

Okyanus Termal Enerji Dönüşüm (OTEC) Sistemi

İbrahim ÜÇGÜL¹, Ufuk ELİBÜYÜK

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi
(YEKARUM) 32260 Çünür/ISPARTA

(Geliş Tarihi/Received: 11.07.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 09.10.2015)

ÖZET

Okyanus Termal Enerji Dönüşümü (OTEC) ılık yüzey suyu ve soğuk derin deniz suyu arasında doğal olarak oluşan sıcaklık farklarını kullanan bir yöntemdir. İlk olarak 1881 yılında tanıtılan bu yöntem ileriki yıllarda gelişmiştir. Elektrik üretiminin yanında temiz su üretimi, klima ve soğutmada kullanımı, kültür balıkçılığına izin vermesi vb. özellikleri bu yöntemin avantajları arasındadır. OTEC sistemler, açık, kapalı ve hibrid sistemler olarak günümüzde kullanılmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi yaygınlaşmamasının sebebi sadece oğlak ve yengeç dönenceleri arasında (Ekvator'un 23° kuzeyi ve güneyi) kalan bölgelerin bu tip enerji üretimi için uygun olması ve yöntemin diğer yenilenebilir enerji yöntemlerine göre maliyetinin daha pahalı olmasıdır. Bu çalışmada okyanus termal enerji dönüşüm sistemlerinden, dünyadaki potansiyelinden, kullanılan çeşitli sistemlerden ve diğer kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

Anahtar kelimeler: OTEC, OTEC potansiyeli, OTEC sistemleri, OTEC diğer kullanım alanları

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) System

ABSTRACT

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is a method that uses the naturally occurring temperature differences between warm surface water and cold deep-sea water. This method is developed in later years was first introduced in 1881. Screeners have clean water production next production, the use of air conditioning and refrigeration, to allow aquaculture. etc. characteristics are among the advantages of this method. OTEC systems, open, closed and hybrid systems in use today. Among other common that they do not cause not only of goat and crab tropics such as renewable energy sources (23° north and south of the equator), the region of the cost compared to other renewable energy methods is appropriate, and method for producing this type of energy is more expensive. In this study of ocean thermal energy conversion systems, the potential in the world, are discussed from a variety of systems used and the other areas.

Keywords: OTEC, OTEC potential, OTEC systems, other uses for OTEC

1. Giriş

Dünya yüzeyinin yüzde 80'i sudan oluşmaktadır. Dünyadaki tüm suların %70'lik bir bölümünü de okyanuslar oluşturmaktadır. Buda okyanusları dünyanın en büyük güneş enerjisi kolektörü ve enerji depolama sistemi yapmaktadır. Bir günde ortalama, tropik denizlerin 60 milyon kilometre karesi, yaklaşık 250 milyar varil

petrol ısı içeriğine eşit güneş radyasyon miktarını emmektedir. Bu saklı güneş enerjisinin onda biri elektrik enerjisine dönüştürülebilir olsaydı, bir günde Amerika Birleşik Devletleri'nde tüketilen elektrikten 20 kat daha fazla olacaktır(Bechtel ve Netz, 1997).

Okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC), tropikal ve sub-tropikal okyanuslarda bulunan sıcak yüzey suları (26°C) ve okyanus derinliklerindeki çok soğuk suları (4°C) arasındaki mevcut sıcaklık farkından yararlanılarak termodinamik çevrim ile elektrik üretilen bir yöntemdir (Sopac, 2001). Okyanus termal enerji dönüşümünde, okyanus yüzeyi güneş toplayıcı olarak hizmet verdiğinden dolayı bir güneş enerjisi teknolojisi olarak kabul edilebilir (Rose, 1985). Okyanus termal enerji dönüşümü yönteminin etkili olabilmesi için okyanus yüzey tabakaları arasında bir minimum sıcaklık farkı 20 ° C olması gerekmektedir (Finney, 2008).

