İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk MERT

Kıyı Bilimler ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

NİSAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk MERT
517081003

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

NİSAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **517081003** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Selçuk MERT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Hakan AKYILDIZ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **5 Nisan 2012**

ÖNSÖZ

Dünya üzerindeki kaynaklar zaman geçtikçe tükenmekte ve insanlığın varlığını sürdürmesi için yeni enerji kaynakları arayışı kaçınılmaz hale gelmektedir. Özellikle zararlı etkileri ve sınırlı miktarları göz önünde bulundurulduğunda fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi gerekliliği gün geçtikçe daha açık görülmektedir.

Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji çeşitlerinden bir olan dalga enerjisini kullanılabilir hale getirmek üzere dalga enerjisi dönüşüm sistemi tasarımları geliştirilmiş ve bu tasarımların gerçeklenmesi deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışma süresinin her aşamasında hem bilgisi hem de manevi desteğiyle bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalar boyunca hem bilgilerini hem de emeklerini sunarak desteklerini benden esirgemeyen Araş. Gör. Taylan BAĞCI'ya, Araş. Gör. M. Adil Akgül'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca tüm deney çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen İTÜ Hidrolik Laboratuvarı teknisyenleri Mevlüt ULUÇINAR'a ve verdiği emeklerden dolayı Yaşar AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Nisan 2012 Selçuk MERT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR xi
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
ŞEKİL LİSTESİ xv
ÖZET xix
SUMMARY xxi
1. GİRİŞ 1
2. ENERJİ 5
2.1 Dünya'da Enerji 5
2.2 Türkiye'de Enerji 10
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 11
2.3.1 Güneş enerjisi 11
2.3.2 Rüzgar enerjisi 13
2.3.3 Biyokütle enerjisi 15
2.3.4 Jeotermal enerji 16
2.3.5 Hidroelektrik enerji 16
2.3.6 Dalga enerjisi 18
3. DALGA ENERJİSİ 19
3.1 Dalga Enerjisinin Tarihçesi 19
3.2 Dalga Enerjisi Potansiyeli ve Yapılan Çalışmalar 20
3.3 Dünyada Dalga Enerjisi Potansiyeli 22
3.3.1 Danimarka 22
3.3.2 İrlanda 23
3.3.3 Norveç 23
3.3.4 Portekiz 23
3.3.5 İsveç 23
3.3.6 İngiltere 23
3.3.7 Belçika, Hollanda, Almanya 24
3.3.8 Fransa 24
3.3.9 Yunanistan 24
3.3.10 İtalya 24
3.3.11 Avustralya 25
3.3.12 Hindistan 25
3.3.13 İsrail 25
3.3.14 Japonya 25
3.3.15 Sri-Lanka 26
3.3.16 Amerika Birleşik Devletleri 26
3.4 Türkiye'de Dalga Enerjisi Potansiyeli 26
4. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ 27
4.1 Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları 28
4.1.1 Salınımlı su kolonu (OWC: Oscilating Water Column) 28
4.1.2 Daralan kanal sistemi (TAPCHAN: Tappered Channel Device) 30
4.1.3 Sarkaç tipi dönüşüm sistemi (PENDULAR) 31
4.2 Yakın Kıyı Tipi (Near Shore) Uygulamalar 32

4.2.1 OSPREY 32
4.2.2 WOSP 3500 (Rüzgar ve okyanus salınım enerjisi) 33
4.2.3 Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi 33
4.2.4 Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi 33
4.2.5 Oceanlinx 34
4.3 Açık Deniz Tipi (Off-Shore) Uygulamalar 36
4.3.1 McCabe dalga pompası 37
4.3.2 OPT dalga enerji dönüştürücüsü 37
4.3.3 Pelamis 38
4.3.4 Wave dragon 41
4.3.5 Lineer enerji dönüşüm sistemi 44
4.3.6 Dalga paleti (Wave roller) 45
4.3.7 Archimedes dalga salınımı sistemi (AWS: Archimedes wave spring) 47
4.3.8 Büyük balina enerji dönüşüm sistemi (Mighty whale) 49
4.3.9 Salter's duck enerji dönüşüm sistemi 50
4.3.10 Power buoy 52
4.3.11 Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi 53
4.3.12 Yüzen titreşimli su kolonu 54
4.3.13 Kaimei enerji dönüşüm sistemi 54
5. DALGA ENERJİSİNİN ÖZELLİKLERİ VE HESABI 57
5.1 Dalga Enerjisi Kavramı 57
5.1.1 Dalgaların genel özellikleri 59
5.1.2 Dalga enerjisinin hesabı 61
5.2 Dalga Enerjisi ve Dönüşüm Sistemlerinin Fayda ve Sakıncaları 62
5.2.1 Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin faydaları 62
5.1.2 Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin sakıncaları 63
6. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜMÜ, İLETİMİ VE DEPOLANMASI 65
6.1 Temel Elektromanyetik Enerji Dönüşüm Teknikleri 65
6.1.1 Mekanik tahrikli jeneratörler 65
6.1.2 Pnömatik ve hidrolik tahrikli jeneratörler 66
6.2 İleri Elektromekanik Enerji Dönüşüm Teknikleri 68
6.2.1 Lineer (doğrusal) endüktans 68
6.2.2 Piezoelektrik 69
6.2.3 Protonik iletim 69
6.3 Enerji İletimi ve Depolanması 69
6.3.1 Elektrik kabloları 70
6.3.2 Enerji yoğunluklu ürünler 70
7. AKIM TÜRLERİ VE ELEKTROMANYETİZMA 71
7.1 Akım Türleri 71
7.1.1 Doğrusal akım 71
7.1.2 Alternatif akım 71
7.1.3 Alternatif akımı dönüştürme 71
7.2 Elektromanyetizma 72
7.2.1 Manyetik alanın etkileri 72
7.2.2 Endüksiyon elektromotor kuvvetinin elde edilmesi 72
7.2.3 Sinüsoidal alternatif akımın elde edilmesi 73
7.2.4 Alternatif gerilim ve akım değerleri 74
7.2.5 Faz ve faz farkı 75
8. DENEYSEL ÇALIŞMA 77
8.1 Deney Düzeneği 77

8.2 Su Seviyesi Ölçümleri 78
8.3 (1) No'lu Dalga Enerji Dönüşüm Sistemi 78
8.3.1 (1) no'lu sistemin yapısı ve süreci 78
8.3.2 (1) no'lu sistemin değerlendirilmesi 80
8.4 (2) No'lu Dalga Enerji Dönüşüm Sistemi 80
8.4.1 (2) no'lu sistemin yapısı 80
8.4.2 (2) no'lu sistemin deney süreci 81
9. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME 83
9.1 Dalga İstatistikleri 83
9.2 Sistemin Ürettiği Enerji Değerleri 84
9.3 Enerji Hesapları 93
9.4 Sistemin Değerlendirmesi 94
10. SONUÇ 107
KAYNAKLAR 109
ÖZGEÇMİŞ 113

KISALTMALAR

H : Dalga Yüksekligi
H_s : Belirgin Dalga Yüksekliği
Hmin : Minimum Dalga Yüksekliği
H_o : Ortalama Dalga Yüksekliği
H_{rms} : Dalga Yüksekliği Mutlak Değeri
H_{maks} : Maksimum Dalga Yüksekligi
H1/10 : En Yüksek %10 Dalganın Ortalama Yüksekligi
H1/20 : En Yüksek %20 Dalganın Ortalama Yüksekligi
H1/30 : En Yüksek %30 Dalganın Ortalama Yüksekligi
L : Dalga Boyu
T : Dalga Periyodu
T_{min} : Minimum Dalga Periyodu
T1/10 : En Yüksek %10 Dalganın Ortalama Periyodu
T_s : Belirgin Dalga Periyodu
C : Dalga Yayılma Hızı
U : Rüzgar Hızı
t : Süre
kW : Kilowatt
kWh : Kilowatt saat
MW : Megawatt
MWh : Megawatt saat
GW : Gigawatt
GWh : Gigawatt saat
TW : Terawatt
TWh : Terawatt saat
OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development
OWC : Oscilating Water Coulomn
OPT : Ocean Power Technologies
WEC : Wave Energy Conversion
PWP : Pelamis Wave Power
WD : Wave Dragon
a : Dalga Genliği
Hz : Hertz
E : Enerji
ρ : Özgül Kütle
g : Yerçekimi ivmesi
V : Volt
mA : Miliamper
I_{eff} : Etkin Akım Miktarı
V_{eff} : Etkin Gerilim miktarı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Karadeniz, Akdeniz ve okyanuslarda dalga gücü 3
Çizelge 1.2 : Santralların birim yatırım maliyeti ve işletme maliyet aralığı. 4
Çizelge 5.1 : Açık deniz dalgalarını karakterize eden dalga yükseklikleri..... 59
Çizelge 9.1 : Dalga istatistikleri 83
Çizelge 9.2 : Deneylerde elde edilen efektif değerler ve genel periyotlar..... 92
Çizelge 9.3 : Dalga özellikleri, üretilen güç ve elde edilen verim değerleri..... 94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Enerji kaynaklarına göre dünya enerji üretimi. 10
Şekil 2.2 : Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı 11
Şekil 4.1 : OWC dalga enerjisi dönüşüm sistemi kesiti 29
Şekil 4.2 : Salınımlı su sütunu 30
Şekil 4.3 : Limpet OWC 30
Şekil 4.4 : Daralan Kanal (TAPCHAN) Sistemi 31
Şekil 4.5 : Pendular Sisteminin Şematik Gösterimi 32
Şekil 4.6 : OSPREY 32
Şekil 4.7 : Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi 33
Şekil 4.8 : Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi 34
Şekil 4.9 : Oceanlinx 35
Şekil 4.10 : Su altı elektrik iletim hattı 35
Şekil 4.11 : Dalga tepesi ve çukuru sırasında türbine hava girişi 36
Şekil 4.12 : ENERGETECH Firmasının OWC sistemi 36
Şekil 4.13 : McCabe Dalga Pompası 37
Şekil 4.14 : OPT Enerji Dönüşüm Sistemi 38
Şekil 4.15 : Pelamis 39
Şekil 4.16 : Pelamis sisteminin taslak görünümü 40
Şekil 4.17 : Pelamis dalga dönüşüm modülleri 40
Şekil 4.18 : Modül diyagramı 40
Şekil 4.19 : Pelamis enerji dönüşüm çiftliği simülasyonu 41
Şekil 4.20 : Wave Dragon Sisteminin Kesit Gösterimi 42
Şekil 4.21 : Wave Dragon Sisteminin Plan Gösterimi 42
Şekil 4.22 : Wave Dragon prototipinin deniz testi 42
Şekil 4.23 : Wave Dragon Prototip 43
Şekil 4.24 : Rampa 44
Şekil 4.25 : Wave Dragon 44
Şekil 4.26 : Lineer Jeneratör Tipi Enerji Dönüştürücü 45
Şekil 4.27 : Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü 45
Şekil 4.28 : Dalga Paleti sistemi 46
Şekil 4.29 : Paletin simülasyon görüntüsü 46
Şekil 4.30 : Paletlerin prototipleri 47
Şekil 4.31 : Archimedes Dalga Salınım Sistemi 48
Şekil 4.32 : ADS Sisteminin Şematik Görünümü 48
Şekil 4.33 : ADS Sistemi 48
Şekil 4.34 : MightyWhale enerji dönüşüm sistemi 49
Şekil 4.35 : Büyük Balina sisteminin şematik gösterimi 50
Şekil 4.36 : Salter Duck dönüşüm sistemi çalışma prensibi 51
Şekil 4.37 : Salter Duck sisteminin şematik görünümü 51
Şekil 4.38 : Salter Duck enerji dönüşüm sistemi 51
Şekil 4.39 : PowerBuoy 52

Şekil 4.40 : PowerBuoy dizisi 52
Şekil 4.41 : Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi 53
Şekil 4.42 : Yüzen titreşimli su kolonu 54
Şekil 4.43 : Kaimei 55
Şekil 5.1 : Dalgada Depolanan Kinetik ve Potansiyel Enerji 58
Şekil 5.2 : Genel Dalga Karakteristikleri 59
Şekil 5.3 : Su Yüzeyi Profili Örneği 60
Şekil 5.4 : Dalga Spektrumu 60
Şekil 6.1 : Masuda ve Miyasaki tarafından tasarlanan türbin 67
Şekil 6.2 : McCormick'in zıt dönüşlü hava türbini 67
Şekil 6.3 : Babinsten hava türbini 68
Şekil 6.4 : Filipenco hava türbini 68
Şekil 7.1 : Doğru akım grafiği 72
Şekil 7.2 : Alternatif akım grafiği 72
Şekil 7.3 : N-S kutupları içinde iletken hareketi 73
Şekil 7.4 : A.A dalga şekli 74
Şekil 7.5 : Ortalama akım değeri 75
Şekil 7.6 : Dalgalar arası faz farkı 76
Şekil 8.1 : Deney kanalı şematik gösterimi 77
Şekil 8.2 : Kalibrasyon eğrisi 78
Şekil 8.3 : (1) No'lu sistem gövde yapısının şematik gösterimi 79
Şekil 8.4 : (2) no'lu sistemin kanal içinde görünümü 80
Şekil 8.5 : (2) no'lu sistemin çalışma prensibi 81
Şekil 9.1 : (101) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 85
Şekil 9.2 : (101) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 85
Şekil 9.3 : (102) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 87
Şekil 9.4 : (102) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 87
Şekil 9.5 : (103) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 88
Şekil 9.6 : (103) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 88
Şekil 9.7 : (104) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 89
Şekil 9.8 : (104) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 89
Şekil 9.9 : (105) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 90
Şekil 9.10 : (105) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 90
Şekil 9.11 : (106) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 91
Şekil 9.12 : (106) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 91
Şekil 9.13 : Dalga durumlarına göre efektif akım ve gerilim değerleri 92
Şekil 9.14 : Dalga periyodu ile genel akım ve gerilim periyodu ilişkisi 95
Şekil 9.15 : Dalga yüksekliği ile genel akım ve gerilim periyodu ilişkisi 95
Şekil 9.16 : Sinüs dalgası yaklaşımıyla tahmin edilmiş olan periyot değerleri 96
Şekil 9.17 : Dalga periyodu ile birim akım ve gerilim periyotları arasındaki ilişki . 97
Şekil 9.18 : Dalga dikliği ile birim akım periyotlarının değişimi 97
Şekil 9.19 : Dalga dikliği ile birim gerilim periyotlarının değişimi 98
Şekil 9.20 : Dalga yüksekliği - birim periyotlar ilişkisi 98
Şekil 9.21 : Dalgalara göre akım, gerilim periyotları ve dalga periyodu ilişkisi 99
Şekil 9.22 : Dalga yüksekliği ile efektif akım değerleri karşılaştırması 99
Şekil 9.23 : Dalga yüksekliği ile efektif gerilim değerleri karşılaştırması 100
Şekil 9.24 : Dalga periyotları ile efektif akım değerleri ilişkisi 101
Şekil 9.25 : Dalga periyotları ile efektif gerilim değerleri ilişkisi 101
Şekil 9.26 : Dalga dikliği - efektif akım değerleri ilişkisi 102
Şekil 9.27 : Dalga dikliği - efektif gerilim değerleri ilişkisi 102

Şekil 9.28 : Dalga yüksekliği ile üretilen güç ilişkisi 103
Şekil 9.29 : Dalga periyodu ile üretilen güç ilişkisi..... 103
Şekil 9.30 : Dalga dikliği ile üretilen güç ilişkisi..... 104
Şekil 9.31 : Dalga periyodu ile elde edilen verim ilişkisi..... 104
Şekil 9.32 : Dalga yüksekliği ile elde edilen verim ilişkisi 105
Şekil 9.33 : Dalga dikliği ve sistem veriminin ilişkisi..... 105
Şekil 9.34 : Dalga durumlarına göre elde edilen verim değerleri..... 106
Şekil 9.35 : Dalga durumlarına göre dalga gücü ve üretilen güç değerleri..... 106
Şekil 9.36 : (102) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği 76
Şekil 9.37 : (103) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği 77

DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMASI

ÖZET

Dünyanın enerji rezervleri gün geçtikçe tükenmeye yaklaşmaktadır. Bu doğrultuda enerji savaşları şiddetlenmekte, mevcut enerji yöntemleri ise zararlı etkilerini artırmaktadır. Fosil yakıtların tükenme eğilimine girmesiyle birlikte, enerji gereksiniminin karşılanmasında yeni arayışlar kaçınılmaz olarak ilerlemektedir. Nükleer enerji gibi alternatifler kullanım riskleri ve doğaya etkileri açısından bir takım problemler içermektedir. Yeni arayışlarda en iyi alternatif olarak rüzgar, dalga, güneş ışınları, hidrolik, biyomas ve jeotermal gibi yenilenebilir enerjiler ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dalga enerjisi doğada yüksek potansiyelde var olmakla birlikte, günümüz şartlarında ekonomik değildir. Fakat, fosil kokenli yakıtların giderek tükenmesi, bu arada neden oldukları ağır çevre sorunları bu doğrultuda çalışmaların ilerlemesini zorunlu kılacak ve dalga enerjisi teknolojisindeki gelişmeler, dalga enerjisini de ekonomik hale getirecektir. Dünya üzerinde bir çok ülke dalga enerjisinden aktif olarak faydalanabilecekleri imkanlar ve yöntemler yaratmaya başlamışlardır.

Dalga enerjisinden; cisim hareketini veya cisimdeki şekil değiştirmeyi kullanan sistemler, su basıncını kullanan sistemler ve hava basıncını kullanan sistemler olmak üzere temelde üç yöntemle elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu çalışmada; öncelikle dalga oluşumu, enerjisi ve dalga enerjisi tesisleri ile ilgili genel bilgiler aktarılacak, dünyanın ve Türkiye'nin bu teknolojide bulunduğu durum irdelenecektir. Devamında ise dalga enerjisini elektrik enerjisine çevirmek üzere tasarlanmış iki model üzerinde yapılmış deneysel çalışmalar ortaya konacaktır.

Kullanılan sistemler temel olarak dalganın yarattığı düşey salınımları elektrik enerjisine çevirmeyi amaçlamaktadır. Buna göre iki sistem de silindirik plastik bir plakanın dalga etkisiyle düşey hareket yapması ve bu hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü üzerine kuruludur. Birinci sistem elektrik üretimini dişlilere bağlanmış br dinamonun dairesel hareketiyle sağlarken, ikinci sistemde elektromanyetik bir sistem oluşturularak, bobin içerisinden geçen mıknatıslı çubuğun elektrik üretmesi denenmiştir.

Deneyler sonucunda dişli sistemlerinin yük kayıplarını artırması neticesinde elektrik üretimi dikkate değer seviyeye ulaşamamıştır. İleriki çalışmalara örnek teşkil etmesi adına bu sistem de bu çalışmada detaylı olarak açıklanmıştır.

Diğer sistemde ise elektrik üretimi sağlanmış ve verim değerleri tespit edilmiştir. Bu değerlerin elektrik üretiminin işlevsel olabilmesi adına artırımının sağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan deney, sistemde yapılacak olan zenginleştirmelerin ve malzeme seçimine dayalı bir takım düzenlemelerin sistemin gerçek üretim şartlarında sağlayacağı fayda hakkında fikir sahibi olunmasını sağlamıştır.

A DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY ON WAVE POWER CONVERSION SYSTEM

SUMMARY

Energy reserves on earth are getting closer to end day by day. As a result, energy wars are rising and the harmful effects of the current energy sources are leading earth to the end. Decrease in fossil fuels, inevitably, results with new searchs for new energy sources to fulfill energy need of human on earth. Alternative ways, like nuclear power are having problems due to the risk it promises about storage and environmental effects.

Wind, hydroelectric, solar, biomass and wave powers seem to be the best match for an alternative solution to meet the energy need of world. Wave power, as one of these solutions, is having a high potential to use , however it is not economic enough yet. Till, the decrease of fossil fuels and negative effects of traditional energy sources on earth, push scientist to make researches in this way. Thus, new technologies and developments result with cheaper and easier usage of wave power.

Wave power is generated from waves by three main methods: Motion of substance, motion and pressure of wave and pressure of air. In this study, wave features, occurance of wave energy and wave energy plants will be investigated and the conditions of wave energy productions in Turkey and in the world will be addressed. Also calculation of wave power and conditions effecting wave energy will be mentioned.

Besides, two different designs of wave energy conversion systems will be observed with experimental studies. Both systems are basicly designed to evaluate vertical oscilation motions of waves into the electrical energy. To make this happen, a horizontal plane was used in both systems and that plane oscilates during the wave motion. That vertical motion of the plane creates a motion energy and different systems in two experiments try to convert that mechanical energy into electrical energy.

First system conveys the mechanical energy to a dynamo via disk systems. System was designed to turn dynamo in the same way while round plate is both moving up and down. That option is designed to avoid energy loss during change in direction of dynamo.

Second system is designed on the basic electromagnetic system principles. Like the first convertion system a steel rod passes through round panel to make it move in a linear direction. Vertical movement of round plate also moves a magnetic stick into a coil to create electrical energy. The pipe, placed on the roun panel is filled with 10

magnets an those magnets produce energy with the movement in both up and down directions.

For both systems the electrical energy emerged is produced as alternative current. In this study, also current types and electrical information to calculate the amount of energy produced are mentioned. To determine the way to observe electrical energy and the power also, magnetic properties of materials and principles of electromagnetism were addressed. Especially for the second system electromagnetic properties and relations effect the amount of energy and the power of electricity.

Both tests were applied in test channels in Istanbul Technical University Civil Engineering Faculty Hydraulics Laboratories. The channel having 24 m length, 1 m. width and 1 m. depth was used for tests. For both tests water level in the channel was kept at 60 cm. high. Waves were produced by a wave generator system, from the beginning of the channel. Wave energy convertion systems were placed in the middle of the channel to avoid effects of reflecting waves.

Volt and Amper values produced by system was written down via AVOmeter placed on coil. All the test process was recorded by video camera and to read the change in AVOmeter records were watched in slowed motion. After obtaining volt and amper values, the diagrams for current and voltage changes were observed. By using the maximum values on that diagrams energy values of observ ed from the waves are calculated and noted down.

To obtain regular and consistent values and decrease the risk factor of labour phase differences between voltage and current flow are ignored for all six wave conditions. Thus both volt and amper values were assumed to be obtained and generated at the same time. Although that will increase the value for all waves, this also keep the difference at the same level and provide consistency while comparing wave conditions.

At the end of tests no substantial energy production was observed from first type system. The reason for that was noticed as the energy loss caused by the disk systems. Also weigth of the material used for producing round plate caused that loss of energy. To give an opinion for further researches, details of that first type wave energy convertion system is being included in this study. Changes in disk systems or material properties can make system effective for energy convertion.

For second type wave energy convertion system, six types of waves were used for determining energy production. Waves used in the experiment were choosen from waves having different wave height and different wave periods. Maximum wave height was 14,09 cm. and the minimum wave height was 10,19 cm. Besides maximum wave period was 1,40 sec. while minimum wave period was 0,81 sec.

At the end of tests, maximum power is obtained as 0,110 Watt from the wave with 1,01 sec. wave period and 13,02 cm. wave height and minimum power obtained as 0,047 Watt from the wave with 0,81 sec. wave period and 10,35 wave height.

The maximum efficiency was obtained from the wave with 10,19 cm wave height and 0,81 sec. period as 0,023. Also the wave from which the highest power obtained also worked with high efficiency comparing with others with the number of 0,016. The lowest efficiency value was obtained from the waves with the wave height of 11,33 cm. and 11,38 cm. respectively. The period values of these waves are same and 1,4 sec. for both.

Comparing according to change in wave height, the highest current values are obtained as 15,15 mA from the waves with 14,09 cm wave height. The lowest current value is obtained as 9,83 mA from the wave with the height of 10,35 cm.

Compared to change in the wave periods, the highest current values are obtained from the wave with the period of 1,21 sec. and the lowest current value is obtained from the wave with the period of 0,81 sec.

Comparing according to change in wave steepness, the highest current value is obtained at the level 0,062 as wave steepness value and the lowest current valu is obtained at the wave steepness value of 0,10.

Comparing according to change in wave height, the highest power produced is 0,11 watt and obtained from the wave with the height of 13,02 cm, besides the lowest power value is 0,047 watt which is obtained from the wave with the height of 10,35 cm.

Comparing according to change in wave period, the highest power produced is obtained from the wave with the period of 1,01 sec. and the lowest power value is obtained from the wave with the period of 0,81 sec.

Comparing according to change in wave steepness, the highest power produced is obtained from the wave with the steepness value of 0,082 and the lowest power value is obtained from the wave with steepness of 0,10.

Those values showed that, optimum wave conditions are about having properties of 1 sec. Period time and about 13 cm wave height. These values also refer to wave steepness as 0,1 for optimum value. Changes in the mechanism of the system and material properties can give different results for wave dimensions.

Regarding these values, it is possible to improve system properties and test conditions. Thus, considering large device farms can provide useful amount of energy production. These changes for second system seem to be preferably made on coil and magnet structure and amount in first sight. Also thickness, shape and the material type of round panel is important parameter for both systems.

Test results show that, in case of proper wave conditions obtained and device properties for those waves designed these two systems can be evaluated into a preferable energy convertion systems.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Günümüzde dünya nüfusunun %20'sinden fazlasını teşkil eden 1.4 milyar insan halen elektriğe kavuşmuş değildir. Dünya nüfusunun %40'ı olan 2.7 milyar insan ise yemek pişirmek için geleneksel yöntemlerle biyokütle enerjisinden yararlanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı projeksiyonları bu durumun uzun dönemde de devam edeceğini ve 2030 yılında %87'si kırsal bölgede yaşayan 1.2 milyar insanın elektriksiz yaşamaya devam edeceğini göstermektedir. Bu insanların büyük kısmı Orta ve Güney Afrika, Hindistan ve gelişmekte olan Asya ülkelerinde (Çin hariç) yaşıyor olacaktır. Bu ülkelerdeki açlık ve yoksullukla mücadelenin başarılı olması, enerjiye erişim konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmesine bağlı olup, bu ilerlemelerin sağlanması için 2030 yılına kadar ilave yıllık 36 milyar ABD $ harcama yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. (EÜAŞ, 2010).

Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayabilecek ticari gelişimden henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji arz güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır. Enerji temini yollarından biri olarak yapım aşamasına kadar gelinen ancak daha sonra askıya alınan nükleer santrallerin kurulması ve bunların yarattığı tartışmalar; fiyatları sürekli olarak artan ve artmaya devam edecegi öngörülen petrol ve dogal gaza alternatif bulunması amacıyla ülkemizin gündemine girmiştir. Gelişmiş ülkelerde vazgeçilme eğiliminde olan nükleer enerji az gelişmiş ülkelerde pazar bulma çabasına girmiştir. Geri dönülemeyecek ve gelecek kuşakları kapsayan etkileri olan, Çernobil faciası örneğindeki gibi kayıplara neden olabilen bu santralların, kaza olma olasılığı düşük olarak ifade edilse de, risk taşımadığı garanti edilememektedir. Ayrıca, nükleer güç santrallerinin atıklarının nasıl yok edileceği, gelişmiş ülkelerce bile tam çözüme kavuşturulamamıştır. Atıkların radyoaktif etkilerinin binlerce yıl boyunca güvenilir biçimde saklanması, gerek teknolojik açıdan gerekse mali açıdan büyük bir sorun

olarak karşımıza çıkmaktadır (TMMOB, 2003). Nükleer güç santrallerinin çevresel etkilerinin diğer seçeneklerin yol açabileceği olumsuz çevre etkileriyle karşılaştırılamayacak nitelikte ve boyutta olmasından dolayı, verimliliği yüksek olan, yüksek enerji üreten ve çevreyi kirletmeyen teknolojilere yönelmek, çalışmaların esasını teşkil etmelidir. Tarih boyunca enerji kaynakları, siyasal ve stratejik açıdan bir çok dengeyi etkilemiş ve bir çok trajedinin esas nedeni olagelmiştir. Enerji, her türlü gücün oluşmasında esas teşkil etmektedir. Birincil enerji kaynağı olarak ilk anda, kömür, dogal gaz ve petrol gibi fosil kökenli yakıtlar gündeme gelmektedir. Dünyada enerji ihtiyacının %90'ı bu yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu yakıtlarla yarışacak kapasitede alternatif enerji kaynakları verimli bir Şekilde kullanılamadığından, fosil kaynaklı yakıtları doğayı kirletici ve maliyeti yüksek kaynaklar olduğunun farkına varsak dahi görmezden gelmekteyiz. Ayrıca, gelecek zamanda tükenebilirliği de göz önünde bulundurulduğunda alternatif enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz olacaktır. Bu bağlamda, alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynakları daha da önem kazanmaktadır. Enerji, tükenebilen ve kendisini dünya varoldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerjiler olarak iki grupta incelenebilmektedir (Özdamar, 2001). Sürekli olarak doğal süreçlerle yenilenen enerji olarak tanımlanan "Yenilenebilir Enerji"; hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga gibi enerji kaynaklarının teşkil ettiği bir kavramdır.

Bahsedilen bütün enerji kaynakları sağladıkları avantajların yanı sıra, bir takım dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin, rüzgardan elde edilebilecek enerji, rüzgar türbin kanatlarının kapsama alanı ile sınırlı olup, Türkiye'de rüzgar potansiyelinin yeterince yüksek olmaması nedeni ile fosil kökenli yakıtlarla yarışabilecek seviyede olamayacaktır. Ancak bu düşünce, rüzgar enerjisinden yararlanılmaması veya teknolojilerin takip edilmeyerek gerekli çalışmaların yapılmaması seklinde algılanmamalıdır. Barajlar ve termik santraller çok büyük yatırımlarla inşa edilmektedir ve bu yüksek maliyetli kaynakların yanında deniz dalga enerjisine yönelim büyük bir gereklilik olmaktadır. Güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ise, hem mali açıdan hem de daha kullanılabilir hale getirilmesi için uzun bir süreye ihtiyaç duyulmasına neden olacaktır. Gelecekte fosil kökenli yakıtlara önemli bir alternatif olma potansiyelini taşıyan deniz dalga enerjisi, Karadeniz ve Akdeniz'de büyük bir fırsat olarak yer

almasına rağmen, bu konuda hazırı tüketme alışkanlığıyla işin kolayına kaçılmakta ve kısa vadeli günü kurtarmak amacıyla izlenen politik beklentiler sebebiyle, çok az kurum, kuruluş ya da kişi haricinde, yeterli çalışmalar yapılmamaktadır. Delaware Üniversitesi tarafından yapılan dalga-enerji hesaplamalarına göre, okyanuslarda meydana gelen dalga ve Karadeniz ile Akdeniz'de yapılan ölçümlere göre birim alandaki mevcut deniz dalga enerjisi miktarları **Çizelge 1.1**'de gösterilmiştir.

Çizelgeden görülecegi üzere 1 m'nin üzerinde ortalama dalga yüksekliğine sahip olan deniz dalga enerjisi bile fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji yoğunluğuna sahiptir. Buna ek olarak; dalga gücüne ilişkin bir örnek verecek olursak, 1 m^3 hacmindeki içi boş bir dubayı suya batırmaya çalışarak veya dalga tarafından kaldırılan aynı hacimde içi su ile dolu bir kabı dalganın üst noktasında tutmaya çalışarak gücün önemini kavrayabiliriz. Denizlerde bu hareket her gün milyarlarca kez tekrarlandığına göre; yapılması gereken tek şey, doğru teknolojiyi doğru yerde kullanabilmektir. Hidroelektrik santrallerde her üç saniyede 10 ton suyu, 30m'den aşağıya düşürerek elde edilebilecek enerji 1m dalga yüksekliğinde deniz yüzeyinde 1 dönümden az alanda elde edilebilir (Örer, 2006).

Çizelge 1.1 Karadeniz, Akdeniz ve okyanuslarda dalga gücü (Çokan, 2003)

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

Ulusal ekonominin önemli bir sektörü olan enerji sektöründe elektrik enerjisi, kullanım kolaylığı ve temizliği nedeniyle en tercih edileni olmaktadır. Elektrik enerjisinde ulusal politikanın belirlenmesinde en önemli faktörler; temiz ve yenilenebilir kaynaklara yönelmek, üretilen enerjinin verimli kullanımı, elektrik enerjisinin temiz kullanımı, ulusal kaynakların kullanımı, çevre boyutu ve planlama olarak belirlenmektedir. Bu çerçevede güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi konusunda ülkemizde kayda değer bir çalışma bulunmamakta, jeotermal ve rüzgardan faydalanma çok düşük kalmakta, şu anda tükettiğimiz elektriğin tümünü sudan elde edebilecek kaynağa sahip olduğumuz halde dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda kayda değer bir çalışma yapılamamaktadır (TMMOB, 2001).

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

Çizelge 1.2 Santralların birim yatırım maliyeti ve işletme maliyet aralığı (Çokan, 2003).

Santralın Cinsi	**Kuruluş maliyeti $/kW**	**İşletme maliyeti cent/kWh**
Termik Santraller	1200-1300	4,80-5,50
Dogal Gaz Santralleri	500-600	3,90-4,40
Biyokütle	-	5,80-11,60
Rüzgar Santralleri	1100-1300	4,00-6,00
Güneş pili	3000-6000	25,00-100,00
Nükleer Santraller	3500-4000	11,10-14,50
Hidroelektrik Santraller	800-1000	5,10-11,30
Dalga Elektrik Santralleri	600-2000	0,60-1,50

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

Bu veriler doğrultusunda, dalga enerjisinin yenilenebilir enerji olarak kullanılmasındaki önemi de göz önünde bulundurularak, bu çalışmada 2 farklı sistem tasarımı gerçekleştirilmiş ve enerji üretimi açısından işlevsellikleri gözlenmiş ve tartışılmıştır.

2. ENERJİ

2.1 Dünya'da Enerji

Tüm dünyada son 25 yılda, özellikle elektrik enerjisine talebin yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Elektriğin 2035 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2.5) son kullanıcı enerji formu olması, nihai enerji tüketimindeki payının 2008'deki %17 düzeyinden 2020'de %20'ye, 2035'te ise %23'e çıkması beklenmektedir. Ancak elektrik sektörü de 2009 yılında finansal zorluklar ve zayıf talep sebebiyle ciddi şekilde etkilenmiştir. Yüzde ikiye yakın gerçekleşen talep düşüşü, İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana görülen en büyük yıllık azalmaya işaret etmektedir. Bununla birlikte 2010 yılında elektrik talep artışı kriz öncesi düzeylere yaklaşmıştır. (EÜAŞ. 2010) 2010 itibariyle Dünya birincil enerji tüketiminin; %33,6'sı petrol, %29,6'sı kömür, %23,8'i doğalgaz, 13'ü nükleer, hidrolik, diğer yenilenebilir ve atık kaynaklardan sağlanmaktadır. (BP, 2011) Elektrik üretiminde ilk üç sırayı % 66,6 ile fosil (petrol, kömür, doğalgaz) yakıtlar alırken, %16 ile hidrolik 4. sırada, %15,2 ile nükleer 5. sırada yer almaktadır. Güneş, rüzgar, jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklarla atıklardan elde edilen elektriğin oranı ise %2,2'dir. OECD/UEA tarafından hazırlanan Dünya Enerji Görünümü-2008 raporuna göre, küresel elektrik talebi, 2000 – 2006 yılları arasında, yaklaşık % 25 oranında artmış olup, bu artışın %75'lik dilimi OECD üyesi olmayan ülkelere aittir.

Dünya elektrik talebinin 2006 - 2015 arasında yıllık %3,2 oranında artarak, 2006'da 15.665 TWh olan talebin 2015'te 20.760 TWh ve 2030'da ekonomik ilerlemenin yavaşlaması nedeniyle, yıllık ortalama %2'lik artışla 28.140 TWh'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Elektrik talebinde tahmin edilen artışın büyük bölümü OECD dışında meydana gelmektedir. OECD'de, elektrik talebinin, 2006 - 2030 arasında üçte bir oranından da az artarak, yılda %1,1 ortalama artış göstereceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık, OECD üyesi olmayan ülkelerde talebin, yıllık %3,8 ortalama ile %146 artması beklenmektedir. Küresel olarak endüstrinin elektrik talebi, OECD dışı ülkelerdeki hızlı sanayileşmenin ön ayak olmasıyla, evlerdeki

kullanım ve hizmet sektörünün talebinden daha hızlı artış göstermektedir. OECD ülkelerinde, sanayinin elektrik talebi yılda % 0,6'lık küçük bir artış göstererek, uzun vadede hafif sanayiye doğru bir geçişi yansıtmaktadır (EÜAŞ, 2008).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan senaryo çalışmasına göre elektrik üretiminin, 2008'de 20,183 TWh'den ortalama %2.4'lük artışlarla 2020'de 28,032 TWh'ye, 2030'da 34,716 TWh'ye ve 2035'de de 38,423 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. Bu rakamlar 2008-2035 döneminde %90.0'lık artışa işaret etmektedir (EÜAŞ, 2010). Benzer şekilde, ABD Enerji Bilgi İdaresi olan EIA tarafından hazırlanan Referans Senaryo Çalışması'na göre ise 2007'de 18,800 TWh olan elektrik üretiminin 2020'de 25,000 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. 2007 – 2035 döneminde ise toplam %87.2'lik bir artışla (yıllık %2.3'lük artışlarla), 2035'de üretimin 35,200 TWh'ye yükseleceği hesaplanmaktadır (EIA, 2010).

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülen büyük ekonomik gelişmeler elektrik talebinin de bu ülkelerde artmasına sebep olmaktadır. Kişi başına gelirin artmasıyla yaşam standartları artmakta, bu da endüstri, aydınlatma ve ev aletleri için olan elektrik talebini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak, WEO (2010) çalışmasındaki elektrik üretiminde öngörülen bu 18,240 TWh'lik artışın büyük kısmının (%83.7'sinin), 2008-2035 arasında ortalama yıllık %0.9 oranında artış beklenen Türkiye'nin de aralarında bulunduğu OECD üyesi ülkelerden ziyade, %3.8 oranında kuvvetli bir artış beklenen OECD üyesi olmayan ülkelerde gerçekleşeceği hesaplanmaktadır. Tüm dünyada elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 2035 yılına kadar brüt 4,160 GW artması beklenmektedir. Bu bağlamda elektrik sektörünün, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan Yeni Politikalar Senaryosu'na göre 2010-2035 döneminde yapılması beklenen 32.8 trilyon dolarlık enerji yatırımlarındaki payının tek başına 16.6 trilyon dolar (2009 rakamlarıyla) olacağı öngörülmektedir. Geriye kalan 8 trilyon dolarlık yatırımın petrol, 7.1 trilyon dolarlık yatırımın doğal gaz ve 0.7 trilyon dolarlık yatırımın ise kömür sektöründe yapılacağı hesaplanmaktadır. Bu yatırımların %64'ünün, talep ve üretimin en hızlı arttığı OECD-dışı ülkelerde (tek başına Çin 5.1 trilyon dolar) yapılması beklenmektedir.

Enerji kaynakları açısından incelendiğinde, birincil enerji arzında, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmekte ve enerji talebindeki artışın (2008-2035

dönemi) yüzde 75.7'lik bölümünün bu kaynaklardan karşılanması öngörülmektedir. Biyokütle ve çöp için bu oran %8.5, diğer yenilenebilirler için %6.6, nükleer için %6.4, hidrolik için ise %2.8'dir. 2020 yılında birincil enerji arzındaki en büyük paya (%29.8) sahip olacağı hesaplanan petrolün, 2030 ve 2035 yıllarında ilk sıradaki yerini kömüre (sırasıyla %29.1 ve %29.3) bırakacağı düşünülmektedir. Doğal gazın ise elektrik üretimindeki payını koruması (yaklaşık %21.4) beklenmektedir. 2008-2035 döneminde elektrik üretiminde ise kömür ve doğal gazın en önemli kaynaklar olmaya devam edeceği, kömürün payının %41'den %42.8'e, doğal gazın payının %21.3'ten %21.7'ye yükseleceği; petrolün payının ise %5.5'den %1.6'ya, hidroliğin payının %15.9'dan %13.3'e, nükleerin payının da %13.5'den %10.8'e düşeceği öngörülmektedir. En büyük yüzdelik artış ise rüzgarda beklenmektedir. Aynı dönemde rüzgarın %1.1'lik payının %5'e yükseleceği öngörülmektedir (EÜAŞ, 2010).

