

GÜNEŞ HAVUZU PERFORMANSININ KARABÜK ŞARTLARINDA DENEYSSEL İNCELENMESİ

***Mehmet ÖZKAYMAK, **Yakup ULUSOY**

* Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük

** Bağcılar Endüstri Meslek Lisesi, Bağcılar-İstanbul

ÖZET

Alternatif enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisini, ekonomik yönden ucuz ve verimli bir şekilde 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 yapıp güneş havuzundaki sıcaklık ve yoğunluk değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Yapılan deneylerde güneş havuzunun tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı maksimum 21°C ve alt taşınım bölgesinde (ATB) en yüksek sıcaklık 49°C olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Güneş havuzu, sodyum karbonat

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°C and the highest temperature in lower convective zone (LCZ) have been measured as 49°C .

Key Words : Solar pond, sodium carbonate

1. GİRİŞ

Mevcut doğal enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve her geçen gün artan enerji ihtiyacı sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep 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 günlerde dahil) ekonomik yönden ucuz ve 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 [1]. 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 büyük olması nedeniyle bu bölgede taşınım hareketi olmayacak, dolayısıyla havuz tabanında soğurulan enerjinin ATB'de depo edilmesini sağlayacaktır. ÜTB, genellikle tuzsuz su içeren kısım olup; ince bir tabakadan meydana gelir. Bu bölgenin varlığı, havuzun ekonomikliği yönünden önemlidir [2].

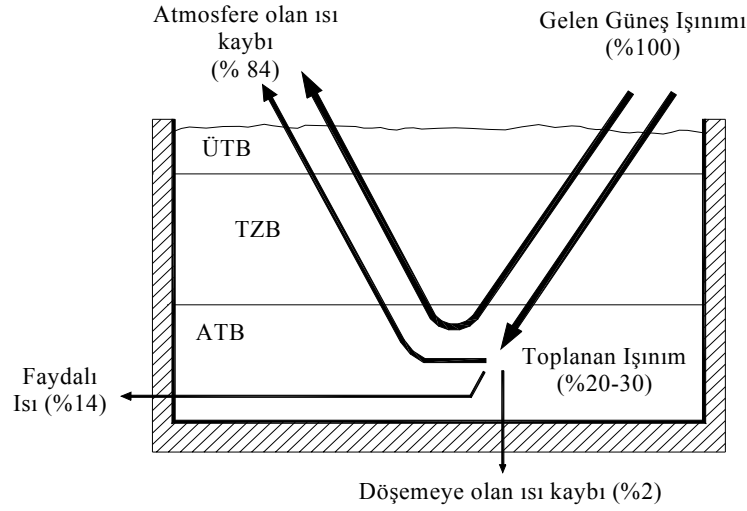
Fagbenle [7], güneş havuzunun Nijerya gibi tropikal bölgelerde tarımsal alanda, endüstride, konut ısınmasında ve ticari alanda uygulamalarını teknik ve ekonomik olarak incelemiştir. Nijerya şartlarında kararlı bir güneş havuzunda optimum sıcaklık 86°C dolayında olmuştur. Kooi [19], güneş havuzunda havuz tabanının yansıtıcılığının havuz kararlılığına ve performansına etkisini incelemiştir. Havuz tabanının yansıtıcı bir özelliğe sahip olması havuzun performansını negatif yönde etkilemiştir. Pawar ve Chapgaon [5], 1x1x1.25 m boyutlarında sac metalden yapılmış güneş havuzunda $\text{NH}_2\text{CONH}_2\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisinin sıcaklık ve yoğunluk profillerini incelemiştir. ÜTB ile ATB arasında 23°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Mehta ve arkadaşları [14], 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 sonuçlar arasında % 8-10 arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Subhakar ve Murthy [6], Magnezyum klorür (MgCl_2) 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. Akoshile [12], 28 cm derinliğinde kilden yapılmış hiperbolik bir testiye deney havuzu olarak doğal ortamda bir çalışma yapmıştır. Çözelti olarak NaCl kullanmıştır. Havuz tabanı ile yüzey arasında sıcaklık farkı 20°C olarak ölçülmüştür.

