , k , P_t ilişkisi görülmektedir. Aynı zamanda grafikte yer alan yüzey eğrisi, sistemin dalgadan çektiği ortalama gücün en yüksek değerlere ulaştığı noktalarını göstermektedir.



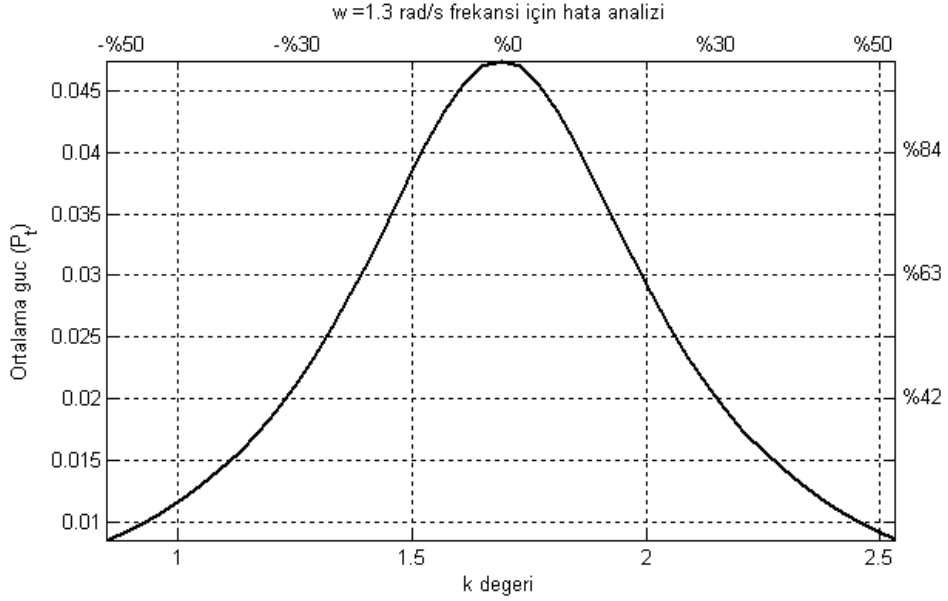
Şekil 3.53. $\omega = 1.3 \text{ rad/s}$ frekansı için elde edilen b , k , P_t ilişkisi

Grafikte görüldüğü gibi sistem b ve k değerleri için çok küçük bir değer aralığında performanslı çalışabilmektedir. Bu nedenle sistem parametrelerinin çok az hatalı olması sonucunda bile DEK sisteminden çekilen enerji düşük seviyelere inebilmektedir. DEK sisteminin performansına etkisi incelenen b ve k

parametrelerinin değişimi sistemin doğal frekansını ve sistemden çekilen gücü doğrudan etkilenmektedir.

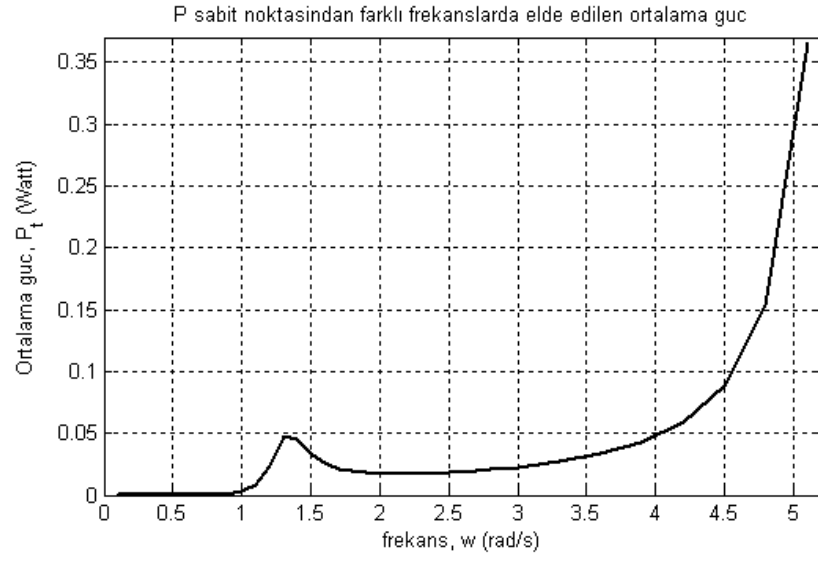
DEK sistemleri temelde basit harmonik hareket yapan sistemler olduğunda daha önce bahsedilmiştir. DEK sistemlerinin kontrolü başlığı altında incelenen konuda basit harmonik hareket yapan DEK sisteminin doğal frekansının sistem yay katsayısı, k ve kütlesi, m 'e bağlı olarak değişimi, $\omega_{sistem} = \sqrt{k/m}$ eşitliği ile açıklanmıştır.