Bilinen ilk Okyanus Termal Enerji Dönüşümü (OTEC) sistemi Fransız Fizikçi Jacques Arsene d'Arsonval tarafından 1881 yılında önerilmiştir(Finney, 2008). Jacques Arsene d'Arsonval'ın öğrencisi, Georges Claude 1930 yılında deneysel olarak 22 kilowatt büyüklüğünde Küba'da ilk açık çevrim OTEC santrali inşa etmiştir (Magesh, 2010; Etemadi vd., 2011). Fransız araştırmacılar 1956 yılında Afrika'nın batı kıyısında Abidjan için 3 Megawatt (brüt) açık çevrim santrali OTEC tasarlanmıştır. Hawaii Doğal Enerji Laboratuvarı Kurumu (NELHA), 1979 yılında "Mini OTEC" adlı kapalı çevrim yüzen OTEC gösteri tesisi (brüt

güç 53 kW ve net güç 18 kW üreten) kurulmuştur. 1982 yılında Toshiba ve TECH firmaları tarafından Pasifik Okyanusu'nda bulunan Nauru Cumhuriyeti'ne 120 kW (net gücü 31,5 kW) olan kapalı sistem OTEC tesisi kurulmuştur (Magesh, 2010).



Şekil 1. Mini OTEC (Vega, 1999)

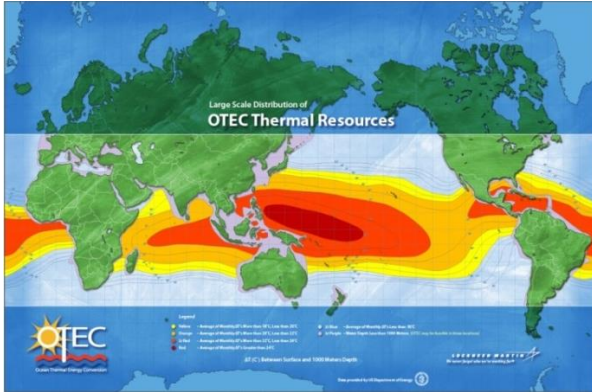
OTEC sistemlerinin; temiz, yenilenebilir ve doğal bir kaynak olması, fosil yakıtların yerine sıcak deniz yüzey suyu ve okyanus derinliklerinden soğuk suyundan elektrik üretilmesi, uygun tasarlanmış OTEC tesisleri çok az karbondioksit salgılamaları, OTEC tesislerinin kirlenici kimyasalları üretmemeleri, OTEC sistemlerinin tatlı su üretebilmesi (Tatlı su üretimi sınırlıdır ve ada alanlarında önemli bir avantajdır), elektrik kaynağı olarak OTEC kullanımını ithal fosil yakıtlara devletlerin tam bağımlılığını azaltmaya yardımcı olması gibi birçok avantajı vardır. Bu avantajlarının yanında elektrik üretim maliyetinin yüksek olması (üretilen elektriğin maliyeti 0,08 – 0,27 \$/kWh), küçük ölçekte tesis yapılacağından enerji firmaların yatırım yapmaması, kayalık ve kıyıya yakın deniz ekosistemi için vermiş olduğu hasarlar gibi de dezavantajları vardır (Bechtel ve Netz, 1997; URL-1).

2. Okyanus Termal Enerji Potansiyeli

En iyi OTEC kaynakları yıl boyunca ekvatorun kuzey ve güney tropik bölgelerinde bulunur. Okyanusun termal yapısını etkilemeden OTEC sistemleri tarafından yaklaşık 10 TW güç temin edilebileceği tahmin edilmektedir. Bu dönüştürme yıllık değer olarak yaklaşık 300 EJ/y'dır (Wina, 2015).

OTEC sistemi için kaynak seçimi yapılırken; mevsimsel fırtınalara, güçlü akıntılara, çok derin soğuk su ve sert okyanus koşulları gibi faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir (Girgis ve Siegel, 1983).

En az 98 ülkede toplam 200 deniz mili OTEC termal kaynak bulunmaktadır(Şekil 1). OTEC termal kaynak bölgeleri Afrika ve Hint sahilleri, Amerika'nın tropikal batı ve güney-doğu kıyıları ve birçok Karayip ve Pasifik adalarıdır(Wina, 2015).