Dünya genelinde enerji kaynakları olarak 1 Ocak 2011 itibariyle petrol ve doğal gaz rezervlerinin dağılımına bakıldığında, kanıtlanmış petrol rezervlerinin (1,469 milyar varil) %51.2'sinin Ortadoğu'da bulunduğu görülmektedir. En büyük rezervlere sahip 8 ülkenin (sırasıyla, S.Arabistan, Kanada, İran, Irak, Kuveyt, Venezuela, Birleşik Arap Emirlikleri, Rusya) ise Kanada ve Rusya hariç 6'sı OPEC üyesidir. Bu ülkeler toplam rezervlerin yaklaşık %70.9'una sahiptirler. Doğal gaz rezervlerinin de yaklaşık %73'ü Rusya Federasyonu, Eski Sovyet Cumhuriyetleri ve Ortadoğu ülkelerinde bulunmaktadır. Sadece Rusya, İran ve Katar bu rezervlerin %54.5'ini elinde bulundurmaktadır. 2010 verilerine göre petrol rezervlerinde Venezuela ve Kolombiya'da büyük artışlar görülürken, doğal gaz rezervlerinde oransal olarak Mısır'da önemli sayılabilecek artışlar meydana gelmiştir. 2009 sonu itibariyle revize edilen rakamlara göre, dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, mevcut kanıtlanmış petrol rezervlerinin 46, doğal gaz rezervlerinin 63, kömür rezervlerinin de 119 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır. Bu rakamlar aynı kaynakta, 2008 sonu itibariyle petrol için 42, doğal gaz için 60 ve kömür için 122 yıl olarak ilan edilmişti.

Nükleer enerjiden elektrik üretiminin ise 2008'de gerçekleşen 2,731 TWh değerinden 2035 yılında 4,147 TWh'e yükseleceği, ancak nükleer enerjinin toplam enerji üretimindeki payının %14'ten %11'e düşeceği hesaplanmaktadır. Dünyadaki nükleer santral kurulu gücünün ise 2008 yılındaki 391 GW değerinden, 2035'de 551

GW'a çıkması beklenirken, nükleer kapasitede Avrupa Birliği'nde düşüşler öngörülmektedir. Özellikle 2020 yılından sonra ömrünü tamamlayarak devreden çıkarılacak çok sayıdaki nükleer santralın varlığının etkisiyle Avrupa Birliği'nde 2008 itibariyle 139 GW olan nükleer kurulu gücün 2035'de 106 GW'a inmesi beklenmektedir. 2035'e kadar Çin (83 GW) başta olmak üzere OECD-dışı Asya ülkelerinde 108 GW'lık artış tahmin edilmektedir. Rusya'nın ilave ünitelerle nükleer kapasitesini 2035 yılına kadar 13 GW arttıracağı düşünülmektedir. ABD'de de 14 GW'lık bir artışla 2035 yılında 120 GW'a ulaşılması beklenmektedir [EÜAŞ 2010, EIA]. Bir yanda, artan fosil yakıt fiyatları, enerji arz güvenliği, sera gazı emisyonları ile ilgili endişeler, diğer yanda ise geliştirilmiş reaktör tasarımlarından dolayı dünyanın pek çok bölgesinde yeni nükleer kapasite artırımları veya yeni santralların inşa edilmesi beklenmektedir (EÜAŞ, 2010). Dünyada Ocak 2011 itibariyle, 31 ülkede 442 nükleer santral işletmede olup, 62.9 GW kurulu güce sahip olacak 65 adet nükleer santral da inşa halindedir. İnşa halindeki santrallara bakıldığında 27 tanesi Çin'de, 11 tanesi Rusya'da 5 tanesi de G.Kore'dedir. Çin, Kore, Finlandiya ve Fransa'da 3.nesil reaktörlerin inşasına başlanmış olması, dünyanın en büyük üç kömür tüketen ülkesinin (Çin, ABD ve Hindistan) nükleer kapasitelerini 2035 yılına kadar önemli ölçüde arttırmayı hedeflemesi, İtalya, Vietnam, İsveç, Türkiye, Mısır, Polonya, ABD ve İngiltere'nin yeni nükleer santral yapma arzusunu ifade etmesi, nükleer enerjiye yeni bir ilginin başladığına da delil sayılmaktadır. Fosil yakıt fiyatlarının 2009 yılında düşük seyretmesi ve ekonomik durgunluk, yüksek ilk yatırım maliyetine sahip olan nükleer enerjinin rekabet edebilirliğini zayıflatmakta ve santral projelerinin geleceğine yönelik soru işaretlerinin sürmesine sebep olmaktadır. Buna ek olarak 2011 yılının Mart ayında Japonya'da meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki deprem ve devamındaki tsunami, Fukushima Daiichi'de yer alan 4 nükleer santralın büyük hasar görmesine sebep olmuş ve bu reaktörlerden radyasyon sızıntısı meydana gelmiştir. Bu durumun etkisiyle dünyada, özellikle Avrupa Birliği'nde, nükleer santral yatırımlarının bir belirsizlik sürecine girdiği ve en azından bir duraklama yaşanacağı şimdiden söylenebilir. Lisanslama mevzuatlarının gözden geçirileceği, özellikle saha çalışmaları ve güvenlik analizlerinin sorgulanacağı, tüm bunların da maliyetleri arttırıcı etkisinin oluşacağı bir dönemin nükleer enerji sektörünü beklediği tahmin edilmektedir.

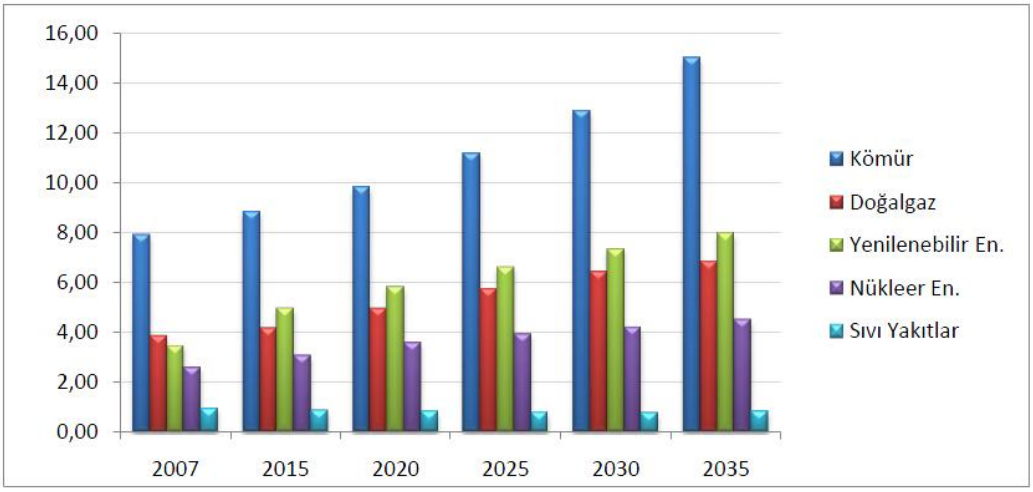
Tüketim tarafına bakıldığında ise mevcut politikaların devamı halinde, en hızlı artışın hidrolik-dışı yenilenebilir enerji kaynaklarında (%3.6) olacağı hesaplanmaktadır. Doğalgaz tüketiminin ortalama yıllık %1.7'lik artışlarla 2035 yılında 2008 yılına göre %55.6, petrol tüketiminin ortalama %0.8'lik artışlarla %23.8 ve kömür tüketiminin ise %1.7'lik artışlarla %59.3 artacağı öngörülmektedir (EÜAŞ, 2010). Bu dönemde fosil yakıt fiyatlarının yüksek seyredeceği ve hükümetlerin fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarına yöneliminin artacağı tahmin edilmektedir.

2008'de Çin, ABD, Avrupa Birliği, Hindistan, Rusya ve Japonya dünya kömür tüketiminin %83'ünü gerçekleştirmişlerdir. 2008 yılında dünya enerji tüketiminde kömürün payı %27 iken, bu payın 2035 yılında %29'lara ulaşması beklenmektedir. Kömür tüketimindeki bu artışın tamamının sorumlusunun OECD-dışı ülkelerin (Çin, Hindistan ve Endonezya) olacağı ve kömürün elektrik üretimindeki payının ise %41'den (2008) %43'e (2035) yükseleceği beklenmektedir. Kömür tüketiminin düşmesi beklenen yerler; elektrik talep artışı düşük ve nüfus artış hızı yavaş olan Avrupa Birliği, Japonya ve OECD'deki Avrupa ülkeleridir (EÜAŞ, 2010).Dünyada her ne kadar kömür üretimi geniş alanlarda ve pek çok ülkede mümkün olsa da, 2009 sonu itibariyle, toplam kömür rezervlerinin %78'i 5 ülkede bulunmaktadır. Bunlar ABD (%29), Rusya (%19), Çin (%14), Avustralya (%9), Hindistan (%7)'dır. Bu ülkeler toplam üretimin de 2009 yılı verilerine göre %78.4'ünü karşılamışlardır. 2007 yılında dünyada üretilen kömürün %64'ü elektrik üretim sektörüne aktarılmakta iken geriye kalan yaklaşık üçte birlik kısmın hemen hemen tamamı sanayi sektörüne aittir (EÜAŞ, 2010).

Yüksek petrol fiyatları, fosil yakıtların çevresel etkileri üzerine duyulan endişeler, dünyanın pek çok ülkesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasına yönelik verilen teşvikler, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş oranda kullanımınının yolunu açmaktadır. 2035 yılına kadar dünya genelinde hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminde yıllık %3.2'lik artışlar beklenmektedir (EÜAŞ, 2010). Hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçteki oranı 2008'de %4 iken, 2030 yılında bu oranın %10'a yükseleceği, hidroelektriğin ise aynı dönemde %16'dan %13'e gerileyeceği öngörülmektedir.

Yenilenebilir kaynaklardaki artışa en büyük katkı ise rüzgar enerjisinden gelecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanım payının %18.7 (2008)

seviyesinden 2020 yılında %21.7 ve 2035 yılında da %23.1'e ulaşacağı düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminde beklenen bu artışın OECD dışındaki ülkelerde, özellikle Çin, Hindistan, Brezilya, Malezya ve Vietnam'da inşasına başlanan orta ve büyük ölçekli hidroelektrik santrallardan gelmesi beklenirken, OECD ülkelerinde ise gelecekte, Kanada ve Türkiye haricinde, büyük ölçekli çok az hidroelektrik santral inşa projesi öngörülmektedir. OECD ülkelerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışın rüzgar ve biyokütle başta olmak üzere hidrolik dışındaki kaynaklardan karşılanması beklenmektedir. Rüzgar enerjisine olan yatırımlar, OECD-dışı ülkelerde özellikle Çin'de artmaya devam etmektedir. Güneş (PV ve CSP) ve dalga enerjisi uygulamaları ise henüz büyük ölçüde ticarileşme sürecinin başlangıç aşamasında olup, 2035 yılında PV için 352 TWh, CSP için 185 TWh ve dalga enerjisi için de 39 TWh'lik elektrik üretim seviyelerine ulaşılması öngörülmektedir (EÜAŞ, 2010).



Şekil 2.1 : Enerji kaynaklarına göre dünya enerji üretimi (EIA, 2010)

2.2 Türkiye'de Enerji

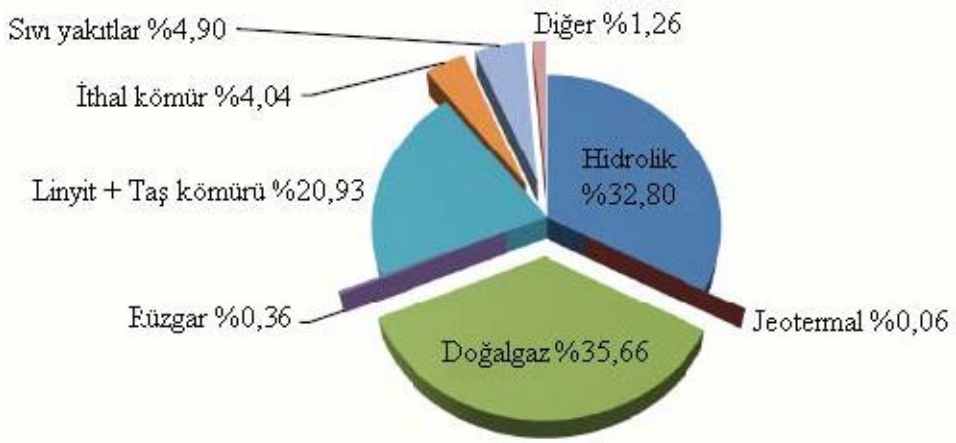
Kaynaklar açısından bakıldığında, 2010 yılı itibariyle, Türkiye toplam elektrik üretiminin %45.9'u doğalgazdan, %18.4'ü yerli kömürden, %24.5'i hidrolik kaynaklardan, %6.9'u ithal kömürden, %2.5'i sıvı yakıtlardan, %1.35'i rüzgardan ve %0.47'si jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır. 2009 yılı ile kıyaslandığında özellikle hidrolik kaynaklardan ve rüzgardan yararlanma oranı artarken, yerli kömür ve doğal gazın oranlarında düşme görülmüştür. EÜAŞ'ın bu üretimde 2008 yılında sahip olduğu pay %49.2'den 2009 sonunda %46.1'e, 2010 yılında da %45.4'e

düşerken, geri kalan %54.6'lık üretim ise özel sektör tarafından karşılanmaktadır (EÜAŞ, 2010; TEİAŞ, 2010).

Sanayinin temel girdileri arasında yer alan enerji sektöründe büyüme rakamları, gelişmiş ülkelere kıyasla oldukça yüksektir. Son 10 yılda Türkiye elektrik ve doğal gaz tüketim artış oranları bakımından Çin'den sonra ikinci sırayı almaktadır (EÜAŞ, 2010).

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi 2006 yılında %8,6 artış ile 174,6 Milyar kWh, 2007 yılında ise %8,8 artış ile 190 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye net tüketimi 2006 yılında 144,1 Milyar kWh, 2007 yılında ise 155,1 Milyar kWh olmuştur.

Türkiye elektrik sisteminin 2007 sonu itibarıyla 40.836 MW olan kurulu gücün 27.271MW'ı (%66,7) termik, 13.563 MW'ı (%33,3) hidrolik ve yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır. Türkiye elektrik üretiminde doğalgaz, hidrolik ve kömür ağırlıklı olarak kullanılmakta jeotermal ve rüzgardan elde edilen elektriğin oranı % 0,42'lerde kalmaktadır. Kurulu gücün %44,60'ı petrol, doğalgaz ve ithal kömüre dayalı santrallerden oluşmaktadır **(Şekil 2.2)**.



Şekil 2.2 : Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (EÜAŞ, 2008)

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2.3.1 Güneş enerjisi

Güneş, hayatın kaynağını ve tüm yenilenebilir enerji türlerinin de başlangıcını oluşturmaktadır. Güneş'in enerji kaynağı olarak kullanımı üzerine son zamanlarda oldukça fazla çalışmalar yapılmıştır. Güneş enerjisinin zaman ve konuma göre

değişiklik göstermesi muhtemeldir. Güneş ışınımlarının kuzey yarım kürede en fazla olduğu yaz aylarında üretilen enerji miktarı, kış aylarına göre daha fazladır. Ayrıca güneş ışınım süresi ekvator bölgesinde en fazla iken kutuplara doğru bir azalma gösterir. Dünyanın çeşitli yörelerinde güneş ışınımlarından en optimum şekilde yararlanabilecek uygun bölgeler seçilerek, güneş enerjisi toplama çiftlikleri kurulmaktadır. Buradaki en büyük sorun diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi enerjinin depolanamaması ve istendiği zaman kullanılamamasıdır (Şen, 2002; Faiman, ve diğ. 2007). Bu konu ile ilgili geliştirme çalışmaları halen sürmektedir. Fosil yakıtların tükenmeye yüz tutması ve çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı bu enerji türü oldukça önem kazanmıştır (Soerensen, 2000). Güneş enerjisinin faydalı ve kullanılabilir bir enerji haline dönüştürülmesi için günümüzde değişik teknolojiler kullanılmaktadır. En sık uygulanan örneklerden biri de ülkemizde de sıkça kullanılan güneş toplayıcıları ile sıcak su elde edilmesidir ve bu yöntem oldukça büyük tasarruf fırsatları oluşturmaktadır. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile bundan sadece yaz aylarında değil, yılın tümünde faydalanma imkanı elde edilebilir. Binalarda güneş gören pencerelerin yüzey alanlarının artırılması gibi bazı basit önlemler ile pasif olarak da güneş enerjisinden faydalanılabilir. Parabolik toplayıcılar güneş ışınımlarını bir noktada odaklamak suretiyle yüksek enerji miktarları elde ederken, güneş pilleri ise doğrudan doğruya güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilirler. 1950'li yıllarda icat edilen güneş pilleri sayesinde elde edilen elektrik enerjisi günümüzde ışıklandırma, ölçüm istasyonlarında, bazı elektronik aletlerde v.b. pratik olarak kullanılmaktadır (Şen, 2002). Güneş ışınları doğrudan olmasa bile diğer doğal olaylarının başlangıcına sebep olur. Hidrolojik çevriminin enerji kaynağı olan güneş ile su yüzeylerinden buharlaşan sular, havada yoğunlaştıktan sonra tekrar yağış olarak yeryüzüne iner. Dolayısıyla yüksek yerlerde oluşan akışlar ve depolanan sular potansiyel enerji olarak kullanılabilir. Sıcaklık farklarından dolayı yüksek basınç merkezlerinden alçak basınç merkezlerine doğru akan hava hareketleri rüzgar ve dalga enerjilerinin kaynağını teşkil etmektedir (McCormick, 1998). Ayrıca okyanuslarda deniz suyundaki sıcaklık farklarından dolayı oluşan akıntılar da enerji kaynağı olarak kullanılır (McCormick, 1998). Güneşte meydana gelen patlamalar ile yeryüzüne ulaşan enerjinin ancak üçte biri atmosferi geçebilir ve geri kalanı atmosferden yansıtılır. Yeryüzü, hayatın devamı için gerekli enerjiyi dengeli ve sürekli bir biçimde alır. Güneş enerjisi hesaplamaları için solarimetre denilen bir alet ile güneş ışınımları ölçülür. Yeryüzüne her sene

düşen güneş ışınımı enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadardır (Şen, 2002). Güneş enerjisinden en fazla şekilde yararlanabilmek için bulunulan bölgenin ikliminin bilinmesi gereklidir. Güneş ısıtıcılarının ana malzemesi olarak kısa dalga boylarını geçirip uzun dalga boylarını geçirmeyen camlar kullanılır. Güneş ışınımının cihaz iç ve dış yüzeyleri ile ısı alışverişi üç şekilde olur.

1) Temas (kondüksiyon),

2) Taşınım (konveksiyon)

3) Işınım (radyasyon)

Dünya güneşten yıllık olarak tüketilen enerjinin yaklaşık 10000 katı kadar büyüklükte sürekli olarak güç alır (Şen, 2002). Bu enerjinin sürekli ve tükenmeyen ve aynı zamanda yenilenebilir ve çevre dostu olduğu da göz önünde tutulmalıdır. Güneş ışınımı hesaplamalarında güneş ışınımı ve güneşlenme süresi gibi iki önemli faktör vardır. Güneş ışınımı miktarlarının tahmini için;

1) Enlem ve boylam dereceleri ile o yerin yüksekliği,

2) Bulutların geometrik ve mikrohidrolojik özellikleri ile yeryüzünden olan yükseklik bakımından konumları,

3) Günün değişik saatlerinde havanın açık, kapalı ve parçalı bulutlu olması durumları, gereklidir.

Bu değişkenler doğru tahmin edildiği takdirde enerji miktarları hassas bir şekilde hesaplanabilir. Bu hesaplamalar için ilk olarak Angström (1924) doğrusal bir ilişki sunmuştur. Daha sonra bir çok araştırmacı çeşitli yaklaşımlarda bulunmuştur (Şahin ve Şen, 1998; Şen 2001, 2004). Güneş enerjisi bakımından ülkemiz oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye'nin birim metre karesinden yılda ortalama olarak 1500kWh güneş enerjisi üretebilir (Şen, 2002). Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından en elverişli bölgeleri Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir.

2.3.2 Rüzgar enerjisi

İnsanoğlu geçmişten bu yana çeşitli yöntemlerle rüzgar gücünü kendi işlerinde kullanmıştır. Rüzgarın yılın hangi mevsimlerinde, günün hangi zamanlarında ve

nerelerde etkili biçimde estiğini tespit ederek ondan yaralanma yoluna gitmiştir. Güneş ışınımının etkisi ve yer yüzeyinin albedosunun farklılığı sonucunda meydana gelen hava hareketleri, atmosferin sınır tabakasında bulunan moleküllerin sürekli olarak hareket etmesini sağlar. Hava kütlelerinin kinetik enerjisi yatay veya düşey bir mil yardımıyla alınabilir (Herbert ve diğ., 2007). Günümüzde rüzgar enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu olması aynı zamanda kaynağı için herhangi bir bedel ödenmemesi dolayısıyla tercih edilmektedir. Bugün yaklaşık olarak yer yüzünde 25,000'e yakın rüzgar türbini ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Birkaç megawatt'a varan kapasitede rüzgar türbinleri imal edilmesine rağmen bugün yaygın olarak kullanılan türbin kapasitesi 600 kW ve 1.2 MW arasındadır. Danimarka toplam elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %20'sini rüzgar gücünden karşılamaktadır. Dünyada 2001 yılının sonunda toplam rüzgar kurulu gücü 25,000 MW'a ulaşmıştır. Clarke (1991), rüzgar santrallerinin artmasıyla, elektrik enerjisi üretimi için kullanılan fosil yakıt miktarlarının dolayısıyla çevrede kirlenmenin azalacağına değinmiştir. Avrupa'daki rüzgar çiftlikleri özellikle 1993 enerji dar boğazından sonra artmıştır. Zaman ve mekanla rüzgar enerjisi potansiyelinin dağılımını anlayabilmek için dönemsel olarak ortaya çıkan değişik ölçekteki hava hareketlerinin incelenmesinde yarar vardır. Rüzgar atmosferde değişik enerji türlerinin dönüşümü sayesinde oluştuğu için, olayın arkasındaki fiziğin anlaşılmasında fayda vardır. Dinamik, termodinamik ve ışınım gibi fiziksel olayların ortaklaşa ve eş zamanda meydana gelmeleri ile rüzgar ortaya çıkar. Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için elimizde uzun süreli rüzgar ölçümleri olması gereklidir. Bir meteoroloji istasyonunda yapılan rüzgar hızı ölçümleri zamansal salınımlar içerir. Aritmetik ortalamayı temsil eden belirgin (durağan) kısım ve ortalama etrafında belirsiz salınımlar yapan kısım olmak üzere ikiye ayrılır. Rüzgar türbinine gelen rüzgar yükleri de paralel olarak iki gruba ayrılır. Bunlardan ilki ortalama rüzgar şiddetidir ki bu, zaman-ortalaması yüklemesi veya sanki-durağan yükleme gibi adlandırılır. Rasgele salınımlar ise türbülansa karşı gelir ve buna da rüzgarın dinamik yükü adı verilir. Bunların ortalaması sıfıra eşittir. Durağan ve türbülanslı rüzgar karakteristikleri göz önünde tutulan ölçeğe bağlıdır. Büyük ölçekli rejimlerde durağan kısım önemli iken, anemometre ile yapılan noktasal küçük ölçekli ölçümlerde türbülanslar önemli hale gelir. Belirgin kısmın zamanla değişimi ihmal edilecek kadar azdır. Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu kısım önemlidir. Salınım rüzgar hızları, türbin kontrolü ve stabilitesi için önemlidir. Rüzgar

enerjisi potansiyelinin hesaplanması için rüzgar hızlarında elde edilen iki parametre önemlidir. Bunlar:

1) Rüzgar hızının zaman olarak kaç defa aşıldığını gösteren histogramlar ve

2) Rüzgar hızının zaman olarak ne kadar bir sürede sürekli olarak aşıldığı ve tekrarlanma aralığı.

Bunlar rüzgardan üretilen enerjiye güvenilirlik ve gerekli depolama seviyelerinin belirlenmesinde kullanılırlar. Genel olarak, rüzgar enerjisi meteorolojik ve jeomorfolojik faktörlerin etkisi altında meydana gelir. Bunlar sırasıyla dinamik ve durağan karakterlidir. Bu iki etken birbirinden bağımsızdır. Birinin etkisinin az olacağı yerde diğeri etkili olabilir. Mesela, tamamen düz olan bir arazide bile atmosferdeki sıcaklık farkından dolayı rüzgar oluşabilir. Atmosfer olayları dinamik bir yapıya sahip olduğu için rüzgar hızı da kaotik davranış içindedir. Jeomorfolojik özellikler dolayısıyla rüzgar enerjisi değişimleri zamansal değil de mekansal değişim özellikleri de gösterir (Şen, 1999). Rüzgar hızının ihtimal ve istatistik yöntemleri ile incelenmesinin yanı sıra fizik, mühendislik ve mimarlık gibi çeşitli disiplinlerden gelen bilgilerin kullanılmasında fayda vardır. Atmosfer sınır tabakasındaki gazların dağılımı, rüzgar enerjisinin en optimum şekilde üretilmesi için konum tespiti ve türbin tasarımı gibi bilgilerin elde edilmesi gerekir. Mevcut meteorolojik istasyonlar arasında tektürlülüğün sağlanması gerekir. Ayrıca bir yerde kurulacak türbin dengesi için ekstrem rüzgar hızı değerlerinin ihtimal ve risk hesaplamaları yapılamalıdır. Rüzgar gücü rüzgarın estiği istikamete dik olarak yerleştirilen birim alana gelen güç ile ifade edilir. Rüzgarın esmesi ile ortaya çıkan şiddetin belirli bir hava kütlesini hareket ettirmesi ile meydana gelen kinetik enerji rüzgardaki enerji olarak karşımıza çıkar.

$$E=1/2\rho h U^3 \qquad \textbf{(2.1)}$$

Rüzgar enerjisi miktarı yukarıdaki formül ile ifade edilir. Burada U rüzgar hızını, ρh ise havanın özgül kütlesini ifade eder.

2.3.3 Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olup, sürekli enerji sağlayabilen bir kaynaktır. Biyokütle enerjisinin kolay depolanabilir olması diğer yenilenebilirlere göre avantaj sağlamaktadır. 1990 yılı

verilerine göre dünya enerjisinin %15'i biyokütleden sağlanmaktadır. Fotosentez olayı ile birlikte enerji içeriği yaklaşık olarak 3x1021 J/yıl olan organik madde meydana gelmekte ve bu değer dünya enerji tüketiminin yaklaşık 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir (TER, 2006).

2.3.4 Jeotermal enerji

Yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerji ile sürekli güç üretilebilmektedir. Jeotermal enerjinin 5-10 MW güçte küçük santraller halinde kurulmaya ve geliştirilmeye uygun olması, uzun dönemde hava değişikliklerinden ve kullanıcılardan etkilenmemesi, fosil yakıtların fiyat dalgalanmalarından bağımsızlığı, fiyatının kömürlü termik santraller ve doğalgaza dayalı termik santrallere göre düşük olması, kapalı sistemlerde yaydığı emisyon değerinin sıfır olması nedeniyle çevre etkilerini göz önüne aldığımızda çok önemli bir enerji kaynağı olmaktadır. Dünyada jeotermal elektrik üretiminde ABD, Filipinler, Italya, Meksika ve Endonezya ilk beş sırayı almaktadır. Dünya jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında ise Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye potansiyel olarak ilk beş ülke içinde yer almaktadırlar (TER, 2006).

2.3.5 Hidroelektrik enerji

Yüzeysel su akışı bol olan ülkeler hidroelektrik enerjiyi sıkça kullanmaktadırlar. Dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %20'ye varan kısmı hidroelektrik enerjiden karşılanmaktadır (Tanwar, 2007). Gelişmiş ülkelerde bu oran %40'lara kadar varmaktadır. Verimleri klasik güç santrallerine göre birkaç kat daha fazla olan bu tesisler ile güvenilir, etkili ve sürdürülebilir bir şekilde enerji sağlamak mümkün olmaktadır. Barajlarda depolanan su hacimleri her an enerjiye dönüştürülmeye hazırken, düzensiz olan elektrik enerjisi taleplerinin karşılanması açısından oldukça büyük avantajlar sağlar. Ancak barajlar genelde çok amaçlı oldukları için işletimlerinin optimum şekilde yapılması şartı vardır. Büyük biriktirme hazneleri birtakım çevresel sorunları da beraberinde getirebilir. Son zamanda mikro ölçekli türbinler vasıtasıyla nehirlerden biriktirme haznesi yapmadan doğrudan elektrik enerjisi elde etmekte mümkün olmaktadır. Hidroelektrik tesisler teknoloji açısından oldukça gelişerek neredeyse en son noktalarına ulaşmış durumdadırlar. Bugün yaklaşık 35 kadar dünya ülkesinin başlıca enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Yıllar boyunca meydana gelen gelişmeler sonucunda enerji üretim verimi %90'lar

mertebesine çıkmıştır. Tarihe bakıldığında, insanoğlunun su gücünden faydalanma yoluna gittiği ve birçok cihaz geliştirmiş olduğu görülecektir. Bunlardan ilki suyu düşük seviyeden yükseğe terfi ettiren su tekerlekleridir. Diğer yandan, su değirmenleri çeşitli amaçlar için kullanılmışlardır. Hidroelektrik enerji aslında barajların haznelerinde biriken suyun potansiyel enerji olarak depo edilmiş halidir. Elektrik enerjisine dönüştürülmesi için önce hareket sağlanarak yani yüksekten düşürülerek kinetik enerji kazandırılır sonra da türbinlerden geçirilir. Hidroelektrik enerji miktarına etki eden parametreler net düşüm yüksekliği, geçirilen debi ve türbin verimidir. Elde edilecek güç düşüm yüksekliği ve debi ile doğru orantılıdır. Teorik olarak elde edilebilecek enerji miktarı;

$$PH = \gamma Q \Delta H \ (1.2) \qquad \textbf{(2.2)}$$

ile hesaplanır. Burada Q debiyi, H ise düşüm yüksekliğini gösterir. Barajlardaki potansiyel enerji suyun düşürülmesi ile dönme hareketine yani kinetik enerjiye ve sonunda üreticiler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Tabii ki bu dönüşümler esnasında bir miktar enerji kaybolmaktadır. Düşüm yüksekliği ve üretilmesi planlanan enerji türbin seçiminde kullanılan iki önemli karar değişkenidir. Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi çalışmalarında, brüt potansiyel, teknik potansiyel ve ekonomik potansiyel kavramları kullanılmaktadır. Brüt su kuvveti potansiyeli bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teorik üst sınırını gösterir ve mevcut düşü ve ortalama debiden hesaplanır. Topoğrafya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan brüt hidroelektrik enerji potansiyeli, ülkemiz için 433 milyar kWh mertebesindedir (EİE, 2006). Bir akarsu havzasında teknolojik olarak üretilebilecek hidroelektrik enerjinin en büyük değeri, teknik yönden değerlendirilebilir su kuvveti potansiyelini verir. Düşü, akım ve dönüşümde uygulanan teknolojiye bağlı olarak oluşabilecek kaçınılmaz kayıplar göz ardı edilmektedir. Bölgede planlanan hidroelektrik projelerin teknik açıdan uygulanabilmesi mümkün olan tümünün gerçekleştirilmesi ile elde edilecek hidroelektrik enerji üretiminin sınırlarını belirler. Ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel ise gerek teknik açıdan geliştirilebilmesi mümkün, gerekse ekonomik yönden tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir. Bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik açıdan en iyilenmesi sonucu elde edilen değeri verir. Bir başka deyişle ekonomik olarak

yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, beklenen faydaların, proje ve uygulama maliyetlerinden fazla olan hidroelektrik enerji üretimini göstermektedir.

2.3.6 Dalga enerjisi

Dünyada tüketilen enerji miktarının, önümüzdeki on yılda önemli bir şekilde artacağı tahmin edilmektedir (Beccali ve diğ., 2004). Geleneksel enerji üretim metodları çevre kirliliğine yol açtığı için artık bir çok ülke temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmıştır. Enerji sektörü, yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yol alan, yeni çözüm yolları arayışındadır ve bu arayış geleneksel bir çok yöntemi baştan aşağı değiştirecek bir dönüşüm vaad etmektedir.

Yenilenebilir enerji endüstrisine göz atıldığında dalga enerjisi endüstrisi ön plana çıkmaktadır. Teknolojisinin yeni olması ve rüzgar enerjisi gibi belli bir seviyeye gelmiş teknolojilerle rekabet edememesi gibi olumsuzluklara rağmen, bu enerji türüne bir çok ülke tarafından artan bir ilgi vardır. Deniz dalgalarının en önemli özelliği, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Deniz dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi bir çok araştırıcı tarafından irdelenmiştir. Kullanılabilir enerji haline dönüştürülmesi fikri yeni değildir. Bir çok dalga enerjisi dönüştürücüsü tasarlanmış ve model ölçeğinde test edilmiştir (McCormick, 1981).

3. DALGA ENERJİSİ

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, gel-git (med-cezir) enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisi olarak sıralanabilir. Çevre faktörleriyle, birlikte türbinlerin verimi de göz önüne alındığında, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisini günümüz teknolojik sistemleriyle ekonomik olarak elektrik enerjisine dönüştürme olanağı mümkün olmamaktadır (Graw, 1995; Örer ve diğ., 2003). Devamlı olarak yinelenen kaynaklar olarak tanımlanan doğal enerji kaynaklarından olan dalga enerjisi, Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güçtür şeklinde ifade edilebilir.

3.1 Dalga Enerjisinin Tarihçesi

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

Deniz dalga enerjisinden yararlanma fikri sonucu ilk patentli teknikler 1799 yılında Girand ve Son'a (Fransa) aittir. 1932 yılında dalgaların büyük gücünü fark eden Osborn Havelock papazları, 1933'te dalga enerjisi düşüncelerine patent almışlardır. Leishman ve Scobie 1955-1973 yılları periyodundaki ilk İngiliz patentinden başlayarak dalga gücünden enerji alarak çalışan sistemleri ve gelişmelerini belgelemişlerdir. O yıllarda 340 patent bulunmaktadır. Dalga enerjisi konusunda 1932 yılından 2001 yılına kadar alınan patent sayısı 259, 2003 Mart ayı itibari ile 292 olarak tespit edilmiştir (Ün, 2003). Bir çok dalga enerjisi dönüşüm sisteminin dizayn

ve model bazında test ve konfigürasyonları yapılmış ve bazıları halen kullanılmaktadır. Bugün itibariyle dalga enerjisi üretim sistemleri üzerine 1000'in üzerinde patent alınmıştır (Pelc, 2002 ; Ün, 2003). Avrupa'da ve dünyada dalga enerjisi dönüşümü konusunda ileri seviyede araştırmalar devam etmiş, ancak bu çalışmalar 1973 yılındaki petrol fiyatlarının artışından sonra daha da hızlanmıştır. Dalga enerjisi kaynakları olan bir çok farklı Avrupa ülkesi dalga enerjisini enerji temini için potansiyel olarak görmüş ve programlar baslatmışlardır. İngiltere, Portekiz, İrlanda, Norveç, İsveç ve Danimarka ülkeleri başta olmak üzere kısa ve uzun dönem amaçlı dalga enerjisi transferi üzerine çalışmaya başlamışlardır. Bu alanda; Shaw, Lewis, Salter, Ross, Petrocint, Thorpe ve diğerleri tarafından çalışmalar yapılmaktadır. 1986 yılından itibaren bu alandaki çalışmaları gözleyen Avrupa Birligi verdiği teşvikle bu alandaki çalışmalara hız katmıştır. Komisyonun çalışmaları etkili olarak 1994 yılında "Framework" programıyla başlamış ve benzer çalışmalar bu programı takip etmiştir. 1993'ten başlayarak komisyon bir konferansı teşvik ederek bu alandaki çalışmaları canlandırma ve Avrupa'da okullarda, araştırma merkezleri ve endüstrideki çalışmaları koordine etmiştir. Son 25 yılda dalga enerjisi çalışmaları devirli bir sürece girmiş ve zaman zaman mutlu edici, zaman zaman olumsuzluklarla sonuçlanan neticeler alınmıştır. Halen bir çok proje, sistemlerin büyük boyutlarda, ağır koşullarda çalışabileceğini ispatlamış olup, Avrupa, Avustralya, İsrail, Amerika, Japonya ve diğer ülkelerde son zamanlarda bu sistemler kurulmuştur (Clément ve diğ., 2002).

3.2 Dalga Enerjisi Potansiyeli ve Yapılan Çalışmalar

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

Dalga enerjisinin, üç yanı denizlerle çevrili ülkemizde yararlanılması gereken başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olmasının yanında, gerek ülkemizde, gerekse dünyada büyük dalga enerjisi potansiyeli mevcuttur. Dalganın gücünün, genliğinin karesi ve

hareket periyodu ile orantılı olması nedeniyle uzun periyotlu (~7-10 s), büyük genlikli (~2m) dalgaların, metre olarak genişliği başına 40-70 kW enerji oluşmaktadır. Bunun yanında dalga enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi dünyada düzenli dağılıma sahip değildir. Dünyada yüksek dalga potansiyeline sahip birkaç bölge bulunmakta ve her iki yarım kürede ~30° ve ~60° enlemler arasında dalga hareketi batı rüzgarlarının hakimiyeti sebebiyle yüksek değere ulaşmaktadır.

Dünya genelinde, elektrik üretiminde dalga enerjisi potansiyelinin 2000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Dalga enerjisi potansiyeli şu an için fosil kökenli yakıtlarla rekabet edebilecek durumda olmamakla birlikte son yıllarda maliyetler düşmektedir (Ün, 2003). Geçen 10 yıl içinde kıyıya yakın ve kıyıdan uzak uygulamaların mali degişimleri incelendiğinde, firmaların tasarım esnasında 10 cent/kWh'den daha az hatta 5 cent/kWh'e düşebilecek maliyetleri amaçladığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda da, tahmin edilen bu maliyet, dalga enerjisi tesislerinin diğer geleneksel güç tesisleriyle rekabet edebilecek seviyeye gelmesine imkan sağlamaktadır (Pelc ve diğ. 2002; Ün, 2003).

Dalgalar bir kere yaratıldıktan sonra çok az enerji kayıpları ile binlerce kilometre seyahat ederler. Atlantik'in Amerika tarafında oluşan bir dalga, batı rüzgarlarının da etkisiyle batı Avrupa sahillerine ulaşır. Derin (açık) denizlerdeki enerji akımı çok büyük olmaktadır. Sahillere yakın bölgelerde ise deniz tabanı etkileşiminden dolayı ortalama enerji yoğunluğu düşüş gösterir. Kıyı bölgelerdeki oluşan enerji kayıpları kırılma, kırınım, yansıma, sapma gibi doğal olaylarla belli noktalarda enerji oluşumuna neden olur. Atlantik'in fırtınalı kısımlarındaki bu bölge batı Avrupa sahilleri ve yüksek enerji bölgesi olarak karakterize edilir. Buna karşın sadece Güney Amerika'nın güney kısmı ve Antipodelar da Atlantik'teki kutupsal fırtınalardan dolayı daha yüksek enerji bölgesi olarak nitelendirilebilirler. Son araştırmalara göre Atlantik'in kuzey batı sahilleri ve kuzey denizi bölgesinde 2906 W'lik enerji (güç) kaynağı bulunmaktadır. Avrupa'nın güney Atlantik sahillerinde 25 kW/m'ye kadar ulaşan İrlanda ve İskoçya sahillerinde ise 75 kW/m'ye kadar ulaşan (yıllık bazda) güç kaynakları vardır. Daha kuzeye gidildikçe, Norveç sahillerinde güç kaynakları yıllık bazda 30 kW/m'ye kadar düşmektedir. Kuzey denizine gidildiğinde korunmasız bölgelerdeki 21 kW/m (yıllık) güç potansiyeli, korumalı güney sahillerine gidildiğinde bu değerlerin yarısına inmektedir. Akdeniz'de ise güç kaynagı 4~11 kW/m (yıllık) aralığında değişip en yoğun, güçlü kaynak bölgesi Ege

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

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

3.3 Dünyada Dalga Enerjisi Potansiyeli

Avrupa'da bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmaları bir çok ülkede sürmektedir. Dalga enerjisinin üretimi ve tüketimi ülkenin sağladığı doğal imkanlardan ileri gelmektedir.