Ülkemizde ise güneş havuzları ile ilgili olarak ilk bilimsel araştırma 1979 yılında Çukurova Üniversitesinde 4.5x4.5x1.5 boyutlarında tuz tabakalı bir güneş havuzu Kayalı tarafından yapılmıştır[18]. Havuzun depolama sıcaklığı ağustos ayında maksimum 60°C olarak ölçülmüştür. Diğer bir çalışma da İ.T.Ü'de Gökten [16] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, güneş havuzunun deneysel olarak performansı incelenmiştir. Kurt [1], $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ (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 arkadaşları [2], güneş havuzunda farklı konsantrasyonlarda NaCl (sodyum klorür) çözeltisini doğal ortamda test etmişlerdir. Matematiksel modeli kurup nümerik ve analitik olarak çözülerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

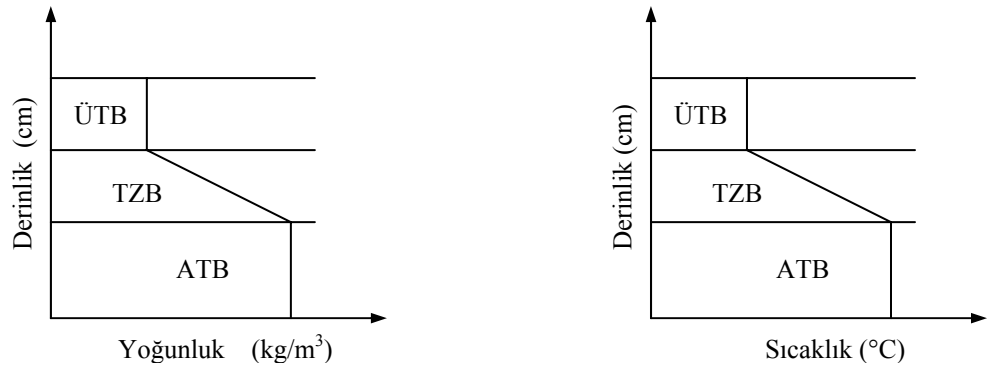
2. GÜNEŞ HAVUZUNUN FİZİKİ YAPISI

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 yansıtacak, 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 taşınım 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 havuzunun yoğunluk ve sıcaklık gradyenleri Şekil 2'de görülmektedir [2].

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[2]



Şekil 1. Tuz tabakalı güneş havuzunun şematik görünümü



Şekil 2. Güneş havuzunda yoğunluk ve sıcaklık gradyeninin şematik görünümü

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

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 [1, 10, 16]. 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 [1, 8, 9]. İletim ve taşınım ile enerjinin transfer edildiği havuz enerji girişi güneş ışınımı ile olmaktadır [1, 8]. İletimle ısı transferi havuz yüzeyinde absorpsiyon ile başlar. İletimden dolayı oluşan ısı akışı,

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

eşitliği ile ifade edilebilir[1, 8]. 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 (Kurt 2000, Shah 1981). 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[8,11, 15]. Buna göre, ışınımın soğurulmasıyla meydana gelen ısı akısı,

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

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

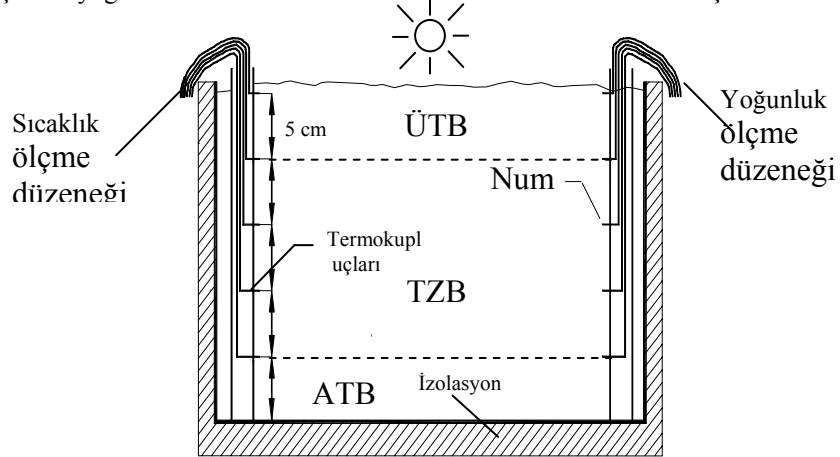
$$q = \mu(1 - a)(1 - \beta)I_0 e^{-\mu x} \quad (5)$$

eşitlikleri ile ifade edilir[1, 11, 23]

4. DENEYİN YAPILIŞI

Şekil 3’de deneylerin yapıldığı 450x200x250 mm boyutunda camdan imal edilmiş bir güneş havuzu şematik olarak görülmektedir. Havuz, cam yünü ve strafor ile yalıtılmış ve tabanı siyah mat boya ile boyanmıştır. Havuzun bir yüzeyinde havuz içindeki sıcaklık dağılımının ölçülmesi için termo-eleman düzeneği (5 cm aralıklı), karşı yüzeyinde ise yoğunlukların ölçüldüğü numune alma düzeneği yerleştirilmiştir. Deneyde Na₂CO₃’ın (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.