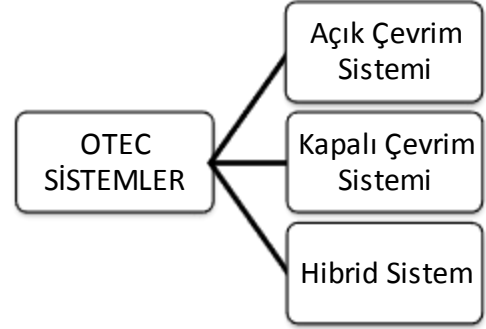


Şekil 2. OTEC Termal Kaynakları (Lockheed Martin, 2015)

3. Okyanus Termal Enerji Dönüşüm (OTEC) Sistemleri

Okyanus içinde mevcut potansiyel enerji çıkarma; pompalar, kondansatörler ve

ısı değiştiriciler dâhil olmak üzere kullanılan ısı sistemin etkinliği bağlıdır. OTEC dönüşüm sistemleri; açık çevrim, kapalı çevrim ve hibrid sistemlerden oluşmaktadır.

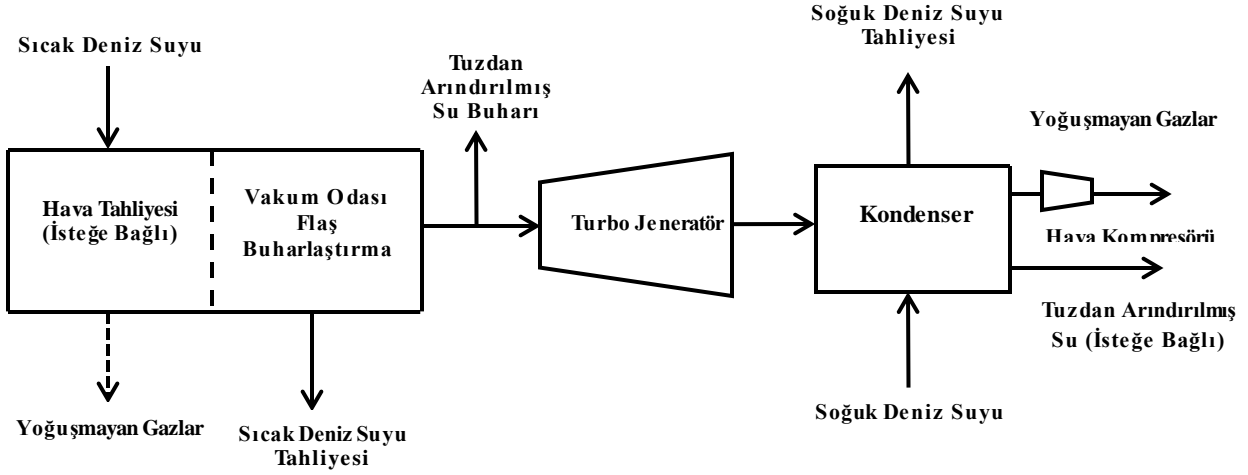


Şekil 3. OTEC dönüşüm sistemleri

3.1. Açık Çevrim Sistemi

Açık çevrim tesisinde, yüzey sıcak deniz suyu buharlaştırılmış flaş bir vakum odasına pompalanır ve elde edilen buhar türbini tahrik eder. Soğuk deniz suyu daha sonra yüzeye getirilir ve çevre için döndürülen su içine buharı yoğunlaştırmak için kullanılır. Açık çevrim aşağıdaki adımlardan oluşur:

- Sıcaklığına karşılık gelen doygunluk değerinin altında basınç indirgenmesi ile sıcak deniz suyunun bir kısmını flaş buharlaştırılması.
- Buhar genişletilmesi için bir türbin vasıtasıyla güç oluşturmak.
- Çalışma sıvısının yoğuşması ile elde edilen soğuk deniz suyunun ısı emicisine ısı transferi.
- Sistemden tahliye etmek için gereken basınçlarda olmayan, yoğuşmayan gazların sıkıştırılması (Etemadi vd., 2011).

