

DALGA ENERJİSİ

Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu

Ümran TEZCAN ÜN

Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir
e-mail:utezcan@anadolu.edu.tr; Tel:0 222 3350580/6400

ÖZET

Bu çalışmada dalga enerjisi cihazları tanıtılarak, bu teknolojilerden elde edilen elektriğin üretim maliyetleri 1982-2001 yılları için karşılaştırılmıştır. Ayrıca, enerji dönüşüm teknolojilerinin çevresel etkileri, avantajları ve dalga enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumu verilmiştir.

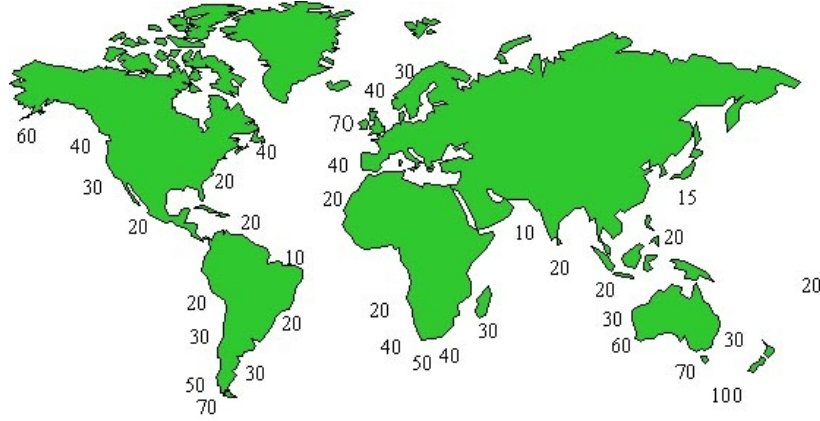
1. GİRİŞ

Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güç dalga enerjisidir. Dalga enerjisi en çok önerilen yenilenebilir teknolojilerden biridir. Sadece büyük bir enerji kaynağı değildir, aynı zamanda bir çok yenilenebilir enerji kaynaklarından daha güvenilirdir. Güneş ve rüzgar zamanın %20-30'unda temin edilebilirken dalga gücü zamanın %90'ında elde edilebilir durumdadır. Temiz, ucuz ve doğal enerji kaynağı olan, doğal dengeyi koruyan, solunabilir temiz havayı sağlayan, ülke ekonomisine destek olan dalga enerjisi üç yanı denizlerle çevrili ülkemizde yararlanılması gereken yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [1].

Dalganın gücü genliğinin karesi ve hareket periyodu ile orantılıdır. Uzun periyotlu (~7-10s), büyük genlikli (~2m) dalgaların metre olarak genişliğinin başına 40-50 kW enerji oluşur. Diğer yenilenebilir kaynaklar gibi dalga enerjisi de dünyada düzenli dağılıma sahip değildir. Dünyada yüksek dalga gücüne sahip birkaç bölge bulunmaktadır. Her iki yarıkürede ~30° ve ~60° enlemler arasında dalga hareketi batı rüzgarlarının hakimiyeti ile yüksektir. Şekil 1'de dalga gücünün dünyadaki dağılımı görülmektedir. Avrupa Ülkelerinin Akdeniz sahillerinde yıllık dalga gücü 4 ile 11 kW/m arasında değişmekte ve en yüksek değerler Ege Denizinin güney batı bölgesinde görülmektedir. Avrupa'nın toplam dalga enerji kaynağı 320 GW iken Avrupa'nın Akdeniz sahilleri boyunca derin su kaynağı yıllık 30 GW mertebesindedir [2].

2. DALGA ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Oluşan dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana unsurlarıdır. Her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesi, dalga enerjisinin önemli avantajlarından biridir. Bu nedenle dünyada dalga enerjisi elde etmek için çalışmalar hızla artmıştır.



Şekil 1: Dalga gücü seviyesinin dünyada dağılımı (kW/m tepe yüksekliği)[2,3].

2.1. Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları

Bu tür uygulamalarda enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşaatı diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca, derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç yoktur. Ancak, 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.