Eşitlikten anlaşılacağı gibi k ve m parametreden herhangi birinin doğru ayarlanmaması durumunda, sistemin doğal frekansı bundan doğrudan etkilenme ve Şekil 3.53. ile gösterilen grafikte de gözlemlendiği gibi sistem performansında ciddi düşüşler olmaktadır. Bu nedenle çalışmanın sonraki adımında sistemin doğal frekansını belirleyen parametrelerden k 'nın doğru ayarlanmaması durumunda sistemde meydana gelen performans kayıpları incelenmiştir. Şekil 3.53. ile gösterilen grafikte, $\omega = 1.3 \text{ rad/s}$ frekans değeri için sistemin en performanslı çalıştığı nokta $P(b = 0.3, k = 1.69)$ noktasıdır. Çalışmada $b = 0.3$ değeri sabit kabul edilip $k = 1.69$ değerine $\pm 50\%$ oranında ekleme ve çıkarmalar yapılarak k değerinde sapmalar yapılmıştır. Elde edilen k değerleri için sistemde meydana gelen performans kayıpları incelenmiştir. Şekil 3.54. ile gösterilen grafikte, incelenen k değer aralığı, yüzde sapma oranları, k değerindeki değişim sonucu elde edilen P_f değerleri ve yüzde kayıpları göstermektedir.



Şekil 3.54. $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ frekansı farklı k 'nın sistem cevabına etkisi

Şekil 3.54. ile gösterilen grafikte görüldüğü gibi k değerindeki %20'lik bir sapmanın sistemden çekilen güçte %40'lık kayba neden olmaktadır. Buda sistemin yay katsayısının değişiminin sistemin frekansına etkisini göstermektedir. Buna ek olarak Şekil 3.55. ile gösterilen grafikte sistem doğal frekansının dolayısı ile sistem ayar parametrelerinin, performansa etkisi açıkça görülmektedir. Gösterilen grafikte daha önce hata analizinde incelenen P noktasından farklı frekanslarda çekilen P_t değerleri verilmektedir. Grafik DEK sisteminin çalışacağı iklimin, sistemi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. İncelenen P noktası, 1.3 rad/s dalga frekansında, en iyi ayar parametrelerine karşılık gelmektedir. Grafikte görüldüğü gibi her ne kadar 1.3 rad/s frekansı için, P noktası ideal b ve k değerlerine karşılık gelse de, farklı frekans değerlerinde performanslı çalışmamaktadır. Frekansın 1.0 rad/s 'nin altında olduğu durumlarda sistemden çekilen enerji sifira yakındır. Buna ek olarak frekansın 1.5 rad/s değerinin üstüne çıkması durumunda da sistemde performans kaybı görülmektedir.



Şekil 3.55. $0.1-5.1 \text{ rad/s}$ frekans aralığı için P noktasından elde edilen P_t değerleri

Bir DEK sisteminin deniz ortamında verimli bir şekilde çalışabilmesi için, sistemin çalıştığı dalga iklimine göre m , b ve k parametrelerinden biri veya birkaçını aktif olarak değiştirmesi gereklidir. Ancak böylelikle DEK sisteminin farklı frekans aralıklarında çalışabilmesi sağlanabilmekte, dolayısı ile sistem deniz ortamına daha fazla uyum sağlayabilmektedir. Sistemin bulunduğu dalga iklimine uyum sağlaması ile sistemin performansı arttırılabilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Enerji, gelişen her ülkenin kalkınmasında, en önemli girdilerden birisi olmayı sürdürmektedir. Öyle ki enerji tüm endüstri alanları için temel ihtiyacıdır. Bugün ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bölümü hala fosil yakıtlar ve nükleer santrallerden yararlanarak sağlanmaktadır. Ne var ki fosil yakıtlar giderek tükenmektedir. Nükleer santrallere ise hala kuşku ile bakılmaktadır. Buda gelişmekte olan her ülkeyi ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılamak için alternatif çözümler üretmeye itmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir enerji kaynaklarından olan, okyanus ve deniz dalgalarından elektrik üretmek üzere tasarlanan DEK sistemlerin tasarım esasları ve sistemin simülasyonu yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda PAWEC sınıfı Frog 1 Form 2 (Bracewell, 1990) DEK geometrik formu esas alınmıştır.

Çalışmada öncelikle dünya dalga enerji potansiyeli üzerine bir incelemeye yer verilmiştir. İncelemede enerji potansiyelinin aylara göre değişimi, hangi bölgelerde daha yoğun olduğu konuların açıklık getirilmiştir. Daha sonrasında DEK sistemleri alanın da yapılmış mevcut çalışmalar kronolojik olarak incelenmiş. Böylelikle DEK sistemlerinin geliştirilmesinde önemli rol oynayan gelişmeler ana hatlarıyla ortaya konulmuştur. Sonrasında DEK sistemlerinin geliştirilmesinde büyük önem taşıyan dalgaların anlaşılması açısından, temel dalga yapısı incelenip dalgaların oluşumu ve taşıdığı enerji miktarı başta olmak üzere bu konuda birçok detaya yer verilmiştir. Deniz dalgalarının karakteristiği ve oluşumu konularına açıklık getirilmiştir.