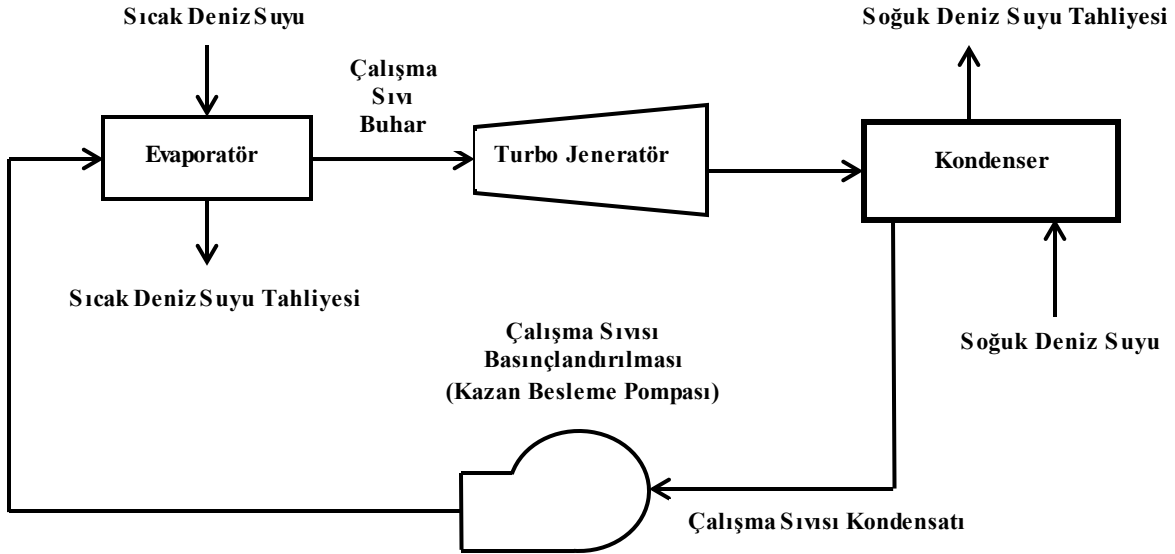


Şekil 4. Açık Çevrim Sisteminin Şematik Diyagramı (Masutani ve Takahashi, 2001)

3.2. Kapalı Çevrim Sistemi

Bu tür çevrimde; amonyak, propan ya da klor-flor-karbon bileşimleri gibi düşük kaynama noktasına sahip bir sıvı, kapalı çevrimin içine pompalanmaktadır. Bu sıvı, evaporatörden geçerken sıcak yüzey suyu ile buharlaşmakta ve basıncı artmaktadır.

Yüksek basınca sahip bu buhar bir alternatör-türbin grubundan geçirilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türbinden atılan buhar kondensere geçirilerek tekrar sıvı fazına döndürülmektedir. Soğutma suyu derin deniz tabanından alınan soğuk sudur. Böylece tamamlanan çevrim yeniden başlar ve devam eder (Gülsaç, 2009).

