

KARABÜK ŞARTLARINDA GÜNEŞ HAVUZUNUN PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Mehmet ÖZKAYMAK*, Yakup ULUSOY**

*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük

**Bağcılar Endüstri Meslek Lisesi, Bağcılar-İstanbul

Geliş Tarihi : 26.04.2002

Alternatif enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisini, ekonomik yönden ucuz ve yüksek verimli enerji olarak toplama ve depolama sistemlerinden birisi de güneş havuzlarıdır. Yapılan bu çalışmada, güneş havuzunda, farklı konsantrasyonlara sahip $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ (sodyum karbonat-su) çözeltisinin doğal ortamda ısı depolama performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel tesisatı, Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi'nde kurularak farklı yoğunluklara sahip 5 ayrı deney yapılarak güneş havuzundaki sıcaklık ve yoğunluk değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Yapılan deneylerde güneş havuzunun tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı maksimum $21\text{ }^\circ\text{C}$ ve alt taşınım bölgesinde (ATB) en yüksek sıcaklık $49\text{ }^\circ\text{C}$ elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Güneş havuzu, Alternatif enerji kaynakları

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR POND PERFORMANCE IN KARABUK ENVIRONMENT

ABSTRACT

The solar energy, one of the alternative energy sources, can be economically and cheaply and efficiently collected with solar ponds. In this study, varying concentrations of sodium carbonate dilution in the solar pond in terms of heat storage performance has been examined. Experiment apparatus has been located Zonguldak Karaelmas University Karabük Technical Education Faculty. Five experiments with different density levels have been done and the changes in the temperature and density have been presented graphically within the solar pond. The experiments show that the temperature difference between the bottom and top level of solar pond is max. $21\text{ }^\circ\text{C}$ and the highest temperature in lower convective zone (LCZ) has been measured as $49\text{ }^\circ\text{C}$.

Key Words : Solar pond, Alternative energy resources

1. GİRİŞ

Mevcut doğal enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve her geçen gün artan enerji ihtiyacı sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme artmaktadır. Bu enerji kaynakları, tüketilmesi mümkün olmayan temiz doğal kaynaklar (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji...vs) olmasından dolayı fosil enerji

kaynaklarına (petrol, doğal gaz, kömür,...vs) alternatif olarak gösterilirler.

Alternatif enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi, yeryüzüne kesintili, düşük enerji yoğunluklu ve düzensiz olarak geldiğinden bu enerjiden sürekli faydalanmak için (akşam veya bulutlu günler de dahil) ekonomik yönden ucuz ve yüksek verimli bir enerji toplama ve depolama sistemine ihtiyaç vardır. Bu sistemlerden birisi de güneş havuzlarıdır. Güneş havuzu, düşük sıcaklık uygulamalarında güneş ışınlarının % 20-30'unu

toplayabilen, bu enerjiyi uzun süre depolayan ve % 15 faydalı ısı çekilebilen özelliğe sahiptir (Kurt, 2000). Güneş havuzu, genellikle; üst taşınımlı bölge (ÜTB), taşınımsız ara bölge (TZB) ve alt taşınımlı bölge (ATB) olmak üzere üç bölgeden meydana gelmektedir. ATB, tuz konsantrasyonunun olduğu bölge olup, bir yoğunluk gradyeni içermez. ATB'nin üzerinde bir yalıtıcı görevi yapan ve ÜTB'ye doğru azalan bir derişiklik gradyeni içeren TZB, güneş havuzunun en önemli kısmıdır. İçerdiği derişiklik gradyeninin yeterli ölçüde olması nedeniyle, bu bölgede taşınım hareketi olmayacak, dolayısıyla havuz dibinde soğurulan enerjinin ATB'de depo edilmesini sağlayacaktır. ÜTB, genellikle tuzsuz su içeren kısım olup; ince bir tabakadan meydana gelir. Bu bölgenin varlığı, havuzun ekonomikliğı yönünden önemlidir (Kurt ve ark., 2000).