Çalışmanın literatür taraması bölümünde konusunun anlaşılması açısından, birçok DEK sistemi, temel çalışma prensipleri, tasarım kriterleri, serbestlik dereceleri ve çalışmaların mevcut durumu açısından incelenmiştir. Birçok yönden farklılık gösteren DEK sistemleri gerek yapısal, gerek konumsal gerekse çalıştıkları ortamın su derinliği açısından farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Çalışma çerçevesinde her sınıflandırma biçimine değilmiştir. Çalışma genelinde ise DEK sistemlerinin konuma göre sınıflandırması esas alınmıştır. Bu sınıflandırma sistemine göre DEK sistemleri kıyı, yakın kıyı ve açık deniz uygulamaları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Çalışmada her DEK sınıfı ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde yaygın DEK

sistemlerinden, çalışma çerçevesinde incelenecek olan DEK modelinin de dâhil olduğu, PAWEC sınıfı DEK sistemleri tanıtılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki adımında DEK tasarım parametrelerinin elektrik, mekanik ya da çevresel yönden bir sınıflandırılması yapılmıştır. Daha sonra DEK sistemlerinin tasarlanmasında önemli yer tutan GÇÜ ve DEK kontrol yapıları ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

GÇÜ, DEK sistemlerinde tasarımında önem arz eden konulardan biridir. Sisteminin bulunduğu ortamdan çektiği dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan ara sistemler olarak tanımlanabilen GÇÜ, sistemin dalgadan çektiği enerjiye doğrudan etki etmektedir. DEK sistemlerinin tasarımında temel amaç deniz ortamına en iyi şekilde adapte olabilen ve verimli bir şekilde bulunduğu ortamın dalgalarından elektrik üretebilen bir sistemin ortaya konmasıdır. Böyle bir DEK sistemi ancak uygun tasarım yöntemlerinden yararlanarak tasarlanmış, sistemle uyumlu şekilde çalışabilen GÇÜ ile sağlanabilmektedir. Doğru GÇÜ tasarımının kullanılması durumunda DEK sisteminin verimli çalışmasından söz edilebilmektedir. DEK sistemleri için GÇÜ başlığı altında yer verilen konuda DEK sistemlerinde kullanılan GÇÜ tipleri açıklanmış ve karşılaştırmalarına yer verilmiştir.

Teze konu olan PAWEC tipi DEK sistemlerinin çalışma prensipleri dikkate alındığında söz konusu sistemlerin sürekli olarak salınım halinde bulunması gerektiği görülmektedir. Ancak sistemin sürekli salınım da kalması durumunda dalga enerjisi absorbe edilerek enerji üretilebilmektedir. Çalışmada DEK sistemlerinin tasarımında önemli yer tutan kontrol yapıları ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Çalışmanın bir sonraki adımında dalga çiftlikleri ve ekonomik analiz konularına yer verilmiştir. Dalga çiftlikleri başlığı altında dalga çiftliklerinin yapısı konusuna açıklık getirilmiştir. Ekonomik analiz başlığı altına ise çalışma içerisinde incelenen DEK sistemlerinin yer aldığı iki farklı ekonomik analiz çalışmasına yer verilmiştir. İncelenen birinci analiz çalışmasında dört, ikinci analiz çalışmasında dokuz farklı DEK modelini kapsamaktadır.

Literatür taraması bölümünde son olarak Türkiye dalga enerjisi potansiyeli ile ilgili bir incelemeye yer verilmiştir. İncelenen çalışmada Türkiye'nin İğneada, Sinop, Hopa, Alanya ve Karataş sahillerinden seçilen çeşitli veri alanlarından elde edilen soluğan dalga ve rüzgâr kaynaklı dalga karakteristikleri incelenmiştir. Her bölge için

elde edilen veriler ortalama dalga periyodu ve dalga yüksekliği cinsinden grafiklerle sunulmuştur. Buna ek olarak elde edile verilerden yararlanarak her bölge için ayrı ayrı dalgalar tarafından taşınan enerji eğrileri verilmiştir.

Materyal yöntem başlığı altında esas alınan Frog 1 Form 2 geometrisinin Tek serbestlik derecesinde modellenmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda esas alınan sistemin kontrol parametreleri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan çalışmada öncelikle Frog 1 Form 2 DEK sistemi ile ilgili detaylara yer verilmiştir. Geometri ile ilgili tanımlamalarda Bracewell (1990) referans alınmıştır. Frog Form 2 geometrisinin avantajları ve tasarım incelikleri konularına değinilmiştir. Daha sonrasında sistemin modellenmesinde kullanılacak DEK matematik modeli tanımlanmış ve sistem modeli ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Geometrinin tanımlanması bölümünde son olarak çalışmada kullanılan geometriye ait fiziksel ve geometrik çizelgelere yer verilmiştir.

Çalışmanın bir sonraki basamağında Frog 2'nin simülasyon çalışmalarında esas alınacak French (1984) tarafından optimizasyon ve indirgeme problemlerinde kullanılan DEK modeline ait detaylara yer verilmiştir. Bu çerçevede modelde kullanılan sistem parametrelerinin ayrı ayrı incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra tanımlanan Frog 1 Form 2 matematik modelinin MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesi ilgili çalışmalar yapılmıştır. Simulink modelinin oluşturulmasında izlenen bütün adımların detaylı olarak açıklamalarına yer verilmiştir. Simulink modelinin oluşturulmasında sonra, oluşturulan bu modelin WAMIT hidrodinamik analizinden alınan b_{rad} ve m_{add} verilerine dayanarak sistemin cevabı ve sistem parametrelerinin değışimi incelenmiştir.