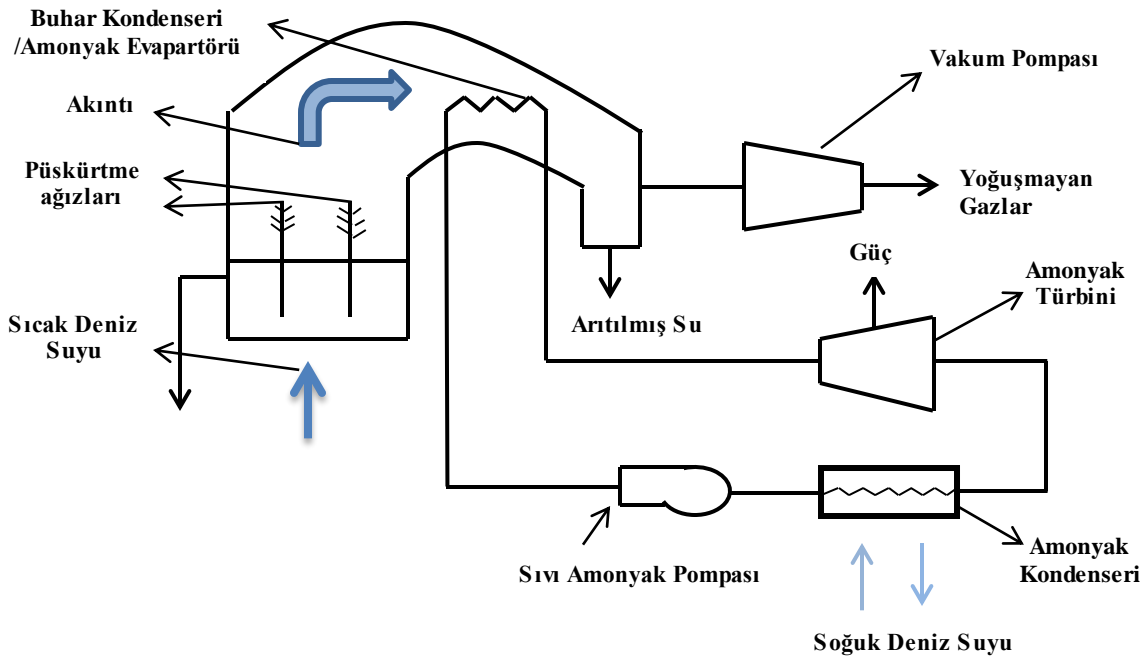


Şekil 5. Kapalı Çevrim Sisteminin Şematik Diyagramı (Masutani ve Takahashi, 2001)

3.3. Hibrid Sistem

Hibrid sistem, maksimum verim elde etmek için hem kapalı ve açık çevrim OTEC sistemleri ilkeleri kullanan sistemdir. Hibrid çevrimi deniz suyu ve diğer çalışma sıvısı olarak da genellikle amonyak kullanılarak tasarlanmış bir sistemdir (Takahashi and Trenka, 1996; Finney, 2008). Temiz su başlangıçta kapalı çevrime benzetilmektedir; bir vakum kabı içinde flaş buharlaşma meydana gelir. Aynı reaksiyon kabı içinde,

amonyak, ılık su ile ısı alış veriş yoluyla buharlaştırılır. Amonyak fiziksel olarak iki fazlı, iki madde karışımı olacak şekilde sıcak deniz suyu ile karıştırılır. Buharlaştırılan amonyak daha sonra buhar / su vasıtası ile ayrılır ve yeniden yoğunlaştırılır ve kapalı döngü döngüsüne yeniden başlanır. Buharlaşan amonyak elektrik üretimi için türbini çalıştırır (Thomas, 1993; Finney; 2008; Gülsaç, 2009).



Şekil 6. Hibrid Sisteminin Şematik Diyagramı (URL-2)

4. Okyanus Termal Enerji Tesislerinin Diğer Kullanım Alanları

4.1. Tatlı Su Üretimi

Tuzdan arındırma sadece OTEC teknoloji ile üretilmiş etkin potansiyel ürünlerinden biridir. Ilık su, düşük basınç türbinini kapatmak için buharlaştırıldığı zaman tatlı su açık döngü OTEC tesislerinde üretilir. Üretilen suyun doğada bulunan tatlı içme suyundan daha saf olduğu tespit edilmiş ayrıca 1 MW elektrik üretiminde

saniye başına 55 kg tatlı su üretimi yapıldığı tahmin edilmektedir. Bu su üretimi günlük tüketimi 4000 m³/gün olan küçük bir kıyı topluluğa tatlı su kaynağı olabilecek düzeydedir. Bu su aynı zamanda tarımsal ürünlerin kalitesini ve gıda miktarını arttırmak içinde kullanılabilir (Takahashi ve Trenka, 1996; Finney, 2008).

