

ENERJİ COĞRAFYASI AÇISINDAN BİR İNCELEME: DALGA ENERJİSİNİN DÜNYADA'KI VE TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM DURUMU

Erol KAPLUHAN

Yrd. Doç. Dr., Ahi Evran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, ekapluhan@hotmail.com

ÖZET

Mevcut teknolojilerin çevre üzerinde olumsuz etkileri ve azalan fosil yakıtlar sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan dalga enerjisi, dünyada ve üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde her geçen gün artan bir ilgiye sahiptir. Dünyanın enerji ihtiyacı hızla artmakta ve bu ihtiyacı karşılamak amacıyla yapılan çalışmalarda en önemli yeri, en fazla potansiyele sahip enerji kaynağı olarak dünyanın 3/4'ünden fazlasını kaplayan okyanus ve denizlerden elde edilebilecek enerji oluşturmaktadır. Türkiye'nin fosil yakıtlar bakımından fakir bir ülke olmasına karşın Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı azaltacak, ileriki yıllarda karşılaşılabileceği enerji darboğazından kurtulması için yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarına ivedilikle başlanmalı ve yeni enerji kaynaklarını ucuza mal etmek için Ar-Ge yatırımlarına ağırlık vererek yeni üretim teknolojileri geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Enerji Potansiyeli, Dalga Enerjisi.

A RESEARCH IN THE FIELD OF ENERGY GEOGRAPHY: USAGE OF WAVE ENERGY IN THE WORLD AND TURKEY

ABSTRACT

As a result of the negative of current used technologies effect on the environment and the reduction of fossil fuel reserves, renewable energy sources will be more important in the future. Wave power, one of the renewable energy sources, has an increasing popularity among energy sources in our country surrounded by seas. The energy demand of the world is increasing day by day and an important point in the Works done to supply this demand is generated energy from oceans and seas having a great potential as a ratio of ¾ of the world. Despite being a poor country in terms of fossil fuels, Turkey is a rich country in renewable energy sources. To reduce Turkey's outsourced energy dependence and to get rid of future energy crisis, domestic and renewable energy sources investments should be made asap without any delay. R & D investments in new energy technologies should be made to produce cheaper energy.

Keywords: Renewable Energy Sources, Energy Potential, Wave Energy.

1. GİRİŞ

Fosil yakıtlarda meydan gelen maliyet artışları ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle, çevre teknolojileri içinde yenilenebilir enerji kaynakları stratejik bir sektör konumuna gelecektir. Başta Avrupa Birliği olmak üzere, ülkeler yenilenebilir enerjilerin kullanımına ve bu alanda geliştirilecek teknolojilere çok büyük önem vermektedirler.

Dalga enerjisi, okyanuslar ve denizler üzerindeki rüzgâr enerjisinden kaynaklanan bir enerji çeşididir. Hem potansiyel hem de kinetik enerjiye sahiptir. Okyanus enerjisi çevreyi kirletmeden, sürekli kendini yenileyen tükenmeyecek bir kaynaktır. Birincil enerji kaynağı güneş olan rüzgâr; dünya yüzeyinin yaklaşık % 80'ini

kapsayan milyonlarca km²'lik okyanusların ve denizlerin yüzeyinde eserek okyanuslarda 40- 50 metrelik dev dalgalar oluşturmaktadır. Her saniye yüz binlerce ton su, dalga halinde bir noktadan başka bir noktaya doğru hareket etmektedir. Rüzgâr hızındaki artışlar, direkt olarak dalga hızına da etki etmektedir. Rüzgârın etkisi, deniz yüzeyinde deniz meltemlerine, soğuk hava kütlelerine, tropikal çukurlara, fırtına ve kasırgalara neden olur. Güneş ve rüzgârdan sonra üçüncül enerji kaynağı olan okyanus/deniz dalgasının yüksekliği dolayısıyla taşıdığı enerji, deniz yüzey alanıyla doğrudan bağlantılıdır (da Rossa, 2009).

Günümüzde tüm yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları enerji talebinin % 2,5'lük bölümünü karşılamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam talebin % 3,3'ünü karşılamasını öngörmektedir (Görgün, 2011: 1).

Dalgalar, Dünya üzerindeki toprak ve suların farklı ısınması sonucu oluşan rüzgârların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelir. Deniz dalgalarındaki güç dalga yüksekliği, dalga hareketi, dalga boyu ve su yoğunluğu ile belirlenir. Dalga yüksekliği ise rüzgâr hızı, rüzgârın esme zamanı, esen rüzgârın suya olan mesafesi ve su derinliğine bağlıdır. Genellikle büyük dalgalardan daha çok enerji elde edilir. Dalgalardan enerji elde eden tüm sistemler deniz yüzeyinde ya da deniz yüzeyine yakın kurulur. Bu sistemler dalganın geliş yönüne dik ya da paralel kurulmalarına ve enerjiyi dönüştürme biçimlerine göre farklılaşabilir (Gülşaç, 2009: 59).

Bir yöredeki dalga enerjisi, dalganın yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak değişir. 100 kW - 100 MW kadar ihtiyaç duyulan her güçte santral kurulabilir. Dalga enerjisinden elektrik üreten makineler, enerjiyi ya okyanusun/denizin yüzeyindeki dalgalardan ya da suyun altındaki dalgalanmalardan elde etmektedir. Denizlerdeki dalgalar temelde üç şekilde meydana gelmektedir: Denizlerde oluşan depremlerin ve deniz dibi çökmelerinin oluşturduğu dalgalar, rüzgârların ve fırtınaların oluşturduğu dalgalar, gelgit olayından kaynaklanan dalgalardır. Depremler ve deniz dibi çökmeler dışında Dünya'da kaydedilen en büyük dalga yüksekliği, 1933'de Alaska kıyılarında görülmüştür. Burada dalga yüksekliği 34m, dalga boyu 342 m, period ise 14,8 s olarak tespit edilmiştir. Hız olarak bu değerler 23,1 m/s ve grup hızı olarak 11,5 m/s'dir (Uygur vd., 2006). Birim genişliği etkileyen dünyadaki ortalama dalga güçleri; Kuzeydoğu Atlantik'te 100 kW/m, Portekiz sahillerinde 5-26 kW/m, Kanada'da 0,6-101,6 kW/m, Güney Afrika'da 10-14 kW/m ve Çin'de 0,7-4,5 kW/m olarak verilmektedir (Özdamar, 2000).

Dalga enerjisi potansiyelinin daha açık ve gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, dalga enerjisinden yararlanılacak olan bölgede uzun yıllara dayanan ve oldukça pahalı olan ölçümler yapmak gerekmektedir. Bu ölçümlerin yapılamadığı durumlarda ise, daha ekonomik olan rüzgar ölçümleri yapılmakta, rüzgar-dalga arasındaki bağıntıyı veren ve bir çok ölçüm sonucundan elde edilmiş yarı ampirik formüllerle dalga enerjisi hesaplanmaktadır (Uygur vd., 2006: 8).

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 $\sim 30^\circ$ ve $\sim 60^\circ$ enlemler arasında dalga hareketi batı rüzgârlarının hâkimiyeti 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 (WEUE, 2002: 9).

Dalga enerjisinin önemli olumlu yönleri bulunmaktadır. Güç kaynağının sonsuz ve bol olması, fosil yakıtlara bağımlılığı, küresel ısınmayı, asit yağmurlarını, her türlü kirliliği dolaylı olarak azaltması, iş sahası açması, elektrik şebekesinin olmadığı uzak alanlara elektrik sağlaması, deniz ortamında yapılacak diğer çalışmalarda potansiyel teknolojinin kullanımına olanak tanınması, tuzlu suyun tatlı suya çevrilip ihtiyaç bulunan bölgeye pompalanması. Bununla birlikte; deniz dalgasının kullanılmasında birtakım sınırlamalar da bulunmaktadır. Her dalga boyutunun kullanılması için bir tasarımın oluşturulamaması, gemi rotalarının geçtiği yollar, askeri tatbikatlar, balık avlanma sahaları, su altı kabloları gibi kısıtlamalar büyük dalga enerjisi projelerine başlamadan önce dikkate alınması gereken hususlardır (Sağlam & Uyar, 2005: 276).

