

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DALGA ENERJİSİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK
VE EKONOMİK İNCELENMESİ**

Makine Müh. Emre İzan ALPDOĞAN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-----------|
| SİMGE LİSTESİ..... | iv |
| KISALTMA LİSTESİ..... | v |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vi |
| ÖNSÖZ | viii |
| ÖZET | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Genel Bakış..... | 2 |
| 1.1.1 Dünyada Genel Durum..... | 2 |
| 1.1.2 Türkiye’de Durum..... | 5 |
| 1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları..... | 5 |
| 1.2.1 Güneş Enerjisi..... | 5 |
| 1.2.2 Rüzgar Enerjisi..... | 7 |
| 1.2.3 Hidroelektrik Enerji..... | 9 |
| 1.2.4 Biyokütle Enerjisi..... | 10 |
| 1.2.5 Jeotermal Enerji..... | 11 |
| 1.2.6 Nükleer Enerji..... | 11 |
| 1.3 Dünyada ve Türkiye’de Enerji..... | 12 |
| 1.3.1 Dünyada Enerji..... | 12 |
| 1.3.2 Türkiye’de Enerji..... | 13 |
| | |
| 2. DALGA ENERJİSİ..... | 16 |
| 2.1 Genel Bilgi..... | 16 |
| 2.2 Dalga Enerjisinin Avantajları..... | 17 |
| 2.3 Dalga Enerjisinin Dezavantajları..... | 17 |
| 2.4 Dalga Hareketi..... | 18 |
| 2.5 Dalga Denklemi..... | 20 |
| 2.6 Dalga Enerjisi ve Güç..... | 20 |
| 2.7 Dalga Enerjisinin Dünyadaki Durumu..... | 26 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3. | DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ..... | 28 |
| 3.1 | Kıyı Şeridi Boyunca Uygulanan Enerji Dönüşüm Sistemleri..... | 28 |
| 3.1.1 | Salımlı Su Sütunu..... | 28 |
| 3.1.2 | Oceanlinx..... | 32 |
| 3.1.3 | Daralan Kanal..... | 34 |
| 3.1.4 | Sarkaçlı Sistem..... | 35 |
| 3.2 | Kıyıya Yakın Enerji Dönüşüm Sistemleri..... | 36 |
| 3.2.1 | OSPNEY..... | 36 |
| 3.2.2 | OWWE..... | 37 |
| 3.3 | Kıyıda Uzak Enerji Dönüşüm Sistemleri..... | 38 |
| 3.3.1 | Wave Dragon..... | 38 |
| 3.3.2 | Pelamis..... | 41 |
| 3.3.3 | Dalga Paleti (WaveRoller)..... | 45 |
| 3.3.4 | Salter Ördęi..... | 48 |
| 3.3.5 | Archimedes Dalga Salıncağı..... | 49 |
| 3.3.6 | Büyük Balina..... | 50 |
| 3.3.7 | PowerBuoy..... | 52 |
| 4. | MALİYET ve EKONOMİK ANALİZ..... | 54 |
| 4.1 | Uygulanabilirlik ve Maliyet Analizi (Kalkan Örneği)..... | 57 |
| 5. | SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... | 63 |
| | KAYNAKLAR..... | 65 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 68 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|------------|--|
| a | Genlik (m) |
| c | Dalga yayılma hızı (m/s) |
| C | Ek su kütlesi katsayısı |
| E_p | Potansiyel enerji (J) |
| E_k | Kinetik enerji (J) |
| f | Frekans (1/s) |
| g | Yerçekimi ivmesi (m/s^2) |
| h | Dalga yüksekliği (m) |
| L | Dalga yönüne dik doğrultu |
| L_t | Türbin gömleğinin boyu (m) |
| L_1 | Sütunun suyun altında kalan boyu (m) |
| m | Kütle (kg) |
| m_w | Ek su kütlesi (kg) |
| n | Faz (1/s) |
| r | Sütun yarıçapı (m) |
| t | Zaman (s) |
| T | Periyot (s) |
| ω_n | Açısal frekans (rad/s) |
| λ | Dalga boyu (m) |
| ρ | Yoğunluk (kg/m^3) |
| δ_i | Kayıp katsayıları |
| ζ | Sütunun içindeki suyun suya göre genliği |
| ξ | Eğrisel koordinat sistemi |

KISALTIMA LİSTESİ

| | |
|-------|---|
| ADS | Archimedes Dalga Salıncağı |
| AWS | Archimedes Wave Swing |
| EÜAŞ | Elektrik Üretim A.Ş. |
| OECD | Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) |
| OPT | Ocean Power Technologies |
| OWC | Oscillating Water Column |
| OWWE | Ocean Wave and Wind Energy |
| PWP | Pelamis Wave Power |
| RISE | Research Institute for Sustainable Energy |
| SSS | Salımlı Su Sütunu |
| TEP | Ton Eşdeğer Petrol |
| TER | TMMOB Enerji Raporu |
| TMMOB | Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği |
| UEA | Uluslararası Enerji Ajansı |
| WD | Wave Dragon |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 1.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin bölgelere göre dağılımı..... | 3 |
| Şekil 1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki artış..... | 4 |
| Şekil 1.3 OECD’de enerji kaynağı açısından elektrik üretimi artışı..... | 4 |
| Şekil 1.4 Dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı..... | 13 |
| Şekil 1.5 1998 - 2007 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi..... | 14 |
| Şekil 1.6 Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (EÜAŞ, 2008)..... | 15 |
| Şekil 2.1 Dalga hareketinin iki boyutlu görünümü (t=0 anında)..... | 18 |
| Şekil 2.2 Dalga hareketinin iki boyutlu görünümü (herhangi bir t anında)..... | 19 |
| Şekil 2.3 Dalga yayılma doğrultusu..... | 20 |
| Şekil 2.4 Potansiyel enerji değişim eğrisi..... | 21 |
| Şekil 2.5 Dünyadaki deniz ve okyanusların sahip oldukları dalga enerjisi potansiyelleri (kW/m) (CETO, 2009)..... | 26 |
| Şekil 3.1 Salımlı Su Sütunu..... | 29 |
| Şekil 3.2 SSS dalga enerjisi dönüşüm sistemi..... | 30 |
| Şekil 3.3 Wells Türbini’nin çalışma prensibi..... | 31 |
| Şekil 3.4 SSS..... | 31 |
| Şekil 3.5 Wells Türbini..... | 32 |
| Şekil 3.6 Oceanlinx..... | 33 |
| Şekil 3.7 Su altı elektrik iletim hattı..... | 33 |
| Şekil 3.8 Dalga tepesi ve çukuru sırasında türbine hava girişi..... | 34 |
| Şekil 3.9 Daralan Kanal sisteminin şematik görünümü..... | 35 |
| Şekil 3.10 Sarkaçlı Sistem..... | 35 |
| Şekil 3.11 OSPREY..... | 36 |
| Şekil 3.12 OSPREY sisteminin şematik görünümü..... | 37 |
| Şekil 3.13 OWWE..... | 37 |
| Şekil 3.14 Wave Dragon prototipinin deniz testi..... | 38 |
| Şekil 3.15 Wave Dragon Prototip..... | 39 |
| Şekil 3.16 Wave Dragon’un çalışma prensibinin şematik görünümü..... | 40 |
| Şekil 3.17 Rampa..... | 40 |
| Şekil 3.18 Wave Dragon..... | 41 |
| Şekil 3.19 Pelamis..... | 42 |
| Şekil 3.20 Pelamis sisteminin taslak görünümü..... | 43 |
| Şekil 3.21 Pelamis dalga dönüşüm modülleri..... | 43 |
| Şekil 3.22 Modül diyagramı..... | 44 |
| Şekil 3.23 Pelamis enerji dönüşüm çiftliği simülasyonu..... | 45 |
| Şekil 3.24 Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü..... | 46 |
| Şekil 3.25 Dalga Paleti sistemi..... | 46 |
| Şekil 3.26 Paletin simülasyon görüntüsü..... | 47 |
| Şekil 3.27 Paletlerin prototipleri..... | 47 |
| Şekil 3.28 Salter Ördeği sisteminin şematik görünümü..... | 48 |
| Şekil 3.29 Salter Ördeklerinin denizdeki dizilimleri..... | 49 |
| Şekil 3.30 ADS sisteminin şematik görünümü..... | 49 |
| Şekil 3.31 ADS sistemi..... | 50 |
| Şekil 3.32 Büyük Balina..... | 51 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 3.33 Büyük Balina prototipi..... | 51 |
| Şekil 3.34 Büyük Balina sisteminin şematik gösterimi..... | 52 |
| Şekil 3.35 PowerBuoy..... | 52 |
| Şekil 3.36 PowerBuoy dizisi..... | 53 |
| Şekil 4.1 Ortalama Dalga Seviyesi - Elektik Üretim Maliyeti değişim grafiği..... | 55 |
| Şekil 4.2 Dizayn Yılı - Elektrik Üretim Maliyeti değişim grafiği..... | 56 |
| Şekil 4.3 Deniz Durumu Dağılım Diyagramı, Kalkan..... | 57 |
| Şekil 4.4 Kalkan açıkları için yapılan tahminler..... | 58 |
| Şekil 4.5 Sistemin kurulduğu yer bilgileri..... | 58 |
| Şekil 4.6 Akış Analizi..... | 59 |
| Şekil 4.7 Yıllık Enerji Üretimi..... | 60 |
| Şekil 4.8 Yük Özellikleri..... | 61 |

ÖNSÖZ

Fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımından kaynaklanan çevresel sorunlar ve fosil yakıtların kısıtlılığı gibi nedenler, çevresel etkileri az olan ve kaynak kısıtlılığı göstermeyen yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi, son yıllarda oldukça arttırmıştır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan dalga enerjisi, teknik ve ekonomik olarak incelenmiş, dalga enerjisi kullanımı ile elektrik üretiminin sağlanması için tasarlanan ve geliştirilen uygulamalara yer verilmiştir.

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarım süresince değerli vaktini bana ayıran saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR'e en içten dileklerle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, yüksek lisans eğitimim süresince, benden maddi ve manevi her türlü desteğini eksik etmeyen aileme, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı hocalarıma, danışmanıma ve tezimi hazırladığım süre zarfında benden yardımlarını ve manevi desteğini eksik etmeyen arkadaşım Zeynep AKSU'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ocak 2009

Mak. Müh. Emre İzan ALPDOĞAN

DALGA ENERJİSİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ

Emre İzan ALPDOĞAN
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Enerji tüketimindeki artış, fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımından kaynaklanan çevresel sorunlar ve fosil yakıtların kısıtlılığı gibi nedenler, yeni enerji kaynakları arayışlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sebeple çevresel olumsuzlukları az, kaynak kısıtlılığı göstermeyen ve sürdürülebilir olan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi, son yıllarda oldukça artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan dalga enerjisi ile elektrik üretimi henüz gelişme aşamasındadır. Dalga enerjisi, ilk yatırım ve bakım giderlerinden başka masrafı olmayan, birincil enerjiye bedel ödenmeyen, çevreci, temiz ve büyük potansiyele sahip bir enerji kaynağıdır.

Bu çalışmada, dalga enerjisi ile elektrik üretimi, teknik ve ekonomik olarak incelenmiştir. Birinci bölümde, yenilenebilir enerji kaynakları ve dünyadaki genel enerji durumu hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, dalga enerjisinin; esası, gücü, avantajları, dezavantajları, dünyadaki durumu ve çevresel etkileri irdelenmiştir. Üçüncü bölümde, dalga enerjisi dönüşüm sistemleri; kıyı şeridi boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan sistemler olmak üzere üç bölümde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, dalga enerjisi uygulamalarının tasarım ve gelişim sürecindeki ekonomisine değinilmiştir. Son bölümde ise sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

Bir çok ülkenin yatırım programı kapsamına aldığı dalga enerjisi, üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye için, enerji sıkıntısı çektiğimiz şu günlerde ve gelecek yıllarda bir çözüm olabilecek potansiyelindedir. Ülkemizdeki dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin verimli bir biçimde kullanılabilmesi için gerekli ve özgün çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dalga enerjisi, yenilenebilir enerji, dalga gücü, enerji dönüşüm sistemleri, dalga santralleri.

JÜRİ:

1. Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR (Danışman)
2. Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
3. Yrd. Doç. Dr. Nur BEKİROĞLU

Kabul Tarihi: 27.02.2009

Sayfa Sayısı: 68

TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH OF ELECTRICITY GENERATION FROM WAVE ENERGY

Emre İzan ALPDOĞAN
Mechanical Engineering, M.S. Thesis

Increase in the energy consumption, environmental problems caused by fossil-fuel energy generation and its consumption and insufficiency of fossil-fuel resources have accelerated the search for new energy resources. Because of that, the interest to renewable and sustainable energy sources, which are sufficiently exist and have little impact on environment, have increased in the recent years. Electricity generation from wave energy, which is the one of the renewable energy resources, is now in the developing phase. The wave energy is an energy resource which is environmental friendly, clean and has no cost for input energy, no other cost aside from initial investment and maintenance expenses and has huge potential.

In this paper, Technical and Economic Research of Electricity Generation from Wave Energy is examined. In the first chapter, the renewable energy resources and general energy situation in the world is mentioned. In the second chapter, principles and power of wave energy and advantages, disadvantages, environmental impact and status of wave energy in the world is examined. In the third chapter, wave energy conversion system are stated in the there parts as shoreline, inshore, offshore. In the fourth part, economic analysis in the wave energy demonstration's design and development process is pointed out. The last part is devoted to the findings and recommendations.

The wave energy, which is included in the investment programme of most of the countries, has the potential to be a solution for today and for the future of Turkey which is surrounded by sea on three sides. In order to determine wave energy potential in Turkey and to provide efficient use of this potential, necessary and original studies should be done.

Keywords: Wave energy, renewable energy, wave power, wave energy conversion systems, wave power station.

JURY:

1. Assoc. Prof. Dr. Şükrü BEKDEMİR (Supervisor)
2. Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
3. Asst. Prof. Dr. Nur BEKİROĞLU

Date: 27.02.2009

Page: 68

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin sürükleyici unsuru ve en temel gereksinimlerinden biri enerjidir. Bu nedenle de ülke yönetimlerini üstlenenler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz yollardan bulmak ve bu kaynakları da mutlaka çeşitlendirmek durumundadırlar. Kimi geleneksel enerji kaynakları ile geri kalmış teknoloji kullanımının, doğal çevrede geri dönülmez tahribatlara yol açmaması içinse, “sürdürülebilir kalkınma” kavramı gündeme gelmiştir. Fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımı, insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu olumsuz etkiler, başta hava kirliliği olmak üzere çeşitli çevre sorunlarının meydana gelmesi ve bunun sonucunda halk sağlığının tehdit edilmesi olarak tanımlanabilir. Örneğin, kömür yakıldığında, yakılan her gram kömür başına 4 gram CO_2 açığa çıkmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmadığı yanma olaylarında yakılan kömürün dört misli ağırlığında CO_2 atmosfere verilerek sera etkisine sebep olunmaktadır (Altın, 2004).

Fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımından kaynaklanan çevresel olumsuzluklar ve fosil yakıtların kısıtlılığı gibi konular göz önünde bulundurulduğunda, kaynak kısıtlılığı göstermeyen ve çevresel olumsuzlukları az olan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerektiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu çevresel olumlu etkiler, bu kaynakların fosil yakıtlara kıyasla çevresel açıdan tercih edilmesinin kolay ve yaygınlaşmasının hızlı olmasını sağlayacaktır. Bu sebeplerden dolayı, klasik enerji kaynaklarına ek olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilen güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen, biyokütle ve dalga gibi enerji kaynakları üzerine çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar geliştirilmektedir.

Endüstriyel gelişmelere, artan nüfusa ve gelişen ekonomik yapıya bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimi de artmaktadır. Artan talebin yeterli, sürekli, kaliteli, güvenilir, ekonomik, çevreye dost vb. niteliklerde sağlanması tüm ülkelerin temel hedefleri arasında olmalıdır. Elektrik enerjisine olan talep artış oranı özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere, gelişmiş olarak adlandırılan ülkelere göre daha fazladır.

OECD'nin bir kuruluşu olan Uluslararası Enerji Ajansı'nın yaptığı değerlendirmelere göre, küresel enerji talebi 2030 yılına kadar, bugüne oranla %50 artacaktır. Söz konusu çalışmanın referans senaryosuna göre, petrol, kömür ve doğal gazın toplam birincil enerji kaynakları içindeki paylarında bir azalma söz konusu olmayacaktır. Üç fosil yakıtın toplam içindeki paylarının %90 civarında kalması beklenmektedir. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir

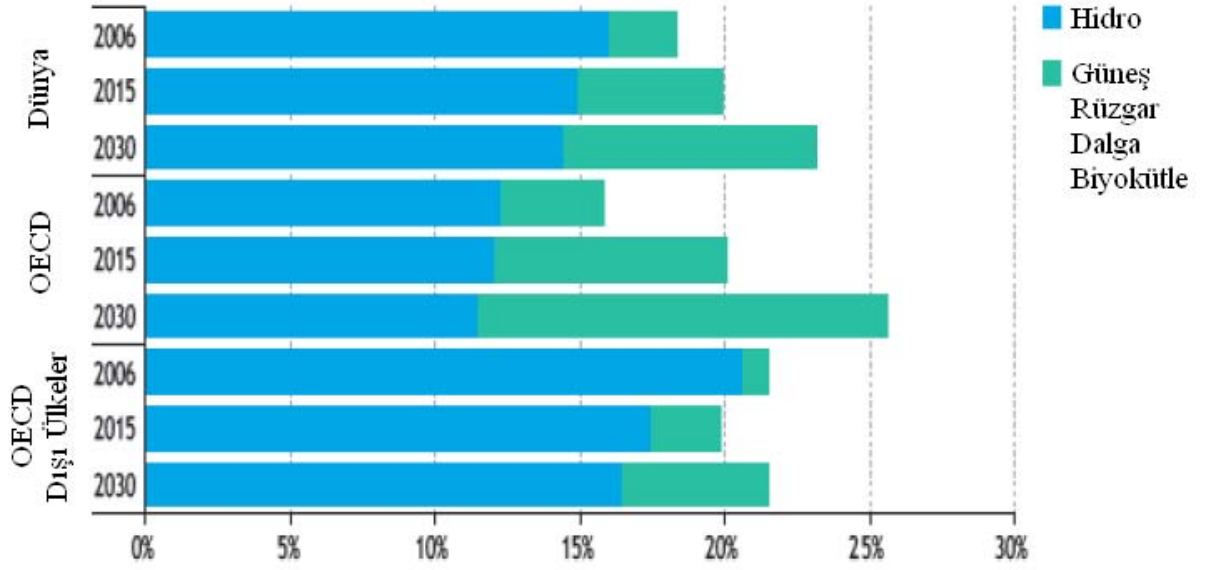
bölümünü karşılayan fosil yakıtların belli bir rezervi vardır. Tahmin edilmektedir ki petrol 43 yıl, doğalgaz 66,4 yıl, kömür 235 yıllık kullanım süreleri sonunda tükenenlerdir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların kısıtlı olması, çevresel açıdan problem yaratmaları, ithal enerji kaynaklarına gittikçe artan bağımlılık, temin problemleri yaşanması ve fiyatların yıllara bağlı olarak artma olasılıklarından dolayı tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile elektrik enerjisi üretimi büyük önem arz etmektedir.