Salımlı Su Kolonu (OWC: Oscillating Water Column): Bu yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur yapılardır. Bu sistemlerde su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu vardır. Dalgaların sisteme çarpması, su sütununun yükselip alçalmasına dolayısıyla hava sütununun sıkıştırılması veya basıncının düşürülmesine neden olur. Sıkıştırılmış havanın, elektrik jeneratörünü çalıştıran Wells türbinine doğru hareketi sağlanır. Bu yolla sistemden enerji elde edilir, bu enerji de elektrik üretiminde kullanılır. Şekil 2’de bu tür sistemlere ait bir örnek gösterilmektedir [3,4,5,6,7]. Bu sistemlerin dünya genelinde birkaç çeşidi geliştirilmiştir. Bunlar; Euopen Pilot Tesisi [2,4,8,9], Wavegen Limpet [2,4,6,8,9], Energetech OWC [4,8,9], Srilanka OWC [9]’dir.

Daralan Kanal Sistemi (TAPCHAN: Taperated Channel Device): TAPCHAN sistemi geleneksel hidroelektrik enerji üretim sisteminin bir adaptasyonudur. Bu sistemler su seviyesinin 3-5 m üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır (Şekil 3). Kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Ancak TAPCHAN sistemleri bütün kıyı kesimleri için uygun değildir [4,5,7,8].

PENDULAR: Pendular, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir (Şekil 4). Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketiyle ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratörün ve hidrolik pompanın çalışması için kullanılır [4,5,8].

2.2. Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar

Kıyıya yakın uygulamalar, 10-25 m su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerde OWC'nin değişik tasarımları uygulanmıştır.

OSPNEY: Wavegen tarafından geliştirilen OSPNEY'in gücü (Şekil 5). 1,5 MW'lık rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmıştır ve özellikle inşa maliyetinin düşürülmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir [2,4,5,6,8].

WOSP 3500: WOSP (Rüzgar ve Okyanus Salınım Enerjisi) kıyıya yakın dalga ve rüzgar enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir. Eklenen 1,5 MW'lık rüzgar üretim kapasitesi, tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltir [6].

2.3. Kıyıdan Uzak (Offshore) Uygulamalar

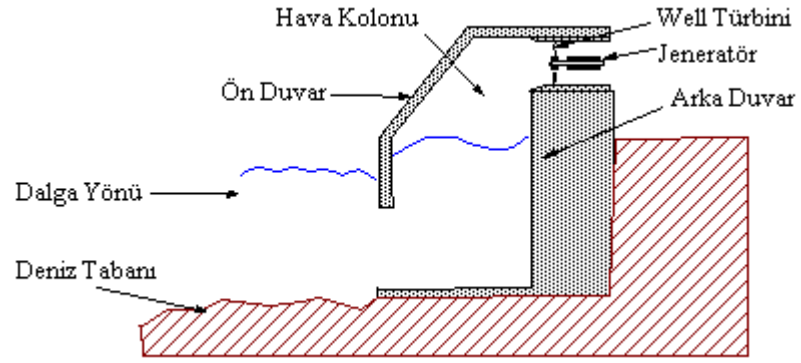
40 m'den daha derin sularda kıyıdan uzak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde uzun elektrik kablolarına gereksinim vardır. Geliştirilen çok çeşitli sistemlerden bir kaçısı aşağıda anlatılmaktadır. Tanıtılan bu cihazlardan başka kıyıdan uzak uygulanan bir çok sistem daha vardır. Bu sistemler: Salter Duck [2,8], Floating Wave Power Vessel [2,5,8], Mighty Whale [8], PS Frog [10,11], Wave Dragon [2,8,12,13], Swedish Housepump [5], DWP Float [5], Point Absorber Wave Energy Converter [2,8], SDE [8]'den oluşmaktadır.

McCabe Dalga Pompası: Bu cihaz, birbirine menteşeli, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirlerine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4 m genişliğinde) duba içermektedir (Şekil 6). Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasında monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. Örnek bir cihaz 40 m uzunluğunda Kilbaha, County Clare ve İrlanda'da kurulmuştur [2,3,4,5,9].

