

57576

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURUMU
DOKU
TEKNİK ENSTİTÜSÜ

**DALGA GÜCÜ İLE
ELEKTRİK ÜRETEN CİHAZLARIN
TEKNİK VE EKONOMİK ETÜDÜ**

Mak. Müh. A. İlker NAZAN

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR

57576

İstanbul, 1996

İÇİNDEKİLER

Şekil Listesi	viii
Tablo Listesi	ix
Teşekkür	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ KAYNAKLARINA GENEL BAKIŞ	3
2.1 Genel Bilgiler	3
2.2 Enerji İhtiyacındaki Artış	4
2.2.1 Dünya Nüfusundaki Artış	4
2.2.2 Ekonomik Büyüme	5
2.2.3 Kişi Başına Enerji Tüketimi	5
2.2.4 Konvansiyonel Olmayan Kaynakların Gelişimi	5
2.2.5 Yaşam Tarzı ve Toprak Kullanışındaki Değişiklikler	6
2.3 Enerji Kaynakları	6
2.3.1 Fosil Enerji Yakıtları	7
2.3.2 Nükleer Enerji Kaynakları	8
2.3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	9
2.3.3.1 Güneş Enerjisi	9

2.3.3.2	Diğer Kaynaklar	9
2.4	Türkiye'nin Enerji Potansiyeli	11
3.	DALGA ENERJİSİ	13
3.1	Genel Bilgi	13
3.1.1	Avantajları	16
3.1.2	Dezavantajları	16
3.2	Dalga Enerjisi ve Güç	17
3.2.1	Dalgalardan Enerji ve Güç	21
3.2.1.1	Potansiyel Enerji	21
3.2.1.2	Potansiyel Enerji Yoğunluğu	22
3.2.1.3	Kinetik Enerji	22
3.2.1.4	Kinetik Enerji Yoğunluğu	23
3.2.1.5	Toplam Enerji ve Güç	23
3.3	Dalga Enerji Dönüşüm Teknikleri	25
3.3.1	Yüzer Şamandırayla Dalga Enerjisi Dönüşümü	25
3.3.2	Kıyıya Sabitlenmiş Platform Yardımıyla Salınlı Su Sütunundan Dalga Enerjisi Dönüşümü	28
3.3.2.1	Giriş	28
3.3.2.2	Tarihçesi	29
3.3.2.3	Sistem Tanımlaması	30
3.3.2.4	Türbin Dizaynı	32
3.3.2.5	Platform Özellikleri	32
3.3.2.6	Sonuç Analizi	33
3.3.2.7	İyileştirmeler	35

3.3.3	OWC Dalga Enerji Çevrim Cihazı (NEL)	35
3.3.4	Dış Hatlı Sal Çevrim Sistemli Önceden Uyarıcı Güç Makinası	38
3.3.4.1	Kullanılabilir Dalga Enerjisi Akışı	38
3.3.4.2	Elde Edilebilir Güç	40
3.3.4.3	Sorumlu Operatördeki Gelişmeler	41
3.3.4.4	Test Sonuçları	43
3.3.4.5	Dalga Spektral Verileri	45
3.3.4.6	Akım Tahmini ve Elde Edilebilir Güç	46
3.3.4.7	Veriler	48
3.3.4.8	Sonuçlar	48
3.3.5	Salter Ördeği	49
3.3.6	İkinci Jenerasyon Dalga Cihazı (Deniz Tarağı)	50
3.3.6.1	Giriş	50
3.3.6.2	Loch Ness Ördeği Denemeleri	51
3.3.6.3	Deniz Tarağı Dalga Enerji Çevrim Cihazı	52
3.3.6.4	Verimlilik Tahminleri	56
3.3.6.5	Maliyet Tahminleri	57
3.3.6.6	Gelecekte Yapılabilecek İşler	58
3.3.7	Kıyı İçin Dalga Yoğunlaşması İle Güç Eldesi	59
3.3.7.1	Özet	59
3.3.7.2	Giriş	59
3.3.7.3	Sistemin Tarifi	61
3.3.7.4	Pompa Ünitesinin Özellikleri	63
3.3.7.5	Dalga Yoğunlaştırıcısı İçin Gerekli Dizayn Önerileri	65

3.3.7.6	Pompa Ünitesinin Tipik Ölçüleri	66
3.3.7.7	Gerekli Deniz Suyu Kapasitesi	67
3.3.7.8	Dalga Yüksekliği ve Frekans	68
3.3.7.9	Ekonomik Analiz	68
4.	EKONOMİ	72
4.1	Giriş	72
4.2	Dalga Enerjisinin Kaynağı	72
4.3	Yıllık Güç Çıkışı	73
4.4	Güç İletimi	75
4.5	AC Yeraltı Kabloları	77
4.6	Tesisin Kapital Maliyeti	78
4.7	Jeneratör Tesisatının Maliyeti	79
4.8	Transmisyon Tesisatının Maliyeti	79
4.9	Konstrüksiyon Maliyeti	79
4.10	İşletim, Bakım ve Onarım Maliyeti	80
4.11	Elektrik Enerjisinin Maliyeti	80
4.12	Diğer Santrallerle Entegrasyonu	81
4.13	Sonuç	83
5.	DALGA ENERJİSİNDE ÖRNEK ÜLKE: NORVEÇ	84
5.1	Özet	84
5.2	Niçin Dalga Enerjisi	84
5.3	Dalga Özellikleri	85

5.4	Projeye Bakış	86
5.4.1	Güç Şamandırası	87
5.4.2	Kvaerner Titreşimli Su Kolonu İle Enerji Eldesi	87
5.4.3	Teknik ve Ekonomik Sonuçlar	87
5.5	Ulusal Elektrik Projeleri İçin Düşünceler	89
6.	DALGA ENERJİSİNİN GELECEĞİ	90
7.	SONUÇ	93

KAYNAKLAR



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	0 anından θ anına kadar dalga ve genliğin iki boyutlu gösterimi	17
Şekil 3.2	Periyod, akım ve dalga uzunluğu ve derinliğin çeşitli gösterimi	18
Şekil 3.3	Değişik yüksekliklerdeki eliptik bölgeler	20
Şekil 3.4	Yüzer şamandıra	27
Şekil 3.5	OWC platformu ve ekipmanları	31
Şekil 3.6	OWC dalga enerji çevrim cihazı (NEL)	36
Şekil 3.7	Sal dönüştürücü sistemi	42
Şekil 3.8	Şematik sal güç çevrim sistemi	46
Şekil 3.9	Salter ördeği ile güç çevrim cihazı	50
Şekil 3.10	Şematik dalga güç sistemi	61
Şekil 3.11	Prensipite şematik yoğunlaştırıcı pompa	64
Şekil 3.12	Pompa ünitesi	67
Şekil 3.13	Deniz suyu depolama ihtiyacı	68
Şekil 4.1	Dalga enerji çıkışı	73
Şekil 4.2	Dalga enerji cihaz modeli	74
Şekil 4.3	Sezonsal ve yıllık olarak güç	75
Şekil 4.4	Kıyıdan kıyıya iletişim	76
Şekil 4.5	Faiz ve kapital maliyeti arasındaki ilişki	81
Şekil 4.6	Çeşitli yakıtlar için enerji maliyeti	82
Şekil 5.1	Okyanus dalgalarına bakış	85
Şekil 5.2	Kvaerner brug çevrim cihazı	88

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Ekonomik analiz sonuçları	35
Tablo 3.2	Pompa ünitesinin maliyeti	69
Tablo 3.3	Bütün izolasyon maliyeti	70



TEŐEKKÖR

Enerji konusunun űlkemizde ve dűnyada önem kazandıđı Őu gűnlerde yeni enerji kaynaklarından birisi olan “Dalga Enerjisi” konusundaki Yűksek Lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını benden esirgemeyen saygıdeđer hocam Sayın Doç. Dr. Őűkrű BEKDEMİR’e ve bu arada űzerimde emeđi geçen deđerli hocalarıma teŐekkűr eder, saygılarımı sunarım.



ÖZET

Deniz dalgaları, güneş ve rüzgar gibi “tükenmeyen” enerji kaynaklarından birisidir. Bununla birlikte, dalga enerjisinden geniş ölçüde yararlanabilmek, önemli teknolojik güçlükleri yenmeyi gerektirmektedir.

Bu çalışmada, dalga enerjisinin yararlanılabilir duruma getirilmesi için bugüne kadar öngörülen çeşitli yöntemler incelenmektedir. Bunlar arasında, Şamandıra, salınlı su sütunu ile enerji çevrimi yapan sistemler, Sal Çevrim Sistemi, Salter Ördeği ve bunun geliştirilmiş versiyonu olan Deniz Tarağı Çevrim Sistemi ile dalga pompası tiplerindeki dönüştürücüler vardır. Yapılan araştırma ile Türkiye ve dünyadaki dalga gücünün kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Genel olarak bakıldığında dalga enerji ile elektrik üretiminin günümüz şartları için pahalı ve verimsiz olduğu görülmüştür, gelecekte yapılan gelişmeler ile bu durum değişebileceği düşünülebilir.

Anahtar Kelimeler: Dalga Teorisi ,Ekonomi,Enerji,Enerji Çevrim Cihazları , Momentum

SUMMARY

Ocean wave is one of the renewable energy sources as solar and wind energy. However benefitting widely from wave energy requires to overcome many technological difficulties.

In this study, various methods proposed up till today were examined for extracting beneficial energy from wave. Among these methods there are buoy, wave pump, oscillating water column conversion, raft conversion, salter duck and its improved version; clam conversion; systems.

Feasibility of wave energy in Turkey and in the world was tried to determine with this study.

It is seen that generally, electric energy extraction from wave energy is expensive and uneffective with today's conditions and technology. But it can be expected that developments in future would change this situation.

Keywords: Economy , Energy , Energy Conversion Device , Momentum , Wave Theory

1. GİRİŞ

Dünyadaki çevre sorunlarının hızla büyümesi insanların daha temiz olan enerji kaynaklarına yönelmesine ve bu yönde araştırmalar yapmasına sebep olmuştur.

Bu yönde yapılan çalışmalarda mevcut yakıtların kullanımı ile elde edilen enerjinin çevreye daha az zarar vermesi öncelikli olarak düşünülmüştür. Doğalgaz üzerinde yapılan çalışmalar ile kombine çevrim santraller kurulmuş ve bunlarla daha az çevre yıkımı yapan sistemlere ilk adım atılmıştır.

Buna karşın mevcut rezervlerin hızla tüketilmesi ve gelecekteki petrol türevli yakıtların fiyat belirsizlikleri de gözden kaçırılmaması gereken bir konudur. Yapılan araştırmalar 2000 yılında doğalgaz fiyatının iki, petrol fiyatının üç kat artacağını göstermiştir.

Fiyatlardaki bu artış gözönüne alındığında tükenebilir bir enerji olan bu yakıtların yerine alternatifleri aranmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dalga enerjisi bu alternatiflerden biridir.

Deniz dalgaları, güneş ve rüzgar gibi “tükenmeyen” ve “yenilenebilir” enerji kaynaklarındandır. Bu kaynakların büyüklüğü ve tükenmezliğinin yanısıra çevre kirlenmesine sebep olmadan enerji gereksinimini karşılayabilmeleri, geleceğe yönelik kısa veya uzun süreli planlamalarda önemle üzerinde durulması için yeterli sayılabilir.

Dalga enerjisi rüzgar enerjisini daha yoğunlaştıran, düzenleyen, dalgalayan doğal bir oluşum olarak düşünülebilir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ve kıyılarımızın uzunluğu, Marmara kıyıları hariç, 8210 km’yi bulan ülkemiz için dalga enerjisinin önemi açıktır.

Dalga enerjisinden faydalanma konusundaki fikirler ve çalışmalar uzun bir geçmişe sahiptir. Fakat bu konu üzerine ciddi bir şekilde eğilinmesi, 1950’lerden sonra, bugüne kadar kullanılan “alışılmış” enerji kaynaklarının uzak olmayan bir gelecekte

tükeneceği endişelerinin belirmesi ile başlamış ve “Enerji Krizi Dönemi”nde çabalar yoğunlaşmıştır. Japonya, İngiltere, Finlandiya, Almanya, Norveç, İsveç, A.B.D. gibi ülkelerde bu konuda önemli sayılacak adımlar atılmıştır.



2. ENERJİ KAYNAKLARINA GENEL BAKIŞ

2.1 Genel Bilgiler

Bugünlerde dünya yüzeyinde kullanılan enerjilerin çoğunluğu düşük maliyetli fosil yakıtlardır. Petrol, gaz ve kömür bugünkü yakıt ihtiyacının % 90'a yakın miktarını karşılamaktadır. Yapılan projelere ve uygulanması düşünülen sistemlere bakıldığında bunun yüzyılın sonuna kadar böyle devam edeceği tahmin edilmektedir. 1973 / 74 yıllarında yaşanan petrol ambargosu ve OPEC tarafından petrol fiyatlarının 1978'e kadar \$ 14.50 / bbl (Wilfrid et al 1979) seviyesinde kalması ile değişik enerji projeleri düşünülmeye başlanmıştır. Ortadoğu'daki düşünce birliğinin İran tarafından kırılması ile petrol üretimi artmış ve fiyatlar düşmüştür. Bu olaylar sonucunda endüstriyel çalışmaları ve gelişme için petrole ihtiyaç duyan sanayileşmiş ülkeler bir yana, bunu sağlayan ülkeler diğer bir yana ayrılmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaşanan, enerji üretiminin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerinin azaltılması çalışmaları enerji maliyetini yükseltmektedir. İnsan için önemli olan bu sebepler birçok kömür kullanıcılarını biraz daha temiz olan petrol ve gaz kullanımına yöneltmiştir. Dünyada zamanla tercih sebebi olan nükleer enerji fazlasıyla yaygınlaşıp elektrik enerji şebekesi içinde büyük bir yer almayı başaramayınca, sentetik yakıtlara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelindi. Fakat bunlar da pahalılıkları nedeniyle ancak uzak bir gelecekte enerji pazarından büyük bir pay almaya adaylar.

Yukarıda sayılan birçok zorluk ve gelişmenin getirmiş olduğu enerji problemleri aslında üç ana grupta toplanabilir. Birincisi gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanma ihtimalidir. Burada hayat standartlarına bağlı olarak iki ayrı yön var. Bunlardan birincisi yüksek enerji ihtiyacı, ikincisi ise düşük enerji ihtiyacı. İkinci bir problemse teknik olarak şu anda kullanılan enerji elde etme yöntemlerinin gelecekteki yöntemlerle uyum sağlayıp sağlayamayacağıdır. Yakında görülen en büyük sorunsu kaynak ve elde etme yöntemlerini etkileyen politik ve ekonomik kararlardır.

2.2 Enerji İhtiyacındaki Artış

Kısa zamanlı periyodlar halinde dünya enerji tüketimi ani değişikliklere uğramıştır. (Örnek olarak dünya savaşında ve ekonomik krizde). Geniş olarak bakıldığında son 100 yılda dünya enerji tüketimi yaklaşık yılda % 2 civarında artmıştır. Bu artışın sebepleri

- a) Dünya nüfusundaki artış
- b) Ekonomik büyüme
- c) Kişi başına enerji tüketimi
- d) Yeni kaynakların keşfedilmesi
- e) Hayat ve yaşam stilinin değişmesi ve insanların merkezlerde toplanması ile banliyölerdeki hayatın gelişmesi.

2.2.1 Dünya Nüfusundaki Artış

1979 yılındaki dünya nüfusu 4 milyarın biraz üzerinde idi, yapılan araştırmalar ve tahminler gösteriyor ki dünya nüfusu 2050 yılı itibarıyla yaklaşık 15 milyara ulaşacaktır. Bu hesaplama yapılırken şu anki doğum, ölüm oranları ve yiyecek elde edebilme limitleri hesaba katılmıştır. Tahmin edilen yan unsurlar gözönüne alındığında (teknik, ekonomik, sosyal faktörler, savaşlar ve toplu ölümler) dünya popülasyonunun iyimser bir tahminle 2050 yılı itibarıyla 8-10 milyar arasında olacağı belirlenmiştir. (Wilfrid et al 1979)

Türkiye içinse 1970 yılında 35.321.000 kişi olan Türkiye nüfusu yıllık ortalama % 2.3'lük artışla, 1993 yılı itibarıyla 59.869.000 kişiye ulaşmıştır. Bu artış ile 2000 yılında nüfusun 70.169.000 kişiye ulaşacaktır. (Albaş 1994)

2.2.2 Ekonomik Büyüme

Ekonomik gelişme projeleri, sonuçta gelecekte gerekli olan enerji ihtiyacını da ortaya çıkarmaktadır. Çeşitli ekonomik projelere göre 2000 yılındaki ekonomik gelişme % 4.3 ile % 4.7 arasında bir değere ulaşacaktır. Endüstriyel projelerdeki bu gelişim yaklaşık % 5.4 ile % 7.0 arasında olacaktır. (Wilfrid et al, 1979)

2.2.3 Kişi Başına Enerji Tüketimi

Dünyada kişi başına enerji tüketimi 1970 yılı itibariyle 1355 kWh/kişi iken 1991 yılı itibariyle 2227 kWh/kişi olmuştur. Artış % 64.35'tir. Bu artış A.B.D. 8015 kWh/kişi' den 12281 kWh/kişi'ye, Almanya'da 4124 kWh/kişi'den 7199 kWh/kişi' olmasına rağmen Pakistan'da 67 kWh/kişi'den 390 kWh/kişi'ye olarak oluşmuştur.

Bu sonuçlarda açıkça göstermektedir ki dünyadaki enerji tüketiminde sanayileşmiş ülkeler yeni sanayileşmekte olan ülkelere nazaran oldukça fazla enerji tüketmektedirler. Bu bir bakıma sanayileşmenin bir belirtisidir. Türkiye açısından bakıldığında kişi başına enerji tüketimi 1970 yılında 241 kWh/kişi iken 1993 yılı itibariyle 1171 kWh/kişi'dir. Türkiye'deki enerji tüketimi artışı ise % 386'dır. (Albaş, 1994)

2.2.4 Konveksiyonel Olmayan Kaynakların Gelişimi

Ek kaynakları, iklimatik ve doğal zorlamalar ile oluşmuş geniş miktarda yakıt olarak Meksika ve diğer kıyı şeritlerinde keşfedilen, kullanılabilir doğal gaz kaynakları, hidrantlar ve ayrıca büyük konveksiyonel olmayan fosil yakıt kaynakları ki bunları tortulu petrol (shale oil) ve katran kumu (tar sands) olarak belirleyebiliriz.

2.2.5 Yaşam Tarzı ve Toprak Kullanışındaki Değişiklikler

Eğer bir toplum sadece açlığını gidermek ve karnını doyurmak için gerekli olan minimum enerjiyle yaşayabiliyorsa bu toplum endüstriyel ve şehrsel bir topluma göre çok az enerjiye ihtiyaç duyar. Yapılan araştırmalar sonucunda açıklanan raporlara göre 1900 yılından beri endüstrileşen ve gelişen toplumlarda şehirleşmeye doğru bir yönelme ve bu yönde bir trend artışı gözlenmektedir. 1900'lü yıllarda gözükken şehirleşmenin tüm arazinin % 30 ile % 10'u arasında bir miktara ulaşacağıdır. (Wilfrid et al, 1979) Şehirleşme aynı zamanda yüksek oranda enerji ihtiyacını getirmektedir. Ortalama Şehir Enerji Tüketim Yoğunluğu 10 W/m^2 'dir.

Dünya gelecek enerji ihtiyacı hakkında çeşitli projeler yapılmakta ve araştırılan ihtimallere kesin çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Enerji modelleri ve enerji senaryoları üretilmektedir. Bunların hepsi teknolojik imkanlar ile demografik, ekonomik, çevresel, sosyal ve politik faktörlere bağlıdır. Henüz net bir sonuç elde edilmemiştir. Şimdiki önemli soru tahmin edilen bu enerji ihtiyaçlarının nasıl ve hangi proje ile karşılanacağı ve bunun geçerliliğidir.

2.3 Enerji Kaynakları

Bizim önümüzde gözükken en basit zorunluluk gelecek 50 yıl içinde onlarca TeraWatt'lık güce ihtiyacımız olacaktır. En basitinden bunu gözönüne alarak bütün potansiyel enerji kaynaklarını geliştirmek zorundayız. (Ör; fosil, nükleer, güneş), burada en iyi enerji karışımını elde etmek ve bu sırada ekonomiklik ve çevresel özellikleri de gözönünde bulundurmalıyız. Yapılan bir konferansta yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi üzerinde durulmuş ve 50 ila 100 yıllık bir gelecekte (2000'li yıllar) güneş enerjisinin ekonomik boyutlara geleceğinin tahmin edildiği belirtilmiştir.

Şu anki koşullarda 1991 yılı itibariyle elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı % 63.8'i termik, % 18.6'sı hidrolik % 17.3'ü nükleer ve % 0.3'ü jeotermaldir.

Elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımına bakıldığında ise % 64.7 termik, % 22.9 hidrolik, % 12 nükleer ve % 0.3'ü ise jeotermaldir. Belki gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimiyle bu paylaşım içine yenilenebilir enerji kaynakları da girebilir. (Albaş, 1994)

2.3.1 Fosil Enerji Yakıtları

Fosil enerji kaynaklarını, kullanılabilirlik, ekonomiklik ve çevresel özellikler gözönüne alınarak incelemek gerekir.

Fosil enerji kaynaklarının yanması ile sonuçta atmosfere çeşitli gazlar ve aerosoller yayılmaktadır. Bu yayılan gazlar dünya yüzeyi üzerinde ısınmaya iklimsel değişimler sebep olmaktadır. Oluşan bu değişimler sonucunda gıdaların yetiştirme ortamları bozulmakta ve dünya yiyecek kaynakları azalmaktadır. Hava şartları üzerinde yapılan model çalışmalar sonucunda alınan verilere göre yılda 1000 TW'lık fosil yakıt kullanımı gerçekleştirdiğimiz takdirde 2030 yılında 1979 yılında atmosferde bulunan CO₂ oranının iki katına sahip olacağız.(Wilfrid et al, 1979) Bu da sonuçta dünya ısısını arttıracaktır. Biz buna sera etkisi diyoruz. Dünya atmosferindeki tabakaların incelenmesi ve CO ve CO₂'nin artması gelen ışınların daha tehlikeli (sağlık açısından cilt kanseri vb.) ve yansıyan ışınların daha az olmasını sağlamaktadır. Birçok bilimadamının ortak düşüncede oldukları şey fosil yakıtlar ve çevre kirlenmesi böyle giderse yakın bir gelecekte çok daha büyük sorunlarla karşılaşacağımızdır. Fosil yakıtları, sadece CO₂ veya diğer kirlenmelerle çevreyi etkilememekte aynı zamanda petrol gibi dünya için önemli bir yakıtın taşınması sırasında meydana gelen kazalar denizlerde ve vahşi doğada toplu ölümlere sebep olmaktadır. Petrol şirketlerinin ham petrolün distilasyonu sonucu elde ettikleri artıkları denizlerde imha etmeyi tercih etmeleri de ayrı bir problemdir.

Özet olarak fosil yakıtların sınırlı olması nedeniyle gelecekte tükenme ihtimalleri belki onları da ekonomik açıdan istenmeyen konuma sokup, toplumda daha az kabul

gören yakıtlar haline getirebilir ve potansiyel bir iklim değiştirici ve zarar verici olan bu yakıtlar yerlerini alternatif enerji kaynaklarına bırakırlar.

2.3.2 Nükleer Enerji Kaynakları

Fisyon ve füzyon reaktörlerinin her ikisi de güç için kullanılabilir kaynaklardır. Şu anki uranyum rezervi 20 milyon ton (yaklaşık 300 TW/yıl) dur.(Wilfrid et al, 1979) Şu anda kullanılan doğal uranyum santrallerinden başka doğal uranyumu plütonyuma dönüştiren hızlı üretken reaktörlerde kullanılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda fisyon ile lityumdan, tritium üretmek mümkün olursa diğer bir enerji kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

Uzay çağında insanlar artık problemlere daha ciddi yaklaşmaktadır. İnsanları bilinçlendiren, uyaran, karar vermesini daha kolaylaştıran ve dünyayı birbirine yaklaştıran T.V.'nin yaygınlaşması ile dünya küçülmüş ve insanlar gelecek konusunda verilen kararlara daha çok sahip çıkmaya başlamıştır.

İnsanlar yavaş yavaş nükleer enerjiden uzaklaşmaya başlamış ve nükleer enerjinin dünya ve çevre üzerindeki yarattığı sorunları istememektedir. Bunları reaktör güvenliği, radyasyon etkisi, atıkların imhası ve nükleer fisyon sonucu elde edilen materyallerin bomba yapımında kullanılma riskinin olması olarak özetleyebiliriz. Bazı otoritelere göre CO₂ emisyonunun potansiyel bir iklim değiştirici olması riski ile nükleer enerji kullanma riski neredeyse aynıdır. Bu durumda ortaya büyük bir enerji sorunu çıkmaktadır.

2.3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Fosil ve nükleer enerjinin her ikisinin de problemlerine sahip olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Konferanslarda gösterilen yenilenebilir enerji kaynakları Şunlardır.

2.3.3.1 Güneş Enerjisi

- a) Solar Termal (su ısınımı, yüzey ısınımı ve soĒuması ile)
- b) Solar Isınma (orta üzeri ve yüksek sıcaklık)
- c) Solar Termal Elektrik DnŐm (STEC)
- d) Fotovoltaik (PV)
- e) Uydu Enerji Sistemi (SPS)
- f) Fotokimyasal dnŐm

2.3.3.2. DiĒer Kaynaklar

- a) Hidrolik Enerji
- b) Jeotermal
- c) Dalga Enerjisi
- d) OTEC (Okyanus Termal Enerji DnŐm)
- e) Gel-git Enerjisi
- f) Rüzgar Enerjisi

g) Biomass

h) Organik Atıklar

Konferans sonucunda ortaya çıkan tabloya göre 2030 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesi 10-20 TW arasında olacaktır. Bu açıklama Raportör Jerame Weingort'ın raporunda yer almaktadır.