1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Genel Bakış

Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarının dünyadaki rezervlerinin oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu kaynakların gelecekte tükenmesinin kaçınılmazlığı dışındaki başka bir sorun ise, özellikle fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan gazların oluşturduğu sera etkisi sonucunda küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliklerinin insanlığın ve doğal yaşamın geleceğini tehdit etmesidir. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, biyo-enerji, dalga veya okyanus enerjisi ve rüzgar enerjisi, enerjilerini direkt veya endirekt olarak güneşten almakta ve dolayısıyla da sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmemektedirler.

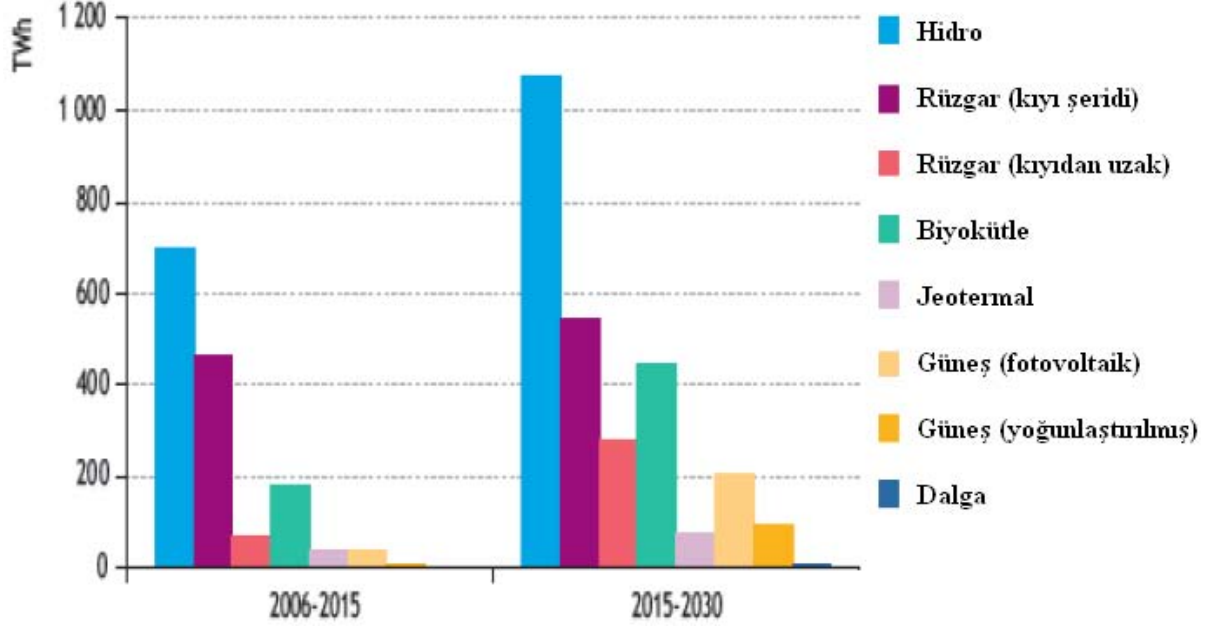
1.1.1 Dünyada Genel Durum

Yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretiminin, fosil yakıt fiyatlarının yükselmesi, düşen yatırım maliyetleri ve devlet desteği sonucu önümüzdeki yıllar içinde artması beklenmektedir. 2006’da 3470 TWh olan dünya yenilenebilir elektrik üretiminin, 2015’de 4970 TWh’a, 2030’da 7705 TWh’a yükselmesi beklenmektedir. Yenilenebilir enerjinin, 2006 da %18 olan payını, 2015’de %20, 2030’da %23’e çıkarması ve kömürden sonra dünyanın ikinci en büyük elektrik kaynağı olan doğalgazın yerini 2015’ten önce alması tahmin edilmektedir (Şekil 1.1).

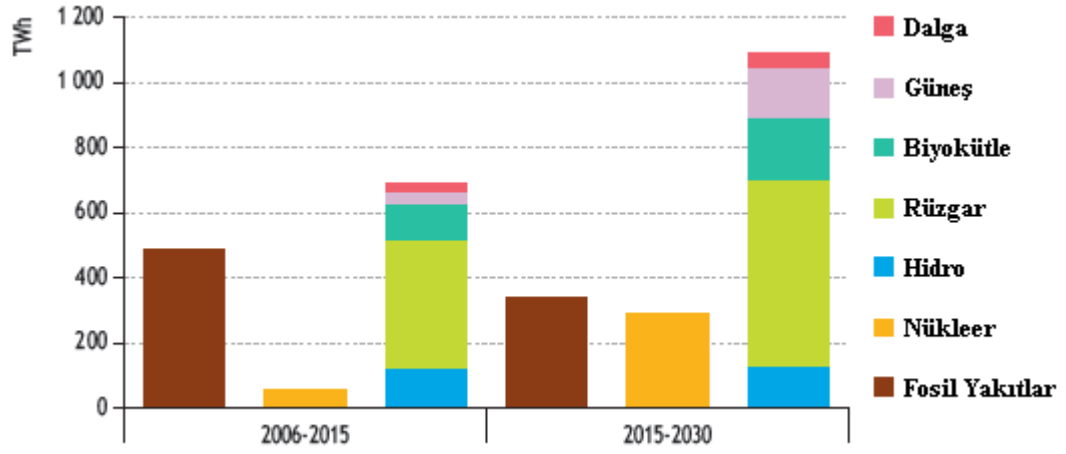


Şekil 1.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin bölgelere göre dağılımı

2015'e kadar olan süreçte, yenilenebilir enerjide artışın çoğunluğunun hidro ve rüzgar enerjisinden gelmesi beklenmektedir. İkisinin de 2015 ve 2030 arasında büyümeye devam edeceği, biyokütle ve deniz rüzgar santrallerinin de bu dönemde artacağı, güneş enerjisinin de (hem fotovoltaik, hem yoğunlaştırılmış sistemler) elektrik üretiminde birçok ülkede payının artacağı öngörülmektedir. OECD'de, toplam yenilenebilir enerji üretimi artışı tahminleri, fosil yakıt tabanlı üretim ve nükleer enerji üretiminin toplamından daha fazla olacaktır (Şekil 1.2 ve 1.3).



Şekil 1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki artış



Şekil 1.3 OECD'de enerji kaynağı açısından elektrik üretimi artışı

1.1.2 Türkiye’de Durum

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyant enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisidir. Türkiye’de gel-git enerjisi olanağı yoktur. Ülkemiz için söz konusu enerji grubu içerisinde deniz dalga enerjisi ve boğazlarda deniz akıntıları enerjisi vardır. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 9.000 MW güç ve 18 TWh/yıl enerji düzeyindedir (TER, 2006).

Ülkemizde EİEİ Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli;

Hidrolik 7,5 MTEP (Ekonomik Potansiyel)

Rüzgar 19,0 MTEP (Teknik Potansiyel), >2,5 MTEP (Ekonomik)

Jeotermal 5,5 MTEP (Teknik Potansiyel)

Güneş 80,0 MTEP (Teknik Potansiyel)

Biyokütle 6,0 MTEP (Teknik Potansiyel) olarak belirlenmiştir.

Türkiye’nin bugünkü durumda 144 milyar KWh’lik hidrolik, 25-50 milyar KWh’lik rüzgar, 3 milyar KWh’lik jeotermal potansiyeli kullanılmayı beklemektedir. Bu potansiyellere güneş, biyoenerji ve diğerlerini de eklersek Türkiye’deki potansiyel gücün ne kadar yüksek olduğu ortaya çıkacaktır.

1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.2.1 Güneş Enerjisi

Güneşin tüm yüzeyinden yayılan enerjinin ancak iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Buna rağmen bir yılda yeryüzüne gelen enerji,dünya enerji tüketiminin milyonlarca katıdır. Dünyadaki güneş pili kurulu gücü 1312 MW olup en büyük pay % 48,6 ile Japonya’ya aittir. Bunu % 21 ile Almanya ve % 16 ile ABD izlemektedirler (TER, 2006).

Güneş enerjisi hayatın kaynağını ve tüm yenilenebilir enerji türlerinin de başlangıcını oluşturmaktadır. Güneş ışınımının enerji olarak kullanımı son zamanlarda oldukça büyük bir ilgi görmektedir. Bu enerji türünün zaman ve konuma göre değişiklik göstermesi doğaldır. Güneş ışınımının kuzey yarımkürede 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 bölgelerinde güneş ışınlarından en optimum şekilde yararlanabilecek uygun bölgeler seçilerek güneş enerjisi toplama çiftlikleri kurulmaktadır. Buradaki en büyük sorun diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi enerjinin depolanamaması ve istenildiği zaman kullanılamamasıdır (Faiman vd., 2007). Bu konu ile ilgili çalışmalar da sürmektedir. Fosil yakıtların tükenmeye yüz tutması ve çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı bu enerji türü oldukça önem kazanmıştır (Sorensen, 2000).

Güneş enerjisinin faydalı ve kullanılabilir bir enerji haline dönüştürülmesi için günümüzde değişik teknolojiler kullanılmaktadır. Örnek olarak ülkemizde de sıkça kullanılan güneş toplayıcıları ile sıcak su elde edilmesi 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 ta güneş enerjisinden faydalanabiliriz. Parabolik toplayıcılar güneş ışınlarını 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, 2003).

Güneş ışınları doğrudan olmasa bile diğer doğa olaylarının başlangıcına sebep olur. Hidrolojik çevrimin 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 merkezlerine doğru akan hava hareketleri rüzgar ve dalga enerjilerinin kaynağını teşkil etmektedir. Ayrıca okyanuslarda deniz suyundaki sıcaklık farkından 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 adı verilen bir alet yardımıyla güneş ışınlarını ölçülür (Şen, 2003). Bir yerde güneş enerjisinden en fazla şekilde yararlanabilmek için o 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; temas (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon).

Dünya güneşten, yıllık olarak tüketilen enerjinin yaklaşık 10000 katı kadar büyüklükte enerjiyi sürekli olarak almaktadır. Bu enerjinin sürekli, tükenmeyen ve aynı zamanda yenilenebilir olduğu da göz önünde tutulmalıdır (Şen, 2003).

Güneş enerjisi bakımından ülkemiz oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye'nin birim metre karesinden yılda ortalama olarak 1500kW saatlik enerji üretilebilir. Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından en elverişli bölgeleri Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir (Şen, 2003).

1.2.2 Rüzgar Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar, elektrik enerjisine en kolay ve çabuk dönüştürülebilir bir enerjidir. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm, yenilenebilir enerji teknolojilerinin en ileri ve ticari uygulaması mevcut olanıdır. Dünya teknik rüzgar potansiyeli 53.000TWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Dünya'da rüzgar enerjisi kurulu gücü ise yaklaşık 42.000 MW olup bunun % 75'lik payı Avrupa'ya aittir (TER, 2006).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin kullanımıyla elektrik enerjisi üretimi son dönemde hızla artmaktadır. Dünyada toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü 2007 yılında 20000 MW artışla 94123 MW'a ulaşmıştır. Bu 2006 yılına göre %31'lik ve toplam kurulu güçte %27'lik bir artışı göstermektedir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde 10 lider ülke ve kurulu güçler aşağıda belirtilmektedir:

Almanya 22300 MW

ABD 16800 MW

İspanya 15100 MW

Hindistan 7800 MW

Çin 5900 MW

Danimarka 3100 MW

İtalya 2100 MW

Portekiz 1700 MW

Fransa 1600 MW

Dünya rüzgar enerjisi santralı kurulu güç değerinin %43'lük kısmı AB ülkelerindedir. AB özellikle 1997 Kyoto Protokolü sonrasında yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleyen güçlü politikalarla gerek teknoloji gerekse kaynakların kullanımı açısından büyük ilerleme kaydederek dünyada lider olma konumunu sürdürmektedir.

Türkiye'nin AB üyelik perspektifi çerçevesinde son yıllarda yakaladığı ivme ve bu kapsamda enerji sektörünün AB ile uyumunu sağlama yolunda attığı adımlar yenilenebilir enerjinin Türkiye gündemindeki önemini daha da artırmıştır.

Türkiye'de rüzgar enerjisi kapasitesi 48.000 MW olup, ekonomik rüzgar enerjisi kapasitesinin 20.000 MW düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Şu anda yaklaşık 200 MW gücünde rüzgar santralı işletmede ve toplam 600 MW gücünde rüzgar santralı tesis halinde olup, bu da Türkiye'de rüzgar potansiyelinin yeterince değerlendirilmediği anlamına gelmektedir.

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 yararlanma 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 vd., 2007).

Günümüzde rüzgar enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu olması aynı zamanda kaynağı için herhangi bir bedel ödenmemesi dolayısıyla tercih edilmektedir. Danimarka toplam elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %25'ini rüzgar gücünden karşılamaktadır.

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 olduğu 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. Enerji potansiyelinin hesaplanması için rüzgar hızlarından elde edilen iki parametre önemlidir. Bunlar; rüzgar hızının zaman olarak kaç defa aşıldığını gösteren histogramlar ve rüzgar hızının zaman olarak ne kadar bir sürede sürekli olarak aşıldığı ve bunun 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. Örneğin, 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.

Rüzgar hızının ihtimal ve istatistik yöntemleri ile incelenmesinin yanı sıra fizik, mühendislik ve mimarlık gibi çeşitli disiplinlerden gelen bilgilerin kullanılmasında da 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 yapılmalıdır.

Rüzgar gücü, rüzgarın estiği yöne dik olarak yerleştirilen birim alana düşen güç ile ifade edilir. Rüzgarın esmesi ile ortaya çıkan şiddetin belirli bir hava kütleini hareket ettirmesi ile meydana gelen kinetik enerji rüzgardaki enerji olarak karşımıza çıkar.

Rüzgar enerjisi miktarı aşağıdaki formül ile ifade edilir. Burada U rüzgar hızını, ρ_h ise havanın özgül kütleini ifade eder.

$$E = 1/2 \rho_h U^3$$

1.2.3 Hidroelektrik Enerji

Yüzeysel su akışı bol olan ülkeler hidroelektrik enerjiyi sıkça kullanmaktadırlar. Dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %20'ye yakın bölümü hidroelektrik enerjiden karşılanmaktadır (Tanwar, 2007). Gelişmiş ülkelerde bu oran %40'lar civarındadır. 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 işletmelerinin optimum şekilde yapılması şartı vardır. Büyük biriktirme haznelere birtakım çevresel sorunları da beraberinde getirebilir. Son zamanlarda 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 ülkenin başlıca enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Yıllar boyunca meydana gelen gelişmeler sonucunda enerji üretim verimi %90'lar mertebesine ulaşmıştır.

Tarihe baktığımız zamanda insanoğlu su gücünden faydalanma yoluna gitmiş ve birçok cihaz geliştirmiştir. Bunlardan ilki suyu düşük seviyeden yükseğe terfi ettiren su tekerlekleridir.

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;

$P_h = \gamma Q \Delta H$ 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.

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. Topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan brüt hidroelektrik enerji potansiyeli, ülkemiz için 433 milyar kWh mertebesindedir.

1.2.4 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olup, sürekli enerji sağlayabilen bir kaynaktır. Biyokütle enerjisinin kolay depolanabilir olması diğer yenilenebilirler göre avantaj sağlamaktadır. 1990 yılı verilerine göre dünya enerjisinin % 15 'i biyokütleden sağlanmaktadır. Fotosentez olayı ile birlikte enerji içeriği yaklaşık olarak 3×10^{21} J/yıl olan organik madde meydana gelmekte ve bu değer dünya enerji tüketiminin yaklaşık 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir (TER, 2006).

1.2.5 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, İtalya, 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).

1.2.6 Nükleer Enerji

Nükleer enerji santralleri dünya toplam elektrik enerjisi üretiminde % 16 pay ile yer almaktadırlar. Uluslararası Enerji Ajansının öngörülerine göre bu oran 2030 'lu yıllarda % 9'a düşecektir. Son dönemlere kadar nükleer santraller, ilk kuruluş maliyetlerinin çok yüksek olması ve atıklar sorununa kalıcı çözüm bulunamamış olması nedeni ile giderek kullanımdan çıkartılmakta idi. Son zamanlarda Batının Rusya ve Orta Doğu'daki kaynaklara fazlasıyla bağımlı hale gelmesinin ve iklim değişikliğine karşı fosil yakıtların kullanımına ağırlık verilmemesi yönündeki eğilimlerin sonucunda nükleer enerjinin yeniden üst sıralara taşınmaya çalışıldığı anlaşılmaktadır (TER, 2006).

1.3 Dünyada ve Türkiye’de Enerji

1.3.1 Dünyada Enerji

2008 itibariyle Dünya birincil enerji tüketiminin; %35,5’i petrol, %25,3’ü kömür, %20,7’si doğalgaz, 18,5’i nükleer, hidrolik, diğer yenilenebilir ve atık kaynaklardan sağlanmaktadır.

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 yenilenebilirlerle 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.

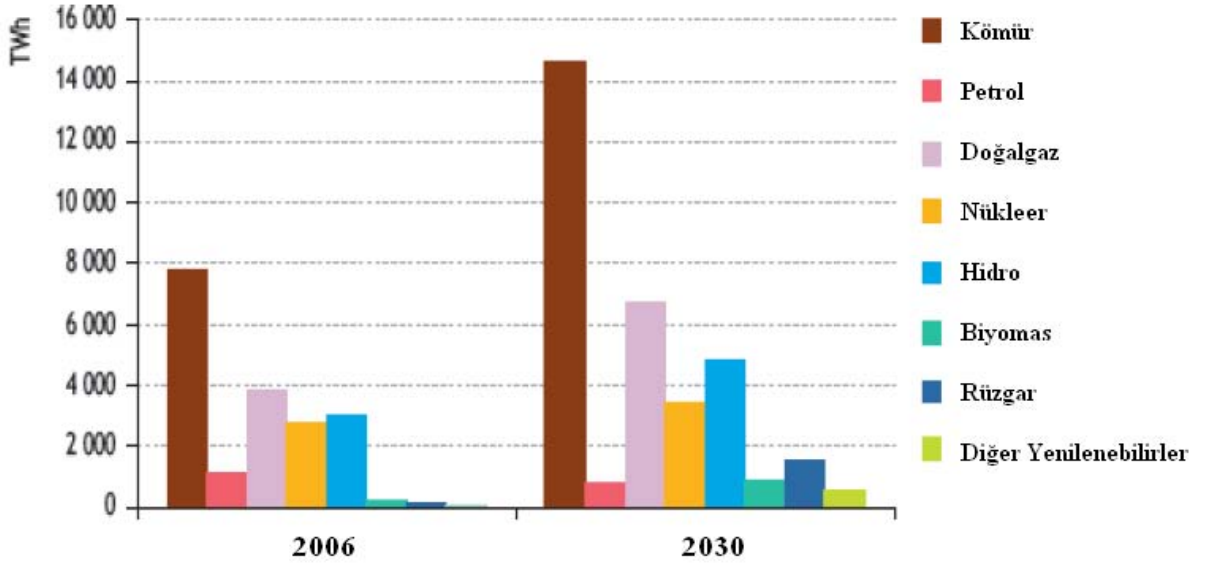
Küresel olarak endüstrinin elektrik talebi, OECD dışı ülkelerdeki hızlı sanayileşmenin ön ayak olmasıyla, evlerdeki kullanım ve hizmet sektörünün talebinden daha hızlı artış göstermektedir. OECD ülkelerinde, sanayinin elektrik talebi yılda % 0,6’lık küçük bir artış göstererek, uzun vadede hafif sanayiye doğru bir geçişi yansıtmaktadır.