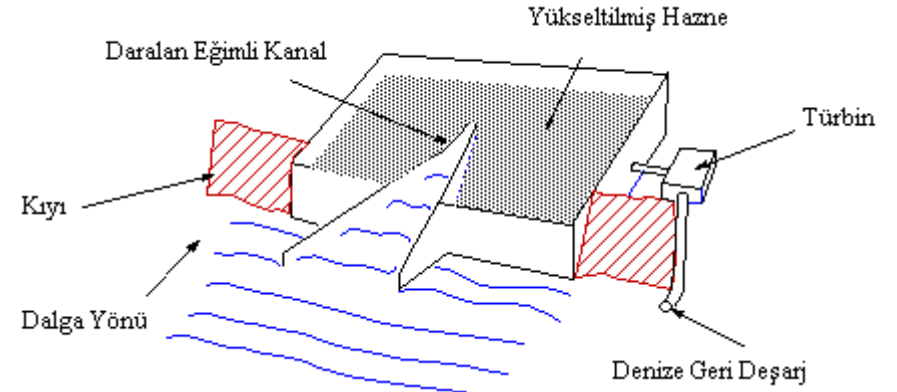
OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC): Amerika'daki Okyanus Güç Teknolojisi (OPT) tarafından geliştirilen Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC), 2-5 m çaplı üstü kapalı tabanı denize açık silindirik bir yapı içerir (Şekil 7). Yapının tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasında hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Yapının yüzücüye göre hareketinden elektrik üretilir. Bu sistem Doğu Atlantik'de büyük ölçekte test edilmiştir ve ilk ticari yapılar Avustralya ve Pasifik'de kurulmak üzeredir [4,8].

PELAMIS: Bu yapı kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemli bir yapıdır (Şekil 8). Dalga ile birleşim noktaları hareket eder ve bu hareketle hidrolik pompalar elektrik jeneratörlerini çalıştırır. Günümüzde, 375 kW gücünde, 130 m uzunluğunda ve 3,5 m çapında bir sistemin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir [3,4,8,9,14].

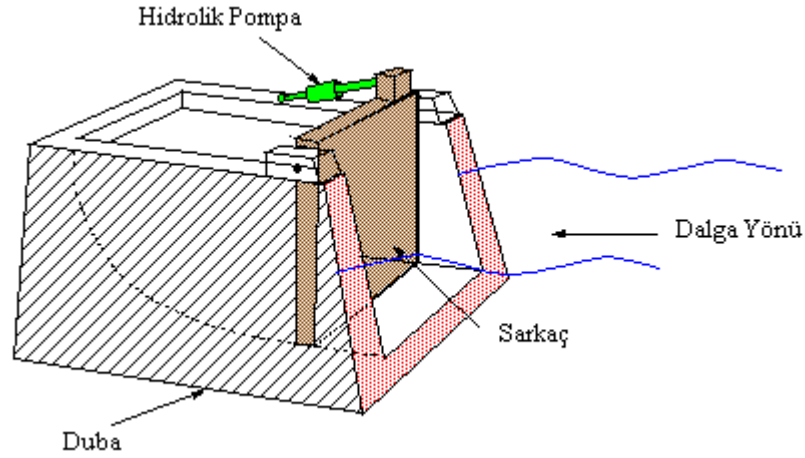
Archimedes Dalga Salınımı: Bu sistem 10-20 m çapında silindirik, içi hava dolu bir yüzücü içermektedir (Şekil 9). Sistemin üzerinden geçen dalga, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltir veya düşürür. Böylelikle yüzücünün zemine göre yükselip alçalma hareketi enerji üretimine neden olur [2,3,8,9,15].



