

Türk suları için Dalga Enerjisi Örnek Proje Fizibilite Çalışması

Mustafa SAĞLAM, Tanay Sıdkı UYAR

Marmara Üniversitesi

Makine Mühendisliği Bölümü

Enerji Ana Bilim Dalı

Göztepe, İstanbul

saglam@hrf.tu.nato.int, tanayuyar@marmara.edu.tr

Özet: Çalışma ile, Türkiye'deki kullanılabilir dalga potansiyeli ile verimli bir dalga enerji sisteminin kurulup kurulamayacağı ve Türkiye'deki mevcut enerji programına entegre edilebilir nitelikte kurulabilecek dalga enerjisi dönüştürücü teknolojisi tipi hakkında en uygun kararı vermek amaçlanmıştır.

Kendi denizlerimizden enerji üretmek için faydalı olabilecek uygun teknolojiyi ortaya çıkartmak üzere diğer ülkelerdeki mevcut teknolojiler gözden geçirilmiş ve RETScreen® International'in "Small Hydro" fizibilite çalışmalarından da faydalanılarak maliyet etkinliği hesaplanmış, dalga enerjisi bakımından en uygun bölgeleri ve en uygun teknolojiyi seçebilmek amacıyla Dalga Enerji Santrali Proje Analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dalga gücü, dalga enerjisi, belirgin dalga yüksekliği, dalgadan enerji üretimi .

1. Genel

Dalga enerjisi kullanımının ülke enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayacağı öngörüldüğünden bir çok Okyanus kıyısı ülkede çalışmalara büyük önem verilmektedir. Ancak, dalga enerjisi yoğunluğu orta yükselkte olan ülkelerde, ekonomik olduğu sürece mevcut klasik/yenilenebilir enerji planlamalarına tamamlayıcı bir enerji şekli olarak dahil edilebilir.

Dünyada bir çok yenilenebilir enerji teknolojisi ve pazarı gelişmekte, gün geçtikçe bu gelişmede endüstri sektörü, araştırma müesseseleri ve akademik çevreler büyük rol almaktadır. Birçok ülkede pazar gelişimi politikası ve programı uygulanması sonucu güvenilirliğin arttığı ve maliyetlerin düştüğü görülmektedir.

Türkiye'nin yıllık dalga enerji kaynağı 4 - 17 kW/m²lik deniz yoğunluğuyla 10 TW/yıl olarak tahmin edilmektedir.

2. Uygun Yer Seçimi

Dalga enerji dönüştürücüsünün en verimli çalışabileceği yer olarak Anadolu'nun güneybatı açıkları ve İstanbul boğazının kuzeyi olarak öngörülmektedir. Bu bölgelerde ODTÜ'den Kalkan/Akdeniz, İğne ada/Karadeniz için alınan belirgin dalga yükseklikleri, ortalama ve en yüksek dalga periyotları (Her biri 23000 den fazla değer içermektedir.), Excel programında bir tabloda toplanarak hazırlanan "Deniz Durumu Dağılım Diyagramları"ı Şekil 8 ve 9'da sunulmuştur. Burada sütun ve satırların kesiştiği yerde ölçüm periyodu içinde belirgin dalga yüksekliği, H_s ve dalga periyodu, T_e bileşiminin kaç kere gerçekleştiği vardır.

KALKAN 3600⁰K, 2920⁰D

Wave Height (m)	Wave Period (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 8. Deniz Durumu Dağılım Diyagramı, Kalkan