OECD / UEA 2008 çalışmasının senaryosunda, 2006’da 18.921 TWh olan küresel elektrik üretimi, 2015’te 24.975 TWh’ye, 2030’larda da 33.265 TWh’ye yükselmektedir. En büyük artış toplam elektrik üretimi 2010’da OECD ülkeleriyle eşitleneceği ve 2030’da %50 daha fazla olacağı tahmin edilen OECD üyesi olmayan ülkelerde görülmektedir.

Küresel olarak, 2030’a kadar olan dönemde elektrik üretiminde, kömür ana yakıt olmaya devam edecek olup, toplam üretimdeki payı %41’den %44’e yükselecektir. Kömür yakıtlı üretimde büyümenin çoğu, OECD üyesi olmayan ülkelerde meydana gelmektedir. Bu ülkeler, şu anda dünyada bütün kömür yakıtlı üretimin yarısından daha azını üretir durumdayken, üçte ikisinden daha fazlasını üretir duruma gelecekleri tahmin edilmektedir.

Kömür yakıtlı üretimin toplam verimliliğinin 2006'da %34 iken, 2015'te %36, 2030'da %38 değerlerine ulaşacağı öngörülmektedir.

Elektrik üretimi yakıtlarındaki doğalgazın payı, yüksek fiyatlar nedeniyle düşecektir. Nükleer enerjinin 2006'da %15 olan payı da, 2015'te %13'e, 2030'da %10'a inecektir. Yenilenebilirlerin payları ise ciddi bir oranda artış gösterecektir: 2006'da %18 olan üretimdeki payları, 2015'te %20'ye ve 2030'da %23'e yükselecektir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

1.3.2 Türkiye'de Enerji

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi + dış alım/dış satım) 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.

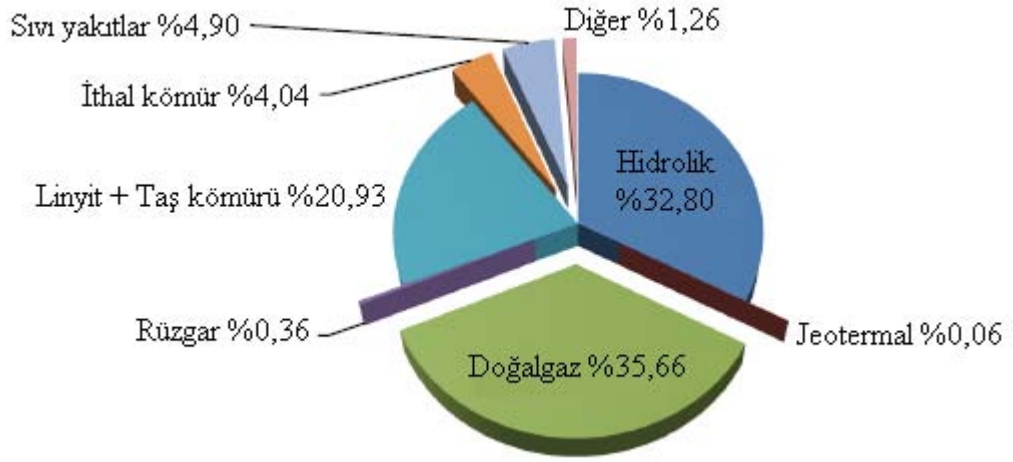
Türkiye enterkonnekte sistemi yıllar itibariyle ani puant talebi ve enerji gelişimi Şekil 1.5'te verilmektedir. 2006 yılında puant talep 27594 MW, minimum yük 10545 MW olarak gerçekleşmiştir. 2007 yılında ise puant talep 29249 MW, minimum yük 11100 MW olarak gerçekleşmiştir.

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 % 0,36'larda kalmaktadır. Kurulu gücün % 44,60'ı petrol, doğalgaz ve ithal kömüre dayalı santrallerden oluşmakta, “al ya da öde” anlaşmaları nedeniyle elektrik üretiminde bu oran % 53'lere varmaktadır.

| Yıllar | Puant Güç Talebi (MW) | Artış (%) | Enerji Talebi (MW) | Artış (%) |
|--------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 1998 | 17799 | 5.2 | 114023 | 8.1 |
| 1999 | 18938 | 6.4 | 118485 | 3.9 |
| 2000 | 19390 | 2.4 | 128276 | 8.3 |
| 2001 | 19612 | 1.1 | 126871 | -1.1 |
| 2002 | 21006 | 7.1 | 132553 | 4.5 |
| 2003 | 21729 | 3.4 | 141151 | 6.5 |
| 2004 | 23485 | 8.1 | 150018 | 6.3 |
| 2005 | 25174 | 7.2 | 16094 | 7.2 |
| 2006 | 27594 | 9.6 | 174637 | 8.6 |
| 2007 | 29249 | 6.0 | 19000 | 8.8 |

Şekil 1.5 1998 - 2007 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi



Şekil 1.6 Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (EÜAŞ, 2008)

2. DALGA ENERJİSİ

2.1 Genel Bilgi

Dünyada tüketilen enerji miktarının önümüzdeki on yılda önemli bir şekilde artacağı tahmin edilmektedir. Geleneksel enerji üretim metotları çevre kirliliğine yol açtığı için artık çok sayıda ülke temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmıştır. Enerji sektörü penceresi yenilenebilir enerji kaynaklarına açılan devrim niteliğindeki bir sürece doğru ilerlemektedir. 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 birçok ülke tarafından artan bir ilgi vardır.

Denizlerdeki dalgalar temelde üç etki sonucu oluşmaktadır. Bunlar; denizlerde oluşan depremlerin ve deniz dibi çökmelerinin yol açtığı dalgalar, rüzgarların ve fırtınaların oluşturduğu dalgalar ve gelgit olayı sonucu oluşan dalgalardır (Özdamar, 2000).

Dalga enerjisi dönüştürücülerinin bir yandan verimli ve güvenli bir işleme sahip olması gerekirken, diğer yandan da ekonomik olabirliliğini sağlamak önemlidir. Diğer yenilenebilir enerji türlerinde olduğu gibi, dönüştürücünün inşa edileceği bölgede mevcut enerjinin ve bu enerjinin değişkenliğinin belirlenmesi ilk etapta yapılması gerekenlerdir. Şu andaki teknoloji orta ölçekte yaklaşık olarak 1.5-2 MW veya daha küçük 5-20 kW gücündeki cihazları desteklemektedir. Daha fazla enerji üretimi için bunlar bir dizi halinde kurulabilirler (McCormick, 1981).

2.2 Dalga Enerjisinin Avantajları

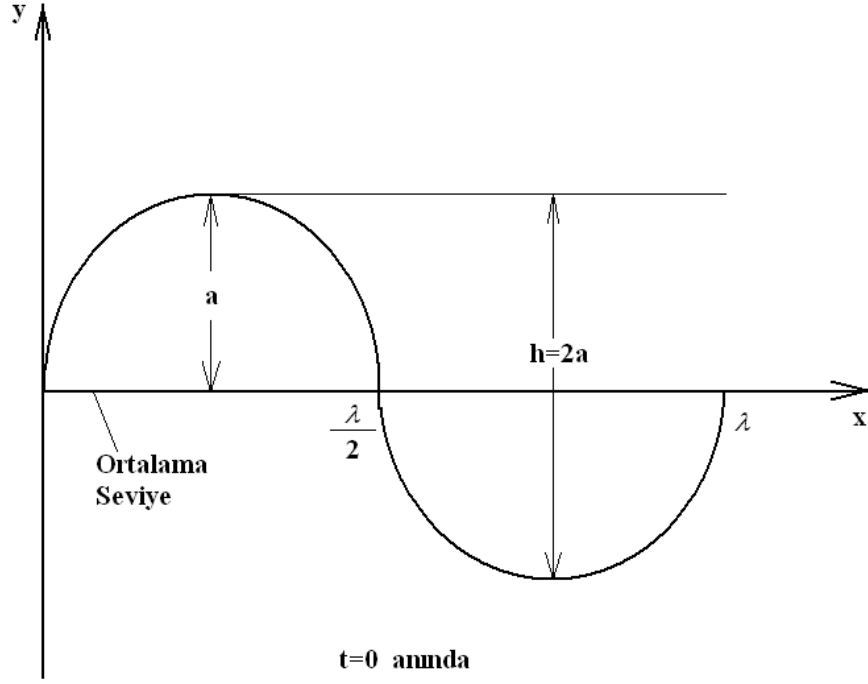
Primer enerjiye bedel ödenmeden temiz ve sınırsız enerji üretimi mümkündür. Uzun elektrik iletim hattına gerek duyulmaz. Sistemler, öngörülen enerji ihtiyacına göre boyutlandırılabilir. Dalga görevi görerek, denizlerdeki balık neslinin çoğalmasına yardımcı olur, ekolojik dengeye katkıda bulunur. Deniz üzerinde kurulduğu için tarım arazilerini yok etmez. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı kısmen azaltacağı için çevre kirliliğinin azalmasına dolaylı da olsa katkıda bulunur. Dalga santrallerinin üzeri otel, sosyal tesis, alışveriş merkezi vs. olarak kullanılabilir.

2.3 Dalga Enerjisinin Dezavantajları

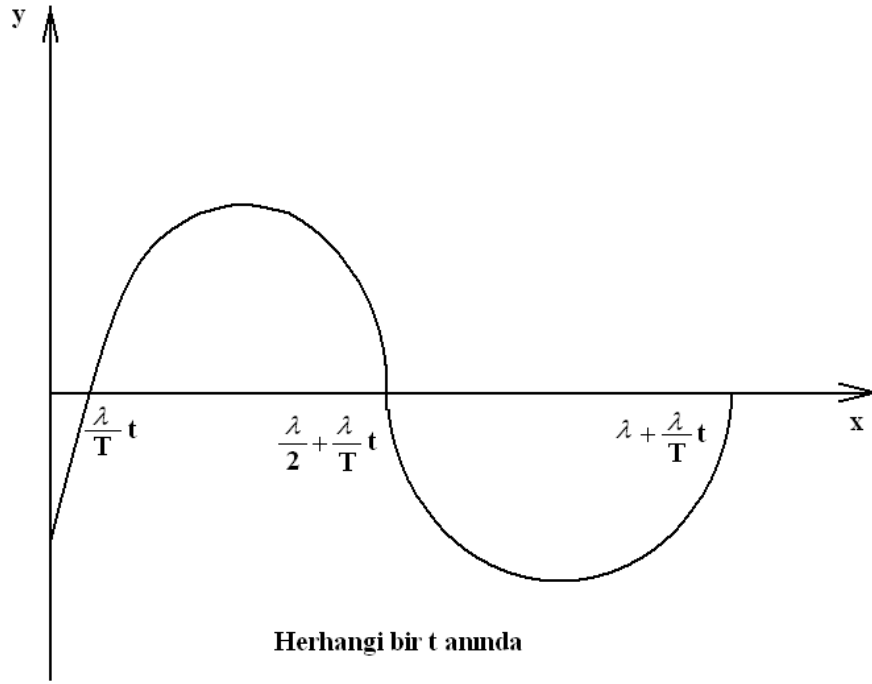
İlk yatırım maliyetleri ve bakım masrafları yüksektir. Aynı miktarda enerjiyi elde etmek sürekli mümkün olmayabilir. Kıyı şeridi ve kıyıya yakın uygulamalar estetik açıdan çevreyi olumsuz etkileyebilir. Kıyıdan uzak uygulamalar denizcilik için tehlike oluşturabilir. Değişken dalga yükseklikleri sistemin dayanımını olumsuz yönde etkileyebilir.

2.4 Dalga Hareketi

Dalga hareketinin iki boyutlu görünümü şekillerde verilmiştir.



Şekil 2.1 Dalga hareketinin iki boyutlu görünümü (t=0 anında)



Şekil 2.2 Dalga hareketinin iki boyutlu görünümü (herhangi bir t anında)

λ : Dalga Boyu (m)

a: Genlik (m)

h: Dalga Yüksekliği (m)

T: Periyot (s)

f: Frekans (1/s)

c: Dalga Yayılma Hızı (m/s)

n: Faz (1/s)

g: Yerçekimi İvmesi (m/s^2)

$$c = \lambda / T$$

$$f = 1 / T$$

$$n = 2\pi / T = g / c$$

$$c = \lambda / T = g / n = g \cdot T / 2 \cdot \pi$$

$$\lambda = (g / 2\pi) \cdot T^2 = 1,56 T^2$$

Periyot ve dalga hızı, dalga boyuna ve derinliğe bağlıdır. Sabit dalga boyunda derinlik arttıkça T azalır. Yine sabit derinlikte λ arttıkça T artar (Bekdemir, 2004).

2.5 Dalga Denklemi

Dalga hareketi sinüzoidal bir harekettir ve düzlemde aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$y = a \cdot \sin \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) x - \left(\frac{2\pi}{T} \right) t \right]$$

Burada;

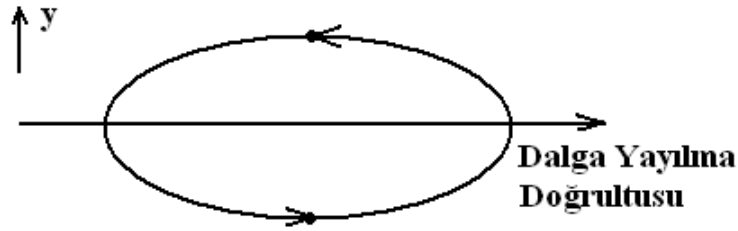
$$m = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{ve} \quad n = \frac{2\pi}{T} \quad \text{alırsak};$$

$$y = a \cdot \sin (mx - nt) \quad \text{şekline gelir.}$$

$$x = \lambda \left(\frac{t}{T} \right) = t \left(\frac{\lambda}{T} \right) \quad \text{(rastgele anda)}$$

$$t = T \quad ; \quad x = \lambda \quad \text{(orijinal pozisyon)}$$

Dalga hareketi ve yayılması yatay doğrultuda (x doğrultusu) olmasına rağmen suyun hareketi böyle değildir. Su partikülleri eliptik bir yolda aşağı yukarı hareket eder (Bekdemir, 2004).



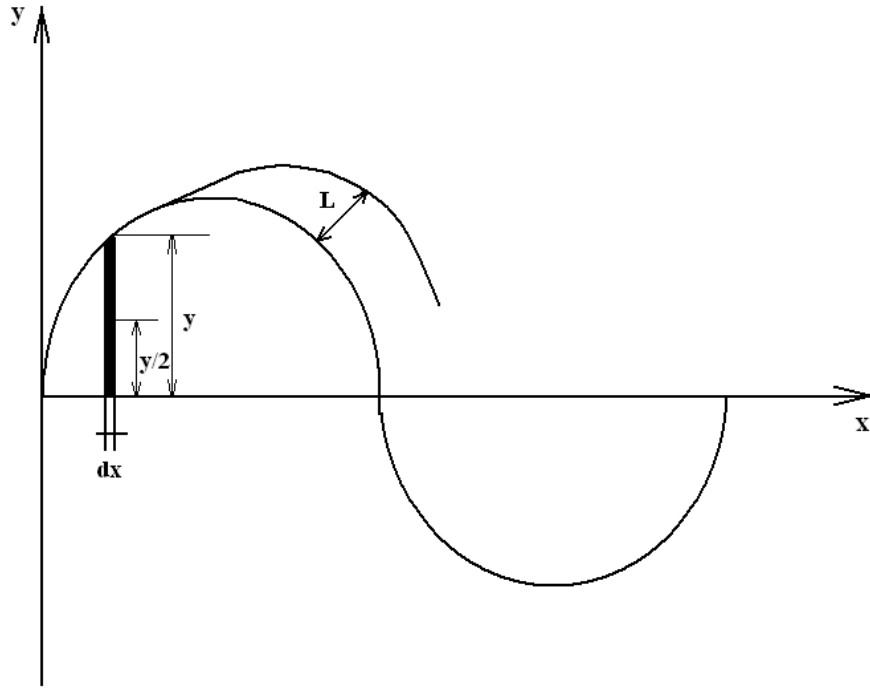
Şekil 2.3 Dalga yayılma doğrultusu

2.6 Dalga Enerjisi ve Güç

Toplam Dalga Enerjisi = Potansiyel Enerji + Kinetik Enerji

Ortalama seviyeden yükseldikçe potansiyel enerji artar (Bekdemir, 2004).

Diferansiyel bir eleman alırsak;



Şekil 2.4 Potansiyel enerji değişim eğrisi

Potansiyel enerjinin genel denklemi

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Diferansiyel elemana uygularsak :

$$dE_p = dm \cdot y/2 \cdot g$$

$$dm = \rho \cdot y \cdot dx \cdot L$$

$$dE_p = \rho \cdot y \cdot dx \cdot L \cdot y/2 \cdot g = 1/2 \cdot \rho \cdot L \cdot g \cdot y^2 \cdot Dx$$

Burada;

m: Kütle (kg)

ρ : Yoğunluk (kg / m³)

g : Yerçekimi İvmesi (m / s²)

L: Dalga Yönüne Dik Doğrultu (m)

$$y = a \cdot \sin (mx - nt)$$

$$y^2 = a^2 \cdot \sin^2 (mx - nt)$$

$$\int dE_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L \cdot a^2 \cdot g \int_0^\lambda \sin^2 (mx - nt) dx$$

$$E_p = \frac{\rho L a^2 g}{2m} \left| \frac{1}{2} mx - \frac{1}{4} \sin 2mx \right|_0^\lambda$$

$$E_p = \frac{\rho L a^2 g}{2m} \left(\frac{m\lambda}{2} \right)$$

$$E_p = \frac{1}{4} \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g \quad (J)$$

Potansiyel Enerji Yoğunluğu

$$\frac{E_p}{A} \quad A = \lambda \cdot L$$

$$\frac{E_p}{A} = \frac{1}{4} \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g / \lambda \cdot L$$

$$\frac{E_p}{A} = \frac{1}{4} \rho \cdot a^2 \cdot g \quad (J/m^2)$$

Kinetik Enerji

$$E_k = \frac{1}{4} \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g$$

Kinetik Enerji Yoğunluğu

$$\frac{E_k}{A} = \frac{E_k}{\lambda \cdot L} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot g$$

Toplam Enerji (E_t)

$$E_t = E_p + E_k$$

$$E_t = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g + \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g$$

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g$$

Toplam Enerji Yoğunluğu

$$\frac{E_t}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g / \lambda \cdot L$$

$$\frac{E_t}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot g$$

Dalga Gücü

P = Enerji x Frekans

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g \cdot f \quad (\text{W})$$

Güç Yoğunluğu

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot \lambda \cdot L \cdot g \cdot f / \lambda \cdot L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot g \cdot f \quad (\text{W/m}^2)$$

Uygulama

3 m yükseklik ve 7 saniye periyoda sahip bir dalga için, dalga boyunun, dalga hızının, enerji ve güç yoğunluklarının hesaplanması.

$$\lambda = 1,56.T^2$$

$$\lambda = 1,56.7^2 = 76,44m$$

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{76,44}{7} = 10,92(m/s)$$

Genlik

$$a = \frac{h}{2} = \frac{3}{2} = 1,5m$$

Frekans

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{7} s^{-1}$$

Enerji Yoğunluğu

$$\frac{E_t}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a^2 \cdot g$$

$$\frac{E_t}{A} = \frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 1,5^2 \cdot 9,81 = 11312,15(J/m^2)$$

Güç Yoğunluğu

$$\frac{P}{A} = \frac{E_t}{A} f$$

$$\frac{P}{A} = \frac{11312,15}{7} = 1616,02(W / m^2)$$

gidilmelidir. Ülkemizde düzenli ve bilimsel dalga ölçüm istasyonları ve bunların ölçülmüş verileri ya da ölçüm değerlendirme istasyonları bulunmamaktadır.