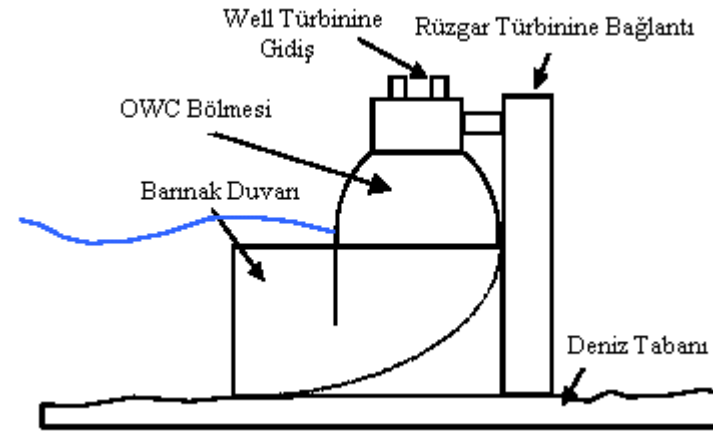
Şekil 2: OWC Sistemi [3,5]



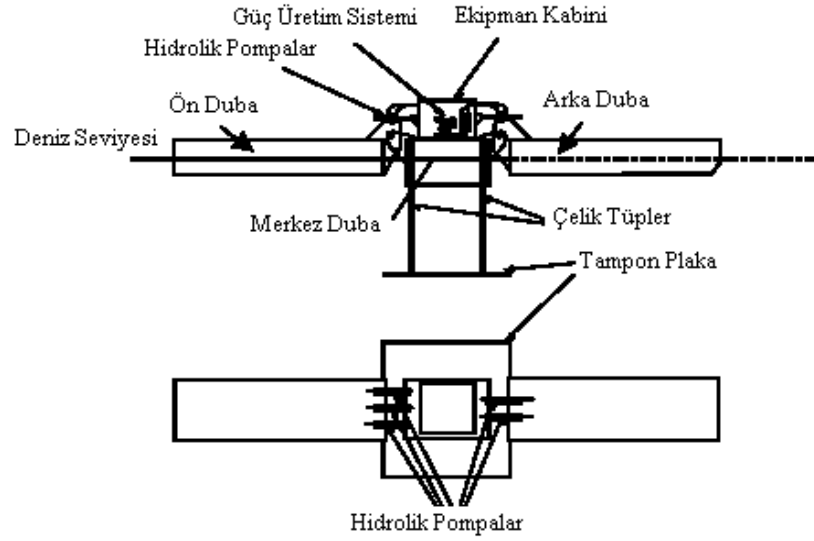
Şekil 3: TAPCHAN Sistemi [5]



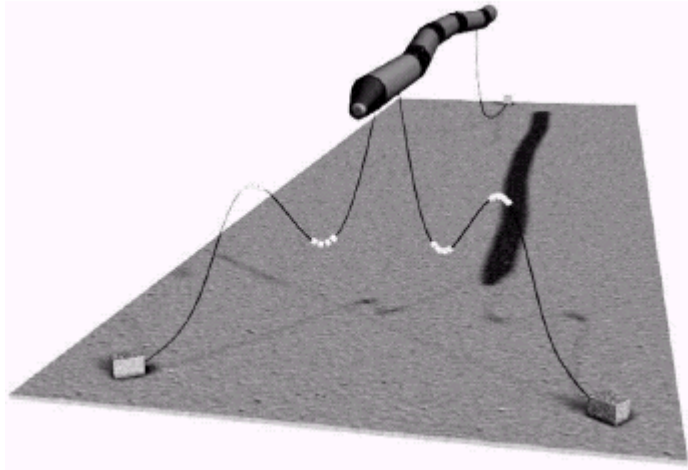
Şekil 4: PENDULAR Sistemi [4,5]



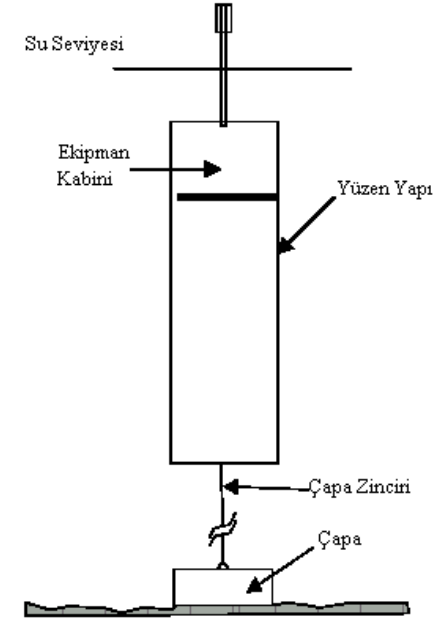
Şekil 5: OSPREY Sistemi [4]



