

GÜNEŞ HAVUZLARININ KULLANIM ÖMRÜ MALİYET ANALİZİ

Murat ÖZTÜRK, Nalan Çiçek BEZİR ve Nuri ÖZEK
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta

Geliş Tarihi : 06.05.2008
Kabul Tarihi : 03.09.2008

ÖZET

Güneş havuzları, güneş enerjisini uzun süre boyunca toplayan ve depolayan sistemlerdir. Bu sistemlerin ülke genelinde daha yaygın bir şekilde kullanılmaları için, fiziksel özelliklerinin yanında güneş enerjisinden sıcak su üretimi ve depolamasının ekonomik olup olmadıklarının da bilinmesi gerekir. Kullanım ömrü maliyet analizi özel proseslerin veya kıyaslaması yapılacak proseslerin çevresel etkilerini tanımlayan ve değerlendiren bir sistematik analitik metottur. Sistemin maliyetini belirlemek için; kaynak tüketimini, enerji kullanımını, malzeme ve enerji dengelerini, ham maddeleri kullanılabilir ürünlere çevirme operasyonlarında beşikten mezara şeklinde bir konu olarak ele alır. Bu çalışmada; 3,5x3,5 m² alanlı ve 2 m derinliğinde bir güneş havuzunun yansıtıcı kapaklı ve kapaksız olması halinde havuzun kullanım ömrü maliyet analizi yapılmış ve Goller Bölgesi şartlarında bu güneş havuzundan alınabilecek enerji miktarı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : *Güneş havuzu, Güneş radyasyonu, Kullanım ömrü maliyet analizi.*

LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF SOLAR PONDS

ABSTRACT

Solar ponds are the systems which collect solar energy and store it for long periods of time. For effective and efficient use of these systems in the country, concepts relating economy of solar ponds which generated hot water from the sun must be known besides their physical properties. Life cycle cost analysis is a systematic analytical method that helps identify and evaluate the environmental impacts of a specific process or competing processes. In order to quantify the costs, resource consumption, and energy use, material and energy balances are performed in a cradle-to-grave manner on the operations required to transform raw materials into useful products. In this study; life cycle cost analysis of reflecting covered and non covered solar ponds are calculated for a volume of 3.5x3.5x2 cubic meters and presented. Also the energies extractable for these solar ponds in Goller Region climatic conditions are given.

Key Words : *Solar pond, Solar radiation, Life cycle cost analysis.*

1. GİRİŞ

Kullanım ömrü maliyet analizi sistemin kullanım süresi boyunca yapılan harcamaların, yatırımların, satın almaların ve bakım masraflarının toplamıdır. Ömür boyu maliyetlendirme uygulamaları son

yıllarda artan bir eğilim sergilemektedir. Artan bu eğilim nedenlerinden bazıları yükselen enflasyon, sınırlı bütçe, artan maliyet etkinlikleri, rekabet, pahalı ürünler ve artan bakım maliyetleri şeklinde sayılabilir (Fabrycky ve Blanchard, 1991). Ömür boyu maliyet analizi sistemin kurulduğunda, maliyeti azaltma ve kontrol etmede önemlidir. Aynı zamanda

ömür boyu maliyet analizinin pek çok uygulaması mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Dhillon, 1988).

1. En yararlı tedarik stratejisini seçmek
2. Maliyet dağılımlarını belirlemek
3. Stratejik kararları almak
4. Opsiyonlar arasında seçim yapmak
5. Kaynak seçimlerini ortaya koymak
6. Yeni teknolojik uygulamaları değerlendirmek
7. Program kontrolü için objektifliği sağlamak
8. Ürün tasarımı ve geliştirme maliyetleri ile ilişkili temel tasarımların karşılaştırılmasını geliştirmek
9. Gelecek bütçe ihtiyaçlarını tahmin etmek

Kullanım ömrü maliyet analizi yapılan tuz gradyentli güneş havuzu, ısı depolama kapasitesine sahip olan geniş ölçekli güneş kolektörleridir (Zhang ve Wang, 1990). Temel olarak beş çeşit pasif güneş havuzu bulunmaktadır. Bunlar; tuz gradyentli güneş havuzu (Weinberger, 1964; Tabor ve Matz, 1965), koruyucu zarlı havuzu (Hull, 1980), jel kaplanmış güneş havuzu, bal peteği güneş havuzu ve derin olmayan sulu güneş havuzudur (Sokolov ve Arbel, 1990).