Türkiye'nin sahip olduğu denizlerdeki dalga oluşumları ve bu dalgaların sahip oldukları özellikler bunun yanı sıra dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin en verimli çalışabileceği yerler olarak; Anadolu'nun güneybatı açıkları, İstanbul Boğazı'nın kuzeyi ve Karadeniz kıyı şeridi öngörülmektedir.

3. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri; kıyı şeridi boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan sistemler olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

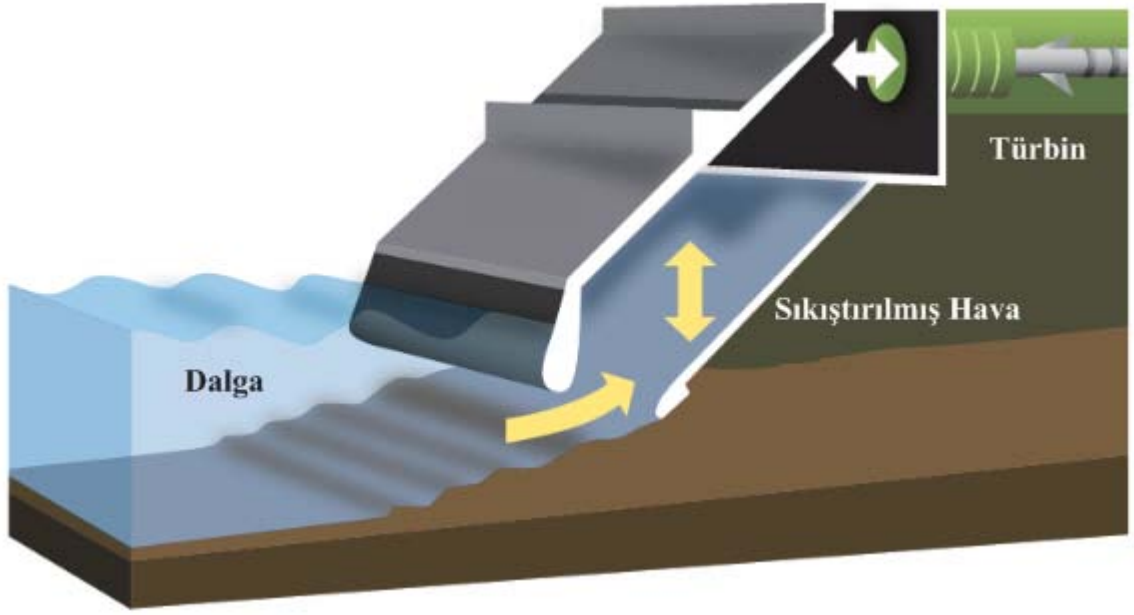
3.1 Kıyı Şeridi Boyunca Uygulanan Enerji Dönüşüm Sistemleri

Bu tip sistemler kıyıya sabitlenmiş şekilde bulunurlar. İlk yatırım maliyetleri, kurulumu ve bakım masrafları kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan sistemlere oranla daha uygundur. Üretilen elektriğin kullanılacak bölgeye ulaştırabilmesi için uzun su altı elektrik iletim hatlarına ihtiyaç duyulmaz. Kıyı şeridi uygulamaları, elektrik üretiminin yanı sıra dalga kıran olarak da hizmet verebilmektedir. Kıyı şeridindeki yerleşim ve yaşam merkezlerinin, denizlerden kaynaklanabilecek tehlikelerden korunmasını sağlarlar.

Kıyı şeridine ulaşan dalgaların taşıdığı enerji, açık denizde ve derin sularda oluşan dalgalara oranla daha azdır. Bu nedenle, diğer tip dönüşüm sistemlerine nazaran üretilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli kıyı şeridi boyunca uygulanan sistemlerde daha düşük olacaktır.

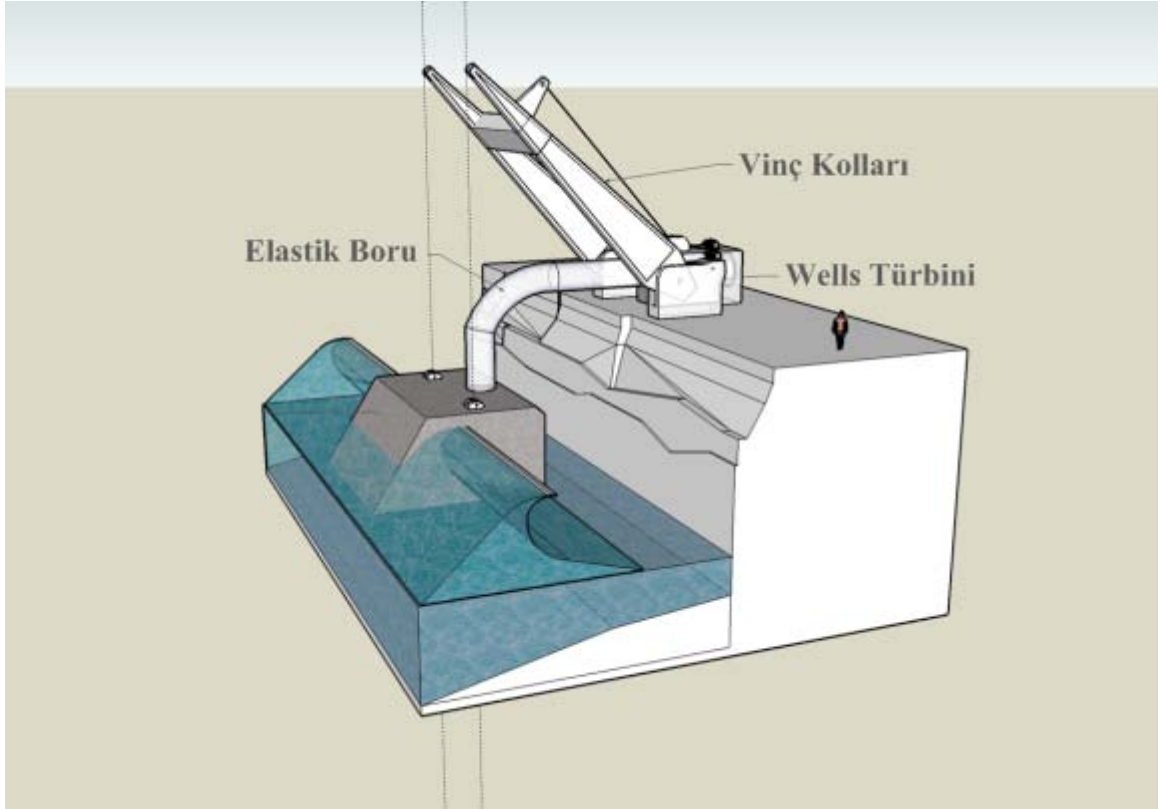
3.1.1 Salımlı Su Sütunu

SSS, bir ucu denize, diğer ucu atmosfere açık bölmeleri olan yapılardır. Dalga hareketi ile bölmedeki su seviyesi aşağı yukarı salınım yaparken, bölme içerisindeki hava sürekli olarak dışarı itilip, içeri çekilir. Havanın bu dışarı çıkış ve içeri giriş hareketi bir türbini çevirmek için kullanılır. Türbinden elde edilen hareket enerjisi, sisteme dahil edilecek bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu tür dönüştürücülerde, havanın hem giriş hem de çıkış hareketi sırasında aynı yöne dönebilen Wells türbinleri kullanılmaktadır (Bedard vd., 2005).



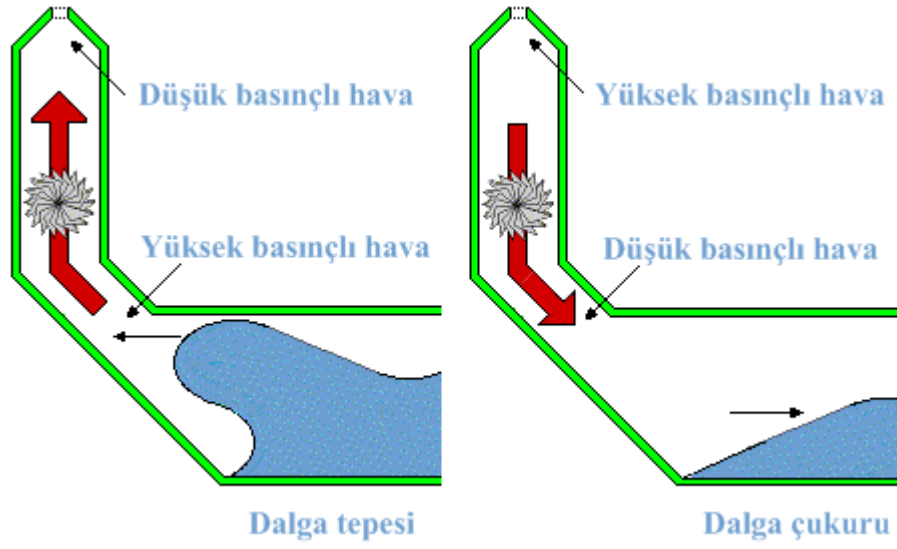
Şekil 3.1 Salınlı Su Sütunu

SSS dalga enerjisi dönüşüm sisteminde elektrik üretimi iki aşamalı bir yöntemle gerçekleştirilir. İlk olarak, dalga hareketi ile gelen su sütunun içine girer ve sütun içerisinde yükselir. Bu sırada sütun içerisindeki havayı sıkıştırır ve basıncını artırır. Basıncı artan hava elastik ve çapı daralan bir boru yardımıyla türbine iletilir. Dalga geri çekildiğinde ise sütun içerisindeki basınç azalır ve atmosfer basıncı sütun içerisindeki hava ile doldurur.

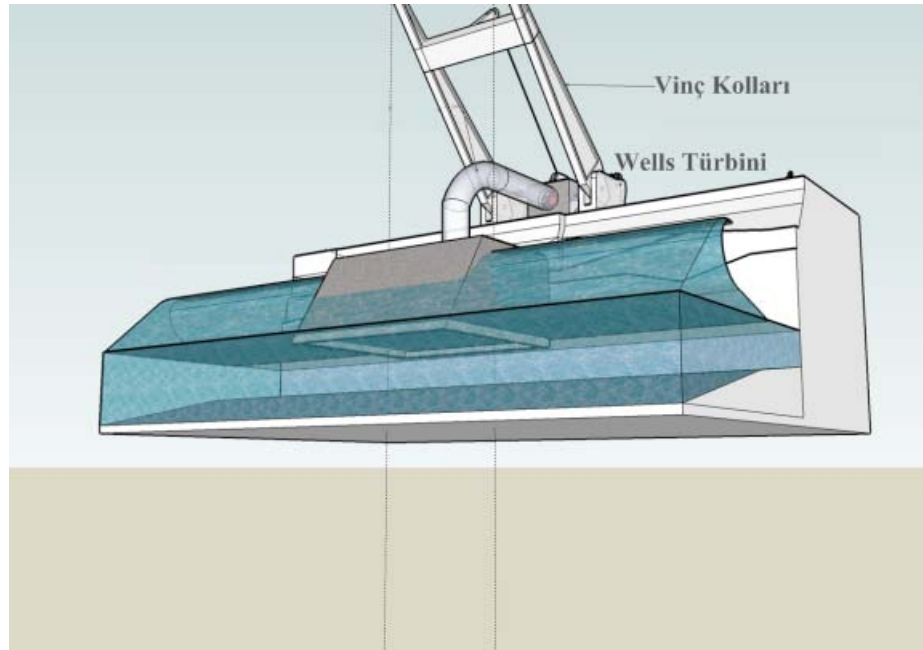


Şekil 3.2 SSS dalga enerjisi dönüşüm sistemi

Bu sistemde normal bir türbin kullanılırsa su odaya girdiğinde ve odadan çıkarken türbin pervanesi farklı yönlere dönecektir. Bu durumda pervane durup durup çalıştığı için enerji üretimini azaltacaktır. Ancak Wells türbini kullanıldığında bu türbinin özel yapısı sayesinde zaman kaybı yaşanmadan her zaman, hem sütundan dışarıya hava atılırken hem de sütuna hava çekilirken tek yöne doğru dönüş sağlanır ve daha verimli bir şekilde enerji üretilmesi mümkün olur.

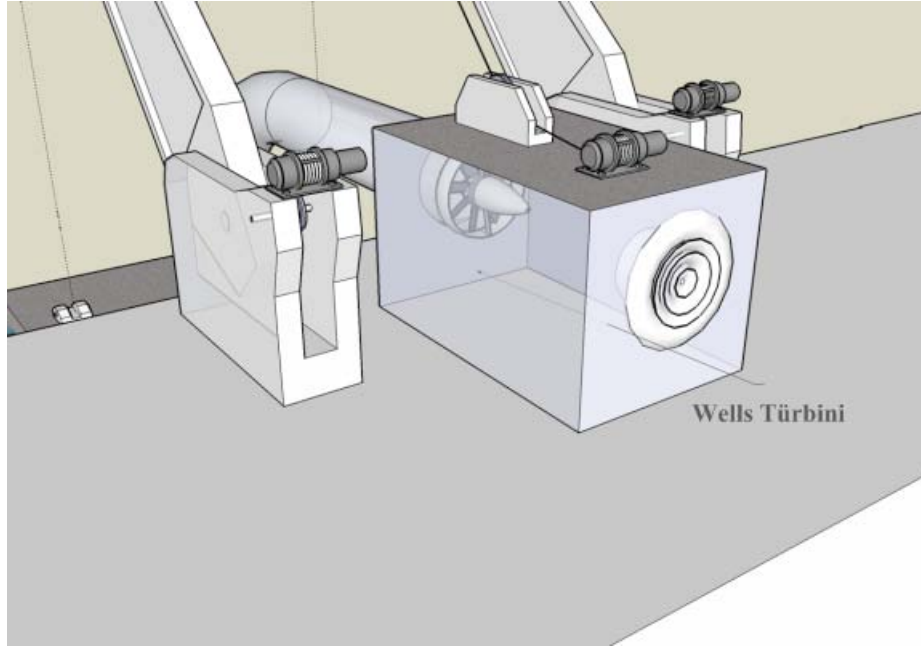


Şekil 3.3 Wells Türbini'nin çalışma prensibi



Şekil 3.4 SSS

Sistemin üst tarafında yer alan Wells türbini havanın hareketiyle birlikte döner ve dalga enerjisini hareket enerjisine dönüştürür. Türbin çıkışında bulunan jeneratör yardımıyla hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür.



Şekil 3.5 Wells Türbini

3.1.2 Oceanlinx

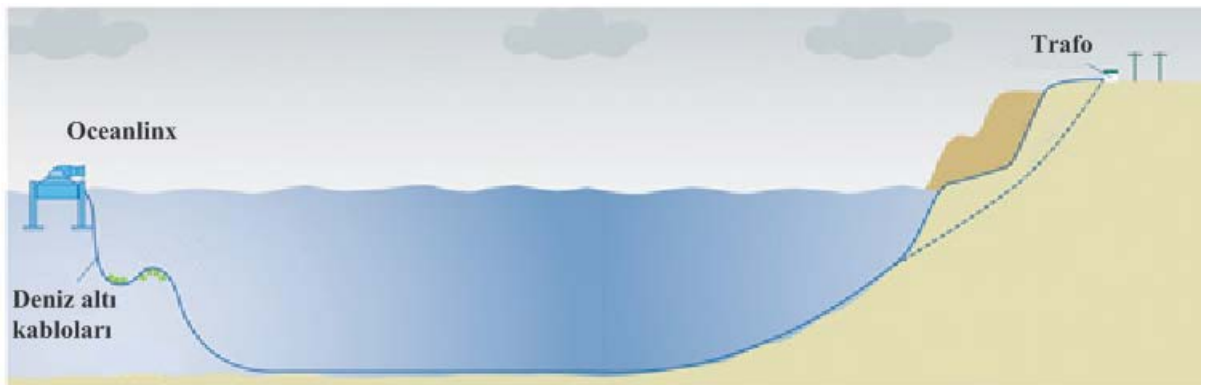
Oceanlinx, yeni nesil SSS sisteminin bir uyarlamasıdır. Sistem genel olarak SSS sistemi ile aynı karakteristikte çalışmakta ve elektrik üretimi benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Sistem parabolik bir duvara sahiptir ve bu duvar dalgaları sütuna odaklamaktadır (RISE, 2009).