DEK sistemleri ile hidrodinamik prensiplere göre çalışan sistemlerdir. Bu sistemlerin amacı gereği dalgalı deniz ortamında çalışacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Suda yüzen bir yapının dalga etkisi altında hareket karakteristiğinin belirlenmesi ise karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir. Günümüzde bu tür problemlerin çözümüne yönelik hidrolik analiz programları geliştirilmiştir. Pannelleme metodundan yararlanarak çalışan bu programlarda, giriş verisi olarak analiz ortamını ve modeli tanımlayan bilgiler verilmekte, buna karşılık analiz sonucunda sistemin belirlenen şartlar altındaki, yer değışimi, sisteme etki eden dalga kuvveti ve sistemin ek kütlesi değerlerinin değışimi elde edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında DEK sisteminin hidrodinamik analizlerinde WAMIT programı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan WAMIT programına ait bilgilere yer

verilmiştir. WAMIT ile yapılan hidrodinamik analiz sonucu elde edilen verilerin, Matlab/Simulink modeline aktarılması ile ilgili detaylara yer verilmiştir. Bu çerçevede verilerin aktarılması kullanılan transfer fonksiyonu ilgili bilgiler sunulmuştur. Daha önce oluşturduğumuz Simulink modeli, WAMIT analizi sonucu elde edilen verileri, transfer fonksiyonu fonksiyonundan alacak şekilde düzenlenmiştir. Böylece istenen frekans için belirlenen sistem parametrelerine göre hidrodinamik analiz verilerini de hesaba katarak çalışan, Simulink tek serbestlik dereceli Forg 1 From 2 DEK modeli tamamlanmıştır.

Yöntem başlığı altında sistemin performanslı çalışması için farklı frekans değerlerinde gerekli olan sistem parametrelerinin incelenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çerçevede frekansın sistemden çekilen güce etkisi tartışılmış, daha sonrasında $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ ve $\omega=1.55 \text{ rad/s}$ değerleri için sistemin frekans cevapları karşılaştırılmıştır.

Simülasyon çalışmasında sistem performansına doğrudan etki eden b ve k değerlerinin hangi değer aralığında inceleneceği kararlaştırılmalıdır. Bu nedenle DEK sisteminin verimli çalıştığı değer aralıklarına göre b ve k değerleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda her iki parametre için çalışma aralıkları belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen b ve k değer aralıkları için sistemin farklı frekanslarda cevabı incelenmiştir. Her frekans değeri için ortalama güç değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin en yüksek olduğu noktalar belirlenmiştir. Daha sonra eğri uydurma çalışması yapılarak analizi yapılamayan değerler bile sistemin cevabı hakkında yorum sahibi olunmuştur.

Son olarak sistemin doğal frekansının dalga frekansına eşit olmaması durumunda sistemde oluşan performans kayıpları incelenmiştir. Çalışmada sistemin doğal frekansını değiştirmek için, k parametresinde $\pm 50\%$ kadar ekleme - çıkarma yapılarak sistem performansına etkisi incelenmiştir. Son olarak $\omega=1.3 \text{ rad/s}$ frekansında en ideal ayar parametrelerine sahip $P(k,b)$ noktasından farklı frekanslarda elde edilen güç değerleri incelenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında tek serbestlik dereceli Frog 1 Form 2 DEK modelinin tasarım ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda sistemin performanslı çalışmasını sağlayacak sistem yay katsayısı ve sönümlenme etkisi değerleri araştırılmıştır. Simülasyon çalışmalarında DEK sisteminin tek serbestlik derecesinde performans analizleri yapılmış, analizlerde sadece düzenli tek elemanlı dalgalarla çalışılmıştır.

DEK sisteminin geliştirilmesinde ilk adımda sistem modeli frekans uzayında analiz edilmektedir. Böylelikle sistemin farklı dalga frekansları altında davranışları hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. DEK sistemlerinin tasarlanmasında frekans uzayı çalışmalarından sonra zaman uzayı çalışmalarına geçilmelidir. Çünkü frekans uzayı ile yapılan çalışmalar her ne kadar sistemin farklı frekanslarda davranışı hakkında bilgi verse de, zamana duyarlı olmamasından dolayı, analizler gerçek ortamı yansıtmamaktadır. Bu çalışmanın bir sonraki adımında zaman uzayına taşınmasını öneririm.

Tez çalışması kapsamında simülasyonlar, tek elemanlı düzgün dalga tipi kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon ortamının, gerçek deniz ortamını daha iyi yansıtması için, zamana göre frekansı ve genliği değişen karmaşık dalga yapıları ile çalışılmasını tavsiye ederim. Teze sağlanacak bir diğer katkıda, sistem ayar parametrelerini ayarlayarak, farklı frekans değerlerinde bile sistemin performanslı çalışmasını sağlayan aktif bir kontrol yapısının modele dâhil edilmesidir. Bu kapsamda sistemin dalgayı tahmini ve sistem parametrelerini ayarlama süreci konularında çalışmalar yürütülmelidir.