Birçok yenilenebilir enerji kaynağı şu anda potansiyel olarak kullanılmayan toprakları (alanları) kullanır. Ortalama dünya toprağının yaklaşık % 10'u şu anda toprak işlemekte kullanılmaktadır. Diğer % 14'ü mera ve çayır olarak kullanılır ve % 15'i de çöldür. (Wilfrid et al, 1979) Yalnız yaklaşık 1.10^6 km yada diğer bir deyimle çöl alanının % 5'i kullanılarak 50 TW'lık elektrik enerjisi yüksek verimli Güneş Termal Elektrik Çevrimi (STEC) ile elde edilebilir. Buna dayanılarak Amerika'nın ve Avrupa'nın toplam gelecek enerji ihtiyacı STEC ile alanın % 1 veya % 3'ü kullanılarak elde edilebilir. (Wilfrid et al, 1979)

İhtiyaç duyulan metal (çelik), beton ve diğer materyallerin gelecekte bol olarak bulunabilme ihtimali yüksektir. Bir güneş kulesi yapımında her 1000 MW için gerekli materyal 1-30 milyon ton arasındadır.

Güneş enerjisi konusunda fazla bir soru kalmamıştır. Geniş ölçülerde kullanıldığında doğal efekt üzerinde tepki yaratabilir. STEC, Fotovoltaik Sistem ve solar termal hidrojen (H_2) sistem kullanıldığında bunun yüzey sıcaklık değişimi, yüzey özellikleri ve hidrojeolojik karakteristiklerde bölgesel değişikliklere sebep olabilir. Uydu güç sistemi doğal denge üzerinde belki etki yaratabilir. Üretimi ve işletimi sırasında bu etki oluşabilir. OTEC (Okyanus Termal Enerji Dönüşümü)'e geldiğimizde ise bu sistem okyanuslardaki, deniz ve göllerdeki sıcak ve soğuk su kütleleri arasındaki çok yüksek değerlere varan hareket enerjisinden faydalanır. Özellikle son on yıldaki dev teknolojik gelişmeler bu hareket enerjisinin, elektrik enerjisi formunda elde edilmesini sağlamıştır. OTEC'in çevre kirliliği yapıp yapmaması konusunda ise iki düşünce vardır.

1) Çok az ısınmış olan su kütlesinin (kondenserden geçen) iklim şartları üzerine etkisi.

2) Nispeten değiştirilmiş sıcaklık ve yerel su sirkülasyonunun deniz canlıları üzerine etkisi.

Bu daha kanıtlanamamış ve düşünce boyutunda kalmıştır.

2.4 Türkiye'nin Enerji Potansiyeli

Ülkemizde üretilen enerji 1993 itibariyle 39856.6 GWh termik ve 33950.9 GWh hidrolik olmak üzere toplam 73807.5 GWh'tir. Buna göre elektrik üretiminin % 54'ü termik, % 46'sı hidrolik kaynaklardan yapılmaktadır. Kurulu güç olarak bakıldığında 10443.4 MW termik, 9681.7 MW hidrolik yani toplamda 20125.1 MW'tir. Buna göre % 51.9'u termik, % 48.1'i hidrolik enerji olarak gözükmektedir. Oranlardan da görülebileceği gibi ülkemizin tükettiği enerjinin çoğunluğu termik enerjiden oluşmaktadır.

Türkiye 1970 yılı itibariyle 8623.0 GWh elektrik enerjisi üretmekte ve potansiyel talep de bu boyutta gelişmekte idi. 1971 yılı ile 1983 yılları arasında ülkemiz belirli oranlarda zorunlu tasarruf yapmak zorunda kalmıştır. 1983 yılından sonra üretimin artması ve ithalat ile desteklenmesi ile arz-talep dengesi yaratılmıştır. 1975 yılında ilk ithalat 96.2 GWh ile başlamış ve 1984'te 2653 GWh ile maksimuma ulaşmıştır. 1993 yılındaki tablo ise üretim 73807.5 GWh, ithalat 212.9 GWh olmak üzere toplam arz 74020.4 GWh olarak gözükmektedir. Denge, arz ve talebin aynı boyutta kalması ile sağlanmıştır.

Enerjideki talebin artması ile üretimin bunu karşılayabilme kapasitesi yapılan tahminler ile bulunmaya çalışılmaktadır. Yapılan araştırmalar ile ortaya çıkan sonuçlar şöyle verilebilir.

2000 yılı itibariyle üretim 39498 (Bin TEP), talep 90083 (Bin TEP), ithalat 50585 (Bin TEP). Talebin yerli üretimle karşılanma oranı % 44.

2010 yılı itibariyle üretim 59867 (Bin TEP), talep 155586 (Bin TEP), ithalat 95718 (Bin TEP). Talebin yerli üretimle karşılanma oranı % 38.

2010 yılındaki talep açılırsa, sanayi sektörü 57493 (Bin TEP), konut 33193 (Bin TEP), ulaştırma 21722 (Bin TEP), tarım 5862 (Bin TEP), enerji dışı 1880 (Bin TEP), çevrim sektörü 35436 (Bin TEP) dır.

(Albaş, 1994)

Ülkemiz ekonomisinin tarımdan sanayiye hızlı bir şekilde kayması ve göçün oluşturmuş olduğu zorunlu şehirleşme sonucu elektrik enerjisi ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışın karşısında talebin alışılmış kaynaklar ile karşılanması imkansızdır. O halde tüm ülkeler yeni enerji kaynaklarını, özellikle coğrafi konumlarına en uygun türleri değerlendirmek zorundadır. Bunun en önemli kanıtlarından biri de Türkiye'nin son dönemde düşmüş olduğu enerji darboğazıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan yapılan açıklamalarda Türkiye'nin 3.500-4000 MW'lık kurulu güç eksikğine sahip olduğu ve bu eksikğin bu sene olmasa bile 1997 ve 98 yıllarında enerji açığı yaratacağı söylenmektedir.

3. Dalga Enerjisi

3.1 Genel Bilgi

Yıllardan beri insanoğlunun en vahşi rüyalarını dalgadan enerji üretimi kaplamıştır. Elektrik enerjisi üretimi için çeşitli ciddi atılımlarda bulunulmuştur. 1970'lerde bir sürü insan ve firma bu konuda patent alma yarışına girmişlerdir. Bu firmaların ürettiği cihazların çoğu komplike ve okyanus fırtınalarının çok yüksek gücünün, yüzey üzerinde kırınımı ile ilgiliydi.

Aletler, dalgadan enerji çevrimini yani sonuçta elektrik enerjisi eldesini solar aletlere göre daha yüksek güç yoğunluğu ile yapmaktadırlar.

Dalga enerjisi kesikli bir kaynaktır; bu nedenle depolama alt sistemlerine ihtiyaç duyar. Dalga enerjisi ile, H₂ üretimi, su pompası çalıştırılması ve hava depolama, batarya şarjı gibi depolama işleri yapıldığı takdirde, dalga enerjisinden sürekli yararlanılabilir.

Denizlerdeki dalgalar temelde üç etki sonucu oluşmaktadır. Bunlar:

- Denizlerde oluşan depremlerin ve deniz dibi çökmelerinin yol açtığı dalgalar,
- Rüzgarların ve fırtınaların oluşturduğu dalgalar,
- Gel-git olayından kaynaklanan dalgalar

Deprem Dalgaları

Denizlerde oluşan deprem ve çöküntülerin oluşturduğu dalgalar, uzun periyodlu olup, derin okyanuslarda hızla yol alırlar. Bunların genlikleri ya da dalga yükseklikleri derin okyanuslarda düşüktür. Kıyılarına ulaştıklarında hızları azalır ancak, dalgadaki enerji aynı kaldığı için dalga yüksekliği artar. Kıyılarda yıkıcı zararlara yol açan bu

dalgalar genellikle, Japonca'da liman dalgası anlamına gelen bir terim olan "tsunami" sözcüğü ile tanımlanırlar. Bu dalgalardan enerji elde etme olanağı bugün için yoktur; depremin yeri belirlenirse, depreme yakın kıyılarda yaşayanlar uyarılarak bu dalgaların zararlı etkilerinden korunmaları sağlanabilir.

Rüzgarların Oluşturduğu Dalgalar

Enerji elde etmede üzerinde durulan dalgalar, rüzgarların oluşturduğu okyanus dalgalarıdır. Derin sulardaki deniz dalgalarında çok büyük enerji yoğunlukları oluşabilmektedir. Dalgadaki güç, dalga genliğinin karesiyle ve dalga periyodu ile orantılıdır. Sözelimi uzun periyodlu (10 s gibi), büyük genlikte (2 m gibi) bir dalganın, birim genişliğindeki enerji akısı 50-70 kW dolaylarında olabilmektedir. Bu yüzden, derin deniz dalgaları, enerji elde etme üzerinde çalışılan ve uygulamaları olan enerji kaynaklarıdır.

Rüzgarla Dalga Oluşumu

Deniz yüzeyi üzerinde bulunan hava, rüzgar etkisi ile belli bir yönde yol almaya başladığında, deniz yüzeyine bir sürtünme kuvveti etki ettirir. Bu kuvvet ile deniz yüzeyindeki su molekülleri, denge konumlarından ayrılma eğilimi içine girerler. Böylece deniz yüzeyi karışmaya başlar. Bu şekilde oluşan dalgacıklara "kılcal dalgalar" denir. Bu dalgaların oluşmasında, hava moleküllerinin su moleküllerine etki ettirdikleri dengeden ayırıcı kuvvete karşılık, suyun yüzey gerilimi kuvvetiyle su moleküllerinin ağırlık kuvveti dengeye geri getirici kuvvet olarak davranırlar. Böylece, dengeden ayrılma ve dengeye dönme devinimi bir dalga oluşmasına yol açar ki, bunun en yalın biçimi bir sinüs dalgasıdır. Kılcal dalgalar oluşuktan sonra, rüzgar esmeye devam ederse daha büyük dalgalar oluşmaya başlar. Dalgaboyu 1.7 cm'den büyük dalgalar artık kılcal dalgalar olmaktan çıkarlar ve yüzey geriliminin etkisi önemini yitirir.

Dalgaların oluşmasında rüzgar hızının etkisi, rüzgarın ne kadar süre estiğine, rüzgar hızında ve yönündeki değişimlere, ayrıca denizde engellerin olup olmasına yakından bağlıdır. Pratikte, rüzgarın hız ve yönündeki değişimlerden ötürü birçok farklı büyüklükteki dalgalardan oluşmuş “dalga tarlaları” ortaya çıkar.

Tek bir derin-su dalgası gözönüne alındığında, bu dalgadaki su moleküllerinin devinimleri çemberseldir. Bu çembersel devinim, yarıçapı üstel olarak küçülerek denizin dibine doğru sürer ve dalgaboyunun yarısından daha derinlerde önemsizleşir. Buna göre, derin-deniz dalgalarında suyun yatay düzlemde net bir yerdeğiştirmesi yoktur. Su parçacıkları çembersel devinimleri ile aynı yerlerini korurlar. Bu dalgalarda su parçacıklarına etki eden kuvvetler, ağırlık kuvveti ve çembersel devinimden kaynaklanan merkezkaç kuvvettir. Suyun yüzeyi, her zaman bu iki kuvvetin bileşkesine dik olacak biçimi alır. Yüzeydeki bir su parçacığının çembersel deviniminin yarıçapı, dalganın genişliğine eşittir. Dalga yüksekliği bu genişliğin iki katıdır. Dalga yüzeyinin biçimi, dalganın sürekli ilerlediği izlenimini verir, oysa suda bir ilerleme sözkonusu değildir. Üstteki bir parçacık daha düşük bir konuma geçerken, onun yanındaki daha yüksek bir konuma gelir ve böylece dalganın ilerleme görünümü sağlanır.

Gelgit Dalgaları

Gelgit dalgaları, yukarıda açıklanan dalga türünden, hem oluşum nedeni hem de özellikleri açısından farklıdır. Gelgit, Dünya, Ay ve Güneş arasındaki etkileşimden kaynaklanan periyodik bir olaydır. Gelgit dalgaları ile enerji elde eden sistemler, bizim kullandığımız sistemlerle özdeş olmadığından konumuz dışındadır.

3.1.1 Avantajları

En büyük avantajı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi bedava ve yenilenebilir enerji kaynağı olmasıdır. Dalga enerjisi makinaları, güneş ve rüzgar enerjisi kadar geniş bir alan kullanmamakta, ayrıca kirlilik yapmamaktadır. Çünkü bu sistemde su yoluyla gelen suyun sabit yüzeye çarpması sonucu enerji elde edilmektedir.

Böylece dalga aktivitesinin yüksek olduğu yerlerde gerektiği gibi yerleştirilmiş bir aletler dizisi elektrik üretimine ilave olarak sahilleri, bu tip dalgaların zarar verici etkilerinden koruyabilir, erozyonu minimuma indirmeyi sağlayabilir, hatta suni limanlar oluşturmaya yardımcı olabilir.

Aletlerin zigzag düzende sıralanmış olması bunu gerçekleştirmek için önerilmiştir.

3.1.2 Dezavantajları

Birkaç dezavantajı vardır. Diğer birçok yenilenebilir enerji kaynağında olduğu gibi enerji düşümleri ve süreksizlik yaşanabilir. Daima aynı enerjiyi elde etmek mümkün olmayabilir. Ulaşılabilir yerlerde dalga etkinliği çok yüksek olarak görülmektedir. Ayrıca önerilen birçok alet nispeten komplikedir ve fırtınalı denizin büyük gücüne dayanabilecek mekanik dayanım gerekliliğinden yoksundur.

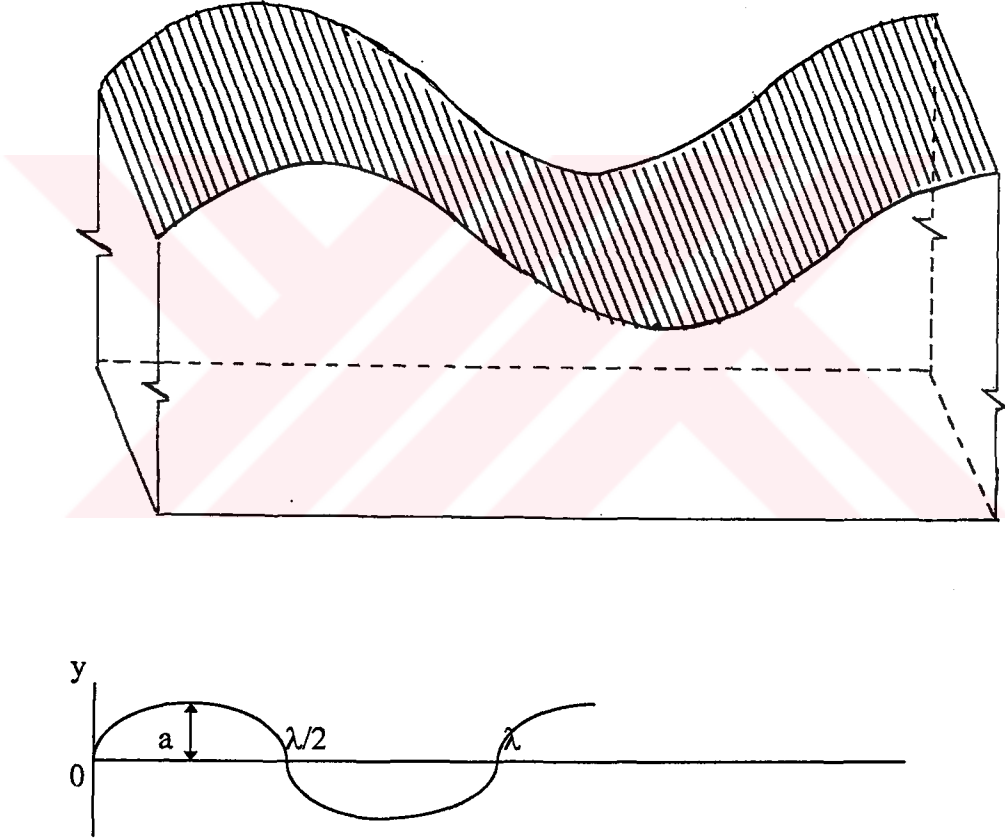
Deniz organizmalarının biyolojik oluşma problemi olduğu kadar, yatırım kapitali, bakım masrafları, onarım ve yerleştirme maliyeti ve bazı ek masraflar nispeten bilinmez ve bu, işin önemli bir kısmı gibi görülür.

Dünyada dalga enerjisi eldesi için uygun mekanlar şöyle sıralanabilir, Malokoi ve Alenuihoho Kanalları (Hawaii Adası)'nda normal rüzgar periyodunda 2-3 m yüksekliğinde dalgalar elde edilmektedir. Kuzey Amerika pasifik kıyılarında, Pakistan ve Hindistan Arab Denizi'nde, İskoçya'nın kuzey atlantik kıyılarında, İngiltere ve Norveç'te dalga enerji yoğunluk oranı olarak bakarsak bu oran Akdeniz'de 275 MWh/m

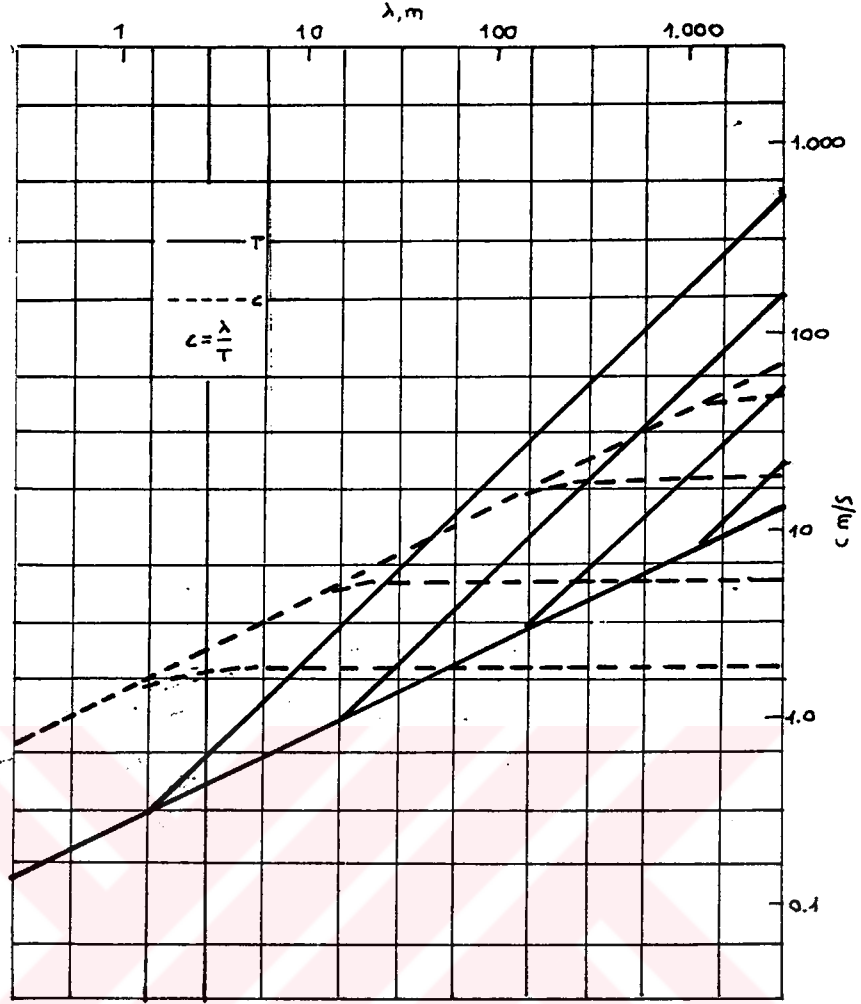
ve Kuzey Atlantik ve İskoçya ile İrlanda'nın batısında 535 MWh/m'dir. (Merrick et al 1981)

Son olarak dalga enerjisinden elektrik enerjisi eldesi konusunda uzun zamandır çalışmalar yapan Norveç ile 1988 yılında Bali hükümeti arasında Güney Pasifik'te bir dalga gücü santrali kurulması anlaşması imzalanmıştır. Bu santral Tapchon (Konik Kanal) cihazını kullanacaktır. (Williams 1994)

3.2 Dalga Enerjisi ve Güç:



Şekil 3.1 0 anından θ anına kadar dalga ve genliğin iki boyutlu gösterimi.



Şekil 3.2 Periyod, akım, dalga uzunluğu ve derinliğin çeşitli gösterimi.

Şekil 3.1'de hareketli dalgalar iki boyutlu olarak gösterilmektedir. Buradaki parametreler

λ : Dalga Boyu m

a: Genlik m

2a: Yükseklik (tepeden çukura) m

T : periyod, s

f : frekans $1/T$, s^{-1}

c: Dalga yayılım hızı λ / T , m / s

n: Faz oranı $= 2\pi / T$, s^{-1}

Periyod ve dalga hızı; dalga uzunluğuna ve su derinliğine bağlıdır. Şekil-3.2'deki kesik kesik çizgilerin altında kalan alan en fazla geçerliliği olan dalgaları ifade eder. Dalga boyu ile periyod arasındaki ilişki şu formüllerle ifade edilebilir.

$$\lambda = 1.56 T^2 \quad (\lambda = m, T = s)$$

Şekil-3.1 aynı zamanda iki boyutlu izometrik dalgaları da göstermektedir. Bu dalgalar "0" zamanından başlanarak, sinüsoidal basit harmonik dalgalarla anlatılmaktadır. Bu olay ayrıca θ gibi bir zamanda genelleştirilmektedir.

$$y = a \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} \theta \right) \quad \text{veya} \quad (3.1)$$

$$y = a \sin (mx - n\theta)$$

Burada

y = Yükseklik, yani seviye; m

θ = zaman, s

$$m = \frac{2\pi}{\lambda}; m^{-1}$$

Faz aralığı;

$$(m\alpha - n\theta) = 2\pi (x / \lambda - \theta / T) \quad (3.2)$$

Dalga profili “ θ ” ve “ 0 ” zamanlarında aynı şekle sahiptir. Bunun dışındaki fark mesafenin $x = \lambda\theta / T = \theta (n / m)$ olarak ifadesidir. $\theta = T$, $x = d$ olduğu zaman dalga profili kendi orijinal pozisyonunda sayılabilir.

Her ne kadar dalga hareketi çoğunlukla yatay devam ederse de x yönünde artan $c = \lambda / T$ hızı ile, bu aldatıcı görünmektedir. Gerçekte, su üzerine bir mantar yerleştirildiği zaman yükselen dalga düzleminde dönmekte olan su taneciklerinin içinde yüzeyde özel, dik ve yatay yarı eksenler ile eliptik bir patika oluşur. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu politikadaki su partikülleri farklı derinliklere sahiptir.

$$\alpha = a \frac{\cosh m \cdot \eta}{\sinh m \cdot h} \quad (3.3)$$

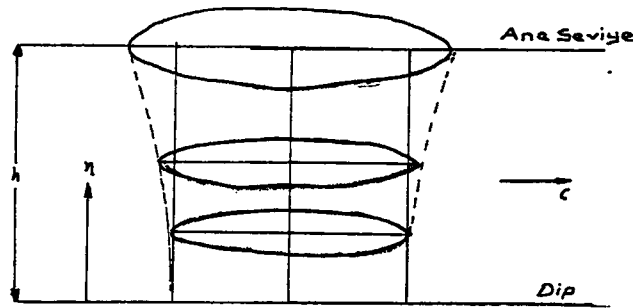
$$\beta = a \frac{\sinh m \cdot \eta}{\sinh m \cdot h} \quad (3.4)$$

Burada $\alpha =$ Yatay yarı düzlem.

$h =$ Dalga derinliği

$\beta =$ Dikey yarı düzlem.

$\eta =$ Dipten mesafe.



Şekil 3.3 Değişik yüksekliklerdeki eliptik bölgeler.

3.3 ve 3.4 eşitliklerinde genellikle $\alpha > \beta$ dir. β 'nin "0" dan varyasyonlarına göre dipte $\eta = 0$ 'dan a'ya yüzeyde $\eta = h$ ve çok büyük derinliklerde $\alpha \approx \beta \approx a$ 'dır ve dalgalar yüzeyde gerçek daireseldir. Sonuçta bir dalga potansiyel ve kinetik enerjilerin ikisine de sahiptir.

3.2.1 Dalgalardan Enerji ve Güç

Dalgaların sonuç enerjisi, potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamından oluşur.

3.2.1.1 Potansiyel Enerji

Potansiyel enerji $y = 0$ seviyesinden olan yükseklikle oluşmaktadır. Bunun diferansiyeli $y dx$ 'tir.

Potansiyel enerji:

$$dPE = m \frac{yg}{2g_c} (py dx L) \frac{yg}{2g_c}$$

$$= \frac{\rho L}{2} y^2 dx \frac{g}{g_c}$$

Burada, m: $y dx$ içindeki likit kütlesi; kg

g : Yerçekimi ivmesi m / s^2

g_c : çeviri çarpanı $1.0 \text{ kg. m} / (\text{N.s}^2)$

ρ = Su yoğunluğu kg/m^3

L = Doğrultuya ya da dalga yüksekliği x 'e dik, iki açılı dalgalarda keyfi genişlik,

m

Düzenlemeler yapıldığında

$$\begin{aligned}
 PE &= \frac{\rho L a^2}{2} \frac{g}{g_c} \int_0^\lambda \sin^2(mx - n\theta) dx \\
 &= \frac{\rho L a^2}{2m} \frac{g}{g_c} \left[\frac{1}{2} mx - \frac{1}{4} \sin 2mx \right]_0^\lambda \\
 &= \frac{\rho L a^2}{2m} \frac{g}{g_c} \left[\frac{m\lambda}{2} \right] = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda L \frac{g}{g_c}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

3.2.1.2 Potansiyel Enerji Yoğunluğu

Bir bölge için potansiyel enerji yoğunluğu PE / A , burada $A = \lambda L$ (J / m^2)

$$\frac{PE}{A} = \frac{1}{4} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \tag{3.6}$$

3.2.1.3 Kinetik Enerji

Kinetik enerji likitin (sıvının) iki dik alan arasındaki dikey doğrultudaki dalga hareketleri x ve dalga uzunluğundan ayrı bir yerde oluşur.

$$KE = \frac{1}{4} i \rho L \frac{g}{g_c} \int \omega d\bar{\omega} \tag{3.7}$$

Burada

$$\omega = \frac{ac}{\sinh(mh)} \cos(mz - n\theta) \text{ dir.} \tag{3.8}$$

z, keyfi referans noktasından farklı bir ölçüdedir. Yukarıdaki formülü integre edersek,

$$KE = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda L \frac{g}{g_c} \quad (3.9)$$

3.2.1.4 Kinetik Enerji Yoğunluğu

$$\frac{KE}{A} = \frac{1}{4} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \text{ olur.} \quad (3.10)$$

3.2.1.5 Toplam Enerji ve Güç

Buradan görüleceği gibi potansiyel ve kinetik enerjiler ilerleyen sinüs dalgaları ile özdeşdir. Bundan dolayı toplam enerjinin, yarısı kinetik enerjiden yarısı potansiyel enerjiden oluşur.

$$\text{Toplam Enerji} = \frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \text{ (J / m}^2\text{)} \quad (3.11)$$

Tipik bir dalganın, yayılma yönüne dik olacak tarzda, birim alan içinden taşıdığı enerjiye Güç Yoğunluğu denir.

Sonuçta, Güç Yoğunluğu, W/m^2 veya $(J/m^2.s)$ birimleriyle ifade edilir. Formülü ise,

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho a^2 f \frac{g}{g_c} \text{ dir.} \quad (3.12)$$

Örnek: 2 m'lik bir dalga, periyodu 6 s, 100 m derinlikte suda yüzeyde oluşmaktadır. Dalga boyu, dalga akımı, yüzeydeki dalga hareketleri için yatay ve dikey yarı eksenleri ile enerji ve güç yoğunluğunu bulunuz. (Suyun yoğunluğu 1025 kg/m^3)

Çözüm:

$$\text{Dalga boyu} \quad \lambda = 1.56 \times 6^2 = 56.16 \text{ m}$$

$$\text{Dalga hızı} \quad c = \lambda / T = 9.36 \text{ m/s}$$

$$\text{Dalga yüksekliği } 2a = 2\text{m} \quad \text{Genlik } a = 1 \text{ m}$$

$$m = 2\pi / \lambda = 2\pi / 56.16 = 0.119 \text{ m}$$

$$\text{Yüzeyde } \eta = h = 100 \text{ m}$$

$$\text{Yatay yarı eksen} \quad \alpha = 1 \times \frac{\cosh 11.19}{\sinh 11.19} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Dikey yarı eksen} \quad \beta = 1 \times \frac{\sinh 11.19}{\cosh 11.19} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Frekans } f = 1 / T = 1 / 6 \text{ s}$$

Enerji yoğunluğu,

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

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1^2 \times \frac{9.81}{1}$$

$$= 5027.6 \text{ J / m}^2$$

Güç yoğunluğu

$$\frac{P}{A} = \frac{E}{A} \cdot f = 5027.6 \times \frac{1}{6} = 837.9 \text{ W / m}^2$$

Yüksek derinlik sebebiyle, yarıdüzlemler eşit çıktı. Bu durumda hareket daireseldir. Eğer aralarında küçük bir fark olsaydı dalga hareketi dik olacaktı.

Her zaman 2 m dalga bulunamaz. Bununla birlikte sakin veya az hareketli zamanlarda orta bölgelerde % 50 oranında bu dalga yüksekliği elde edilir. Bir zaman periyodu üzerindeki toplam güç ve enerji yoğunluğunu hesap içinde, bu tayf verilebilmektedir. Bu sonucu Amerika Birleşik Devletleri'nin güney batısındaki ortalama günlük güneş etki alanı ile karşılaştırırsak, buradaki güç yoğunluğu yaklaşık 240 W / m² 'dir. Sonuçta bakıldığında dalga güç yoğunluğunun çok fazla olduğu görülür. Fakat elektrik enerjisi üretiminde bu faktörün yanında birçok yan faktör rol oynamaktadır. Bunlar arazinin ve ekipmanların maddi yükü; operasyonun maddi yükü, enerji depolamanın maddi yükü ve diğer faktörlerdir.

3.3 Dalga Enerjisi Dönüşüm Teknikleri

3.3.1 Yüzer Şamandıra İle Dalga Enerjisi Dönüşümü

Daha önceki bilgilerde de görüldüğü gibi dalga hareketi birincil yataydır. Fakat su hareketi birincil dikeydir. Bundan dolayı yüzer şamandıra ile mekanik güç eldesi sağlanabilir. Sistemin ana yapısı geniş bir yüzey ve bu yüzeyin sabit mesnetler üzerinde aşağıya ve yukarıya hareket etmesidir. Sabit mesnetler yüzeye kılavuz görevi görmektedir. Bu aşağı-yukarı gidip gelme hareketi mekanik enerjiye dönüşmekte buradan da elektrik enerjisi elde edilmektedir. Sistem şekilde de görüldüğü gibi platformun bir parçası olan dört dikey manifold tarafından yönlendirilen ve su ile aşağı yukarı hareket ettirilen bir kare yüzeyden oluşmaktadır. Platform su içinde, dört büyük sualtı yüzer tank tarafından stabilize edilmektedir. Dalga hareketleri sırasında kaldırma

kuvveti tarafından desteklenen tank fazla önemli olmayan yatay ve dikey yer değiştirmeler yapmaktadır. Gerekli olduğu takdirde dizaynda sönüm omurgası kullanılabilir. Eğer su derinliği izin verirse, yığınak yaparak sabitleme diğer bir alternatif olarak görülebilir. Platform istenilen yoğunluğa ve mukavemete çekirdek olarak kullanılan köpük plastik ve bununla yapılan plastik kalıplarla ulaşmaktadır. şamandıranın üzerindeki pistonun ileri geri hareketi silindir içinde olmaktadır. Bu piston, silindir ikilisi sanki bir hava kompresörüyümüş gibi kullanılmaktadır. Pistonun aşağı hareketi sırasında açılan valf ile emiş çek valfinden hava emilmektedir. Yukarı olan harekette de içinde bulunan hava sıkışmakta ve açılan çıkış çekvalfi ile hava dört manifoldu kullanarak, aşağıdaki dört sualtı yüzer tanka ulaşmaktadır. Burada hava depolarında saklanmaktadır.

Daha sonra tanklar içindeki sıkıştırılmış hava, hava türbinine gönderilerek dönmesi ve aynı zamanda bir elektrik jeneratörünü de hareket ettirmesi için kullanılır. Buradan elde edilen elektrik enerjisi sualtı kabloları ile kıyıya ulaştırılır. Sistemin verimi strok hacmine ve boşluğuna, dalga yüksekliğine ve giriş koşullarına bağlıdır. şamandıra yüksekliği piston stroku elde etmek amacıyla 2a dalga yüksekliğinden daha az bir yüksekliktedir.

Hava sıkışmaya, atmosferik basınç, hacim ve sıcaklık şartlarında girmektedir (P_0, V_0, T_0), daha sonra P_1, V_1, T_1 olmaktadır, depolama tankında soğumakta ve tekrar T_0 olmaktadır. (İzotermal sıkıştırma için) Yeni hacim $V_2 = V_0 P_0 / P_1$ ve basınç $P_2 \approx P_1$ olarak kabul edilirse; olayın ideal (adyabatik dönüşüm) olduğunu varsayarsak, iç, J / kg

$$\frac{W_{\text{türbin}}}{m} = C_p T_0 \left[1 - \left(\frac{r_c}{r_e} \right)^{(k-1)/k} \cdot r_c^{(1-k)/k} \right] \quad (3.13)$$

Burada;

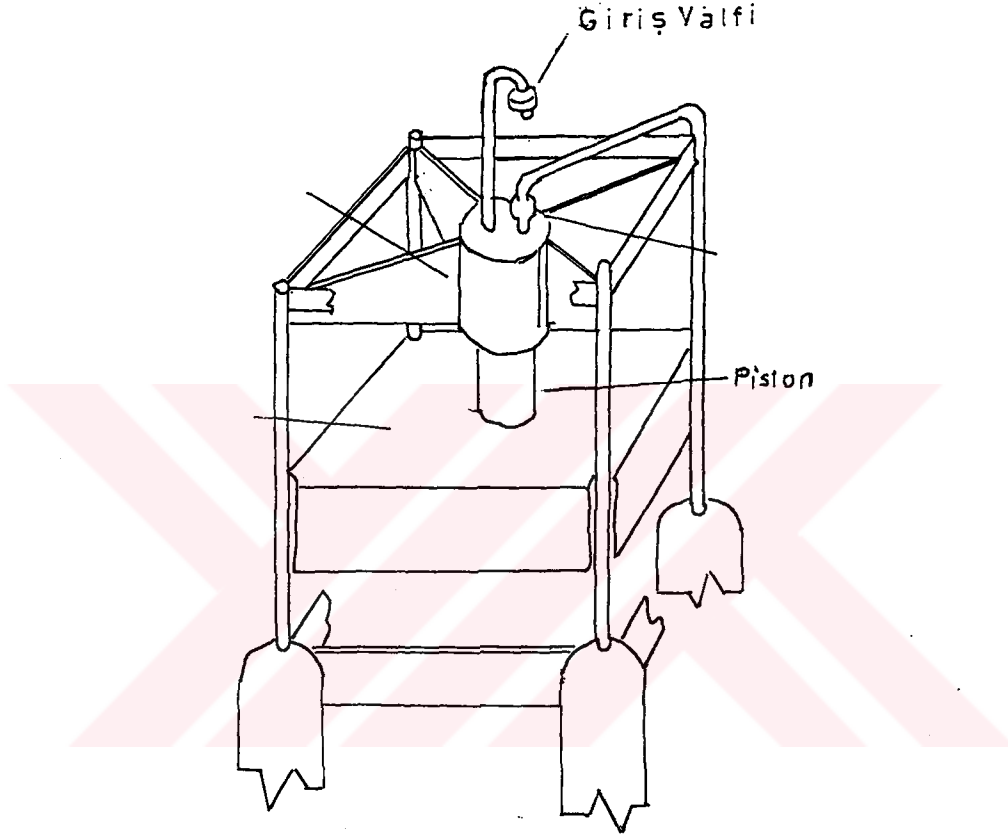
m = hava kütlesi kg

C_p = Sabit basınçta özgül ısı kJ / kg K

$r_c = \text{Kompresör basınç oranı} = P_1 / P_0$

$r_e = \text{Genleşme oranı (türbinde)} = P_2 / P_3 = P_1 / P_3$

$P_3 = \text{Türbinde eksozt basıncı, } P_a$



Şekil 3.4 Yüzer şamandıra.

Optimize edilmiş bir sistemde (Şekil 3.4'teki gibi) güç yoğunluğu yaklaşık olarak $0.538 \text{ kW} / \text{m}^2$ dir.

Güneş enerjisinin güç yoğunluğunun dalga enerjisi güç yoğunluğu ile karşılaştırıldığında çoğunlukla % 10 daha düşük olduğu görülür. Fakat diğer bazı problemler vardır. Bunlar

- 1) Dalgalar mükemmel sinüsoidalliğe sahip değildir.

- 2) Girişte su aspirasyonu ve büyük dalgalarda batma ihtimali
- 3) Türbine su girmesi
- 4) Malzeme problemi maliyet ve korozyon kalıp plastik kullanılarak önlenbilir.)
- 5) Canlı yerleşimleri
- 6) Kıyı ile güç iletişimi.

3.3.2 Kıyıya Sabitlenmiş Platform Yardımıyla Salınlı Su Sütunundan

Dalga Enerji Dönüşümü

3.3.2.1 Giriş

Yapılan araştırmalarda pratik olarak enerji dönüşümünün salınlı su sütunu kullanılarak (OWC - Oscillating Water Column) ve sabitlenmiş platform üzerinde bir türbin ile yapılabileceğini göstermiştir. Bu sistemlerde bir güç santrali, kıyı boyunca dizilmiş lineer sıralı birçok platformun kıyı ile sualtı kablolar aracılığı ile ilişkilendirilmesi sonucu oluşturulmaktadır.

OWC konsept cihazı deniz sebebiyle oluşan dalga alanı içindeki enerjiyi kullanır, cihaz bunu hareketli veya sabit bir odanın içinde bir boşluk içinde sabitler, boşluk içinde yatay salınlımda olur, bu suretle alternatifli olarak boşluk içinde havayı iterek veya çekerek boşluk içindeki bir açıklıktan türbin tepesine doğru gönderir, böylece dalga enerjisi kullanılabilir enerjiye dönüşür.

Dalga enerjili santrallerin, dizayn, bakım ve ekonomik görünüşü İngiltere ve İskoçya çevresindeki sistem için karşılaştırılmıştır. Konstrüksiyon, canlı üreyişi ve platform dizaynı için hafif petrol endüstrisinin pratik bilgileri hesaba katılmıştır. Bu bilgiler ışığında dizayn yapılmıştır. Bu bilgiler sayesinde küçük bir çalışma ile kullanılabilir, kıyıya sabit platform teknolojisini ilerletmişlerdir.

3.3.2.2 Tarihçesi

Dalga enerjisi, 77'li yıllarda örneklemelerle araştırılmaya başlanmıştır. Özellikle Büyük Britanya'da bu kaynak ciddi ve sistematik bir şekilde düşünölmeye ve güç için pratik bir kaynak olarak görölmeye başlamıştır. İngiltere ve İskoçya dünyanın en enerjik dalga alanlarından bazılarına sahiptir. Bu alanların potansiyeli tahminen 6,7 GW'tır ki bu da, yaklaşık İngiltere'nin şu anki (1983) ihtiyacının % 25'i demektir.(Green et al, 1983) Gelişebilir diğere bölgelere bakarsak bunlar Norveç, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzeydoğı ve kuzeybatı kıyılarıdır.

Büyük Britanya enerji departmanı yaklaşık 26 milyon Amerikan doları, 1975 yılından beri dalga enerjisinin araştırılması için harcamıştır. Program 1986 yılında bir prototip, 1990 yılında da tam donanımlı bir cihaz yapımıyla başarıya ulaşmış olacaktır.

Bu tip bir cihazı kullanmanın diğere dalga enerjisi cihazlarına göre avantajları:

- 1) 30 yıllık bir ömür gerçekleştirilebilir.
- 2) Sigortalanabilir. (petrol platformları ile benzerliğinden)
- 3) Türbin / jeneratör ve güç / transmisyon ekipmanlarının bakımı basittir.
- 4) Platform inşaatındaki düzenlemeler ile kıyı gemiciliğini engellemez.

Şamandıra hareketinin ayarlandığı durumda, d şamandıralar arasındaki boşluk ve $0 \leq d / \lambda \leq 1$ 'de λ dalga boyu iken

$$q = d\pi / \lambda \quad (3.14)$$

olduğı bulunmuştur. Şamandıralar arası olumlu etkileşime bağı oluşan dalga odaklanması; d, λ 'ya yaklaştıkça keskin bir şekilde düşmüştür. Şimdiki çalışma referans çalışmasında kullanılan ideal deniz yerine, gerçek denizde gerçekleştirildiğinden $d / \lambda = 0,7$ olarak kabul edilmiştir. Bundan dolayı, $d / \lambda = 0,7$ aralıklı şamandıraların

lineer sırası ile oluşan her bir şamandıranın etkileşim etkisi $q \cong 2.2$ idi. Böylece eğer platform / OWC'nin sırası şamandıra sırası gibi davransaydı her bir platformlar tarafından verilen güç teorik olarak, iki katından fazla olabilirdi.

Teorik ve deneysel olarak, büyük uzunluktaki dalga tepelerinden şamandıra üzerine gelen dalga gücünü yakalayan kaldırma gücü ayarlı yakalama şamandırası gösterilmiştir. Bu yakalama genişliğinin $\lambda / 2\pi$ olarak ifade edilebileceği bulunmuştur. Hem kaldırma gücü ayarlı şamandıralar hem de OWC tek serbestlik dereceli sistemlerdir, aynı yakalama genişliğinin bu duruma da uygulandığı farz edilmiştir.

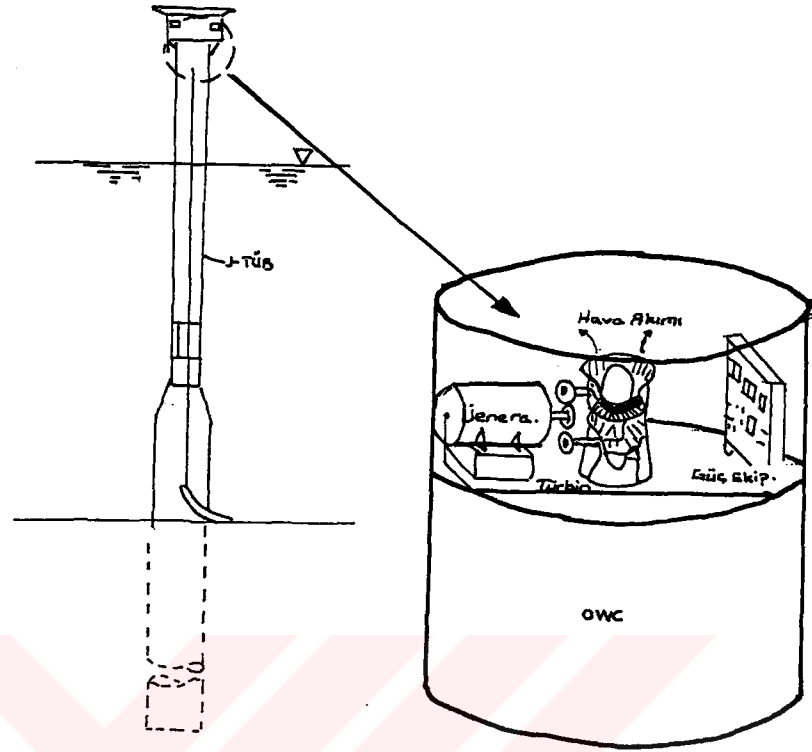
OWC'nin alçak ucundaki eksenel simetrik açıklığa olası alternatif Robinson'un çalışmasıyla önerilmiştir.

Bölgesel açıklık, OWC'nin kinetik ve potansiyel enerjinin her ikisini de yakalamasına destek olmaktadır. Bundan dolayı yalnız potansiyel enerjinin, iki katı enerji çıkartılabilmektedir. Önemli olarak; eğer tek kullanılan bir ön açıklıksa, etkileşim etkisi (q) değişkenlik kazanabilir.

3.3.2.3 Sistem Tanımlaması

OWC su sütununu ayarlayan bir dalga makinası olarak kategorize edilebilir. Bu bir antene benzetilebilir. Buradaki fark lokal dalga koşulları ile rezonanstır. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi; OWC platformları vardır. Silindirik OWC platform ayakları ile ilişki içindedir.

Türbin, jeneratör ve iletişim elemanları kapalı bir güverte içindedir. Jeneratörden gelen elektrik enerjisi, her bir platform için, deniz yatağını kullanan kablolarla iletilmektedir. Bu platformdan, platforma devam eder. Bu sistemde de standart petrol teknolojisinden yararlanılmıştır. Bu sayede yükselen kablonun dinamik problemleri elenmiştir.



Şekil 3.5 OWC platformu ve ekipmanları.

Sistem için dalga periyodu $T_w = 10$ s ve $\lambda \cong 150$ m belirlenmiştir. Ayarlanmış su sütununun periyod ile yankısı;

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{g + g_a}{L_1 + a_w}} = \frac{1}{T_w} \quad (3.15)$$

T_c = OWC'nin periyodu

g = hızlandırıcı yerçekimi

g_a = Çember içindeki havada etkili mukavemet

L_1 = OWC çekişi (hava akımı)

a_w = İlave kütle etkisi

g_a ve a_w , OWC'nin doğal frekansında potansiyel değiştirici etkiyi yaratırlar. g_a 'nın kontrolü sağlanabilirse maximum enerjiyi elde etme imkanı doğabilir.

Ortalama güç eldesi P_{avail} olarak ifade edilir ve dalga gücüne de P_{wave} dersek aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$P_{avail} = \text{Yakalanan genişlik} \times P_{wave}$$

Burada yakalanan genişlik $\lambda / 2\pi$ metre ve P_{wave} dalga tepe uzunluğunda İngiltere için dalga gücüdür. Birimi kW / m dir.

$(\lambda / 2\pi) (P_{wave}) = 1 \text{ MW}$ yada $\lambda = 150 \text{ m}$ ile $P_{wave} = 0.0418 \text{ MW} / \text{m}$ dir. (Green et al, 1983)

Bu sistemde q faktörü kullanılmamaktadır. Çünkü q faktörü gerçek deniz şartlarında etkilidir. 3.15 nolu formülün çözümü için L_1 'in 25 m olması ve toplam su derinliğinin 34 m olması gerektiğini bulunmuştur.

3.3.2.4 Türbin Dizaynı

OWC sisteminde pnömatik türbin kullanılmaktadır. Türbin jeneratör fiyatı yaklaşık 1 Milyon \$ (1981 \$), 2.8 m ve türbin boğaz alanı 1.85 m^2 seçilmiştir. (Kaimei Projesi) (1 Mw_e) Platform dış çapı 7.7 m.'dir. (Green et al, 1983)

3.3.2.5 Platform Özellikleri

Analiz ve dizayn için petrol endüstrisinin teknolojisi kullanılmıştır. Şekil 3.5'te de görülen platform dahil olmak üzere çeşitli tip ve Şekilde platform dizaynları mevcuttur. (3 tip) Bu üç tipte geniş bir alana oturmuştur ve türbin / jeneratör içermektedir. Şekil 3.5'te platform için gerekli elemanların bir bütünü görölmektedir. Petrol

endüstrisinde kullanılan sistemlerde su derinliği 30-40 m veya azdır. Bu sistemlerin en büyük özelliği fabrikasyonun ve yerleşiminin kolay olmasıdır.

2. platform tipinde de geniş düşey tip dört ayaklı sistemde olan yapıya benzer bir şekilde desteklenmektedir. Destekleyici yapı veya ceket su yüzeyine kadar devam etmektedir.

Bu dizayn dalgaların etkileme süresini azaltmaktadır. Bu tip yapılar birinci tip platformdan çok daha komplekstir. Bundan dolayı sıvı koşullarından daha az etkilenir.

3. tipte ise dört ayakla yeryüzüne sabitlenmiş bir platform dizaynı vardır. Bu dizaynda sıvı kapasitesi önemli rol oynamaktadır.

Fakat burada problem olabilecek şey, yerleşim yerinin koşullarıdır. Gravity dizaynı bulunduğu yerin sıvı koşullarından çok etkilenir.

Sonuçta; Gravity dizaynı, dört ayaklı platformdan ve 1. sistemden daha ekonomiktir. 2. derecede dört ayaklı platform ekonomiklik sağlar.

3.3.2.6 Sonuç Analizi

3. OWC platform konfigürasyonunun 34 m su derinliğindeki analizleri, şu değerler gözönüne alınarak

a) 1 MW çıkış

b) Fabrikasyon ve yerleştirme (tesisat) kombinasyonunda en ekonomiklik yapılmıştır.

Aşağıdaki analiz sonuçları herbir sistemin tek başına çalıştığı düşünülerek bulunmuştur. Maliyetlerin düşmesinde kurulacak yerin özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bakım onarım maliyetleri herbir sistem için sabit öngörülmüştür.

(Ekonomik analizde 1981\$ kuru baz alınmıştır) (Green et al, 1983) Yine, aynı kaynaktan alınmış verilere göre.

Çıkış :	1 MW	Kapasite ortalaması	0.5 MW
Yapı	34 m derinlikteki suda Kuzey Denizi'nde		7.5 ile 9.5 milyon \$
Türbin; Jeneratör maliyeti:			1 Milyon \$
		Ortalama	8.5 M ile 10.5 Milyon \$
Elektrik İletişim Hattı Maliyeti			0.2 Milyon \$
(Ortalamanın % 2'si)		
	Direkt Kapital Yatırımı		8.7 ile 10.7 M\$
İndirekt Maliyet (Direkt Maliyetin % 40'ı)			3.5 M\$
	Toplam Kapital Yatırımı		12.2 M \$ ile 14.2 M \$
Yıllık Bakım ve Onarım Giderleri			0.5 M \$
(Direkt Kapitalin % 6'sı)		
	Toplam		12.7 M ile \$ 14.7 M \$

Sonuçta Enerji Maliyeti :

$$E.M. = \frac{(\text{Kapital Yatırımı}) \times (\text{Yenileme Oranı}) + (\text{Bakım ve Onarım})}{\text{Kapital Ortalaması} \times (8.76 \times 10^6)}$$

$$= \frac{(\$12.2 \div 14.2 \times 10^6) \times (0.15) + (0.5 \times 10^6)}{(0.5) \times (8.76 \times 10^6)}$$

$$= 0.53 \$ / \text{kWh ile } 0.65 \$ / \text{kWh}$$

Tablo 3.1 Ekonomik Analiz Sonuçları.

Konu	Enerji Maliyeti (Sırasız)	Enerji Maliyeti (W / sıra)
Gravity	0.53 \$ / kWh (33 p / kWh)	0.24 \$ / kWh (15 p / kWh)
Dört Ayaklı	0.65 \$ / kWh (40 p / kWh)	0.30 \$ / kWh (18 p / kWh)

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere Kuzey Denizi'nde, elektrik maliyeti açısından en ucuz olanı Gravity, ikinci sırada ise dört ayaklı olarak sabitlenmiş sistemdir.

3.3.2.7 İyileştirmeler

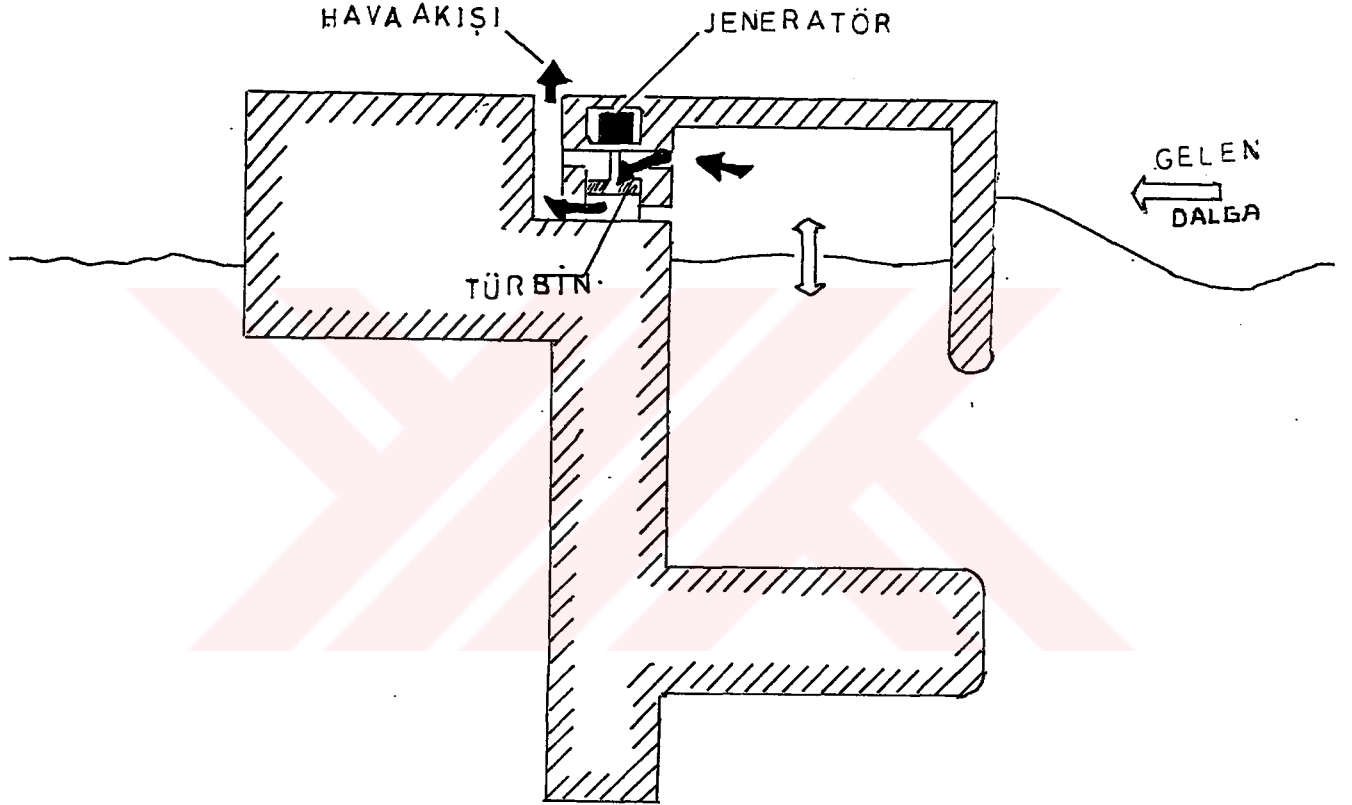
- 1) OWC / Türbin performansı minimum OWC çapı ve minimum kayıpla optimize edilerek dizayn yapılmalıdır.
- 2) Düz kıyılarda OWC nokta absorblayıcısının performansı yükseltilmelidir.

3.3.3 OWC Dalga Enerji Çevrim Cihazı (NEL)

İskoçya Ulusal Mühendislik Laboratuvarları'nda (NEL) geliştirilen bu cihaz salınlı su sütunundan enerji elde etmeye yarar.

Salınlı su sütunu birçok projede enerji elde etmek için kaynak olarak kullanılmıştır. Genel olarak su, havayı türbine itmek amacıyla kullanılır. (Daha önceki sistemlerde görüldüğü gibi) Prensipite hava türbini, bir su türbini veya bir yüksek basınç akıcı sistemi ile yer değiştirebilir. NEL makinasında yükselen su seviyesinde, titreşimlerden oluşmuş dalga ileri kenar boyunca, bir seri dikdörtgen kompartmanlar bulunmaktadır. Su seviyesindeki değişimlerin oluşturmuş olduğu güç havayı kanallar

vasıtasıyla içeri ve dışarı taşımaktadır. Bu hattaki her bir kompartmanın tepe noktası atmosfere açık olarak düzenlenmiştir. Kanallar dardır ve bir çeşit pnömatik dişli takımı gibi sınıflandırılabilir. Kanallar bu sayede, düşük hız ve yüksek torktan güç çıkarma işlemini hafifletmeye yardımcı olmaktadır. Valfler hava akımını düzeltmek için kullanılır. Valfler sayesinde akım tek yönlü turbo-jeneratöre ulaşmaktadır.



Şekil 3.6 OWC Dalga Enerji Çevrim Cihazı (NEL)

Test edilen modelden anlaşıldığına göre dalga tepesine paralel olarak NEL ünitelerini bağlamak dalga gücünü, hava gücüne çeviren sistemin % 80'in üzerinde bir

verimle çalışması için gereklidir. (Merrick, 1981) İlginç bir not olarak dalgalar ünitenin ön tarafındaki genişlikle eşit ve türbülanssız bir şekilde enerji akımı dikey düzleme paralel doğrultuda ise yalnız bir NEL cihazının verimi % 110'a çıkmaktadır. Fakat bu imkansız bir sonuç olarak gözükmektedir. Çünkü bir miktar enerji dalgaların ünitenin diğer yüzünden geçmeleri sebebiyle kaybolmaktadır. Sistemin hareket etmesini önlemek için deniz yüzeyine sabitlenmesi gerekmektedir.

Sarf edilen para karşılığında ünite başına elde edilen çıktı ve verim birarada düşünülerek sistem için optimum ölçüler elde edilmeye çalışılmaktadır. Ünite beton veya çelikten inşa edilebilir. Şekil 3.6'da gösterilen sistem kolay bir imalat tarzına ve düşük maliyetlere sahiptir. NEL sistemi pulslu hava akımı ile çalışabilmeye uygun düşük basınç türbini dizaynıyla da çalıştırılabilir. Yüksek verim geniş orandaki deşarj ile sağlanmaktadır. Diğer imkan da stator kanatları değişik geometrilere sahip olan bir türbin geliştirmektir. Bu sayede akıma otomatik olarak uyum sağlanmakta ve performans daima optimum seviyede kalmaktadır. Sistemde yıllık türbin verimini ortalama % 70 seviyesinde düşünebiliriz, cihaz verimi ise % 30-40 seviyelerinde belirlenebilir.

Bu cihazın geniş boyutlusu Japonya Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Merkezi'nde geliştirilmektedir. Çeşitli konfigürasyonlardaki hidropnömatik kompartmanlar denenmiş ve performans üzerindeki etkilerinin az olduğu bulunmuştur.

Bu sistemin deniz üzerinde hareketli bir versiyonu yapılabilir. Bu durumda en büyük avantaj gemi sistemlerinin kullanılabilmesidir. Böylece sistemde daha yüksek bir verim eldesi sağlanmıştır.

Cihazın denizde hareketli versiyonu, Kaimei olarak bilinir, 1977'de inşa edilmiştir. Kaimei, 80 m uzunluğunda, 12 m genişliğinde ve yaklaşık 500 ton su taşıma kapasitesine sahiptir. 22 adet hidropnömatik çemberi vardır. Herbir çemberin planlanan alanı 25 m^2 'dir ve çemberin diğer tarafında bir adet enerji toplama sistemi bulunmaktadır. 11 adet jeneratör 3 m yüksekliğinde dalgalardan 1.25 MW'lık

çıktı elde edebilir. 1979 ve 80 yıllarında yapılan deneylerle (Japon denizinde) çeşitli dizayndaki turbo jeneratörler test edilmiş ve çeşitli sonuçlar ortaya konmuştur. (Merrick, 1981)

3.3.4 Dışhatlı Sal Çevrim Sistemli Önceden Uyarıcı Güç Makinesi

Kullanılabilir dalga enerjisi projeleri yeni sistemler değildir. Yüzlerce yıl önceden ciddi denemeler yapılmıştır. Dalga enerjisi de diğer yenilenebilir enerjiler gibi düşük yoğunluklu bir enerjidir. Sonuçta geniş bir alan ve çok çaba ister, dolayısıyla maliyetlidir. Ayrıca yüksek yatırım maliyetinin yanında yüksek servis ihtiyacı duyar.

Düşük maliyetli konvansiyonel enerjinin yanında yüksek maliyetli yenilenebilir enerji kaynakları insanları düşük maliyete yöneltir. Zamanla enerji kaynaklarının azalması ve direkt enerji maliyetinin artmaya başlaması ile diğer enerji kaynakları ve tabii ki dalga enerjisi de çekici olmaya başlayacaktır.

Buradaki anlatılacak sistem Amerikalı ve İngiliz araştırmacılara aittir. Fiziksel parametreler toplam sal uzunluğunun kontrolündedir.

3.3.4.1 Kullanılabilir Dalga Enerjisi Akışı

Deniz üzerindeki herhangi bir noktada, yüzey alanındaki enerjinin bir ünitesi o dönemki enerji yoğunluğu olabilir. Enerji yoğunluğuna frekans bandından yardım f ya da $f + df$ dir.

$$dE = \rho \cdot g \cdot S(f) \cdot df \quad (3.16)$$

Burada $S(f)$ tek boyutlu enerji spektrumudur. "0" anındaki momentte $S(f)$ aşağıdaki özelliğe sahiptir.

$$M_0 = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (3.17)$$

Önemli dalga yüksekliği dar band spektrumunda,

$$H_{1/3} = 4 (M_0)^{1/2} \quad (3.18)$$

(3.16) nolu eşitlik lineer dalga teorisi üzerine kurulmuştur. Burada gerekli olan dalga yüksekliğinin, dalga uzunluğu L den daha düşük olmasıdır.

Dalga enerjisi çevrimi ile çıkan enerji miktarı yalnız enerji yoğunluğuna değil ayrıca çevrimi yapan cihazın bu çevrimi yapabilme kapasitesine ve çevrim oranına bağlıdır.

f'den f + df'e kadar olan bandın içindeki frekansa sahip dalga akışındaki payda elementel enerji yoğunluğuna katılmaktadır.

$$D\phi = V(f) dE = \rho \cdot g \cdot V(f) S(f) df \quad (3.19)$$

Dalga parçalarında grup hızı V(f), genel olarak frekans ve su derinliğinin (h) birlikte fonksiyonudur. Su derinliğinin $h > \lambda / 2$ olduğu yerlerde grup hızı derinlikten bağımsız hale gelir.

$$V(f) = g / (4\pi f) \quad (3.20)$$

Toplam dalga akışına göre derin sularda dalga yoğunluğu

$$\phi = \left[\rho g^2 / 4\pi \right] \int_0^{\infty} S(f) f^{-1} df \quad (3.21)$$

National Oceanic and Atmospheric Administration gibi birçok ölçüm programının vermiş olduğu raporlara göre değişik spektrumlar tarafından oluşturulan dalga yoğunluğu olduğu zaman, kullanılabilir enerjinin ölçülmesinde kullanışlı eşitlik

(3.21) nolu eşitliktir. Bugünlerde üretilen dalga modelleri daha çok değişik spektrumludur. Diğer bir tipi ise direktiflerle değişik spektrumlu modellere dönüşebilir modeldir.

ϕ ve E dalga yoğunluğunu oluştururken komponentlerinin direktiflerine önem vermemektedir.

3.3.4.2 Elde Edilebilir Güç

Dalga yoğunluğundan çıkarılabilir güç ve enerji miktarı için dalga enerjisi çevrim sistemi, doğal olarak direkt dalga yoğunluğu ve çevrim sisteminin özelliklerine bağlıdır. Yönlendirilebilir enerji spektrumu $S(f, \theta)$ veya direktifli spektrum, tek boyutlu spektrum $S(f)$ 'in bir uzamasıdır. Burada θ çoğaltılan enerjinin geliş noktasından, referans noktasına kadar olan aralıktaki açıdır.

Burada,

$$S(f) = \int_{-\pi}^{\pi} S(f, \theta) d\theta \quad (3.22)$$

$$S(f, \theta) = S(f) D(f, \theta) \text{ dır.} \quad (3.23)$$

Formülde $D(f, \theta)$ geliş açısının üzerinde dağılmakta olan partiküler frekans f 'deki enerji için bir yayma fonksiyonudur.

$$\text{RMS} = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} O(f, \theta) S(f, \theta) d\theta df \quad (3.24)$$

$0(f; \theta)$ burada sorumlu operatördür ve gövdeyle; harekete özeldir. Tank testleri ve teorilerden ortaya çıkmıştır. Bu ilişkide RMS mekanik güç seviyesini de içermektedir. Bu yolla,

$$P = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} T(f, \theta) S(f, \theta) d\theta df \quad (3.25)$$

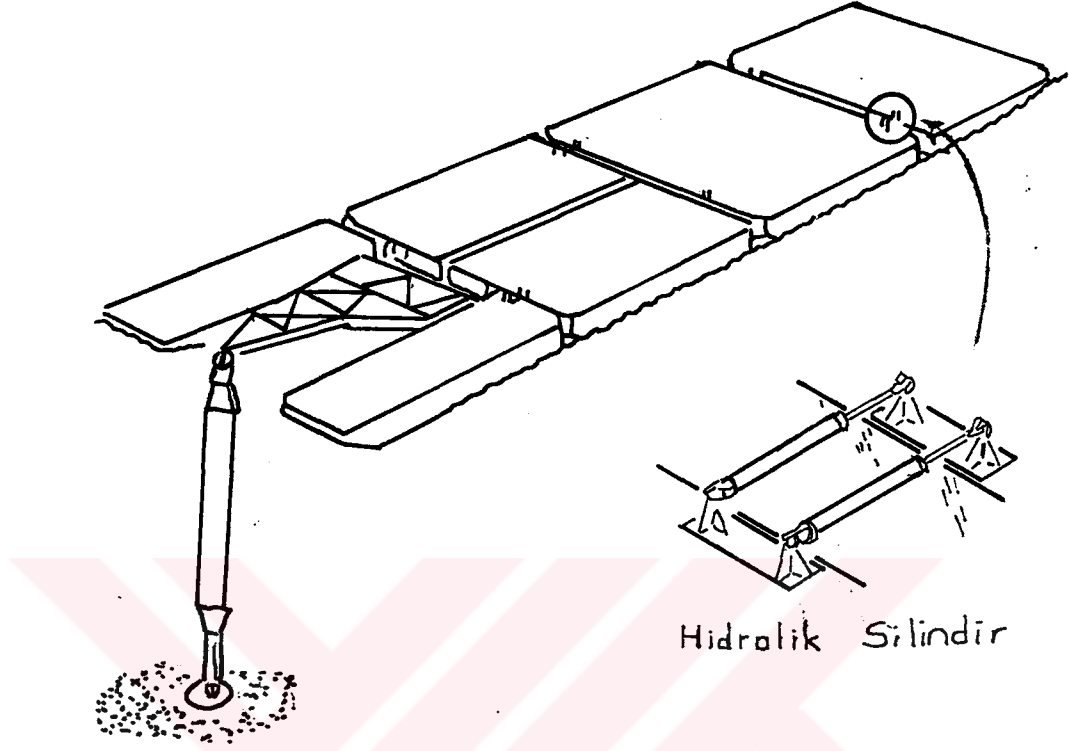
Burada $T(f, \theta)$ çıkarılabilir güç operatörüdür. Aynı zamanda bir enerji çevrim sisteminde; umulan etki kapasitesi en yüksek orandaki deniz durumuna göre, mekanik güç eldesini önceden haber vermeye izin verir.

Eklenen birleştirici faktörler tarafından güç değişim ve iletişim prosesinin takip eden safhalarının etkinlikleri için hesaplara ilave faktörleri koyarak, oluşturulan bir sistem konfigürasyonunun çıkış enerjisi hesap edilebilir. Ayrıca ekonomik performansı bu şekilde tahmin edilebilir. Sonraki bölümlerde, sal sistemi ve uzun dönem güç çıkışını tahmin etmek amacıyla modellenmiş sisteme bağlı olarak operatörün uygulamalarıyla ekstre edilebilir bir güç operatörünün belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş deneyleri anlatır.

3.3.4.3 Sorumlu Operatördeki Gelişmeler (Denizaltı Kabuk Model Testi)

Sal çevrim sisteminin kabuk model testi Stevens teknoloji enstitüsü Davidson laboratuvarında $22.9 \times 22.9 \times 1.35$ m'lik bir tankta gerçekleştirilmiştir.

1 / 60 ölçeğinde kabuk model dört saldan oluşturulmuştur. Bu dört salın girişleri 0.91 m ve uzunlukları 0.50 m, 0.57 m, 0.72 m, 0.91 m olarak belirlenmiştir. Düzenli ve dalgalı denizde test edilmiştir.



Şekil 3.7 Sal Dönüştürücü Sistemi

Sal düzenlemesinde maksimum uzunluk 2.97 m'dir ve üç tane menteşe ile konfigüre edilmiştir. (Şekil 3.7) Deneyde kullanılan dalga şartları; dalga uzunluğu 0.91 m'den 4.27 m'ye; dalga yüksekliği 0.025 m'den 0.114 m'ye ve dalga geliş açıları görsel sal merkez hattına 0; 30; 60 ve 90°dir.

Modelde diğer bir düzenlemede menteşelerdedir. Menteşeler bir kenetleme şaftının içinde debriyaj ile özgürce kontrol edilebilmektedir.

Gerçek torkun herbir menteşe üzerine serbestçe ulaşmasına izin verilmekte ve sistemde zıt salda magnetik debriyaj ile şaft üzerindeki krank ve herbir sal arasındaki balansı, sağlanması öngörülmektedir. Herbir sal arasındaki göreceli açısal hız özel dizayn

edilmiş d' Arsonual ölçüm aleti ile birleştirilmiş elektromekanik jeneratörler tarafından ölçülür. Menteşe elemanları dalga tankı içinde çeşitli açılarda herbir menteşenin sinüsoidal hareketine, genliğine ve hareket periyodlarına bağlı olan çeşitli testler uygulanarak kalibre edilir. Test verileri daha sonra simültane olarak kompütür analizi yapmak ve tekrar kullanabilmek amacıyla analog bir teybe kaydedilmiştir. Analog sinyaller 41 Hz'de düşük geçişli filtrelerle sayısallaştırılmaktadır.

Üç adet tek nokta bağlama konfigürasyonları burada anlatılmış testlerin iki seti (serisi) esnasında denenmiştir. İlk testler arkadan bağlanmış sırayla idare edilmiştir. Bu rijit bağlama konfigürasyonu, dizi mafsal aksına paralel arka taraftaki aks civarında en son salın dönme hareketini sınırlamıştır. İkinci bir dizi deney iki kısma eklenen parçaların dizinin dış açıklığına izin vermesi için en ön mafsal dizisine bağlı iki kısma eklenen parçayı içeren bir ön bağlama ile gerçekleştirilmiştir.

Bu parça, köprüye göre kendisinin üç serbestlik dereceli rotasyonuna izin veren bir üç-aks yalpa çemberi düzenlemesi yoluyla köprüye bağlı tanka bağlanmıştır.

3.3.4.4 Test Sonuçları

Test içindeki çeşitli parametreler dalga yüksekliği, genişliği, geliş yönleri ve menteşe torkudur. Yüksek bir güç herbir menteşe hattı için açılma hız ile ani torkun oluşumuyla ve toplam elde edilebilir mekanik güç ile ulaşılan RMS seviyesinde ortalamadan yüksek çalışma süresiyle üretilmektedir. Bir güç çıkarma verimi, η , elde edilebilir gücün çeşitli oranlarında, regüler test koşullarının herbiri uygulanarak bulunmaktadır.

$$\eta = \frac{P}{\phi b} \quad (3.26)$$

Regüler dalga yüksekliği (H) enerji akımı olduğu yerde şöyle ifade edilir.

$$\phi = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{4} V \quad (3.27)$$

Gelen dalga yüksekliği 0.037 m ve 0.061 m'dir. Bütün testler için sabit alınmış olan zıt menteşe torku miktarı merkez menteşe için 3.3 Nm ve dış menteşe için de 2.7 Nm'dir.

$$T(f, \theta) = R(f) a(f, \theta) \quad (3.28)$$

(3.23) ve (3.28) nolu eşitlikleri (3.25) nolu eşitlikte yerine koyarsak

$$P = \int_0^{\infty} R(f) S(f) \left[\int_{-\pi}^{\pi} S(f, \theta) D(f, \theta) d\theta \right] df \quad (3.29)$$

Bu testlerin sonucu olarak, $a(f, \theta)$ için yapılan bütün dalga genişliği testlerinden en iyi yaklaşım olarak aşağıdaki eşitlik bulunmuştur.

$$a(\theta) = \cos^2(\theta - \theta_0) \quad (3.30)$$

Burada θ azimuth açısı ve θ_0 da sal başlık açısıdır.

$D(f, \theta)$ için aşağıdaki koşullarda test yapılarak sonuca varılmıştır.

- 1) Uzun tepelerde 2) Fırtınaya yakın denizde 3) Geliş kavisinde

$$D(f, \theta) = \delta(\theta - \theta_0) \quad (3.31)$$

Böylece

$$P = \int_0^{\infty} R(f) S(f) df \quad (3.32)$$

olarak bulunur.

(3.32) nolu eşitlik ile bulunan değerler tek yönlü fırtınalı denizde yapılan testlerde olumlu sonuçlar vermiştir, fakat çok yönlü denizde performans göstermemektedir.

İlgili operatörün frekans bağ oranı $R(f)$ için aşağıdaki eşitlik Froude skala tekniği kullanılarak bulunmuştur. Meydana çıkan

$$R = \lambda^{3/2} R_m, \quad (3.33)$$

Denk frekans iken dereceli dalga uzunluklu (L) model ile ölçümlendirilmiştir. Burada kullanılan

$$f = \left(\frac{\rho}{2\pi} \right)^{1/2} \cdot (\lambda L)^{-1/2} \quad (3.34)$$

Burada λ model skala faktördür.

3.3.4.5 Dalga Spektral Verileri

NOAA Data Buoy Office tarafından Eylül 1980'den beri yapılan yön saptamaya ait spektra ölçüm raporları rutindir. Bu veriler Atlantiğin kuzeyinde Cape Hatteras adlı tek istasyondan yollanmaktadır. Bu veriler çeşitli araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu araştırmalarda en önemlisi Spectral Ocean Wave Model (SOWM)'dir.(Burdette et al, 1983) Araştırma Amerika'da Ordu Hava Merkezi'nde sürdürülmektedir. Bu sistem nümerik model ile bilgisayara uyarlanmakta ve deniz dalga durumları filolara bildirilmektedir. 1974'ten beri geliştirilmekte olan bu model, Pierson ve onun arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. (Burdette et al, 1983)

Northern Hemisphere için data bilgileri Amerikan ordusu tarafından 1 Eylül 1964 ile 23 Şubat 1977 yılları arasında geliştirilmiştir. Burada rüzgar hızı ve 6 saatlik aralıklarla dalga spektrası hesaba katılmıştır. Herbir şebeke noktası için minik zaman aralıkları alınarak 17 500 yönlü spektra kullanılabilir.

3 Adet Kuzey Pasifik SOWM şebeke noktası şunlardır.

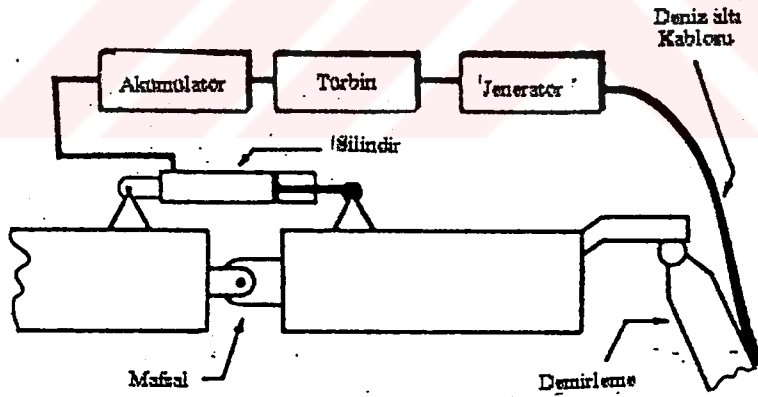
199 / 3'te 51.7°N, 135.7°W (N: Kuzey; W: Batı)

201 / 3'te 46.4°N, 130.8°W

203 / 3'te 41.1°N, 126.9°W

SOWM'nin performansı ancak birçok datanın, dalga ölçümleri ile elde edilen birçok sayısal sonucun karşılaştırılması ile belli olur. Bu karşılaştırmalar şamandıra ölçümleri ile anlık karşılaştırmaları ve uzun dönemde (> 1 yıl) Tucker Shipboard dalga ölçümü ile karşılaştırmaları içerir ve diğer bir yönüyle de uydu datalarını da içermektedir.

3.3.4.6 Akım Tahmini ve Elde Edilebilir Güç



Şekil 3.8 Şematik Sal Güç Çevrim Sistemi

Akım tahmini ve elde edilebilir güç (3.29) ve (3.31) nolu eşitlikler uygulanarak bulunulabilir.

$$S(f, \theta) = S_1(f, \theta) + S_2(f, \theta) \quad (3.35)$$

Daha sonra her bir bileşen spektrum bir noktaya (tek boyuta) indirgenir ve bütün açılar için Eşitlik (2.22) den asıl dalga direktifi bütün bileşen için

$$S_i(f, \theta) \rightarrow [S_i(f) \mu_i] \quad (3.36)$$

Bir nokta spektrum ve ana yön, toplam spektrum için elde edilmektedir.

Sonuçta, toplam kullanılabilir güç belki de güç seviyelerinin toplamı olarak yazılabilir.

$$P = P_1 + P_2 \quad (3.37)$$

Herbir P_i ayrı ayrı (3.29) nolu eşitliği kullanarak hesaplanır.

$$D(f, \theta) = (2 / \pi) \cos^2 (\theta - \mu) \quad (3.38)$$

Burada $D (f, \theta)$ bütün bileşenler için kullanılmakta ve açısız alan $(\mu - \pi / 2; \mu + \pi / 2)$ dışında önemsenmemektedir. μ asıl dalga yönüdür ve herbir bileşen için değişiktir.

(3.30) ve (3.38) nolu eşitlikler $\theta_0 = 0$ kabulü ile (3.29) nolu eşitlik aşağıdaki şekli almaktadır.

$$B_i = \int_{\mu_i - \pi/2}^{\mu_i + \pi/2} D_i (f, \theta) a(\theta) d(\theta) = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cos 2\mu_i \quad (3.39)$$

İkincil dalga yönü ile sal sistemi dizili hale gelmektedir. Bundan dolayı $\mu_1 = 0$ olur ve sonuçta (3.37) nolu eşitlik şu hale gelir.

$$P = \int_0^{\infty} R(f) S(f) [3/4] df + \int_0^{\infty} R(f) S_2(f) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cos 2\psi_2 \right] df \quad (3.40)$$

ile $\psi = \mu_1 - \mu_2$

Bu bilgisayar programı SOWM bilgilerinden test edilmiş ve geliştirilmiştir. İstatistiksel bilgisayar uyarlaması her bir parametrede performans göstermiştir.

3.3.4.7 Veriler

Bu veriler her bir şebeke için 12 yıllık bir periyottaki data birikimine dayanılarak elde edilmiştir. Yalnız bir yıl için geliştirilmiş yıllık data ki bu bütün parametreler üzerindedir, kullanılır.

Kullanılabilir enerji akımı Cape Disappointment, Washington'ın yaklaşık 520 km batısında SOWM'nin 201 no'lu şebeke noktasında aybe ay belirlenerek 1974 yılında 6 saatlik aralıklarla bulunmuştur.

3.3.4.8 Sonuçlar

Veriler öncelikle dalga enerjisinin en geniş şekilde kullanılabilirdiği Kuzeybatı Pasifik'te değerlendirildi. Veriler çok fazla detaylandırılmadı ve gücün belli bir noktadan sonra tümevarımla tahmini öngörüldü. Çünkü; çok geniş bir varyasyon vardı, güç günden güne ve sezonsal olarak değişiyordu.

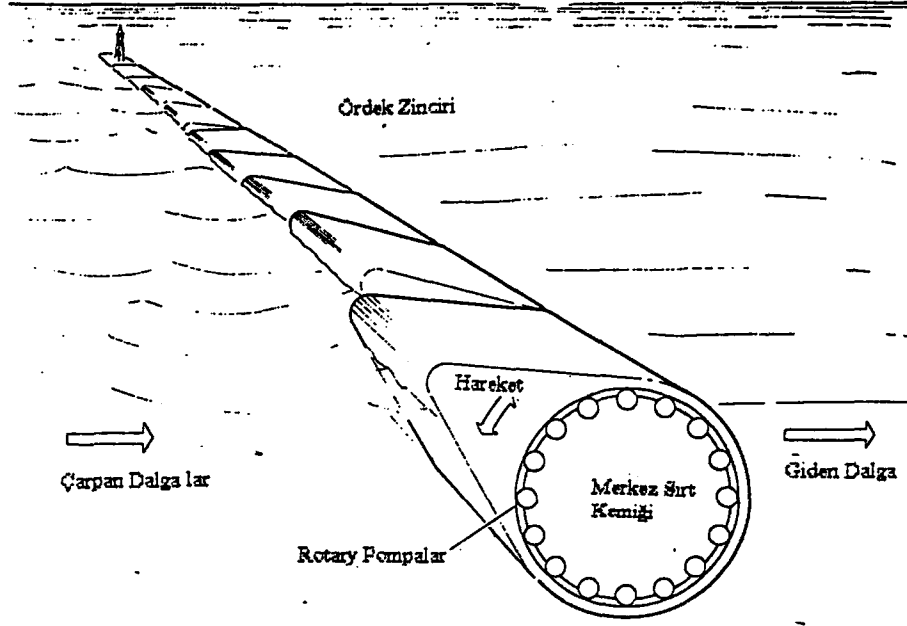
Bu çalışmadaki en önemli nokta, daha önceki literatürlerde olmayan kullanılabilir güç sorununu incelemesidir. Burada 180 m'lik sal inşa edilmiş ve bunun üzerinde; sal sisteminde mekanik hareketler içinde elde edilebilecek güç miktarları tahmin edilmektedir. Bu sistem 1447 adet 6 saatlik aralıklarla alınan raporlar doğrultusunda 1974 yılında analiz edilmiştir. Çıkış elektrik gücü tahmin edilen ve sonuçta bir veriye gidilen miktardan azdır. Bunun sebebi elektriğin eldesi sırasında kullanılan güç çeviricileri (jeneratör vb.) ve transmisyon (Şekil 3.8) elemanlarında kaybolan mekanik ve ısı enerjileridir. Buna rağmen tahmin edilen güç çevrim oranı yaklaşık % 60'dır. 1974'te yapılan denemelerde 201 nolu şebeke noktasında elde edilen net yıllık ana güç

seviyesi 1.64 MW'tır. Dereceli model ile test performansında yaklaşık % 40-50 oranında gelen enerji, elektrik enerjisine çevrilebilir.

Diğer bir yerde ise, dar bir tankın içinde (0,6 m genişliğinde) daha önceden sürtünme ve viskozite kayıpları azaltılarak yapılan deneyde % 65'in üzerinde çevrim oranı eldesi sağlanmıştır.

3.3.5 Salter Ördeği

Salter ördeğine, kanat tipi dönüştürücülerin geliştirilmiş bir şekli olarak bakılabilir. Bu cihazlarda 40'a yakın çeşitte ördek modeli denenmiştir. Bunlardan bir tanesi Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Salter tarafından geliştirilen bu tasarım kam şekline benzeyip, dalgalara karşı olan ön yüzü su ile uyumlu hareket sağlayarak gelen enerjiyi yansıtmadan absorbe ederken arka yüzü de suda yeni bir dalga yaratmadığından çok yüksek bir dönüştürme verimi sağlayabilmektedir. İki boyutlu düzlem monokromatik dalgalarla yapılan tank testlerinde % 90'a ulaşan bir dönüştürme verimi elde edilmiştir. Ayrıca denizdeki şartlara uygun model deneyleri sonucunda, yapısal malzemenin ağırlık dağılımı iyi kontrol edildiği takdirde % 85'e ulaşan zirve verim ve genel olarak da 2:1 lik frekans bandı içinde % 50'nin üzerinde kalan bir verim elde edilebileceği ortaya konmuştur. Bu tip dönüştürücülerin doğal şartlardaki boyutlarınının 10-15 m çapında olacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.9 Salter Ördeği ile güç çevrim cihazı.

3.3.6 İkinci Jenerasyon Dalga Enerji Cihazı (Deniz Tarağı)

3.3.6.1 Giriş

Dalga enerjisi geliştirilmekte olan bir enerjidir. 1975'ten beri yeni fikirler ve denemelerle hayata geçirilmeye çalışılmaktadır. Potansiyeli ve bu potansiyeli problemleri aşarak kullanmak için çeşitli çevrim aletleri denenmiştir. Dünya yüzeyinde çok fazla araştırma bulunmasına rağmen bunların çoğunun geçerlilikten yoksun olması sebebiyle ulusal programlar bu deneylerden kendilerine yararlı olabilecek bazılarını seçmektedir. Şu anda anlatılacak sistemde geliştirilmiş olan ve yararlı olabileceği tahmin edilen sonuçlar elde edilmiş sistemleri daha geliştirmek ve ikinci bir jenerasyon yaratmak amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Sistem ortaya çıkarılırken eski bilgiler ve araştırmalar yeni olaylara adapte edilmiştir.

4 yıl boyunca Lanchester Polytechnic, Coventry Deniz Enerjilerini Araştırma ve Enerji Departmanı birimleri Salter Ördeği Sistemi'ni geliştirmeye çalışmıştır. Bu grup gerçek dalgalardaki dalga gücünü test edebilecekleri ve aynı zamanda inşa edip kullanabilecekleri çalışan bir model dizayn etmişlerdir. Deniz tarağı bu deneyler ve araştırmalardan geliştirilmiştir.

3.3.6.2 Loch Ness Ördeği Denemeleri

Otoriteler tarafından yayımlanan son konferansın bilgilerinde, LOCH NESS'in tamamen Salter ördeği aletinin dalga gücü deneylerinin üzerine kurulduğu söyleniyor. Bu bilgiler şu anda son aşamaya getirilmekte, analiz edilmekte ve sonuç çizimleri yapılmaktadır. Çeşitli filmler çekilmekte ve çeşitli koşullarda alınan tepkiler belirlenmektedir. Burada yapılan gelişmeler ve elde edilen bilgiler şüphesiz diğer araştırmacılara da bir altyapı oluşturacaktır. Loch Ness'in yapılan araştırmalar sonucunda elde ettiği sonuçlar aşağıdadır.

1) LOCH NESS test alanı 1/10 ölçekli derecelendirilmiş modelin naturel dalga ortamında ideal çalışmasını sağlayacak şekildedir. Deniz ortamı dışında gelgit, korozyon ve lojistik problemlerden sakınılmıştır.

2) Salter Duck iyi bir performans ve verime sahiptir. Dalga enerji akımı geliş hattının karşısında elde edilebilecek en iyi değerler için tek bantlı ara çizgide avantajlarını göstermektedir.

3) Yüksek tutma verimi ve düşük bağlama gücünde gerçek dalgalar içinde gerçekten iyi bir performans gösterir.

4) Ördeklerin sallanma hareketi ile orta hidroliklerin arasından bir elektrik çıkışına olan güç değişiminin tatmin etmeyici olduğu ispatlanmıştır. Tam dereceli güç değişimi farklı bir yaklaşım gerektirir.

5) Tek noktadan bağlama sistemi çok iyi performans vermiştir. Maximum verim eldesi için dalga önünde icabeden 20°'lik optimum açı modelde otomatik olarak dizayn edilmiştir.

6) Aktif dalga enerji makinalarında yenileme ve bakım bir problemdir. Fırtınalardan dolayı malzemeler daha dayanıklı ve imalatı daha iyi olmalıdır.

7) 1/10 ölçekli dizayn fonksiyonel diğer dizaynlardan daha doğal olmasıyla ayrılmaktadır. Tasarım zayıflığının ömür uzunluğu açısından önemi sonunda anlaşılmıştır. (Bellamy, 1979)

İngiltere'de dalga enerji makinaları için daha geniş ölçeklerde testler yapılmıştır. Simultane dalga koşullarında test edilebilen modeller 2 iç hatlı 1/150 skalalı tankta denenebilir. Burada hidrodinamik ve çarpma güçleri belirlenebilir.

3.3.6.3 Deniz Tarağı Dalga Enerji Çevrim Cihazı

Deniz Tarağı, bir belkemiği esaslı pnömomatik sonuçlandırıcı olarak klasifize edilebilir. Makinalar ana bir hat oluşturan (belkemiği gibi) bir sistemden oluşmaktadır. Uzun dar bir hat olarak inşa edilmektedir. 1979-80 yıllarında 3 adet efektif maliyetli alet denenmiştir. 3 adet akışkan dalga enerji çevriminde kullanılabilir olarak bulunmuştur. Bunlar hava, su ve yağdır. Hava beğenilenler arasında genellikle kabul edilebilir olanıdır. Kapalı hava sirkülasyonu su girişi ile hasar olayında daha avantajlıdır. Ön yüzden dalga absorblayıcı sistemler düşünülebilir. Bu sistem pratik dalga enerjisi çevrim aletlerinde kullanılır. Etkili dalga yapımı için laboratuarlarda kullanılan normal basit bir terslik üzerine kurulmuştur. Sandviçler arasındaki hava yastıkları ile yüzen bir ana gövdede kanat menteşelerini içermektedir. Okyanus dalgaları kendi iç enerjileri ile kanatlara çarpmakta ve onları içeri dışarı hareket ettirmektedirler. Bu sebeple kapalı konumdaki hava güç ile self-rectifying (dalgalı akımı direkt akıma çeviren) türbinlere

yönlenmektedir. Bu sırada ördek belkemiğinin uzunlamasına hareket etmektedir. Hava deniz tarağı elemanları arasında yer değiştirmektedir. Tipik olarak 10 MW'lık bir jeneratör ünitesi için 10 deniz tarağı element özellikli ve 300 m uzunluğunda bir belkemiği üzerine kurulmuş ve birbirine bağlanmış yüzü dalgaya dönük bir sistem oluşturulmaktadır.(Bellamy, 1979)

Her bir deniz tarağı elemanı yalnız iki adet hareket eden parçadan oluşur. Bunlar kanatlar ve türbin alternatör rotorudur. Bu sayede basit bir dizayn eldesi sağlanır. Bu basit dizayn ile yenileme ve bakım onarım işlemleri kolaylaşmakta ve ucuzlaşmaktadır. Hareket eden parçaların eskime ve sürtünmelerden korunması için gerekli olan donanımlar bu sistemde azalmaktadır. Daha ilerideki paragraflarda dizayn hakkında daha geniş ve detaylı bilgi bulmak mümkün olacaktır.

Belkemiği ana yapısal bileşendir ve toplam jenerasyon ve transmisyon fiyatının yaklaşık üçte bir fiyatıdır. Belkemiği'nin ikinci fonksiyonu (yüzer kiriş formu içinde koordinat sistemi etkisinde) hidrostatik yüklenmelerde ve indüklenen eğilme momenti direncine karşı koyabilme kabiliyetini sağlamaktır. Belkemiği uzunluğu ile fiyat ve maliyet indirimine karşılık alet veriminde de indirim meydana gelmektedir. Bu yüzden optimum uzunluğu bulabilmek yani hesaplamak hiç de kolay değildir. Özellikle fırtınalı havadaki dalga ortamında uğraşmak gerçekten zordur.

Atlantik içindeki bir yılda 3 milyon adet dalga gözönüne alındığında metal yorulma etkisi, konstrüksiyon metodunda ve materyal seçiminde çeşitli uzunluklardan ve diğer etkilerden çok daha önemlidir. Son 50 yıldan beri beton belkemiği dizaynı olup olamayacağı düşünülmeye başlanmış beton yapı yapılmaya başlanmıştır. Burada malzemenin yorulma zamanı bilinebilmektedir. Yapılan araştırmalar bize bunu sağladıktan sonra bu tip yapılara başlanmıştır. 15 × 10 m dikdörtgen belkemiği dizaynı denenmiştir. Dış duvarlardaki hidrostatik yüklemelere, iç destek duvarları ile direnç gösterilmekte ve hava girişi için özel bir ilgi gösterilerek lokal stres konsantrasyonu delikler (holler) civarından düşürülmelidir.

Kanatlar 30 m uzunluğunda 15 m derinliğindedir. Şu anda yapılan sistem.

25 mm'lik çelik plakalar kullanılmaktadır. Kanatlar batmaz şekilde dizayn edilmiş ayrıca hasar olayları için su ile sınırlı bulunan yerlerde köpük ile doldurulmuş ve desteklenmiştir. Ağır ekipmanlar ve yükler taşıyan kamyonlardaki silindirlerin bir benzeri, yaklaşık 60 adet menteşe her bir kanadın alt dip köşesine yerleştirilir. Bu menteşeler kanadın ömrünün 25 yıl olduğu düşünülerek seçilir. Dalgadan enerjiyi elde edecek olan kanattır. Evans basit dikey mafsallanmış plakayı analiz etmiştir. Sonuç doğru ayarlanmış ve damperlenmişse etkili bir çalışmadır. Aletten istenen özelliklerin tasarımının nasıl yapılacağı açıkça belli olmamasına rağmen laboratuarda yapılan deneyler etkinlik alanını göstermektedir. Deniz tarağı sisteminde, torba-kanatçık temas alanını değiştiren yuvarlanma hareketine bağlı bir yay gibi davranan esnek bir torbadaki hava tarafından kanatçık çalışması desteklenir ve damperlenir. Uygun dizayn, yay oranının kanatçık eylemsizliği ve arzu edilen çalışma frekans aralığı üzerine ilave edilen kütleyle nötralize eder.

Hava yastıkları düşünülen dizaynlarda verdikleri verimi ve etkiyi gerçek fabrikasyonu yapıldıktan sonra aynı şekilde karşılayamamaktadırlar. Hiçbir şüpheye yer bırakmaksızın bugünkü teknikle imal edilebilen hava yastıkları kısa bir süre için çalışabilmektedir. Buradaki önemli soru, iyi bir dizayna sahip hava yastığının yorgunluktan önce veya aşınmanın neden olduğu sorunlardan önce ne kadar zaman çalışacağıdır. 5 yıl boyunca yapılan araştırmalar ile varılan sonuç, sadece gerçek şartlar altındaki sistem çalışması bu sorunun cevabı olabilir.

Dizayn edilen hava yastıklarının esnek materyallerden hazırlanmaya başlaması uzun bir hayat için ciddi çeşitli kurallara dikkat edilmesi zorunluluğunu ortaya koyar. Bu kurallara göre materyal operasyonlarında her bölgede gerilme limitleri veya çeşitli baskıların sınır değerleri içinde kalınma zorunluluğu vardır. Bu sistemlerde yapılan deneyler ile 10-12 milyon hareket yaptırılmış ve dayanım ölçümleri yapılmıştır.

- Deniz tarağı torbası, torba yapısının, bel kemiğinin yüzeyinde veya iç kanatçıkta teğetsel yuvarlanmasına izin vererek bu problemleri önlemeye ve dikdörtgen şekilli torbaların üst iki köşesinin bütün yapı distorsiyonunu sınırlamaya çalışır. Bu köşeler bir merkez noktadan bir kadrana özel bir yivli (girintili çıkıntılı) körük çıkışıdır.

- Elektrik jeneratörü için gerekli tek yönlü bir shaft hareketi içinde herbir hava yastığı tarafından hava akımını geri çevirerek dönüştüren, var olan iki hava sisteminden faydalanılmaktadır.

Birincisinde, bütün belkemiği ünitesi için bir türbin hareketinde, geri döndürücü valfler kullanılarak bir düşük basınçlı ördekte hava çekilmekte ve bir yüksek basınçlı ördeğin içine beslenmektedir. Bu metotta ideal lineer dampingin yerine kanatçık hareketinde dalgalara devamlı bir basınç yüklemesi gerçekleşmektedir, sistem geniş ve güvenilir döndürücü valflere ihtiyaç duyar. İkincisi ve son derece favori olan sistemde ise, bütün belkemiği boyunca herbir yastıkta bir adet tek yönlü hava türbini kullanılmaktadır. Tek yönlü türbin beğenilen bir sistemdir, uygun karakteristiklere sahiptir. Sistem; basittir, gerçekçi verime sahiptir, bir lineer yük verebilir, ve serbest çalışmada düşük çekme kaybına sahiptir. Henüz net olarak bilinmeyen şey ise tek başına çalışan türbinin veriminden 10 adet yastık ile çalıştırılan bir türbinin veriminin düşük olma sebebidir.

Deniz tarağı tek başına bir kapanma moduna ("close down") sahiptir. Hava sistem deliği tarafından dış su basıncı etkisi altında iç çamurluklar (tender) üzerinde kanatçıklar otomatik olarak kapanır. Hareket eden parçaların statikliği ile kontrol ve bakım onarım işlemleri denizde yerine getirilebilir. Çalışmada bozulma ve arıza olaylarında yüksek hasarlarda cihaz tamamen veya bölümlü olarak kapanma yapılabilir.

Torbadaki arızalar, hava bölgelerine doğru belkemiğinden su taşması olarak belirlenir. Birçok dizaynır contalar için belkemiğini kaldırma kuvvetli valflerle birleştiren ya da şişebilir torbalar kullanan sistemler önerir. Fakat bu daha hayata

geçirilememiştir. Açıkça, kullanılan sistem hangisi olursa olsun arızaya karşı emniyetli ve otomatik olmalıdır.

Bağlama sistemleri de Loch Ness ördek testlerinde dizayn bakımından incelenmiştir. 2000 MW'lık bir sistem oluşturmak için tek bir hatta 200 belkemiği ünitesi belirlenmiştir. Bunların herbiri 300 m uzunluğundadır. Ön bağlamada bazıları 60 m suda olmak üzere her bir belkemiği için bir tek çapa noktası belirlenmiştir ve 200 tonluk su taşırmaya karşılık zincir tarafından ilişkilendirilmektedir. Ayrıca telli demir çubuklarla bel kemiğinde "V" şekli (konfigürasyonu) oluşturulmaktadır.(Bellamy, 1979)

Elektrik transmisyonu, deniz yatağı üzerinde geçen yüksek voltajlı esnek kablolar aracılığı ile cihazdan karaya yapılmaktadır. Kıyıdaki çeviricilerle ilişkiye girmeden önce 250 MW veren, gruplar seriler içinde birbirine bağlanmaktadır. Bu bağlama işleminde de 35 kV'luk esnek tek çekirdekli kablolar kullanılmaktadır.

3.3.6.4 Verimlilik Tahminleri

Verimlilik o dalga alanında güç makinalarından elde edebileceklerimizin bir ölçüsüdür. Verimlilik tahmini veya belirlenmesi basit bir işlem değildir, tam tersine son derece komplekstir. Çünkü birçok faktöre bağlıdır. Bunlar, değişebilen enerji kaynağı (dalga üzerindeki değişimler); yükleme faktörü, güvenilirlik ve uzun bir enerji (güç) zinciri. Diğer faktörler; ulusal enerji stratejileri, ek bir ihtiyaç olarak sakin hava şartlarında gerekli olan yedek jeneratör kapasitesi ve yaz ile kış arasındaki farklardır. Yani sonuçta, kolay kolay bu hesap yapılmaz.

İngiltere'de transmisyon en önemli pahalılık getiren nesne olarak görülüyor. Transmisyon diğer dalga makinaları ile paylaşılan en büyük problemdir. 1979'da İngiltere'de yapılan verim araştırmaları aşağıda sunulmuştur. Sistem deniz tarağı içindir.

Verimlilik Parametreleri:

Elde edilebilir deniz enerjisi	52,3 kW/m
Yönlü (doğrultulu) faktör	0,83
Yakalayıcı verimi	% 37
Güç zinciri verimi	% 63
Güvenilirlik faktörü	0,82

Kablo şebekesinde güç 8,3 kW/m 2 GW'lık projede ortalama çıkışı 0,54 GW

Jeneratör ve transmisyon için baştan sona verim % 16'dır. Bu da standartların çok altındadır. Toplam verim eğer % 25'e çıkarsa kablo şebekesindeki gücü 13 kW/m'ye çıkarmak mümkün olabilir.

3.3.6.5 Maliyet Tahminleri

Yapılan geniş araştırmalarla elde edilen çeşitli dalga enerji çeviricilerinden çoğunluğunun maliyeti doğal olarak yüksektir. Sistemlerde basit imalat maliyetlerine ciddi bir miktarda yüksek teknoloji bileşenleri eklenmektedir. Bundan başka sistem yüksek teknoloji ile donatıldığında bakım, onarım ve güvenilirlik problemleri için ekstra operasyon maliyeti gelmektedir. Deniz tarağı minimum yüksek teknoloji bileşenleri ile basit bir yapıda dizayn edilmiştir. Aşınan malzemelerden bağlama elemanları, hava torbaları ve menteşeler 5 yıllık bir dönemde bir değiştirilip yenilenirse operasyon masrafları aşağıya çekilebilir.

Bir deniz tarağı belkemiği ünitesi için 1979 yılında yapılan araştırmalardaki maliyet listesi aşağıda verilmiştir.

Yapım	7,6 Milyon £	Enerji Santrali	2,0 Milyon £
Bağlantılar	1,4 Milyon £	Transmisyon	1,7 Milyon £
Çeşitli	1,2 Milyon £	İhtimaller	1,3 Milyon £

Verimlilik ve maliyet tahminlerinden jeneratörde kiloWattsaat başına kapital maliyeti £ 6500 ve kiloWattsaat başına maliyet 6 pence'tir. Gelecekteki gelişmeler % 25'lik bir maliyet indirimi sağlayabilecek düzeyde gözükmektedir.(Bellamy, 1979)

3.3.6.6 Gelecekte Yapılabilecek İşler

1 adet 1/50 ölçekli deniz tarağı modeli ile doğal dalgalar ve dar laboratuvar tankı içinde testler yapılmıştır. Performansı mükemmel ve davranışı tahmin edilenden çok daha iyi belkemiği normal operasyon dalgalarında sürpriz olarak stabildir. İyi bir verim için her bir Deniz tarağı elemanı onun önündeki dalgadan etkilenir ve komşusu ile hava değişimi yapar. Diğer bir adım ise kalibre etmektir. Gözenekli tıkaç kalibrasyonu için eşzamanlı hava türbini kullanılır. Buradaki kayıplar belirlenmeye çalışılır. Belkemiğinin dizaynı yüksek performans gerektirmez. Hava sistemi ve türbinler mühendislik konusunda kolay ve belirlidir. Kanatçık ve torba mekanizması yenilikler getirmektedir. Bundan dolayı yeni fikirler vardır. Bunlardan en önemlisi bir integral kanatçık-torba aranjmanıdır. Daha sonraki gelişmelerde çelik kanatçıklardan ve mekanik menteşelerden vazgeçilip daha ucuz malzemeye yönelerek daha ideal bir makina yapmak mümkün olabilir.

3.3.7. Kıyı İçin Dalga Yoğunlaşması İle Güç Eldesi

3.3.7.1 Özet

Dalga enerjisi şu anda fosil yakıtla alınan enerjilerden çok daha temiz bir enerjidir. Geniş kıyılara sahip olan her ülkede az çok da olsa uygulama olanağı bulunan bu teknoloji kullanılabilir bir enerjidir. Dalga analiz raporlarına göre enerji rüzgarın denizin kıyısının karşı tarafından esmesi ile basınç yükselebilir ve burada kullanılacak standart ufak bir hidro-elektrik santral güç ihtiyacını karşılayabilir. Bu sistem basit, pratik, doğal ve birçok fakir ülke için ekonomik kapasitelidir. Bu tip bir 100 kW'lık santralde tepe çıkış için elektriğin kiloWattsaat'i 500 \$'a kadar düşebilir. Daha geniş üniteler daha ekonomiktir.(Dooley, 1984)

3.3.7.2 Giriş

Dünyadaki birçok bölge doğa konusunda daha güvenli bir enerji türünü, bazı formlardaki fosil yakıtlara tercih etmek zorundadır. Güneş enerjisi şu anki verimsizliği, ekipmanlarının pahalılığı, her zaman kullanılamaması ve depolama sorunları yüzünden kabul edilebilirlik sınırları dışına çıkmaktadır. Diğer yönden, rüzgarlar okyanus dalgalarını oluşturmakta ve böylece güneş enerjisinden doğal bir depolama aracı olan dalgalar oluşmakta ve buradan da güç eldesi sağlanmaktadır. Örnek verilirse, dünyanın çok geniş bir bölgesinde 1 m'lik sahil hattında 1 kW'ın üzerinde enerji eldesi sağlanabilmektedir. (Dooley 1984)

Bu yapılan işlemler ve bulunan bilgiler yeni değildir. Fakat nedeni bilinmemesine rağmen daha fazla ilgi ve efor diğer enerji elde etme yöntemlerine harcanmaktadır. Maalesef, eğer ömür uzunluğu servis açısından önemli bir kriterse başarı için bu sistemlerden hiçbiri teknik ve ekonomik olarak buna ulaşamamıştır.

Bütün bu sistemlerin bir tablosu aşağıda verilmiştir.

•Birçok proje deniz yüzeyindeki koşullar (gelgit, fırtınalar, tuzdan dolayı korozyon, hava ve kum) nedeniyle erken başarısızlığa ve işletme problemlerine sebep olmuştur.

•Denizin doğal hayatının bu aletler üzerindeki etkisi büyüktür.

•Geniş ve pahalı madeni malzeme

•Geniş ve çekici deniz kıyısı boyunca çirkin ekipmanlar

•Ancak dalga hareketi olduğu zaman güç eldesi

Dalga yoğunlaştırıcı sistem bu zorlukların hepsini minimize etmek için uğraşmıştır. Bütün dalga enerjisi ile güç üreten makinaların, birçok şartı yerine getirmek zorunluluğu vardır.

•Elektrik gücü üreten cihaz kıyı şeridinden mutlak kabul edilebilir bir mesafede olmak zorundadır.

•Kabul edilebilir küçük bir zamanda iyi bir rüzgar dalga şartlarını oluşturmalıdır.

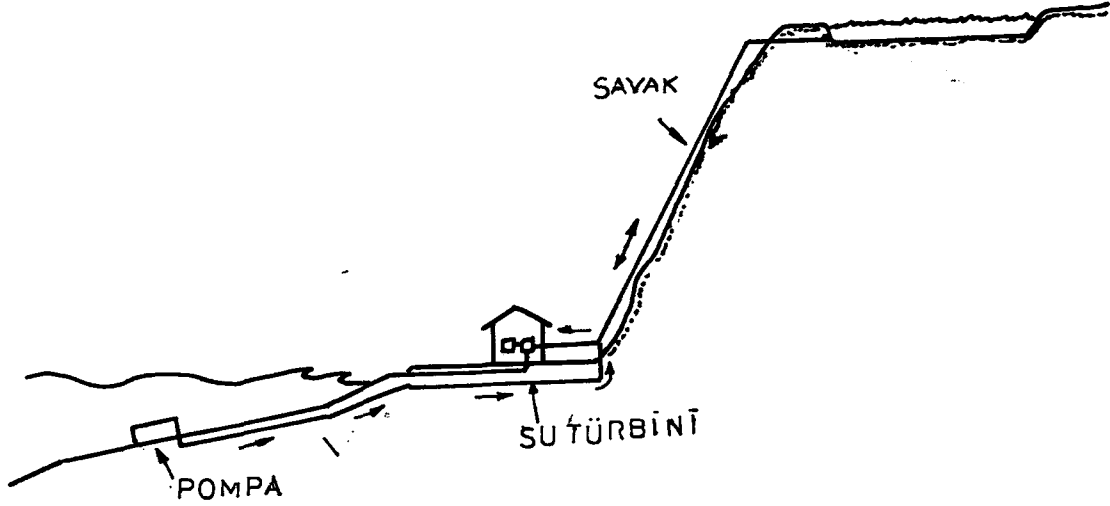
•Güç ihtiyacı olana kadar depolanmak üzere rezerv deniz suyunu tutacak bir yüksekliğe ihtiyaç vardır.

•Minimum donma oranına sahip olmalıdır.

Dünyadaki birçok kıyı şeridinde bu koşulların sağlanması iyi bir olaydır.

Diğer bir faktör de yapılan sistemin tasarlanırken basit olarak tasarlanması ve yararlanılacağı ülkelerde imal edilebilme özelliğine sahip olmasıdır. Üçüncü dünya ülkelerinde kullanılabilmesi için yüksek teknoloji ürünü cihazlara gidilmemesi uygundur.

3.3.7.3 Sistemin Tanımı



Şekil 3.10 Şematik Dalga Güç Sistemi.

Dalga yoğunlaştırıcısı bu sistemin kilit elemanıdır. Bu sistemde kullanılan hidrolik çevirici birçok yerde kıyıya yakın bölgelerde bu sistemin kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu aktif pompalar yüksek hidrolik basınçtaki az miktardaki deniz suyunu depolamakta ve sıcak suya veya elektrik enerjisine çevrilmeye hazır hale getirmektedir. Gerekli gücü normal hidrolik şartlar içinde Şekil 3.10'da şematik olarak sistem gösterilmektedir. İstenilirse birkaç adet pompa ünitesi denizin sakin olduğu anlarda devreye alınmak için deniz suyunu yüksek bir yerde depolamak üzere paralel çiftler halinde kullanılabilir. Böylece depolama kapasitesinin hepsi kullanılmış olur.

Sistemin bazı fonksiyonlara sahip olması gerekmektedir. Bunlar:

Dalga frekansı - Dakika başına devir. Yoğunlaştırıcı pompanın adet ve ölçüleri.

Dalga şiddeti veya yüksekliği - m Rezerv kapasitesi - m³

Bileşenlerin verimleri - %

Hidrolik santral büyüklüğü - kilo Watt

Rezervden buharlaşma, sızıntı ve yağış miktarı.

Avantajları

Diğer güneş güçlü sistemlere nazaran birçok potansiyel avantaja sahip olan yoğunlaştırıcı sistem Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

•Sistem daima kıyıya yakındır. İnsanların ihtiyacı oldukları anda gücü yakınlarında bulabilirler. Sistem ne derin denizlerde metrelerce uzaklıkta ne de uzak çöllerdedir.

•Sistem otomatik olarak dalga enerjisini depolamakta ve ihtiyaç halinde hemen kullanabilme özelliğine sahip olmaktadır.

•Pompa elemanlarının (ekipman), okyanus yüzeyinde olmaları onları gerçekten daha güvenli ve sıkıntı vermeyen ekipmanlar yapmaktadır.

•Ekipmanlar deniz yüzeyinin koşullarından (gelgit hareketleri, fırtınalar, rüzgarlar ve türbülanslardan) etkilenmemektedirler. Deniz yüzeyindeki donma, tuzlu hava korozyonu, kum ve yıkıntıların hasarından, kötüniyetli hareketlerden de etkilenmemektedir.

•Bir plaja dahi konumlandırılmış olsa herhangi bir şekilde etrafında yüzen insanların bulunma ihtimali yoktur.

•Son derece basittir ve konstrüksiyonu için son derece az kontrol ve özel materyallere ihtiyaç duyar.

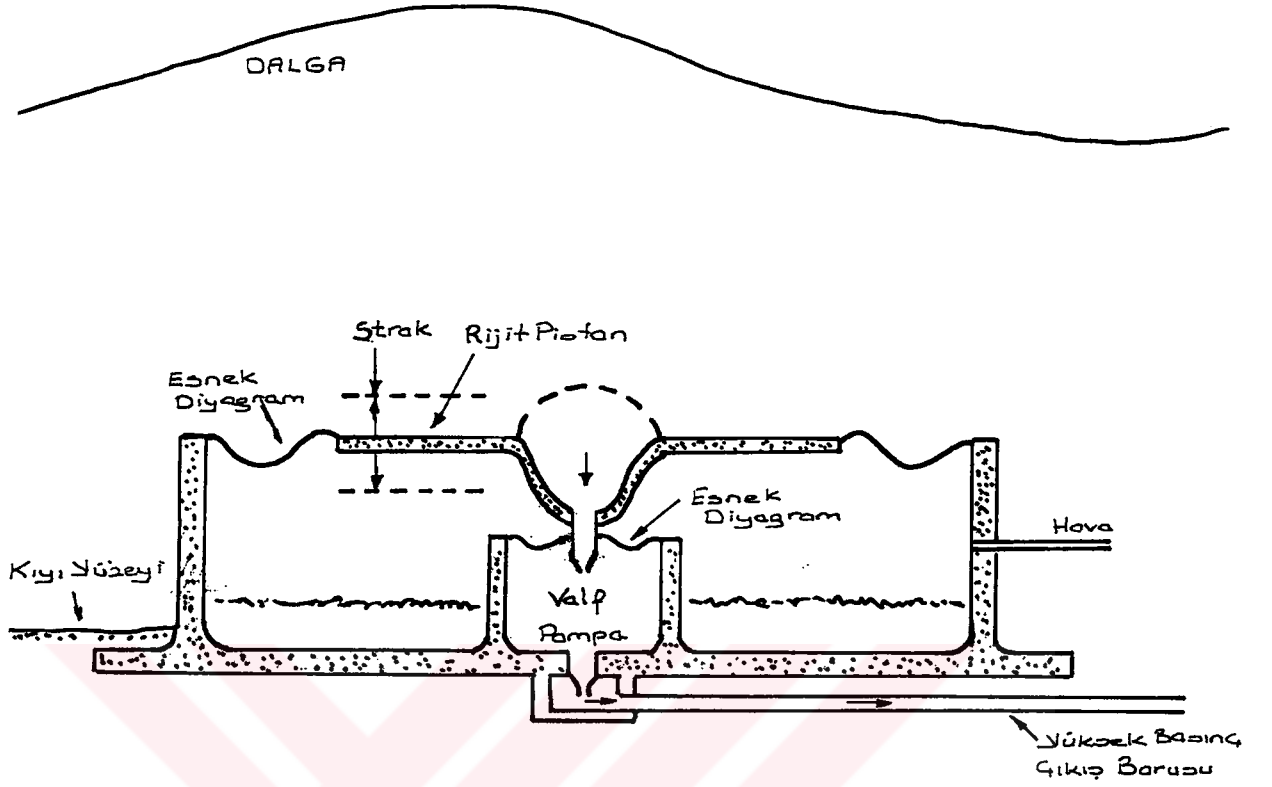
•Ucuzdur. Maliyeti düşük olduğu için dünyadaki birçok devletin ekonomik gücü yeter.

•Teknolojisi düşük olduğu için dizaynı, konstrüksiyonu, izolasyonu ve yönetimi üçüncü dünya ülkeleri tarafından anlaşılıp inşa edilerek kullanılabilir düzeydedir.

3.3.7.4 Pompa Ünitesinin Özellikleri

Burada en önemli ve özellikli cihaz pompa ünitesidir, ona bağı olarak diğerelemanların geliştirilmesi ve kullanılması için çalışmalar yapılmalıdır. Burada pompa ünitesi en fazla detayı içermektedir. Şematik olarak pompanın çalışma prensipleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Geniş alanlı diyaframda piston aşağı yukarı hareket etmektedir. Bu hareket kendi strokuna ve dalganın hareketine bağı olarak gerçekleşmektedir. Pistonun altındaki çemberde hava basıncının balansı devamlıdır ve strokun tepesinde dalga sistemin üzerinden pas geçecek şekilde ulaşmıştır. Hava odası hacminde dalga tepesindeki deniz suyunun artmış ağırlığı piston strokunu çalıştıracak bir kuvvet yaratır. Bu enerjiyi biriktirme ve stoklama için en düzgün yol biraz deniz suyunu kullanılabilir bir basınç elde edebileceğimiz bir seviyeye pompalamak olacaktır. Su düşük maliyetli enerji stoğı için (hem elektrik gücü hem ısı için) araç olarak kolayca kullanılabilir.

Elde edilen gücün geniş piston alanına bağı olduğu ve bu ölçünün dalga boyuna göre çok büyük olamayacağı hemen görülür.



Şekil 3.11 Prensip Şematik Yoğunlaştırıcı Pompa.

Ayrıca strok dalga sisteminde büyük bir akord bozumu yaratmamaktadır. Dalga teknesinden, tepeye olan maksimum hidrolik değişimden faydalanmak için piston yalnızca en alt seviyesindeki teknenin yüzeyinin birkaç metre altında olmalıdır. Gelgit koşullarında ve değişik su bölgelerinde, gaz çember basıncını mutlaka ayar etmek gereklidir. Fırtına sırasında, çember basıncı düşebilir ve ünite devre dışı kalabilir.

Aşağıdaki önlemler alınabilir.

- Rüzgar üstü yüzeyle (rüzgar tarafındaki) sahil şeridi, rüzgar altındaki kıyından daha iyidir.

- Düşey su kırılmaları, dik kayalıklar ya da diğer dikey önleyiciler mükemmel dalga ampflikatörüdür.

- Fırtına dalgaları arzu edilir. Çünkü, bu tip dalgaların ölçüleri çok büyüktür ve ünitenin dipte olması sebebiyle herhangi bir problem yaratmazlar.

Yüzey altı yoğunlaştırıcı üniteler bölgesel materyaller ile dizayn edilebilir. Ana yapı hafif betondan yapılabilir ve bu da dipte monte edilerek aletin bunun üzerinde durması sağlanabilir. Piston dökme demir, beton veya bölgesel malzemelerden yapılabilir (fiberglass plastik); kaplaması sentetik kauçuk veya plastikten olabilir. Yüksek basınç boruları genellikle çelik olmalıdır. Bütün strok kontrolleri ve pompa valf bileşenleri ufak ve dayanıklı plastik malzemelerden oluşmalıdır.

Depolama rezervuarı buldozerlenmeli yani doğal bir açıklık meydana getirilerek depolama yapılmalıdır. Eğer bunun doğal olarak imkanı yoksa kaçakları minimize edecek şekilde düzenlenmelidir. Bunun için gerekli olan izolasyon yapılmalıdır.

Birçok yerde doğal olarak bir rezervuar yapılabilecek nitelikte topraklar bulunmaktadır. (Kanyonlar örnek olabilir) Bu topraklarda minimum efor harcanarak işlem tamamlanabilir.

Savak (verici boru) ve türbin-alternatör ekipmanları dünya standartlarına uygun olarak dizayn edilmelidir.

3.3.7.5 Dalga Yoğunlaştırıcısı İçin Gerekli Dizayn Önerileri

1) Dalga hareketinin olduğu bölgelerde kıyının dibinde kumsalın üzerinde sabit bir şekilde yatmalıdır. Tamamen sabitleme zorunluluğu yoktur, fakat makul seviyelerde olmalıdır.

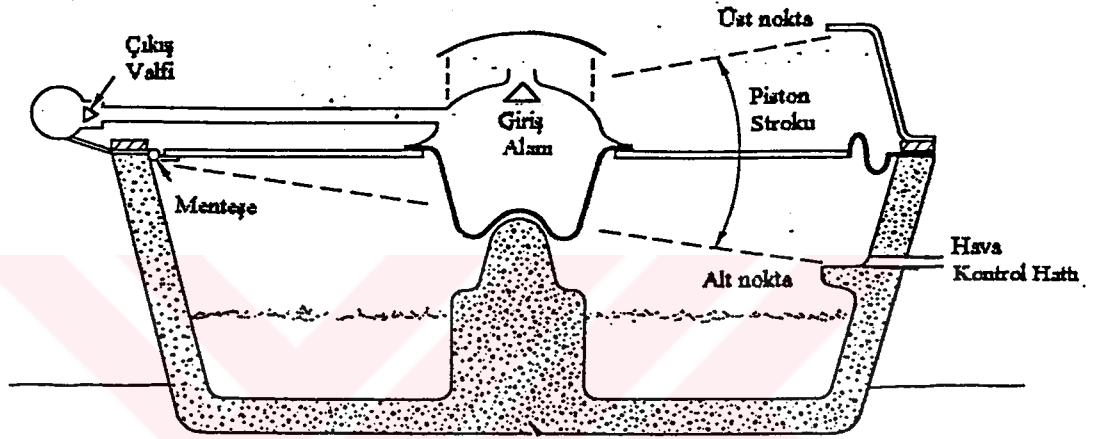
2) Dura, şamandıra yüzeyin içine çapa veya bunun gibi bir aletle gömülmelidir.

- 3) Hareket eden mekanizmalar, sığ su dalgıçları tarafından değiştirilebilmeli veya kolayca servis olabilmelidir.
- 4) Düzenli minimum bakım onarım ile dizayn edilen servis ömrü 30 yıldan aşığıya olmamalıdır.
- 5) İç bölgelere herhangi bir sızma meydana geldiğı anda ünite otomatik olarak dışarı pompalamalıdır.
- 6) Operatör istediğinde üniteyi kıyıda kapatıp açabilmelidir.
- 7) Geniş deniz canlı hayatı zamanla üniteyi bozabilir. Bunun için kendi kendine temizleme sistemine sahip olmalıdır.
- 8) Kumların yer değiştirmesinde de ünite yerinde kalmalı ve asla hareketli kumlarla yada deniz hareketleri ile yer değiştirmemelidir.
- 9) Ünitenin yerleşimi dalgaların yüksekliğinin 6.1 m olacağı ki bunun gelgit ile 3.05 m'ye düşeceği hesaplanarak yapılmalıdır. Yüzeydeki kırınımlar ve donma herhangi bir cihaza zarar vermemelidir.

3.3.7.6 Pompa Ünitesinin Tipik Ölçüleri

Pompanın kıyı yüzeyinde yattığı düşünöldüğü takdirde 6.0 m² yer kaplar ortalama dalga yüksekliği 1.35 m; dakikadaki oranı 5 (örnek 12 s arayla olduğı zaman) ünitenin 100 m yüksekliğindeki rezervuara deniz suyu pompalama kapasitesi 0.8 m³/min yani dakikada 0.8 m³'tür. Bu yaklaşık % 66 verimli hidro-santralde elektrik sistemi içinde yaklaşık 0.81 kW_e eşittir. Bu pompa ünitesi ortalama 18 saat/gün çalışma ile iyi dalga koşulları altında en azından 14.6 kWh_e üretebilir. Şekil 3.12'de göröldüğü gibi basit bir konfigürasyondan birçok ünite bir grup haline sokulabilir. Bu tip bir sistem yerleştirildiğinde kıyı boyunca dalga yönelişine bağılı olarak basınç çemberinin

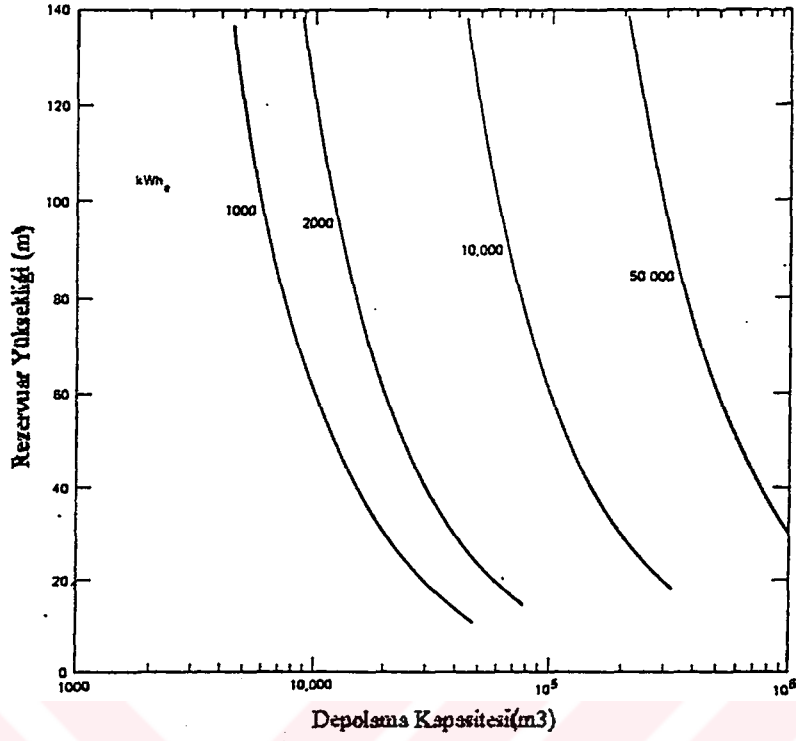
hacimindeki balansta bazı pompalar yukarı hareket ederken bazıları aşağıya hareket etmektedir. Üstteki ünitelerin 10 tanesinden bir blok oluşturulursa yaklaşık günlük 146 kWh elektrik eldesi mümkündür. Dalgalarda büyüme, ufalma ya da sakin periyoda girme gibi olaylar olduğunda sayılarda değişiklik yapılmalıdır.



Şekil 3.12 Pompa Ünitesi

3.3.7.7 Gerekli Deniz Suyu Kapasitesi

Şekil 3.13'te gerekli elektrik enerjisi ihtiyacının bir fonksiyonu olarak depolanan deniz suyunda kabul edilebilir rezervuar yüksekliği gösterilmiştir. Küçük bir örnek olarak endüstriyelleşmemiş yaklaşık 1000 kişilik bir topluluğun yaklaşık ihtiyacı günlük 650 kW_e ve iki günlük depolama rezervinden daha fazla olamaz. Minimum elektrik rezervi dağıtıcı sistem içinde $650 \times 2 = 1.3 \text{ MWh}_e$ 'dir. Bunun anlamı yükseklik 100 m kabul edilirse ve jeneratör sistem verimi % 66 olursa, 7200 m^3 depolama kapasitesine ihtiyaç vardır.



Şekil 3.13 Deniz suyu depolama ihtiyacı

3.3.7.8 Dalga Yüksekliği ve Frekans

Frekanslar dalga yüksekliğine ve bölgelere bağlı olarak değişir. Frekans ve dalga yüksekliği ekonomiklik açısından önemlidir.

3.3.7.9 Ekonomik Analiz

Bölgelerin kendilerine bağlı özellikleri, doğal şartlardaki değişiklikler çoğunlukla dalga enerjisi ile çalışan cihazların ekonomik analizlerinin çok detaylı ve doğru bir şekilde yapılmasına izin vermemiştir. Burada önemli olan ilk başta doğru bir şekilde ekonomik yükümlülükleri tahmin etmektir. Bu elektrik sisteminin maliyet analizini

önce küçük topluluklarda yapmak doğru olabilir. Çünkü burada gerçek şartlara yakın bir değer eldesi sağlanırsa bunu büyük ünitelere uygulama şansımız olabilir.

Tablo 3.2 Pompa Ünitesinin Maliyeti

Beton Ev	5500 \$
10 Adet Panel, herbiri 110 Dolar	1100 \$
Paneller İçin Diyagram	1800 \$
10 Adet Yüksek Basınç Pompa Ünitesi	1200 \$
Kontrol panelleri	450 \$
Yüksek Basınç Boru ve Valfleri	200 \$
İzolasyon	500 \$
Toplam	10.750 \$

1000 kişilik bir grup seçildiğinde bunların ortalama günlük ihtiyaçlarının 650 kWh_e ve tepe ihtiyaçlarının yaklaşık 100 kW gece için, olacağı düşünülürse bu ihtiyaçları küçük bir hidroelektrik santralinin karşılayabileceği görülür. Rezerv kapasitesi jeneratörü iki gün çalıştıracak şekilde tasarlanır. (iki pompa ünitesi ve 10 adet pompa (herbir ünite 5 adet) fiyat içinde düşünürsek.)

Rezerv yüksekliği 100 m ve yaklaşık 7200 m³ olarak belirlenirse, derinliği 3 m ve yüzeyi 2400 m² olursa ve rezervuardan Pelton Türbin çarkına 25 cm çapında savak borusu ile ara bağlantı yapılırsa.

Tablo 3.3 Bütün İzolasyon Maliyeti

İki Pompa Ünitesinin Panel İzolasyonu	21.500 \$
Pompa Hattı ve Rezervuara Kadar Olan Alan	1200 \$
Hava Kompresörü	300 \$
Rezervuar	5000 \$
Yeraltındaki Boru ve Türbin Hattı	5000 \$
Su Türbini ve Alternatör Seti (100 kW)	10.000 \$
Makas	2.000 \$
Çit	1.200 \$
Diğer İzolasyonlar	3.800 \$
Toplam	50.000 \$

Modern jeneratör elemanları kullanılarak yapılan sistemde pompa ünitesindeki maliyet Tablo 3.2’de, tüm maliyet ise Tablo 3.3’te verilmiştir.

Kapital harcamaları çok düşük bir izolasyon ile \$50.000’ı bulmuştur. Burada sanayileşmemiş toplum için kıyıların yani kurulacak olanın çok düşük fiyatlı veya bedava olduğu düşünülmüştür.

\$16000’lık toplam yıllık harcamayla jeneratörde 650 kW_e’lik günlük yükte elektriğin kWh’i 7 cent’tir. Servis ve değiştirme ekipmanlarının yıllık \$2000 olacağı söylenir. Part-time bir işletici-bakımcı sorumlu kişi \$ 5000/yıl olarak alınır. Servis ücreti olarak yıllık yaklaşık \$9000 katılmalıdır. Bu sistem söylenenlere göre sadece

kişisel harcamalarla (o topluluğun hepsinin birikimleriyle) yani devlet yardımı alınmadan dizayn edilebilir.



4.EKONOMİ

4.1 Giriş

Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ve bunun transmisyonu yeni yeni gündeme gelmiştir ve şimdiye kadar konvansiyonel enerji plan veya projesiyle karşılaştırılmamıştır.

Edinburgh'ta yapılan araştırmalarda enerji depolaması senkronize ac jeneratörler kullanılarak yapılmaktadır. Asenkronize jeneratörler ve transmasyon projelerinin ikisi birden teknik olarak yapılabilir kabul edilmiştir. Burada teknik ve ekonomik veriler elektrik enerjisinin senkronize ac jeneratör ve ac transmasyon ile yapıldığı öngörülerek belirlenmiştir.

4.2 Dalga Enerjisinin Kaynağı

Analiz edilen verilere bağılı olarak dalga enerjisinin bir titreşimli enerji kaynağı olduğu belirlenmiştir. Bütün dalga koşullarında maksimum tepe gücünü elde edebilirsek ekonomikliğe ulaşmış oluyoruz. Sakin koşullardan fırtına koşullarına kadar çeşitli formlarda güç limitlerine ulaşmış oluyoruz.

Jeneratör bu titreşimli güçten elektrik elde ettiği için elektrik çıkışı da titreşimli olmaktadır. IPL jeneratördeki maksimum güç girişine ayarlanmalıdır.

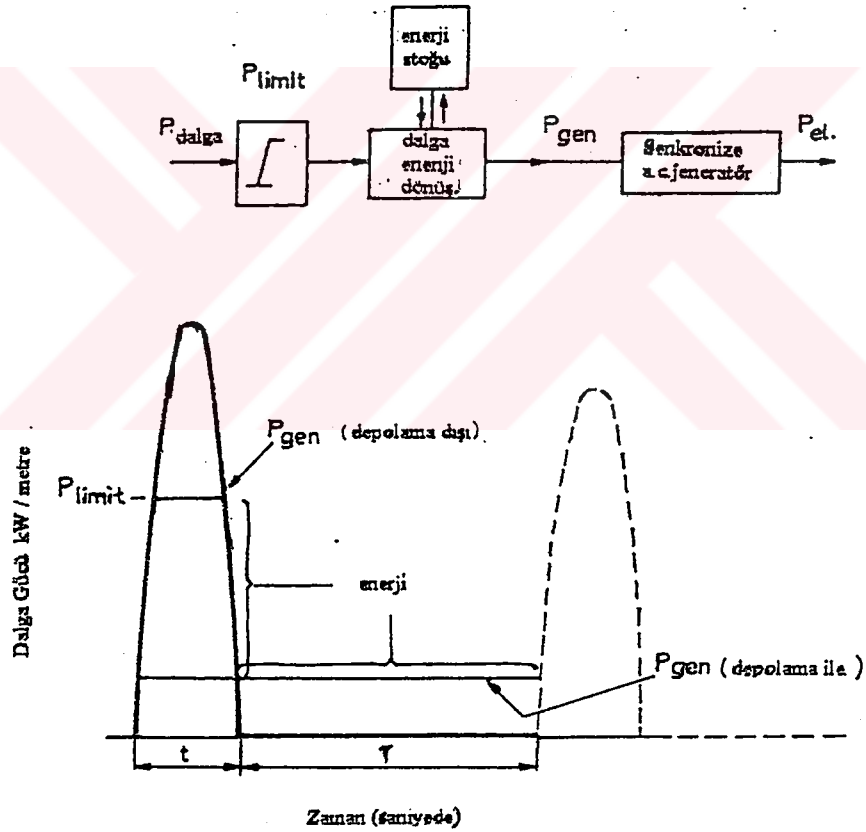
(IPL = Instantenous Power Limiter)

Pulsar yapan dalga gücü ve jeneratör arasında bir enerji stoğu içererek enerji jeneratörünün hareketini devam ettirmek için elde edilebilir pulsar arasındaki arada (boşlukta) daha sonra serbest bırakılır. (Yani sistem pulsta ilişkili daha sonra serbesttir.)

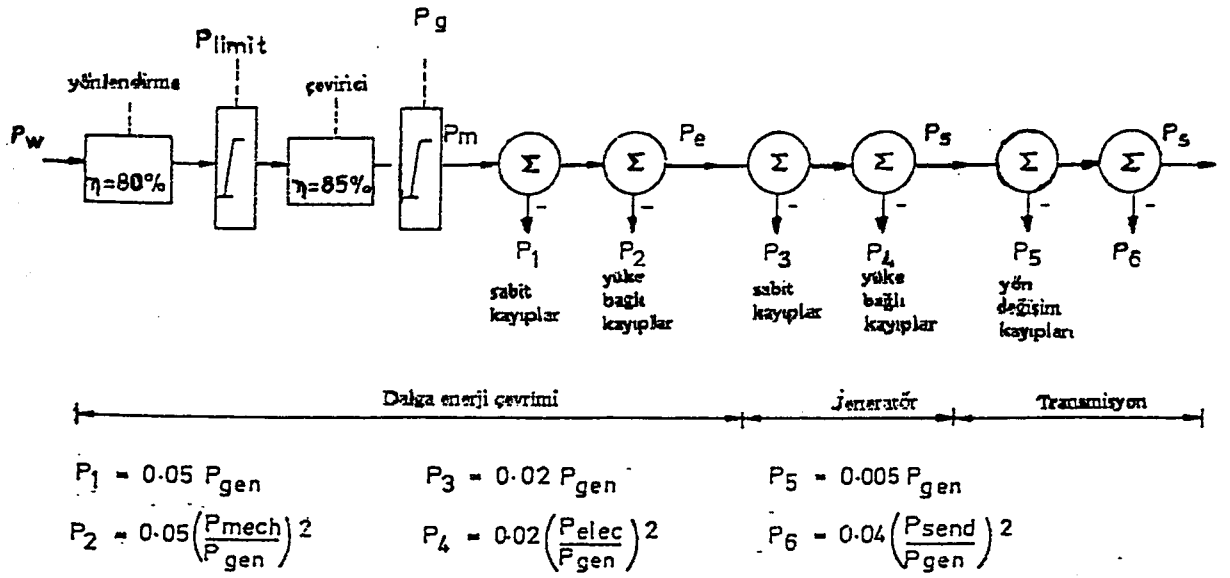
Şekil 4.1'de tipik puls serilerinden ikisi gösterilmiştir. Bu örnekte "0" enerji ile aralık "T" puls zamanı "t" den üç defa daha büyüktür.. "T" aralığı boyunca sabit çıkışı

devam ettirmek için pulstan beslenen “3t” katı jeneratör çıkışı bir enerji stoğu gereklidir. İlk pulstan jeneratörün çıkışının dört katına eşit enerji çıkarmaktadır. Eğer dönüşüm tekrarlanmaktaysa işlemin devamı için jeneratör derecelendirilmelidir. Aynı enerjinin pulstan, enerji depolaması yapılmadan elde edilmesi istenirse puls zamanı sırasında dört kat çıkış elde edilen bir jeneratöre ihtiyaç vardır. Depolama ile birleştirildiği zaman çalışan jeneratördeki kasa ölçüleri gerekli çevrimin karekökünün iki katı olmalıdır.

4.3 Yıllık Güç Çıkışı



Şekil 4.1 Dalga Enerji Çıkışı



Şekil 4.2 Dalgı Enerji Cihaz Modeli.

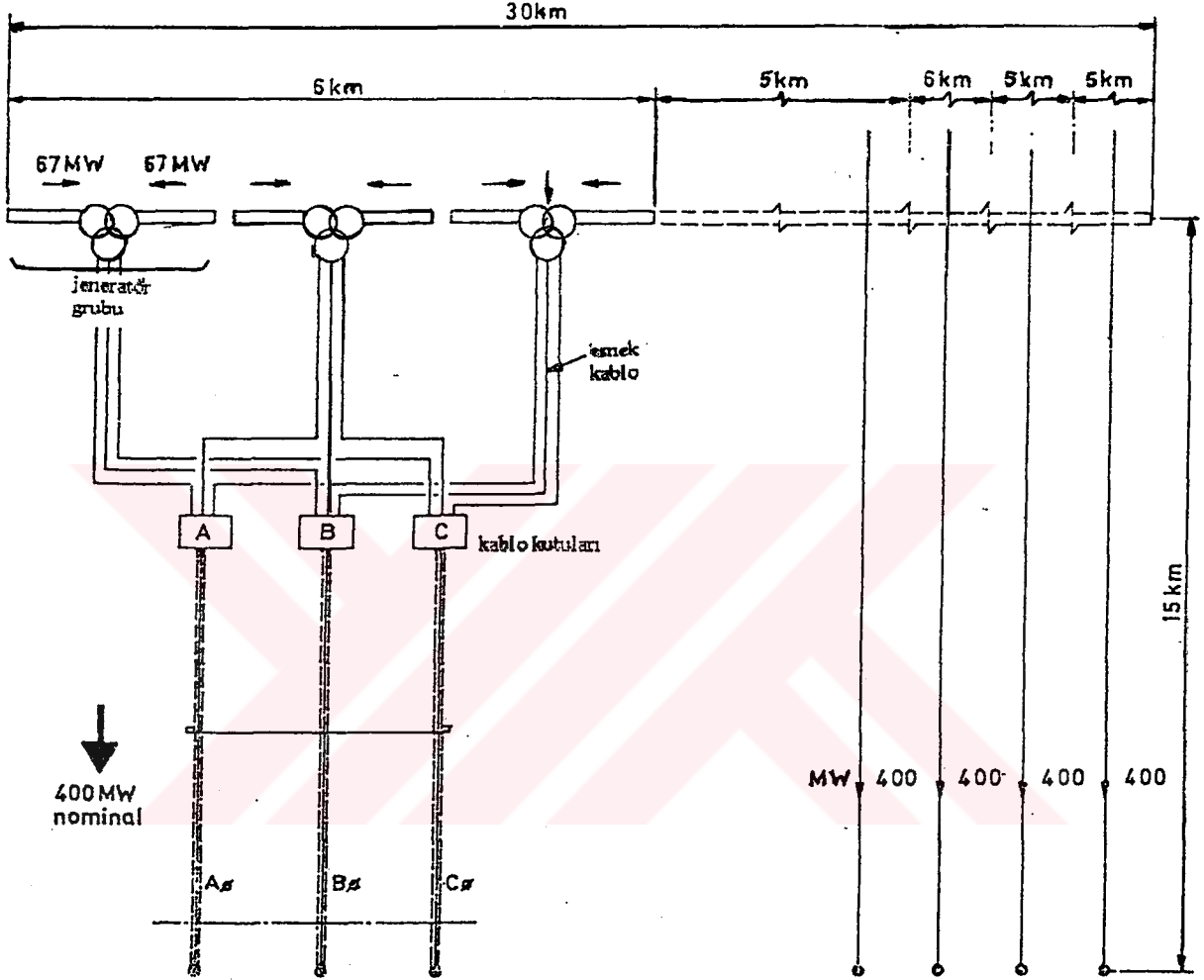
Şekil 4.2'de gösterilen sistemde dalga gücü elektrik gücüne çevrilmekte ve bu sistem çalışmalarda kullanılmaktadır.

Efektif dalga formunun her metresine 50, 75, 100ve 200 kW eşdeğer bağlanmış jeneratör incelenmiştir.

Atlantik okyanusunda, ana sezonda güç seviyesi model içinde denenmiştir. Şekil 4.3'teki histogramda bütün jeneratör kayıpları çıktıktan sonra dalga gücü girişinden elde edilen elektrik güç seviyesi bütün sezonlar gözönüne alınarak belirlenmiştir.

Yaz aylarında dalgaların durgun bir anında yüksek güç elde edilebilir, yedekler ve kayıplar tarafından absorbe edilen güç metrede 200 kW'ı bulabilir (jeneratör ünitesi ile birlikte). Şekil 4.3'te gösterildiği üzere yaz sezonunda ortalama net elektrik çıkışı yaklaşık "0"dır. Jeneratör doğal olarak durdurulmak zorundadır. Sonuçta görülen yıllık güç çıkışı yalnızca 13 kW/m olmaktadır. Düşük dalga gücü giriş seviyelerinde yedek

Senkronize ac jeneratörün diğer bir avantajı da yedekli güç sağlanmasında önemli güçlerde kaabiliyet ve operasyon ekipmanlarından başka konvansiyonel anahtarlar kullanılarak paralel operasyonlara yüksek güç sağlanmasını içermektedir.



Şekil 4.4 Kıyıda Kıyıya İletişim.

Edinburgh Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda birçok küçük jeneratörün en iyi aranjmanla birleştirilmesine çalışılmaktadır.

Şekil 4.4'te sistemin düzenlenmesi gösterilmektedir.

4.5 AC Yeraltı Kabloları

Petrol türevleri emdirilmiş kağıtlarla kabloların yalıtımında 132 kV ac transmisyona yüklemesinde kabul edilebilir limit aralık yaklaşık 35 km'dir. Bu limitin doğmasındaki sebep kablonun şarj akımına yaklaşmasıdır. Kablo iç akım oranlarına yani sınır değerlere ulaşmaktadır. Eğer bu limit aşılsa kablo dayanım gücü "0" olacaktır. XLPE yalıtılmış kabloların kullanıma alınması ile, petrol türevleri emdirilmiş kağıtlarla yalıtılmış kabloların yaklaşık üç katı kapasiteye sahip olunmakta ve bu elektrik yüklerinde XLPE yalıtılmış kablolar ile 100 km'nin üzerinde bir menzile sahip olunmaktadır. Yani şu andaki yapılan transmisyonda yeraltı kabloları olarak XLPE yalıtılmış kabloları kullanılmaktadır. Yüksek uzunluktaki kablolar yalnız yeraltı rotorunun orta noktalarına yakın bir yerde kablo yük akımının dengelenmesiyle olmaktadır. İsviçre'de 1974'te kullanılan XLPE yalıtılmış kabloları ilk defa olarak 20 kV'luk bir akım için kullanılmıştır. Bu da yüksek voltaj iletimleri için ilk olmuştur.(Cure, 1980)

Geniş gidiş gelişlerin olduğu tek hatlı kablo sistemlerinde akımı iletebilmek için kablonun limit ölçülerde imalat edilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle kayıplar artmaktadır. Bu kayıpların önlenmesi veya azaltılması için özel dizaynlı alüminyum alaşımlı zırh kullanılmak zorundadır.

Deniz yatağındaki kablolar ile kıyıdaki kablolarda bir karşılaştırma yaparsak 2 GW'lık dalga gücü projesi için 132 kV esnek kablo uzunluğunda kabloya ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuçta bu esnek kablolar yüzünden sistem pahalılaşmaktadır. Esnek HV kablolar hem ac hem de dc transmisyona projelerinde ihtiyaç duyulmaktadır.

Esnek ac kablolar henüz 132 kV operasyonlar için yeterli derecede geliştirilememiştir.

Kablo iletişim çemberi üzerindeki gelişmelere devam edilmektedir. Henüz daha tam gelişme sağlanamamasına rağmen SF₆ denilen bir metal anahtar dişli denenmektedir.

Cihazdan kıyıya olan iletişimin güven altına alınabilmesi için çeşitli sayıda paralel devre ile sistem geliştirilmektedir. Kablolardaki mekanik hasar ihtimalini “0”a indirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Otoritelerin söylediğine göre yapılan çalışmalarla bu mümkün kılınabilecektir. Kablolardaki mekanik hasarın ikinci bir etkisi de sonuçta elektrik kaybıdır. Bu da önemlidir ve önlenmelidir.

4.6 Tesisin Kapital Maliyeti

Birçok mühendislik araştırmasında ilk başta gelen en ucuz birleşimi oluşturmak ve en ekonomik projeyi gerçekleştirmektir. Bunun için kapasite, güvenilirlik, ömür gibi önemli belirleyici unsurlar üzerinde düşünülerek ideal bulunmaya çalışılır.

Bunların içinde imalat kapasitesi, yüksek oranda ekipman ve düşük maliyette MW / birim ve MVA / birim eldesi istenir. Bu işlemde düşük maliyette MW eldesi için jeneratör ve düşük maliyette MVA eldesi için transformatör ve seri kompensatör elemanları denenir.

Birçok ekipmanın analizinden sonra maliyet enformasyonu hakkında genel bir bilgi edinilmiş olur.

$$\text{Jeneratör Maliyeti} \quad : \quad \alpha (MW_1 / MW_2)^{0.6} + CP$$

$$\text{Transformatör Maliyeti} \quad : \quad \alpha (U_1 / U_2)^{0.4} \times (MVA_1 \times MVA_2)^{0.6} + CP$$

CP: Birleştirme, kontrol ve imalat koruma maliyeti

U_1, U_2 : Transformatör HV voltaj oranları

MVA_1 ve MVA_2, MW_1, MW_2 : Güç oranları

4.7 Jeneratör Tesisatının Maliyeti

Jeneratör tesisinin maliyetini hesaplamakta ilk gözönüne alınacak olay tesisin fırtınalı havalarda ihtiyaç duymuş olduğu direnç ve dayanımdır. Jeneratör tesisinin maliyetine etki eden ikinci unsur ise optimizasyondan ayrı olarak sistemin izolasyon seviyesinin belirlenmesidir. Bu da imalat maliyetinden bağımsız olarak yapılır. İzole edilmiş bir jeneratörden elde edilen enerji dış ortam ve kayıplardan fazla etkilenmediği için yüksektir.

4.8 Transmisyon Tesisatının Maliyeti

Transmisyon tesisatında gelen en önemli maliyet transmisyon için kullanılan kablolardaki çeşitli sebeplerle oluşan mekanik hasarlardır.

Maliyet belirlemede uzaklık, güç, akım ve bölgenin özelliklerine göre her bir projede ayrı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Edinburgh Üniversitesi'ndeki cihazda optimum kablo aranjmanı yapılarak tahmin edilen en iyi kablo maliyeti yapılmış ve bundan sonra çalışma iki katı maliyet tahmini ile buna transformatör maliyeti de katılmıştır.

Sahile transmisyon için maliyet analizi minimum adetteki yeraltı kablo devresi kullanılarak ve 132 kV üzerindeki yüksek voltaj kullanımını üzerine yapılmıştır.

Bütün çalışmalarda ac transmisyonu kullanılmıştır. Çünkü dc ve sahile kadar dc ile anakara üzerinde ac olmak üzere yapılan kombinasyondan daha ekonomiktir.

4.9 Konstrüksiyon Maliyeti

Modüler formdaki konstrüksiyon dalga enerjisi projelerinde prensipte iki adet avantaj sağlar. Kapitalin konstrüksiyon sırasında bununla ilgili faiz yükü her bir bölüm

sırasında minimumda kalmaktadır. Gelir sağlamada herbir bölüm finansal açıdan diğer bölüme asistanlık yapmaktadır.

4.10 İşletim, Bakım ve Onarım Maliyeti

Dalga enerjisi sistemlerinde bakım, onarım ve işletim yükünü net olarak göremeyiz ve karadaki santrallerde ise yalnızca bir kısmını görebiliriz. Ciddi dizaynlar ve yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkan optimumu yakalamış seçenekler en ince ayrıntıya girmeleri halinde bakım, onarım ve işletim masraflarını aşağıya çekebilirler. Gelecekte daha detaylı çalışmalara gerek duyulabilir:

- a) Minimum bakım onarıma ihtiyaç duyan ekipmanlar seçilebilir.
- b) Ortamdaki çevresel etkilerin mertebesi kontrol edilebilir.
- c) Elektrik transmisyon devreleri korunabilir.
- d) İlişkilendirilmemek koşuluyla otomatik anahtar kusurlu ekipmanlardan izole edilir.
- e) Otomatik monitörleme kapsam içine alınır.
- f) Gücün uzun süre hizmet dışı kalmaması için bakım onarım prosedürü yapılabilir.

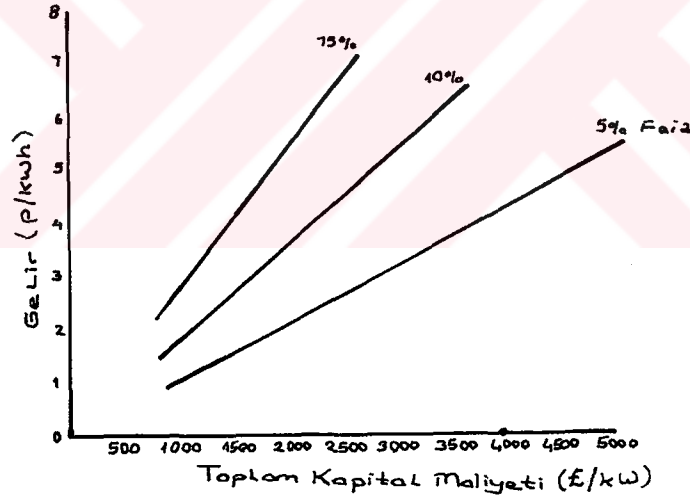
4.11 Elektrik Enerjisinin Maliyeti

Konstrüksiyon sırasında faiz artışı meydana gelirse toplam maliyet içinde en çok etkilenecek olan jeneratör ve transmisyon maliyetidir. Projede istenilen kullanım ömrünün yükseltilmesi, yıllık kapital yükünü etkiler. Dalga enerjisi projelerinde metrede elektrik eldesi (kW / m) kesin olarak bilinen bir değerdir. Şekil 4.5'te kapital

maliyetini karşılamak için gelirden değer biçme kullanılmıştır. Bu gelir işletme yükünü ve bakım onarım yükünü içermek zorundadır. Sonuçta yaklaşık elektrik maliyetinin bir profili ortaya çıkar.

4.12 Diğer Santraller İle Entegrasyonu

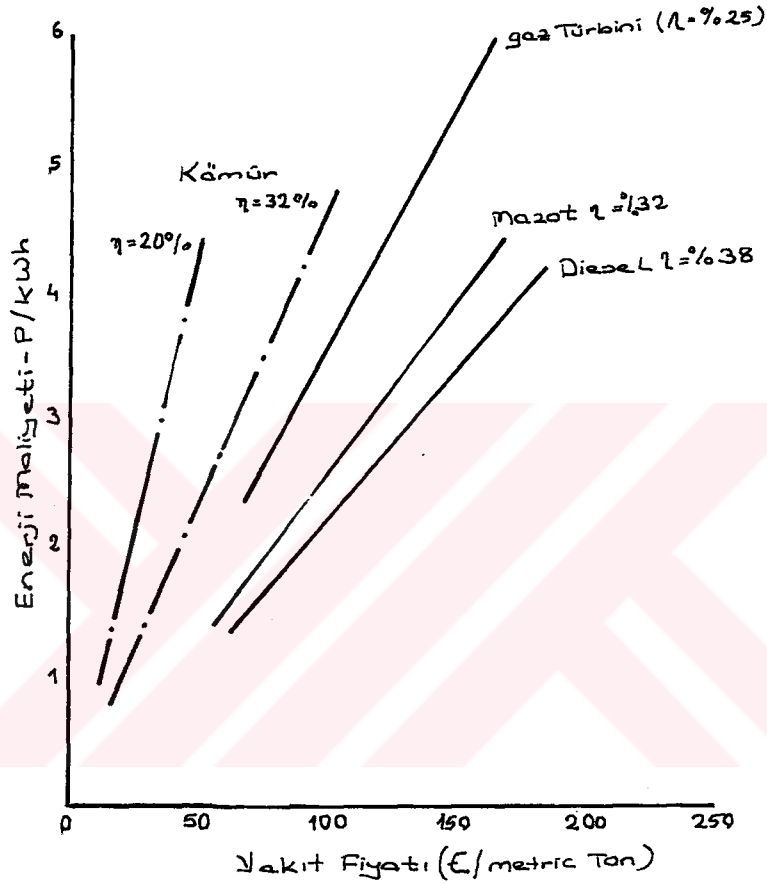
Günlük enerji ihtiyacı temel yüklü santrallerden tepe yüklü santrallere kadar uzanan bir karışımın içinden karşılanmaktadır. Tepe yüklü santraller, işletim sırasında uyumludur, genellikle düşük verimli ve temel yüklü santrallere nazaran daha pahalı yakıt kullanan santrallerdir. Temel yüklerde bu santraller devre dışıdır. Ancak günün belli zamanlarında artan elektrik harcamıyla tepe yükü santralleri de devreye girer. Şekil 4.6'da değişik tipteki jeneratörler de kWh başına pence olmak üzere yaklaşık yakıt maliyetleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Faiz ve Kapital Maliyeti arasındaki ilişki.

- Dalga enerji projesi ile elektrik elde edilen santrallerde günlük enerji ihtiyaç dalgalanmasına fazla önem verilmeyebilir. Dalga enerjisi ile üretim yapan santraller yalnız depolama sistemine sahip ise bu depolama sistemi kullanılarak tepe yüklerde

devreye alınabilir. Eğer maksimum tasarruf eldesi sağlanabiliyorsa (yakıt masrafından) enerji depolaması (e.g.pompa deposu) sonuçta gereklidir. FUND körfezinde yapılan bir çalışmada gelgit enerjisi için depolu kullanımın direkt kullanımdan çok fazla ekonomik olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6 Çeşitli yakıtlar için enerji maliyeti.

•Edinburgh Üniversitesi'nde yapılan araştırmalarda senkronize jeneratörlerin kullanımındaki kolaylıkların, bu sistemi bir depolama ünitesiyle birleştirip depolama kapasitesi eklendiğinde zorlaştığı görülmüştür. Hidrolik güç çevrimi ünitesi hızlı hareket kontrolüyle birleştirildiğinde bu sistem "0"dan dolu çıkışa 1 s'nin altındaki bir

sürede ulaşabilmektedir. Bu projenin uygulama alanı ancak kısa dönemli hızlı dönmede ve sistemlerin frekanslarının regülasyonu durumundadır.

4.13 Sonuç

- Enerji depolama sistemi sayesinde dalga makinaların yıllık güç çıkışında önemli bir artış elde edilebilir.

- AC senkronize jeneratörler reaktif gücün kontrol edilebilmesini sağlarlar ve bu yüzden de dc veya ac asenkron jeneratörlere nazaran tercih edilirler.

- Konvansiyonel ac transmisyona maliyeti dc transmisyona daha düşüktür ve en önemli avantajları da bilinen ekipmanları kullanması bilinen kontrol sistemlerine ihtiyaç duyması ve koruma tekniklerinin bilinmesidir.

- Jeneratör kayıplarının ve yedek gücün gerekli etkilerinin yıllık elde edilen güçteki etkisi, jeneratör oranında belirlenmelidir. Optimum jeneratör oranı maximum yıllık elde edilen güç çıkışı getirir.

- Uygun moddaki bazı dalga enerjisi sistemlerinde enerji depolama sistemi ile ilişki kurularak bazı pahalı tip fosil yakıtlar muhafaza edilebilir (korunabilir) böylece bu tip yakıtların ömrü uzatılabilir.

- Eğer ciddi bir şekilde dalga enerjisi kullanımı gündeme gelirse, jeneratör dizaynı ve enerji depolama sistemi mutlaka optimize edilmelidir.

5. DALGA ENERJİSİNDE ÖRNEK ÜLKE: NORVEÇ

5.1 Özet

3 yıllık bir periyod içinde Norveç'te 1979-81 yılları arasında dalga enerjisi araştırma geliştirme için 45 Milyon Nkr (yaklaşık \$8 Milyon) harcandı.(Parr 1982) Bunlar doğal dalga hareketleri ile fiziksel hareketi sağlayan üç proje üzerindedir. Çalışmalar yapılırken her türlü maliyet getirici etken incelenmeye çalışıldı. Sonuçta 200 MW üretim yapacak bir kapasiteye karşılık üretilenin kWh maliyeti 1.30-1.70 Nkr arasında oldu. (Parr 1982)

5.2 Niçin Dalga Enerjisi

Norveç'te yaklaşık toplam enerjisinin yarısı hidroelektrikten, diğer yarısı ise çoğunlukla petroldendir. Teorik olarak yağış miktarı ile hesaplanan elektrik enerjisi yaklaşık 500 TWh'tir ki bunun ancak 170 TWh'te 90 TWh halihazırda işletilmekte ve 25-45 TWh doğal çevre tarafından kabul edilmemektedir. Sonuçta Norveç 2000 yılı yakınlarına kadar diğer enerji kaynaklarını da denemek zorundadır.

Rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, güneş ısı ve biomass enerjileri hep birlikte potansiyel bir enerji kaynağı olabilir. Bu yüzden Norveç her dalda efor göstermiş ve 1979-81 arasında bu araştırmalara çeşitli kaynaklar ayırmıştır. Bunlar kısaca Milyon Nkr olarak; rüzgar için 8, dalga için 45, güneş için 7, biomass için de 7'dir.

Bu kadar dalga enerjisi üzerinde durulma sebebi bu dört enerji arasında en ucuz olduğuna inanılma sebebi değildir. Sebebi:

- Dalga enerjisinin gerçekten ucuz bir teknolojiye sahip olması ve küçük şehirlerinde bu projeyi gerçekleştirebilme ihtimalidir.

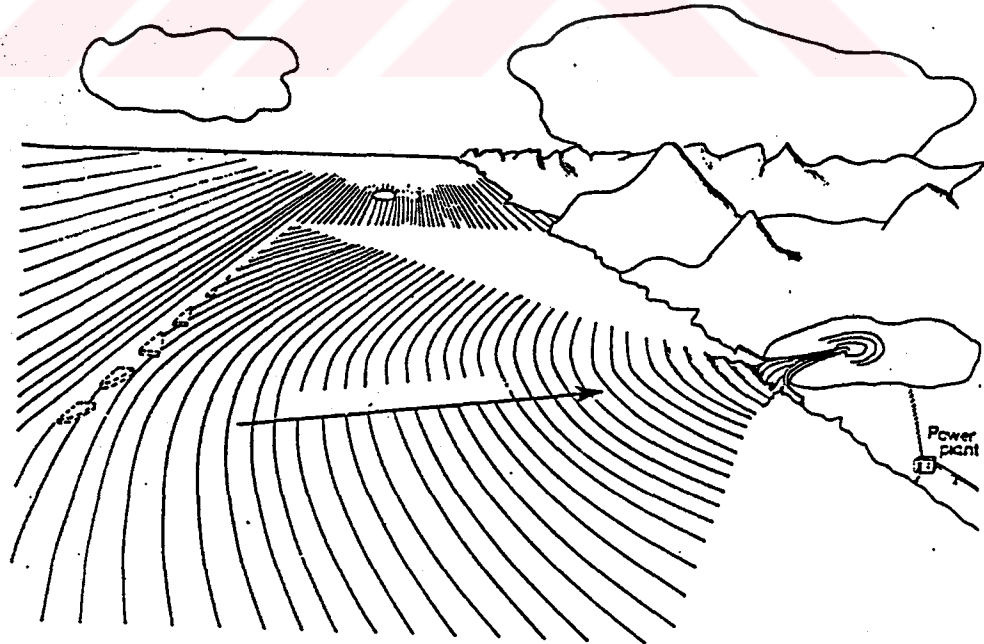
- Norveç'in gerçekten iyi bir dalga potansiyeline sahip olmasıdır.

•Norveç'in su teknolojisi konusunda enstitü ve endüstri alanında geniş bilgiye sahip olmasıdır.

•Daha 1970'lerde iyi ve öncelikli bilgilere sahip olmasıdır.

Uzun dönemli projelerde normal şartlar altında değişik alternatiflerde güç yoğunlukları elde edilir. Yıllık güneşlenme oranı yaklaşık $100 \text{ W} / \text{m}^2$ 'dir. Maksimum elde edilebilir rüzgar enerjisi kıyılarda yaklaşık $200 \text{ W} / \text{m}^2$ 'dir. Dalga enerjisi içinse 20 m'nin üzerindeki denizin içinde elde edilebilir güç yoğunluğu okyanus dalgalarında $1000-2000 \text{ W} / \text{m}^2$ 'dir. Buradan da görüleceği üzere rüzgar ve dalga enerjisi mekanik formdaki enerjilerdir ve kış aylarında daha boldur. Son yapılan çalışmalar göstermiştir ki bütün Norveç kıyılarında elde edilebilecek aktüel güç $15-30 \text{ TWh} / \text{yıl}$ 'dır. Bunun anlamı bütün teknik, ekonomik ve doğal sorunlara çözüm olabileceğidir.

5.3 Dalga Özellikleri



Şekil 5.1 Okyanus Dalgalarına Bakış

Deniz yüzeyindeki dalgalar çeşitli frekans ve yönlere sahiptirler. Dalga özellikleri bilinmemektedir fakat burada asıl problem doğrusal olmayanlarını tanımlamaktır. Enerji frekansın ve yönlerin içinde saklıdır. Uygun olan dalgaların yarısının şişme periyodu 8-12 saniyedir. (Dalga uzunluğu 100-220 m civarı)

Okyanus dalgaları da, elektromanyetik dalgalarda olduğu gibi konsantre edilebilir. Bu Norveç'te kullanılan projelerden birisidir. Alternatif olarak dalgalar bir anten tarafından absorbe edilebilir.

Bu projelerde önemli olan da km'de minimum materyal kullanarak maksimum dalga enerjisini yakalayabilmek ve aynı zamanda fırtınalara dayanıklı bir sistem geliştirmektir.

5.4 Projelere Bakış

Dalgalar sığ yerlerden pas geçtikleri zaman, dalga zirvesinde faz hızı düşer. Bu bölgelerde prensip olarak bakıldığında regüler kabarmalar meydana gelir. Fakat bu kullanışsızdır, çünkü sığlık alan yaklaşık 10 km × 10 km olabilir. Burada "Fresnel Merceği" yapıldığı takdirde çok daha az materyale ihtiyaç duyulur. Birçok enerji birkaç dalga uzunluğu genişliğindeki odaksal alanda konsantre edilebilir. Şekil 5.1'de bu gösterilmiştir. Sistem çıkış kanalı, tuzlu su rezervuarı ve türbinle tamamlanır.

Merkezi endüstriyel araştırmalar enstitüsü bu hayali projeden sorumludur. Bu fikir 70'lerde ortaya atılmış ve 79 yılında geniş olarak araştırılma şansı bulmuştur. 100 mt'ye 100 mt ölçeklerinde deney şartlarında hazırlanmış skala 1:100 (dalga periyodu 1s, dalga uzunluğu 1,5 m) olarak belirlenmiştir. Sanki optikte olduğu gibi, lenslerin dizaynı sayesinde geniş oranda frekans ve yönleri olabilmektedir. Yapılan deney sonucunda lensin veriminin enerjinin bir kısmı için $\pm 45^\circ$ ve 6-14 s'lik periyotta yaklaşık % 80 olduğu görülmüştür.

Lens elemanları betondan inşa edilebilir. Lens merkezine toplam enerji akışıyla karşılaştırıldığında % 8-16 oranında toplam verim tahmin edilir.

5.4.1 Güç Şamandırası

Radar teknolojisi örnek alınarak silindirik şamandıralardan bir hat yapılarak ve bir antene benzeyen sistemdir. Şamandıralar dalga frekans yükselmelerine bağlı olarak rezonans veya yakın rezonansa geçerler ve ilginç bir olay olarak şamandıralar, teorik olarak gelen enerjinin % 50'sini absorbe ederler. Tabii ki gerçek şartlarda anten teorik olarak belirlenenin çok altında kalır.

Bu proje 1970'li yıllara Trandeim Teknik Üniversitesi tarafından başlatılmıştır. Bir rot üzerindeki zarfta kayan 10 m çapında çelik yarıküre alıcıya sahip ve 40 m derinlikte sabitlenmiş bir versiyon üzerinde çalışmalara yoğunlaşmıştır. Enerji tek akış yönlü hava türbini ile alınmaktadır. Herbir şamandıranın kurulu kapasitesi yaklaşık 0.5 MW'dir.

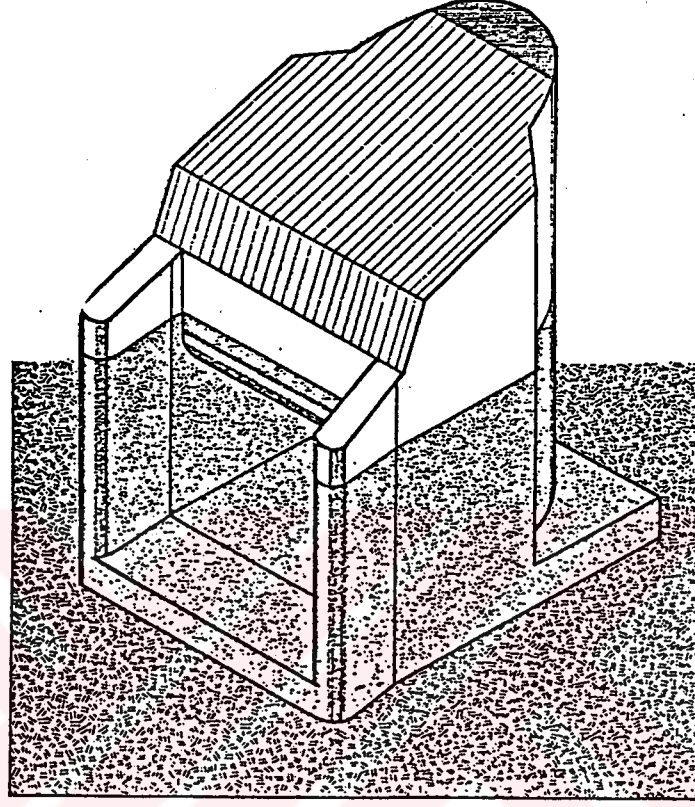
5.4.2 Kvaerner Titreşimli Su Kolonu İle Enerji Eldesi

Su kolununun en büyük avantajı ana hareketli parçasının bir dalga absorblayıcısı içinde olmasıdır. Titreşimli su kolonu hakkında çalışmalar detaylı olarak İngiltere'de yapılmaktadır. Sistem betondan yapılabilir ve kurulu kapasitesi 8 MW'tır. Bugünlerde amaçlanan daha büyük güç eldesidir. Şekil 5.2'de Kvarner Sistemi gösterilmiştir.

5.4.3 Teknik ve Ekonomik Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar her üç çalışma için de Devlet Enerji Kurulu ve bağımsız mühendislik şirketleri tarafından bulunmuştur. Karşılaştırmada bir İngiliz kuruluşu olan

NEL (Ulusal Mühendislik Laboratuvarı) tarafından yapılmış sukırıcı tip dalga pistonunun da maliyeti gösterilecektir.



Şekil 5.2 Kvaerner Brug Çevrim Cihazı.

Mercek Santral	1.7 Nkr / kWh
Güç Şamandırası	1.4 Nkr / kWh
Kvaerner Kolonu	1.3 Nkr / kWh
NEL Kolonu	2.4 Nkr / kWh

Maliyet açısından üç Norveç projesi arasında çok büyük farklılık yoktur. Bu maliyetlerinde gelecek çalışmalarla düşürüleceğine inanılmaktadır. Bunlar:

- Bakım onarım maliyetlerinin indirilmesi (özellikle güç şamandırası için önemli)
- Materyal ve bileşenlerin seçimi.
- Sistem optimizasyonu.

5.5 Ulusal Elektrik Projeleri İçin Düşünceler

Norveç'te rüzgar, dalga, güneş ve biomass enerjileri üzerine özel bir çalışma yürütülmektedir.

Çalışmalar özellikle üç değişik senaryoyla 2020 yılındaki hedefleri belirlemiştir. İleriki dönemde yeni enerji kaynakları kömür ile baş edebilmek zorundadır. Daha fazla hidrojen elde etme şansları da yoktur.

Enerji elde etme yöntemleri haftadan haftaya rüzgar, dalga ve güneş enerjisi üzerinde yoğunlaşmakta ve bu konuda çalışmalar yapan İsveç ve Danimarka ile işbirliğine gidilmektedir. Sistem çalışmalarına yeni bir hidro-enerji eldesi 2020 yılı için 0.31-0.32 Nkr / kWh olacaktır. Hesaplanan dalga enerjisi ise 0.22-0.30 Nkr / kWh olacaktır. Tabii ki bu senaryo dalga enerjisindeki gelişmeye bağlıdır.

İlginç bir not ise hidro-enerjinin her bir kWh'i 0.96 kWh'lik garanti güç sağlamaktadır. Halbuki dalga gücünün her bir kWh'i 1.1 kWh'lik garanti güç sağlamaktadır. Bunun sebebi dalga enerjisinin en fazla ihtiyaç olan kış ayında tepe noktaya ulaşmasıdır.

6. DALGA ENERJİSİNİN GELECEĞİ

Dalga enerjisi için düşünülmesi gereken bir problemde oldukça önemli değişiklikler gösterebilen bir enerji kaynağından geniş çapta yararlanmanın yaratacağı bazı entegre sistem problemleridir.

Kıyıda uzak dönüştürücülerden elde edilen mekanik güç, doğrudan elektrik enerjisine çevrilebilir veya hidrolik / elektrik yükleme şekline dönüştürülebilir. İkinci seçenek, büyük dalga kuvvetlerini karşılamak ve kısa dönem depolama açısından daha geçerli olabilir. Doğrudan elektrik enerjisi elde edildiği takdirde, bunun olduğu gibi kıyıya iletilmesi veya deniz altında ikincil yakıt üretiminde (hidrojen gibi) kullanılması seçenekleri ortaya çıkmaktadır. Kıyıya iletilen elektrikte, doğrudan kullanılabilir veya ikincil yakıt üretimi ile depolanabilir. Hidrolik yükleme ile dönüştürülen enerji de turbo-jeneratörler vasıtası ile denizde veya kıyıda elektrığe dönüştürülür. Ayrıca çeşitli dönüştürücü birimlerden gelen enerjinin denizde bir platformda veya kıyıda bir kontrol merkezinde toplanıp düzenleyici bir süreçten geçirilmesi gerekebilir. Bütün bunlar ekonomiklik ve güvenilirlik açılarından üzerinde önemle durulması gereken sistem problemlerini açığa çıkarmaktadır. Diğer taraftan, dönüştürücülerin geliştirilmesinin gerektirdiği çalışmalardan başka, sistemin bütünü ele alındığında, yeni mühendislik problemleri de ortaya çıkmaktadır. Bunları en önemlileri, denize kurulan sabit veya sabit olmayan yapılar üzerindeki dalga kuvvetleri, bu yapıların deniz dibine bağlanması ve denge kurumları ile ilgili problemler, sabit olmayan bir ortamda ve rastgele enerji girdisi ile güç üretimi ve iletimini içermektedir. Bunların dışında da elde edilen enerjinin ülkenin mevcut entegre enerji sistemine uyumunu sağlamak üzere gerekli önplanlamanın yapılması ile ilgili çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Dalga verilerinin elde edilmesi ve değerlendirilmesi, zamanla değişen bir enerji kaynağının en uygun kullanım yollarının saptanması gerekmektedir.

Dalga enerjisinin dünyadaki durumuna bakıldığında ise daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere birçok ülke (Norveç, İsveç, İngiltere, A.B.D.) dalga enerjisi konusuna çok önem vermektedir.

Kutuplar dışında bulunan dünya okyanuslarının kıyı şeridi toplam yaklaşık 100.000 km'dir. Ortalama güç potansiyeli 40 kW/m kabul edilirse, bu kıyı şeridinin gücü 4 Milyar kW seviyesine ulaşır. Bu değer dünyadaki tüm su gücünün 7 katından fazladır. (Külünk 1983)

Uzun incelemeler sonucunda Fransa hükümeti Manş kıyılarında (St. Mala-Rance koyu), 1966 yılında 240 MW'lık bir dalga enerjisi santralını devreye sokmuştur. Türünde dünyanın ilk tesisi olan bu santralin çalışması kıyısal rampa dönüşüm sistemi ile olmaktadır. Bu bölgede dolunayda 11 metreye varan gel-git dalgaları oluşmaktadır.

Eski SSCB Beyaz Denizin dalgalarının 210 Milyar kWh/yıl seviyesindeki güç potansiyelinin % 20'sinden faydalanmaktadır.

Cape Town Üniversitesi'nden bir grup araştırmacının Afrika kıyılarında yaptığı çalışmalarda ortalama 50 kW/m düzeyinde bir potansiyel olduğu anlaşılmıştır. Sadece bu kaynağın bu ülkenin 2000 yılındaki elektrik enerjisi ihtiyacına yeteceği belirtilmektedir. Ortalama dalga yüksekliği 1.5 m'dir.

Ülkemizdeki duruma baktığımızda ise henüz güvenilir dalga istatistiklerinin yapılmadığı görülmektedir. Ancak rüzgar hızı ölçümlerine dayanılarak bazı tahminler yapılabilmektedir. 8 Milyon m civarında olan kıyı uzunluğumuz; 20 kW/m'lik güç potansiyeli ile 1.6×10^5 MW'lık güce tekabül eder. Rüzgar ve güneş enerjisinin ortaklaşa etkisiyle oluşan dalga enerjisi üretim verimliliği % 25 alınsa bile bu 40.000 MW'lık bir değer ifade eder ki bu yüksek bir eldedir.

Enerji talebinin özellikle arttığı kış aylarında, dalgalı bir kıyı şeridine sahip olduğumuz Karadeniz Bölgesi'nde çalışılabilir. Buraya en uygun dalga enerjisi dönüştürücü sistemi kıyısal rampa ve şamandıra sistemleridir. Ancak sistem seçiminde yöresel meteorolojik şartlar; enerji talebi; üretilen enerjinin taşınım ve kullanım faktörleri de düşünülmelidir.

Türkiye'nin genel enerji planlaması kapsamı içinde, hızlı sanayileşmenin getirdiği enerji talebinin ileri dönemlerde karşılanabilmesi için, bütün enerji kaynaklarının incelenmesi ve ekonomik yargılardan çevre kirlenmesine kadar çeşitli etkenlerin rol aldığı bir karar verme süreci ile gerektirdiği sırada uygulamaya geçilmesi beklenir. Bu görüş içinde gerekli verilerin elde edilebilmesi için yapılacak ön yatırımlardan ileride büyük faydalar sağlanabilir.

Dalga istatistiklerinin elde edilebilmesi için kıyılarımızda mevcut meteoroloji istasyonlarından geniş ölçüde yararlanılabilir. Teknik yönden kullanılacak yöntemler belirlidir. Bunlar genel olarak yüzeysel şamandıralar ve deniz tabanına yerleştirilen sensörler olarak iki grupta görülebilirler. Bu yöntemlerle elde edilebilecek birkaç yıllık dalga istatistikleri, çok daha uzun süredir elde edilmekte olan rüzgar istatistikleri ile beraber değerlendirildiğinde, kıyılarımıza ait oldukça sağlıklı dalga verilerine sahip olmak mümkün görülmektedir.

Bu istatistikler sayesinde ülkemiz için küçümsenmeyecek bir potansiyel olduğu tahmin edilen dalga enerjisinin gerçek verileri elde edilecek ve uygulamada hangi yöntemlerin uygun olacağı düşünülmeye başlanacaktır.

7. SONUÇ

Dalga gücünden yararlanmanın çekiciliği, dalgalardaki büyük enerji akılarıdır. Rüzgarların oluşturduğu dalgalar, rüzgardan aldıkları enerjiyi etkin bir şekilde çok uzaklara taşıyabilirler. Sözelimi, Avrupa'ya ulaşan büyük dalgalar, Atlantik Okyanusu'nun ortalarında, hatta Karayip Denizi'ndeki fırtınaların etkisinde oluşmuş dalgalardır. Dalga enerjisinden yararlanmada, genelde, derin deniz dalgaları kullanılır. Dalganın enerjisi köpüklenmeyle, kıyıya yaklaştıkça deniz dibi sürtünmeleri ile azalır. Dalga enerjisinden yararlanmada tasarlanan düzenekler, araştırmamda daha önce de değindiğim gibi çok çeşitlilik göstermektedir. Bunlardan birkaçı şöyle sıralanabilir.

Stephen Salter'in (İskoçya) "ördek"leri. Bu ördekler, biçimlerinden ötürü sivri uçları yönünden aldıkları dalga ile bir salınım yapmakta ve salınım eksenine bağlanan bir bağlantı ile güç dışarı alınabilmektedir. Bu tasarımda, dalgadaki enerjinin çok azı yansıtılmakta ya da ördeğin arkasına geçebilmektedir. Salter, birbirine esnek bağlantılar ile bağlanmış kilometreler uzunluğunda ördek dizileriyle İskoçya'nın batı kıyısı açıklarında 100 MW'lık bir elektrik üretim düzeneği tasarlamıştır.

Başka bir tasarım türü de, denizde yapılacak ve altında bir delik bulunan kulelerdir. Bu kulelerin içine giren dalgalar kule içinde düşey bir hava akımı (salınımı) oluşturacaklar ve bu hava akımıyla çalışan bir türbin aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Bu yöntemle çalışan deniz şamandıraları Japonya'da ve İrlanda'da satılmaktadır. Yine bu yöntemle çalışan Norveç'teki (Toftestallen) 500 kW'lık güç santrali, elektrik ağına bağlanan ve dalgadan elektrik üreten ilk santraldır.

Dalga enerjisinden yararlanmada, küçük setler oluşturarak, dalgaların bu setleri aşarak, suyun setin öbür yanında depolanması düşünülmüş; yeniden dışarı akıtılırken suların bir türbini çevirmesi ile çalışacak tasarımlar da yapılmıştır. Bu tür bir tasarımla Mauritius Adası'nda 20 MW'lık bir elektrik santrali yapılması düşünülmektedir.

Derin-su dalgalarından elektrik enerjisi elde etme düşüncesi uzun zamandır gündemdedir ve yukarıda ancak birkaç örneği verilebilen sayılamayacak denli çok

sayıda tasarım ve görüş ortaya atılmıştır. Son yıllarda, özellikle Japonya, İngiltere ve İskandinavya'da, küçük çaplı denemelerden sonra, anlamlı büyüklüklerde elektrik elde edecek düzeneklerin yapımı aşamasına gelinmiştir. Şimdilik 1 MW güç düzeyinde 50 m genişliğindeki üretim birimleri üzerinde durulmaktadır. Bu düzenekler, özellikle adalardaki dizel yakıtlı elektrik üreticileri ile yarışabilir ekonomiktir. Ayrıca, açık denizlerde deniz trafik işaretlerine elektrik enerjisi sağlamada dalga enerjisinden yararlanma üzerinde durulmaktadır.

Dalga enerjisinden yararlanmada öngörülecek tasarımlarda gözönünde bulundurulması gereken noktalar şöyle özetlenebilir:

- Dalga enerjisinden yararlanmak için yapılacak tasarımlarda, dalgaların hız, yön, evre ve genlik düzensizlikleri gözönüne alınmalıdır.

- Yapılacak tasarımlar, olağandışı koşullara karşı dayanıklı olmalıdır. Genelde 50 yılda bir, olağan dalgaların 10 katı genlikli dalgalar ortaya çıkar. Bu durumda, enerji üreten düzeneğin, olağan enerji girişinin yaklaşık yüz katı bir enerji girişiyle başedebilmesi gerekir.

- Derin-su dalgalarından enerji elde etmede kullanılacak düzeneklerin, bu dalgaların bulunduğu yerlerde deniz dibine bağlanarak yerlerinin değişmez kılınması önemlidir.

- Derin-su dalgaları kıyılardan uzakta bulunduğu için (ölü dalgalar gibi) burada elde edilen enerjinin kıyılara taşınması ve bunun için seçilecek yöntemler önem taşımaktadır.

- Dalgaların periyodları genelde 5-10 saniye (sıklık olarak yaklaşık 0.1 Hz) dolayındadır. Elektrik üretiminde istenen bu değer yaklaşık 500 katı sıklıkların (frekanslar), bu düşük sıklıktan elde edilmesindeki zorluklar aşılmalıdır.

Dalgadan enerji elde etmek için deniz üstüne konacak aygıt ve düzeneklerin deniz trafiğini aksatmayacak büyüklük ve yapıda olmaları gerektiği gözden uzak tutulmamalıdır. (Demir, 1996)



KAYNAKLAR

- 1) Albaş, Macide, 1994. 4. Türkiye Enerji Kongresi İstatistikleri.
- 2) Ambli, N., Budol K. Falnes J. 1977. Wave Power Conversion by a row of optimally operated buoys.
- 3) Bach, Wilfrid., Matthews W., 1979. Exploring Alternative Energy Strategies Energy. Vol 4: 711-721.
- 4) Bellamy N.W., 1979. Wave Power Experiments at Loch Ness, 127-130.
- 5) Burdette, E.L., Gordon C.K. 1983. Available Ocean Wave Power and Prediction of Power Extracted by a Contouring Raft Conversion System, Transactional of the ASME, Vol 105: 492-498
- 6) Cure, J.R., Sullivan J.A., Generation and Transmission of Electricity from Wave Energy Schemes: 135-142
- 7) Eden Richard, Pasner M., Bending R., Stanislaw J., 1981. Unconventional and Renewable Energy Sources. 198-201.
- 8) Flovin, Christopher, 1994. Alternative Energy Sources, Applied Energy, 47: 123-146
- 9) Furlon G., Rodrigues H., Vidini G., 1982. Proceedings of the first Latin American School and Third International Symposium on Non Conventional Energy Sources, Vol.3: 630-663.
- 10) Green, W.L., Campo J.J., Parker J.E., Miller J.A. Miles J.B., 1983. Wave Energy Transactions of the ASME, Vol. 105: 487-491
- 11) İnan, Demir, Haziran 1996. Bilim ve Teknik Dergisi, TÜBİTAK Yayınları Sayfa: 72-74

- 12)Külünk Hasan. Eyice Suavi. 1983. Yeni Enerji Kaynakları. Sayfa: 102-109.
- 13)Marley F.J.M., 1980. Applied Ocean Research. 131-133.
- 14)Merrick, David. Marshall, Richard. USA, 1981. Energy-Present and Future Options, Vol 1: 14-37
- 15)Parr, Hugo., 1982. The Norwegian Wave Energy Program, Alternative Energy Sources, Vol 4: 115-122
- 16)Sert, Mahmut., Özil, Eralp., Baykara, Sema. 1975. Dalga Enerjisi ve Türkiye'de Yararlanma Olasılıkları, Türkiye 3. Genel Enerji Kongresi TÜBİTAK, 291-304
- 17)Vass, Alfred, 1979. Waves, Currents, Tides-Problems and Prospects, Energy, Vol 4: 823-827
- 18)Whittake T.J.T., Robinson R.W., Murray M.A., 1981. A Hydrodynamic Study of an Oscillating Water Column Wave Energy Converter., 143-146.

ÖZGEÇMİŞ

D. Tarihi : 23 Kasım 1970

D. Yeri : İstanbul

Eğitim : 1985-1988 Kenan Evren Lisesi

Y. Öğrenim : 1989 -1993 Y.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve Y.T.Ü. Fen. Bil. Enst. Mak. Müh. Anabilim Dalı Enerji Programında yüksek lisansa başladı.