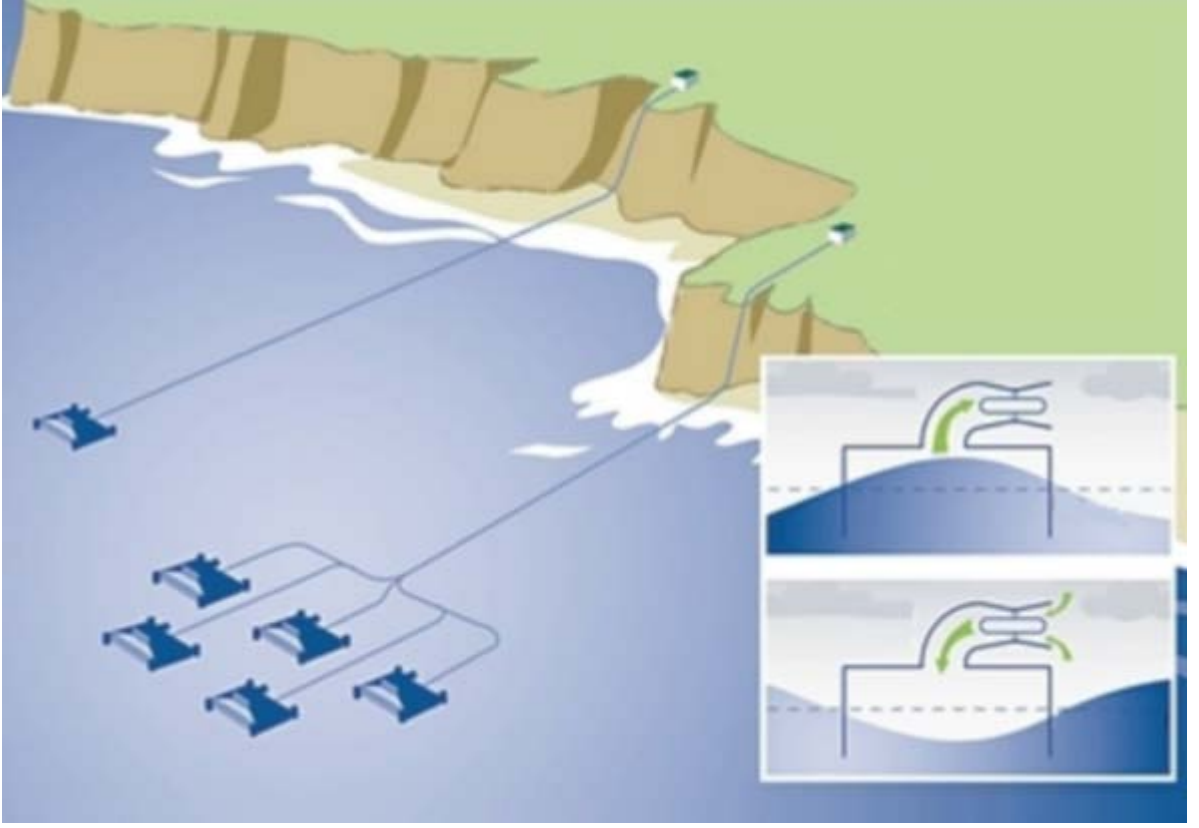
Şekil 3.6 Oceanlinx

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 olanak tanır. Oceanlinx sisteminin özü bu daralan formdaki sütuna dayanmaktadır (RISE, 2009).

Üretilen elektrik enerjisi kıyıya su altı kabloları ile taşınmaktadır.



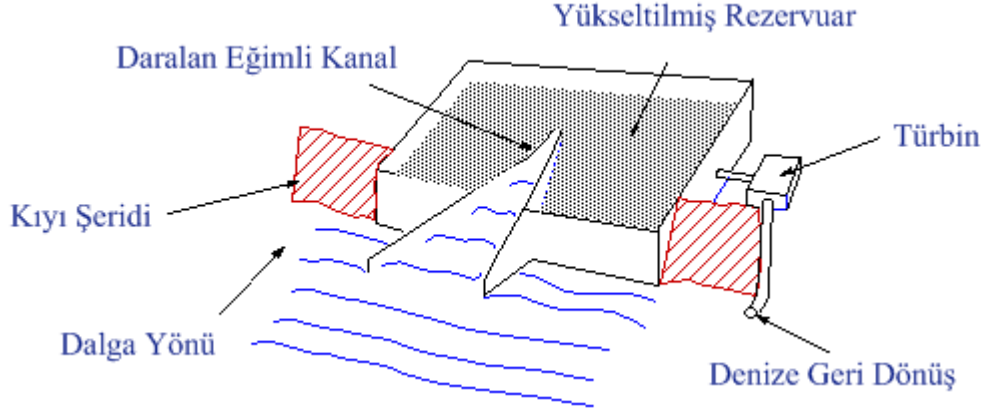
Şekil 3.7 Su altı elektrik iletim hattı



Şekil 3.8 Dalga tepesi ve çukuru sırasında türbine hava girişi

3.1.3 Daralan Kanal

Bu sistemde, deniz seviyesinden birkaç metre yüksekte inşa edilmiş bir rezervuar ve bu rezervuara bağlı bir kanal bulunmaktadır. Kanalin geniş kısmına dalga hareketiyle gelen su, kanalın daralmasıyla yükselir ve rezervuarın içine akar. Rezervuar bir boru ile türbine bağlıdır. Elektrik üretimi hidroelektrik santraller ile benzerdir. Rezervuardaki su Kaplan türbinini besler. Potansiyel enerjiye sahip su, türbinden geçirilerek enerjisinin hareket enerjisine dönüştürülmesi sağlanır. Türbin çıkışına bağlanacak bir jeneratör yardımıyla hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Thorpe, 1999).

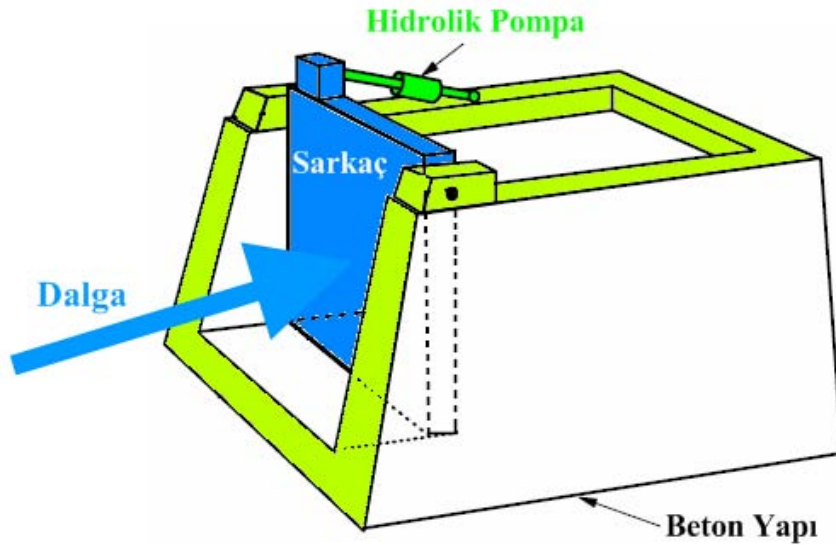


Şekil 3.9 Daralan Kanal sisteminin şematik görünümü

Daralan kanal sisteminin bakım masrafları düşüktür. Gereksinime bağlı olarak enerji rezervuar içinde depolanabilir. Ancak bu sistem her kıyı şeridi için uygun değildir. Sistemin kurulacağı bölgede, dalga yoğunluğunun sürekli olması ve rezervuarın inşa edilebileceği uygunlukta alan bulunması gerekmektedir (Thorpe, 1999).

3.1.4 Sarkaçlı Sistem

Sarkaçlı sistem, bir tarafı denize açık olan, betondan inşa edilmiş bir kutuya benzemektedir. Sistemin denize açık olan kısmına sarkaç şeklinde bir kapak yerleştirilmiştir. Sarkaç kapak, şekilden de görülebileceği gibi üst kısımdan menteşelenmiştir ve gelen dalgayla birlikte ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket ile sarkaca bağlı olan hidrolik pompa tahrik edilir. Hidrolik pompadan elde edilen enerji jeneratör aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Sarkaçlı sistem aynı zamanda dalgakıran olarak da hizmet verebilmektedir (Thorpe, 1999).



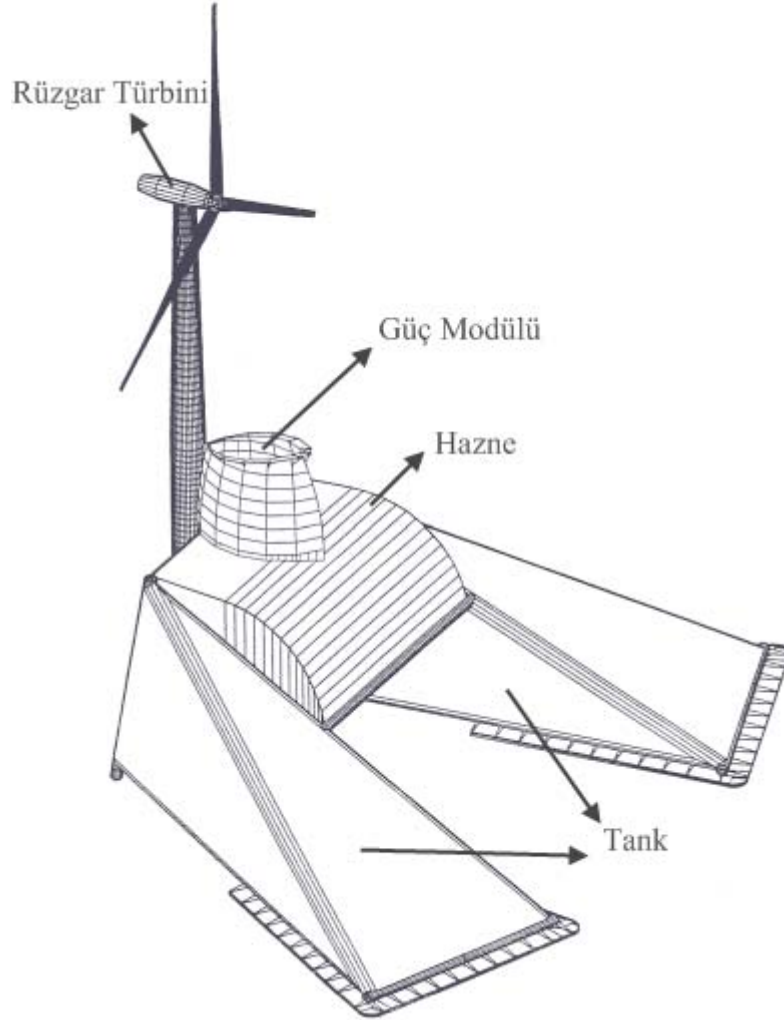
Şekil 3.10 Sarkaçlı Sistem

3.2 Kıyıya Yakın Enerji Dönüşüm Sistemleri

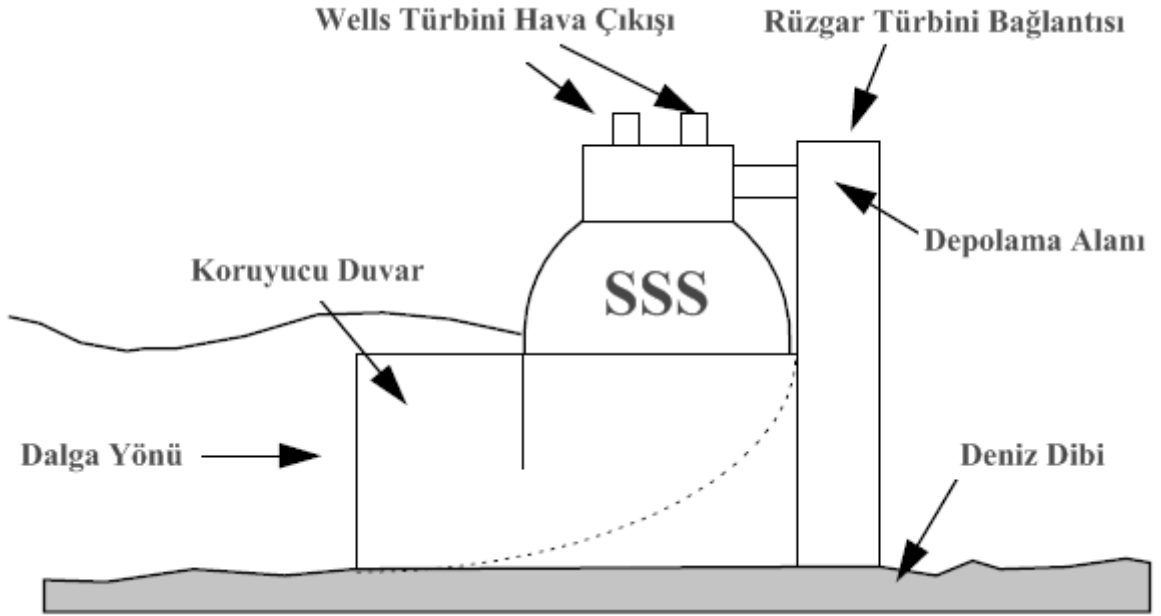
Bu tür sistemler, kıydan yaklaşık olarak 20 m kadar uzaklıkta uygulanan sistemlerdir.

3.2.1 OSPREY

Bu sistem, ortasında 20 m genişliğinde dikdörtgen biçiminde toplayıcı bir hazne ihtiva eden ve bu haznenin her iki tarafında çelik tanklar bulunan bir hibrit dönüşüm sistemidir. Bu tanklar dalganın geliş yönüne doğru yerleştirilmiştir ve toplayıcı hazneye doğru gelen dalgaları karşılarlar. Sistem hibrit olmasının nedeni rüzgar türbinin sisteme entegre edilmiş olmasıdır. Sistem ortalama 14 m su derinliğindeki bölgelerde çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Sistemin ömrü 25 yıldır (Thorpe, 1999).



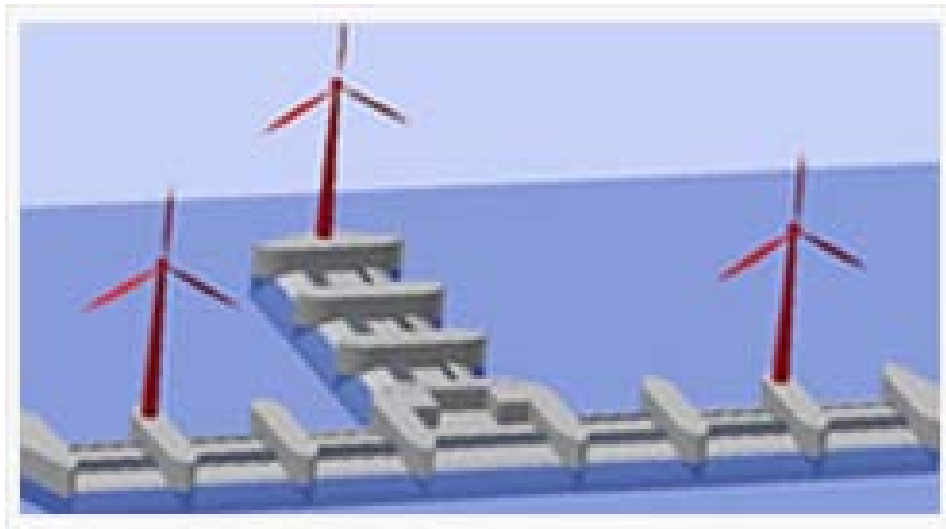
Şekil 3.11 OSPREY



Şekil 3.12 OSPREY sisteminin şematik görünümü

3.2.2 OWWE

OWWE, kıyıya yakın bölgelerde uygulanan hibrit bir enerji dönüşüm sistemidir. Dalga dönüşüm sistemi olarak Wave Dragon'u kullanan sisteme ek olarak rüzgar türbini entegre edilmiştir. Sistemin patenti 2005 yılında alınmıştır. Elektrik enerjisi üretim maliyeti yaklaşık olarak 0,07 \$/kWh civarındadır (OWWE, 2009).



Şekil 3.13 OWWE

3.3 Kıydan Uzak Enerji Dönüşüm Sistemleri

Yatırım, ilk kurulum ve bakım masrafları diğer sistemlere göre daha fazla olan, kıydan uzak enerji dönüşüm sistemleri, yaklaşık 50 m'den daha derin sularda uygulanmaktadır. Üretilen elektriğin karaya taşınması için uzun su altı iletim hatlarına ihtiyaç duyarlar.

3.3.1 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 (WD, 2009).



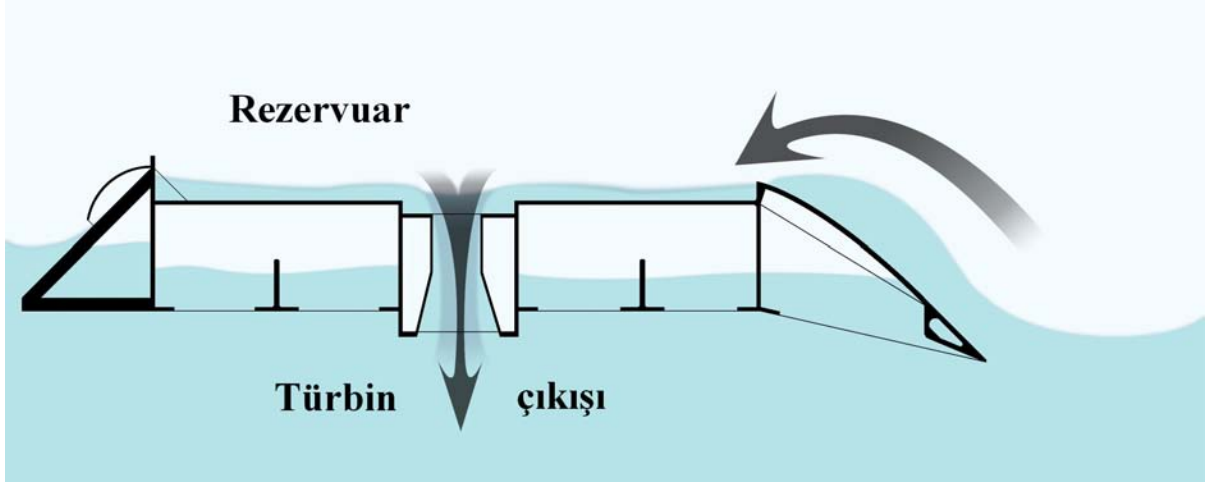
Şekil 3.14 Wave Dragon prototipinin deniz testi

Wave Dragon, basit bir yapıya sahiptir. Hareketli parça olarak sadece türbinler vardır. Kıydan 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 (RISE, 2009).

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 (WD, 2009).



Şekil 3.15 Wave Dragon Prototip



Şekil 3.16 Wave Dragon'un çalışma prensibinin şematik görünümü

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 (RISE, 2009).



Şekil 3.17 Rampa

Wave Dragon, sistemin kurulacağı bölgedeki dalga karakteristiklerine bağı olarak 4 ila 11 MW güç üretecek şekilde uygulanabilir ve 20-30 m derinlikteki suda verimli olarak çalışabilir (RISE, 2009).



Şekil 3.18 Wave Dragon

3.3.2 Pelamis

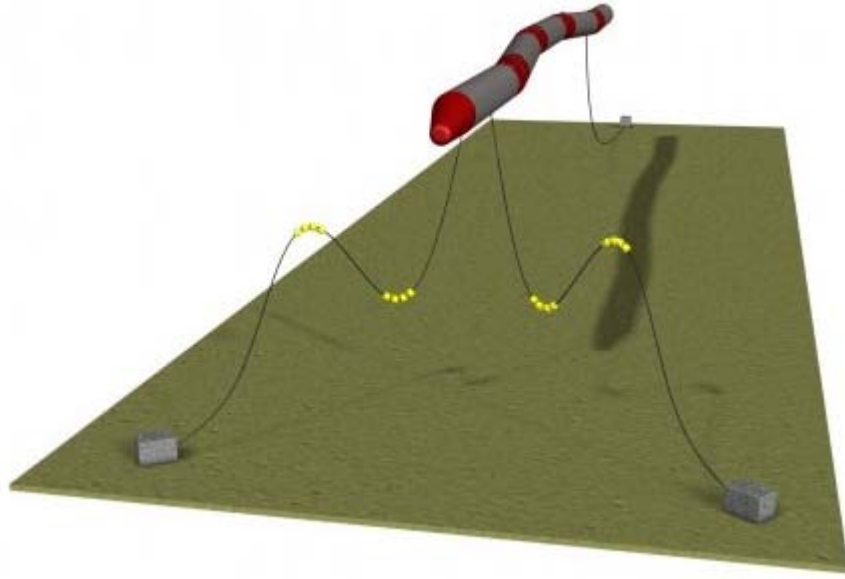
Pelamis; modellemesi, testleri ve geliştirilmesi Pelamis Wave Power firması tarafından gerçekleştirilen, kıydan uzakta uygulanan bir dalga enerjisi dönüşüm sistemidir. Bu sistem, yarı suya batık, menteşelerle birbirine bağlanmış silindirik yapılardan oluşmaktadır (PWP, 2009).



