

## DENEYSEL TUZ GRADİYENTLİ PROTOTİP BİR GÜNEŞ HAVUZUNUN ISIL PERFORMANSI

Nalan Ç. BEZİR, Arzu ŞENCAN\*, Nuri ÖZEK, Ali Kemal YAKUT\*, Refik KAYALI\*\*  
ve Erkan DİKMEN\*

Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta

\* Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta

\*\*Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Fizik Bölümü

[cicek@fef.sdu.edu.tr](mailto:cicek@fef.sdu.edu.tr), [sencan@tef.sdu.edu.tr](mailto:sencan@tef.sdu.edu.tr), [nozek@fef.sdu.edu.tr](mailto:nozek@fef.sdu.edu.tr), [akvakut@tef.sdu.edu.tr](mailto:akvakut@tef.sdu.edu.tr),  
[erkan@tef.sdu.edu.tr](mailto:erkan@tef.sdu.edu.tr)

(Geliş/Received: 27.04.2007; Kabul/Accepted: 17.08.2007)

### ÖZET

Bu çalışmada  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  m boyutlarında prototip yalıtımlı bir güneş havuzu Süleyman Demirel Üniversitesi Kampus alanında kurulmuştur. Yalıtımlı güneş havuzunun üzerine, üst yüzey ısı kayıplarını azaltmak ve daha fazla güneş radyasyonunu havuz yüzeyine odaklamak amacıyla yalıtımlı ve yansıtıcı özelliği olan iki tane yarım yansıtıcı ve yalıtımlı kapak ilave edilmiştir. Çalışmada ayrıca havuz performansını artırmak amacıyla bir bilgisayar modeli geliştirilerek optimum açı belirlenmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş havuzu, güneş radyasyonu, ısı transferi, güneş kolektörleri.

## THERMAL PERFORMANCE OF A PROTOTYPE EXPERIMENTAL SOLAR POND WITH SALT GRADIENT

### ABSTRACT

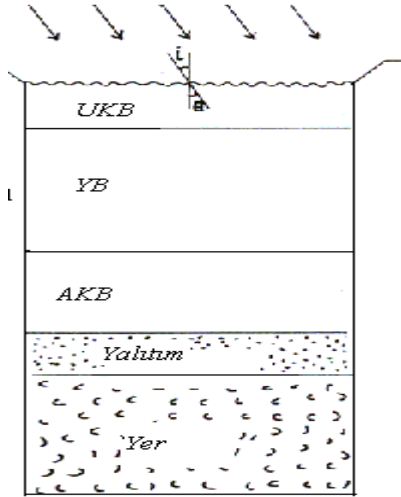
In this study, a solar pond having dimensions  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  m was constructed in the campus area of Süleyman Demirel University. It was added two semi cover having insulating and reflecting property for focusing more solar radiation on to the pond surface and reducing thermal losses from upper layer. In the computer model, optimum angle of reflector was determined in order to focus more solar radiation to the pond. Theoretical and experimental results were presented as graphically.

**Keywords:** Solar pond, solar radiation, heat transfer, solar collectors.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş havuzları 2-3 m derinliğinde olup en üstte tatlı su aşağıya doğru ise artan yoğunluklarda tuzlu su içeren havuzlardır. Havuz yüzeyine gelen güneş ışınlarının küçük bir kesri yüzeyden yansır, geri kalan kısmı havuz tabanına doğru ilerler. Bu sırada çeşitli dalga boylu ışınlar, farklı derinliklerde değişik oranlarda soğurulur ve tabana %25-35 kadarı ulaşır. Biriken enerji, depolama bölgesine yerleştirilen bir ısı aktarma sistemi ile istenildiği zaman alınıp kullanılabilir [1].

Tuz gradientli bir güneş havuzu Şekil 1'de görüldüğü gibi, üst konvektif bölge (ÜKB), konvektif olmayan bölge veya yalıtım bölgesi, (YB) ve alt konvektif bölge veya depolama bölgesi, (AKB) olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Havuzda oluşturulan tuz yoğunluk gradyenti, depolama bölgesi ile yüzey arasında taşınım ile ısı geçişini önler ve böylece depolama bölgesinde kaynama noktasına yaklaşan sıcaklıklara ulaşılabilir. Güneş havuzlarının uzun süreli enerji depolama özellikleri olmasından dolayı, yaz aylarında depolanan enerjiyi kış aylarına kadar saklayabilme özellikleri vardır. Bu da güneş havuzlarının önemini ve kullanılabilirliğini artırır [2]. Güneş havuzları gün boyu güneş enerjisi toplama ve