Çalışma kapsamında sistemin simülasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır. Her ne kadar simülasyon çalışmasının sistemin gerçek karakteristiği hakkında bilgi vermesi gerekse de bazı durumlarda simülasyonda elde edilen sonuçların gerçek değerlerle uyuşmaması durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çalışmada yapılan analizlerin, deney ortamında yapılan testlerle desteklenmesi çok önemlidir.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2004. Detailed Design of the OE Buoy Duct Device for Wave Energy Conversion,
http://www.seai.ie/Grants/Renewable_Energy_RD_D/Projects_funded_to_date/Ocean/Detailed_Design_of_the_OE_Buoy_Duct_Device_for_Wave_Energy_Conversion/.
- Anonymous, 2006. Decommissioning offshore renewable energy installations under the energy act 2004, **Guidance Notes for Industry**.
- Anonymous, 2006. **Review and analysis of ocean energy systems development and supporting policies**, AEA Energy & Environment on the behalf of Sustainable Energy Ireland for the IEA's Implementing Agreement on Ocean Energy Systems
- Anonymous, 2007. Ocean Energy Glossary,
http://www.wavec.org/client/files/Ocean_Energy_Glossary_Dec_2007.pdf.
- Anonymous, 2007. Pelamis sea trials, <http://www.physorg.com/news113834658.html>.
- Anonymous, 2007. Syncwave systems formed to commercialize renewable energy from ocean waves
http://www.marinuspower.com/pages/press_SyncWave_Nov07.html.
- Anonymous, 2008. Biowave Power System
<http://renewableenergydev.com/red/wave-power-biowave-power-system/>.
- Anonymous, 2008. Investment boost for wave energy,
http://www.maritimejournal.com/features101/marine-civils/marine-renewableenergy/investment_boost_for_wave_energy.
- Anonymous, 2008. OE Buoy Completes Sea Trials for Wave Energy Converter,
<http://www.oilgae.com/energy/nn/b/2008/05/oe-buoy-completes-sea-trials-for-wave.html>.
- Anonymous, 2008. SCADA Network,
http://www.emec.org.uk/general_technical_scada_network.asp.
- Anonymous, 2009. OE Buoy http://en.wikipedia.org/wiki/OE_buoy.
- Anonymous, 2009. Environmental impact assessment (EIA) guidance for developers at the European Marina Energy Centre, **EMEC EIA Guidelines GUIDE003-01-03 20081106 1**.
- Anonymous, 2009. OPT Leaving California for Oregon Wave Energy
<http://mendocoastcurrent.wordpress.com/2009/06/04/opt-leaving-california-for-oregon-wave-energy/>.
- Anonymous, 2009. DEXA Wave Energy gets public funding for testing its concept
<http://www.investindk.com/News-and-events/News/2009/Dexa-Wave-Energy-gets-public-funding-for-testing-its-concept>.
- Anonymous, 2010. DEXA wave energy converter <http://www.dexawaveenergy.co.uk>
- Anonymous, 2010. DEXA wave testing a new pre-commercial wave converter
<http://www.dexawave.com/pages/visnyhed.asp?newsguid=57972>.
- Anonymous, 2010. The Pelamis, <http://www.pelamiswave.com/our-technology/the-pelamis>.

- Anonymous, 2011. A New Power Generation Platform, <http://www.oceanenergy.ie/oe-technology/platform.html>.
- Anonymous, 2011. About wave energy, <http://www.dexawave.com/pages/webside.asp?articleGuid=62154>.
- Anonymous, 2011. BioWAVE <http://www.biopowersystems.com/biowave.html>.
- Anonymous, 2011. Centipod, Ecomerit technologies, <http://www.ecomerittech.com/centipod.php>.
- Anonymous, 2011. Deniz dalgaları, <http://theideafoundation.blokspot.com>.
- Anonymous, 2011. Ocean Energy Mooring Technology <http://www.oceanenergy.ie/oe-technology/mooring-system.html>.
- Anonymous, 2011. Sustainable Economically Efficient Wave Energy Converter <http://www.seewec.org/>.
- Anonymous, 2011. Wave energy breakthrough, <http://www.marine.ie/home/aboutus/newsroom/news/WaveEnergyBreakthrough.htm>.
- Anonymous, 2011. <http://exhibitions.cooperhewitt.org/Why-Design-Now/images/95.jpg>
- Anonymous, 2011. <http://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/biopower.jpg>.
- Anonymous, Aqua marine power ltd photostream www.flickr.com/aquamarinepower.
- Anonymous, P-750 wave energy converter, <http://www.pelamiswave.com/media/pelamisbrochure.pdf>.
- Anonymous, Dane hopes to make wave energy plane sailing, <http://www.asolutioninvent.com/wpp/artikler/eletrica.htm>.
- Anonymous, OWEC – offshore wave energy converters, <http://www.owec.com/index.html>.
- Anonymous, The Seadog Pump, <http://www.inri.us/index.php/SEADOG>.
- Anonymous, The Wavebob, http://www.wavebob.com/how_wavebob_works/.
- Anonymous, Waveroller uses swinging door for underwater wave energy <http://cleantechnica.com/2009/11/02/waveroller-uses-swinging-door-for-underwater-wave-energy/>.
- Bedard, R., 2005. Oregon offshore wave power demonstration project, **EPRI**
- Beirao, P. et al., 2007. Control of the archimedes wave swing using neural networks **Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference**, Porto, Portugal.
- Beirao P. et al., 2011 Internal model control applied to the archimedes wave swing, <http://web.ist.utl.pt/duarte.valerio/CSCS2007.pdf>.
- Bir, A., 1999. **Otomatik kontrol sistemleri**, Yedinci basım. Literatür yayınları, ISBN: 978-975-7860-94-5, 933 s, İstanbul.
- Bhinder, M. A. et al., 2009. Numerical and experimental study of a surging point absorber wave energy converter, **Proceedings of the 8th European wave and tidal energy conference**, Uppsala.
- Brito, M. A. and Bhuyan G., 2009. 2008 Annual report – IEA-OES document A08, **International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems**, Lizbon.
- Bedard, R., 2006. EPRI Ocean Energy Program, Duke Global Change Center, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/briefing/Duke_Sep_14.pdf.