4.2. Klima ve Soğutma

Soğuk su boruları bir OTEC santrali için yüklendikten sonra soğuk su yüzeyine

pompalanan çalışma sıvısı diğer projeler içinde kullanılabilir. Bu kullanımlarından biri klima ve soğutmadır. Soğuk su alanı, ısı eşanjörleri üzerinden sirküle etmek için veya ısı eşanjörleri içinde çalışma akışkanının soğutulması için kullanılabilir (Takahashi ve Trenka, 1996). Bu teknoloji otel ve ev klimalarının yanı sıra soğutma düzenekleri için de uygulanabilir (Finney, 2008).

4.3. Su Ürünleri ve Kültür Balıkçılığı

OTEC tesislerinden yararlanmanın bir başka yolu da, gıda amacıyla deniz bitkileri ve hayvanları su boruları yardımıyla hasat etmektir. Bu önerme halen tartışılmaktadır çünkü somon, abalon, Amerikan ıstakoz, düz balık, denizkestanesi ve yenilebilir deniz yosunu içeren deniz suyu OTEC tesislerinden soğuk su boruları kullanılarak yenmesi için hasat edilebileceği önerilmiştir (Finney, 2008).

Kültür balıkçılığında soğuk derin okyanus suyu, okyanus yüzeyindeki balık ve diğer su nüfusu için katalizör hizmet vermekte ve biyolojik besin içermektedir. Bu soğuk okyanus suyu geri dönüşüm yoluyla yerli balık popülasyonlarını arttırmak için hizmet verebilir (Takahashi ve Trenka, 1996).

4.4. Soğuk Su Tarımı

OTEC için uygun kıyı alanları tropik bölgelerdedir çünkü derin okyanus kaynaklı soğuk su kullanmak bir alan içinde genel gıda çeşitliliğini artırmak için bir potansiyel vadeder. Yeraltı toprak sıcaklığı soğuk su boru ağlarını gömerek soğuk iklimlerde üretilebilecek çilek ve diğer sınırlı bitkiler

için ideal olacağı öne sürülmüştür (Finney, 2008).

4.5. Diğer Kullanım Alanları

Deniz suyu içinde çözülmüş klorid-lityumun çıkarılması endüstriyel lityum üretim için önemli yöntemlerden biridir. Derin okyanus suları, dermatit alerjiye ve rahatlama için kullanılan tıbbi tedavi yöntemlerinden biridir. Diğer bir yöntem ise hidrojen üretimidir (Kobayashi vd., 2004).

5. OTEC Santrallerinin Maliyeti

OTEC santrallerinin ilk yatırım maliyeti kurulacak sistemin büyüklüğüne ve santralin kıyı veya denizde kurulmasına göre değişmektedir. Santraller büyüdükçe ilk yatırım maliyeti azalmakta, sistemin kıyıda kurulmasıyla da maliyet artmaktadır. Tablo 1'de OTEC sisteminin ilk yatırım maliyetleri verilmiştir.

Tablo 1. OTEC Santrallerinin İlk Yatırım Maliyetleri (Vega, 2010)

MW	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)	Kurulduğu Yer
1,4	41562	Kıyı
5	22812	Kıyı
5,3	35237	Deniz
10	24071	Kıyı
10	18600	Deniz
35	12000	Deniz
50	11072	Deniz
53,5	8430	Deniz
100	7900	Deniz

OTEC santrallerinin ilk yatırım maliyetine bakacak olursak diğer enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetlerinden yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Enerji Santrali Maliyetleri (Kaya ve Koç, 2015)

Santral Tipi	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)
OTEC	7900
Rüzgâr Santrali (Deniz Üstü)	6230
Nükleer Santral	5530
Jeotermal Enerji Santrali	4362
Biyokütle Enerji Santrali	4114
Güneş Enerji Santrali	3873
Kömür Yakıtlı Linyit Santral	3246
Hidroelektrik Santral	2936
Rüzgâr Santrali (Kara)	2213
Doğalgaz Yakıtlı Linyit Santral	917

6. Sonuç

Okyanus termal enerji dönüşüm sistemi hiçbir emisyon yaratmayan yenilenebilir enerji kaynağıdır. OTEC'in başlıca avantajları elektrik üretimi, içme suyu ve tarımda kullanılabilir su üretimi, soğutma ve kullanıldığı kıyı toplumunun gelişmesini ve kalkınmasını sağlamasıdır. Dezavantajları ise yüksek maliyetli olması ve kullanımının kıyı çevrelerinden uzakta olmasıdır.