İĞNEADA 4200⁰K, 2840⁰D

Wave Height (m)	Wave Period (s)	2	2.2	2.5	2.7	3	3.6	4	4.4	4.8	5.3	5.8	6.4	7	7.7	8.5	9.3	>10,3
0.25		11	9	17	54	104	177	206	148	217	192	152	157	115	58	16	5	0
0.5		34	28	28	109	204	415	435	543	556	623	577	485	269	197	98	51	2
0.75		36	9	18	102	176	387	388	469	542	611	611	515	335	242	125	59	3
1		24	10	21	56	72	224	296	300	359	378	325	352	291	191	108	54	7
1.25		16	4	2	33	82	163	195	226	239	290	266	242	196	128	77	32	6
1.5		11	7	5	27	51	122	141	143	199	207	200	189	107	103	73	22	6
1.75		4	5	4	26	35	85	101	100	105	123	132	121	99	89	43	15	6
2		4	3	1	19	25	54	52	64	95	80	107	75	53	56	44	18	4
2.25		1	1	2	9	16	27	34	62	54	81	77	62	54	64	26	24	4
2.5		1	1	1	3	8	13	28	40	45	36	46	46	36	41	26	20	25
2.75		1	0	1	2	6	6	22	29	44	39	28	34	39	25	24	12	1
3		2	0	0	0	7	11	19	31	26	22	27	25	31	20	23	8	4
3.25		0	0	1	3	3	16	8	12	12	20	17	14	19	12	27	7	4
3.5		1	0	0	0	5	12	13	5	11	11	12	10	13	16	9	3	2
3.75		0	0	0	2	2	2	11	8	7	13	13	8	0	14	19	3	4
4		0	0	0	2	1	2	4	7	10	5	5	4	6	12	7	6	2
>4		0	3	0	0	14	20	28	28	20	19	26	20	39	34	28	17	15

Şekil 9. Deniz Durumu Dağılım Diyagramı, İğneada

3. Dalga Enerjisi Yoğunluğunun Hesaplanması

Bir denizdeki yaklaşık anlık güç 0.49 sabitinin belirgin dalga yüksekliğinin karesi, H_s^2 ve periyodu, T_e ile çarpımı ile tahmin edilebilir [1];

$$P(kW / m) = 0.49H_s^2T_e \quad (1)$$

Her bir anlık deniz durumunun yıllık ortalama güç seviyesine katkısı, güç seviyeleri ve yıllık ağırlık faktörü ile değerlendirilir.

$$P_{ave} = \frac{\sum P_i W_i}{\sum W_i} \quad (2)$$

P_i güç seviyelerini, W_i yıl içinde anlık güç seviyesinin kaç kere tekrar ettiğini gösterir.

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 10.) Bu bilgiler yılın büyük bir çoğunluğu için geçerlidir.

WAVE POWER SOURCE					
36.00° N, 29.20° E, Kalkan, ANTALYA					
Significant Wave height (m)	Mean Wave Period (s)	Mean Wave Direction (Degree)	Peak Wave Period (s)	Power Mean (kW/m)	Power Peak (kW/m)
1,21	5,2	0,90	6,09	6,6	7,63
Wave data is obtained by using ECMWF analysis wind data though WAM					

Şekil 10. Kalkan açıkları için yapılan tahminler

4. Wave Dragon

Wave Dragon Danimarka'da Löwenmark şirketinden Mühendis Erik Friis-Madsen tarafından icat edilip, geliştirilen ve patenti alınan su üstünde yüzen açık deniz dalga enerjisi dönüştürücüsüdür. Düşük enerji (24 kW/m) dalga ikliminde yapılan çalışma değerleri Şekil 11.'dedir.

Wave Dragon'un üzerine gelen dalga ile su, seviyesi deniz seviyesinden yüksek büyük bir geçici rezervuarda depolanır. Depolanan su, tribünlerden geçerek hidroelektrik santralinde olduğu gibi güç üretir. Bu çalışmadaki hesaplamalar rezervuarda geçici olarak depo edilen suyun potansiyel enerjisini temel alır. Kalkan için hesaplanan 6,6 kW/m'lik düşük enerji akışı, "Wave dragon "un denendiği denizdeki 24 kW/m düşük enerji akışı ile oranı 1/3,63'tür. Aynı oranda rezervuar boyutu da küçültülerek RETScreen® International'in Small Hydro fizibilite çalışmalarına aktarılmıştır. Bu çalışmadaki rezervuarın bir dalga periyodunda yaklaşık 5000 m³ su olarak türbinlere aktaracağı öngörülmüştür.