Tuz gradyentli güneş havuzları üç farklı bölgeden oluşmaktadır (Zangrando, 1991). Havuzun en üstünde yer alan birinci bölge üst konvektif bölge (UCZ) olarak adlandırılmakta olup havuzun absorpsiyon ve taşınım bölgesidir. Bu bölgede

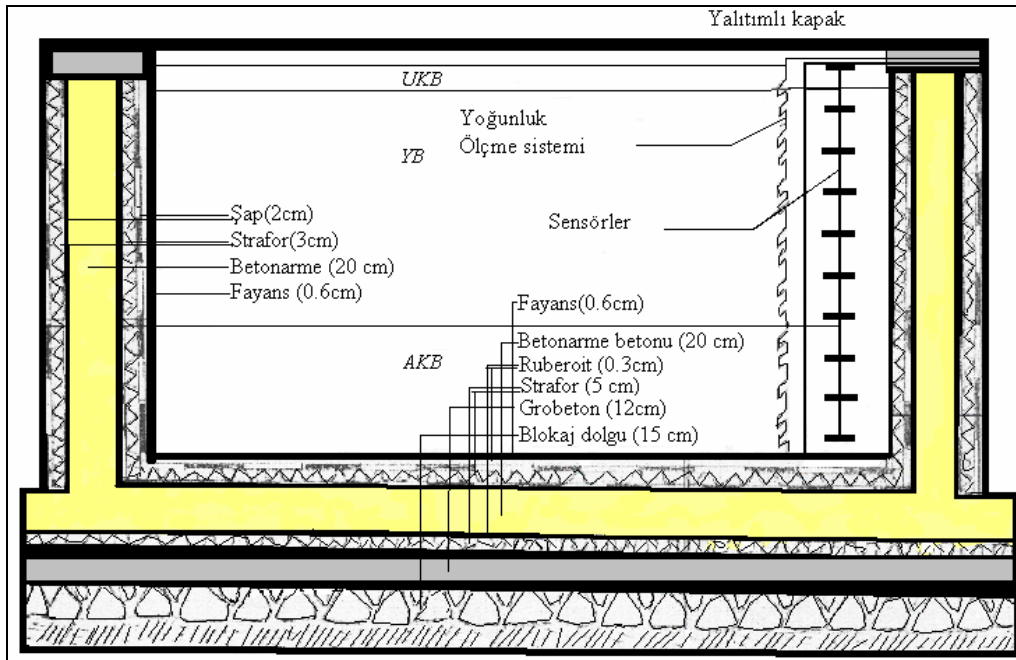
tuzluluk en azdır fakat yoğunluğu her yerde aynıdır. İkinci bölge konvektif olmayan bölge (NCZ) olarak adlandırılır ve UCZ'nin altında yer alır. NCZ orta bölge olup, konveksiyondan oluşan ısı kayıplarını önlemektedir. Artan tuz yoğunluğundan dolayı derinlikle birlikte NCZ'nin yoğunluğu artar. Sıcaklık bölgenin her yerinde aynı olmayıp üstten alta doğru artar. Üçüncü bölge alt konvektif bölge olarak adlandırılır ve havuzun en altında yer alır. Bölgenin her yerinde yoğunluk ve sıcaklık aynı olduğu zaman LCZ'nin yoğunluğu doyma seviyesine yaklaşır (Batty v.d. 1986; Hassairi v.d., 2001).

Bu çalışmada, deneysel çalışmaların yapıldığı güneş havuzunun sistem bileşenleri tanıtılmıştır. Daha sonra yansıtıcı-ısı yalıtımı sağlayan kapaklı ve kapaksız deneysel güneş havuzlarının kullanım ömrü maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere göre kapaklı güneş havuzunun ömür boyu maliyetinin kapaksız güneş havuzunun ömür boyu maliyetinden daha düşük olduğu ortaya konmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. Güneş Havuzunun Yapısı

İsparta Yalvaç Meslek Yüksekokulu Kampus alanına Şekil 1'de yandan görünüşü verilen 3.5×3.5 m² boyutlarında ve 2 m derinliğinde yalıtımlı bir deneysel güneş havuzu inşa edilmiştir.