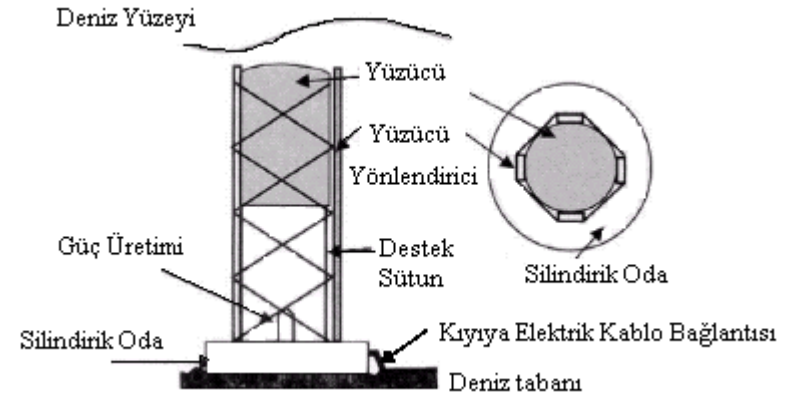
Şekil 6: McCabe Dalga Pompası [2,5,8,9].



Şekil 8: Pelamis Sistemi [4,8,9].



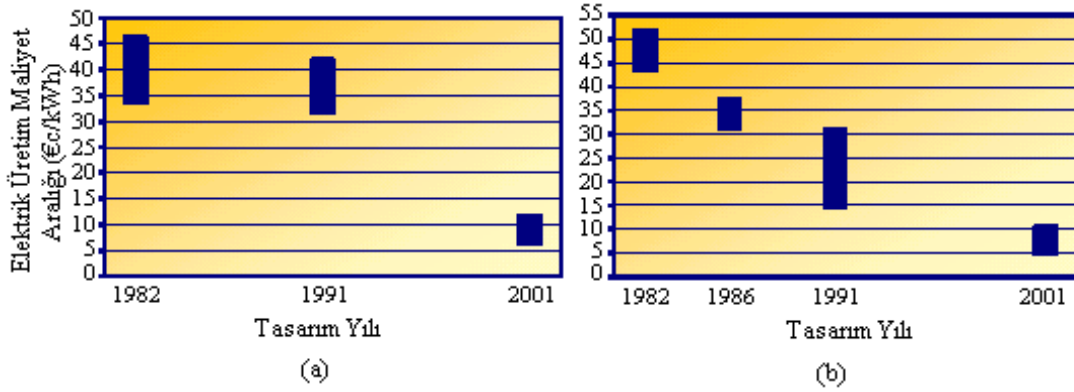
Şekil 7: OPT WEC Sistemi [4,8].



Şekil 9: Archimedes Dalga Salınım Sistemi [8,9].