Yüksek kaynak potansiyeline sahip ülkelerde çalışmalar, bu ülkelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek seviyelere kadar ilerleyebilir. Danimarka, İrlanda, Norveç, Portekiz, İsveç ve İngiltere bu alandaki araştırmalarına yıllar önce başlamıştır. Avrupa dışında Avustralya, Kanada, Çin, İran, Endonezya, İsrail, Japonya, Kore, Meksika, Rusya, Sri-Lanka ve ABD bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir (Clément ve diğ., 2002).

3.3.1 Danimarka

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

3.3.2 İrlanda

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

3.3.3 Norveç

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

3.3.4 Portekiz

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

3.3.5 İsveç

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

3.3.6 İngiltere

Atlantik'in batı kıyısında, büyük fırtınaların olduğu ve batı rüzgarlarının etkisinde kalan bir bölgeye sahiptir. Yıllık potansiyel tahmini 120 GW'dır. 1973 yılında tüm dünyayı sarsan petrol krizi ile birlikte Edinburg Üniversitesince çalışmalara başlanmıştır. 1974 yılında S.Solter bu alandaki çalışmalarını yayımlamış ve aynı süreçte en az 10 dalga enerjisi projesi başlatılmıştır. 1983'e kadar devletin desteğiyle

geniş kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. 1999 yılındaki LIMPET OWC projesinin başarısı 3. Scottish Renewable Obligation (SRO-3) 3 yeni projeye start vermiştir. 2 MW enerji üretecek olan bu 3 proje 15 yıllık bir anlaşma ile ödüllendirilerek 2003 yılı itibariyle Limpet, Pelamis, Flooting, Wave Power Vessel (FWPV) dönüşüm sistemleri Scotland'ın batı kıyısındaki Islay adası ve Shetland'ın elektrik ihtiyacını karşılayacaktır (Clément ve diğ., 2002).

3.3.7 Belçika, Hollanda, Almanya

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

3.3.8 Fransa

Atlantik ve Akdeniz ile uzun sahillere sahip olan Fransa'daki potansiyel bölge Gascoigne'nin Guif bölgesidir. Yıllık güç kapasitesi 40 kW/m ve potansiyeli 28 GW tahmin edilmektedir. Ülkenin Akdeniz sahillerindeki üretimin 4-5 kW/m olduğu tahmin edilir. Yüzyılın sonuna doğru önemli projeler olsa da ülke bu alanda önemli bir gelişme sağlayamamıştır (Clément ve diğ., 2002).

3.3.9 Yunanistan

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

3.3.10 İtalya

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

3.3.11 Avustralya

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

3.3.12 Hindistan

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

3.3.13 İsrail

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

3.3.14 Japonya

35000 kW'lik enerji alımıyla dış güçlere bağlı bir ülke olup bu alandaki çalışmalar sürekli desteklenmektedir. Ülkede bir çok firma tarafından çalışmalar sürdürülmektedir. Şu an için büyük ölçekli açık deniz projesi olan Mighty Whale gerçekleştirilmiştir. Ayrıca diğer küçük ölçekli projeler limanlar, terminaller ve basit aydınlatmalarda kullanılmaktadır. Masuda tarafından tasarlanan şamandıra tipli bir santralden yaklaşık 1200 tane üretilmiş ve bunlardan 20 yıl kullanılanlar olmuştur. Böyle bir santral, 1983'te Japonya'nın Sanze bölgesinde yapılmış olup, 40 kW güce sahiptir. Ayrıca başka bir santral, 30 kW güçtedir ve 1987 yılından beri Japonya'nın Kujukuri bölgesinde çalıştırılmaktadır. Bunların dışında Niigata'da hem dalgakıran olarak kullanılan hem de 40 kW güç üretecek şekilde yapılan santral iki yıl kullanılmıştır. Sakata'da inşa edilmiş santral, hem dalgakıran olarak hizmet verirken, hem de 60 kW nominal güce sahip bir türbini çalıştırmaktadır (Clément ve diğ., 2002).

3.3.15 Sri-Lanka

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

3.3.16 Amerika Birleşik Devletleri

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

3.4 Türkiye'de Dalga Enerjisi Potansiyeli

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

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

Ayrıca Karadeniz'e ait dalga rasatları olmamakla birlikte, ortalama dalga gücünün Çeşme'den daha yüksek olacağı aşikardır. Türkiye'nin Batı, özellikle Kuzey kıyılarının dalga enerjisi yönünden oldukça zengin olduğu görülmekte ve bu kıyılarda özellikle Tapchan tipi ve sabit OWC sistemleri kurularak, ilgili bölgelerdeki küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi gereksinimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir (Örer vd., 2003).

4. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

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

Dalga enerji düzeyinin yıl boyunca mevsimlere bağlı olarak gösterdigi degişikliklerin yanı sıra, çok kısa sayılabilecek zaman aralıklarında da görülebilen değişimler, bu sistemlerde önemli gelişmelerin oluşmasına neden olmuştur (Jun ve diğ., 1990). Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin tesis edileceği yer, büyük dalga kuvvetleri ve şiddetli deniz fırtınaları göz önünde bulundurulduğunda büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, o yöreye ait sadece dalga yüksekliği göz önünde bulundurulmayıp, rüzgar ve dalga istatistikleri yapılıp, bu uzun dönem rüzgar dalga istatistiklerine göre dizayn edilmelidir. Kaldı ki daha önce bu çalışmaların yeterince yapılmaması nedeniyle bir çok dönüştürücü sistemin dalga etkileri yüzünden kullanılmaz hale geldiği, hasar gördüğü literatürde yer almaktadır. İdeal bir dönüştürücü sistemi rastgele değişimler gösteren enerji verilerini kabul edebilen, dalga yönündeki olumsuzluklardan fazla etkilenmeyen, kısa süreli bir depolama kabiliyeti ile enerji düzeyindeki değişimleri karşılayabilen ve ayrıca tasarım düzeyinin çok üzerinde çıkabilecek enerji girdilerine de direnç göstererek bu durumlarda dönüştürme verimini kademeli olarak azaltabilecek özelliklere sahip olmalıdır (Jun ve diğ., 1990). Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana parametreleridir. Dalga

enerjisinin bir avantajı da, her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesidir (Clément ve diğ., 2002).

4.1 Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları

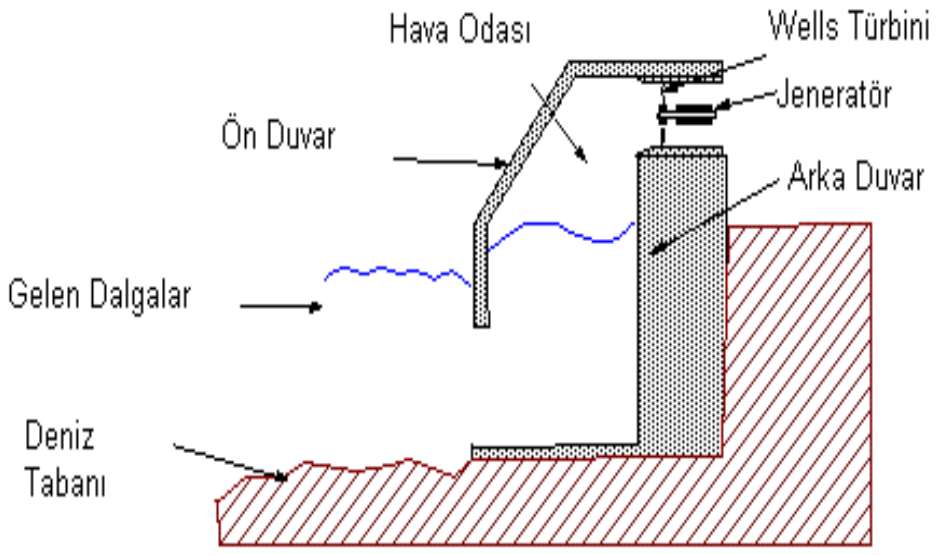
Bu tür uygulamalarda enerji dönüşüm sistemleri kıyıda sabitlenmiş veya gömülü şekilde bulunurlar. Bakım ve inşası diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Buna karşılık daha az güce sahip dalga rejimi nedeniyle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

4.1.1 Salınımlı Su Kolonu (OWC: Oscillating Water Column)

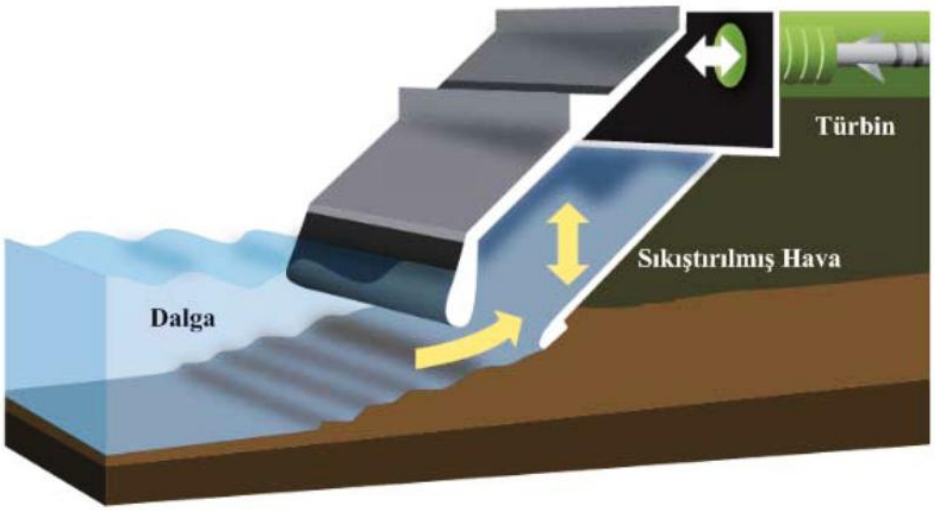
Bu tür yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur olarak dizayn edilirler. Sistemlerde bir su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu mevcuttur. Buradaki temel prensip su seviyesi üzerinde yer alan bir kapalı hacimde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

edilebilecek enerjinin yarısından fazlasının kaybı anlamına gelmektedir. Sistemin üretebileceği maksimum enerjiyi üretmek için havanın basılması ve emilmesi esnasında dönecek ve jeneratöre aynı yönde hareket iletecek bir türbinine ihtiyaç duyulmaktadır. Hareketli su kolonu enerji dönüşüm sistemi prototipi ikinci dünya savaşından hemen sonra Yoshio Masuda tarafından denenmiş ve alınan sonuçlar günümüzde bu sistemle çalışan bir çok bilim adamına öncülük etmiştir. Masuda prototipinde hem kolona hava emilirken, hem de kolondan hava basılırken jeneratöre tek bir yönde hareket ileten Wells Türbini'ni kullanmıştır. Bu türbinin en önemli özelliği, her bir kanadın kanat merkezinden geçen eksene göre simetrik olmasıdır. Günümüzde Wells Türbini tek bir pervaneden oluşmamakta, iki pervaneli "duo" ve üç pervaneli "tandem" modelleri mevcuttur. Kanat boyutlarını ve sayılarını optimize edebilmek için sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi nümerik yöntemlere ve deneylere başvurulmaktadır (McCormick, 1981 ; Bak, 2003).

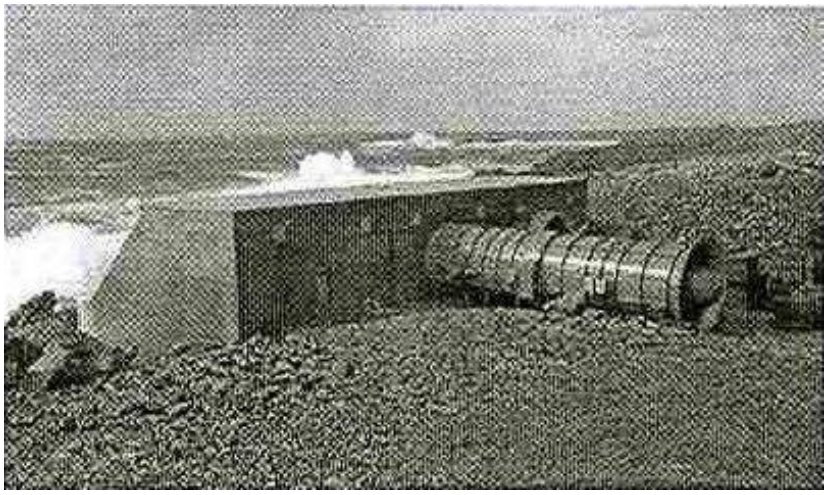
OWC sistemi **Şekil 4.1** ve **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir. Bu dönüşüm sistemlerinin dünya genelinde birkaç çeşidi geliştirilmiştir. Bunlarda; Europen Pilot Tesisi, Portekiz Azures de Pico adasında geliştirilmiştir. 400 kW'lık bu sistem test amaçlı kurulmuştur. İngiltere'de Belfast Queen's Üniversitesi tarafından 1991 tarihinde Islay adasında 75 kW'lık bir prototip olan **Şekil 4.3**'te gösterilen Limpet OWC kurulmuştur.



Şekil 4.1 : OWC Dalga enerjisi dönüşüm sistemi kesiti



Şekil 4.2 : Salınımlı Su Sütunu

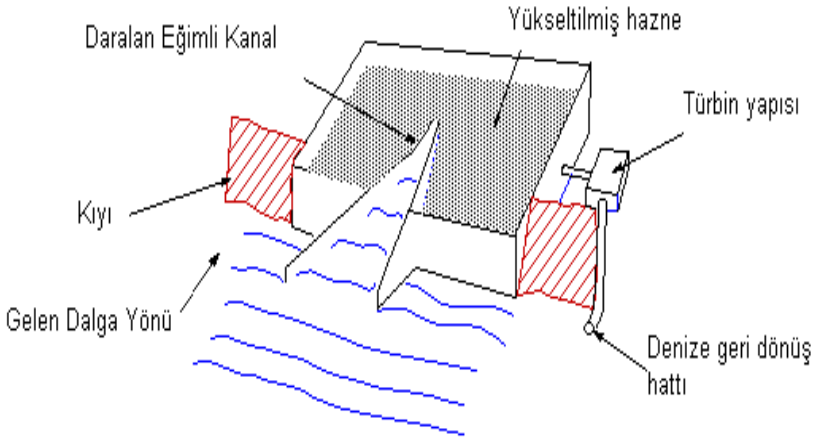


Şekil 4.3 : Limpet OWC (Clément ve diğ., 2002).

4.1.2 Daralan kanal sistemi (TAPCHAN: Tapperated Channel Device)

Bu sistem geleneksel hidroelektrik enerji üretim sistemiyle aynı prensibe dayanmaktadır. Bu sistemler su seviyesinin 3 - 5m. Üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır **(Şekil 4.4).** Kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığından hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenirliliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Bununla beraber bütün kıyı kesimleri için

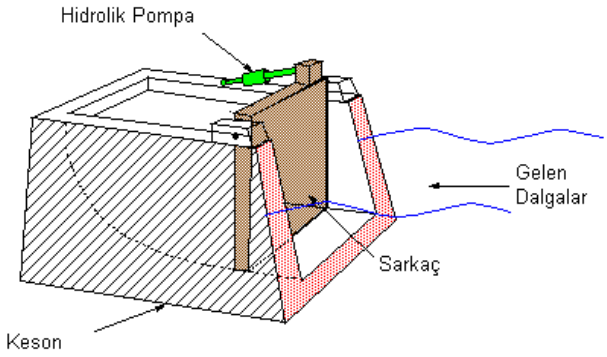
uygulanabilirliği yoktur. Bu sistemde asıl enerji dönüşüm sistemlerini oluşturan türbin ve jeneratörün açık deniz koşullarına maruz kalmamaları en temel avantajıdır. Sistemin çalışma prensibi gereği suyun akışını hareket enerjisine dönüştürme görevini yerine getiren türbin tek yönde dönecek şekilde tasarlanır (Mc Cormick 1981 ; Clément ve diğ., 2002).



Şekil 4.4 : Daralan Kanal (TAPCHAN) Sistemi

4.1.3 Sarkaç tipi dönüşüm sistemi (PENDULAR)

Bu sistem bir enerji dönüşüm sisteminden çok bir dalgakıran seklinde düşünülür. Sistem, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir. Bu açık kısma sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Hızla gelen dalga bu kapağa çarpmakta ve onu ileri geri hareket ettirmektedir. Bu nedenle bu sistemin kapağına kapak yerine sarkaç denmektedir. Kapak gelen dalga karşısında içeriye doğru açılırken temel yapı içine de suyun girmesine kısmen izin verilir. Dalga enerjisini kaybettikten sonra dalga tepesi yerini dalga çukuruna bıraktığında sarkacın ağırlığının oluşturduğu basınç temel içindeki suyun basıncından yüksek olmakta ve sarkaç suyu temelden dışarıya basmaktadır. Böylece bu hareket ileri-geri sürekli devam etmekte ve sarkacın kendisine bağlı olan bir hidrolik pompayı tahrik ederek enerji üretimi ve dalga yüksekliğinin indirgenmesi sağlanmaktadır Sistem **Şekil 4.5**'te gösterilmiştir (Bak, 2003).



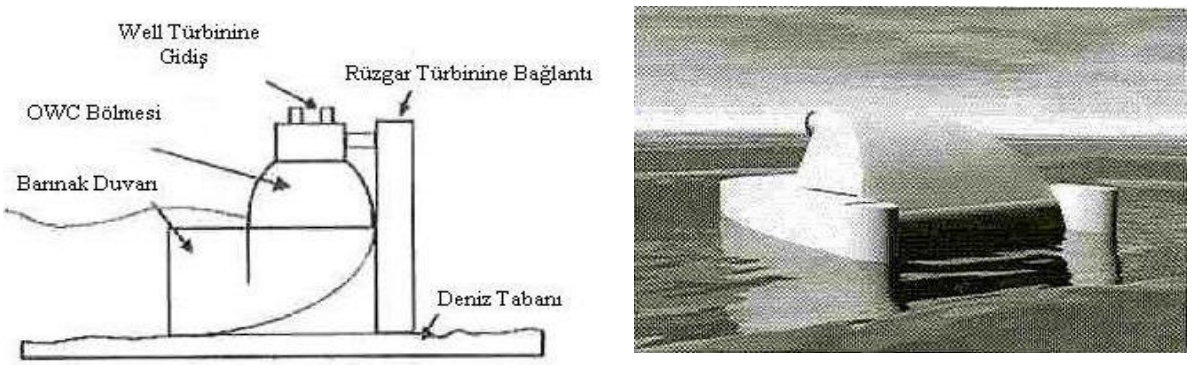
Şekil 4.5 : Pendular sisteminin şematik gösterimi

4.2 Yakın Kıyı Tipi (Near Shore) Uygulamalar

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

4.2.1 OSPREY

Wavegen tarafından gelistirilen OSPREY'in gücü 1,5 MW'lik bir rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkartılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmakta ve özellikle inşa maliyetinin azaltılması maksadıyla çalışmalar devam etmektedir. İlk prototip olan OSPREY I, kurulum aşamasında (1996) çelik gövdeli sistem problem yaratmıştır. Yeni OSPREY 2000 ise kompozit malzemeden açık denizlerde kısa sürede kurulacak şekilde imal edilmiştir. 15 m. su derinliğinde ve kıyıdan 1 km uzaklıklara kurulacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem **Şekil 4.6**'da gösterilmektedir. (Clément ve diğ., 2002 ; Ün, 2003).



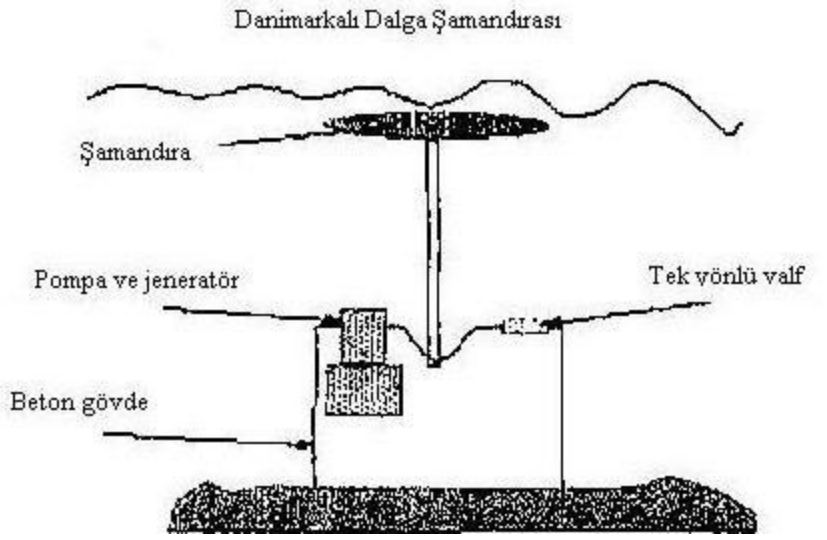
Şekil 4.6 : OSPREY (Clément ve diğ, 2002).

4.2.2 WOSP 3500 (Rüzgar ve okyanus salınım enerjisi)

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

4.2.3 Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi

En basit dalga pompası sistemlerinden biridir. Sistemin gövdesi deniz dibine bağlanır ve sistemin üzerinde iki açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıklardan biri sisteme deniz suyu girişini, digeri ise sistemden su çıkışını sağlamaktadır. Giriş kısmına tek yönlü bir valf, sistem çıkışına bir türbin konulmaktadır. Türbin bir jeneratöre bağlanmakta, sistemin içerisine giren suyun türbine basılması için gereken enerji piston hareketi ile elde edilmektedir. Söz konusu "piston" hareketi dalga tepe ya da çukuruna göre yukarıya veya asağıya hareket eden şamandıra vasıtasıyla sağlanır. Sistem **Şekil 4.7**'de gösterilmektedir (Bak, 2003).

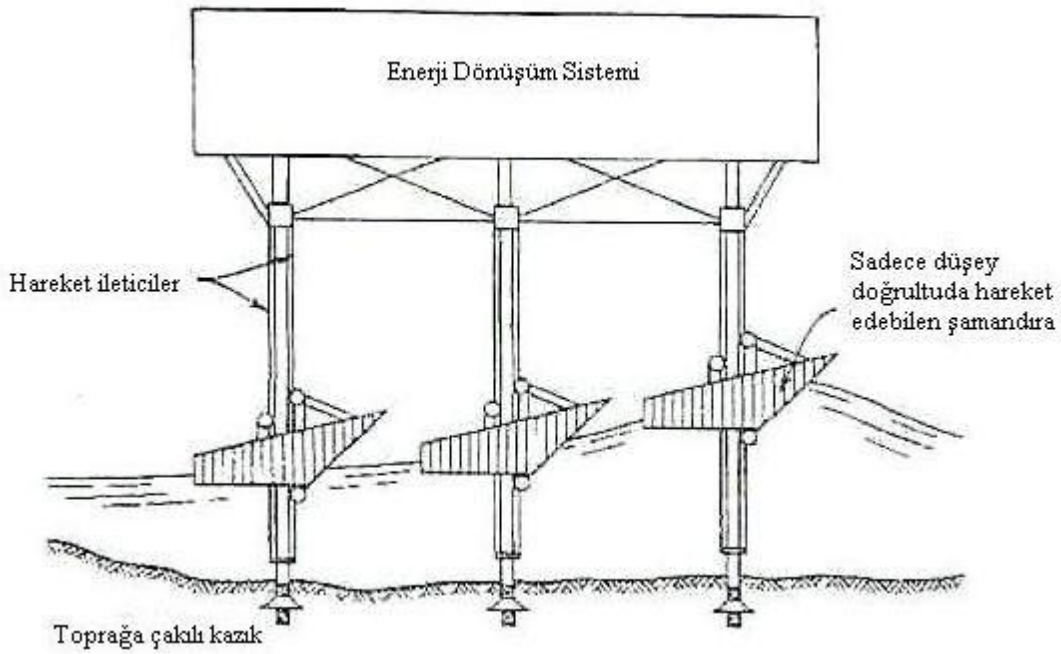


Şekil 4.7 : Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).

4.2.4 Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi

Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin büyük çoğunluğunda en önemli ve hassas elemanları olan türbin, jeneratör gibi parçalar su seviyesinde veya altında yer almakta olup, bu elemanların deniz suyu kimyasal etkileri ve dalga kuvvetlerinden olumsuz etkilenmeleri en önemli problemi yaratmaktadır. Bu olumsuzluk farklı avantajlı sistem arayıslarını sürekli gündemde tutmaktadır. Dalga motoru P. Wright tarafından 20. yüzyılın başlarında patent almıştır. Sistemde jeneratörün deniz

seviyesinden yukarıda olması yukarıda bahsedilen olumsuzluğun giderilmesinde avantaj sağlamıştır. Deniz dibinde çakılı kazıklara asılan halatlara su seviyesi civarında şamandıralar asılmak suretiyle dalga tepe çukuruna göre şamandıralar aşağıya ve yukarıya doğru hareket ederler. Böylece hareket eden halatlar, hareketi sistemin en üst noktasındaki jeneratöre iletirler. Bu sistemlerde en büyük dezavantaj uzun süre dayanım için tercih edilen halatların sürtünme dirençleri nedeniyle kayıplar oluşturmalarıdır. Halatların çelikten yapılması düşünülmekte ancak bu da deniz suyunun özellikleri nedeniyle korozyona maruz kalmakta ve kısa sürede deforme olmaktadır (Mc Cormick, 1981; Bak, 2003). Sistem **Şekil 4.8**'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Dalga motoru enerji dönüşüm sistemi (McCormick, 1981)

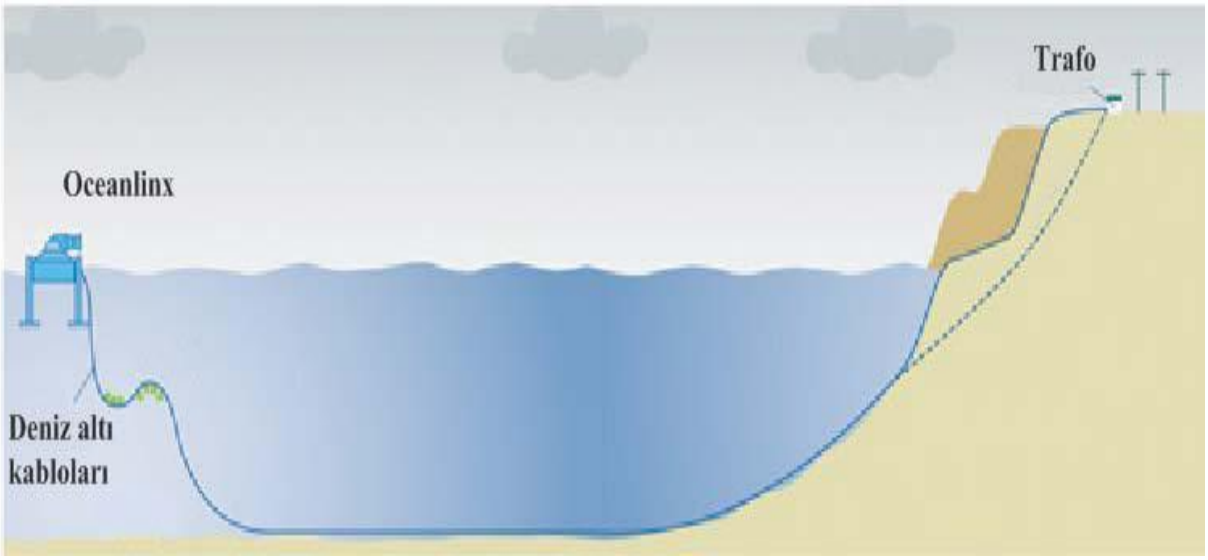
4.2.5 Oceanlinx

Oceanlinx, yeni nesil SSS sisteminin bir uyarlamasıdır. Sistem genel olarak SSS sistemi ile aynı karakteristikte çalışmakta ve elektrik üretimi benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Sistem parabolik bir duvara sahiptir ve bu duvar dalgaları sütuna odaklamaktadır (Oceanlinx, 2009).

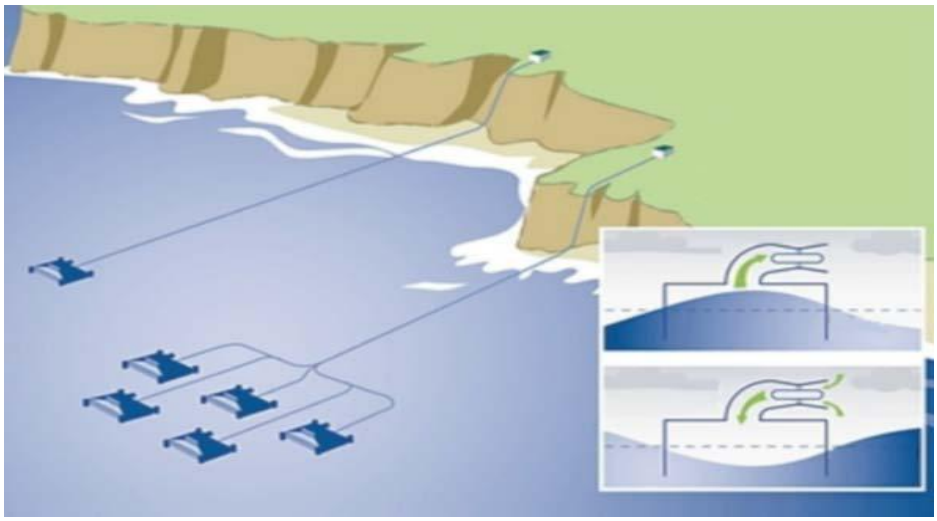


Şekil 4.9 : Oceanlinx (Peswiki, 2010)

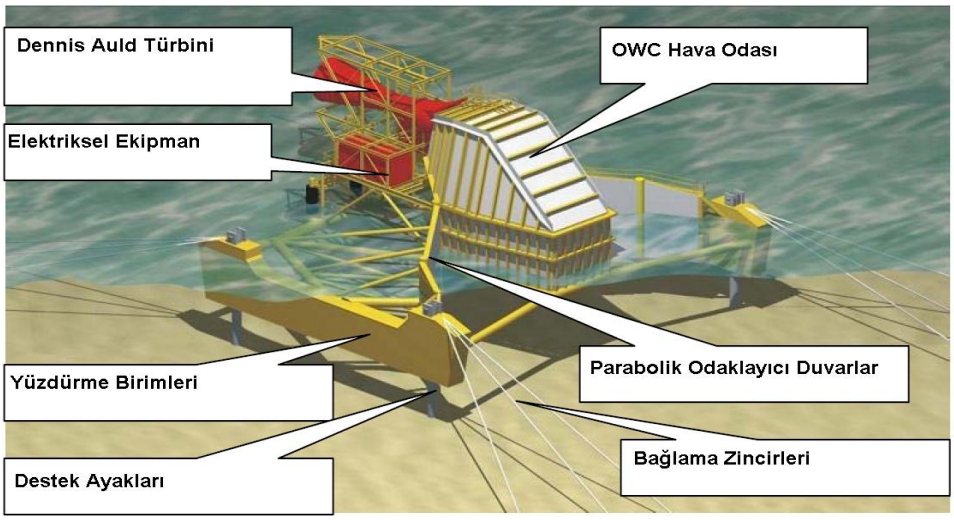
Sistemde, geleneksel SSS sisteminde kullanılan sütundan farklı olarak genişliği daralan bir sütun kullanılmıştır. Genişliği daralan sütun içerisindeki hava, daralan yapıdan dolayı, en yüksek hıza ulaşır ve türbinden geçerken maksimum düzeyde enerji elde edilmesine olanaktanır. Oceanlinx sisteminin özü bu daralan formdaki sütuna dayanmaktadır (Oceanlinx, 2009). Üretilen elektrik enerjisi kıyıya su altı kabloları ile taşınmaktadır.



Şekil 4.10 : Su altı elektrik iletim hattı (Peswiki, 2010)



Şekil 4.11 : Dalga tepesi ve çukuru sırasında türbine hava girişi (Peswiki, 2010)



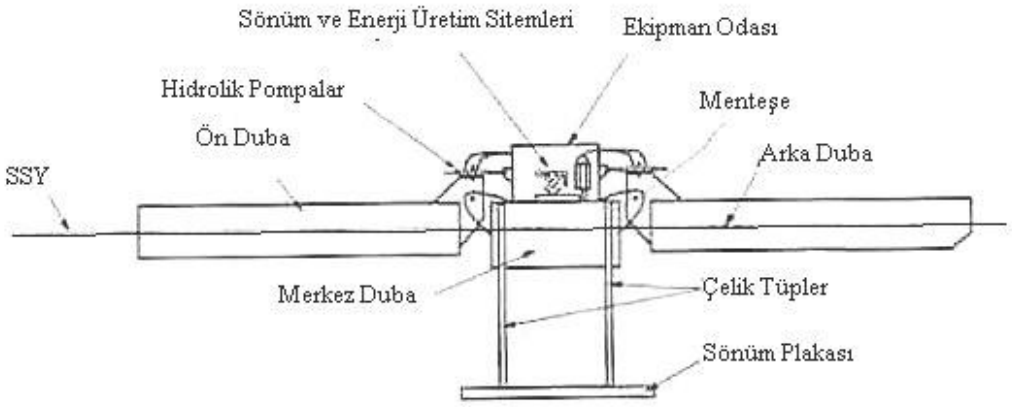
Şekil 4.12 : ENERGETECH firmasının OWC sistemi (Hagerman ve Bedard, 2003)

4.3 Açık Deniz Tipi (Off-shore) Uygulamalar

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

4.3.1 McCabe dalga pompası

Bu sistem 1980'de teorik çalışmalar ve deneyimler sonucu Peter McCabe tarafından oluşturulmustur. Sistem birbirine menteşe ile bağlanmış, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4m. genişliğinde) dubadan oluşmaktadır. Bu sayede sistem denize göre kendini ayarlayabilme özelliğine sahiptir. Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasına monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. 40 m. uzunluğundaki bir prototip 1996 yılında Kilbaha, Country Clare ve İrlanda'da kurulmuştur. Sistem şematik olarak **Şekil 4.13**'te gösterilmiştir (Clément ve diğ., 2002).

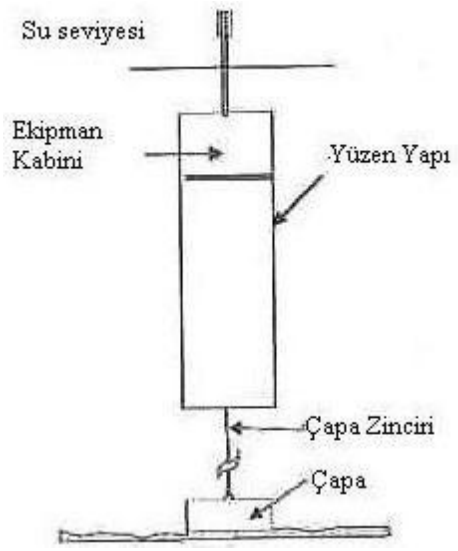


Şekil 4.13 : McCabe dalga pompası (Clément ve diğ., 2002).

4.3.2 OPT dalga enerji dönüştürücüsü

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

yöntemiyle kapasitenin artırımı amaçlanmıştır (Clément ve diğ., 2002). Sistem **Şekil 4.14**'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14 : OPT enerji dönüşüm sistemi (Clément ve diğ., 2002).

4.3.3 Pelamis

Sistemin şeklinden dolayı, bir deniz yılanı cinsi olan "pelamis" in ismi bu sisteme verilmiştir. Yapı kısmi olarak su içinde yer alan menteşelerle birbirine bağlantılı silindirik şamandıralardan olusan eklemli bir yapıdır. Sistem deniz yüzeyine yerleştirilirken yer değiştirmesini önlemek için bazı noktalarından deniz dibine sabitlenir. Uzun Pelamis gelen bir dalga karşısında su yüzeyinde kalacak şekilde hareket eder. Hidrolik silindirler içinde yer alan hidrolik yağı, silindirler içinde hareket ederken yine silindirler içinde yer alan ve hidrolik sıvının hareketiyle tahrik edilen bir pompayı harekete geçirir. Jeneratöre bağlı bu pompa jeneratörün çalışmasıyla elektrik üretimine sebep olur. Üretilen elektrik deniz dibinden kablolar vasıtasıyla karaya iletilir. "Ocean Power Delivery Ltd." sirketinin patenti olan bu sistem açık deniz yapılarında kullanım için ideal olarak düşünülebilir. Şirket tarafından 130 m. uzunlugunda, 3,5 m. genişliğinde 375 kW gücünde silindirler kullanmak suretiyle sistemden uygun şartlarda düzenli olarak 375 kW gücünde, 0.75 MW enerji elde edilmesi planlanmıştır. Ancak bu sistemin kullanılmasında deniz dibinden geçirilecek enerji nakil hatlarının tesis edilmesi ile bakım masraflarının yüksek olması bir dezavantajdır. Bu maksatla bu tür sistemlerin öncelikle deniz platformları için uygulanmaları daha mantıklı olacaktır. Sistemin 130 m. uzunluğa sahip olması nedeni ile aynı anda çok farklı dalga yüklerinin farklı yönlerde ve

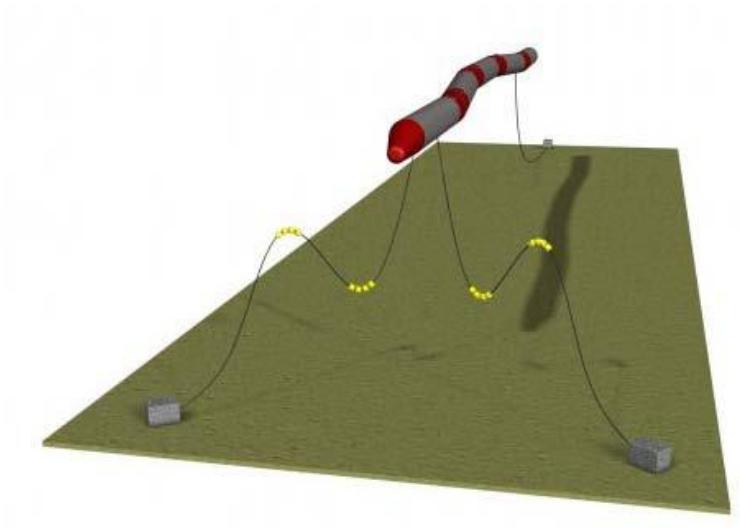
siddetlerde etkimesi sonucunda bu yükler esnek bağları zorlayacak ve sistemi dibe sabitlemede kullanılan halatların ani yüklerle gerilmelerine ve yıpranmalarına neden olacaktır. Bunun için dibe bağlı halatları doğrudan sisteme bağlanmak yerine hareketli makaralara, makaralarında sistemin kendisine bağlanması uygun olacaktır. (McCormick, 1981; Clément ve diğ., 2002). Sistem **Şekil 4.15**'te gösterilmektedir.