Şekil 1. Yalıtımlı model güneş havuzu (Bezir, 2002).

Havuz tabanının en altında çakıl tabakası, onun üstünde grabeton kaplama, grabeton kaplamanın üstünde havuzdan tabana olacak olan ısı kaybını önlemek için kullanılan 5 cm kalınlığında iki yüzü su geçirgenliğini önleyen ruberoit maddesi ile kaplanmış strafor yalıtım tabakası, strafor tabakanın üzerinde beton tabaka, beton tabanın üzerinde tekrar iki yüzü ruberoit ile kaplı 2 cm kalınlığında strafor tabakası ve en üstte de fayans kaplama bulunmaktadır. Deneysel güneş havuzunun yapımında ısı yalıtımı için kullanılan yalıtım ve inşaat malzemelerinin ısıl ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Havuzda kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri (Bezir, 2002).

| Yalıtım malzemesi | Isı iletim katsayısı (W/mK) | Yoğunluk (kg/m ³) | Özgül ısı (kJ/kgK) |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Ruberoit | 0.19 | 1200 | 0.92 |
| Strafor | 0.058 | 12 | 0.82 |
| Şap | 1.40 | 2000 | 0.72 |
| Fayans | 0.81 | 1800 | 0.79 |
| Beton | 2.10 | 2400 | 0.87 |
| Çakıl dolgu | 0.519 | 2050 | 0.84 |
| Grabeton | 1.74 | 2200 | 0.69 |

Havuzun kuzey doğu cephesine güneş ışını engellemeyecek şekilde 2.7×2.7 m² genişliğinde ve 1.90 m yüksekliğinde içinde bilgisayar kontrollü sıcaklık, ısıl iletkenlik ve yoğunluk ölçüm sistemlerinin bulunduğu bir çalışma ofisi inşa edilmiştir.

2. 2. Havuz Sıcaklığını Ölçme Sistemi

Sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için algılayıcı olarak 15 adet LM 35 diyetleri kullanılmış ve bu diyetlerin tuzlu sudan etkilenmemeleri için üzerleri silikonla kaplanmıştır. Bu algılayıcı diyetlerden gelen analog veriler, bir AD/DA çeviricisi yardımıyla dijital sıcaklık verilerine dönüştürülerek bilgisayara kaydedilmiştir.

2. 3. Güneş Havuzu Sıcaklık Verilerini Toplayan Otomasyon Sistemi

Güneş havuzlarının performansını belirlemek için en önemli parametrelerden birisi de havuzun sıcaklık dağılımının belirli zaman aralıklarında doğru bir şekilde ölçülmesidir. Bunun için havuzun belirli noktalarına yerleştirilen diyetleri kullanmak suretiyle anlık sıcaklık (saniyelik, dakikalık, saatlik ve günlük) ölçümlerini yapabilen 2 Mbyte’lık bir

bilgisayara dayalı bir otomasyon sistemi kurulmuştur.

2. 4. Havuzdan Isı Çekme Sistemi (Isı Eşanjörü)

Deneysel güneş havuzundan toplanan güneş enerjisini almak için, bakır borudan oluşan ve bütün depolama bölgesini kaplayacak şekilde bir eşanjör sistemi hazırlanmıştır. Eşanjör sisteminde kullanılan bakır borunun tuzlu sudan etkilenmemesi için, 2 kg grafit tozu, 404 çelik yapıstırıcı ile karıştırılıp asetonla inceltildikten sonra tabanca ile bakır boru üzerine püskürtülerek koruyucu tabaka oluşturulmuştur.

2. 5. Havuz Yüzeyini Örtün Yalıtımlı ve Yansıtıcı Kapak

Havuzun üzeri gece-gündüz sıcaklık farklılıkları nedeniyle oluşabilecek önemli derecedeki ısı kayıplarını ortadan kaldırmak için güneşin olmadığı zamanlarda havuz yüzeyini örtülme ve gündüzleri güneş ışınına havuza yönlendirerek havuza giren güneş enerjisi miktarını artırmak gibi iki amaçlı bir kapak sistemi tasarlanmıştır. Kapakların bir yüzü alüminyum levha ile ve yansıtıcı yüzleri krom nikel levha ile kaplanmıştır. Levhaların arasına yalıtımı sağlamak için 2 cm kalınlığında strafor yerleştirilmiştir.