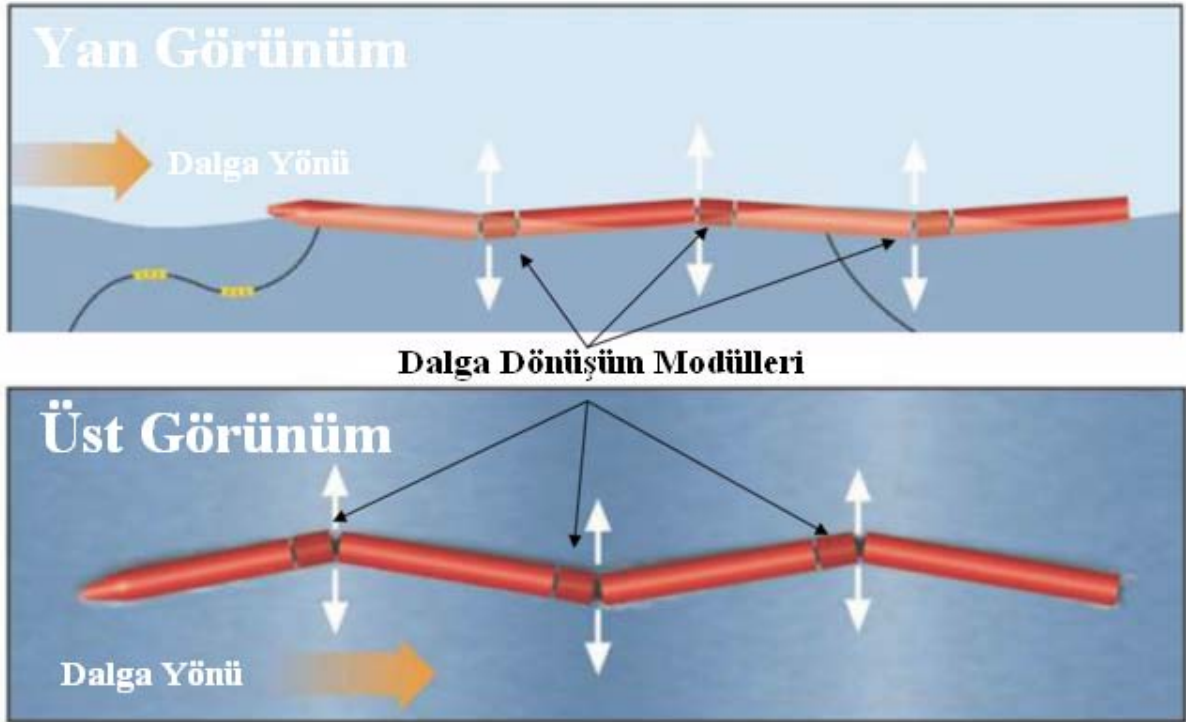
Şekil 3.19 Pelamis

Silindirik yapılar gelen dalga ile salınım yaparlar ve silindir içindeki yüksek basınçlı akışkan hareket ederek sistem içinde 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 (PWP, 2009).

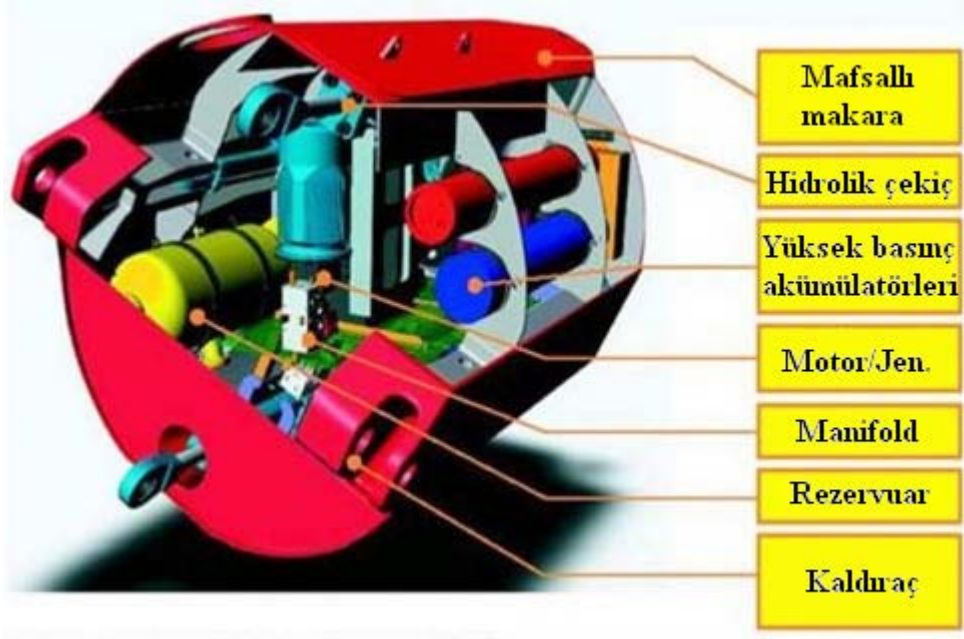
Pelamis, kıyıdan 5-10 km uzaklıkta ve yaklaşık olarak 50-70 m derinlikte, yüksek enerji potansiyeli bulunan dalgalardan faydalanmak amacıyla dizayn edilmiştir (PWP, 2009).



Şekil 3.20 Pelamis sisteminin taslak görünümü



Şekil 3.21 Pelamis dalga dönüşüm modülleri



Şekil 3.22 Modül diyagramı

Pelamis, teknolojisi, ekonomikliği ve çevresel avantajlarıyla birçok avantaj sunmaktadır;

- Azgın dalgalara dayanıklıdır.
- %100 bulunabilir bir teknolojidir.
- Açık denizde bakım ve müdahale gerektirmez.
- Uzaktan kumanda edilebilir.
- Dalga enerjisi piyasasındaki en düşük kWh elektrik maliyetine sahiptir.
- Verimliliği yüksektir.

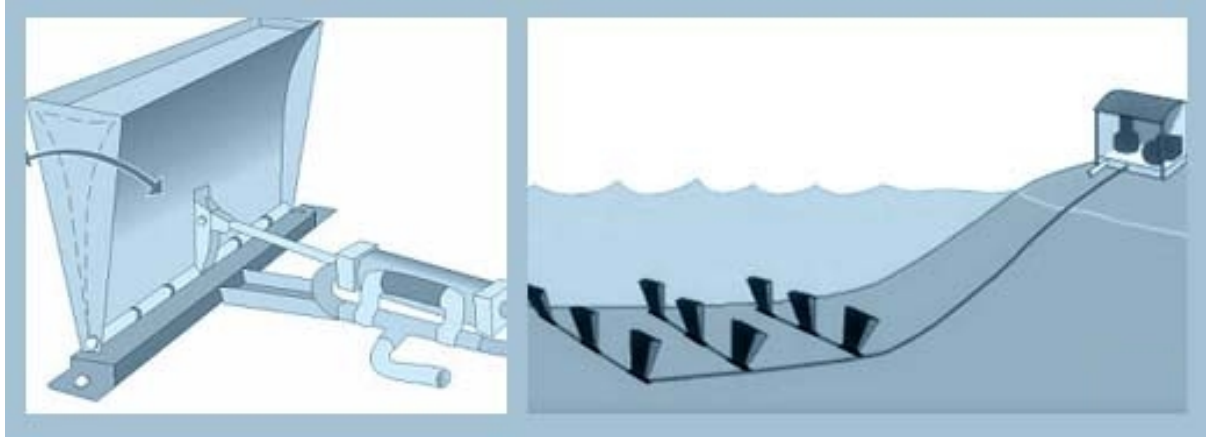
Pelamis'in mevcut üretim sistemi, 140 m uzunluğunda ve 3,5 m çapındadır. Cihaz başına 3 adet dönüşüm modülü içermektedir. Her sistem 750 kW enerji üretebilmektedir. Pelamis enerji dönüşüm sisteminin verimi, kurulum yapılan bölgenin dalga karakteristiklerine göre değişim gösterebilmektedir. Sistem, bölgenin 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 (PWP, 2009).



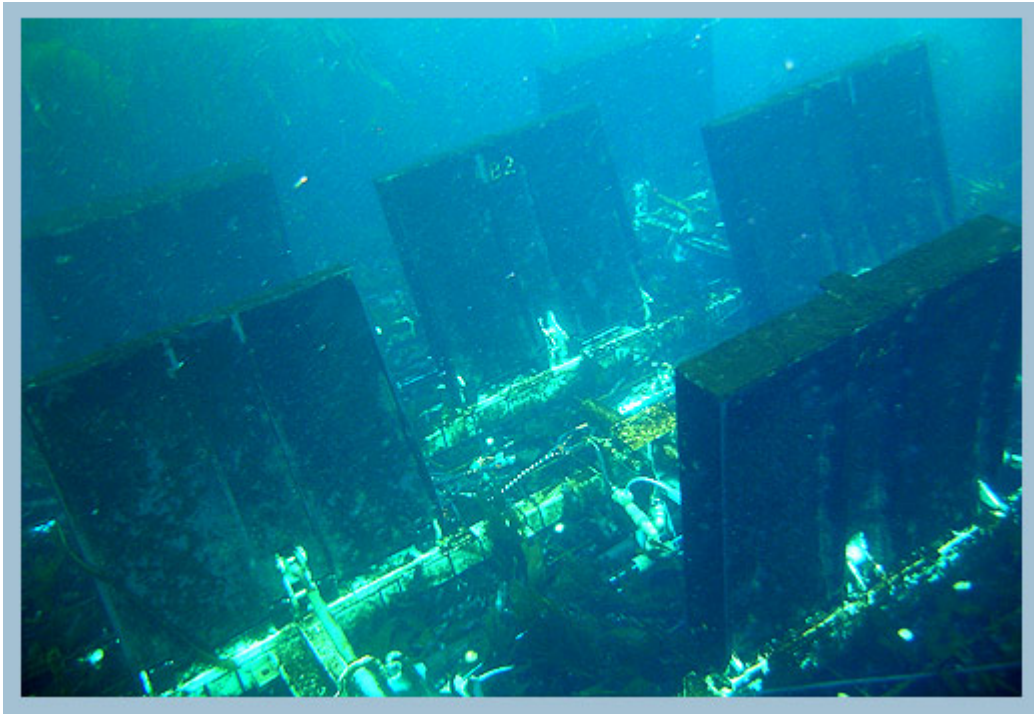
Şekil 3.23 Pelamis enerji dönüşüm çiftliği simülasyonu

3.3.3 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 (AW-Energy, 2009).

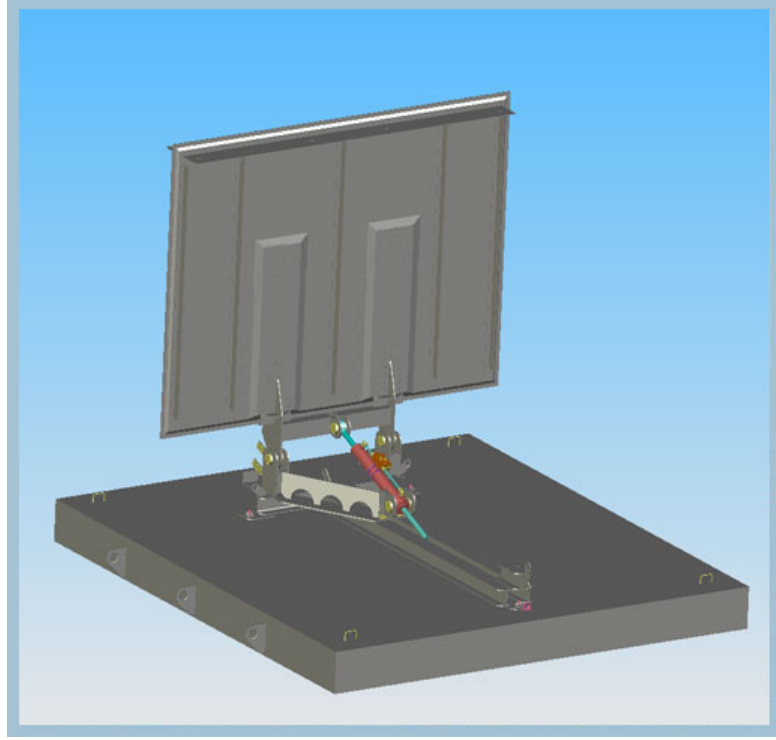


Şekil 3.24 Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü



Şekil 3.25 Dalga Paleti sistemi

Bu sistem tipik bir deniz dibi sistemidir. Deniz altında oluşan dalgalar, yüze yakın dalgalardan daha sürekli ve daha tahmin edilebilirlerdir. Deniz yüzeyinden görülmeyen bir dalga enerjisi dönüşüm sistemi diğer sistemlere oranla daha az çevresel etkiye sahiptir (AW-Energy, 2009).



Şekil 3.26 Paletin simülasyon görüntüsü

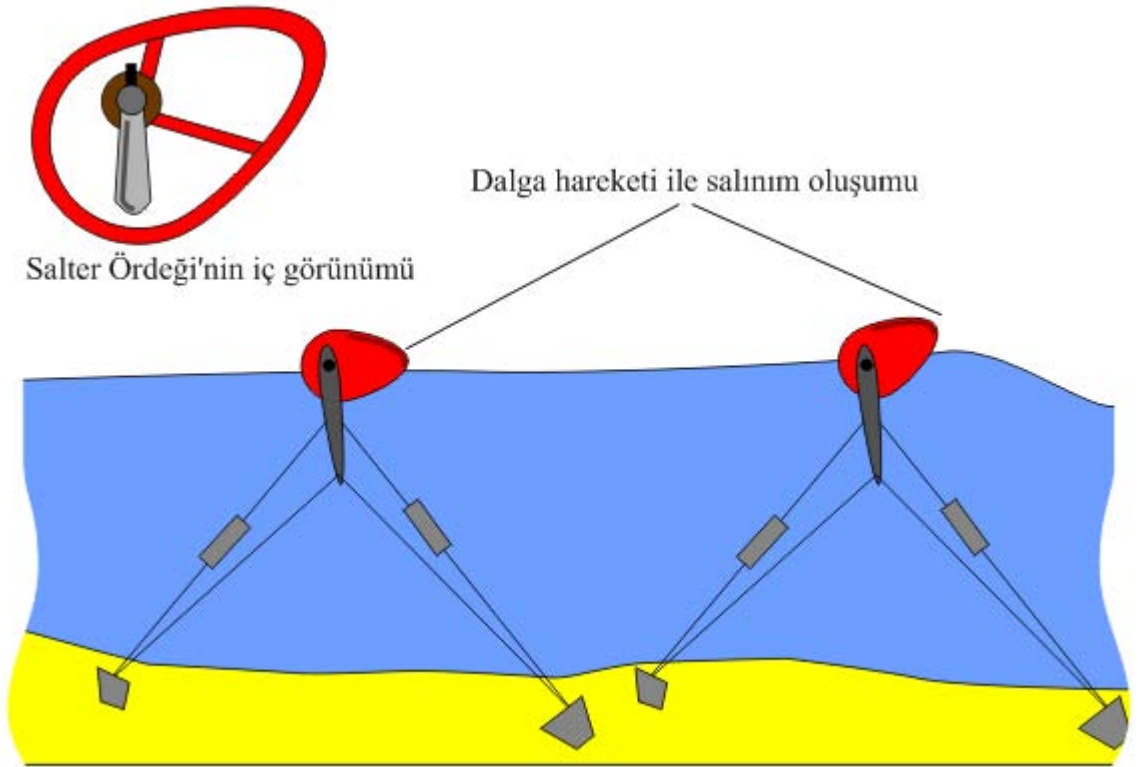
Mevcut sistemdeki her palet sistemin kurulduğu bölgedeki dalga karakteristiklerine göre ortalama 15kW lık bir enerji üretebilmektedir (AW-Energy, 2009).



Şekil 3.27 Paletlerin prototipleri

3.3.4 Salter Ördeği

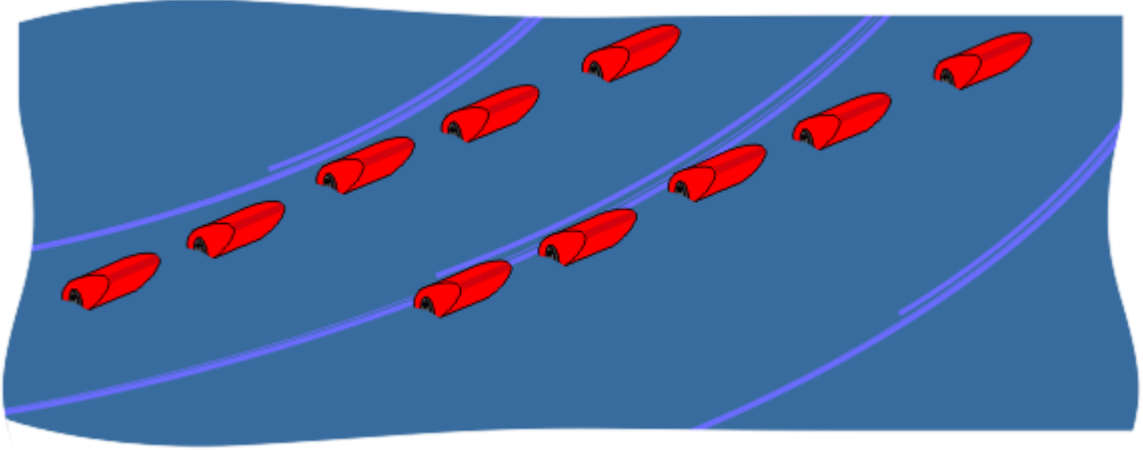
Salter Ördeği, su üzerinde yüzen dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinden biridir. Bu sistemde elektrik üretimi, sistemin su üzerinde kalan yüzen kısımlarının harmonik hareketleriyle sağlanır. Dalga hareketinin etkisiyle aşağı-yukarı ve kendi eksine etrafında dönerek hareket eden ördeğe benzeyen yapılar bulunmaktadır. Ördeklerin dönüş ekseninden geçirilen mil ise türbini harekete geçirir. Türbine bağlı olan jeneratör ile de elektrik üretimi sağlanır (RISE, 2009).