Wave Dragon key figures:	North Sea (low energy flux) 24 kW/m
Weight, a combination of re-inforced concrete, ballast and steel	22,000 t
Total width and length	260 x 150 m
Wave reflector length	126 m
Height	16 m
Reservoir	5,000 m ³
Number of low-head Kaplan turbines	16
Permanent Magnet Generators	16 x 250 kW
Rated power/unit	4 MW
Annual power production/unit	12 GWh/y
Water depth	> 20 m

Şekil 11. Wave Dragon Çalışma Değerleri

5. Kalkan için Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü Olabilirlik Çalışması

10 m'lik (grosshead) bir yükseklikten su bırakıldığında en yüksek verim alınmaktadır[2]. (Şekil 12.)

Energy Model - Wave Energy Project

Site Conditions		Estimate
Project name		Wave Energy
Project location		Kalkan, ANTALYA
Latitude of project location	°N	36,00
Longitude of project location	°E	29,20
Gross head	m	10,00
Distance to grid	m	27011
Depth	m	2167
Firm flow	m ³ /s	7,37
Peak load	kW	Central-grid
Energy demand	MWh	Central-grid

Şekil 12. 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 belirtildi. Her bir akış süreci %5'lik bir artışı temsil etmektedir. (Şekil 13.)

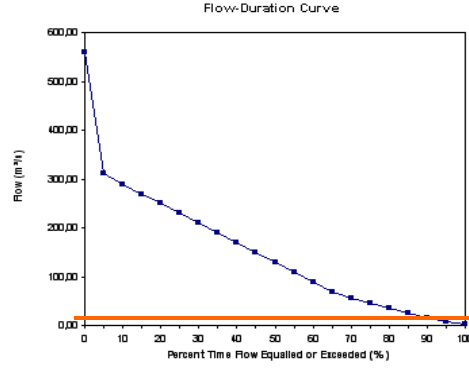
Model, Kalkan verilerinden aktarılan akış süreci yüzdelerinden, elektrik üretimi için en verimli, yıl boyunca sürekli olarak kullanılabilir olan akışı (firm flow) hesaplar. Verimli akış genellikle yılın en az %95'inde ulaşılabilen akış olarak tanımlanır. Verimli akış bu çalışmada 7.37 m³/sn olarak öngörülmüştür[2]. (Şekil 13.)

Hydrology Analysis and Load Calculation - Wave Energy Project

Hydrology Analysis	Estimate	Notes/Range
Project type	Reservoir	
Hydrology method	Specific run-off	
Hydrology Parameters		
Residual flow	m ³ /s	0
Percent time firm flow available	%	95% to 100%
Firm flow	m ³ /s	7,37

Flow-Duration Curve Data

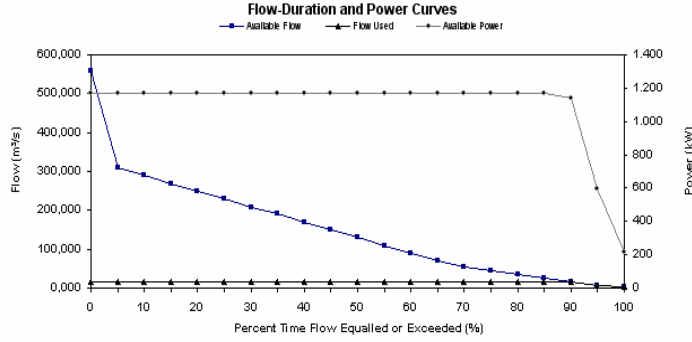
Time (%)	Flow (m ³ /s)
0%	559,88
5%	310,17
10%	289,66
15%	267,50
20%	249,70
25%	230,12
30%	208,99
35%	189,95
40%	169,53
45%	148,96
50%	129,78
55%	109,32
60%	89,55
65%	69,31
70%	54,75
75%	44,74
80%	34,70
85%	24,56
90%	14,54
95%	7,37
100%	2,63