2. 6. Havuzun Tuz Yoğunluğu Dağılımını Ölçme Sistemi

Havuzun değişik noktalarındaki tuz yoğunluğunu ölçmek için, havuzun yan duvarından 30 cm uzağa ve tabandan itibaren yukarıya doğru 10’ar cm aralıklarla yerleştirilmiş 0.5 cm çapında ve 3 m uzunluğundaki 20 adet plastik hortumdan oluşan bir sistem yerleştirilmiştir. Bunlardan belirli zaman aralıklarında elle çekilen tuzlu su örnekleri, ölçekli bir behere doldurularak yoğunlukları bir hidrometre yardımıyla ölçülmüştür. Alınan yoğunluk değerleri bilgisayarda değerlendirilerek havuzun yoğunluk dağılımı belirlenmiş ve bu şekilde zamanla havuz içindeki yoğunluklu tabakaların değişimleri saptanmıştır. Sonuç olarak, tuz gradiyentinde meydana gelebilecek bozulmalar onarılmıştır.

2. 7. Tuz Yoğunluğu Eğimini Koruma Sistemi

Havuzda oluşturulan tuz yoğunluğu eğimini kararlı tutmak için 30 cm çapında 8 mm kalınlığında ve 150 cm yüksekliğinde tuz konulacak kısım ve aktarıcı borulardan oluşan düzenek havuza yerleştirilmiştir. Düzenek tuzdan etkilenmemesi

için sistemin tuz bulunduran bölümü ve aktarıcı borular PVC borulardan yapılmıştır.

2. 8. Tuz

Güneş havuzunun yapımında 5 ton tuz ve 25 ton su kullanılmıştır. Tuz yoğunluğu havuzun üstünden altına doğru artmaktadır.

3. DEĞERLENDİRME

3.1. Kullanım Ömrü Maliyet Analizi

Kullanım ömrü maliyet analizinin hesaplanması ile ilgili olarak literatürde pek çok hesaplama yöntemi bulunmaktadır (Dhillon, 1988; Fabrycky ve Blachard, 1991; Ardente v.d., 2005 ve Verduzco v.d., 2007). Fakat güneş havuzu sistemi için en uygun olan kullanım ömrü maliyet analizi aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$I_{TK} = I_A + I_I + I_T - I_H \quad (1)$$

Burada, I_{TK} toplam kullanım ömrü maliyet analizini, I_A anapara maliyetini, I_I işletim ve bakım masraflarını, I_T tamir ve değiştirme masraflarını, I_H hurda değerini göstermektedir. Denklem (1)'de verilen maliyetlerin aşağıdaki eşitliklerle güncel değerlerinin hesaplanması gerekir.

$$PV = FV \left(\frac{1}{1+r} \right)^n \quad (2)$$

Burada, PV güncel değeri, FV gelecekteki değeri, r iskonto oranını ve n yıl sayısını göstermektedir. n yıl boyunca yıllık olarak ödenecek olan bir paranın günümüzdeki değeri aşağıda verilmiştir.

$$PV = P \left(\frac{1-(1+r)^{-n}}{r} \right) \quad (3)$$

Buradaki P her yıl yapılacak olan ödeme miktarıdır.

Deneysel verilere dayanarak güneş havuzlarından, Durum I ve Durum II için, sağlanan sıcak suyun, güneş havuzlarından değil de elektrik enerjisi kullanılarak elde edilseydi ne kadar elektrik tükettiği şeklindeki bir yaklaşıma dayandırılarak, güneş havuzlarından elde edilen sıcak suyun birim maliyeti bulunabilir.

Elektriğin birim maliyetini hesaplamak için öncelikle, toplam kullanım ömrü maliyetinin, yıllık değerinin (I_{YK}) aşağıdaki ifade yardımıyla hesaplanması gerekir.

$$I_{TK} = I_{YK} \times \frac{1-(1+r)^n}{r} \quad (4)$$

Yukarıda verilen yıllık kullanım ömrü maliyetinin bir yılda üretilen sıcak suyun elektrik eşdeğerine oranlanması ile her bir kWh için birim elektrik maliyeti hesaplanır.

$$I_{BM} = \frac{I_{YK}}{E_U} \quad (5)$$

Burada, I_{BM} birim elektrik maliyeti ve E_U yıllık sıcak su üretiminin elektrik eşdeğerini göstermektedir.