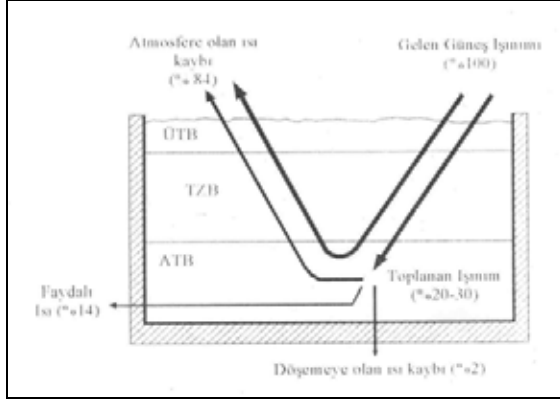
Kooi (1981), güneş havuzunda havuz tabanının yansıtıcılığının havuz kararlılığına ve performansına etkisini incelemiştir. Havuz tabanının yansıtıcı bir özelliğe sahip olması, havuzun performansını negatif yönde etkilemiştir. Ülkemizde güneş havuzları ile ilgili olarak ilk bilimsel araştırma, 1979 yılında Çukurova Üniversitesinde 4.5 x 4.5 x 1.5 boyutlarında tuz tabakalı bir güneş havuzu Kayalı ve Kayalı (1983) tarafından yapılmıştır. Havuzun depolama sıcaklığı ağustos ayında maksimum 60 °C olarak ölçülmüştür. Diğer bir çalışma da, İ.T.Ü'de Göktun (1987) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, güneş havuzunun deneysel olarak performansı incelenmiştir. Mehta et al. (1988), Hindistan şartlarında güneş havuzunun performansını analiz etmek amacıyla 1600 m² yüzey alanına ve 2.3 m derinliğine sahip bir güneş havuzu inşa etmişlerdir. Havuzun yoğunluk gradyeni, deniz suyu kullanılarak oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlarla model sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçları arasında % 8-10 arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Akoshile (1991), 28 cm derinliğinde kilden yapılmış hiperbolik bir güneş havuzunu doğal ortamda denemiştir. Çözelti olarak NaCl kullanmıştır. Havuz tabanı ile yüzey arasında sıcaklık farkı, 20 °C olarak ölçülmüştür. Fagbenle (1993), güneş havuzunun Nijerya gibi tropikal bölgelerde tarımsal alanda, endüstride, konut ısınmasında ve ticari alanda uygulamalarını teknik ve ekonomik olarak incelemiştir. Nijerya şartlarında kararlı bir güneş havuzunda optimum sıcaklık 86 °C dolayında olmuştur. Subhakar and Murthy (1991; 1994), Magnezyum klorür (MgCl₂) tuzu kullanarak 1 m çapında 0.7 m derinliğinde paslanmaz çelikten dairesel bir güneş havuzu inşa etmişler ve model sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırarak, uyumlu olduklarını gözlemlemişler ve depolama sıcaklığını 55 °C olarak ölçmüşlerdir.

Pawar and Chapgaon (1995), 1 x 1 x 1.25 m boyutlarında sac metalden yapılmış güneş havuzunda, NH₂CONH₂-H₂O çözeltisinin sıcaklık ve yoğunluk profillerini incelemiştir. ÜTB ile ATB arasında 23 °C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Kurt (2000), Na₂CO₃-H₂O (sodyum karbonat-su) çözeltili güneş havuzunda laboratuvar şartlarında deneysel sonuçlar ile teorik sonuçları karşılaştırmıştır. Deneyler sonunda, havuz tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı 18 °C ve ATB'de maksimum sıcaklık 44 °C elde edilmiştir. Kurt ve ark. (2000), güneş havuzunda farklı konsantrasyonlarda NaCl (sodyum klorür) çözeltisini doğal ortamda test etmişler, matematiksel modeli kurup, nümerik ve analitik olarak çözerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