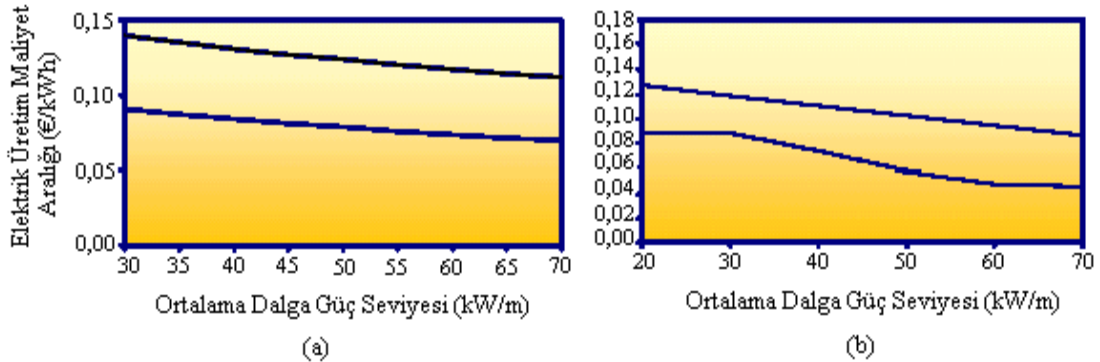
3. DALGA ENERJİSİNİN EKONOMİSİ

Dünya genelinde, elektrik üretiminde dalga enerjisi potansiyeli 2000 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Dünya elektrik tüketiminin %10'nuna karşılık gelen bu değer için yatırım maliyeti 820 milyar EURO'dur [2]. Dalga enerjisi ekonomisi henüz fosil yakıtlarla rekabet edebilecek durumda olmamasına rağmen, son birkaç yıl içinde maliyetler hızlı bir düşüş göstermiştir. Geçmiş 10 senede kıyı boyu, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak uygulamaların mali değişimleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Firmalar, tasarım esnasında 10 cent/kWh'den daha az, hatta 5 cent/kWh'e düşebilecek maliyetleri amaçlamaktadır. Bu maliyet, dalga enerjisi tesislerinin diğer geleneksel güç tesisleriyle rekabet edebilir duruma gelmesine olanak sağlamaktadır [1].



Şekil 10: (a) OWC ve (b) kıyıdan uzak uygulamaların geçmiş 10 sene boyunca mali değişimleri [16].

Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinden tahmini elektrik üretim maliyetleri Şekil 11'de kıyı boyu ve kıyıdan uzak bölgeler için dalga gücüne bağlı olarak verilmiştir. Dalga enerjisi sistemlerinin elektrik üretim maliyetleri son yirmi yılda önemli bir gelişme göstererek yaklaşık 0,08 EURO/kWh (%8'lik bir indirim oranında) gibi ortalama bir maliyete ulaşmıştır. Dalga enerjisinden elektrik üretimi Avrupa Birliği'ndeki ortalama elektrik maliyetine kıyasla (0,04 EUR/kWh) hala yüksektir, ancak teknolojideki gelişmelerle bu maliyetin düşürülebileceği tahmin edilmektedir. Bu düşüş geçmişte rüzgar, nükleer v.b teknolojilere uygulandığı gibi başlangıçta finans ve piyasa desteği ile hız kazanabilir.



Şekil 11: Dalga enerji sistemlerinin elektrik üretim maliyet aralıkları:(a) Kıyı boyu uygulamaları ve (b) Kıyıdan uzak uygulamalar için [16].

4. DALGA ENERJİSİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dalga enerjisi üretim sistemlerinin çevresel etkileri şu şekilde verilebilir:

- Bu sistemler hidrodinamik çevre üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle sedimentlerin akış yollarının değişmesine neden olabilirler. Dalga ve akımlardaki değişim yüzeye yakın yaşayan türleri doğrudan etkiler. Bu durum dikkatli yer seçimi gerektirmektedir [5].
- Özellikle kıyı şeridi ve kıyıya yakın uygulamalarda Wells türbinlerinden kaynaklanan gürültü kirliliği söz konusu olabilir. Bu yüzden yapılar ses geçirmez özellikte olmalıdır.
- Kıyıdan uzak uygulamalar denizcilik için tehlike oluşturabilirler. Ancak, uygun görsel ve radar uyarı sistemlerinin enerji sistemine yerleştirilmesi ile tehlike azaltılabilir.
- Kıyı şeridi ve kıyıya yakın uygulamalar estetiksel açıdan olumsuz etki yaratabilir. Ayrıca kıyıya ve şebekeye elektrik iletim hatları da birtakım çevresel ve estetiksel etkiler yaratabilir.
- Su yüzeyinin büyük bir kısmının dalga enerji sistemleri ile kaplanması deniz yaşamına zarar verirken, aynı zamanda atmosferle teması engellediği için daha büyük etkiler de yaratabilir [1].
- Dalga enerji tesisleri, dalgakıran gibi davrandığı için denizi durgunlaştırır. Bu bir çok limanda istenen etki olmasına rağmen denizin üst tabakasının karışımını yavaşlatması deniz yaşamını ve balıkçılığı ters yönde etkiler. Bu olay yüzeyin çok altında yaşayan balıkları doğrudan etkilemese de azalan karışımdan dolayı yüzeydeki üretim değişir ve otçul popülasyonun yiyecek temini azalır [1].