3. 2. Malzemelerin Maliyetleri ve Kullanım Ömrü

Deneysel çalışmaları yapmak için Yalvaç Meslek Yüksek Okulu bahçesinde kurulan güneş havuzlarının yapımında kullanılan malzemelerin maliyetleri ve kullanım ömürleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den aynı zamanda kullanım ömrü boyunca güneş havuzunda kullanılan malzemelerin ne kadar süre ile değiştirileceği de görülmektedir.

Tablo 2. Güneş havuzu malzemesi ve kullanım ömrü.

| Malzeme ismi | Durum I | Durum II | Kullanım ömrü |
|------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| Kurulum maliyeti | 17,800 \$ | 17,800 \$ | 30 yıl |
| Yansıtıcı kapak | 3,500 \$ | - | 10 yıl |
| Havuz sıcaklık ölçüm sistemi | 700 \$ | 700\$ | 2 yıl |
| Bilgisayar veri sistemi | 700 \$ | 700\$ | 15 yıl |
| Isı değiştiricisi | 140 \$ | 140 \$ | 2 yıl |
| Tuz dağılım ölçüm sistemi | 15 \$ | 15 \$ | 5 yıl |
| Tuz yoğunluğu koruma sistemi | 60 \$ | 60 \$ | 5 yıl |
| Tuz | 500 \$ | 500 \$ | 5 yıl |

Yapılan çalışmada; bakım ve işletim maliyetinin, alım maliyetinin % 1'i, iskonto oranı % 10, bakım işçiliği maliyetinin 100 \$/yıl ve hurda değerinin,

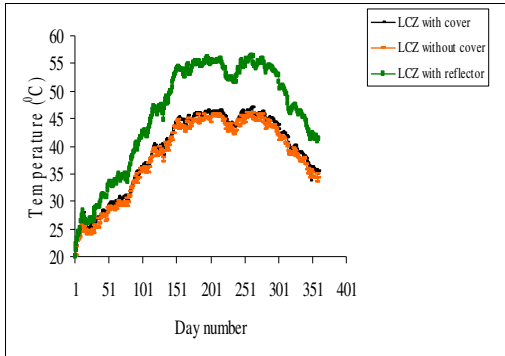
anapara maliyetinin % 20'si olduğu kabul edilmiştir.

3. 3. Analiz

Ömür boyu maliyet analizinde verileri kullanılan yalıtımlı yapılmış yansıtıcı kapaklı ve kapaksız güneş havuzları Şekil 2’de gösterilmiştir. Öncelikle yalıtımlı yansıtıcı kapağı olan güneş havuzundan bir yıl süre ile alınan ölçümlere göre havuz alt konvektif tabakanın sıcaklık değişimleri ve daha sonra güneş havuzunun yalıtımlı yansıtıcı kapağı sökülerek yine bir yıl boyunca havuz alt konvektif bölgesinin sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Deneysel sonuçlar Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Yalıtımlı yansıtıcı kapaklı ve kapaksız güneş havuzları (Bezir, 2002).



Şekil 3. Yalıtımlı yapılmış yansıtıcı kapaklı ve kapaksız güneş havuzlarının alt konvektif bölgelerinin yıllık sıcaklık değişimleri (Bezir, 2002).

3. 3. 1. Durum I

Yalıtımlı yansıtıcı kapaklı güneş havuzunun anapara maliyeti (I_A) 23.415 \$, 30 yıllık işletim ve bakım masrafı (I_i) 942 \$, tamir ve değiştirme masrafı (I_T);

$$I_T = I_{T\text{kapak}} + I_{T\text{sıcakölçsis}} + I_{T\text{bilgisayar}} + I_{T\text{ısıdeğiştiricisi}} + I_{T\text{tuzölçsis}} + I_{T\text{tuzyoğkorsis}} + I_{T\text{tuz}}$$

ifadesinden 6.613 \$ ve hurda değeri (I_H) 134 \$ olarak bulunmuştur. Denklem (1) yardımıyla kapaklı güneş havuzu için toplam kullanım ömrü maliyeti 30.836 \$’dır. Durum I için yıllık kullanım maliyeti, Denklem (4)’den 3.273 \$ olarak bulunmuştur. Kapaklı güneş havuzundan yıllık üretilen sıcak suyun elektrik eş değeri 7.728 kWh olduğu deneysel sonuçlardan elde edilmiştir. Tüm bu veriler kullanılarak, kapaklı güneş havuzundan üretilen sıcak suyun kullanım ömrü maliyet analizine göre birim maliyeti 42,35 cent/kWh olarak bulunur.