- Bedard, R., 2007. Overview: of U.S. Ocean Wave and Current Energy: Resource, Technology, Environmental and Business Issues and Barriers, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/EWTEC_Bedard_Sep_11.pdf.
- Bedard, R., 2008. Prioritized research, development, deployment and demonstration (RDD&D) needs: marine and other hydrokinetic renewable energy, **Electric Power Research Institute**, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/Final_MHK_Prioritized_RDD_Needs_Report_123108.pdf.
- Bedard, R., 2005. Overview: EPRI Ocean Energy Program, International Energy Agency – Ocean Energy Systems, <http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/briefing/IEABriefingR B111705.pdf>.
- Bedard, R., 2006. Overview: EPRI Ocean Energy Program The Possibilities in California, **Ocean Energy**, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/briefing/June_22_OceanEnergy.pdf.
- Bedard, R., et al., 2005. Ocean Wave Energy Conversion Technology, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/WGA_Ocean_Energy_White_Paper_12-15-05.pdf.
- Bedard, R. et al., 2007. North American ocean energy status, http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/7th_EWTEC_Paper_FINAL_071707.pdf.
- Bracewell, R. H., 1990. **Frog and Ps Frog: a study of two reactionless ocean wave energy converters**, PhD Thesis, Lancaster University, 228 pages, Lancaster, UK.
- Backwell, B., 2010. Govt says UK wave and tidal capacity to reach 2GW by 2020, http://www.rechargenews.com/energy/wave_tidal_hydro/article207772.ece.
- Bossong, K. ve Kuhn S., 2008. New age hydropower: aquabuoy. **Eighth Annual Freshman Conference**, Pittsburgh
- Brito, M. A. and Huckerby J., 2009. 2009 Annual report – IEA-OES document A09, **International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems**, Lizbon.
- Carmichael, A.D. et al., 1986. **Ocean energy technologies: the state of the art (final report)**, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts.
- Chapa J., 2007. Aquabuoy 2.0 wave power generator, <http://inhabitat.com/waveenergy-aquabuoy-20-wave-power-generator/>
- Cluster Energia, Guide to wave power capacity in the Basque Country <http://www.clusterenergia.com/ficheros%5CGUIDE%20TO%20WAVE%20POWER%20CAPACITY%20IN%20THE%20BASQUE%20COUNTRY.pdf>.
- Cruz J., 2008. **Ocean wave energy current status and future prepectives**. (J. Cruz, Editor). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-74894-6, 431 pages, Berlin.
- Czech, B. et al., 2009. **Comparing the electrical transmission systems for archimedes wave swing parks**. Budapest university of technology and economics, Budapest.