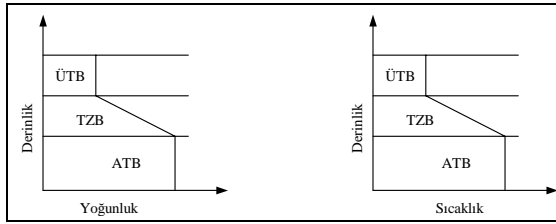
2. GÜNEŞ HAVUZUNUN FİZİKİ YAPISI

Güneş havuzlarının fiziki yapısı, atmosfere açık herhangi bir havuzda; örneğin bir bahçe havuzunda güneş enerjisinin soğurulmasıyla meydana gelen olayların incelenmesiyle açıklanabilir. Havuzun yüzeyine çarpan güneş ışınları kısmen yansiyacak, kısmen de havuz yüzeyinde ve içinde soğurulacaktır. Havuz dibindeki soğurulmanın bağıl olarak diğer kısımlardaki soğurulmadan yüksek olması, suyun dibe yakın kısımlardaki sıcaklığın artmasına dolayısıyla yoğunluğunun azalmasına neden olur. Yüzeydeki su tabakaları daha az enerji soğurduğundan sıcaklıkları dipteki su tabakalarına göre daha düşük, yoğunlukları ise daha yüksek olacaktır. Yüzeyde ağır, tabanda hafif su bulunması havuz içinde kararsız bir denge durumu oluşturur. Dipte soğurulmanın devam etmesi halinde, ısıl kaldırma kuvvetinin viskoz sürtünme ve atalet kuvvetlerini yenmesi sonucu daha yoğun su taneciklerinin aşağıya inmesiyle denge bozulacak ve taşınımla ısı geçişi başlayacaktır. Tuz tabakalı güneş havuzlarında, oluşan bu taşınım hareketleri, yapay olarak meydana getirilen ve içerdiği akışkanın yoğunluğunun derinlikle arttığı derişiklik gradyeni ile önlenir. Tipik bir tuz tabakalı güneş havuzu Şekil 1'de ve bu havuzun yoğunluk ve sıcaklık gradyenleri Şekil 2'de görülmektedir (Kurt ve ark., 2000).

Yoğunluk gradyeninin taşınım hareketini önleyebilmesi için, yeterli miktarda büyük ve doğru bir şekilde tasarlanmış olması gerekir. Bu şartlar yerine getirildiği takdirde güneş havuzu, çevreye taşınım yoluyla ısı kaybetmeyen ve tabanında topladığı ışınım enerjisini aynı ortamda depolayabilen bir havuz olacaktır (Kurt ve ark., 2000).



Şekil 1. Tuz tabakalı güneş havuzunun şematik görünümü



Şekil 2. Güneş havuzunda yoğunluk ve sıcaklık gradyeninin şematik görünümü

3. ISI TRANSFER ANALİZİ

Güneş havuzu çeşitli ısı transfer olaylarının gerçekleştiği homojen olmayan bir sistemdir. Bu sebeple havuz içinde gerçekleşen ısı transfer olayları iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere ayrı ayrı incelenir (Bozdemir ve Kayalı, 1983; Chang, 1993; Kurt, 2000). Havuz sıcaklık dağılımı, soğurulan ışınım enerjisine, havuz içerisinde meydana gelen düşey taşınım hareketlerine, havuz yüzeyinden buharlaşma, ışınım ve taşınım ile olan ısı kayıplarına bağlı olarak değişiklik gösterir (Subhakar and Murthy, 1993; El-Rafee and El-Marafie, 1993; Kurt 2000). İletim ve taşınım ile enerjinin transfer edildiği havuza enerji girişi güneş ışınımı ile olmaktadır (Chang, 1993; Kurt, 2000). İletimle ısı transferi havuz yüzeyinde absorpsiyon ile başlar. İletimden dolayı oluşan ısı akısı,

$$q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilebilir (El-Rafee and El-Marafie 1993; Kurt, 2000). Genelde bir akışkan ısındığında yoğunluğu azalırken sıcaklığı artmaktadır. Sıcak akışkan yüzeye doğru yükselir. Havuz içindeki yoğunluk farkından dolayı oluşan taşınım hareketinin neden olduğu ısı akısı ise,