**Şekil 1.** Yalıtımlı bir güneş havuzu modeli (Insulated solar pond model)

depolama özelliğine sahip olan sistemlerdir. Güneş havuzlarında kullanılan malzemeler her zaman doğadan bol ve ucuz olarak elde edilebildiğinden havuzun maliyeti oldukça düşüktür [1]. Güneş havuzlarının ısıyı toplayabilme ve depolayabilme özelliğinden dolayı tuz gradyentli güneş havuzlarıyla ilgili oldukça çok teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır [3-7]. Birçok deneysel güneş havuzu inşa edilmiş ve işletilmiştir [8-17] ve bu havuzlarla ilgili sayısal model geliştirilmiştir [18-30]. Güneş havuzuyla ilgili son yıllarda da literatürde birçok çalışma mevcuttur [31-38].

Bu çalışmada, yüzey alanı  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  m boyutlarında yalıtımlı bir güneş havuzu Süleyman Demirel Üniversitesi Kampus alanına kurulmuştur. Havuzun ısı enerjisi kayıplarını önlemek için tabanı ve yan duvarları yalıtılmıştır. Ayrıca havuzun üst kısmına üstten havaya olan ısı kayıplarını azaltmak ve havuzun ısı verimini arttırmak amacıyla bir kapak sistemi yerleştirilmiştir. Sistem bir elektrik motoruyla kontrollü olarak 0 ile 180 derece arasında dönebilen, yukarı aşağı hareket ederek karşılıklı açılıp kapanabilen, yalıtım ve yansıtma özelliği bulunan iki kapaktan oluşmaktadır. Kapaklar kapatıldığında yalıtım, açıldığında ise güneş enerjisini havuza yansıtma görevini yapmaktadır. Kapakların gündüz güneş ışığını havuz içine en iyi şekilde yansıtacağı konumu belirlemek için güneşin geliş açısına göre yansıtıcı kapağın yatayla yapacağı optimum açısı saptanmıştır.

## 2. DENEYSEL GÜNEŞ HAVUZU (EXPERIMENTAL SOLAR POND)

Bu çalışmada; güneş havuzunda gece-gündüz sıcaklık farklılıkları nedeniyle oluşabilecek önemli derecedeki ısı kayıplarını ortadan kaldırmak, güneşin olmadığı zamanlarda havuz yüzeyini örtmek ve gündüzleri de güneş ışığını havuza yönlendirerek havuza giren güneş enerjisi miktarını artırmak gibi amaçlarla bir kapak sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2). Kapakların

yansıtıcı yüzleri krom nikel levha ile kaplanmıştır. Havuz yüzeyi kapaklarının güneş ışığını havuza yansıtma için kullanılması sırasında, Şekil 2’de görüldüğü gibi, kapakların yatayla yaptığı açı istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir.



**Şekil 2.** Kapaklı güneş havuzu (Covered solar pond)

Yansıtıcı kapaklar havuzun doğu ve batı yönüne yerleştirilmiştir. Kapakların optimum açıda tutulmasıyla güneş radyasyonundan daha fazla yararlanılması amaçlanmıştır. Deneysel olarak kurulan havuzun her bölgesindeki sıcaklık ölçümleri bilgisayarlı veri alma sistemiyle oldukça hassas bir şekilde saatlik olarak alınmıştır. Bu bilgisayarlı veri alma sistemi sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı sensörlerinden oluşmaktadır. Sıcaklık sensörleri havuzun üst bölgesinden taban bölgesine kadar 10 cm aralıklarla havuzun iç bölgesine; nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızını ölçen sensörler ise havuzun dışında bir alana yerleştirilmiştir. Güneş havuzlarında tuz gradyentini sabit tutmak önemlidir. Bu amaçla havuzun iç bölgesine yoğunluk ölçümlerinin alınabilmesi için her tabakaya plastik borular yerleştirilmiştir. Haftalık olarak havuzun iç bölgesindeki tuzlu sudan alınarak yoğunluğunun sürekli sabit olarak tutulabilmesi için havuzun yan tarafına ayrıca tuz yoğunluğu koruma sistemi kurulmuştur. Havuzun depolama bölgesinden kullanım sıcak suyunu alabilmek amacıyla bir ısı değiştiricisi havuzun tabanına Şekil 3’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.** Isı Değiştiricisi (Heat exchanger)

### 3. TEORİK HESAPLAMALAR (THEORETICAL CALCULATIONS)

Güneş havuzu homojen bir sistem değildir. Bu nedenle de homojen sistemler için geliştirilen ısı-difüzyon denklemlerini doğrudan ele alarak havuzdaki sıcaklık dağılımı analizinde kullanmak doğru olmayabilir. Bunun yerine havuzu tabakalara ayırarak her tabaka için ayrı ayrı enerji denklemlerini yazıp elde edilen denklemlerini sonlu fark yöntemiyle çözmek çok daha kolay izlenebilecek bir yoldur. Her bir bölge için sıcaklık dağılımlarını veren fonksiyonlar aşağıdaki gibi yazılabilir.