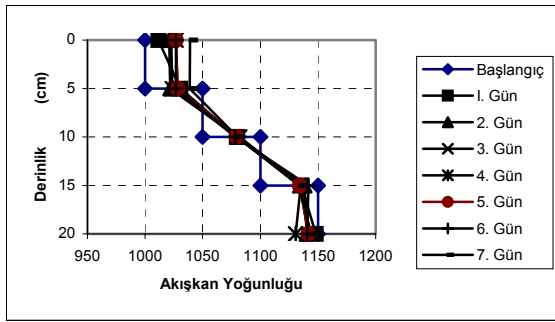
Güneş havuzu, ATB’den ÜTB’ne kadar lineer yapıya sahip tuz yoğunluk gradyeni elde edilebilecek şekilde dikkatlice doldurulmuştur. Havuz tabanından yüzeyine doğru tuz gradyenindeki lineer yapının elde edilmesi için havuz doldurulduktan bir gün sonra deneylere başlanarak yoğunluk ölçümü 12 saatte bir, 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.



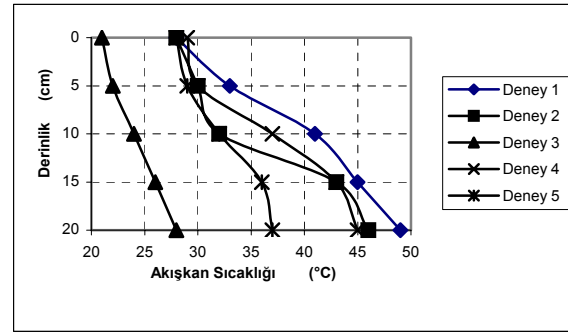
Şekil 3. Deney Tesisatı Şematik Görünümü

5. SONUÇLAR

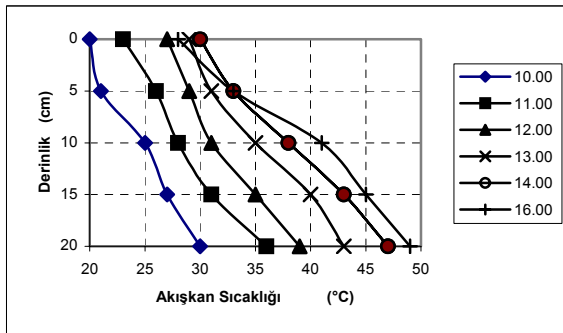
Soda-su ($\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$) çözeltili deneyde, deney başlangıcında lineer yapıya sahip yoğunluk gradyeni oluşturulduğunda ve bu gradyen korunduğunda uzun zaman aralığında doğal ortamda ısı depolanması mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 2 aylık deney süresince ortam sıcaklığı $30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$, rüzgar hızı $1 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s}$ ve güneş radyasyon miktarı $400 \text{ W/m}^2 - 700 \text{ W/m}^2$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu ortam şartlarına bağlı olarak deney sonunda, güneş havuzunun ATB'de maksimum sıcaklık 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 elde edilmiştir. Burada, ATB'de en yüksek sıcaklık değerleri ve havuz tabanı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı değerleri 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	TZB	: Taşınımsız ara bölge
a	: Suyun ışınmı yansıtma oranı	ÜTB	: Üst taşınım bölgesi
C_p	: Özgül ısınma ısısı (kJ/kg°C)	x	: Havuz derinliği (m)
I	: Işınım şiddeti (W/m ²)	ω	: Taşınım hareketinin düşey doğrultudaki ortalama hızı (m/s)
I_0	: Havuz yüzeyine gelen ışınım şiddeti	β	: Yüzeyde soğurulan ışınım oranı (%)
$I(\lambda, x)$: λ dalga boyundaki ışınımın x derinliğine ulaşan miktarı (W/m ²)	μ	: Soğurma katsayısı (1/m)
k	: Isı iletim katsayısı (W/m°C)	ρ	: Çözelti yoğunluğu (kg/m ³)
q	: (Isı akısı (kJ/m ²))	Δx	: Tabaka kalınlığı (m)
T	: Sıcaklık (°C)		