$$q = \rho C_p \omega T \quad (2)$$

eşitliği ile ifade edilir (Shah et al., 1981; Kurt, 2000). Havuzdaki ısı absorpsiyonu güneş radyasyonunun dalga boyuna bağlıdır. Kısa ve uzun dalga boyları yüzeydeki birkaç cm derinlikte absorbe edilir. Arta kalan dalga boyları, havuzun daha derin bölgelerine eksponansiyel olarak absorbe edilir (Hawladar, 1988; Munos and Almanza, 1992; El-Rafee and Marafie, 1993). Buna göre, ışınımın soğurulmasıyla meydana gelen ısı akısı,

$$q = -\frac{\partial I(\lambda, x)}{\partial x} \quad (3)$$

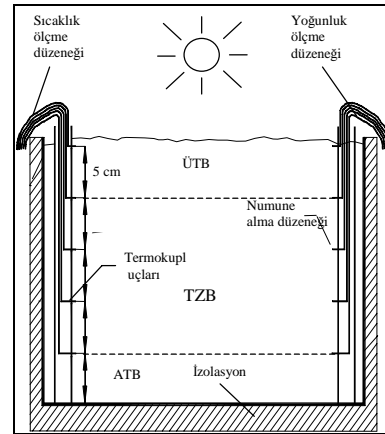
$$I(\lambda(x)) = (1 - a)(1 - \beta)I_0 e^{-\mu x} \quad (4)$$

$$q = \mu(1 - a)(1 - \beta)I_0 e^{-\mu x} \quad (5)$$

eşitlikleri ile ifade edilir (Dake, 1969; Hawladar, 1988; Kurt, 2000)

4. DENEYİN YAPILIŞI

Şekil 3'de, deneylerin yapıldığı 450 x 200 x 250 mm boyutunda camdan imal edilmiş bir güneş havuzu şematik olarak görülmektedir. Havuz, cam yüzünü ve strafor ile yalıtılmış ve tabanı siyah mat boya ile boyanmıştır. Havuzun bir yüzeyinde havuz içindeki sıcaklık dağılımının ölçülmesi için termokupl düzeneği (5 cm aralıklı), karşı yüzeyinde ise yoğunlukların ölçüldüğü numune alma düzeneği yerleştirilmiştir. Deneyde Na₂CO₃'ün (sodyum karbonat) su içerisinde eritilmesi ile elde edilen farklı yoğunluklardaki çözeltiler kullanılmıştır. Deneyler, Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi'nde Temmuz-Ağustos 2001'de 5 farklı yoğunluklu çözeltiler kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Deney tesisatı şematik görünümü

Güneş havuzu, ATB'den ÜTB'ne kadar lineer yapıya sahip tuz yoğunluk gradyeni elde edilebilecek şekilde dikkatlice doldurulmuştur. Havuz tabanından yüzeyine doğru tuz gradyenindeki lineer yapının elde edilmesi için, havuz doldurulduktan 1 gün sonra deneylere

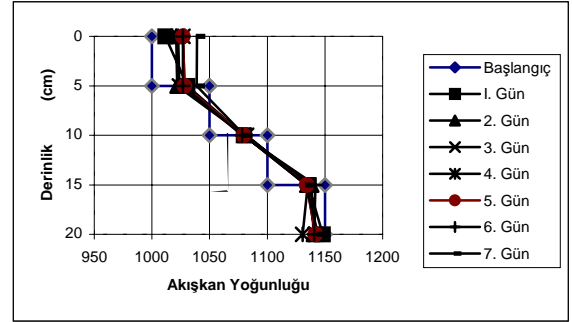
başlanarak yoğunluk ölçümü 12 saatte bir, sıcaklık ölçümü saat 10.⁰⁰ ile 16.⁰⁰ arasında her saatte bir yapılmıştır. Tüm deneyler, 2 ay içerisinde tamamlanmıştır. Deneyler için çözelti yoğunluk miktarları ve tuzluluk oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Başlangıçta Deneylerdeki Akışkan Yoğunlukları ve Tuzluluk Oranları