3. 3. 2. Durum II

Yalıtımlı yansıtıcı kapağı olmayan güneş havuzunun anapara maliyeti 19.915 \$, 30 yıllık işletim ve bakım masrafı 942 \$, tamir ve değiştirme masrafı;

$$I_T = I_{T\text{sıcakölçsis}} + I_{T\text{bilgisayar}} + I_{T\text{ısıdeğiştiricisi}} + I_{T\text{tuzölçsis}} + I_{T\text{tuzyoğkorsis}} + I_{T\text{tuz}}$$

ifadesinden 942 \$ ve hurda değeri 113 \$ olarak bulunmuştur. Kapaksız güneş havuzu için toplam kullanım ömrü maliyeti 25.488 \$’dır. Yıllık kullanım maliyeti 2705 \$ bulunmuştur. Kapaksız güneş havuzundan yıllık üretilen sıcak suyun elektrik eş değeri 4539 kWh olduğu deneysel sonuçlardan elde edilmiştir. Buna göre kapaklı güneş havuzunun kullanım ömrü analizine göre üretilen ısının birim maliyeti 59,60 cent/kWh olarak bulunur.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda önemi giderek artan ömür boyu maliyet analizi, deneysel amaçla kurulan güneş havuzunun I. Durum (yalıtımlı-yansıtıcı kapaklı) ve II. durum (kapaksız) için ölçülen deneysel verilere göre alt konvektif bölgelerinin sıcaklıkları ve deneysel güneş havuzunun yapımında kullanılan malzemeler temel alınarak yapılmıştır. Yapılan analize göre kapaklı güneş havuzunun ömür boyu maliyeti 42,35 cent/kWh’ı, kapaksız güneş havuzunun ömür boyu maliyeti 59,60 cent/kWh’ı

olarak bulunmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlarda ve ömür boyu maliyet analizinde görüldüğü gibi güneş havuzlarının daha ekonomik olması için ilk yatırım ve değiştirme masraflarına ek yük getirirse bile mutlaka yalıtımı yapılmış yansıtıcı kapak konulmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M. and Brano, M.L. 2005. Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy*. 30, 190-130.
- Batty, J.C., Riley, J.P. and Bhises, N.K. 1986. Optimum thickness of the nonconvective zone in salt gradient solar ponds. *Solar Energy*. (1), 15-20.
- Bezir, N.Ç. 2002. Güneş Havuzlarında Güneş Enerjisinin Depolanması ve Uygulamaları. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dhillon, B. S. 1988. *Life Cycle Costing*. Gordon and Breach Science Publishers. Fabrycky, W. J. and Blanchard, B. S. 1991. *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice Hall.
- Hassairi, M., Safi, M.J. and Chibani, S. 2001. Natural brine solar pond: An experimental study. *Solar Energy*. (1), 45-50.
- Hull, J.R. 1980. Computer simulation of solar pond thermal behavior. *Solar Energy*. (25), 33-40.
- Sokolov, M. and Arbel, A. 1990. Fresh water floating collector type solar pond. *Solar Energy*. (1), 13-21.
- Tabor, H. and Matz, R.1965. Solar pond project. Solar Energy Society Conference, Phoenix, Arizona, March 15-17. (4), 177-182.
- Verduzco, L.E., Duffey, M.R. and Deason, J.P. 2007. H₂POWER: Development of a methodology to calculate life cycle cost of small and medium-scale hydrogen systems. *Energy Policy*. (35), 1808-1818.
- Weinberger, H. 1964. The physics of the solar pond. *Solar Energy*. (2), 45-55.
- Zangrando, F. 1991. On the hydrodynamics of salt-gradient solar ponds. *Solar Energy*. (6), 323-341.
- Zhang, Z.M. and Wang, Y.F. 1990. Study on the thermal storage of the ground beneath solar ponds by computer simulation. *Solar Energy*. (5), 243-248.