- Czech, B. et al., 2009. **Comparing the electrical transmission systems for archimedes wave swing parks**. Budapest university of technology and economics, Budapest.
- Çolakoğlu, K., 2008. **Fen bilimleri & mühendislik için fizik, Cilt 1**. Palme yayınları, ISBN: 975-8624-22-9, 705 s, Ankara.
- Çolakoğlu, K., 2007. **Fen bilimleri & mühendislik için fizik, Cilt 2**. Palme yayınları, ISBN: 975-8624-08-03, 706-1243 s, Ankara.
- Ercan, Y., 2003. **Mühendislik sistemlerinin modellenmesi ve dinamiği**, İkinci baskı. Literatür yayınları, ISBN: 975-04-0107-7, 434 s, İstanbul.
- Eriksson, M. 2007. Modelling and experimental verification of direct drive wave energy conversion, buoy-generator dynamics, Acta universitatis upsaliensis, **Digital comprehensive summaries of Uppsala dissertations from Faculty of science and technology** 287. 77 pp. ISBN: 978-91-554-6850-7, Uppsala.
- Ertürk, S., 2005. **Sayısal işaret işleme**, İkinci baskı. Birsen yayınları, ISBN: 309-6, 356 s, İstanbul.
- Fitzgerald, A., 2006. Wave&Tidal Energy Potential, **Energy Solutions Conference**, Marine Institute, New York.
- Folley, M. et al., 2008. An autonomous wave-powered desalination system, **Conference of desalination and the environment**, April 22–25: 412-421, Halkidiki.
- Dixon, D. 2007. Assessment of waterpower potential and development needs, Final report, California.
http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/Phase_15_CA_Report_031407.pdf.
- Drew B. et al., 2009. A review of wave energy converter technology, Proc. IMechE Vol. 223 Part A: **J. Power and Energy** 887-902, Bath.
- Duckers, L., 2004. Chapter 8 Wave Energy in renewable energy: power for a sustainable future (G. Boyle, Editor). **Oxford University Press**, ISBN 0-19-926178-4, 298-340
- Duman, Ç., 2010. **Evaluation and comparison of the wave energy potential in selected coastal regions in Turkey**, The Degree Of Master, Middle East Technical University, Ankara.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Türkiye enerji raporu 2009**, Yayın No.: 0013/2009, ISSN: 1301-6318, Aralık, 2009, Ankara.
- Hamilton, L. 2006. AWS MK II deployment, monitoring and evaluation of a prototype advanced wave energy device. **WS Ocean Energy Ltd**, Scotland.
- Jordan, P., 2008. Making Waves in Power - PowerBuoy Deployments (Present and Future), **http://www.all-energy.co.uk/userfiles/file/Paul_Jordan220508.pdf**.
- Jordan, P., 2008. Making Waves in Power - Sea opportunities for enterprise, **<http://www.primare.org/resources/files/PaulJordan-SEA.pdf>**.
- Leirbukt, A. and Tubaas, P. 2006. A wave of renewable energy, **[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/1e2fadd298a58d14c12571d900412482/\\$file/29-31%203m646_eng72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/1e2fadd298a58d14c12571d900412482/$file/29-31%203m646_eng72dpi.pdf)**.
- Lemonis, G., 2006. Ocean Energy Conversion in Europe - Recent advancements and prospects, **Centre for Renewable Energy Sources**
- Lewis, T., 2008. Wave Energy Technology Development in Ireland, DirectorHydraulics & Maritime Research Centre University College Cork, Ireland, **<http://hmrc.ucc.ie/publications/oi08.pdf>**.

- Kelly, S. 2007. **Hydrodynamic optimization of a point wave-energy converter using laboratory experiments**, The Degree of Master, The University of Auckland, New Zealand
- Khan, J. and Bhuyan, G. S., 2009. **Ocean energy: Global technology development status final technical report**, Document No.: T0104 March, 2009, British Columbia, Canada.
- Kumar , T. S., 2010. **A device for converting wave and/or tidal energy into electrical energy**, <http://waveenergy.nualgi.com/>.
- Leijon, M., 2008. Wave energy from the North Sea: experiences from the Lysekil Research Site, **Surv Geophys** (2008) 29:221–240, Uppsala.
- MATLAB, 2005. Version 7.0 (R14), **SIMULINK version 6.1 (R14SP1)**, The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, Massachusetts, 01760-2098, USA.
- MATLAB, 2011. Desktop tools and development environment, **MATLAB version 7.12 (R2011a)** Simulink software 1994-2011 the MathWorks, Inc., <http://www.mathworks.com/help/techdoc/index.html>.
- McGowin, C., 2005. Ocean tidal and wave energy, **Renewable energy technical assessment guide**, California.
- Montagna, D., 2006. Commercialization of powerbuoy wave energy conversion technology, **25th Annual international submerged lands management conference** October 19, New Jersey.
- Önengüt, G. 2009. **Fen bilimleri & mühendislik için fizik**, Dördüncü basım. (G. Önengüt, Editor), akademi yayınevi, ISBN: 978-975-6885-20-8, 950 s, Ankara.
- Pemberton, J. M. et al., 2010. Laminated reinforced concrete technology for the sperboytm wave energy converter, **World Renewable Energy Congress XI** 25 – 30 September, Abu Dhabi, UAE
- Polinder, H. et al. 2004. Linear PM Generator System for Wave Energy Conversion in the AWS, **IEEE transactions on energy conversion**, vol. 19, no. 3, 583-589.
- Previsic, M. 2005. System level design, performance and costs - Massachusetts state offshore wave power plant, http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/006_Mass_System_Level_1_Design_RB_11-30-04.doc.pdf.
- Previsic, M. and Roger, B., 2007. **California wave power demonstration project - Phase: Bridging the Gap to Phase 2 Detailed Design and Permitting Mirko and Bedard**,
- Sabuncu, T., 1983. **Gemi hareketleri**. 412 s, İstanbul.
- Sağlam, M., 2010. Wave energy and technical potential of Turkey, **Journal of Naval Science and Engineering** 2010, Vol. 6, No.2, pp 34-50 Institute of pure and applied sciences, mechanical engineering department, Marmara University, Göztepe, İstanbul, Turkey.
- Sarioğlu, M. K. Ve Aydın, Y., 2007. **Dijital kontrol sistemleri** (A. R. Halis, Editör). Birsen Yayınevi, ISBN: 978-975-511-185-9, 372 s, İstanbul.
- Soerensen, H. C., Development of Wave Dragon from scale 1:50 to prototype, <http://people.civil.aau.dk/~i5jpk/wd/basis/papers/030917,%20WD%20paper%20EWEC%202003%20Cork.pdf>.