2. DALGA ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

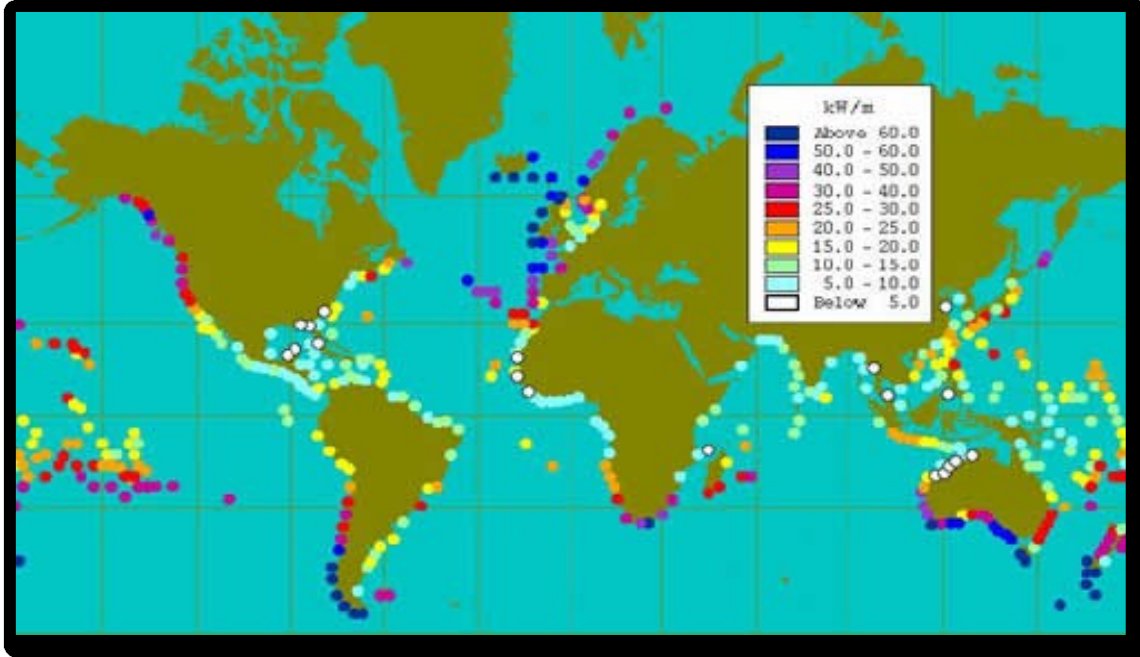
Tüm dünyadaki dalga potansiyel gücü 1TW (1 Terawatt = 10^{12} W) olarak hesaplanmıştır (Şentürk & Özdamar, 2011: 631). Dalga enerji dönüştürücüleri genç bir teknoloji olup geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Herhangi bir dalga enerji dönüştürücüsünün her şeyden önce fırtınalara, tuzlu suda korozyona, yosunlara, deniz araçları kazaları gibi zorluklara dayanıklı olması gerekmektedir. Geçmişteki bu ve benzeri zorluklar bugün için aşılmış görünmektedir. Dünyada pek çok ülke şu an ticari olarak üretim yapmaktadırlar (Önöz vd.; 2011: 184).

Dalga enerji dönüştürücüleri, yerleştirildikleri alana göre kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi dalga dönüştürücüleri olarak sınıflandırılabilirler (Hagerman & Bedard, 2003). 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.

Dalga enerjisi dönüştürücülerinin sınıflandırılmasında alternatif olarak, birinci nesil, ikinci nesil ve üçüncü nesil dönüştürücüler tanımlamaları da kullanılabilir. Buradaki sınıflandırma, sistemin mevcut durumu esas alınarak yapılmaktadır. Örneğin birinci nesil sistemler, genellikle kıyıda veya yakın kıyıda yapılan Salınlı Su Sütunu (OWC) tipi dönüştürücülerdir. Bu sistemler hâlihazırda İngiltere, Portekiz, Japonya ve Hindistan’da kurulu olan veya geliştirilen sistemlerdir. İkinci nesil sistemler ise yüzer pompa prensipli, yakın kıyı veya açık denizde uygulanabilecek olan sistemlerdir. Bu tipteki nispeten küçük boyutlu ve güçlü sistemlerin uygulamadaki başarıları da üçüncü nesil olarak adlandırılan, hem fiziksel boyut hem de güç açısından daha büyük açık deniz tipi sistemlerin yolunu açmıştır (Cruz, 2008).

Uluslararası Enerji Ajansı “Okyanus Enerji Sistemleri: Uluslararası Vizyon Raporu 2011’de 2050 yılında Okyanus’dan elde edilen enerjisinin 748 GW’a ulaşacağı, yine aynı raporda bu sektörde 2030 yılına kadar

160.000 kişiye istihdam olanağı sağlanacağı ve 2050 yılına kadar 5.2 milyar ton CO₂ emisyonundan tasarruf sağlanacağı belirtilmiştir (EOEA Industry Vision Paper 2013: 7).



Şekil 1: Dalga Gücü Seviyesinin Dünyada Dağılımı (kW/m tepe yüksekliği).

Kaynak: <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/ocean.shtml>, 2014.

Şekil 1’de görüldüğü gibi özellikle okyanuslardaki dalga potansiyel enerjileri çok yüksektir. Özellikle Kuzey Amerika ile İngiltere arasındaki Atlas Okyanusu’nda dalga enerji potansiyeli en yüksek değere ulaşmıştır. Bu da deniz derinliği, yer hareketleri ve iklimsel farklılıklar nedeni ile oluşan güçlü dalgalardan kaynaklanmaktadır (Uygur vd., 2006: 9).

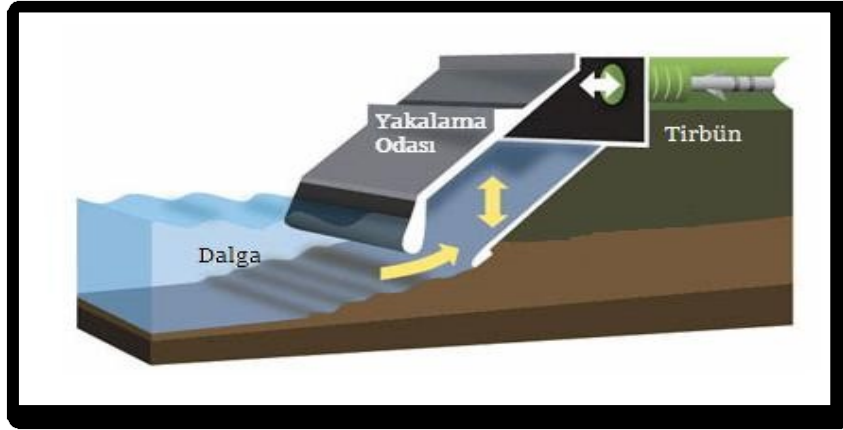
Dalga enerjisi potansiyelinin büyüklüğü ve elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi de fizibilitesinin sağlanabilmesi; yıllık ortalama dalga yüksekliği, sakin günlerin oranı, fırtınalı gün sayısı, maksimum dalga yüksekliği ve ortalama rüzgâr esme süresi gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerden, yıllık ortalama dalga yüksekliği değeri ne kadar büyük ise dalga enerjisinin güvenilirliği o derece yüksektir. Yıllık sakin günlerin oranı ise rüzgârsız günlerin yıl içindeki görülme yüzdesi olarak tanımlanabilir, bu oran ne kadar küçük ise potansiyel o kadar yüksektir. Yıllık maksimum dalga yüksekliği değerin yüksekliği ise seçilecek cihaza bağlı olarak potansiyelin üst sınırını belirlemektedir (Önöz vd., 2011: 184).

2.1. KIYI TİPİ (SHORELINE) UYGULAMALARI

Bu tür uygulamalarda enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşası 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.

2.1.1. Salınlı Su Kolonu (OWC: Oscillating Water Column): Bu yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur yapılardır (Şekil 2). 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 (Thorpe, 1999; Thorpe, 2001).

Wells türbinleri Queen Üniversitesi'nden Profesör Alan Wells tarafından geliştirilmiştir (Rodrigues, 2005). Wells türbinler 2,6 m çap ve 700 ile 1500rpm arasında dönüş hızında çalışırlar. İçinde bir yuvarlak indüksiyon jeneratöre sahiptir. Gücü 250 kW’dır. Maksimum 4.4m dalga yüksekliğine ve maksimum dalga periodu 13,4sn olan dalgalara kadar dayanır. Yüksek dalgalara karşı bu türbinler kapaklarla korunur. En önemli örneği LIMPET(Land Installed Marine Powered Energy Transformer) denilen sistemdir (Üstün & Kurban, 2010: 65).