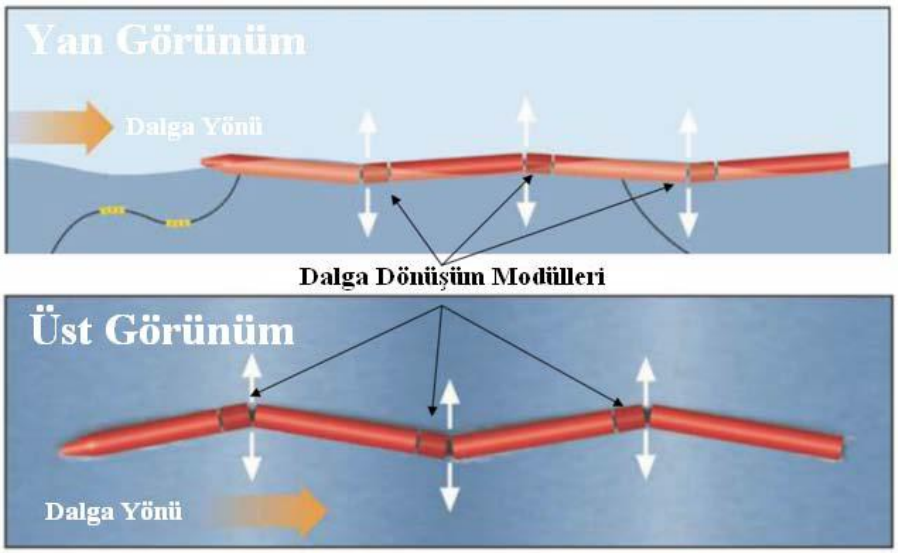
Şekil 4.15 : Pelamis (Henderson, 2005)

Silindirik yapılar gelen dalga ile salınım yaparlar ve silindir içerindeki yüksek basınçlı akışkan hareket ederek sistem içerinde bulunan hidrolik pompayı tahrik eder. Hidrolik pompadan alınan hareket enerjisi de bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Tüm silindirik yapılardan elde edilen enerji tek bir deniz dibi kablosuyla karaya taşınabilir (Henderson, 2005).

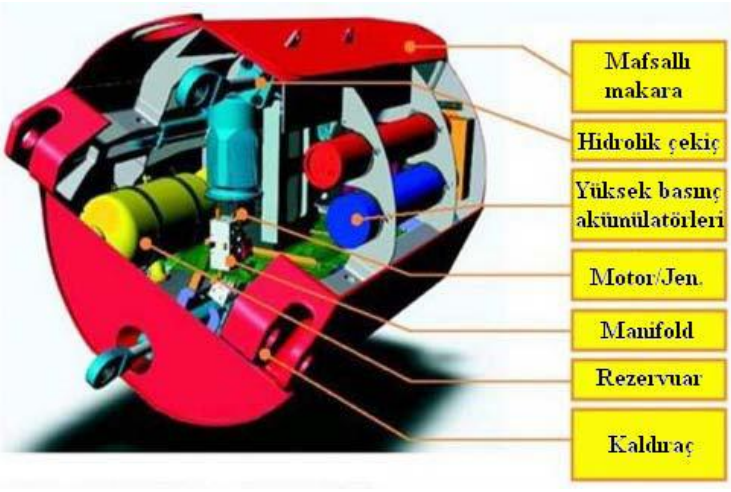
Pelamis, kıyıdan 5-10 km uzaklıkta ve yaklaşık olarak 50-70 m derinlikte, yüksek enerji potansiyeli bulunan dalgalardan faydalanmak amacıyla dizayn edilmiştir (Henderson, 2005).



Şekil 4.16 : Pelamis sisteminin taslak görünümü (Henderson, 2005)



Şekil 4.17 : Pelamis dalga dönüşüm modülleri (Henderson, 2005)



Şekil 4.18 : Modül diyagramı (Henderson, 2005)

Pelamis, sert dalgalara dayanıklı olmasının yanı sıra açık denizde bakım gerektirmemesi ve uzaktan kumanda edilebilmesi gibi birçok avantaja sahiptir

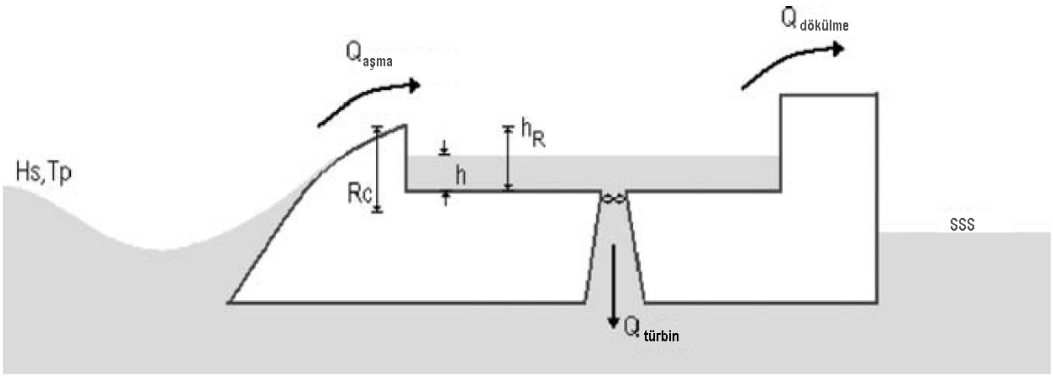
Pelamis'in mevcut üretim sistemi, 140 m uzunluğunda ve 3,5 m çapındadır. Cihaz başına 3 adet dönüşüm modülü içermektedir. Her sistem 750 kW enerji üretebilmektedir. Pelamis enerji dönüşüm sisteminin verimi, kurulum yapılan bölgenin dalga karakteristiklerine göre değişim gösterebilmektedir. Sistem, bölgenin dalga durumuna göre yıl içerisinde ortalama %25-40'lık bir periyotta tam güçte enerji üretimi yapabilmektedir. Her makine yaklaşık 500 evin yıllık yeterli elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede üretim yapabilmektedir (Henderson, 2005).



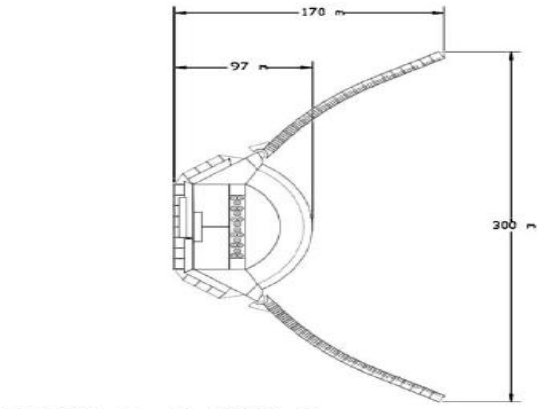
Şekil 4.19 : Pelamis enerji dönüşüm çiftliği simülasyonu (Henderson, 2005)

4.3.4 Wave Dragon

Wave Dragon Danimarka'da Löwenmark şirketinden Mühendis Erik Friis-Madsen tarafından icat edilip, geliştirilen ve patenti alınan su üstünde yüzen açık deniz dalga enerjisi dönüştürücüsüdür (Wave Dragon, 2006).



Şekil 4.20 : Wave Dragon sisteminin kesit gösterimi (Wave Dragon, 2006)



Şekil 4.21 : Wave Dragon sisteminin plan gösterimi (Wave Dragon, 2006)



Şekil 4.22 : Wave Dragon prototipinin deniz testi (Wave Dragon, 2006)

Wave Dragon, basit bir yapıya sahiptir. Hareketli parça olarak sadece türbinler vardır. Kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan bir dalga enerjisi dönüşüm sistemidir. Sistem zorlu ve kötü şartlara dayanıklıdır. Wave Dragon diğer dönüşüm sistemlerine

kıyasla daha derin sularda kullanılır. Okyanus dalgalarının kıyıya varmadan önceki gücünü kaybetmeden kullanmak amaçlanmıştır (Wave Dragon, 2006).

Bu sistem, depolanan suyun potansiyel enerjisinden verimli olarak yararlanabilmek için mümkün olduğu kadar sabit kalabilecek bir yapıda dizayn edilmiştir. Wave Dragon'un üzerine dalga ile gelen su, seviyesi deniz seviyesinden yüksek büyük bir geçici rezervuarda depolanır. Depolanan su, türbinlerden geçerek hidroelektrik santrallerde olduğu gibi güç üretir (Wave Dragon, 2006).



Şekil 4.23 : Wave Dragon Prototip (Wave Dragon, 2006)

Dalga ile gelen suyun rezervuarda depolanmasını sağlamak için sistemde rampa kullanılmaktadır. Rampa işlevselliği bakımından bir kumsala benzetilebilir. Ancak daha kısa ve dalganın kıyıya ulaştığında oluşan enerji kaybını önlemek adına nispeten daha dik bir yapıdadır. Çünkü kıyıya ulaşan dalganın geometrisi değişir ve taşıdığı güç azalır. Rampa ise bu etkiyi, enerji dönüşümünün verimliliğini arttırmak adına optimize etmek amaçlı tasarlanmıştır (Wave Dragon, 2006)



Şekil 4.24 : Rampa (Wave Dragon, 2006)

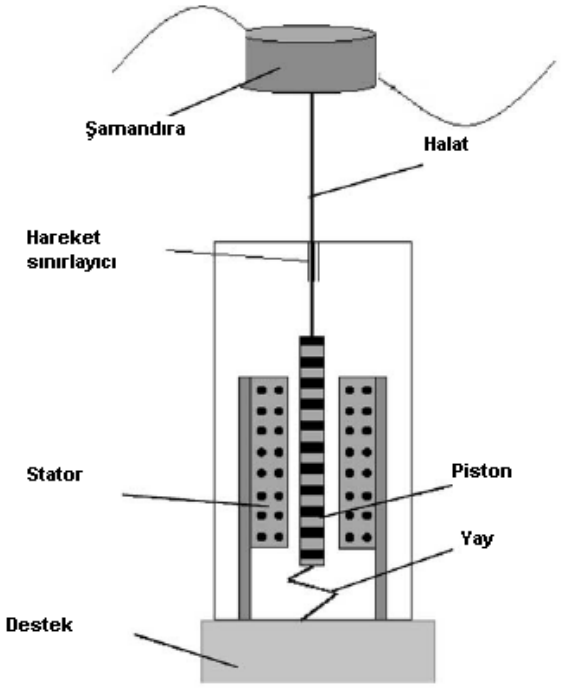
Wave Dragon, sistemin kurulacağı bölgedeki dalga karakteristiklerine bağlı olarak 4 ila 11 MW güç üretecek şekilde uygulanabilir ve 20-30 m derinlikteki suda verimli olarak çalışabilir (Wave Dragon, 2006).



Şekil 4.25 : Wave Dragon (Wave Dragon, 2006)

4.3.5 Lineer enerji dönüşüm sistemi

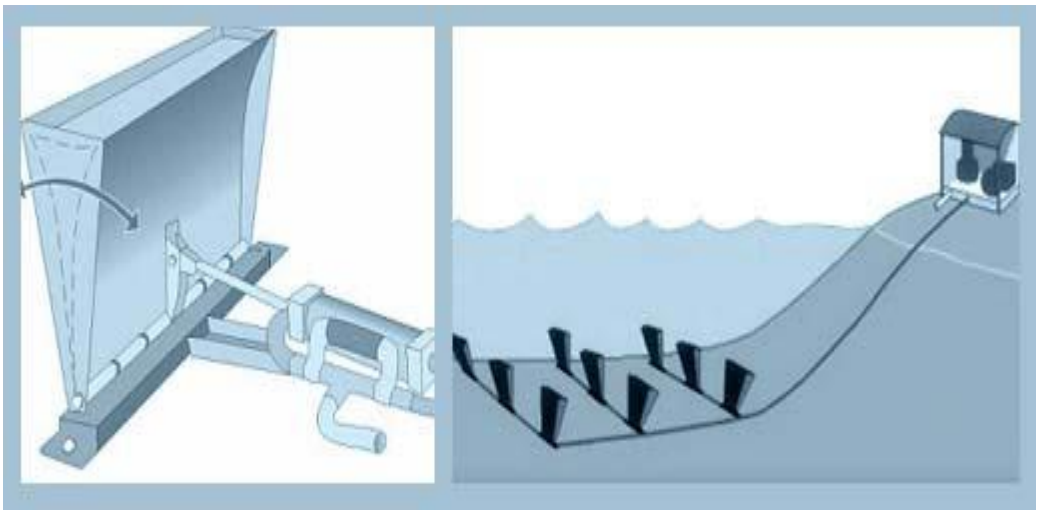
Açık denizde kullanılan şamandıra tipli enerji dönüştürücü sistemleri de bulunmaktadır. Bunlara bir örnek olarak dalga hareketi ile su yüzeyinde salınım yapan şamandıraların hareketini doğrusal tipte jeneratörler ile elektrik enerjisine dönüştüren sistemler gösterilebilir.



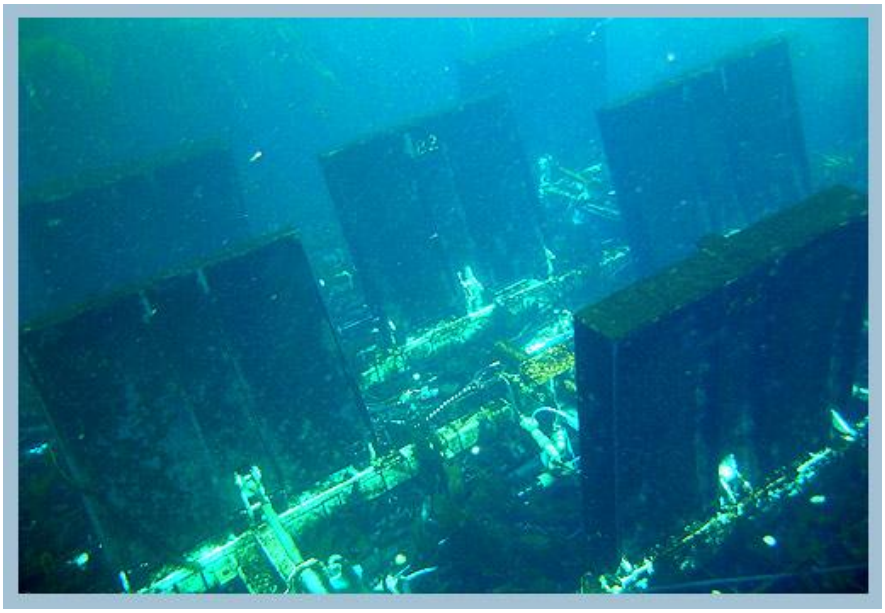
Şekil 4.26 : Lineer Jeneratör Tipi enerji dönüştürücü (Ivanova ve diğ., 2005)

4.3.6 Dalga Paleti (WaveRoller)

Bu sistem deniz dibine sabitlenmiş bir levhadan oluşmaktadır. Deniz dibindeki dalga hareketinden yararlanarak enerji üretimini hedefleyen bu sistemde, gelen dalga ile ileri-geri hareket eden levha bir piston tarafından tutulmaktadır. Bu piston hidrolik motoru tahrik eder. Hidrolik motora bağlanan jeneratör ile de elektrik üretimi gerçekleştirilir (ETAP, 2007).

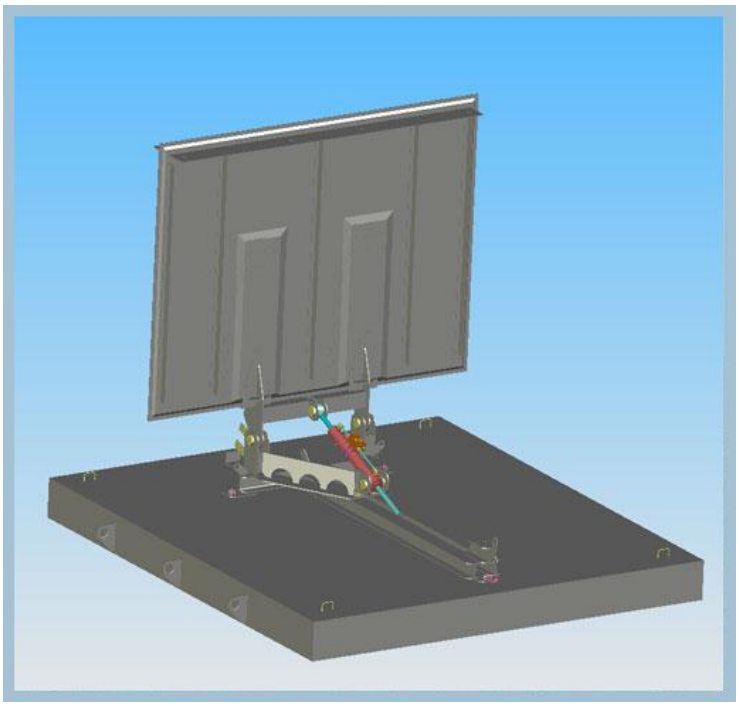


Şekil 4.27 : Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü (ETAP, 2007).



Şekil 4.28 : Dalga Paleti sistemi (ETAP, 2007).

Bu sistem tipik bir deniz dibi sistemidir. Deniz altında oluşan dalgalar, yüzeye yakın dalgalardan daha sürekli ve daha tahmin edilebilirlerdir. Deniz yüzeyinden görülmeyen bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi diğer sistemlere oranla daha az çevresel etkiye sahiptir (ETAP, 2007).



Şekil 4.29 : Paletin simülasyon görüntüsü (ETAP, 2007).

Mevcut sistemdeki her palet sistemin kurulduğu bölgedeki dalga karakteristiklerine göre ortalama 15kW lık bir enerji üretebilmektedir (ETAP, 2007).

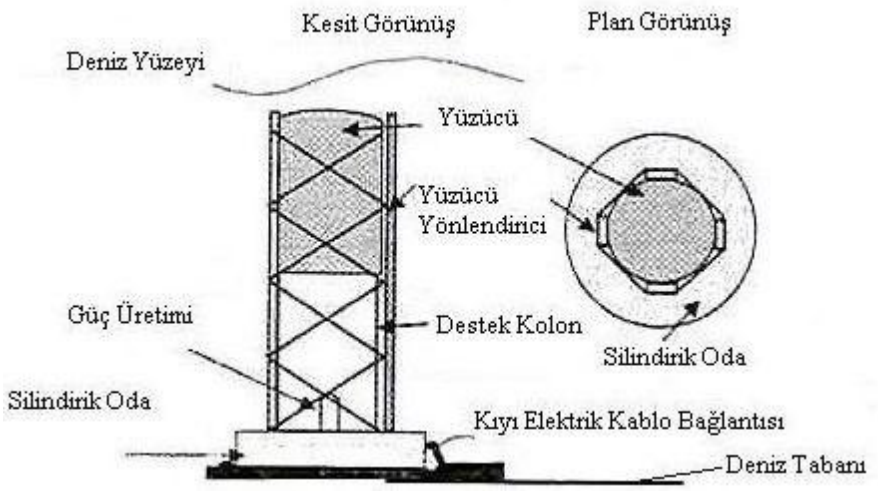


Şekil 4.30 : Paletlerin prototipleri (ETAP, 2007).

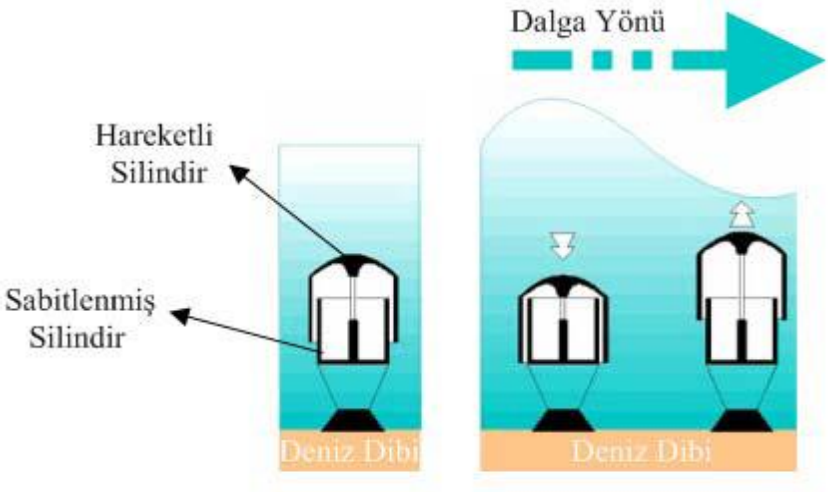
4.3.7 Archimedes dalga salınımı sistemi (AWS:Archimedes Wave Spring)

Bu sistem 10 – 20 m çapında silindirik, içi hava ile dolu bir yapıdan oluşmaktadır. Çalışma prensibi; sistemin üzerinden geçen dalganın, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltip veya düşürmesine bunun sonucunda da yüzücünün zemine göre yükselip alçalma hareketiyle enerji üretilmesine dayanır. Sistem **Şekil 4.31**'de gösterilmektedir.

Sistem dalga pompası prensibine dayanmaktadır, fakat klasik dalga pompası sisteminde ana sorunlardan olan "hantal yaylanma" bu sistemde kısmen giderilmiştir. Sistem kapalıdır. Sistemin doğal frekansının gelen dalganın frekansına eşit olduğu ve sistemin yay katsayısı ile dalganın sönüm katsayısının eşit olduğu anlar, sistemin en etkin olduğu anlardır. Bu sistemler arzu edildiğinde batırılabilen dubalar üzerine inşa edilebileceğinden bir yerden baska bir yere nakli mümkün olmaktadır (McCormick, 1981; Clément ve diğ., 2002).



Şekil 4.31 : Archimedes Dalga Salınım Sistemi (Clément ve diğ., 2002).



Şekil 4.32 : ADS Sisteminin şematik görünümü (Clément ve diğ., 2002).



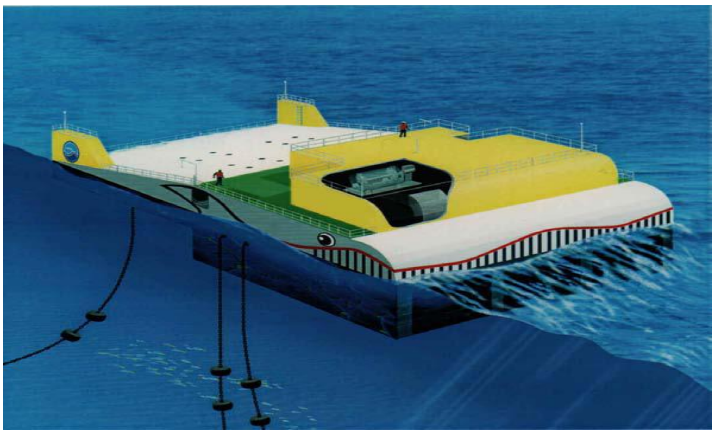
Şekil 4.33 : ADS Sistemi (Clément ve diğ., 2002).

Diğer dalga enerjisi dönüşüm sistemlerine kıyasla ADS sistemi ürettiği güce oranla denizde daha az yer kaplar. Çevreye ve denizciliğe olan etkileri diğer sistemlere göre daha az olan ADS sistemi, yüksek güç yoğunluğuna sahiptir. Şiddetli fırtınalara karşı dayanıklıdır. Denizdeki bakımı daha azdır (Rodrigues, 2005).

4.3.8 Büyük balina enerji dönüşüm sistemi (Mighty Whale)

Japan Marine Science ve Technology Center tarafından gelistirilen, hareketli su kolonundan esinlenerek tasarlanan ve aynı zamanda bir dalgakıran olarak da hizmet veren çok özel bir hibrit sistemdir. Genel görünümünden dolayı büyük bir balığı andıran sistem bu adı almaktadır. Sistem enerji dönüşüm amacının yanında koylarda kurulmuş olan balık çiftliklerini dalgalardan korumak amacıyla tasarlanmıştır. **Şekil 4.34**'te görüldüğü üzere, yüksek kısım gelen yüksek dalgaları karşılamakta ve buradan giren yüksek genlikli dalgalar hava odası içinde yükselirken bu odanın içindeki havayı sıkıştırmakta, bu sırada yukarı kısımda bulunan açıklıktan kaçan hava bir türbini döndürmekte ve jeneratöre hareket iletisini sağlamaktadır. Diger bir yandan gerek içeride sıkışan havanın atmosfer basıncından daha yüksek olması nedeni gerekse hava odasının duvarlarına çarpması nedeniyle enerjisinin bir kısmını kaybetmektedir.

Bu sistemler gelen dalgaları yansıtmamakta, gelen dalga enerjisinin %60'ını kullanabilmekte ve gelen dalgaların genliklerini %80 oranında azaltabilmektedir. 1998 yılından beri Nansei Town'ın 1.5 km açıklarında, 40 m derinliklerde 3 sıralı OWC'li prototip 120 kW'lık kapasitesiyle çalışmakta olup, sistemin dizaynı 50 yıllık fırtınalara dayanacak şekilde yapılmıştır (McCormick, 1981; Clément ve diğ., 2002; Bak, 2003).



Şekil 4.34 : MightyWhale enerji dönüşüm sistemi (Clément ve diğ., 2002).

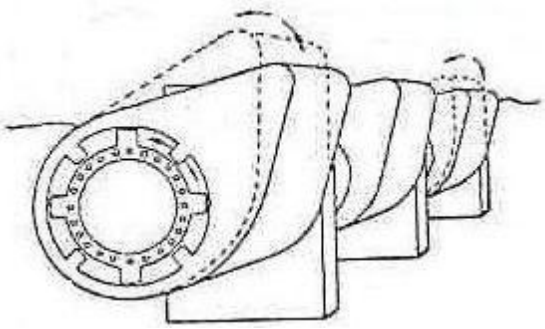


Şekil 4.35 : Büyük Balina sisteminin şematik gösterimi (Clément ve diğ., 2002).

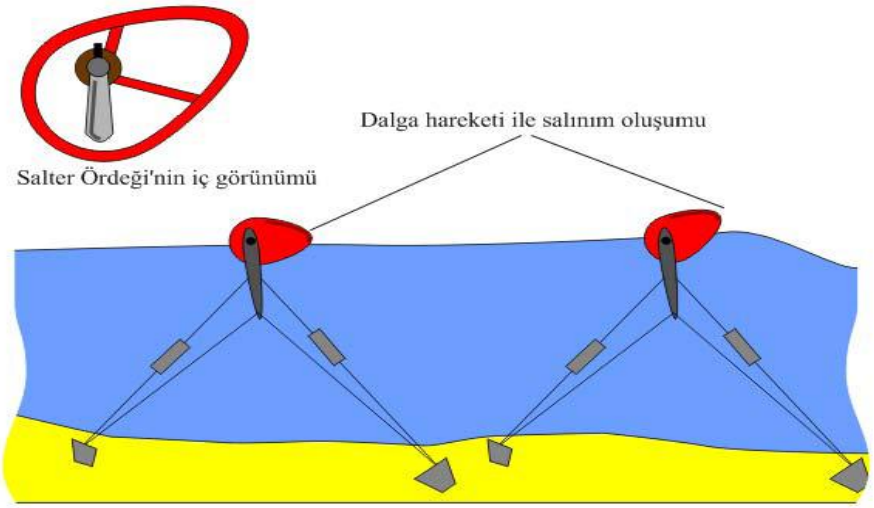
4.3.9 Salter's Duck enerji dönüşüm sistemi

Dalga enerjisinden mekanik enerji elde edilmesini sağlayan ilk metotlardan biri olan Salter Ördeği, petrol krizinin de etkisiyle, 1970'lerde Edinburgh Üniversitesi profesörlerinden Stephen Salter tarafından icat edilmiştir (Rodrigues, 2005).Sistemin en önemli özelliği dalganın kinetik ve potansiyel enerjilerini mekanik enerjiye %90 verimle çevirebilmesidir. Sistem enerji dönüşüm sisteminin yanında aynı zamanda dalgakıran olarak da kullanılabilmektedir.

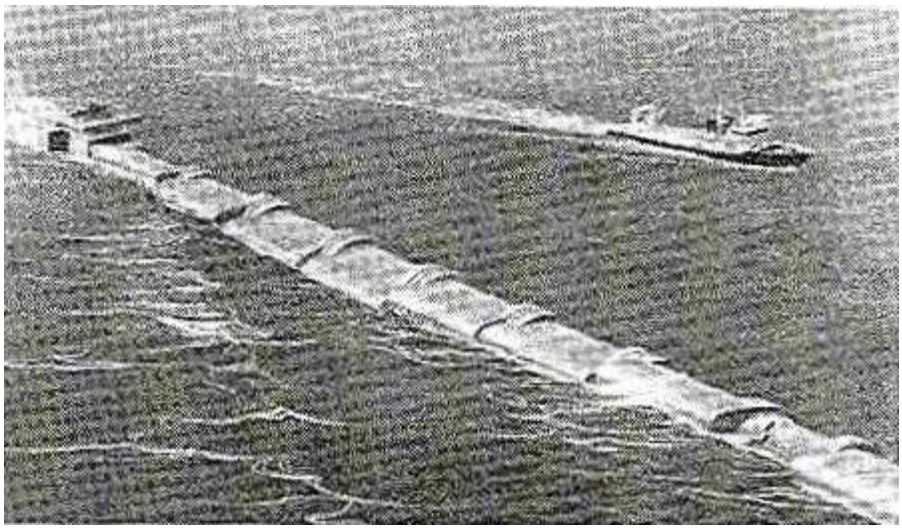
Sistemde, dalga suyun içinde yer alan ve yumurtaya benzeyen bir forma çarparak kendi ekseni etrafında döndürür. Bu eksenden geçen bir şaft türbini harekete geçirir ve türbine bağlanan bir jeneratör ile elektrik elde edilmesi sağlanır. Aynı şafta birden fazla duck sistemi baglanabilir. Enerjisinin bir kısmını duck'ı döndürmek için kullanan dalga eski şiddetinden önemli bir bölümünü kaybetmiş ve genliği azalmıştır. Böylece sistem jeneratöre iletilen hareket vasıtasıyla elektrik üretmiş ve aynı zamanda yüksekliği azalan dalga sebebiyle dalgakıran görevini de yerine getirmiş olur. (McCormick, 1981; Clément ve diğ., 2002; Bak, 2003). Sistem **Şekil 4.36**'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 : Salter Duck dönüşüm sistemi çalışma prensibi (Graw, 1995).



Şekil 4.37 : Salter Duck sisteminin şematik görünümü (Graw, 1995).



Şekil 4.38 : Salter Duck enerji dönüşüm sistemi (Graw, 1995).

4.3.10 Power Buoy

Bu sistem, modüler okyanus şamandıralarından oluşmaktadır. Yükselen ve alçalan dalga hareketleri şamandıraları hareket ettirir. Elde edilen hareket enerjisi sistemdeki jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Üretilen elektrik enerjisi deniz altı iletim hattı ile karaya taşınır (Rodrigues, 2005).



Şekil 4.39 : PowerBuoy (Rodrigues, 2005).

Her bir şamandıra, 4 m çapı ve 16 m uzunluğundadır ve 40 kW elektrik enerjisi üretebilmektedir. Su üzerinde kalan kısmı, deniz yüzeyinden yaklaşık 5 metre yukarıdadır. PowerBuoy sistemi, kıyıdan 8 km uzaklıkta ve 40 ila 60 metre derinlikteki sularda uygulanabilir (OPT, 2009).

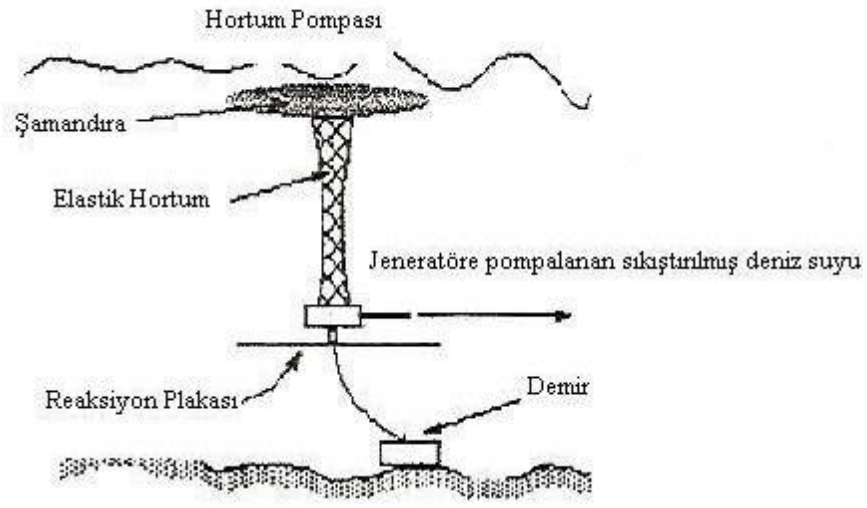


Şekil 4.40 : PowerBuoy dizisi (Rodrigues, 2005).

4.3.11 Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi

İsveç'te dalga pompası üzerine çalışmalar sonucu oluşturulan sistemlerdir. Dalga pompası esas alınmakla birlikte en önemli parça özel olarak güçlendirilen elastometrik bir hortumdur. Esnek olan bu hortumun çapı kısaldığında genişlemekte, uzadığında daralmaktadır. Sistem üç temel parça olarak incelenmekte olup, ilki reaksiyon plakası olarak adlandırılır ve dibe monte edilir. Bu parçanın üzerinde pompa görevini yapabilen hortum bulunur. Hortum pompanın dalga tepe ve çukuru arasında değişimlerde uzayıp kısalabilmesine imkan vermesi maksadıyla hortumun üzerinde bir şamandıra bulunmaktadır. Bir dalga çukuru altında kaldığında sistemde, aşağıya inen şamandıraya bağlı olan hortum kısalıp genişlemekte ve bunun sonucunda hortumun dış çeperini oluşturan metal ağ örgüsü gevşeyip hortumun içine su girişine izin vermektedir. Dalga tepesi altında kalındığında ise şamandıra yükselmekte ve hortumun boyu uzamakta ve böylece hortumun metal ağ örgüsünü gerip hortumun basma yapmasına sebep olmaktadır. Hortum içinde sıkışan su çoğunlukla reaksiyon plakası ile hortumun arasına konulan bir düzenekten sistemin dışındaki bir kollektöre basılmaktadır.

"Kollektör" olarak adlandırılan bu hatta bir çok hortum pompası enerji dönüşüm sistemi bağlanmak suretiyle her birinin çıkışına birer adet tek yönlü valf konulduğunda elde edilen enerji miktarının düzenli olacağı düşünülmektedir (Bak, 2003). Sistem **Şekil 4.41**'de gösterilmiştir.

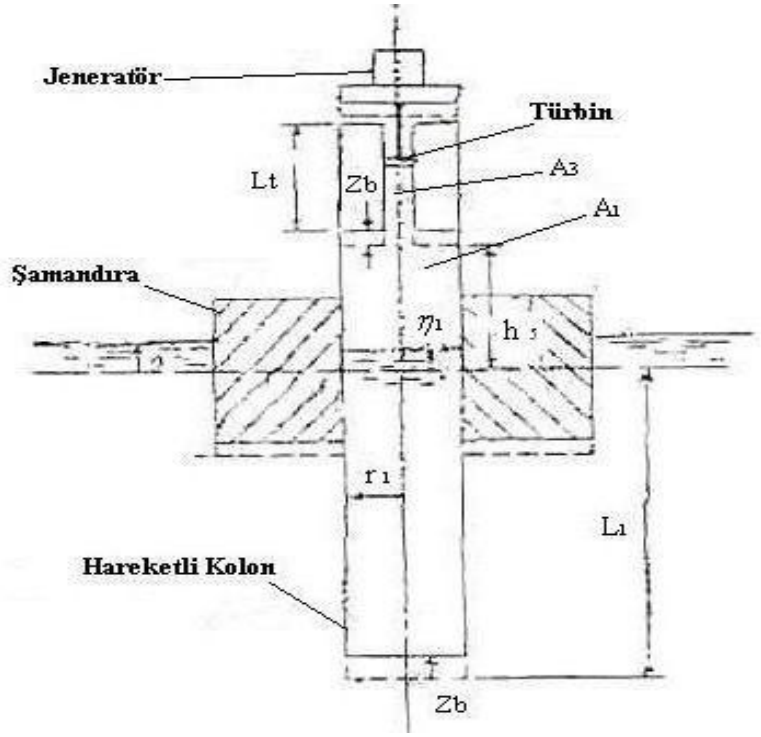


Şekil 4.41 : Hortum pompası enerji dönüşüm sistemi (Bak, 2003).

4.3.12 Yüzen titreşimli su kolonu

Sistem etrafına bir şamandıra giydirilmis bir kolondan meydana gelmiştir. Kolonun her iki ucu açıktır. Sistem kısmen batmış durumdadır. Suyun altında kalan bölümün içerisine su girmekte ve oluşturduğu basınç ile kolonun içindeki havayı dalga tepe yada çukuru durumlarından birine göre kolondan dısarı itmekte yada kolonun içerisine çekmektedir.

Kolonun su üzerinde kalan ve havanın giriş çıkışını sağlayan bölüme bir türbin yerleştirilmesiyle giren ve çıkan hava türbini döndürmekte ve jeneratöre hareket iletmektedir. Sabitlenmemiş ve sabit olmak üzere çeşitli tipte uygulanmaktadır (McCormick, 1981; Bak, 2003). Sistem **Şekil 4.42** 'de gösterilmektedir.



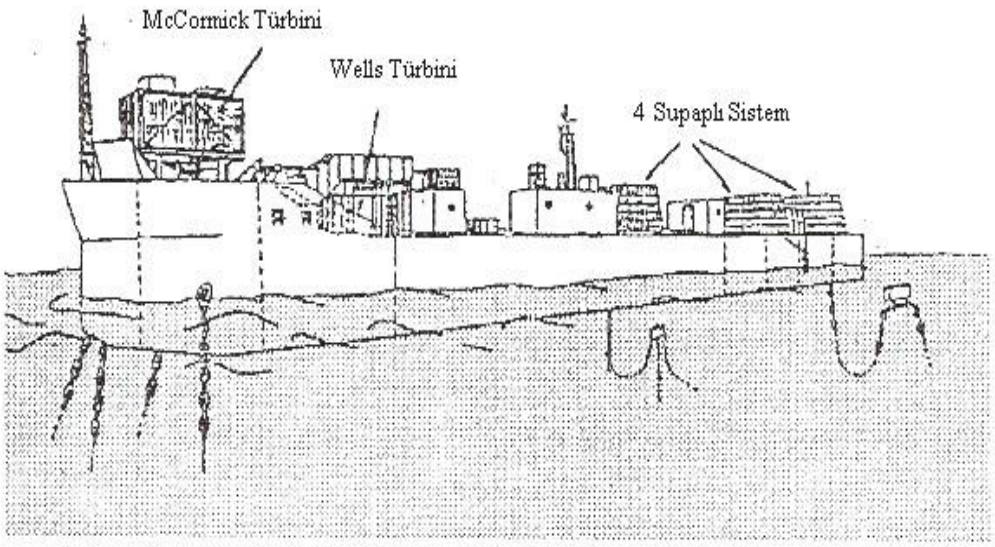
Şekil 4.42 : Yüzen titreşimli su kolonu (McCormick, 1981).

4.3.13 Kaimei enerji dönüşüm sistemi

Hareketli su kolonu enerji dönüşüm sistemi diger sistemlere nazaran bir çok yönden avantajları olan bir sistem olup, hem açık denizlerde hem sığ sularda kullanılmaktadır. Kaimei Projesi Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Büyük Britanya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Japonya'nın katılımlarıyla yürütülmüş, Japon Deniz Bilimleri ve Teknoloji Merkezi (JAMSTEC) gözetiminde gerçekleştirilmiştir.

Kaimei 80 m uzunluğunda, 13 m genişliğinde, 820 ton ağırlığında ve toplam 13 adet hava odasına sahip titreşimli su kolonlarının yerleştirilmesiyle oluşturulan bir geminin denenmesidir. Bu proje ile farklı jeneratörler ve farklı türbinler aynı anda test edilmiş ve bunlar arasında bir karşılaştırma olanağı bulunmuştur. Sistemde hava odaları konvansiyonel titreşimli su kolonu sistemlerindeki kolonların görevini yapmaktadır. Sistemde bir adet Wells Türbini, bir adet McCormickTürbini (Wells türbini gibi çift yönlü çalışan bir türbin) ve bir adet 4 subaplı bir Türbin kullanılmıştır. İlk deneyler sonucunda toplam türbin kapasitesi 375 kW civarında olmuştur. İlk deneylerde kullanılan türbinlerin yerleşimleri **Şekil 4.43**'te gösterilmiştir.

1979-1980 yıllarında yapılan ikinci deneyde her biri 125 kW gücünde toplam 1000 kw'lık bir türbin kapasitesi ile bir adet jeneratör kullanılmış, 1985-1986 yılları arasındaki son testlerde ise 560 kW'lık bir türbin kapasitesi ile deneyler yapılmıştır. (McCormick, 1981 ; Graw, 1995 ; Bak, 2003).