Üst konvektif bölge için sıcaklık fonksiyonu (ÜKB):

$$T(I, K+1) = T(I, K) + \left\{ \frac{\beta G [1 - (1-F)h(X_1 - \Delta)]}{(X_1 - \Delta)\rho C} + \frac{k_{su} [T(I+1, K) - T(I, K)]}{(X_1 - \Delta)\Delta x \rho C} - \frac{U_{sh} T[(I, K) - T_h]}{(X_1 - \Delta)\rho C} \right\} \Delta t \quad (1)$$

Yalıtım bölgesi için sıcaklık fonksiyonu (YB):

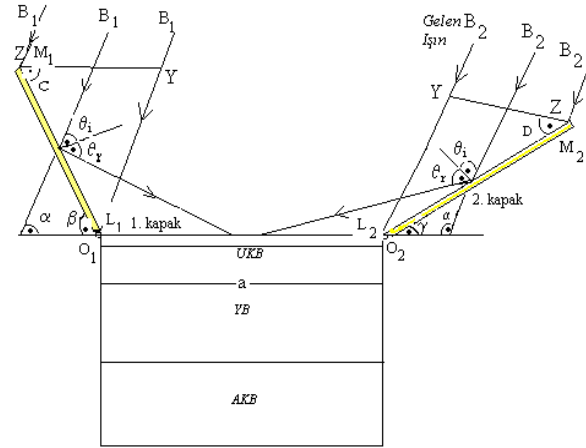
$$T(I, K+1) = T(I, K) + \left\{ \frac{kA[T(I+1, K) - T(I, K)]}{\Delta x} - \frac{kA[T(I, K) - T(I-1, K)]}{\Delta x} - \frac{k_w A_w [T(I, K) - T_G(I)]}{L} + \beta GA(1-F) \right\} \frac{\Delta t}{A \Delta x \rho_l C_l} \quad (2)$$

Alt konvektif bölge için sıcaklık fonksiyonu (AKB):

$$T(I, K+1) = T(I, K) + \left\{ \frac{kA}{\Delta x} [T(I, K) - T(I-1, K)] - \frac{A_w k_w}{L} [T(I, K) - T_G(I, K)] - \frac{k_w A_w}{L} [T(I, K) - T(I+1, K)] + \beta GA(1-F)h(X_2 - \Delta) - Q_{\zeta ek} \right\} \frac{\Delta t}{(X_3 - X_2)A\rho C} \quad (3)$$

Havuz yüzeyi kapaklarının güneş ışığını havuza yansıtma için kullanılması sırasında, Şekil 4'de

görüldüğü gibi, kapakların yatayla yaptığı açı istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir. Kapaklar genellikle belli zaman aralıklarında belli açıda tutulurlar. Şekil 4'de görüldüğü gibi sistem, iki yansıtıcı kapağın havuza güneş ışınlarını değişik açılarla gönderen iki ayrı ışın kaynağı olarak düşünülmüş ve hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 4. Güneş havuzunun iç yapısı ve yansıtıcı kapak (Construction inner of solar pond and reflector)

$\beta$  ve  $\gamma$  sırasıyla birinci ve ikinci kapağın yatay yüzey ile yaptığı açıları ve  $\alpha$  da güneş ışınının herhangi bir saatte yatay yüzeyle yaptığı açıdır. Birinci yansıtıcı kapaktan yansıtılacak olan güneş enerjisini hesaplariken ilk önce herhangi bir zamanda ayna yüzeyine gelen güneş ışınını bulmak için gerekli olan yansıtıcı kapağın etkin alanının yan kenarı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$ZY = M_1 L_1 \times \cos C \quad (4)$$

Burada  $C$  açısı herhangi bir anda  $ZY$  ile ayna arasındaki açıdır ve aşağıdaki gibi verilir:

$$C = 90 - [180 - \alpha - \beta] \quad (5)$$

$$= 90 - 180 + \alpha + \beta \\ = -90 + \alpha + \beta$$

Bu durumda,  $ZYO_1$  üçgeninde  $ZY$  uzunluğu:

$$ZY = M_1 L_1 \times \cos C \quad (6)$$

Eşitlik 4' de  $C$  açısının değerini yerine konulursa:

$$ZY = M_1 L_1 \times \cos(-90 + \alpha + \beta) \quad (7)$$

$M_1$  aynasının  $B_1$  ışınına göre dik izdüşüm alanı:

$$SM_1 = ZY \times a \quad (8)$$

Burada  $a$  havuzun bir kenarının uzunluğudur. Eşitlik 7'de  $ZY$  ifadesi konularak tekrar yazılırsa:

$$SM_1 = M_1 L_1 \times \cos(-90 + \alpha + \beta) \times a \quad (9)$$

Bu durumda yansıtıcı kapaktan havuzun yüzeyine gelen güneş radyasyonu:

$$G_1 = S M_1 \times B_1 \quad (10)$$

ile verilir. İkinci yansıtıcı kapaktan havuza yansıtılan güneş enerjisi miktarı da yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır. Havuza direkt olarak gelen güneş enerjisine ek olarak yansıtıcı kapaklardan havuza yansıtılan güneş enerjisi ile havuzun performansı artırılmıştır. Ayrıca yalıtım özelliğine sahip olan bu kapakla havuzun üst yüzeyinin geceleri ve havanın çok soğuk olduğu günlerde kapatılması havuzun performansını oldukça artırmıştır. Havuzun üst konvektif bölgesinde kapak varken ve kapak yokken havuzun bütün bölgelerindeki sıcaklık değişimleri incelenerek kapağın havuz performansına olan etkisi araştırılmıştır.

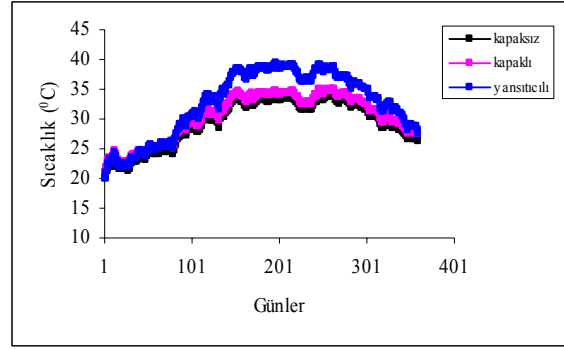
#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

##### 4.1. Teorik Sonuçlar (Theoretical Results)

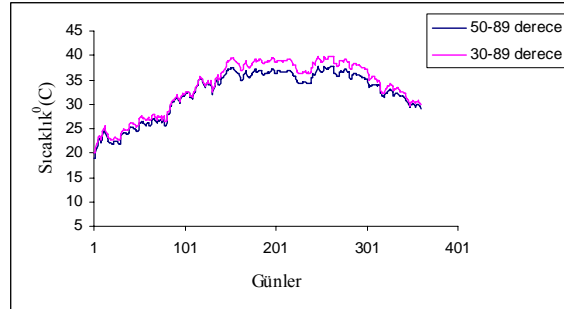
Havuzun üst konvektif bölgesinde bulunan iki yarım kapak, geceleri ve havanın çok soğuk günlerde havuz yüzeyini örterek havuzda meydana gelebilecek ısı kayıpları engellemiştir. Ayrıca havuzun yüzeyini örten bu yarım kapakların iç yüzeyleri yansıtıcı ile kaplanmış ve güneşin çok olduğu zamanlar bu kapakların yatay ile yaptığı açı optimum konuma getirilerek güneş enerjisinin havuza odaklanması sağlanmıştır. Yansıtıcı (reflektör) kapakların, model güneş havuzunun performansı üzerindeki etkisini teorik açıdan incelemek için Fortran 77 ile hazırlanan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Şekil 5’de model güneş havuzunun depolama bölgesi için kapaklı, kapaksız ve reflektörlü olarak performansı görülmektedir. Şekil 5’ den de görüldüğü gibi havuz kapaklı veya kapaksız iken depolama bölgesindeki sıcaklık değişimi hemen hemen 1 °C kadar fark ediyorken yansıtıcı kapak (reflektör) eklenmesiyle depolama bölgesi sıcaklığı yaklaşık 10 °C kadar artmaktadır. Bu durumda reflektörün, güneş havuzunun performansının artırılmasında önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir.

Şekil 6 ve Şekil 7’de, kapakların farklı açılarda tutulmasıyla havuzun depolama bölgesi sıcaklığının değişimi verilmiştir. Şekil 6’da, batı yönündeki kapağın 89 derecede sabit tutulması ve doğu yönündeki kapağın farklı açıları için havuzun depolama bölgesi sıcaklığının değişimleri incelenmiştir. Şekil 6’dan, doğu kapağının 30 derece tutulması ile maksimum sıcaklık değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

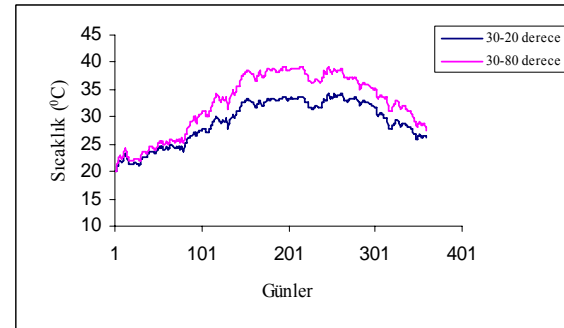
Şekil 7’de doğu yönündeki kapağın 30 derecede sabit tutulup batı yönündeki kapağın açısının değiştirilmesi halinde sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Şekil 7’den



**Şekil 5.** Prototip güneş havuzunun kapaklı, kapaksız ve reflektörlü sıcaklık değişimleri (Temperature variations of prototype solar pond with covered, without covered and reflector)



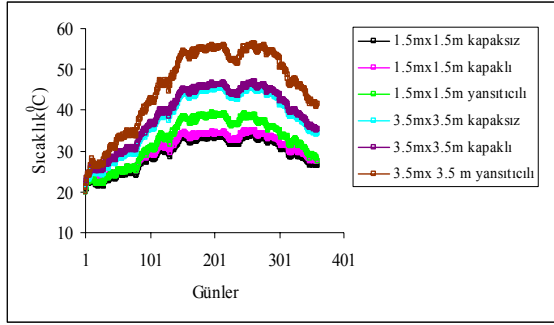
**Şekil 6.** Doğü yönündeki kapağın farklı açılarında elde edilen sıcaklık değişimi (Temperature variations obtained at LCZ according to different angle of east cover)



**Şekil 7.** Batı yönündeki kapağın farklı açılarında elde edilen sıcaklık değişimi (Temperature variations obtained at LCZ according to different angle of west cover)

batı yönündeki kapak açısının 80 derecede tutulması durumunda daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.

Şekil 8’de, farklı boyutlara sahip iki güneş havuzunun kapaklı, kapaksız ve yansıtıcı kapaklı (reflektörlü) olarak yapılması durumundaki sıcaklık değişimleri görülmektedir. Şekil 8’den her iki boyuta sahip güneş havuzunda da yansıtıcı kapakların havuzun ısı performansını üzerinde oldukça olumlu bir etkisi olduğu görülmektedir.



**Şekil 8.** İki farklı boyuttaki güneş havuzunun depolama bölgesi sıcaklıklarının farklı durumlar için karşılaştırılması (Compared for different conditions of temperature at storage zone of two different solar pond)

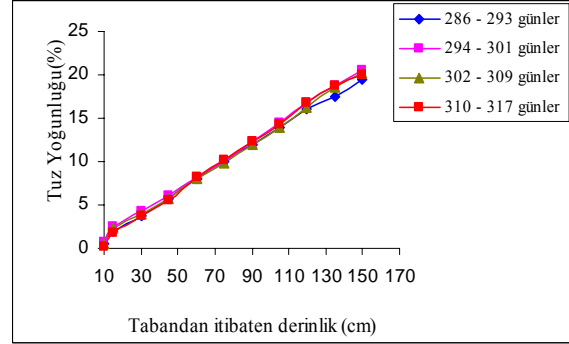
#### 4.2. DeneySEL Sonuçlar (Experimental Results)

Kurulan yalıtımlı güneş havuzunda tuz yoğunluğu eğiminin oluşturulması 1 Eylül 2006 tarihinde tamamlanmış ve tuz yoğunluğu eğimini koruma sistemi çalıştırılmaya başlanmıştır. Havuz çalışmaya başladıktan sonra havuzun depolama bölgesinden difüzyon yoluyla eksilen tuzu tamamlamak üzere sistemin haznesine bir hafta boyunca tuz ilave edilmiştir. Şekil 9'da değişik haftalarda ölçülen tuz gradientinin derinlikle değişimi görülmektedir. Şekil 9'da da görüldüğü gibi, havuzdaki tuz yoğunluğu eğimi başarıyla muhafaza edilmiştir.

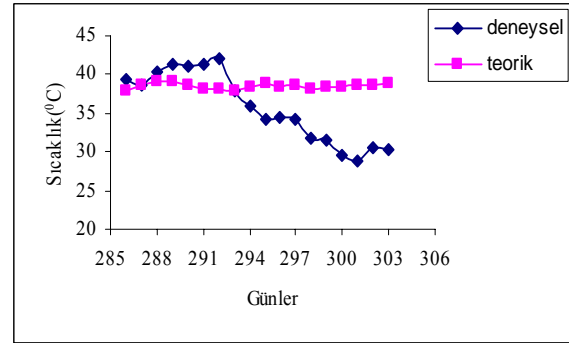
Havuzunun çalışmaya başladığı tarihten itibaren sıcaklık ölçümleri de yapılmaya başlanmıştır. Şekil 10'da güneş havuzunun depolama bölgesinde havuzun çalışmaya başladığı tarihten 15 gün sonra, günlere göre teorik ve deneysel sıcaklık değişimleri görülmektedir. Depolama bölgesinde teorik ve deneysel sıcaklık değerlerinin 294'üncü güne kadar uyumlu olduğu fakat bu günden itibaren deneysel olarak ölçülen sıcaklık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin bu günlerdeki sıcaklık sensörünün arızalanmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, havuzun çalıştırıldığı zamanlarda yüzeye gelen toplam güneş radyasyonu ölçülmüştür. Şekil 11'de kapaklar olmadan havuza gelen toplam güneş radyasyonunun günlere göre değişimi görülmektedir. Havuza gelen toplam güneş radyasyonu, havuzun depolama bölgesini beklenildiği sıcaklığa ulaştırmıştır.

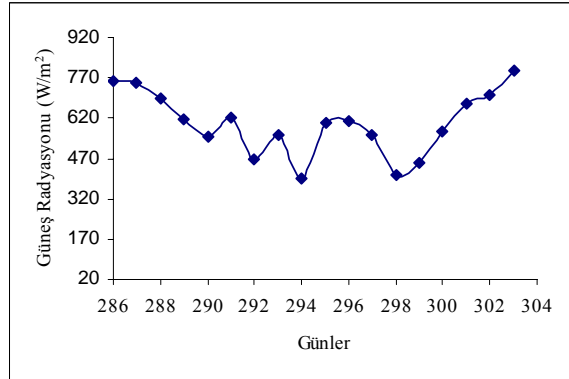
Şekil 12'de kapaklı yansıtıcı havuzun üst konvektif bölgesinin ve ortam sıcaklığının değişimi verilmiştir. Şekil 12'de görüldüğü gibi, ortam sıcaklığı düşük veya gece-gündüz sıcaklık farkı büyük iken havuz yüzeyinin geceleri kapatılması ve gündüzleri de bir reflektör olarak kullanılması durumunda üst yüzey ısı kayıplarının azaltıldığı ve havuz üst konvektif bölge sıcaklığı üzerinde önemli bir katkı sağlandığı tespit edilmiştir.



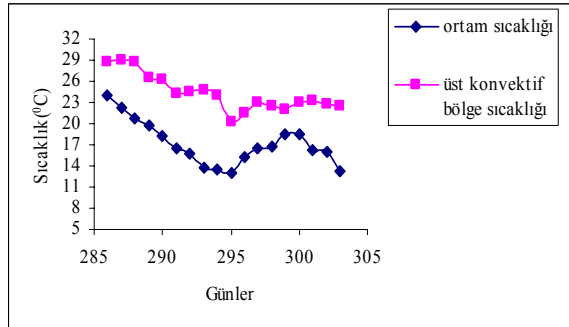
**Şekil 9.** Güneş havuzunda ölçülen yoğunluk değişimi (Variation of density measured at solar pond)



**Şekil 10.** Havuzun depolama bölgesinin günlere göre sıcaklık değişimi (Temperature variation according to days of storage zone of solar pond)



**Şekil 11.** Havuza yansıtıcı olmadan gelen güneş radyasyonu (Solar radiation incident solar pond without reflector)



**Şekil 12.** Havuzun üst konvektif bölgesinin günlere göre sıcaklık değişimi (Temperature variation according to days of upper convective zone of solar pond)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ilk olarak prototip bir güneş havuzunun performansı, Fortran 77’de yazılan bir bilgisayar programından faydalanılarak teorik olarak incelenmiştir. Güneş havuzunun kapaklı, kapaksız ve reflektörlü sıcaklık değişimleri incelenmiş ve reflektörün, güneş havuzunun performansının artırılmasında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Ayrıca havuzun kapaklarının farklı açılarda tutulmasıyla elde edilen sıcaklık değişimleri ve maksimum sıcaklık değerlerini sağlayan optimum açı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra teorik modelden elde edilen sonuçlardan faydalanılarak  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  m boyutlarında prototip yalıtımlı bir güneş havuzu Süleyman Demirel Üniversitesi Kampus alanında kurulmuştur. Yalıtımlı güneş havuzunun üzerine, üst yüzey ısı kayıplarını azaltmak ve daha fazla güneş radyasyonunu havuz yüzeyine odaklamak amacıyla yalıtımlı ve yansıtıcı özelliği olan iki tane yarım yansıtıcı ve yalıtımlı kapak ilave edilmiştir. Depolama bölgesinde elde edilen teorik ve deneysel sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; havuzun kapaklı ve kapaksız olarak işletilmesi durumunda, kapağın havuzun performansına çok büyük bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Ancak bu kapaklar bir yansıtıcı olarak kullanıldığında havuzun performansına büyük bir katkı sağladığı görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla, güneş havuzlarının performanslarının artırılması çalışmalarına oldukça önemli katkıda bulunulacaktır.

## SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

A	Havuz alanı, m <sup>2</sup>
AKB	Alt konvektif bölge
A <sub>w</sub>	I. Tabakanın yan yüzey alanı, m <sup>2</sup>
B	Kapağa gelen güneş ışınımı, MJ/m <sup>2</sup>
C <sub>1</sub>	I. Tabakanın özgül ısı, MJ/kgK
F	Fresnel katsayısı
G	Havuzaya gelen güneş radyasyonu miktarı, MJ/m <sup>2</sup>
h <sub>1</sub>	Havuz yüzeyine gelen toplam güneş enerjisinin I tabaka derinliğine ulaşan güneş enerjisi oranı
I	Tabaka sayısı
k	Isı iletim katsayısı, MJ/mK
K	Zamanı temsil eden terim
k <sub>1</sub>	I. Tabakanın ısı iletim katsayısı, MJ/mhK
L	Beton tabakanın kalınlığı, m
ML	Yansıtıcı kapağın boyu, m
T	Sıcaklık, K
T <sub>G</sub>	Toprak sıcaklığı, K
ÜKB	Üst konvektif bölge
YB	Yalıtım bölgesi (Konvektif olmayan bölge)
ZY	Yansıtıcı kapağın etkin alanının yan kenarı, m
X <sub>1</sub>	ÜKB’nin kalınlığı, m
X <sub>2</sub>	YB’nin kalınlığı, m
X <sub>3</sub>	AKB’nin kalınlığı, m

Δ	ÜKB’ye yüzeyine gelen uzun dalga boylu güneş enerjisinin soğurulduğu bölge kalınlığı, m
ρ <sub>1</sub>	I. Tabakanın yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>
β	Eğik yüzeyin yatay ile yaptığı açı
β	Işığın suya girme oranı

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar mali destek imkanlarından dolayı, 2003/23 nolu proje kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi’ne teşekkür eder.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Özek, N., **Bir tuzlu güneş havuzu tasarımı ve yapımı**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 80s. 1985.
- Tabor, H., “Solar Ponds”, **Solar Energy**, 27(3), 181-194, 1981.
- Kurt, H., Halici, F., Binark, A.K., “Solar-pond conception: experimental and theoretical studies”, **Energ. Convers. Manage.**, 41, 939–951, 2000.
- Bozdemir, S., Kayalı, R., “Mathematical modelling of solar ponds and comparison with experimental data”, **J. Environ. Sci.**, 7(3), 387–397, 1987.
- Kanayama, K., Inaba, H., Baba, H., Fukuda, T., “Experiment and analysis of practical-scale solar-pond stabilized with a salt gradient”, **Solar Energy**, 46(6), 353–359, 1993.
- Keren, Y., Rubin, H., Atkinson, J., Priven, M., Bemporad, G.A., “Theoretical and experimental comparison of conventional and advanced solar-pond performance”, **Solar Energy**, 51(4), 255–70, 1993.
- Xiang, Y.L., Kanayama, K., Baba, H., “Spectral calculation of thermal performance of a solar pond and comparison of the results with experiments”, **Renew. Energ.**, 20, 371–387, 2000.
- Xiang, Y.L., Kanayama, K., Baba, H., Maeda, Y., “Experimental study about erosion in a salt-gradient solar-pond”, **Renew. Energ.**, 23(2), 207–217, 2001.
- Tahat, M.A., Kodah, Z.H., Probert, S.D., Al-Tahaine, H., “Performance of a portable mini solar-pond”, **Appl. Energ.**, 66(4), 299–310, 2000.
- Kumar, A., Kishore, V.N., “Construction and operation experience of a 6000 m<sup>2</sup> solar-pond at Kutch, India”, **Solar Energy**; 65(4), 237–249, 1999.
- Subhaker, D., Murthy, S.S., “Experiments on a magnesium-chloride saturated solar-pond”, **Renew. Energ.**; 1(5–6), 655–60, 1991.