Şekil 3.28 Salter Ördeği sisteminin şematik görünümü

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).

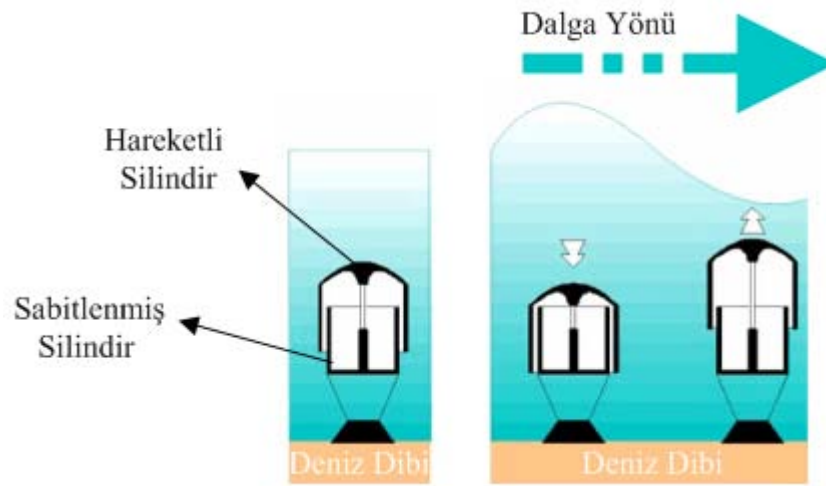
Sistemin yüzen kısmının yavaş salınımlı olmasından dolayı elektrik üretimi verimsizdir. Karmaşık hidrolik sistemi, pahalı olması ve istenilen seviyelerde güçlere ulaşamadığı için 1980'lerde geliştirilmesi durdurulmuştur.



Şekil 3.29 Salter Ördeklerinin denizdeki dizilimleri

3.3.5 Archimedes Dalga Salıncağı

ADS sistemi, deniz yüzeyinden 6 metre aşağıda bulunan silindir şeklindeki şamandıradan oluşan ve deniz dibine sabitlenmiş bir platformdur. Gelen dalga ile içi hava dolu hareketli şamandıra aşağı-yukarı hareket eder ve dalga enerjisini hareket enerjisine çevirir. Hareket enerjisi ise lineer senkron jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.



Şekil 3.30 ADS sisteminin şematik görünümü

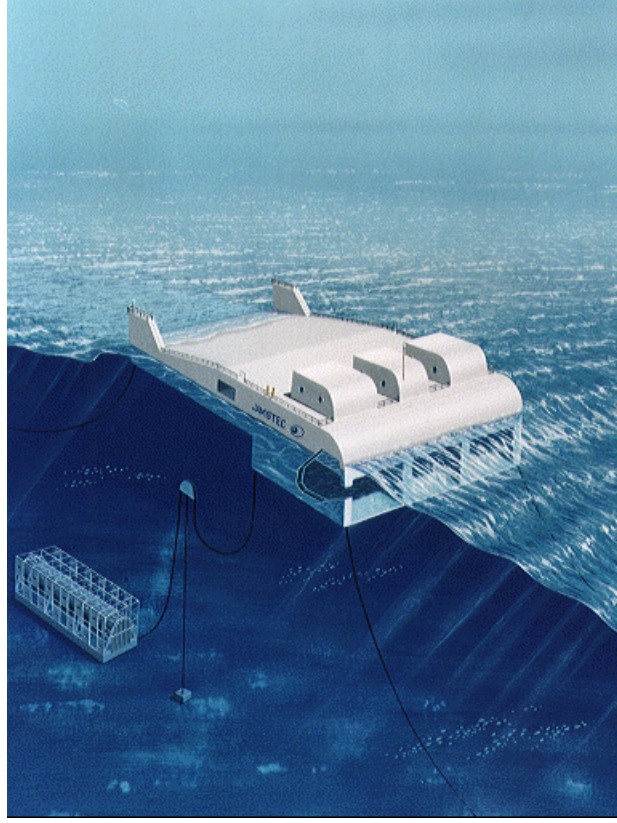


Şekil 3.31 ADS sistemi

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).

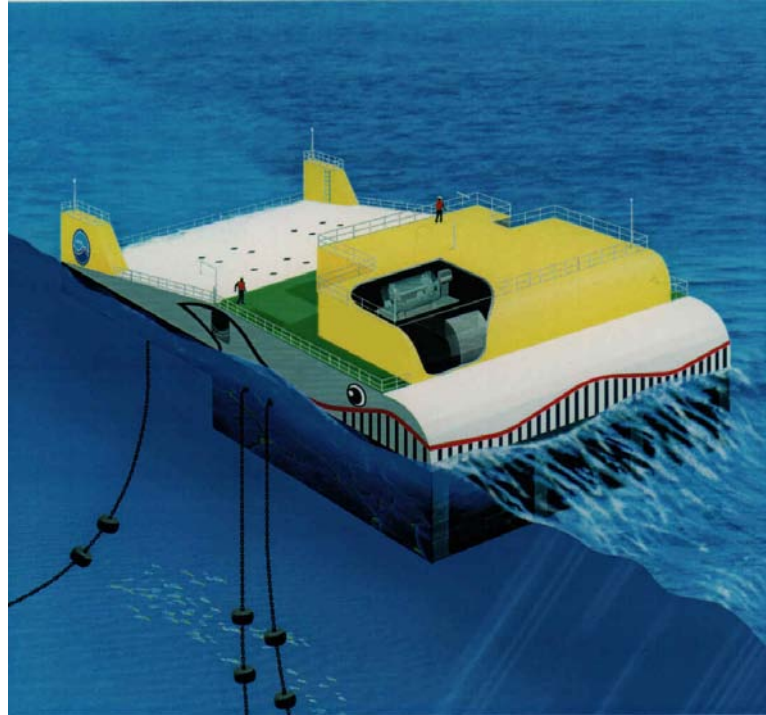
3.3.6 Büyük Balina

Mighty Whale “Büyük Balina” dalga enerjisi dönüşüm sistemi, yüzen SSS sisteminin bir uyarlamasıdır. Bu sistemde enerji dönüşümü, dalga hareketiyle gelen suyun sistemin önünde bulunan 3 adet hava sütunundan içeri girmesiyle sağlanır. Sütun içerisindeki su yüksekliği yükselip-alçalarak sütun içerisinde pnömatik basınç oluşturur ve türbine hava akışı sağlar. Türbine bağlanacak bir jeneratör ile de elektrik üretimi gerçekleştirilir. Sistem, maksimum 110 kW enerji üretebilmektedir. (JAMSTEC, 1998).



Şekil 3.32 Büyük Balina

Yapılan prototip, 50 m uzunluğunda, 30 m genişliğinde ve 12 m boyundadır.



Şekil 3.33 Büyük Balina prototipi



Şekil 3.34 Büyük Balina sisteminin şematik gösterimi

3.3.7 PowerBuoy

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 3.35 PowerBuoy

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 3.36 PowerBuoy dizisi

4. MALİYET ve EKONOMİK ANALİZ

Dalga enerjisinin diğer geleneksel enerji kaynaklarına göre en büyük kusuru maliyetidir. Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerindeki teknolojik gelişme ve büyük ölçekte üretimden sağlanacak avantajlar, maliyetlerdeki farklılıkları gelecekte dengeleyecektir.

Dalga santrallerinin geliştirilmesinde birçok faktör maliyetleri etkilemektedir. Maliyetler; sistemin kurulacağı bölgeye, uygulanacak olan dönüşüm yöntemine, kullanılacak sistemin teknolojisine ve yapılan dinamik dalga analizlerine göre farklılıklar göstermektedir.

Dalga santralleriyle ilgili maliyetleri etkileyen birkaç faktörü aşağıda sıralayacak olursak;

- Santralin kurulacağı yer ve kurulum için izin alınması
- Kurulum
- İşletme ve bakım
- Amortisman programı
- Proje ömrü
- Ortalama yıllık enerji üretimi ve satışı

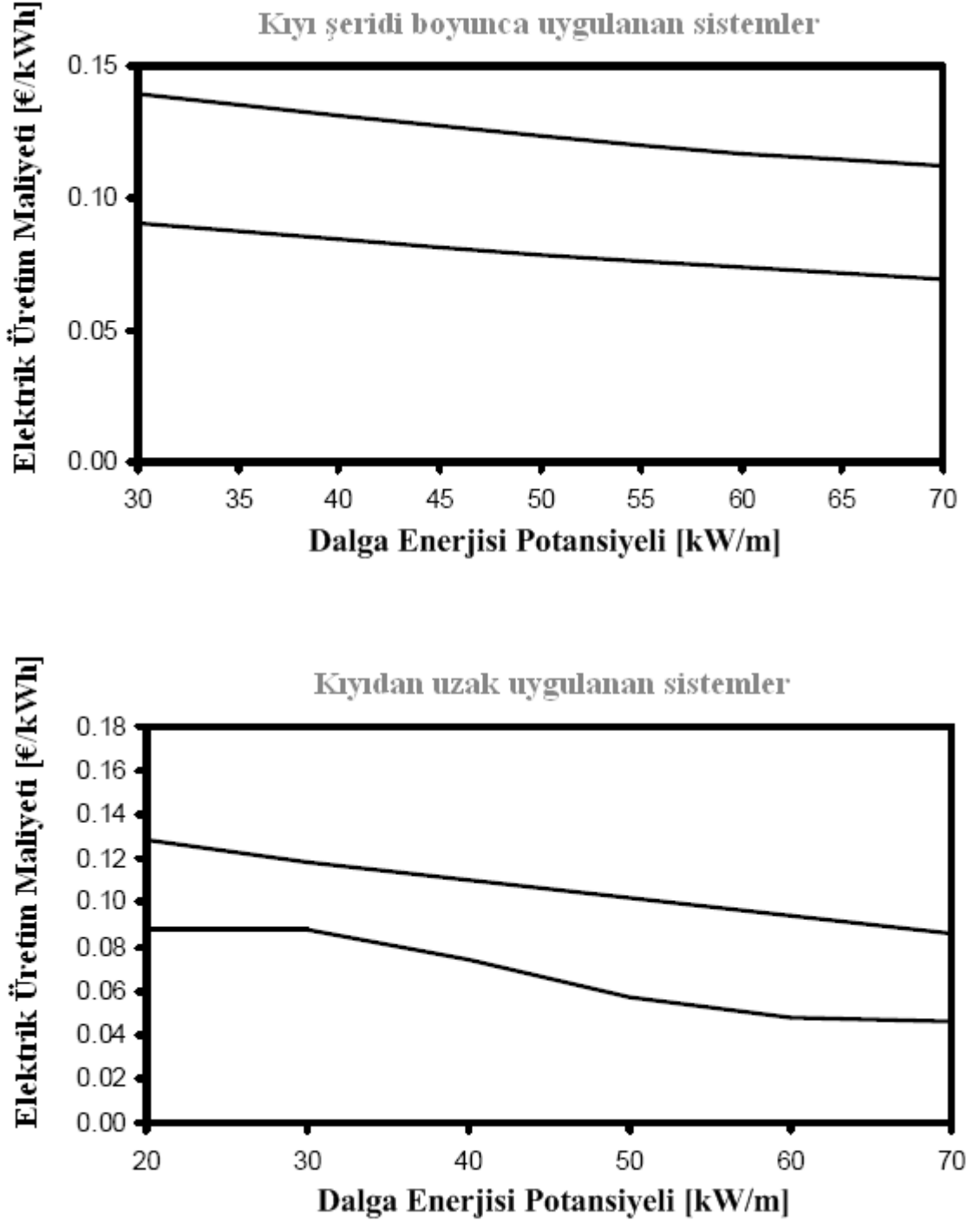
maliyetleri etkileyen en önemli faktörlerdendir.

Eğer yıllık enerji satışı, tahmini proje ömrü boyunca maliyetleri karşılayacak seviyedeysen, uygulanacak olan proje başarılı olacaktır.

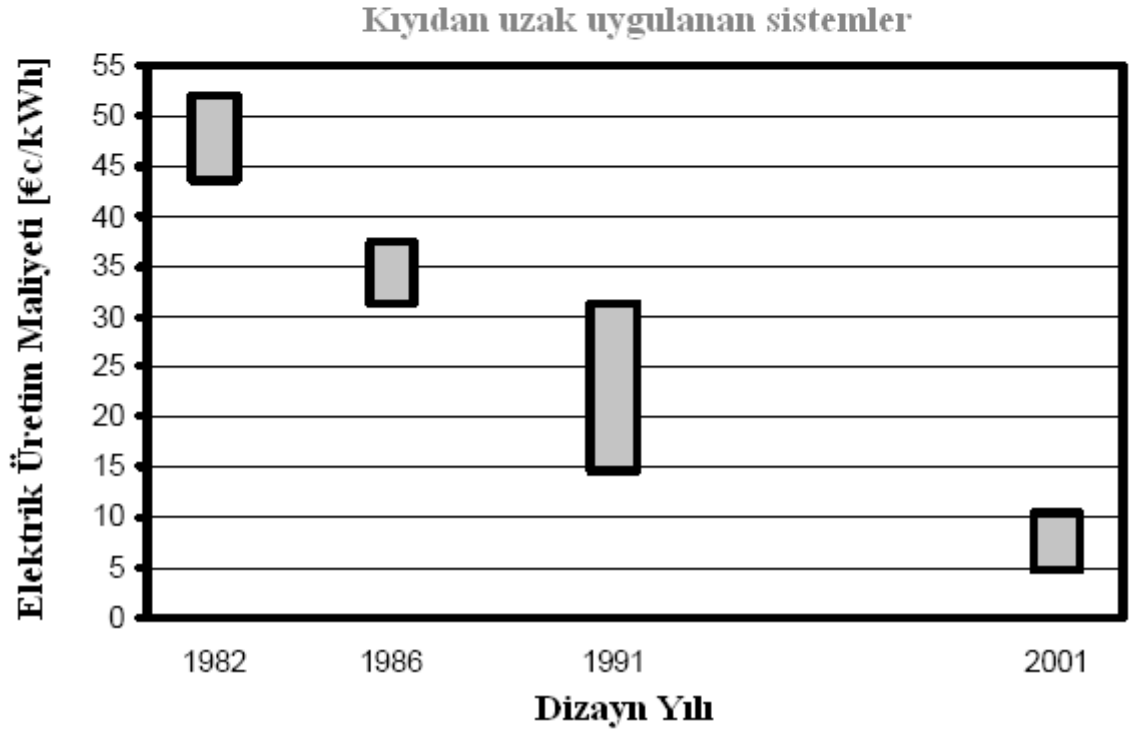
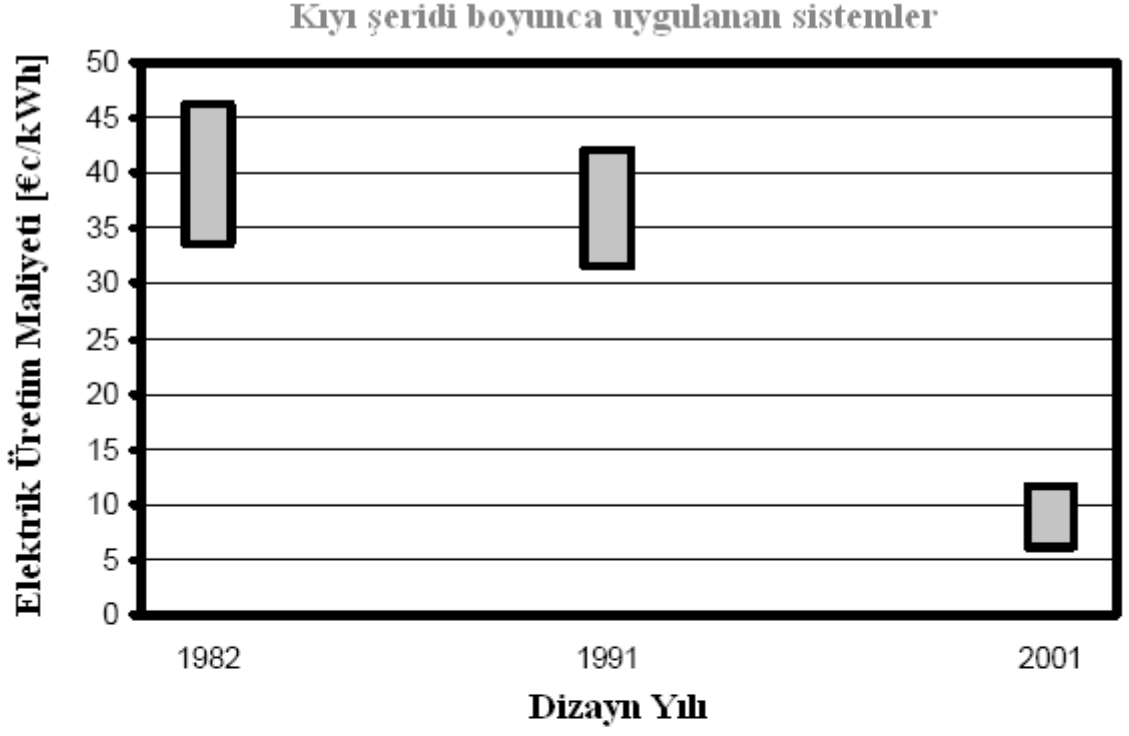
Artan petrol fiyatları ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını popüler hale getirmekte ve bu kaynaklara olan talepleri arttırmaktadır.

Dalga enerjisi firmaları, kurulum yaptıkları sistemlerle ilgili farklı fiyatlar açıklamaktadırlar. Bu farklılıklar, sistemleri oluşturan bileşenlerin maliyetlerinin değişiklik göstermesi ve farklı kurulum metotlarından kaynaklanmaktadır.

Aşağıdaki şekillerde kıyı şeridi boyunca ve kıydan uzak uygulanan dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin, elektrik üretim maliyetlerinde gerçekleşen değişiklikleri karşılaştırılmıştır (WaveNet, 2003).