Şekil 2: Salınlı Su Kolonu (OWC: Oscillating Water Column)

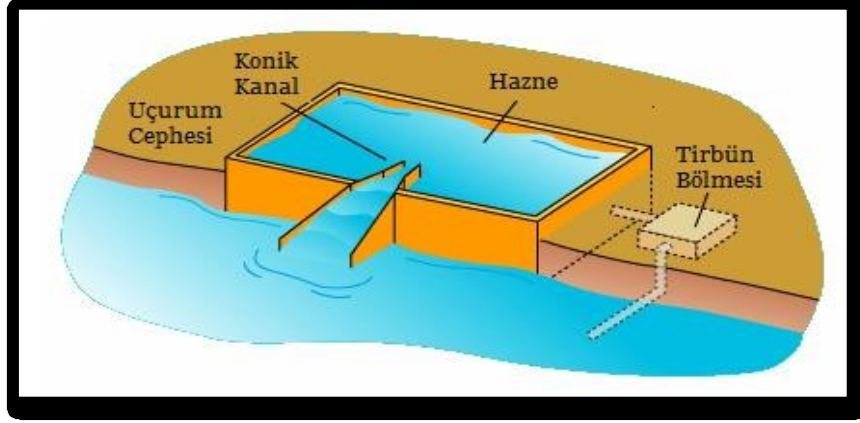
Kaynak: http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx, 2014.

Salınlı Su Kolonu türü dalga enerjisi dönüşüm cihazları sabit bir yapı olarak kıyıya yakın yerleştirilebildiği gibi denizde hareketli yapı konfigürasyonlarında da deneysel çalışmalar vardır (Stappenbelt & Cooper, 2010: 34)

2.1.2. Daralan Kanal Sistemi (TAPCHAN: Taperated Channel Device): Sistemin ismi, “tapered channel” terimlerinin birleşmesiyle oluşturulmuştur, yani giderek kesiti daralan kanal anlamına gelmektedir. Norveç’te Bergen yakınlarındaki Toftestallen’da 1986’da kurulan bu sistemde, ilerleyen dalgalar; kıyıdaki kayalıklara yerleştirilmiş ve huni formundaki kolektörde toplanarak, kolektör sonuna doğru hızlandırılırlar. Çünkü kolektör kesitinin formu, farklı dalga frekans ve yönlerinin toplanma verimini optime edecek şekilde dizayn edilmiştir.

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

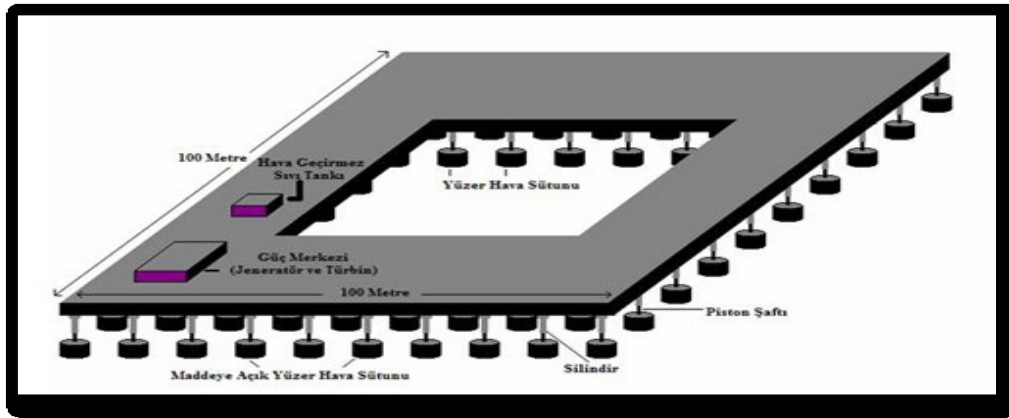
kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Ancak TAPCHAN sistemleri bütün kıyı kesimleri için uygun değildir (Thorpe, 2001; Clement et al, 2002).



Şekil 3: Daralan Kanal Sistemi (TAPCHAN: Taperated Channel Device)

Kaynak: http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx, 2014.

2.1.3. 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 (Thorpe, 2001; Clement et al, 2002).



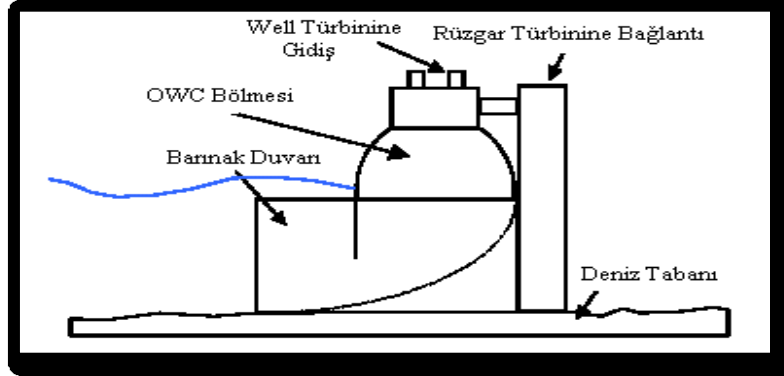
Şekil 4: Pendular Sistem

Kaynak: http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx, 2014.

2.2. YAKIN KIYI TİPİ (NEAR SHORE) UYGULAMALAR

Yakın kıyı tipi enerji dönüştürücüler 20 m su derinliğine kadar olan alanlarda çalışacak tipte cihazlardır. Bu cihazlar deniz tabanına rijit olarak bağlı yapılar şeklinde olabileceği gibi çeşitli bağlama sistemleri ile bağlı olan yüzer yapılar da olabilir. Bir örnek geliştirilmiş bir Salınlı Su Sütunu (OWC) tipi dönüştürücü verilebilir. Bu sistemde büyük parabolik duvarlar ile dalgaların odaklanması ve genliklerinin artırılması hedeflenmiştir.

2.2.1. Osprey: Wavegen tarafından geliştirilen Osprey'in gücü (Şekil 5) 1,5 MW'lık rüzgâr türbininin dâhil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmıştır ve özellikle inşa maliyetinin düşürülmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir (Thorpe, 2001; WEUE, 2002; Clement et al, 2002).



Şekil 5: OSPREY Sistemi

Kaynak: Ün, 2003.

2.2.2. Wosp 3500: WOSP (Rüzgâr ve Okyanus Salınım Enerjisi) kıyıya yakın dalga ve rüzgâr enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir (Şekil 6). Eklenen 1,5 MW'lık rüzgâr üretim kapasitesi, tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltir.



Şekil 6: WOSP (Rüzgâr ve Okyanus Salınım Enerjisi)

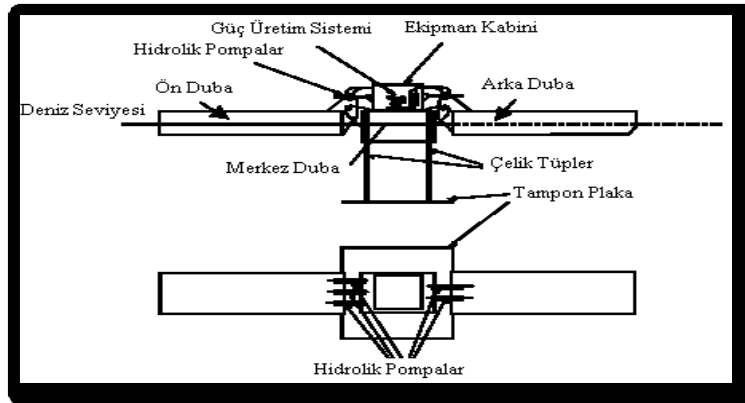
Kaynak: http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx, 2014.

2.3. AÇIK DENİZ TİPİ (OFFSHORE) UYGULAMALAR

Açık deniz tipi sistemler dalgaların deniz tabanı ile etkileşime girip enerjilerini kaybetmediği su derinliklerinde kurulan sistemlerdir. Dalga enerjisinin tamamını kullanabilme avantajları bulunmaktadır. Ancak bu tip sistemlerin karmaşık bağlama sistemlerine ihtiyaç duymaları ve büyük dalga etkilerine maruz kalmaları nedeniyle yapısal tasarımlarında güçlükler bulunmaktadır. Ayrıca ürettikleri enerjinin deniz altı kablo sistemleri ile kıyıya taşınmaları gerekmektedir. Açık deniz tipi enerji dönüştürücüleri genellikle su yüzeyinde yüzen ve

dalga hareketleri ile aşağı yukarı salınım yapan ve bu salınım hareketini elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir (Önöz vd., 2011: 185).