Bu çalışma OTEC sistemi üzerine bir araştırma niteliği taşımaktadır. Bu araştırma OTEC sisteminin kullanımına uygun

olmayan yüksek maliyetine karşı ne kadar faydalı olduğundan söz etmiştir.

Dünya nüfus olarak gün geçtikçe artmakta ve bu nüfus artışı yanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji kullanımını ve temiz su ihtiyacını doğurmaktadır. OTEC sistemi günümüzde olmasa bile gelecek zamanlarda uygun, verimli ve çok kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak tarihteki yerini alacaktır.

Kaynaklar

Bechtel, M., Netz, E., 1997. OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion. Erişim Tarihi: 01.07.2015. <http://exergy.se/goran/cng/alten/proj/97/ot/ot.html>

Etemadi, A., Emdadi, A., AsefAfshar, O., Emami, Y., 2011. Electricity Generation by the Ocean Thermal Energy. Energy Procedia, 12, 936-943.

Finney, K.A., 2008. Ocean Thermal Energy Conversion. Guelph Engineering Journal, (1), 17 - 23.

Girgis, M.A., Siegel, J.M., 1983. Open-Cycle Ocean Thermal Energy Conversion. Florida Solar Energy Center, Publication Number: FSEC-FS-28-83, 2s.

Gülsaç, I.I., 2009. Okyanuslardan Gelen Enerji Dalga Enerjisi. Erişim Tarihi: 18.10.2014. http://www.vizyon21yy.com/documan/Genel_Konular/Enerji/Dalga_Enerjisi/Dalga_Enerjisi.pdf

- Kaya, K., Koç, E. 2015. Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi. Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.
- Kobayashi, H., Jitsuhara, S., Uehara, H., 2004. The Present Status and Features of OTEC And Recent Aspects of Thermal Energy Conversion Technologies. Erişim Tarihi: 02.07.2015.
http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/ujnr/24ujnr_paper_jpn/Kobayashi.pdf
- Lockheed Martin, 2015. Ocean Thermal Energy Conversion. Erişim Tarihi: 02.07.2015.
<http://lockheedmartin.com/us/products/otec.html>
- Magesh, R., 2010. OTEC Technology- A World of Clean Energy and Water. Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol II, WCE 2010, June 30 - July 2, London.
- Masutani, S. M., Takahashi, P. K., 2001. Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Erişim Tarihi: 02.07.2015.
http://www.curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter2/Ency_Oceans/OTEC.pdf
- Rose, R.E., 1985. Ocean Thermal Energy Conversion Power Plants: My Role in The NOAA-Nmfs Preliminary Fishery Impacts Study. Oregon State University, College of Oceanography, Master of Science, 21s, Oregon.
- Sopac, 2011. Ocean Thermal Energy Conversion and the Pacific Islands, Miscellaneous Report 417.
- Takahashi, Patrick, Trenka, Andrew, 1996. Ocean Thermal Energy Conversion, John Wiley & Sons, chichester.
- Thomas, G., 2003. An Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion as an Advanced Electric Generation Methodology. Proceedings of the IEEE, Vol. 81 No. 3.
- URL-1, OTEC, 2015. 06.10.2015
http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/98-9/offshore/otec.htm
- URL-2, OTEC, 2015. 06.10.2015
http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-3/ocean_thermal_energy/group%20project/exports/otecex.html
- Vega, L., 2010. Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC):An Update, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, USA, 3–6 May 2010.
- Vega, L., 1999. Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Erişim Tarihi: 06.10.2015.
<http://www.otecnews.org/portal/otec-articles/ocean-thermal-energy-conversion-otec-by-l-a-vega-ph-d/>
- Wina, H.J., 2015. Global Potential of Renewable Energy Sources: A Literature Assess Ment. Erişim Tarihi: 01.07.2015.
<http://www.researchgate.net/publication/237576106>