7. KAYNAKLAR

1. Kurt H. Güneş “**Havuzlarında Güneş Enerjisinin Toplama ve Depolama Karakteristiklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi**”. Eylül-2000, Doktora Tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Kurt H, Halıcı F, Binark AK. “**Solar pond conception –experimental and theoretical studies. Energy Conversion and Management**”, 2000; 41 :939-951.
3. Lodhi MAK. Solar “**Pond in alkaline lake and oil well region**”. Energy Convergion and Management, 1996; 27(12), p. 1677-1694.
4. Binark AK, Dalgıç B. “**Karadeniz Ereğlisinde Güneş Havuzu Tasarımında Belirleyici Faktörler**”. In: Türk-Alman Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, Nisan 1995, p. 320-327.
5. Pawar SH. Chapgaon AN. “**Fertilizer solar ponds as a clean source of energy: Some observations from small scale experiments**”, Solar Energy, 1995, V. 55, No 6 p. 537-542.
6. Subhaker D, Murthy SS. “**Saturated solar ponds:3. Experimental verification**”, Solar Energy, 1994, V. 53, No 6, p. 469-472.
7. Fagbenle RL. “**Salt gradient solar ponds for the tropics: Technical and economic appraisal for Nigeria**”, Int. J. of Ambient Energy, 1993, V.14,No 1.
8. El-Rafee MM, Al-Marafie AM. “**Numerical simulation of the performance of the Kuwait experimental**” S.G .S.P Energy sources 1993; 15: p. 145-158.
9. Subhaker D, Murthy SS. “**Saturated solar ponds – 1:simulation procedure**”, Solar Energy 1993; 50(3): p. 275-282.
10. Chang CH, Bannerot RB. “**Transient thermal performance of a solar pond with salinity and temperature dependent properties**”, In: Proceedings of the Joint Solar Engineering conference, ASME 1993.
11. Munoz F, Almanza R. “**A survey of solar pond developments**”, Energy 1992;17(10):927-938.
12. Akoshile CO. “**Mini solar pond**”, Renewable Energy, 1991, V.1, No 3/4, p. 463-467.
13. Subhaker D, Murthy SS. “**Experiments on a Magnesium chloride saturated solar pond**”, Renewable Energy, 1991, V. 1, No 5/6, p. 655-660..
14. Mehta AS, Pathak N, Shah BM. “**Gomkale S. D. Performance analysis of a bittern-based solar pond**”, Renewable Energy, 1988, V. 40, No 5, p. 469-475.
15. Hawlader MNA, Brinkworth BJ. “**An analysis of the non-convective solar ponds**”. Solar Energy 1988;27(3):195-204.
16. Göktun S. “**Güneş Enerjisinin Güneş Havuzlarında Depolanması**”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 1987; 10(3), p. 15-21.
17. Taşdemiroğlu E. “**Salt availability in Turkey and its potential use in solar ponds**”. Resources and Conservation 1987, 15, p. 215-228.
18. Bozdemir S, Kayalı R. “**Güneş Havuzlarının Matematik Modeli ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması**”, Doğa Bilim Dergisi, Seri A 1983, 3(3), p. 387-397.
19. Kooi CF. “**Salt gradient solar pond with reflective bottom: Application to the saturated pond**”, Solar Energy, 1981, V. 26, p. 113-120.
20. Shah AS, Short TH, Fynn RP. “**Modelling and testing a salt gradient solar pond in northeast Ohio**”, Solar Energy 1981;5:393-401.
21. Tabor H. “**Solar ponds**”, Solar Energy 1981, 27(3), p. 181-194.
22. Rabl A, Nielsen CF. “**Solar pond for space heating**”, Solar Energy 1975; 17: 1-12.
23. Dake MK, Harleman F. “**Thermal stratification in lakes: Analytical and laboratory studies**”, Water Resources Research 1969; 5(2): 484-495.
24. Weinberger H. “**The physics of the solar pond**”, Solar Energy 1946;8(2).