2.3.1. 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 7). 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 (Thorpe, 1999; Thorpe, 2000; Thorpe, 2001; WEUE, 2002).



Şekil 7: McCabe Dalga Pompası

Kaynak: Ün, 2003.

2.3.2. 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 (Foto 1). 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 (Thorpe; 1999; Clement et al, 2002).



Foto 1: OPT WEC Sistemi

Kaynak: <http://www.oceanpowertechnologies.com/products.html>, 2014.

2.3.3. Pelamis: Yunanca da deniz yılanı demektir ve ismini deniz yılanından alır (Rodrigues, 2005). Bu yapı kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemli bir yapıdır (Foto 2). 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 (Thorpe, 1999; Thorpe, 2000; Thorpe, 2001, Clement et al, 2002).

4 veya daha fazla tüp biçiminde deniz yüzeyinde duran birbirine bağlı bir sistemden oluşur. Tüplüsünün uzunluğu 150 m, çapı 4,63'm'dir. Dalganın gücünün her segmentte harcanabildiği, harcanan suların da geri dönüştürülebildiği bir sistemdir. Her biri 125kW'lık jeneratörler kullanılır. Sistem 3 noktadan sabitli olup kendi yönlendirmesini yapacak şekilde tasarlanmıştır. Dalganın frekansına göre sistemin devinimi otomatik olarak değişir. Ancak fırtınalı durumlarda sistem, sabitlerine en az baskıyı yapacak şekilde bozulur. Simülasyonlar ve testler, fırtınadan kurtulabilirliğin en yüksek olduğu dönüştürücü tipinin Pelamis olduğunu göstermektedir (Üstün & Kurban, 2010: 64,65).



Foto 2: Pelamis Sistemi

Kaynak: <http://buildipedia.com/aec-pros/public-infrastructure/pelamis-wave-energy-converter-renewable-energy-from-ocean-waves>, 2014.

2.3.4. Archimedes Dalga Salınım Sistemi: Bu sistem 10-20 m çapında silindirik, içi hava dolu bir yüzücü içermektedir (Foto 3). Sistemin üzerinden geçen dalga, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltir veya düşürür. Böylelikle yüzücünün zemine göre yükselip alçalma hareketi enerji üretimine neden olur (WEUE, 2002; Thorpe, 2000; Thorpe, 2001; Clement et al, 2002).



Foto 3: Archimedes Dalga Salınım Sistemi

Kaynak: <http://www.dem.ist.utl.pt/sistemas/img/wec1.jpg>, 2014.

3. DALGA ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ KULLANIM DURUMU

2013 yılı yenilenebilir enerji kaynaklarının Dünya genelindeki kapasite dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1). Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 2012 yılı sonu itibariyle dünyada 2011 yılına göre % 8,5 artarak 480 GW'a ulaşmıştır (RGSR 2013: 23). Hidrosantrallerin dâhil edilmediği bu değerlendirmede en fazla yenilenebilir enerji 293 GW kapasiteli olan Rüzgâr enerjisinden elde edilmektedir (RGSR 2013: 53). Rüzgâr enerjisini biokütle ve fotovoltaik paneller takip etmektedir.

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 birçok yeni teknoloji geliştirilmiştir. Dalga enerjisi üretim sistemleri üzerine 1000'in üzerinde patent alınmıştır ve birçok ticari potansiyeli olan tesis de gösterime girmiştir (Pelk & Fujita, 2002).

Dünyada ilk ticari dalga enerji tesisi Limpet 500, 2000 yılında İskoçya'nın İslay 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 İslay'da küçük(200 evin gücünü karşılayacak), kıydan 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 (Pelk & Fujita, 2002).

Dünyadaki birçok dalga tesisi benzer ancak uyarlanmış tasarım mantıklarıyla buldukları bölgenin kaynaklarından en fazla istifade edecek biçimde tasarlanıp inşa edilirler. The Queen's University of Belfast ve Wavegen Ltd. birlikte oluşturdukları "LIMPET" (Land Installed Marine Power Energy Transmitter) projesi kapsamında Portekiz'de 500 kW gücündeki Akdeniz kıyı şeridinde dalga kolektörü ve enerji tesisi yapılmıştır. Bu çalışmaya ait iki adet prototip dalga enerji kolektörleri Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca yüzer dalga enerjisi güç üretim tesisleri son zamanlarda geliştirilmiş ve oldukça ekonomik ve temiz enerji üretimini mümkün kılmıştır.

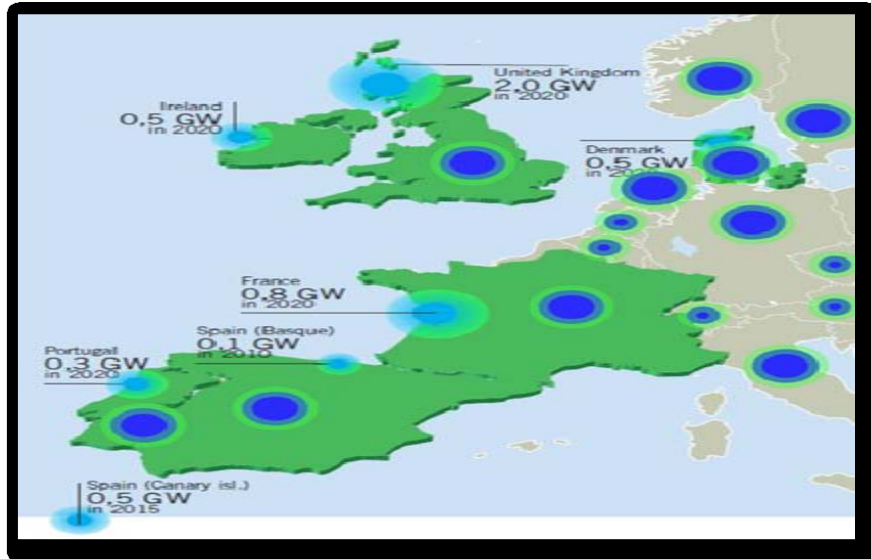
Bu tesisler eğimli bir rampa üzerinden suyu tesis içerisine almakta ve belli yükseklikten düşen su Kaplan tipi türbini çevirerek enerji üretmekte ve artık su yine denize dökülmektedir. Bu yöntemle İngiltre'deki Shetland Adaları yakınında yıllık tam kapasite çalışmasıyla 13 milyon kWh'lık bir enerji üretebilmektedir (Uygur vd., 2006).

Dalga enerjisi sistemleri ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları, özellikle İskandinav ülkeleri ve İngiltere'de, yoğunlaşmıştır. Ayrıca İngiltere, İrlanda ve Portekiz prototip ve ticari ölçekli sistemleri geliştirmeye odaklanmıştır. ABD ve Kanada dalga enerji sistemleri aktif olarak araştırılmaktadır. İlk olarak üç Pelamis sisteminden oluşan dalga çiftlikleri Portekiz'de 2008 yılında denenmiştir. En son Avrupa dalga çiftlik testi sitelerinden biri Lysekil WEC (nokta emiciler) ile güçlendirilmiş olarak İsveç kıyılarında inşa edilmektedir (Hayward & Osman, 2011: 6).

Okyanus enerjisi teknolojilerinin teorik olarak küresel potansiyeli 7400EJ/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu oran insanoğlunun mevcut ve gelecekteki enerji gereksinimini karşılamaktadır. Avrupa ülkeleri açısından dalga enerjisinin 2800TWh/yıl ile tek başına yeterli olmadığı düşünülmektedir. Okyanus enerji kaynaklarının diğer bazı rüzgar ve güneş gibi çok daha büyük ölçüde, daha az değişken ve tahmin edilebilir yenilenebilir enerji, kaynakları ile birlikte kullanılması önerilmektedir (European Comission, 2014: 11).

Uluslararası Enerji Ajansı Okyanus Enerji Sistemleri (IEA-OES) en iyi durum senaryosuna göre Dünya'da 2050 yılında Dalga enerjisi üretim miktarının 190 GW'a ulaşması tahmin edilmektedir. Amaç ise tüm Dünya'da 500 GW'a ulaşmasıdır. Avrupa ülkeleri için ise 2020 yılına kadar dalga enerjisi kurulu gücü 10 GW, 2030 sonuna kadar 16 GW, 2050 yılına kadar ise 100 GW'a ulaşarak Avrupa ülkeleri elektrik talebinin % 15'ini karşılayacağı tahmin edilmektedir. Tüm dünyada okyanus enerji sistemlerine bugüne kadar 600 milyon euro yatırım yapılmıştır. Bu yatırımlar Uluslararası Enerji Ajansına göre artarak devam edecektir (European Comission, 2014: 12).