Şekil 4.43 : Kaimei (Graw, 1995)

5. DALGA ENERJİSİNİN ÖZELLİKLERİ VE HESABI

5.1 Dalga Enerjisi Kavramı

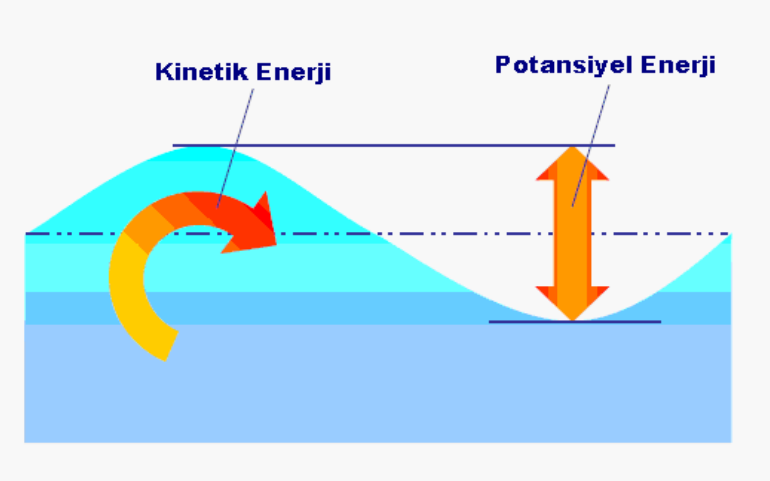
Deniz ve okyanus kaynaklı yenilenebilir enerji türleri arasında dalga, gel-git, buzul, deniz akıntısı ve deniz suyu sıcaklık farkından enerji eldesi yer almaktadır. Bunlardan dalga ve gel-git enerjisi şu anda dünyada en çok kabul görmekte ve bulunulan coğrafi koşullara göre yararlanılmaktadır. Diğer kaynakların ise gelecek için enerji kaynağı olarak gösterilip gösterilemeyeceği üzerinde çalışmalara devam edilmektedir.

Dalga, aynı zamanda en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup, yaygın olarak kullanılan deniz/okyanus enerjisi türüdür. Bu bağlamda, ülkelerin kendi kıyıları üzerinde yaptıkları dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesine dair çalışmalar ile de yaygınlaşmaya devam etmektedir.

Okyanus ve iç denizlerdeki su yüzeyi değişimleri çeşitli etkiler altında deniz yüzeyine aktarılan enerjinin kaynağına, etki süresine ve gücüne bağlı olmaktadırlar. Deniz yüzeyi değişimlerinin salınım periyotları da değişimi yaratan etkene bağlıdırlar.

Bu bağlamda bakıldığında, deniz yüzeyine rüzgarlar tarafından aktarılan enerjinin yarattığı ağırlık dalgaları, deniz yüzeyindeki toplam dalga enerjisinin oldukça büyük bir bölümüne sahiptirler. Başka bir deyişle, dalga enerjisinin oluşumu sürecinin temelinde, dünya üzerindeki deniz ve karaların farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi yatmaktadır. Bu süreçte denizde esen rüzgar, sahip olduğu kinetik enerjiyi deniz yüzeyine aktarmaktadır. Aktarılan kinetik enerji, dalga formunda deniz yüzeyinde depolanmakta ve çok fazla yük kaybına uğramadan kilometrelerce ötedeki mesafelere iletilebilmektedir. Bu iletim, dalganın sahip olduğu enerjinin göstergesidir. Dalgaya aktarılan kinetik enerji farklı şekillerde dalga içerisinde depolanarak dalganın hareketini sağlamaktadır. Bu hareket boyunca dalga içerisindeki enerji de değişimler ve dönüşümler göstermektedir.

Dalgalarda enerji, kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki şekilde depolanmaktadır. Kinetik enerji, deniz yüzeyindeki parçacıkların dairesel hareketi, potansiyel enerji ise dalgarın deniz seviyesinden yükselmesinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır **(Şekil 5.1)**. Lineer bir dalganın ortalama kinetik enerjisi, potansiyel enerjisine yaklaşık olarak eşit olup, bir dalga ile taşınan enerji akısı dalganın yüksekliğine ve periyoduna bağlıdır.

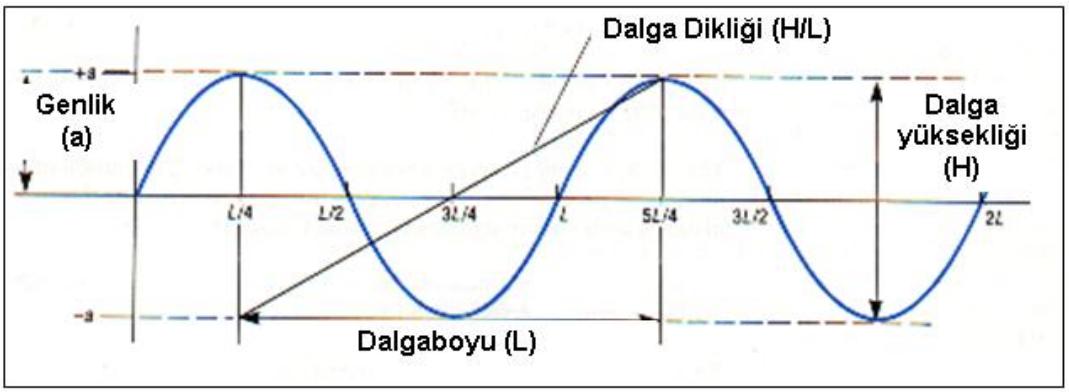


Şekil 5.1 : Dalgada depolanan kinetik ve potansiyel enerji (Uygur ve diğ, 2004).

Rüzgar etkisi ile oluşan dalgalar, rüzgarların oluştukları bölgede yarattıkları ve fırtına süresince giderek gelişen ve enerjisi artan ağırlık dalgaları ve rüzgar etkisi sona erdikten sonra, oluşum bölgesinin dışında, enerjiyi taşımaya devam eden ölü deniz dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ölü deniz dalgalarının periyotları 30 sn'den daha uzun iken, aktif ağırlık dalgalarının periyotları 1~15 sn arasıda gerçekleşmektedir. Bu açıdan bakıldığında, dalga enerjisinde ana kaynak rüzgar etkisi altında meydana gelen ağırlık dalgaları olup, bu bölümde dalga tanımı ile ağırlık dalgaları tanımlanmaktadır. Ağırlık dalgalarının doğal enerji dengesi içindeki işlevleri rüzgar etkisi ile atmosferden aldıkları enerjiyi kıyıya kadar taşıyarak sahilde kara ile etkileşim sonucunda ısı ve ses enerjisine dönüştürerek etkin enerji formundan çıkarmak, hidrodinamik tanımlamayla harcanmasını sağlamaktır. Diğer taraftan, dalgalar tarafından kıyıya taşınan enerji insan yaşamını olumsuz etkileyen fakat doğal yaşama katkı yapan önemli bir etkendir. Dalga enerjisinden yararlanma yönündeki araştırmalar, kıyıya ulaşan ve sonunda harcanan bu önemli enerji kaynağının kullanılabilir enerji türlerine dönüştürerek dünya'nın enerji talebinin belirli miktarının temiz enerji sistemleri ile karşılanmasına katkıda bulunmaktadır.

5.1.1 Dalgaların Genel Özellikleri

Dalga enerjisinin önemli bir kısmı sığ sularda, kıyılarda ve sarp kayalıklarda etkilidir. Dalgalar son derece güçlüdür ve büyük dalgaların kıyılarda metre kareye 10 ton civarında bir kuvvet uyguladığı tahmin edilmektedir. **Şekil 5.2**'de de görüldüğü gibi, genel olarak dalga ideal bir sinus eğrisi olarak tanımlanmakta, dalga yüksekliği ve dalga boyu temel özellikler olarak ele alınmaktadır.



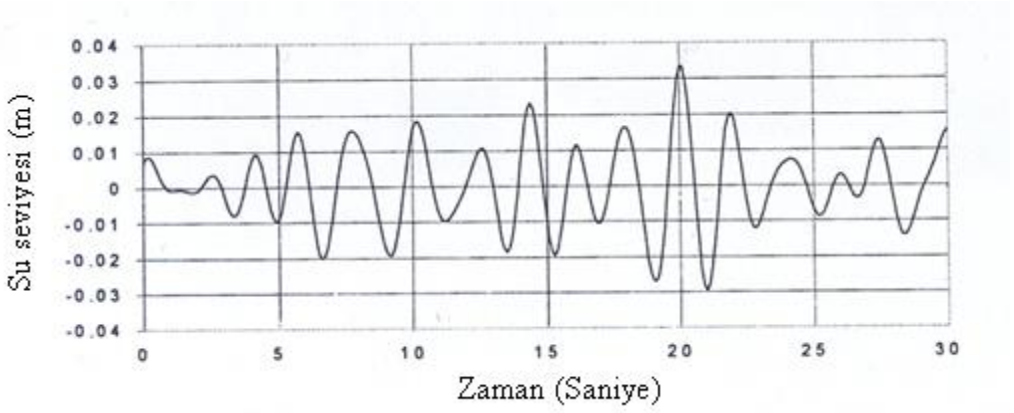
Şekil 5.2 : Genel dalga karakteristikleri (Uygur ve diğ, 2004).

Deniz ortamındaki dalgalar, rüzgarların deniz yüzeyine aktardığı enerjinin yayılımı şeklinde oluşan ağırlık dalgalarıdırlar ve çok sayıda tekil dalganın süperpoze olması ile meydana gelen düzensiz dalgalar olarak tanımlanırlar. Bu açıdan ele alındığında deniz ortamındaki dalgaların karakterize edilmesinde farklı amaçlar için farklı dalga yükseklikleri kullanılmaktadır **(Çizelge 5.1).**

Çizelge 5.1 : Açık deniz dalgalarını karakterize eden dalga yükseklikleri (Kabdaşlı, 1992).

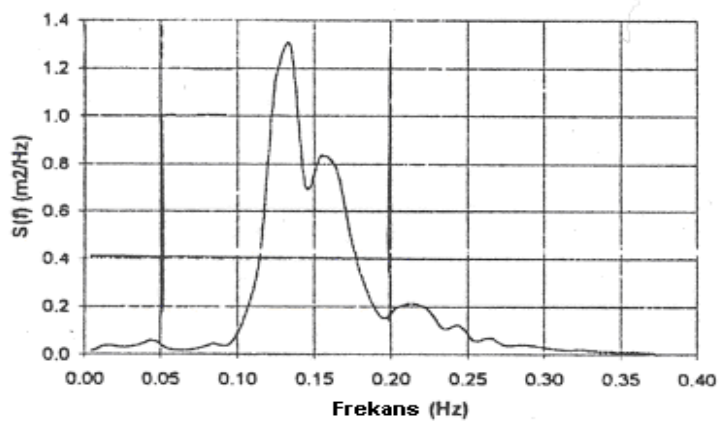
Dalga İsmi	Tanımı	İfadesi
Belirgin dalga yüksekliği	En büyük %30'un ortalaması	Hs(açık denizde Ho)
Ortalama dalga yüksekliği	Tüm serinin ortalaması	H
H1/10	En büyük %10'un ortalaması	H1/10
Maksimum dalga yüksekliği	Serinin maks. Değeri	Hmaks.

Deniz ortamında herhangi bir fırtına sırasında oluşan dalgaların yarattığı deniz yüzeyi profili birbirinden farklı yükseklik ve periyottaki dalgalardan meydana gelmektedir ve fırtınada oluşan dalgaların asgari ile azami düzeyi arasında çok büyük farklılıklar oluşmaktadır **(Şekil 5.3).**



Şekil 5.3 : Su yüzeyi profili örneği (Kabdaşlı ve diğ., 2007).

Her dalganın enerjisinin, yüksekliğinin karesi ile orantılı olduğu düşünüldüğünde kıyıdaki herhangi bir noktaya dalgalar tarafından ulaştırılan enerjinin de değişik değerlere sahip olacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle deniz ortamındaki mühendislik yapılarının boyutlandırılmasında bir fırtınanın karakterize edilmesi amacıyla fırtına sırasında oluşan dalgaların toplam enerjisinden hareket edilmekte ve spektral analiz yaklaşımı ile belirgin dalga yüksekliği tanımı yapılmaktadır. Deniz dalgalarının spektrumu **Şekil 5.4**'te verildiği gibidir. Bu spektrumun altında kalan alan fırtınadaki toplam dalga enerjisini vermektedir (Kabdaşlı, 1992).



Şekil 5.4 : Dalga spektrumu (Kabdaşlı ve diğ., 2007).

Diğer taraftan deniz dalgaları oluşan fırtınanın hızına ve zamana bağlı olarak değişim gösterirler. Dolayısı ile her hangi bir kıyı bölgesindeki potansiyel dalga enerjisinin hesabında dalga ikliminin belirleyici rolü bulunmaktadır.

5.1.2 Dalga Enerjisinin Hesabı

Dalga Enerjisi literatürde çeşitli tanımlar altında ifade edilebilmektedir. En basit hali ile enerji akısı fizikteki kavramlar cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Enerji Akısı} = \Phi = \frac{\text{Güç}}{\text{Alan}} = \frac{\text{Enerji}}{\text{Alan} \times \text{Zaman}} \qquad \textbf{(5.1)}$$

olup, enerji ise:

$$\text{E= Kuvvet} \times \text{Yol} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Küçük genlikli dalga teorisine göre, birim alana gelen sinüzoidal dalgalar tarafından iletilen enerji ise:

$$E = \frac{1}{8}\rho \cdot g \cdot H^2 \qquad \textbf{(5.3)}$$

Olarak tanımlanmaktadır (burada H dalga yüksekliği, ρ deniz suyunun özgül kütlesi ve g yerçekimi ivmesidir) (Kabdaşlı, 1992).

Sinüzoidal olmayan dalga durumunda ise dalga enerji spektrumundan bulunan anlamlı dalga yüksekliği kullanılmaktadır. **(5.3)** ifadesinin C_g dalga yayılma hızı ile çarpılması ile de birim boya karşı gelen güç bulunmuş olur (Uygur, ve diğ., 2004).

$$P=\frac{1}{8}\rho g H^2 \cdot C_g \qquad \textbf{(5.4)}$$

Açık deniz koşullarında dalga yayılma hızı ve dalga boyu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir:

$$C_g = \frac{C}{2} \qquad \textbf{(5.5)}$$

$$C = \frac{L}{T} \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \qquad \textbf{(5.7)}$$

Buna göre **(5.4)** ifadesi yeniden düzenlenir ise:

$$J(W/m) = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T \qquad \textbf{(5.8)}$$

ve

$$k = \frac{1}{32\pi}\rho \cdot g^2 \qquad \textbf{(5.9)}$$

$$J(W/m) = k \cdot H^2 \cdot T \qquad \textbf{(5.10)}$$

ifadesi elde edilir.

Sinüzoidal dalgalar için k katsayısı 976 W/s.m^3 olarak hesaplanmaktadır. Gerçek deniz koşullarındaki sinüzoidal olmayan dalga halinde, bu katsayı için literatürde farklı değerler verilmekle birlikte, genel olarak 300 ile 500 W/s.m^3 arasında olacağı belirtilmektedir (Kabdaşlı ve diğ., 2007; Ivanova ve diğ., 2005; Hagerman ve Bedard, 2005). Mevcut rüzgar verilerinden yararlanılarak istasyonun yer aldığı kıyının coğrafi konumuna bağlı olarak enerji üretilebileceği düşünülen yönlerde seçilen bir u_0 rüzgar hızının üzerindeki fırtınalar için hesaplanan ortalama rüzgar hızı kullanılarak bu fırtınaların oluşturacağı dalgaların karakteristikleri (Hs, m; T, s) ve birim boya karşı gelen güç (J, W/ m) hesaplanabilmektedir.

5.2 Dalga Enerjisi ve Dönüşüm Sistemlerinin Fayda ve Sakıncaları

5.2.1 Dalga enerjisi ve dönüşüm sistemlerinin faydaları

Dalga enerjisinin ve dalga dönüşüm sistemlerinin sosyal, ekonomik, çevresel vb. yönden bir çok avantajı vardır.

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

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

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

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

e. Uygun dönüşüm sistemleri geliştirildiğinde büyük güce sahip dalgalardan önemli miktarlarda enerji elde edilebilmektedir.

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

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

h. Bir çok dalga enerji dönüşüm sistemi bu çalışmada seçilen sistem gibi enerji dönüşüm sistemi görevinin haricinde dalgakıran görevi üstlenerek dalga yüksekliklerinin azaltılmasında önemli rol oynar. Bunun sonucunda kıyı ve deniz yapılarının korunması imkanını sağlarlar.

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

5.2.2 Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin sakıncaları

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

a. Sistemlerin en verimli şekilde tasarlanabilmeleri ve dalga potansiyelinin belirlenebilmesi için dalga yüksekliği ve periyotlarına ve bunların yıllık ve daha uzun dönem istatistiki değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır ve yüksek maliyet gerektiren çalışmalar yapılması gerekir.

b. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri tasarlanırken konuşlandırılacakları yörenin rüzgar ve dalga iklimine göre en verimli şekilde hesap yapılması gerekir.

c. Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan türbinler, jeneratörler ve bağlantı elemanları açık deniz şartlarından (fırtına, büyük dalgalar) ve deniz suyunun kimyasal (korozyon, plankton vb.) etkilerinden olumsuz olarak etkilenirler. Bu yüzden deniz suyunun korozif etkilerine karşı sistemlerin özel olarak tasarlanarak korunmaları gerekir.

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

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

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

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

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

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

k. Kıyı ve yakın kıyı bölgelerinde estetik açıdan olumsuzluk oluşturabilir. (Örer ve diğ., 2003).

6. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜMÜ, İLETİMİ VE DEPOLANMASI

Deniz dalgaları rüzgarlı deniz ve denizin kabarması gibi kuralsız ve tesadüfidir. Denizin bu zamana bağlı değişen doğasından dolayı dalga enerjisini doğrudan alternatif elektriksel akıma dönüştürmek genellikle zordur. Bu dönüşüm, dalga enerjisinin ulusal elektrik ağını beslemesi gereken durumda gerekli olur. Bir ülkenin enerji ihtiyaçları, doğrudan elektrik iletiminden farklı yöntemlerle, kısmi olarak okyanus dalgalarından karşılanabilir. Bu yöntemler; doğru elektriksel akıma dönüştürme, bunu takip eden akülerde depolama ve alüminyum gibi gemi ile taşınabilen "enerji yoğunluklu ürünlerin" meydana getirilmesini içerir.

Dalga enerjisi dağınık bir kaynak olup, bir çok bölgede dönüştürülme gerekliligi vardır. Bu enerji doğrudan tek bir evde veya ulusal ağa baglı olmayan deniz kıyısındaki bir yerleşim biriminde kullanılabilir. Doğru elektriksel akım bu durumlarda kabul edilebilir. Diğer yandan; karadan uzak kaynağın zamana bağlı olarak değişmediği rüzgar kemerleri gibi yerlerde dalga enerjisinin dönüştürülmesi enerji yoğunluklu ürünlerin üretimi için en uygun olanıdır. İlerleyen kısımlarda değişik elektromanyetik enerji dönüşüm sistemleri, iletim ve depolama yöntemleri anlatılacaktır (McCormick, 1981).

6.1 Temel Elektromanyetik Enerji Dönüşüm Teknikleri

6.1.1 Mekanik tahrikli jeneratörler

Yüzen bir şamandıra bir makara üzerinden bir elektrikli rotasyonel jeneratöre ve sonra da bir ağırlıga bir hat üzerinden bağlıdır. Ağırlık ipin gergin kalmasını sağlamaktadır. Şamandıra yükseldikçe makara saat yönünde döner, şamandıra alçaldıkça ise makaranın dönme yönü tersine döner. Mandallı çark mekanizması jeneratörün tek bir yönde dönmesini saglar. Bu sistemin bir baska versiyonu ise ağırlığın jeneratöre bağlı yay gergili bir makara sistemi ile degistirilmesi sonucu elde edilen sistemdir. Bu sistemde, sadece sallanan gövde, bir çekme jeneratörü kullanılarak tasarlanmıştır. Dikey hareketli dalga enerjisi dönüstürücüleri için sıkça

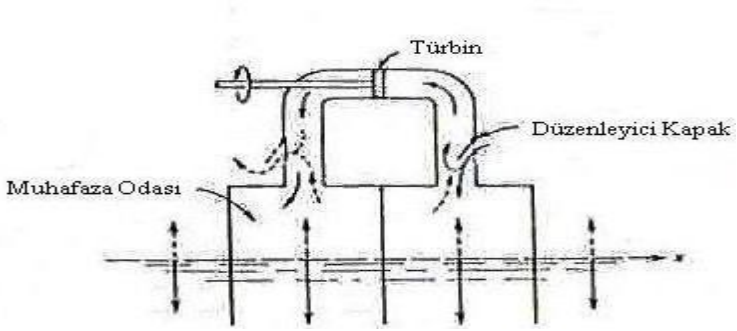
tavsiye edilen baska bir mekanik tahrikli sistem ise “dişli sistem”dir. Sistemde dikey hareketli sağ tarafında dişleri bulunan dik şafta tutturulmuş simetrik bir silindir vardır. Bu dişler sırasıyla jeneratör şaftına bağlanmış dişli çark ile birbirlerine uygundurlar. Yukarıda bahsedilen sistemlerde kullanılan rotasyonel jeneratörler doğru akım veya alternatif akım jeneratörleridir. Ancak dişli sistemlerde doğru akım jeneratörünün kullanılması daha iyi olacaktır (McCormick, 1981).

6.1.2 Pnömatik ve hidrolik tahrikli jeneratörler

Bu tip jeneratörler boşluklara hava veya su hapsedip bunların sıkıştırılması sonucu bulundukları ortamdan kaçmalarını sağlayan ve bu esnada bunların hareketlerinden faydalanarak enerji üreten sistemlerde kullanılan tiptedir. Bu sistemler, dalga enerjisi dönüşüm tekniği olarak rezonans kavitesi kullanırken, elektrik üretimi için hava türbinine veya su türbinine ihtiyaç duyarlar.

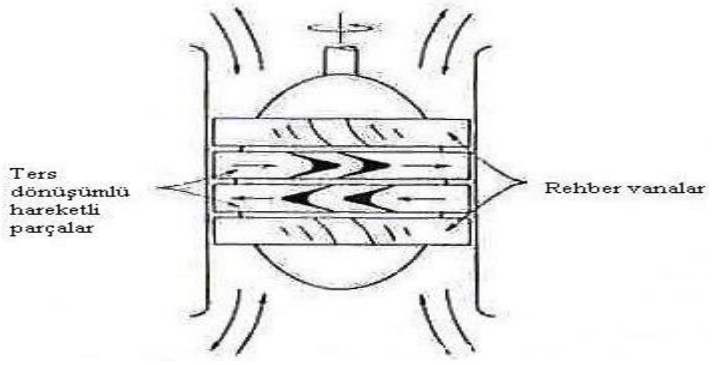
Boşluklardan faydalanan sistemlerde iki tip hareket oluşmaktadır. Birincisi dalganın kabardığı anda kapalı hacminin içerisindeki su miktarının artması sırasında başka bir deyişle dalga tepesinde, ikincisi ise dalga tepesinin dalga çukuruna dönüştüğü anda olusur. Bu hareketler birbirinin tersi olup, türbinin iki yönde dönmesi ihtiyacını dogurur. Ancak türbinin birkaç saniye içerisinde iki farklı yöne dönmesi türbinin çabuk yıpranmasına ve jeneratörün maksimum verime ulaşamadan durup, ters yönde çalışmaya başlaması nedeniyle arzu edilen elektriği üretememesine sebep olacaktır. Bunu çözebilmek için türbinlerin her iki hareket yönünde de jeneratöre aynı yönde bir hareket vermeleri, baska bir ifadeyle hareket yönünden bağımsız, sadece harekete bağımlı olarak çalışmaları gerekmektedir (McCormick, 1981 ; Bak, 2003).

Önceleri pnömatik (hava) kategorisinde olmak üzere çesitli türbin yapıları tavsiye edilmiş ve denenmiştir. Daha sonra Masuda ve Miyasaki, Whittaker, Wells ve McCormick yayımlarında bunların bazılarını tanıtmışlardır. Buna göre birbirinden önemli farklarla ayrılan üç adet hava türbini tanımlanır (McCormick, 1981). Masuda ve Miyasaki’nin türbin sistemi üç türbinin öncüsüdür. Çalışma sistemi iki tane rezonans odasına ihtiyaç duyar; bunlar birbirinden ayrı ve birbirine alternatif olarak kaynak tarafında yüksek basınç yaratan veya kaynağın ters tarafında kısmi bir vakum yaratırlar. Emme ve egzos (giriş ve çıkış) kapakları türbin içinden geçen, tek yönde bir akış elde etmeyi sağlarlar. Bu türbin yapısı “Kaimei” deneyinde Japonlar tarafından kullanılmıstır (McCormick, 1981). Türbin **Şekil 6.1**’de gösterilmiştir.



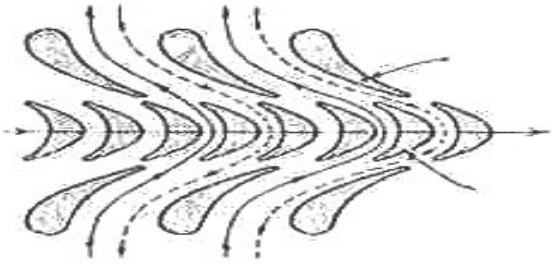
Şekil 6.1 : Masuda ve Miyasaki tarafından tasarlanan türbin (McCormick, 1981).

"Wells türbini" olarak bilinen, kendi basına akımı dogrultan bir türbin Whittaker ve Wells (1978) tarafından ifade edilmiştir. Bu türbin yükseltmeye yaramayan (simetrik) profile sahip, bir rotara monte edilmiş pervane kanatlarından oluşur. Pervane kanatlarının profili simetrik olduğundan ve kanatların doğal tesir açısına sahip olmadıklarından, strok ve itmeyi sağlamak için bir ilk kaymaya ihtiyaç vardır. Türbinin çalışmasının aksiyal akış yönünden bağımsız olduğu açıktır, bu yüzden kendinden redresör (doğrultucu) karaktere sahiptir. Bir önceki sistemdeki kapaklara ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden sadece bir adet rezonant odaya ihtiyaç vardır (McCormick, 1981). McCormick tarafından tarif edilen ve **Şekil 6.2**'de görülen hava türbini de kendinden doğrultucu karaktere sahiptir. Buna göre tekil rezonant odada hareketlendirilmiş hava kaynak tarafındaki rotoru; ki bu rotor primer güç rotoru olur, geçecek şekilde yönlendirilir. Bu rotor, bu sırada kaynağın uzağındaki tersine dönen sekonder güç rotoru için hareketli stator gibi davranır. Havanın akış yönü tersine döndüğünde rotorlar basitçe rollerini değiştirirler. Ters yönde dönen, McCormick (1978) tarafından "Kaimei" deneyi için tasarlanmıştır (McCormick, 1981).

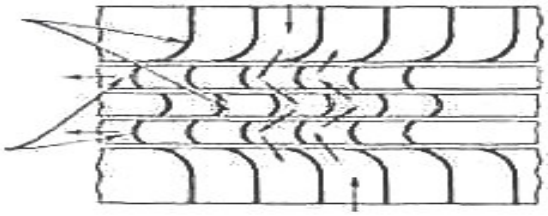


Şekil 6.2 : McCormick'in zıt dönüşlü hava türbini (McCormick, 1981).

Diğer kendinden doğrultucu türbin sistemlerinin patentler; I.A. Babinsten tarafından ve G.D. Filipenco tarafından 1975 yılında alınmıştır. Babisten'in projesi **Şekil 6.3**'te, Filipenco'nun tasarısı **Şekil 6.4**'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : Babinsten hava türbini



Şekil 6.4 : Filipenco hava türbini

Pnömatik türbinlerin analizi hava akışının düzensiz olması nedeniyle karmaşıktır. Pnömatik tahrikli jeneratörler ile mekanik tahrikli jeneratörler karşılaştırıldığında, pnömatik cihazın sürekli işletimden dolayı üstün olduğu görülmektedir. Ayrıca elektrik üretimi için arzu edilen yüksek dönme hızları pnömatik sistemde elde edilebilmektedir (McCormick, 1981).

6.2 İleri Elektromekanik Enerji Dönüşüm Teknikleri

Önceki kısımda bahsedilen enerji dönüşüm tekniklerinin ihtiyaç duyduğu pek çok sistem için gerekli malzemeler kolay ulaşılabilir cinsten olup, maliyet nispeten düşüktür. Aşağıda açıklanan üç tip standart dışı enerji dönüşüm fikri, bunlar için, bir dereceye kadar sabit vanalar hareketli parçalar geliştirilememiş olmasından ve sistem elemanlarının ikliminden tam olarak tecrit edilebilmelerinden dolayı "ileri" olarak tanımlanmaktadır (McCormick, 1981).

6.2.1 Lineer (doğrusal) endüktans

Bir lineer endüktans jeneratörü basitçe, bir bobinin içinde hareket eden daimi bir mıknatıstan veya bunun tam tersinden oluşur. Burada, mıknatısın yer değiştirmeleri sonucu etrafındaki manyetik alanın değişime uğraması ve sarımlı tel tarafından bu değişimin algılanıp dogru akımda elektrik üretilmesi söz konusudur. Sarım çerçevesi, dalgalar tarafından tetiklenen ve dikey hareket yapan bir cisme göre sabitlenmiştir. Yaylar tercihen "yumuşaktır" ve bu yüzden mıknatısların hareketlerini sarım – dikey hareketli cisim sisteminin hareketlerinden tecrit eder. Elektriksel akım, tel sargıda, tel sargı ve mıknatısın arasındaki izafi hareketler sonucu üretilir (McCormick, 1981).

6.2.3 Piezoelektrik

Latince “ basmak” anlamına gelen “piezo” kelimesinden türetilen bu kavram, basitçe üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilmektedir. Bu kristallerden bazıları kuvars, turmalin ve Rochelle tuzu olup bu kristallerden faydalanmak suretiyle yapılan tek yada daha çok katlı plakalar suyun içerisine bırakıldığında, üzerine binen dalganın oluşturacağı basınç piezoelektrik kristalleri harekete geçirecek ve elektrik üretilmesini sağlayacaktır. Aynı şekilde bu kristallerden yapılmış bir “halı” deniz yüzeyine serilip batması engellendiğinde, yüzey hareketlerini takip eden piezoelektrik kristaller elektrik üreteceklerdir (Bak, 2003). Daha önceki sonuçlarla kıyaslandığında piezoelektrik malzemelerin dalga enerjisi dönüşümü için yeterince uygulanabilir olmadığı sonucuna varılabilir. Piezoelektrik malzeme teknolojisindeki atılımların dönüşüm veriminde en fazla %1’lik bir iyileşme sağlayacağı ifade edilmiştir (McCormick, 1981).

6.2.2 Protonik iletim

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

6.3 Enerji İletimi ve Depolanması

Dalga enerjisi dönüşümündeki önemli bir problem alanı, dönüşüm cihazından kıyıya olan enerji transferidir. Akla gelen ilk enerji iletim tekniği, direkt kablo ile elektrik iletimidir. Dalga enerjisi sistemlerinde, dalga kaynağı derin sularda kıyı bölgelerinden çok daha fazla olduğu için açık denizlerdeki dalgalar göz önünde bulundurulmalıdır. Dip sürtünmesi dahil, sığlaştırma etkileri dalga kırılma bölgesine girdiği zaman derin su dalgasının enerjisini %90’a kadar azaltır. Bundan dolayı derin su dalgalarından dönüştürülen enerji taşımak için elektrik kablosu üzerinden iletim haricindeki teknikler kullanılmaktadır (McCormick, 1981).

6.3.1 Elektrik kabloları

Dalga enerjisinden dönüştürülmüş elektrik enerjisinin bir kıyı terminaline iletimi 18.6 mil'e (30 km.) kadar olan mesafelerde en kolay alternatif akım kablosu ile yapılabilir. Bu mesafe dahilinde derinlik normal olarak 1500 ft. (457m.)'dir. Dönüşen elektrik alternatif akım olduğundan, doğrudan güç şebekesine ikmal edilebilir. 18.6 mil (30 km.)'den büyük 80 mil'den (129 km.) küçük mesafelerde doğru akım kablo iletimi daha uygundur. Doğru akım uzun mesafe iletimi, alternatif akım iletiminin istediği 3 kondüktöre karşılık 2 kondüktör ile daha verimli ve daha masrafsızdır. Deniz altı kablosu ile alternatif akım ve doğru akım iletimi aynı konstrüksiyon değerlerine sahiptir. Birincisi, iletim kayıpları nominal gücün %10'undan küçük olmalıdır. Bu kayıplar kondüktör ebadını büyüterek, dolayısıyla da masrafları artırarak düşürülür. İkincisi, kablolar deniz yatağına korunma maksadıyla 3-6 ft. (0.914-1.83 m.) gömülmelidir. Doğal olarak bu istek su derinleştikçe daha pahalı hale gelir. Üçüncüsü, kablo sisteminde mekanik ve elektriksel olarak en zayıf noktalar kablo bağlantıları olduğundan, bunlardan mümkün olduğunca az kullanmak gerekir. (McCormick, 1981).

6.3.2 Enerji yoğunluklu ürünler

Bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi ve kıyı arasındaki mesafe 80 mil'in (129 km) üzerinde ise kablo ile doğrudan enerji iletimi uygun değildir. Dogrudan elektrik enerjisi iletimi konusunda olduğu gibi depolanmasındaki alternatif konulara da büyük çaba harcanmıştır. Bu metotların içine alüminyum gibi enerji yoğunluklu ürünlerin üretimi de dahildir. Dalga kaynağı, okyanus termal kaynaklarına göre oldukça değisken olduğundan üretilen ürünün tipi için dikkat gösterilmelidir. Winer ve Konopka tarafından 1975 ve 1977 yıllarında büyük lityum pillerinin uzak mesafelerde dogru akım elektriği taşımakta kullanılmasını teklif etmişler ve Konopka ile arkadaşları 1977'de elektro-kimyasal köprü olarak bilinen enerji iletim ve depolama tekniğinin analizini gerçekleştirmistir. Bu tür büyük batarya sisteminin gerçekleştirilmesinin Lityum pillerinin basitliklerinden ve dalga enerji dönüşümünde yüksek iletim verimlerinden dolayı büyük bir fırsat olarak görülmektedir (McCormick, 1981).

7. AKIM TÜRLERİ VE ELEKTROMANYETİZMA

7.1. Akım Türleri

7.1.1. Doğrusal akım

Doğru akımın kısa tanımı, "Zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişmeyen akıma doğru akım denir" şeklindedir. Doğru akım genelde elektronik devrelerde kullanılır. En ideal doğru akım en sabit olanıdır. En sabit doğru akım kaynakları da pillerdir.

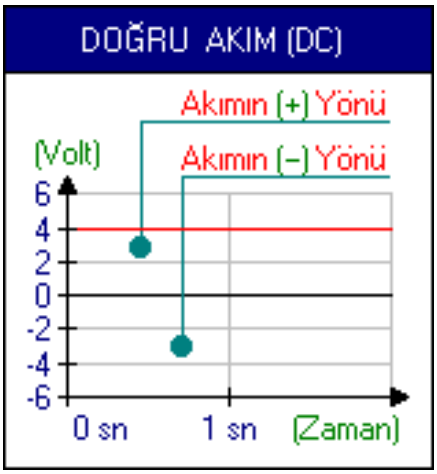
7.1.2. Alternatif akım

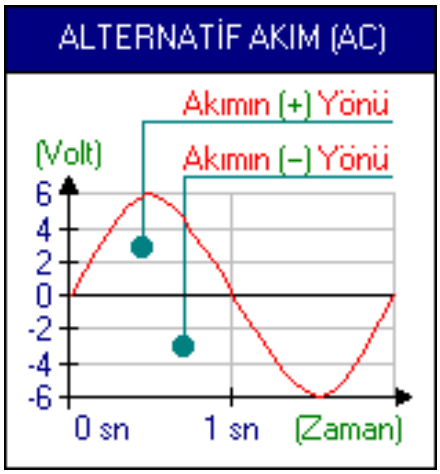
Alternatif akımın kısa tanımı, "Zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişen akıma alternatif akım denir." şeklindedir. Alternatif akım büyük elektrik devrelerinde ve yüksek güçlü elektrik motorlarında kullanılır. Evlerimizdeki elektrik alternatif akım sınıfına girer. Buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, klima ve vantilatörler doğrudan alternatif akımla çalışırlar. Televizyon, müzik seti ve video gibi cihazlar ise bu alternatif akımı doğru akıma çevirerek kullanırlar (Kahveci, t.y.).

7.1.3. Alternatif akımı dönüştürme

Alternatif akım çoğu elektronik cihazı çalıştırmaya uygun değildir. O yüzden doğru akıma çevrilmesi gerekmektedir. Örneğin evimizde kullandığımız müzik seti prize takılarak çalışmasına rağmen aslında doğru akım kullanmaktadır. Müzik çalarımız pille de çalışabiliyor olması bunun bir göstergesidir. Prizden gelen AC akım elektronik aletlerin içinde doğru akıma çevrilerek kullanılır.

Tv, müzik seti, dvd, uydu alıcısı gibi cihazların içinde bu değiştirici devre bulunur. Bazı küçük cihazların doğru akım alması için dışarıdan bir dönüştürücü takılır. Örneğin, mp3 çalar, cep telefonu şarj cihazı gibi aletler adaptör olarak adlandırılan dönüştürücü ve akım düşürücülere ihtiyaç duyarlar (Alternatürk, t.y.).





Şekil 7.1 : Doğru akım grafiği **Şekil 7.2 :** Alternatif akım grafiği

7.2. Elektromanyetizma

7.2.1. Manyetik alanın etkileri

Manyetik alan içerisine içinden akım geçen bir iletken konulursa, manyetik alan ile iletken arasında bir kuvvetin meydana geldiğini biliyoruz. Meydana gelen bu kuvvete "elektro manyetik kuvvet" denir. İçinden akım geçmeyen bir iletken, manyetik alan içinde hareket ettirilirse, bu iletkenin iki ucu arasında bir potansiyel fark meydana gelir. Meydana gelen bu potansiyel farka "endüksiyon elektromotor kuvveti"denir.

Bu iletkenin iki ucu bir alıcı üzerinden birleştirilecek olursa, iletkenden bir akım geçer. Şu halde, manyetik alan, içinden akım geçen iletkene etki ederek onda bir mekanik kuvvet, hareket halindeki bir iletkene etki ederek onda da bir endüksiyon elektromotor kuvveti meydana getirir.

7.2.2. Endüksiyon elektromotor kuvvetinin elde edilmesi

Bir iletken grubu manyetik alan içinde hareket ettirilirse, bu iletken grubunda bir elektrik akımı meydana gelir. Bobin şeklinde sarılmış bir iletken grubunun uçlarına galvanometre bağlandığında, çubuk şeklinde bir mıknatıs bu iletken grubunun içine daldırılırsa galvanometrenin bir yönde saptığı görülür. Çubuk mıknatıs, bobin içerisinden süratle geri çıkarılırsa, galvanometre yine sapar. Fakat bu sapma yönü birinci sapma yönüne göre ters yöndedir. Eğer çubuk mıknatıs sabit tutulup, bobin çubuk mıknatıs yönünde hareket ettirilirse, hareket yönüne bağlı olarak galvanometre iki yönlü bir sapma gösterir. Çubuk mıknatısın veya bobinin hareketi durursa galvanometre de herhangi bir sapma olmaz.

Bu olaydan şu sonuçlar çıkarılabilir:

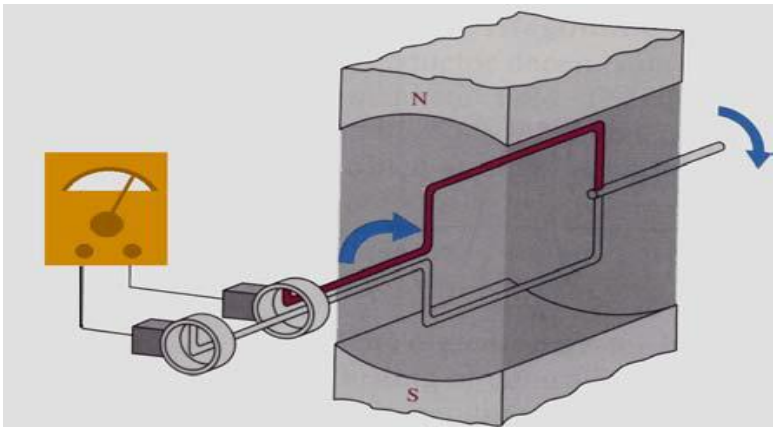
1) Galvanometreden geçen akım, yalnız bobin veya çubuk mıknatıs hareket ettiği zaman meydana gelmektedir. Bobin veya mıknatıs hareketsiz durursa akım meydana gelmez.