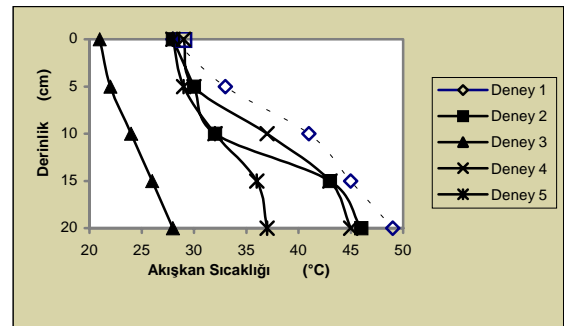
Derinlik (cm)	I.Deney		II.Deney		III. Deney		IV.Deney		V. Deney	
	Yoğunluk (kg/m ³)	Tuzluluk (Yüzde)	Yoğunluk (kg/m ³)	Tuzluluk (Yüzde)	Yoğunluk (kg/m ³)	Tuzluluk (Yüzde)	Yoğunluk (kg/m ³)	Tuzluluk (Yüzde)	Yoğunluk (kg/m ³)	Tuzluluk (Yüzde)
0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0
5	1050	6.5	1033	5	1025	3.5	1017	3.2	1000	0
10	1100	13.5	1066	9.5	1050	6.5	1034	5.5	1000	0
15	1150	18	1100	13.5	1075	10	1050	6.5	1150	18
20	1150	18	1100	13.5	1075	10	1050	6.5	1150	18

5. SONUÇLAR

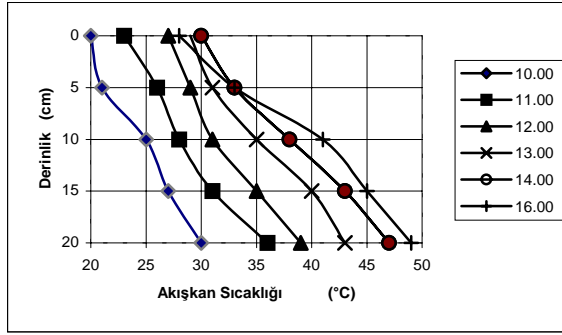
Soda-su (Na₂CO₃-H₂O) çözelti deneyinde, deney başlangıcında lineer yapıya sahip yoğunluk gradyeni oluşturulduğunda ve bu gradyen korunduğunda uzun zaman aralığında doğal ortamda ısı depolanması mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde; 2 aylık deney süresince ortam sıcaklığının 30 °C – 35 °C, rüzgar hızının 1 m/s- 3 m/s ve güneş radyasyon miktarının 400 W/m² - 700 W/m² arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu ortam şartlarına bağlı olarak deney sonunda, güneş havuzunun ATB'de maksimum sıcaklığı Deney 1'de 49 °C, Deney 2'de 46 °C, Deney 3'de 43 °C, Deney 4'de 45 °C ve Deney 5'de 37 °C elde edilmiştir. Deneylerin sonunda havuz tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı sırasıyla, 21 °C, 18 °C, 14 °C, 14 °C, 9 °C olarak elde edilmiştir. Burada, ATB'de en yüksek sıcaklık değerleri ve havuz tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı değerlerinin Deney 1 ve Deney 2'den elde edildiği görülmektedir. Şekil 4'de, bir haftalık sürede havuz yoğunluğunun derinliğe göre değişimi görülmektedir. Bu sürede havuzun kararlı yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 5'de, tüm deneylerdeki çözelti sıcaklığının havuz derinliğine göre değişimi görülmektedir. Şekil 6'da ise, ısı toplama ve depolama kapasitesi yüksek olduğu tespit edilen Deney 1'de gün boyunca çözelti sıcaklığının havuz derinliğine göre değişimi görülmektedir. Bu sonuçlardan anlaşıldığı gibi, akışkan yoğunluğu ve tuzluluk oranları yüksek olan çözeltilerde ısı tutumu ve sıcaklık miktarı yüksektir.