Dalga enerjisi açısından en yüksek potansiyele sahip Avrupa ülkeleri Atlantik kıyısında yer alan Fransa, İngiltere, İrlanda, Portekiz ve İspanya'dır. Gelgit enerji alanında ise İngiltere, İrlanda, Fransa, Yunanistan ve İtalya yüksek potansiyele sahip olan ülkelerdir. Günümüzde 30'dan fazla ülkede 100'den fazla farklı tip okyanus enerji sistemleri geliştirilme aşamasındadır. Sekiz Avrupa ülkesi okyanus enerjisini Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planlarına (National Renewable Energy Action Plans = NREAPs) dâhil etmiştir. Bu ülkeler İngiltere, İrlanda, Fransa, Portekiz, İspanya, Finlandiya, İtalya ve Hollanda'dır. 2020 yılında, bu ülkelerin dalga enerjisi kurulu kapasitesi, AB-27'de toplam kurulu elektrik kapasitesinin % 0,5' ine, 2253 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dünyada okyanus enerji teknolojileri geliştirme ve dağıtım açısından İngiltere liderdir, İngiltere'yi Fransa ve İrlanda takip etmektedir (European Comission, 2014: 9,10).



Şekil 8: 2020 Yılı Avrupa Ülkeleri Dalga Enerjisi Hedefleri

Kaynak: European Comission, 2014: 106.

Siemens AG'nin şirket bünyesinde Almanya Heidenheim'de kurulan Voith Siemens Hydro (VSH), dalga enerji sistemlerini piyasaya sürmeyi düşünmektedir. İskoçya'da şu anda test amacıyla yaklaşık 50 eve elektrik sağlayan dalga enerjisi santralini işleten VSH'nin, yeni projesi ile okyanusların enerji kaynağı olarak büyük ölçekli ticari enerji santrallerinde kullanılması için çalışmalar yürüttükleri bilinmektedir. Ayrıca uzmanlar, okyanuslardaki enerjinin yaklaşık bin 400 geleneksel enerji santralının enerjisine denk gelen 1 Terawatt'ın potansiyel olarak kullanılabileceğini belirtmektedirler. Bu şirketin Almanya'nın Kuzey Denizi sahili üzerinde dalga enerji santrali kurmak için uygun bir yer aradığı da bilinmektedir. Tel Aviv'de yerleşik İsrail S.D.E. Energy Ltd. Şirketi tarafından yapılan dalga enerjisinden elektrik üreten Sea Wave elektrik santrallerinin çalıştığı bilinmektedir. Ürettikleri sistem bir taraflıyla dalga enerjisi toplayıcısı olarak inşa edilmesine karşılık aynı zamanda dalga kıran olarak da işlev görmektedir. Sistem, temel olarak dalga etkisiyle yükselerek hidrolik sıvı üzerinde basınç oluşturan pistonlar vasıtasıyla, hidrolik sıvının kanallarda dolaştırılmasına dayanmaktadır. Hidrolik sıvı basınçlı bir tank içinde toplanmakta ve arkasından hidrolik motorlara yönlendirilmektedir. Hidrolik motor elektrik jeneratörünü çevirmesiyle elektrik üretilmektedir (Koca & Çıtak, 2008: 53).

4. DALGA ENERJİSİNİN TÜRKİYEDEKİ KULLANIM DURUMU

Türkiye'nin enerji üretiminde dış kaynaklara bağımlılığı, özellikle yüksek fiyatlı doğal gaz alım anlaşmaları ile artmıştır. Doğal gaz çevrim santrallerinde yüksek maliyetle enerji üretilmekte ve bu enerji tüketicilerin tarafında yüksek fiyatta satın alınmaktadır. Sonuç olarak Türkiye, diğer gelişmiş ülkelerden çok daha yüksek fiyatlarda enerji tüketmektedir (Maç, 2006: 4).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan Mavi Kitap 2013 Raporu'na göre; ülkemizin taşkömürü rezervi 1.319,4 milyon ton, linyit rezervi 11.752,2 milyon ton, petrol rezervi 44,1 milyon ton, doğal gaz rezervi 6,2 milyar m³ olarak belirlenmiştir. 2012 yılı itibarıyla Türkiye'deki elektrik santrallerinin toplam kapasitesi 239.496,8 milyon kWh'dir. Bu kurulu gücünün % 73,0'ını (174.871,7 milyon kWh) termik santraller, %

24,2'sini (174.871,7 milyon kWh) hidroelektrik, % 0,4'ünü (899,3 milyon kWh) jeotermal ve % 2,4'ünü (5.860,8 milyon kWh) rüzgâr enerji santralleri oluşturmuştur. Toplam üretilen enerjinin % 27,0'ını (65.345,9 milyon kWh) yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir (Mavi Kitap 2013: 19).

2013 Kasım ayı verilerine göre ülkemizin elektrik enerjisi üretiminin kaynak türlerine göre dağılımı aşağıda verilmektedir. Genel olarak kaynak türlerindeki değişim benzerlik göstermektedir. Kasım ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi üretiminde kaynakların payına bakıldığında doğal gazın % 51 ile en çok paya sahip olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla % 15 ile hidroelektrik (barajlı), % 13 ile ithal kömür takip etmektedir. Ekim ayında % 17'lik paya sahip olan hidroelektrik (barajlı) ve % 4'lük paya sahip olan hidroelektrik (akarsu) oranı Kasım ayında sırasıyla % 2 ve % 1 oranlarında azalmıştır (ETKB 2013: 4).

2020 yılında birincil enerji arzındaki en büyük paya (% 29,8) sahip olacağı hesaplanan petrolün, 2030 ve 2035 yıllarında ilk sıradaki yerini kömüre (sırasıyla % 29,1 ve % 29,3) bırakacağı düşünülmektedir. Doğal gazın ise elektrik üretimindeki payını koruması (yaklaşık % 21,4) beklenmektedir. 2008-2035 döneminde elektrik üretiminde ise kömür ve doğal gazın en önemli kaynaklar olmaya devam edeceği, kömürün payının % 41'den % 42,8'e, doğalgazın payının % 21,3'ten % 21,7'ye yükseleceği; petrolün payının ise % 5,5'den % 1,6'ya, hidroliğin payının % 15,9'dan % 13,3'e, nükleer enerji payının da % 13,5'den % 10,8'e düşeceği öngörülmektedir (AKA-GES: 6).

Ülkemizde de dalga enerjisinden elektrik elde etme çalışmaları son yıllarda hız kazanmıştır. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) ve Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. (TEMSAN) işbirliğinde 15.02.2008 tarihinde başlatılan "Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi" konulu proje kapsamında, denizdeki dalgaların dikey hareketini elektrik enerjisine çeviren bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sakarya Karasu'da 2009 yılında kurulan prototip sistemde günde ortalama 5 kWSaat enerji elde edilmektedir (Gülsaç, 2009: 60).

Türkiye, sahip olduğu uzun kıyı şeridi ve ana atmosferik hareketlerin kuvvetli rüzgârları dolayısıyla dalgaları oluşturabildiği coğrafi konumu itibari ile önemli dalga enerjisi potansiyeline sahiptir. Gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları ülkemizde başta Batı Karadeniz bölgesi olmak üzere dalga enerjisi potansiyeline sahip kıyı alanlarının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizde dalga enerjisinin sağlıklı hesaplanabilmesi açısından en önemli eksikliklerden biri sürekli ve sağlıklı dalga ölçümlerinin alındığı istasyonların tam olarak hayata geçirilememiş olmasıdır (Önöz vd.,2011: 191).