2) Meydana gelen akımın yönü bobinin veya çubuk mıknatısın hareket yönüne bağlıdır.

3) Galvanometrenin sapması, içinden bir akımın geçtiğini gösterir. Bu akım ise endüksiyon yoluyla bobinde meydana gelen elektromotor kuvvetin etkisiyle meydana gelir.

7.2.3. Sinüsoidal alternatif akımın elde edilmesi

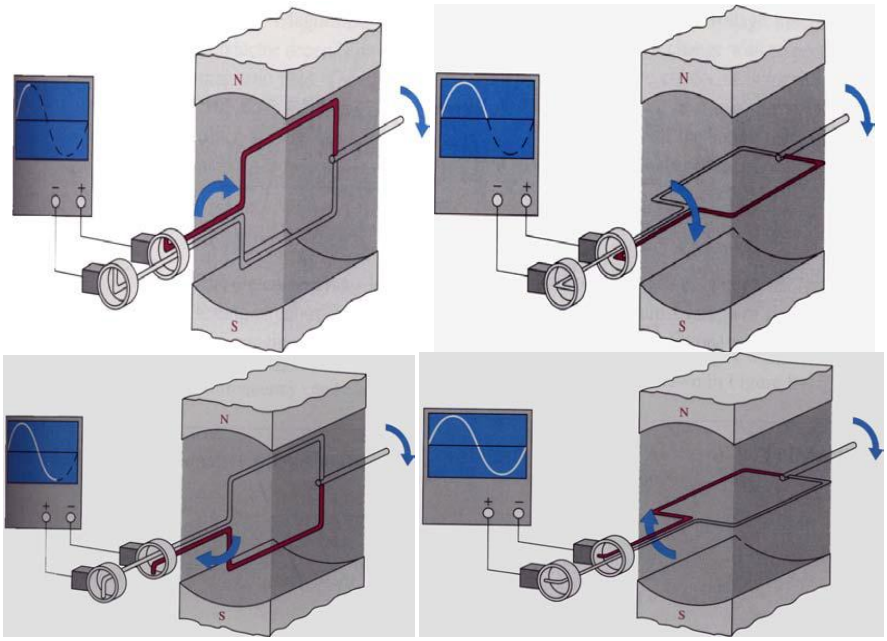
Şekil 7.3'te görüldüğü gibi, N-S kutuplarının meydana getirdiği düzgün manyetik alanın içinde bulunan iletken, kuvvet çizgilerini dik kesecek şekilde hareket ettirildiğinde, iletkende bir emk indüklenir.



Şekil 7.3 : N-S kutupları içinde iletken hareketi

Ölçü aletinin ibresi sapar. İletken ters yöne doğru hareket ettirildiğinde, ölçü aletinin ibresi ters yönde sapar. İndüklenen emk'in yönü değişir. İletken manyetik kuvvet çizgilerine paralel olarak iki kutup arasında hareket ettirildiğinde, ölçü aletinin ibresi sapmaz. Yani iletkende hiçbir emk indüklenmez.

Şekil 7.4'teki elektromıknatısın N ve S kutupları arasında düzgün bir manyetik alanın olduğunu kabul edelim. Bu alanın içinde, saat ibresi yönünde dairesel olarak dönebilen düz bir iletken bulunuyor. İletken döndürüldüğünde, manyetik kuvvet çizgilerini kestiği için iletkende bir emk indüklenir.



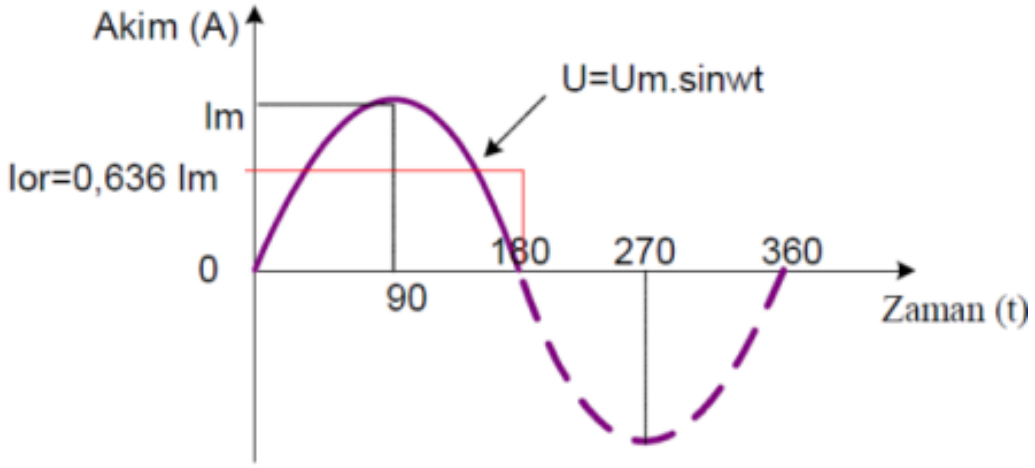
Şekil 7.4 : A.A dalga şekli

7.2.4. Alternatif gerilim ve akımın değerleri

Ani değer: Alternatif akımın elde edilişi incelenirken manyetik kutuplar arasında hareket eden iletken manyetik kuvvet çizgilerinin kesme açısına göre bu iletkende bir gerilim indüklemesi meydana gelmekte ve bu gerilim değeri an ve an değişmekte olduğu görülmekte idi. Bu durumda gerilimin veya akımın herhangi bir anındaki değerine ani değer olarak tanımlamak gerekir.

Maksimum değer: Alternatif akımın elde edilmesi incelenirken iletken 90° lik bir dönme yaptığı konumda iken en büyük emk indüklenmekte idi. İletkenin 270° lik dönmesi sonunda yine en büyük emk indüklenmekte, fakat yönü ters olmaktadır. İşte alternatif emk'in bu en büyük değerlerine "tepe değeri" veya "maksimum değeri" denir. Maksimum değer, emk için E_m, gerilim için U_m ve akım için I_m sembolleri ile gösterilir.

Ortalama değer: Alternatif gerilimin veya akımın yarım periyot içinde aldığı bütün ani değerlerin ortalamasına "ortalama değer" denir. Alternatif akımın eğrisi sinüs eğrisi olduğu için bu eğrinin ortalama değerini elde etmek için, eğrinin yarım periyodu üzerinde eşit aralıklı ani değerler alınır ve bunların ortalaması bulunur. Diğer bir ifade ile yarım periyodun alanı taranarak taranma değerine bölümü ile de bulunur.Bir sinüs eğrisinin ortalama değeri, maksimum değerinin 0,636 katına eşittir. Bu sinüsoidal akım içinde aynen geçerliktedir. **Şekil 7.5**'te akımın ortalama değeri I_{or} (I_{avg}) görülmektedir.



Şekil 7.5 : Ortalama akım değeri

Efektif (Etkin) değer: Alternatif akımda en çok kullanılan değer, etkin değerdir. Bu değer; bir dirençten geçen alternatif akımın, belirli bir zamanda meydana getirdiği ısı enerjisine eşit bir enerjiyi, aynı dirençten geçen doğru akım aynı zamanda meydana getiriyorsa, doğru akımın değerine alternatif akımın etkin değeri denir. Alternatif akımda işi yapan gerilim efektif değeridir. Efektif değer, tepe değerinin 0,707 katına eşittir (Mersin Üniv., t.y.).

7.2.5. Faz ve faz farkı

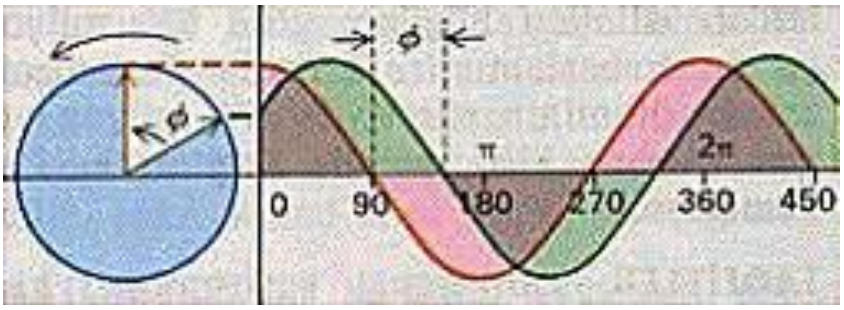
Alternatif akım ve emk'leri gösteren vektör veya eğrilerin başlangıç eksenine (x ekseni veya referans ekseni) göre bulundukları duruma faz denir. Üç çeşit faz vardır. Bunlar sıfır faz, ileri faz ve geri fazlardır.

Sıfır faz: Eğer sinüsoidal bir eğri t=0 anında sıfır üzerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa, bu eğriye sıfır faz eğrisi denir. Eğer ω açısal hızı ile saat ibresinin ters yönde dönen bir vektörün t=0 anında referans ekseni ile yaptığı açı sıfır ise bu vektöre sıfır faz vektörü denir.

İleri faz: t=0 anında B vektörü X ekseninden θ kadar ileridedir. Belirli bir zaman geciktikten sonra, B vektörü referans ekseni üzerine gelir ve bu anda da eğri sıfır değerindedir.

Geri faz: t=0 anında B vektörü X ekseninden θ kadar geridedir. Belirli bir zaman geciktikten sonra, B vektörü referans ekseni üzerine gelir ve bu anda da eğri sıfır değerindedir.

Faz farkı: Vektörlerin ve eğrilerin aralarında bulunan açı veya zaman farkına faz farkı denir. Kısaca eğriler arasındaki zaman farkıdır. Alternatif akım sinüsoidal bir eğri olduğundan vektörel toplanı ve vektörel olarak çıkartılması gerekir. Çünkü alternatif akımın veya gerilimin zamana göre değişmektedir. İlerleyen konularda faz ve faz farkı oluşturan durumlar meydana gelecektir **(Şekil 7.6).**

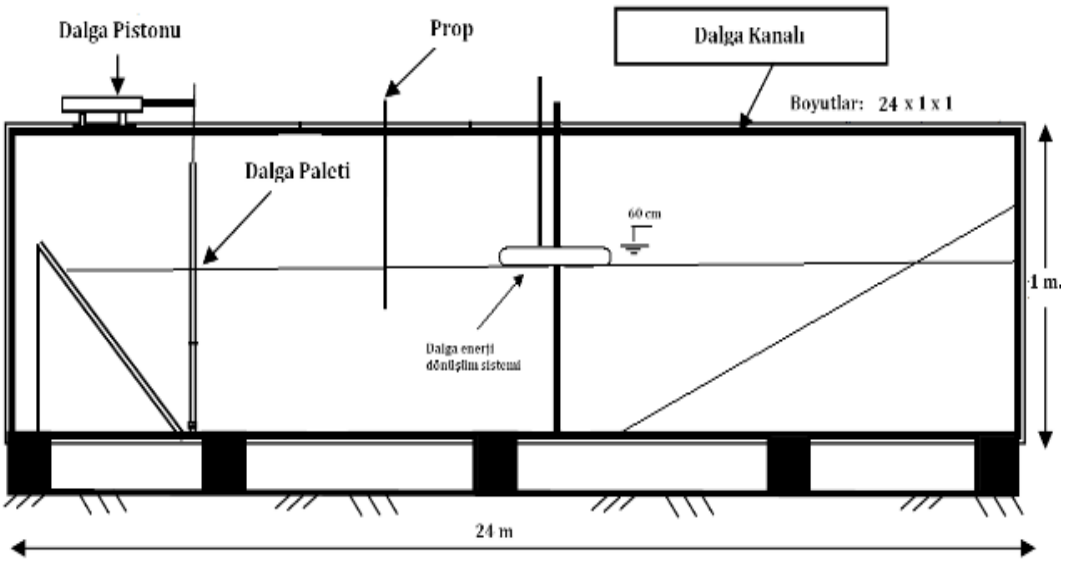


Şekil 7.6: Dalgalar arası faz farkı

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1 Deney Düzeneği

Çalışmalar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan 100 cm eninde, 24 metre boyunda ve 100 cm yüksekliğinde kenarları cam dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın bir ucunda doğru akım motoru, redresör, ekzantriklik parçası ve dalga paletinden oluşan bir düzenli dalga üreteci bulunmaktadır. Dalga kanalının diğer ucunda ise 1/5 eğimli bir çakıl plajı ile dalgaların sönümlenmesi sağlanmaktadır **(Şekil 8.1).** Gelen dalgaların yükseklik ve gerilim değerleri kanala yerleştirilen prop sayesinde belirlenmektedirç ve prop dalga dönüşüm sistemine çarpan dalgalardan etkilenmemesi için sistemden 150 cm. uzaklığa yerleştirilmiştir. Çalışma, 60 cm derinliğindeki suda, kanala yerleştirilmiş iki farklı deney düzeneğine gönderilen değişik periyod ve yüksekliklerdeki dalgalar üretilmesi ve düzeneğe bağlanmış multimetre vasıtasıyla üretilen gerilim (V) ve akım (mA) miktarının gözlenmesine dayanmaktadır.



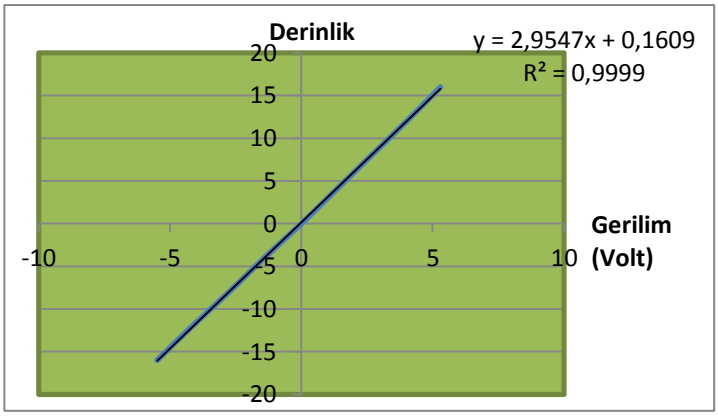
Şekil 8.1:. Deney kanalı şematik gösterimi

8.2 Su Seviyesi Ölçümleri

Deneylerde, 40 cm uzunluğunda ve 2 cm genişliğinde bir "u" olacak şekilde metal bir çubuk şeklindeki "direnç tipi seviye ölçer" aygıt yardımıyla su seviyesi zaman serileri ölçümüleri yapılmıştır. Seviye ölçerin suyun içinde bulunduğu derinlik değişiminden dolayı oluşan voltaj değişiklikleri gözlenerek seviye değişimi kaydedilebilmektedir.

Deney sistemini kurmadan önce kablo dirençleri sıfırlanır ve ölçülecek olan maksimum ve minimum yüksekliklere göre dalga monitöründe besleme ayarı yapılarak, sistem ölçüm yapmak üzere hassas hale getirilir (Bağcı, 2007).

Daha sonra seviye ölçerin su içerisine derinliği azaltılıp artırılarak cm—Volt kalibrasyon eğrisi çıkarılmıştır **(Şekil 8.2)**. Bu eğri, seviye ölçer su genişliği boyunca ortalandığında lineer görüntü sergilediğinden, kalibrasyon eğrisi doğrusal kabul edilmiştir.



Şekil 8.2 : Kalibrasyon eğrisi

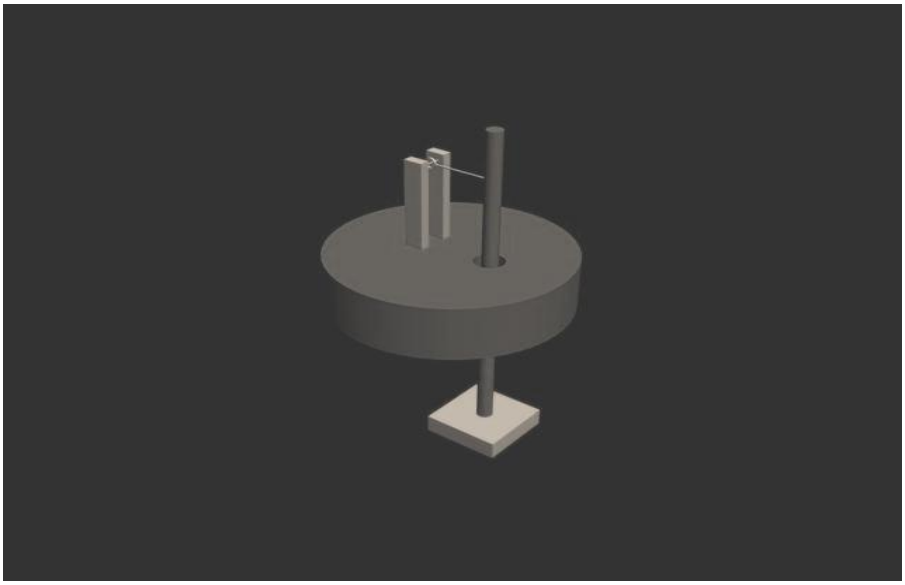
Bir analog/dijital dönüştürücü ve bir bilgisayar vasıtasıyla ölçülen veriler zaman serisi olarak kaydedilmiştir. Ölçülen su seviyesi zaman serileri 12 Hz frekansı ile dönüştürücü ve bilgisayar tarafından kaydedilmiştir.

8.3 (1) No'lu Dalga Enerji Dönüşüm Sistemi

8.3.1 (1) No'lu sistemin yapısı ve süreci

Deney düzeneği, düşey doğrultuda yere sabitlenmiş Φ 8 çapında içi boş çelik boru ve bu borudan geçen ve düşey yönde hareket edebilecek boşluğa sahip, 10 cm yüksekliğinde, 40 cm çapında ve 3 mm et kalınlığı olan, pleksiglas malzemeden imal edilmiş içi boş hacimden oluşmaktadır.

Bu ana yapıya ek olarak, çelik boruya 20cm boyunda, 3 cm çapında demir çubuk marifetiyle monte edilmiş, tek yönde serbest dönebilen rulmanlı, iki adet bisiklet dişlisi kullanılmıştır. Ayrıca, borunun içinden geçen diske (ana gövdeye) monte edilmiş halde, 40 cm yüksekliğinde, 2 X 5 cm taban boyutlarına sahip, bir yüzü dişlilerin dönmesini sağlayan dişlerden oluşan ve dişli yüzleri birbirine bakan iki adet polyemit malzemeden imal edilmiş dikdörtgen prizma bulunmaktadır **(Şekil 8.3).**



Şekil 8.3 : (1) No'lu sistem gövde yapısının şematik gösterimi

Dişlilere ek olarak, 35 cm çapında bir başka dişli boruya sabitlenerek monte edilmiş ve bu dişlinin döndürdüğü 10 cm çapında, polyemit malzemeden oluşan bir başka dişli kanal kenarına kaynaklanmak suretiyle tutturulmuştur. Kanal kenarına tutturulmuş olan bu dişlinin yine kanal kenarına tutturulmuş olan dinamo sisteminin dönmesini sağlayarak elektrik üretimini sağlaması düşünülmüştür.

Bu düzeneğin teorik çalışma prensibine göre, düzeneğe gelen dalga, hafif malzemeden yapılmış olan diski yukarıya kaldırarak rulmanlı dişlileri prizmadaki dişler sayesinde döndürmekte ve dalga en yüksek noktaya ulaşana kadar dinamonun dönmesini sağlamaktadır. Bu hareketin akabinde dalga çukuru seviyesine inen disk ters yönde hareket etmekte, fakat zıt yönlü yerleştirilmiş olan dişliler sayesinde, diskin hem yukarı, hem de aşağı doğru düşey hareketini aynı yönde dairesel harekete çevirmektedir. Dinamo üretecinin bir tarafa dönerken yarattığı potansiyelin, zıt yönde dönmesi halinde kesilmeye sebep olacağı düşünülmüş ve düzenek, dinamonun tek yönde dairesel hareketini sekteye uğratmadan, sürekli bir çalışma sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

8.3.2 (1) No'lu Sistemin değerlendirilmesi

Sistem, seçilen malzemenin ağırlığı ve dişlilerdeki yük kayıpları nedeniyle somut sonuç vermemiş olmasına rağmen, mekanik aksam açısından dikkate değer bir çözüm ortaya sunmuş, ilerleyen aşamalarda daha etkili hale getirilmesi açısından yol gösterici nitelikte olabileceği düşünülerek tez kapsamına alınmıştır.

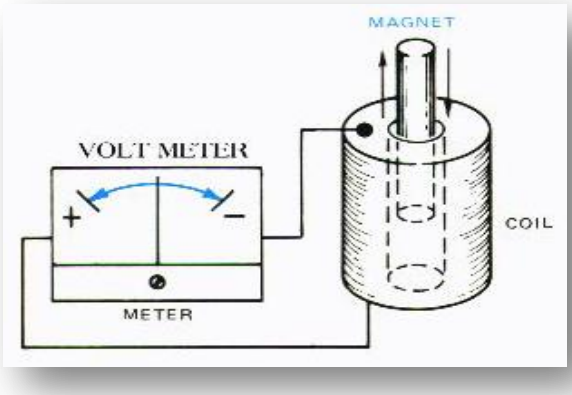
8.4 (2) No'lu Dalga Enerji Dönüşüm Sistemi

8.4.1 (2) No'lu sistemin yapısı

(2) no'lu dalga enerji dönüşüm sistemi (1) nolu sistemdeki gibi dalga etkisiyle çelik boruda düşey hareket yapan şamandıra sistemi şeklinde tasarlanmıştır. **(Şekil 8.4).** Sistem, lineer (doğrusal) endüktans prensibiyle çalışmakta ve elektromanyetizma ilkelerine göre elektrik üretmektedir. Bu sistemde, diske monte edilmiş 50 cm uzunluğunda plastik boru ve borunun içine yerleştirilmiş 14 adet 2,5 cm çapında mıknatıs dizisi yer almaktadır. Bu boru, kanal kenarına tutturulmuş 8 cm çapında ve 1,5 cm et kalınlığında silindir bobinin içinden geçmekte ve dalga etkisiyle oluşan salınımla, düşey hareket sayesinde manyetik enerjiden elektrik üretilmektedir.



Şekil 8.4 : (2) no'lu sistemin kanal içinde görünümü



Şekil 8.5 : (2) no'lu sistemin çalışma prensibi

8.4.2 (2) No'lu sistemin deney süreci

Sistem, farklı periyotlarda ve yüksekliklerde 6 değişik dalga etkisine 60'ar saniye boyunca maruz bırakılmıştır. Bu süreç boyunca su seviyeleri bilgisayar yardımıyla okunurken, diğer taraftan kanal kenarına sabitlenmiş ve bobinle bağlantısı gerçekleştirilmiş bir multimetreden Volt ve miliamper değerleri okunarak kameraya kaydedilmiştir. Daha sonra bu kayıtlar yavaşlatılmış olarak izlenerek hızlı değişen gerilim ve akım değerleri zamana göre not düşülerek 6 dalga boyunca elde edilen volt ve amper değerlerinin grafikleri oluşturulmuştur. Diğer taraftan bilgisayar tarafından her dalga için 1700 adet okuma yapılarak su seviyeleri serisi oluşturulmuş ve dalga istatistikleri çıkarılarak enerji hesapları yapılmıştır.

9. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Dalga istatistikleri ile sistem tarafından her dalgadan elde edilen enerji miktarı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Dalgalardan elde edilen grafik değerlerinin düzenli bir sistem oluşturmaması durumunda, yaklaştırma yöntemiyle grafikten düzenli alternatif akım dalgası elde edilmeye çalışılmış ve elde edilen sinüs dalgasının pik değerleri etkili akım değeri (I_{eff}) ve etkili gerilim değeri (V_{eff}) olarak kullanılmıştır.

9.1 Dalga İstatistikleri

Sisteme gönderilen 6 değişik dalganın enerjisini belirlemek üzere dalga istatistikleri elde edilmiş ve enerji denkleminde kullanılmıştır. Dalga istatistikleri **Çizelge 9.1**'de görülmektedir.

Çizelge 9.1 : Dalga istatistikleri

Deney Numarası	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**
Toplam Sinyal Sayısı	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Toplam Dalga Sayısı	168	116	89	76	166	78
Hmin (cm)	4,71	4,98	11,84	7,97	4,46	8,31
Ho (cm)	10,25	12,96	14,07	11,24	10,11	11,23
Hs (cm)	11,80	14,17	14,73	13,30	11,38	12,93
Hrms (cm)	10,35	13,02	14,09	11,38	10,19	11,33
H1/10 (cm)	13,04	14,95	15,04	14,12	12,02	13,97
H1/30 (cm)	13,95	15,67	15,56	14,71	12,61	14,51
Hmaks (cm)	14,68	15,92	15,86	14,74	13,87	14,54
To (sn)	0,81	1,01	1,21	1,40	0,81	1,40
Ts (sn)	0,80	1,00	1,21	1,38	0,80	1,39
T1/10 (sn)	0,80	1,01	1,21	1,39	0,79	1,36
Trms (sn)	0,81	1,01	1,21	1,40	0,81	1,40
L0o (m)	1,03	1,58	2,29	3,05	1,02	3,06
L0s (m)	1,00	1,57	2,27	2,97	1,00	3,01
H0/L0	0,10	0,08	0,06	0,04	0,10	0,04

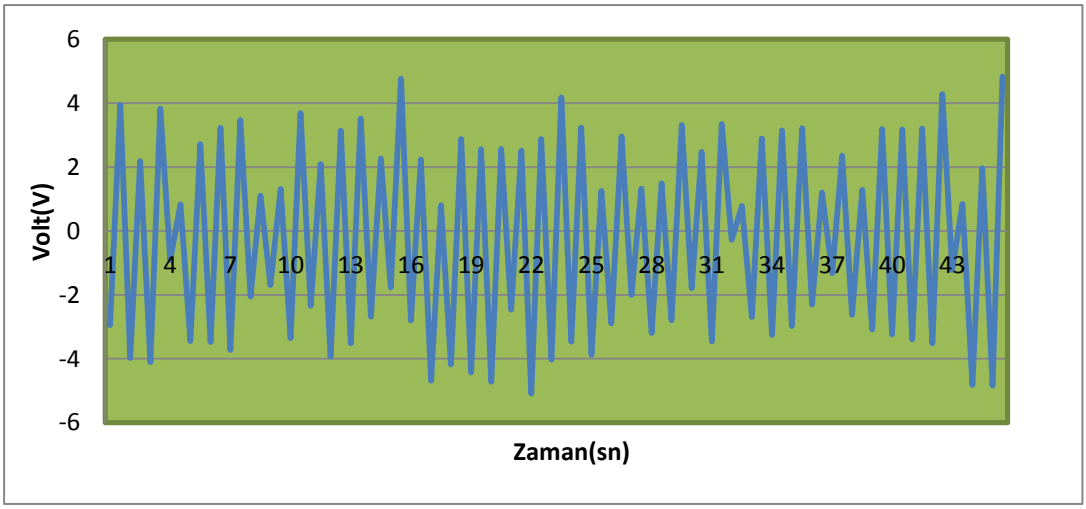
Çizelge 9.1'de dalga özelliklerinin belirlenmesi için 6 tip dalga için, sisteme gönderilen 1700 adet sinyal sonucunda veriler elde edilmiştir. Her tip dalga için 60 sn. boyunca uygulanan dalga sayıları ve bu dalgalar sonucunda elde edilen dalga yüksekliği, dalga periyodu dalga boyu ve dalga dikliği değerleri tabloda görülmektedir.

Gerçekleştirilen deneyde dalgaların enerji hesaplarında kullanılan dalga yüksekliği ortalama dalga yüksekliği (H_{rms}) kullanılmıştır. Düzensiz dalga koşullarında belirgin dalga yüksekliği, yani dalgaların en yüksek 1/3'ünün ortalaması alınarak etkin olan dalga koşulu belirlenmektedir. Deney ortamında düzenli dalga koşulları ile çalışıldığı için belirgin dalga yüksekliği kulanılmamış, ancak dalga yüksekliklerindeki ufak çaplı farklılıkların etkisini azaltmak için ortalama dalga yüksekliği kullanılmıştır. Aynı şekilde dalga periyodu da ölçülen ortalama dalga periyodu (T_{rms}) üzerinden hesaplanmıştır.

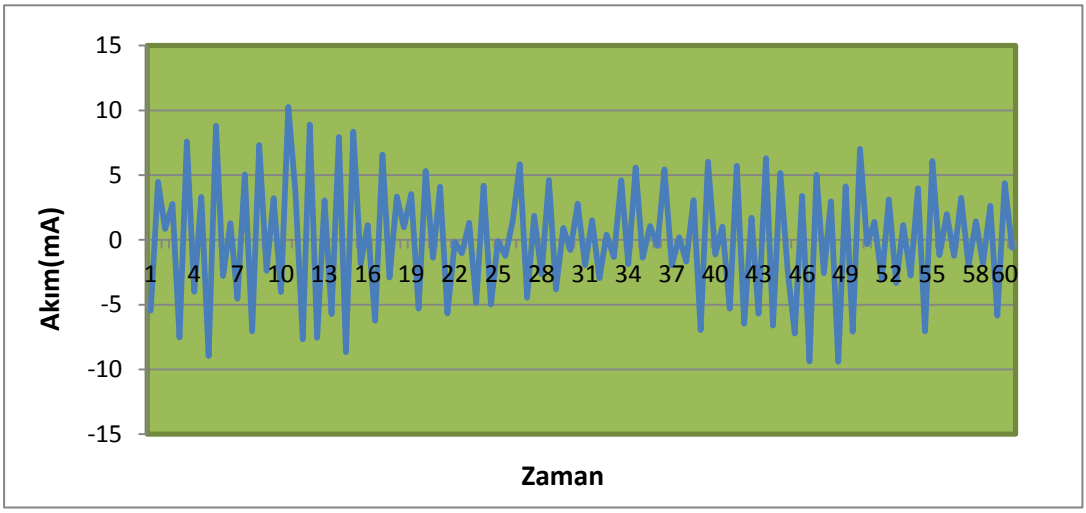
Uygulanan dalga koşullarının belirlenmesi, laboratuvar ve techizat imkanları ve istenen karşılaştırma koşulları göz önünde bulundurularak yapıldı. Buna göre, dalga üretecinin kapasitesine göre, maksimum H (dalga yüksekliği) ve bu değerler arasında minimum T (periyot), maksimum H ve maksimum T, minimum H ve minimum T, minimum H ve maksimum T koşullarını oluşturan dalga durumları deneyde kullanılmak üzere seçildi. Ayrıca bu dalga koşulları arasından iki tanesinin (minimum T ve maksimum T) farklı fakat yakın değerde dalga yükseklikleri nde muadili dalgalar gönderilerek gözlem ve değerlendirmeler yapıldı.

9.2 Sistemin Ürettiği Enerji Değerleri

Akım, gerilim okumaları 0,01 miliamper ve 0,01 volt hassasiyetinde okunmak üzere AVOmetre kullanılarak yapılmış ve okunan değerler video kaydı yapılarak her bir andaki değerler not düşülmüştür. Volt ve Amper değerleri okumaları için her bir dalga için ortalama 1'er dakikalık gerilim (V) ve 1'er dakikalık da akım (mA) ölçümleri yapılmış ve akım-gerilim grafikleri ortaya çıkarılmıştır. Grafiklerdeki salınım düzenli bir yapı oluşturmadığından düzenli sinüs dalgası yaklaşımı yapılarak hesap yapılmıştır. Yaklaşıma göre oluşturulan yeni sinüs dalgası doğrultusunda yapılan yaklaşım değerleri sonucunda belirlenen periyot, volt ve miliamper değerleri grafik ve tablolara yansıtılmıştır. V_{eff}, ve I_{eff} değerleri, yaklaşımla oluşturulan sinüs dalgasının pik değerlerinin mutlak değer ortalaması alınarak belirlenmiştir.



Şekil 9.1 : (101) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği



Şekil 9.2 : (101) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

Şekil 9.1'de 101 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre V_m değerleri 4,57 ve -5,1 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.2**'de görülen akım değerlerinde ise I_m değerleri 10,25 ve -9,41 mA olarak elde edilmiştir. V_m ve I_m, sırasıyla efektif gerilim pik değerlerini ve efektif akım pik değerlerini göstermektedir. Amper değerleri miliamper mertebesindedir.

V_{eff} ve I_{eff} değerleri ise sırasıyla, efektif volt ve efektif akım değerlerinin, eşitlenmiş pik noktalarını göstermektedir ve 101 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 4,83 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 9,83 mA değerinde belirlenmiştir. Eşitlenmiş pik noktaları, efektif pik değerlerinin negatif ve pozitif maksimum noktalarının düzenli sinüs dalgası oluşturacak şekilde eşdeğer pik noktalarına çekilmesi sonucunda elde edilen değerlerdir.

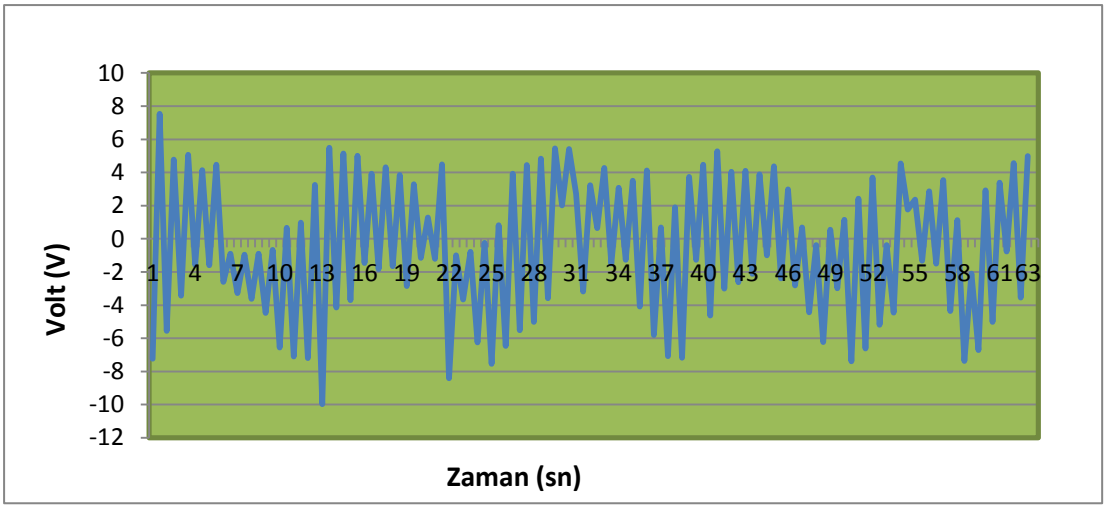
Efektif değerler ise, güç hesabında etkin olan değerlerdir ve maksimum değerlerin 0.707 katı kadardır. Deney sonucunda okunan değerler efektif değerler olduğundan, grafikte ve hesapta, doğrudan efektif değer olarak kullanılmıştır.

Grafiklerdeki değerler gerçek okuma değerlerini göstermektedir ve hesaba uygun hale getirilmesi için düzenli bir sinüs dalgası yaklaşımı yapılarak volt değerleri için genel gerilim periyodu 20 sn., akım değerleri için de genel akım periyodu 52 sn. olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşım dalganın düzenli ve tekrarlı değer ortaya koyduğu değerler okunarak yapılmıştır. Daha küçük ölçekli periyot yaklaşımlarında ise tekrarlar ve alternatif akım hesabı yapılmasını sağlayacak sinüs dalgası elde edilememektedir.

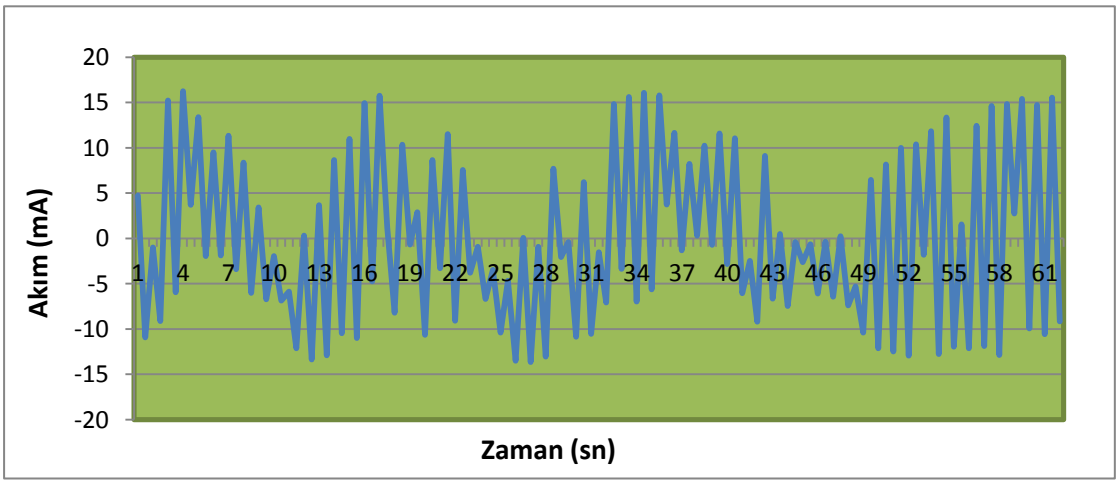
Buna göre, gerilim değerleri 8'inci saniyede sıfır noktasından başlayıp, 18'inci saniyede pozitif alternansını tamamlayarak tekrar sıfır noktasından geçen ve negatif alternansını da 28'inci saniyede tamamlayarak periyodunu tamamlayan bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir. Akım grafiği ise 0'ıncı saniyede sıfır noktasından başlayan ve 26'ncı saniyede pozitif alternansını tamamlayan, 52'nci saniyede de periyodunu tamamlayan bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir.

101 no'lu deneyde uygulanan dalganın periyodu 0,81 sn'dir, buna karşılık üretilen enerji grafiğinin akım ve gerilim grafiği 52 sn. ve 20 sn olarak kabul edilmiştir. Üretilen enerjinin akım ve gerilim grafikleri her bir akım ve gerilim dalgası göz önünde bulundurulduğunda değişik değerler vermektedir.

Hesaba uygunluk ve analiz yapılabilmesi için deney süresi ile her bir deneyde elde edilen pik sayısı arasındaki oranla ortalama akım ve gerilim periyotları bulunmuştur. Bu durumda ortalama dalga yüksekliği 10,35 cm. ve ortalama dalga periyodu 0,81 sn. olan 101 no'lu dalga için ortalama birim akım periyodu 1,03 sn., ortalama birim gerilim periyodu ise 1,09 sn olarak elde edilmiştir.