Şekil 4. Çözelti yoğunluğunun havuz derinliğine göre değişimi (Deney 1)



Şekil 5. Bir haftalık deney sonunda çözelti sıcaklığının havuz derinliğine göre değişimi



Şekil 6. Bir haftalık deney sonunda gün boyunca çözelti sıcaklığının havuz derinliğine göre değişimi (Deney 1)

6. SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ATB	: Alt taşınım bölgesi
a	: Suyun ışınmı yansıtma oranı (-)
C_p	: Özgül ısınma ısısı ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)
I	: Işınım şiddeti (W/m^2)
I_0	: Yüzeğe gelen ışınım şiddeti (W/m^2)
$I(\lambda, x)$: λ dalga boyundaki ışınımın x derinliğine ulaşan miktarı (W/m^2)
k	: Isı iletim katsayısı ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
q	: (Isı akısı (kJ/m^2))
T	: Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)
TZB	: Taşınımız ara bölge
ÜTB	: Üst taşınım bölgesi
x	: Havuz derinliği (m)
ω	: Taşınım hareketinin düşey doğrultudaki ortalama hızı (m/s)
β	: Yüzeğe soğurulan ışınım oranı (%)
μ	: Soğurma katsayısı (1/m)
ρ	: Çözelti yoğunluğu (kg/m^3)
Δx	: Tabaka kalınlığı (m)

7. KAYNAKLAR

- Akoshile, C. O. 1991. Mini Solar Pond Renewable Energy, V.1, No 3/4, P. 463-467.
- Bozdemir, S., Kayalı, R. 1983. Güneş Havuzlarının Matematik Modeli ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması. Doğa Bilim Dergisi, Seri A 3 (3), P. 387-397.
- Göktun, S. 1987. Güneş Enerjisinin Güneş Havuzlarında Depolanması. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 10 (3), P. 15-21.
- Chang, C.H. 1993. Bannerot RB. Transient Thermal Performance of A Solar Pond With Salinity And Temperature Dependent Properties. In: Proceedings Of The Joint Solar Engineering Conference, ASME.

Dake, M. K. 1969. Harleman F. Thermal Stratification in Lakes: Analytical And Laboratory Studies. Water Resources Research, 5(2): 484-495.

El-Rafee, M. M., Al-Marafie, A. M. 1993. Numerical Simulation of the Performance of the Kuwait Experimental S.G .S.P Energy Sources 15: P. 145-158.

Fagbenle, R. L. 1993. Salt Gradient Solar Ponds For The Tropics: Technical And Economic Appraisal For Nigeria, Int. J. of Ambient Energy, V.14, No 1.

Hawladar, M. N. A. 1988. Brinkworth BJ. An Analysis Of The Non-Convective Solar Ponds. Solar Energy, 27(3):195-204.

Kooi, C. F. 1981. Salt Gradient Solar Pond With Reflective Bottom: Application To The Saturated Pond, Solar Energy, V. 26, P. 113-120.

Kurt, H. 2000. Güneş Havuzlarında Güneş Enerjisinin Toplama ve Depolama Karakteristiklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. **Doktora Tezi**, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurt, H., Halıcı F., Binark AK. 2000. Solar Pond Conception –Experimental And Theoretical Studies. Energy Conversion And Management, 41 : 939-951.

Mehta, A. S., Pathak, N., Shah, B.M. 1988. Gomkale S. D. Performance Analysis of A Bittern-Based Solar Pond. Renewable Energy, V. 40, No 5, P. 469-475.

Munos, F., Almanza, R. A. 1992. Survey of Solar Pond Developments. Energy, 17 (10): 927-938.

Pawar, S. H., Chapgaon, A. N. 1995. Fertilizer Solar Ponds As A Clean Source Of Energy: Some Observations From Small Scale Experiments, Solar Energy, V. 55, No 6 P. 537-542.

Shah, A. S. Short, TH., Fynn, R. P. 1981. Modelling and Testing A Salt Gradient Solar Pond In Northeast Ohio. Solar Energy 5: 393-401.

Subhaker, D., Murthy, S. S. 1991. Experiments on A Magnesium Chloride Saturated Solar Pond, Renewable Energy, V. 1, No 5/6, P. 655-660.

Subhaker, D., Murthy, S. S. 1993. Saturated Solar Ponds – 1:Simulation Procedure. Solar Energy, 50 (3): P. 275-282.

Subhaker, D., Murthy, S. S. 1994. Saturated Solar Ponds: 3. Experimental Verification, Solar Energy, V. 53, No 6, P. 469-472.