Marmara Denizi dışında kıyı uzunluğu yaklaşık 8200 kilometreyi bulan Türkiye için, dalga enerjisinin önemli bir potansiyel oluşturduğu yadsınamaz bir gerçektir. Dalga cephesinin gücü, okyanuslar dışında 10-40 kW/m arasında değişmekle birlikte, Akdeniz kıyıları için bu değer yaklaşık 13 kW/m olarak verilmektedir. Türkiye dışında Akdeniz'de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyu 8,4-15,5 kW/m arasında değiştiğini göstermektedir. Türkiye'de dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri yetersizdir. Fakat rüzgâr ölçüm değerleri, deniz düzeyine uyarlanarak, rüzgârların oluşturacakları dalga yüksekliklerini belirlemek ve buradan da elde edilecek dalga enerjisini hesaplamak mümkündür. Potansiyel açısından yapılan karşılaştırmalara göre Türkiye, kıyı

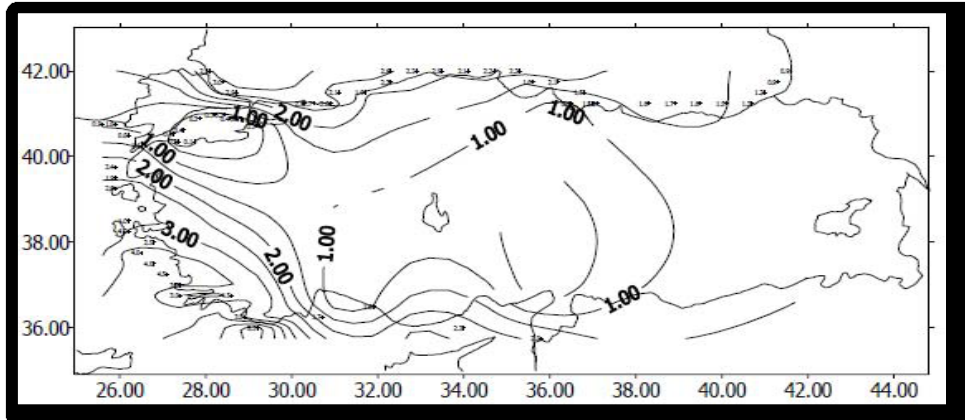
şeridinin uzunluğu ve koy sayısı açısından kıyı hattı (shoreline) tipindeki sistemlere daha uygundur. Hem de kıyıdan uzak (offshore) tipler açısından Türkiye, fazla derin bir kıta sahanlığına sahip olmadığından elverişli değildir. Kıyı şekli bakımından değerlendirildiğinde dağların denize paralel uzandığı Karadeniz, Akdeniz bölgelerinde salınımlı su bloklarının kullanılması avantajdır. Türkiye için düşünüldüğünde sivri kanallı sistemlerin coğrafik olarak kurulabileceği yerler ülkemizde sınırlıdır. Ayrıca salınımlı su bloklarıyla karşılaştırıldığında ekstra kurulum maliyeti gereklidir. Bu nedenle, gerekli verim alınmayabilir. Özetle, Türkiye'nin kıyı tipine göre ve kurulum ile işletme maliyetlerine göre sıralandığında en elverişli dönüştürücü tipinin salınımlı su blokları olduğu anlaşılmaktadır (Üstün & Kurban, 2010: 66).

Derin sulardaki toplam ortalama dalga enerji kaynakları, Türkiye kıyı şeridi boyunca dalga güçlerinin birleştirilmesiyle değerlendirilebilir. Eğer gemi rotaları, denizaltı tatbikat sahaları, Marmara Denizi'nin kıyı yerleşim yerleri, vb. dışarıda bırakılır, dalga gücü düzeyleri ticari tüketim için düşük olan Anadolu'nun kuzeydoğusundaki ve güneyindeki dalga kaynaklarının pek çoğu göz ardı edilirse, Türkiye'nin toplam kıyı uzunluğunun (8210 km) beşte biri kadarının denizden dalga enerjisi elde etmede kullanılabileceği varsayılabilir. Sadece bir seri/dizi küçük ölçekli dönüştürücüden, yıllık 4-17 kW/m arasında dalga gücü olan sularda, toplam yaklaşık en az 10 TWh/yıl enerji elde edilebilir. Bu, ekonomik olarak üretilebilir Türkiye Hidroelektrik enerji potansiyelinin % 12,5'idir. Karadeniz'in diğer denizlere göre daha dalgalı olduğu iddialarının aksine, güneybatı Anadolu yönünde hâkim olan Ege Denizi ve Akdeniz üzerindeki rüzgâr potansiyeli 4-17 kW/m'lik yıllık ortalama dalga gücünde bir yoğunlaşmaya neden olur. Dalga enerjisinden yararlanmak, daha doğrusu çalışmalara başlamak için en uygun yer İzmir-Antalya arası veya tam olarak belirtmek gerekirse Dalaman-Finike arasına tekabül eden denizlerdir (Sağlam & Uyar, 2005: 277, 278).

Rüzgâr dalgalarının tahmini üzerine araştırmaların geçmişi, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı ve Liman Mühendisliği laboratuvarında 1970'li yıllara kadar gider. 1980'lerin ortalarında Prof.Dr. Erdal Özhan'ın Yüksek Lisans Öğrencisi Saleh Abdalla'nın tez çalışması olarak birinci kuşak dalga modeli METU'yu geliştirmesiyle (1986), rüzgâr dalgalarının fiziksel süreçlere dayanan modellenmesi çalışmalarına geçilmiştir. Rüzgâr dalgalarının matematiksel modellenmesi konusundaki çalışmalarına doktora programı sırasında da devam eden Dr. Saleh Abdalla, Prof. Özhan'ın danışmanlığında yürüttüğü doktora tez araştırmasında METU3 olarak adlandırılan üçüncü kuşak fiziksel dalga modelini geliştirmiştir (1991). METU3 dalga tahmin modelinin, Nato'nun Sfs (Science for Stability) programınca 1993-2001 yılları arasında desteklenen "Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Dalga İkliminin Belirlenmesi" adlı kapsamlı projede (kısa adı NATO TU-Waves Projesi), Türkiye'yi çevreleyen denizlere uyarlanması gerçekleştirilmiştir. Bu proje, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kıyı ve Liman Mühendisliği Laboratuvarı öncülüğünde ve Prof. E. Özhan yönetiminde, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı ve Ulaştırma Bakanlığına bağlı Demiryolları-Liman-Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü'nün işbirliği ve katkılarıyla yürütülmüştür. Araştırma Şubesi Deniz Meteorolojisi Biriminin çalışmalarıyla METU3 dalga tahmin modeli Aralık 1999'dan itibaren Hava Tahminleri Dairesi Başkanlığı'nda günlük deniz tahminlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Aynı model 2004 yılının Ocak ayı içerisinde Sayısal Hava Tahminleri Şubesi tarafından otomatik hale getirilmiş ve internet ortamında

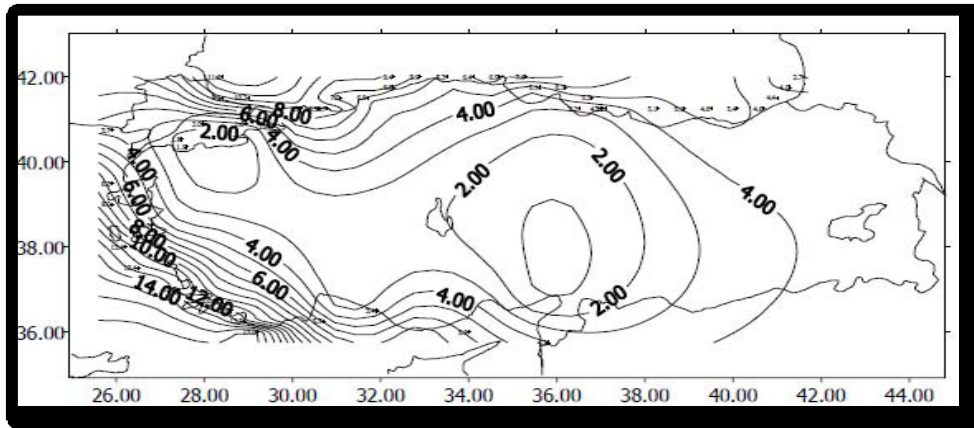
kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (<http://www.istanbuldahava.com/denizcilik/metu3-dalga-tahmin-modeli-nedir>, 2014).

NATO TU WAVE projesi sonucunda oluşturulan “Türk Kıyı Rüzgârları ve Derin Dalga Atlası” verilerinden yararlanarak yaklaşık belirgin dalga yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) değerleri ile minimum enerji akışı için aylık ortalama, maksimum enerji akışı için aylık ortalamaların matematik ortalaması ve en büyük değerlerin en düşük olan değerleri kullanılarak hesaplanan Türk sularının kullanıma hazır yaklaşık azami ve asgari Dalga Enerji seviyeleri Şekil 9 ve 10’da verilmiştir.



Şekil 9: Minimum Dalga Enerjisi Seviyeleri

Kaynak: Sağlam & Uyar, 2005: 277.



Şekil 10: Maksimum Dalga Enerjisi Seviyeleri

Kaynak: Sağlam & Uyar, 2005: 277.