Şekil 9.3 : (102) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği

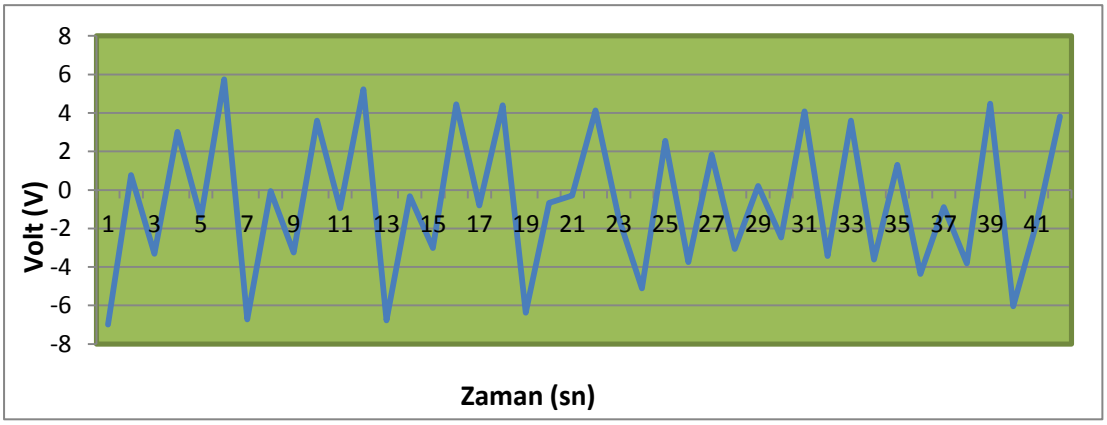


Şekil 9.4 : (102) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

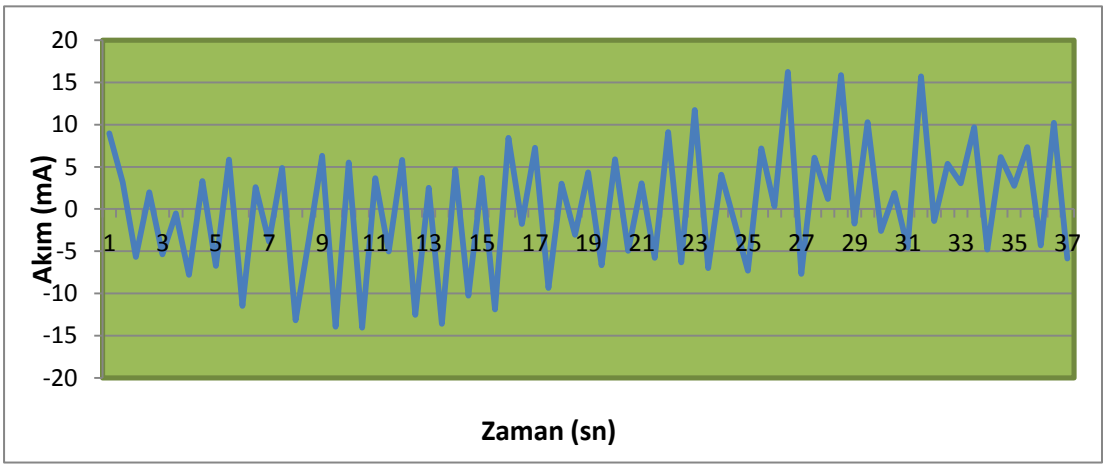
Şekil 9.3'te 102 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre V_m değerleri 9,95 ve -5,5 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.4**'te görülen akım değerleinde ise I_m değerleri 13,65 ve -15,79 mA olarak elde edilmiştir.

102 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 7,48 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 14,72 mA değerinde belirlenmiştir. 102 no'lu dalga durumunun volt değerleri 6'ncı saniyede başlayıp 22'nci saniyede periyodunu tamamlayan T=16 sn genel periyodundaki bir sinüs dalgası şeklinde kabul edilmiş ve amper değerleri ise 23'ünci saniyede başlayıp 43'üncü saniyede periyodunu tamamlayan T=20 sn genel periyodundaki bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir. 102 no'lu dalgaya göre akım ve gerilim periyotları karşılaştırması yapılarak her bir akım ve gerilim dalgası için yaklaşık periyotlar elde edilmiştir.

Buna göre; 13,02 dalga yüksekliği ve 1,01 sn. periyodu olan 102 dalgasından üretilen akım dalgalarının ortalama birim periyodu 1,02 sn. ve gerilim dalgalarının ortalama birim periyodu 1,02 olarak bulunmuştur.



Şekil 9.5 : (103) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği

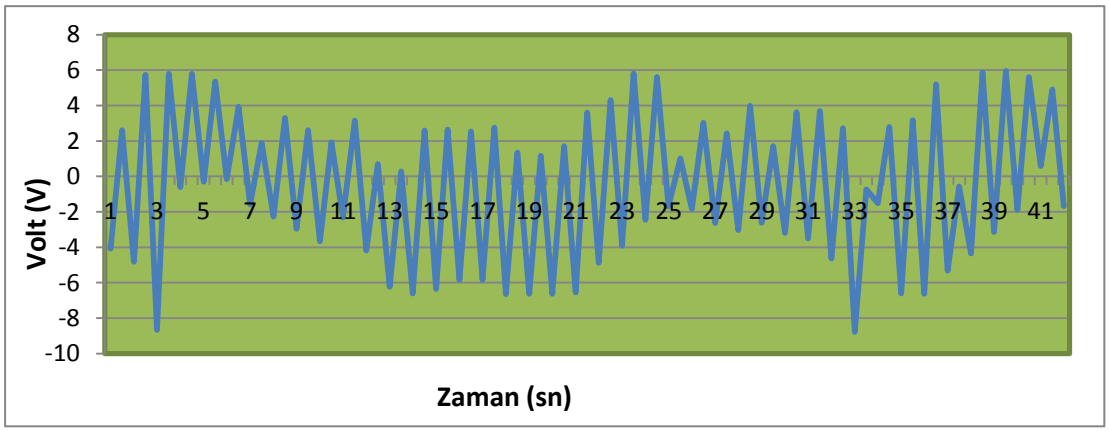


Şekil 9.6 : (103) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

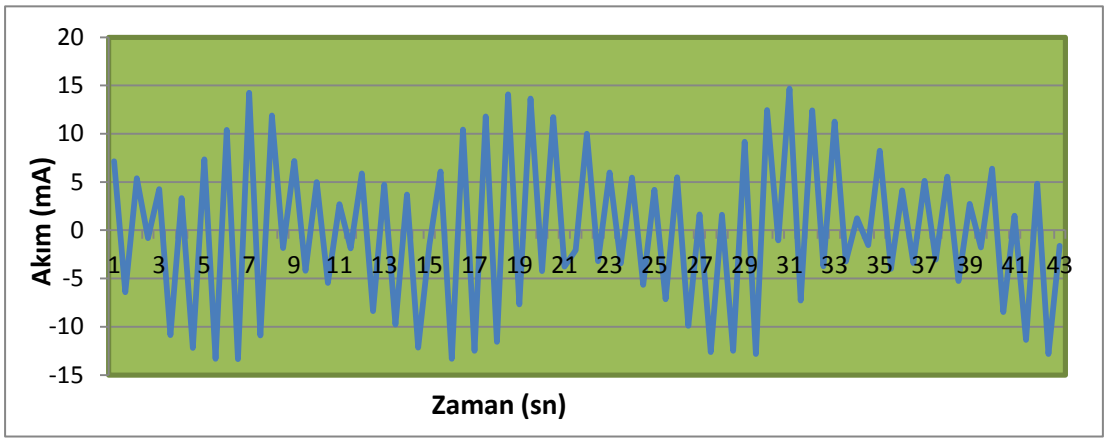
Şekil 9.5'te 103 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, V_m değerleri 6,75 ve -5,25 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.6**'da görülen akım değerlerinde ise, I_m değerleri 14,05 ve -16,24 mA olarak elde edilmiştir. 103 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 6 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 15,15 mA değerinde belirlenmiştir. 103 no'lu dalga durumunda gerilim grafiği, 7'nci saniyede başlayan ve 13'üncü saniyede periyodunu tamamlayan 6 sn periyotlu sinüs dalgası olarak kabul edildi. Akım değerleri ise, 0'ıncı saniyeden 36'ncı saniyeye kadar süren, 36 sn. periyotlu sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir.

103 no'lu dalganın dalga yüksekliği, deneyde kullanılan en yüksek yükseklik değerine sahiptir ve dalganın periyodu 1,21 sn.'dir.

Bu durum akım grafiklerinde kısa gerilim periyodu ve uzun akım periyodu oluşturmuştur. Tek bir akım ve gerilim dalgasında ise, akım dalgasında 1,17 sn, gerilim dalgasında ise 1,20 sn. ortalama birim periyot değerleri elde edilmiştir.



Şekil 9.7 : (104) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği



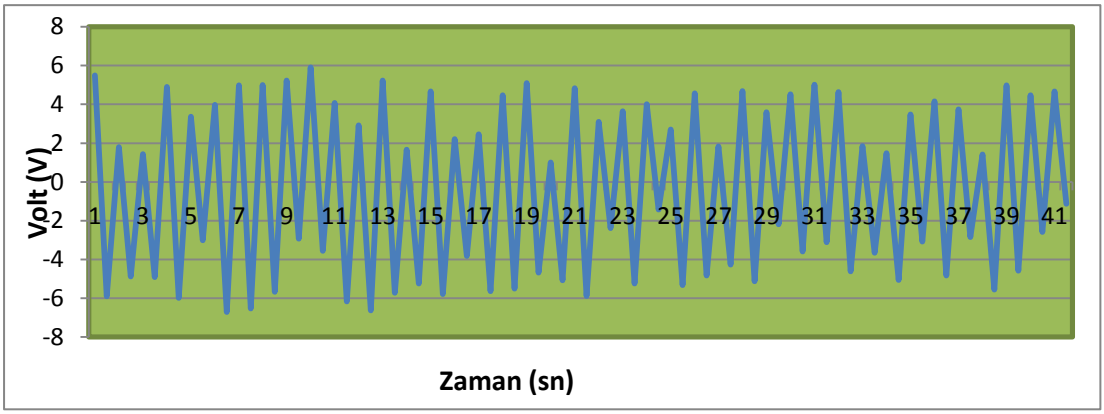
Şekil 9.8 : (104) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

Şekil 9.7'de 104 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, V_m değerleri 6,61 ve -5,81 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.8**'de görülen akım değerlerinde ise, I_m değerleri 13,31 ve -14,08 mA olarak elde edilmiştir.

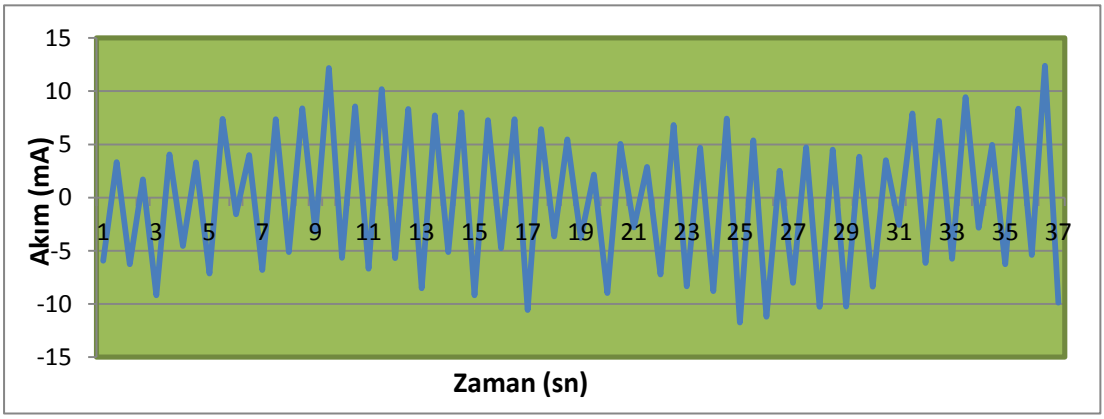
104 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 6,21 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 13,7 mA değerinde belirlenmiştir.

104 numaralı deney durumunda volt değerleri, 8'inci saniyede başlayan ve 28'inci saniyeye kadar süren 20 sn genel periyotlu sinüs dalgası olarak, amper değerleri ise 9'uncu saniyede başlayıp 25'inci saniyede sona eren, 16 sn genel periyotlu bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir.

104 no'lu dalganın dalga periyodu 1,40 sn.'dir ve birim akım ve gerilim grafikleri ile karşılaştırıldığında ortalama birim akım periyodu 1,31 sn. ve ortalama birim gerilim periyodu 1,29 sn. olarak elde edilmiştir.



Şekil 9.9 : (105) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği



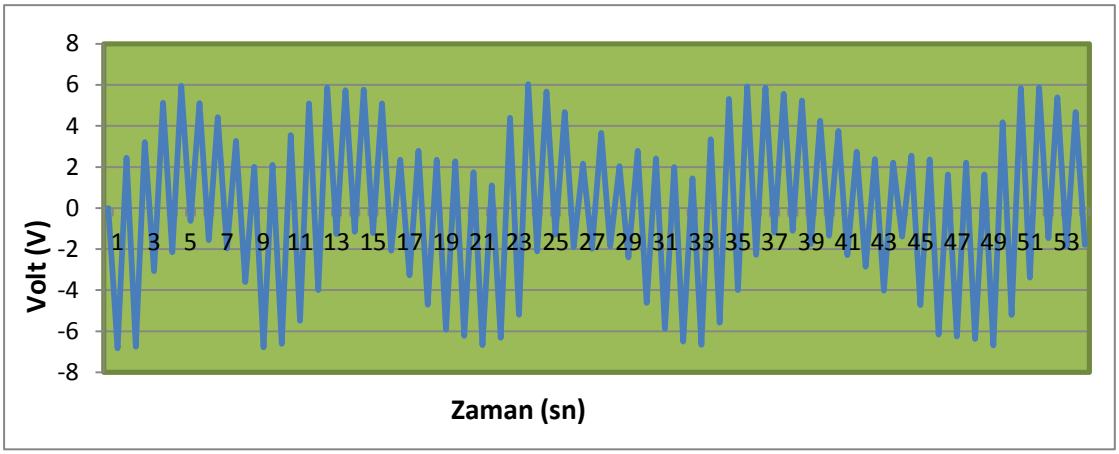
Şekil 9.10 : (105) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

Şekil 9.9'da 105 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, V_m değerleri 5,91 ve -6,52 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.10**'da görülen akım değerlerinde ise, I_m değerleri 12,18 ve -11,74 mA olarak elde edilmiştir.

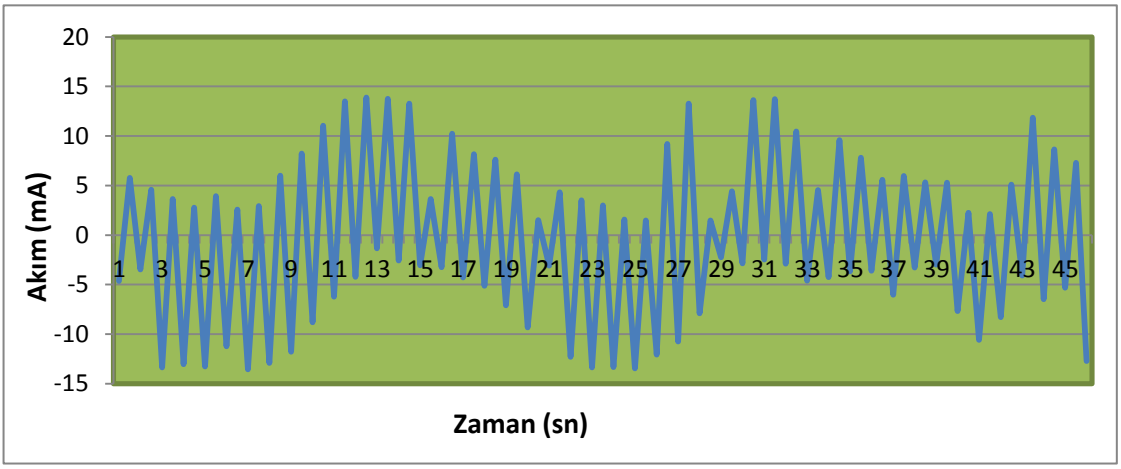
105 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 6,21 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 11,96 mA değerinde belirlenmiştir.

105 numaralı deneyde volt değerleri 5'inci saniyede başlayan ve 13'üncü saniyeye kadar süren 8 sn periyotlu sinüs dalgası olarak, amper değerleri ise 5'inci saniyede başlayıp 29'uncu saniyede sona eren 24 sn periyotlu bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir. 105 no'lu deneyde birim dalganın dalga periyodu 0,81 sn.'dir ve birim akım ve gerilim grafikleri ile karşılaştırıldığında ortalama birim akım periyodu 1,07 sn. ve ortalama birim gerilim periyodu 1,08 sn. olarak elde edilmiştir.

105 no'lu dalganın sinüs dalgası yaklaşımıyla belirlenmiş olan genel akım ve gerilim periyodu düzensiz salınımlar sonucunda dağınık bir görüntü oluşturduğundan genel gerilim periyodu değeri geniş aralıkta alınmıştır.



Şekil 9.11 : (106) no'lu dalgadan elde edilen volt değerleri grafiği



Şekil 9.12 : (106) no'lu dalgadan elde edilen akım değerleri grafiği

Şekil 9.11'de 106 no'lu deneyden elde edilen gerilim değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, V_m değerleri 5,95 ve -6,75 Volt olarak elde edilmiş, **Şekil 9.12**'de görülen akım değerlerinde ise, I_m değerleri 13,55 ve -13,85 mA olarak elde edilmiştir.

106 no'lu deneyde V_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 6,3 Volt olarak elde edilirken, I_{eff} değerinin eşitlenmiş pik noktası 13,6 mA değerinde belirlenmiştir.

106 numaralı deneyde elde edilen genel gerilim ve akım periyodu değerleri sırasıyla 8 sn ve 16 sn olarak kabul edilmiştir. Gerilim periyodu 8'inci saniyede başlayıp 16'ncı saniyede biten bir sinüs dalgası, akım periyodu ise 2'nci saniyede başlayıp 18'inci saniyede tamamlanan bir sinüs dalgası olarak kabul edilmiştir.

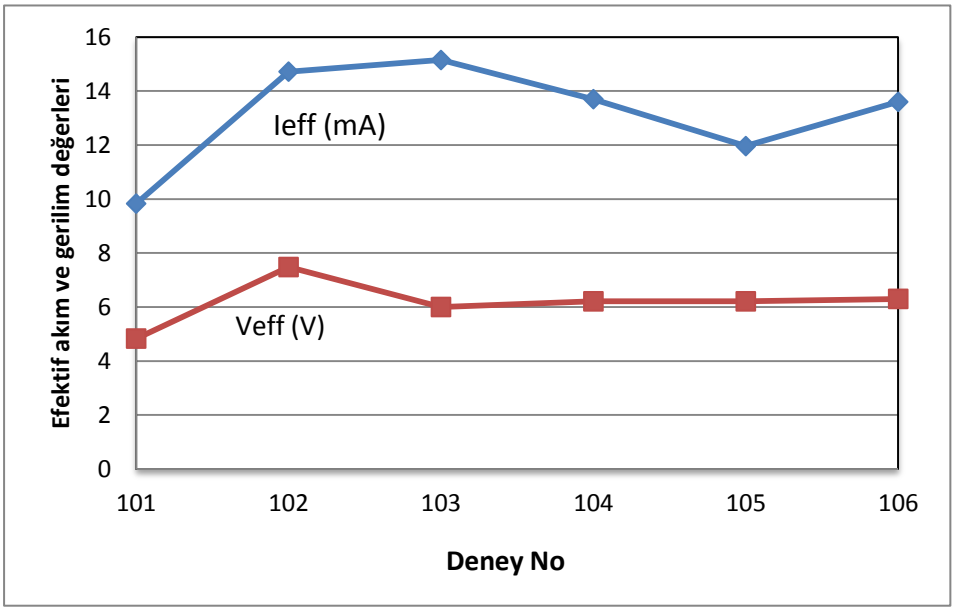
Dalga periyodu 1,40 sn olan 106 no'lu deneyin ortalama birim akım ve gerilim dalgası periyodu ise sırasıyla 1,26 sn ve 1,21 sn olarak belirlenmiştir.

Bütün deneyler için elde edilen efektif gerilim, efektif akım değerleriyle birlikte bu dalga durumlarından elde edilen grafiklere göre değer değişimlerinin eğilimi doğrultusunda yaklaşım yapılarak belirlenen genel gerilim periyodu ve genel akım periyodu değerleri de **Çizelge 9.2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 9.2 : Deneylerde elde edilen efektif değerler ve yaklaşım yapılan genel periyot değerleri

Deney No	Efektif gerilim (Volt)	Efektif Akım (mA)	Genel Gerilim Periyodu (sn)	Genel Akım Periyodu (sn)
101	4,83	9,83	20	52
102	7,48	14,72	16	20
103	6	15,15	6	36
104	6,21	13,7	20	16
105	6,21	11,96	8	24
106	6,3	13,6	8	16

Ayrıca, bütün dalga durumları için elde edilen birim akım ve gerilim dalgası değerleri **Şekil 9.13**'te görülmektedir.



Şekil 9.13 : Dalga durumlarına göre efektif akım ve gerilim değerleri

9.3. Enerji Hesapları

Enerji hesapları yapılırken dalga enerjisini ve gücünü belirlemek üzere H_{rms} yüksekliği kullanılmış ve enerji denkleminde yerine konularak enerji ve güç değerleri bulunmuştur.

$$E = \frac{1}{8}\rho g H^2 \qquad \textbf{(9.1)}$$

Bulunan enerji değeri birim genişlikteki dalga için enerji değerini vereceğinden bu değer sistemin genişliği (0,40 m) ile çarpılarak sisteme etkiyen dalga enerjisi miktarı bulunmuştur.

Güç hesaplarında ise dalga yayılma hızı C_g=C/2 olarak kullanılmıştır ve denklemde kullanılacak k katsayısı sinüzoidal dalgalarda kullanıldığı haliyle 976 W/s.m^3 olarak kullanılmıştır.

Sistemin dalgalardan ürettiği enerji miktarı ise alternatif akımlar için enerji denklemi kullanılarak bulunmuştur.

$$\mathrm{Po} = \mathrm{Ie} \,.\, \mathrm{Ve} \,.\, \cos\Phi \qquad \textbf{(9.2)}$$

Denklem'de Ie efektif akım değerlerini, Ve ise efektif gerilim değerlerini göstermektedir. CosΦ, akım ve gerilim değerlerinin sistem içerisinde oluşum zamanları arasındaki faz farklarını göstermektedir.

Ölçümler sırasında faz farkları yok sayılmış, yani volt ve akım değerleri t=0 anında 0 kabul edilmiş ve cosΦ=1 olarak hesap edilmiştir. Gerilim ve akım ölçümleri AVOmetre'nin değerleri okuma hızına da paralel olarak, aynı dalga durumu altında ardarda 1'er dakikalık sürelerle gözlemlendiğinden akım ve gerilim süperpozisyonunda faz farkı olmaksızın en yüksek akım değerinde, en yüksek gerilim değeri eşleştirlmiştir. Buna göre, volt değerlerinin ve amper değerlerinin efektif maksimum değerleri üzerinden hesap yapılmış ve sistemin oluşturduğu güç değerleri bu hesaplara göre bulunmuştur.

Çizelge 9.3 : Dalga özellikleri, üretilen güç ve elde edilen verim değerleri

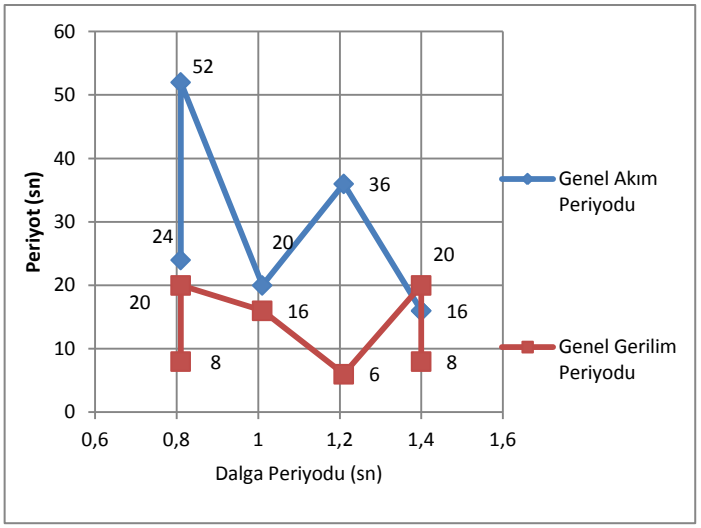
Deney No	**H_{rms} (cm)**	**T_{rms} (sn)**	**P_0 (Watt)**	**P (Watt)**	**Ne=P_0/P**
101	10.35	0.81	0.047	3.387	0.014
102	13.02	1.01	0.110	6.684	0.016
103	14.09	1.21	0.091	9.378	0.010
104	11.38	1.40	0.085	7.078	0.012
105	10.19	0.81	0.074	3.283	0.023
106	11.33	1.4	0.086	7.016	0.012

Çizelge 9.3'te P değeri dalgaların güç kapasitesini, P_0 değeri ise sistemin ürettiği güç miktarını ortaya koymaktadır. T_{rms} dalganın periyodunu, H_{rms} ise hesapta kullanılan dalga yüksekliğini göstermektedir. N_e değeri, üretilen güç miktarının dalganın gücüne oranını yani sistemin verimini göstermektedir.

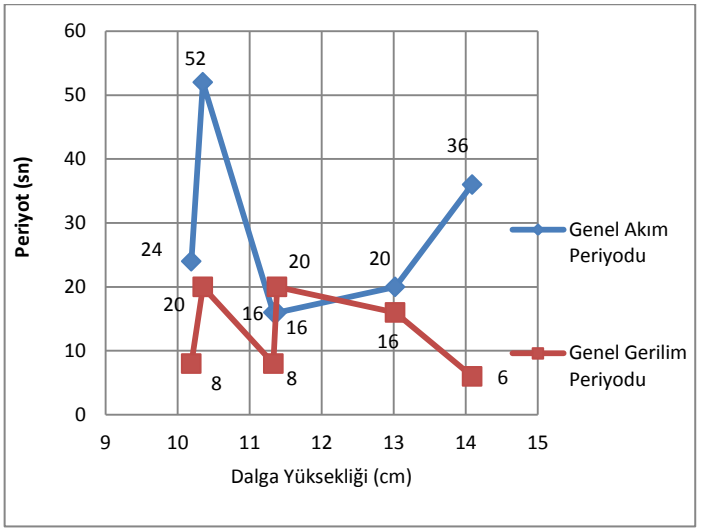
9.4. Sistemin Değerlendirmesi

Sistemden elde edilen akım ve gerilim değerleri grafikleri, çok kısa periyotlu dalga hareketleri sergilemiştir. Bu hareketler, alternatif akımın bir özelliği olan değer değişimleridir. Bu değer değişimleri, mıknatısın bobin içerisindeki hareketi sonucunda, akımın ve gerilimin pozitif ve negatif değerler arasında sürekli olarak değiştiğini göstermektedir.

Akım ve gerilim dalgalarının, dalga periyoduna göre yakaladıkları salınım döngüleri zaman içinde değişiklikler göstermekte ve ortaya çıkan değerler zaman zaman pozitif bölgede veya negatif bölgede ağırlıklı olarak daha yüksek değer vermektedir. Oluşan bu düzensiz periyot değerlerini hesaba uyguna hale getirebilmek için akım ve gerilim değerleri için düzenli sinüs dalgası yaklaşımları yapılması gerekmiştir. Bununla beraber her bir akım ve gerilim dalgası için de ortalama değerler tespit edilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken kullanılan periyot değerlerinden yaklaşım yoluyla elde edilen periyot değerleri "genel periyot", her bir dalga için elde edilen periyot değerleri "ortalama birim periyot" olarak adlandırılmıştır.



Şekil 9.14: Dalga periyodu ile genel akım ve gerilim periyodu ilişkisi

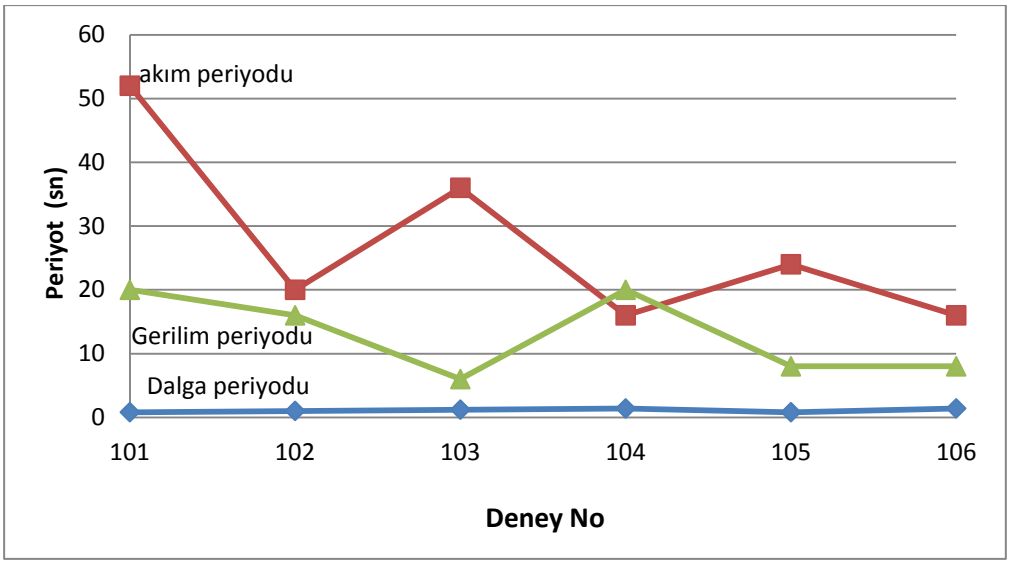


Şekil 9.15: Dalga yüksekliği ile genel akım ve gerilim periyodu ilişkisi

Şekil 9.14 ve Şekil 9.15'te görülen genel periyot farklarının sebebi akım ve gerilim dalgalarının, dalga periyoduna bağlı olarak pozitif ya da negatif yönde daha fazla hareket gerçekleştirmesidir. En düşük periyot ve en az dalga yüksekliğine sahip dalga olan 101 no'lu dalga (T=0,81 sn.; H= 10,35 cm.) ve 105 no'lu dalgada (T=0,81 sn.; H=10,19 cm.) yaklaşım yapılan akım periyodu sırasıyla 52 sn. ve 24 sn.'dir. Bu değerler, genel akım periyodu 36 sn. olan 103 no'lu dalga ile birlikte en yüksek genel akım periyodu rakamlarıdır.

Bununla beraber 102 (T=1,01 sn), 104 (T=1.4 sn.) ve 106 no'lu (T=1.4 sn.) dalgalardan üretilen akım genel periyotları daha düşüktür ve diğer 3 dalga durumuyla karşılaştırıldığında akım periyodu ve gerilim periyodu değerleri birbirine daha yakın değerlerdir.

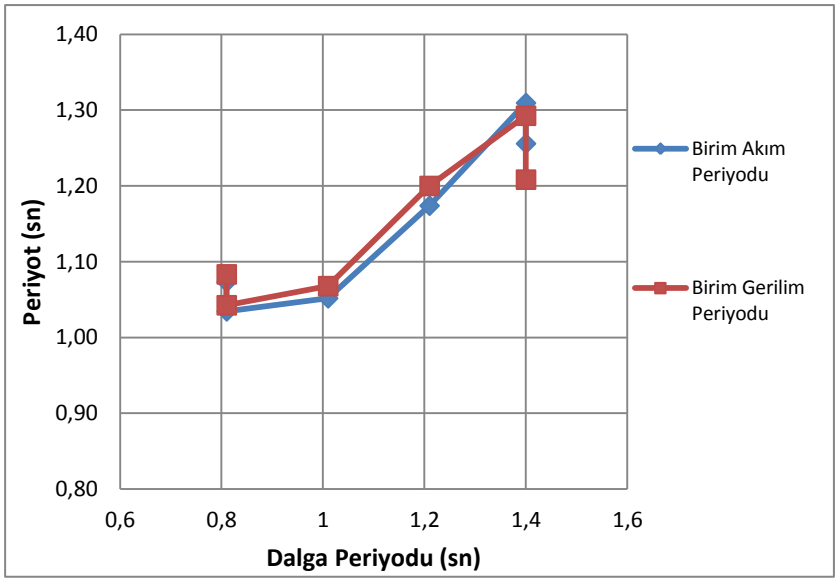
Bu sonuç, 101, 103 ve 105 no'lu deneylerde ortaya çıkan akım ve gerilim grafiklerinin dengeli bir görüntü sergilemediğini göstermektedir. **Şekil 9.16**'da da görüldüğü gibi yüksek dalga periyoduna sahip olan 104 (T=1,4 sn.) ve 106 (T=1,4 sn.) numaralı deneylerin grafikleri ise düzenli bir görüntü ortaya koymakta ve akım ve gerilim değerlerinde birbirine daha yakın değerler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9.16 : Sinüs dalgası yaklaşımıyla tahmin edilmiş olan periyot değerleri

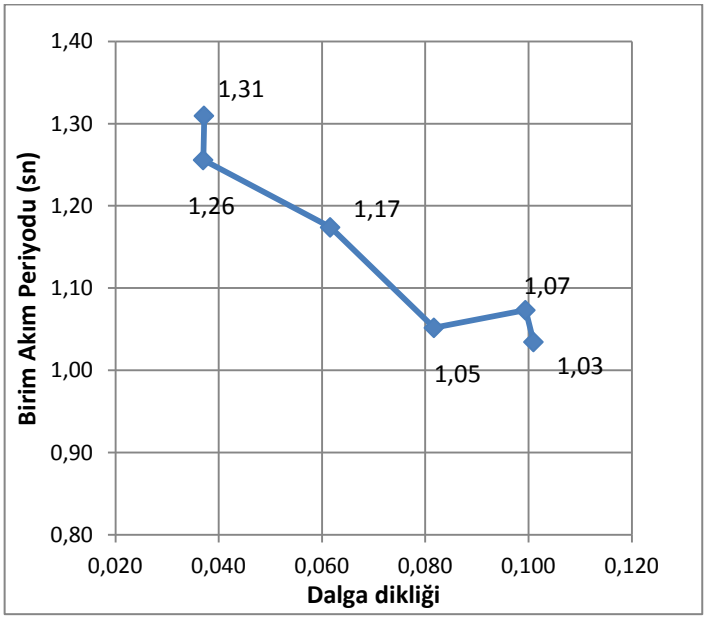
Ortalama birim periyot değerleri, yani her bir akım ve gerilim dalgası periyodu değerleri ise her bir deney süresinin o deneyde elde edilen pik noktası sayısına oranıyla elde edilmiştir.

Buna göre, en yüksek dalga periyoduna (T=1,4 sn) sahip olan 104 ve 106 no'lu deney durumlarında en yüksek birim ortalama akım ve gerilim periyotları elde edilmiştir. Bunun yanında en düşük dalga periyoduna (T=0,81 sn.) sahip olan 101 ve 105 no'lu deney durumlarında en düşük ortalama akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir **(Şekil 9.17)**.

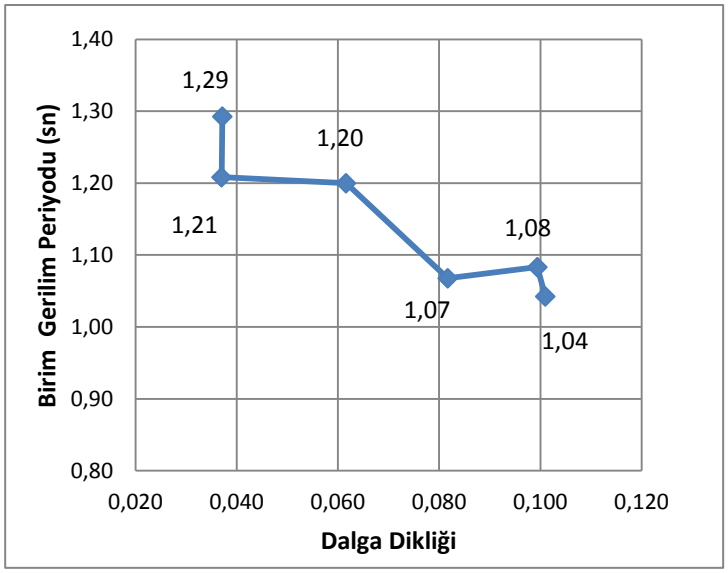


Şekil 9.17 : Dalga periyodu ile genel akım ve gerilim periyotları arasındaki ilişki

101 ve 105 no'lu deneyler en düşük birim periyotlara yol açsa da dalga periyot değerleri ile akım ve gerilim birim periyotları arasındaki değerler arasındaki fark en yüksek olan değerler yine bu deneyler olmuştur **(Şekil 9.21)**. 101 no'lu deneyde akım ve gerilim periyotları sırayla 1,03 ve 1,04 sn. iken dalga periyodu 0,81 sn.'dir. 105 no'lu deneyde ise aynı dalga periyodu değerine karşılık gelen periyot değerleri 1,07 ve 1,08 sn. olarak elde edilmiştir. Bunun sebebi salınım sırasında dalganın gücünün sistemi aynı şiddette hareket ettirmeye yetmemesidir.



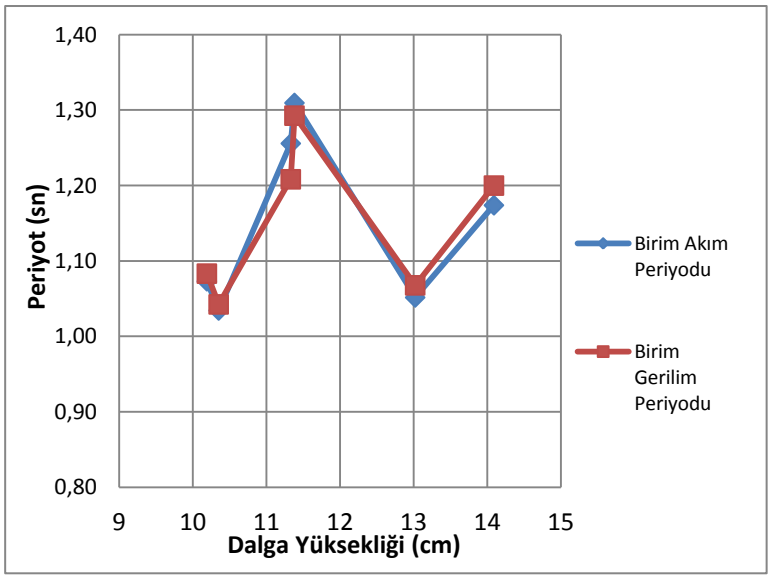
Şekil 9.18 : Dalga dikliği ile birim akım periyotlarının değişimi



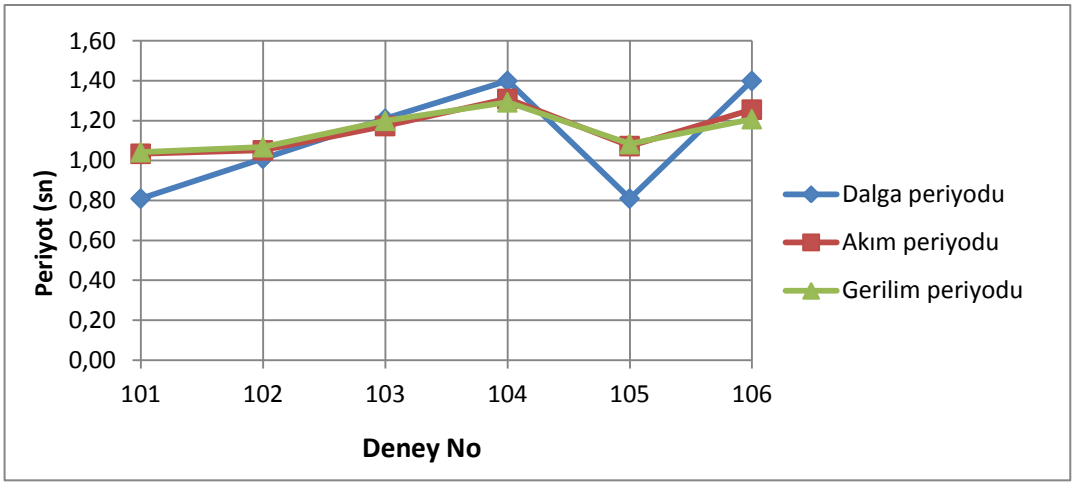
Şekil 9.19 : Dalga dikliği ile birim gerilim periyotlarının değişimi

Dalga dikliği ise birim akım ve gerilim periyotları ile ters orantılı bir ilişki sergilemiştir. **Şekil 9.18 ve Şekil 9.19**'a göre dalga dikliği 0,04 olan dalga durumunda en yüksek birim periyotlar elde edilirken, dalga dikliği 0,1 olan dalga durumunda en düşük birim periyotlar elde edilmiştir. Buna göre dalga dikliği arttıkça birim periyotların azaldığı görülmektedir ki bu da dalga periyodundaki artışın birim periyotlarda da artışa yol açtığını göstermektedir.

Şekil 9.20'de dalga yüksekliğinin birim periyotlarla ilişkisi incelendiğinde ise dalga yüksekliğinin artışıyla birim periyot değerleri düzensiz bir değişim göstermektedir.