Şekil 4.1 Dalga Enerjisi Potansiyeli - Elektrik Üretim Maliyeti değişim grafiği
(WaveNet, 2003)



Şekil 4.2 Dizayn Yılı - Elektrik Üretim Maliyeti değişim grafiği
(WaveNet, 2003)

4.1 Uygulanabilirlik ve Maliyet Analizi (Kalkan Örneği)

Türkiye’deki kullanılabilir dalga potansiyeli ile verimli bir dalga enerji sisteminin kurulup kurulamayacağı hakkında karar vermek ve denizlerimizden enerji üretmek için faydalı olabilecek teknolojiyi ortaya çıkarmak amacıyla, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı tarafından “Dalga Enerji Santrali Proje Analizi” çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada; Kalkan, Akdeniz için alınan belirgin dalga yükseklikleri, ortalama ve en yüksek dalga periyotları değerleri bir tabloda toplanarak “Deniz Durumu Dağılım Diyagramı” oluşturulmuş ve Wave Dragon’un Kalkan’a uygulanabilirliği incelenmiştir (Sağlam ve Uyar, 2004).

| Dalga Yük. (m) | Dalga Per. (s) | 2 | 2.2 | 2.5 | 2.7 | 3 | 3.6 | 4 | 4.4 | 4.8 | 5.3 | 6 | 6.4 | >6,4 |
|----------------|----------------|---|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|------|
| 0.25 | | 0 | 0 | 0 | 4 | 28 | 70 | 127 | 65 | 39 | 42 | 0 | 10 | 0 |
| 0.5 | | 0 | 17 | 17 | 25 | 88 | 227 | 470 | 467 | 312 | 313 | 0 | 175 | 0 |
| 0.75 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 290 | 670 | 617 | 496 | 515 | 0 | 286 | 0 |
| 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 287 | 672 | 688 | 548 | 0 | 447 | 0 |
| 1.25 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 222 | 711 | 711 | 0 | 357 | 0 |
| 1.5 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23 | 181 | 577 | 0 | 345 | 0 |
| 1.75 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 215 | 0 | 349 | 0 |
| 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 38 | 0 | 353 | 0 |
| 2.25 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 297 | 0 |
| 2.5 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147 | 0 |
| 2.75 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| >3 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Şekil 4.3 Deniz Durumu Dağılım Diyagramı, Kalkan

Bir denizdeki yaklaşık anlık güç 0,49 sabitinin belirgin dalga yüksekliğinin karesi (H_s^2) ve periyodu (T_e) ile çarpımı ile tahmin edilebilir.

$$P(kw/m) = 0,49H_s^2T_e$$

En iyi dalga gücü kaynaklarından olan Kalkan açıkları için yapılan tahminler ve istatistiksel analizlerle toplanan bilgiler dalga gücü yoğunluğunun 6,6 kW/m – 7,6 kW/m arasında olduğunu göstermektedir. Dalga yükseklikleri 1,21 metreye varabilmekte ve dalga periyotları 6,09 saniyeye ulaşmaktadır (Şekil 4.4). Bu bilgiler yılın büyük bir çoğunluğu için geçerlidir.

| Kalkan | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------|
| Ortalama Dalga Yük. (m) | Ortalama Dalga Periyodu (s) | Ortalama Dalga Yönü (Derece) | En Yüksek Dalga Periyodu (s) | Ortalama Güç (kW/m) | En Yüksek Güç (kW/m) |
| 1,21 | 5,2 | 0,90 | 6,09 | 6,6 | 7,63 |

Şekil 4.4 Kalkan açıkları için yapılan tahminler

10m'lik bir yükseklikten su bırakıldığında en yüksek verim alınmaktadır (Şekil 4.5).

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Proje Türü | Dalga Enerjisi |
| Proje Mevki | Kalkan, Antalya |
| Enlem | 36,00 Kuzey |
| Boylam | 29,20 Doğu |
| Şebekeye Uzaklık | 27011 (m) |
| Derinlik | 2167 (m) |
| Verimli Akış | 7,37 (m ³ / s) |
| Tepe Yüğü | Ana Şebeke (kW) |
| Enerji Talebi | Ana Şebeke (MWh) |

Şekil 4.5 Sistemin kurulduğu yer bilgileri

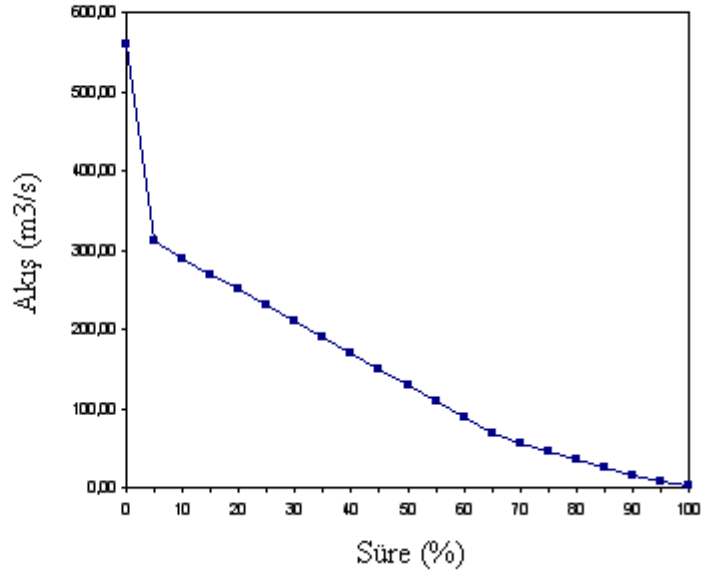
En büyük dalgaların uzunluğu 8 metreye vardığı halde bu tür dalgaların yıl boyunca oluş sıklıkları tatmin edici değildir. Hesaplanan güç bilgileri ve karşılaştırmalı istatistiksel dalga periyotları ile orantılı olarak akış süreci 21 ayrı değer olarak belirtilmiştir. Her bir akış süreci %5'lik bir artışı temsil etmektedir (Şekil 4.6).

Model, Kalkan verilerinden aktarılan akış süreci yüzdelerinden, elektrik üretimi için en verimli, yıl boyunca sürekli olarak kullanılabilir olan akışı (firm flow) hesaplamaktadır. Verimli akış genellikle yılın en az %95'inde ulaşılabilen akış olarak tanımlanır. Verimli akış bu çalışmada $7,37 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak öngörülmüştür (Şekil 4.6).

Akış - Akış Süreci Eğrisi Verileri

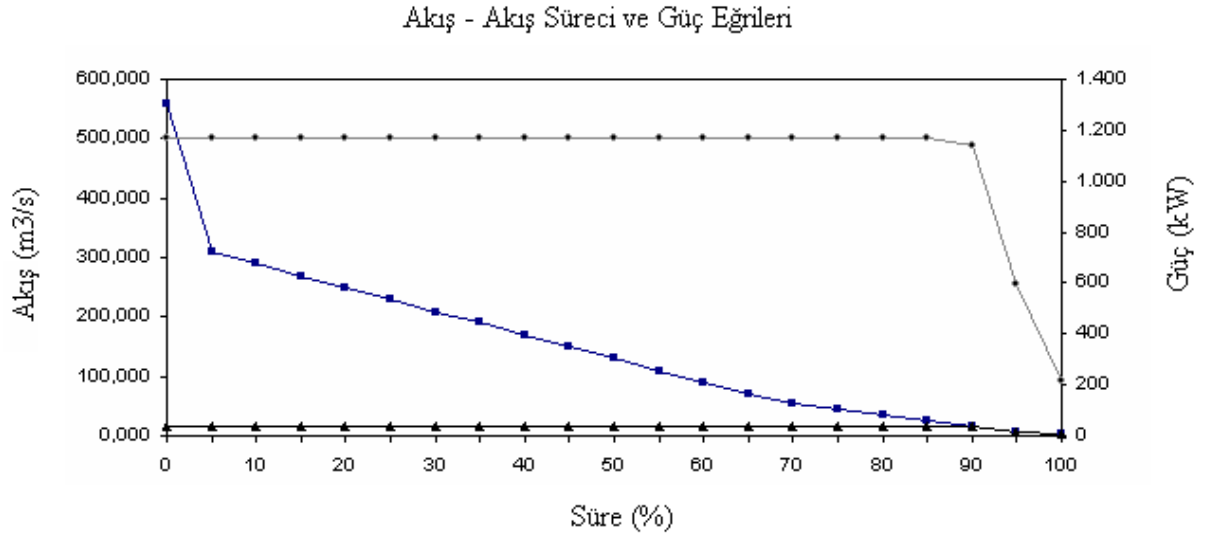
| Süre (%) | Akış (m^3/s) |
|----------|--------------------------------|
| 0% | 559,88 |
| 5% | 310,17 |
| 10% | 289,66 |
| 15% | 267,50 |
| 20% | 249,70 |
| 25% | 230,12 |
| 30% | 208,99 |
| 35% | 189,95 |
| 40% | 169,53 |
| 45% | 148,96 |
| 50% | 129,78 |
| 55% | 109,32 |
| 60% | 89,55 |
| 65% | 69,31 |
| 70% | 54,75 |
| 75% | 44,74 |
| 80% | 34,70 |
| 85% | 24,56 |
| 90% | 14,54 |
| 95% | 7,37 |
| 100% | 2,63 |

Akış - Akış Süreci Eğrisi



Şekil 4.6 Akış Analizi

1,21 m ortalama dalga yüksekliğiyle, ortalama 6,09 saniyede bir yeniden dolan 1250 tonluk bir rezervuarla sadece bir sistemin dalgasından yılda 9,368 GWh güç elde edilebileceği öngörülmektedir (Şekil 4.7).



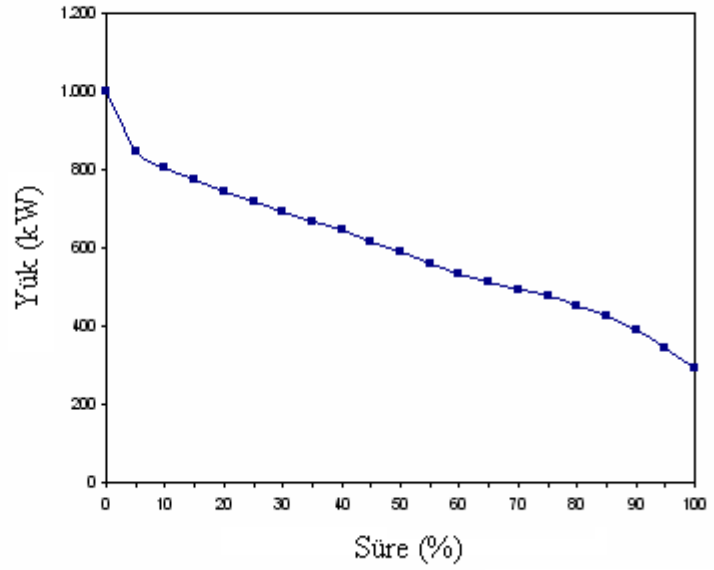
Şekil 4.7 Yıllık Enerji Üretimi

Bu çalışmada günlük yük talebinin yılın diğer tüm günleri ile aynı olduğu ve yük-zaman eğrisi ile gösterildiği varsayılmıştır. En yüksek yük 1000 kW alınmış, enerji talebi yıllık 5225 MWh, günlük 14,3 MWh olarak öngörülmüştür (Şekil 4.8) (Sağlam ve Uyar, 2004).

Yük - Süreç Eğrisi Verileri

| Süre (%) | Yük (kW) |
|----------|----------|
| 0% | 1.000 |
| 5% | 847 |
| 10% | 804 |
| 15% | 772 |
| 20% | 744 |
| 25% | 717 |
| 30% | 690 |
| 35% | 667 |
| 40% | 644 |
| 45% | 617 |
| 50% | 590 |
| 55% | 560 |
| 60% | 534 |
| 65% | 512 |
| 70% | 494 |
| 75% | 477 |
| 80% | 454 |
| 85% | 426 |
| 90% | 388 |
| 95% | 346 |
| 100% | 292 |

Yük - Süreç Eğrisi



Şekil 4.8 Yük Özellikleri

Maliyet Analizi

Başlangıç Maliyeti : 4 426 735 \$

Fizibilite Çalışması : 234 500 \$

Geliştirme : 313 000 \$

Mühendislik : 277 500 \$

Muhtelif : 1 052 119 \$

Periyodik Masraflar : 1 500 000 \$

Elektrik Üretim Maliyeti : 0,0679 \$/kWh

Yatırım Maliyetini Karşılama : 8,1 yıl

Dağıtılan Yenilenebilir Enerji : 9,368 MWh/yıl

Ömür : 35 yıl

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Teknolojisinin yeni olması ve rüzgar enerjisi gibi belli bir seviyeye gelmiş teknolojilerle rekabet edememesi gibi olumsuzluklarına rağmen dalga enerjisine karşı hızla artan bir ilgi vardır. Dalga enerjisi ile elektrik üretiminin gerçekleştirilmesi için tasarlanan düzenekler, sistemin kurulacağı yer ve bölgenin dalga karakteristiklerine göre birçok çeşitlilik göstermektedir. Tasarlanan sistemlerin önemli bir bölümü, gerek yüksek maliyetleri gerekse de maruz kalacakları kuvvetler ve işletim koşullarının elverişsiz olması nedeniyle proje boyutunda kalmıştır. Diğer bir bölümünde ise deneylerden sonra uygulanabilirliklerinin söz konusu olamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada verimleri yüksek ve gerçekleştirilebilir sistemlere tümüyle değinilmiştir, ayrıca avantajlı yönleri vurgulanmıştır.

Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken hususlar şöyle özetlenebilir;

- Dalga enerjisinden yararlanmak için yapılacak tasarımlarda; dalgaların hız, yön ve periyot düzensizlikleri dikkate alınmalıdır.
- Yapılacak tasarımlar, olağandışı koşullara karşı dayanıklı olmalıdır. Nadiren de olsa olağan dalgaların yaklaşık on katı genlikli dalgalar sistemin kurulduğu bölgede oluşabilir. Bu durumda, enerji üreten düzeneğin olağan enerji girişinin çok üzerinde bir girdiyle baş edebilmesi gerekir.
- Kıyıya yakın uygulamalar için tasarlanan sistemler hem enerji dönüştürücüsü hem de dalgakıran olarak limanların korunmasında kullanılabilir.
- Küçük ölçekli dönüştürücüler kıyısal yapıların korunmasına uygun olmalı, sahil şeridinin yerel elektrik ihtiyacının bir kısmının karşılanmasına uygun planlanıp inşa edilmelidir.
- Derin sulardaki dalgalardan enerji elde etmede kullanılacak düzeneklerin, bu dalgaların bulunduğu yerlerde deniz dibine sabitlenerek yerlerinin değişmez kılınması önemlidir.
- Kıyıda uzak uygulamalarda elde edilen enerjinin kıyılara taşınması ve bunun için seçilecek yöntemler önem taşımaktadır.
- Deniz üzerine konulacak aygıt ve düzeneklerin deniz trafiğini aksatmayacak büyüklük ve yapıda olmaları gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Dünyanın enerji ihtiyacı 2020’de yüzde 40, 2030’da ise yüzde 60 daha fazla olacaktır. 2020’de Türkiye’nin enerji ihtiyacının bugüne göre yüzde 160 artacağı öngörülmektedir. Dünya enerji ihtiyacındaki artışın dört katına denk gelen bu talebin karşılanması için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve kullanılması gerekmektedir.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, ilk yatırımından ve bakım giderlerinden başka gideri olmayan, birincil enerjiye bedel ödenmeyen, doğaya her hangi bir kirletici bırakmayan, ucuz, temiz, çevreci ve çok büyük bir enerji kaynağı olan dalga enerjisinin değerlendirilmesi için çalışmalar ve yatırımlar yapılmalıdır. Türkiye’de dalga enerjisi potansiyeli bulunan, enerjiyi kullanım alanına aktarımın kolay olabileceği bölgeler tespit edilmeli ve bu bölgelerdeki potansiyel enerji değerleri hesaplanarak, uygun olan yerler en kısa zamanda değerlendirilmelidir. Bu çerçevede sıklıkla görülen fırtına ve rüzgarların etkisiyle ortaya çıkan deniz dalgalarının enerji kapasiteleri incelenmeli, konu ile ilgili teorik ve pratik çalışmalar yapılmalıdır. Türkiye kıyılarının dalga enerji haritalarının çıkarılabilmesi için uygun yerlere dalga ölçüm cihazları yerleştirilmeli ve uzun dönem dalga kayıtları tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altın, V., (2004), "Enerji Sorunu ve Türkiye", Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı:33.
- Bedard R., Hagerman G., Presevic M., Siddiqui O., Thresher R, Ram B., (2005), "Offshore Wave Power Feasibility Demonstration Project Final Summary Report", EPRI Report E2I EPRI Global WP 009 – US Rev1, January 14, 2005.
- Bekdemir, Ş., (2004), Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul.
- Boyle, G., (2004), Renewable Energy by Godfrey Boyle, Oxford University Press, 2004.
- BP, (2008), Statistical Review of World Energy, June 2008.
- Evans, D.V., (1982), Wave-power Absorption by Systems of Oscillating Surface Pressure Distributions, Vol.114.
- 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, 35: 567-576.
- Herbert, G.M.J., Iniyar, S., Sreevalsan, E. ve Rajapandian, S., (2007), A Review of Wind Energy Technologies, Renew. And Sust. Ener. Rev., 11(6): 1117-1145.
- McCormick, M., (1981), Ocean Wave Energy Conversion, John Wiley & Sons, New York.
- McCormick, M., (1998), On the Use of Wind-Wave Spectral Formulas to Estimate Wave Energy Resources, J. Of Energy Resour. Tech., 120: 314-317.
- Özdamar, A., (2000), "Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi Üzerine Bir Araştırma, Çesme Örneği", Su Ürünleri Dergisi (2000), (17).
- Pehivan, Y., (2003), "Bor, Toryum, Neptünyum Gerçeği ve Türkiye'deki Enerji Sorununa Bir Bakış" İTÜ., Fen Edebiyat Fakültesi.
- Pelc, R., Fujita, R.M., (2002), Renewable Energy from the Ocean.
- Rodrigues, L., (2005), Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production, Nova University of Lisbon.
- Sağlam, M. ve Uyar, T.S., (2004), Türk Suları İçin Dalga Enerjisi Örnek Proje Fizibilite Çalışması, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Sorensen, B., (2000), Renewable Energy, Second Edition, Academic Press. New York.

Şen, Z., (2003), Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Tanwar, N., (2007), Clean Development Mechanism and Off-grid Small-scale Hydropower projects: Evaluation of Additionality, Energy Policy, 35: 714-721.

TER, (2006), Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Enerji Raporu, Ekim 2006.

Thorpe, T.W., (1999), "A Brief Review of Wave Energy", ETSU Rapor No R-120.

Thorpe, T.W., (2001), Current Status and Developments in Wave Energy, Proc. of Conference on Marine Renewable Energies,103-110.

UEA, (2005), Uluslararası Enerji Ajansı Raporu, 2005.

WaveNet, (2003), Results from the work of the European Thematic Network on Wave Energy, European Community, ERK5-CT-1999-20001 2000 – 2003, March 2003.

İNTERNET KAYNAKLARI

| | |
|------------------------|---|
| AWS Ocean Energy | http://www.awsocan.com |
| CETO | http://www.ceto.com.au |
| EÜAŞ | http://www.euas.gov.tr |
| IEA | http://www.iea-oceans.org |
| JAMSTEC | http://www.jamstec.go.jp |
| Oceanlinx | http://www.oceanlinx.com |
| OPT | http://www.oceanpowertechnologies.com |
| OWWE Ltd. | http://www.owwe.net |
| PelamisWave (PWP) | http://www.pelamiswave.com |
| RISE | http://www.rise.org.au |
| Wave Dragon (WD) | http://www.wavedragon.net |
| Wavegen | http://www.wavegen.co.uk |
| WaveRoller (AW-Energy) | http://www.aw-energy.com |

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 09.12.1981

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1998 Ataköy Cumhuriyet Lisesi

Lisans 1999-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi / Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurumlar

07/2006-10/2006 Aksa Enerji Üretim A.Ş.

02/2007-04/2008 Mermerler Şirketler Grubu / Mermerler Otomotiv