Tablo 1: Türkiye Ortalama Dalga Enerjisi Yoğunluğu

| Bölge | Ortalama Güç |
|-----------|-------------------|
| Karadeniz | 1,96 – 4,22 kWh/m |
| Marmara | 0,31 – 0,69 kWh/m |
| Ege | 2,86 – 8,75 kWh/m |
| Akdeniz | 2,59 – 8,26 kWh/m |

Kaynak: Üstün & Kurban, 2010: 64

Bu şekillerin sonucunda dalga enerjisi potansiyeli olarak Türkiye’de Ege ve Akdeniz kıyılarının yılda 4-17kWh/m enerji üretebileceği görülmektedir. Türkiye kıyılarının, balıkçılık, turizm, askeri tesisler nedeniyle 1/5’inden yararlanarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli, 18,5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Sadece bir seri/dizi küçük ölçekli dönüştürücüden, yıllık 4-17 kW/m arasında dalga gücü olan sularda, toplam yaklaşık olarak 10 TWh/yıl enerji elde edilebilir. Bu, ekonomik olarak üretilebilir Türkiye hidroelektrik enerji potansiyelinin % 12,5’idir (Üstün & Kurban, 2010: 64, 66).

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. Bu bilgiler yılın büyük bir çoğunluğu için geçerlidir. Dalga enerjisi üretmek için tasavvur edilen en iyi yerler: Karadeniz’in batısında İstanbul Boğazi’nin kuzeyi ve Ege Denizi’nin güneybatı kıyıları açıkları; Marmaris ve Finike arasındadır. Başlangıç denemeleri için bu suların uygun olduğu değerlendirilmektedir. Yatırımcılar bu alanları tercih etmelidir (Sağlam & Uyar, 2005: 279).

SONUÇ

Dalga enerjisinin ilk yatırımından ve bakım giderlerinden başka gideri olmayan, birincil enerjiye bedel ödenmeyen, doğaya her hangi bir kirlenici bırakmayan, ucuz, temiz, çevreci ve çok büyük bir enerji kaynağıdır. Teknolojinin ilerlemesi ile dalga enerjisi üzerine çalışmalar hızla artmış, kıyı boyu, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanan çok çeşitli dalga enerji sistemleri geliştirilmiştir.

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.

Konvansiyonel enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif kaynakların geliştirilmesi yönündeki çalışmalara paralel olarak dalga enerjisi üzerindeki araştırmalar özellikle son 20 yılda hızlanarak artış göstermiştir. Başlangıçtaki üretim yöntemlerinin ve cihazlarının araştırılması ve geliştirilmesi aşamasındaki çalışmaların gelişmesiyle günümüzde araştırması tamamlanan cihazların prototiplerinin uygulamaya konulması ile dalga enerjisi yararlanılabilir bir enerji kaynağı haline gelmiş bulunmaktadır. Günümüzde dalga enerjisi üzerindeki araştırmalar geliştirilen cihazların iyileştirilmesi ve yeni yöntem ve cihazların ortaya konulması yoluyla üretimde verimin artırılarak enerji maliyetinin düşürülmesi hedefini gütmektedir. Bu yolla dalga enerjisinin diğer alternatif enerji kaynakları ile rekabet edebilir hale geleceği düşünülmektedir.

Türkiye, sahip olduğu uzun kıyı şeridi ve ana atmosferik hareketlerin kuvvetli rüzgârları dolayısıyla dalgaları oluşturabildiği coğrafi konumu itibari ile önemli dalga enerjisi potansiyeline sahiptir. Gerçekleştirilen

araştırmanın sonuçları ülkemizde başta Batı Karadeniz bölgesi olmak üzere dalga enerjisi potansiyeline sahip kıyı alanlarının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizde dalga enerjisinin sağlıklı hesaplanabilmesi açısından en önemli eksikliklerden biri sürekli ve sağlıklı dalga ölçümlerinin alındığı istasyonların tam olarak hayata geçirilememiş olmasıdır.

Alternatif enerji kaynakları, enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında etkin olarak kullanılmalı ve bu alandaki araştırmalara destek verilmelidir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili teknik ve malzeme eksikliğini gidermeye yönelik olarak, yani yurt dışına bağımlılığı azaltmak için üniversite ve şirket bazında Ar-Ge çalışmaları hızlandırılmalıdır. Bu tip çalışmalarda bulunan kurumlara daha fazla destek sağlanmalıdır.

Ülkemizin dalga enerjisi potansiyeli benzer özelliklere sahip ülkelerin potansiyeli ile karşılaştırıldığında ülkemizin çok önemli sayılabilecek bir potansiyele sahip olduğu görülmekle birlikte bu konudaki araştırma, planlama ve yatırım faaliyetleri açısından aynı seviyede olduğunu söylemek zor olmaktadır. Ülkemizdeki dalga enerjisi potansiyelinin hızla harekete geçirilebilmesi için yatırımcı kuruluşlarla araştırmacı kuruluşların işbirliğini sağlayacak organizasyonların teşvik edilmesinde yarar bulunmaktadır.

Ülkemizde kıyıların önemli özelliklerinden biri nüfusumuzun % 70'inden fazlasının bu bölgelerde yaşıyor ve sanayi tesislerinin de deniz ulaşımına yakın olması nedeni ile yine kıyı şeridinde yer almasıdır. Başka bir ifade ile hâlihazırdaki enerji tüketiminin çoğu kıyılarda olmaktadır. Dolayısı ile dalga enerjisinin kullanılması halinde tüketim bölgelerinde üretimin gerçekleştirilebilmesi olanağının ortaya çıkacak olması dalga enerjisinin diğer enerjilerle rekabet etmesinde büyük avantaj sağlayacaktır.

Enerji politikalarının amacı kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz enerji elde etmek olmalıdır. Bu çerçevede, tüketime sunulan enerjinin verimli kullanılmasının yanı sıra kaynak çeşitliliğinin de artırılması enerji politikaları açısından önemlidir. Günümüzde yeni enerji kaynakları bulma çalışmaları giderek artmaktadır. Araştırmalar yeni, ekonomik ve yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmeye odaklanmış olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının her geçen gün giderek yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Hali hazırda yenilenebilir enerji kaynakları içine dalga enerjisi potansiyelini dahil etmemiş olması ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli açısından önemli bir eksiklik olup bunun sebebinin dalga enerjisi konusunda yeterli araştırmanın bulunmaması olduğu söylenebilir. Bu nedenle dünya dalga enerjisi ile ilgili gelişmelerin gerisinde kalmamak, yüksek verimli ve düşük enerji maliyetli yöntemleri geliştirerek orta ve uzun vadede son jenerasyon cihazları kullanılabilir duruma gelmek amacıyla ülkemizde bu konuda Ar-Ge faaliyetlerine zaman kaybedilmeden başlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Ahiler Kalkınma Ajansı (AKA), *Güneş Enerji Sektörü (GES)*, http://www.ahi-ka.org.tr/upload/pdf/ihale_ilanlari/ihracatrapor/gunes_enerji_rapor.pdf, (E.T: 11.04.2014).

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. (2002), *Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, pp.405-431.

Cruz, J., (2008), *Ocean Wave Energy, Current Status and Future Perspectives*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

da Rosa, A. V. (2009), "*Fundamentals of Renewable Energy Processes*", Second Edition, Elsevier Academic Press.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Mavi Kitap 2013*, Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2013.pdf, (E.T: 02.04.2014).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2013), *Türkiye Kasım Ayı Enerji İstatistikleri-11*, Enerji İstatistikleri Daire Başkanlığı, Ankara. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Enerji_Istatistik_Raporu_Aylik/2013_11_Enerji_Istatistikleri_Raporu.pdf, (E.T: 19.03.2014).

European Ocean Energy Association (EOEA) (2013), *Industry Vision Paper 2013*, http://www.oceanenergy-europe.eu/images/Publications/European_Ocean_Energy-Industry_Vision_Paper_2013.pdf, (E.T: 03.04.2014).

European Commission (2014), *Commission Staff Working Document Impact Assessment*, Brussels. http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/ocean_energy/documents/swd_2014_13_en.pdf, (E.T: 24.04.2014).

Görgün, T. (2011), *Yenilebilir Enerjiler ve Teknolojileri*, İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi (İGEME), http://www.solar-bazaar.com/menus/igeme-yenilenebilir_enerjiler-teknolojileri..pdf, (E.T: 09.04.2014).