Bu olumsuz etkilerin yanı sıra dalga enerji sistemleri bir çok çevresel avantajlara sahiptir.

- Temiz ve sonsuz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Denize bıraktığı hiçbir fiziksel, kimyasal ve organik kirleticisi yoktur. Ancak sistemlerin inşası sırasında bir miktar emisyon açığa çıkmaktadır.
- Dalga enerji sistemleri durgun su oluştururlar ve böylece kano ve dalma gibi su sporları yapılabilir.
- Bir çok ülkede denizlerdeki canlıların saklanabileceği ve üreyebileceği yerler oluşturmak için ekonomik ömrü dolmuş gemiler batırılarak, barınaklar oluşturmaktadır. Dalga enerji sistemleri çeşitli deniz canlıları için yapay bir habitat oluşturur ve deniz içinde değişik türdeki canlı popülasyonlarının gelişmesini destekleyebilir.
- Ayrıca, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltacak yüksek bir potansiyele sahiptir ve aynı zamanda çevresel olarak daha zararsızdır.
- Deniz üzerinde kurulduğu için tarım alanlarının korunmasını sağlar, ormanların kesilmesini önleyerek ekolojik dengeye olumlu yönde katkı sağlar.

5. DALGA ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

Dalga enerjisi üzerine çalışmalar 1970'lerde petrol krizinin üzerine hız kazansa da birkaç başarısız denemeden sonra dalga enerjisi üzerine olan ilgi azalmıştır. Ancak teknolojinin ilerlemesi ile ilgi yeniden artmış ve bir çok yeni teknoloji geliştirilmiştir.

Dalga enerjisi üretim sistemleri üzerine 1000'in üzerinde patent alınmıştır ve bir çok ticari potansiyeli olan tesis de gösterime girmiştir [1].

Dünyada ilk ticari dalga enerji tesisi Limpet 500, 2000 yılında İskoçya'nın Islay adasında kurulmuştur ve Kasım 2000'in sonlarından beri de İngiltere'nin şebekesine güç sağlamaktadır. Limpet 500 0,5MW kapasiteli ve Wavegen tarafından tasarlanmış bir tesistir. Ayrıca İskoçya'nın Edinburgh Okyanus Güç Dağıtım Ltd.Şirketi Islay'da küçük(200 evin gücünü karşılayacak), kıyıdan uzak uygulanan dalga enerji sistemi inşa etmiştir. İnşaat 2002 yılında bitmiştir. Tesis yılda 2,5 milyon kWh elektrik üretecektir. Bu şirket ayrıca İskoçya'nın desteği ile toplam kapasitesi 700 MW olan 900 cihazı kurarak 2,5 milyon kWh/yıl'dan fazla üretim yapmayı planlamaktadır [1].

Bir çok ülkede kıyı boyunda OWC gösterim amaçlı yapılmıştır. Çeşitli yıllarda İskoçya'da (75kW), Hindistan'da (150kW), Japonya'da (Sakata Port'da 60kW, Sanze'de 40 kW, Kujukuri-Cho'da 30kW, Haramachi'de 130kW) ve Norveç'de (500kW) gösterim amaçlı OWC uygulanmıştır. Avusturalya'da Energetech OWC ve Sri Lanka OWC test amaçlı kullanılmaktadır [5].

Çeşitli ülkelerde dalga enerjisi programları yürütülmektedir. Özellikle Avrupa ülkelerinde bu programlar ile önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Bu programlar çerçevesinde Norveç'te OWC ve Tapchan 1980'lerde ticari olarak kurulmuştur. Portekiz'de kıyı boyu OWC uygulaması (500kW) Azores'in Pico adasında yapılmıştır. İsveç'te İsveç Housepump, İngiltere'de de OSPREY OWC geliştirilmiştir. Ayrıca Avustralya'da, Hindistan'da, Japonya'da ve Kore'de de dalga enerjisi programları yürütülmektedir.

Türkiye'de ise Marmara denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km'yi bulmasına rağmen dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri yoktur. Dalga cephesinin gücü, Akdeniz kıyıları için ortalama 13 kW/m olarak verilmektedir. Türkiye dışında Akdeniz'de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyu 8,4-15,5 kW/m arasında değiştiğini göstermiştir. İç denizlerde daha da düşebilmektedir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18,5 milyar kWh olarak kestirilmektedir. Ancak dalga enerjisinin kullanılması, Türkiye'nin gündemine henüz girmemiştir [17].