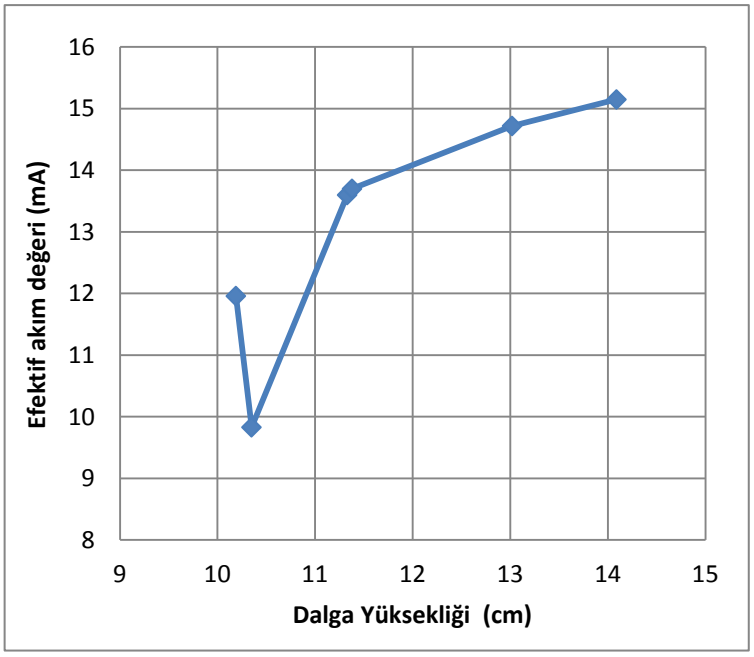


Şekil 9.20 : Dalga yükseklği birim periyotlar ilişkisi

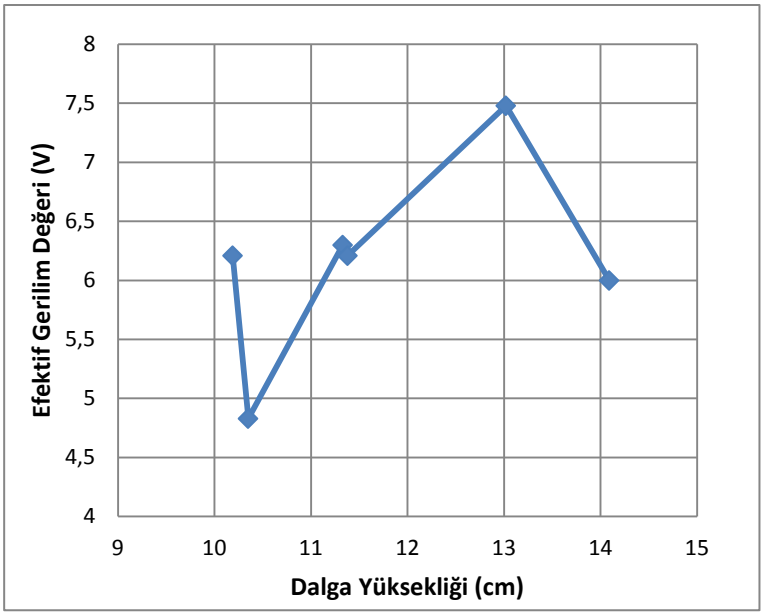


Şekil 9.21 : Dalgalara göre akım, gerilim birim periyotlarıve dalga periyotlarının grafiği

Efektif pik değerleri karşılaştırıldığında en yüksek akım değeri 15,15 mA ile 103 no'lu deneyde ve 14,72 mA ile de 102 no'lu deneyde gözlenmiş, en düşük akım değeri ise 9,83 mA ile 101 no'lu değerde elde edilmiştir **(Şekil 9.22)**. Bu deneylere karşılık gelen gerilim değerleri ise sırasıyla 6 V, 7,48 V ve 4.83 V'dur **(Şekil 9.23)**.



Şekil 9.22 Dalga yüksekliği ile efektif akım değerleri karşılaştırması



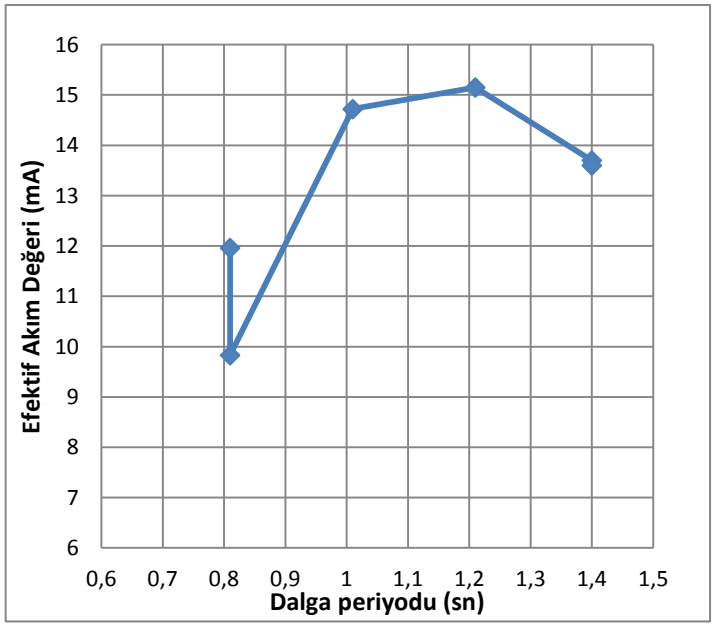
Şekil 9.23 Dalga yüksekliği ile efektif gerilim değerleri karşılaştırması

101 no'lu deneyle aynı dalga özelliklerini taşıyan 105 no'lu deneyde ise 11,96 mA akım değeri ve 6,3 V gerilim değeri elde edilmiştir. Bu farkın oluşmasının sebebi gücü daha düşük olan bu dalganın, sistemin salınımında düzensiz etkiye yol açmasıdır. Daha uzun süre ve daha düşük ve yüksek dalga değerleriyle yapılacak farklı deneyler farkın sebebini daha açık ortaya koyacaktır.

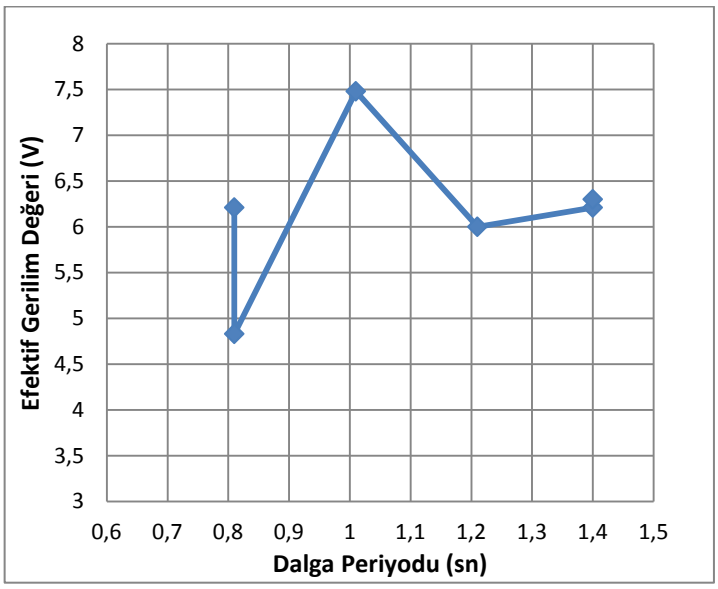
Dalga yüksekliği en fazla olan 103 no'lu deneyde (H= 14,09 cm.) ise I_{eff} değeri 15,15 mA olarak okunmuştur. Bu değer, deneyde elde edilen en yüksek akım değeridir. Bu değerin oluşmasının sebebi dalga yüksekliğinin ve dalga periyodunun yüksek olması sebebiyle sistemin hareketini yeterli süreklilikte sürdürebilmesi ve bu sayede yüksek akım değerlerine ulaşabilmesidir.

102 no'lu deney de aynı sebeplerden ötürü yüksek akım değerlerine ulaşabilmiştir.

Şekil 9.24 ve **Şekil 9.25**'te dalga periyotlarına göre de efektif gerilim ve akım değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



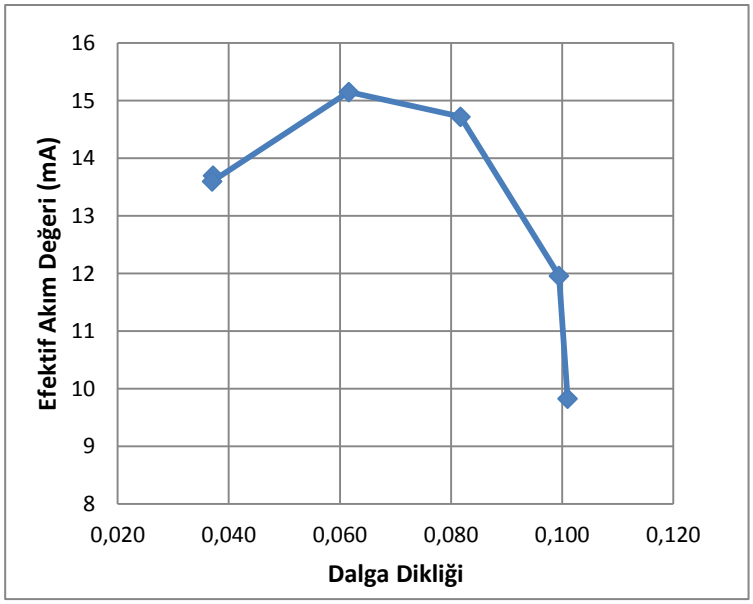
Şekil 9.24 : Dalga periyotları ile efektif akım değerleri ilişkisi



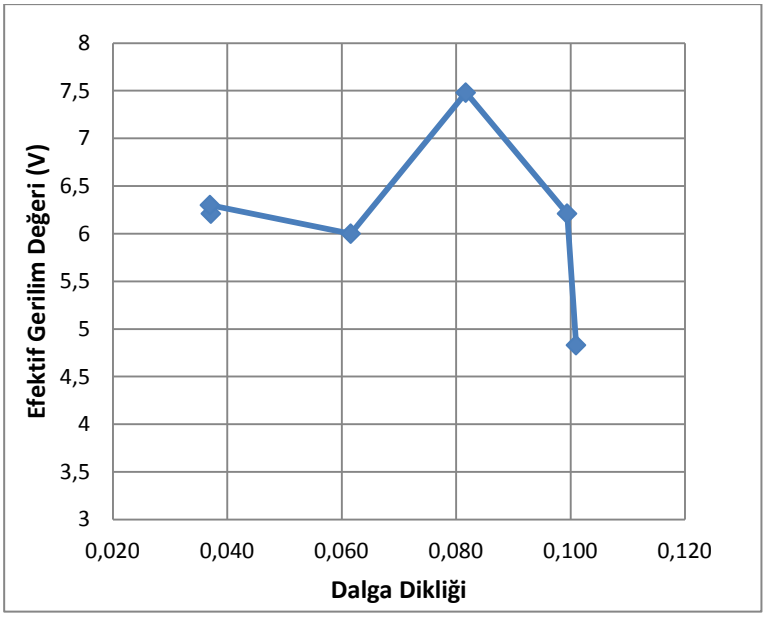
Şekil 9.25 : Dalga periyotları ile efektif gerilim değerleri ilişkisi

104 ve 106 no'lu deneylerde ise sırayla 13,7 mA ve 13,6 mA akım değerleri, 6 V ve 6,3 V gerilim değerleri elde edilmiştir. Bu dalgaların yüksek periyoda sahip olmaları güç değerine olumsuz etki etse de, dalga yüksekliklerinin 101 ve 105 no'lu deneylerden yüksek olması akım değerlerinin daha yüksek olmasına sebep olmuştur.

Şekil 9.26 ve **Şekil 9.27**'de, dalga dikliğine göre efektif gerilim ve akım değerlerinin ilişkisinde dalga dikliği değerleri arttıkça efektif değerlerin düşüş eğilimnde olduğu gözlenmekle beraber, düşük periyotlarda sistemin düzenli bir hareket sergilememesinin de düşük pik değerleriyle sonuçlandığı gözlenebilir.

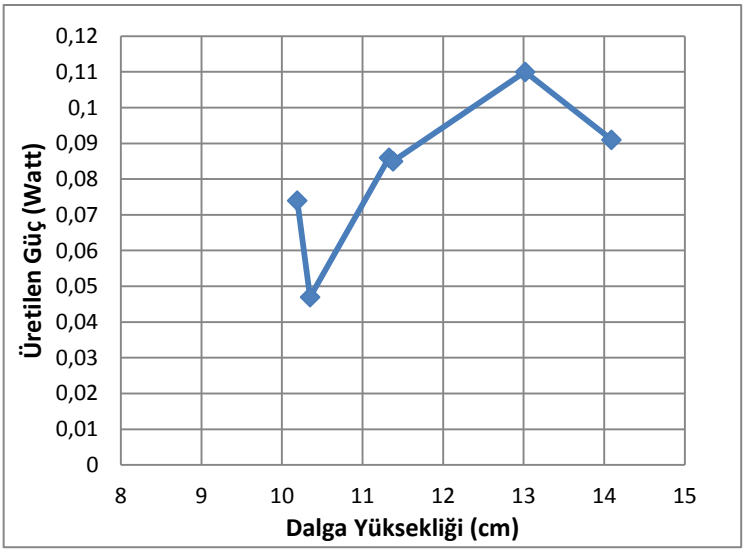


Şekil 9.26 : Dalga dikliği efektif akım değerleri ilişkisi

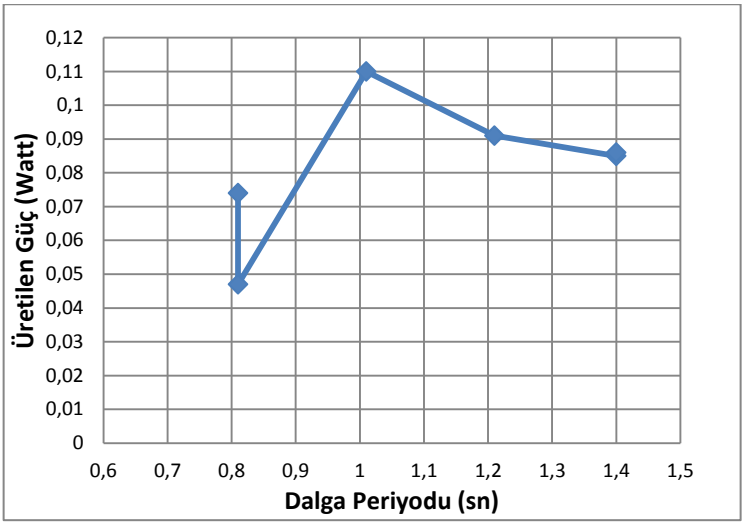


Şekil 9.27 : Dalga dikliği efektif gerilim değerleri ilişkisi

Deneylerin ortaya çıkardığı güç tabloları incelendiğinde, en yüksek değer, dalga yüksekliği 13,02 cm ve dalga periyodu 1,01 sn. olan 102 no'lu deneyde 0,110 Watt güç üretilmesiyle elde edilmiştir. En düşük değer ise, dalga yüksekliği 10,35 cm ve dalga periyodu 0,81 olan 101 no'lu deneyde, 0,047 Watt olarak elde edilmiştir. 101 no'lu deneyle hemen hemen aynı özellikleri gösteren 105 no'lu deneyde ise 0,074 Watt değerinde güç üretilmiştir **(Şekil 9.28, Şekil 9.29)**. Düşük dalga yüksekliği göz önünde bulundurulduğunda 101 ve 105 no'lu deneylerin en düşük güç üretilen deneyler olması beklenen bir sonuçtur.



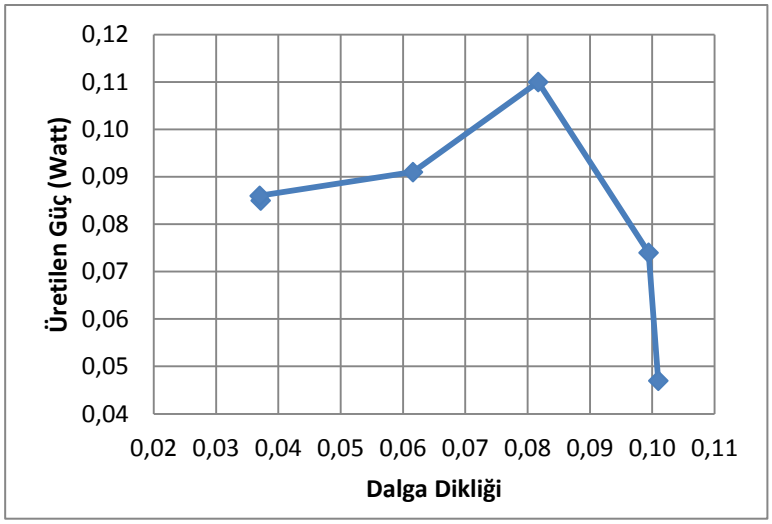
Şekil 9.28 : Dalga yüksekliği ile üretilen güç ilişkisi



Şekil 9.29 : Dalga periyodu ile üretilen güç ilişkisi

Bunula beraber, 102 no'lu deneyde diğer deneylerden daha yüksek güç üretilmesi, diğer dalga durumlarındaki dalga yüksekliği ile dalga periyodu arasındaki ilişki, yani dalga dikliği ile açıklanabilir. 103 no'lu deneyde dalga yüksekliği 14,09 cm olmasına rağmen periyodun yüksek olmasından (T=1,21 sn.) dolayı dalga dikliği değeri daha düşük değerlerde elde edilmiştir. 102 no'lu deneyde ise daha kısa olan periyodun da (T=1,01 sn) sonucu olarak, sistem daha ani ve sürekli hareketler üretmiş ve daha yüksek pik değerleri, dolayısıyla da daha yüksek güç değerleri ortaya çıkmıştır.

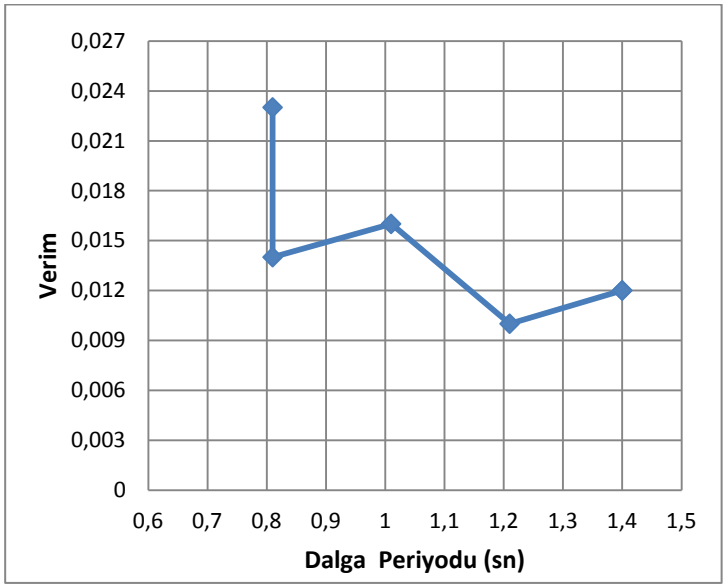
Şekil 9.30'da dalga dikliği değerleri ile üretilen güç değerlerinin ilişkisi görülmektedir. Buna göre dalga dikliği optimum değerin aştığında ya da bu değerin altında kaldığında üretilen güç değerleri de düşmektedir. Elde edilen en yüksek güç değeri ise 0,08 dalga dikliği değerine ulaşıldığında görülmüştür.



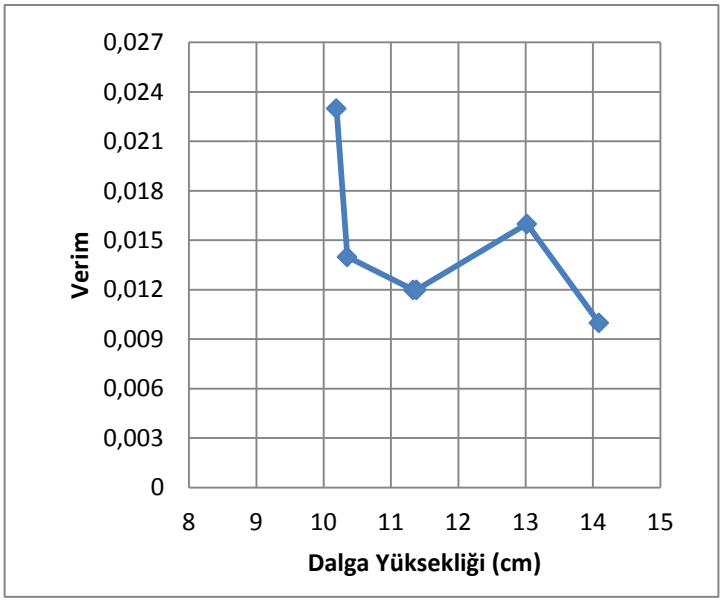
Şekil 9.30 : Dalga dikliği ile üretilen güç ilişkisi

102 no'lu deneyde güç değerleri yüksek olmasına rağmen en yüksek verim 105 no'lu deneyde elde edilmiştir. 105 no'lu deneyde 0,023 oranında verim elde edilirken aynı özellikleri taşıyan 101 no'lu deney 0,014 oranında verimle güç üretmiştir.

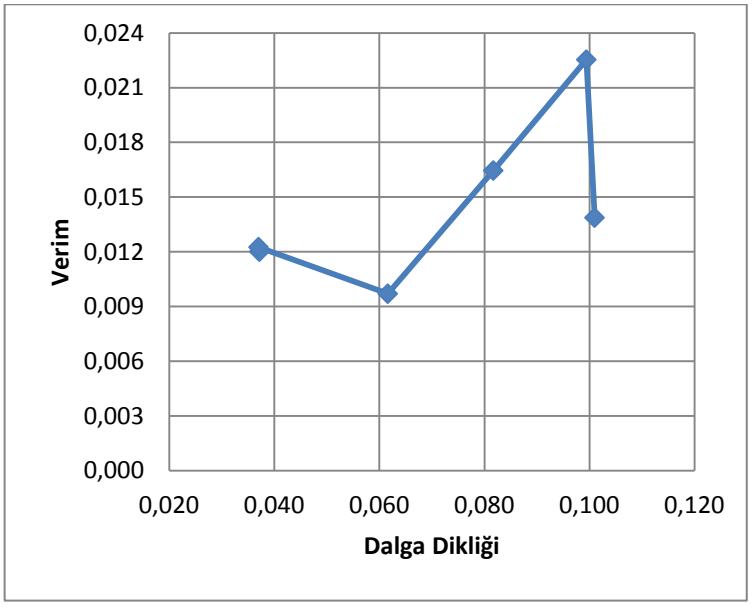
Dalga periyodu, dalga yüksekliği ve dalga dikliği ile sistem veriminin ilişkisi **Şekil 9.31, Şekil 9.32** ve **Şekil 9.33**'te sırasıyla görülmektedir. 103, 104 ve 105 no'lu deneyler, dalga periyotları en yüksek olan deneylerdir. 103 no'lu deneyde 104 ve 105 numaralı deneyden daha yüksek güç üretilmiş olmasına rağmen, dalga enerjisinin de yüksek olması sebebiyle verim değeri düşmüştür.



Şekil 9.31 : Dalga periyodu ile elde edilen verim ilişkisi

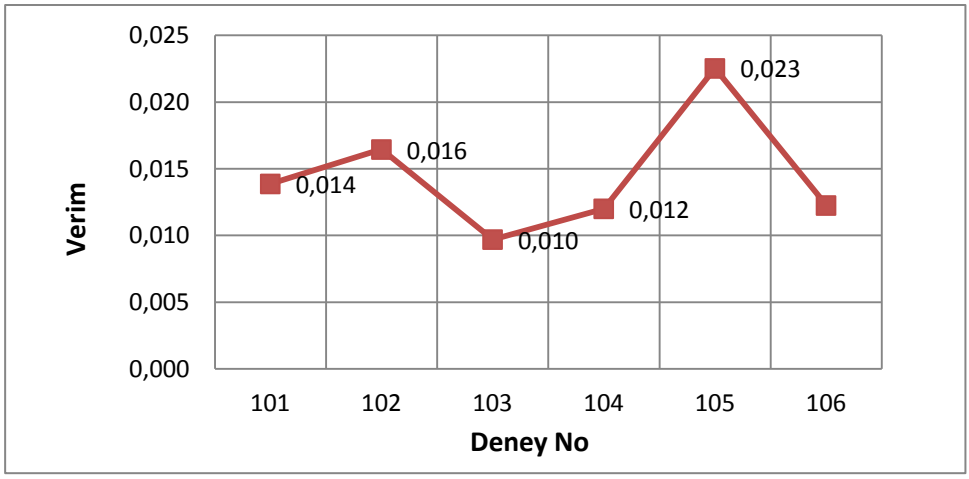


Şekil 9.32 : Dalga yüksekliği ile elde edilen verim ilişkisi



Şekil 9.33 : Dalga dikliği ve sistem veriminin ilişkisi

Şekil 9.31 ve **Şekil 9.32**'ye göre dalga periyodu ve dalga yüksekliği arttıkça sistemden alınan verim düşüş eğilimi göstermektedir. **Şekil 9.33**'e göre ise dalga dikliği arttıkça elde edilen verim de artış eğilimi göstermektedir. **Şekil 9.34**'te, uygulanan dalga durumlarına göre elde edilen verim değerleri görülmektedir.

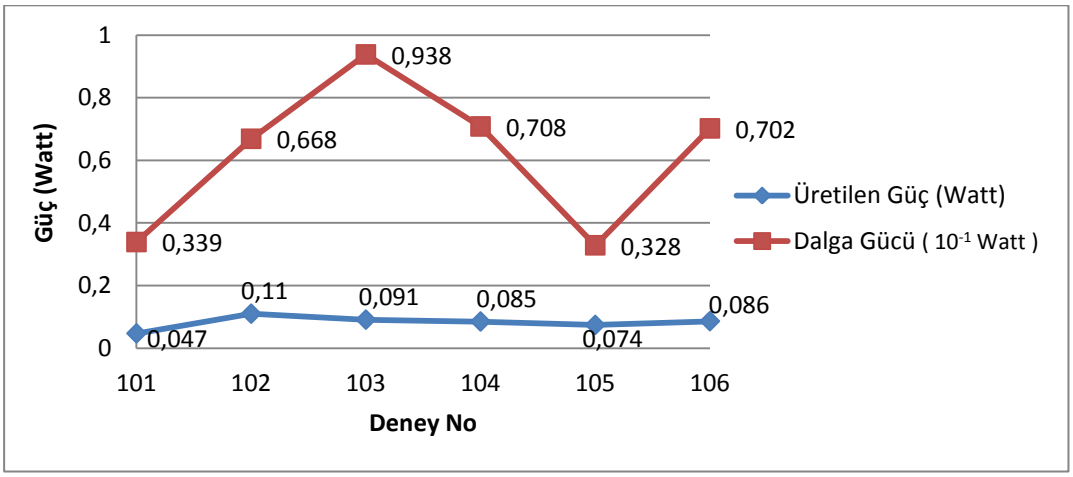


Şekil 9.34 : Dalga durumlarına göre elde edilen verim değerleri

Dalga yükseklik ve periyot değerleri yükseldikçe verim dışındaki değerler (efektif akım/gerilim, birim periyot, üretilen güç) artış eğilimi göstermesine rağmen aynı zamanda artan dalga gücü ile birlikte verim değerleri düşüş göstermektedir.

Diğer taraftan dalga dikliği değerleri yükseldikçe verim dışındaki akım ve gerilim değerleri düşme eğiliminde olmasına rağmen sistemden elde edilen verim yükselmektedir.

Şekil 9.35'te görüldüğü gibi 0,328 Watt güce sahip dalgadan üretilen güç değeri 0,074 Watt olmuştur ki bu, en düşük güç değerlerinden biridir. Diğer taraftan sistemin verimi bu dalgada en yüksek değerde elde edilmiştir. Bu dalga ile aynı özelliklerdeki 101 no'lu dalganın uygulandığı halde ise**, Şekil 9.34**'te görüldüğü gibi, görece yüksek bir verim değeri elde edilmesine rağmen, aynı değere ulaşılamadığı görülmektedir.



Şekil 9.35 : Dalga durumlarına göre dalga gücü ve üretilen güç değerleri

10. SONUÇ

Yapılan deneylerin sonuçları ve yenilenebilir enerji üretimi ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda dalga enerjisi dönüşüm sistemleri geliştirlmeye ihtiyaç duyulan bir alandır. Ancak mevcut teknolojilerin daha verimli şekilde kullanılabilmesi için yollar aranmalı ve yapılan çalışmaların avantajları ve dezavantajları dikkatle incelenmelidir.

Bu çalışmada elde edilen veriler ve pratikte gözlenen mekanizma tasarımlarının çalışma şekilleri incelendiğinde bu teknolojiniin geliştirilmesine dair bir takım fikirler ortaya çıkmıştır. Özellikle değişik dalga durumları altında elde edilen veriler, dalga çeşitliliğine göre sistem tasarımı açısından fikir vermektedir.

Elde edilen veriler ve bu verilerin elde ediliş şartları genel olarak değerlendirildiğinde, hem H yüksekliğinin sistemin daha uzun ve sürekli hareket yapabileceği kadar yüksek olduğu hem de dalga periyodunun sistemin sonraki dalgayı karşılayabilmesine imkan tanıdığı ve böylece daha düzenli çalışabilmesini sağladığı bir sistem, güç üretimi açısından daha elverişli gözükmektedir. Bununla beraber, periyodun optimum değeri aşması durumunda sistem durağan bir davranış sergilemekte ve gerilim değerlerindeki düşüş dolayısı ile güç değerlerinde düşüş gözlenmektedir.

Sistem sürtünmelerinin, ölçme aygıtı hassasiyetinin ve faz farkının ihmal edilmediği koşullarda, sürtünme değerlerini en aza indirmek ve ölçme aygıtının ölçüm hızını hassaslaştırmak ölçüm değerlerini yükseltecek, faz farkları hesaba katıldığında elde edilen güç değerleri bir miktar düşecektir. Çünkü, gerilim ve akım değerlerinin kesişim bölgesindeki değer güç değeri olarak hesap edildiğinden faz farkları bu kesişim bölgesinin daha küçük olmasına yol açacaktır. Akım ve gerilimin çarpımıyla elde edilen güç denklemine faz farkından dolayı cosΦ ile de çarpılacak ve güç değerini düşürecektir.

Sistemin verimi göz önünde bulundurulduğunda düşük sonuçlar göze çarpmaktadır. Bu değerleri artırabilmek adına sistemin ölçeklendirilmesi tekrar düşünülerek daha düşük boyuttaki sistemle aynı sonuçların elde edilebileceği öngörülmektedir.

Bununla beraber, bobin ve mıknatıs boyutları ile üretilen enerji orantılı olduğu için bobin ve mıknatıs boyutu ve miktarları artırılarak, sistemde aynı hareket kapasitesiyle daha fazla güç elde edilebilmektedir.

Mevcut sistemin bobin ve manyetizma kapasitesinin genişletildiği ve sistem üzerine yerleştirilen mekanizma sayısının artırıldığı düşünüldüğünde verim de artacaktır. Bu durumda, hem sistemin gerçek şartlarda tüketim ihtiyacını karşılaması düşünüldüğünde bir enerji dönüşüm tarlası oluşturulması durumunda ne kadar ihtiyaç karşılayabileceği, hem de mekanizmalar arasındaki verim ve güç farkları daha net görülebilecektir.

Deneyde kullanılan dalga sınıflarının periyot ve yükseklik açısından kısıtlı aralıkta tutulmuş olması da daha farklı dalga durumlarında daha zengin veriler elde edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Angström, A. (1924). Solar terrestrial radiation, *Q.J.R. Meteorological Soc.*, Sayı 50, sf. 121-126.

Aytek, A., Özger, M. ve Altunkaynak, A., (2002). Dalga enerjisi için gerekli parametreler, *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Kitapçı*gı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sf. 589-601.

Bağcı, T. (2007). "*Silindirik tank içerisinde sıvı çalkantısı nedeniyle oluşan basınç değişimlerinin incelenmesi"*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2007.

Bak, U. (2003). Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisine Dönüsüm Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bedard R., Hagerman G., Presevic M., Siddiqui O., Thresher R, Ram B., (2005). "Offshore Wave Power Feasibility Demonstration Project Final Summary Report".

Beccali, M., Cellura, M., Lo Brano, V. ve Marvuglia, A. (2004). Forecasting daily urban electric load profiles using artificial neural networks, *Energy Conver. & Mngmt.*, Sayı 45, sf. 2879-2900.

Clarke, A. (1991). Wind energy progress and potential, *Energy Policy*, Sayı 19, sf. 742-755.

Clément, A., McCullen, P., Falcáo, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Neilsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström, B.O., Sorensen, H.C., Thorpe, T. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 6th ed.*.

Çokan, M., (2003). *Dalga enerjisi (Dalga elektrik santraleri)*, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı, Cilt 1, Sf. 118-125.

Eral, M. (1998). Tubitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartısmaları platformu, Enerji Teknolojileri Politikası Çalısma Grubu Raporu, Ankara.

Faiman, D., Raviv, D. ve Rosenstreich, R. (2007). Using solar energy to arrest the increasing rate of fossil-fuel consumption: The southwestern states of the USA as case studies, *Energy Policy*, Sf. 567-576.

Graw, K.-U. (1995). Wellenenergie-Ein hydromechanische Analyse, Institut für Grundbau, Abfall-und Wasserwesen, Berginsche Universität-Gesamthochschule wuppertal, ISSN0179-9444, 332p.

Hagerman, G., and Bedard R. (2003). "*Guidelines for Preliminary Estimation of Power Production by Offshore Wave Energy Conversion Devices*", EPRI Report E2I EPRI – WP – US – 001, December 22.

Herbert, G.M.J., Iniyan, S., Sreevalsan, E. ve Rajapandian, S. (2007). A review of wind energy technologies, *Renew. and Sust. Ener. Rev.* Sayı 11, sf. 1117-1145.

Ivanova, I.A., Bernhoff, H., Ågren O., Leijon M. (2005)**.** "*Simulated generator for wave energy extraction in deep water*", Ocean Engineering vol.32 Nisan 2005, sf: 1664–1678.

Jun, J., Kish, D., Kulaga, J., Lee, Y., Merris, W., Park, S., Zadlo, K. (1990). Alternate Power Generatior Methodologies. Sf. 90-61.

Kabdaşlı, S. (1992). Kıyı Mühendisliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası İstanbul 1992.

Kabdaşlı , S., Önöz, B., Yeğen, B., Yılmaz, A., Babaç, G., Varol, Ö.E., Albostan, A. (2007), "*Türkiye kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesi-Kumköy örneği"*, 6.Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İzmir, Sf. 445-449.

McCormick, M. (1981). Ocean wave energy conversion, Wiley, Annapolis, Maryland.

McCormick, M. (1998). On the use of wind-wave spectral formulas to estimate wave energy resources, *J. of Energy Resour. Tech.*, Sayı. 120**,** sf. 314–317.

Örer, G. (2006). Batık plak dalgakıranların dalga enerjisi dönüşüm sistemi olarak kullanılması üzerine deneysel bir araştırma, Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Güneş Enerjisi Ana Bilim Dalı, Sf. 3-4.

Örer, G., Gürsel, T., Özdamar, A., Özbalta, N. (2003). Dalga enerjisi tesislerine genel bakış, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, Cilt 1.

Özdamar, A., (2000). "Dalga enerjisinden elektirik enerjisi elde edilmesi üzerine bir araştırma, Çeşme örneği", *Su Ürünleri Dergisi*. Cilt No: 17, Sayı 1-2.

Özdamar, A., (2001). Rüzgar enerji ve rüzgar türbinlerine genel bakış, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, Cilt 1, Sf. 242-254.

Pelc, R., Jujita, R.M. (2002). Renewable Energy from the Ocean, Marine Policy. Sayı 26, sf. 471-479.

Rodrigues, L. (2005), Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production, Nova University of Lisbon.

Soerensen, B. (2000). Renewable Energy, 2nd ed. Academic Press, New York.

Şahin, A.D. ve Şen, Z., (1998). Statistical analysis of Angström Formula coefficients and applications for Turkey, *Solar Energy, Sayı* 62, sf. 29-38.

Şen, Z. (1999). Terrain topography classification for wind energy generation, *Renewable Energy*. Sayı 16, sf. 904-907.

Şen, Z., (2001). Angström equation parameter estimation by unrestricted method, *Solar Energy***,** Sayı 71, sf. 95-107.

Şen, Z., (2002). "*Temiz Enerji ve Kaynakları"*, Su Vakfı Yayınları, Kasım 2002, İstanbul.

Şen, Z., (2004). Solar energy in progress and future research trends, *Progress in Energy and Combustion Science.* Sayı 30, sf. 367-416.

Tanwar, N. (2007). Clean development mechanism and off-grid small-scale hydropower projects: Evaluation of additionality, *Energy Policy*, Sayı 35, sf. 714-721.

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, (2003). Enerji politikaları ve çözüm önerileri, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, Cilt 1, Sf. 1-18.

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, (2001). Ulusal Enerji Politikaları, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, Cilt 1, Sf. 1-11.

Uygur,I., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A., Belenli, İ. (2006). "*Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması*", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (1), 2006.

Ün, Ü.T. (2003). Dalga enerjisi teknolojisi, ekonomisi, çevresel etkisi ve dünyadaki durumu, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı*, İzmir, Cilt 1, sf. 109-117.

Alternatürk (t.y.). Alternatürk Enerji Sitesi**,** Alternatif Akım, Alındığı tarih: 12.01.2012, adres: http://www.alternaturk.org/alternatif-akim.php

BP (2011). Statistical Review of World Energy, June 2011. Alındığı tarih: 10.10.2011, adres: http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf

EIA. (2010). *"Annual Energy Outlook 2010 with projections to 2035",* Nisan 2010. Alındığı tarih: 16.10.2011, Alındığı adres: http://www.eia.gov/oiaf/aeo/pdf/0383(2010).pdf

EİE (2006). Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "*Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli*". Alındığı tarih: 08.09.2010, adres: www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/proje/turkeyhidro.doc

ETAP (2007)**. "***A new Wave of Energy is about to Wash over Europe*" Environmental Technologies Action Plan, Mart 2007, adres: http://ec.europa.eu/environment/etap/inaction/pdfs/mar07_wave_energy.pdf

EÜAŞ (2008). *Elektrik Üretim Sektör Raporu*, Cilt 1, Alındığı tarih: 07.08.2011, adres: http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS_2008.pdf

EÜAŞ (2010). *Elektrik Üretim Sektör Raporu*, Cilt 1, Alındığı tarih: 15.10.2011, adres: http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS_2010.pdf

Henderson, R., (2005). **"***Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis Wave energy converter***"** Renewable Energy 31/2, pp 271-283. Ocean Power Delivery, February 2006 adres: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148105002259

Kahveci, Ö. (t.y.). Balıkesir Üniversitesi-Balıkesir Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama Bölümü Temel Elektronik-1 Ders Notları, Alındığı tarih: 09.01.2012, adres: http://w3.balikesir.edu.tr/~kahveci/dersler/te-01.pdf

Mersin Üniversitesi (t.y.). Elektromağnetizma ve Elektromağnetik İndüksiyon, Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektrik Ders Notları, Alındığı tarih: 12.01.2012, adres: http://www.meslekidenetim.com/e-kitap/elektromagnetizma.pdf

Oceanlinx, (2009). *Oceanlinx Technical Information,*Alındığı tarih: 09.11.2010, adres:http://www.oceanlinx.com/assets/FactSheets/oceanlinx_technical_facts_sheet_v3_eng.pdf

TER (2006). TMMOB Enerji Raporu, Alındığı tarih: 08.06.2010, adres: http://www.tmmob.org.tr/resimler/ekler/90f2aca5c640289_ek.pdf

TEİAŞ (2010). *2010 Yılı Aylık Üretim İstatistikleri, http://www.teias.gov.tr/projeksiyon/KAPASITEPROJEKSIYONU2010.pdf*

Wave Dragon (2006). "*Development and validation of technical end economic feasibility of a multi MW Wave Dragon offshore wave energy converter*", adres: http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **:** Selçuk MERT

Doğum Yeri ve Tarihi **:** Bahçe – 03/01/1983

Adres **:** Büyükdere Mah. Mektep Sok. No:40 Sarıyer-İSTANBUL

E-Posta : mertselitu@hotmail.com

Lisans: **:** İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği