

# Deniz Dalgalarından Elektrik Üretimi: Küçük Çapta Bir Uygulama

**Mehrübe Mehrübeoğlu, Lifford  
McLauchlan ve David Nicholas  
Patterson**

**Özetçe**—Petrol ve benzeri ürünlere bağımlılığı azaltma ve yeşil bir çevreyi destekleyen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma amaçlı yeşil teknoloji girişimleri dünyanın her tarafında yatırımcıların ilgisini çekmeye devam etmektedir. Bu konuda çeşitli araştırmacı ve girişimciler katkı koyma çabalarını sürdürmektedir.

Bu makale deniz dalgalarından elektrik üretimi konusunu incelemektedir. Deniz ve okyanus dalgalarından elektrik üretme kavramı yeni olmamakla birlikte temel fizik bilgilerini kullanarak bu yenilenebilir enerji kaynağını irdelemek yerindedir. Faraday Kanunu'nun uzantısı olan Lenz Kanunu'na uyarak küçük çapta kendi kendine yeterli ve aydınlık veren bir sistem geliştirmek mümkündür. Bunun için daimi mıknatıs bir bobin teli içerisinde deniz dalgaları tarafından sallandırılırsa bu dalgaların kinetik enerjisinin bir kısmı mıknatısın kinetik enerjisine dönüşür. Mıknatısın sağa sola (ya da yukarı aşağı) sallantılı hareketi de bobin telinde akım oluşmasına neden olur. Bu makalenin geriye kalan kısmında enerji dönüşümü ve elektrik oluşumuyla ilgili denklemler ve küçük çapta bir uygulamanın ayrıntıları sunulmuştur. Ayrıca şu anda uygulamada olan daha büyük çapta sistemler özetlenmiştir.

## I-GİRİŞ

YEŞİL teknoloji ve yenilenebilir enerji ile ilgili araştırma ve uygulama çalışmaları bu teknoloji ve enerji türünün çevre dostu olmasından dolayı hızla genişlemeye devam etmektedir. Yenilenebilir ve tekrar kullanılabilir yeşil enerji örnekleri arasında güneş enerjisi, rüzgar, çöplük gazı, biyo-yakıt, termal, gel-git, dalga, ve hidro enerjileri sıralanabilir. Geleneksel enerji kaynaklarının ekonomi ve çevreye yan etkileri arttıkça ve daha belirginleştikçe dünya çapında yeşil teknolojiye yönelik araştırma ve girişim teşvikleri de çoğalmaktadır. Örneğin

Amerika'nın Şikago kentinde belediye özellikle yeşil uygulamalara yönelmiştir [1]. Bu şehirdeki çoğu yapılar güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla fotovoltaik parça ve donanım içermektedir. Bunun benzeri örneklerini Kuzey Kıbrıs'ta da sınırlı da olsa görmek mümkündür. Örneğin Dipkarpaz'da özel bir turizm kuruluşu yıllardır güneş pilleri ve panelleri ile gece kullanmak üzere gündüz güneş ısısından elektrik elde edip depolamaktadır. Çoğu yenilenebilir enerjinin 'akıllı ev', 'hibrit (melez ya da karma enerji kullanan) taşıt araçları' ve diğer güç tasarruflu teknolojilerinin aynı zamanda bireysel alanlarda kullanımı, bilgi işleme kaynak ve kapasitesine dayanmaktadır [2,3]. Yayımladıkları makalede Wakeham ve grubu, yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirliği konulu çalışmaların yapılabilmesi için gereken adımları tartışmaktadır. Bu adımlardan bazıları, enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve veritabanı geliştirilmesi, mevcut teknolojileri içeren veritabanı, uygulanacak teknolojinin çevreye etkilerinin incelenmesiyle kullanım lisansları ve masrafları modelleyen ekonomik çalışmalar olarak sunulmaktadır [4]. Pelc ve Fujita okyanusun yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımının şimdiki durumu ve potansiyelini incelemiştir [5]. Okyanus ya da denizle ilgili yenilenebilir enerji sistemleri arasında okyanus termik, gel-git ve rüzgar enerjilerini dönüştürme sistemleri yer alır. Pelc ve Fujita'nın da vurguladığı gibi okyanusa bağlı sera gazı üretmeyen yeşil teknolojilerin potansiyelinin yanında bu teknolojilerin diğer yüzü – deniz yaşamına etkileri – de dikkate alınmalıdır. Yeşil teknolojilerin üretimine gerekli enerji ve oluşan atık maddeler, yeşil teknolojinin sağlayacağı tasarruf ve avantajları yok edebilir [3]. Bu nedenle yeşil teknolojiler dikkatlice değerlendirilmeli ve zararlarının hesaplanıp önü alınmalıdır.

### **A. Okyanus Dalgalarına Bağlı Enerji Dönüşüm Sistemleri**

Şu anda varolan dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kullandıkları ilkelere bağlı olarak değişik sınıflara ayrılabilir. 1) salınımlı dalga kolonu (*oscillating wave columns*) veya terminatör 2) üstten aşan (*overtopping*) araçlar 3) yukarı-aşağı sallanan

**Bu makale aynı eş yazarların 16-17 Nisan 2009 tarihli IEEE Yeşil Teknoloji Konferansı (IEEE Green Technology Conference)'nda sunduğu**

**"Generating Electric Current from Ocean Waves, © 2009 IEEE" (Okyanus Dalgalarından Elektrik Akımı Oluşturma) başlıklı makalelerinden revize edilmiş, genişletilmiş ve Türkçe'ye çevrilmiştir. Çeviriyi yapan ilk yazar Mehrübe Mehrübeoğlu'na [mehrube.mehrubeoglu@ktemo.org](mailto:mehrube.mehrubeoglu@ktemo.org) e-posta adresinden ulaşabilirsiniz.**

(heaving) veya nokta sönümlemeli (point absorber) araçlar 4) yunuslama hareket eden (pitching) veya zayıflatıcı (attenuator) araçlar ve 5) öne-geriye sallanan (surging) araçlar [6,7]. Aynı sistemler kullanımlarının kıyıda uzaklığına bağlı olarak kıyıboyu sistemleri, kıyıya yakın sistemler, ve açık deniz sistemleri olarak kategorilere ayrılabilir.

Bütün bu sistemlerin elektrik şebekesine bağlanarak kıyıda kullanılabilir hale getirilmesi, okyanus veya deniz dalgalarından depolanan enerjinin birbiçim olmamasının getirdiği zorluklardan dolayı (örneğin dalganın değişken yüksekliği, fazı, frekansı ve yönü) kolay olmamaktadır. Ayrıca okyanuslarla denizlerde gözlemlenebilen kasırğa, hortum, tayfun ve zararlı yüksek dalga gibi aşırı hava koşulları, bu teknolojilere bağlı donanım ve donatımın bakım ya da onarımı için özel planlama ve dikkati gerektirir. Paslanma tuzlu su ortamlarında sıkça görülen bir başka sorundur.

Çeşitli okyanus veya deniz suyuna bağlı enerji dönüştürücü sistemler halihazırda kullanımdadır. Diğerleri büyük ölçekli uygulamalar için araştırma aşamasındadır. Dalga enerjisini dönüştüren sistemler hidroelektrik santrallere benzer kavramlara dayanır. Aquabuoy, Pelamis ve Wavedragon şu anda Kanada'nın değişik yerlerinde suya yerleştirilmiş dalga enerjisi toplayan üç sistemin örneğidir [8].

Polinder ve grubu, Arşimet'in Dalga Salınımı (ADS) (Archimedes Wave Swing (AWS)) cihazını daha iyiye götürmek için farklı jeneratörleri incelemiştir [9]. ADS cihazı, bu aracın suda yüzen parçasının doğrusal hareketinden enerji üretmektedir. Leijon ve diğerleri [10], Ivanova ve diğerleri [11] ve Tapanese [12] doğrusal jeneratörleri incelemiştir. Leijon ve grubu üç fazlı daimi mıknatıstan oluşan doğrusal jeneratörler kullanmışlardır [10]. Deniz enerjisinin çoğunun açık denizde olmasından dolayı birçok derin suda uygulanabilecek dalga enerjisi sistemleri geliştirilmiştir. Diğer yandan Folley ve Whittaker karaya yakın ve açık denizde uygulanabilecek dalga izgesel (spektral) modelleri üzerinde çalışmıştır [13]. Bu araştırmacılar kâr amaçlı kullanım ve uygulamalar için var olan potansiyelin daha doğru bir göstergesi olarak "ortalama faydalanılabilir dalga enerji kaynağı" terimini geliştirmiştir [13]. Garret ve Cummins [14] ayrıca Bryden ve Couch [15] gel-git enerji modelleri geliştirmiştir. Birçok doğru sürme sistemler sıkça kullanılan mekanik ve pnömatik dalga enerji sistemlerinde var olan sorunlardan dolayı manyetik alanlardan faydalanır [16,17]. Rhinefrank ve diğerleri elektrik gerilimi (voltaj) endüklemek için şamandıra ya da suda yüzen parçanın içindeki armatür bobininin daimi mıknatıs çevircisine göre hareketinden yararlanarak suda yüzen bir sistem kullanmıştır [17]. Ivanova ve grubu okyanus dalgalarından elektrik enerjisi çıkartacak 100 kilowatt'lık sekizgen üç fazlı bir doğrusal jeneratörün simülasyonunu betimlemektedir [18]. Bu benzetimde okyanus dalgaları periyodik sinüzoidal

dalgalar olarak işlem görmüştür. Halihazırda dalga enerjisini kullanarak elektrik elde eden diğer ticari amaçlı ürünler de bulunmaktadır [6,19]. Bu sistemler aynı zamanda elektrik şebekesine bağlanmış durumdadır.

## B. Önerilen Çalışma

Bu makalede anlatılan çalışmada deniz dalga enerjisi, kendi kendine yeterli küçük çapta bir elektrik jeneratörü tarafından LED'leri (ışık yayan diyotları) aydınlatacak elektrik akımına dönüştürülmektedir. Bir prototip olarak öngörülen bu tasarım ve uygulama, ilerde deniz feneri, gece birden fazla kullanıldığı takdirde suyun içinde kıyı boyunu aydınlatmak veya karanlıkta sudaki cisimlerin yerini belli etmek için kullanım amaçlıdır. Kendi kendine sürdürülebilir bağımsız bir elektrik akımı dönüştürme cihazı olarak düşünülen bu sistem deniz dalgalarının deviniminden doğan kinetik enerjiyi kullanarak bobin içindeki mıknatısı sallamakta ve böylelikle bobin telinde elektrik akımı oluşturmaktadır.

Bir sonraki bölümde okyanus dalgalarından enerji dönüşümüne bağlı ilkeler ve denklemler sunulup anlatılmıştır. Ön ürün olarak ortaya çıkan küçük çapta kendi kendine sürdürülebilir enerji dönüştürücü uygulamasının detayları III. bölümde verilmiştir. Analiz ve tartışma IV. bölümde, özet ve sonuç ise V. bölümdedir.

## II-ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNÜN İLKELERİ

### A. Okyanus Dalga Enerjisi

Okyanus ve deniz dalgaları yeşil enerji için uygun bir kaynaktır. Bu dalgaların yüksek güç yoğunluğu ve kullanım katsayısı, onların ekonomik potansiyelini açığa çıkarır [18]. Dalga enerjisi, oluşuktan sonra karşıdan esen rüzgar yoksa açık denizde fazla bir kaybı olmadan binlerce mil mesafe katedebilir [6]. Kıyıya yakın yerlerde bu enerjinin bir kısmı deniz yatağıyla suyun etkileşiminden kaybolur. Ama güneşin etkilerinden dolayı yeni enerji kazanılır. Okyanus dalga enerjisi, dairesel yönde devinen partiküllerin kinetik enerjisi olarak kabul edilirse ve dalgasız suya kıyasla yükselen zerrelere potansiyel enerjisi olduğu düşünülürse, dalga enerjisi, enerji akısının periyodu ve genliğinin karesi ile doğru orantılıdır

$$\Phi_w = kh^2 T \quad (1).$$

Yukardaki denklemde  $\Phi_w$  dalga enerjisi akısı (kW/m),  $h$  dalganın yüksekliği (m),  $T$  ise dalganın periyodudur (s).  $k$  denklemin iki tarafındaki eşitliği sağlayan sabit bir değerdir. Yüksek genlikli ve uzun periyotlu dalgalarda enerji, her bir metre dalga enine 50 kilowatt'tan fazladır [6].

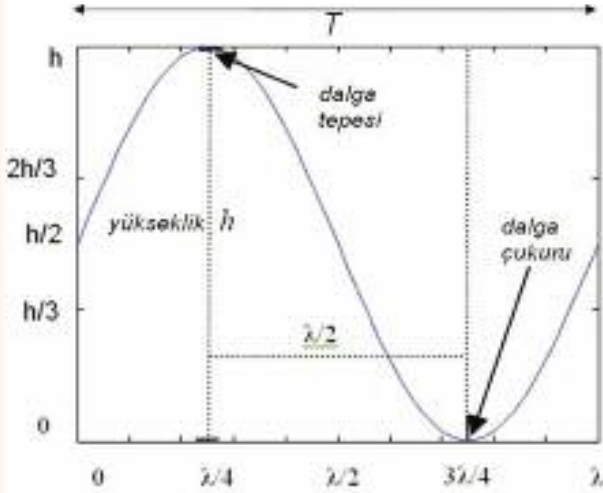
Şekil 1'de gösterildiği gibi deniz dalgaları sinüzoidal dalgalar olarak kabul edilebilir. Denizde yüzer bir cisim deniz dalgalarının sinüs eğrisine benzer

devinimi doğrultusunda hareket eder. Bu cismin eğim açısı ortalama dalga özellikleri bilindiği takdirde şekil 2’de gösterildiği gibi yaklaşık olarak hesaplanabilir. Yaklaşık azami eğim  $\theta$  ise formül (2) ile hesaplanabilir.

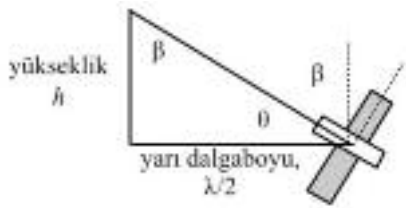
$$\theta = \tan^{-1}(h/(\lambda/2)) \quad (2)$$

$\lambda$  dalgaboyu (m),  $h$  dalga yüksekliğidir (m).

Elde edilecek dalga gücü dünyanın hangi coğrafya bölgesinde bulunduğu da bağlıdır. Amerika Birleşik Devletleri’nin kuzeyi, Kanada, Güney Avustralya ve Güney Amerika’nın güney sahilleri şiddetli rüzgarlar gördüğünden okyanus dalga enerji sistemleri gibi rüzgar bazlı yenilenebilir enerji sistemlerine uygundur [6]. Girne Amerikan Üniversitesi’nde, Hazar Gölü’nün güneyinden açık denizde elde edilen verileri kullanarak yapılan bir simulasyon çalışması, bu bölgedeki azami dalga boyunun 0 ile 9 metre arasında olabileceğini göstermiştir [20].



**Şekil 1.** [21] Deniz dalgalarının sinüzoidal yaklaşıklığı. Dalga yüksekliği dalga genliğinin iki katıdır. Yükseklik ortalama dalga tepesiyle ortalama dalga çukuru değerlerinin farkı alınarak bulunur.  $h/2$ ’de çizilecek yatay bir çizgi dalgasız denizi temsil eder.



**Şekil 2.** [21] Suda yüzen sistemin dikey yöne göre eğim açısı ( $\theta$ ), dalga tepesinden dalga çukuruna düz bir çizgi çizilerek yaklaşık olarak hesaplanabilir. Açılar, dikey çizgi yönüne kıyasla tanımlanır.

Deniz dalgalarının gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_{dalga} = \rho_{deniz} g^2 h^2 T / (32 \pi). \quad (3)$$

Burada,  $P_{dalga}$  dalga gücü (W/m ya da kg.m/s<sup>3</sup>),  $\rho_{deniz}$  deniz suyunun yoğunluğu, (1025 kg/m<sup>3</sup>),  $g$  yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>),  $h$  dalganın yüksekliği (m), ve  $T$  periyotdur (s) [7]. Burada tanımlanan dalga gücü  $P_{dalga}$ , dalganın 1 metrelik dalga tepesi boyunca elde edilen güçtür. Dalga gücünden elde edilen enerjinin bir kısmı elektrik enerjisi gibi diğer enerji türlerine dönüştürülebilir.

### B. Elektrik Oluşumuna Bağlı Denklemler

Önerilen kendi kendine yeterli ve sürdürülebilir deniz dalgalarından elektrik oluşturan sistemin ilkeleri, elektrik ve manyetizmanın birbirine olan ilişkisine dayanır. Kapalı bir devredeki iletken sargı, bobinin içinde bulunduğu sabit bir manyetik alana nispeten değişken hızla ve yönü manyetik alanı 90 derece kesecek şekilde hareket ettiğinde, veya manyetik alan sabit bir sargıya göre aynı şartlarla hareket ettiğinde, bu devrede akım oluşur (Faraday Kanunu). Böyle tamamlanmış bir devrede üretilen akım miktarı manyetik akının telin zamana göre dikey yönde hareket değişiminin hızına bağlıdır. Aynı zamanda bahsedilen tamamlanmış devrede endüklenen gerilim miktarı bobin telinin sarım sayısı ile doğru orantılıdır. Birçok temel elektronik ve ilgili kitaplarda bulunan sadece açıklık kazandırmak için burada yinelenen denklem (4),  $B$  ile gösterilen ve ‘tesla’ ölçü birimiyle ölçülen manyetik akı yoğunluğunun,  $\Phi$  ile temsil edilen ve ‘weber’ ölçü birimiyle ölçülen manyetik akı, ve  $A$  olarak gösterilen manyetik alanın ‘metre kare’ birimindeki kesit yüzölçümüne bağlantısını sergilemektedir [22, 23].

$$B = \Phi/A \quad (4)$$

Daimi bir mıknatısın  $B$  ile  $A$  değerlerinin mıknatısın gücü ve şekline bağlı olduğu bilinmektedir. Bu değerleri bilinen bir mıknatısın akısı da hesaplanabilir.

Endüklenen gerilim Faraday Kanunu’na göre denklem (5)’teki gibi hesaplanır.

$$v = N(d\Phi/dt) \quad (5)$$

Burada,  $v$  endüklenen gerilim,  $N$  bobin telinin sargı sarım (tur) sayısı,  $d\Phi/dt$  zamana göre mıknatısa özgü manyetik akının değişme hızıdır. Faraday Kanunu’nun bir uzantısı olan Lenz Kanunu, endüklenen gerilim yönünün (polaritesinin), bu gerilimi oluşturan etkenin zıt yönünde oluşacağını ifade eder. Lenz Kanunu böylelikle Faraday Kanunu’nun ortaya koyduğu endüklenen gerilim denkleminde voltaj yönünü belirler. İletken malzeme olarak bobin üzerine sarılan yalıtılmış bakır tel (sargı) kullanılırsa endüktans, manyetik akı, sarım sayısı ve endüklenen gerilim miktarının birbirine bağlantısı denklem (6)’daki gibi gösterilebilir.

$$L(di/dt) = N(d\Phi/di) \quad (6)$$



Burada  $L$  sargı telinin sargı tur sayısına orantılı endüktansı,  $d\Phi/di$  ise manyetik akının endüklenen akıma göre değişme hızıdır [23, 24].

Denklem (7) ve (8)'i kullanarak  $L$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$L = N\Phi/i, \quad (7)$$

$$\Phi = BA = \mu_0 N A i / l \quad (8)$$

$\mu_0$  manyetik geçirgenlik,  $A$  manyetik alanın 'metre kare' cinsinden yüzölçümü,  $i$  endüklenen akım,  $l$  ise telin sarıldığı bobinin uzunluğudur [24]. Bunun sonucu denklem (9)'da verilmiştir.

$$L = \mu_0 N^2 A / l \quad (9)$$

Yukardaki denklem sadece *tek sıra sargı* için geçerlidir.

Endüklenen gerilim miktarı endüktans ve akımın zamana göre değişme hızını kullanarak denklem (10) ile hesaplanabilir.

$$v = L(di/dt). \quad (10)$$

Denklem (10)'da akımın zamana göre değişme hızı başa alınırsa denklem (11) elde edilir.

$$(di/dt) = v/L. \quad (11)$$

Elde edilen elektriği depolamak amacıyla kondansatör kullanılırsa bu kondansatörde saklı endüklenen akım denklem (12) ile ifade edilir.

$$i = C (dvc / dt). \quad (12)$$

$C$  kondansatörün kapasitansı,  $dvc/dt$  de kondansatörde ölçülen voltajın zamana göre değişme hızıdır.

### III-KENDİ KENDİNE YETERLİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KÜÇÜK ÇAPTA ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Kendi kendine yeterli sürdürülebilir bir enerji dönüştürücünün işlevini koruması için kullanıcı tarafından eklenen yakıtı ihtiyacı yoktur. Böyle bir sistem işlevini parçalarının ömrünün sonuna kadar ya da çevresel şartlardan (örneğin; paslanma, yıpranma, hasara uğrama) dolayı arızalanana kadar sürdürür. Bu bölümde işte böyle kendi kendine yeterli bir sistemin detayları anlatılacaktır. Kullanılan malzeme, parçalar, sistem tasarımı, uygulama detayları ve ilgili hesaplamalar sunulacaktır.

#### A. Malzeme ve Parçalar

Kavramı ispatlama ve uygulamayla gösterme amacıyla deniz dalga enerjisini elektriğe dönüştüren ve LED'leri bu elektrikle aydınlatan sistemin

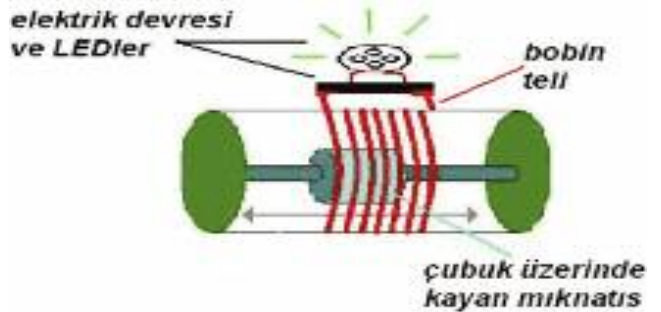
oluşturulmasında aşağıdaki malzeme ve parçalar kullanılmıştır:

1. 2 x nadir toprak metalden silindir tüp mıknatıs (dış çap: 1.5 inç (3.8 cm); iç çap: 0.75 inç (1.9 cm); kalınlık: 0.75 inç (1.9 cm))
2. 0.5 libre (227 gram) sargı için 32 kalibre (AWG) bakır tel
3. plastik su geçirmez ışık mahfazası
4. 25 librelik (11.36 kilogram) yüzerlik ayarı için kum torbası
5. 1 litreye yakın su verniği
6. PVC boru parçaları
7. 70 x ¼ inç (0.6 cm) kesilmiş vida pulu
8. 35 x ¼" (0.6 cm) X 2" (5 cm) altıgen civata
9. 35 x ¼" (0.6 cm) altıgen vida somunu
10. PVC hurda boru parçaları
11. 2 x lastik silindir tıpa
12. su sızdırmaz plastik bidon (şamandıra)
13. ¾ inç (1.9 cm) kalınlığında elektrik dönüştürücüsünün montaj edileceği ve kapak görevi görecek yuvarlak kesilmiş yassı tahta
14. LED'ler
15. devre için gereken diğer parçalar (100 µF kondansatör, 5 V'luk gerilim düzenleyici (voltaj regülatörü), 100 Ω'luk dirençler, Shottky diyotları, bağlantı teli)

Bir sonraki bölümde bu malzemeler kullanılarak kendi kendine yeterli elektrik enerji jeneratörünün tasarım ve yapımı anlatılmaktadır.

#### B. Sistem Tasarımı Ve Uygulaması

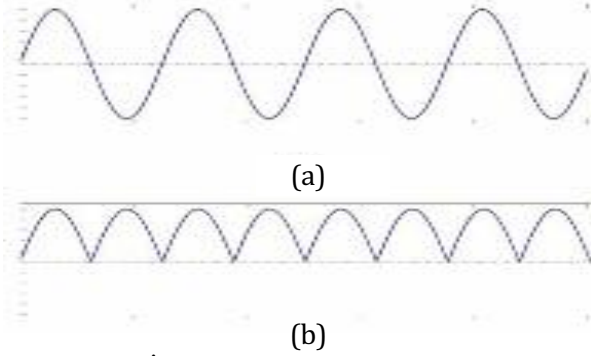
Sistem tasarımı deniz dalgalarının hareketinden yararlanarak elektrik üreten ve ışık yayan diyotları aydınlatan bir şamandıradan ibarettir. İki, ortası delik silindir şeklinde daimi mıknatıslar bir plastik çubuk üzerine geçirilir. Çubukla mıknatıs etrafına bobin teli sarılı bir PVC boru parçasının içindedir. Boru parçası manyetik alanın şeklini değiştirmez. Çubuk üzerinde sağa sola kayabilen mıknatısın manyetik akısı sargıyı değişik hızla kesebilecek şekildedir (bakınız şekil 3).



Şekil 3. Dış sargının içinde hareket eden mıknatıs sargıda elektrik oluşturur. Hareket deniz veya okyanus dalgalarından doğar.

Mıknatısın sargıya göre hareketi sargıda AC (alternatif akım) gerilim endüklenmesine yol açar. Bu AC gerilim, doğrultucu (redresör) devre ile DC (doğru akım) gerilime dönüştürülür (bakınız şekil 4).

Kondansatörün yardımıyla DC gerilimin seviyesi daha sabit (sinüzoid şekilden farklı) bir hale getirilir. Böylelikle doğrultucu devre kondansatörle birlikte sinyali darbeli (**pulsed**) ve düzgünleştirilmiş DC gerilimine dönüştürür.



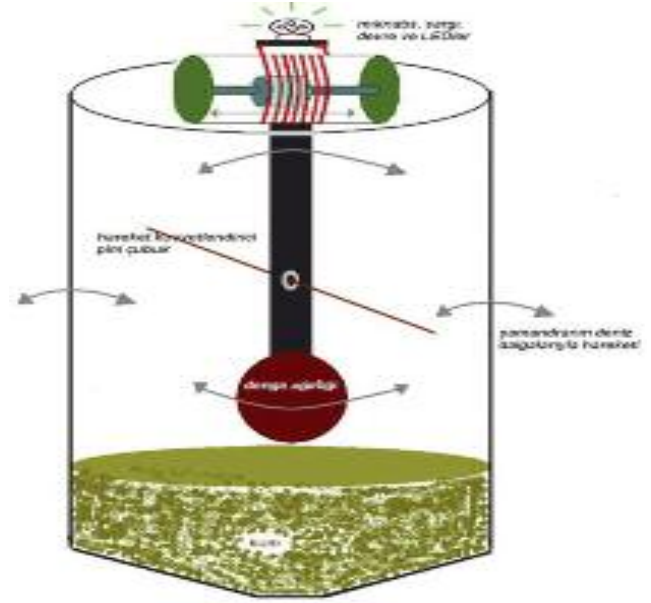
**Şekil 4. (a)** İdeal sinüzoid dalga (mıknatısın sağ-sol hareketiyle oluşan AC gerilimi temsil eder) **(b)** Doğrultucu devrenin çıkışındaki ideal DC gerilim

Oluşan DC gerilim LED'leri aydınlatmak için kullanıma hazırdır. Küçük jeneratör sistemi 20 galonluk altta konikleşen plastik bidonun içine yerleştirilmiştir. Birinci tasarımda bidon, çapı 32 inç (81.3 cm) suda yüzen bir can simidinin üstüne oturtulup altında bir balast ile dengelenmiş ve bir demirle sabitlenmişti. İlk tasarıma bazı değişiklikler getirilerek ikinci tasarım hazırlanmıştır: Şamandıranın hareketiyle oynayan mıknatısın bobin içindeki hareketini kuvvetlendirmek için mıknatıs-sargı birleşimi dikey, altında denge ağırlıklı bir boruya üstten bitleştirilmiştir. Borunun ağırlık merkezinden yatay bir çubuk geçirilerek her iki ucu bidonun duvarına yapıştırılmıştır. Borunun çubuğun ekseninde serbestçe dönmesi ile mıknatıs hareketinin kuvvetlendirilmesi sağlanmaktadır (bakınız şekil 5).

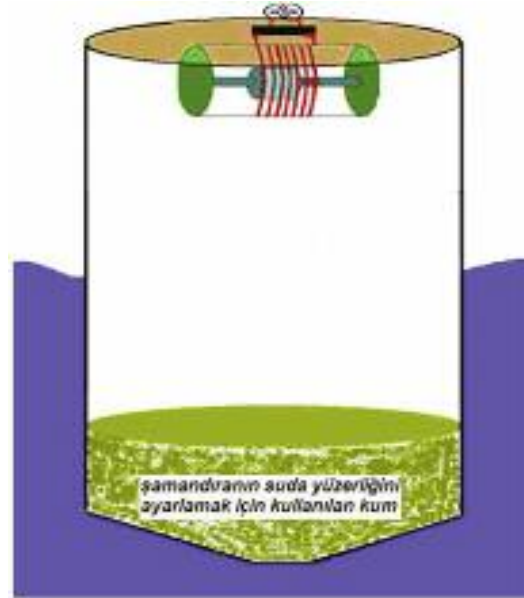
Bu tasarımın en etkili olacağı düşünülmüşse de projenin sınırlı zamanından dolayı hayata geçirilen üçüncü tasarımda mıknatıs-bobin birleşimi ve devre, bidon kapağının altına yerleştirilmiştir. LED'ler bahçe ışığı koruması içine konulup kapağın üst kısmına yerleştirilmiştir. Bu üçüncü tasarımda sarkaç hareketli dikey boru ve pim görevini gören aynı borunun ağırlık merkezinden geçen yatay çubuk kaldırılıp tasarım basitleştirilmiştir (bakınız şekil 6).

Şekil 3, Kısım III B'de anlatılan Lenz Kanunu'na göre elektrik üreten mıknatısla bobinin monte edilmiş halini göstermektedir. Mıknatısın ortasındaki delikten geçen plastik çubuk bobini de yerinde tutan iki uçtaki duvara iliştilmiştir. Plastik çubuk mıknatısın sadece bir yönde hareketini sağlar. Bu kütle kımıldadığı zaman merkezdeki mıknatıs da sargıya nispeten sallanır. Mıknatısın bu hareketiyle böylece manyetik akımın iletken sargıyı değişken hızla kesmesi sonucunda sargıda endüklenen gerilim ve akım oluşur. Sargı telinin iki ucu üretilen AC voltajını DC voltajına çeviren devreye bağlıdır. Bu devre seri bağlanmış dirençlerle LED'lere de bağlıdır. Dirençler LED'lere giden akım miktarının kontrolüne yardım eder. Endüklenen akım, enerji

depolama ve sinyali düzeltme amacıyla bir kondansatöre bağlıdır. LED'ler elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürürler. Bir sonraki kısımda bu devrenin detayları verilmiştir.

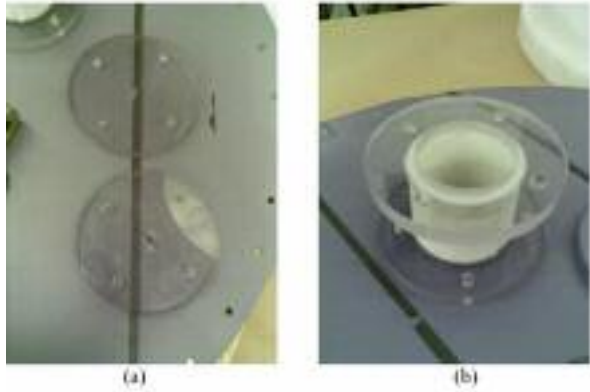


**Şekil 5.** [21] Suda yüzen deniz dalgalarından elektrik üreticisinin ikinci tasarımı. Şamandıra deniz dalgalarıyla sallandıkça bu sallantı, ağırlık merkezinden bir pim geçirilmiş ve bu pim ekseninde serbestçe dönebilen plastik borunun hareketini artırır. Üzerinde, sabit duran bobin, devre ve LED'ler takılı, altında da denge ağırlıklı bu borunun kuvvetlenmiş hareketi dolayısıyla bobinin içinde bobine göre sağa sola kayabilen mıknatısın hareketini de kuvvetlendirmiş olur.



**Şekil 6.** Suda yüzen deniz dalgalarından elektrik üreticisinin üçüncü tasarımı. Bu tasarımda ikinci tasarımdaki boru ve pim görevi gören çubuk kaldırılmıştır. Şamandıranın kapağında sabit duran bobin ve sargı, şamandırayla aynı şekilde sallanır. Bobin içindeki mıknatıs ise bobine göre daha hızlı hareket ederek deniz dalgalarından elektrik oluşturur.

Şekil 7-9 mıknatıs-bobin kütlesinin tasarımında kullanılan parçaların detaylarını göstermektedir. Bu şekillerden kullanılan malzemeler de bellidir. Bu şekillerde görüldüğü gibi bitmiş hali gösterilen beyaz PVC borudan kesilmiş bobine henüz tel sarılmamıştır. Sistemin parçaları (örneğin şamandırayı oluşturan su sızdırmaz bidon ve üçüncü tasarımda üst kısmına LED'ler alt kısmına mıknatıs, bobin ve devrenin yerleştirildiği tahta kapak) şekil 10'da gösterilmiştir. Tahta kapak su geçirmezliğini sağlamak amacıyla deniz yaşamına zarar vermeyen bir madde ile verniklenmiştir.



Şekil 7. [21] Bobin ve bobin uçları



Şekil 8, [21] Mıknatıs, bobin, ve gövdeyi oluşturan parçalar



Şekil 9. [21] Mıknatıs, bobin ve gövdenin bitmiş hali



Şekil 10. [21] Üçüncü tasarımda kullanılan parça ve malzemeler. Parça ve malzemeler delikleri kapanarak su sızdırmazlığı sağlanmış bir bidon (ortada/üstte), mıknatıs-bobin birleşimi (bidonun sağında), bobin teli (sağ altta) ve üst tahta kapak (sol altta)'tan ibarettir.

### C. Elektronik Devre Sistemi

Burada anlatılan dalgalardan elektrik üretme cihazı, pilsiz sallamalı el fenerlerinin çalışma ilkesiyle aynıdır (bakınız şekil 11).

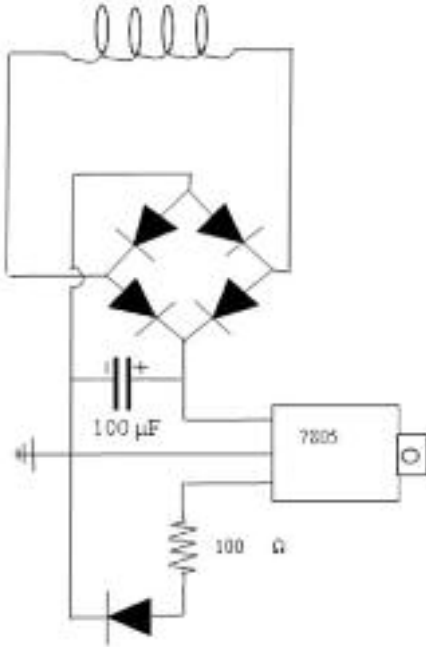


Şekil 11. Pilsiz çalışan sallamalı el fenerleri [25]. Burada, iki kutupta var olan sabit mıknatısların yarattığı manyetik akı, aşağı-yukarı sallanan sargı tarafından değişen hızda kesilmektedir. Bobinin hareketiyle endüklenen gerilim şekilde gösterilen el fenerinin alt kısmında bulunan lambaya, bunlara bağlı diyot, kapasitör, ve direnç kombinasyonu ile elektrik akımı gönderip aydınlatıyor.

Anlatılan elektrik dönüştürücüsünde sallanan, plastik bir çubuğun üzerine geçirilen daimi mıknatıslardır. Etrafında kapalı devre oluşturan ayrıca ırgiteç (induktör) görevi görüp elektrik depolayan bobin sargısında böylelikle elektrik üretilir.



Mıknatısın sağa sola hareketi alternatif akım üretir. Kullanılan elektrik devresi bu alternatif akımı doğru akıma dönüştürür. Doğrultulmuş (rektifiye edilmiş) voltaj üreten devre şekil 12'de gösterilmiştir. Bu, alternatif gerilimi doğru gerilime dönüştürme amacıyla kullanılan dört Schottky diyot ve bir kondansatörden oluşan tipik bir doğrultucu devredir. Schottky diyotlarla kondansatör, gerilim düzenleyicisine (LM 7805), dirençlere, LED'lere, aynı zamanda bobin telinin her iki ucuna bağlanıp tamamlanmış bir devre oluşturur. Sargıda mıknatısın ileri geri hareketiyle oluşan AC gerilim şekil 12'de gösterildiği gibi 4 diyotla doğrultulmaktadır. Kondansatörün görevi üretilen enerjiyi depolamak ve DC gerilim sinyalini düzleştirilmesidir. 5 voltluk voltaj düzenleyici ve 100  $\Omega$ 'luk dirençler LED'lere giden akım miktarını kontrol amaçlıdır. Üretilen akım miktarı rüzgardan oluşan deniz dalgalarının sıklığına, frekansına ve kuvvetine bağlı olacağından ve bir biçim olmayacağından böyle bir önlem gereklidir. Kondansatörün değeri 100  $\mu$ F olarak seçilmiştir. Bobin teli sargısı çok sıralı ve çok katmanlı 3000 sarımdan oluşmaktadır.



**Şekil 12.** [21] Elektrik üretimi ve enerji dönüşümünde kullanılan devre. Direnç LED'e bağlıdır. Voltaj düzenleyici LED'e giden akım ve görülen direnç miktarını kontrol amaçlıdır. Doğrultmaç devre sargıda endüklenen AC akımını DC akımına dönüştürür.

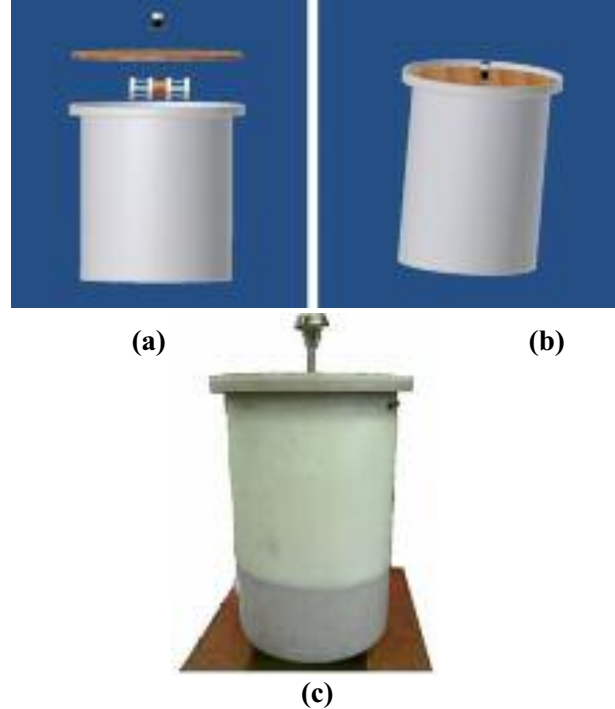
Şekil 13 mıknatısla sargılı bobinin monte edilmiş halini, üç LED ile üç 100 ohm değerindeki dirençleri, gerilim düzenleyiciyle sinyal doğrultucu devreyi içeren gerçekleştirilmiş ilkörneği göstermektedir. Bu, şekil 12'deki devrenin uygulamasıdır. Sistemin tamamlanmış dış kabuğu şekil 14'te sunulmuştur.

#### D. Devre Parametrelerinin Hesaplanması

Her an için dönüştürülecek enerjiyi tahmin etmek birçok çevresel etkenlerden dolayı güçtür. Beklenmedik çevresel faktörler kısa sürede dalgaların frekansını ve dalga yüksekliğini değiştirebilir. Bunun yanında literatürde bulunan verilere dayanarak ve ortalama değerleri kullanarak aşağıdaki hesapları yapmak mümkündür.



**Şekil 13.** Seçilen çalışma ilkesinin uygulama aşamasında bobin ve mıknatısı oluşturan gövde, LED'lere, dirençlere, köprü doğrultmaç devresine, gerilim düzenleyicisine ve kondansatöre bağlanır.



**Şekil 14.** Üçüncü tasarım (a), (b) ve ilkörneği (c) [21]

Şekil 1 ve 2'yi göz önünde bulundurarak dalgalarla ilgili aşağıdaki bilgileri doğru varsayalım:

Ortalama periyot:  $T = 5$  saniye  
Ortalama yükseklik:  $h = 1.5$  metre  
Ortalama hız:  $c = 2.6$  metre/saniye  
Ortalama dalgaboyu:  $\lambda = cT = 2.6$  metre/saniye x 5 saniye

$$\lambda = 13 \text{ metre}$$

Şekil 2’de belirtildiği gibi dikey doğrultudan başlayarak sistemin göreceği yaklaşık azami açı  $\theta$ , 2. bölümde verilen denklem (2) kullanılarak hesaplanabilir. Örneğin, yükseklik ( $h$ ) 0.5 metre, dalgaboyu ( $\lambda$ ) 5 metre ise, dalgalardan dolayı sistemin azami hareketiyle oluşması beklenen açı derece cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\theta = \tan^{-1}(0.5 / (5/2)) = 11.31^\circ$$

Eğer dalga yüksekliği ve dalga boyu için farklı değerler kullanılırsa ( $h=1.5$  m,  $\lambda=13$  m), o zaman

$$\theta = \tan^{-1}(1.5 / (13/2)) = 13^\circ$$

olarak ortaya çıkar.

Tasarımı gerçekleştirilen şamandıranın her yarı periyotta ortama  $13^\circ$  bir açıda hareket edeceği varsayılırsa bu, kıyıya yakın yerlerde ortalama 2.5 saniyeye denk gelir.

Tek sıra sargıda oluşan sargının endüktansı daha önce 2. bölümde denklem (9)’da verilmişti. Uygulamada tek sıra yerine şekil 15’te gösterilen çok sıralı ve çok katmanlı sargı kullanıldığından daha gerçekçi bir endüktans  $L$  değeri bulmak için denklem (13) kullanılmalıdır.

$$L = 7.87(2r)2N^2 / (6r + 9l + 10d) \quad (13)$$

Burada  $r$  bobinin yarıçapı (mm),  $l$  bobin uzunluğu (mm),  $d$  ise dış çap ile iç çapın farkı olan sargının kalınlığıdır (mm) [26, 27].  $L$ ’nin birimi  $\mu\text{H}$  (mikro henri) cinsindedir. (Farklı uygulamalarda endüktans hesaplamaları için, bakınız [28, 29])



**Şekil 15.** Kesiti gösterilen, bobin üzerinde çok sıralı ve çok katmanlı sargı (orantılı çizilmemiştir)

Kullanılan 32 kalibrelik telin 0.203 mm çapı, 0.032 mm<sup>2</sup> kesit alanı ( $A_{tel}$ ), 3000 sargı tur sayısı ( $N$ ), bobinin ise 76.2 mm bobin uzunluğu ( $l$ ), 33.4 mm bobin yarıçapı ( $r$ ), 2.54 mm sargı kalınlığı ( $d$ ) ve 0.0035 x 106 mm<sup>2</sup> bobin kesit alanı ( $A$ ) bilindiği için bobine sarılan telin uzunluğu  $l_{tel}$  denklem (14) kullanılarak bulunabilir.

$$l_{tel} = 2\pi r N = 2\pi(A / \pi) l / 2 N \quad (14)$$

Telin uzunluğu denklem (15)’te kullanıldığında telin

toplam direnci hesaplanabilir.

$$R = \rho l_{tel} / A_{tel} \quad (15)$$

$\rho$  bakırın öz direnci ( $1.72 \times 10^{-5} \Omega \text{ mm}$ )’dir.

Hayata geçirilen daha önce bahsedilen üçüncü tasarımda çok sargılı bobinin endüktansı yukarıdaki değerler ve denklem (13) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$= 346709.6 \mu\text{H} = 0.35 \text{ H}$$

Denklem (14) kullanılarak bobinin sargı uzunluğu aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$l_{tel} = 2\pi (0.0334 \text{ m}) 3000 = 629.58 \text{ m}$$

Sargı telinin direnci ( $R$ ) yukarıdaki değer eklenerek denklem (15)’ten aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m} \times 629.58 \text{ m} / (\pi (0.000101 \text{ m})^2)$$

$$R = 337.90 \Omega$$

$\Phi = AB$ , ve  $v = N(d\Phi/dt)$  olduğuna göre böyle bir hareketten oluşacak gerilim, denklem (16) kullanılarak bulunabilir.

$$v = N(d\Phi/dt) = NA(dB/dt) \quad (16)$$

Burada  $A$  manyetik alanın metre kare olarak kesit yüzölçümü,  $N$  sargı tur sayısı,  $d\Phi/dt$  ise zamana göre manyetik akı yoğunluğunun değişme hızıdır. Manyetik akı yoğunluğunun yaklaşık değeri, manyetik akı ( $B$ ) ve zaman parametreleriyle denklem (17)’deki gibi bulunabilir.

$$\Phi = dB/dt \sim \Delta B / \Delta t \quad (17)$$

$t$  yarım periyot süresi ( $T/2$ )’dir. Bu denklemler bir çok temel fizik ve elektrik/elektronik kitaplarından bulunabilir [24].  $N = 3000$  turluk sargı ve manyetik akı değeri  $B = 1.32$  teslalık mıknatıslar için manyetik akının zamana göre değişimi denklem (17) ile hesaplanabilir. Böylece beklenen gerilim denklem (16)’dan aşağıdaki gibi bulunur.

$$v = (3000) (0.0035 \text{ m}^2) (1.32 \text{ T} / 1 \text{ s}) = 13.86 \text{ V}$$

denklem (16)’daki ( $dB/dt$ ), ( $1.32 \text{ T} / 1 \text{ s}$ ) olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşıklık, bobin uzunluğunun mıknatısın tek yönde katedeceği uzunluğa olan oranı göz önünde bulundurularak kullanılmıştır. Bu formülde, bobin-mıknatıs bileşkeni mıknatısın kımıldaması için gerekli kritik açıyı aştığında mıknatısın bobin alanından kayış süresi kullanılmalıdır. Bu süre, mıknatısla üzerinde hareket ettiği plastik çubuk arasındaki sürtüşmeyle doğru orantılıdır. Sürtüşmesiz ideal bir ortamda bu süre çok



kısa olacaktır. Sürtüşme katsayısı arttıkça kayma süresi artacaktır. Yukarıda kullanılan 1 saniyelik kayma süresi ölçülü yaklaşık bir değerdir. Laboratuvarda mıknatıs-bobin bileşkeninin açısını elle değiştirerek yapılan sınamalarda ölçülen, bobinde oluşan voltaj 18 volt'a yakın bir değeri bulmuştur. Bu da bu bobinin içinden geçen mıknatısın 1 saniyeden az bir sürede manyetik alanıyla bobini kestiğini göstermektedir.

Şamandıra olarak kullanılacak bidonun hacmi bilindiği takdirde batmazlık kuvveti denklem (18)'deki gibidir.

$$Y = V_0 \times df \times g, \quad (18)$$

Burada  $V_0$  bidonun suyun içindeki hacmi,  $df$  bidonun yerini aldığı suyun yoğunluğu,  $g$  ise yer çekimi ivmesidir ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ). Hacmi  $0.1299 \text{ m}^3$  olan bidonun sadece yarısı suyun içinde kabul edilirse, batmazlık kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Y = (0.1299/2 \text{ m}^3)(1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2) \\ = 1274.32/2 \text{ kg m/s}^2 = 637.16 \text{ kg m/s}^2$$

Batmazlık, şamandıranın dibine ağırlık olarak kum eklemek suretiyle ayarlanabilir. Kuvvet, kütle ile ivmenin çarpımına eşit olduğuna göre yukarıdaki işlemlerden şamandıraya eklenmesi gerek kum miktarı  $(0.1299/2 * 1000) = 65 \text{ kg}$  olarak hesaplanabilir. Şekil 16 batmazlık hesaplarının uygulama sırasında havuzda test edilmesini göstermektedir. Bu testlerde şamandıranın yüzerliğini sağlamak için nitekim 150 libre (68 kg)'lık kum kullanılmıştır.



Şekil 16. Sistemin havuzda batmazlık testi

## IV-ANALİZ VE TARTIŞMA

Mıknatısın çubuk üzerinde bir uçtan bir uca kayma süresinin Kısım III D'deki gibi 1 saniye olduğu varsayım doğrultusunda endüklenen gerilim, verilen mıknatıs ve bobin bileşimi için 13.86 Volt olarak hesaplanmış, laboratuvar testlerinde ise 18 Volt olarak ölçülmüştür. Şekil 12'de anlatılan elektrik devresi 5 Volt'luk bir voltaj regülatörü içerdiğinden bu değerler bu gerilim düzenleyici ile 5 Volt'a düşürülecektir. Böylelikle LED'ler, seri bağlı dirençler ve gerilim düzenleyici sayesinde endüklenebilecek yüksek gerilim değerlerinden korunacaktır.

Mıknatısla üzerinde kaydığı çubuk arasındaki sürtünme azaltılırsa veya mıknatıs-bobin kombinasyonunun hareketi şamandıranın hareketine nispeten kuvvetlendirilirse, sistemden daha yüksek gerilim beklenir. Şekil 5'te gösterildiği gibi üst ucu mıknatıs-bobin kombinasyonuna alt ucu ise denge ağırlığına bağlı bir çubuğun ağırlık merkezine ilerigeri sarkaç hareketi oluşturacak bir pim yerleştirilirse mıknatıs-bobin gövdesinin hareketinin şamandıranın hareketine göre kuvvetlenmesi beklenmektedir. Şu anda bu önerinin fiziksel sistem kullanılarak testlerle doğrulanması gerekmektedir. Yapılan hesaplara dayanarak tasarımı gerçekleştirilen ve kurulan küçük çapta enerji dönüştürücü ilkörneğin bu düzeltme olmadan 5 Volt'un üzerinde çalıştığı laboratuvar ortamında gösterilmiştir.

## V-ÖZET VE SONUÇ

Bu yazıda deniz dalgalarını elektrik enerjisine dönüştüren şu anda varolan sistemlerden bahsedilmiştir. Dalga enerjisini elektriğe dönüştürmek için kullanılabilecek örnek hesaplamalar sunulmuştur. Ayrıca basit ilkelerle kavramlar kullanılarak deniz dalgalarından elektrik enerjisi üretecek küçük çapta bir uygulama detaylarıyla anlatılmıştır. Böyle kendi kendine yeterli bir sistem, ürettiği sınırlı güç yoğunluğuna bağlı olarak ev ve işyerlerinde kullanılmak amacıyla elektrik/güç şebekesine bağlanmaya hazır değildir. Bu sistem küçük çapta bir deniz feneri, kıyı boyu aydınlatma, ve deniz-koruma araçlarının yer belirlemesi için kullanılabilir.