Gülsaç, I. I. (2009), *Okyanuslardan Gelen Enerji, Dalga Enerjisi*, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayfa: 58-61.

Hayward, J. & Osman, P. (2011), *The Potential of Wave Energy*, *Garnaut Climate Change Review*, <http://www.garnautreview.org.au/update-2011/commissioned-work/potential-wave-energy.pdf>, (E.T: 02.04.2014).

- Hagerman, G. & Bedard, R. (2003), *Guidelines for Preliminary Estimation of Power Production by Offshore Wave Energy Conversion Devices*, EPRI Report, E21- EPRI- WP- US- 001, December 22, 2003.
- Koca, T. & Çıtlak, A. (Mayıs- Haziran 2008), *Dalga Enerjisi, Yeni Enerji*, Sayı: 4, Sayfa: 48 -54, İstanbul.
- Maç, N. (2006), Türkiye’de Enerji Sektörü, *Konya Ticaret Odası Etüt-Araştırma Servisi Araştırma Raporu*, Sayı: 42/39, Konya.
- Önöz, B. & Kabdaşlı, S. & Yeğen, B. & Yılmaz, A. & Babaç, G. & Albostan, A. & Varol, E. (2011), Türkiye Kıyılarında Dalga Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Cilt: 10, Sayı: 5, Sayfa: 181-192, İstanbul.
- Özdamar, A. (2000), An Investigation on Electricity Production Through Wave Energy: Cesme Sample, *Journal Hydrology Faculty Periodical*, Ege University, Izmir, Turkey (in Turkish; in press).
- Pelc, R. & Fujita, R.M., (2002). “Renewable Energy from the Ocean”, *Marine Policy* 26, pp.471-479.
- Renewable Energy Policy Network For The 21st. Century (REN21), (2013), *Renewables 2013 Global Status Report (RGSR)*, Paris, France, <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>,(E.T. 17.04.2014).
- Rodrigues, L. (2005), *Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production*, Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Nova University of Lisbon, Portugal, <http://www.icrepq.com/icrepq-08/380-leao.pdf>, (E.T: 12.04.2014).
- Sağlam, M. & Uyar, T. S. (2005), *Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM)*, 19-21 Ekim 2005, Sayfa: 275-279, Mersin.
- Stappenbelt, B. & Cooper, P. (2010). Mechanical Model of a Floating Oscillating Water Column Wave Energy Conversion Device, *2009 Annual Bulletin of the Australian Institute of High Energetic Materials*, Volume: 1, pp: 34-45.
- Şentürk, U. & Özdamar, A. (2011), Modelling The Interaction Between Water Waves and The Oscilating Water Columin Wave Energy Device, *Mathematical and Computational Applications*, Volume: 16, No: 3, pp: 630-640.
- Thorpe, T.W. (1999), An Overview of Wave Energy Technologies: Status, Performance and Costs, *Wave Power: Moving Towards Commercial Viability*, 30 November 1999, Broadway House, Westminster, London.
- Thorpe, T.W. (2000), The Wave Energy Programme in the UK and the European Wave Energy Network, *Fourth European Wave Energy Conference*, December 2000, Aalborg, Denmark.

Thorpe, T.W. (2001), Current Status and Developments in Wave Energy, *International conference, Marine renewable energies; MAREC*, Institute of Marine Engineers- Series C-113, 1; pp.103-110.

Uygur, İ. & Demirci, R. & Saruhan, H. & Özkan, A. & Belenli, İ. (2006), Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması, *PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt No:12 Sayı:1, Sayfa:7-13, Denizli.

Ün, Ü. T. (2003), Dalga Enerjisi (Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu), *II. Yenilenebilir Enerji Sempozyumu*, 15-18 Ekim 2003, İzmir.

Üstün, A. K. & Kurban, M. (2010), Türkiye’de Kullanılabilecek Dalga Enerjisi Dönüştürücülerinin Belirlenmesi ve Analizi, *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı-ELECO’2010*, 2-5 Aralık 2010, Bursa.

Wave Energy Utilization in Europa (WEUE): Current Status and Perspectives (2002), Produced by Centre for Renewable Energy Sources (CRES), http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/ocean/wave_energy_brochure.pdf, (E.T: 07.04.2014).

<http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/ocean.shtml>, (E.T: 05.04.2014).

http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx, (E.T: 01.04. 2014).

<http://www.oceanpowertechnologies.com/products.html>, (E.T: 08.04.2014).

<http://buildipedia.com/aec-pros/public-infrastructure/pelamis-wave-energy-converter-renewable-energy-from-ocean-waves>, (E.T: 11.04.2014).

<http://www.dem.ist.utl.pt/sistemas/img/wec1.jpg>, (E.T: 17.04.2014).

<http://www.istanbuldahava.com/denizcilik/metu3-dalga-tahmin-modeli-nedir>, (23.04.2014).

EXTENDED SUMMARY

Energy is essential to economic and social development and improved quality of life in all countries. Much of the world’s energy, however, is currently produced and consumed in ways that could not be sustained if technology were to remain constant and if overall quantities were to increase substantially. The need to control atmospheric emissions of greenhouse and other gases and substances will increasingly need to be based on efficiency in energy production, transmission, distribution and consumption in the country. Electricity supply infrastructures in many developing countries are being rapidly expanded as policymakers and investors

around the world increasingly recognize electricity's pivotal role in improving living standards and sustaining economic growth.

Global energy consumption in the last half century has rapidly increased and is expected to continue to grow over the future. The past increase was stimulated by relatively "cheap" fossil fuels and increased rates of industrialization in North America, Europe and Japan; yet while energy consumption in these countries continues to increase, additional factors make the picture for the next five decades years more complex.

The renewable energy sources have become more important than ever due to the increase in oil and natural gas prices by 500 % in the last 15 years and corresponding political situation of the world. Nowadays, new energy investments are directed towards clean energy. Accordingly, the EU has adopted an energy policy aiming to maximize the use of renewable energy sources to reduce the dependence on fuel from non-member countries, to minimize emissions from carbon sources, and to decouple energy costs from oil prices. Furthermore, the Union's policy targets to constrain the demand by promoting energy efficiency both within the energy sector itself and at end use.

Currently, wave energy is being sold to potential customers on the basis of wave resource estimates for the world, supplemented by more detailed studies for particular countries. In general, the world wave energy resource is quoted to be either "1e10 TW" (or its equivalent in TWh/year) or "2 TW". Research on wave energy production is particularly advanced in countries bordering large oceans where the greatest wave energy potential is found. In Europe most of the pilot plants either planned or in operation are located along the Atlantic coast in countries such as Ireland, Portugal, Spain, Norway and the UK. Wave energy appears to be one of the most promising among the renewable resources. It is estimated that it will undergo a significant growth in the next decades as soon as the Wave Energy Converters (WEC) technology becomes more mature.

Turkey is one of the largest countries in Europe and Middle East with its 779,452 km² total area (23,764 km² on the European side, 755,688 km² on the Asian side). The country lies between 36–42 north latitude and 26–45 east longitude (roughly rectangular in shape) and situated between two continents - Europe and Asia. It is surrounded by three seas with a total of 8372 km total coastline; the Aegean with 2805 km, the Mediterranean with 1577 km, the Black Sea with 1695 km and the inner sea Marmara with 972 km. The Marmara connects the Black Sea and the Aegean via two straits: İstanbul and Çanakkale straits.

Energy is one of Turkey's most important development priorities. Hence, utilization of indigenous renewable energy sources is of vital importance for Turkey to reduce its dependence on foreign energy supplies, provide supply security and prevent the increase in greenhouse gas emission. Turkey's energy policy targets to increase the current share of renewable energy from 20 % to 30 % in coming years.

Energy can also be extracted from the nontidal surface sea waves. Wind energy is the main producer of wave energy. The coast length of Turkey is approximately 8210 km. Turkey's wave potential is not sufficient to build

small wave energy systems in every coastal region. The total coast length of Turkey has 18.5 TWh/year wave energy technique potential.

Wave energy potential can be described by dividing it into the following descriptions: natural energy source, technique potential, and economical potential. It is a natural energy source because it exists in nature. It can be converted into an available energy source by the tools of technology, so it has technical potential. Since its economic profile can be compared with other energy sources, it is called an economic potential.

Despite being a poor country in terms of fossil fuels, Turkey is a rich country in renewable energy sources. To reduce Turkey's outsourced energy dependence and to get rid of future energy crisis, domestic and renewable energy sources investments should be made asap without any delay. R & D investments in new energy technologies should be made to produce cheaper energy.