6. SONUÇ

Teknolojinin ilerlemesi ile dalga enerjisi üzerine çalışmalar hızla artmış, kıyı boyu, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan çok çeşitli dalga enerji sistemleri geliştirilmiştir. Enerji üretim sistemlerinin 1980'lerde 45-50 c/kWh olan elektrik üretim maliyeti 2001 yılında 5-10 c/kWh'a düşmüştür. Geleneksel sistemlere göre hala yüksek olan bu maliyetin teknolojik ilerlemelerle daha da düşebileceği tahmin edilmektedir. Fosil yakıtta olan bağımlılığı azaltacak, temiz, güvenilir ve sonsuz yenilenebilir enerji kaynağı olan dalga enerjisinin üretiminde yer seçimine önem verilerek ekosisteme olabilecek etkiler en aza indirilebilir. Dünyada çeşitli ülkelerde dalga enerji programları yürütülmektedir ve bu programların desteği ile geliştirilen dalga enerji sistemleri gösterim amaçlı inşa edilmiştir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde de ülke

ekonomisine destek olacak potansiyelin değerlendirilmesi için dalga rasatlarından başlanarak, teknik ve ekonomik incelemeler yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Pelc, R., Fujita, R.M., “Renewable Energy from the Ocean”, Marine Policy 26, pp.471-479, 2002.
2. “Wave Energy Utilization in Europa:Current Status and Perspectives” Produced by Centre for Renewable Energy Sources, <http://www.wave-energy.net/Library/WaveEnergyBrochure.pdf>, 2003.
3. Thorpe, T.W., “Current Status and Developments in Wave Energy”, Proc. Of Conference on Marine Renewable Energies, pp.103-110, 2001.
4. Thorpe, T.W., “An Overview of Wave Energy Technologies: Status, Performance and Costs”, Wave Power: Moving Towards Commercial Viability, Broadway Hpuse, Westminster, London, 1999.
5. “Wave Energy”, European Commission Web Sayfası, http://www.europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/wavint.html
6. Wavengen Web Sayfası, <http://www.wavengen.co.uk>
7. Wave Energy”, The Australian Greenhouse Office Web Sayfası, <http://www.greenhouse.gov.au/renewable/technologies/ocean/wave.html>
8. Clement, A., McCullen, P., Falcao, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström B.O., Sorensen, H.C., Thorpe, T., “ Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, pp.405-431, 2002.
9. Thorpe, T.W., “The Wave Energy Programme in the UK and the European Wave Energy Network”, Fourth European Wave Energy Conference, Denmark, 2000.
10. Bracewell, R., “FROG and PS FROG: A Study of Two Reactionless Ocean Wave Energy Converters”, PhD Thesis, Lancaster University, 228s., 1990.
11. French, M.J., Bracewell, R., “PS FROG: A Point-Absorber Wave Energy Converter Working in a Pitch/Surge Mode”, <http://www-edc.eng.cam.ac.uk/~rhb24/ieeopt87.pdf>
12. Soerensen, H.C., Hansen, R., Madsen; E.F., Panhauser, W., Mackie, G., Hansen, H.H., Frigaard, P., Hald, T., Knapp, W., Keller, J., Holmen, E., Holmes, B., Thomas, G., Rasmussen, P., Krogsgaard, J., “The Wave Dragon- Now Ready for Test in Real Sea”, http://www.wave-energy.net/Library/WaveDragon_dec_2000.pdf
13. Wave Dragon ApS Web Sayfası, <http://www.wavedragon.net>
14. Ocean Power Delivery LTD. Web Sayfası, <http://www.oceanpd.com>
15. Archimedes Wave Swing Web Sayfası, <http://www.waveswing.com>
16. Boud, R., “Economics and Financing”, European Thematic Network on Wave Energy, Brighton, 2002.
17. Eral, M. (Genel Koordinatör), “Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu, Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu”, Ankara, 1998.