Şekil 13. Akış Analizi

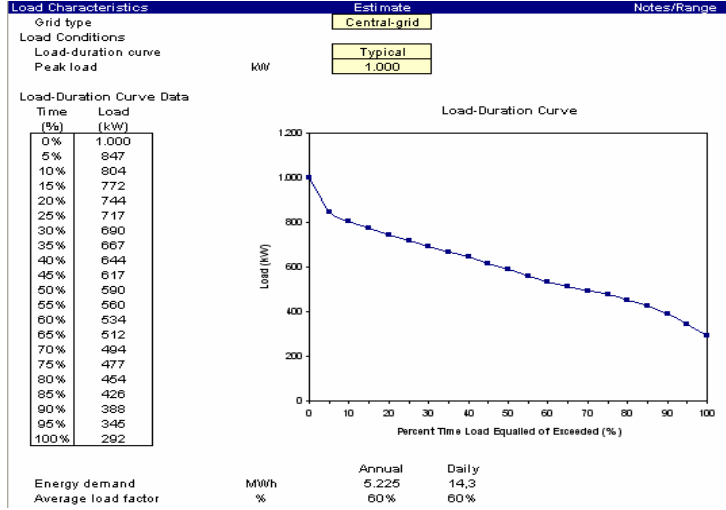
1.21 m ortalama dalga yüksekliğiyle, ortalama 6.09 saniyede bir yeniden dolan 1250 tonluk bir rezervuarla sadece bir sistemin deniz dalgasından yılda 9.368 GWh güç elde edeceği öngörülmektedir[2]. (Şekil 14.)

Annual Energy Production	Estimate	Notes/Range
Small hydro plant capacity	kW	1,167
	MW	1,167
Small hydro plant firm capacity	kW	597
Available flow adjustment factor	-	1,00
Small hydro plant capacity factor	%	92%
Renewable energy available	MWh	9,368
Renewable energy delivered	MWh	9,368
Excess RE available	GWh	9,368
	MWh	0



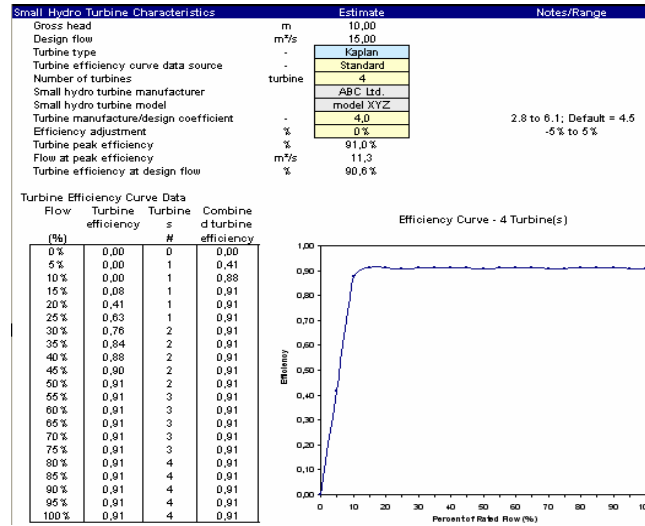
Şekil 14. Yıllık Enerji üretimi

Bu çalışmada günlük yük talebinin yılın diğer tüm günleri ile aynı olduğu ve yük-süreç eğrisi ile gösterildiği varsayılmıştır. En yüksek yük 1000 kW alınmış, enerji talebi yıllık 5225 MWh, günlük 14,3 MWh olarak öngörülmüştür. (Şekil 15.)



Şekil 15. Yük Özellikleri

Türbin verimliliği %90,6 olarak öngörülmektedir. (Şekil 16.)