12. Subhaker, D., Murthy, S.S., "Saturated solar ponds: 3. Experimental verification", **Solar Energy**,53(6), 469–472, 1994.
13. Banat, F.A, El-Sayed, S.E., El-Temtamy, "Carnalite salt-gradient solar-ponds: an experimental study", **Renew. Energ.**, 4(2), 265–9, 1994.
14. Pawar, S.H., Chapgaon, A.N., "Fertilizer solar-ponds as a clean source of energy: some observations from small-scale experiments", **Solar Energy**,55(6), 537–542, 1995.
15. Lund, P.D., Keinonen, R.S., "Radiation–transmission measurements for solar ponds", **Solar Energy**, 33(3-4), 237–40, 1984.
16. Hassairi, M., Safi, M.J., Chibani, S., "Natural-brine solar-pond: an experimental study", **Solar Energy**, 70, 45–50, 2001.
17. Murthy, G.R.R., Pandey, K.P., "Comparative performance evaluation of a fertiliser solar-pond under simulated conditions", **Renew. Energ.**,28(3), 455–66, 2003.
18. Husain, M., Patil, P.S., Patil, S.R., „Samdarshi, S.K., „Computer simulation of salt-gradient solar-ponds thermal behaviour", **Renew. Energ.**, 28(5), 769–802, 2003.
19. El-Refae, M.M., Al-Marafie, A.M., "Numerical simulation of the performance of the Kuwait experimental salt-gradient solar-pond", **Energy Sources**;15,145–8, 1993.
20. Alkhalailah, M.T., Atieh, K.A., Nasser, N.G., Jubran, B.A., "Modelling and simulation of solar-pond floorheating system", **Renew. Energ.**,18(1–2),1–14, 1999.
21. Antonopoulos, K.A., Rogdakis, E.D., "Correlations for the yearly or seasonally optimum salt-gradient solar-pond in Greece", **Solar Energy**,50(5), 417–24, 1993.
22. Subhakar, D., Murthy, S.S., "Saturated solar-ponds: 1. Simulation procedure", **Solar Energy**;50(3), 275–82, 1993.
23. Jubran, B.A., Al-Abdali, H., Al-Hiddabi, S., Al-Hinai, H., Zurigat, Y., "Numerical modelling of convective layers in solar ponds", **Solar Energy**,77(3), 339–45, 2004.
24. Alagao, F.B., "Simulation of the transient behaviour of a closed-cycle salt-gradient solar-pond", **Solar Energy**,56(3), 245–60, 1996.
25. Mansour, R.B., Nguyen, C.T., Galanis, N., "Numerical study of transient heat-and-mass transfers and stability in a salt-gradient solar-pond", **Int. J. Therm. Sci.**,43,779–90,2004.
26. Hongfei, Z., Hua, J., Lianying, Z., Yuyuan, W., "Mathematical model of the thermal-utilization coefficient of a salt-gradient solar-pond", **Energy Convers. Manage.**,43, 2009–17, 2002.
27. Angeli, C., Leonardi, E., "An one-dimensional numerical study of the salt diffusion in a salinity-gradient solar-pond", **Int. J. Heat Mass Trans. A.**,47(1),1–10, 2004.
28. Hawlader, M.N.A., Brinkworth, B.J., "An analysis of the non-convecting solar pond", **Solar Energy**,27, 195–204,1981.
29. Weinberger, H., "The physics of the solar pond", **Solar Energy**, 8 (1), 45-55, 1964.
30. Çiçek Bezir, N., **Güneş havuzlarında güneş enerjisinin depolanması ve uygulamaları**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 125s, 2002.
31. Jaefarzadeh, M.R., "Heat extraction from a salinity-gradient solar pond using in pond heat exchanger", **Applied Thermal Engineering**, 26(16) 1858-186, 2006.
32. Angeli, C., Leonardi, E., Maciocco, L., "A computational study of salt diffusion and heat extraction in solar pond plants", **Solar Energy**, 80(11), 1498-1508, 2006.
33. Karakilcik, M., Dincer, İ., Rosen, M.A., "Performance investigation of a solar pond", **Applied Thermal Engineering**, 26(7), 727-735, 2006.
34. El-Sebaai, A.A., Ramadan, M.R., Khallaf, A.M., "Thermal performance of shallow solar pond under open cycle continuous flow heating mode for heat extraction"**Energy Conversion and Management**, 47(7-8), 1014-1031, 2006.
35. Kurt, H., Ozkaymak, M., Binark, A.K., "Experimental and numerical analysis of sodium-carbonate salt gradient solar-pond performance under simulated solar-radiation", **Applied Energy**, 83(4), 324-342, 2006.
36. Karakilcik, M., Kıymaç, K., Dincer, İ., "Experimental and theoretical temperature distributions in a solar pond", **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 49(5-6), 825-835, 2006.
37. Dah, M.M.O, Ouni, M., Guizani, A., Belghith, A., "Study of temperature and salinity profiles development of solar pond in laboratory Desalination", 183(1-3), 179-185, 2005.
38. El-Sebaai, A.A., "Thermal performance of a shallow solar-pond integrated with a baffle plate", **Applied Energy**, 81(1), 33-53, 2005.