Küçük ölçeğine bağlı olarak anlatılan sistemin kötü deniz şartlarından hasar görmesi beklenir. Uzun vadeli ve dayanıklı sistemler için tasarım değişikliği düşünülebilir. Bu makalenin temel amacı basit hesaplarla hesaplamaları göstermek ve deniz dalgalarından elektrik akımı üreten küçük çapta bir proje uygulaması sunmaktır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar Texas A&M University-Corpus Christi çalışanlarından Sn. John Gonzalez'e uygulamanın hayata geçirilmesindeki yardımlarından dolayı teşekkür eder. Bu yazı 16-17 Nisan 2009 tarihlerinde Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas eyaletinde, Lubbock şehrinde gerçekleştirilen 2009 IEEE Yeşil Teknoloji Konferansı'nda aynı eş yazarlar tarafından sunulan makaleden genişletilerek çevrilmiştir. Çeviri Mehrübe Mehrübeoğlu tarafından yapılmıştır. Çeviriye katkılarından dolayı Sn. Eren Başaran'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- [1] G. Martin, "Renewable energy gets the green light in Chicago," IEEE Power and Energy Magazine, yıl: 1, sayı: 6, sy:34-9, Kasım/Aralık 2003.
- [2] A. Woodruff and J. Mankoff, "Environmental sustainability," IEEE Pervasive Computing, yıl: 8, sayı: 1, sy: 18-21, Ocak-Mart 2009.
- [3] R. Want, "How green is green?" IEEE Pervasive Computing, yıl: 8, sayı: 1, sy: 1-4, Ocak-Mart 2009.
- [4] D. Wakeham, J. Fabre, D. Builder, M. Earle, and J. Wilson, "Power from the sea: A plan to develop ocean energy to meet consumer utility needs," Oceans '02, MTS/IEEE, yıl: 3, sy: 1615-1621, 29-31 Ekim 2002.
- [5] R. Pelc and R. Fujita, "Renewable energy from the ocean," Marine Policy, yıl: 26, sy: 471-479, 2002.
- [6] Ocean Energy Conversion in Europe, Recent Advancements and Prospects, Center for Renewable Energy Sources, (European Commission) 2006. ([http://www.wave-energy.net/index\\_files/documents/CA-OEBROCHURE.pdf](http://www.wave-energy.net/index_files/documents/CA-OEBROCHURE.pdf))
- [7] United States Department of the Interior, "Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf," white paper, Minerals Management Service, Renewable Energy and Alternate Use Program. 2006. [http://www.ocsenergy.anl.gov/documents/docs/OCS\\_EIS\\_WhitePaper\\_Wave.pdf](http://www.ocsenergy.anl.gov/documents/docs/OCS_EIS_WhitePaper_Wave.pdf). accessed on March 14, 2009.
- [8] D. Dunnett and J. Wallace, "Electricity generation from wave power in Canada," Renewable Energy, yıl: 34, sy: 179-195, 2009.
- [9] H. Polinder, B. Mecrow, A. Jack, P. Dickinson, M. Mueller, "Linear generators for direct-drive wave energy conversion," Proc. of the IEEE Int. Electric Machines and Drives Conf., Haziran 1-4, 2003, yıl: 2, sy: 798-804.
- [10] M. Leijon, H. Bernhoff, O. Ågren, J. Isberg, J. Sundberg, M. Berg, K. Karlsson, and A. Wolfbrandt, "Multiphysics simulation of wave energy to electric energy conversion by permanent magnet linear generator," IEEE Trans. on Energy Conversion, yıl: 20, sayı: 1, sy: 219-224, Mart 2005.
- [11] I. Ivanova, H. Bernhoff, O. Ågren, and M. Leijon, "Simulated generator for wave energy extraction in deep water," Ocean Engineering, yıl: 32, sy: 1664-1678, 2005.
- [12] M. Trapanese, "Optimized design of a sea wave energy conversion system," Proc. of the 34th Annual Conf. of IEEE Industrial Electronics, 2008, Orlando, FL, 10-13 Kasım 2008, sy: 2051-4.
- [13] M. Folley and T. Whittaker, "Analysis of the nearshore wave energy resource," Renewable Energy, yıl: 34, sy: 1709-1715, 2009.
- [14] C. Garrett and P. Cummins, "Limits to tidal current power," Renewable Energy, yıl: 33, sy: 2485-2490, 2008.
- [15] I. Bryden and S. Couch, "How much energy can be extracted from moving water with a free surface: A question of importance in the field of tidal current energy?" Renewable Energy, yıl: 32, sy: 1961-1966, 2007.
- [16] E. Agamloh, A. Wallace, and A. von Jouanne, "A novel direct-drive ocean wave energy extraction concept with contact-less force transmission system," Renewable Energy, yıl: 33, sy: 520-529, 2008.
- [17] K. Rhinefrank, E. Agamloh, A. von Jouanne, A. Wallace, J. Prudell, K. Kimble, J. Ailla, E. Schmidt, P. Chan, B. Sweeny, A. Schacher, "Novel ocean energy permanent magnet linear generator buoy," Renewable Energy, yıl: 31, sy: 1279-1298, 2006.
- [18] I. A. Ivanova, O. Ågren, H. Bernhoff, and M. Leijon, "Simulation of Wave-Energy Converter with Octagonal Linear Generator," IEEE Jour. Oceanic Engineering, 30(3), sy: 619-629, Temmuz 2005.
- [19] G. K. Kakesako, "Buoy Turns Waves into Electricity," Star Bulletin (online newspaper) 18 Kasım 2008. ([http://www.starbulletin.com/news/20081116\\_Buoy\\_turns\\_waves\\_into\\_electricity.html](http://www.starbulletin.com/news/20081116_Buoy_turns_waves_into_electricity.html))
- [20] K. Sadeghi, GAU J. Soc. & Appl. Sci., 3(5), sy: 1-12, 2007.
- [21] M. Mehrübeoğlu, L. McLauchlan and D. N. Patterson, "Obtaining Electric Current from Ocean Waves," IEEE Green Technology Conference, Lubbock, Texas, USA, 16-17 Nisan, 2009.
- [22] R. L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis, 11. Baskı Bölüm 11, Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [23] T. L. Floyd, principles of electric circuits, conventional current version, 9. Baskı, Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [24] F. Sears, M. Zemansky, H. Young, University Physics, 7. Baskı, Addison-Wesley, 1987.
- [25] Sallanarak yanan el fenerleri örnekleri: [http://www.sz-wholesale.com/uploadFiles/Shake%20Torch%20\(%20Thre%20Sizes%20\)\\_205.jpg](http://www.sz-wholesale.com/uploadFiles/Shake%20Torch%20(%20Thre%20Sizes%20)_205.jpg)
- [26] R. Kesler, "MultiLayer Air Cored Coils," Electronics World, sy: 752-3, Eylül 1997.
- [27] H. Wheeler, "Inductance Formulas for Circular and Square Coils," Proc. of the IEEE, yıl: 70, sayı: 12, sy: 1449-1450, Aralık 1982.
- [28] E. Başaran, "Hoparlör Kabinlerindeki Bölüştürücü Süzgeç Devrelerinde Kullanılan Bobin Endüktanslarının Hesaplanması," EMO Bilim, yıl: 3, sayı: 11, sy: 30-32, Mayıs 2003. [http://www.ktemo.org/index.php?option=com\\_docman&ask=cat\\_view&gid=32&Itemid=137](http://www.ktemo.org/index.php?option=com_docman&ask=cat_view&gid=32&Itemid=137)
- [29] E. Başaran, Ses Frekans Tekniği, Temel Ders Kitabı No 48, İstanbul: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 1981.