- Soerensen, H. C., The Wave Dragon now ready for test in real sea, http://vbn.aau.dk/files/48909898/The_Wave_Dragon_now_ready_for_tests_in_real_seas.pdf.
- Soons, E. J., 2006. **Analysis of the wells rotor in oscillating air & water flows**, Technical University of Delft, December 22, Delft.
- Stonecypher, L., 2009. Wave power archimedes wave swing machines, <http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/40548.aspx#ixzz1IG54H4tZ>.
- Stroud S., 2008. Wave power project suffers wipeout <http://www.sustainableindustries.com/breakingnews/33834284.html>.
- Takao, M. 2007. Sea Trial of an impulse turbine for wave energy conversion, **Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007**, Nagoya University, Japan.
- Thakker, A., 2007. Abdulhadi, R., Effect of blade profile on the performance of wells turbine under unidirectional sinusoidal and real sea flow conditions, **Hindawi Publishing Corporation International Journal of Rotating Machinery Volume 2007**, Article ID 51598, 8 pages,
- Thorpe, T. W., 1999. A Brief Review of Wave Energy, **A report produced for The UK Department of Trade and Industry**, ETSU-R120.
- Thorpe, T. W., 1999. **An overview of wave energy technologies: status, performance and costs**, Wave power: moving towards commercial viability, Broadway House, Westminster, London.
- Thorpe, T. W., 1999. An overview of wave energy technologies: status, performance and costs, www.waveberg.com/pdfs/overview.pdf.
- Uysal, M., 2001. **C ile programlama**, İkinci baskı. Beta yayınları, ISBN: 975-486-886-7, 782 s, İstanbul.
- Vantorre, M. et al., 2004. Modelling of hydraulic performance and wave energy extraction by a point absorber in heave, **Applied Ocean Research 26** (2004) 61–72 Belgium.
- Valerio, D. et al., 2011. Switchig control of the archimedes wave swing, <http://web.ist.utl.pt/duarte.valerio/Controlo2008.pdf>.
- Vining, J., 2005. Ocean wave energy conversion, ECE 699: **Advanced independent study report electrical and computer engineering department university of Wisconsin**, Wisconsin.
- Vicinanza, D. et al., 2008 Seawave slot-cone generator: an innovative caisson breakwaters for energy production, **Coastal Engineering 2008 Volume 1**, 31 August - 5 September, 3694 – 3705
- Wamit, 2006. **Wamit user manual, versions 6.4, 6.4PC, 6.3S, 6.3S-PC** Wamit, Inc., 822 Boylston St. - Suite 202 Chestnut Hill, MA 02467-2504 USA.
- Wacher, A. ve Nielsen K., 2008. **Mathematical and numerical modeling of the aquabuoy wave energy converter**, England
- Wavenet, 2003. Results from the work of the european thematic network on wave energy, [http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report\(11.1\).pdf](http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report(11.1).pdf).
- Weinstein, A. ve Nielsen K., 2003. Aquabuoy – a development test bed, Aquaenergy group, <http://www.aquaenergygroup.com>.
- White, C. 2009. Wave energy converter research university of New Hampshire, **TECH 797 Undergraduate Ocean Research Project** May 20, New Hampshire.

- Yemm, R. W., 2010. The OPD Pelamis WEC: Current Status and Onward Programme, Ocean Power Delivery Ltd., Edinburgh, UK, <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/PelamisStatus.pdf>.
- Yüksek, İ., 2006. **Otomatik kontrol, sistem dinamiği ve denetim sistemleri**, Beşinci baskı. Nobel yayınları, ISBN: 975-591-976-7, 391 s. Ankara.
- Zavrak, M. ve ark., 2005. **C ve C++**, Üçüncü basım, Sistem yayıncılık, ISBN: 975-322-307-2, 880 s, İstanbul.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından son anına kadar göstermiş olduğu sabır ve sınırsız yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hakan YAVUZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca derslerini ve yardımlarını almış bulunduğum Sayın Y. Doç. Dr. Selçuk Mıstıkoğlu hocama yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1984 Yılında Adana'da doğdum. İlköğrenimimi ve Lise öğrenimimi Adana'da tamamladım. 2004 Yılında yüksek öğrenimime başladığım Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden 2008 yılında Mekatronik Öğretmeni Unvanı ile mezun oldum. 2010 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünde Lisansüstü öğrenimine başladım. Temmuz 2011'de Lisansüstü öğrenimimi tamamladım.