Şekil 16. Türbin Özellikleri

6. Sonuçlar

Başlangıç Maliyeti: 4 426 735 \$

Fizibilite çalışması: 234 500 \$

Geliştirme : 313 000 \$

Mühendislik : 277 500 \$

Muhtelif: 1 052 119 \$

Yıllık Maliyet : 406 659 \$

Bakım İdame : 406 659 \$

Periyodik Masraflar: 1 500 000 \$

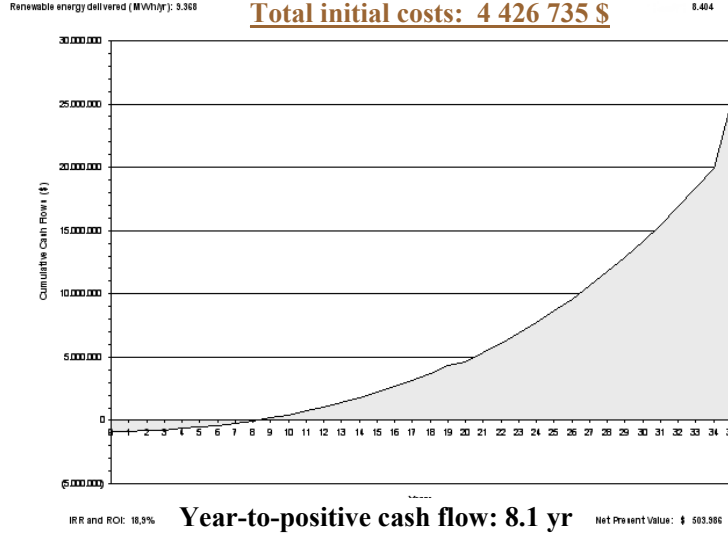
Diğer Değerler:

Elektrik üretim maliyeti : 0.0679 \$/kWh

Yatırım maliyetini karşılama : 8.1 yıl

Dağıtılan Yenilenebilir enerji : 9.368MWh/yıl

Ömür : 35 yıl (Şekil 17.)



Şekil 17. Maliyet Analizi

Enerji, Türkiye’de pek çok sektörde maliyet belirlemedeki en önemli girdidir. Türkiye’de elektrik üretiminin maliyeti 4,5 cent/kWh. Sanayi alanında kullanmanın maliyeti ise 7,8 cent/kWh. Bu, Avrupa’daki fiyatlardan daha pahalıdır. Dalga enerjisi fiyatlarının da düşmeye devam edeceği öngörülmektedir.

Genel maliyetlerin hesaplanmasında dışsal maliyetlerin (Soma termik elektrik santralının insan sağlığına olan menfi etkilerini düzeltmek için kişilerin kazançlarından sarfettikleri nakit) ve enerji naklinin(özellikle Doğu Anadolu’dan Marmara Bölgesi’ndeki sanayi kesimine) ilave bir maliyet olarak elektrik fiyatlarına eklenmesi gerekmektedir).

Baltık Denizi ve orada yapılan çalışmalar örnek olarak alınabilir. Açık deniz ve diğer projeler için yeni bir Deniz Hukuku düzenlemesi gerekecektir.

Küçük denizlerde Dalga enerjisi dönüştürücü tasarımlarında aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır;

- Dalga enerji sistemleri hem dalga enerji dönüştürücüsü olarak kullanılabilirmeli hem de kıyı yakını sularda dalgakıran olarak limanların korunmasında kullanılabilirmeli.
 - Küçük ölçekli dönüştürücüler kıyısız yapıların korunmasına uygun olmalı, sahil şeridinde yerel elektrik ihtiyacının bir kısmının karşılanmasına uygun planlanıp inşa edilmiş olmalı.
- Açık deniz dönüştürücüleri için daha fazla gelişme gerekmektedir.

Türk yatırımcılar için en uygun dalga dönüştürücü teknolojisi, enerji üretim sürecinin devamı boyunca periyodik olarak suyu depolayabilecek bir rezervuar ve dalganın yetersiz olduğu dönemlerde ikili bir yapıyla aynı zamanda rüzgar gücünü de kullanarak verimliliği artıracak bir sistemi içermelidir. Diğer ülkelerde düşük dalga ikliminde etkili olarak çalışabilecek dönüştürücüler halen geliştirilmektedir. Bu projelere katılmak veya yeni bir ikili tasarıma başlamak için çok geç değildir.

Ülkede kalan bilgi birikiminin, diğer alanlarda da kullanılacağı ve ülke içi üretimin sosyal hayatı etkileyeceği göz önünde bulundurulmalı ve özellikle büyük şirketlerde, Üniversite, Oda, Kamu kurum ve kuruluşlarında, maliyet analizleri yapılırken bir parametre olarak hesaplara girmesi sağlanmalıdır.

7. Kaynaklar

- [1]. Thorpe, T W. "A Brief Review of Wave Energy", ETSU Rapor No R-120, (1999).
 [2]. <http://retscreen.gc.ca/> (Başvuru tarihi, 2004)