

Tuz Gradyentli Bölgenin Güneş Havuzunun Performansı Üzerine Etkisi

Mehmet KARAKILÇIK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 12.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Bu çalışmada, yüzey alanı 4 m², derinliği 1,5 m ve yan duvarları yalıtımlı bir güneş havuzunun tuz gradyentli (eğimli) bölgesinin havuzun ısı performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tuz eğimli bölge ısı depolama bölgesinden itibaren yukarıya doğru azalan yoğunluklarda 10 cm kalınlığında 6 farklı yoğunluklu tuzlu su tabakasının üst üste yığılmasıyla oluşturulan saydam ve konveksiyonsuz bir bölgedir. Konveksiyonsuz bölgeyi oluşturan tuzlu tabakalarının saydamlığı kadar kalınlığı ve yoğunluk dağılımları da havuzun ısı performansı üzerinde etkili önemli parametrelerdir. Bu etkinin belirlenmesi için, tabakaların sıcaklığa ve yoğunluğa bağlı olarak değişen öz ısıları yılın farklı ayları için hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre, havuzun iç bölgelerinde depolanan aylık ortalama ısı dağılım oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, ısı depolama bölgesinin aylık ortalama ısı depolama oranları, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için sırasıyla, 11,43 MJ, 212,42 MJ ve 320,95 MJ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuz gradyenti, Güneş havuzu, Güneş enerjisi, Isı depolama, Isı transferi

The Effect on Performance of the Salt Gradient Zone of the Solar Pond

Abstract

In this study, a solar pond of surface area 4 m² and depth 1.5 m is considered and the effect of the salt gradient zone with insulated side walls on the heat performance of the solar pond was investigated. Salt gradient zone is transparent and non-convective zone which was formed by stacking of 6 different density brine layers each of 10 cm thickness in decreasing intensity upwards from the heat storage region. The non-convective zone's thickness and density distributions as much as the transparency of brine layers are important parameters acting on the thermal performance of the pond. To determine this effect, the variation of specific heat as a function of temperature and density of the layer is calculated for various months. Using these parameters, the average monthly rates of heat distribution that is stored in the inner region of the solar pond were determined. As a result, the average monthly rates of heat storage are found to be 11.43 MJ for January, 212.42 MJ for May and 320.95 MJ for August.

Keywords: Salt gradient, Solar pond, Solar energy, Heat storage, Heat transfer

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet KARAKILÇIK, kkilcik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, kirlenmeyen, tükenmeyen, en temiz ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, alternatif temiz enerji kaynağı olarak güneş enerjisi gündemde önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi ile çeşitli türden enerji (ısı, elektrik, hidrojen) üretilebilmektedir. Ancak, en önemli konulardan birisi bu üretimin verimli bir şekilde yapılabilmesidir. Bunun için, güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde, birçok araştırmacı tarafından güneş enerjisi ile çalışan sistemler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; ısıtma, kurutma, saf su, buhar, elektrik ve hidrojen üretilmesinde güneş enerjisi ile çalışan sistemlerdir [1-4]. Bu sistemlerden birisi de güneş havuzlarıdır. Güneş havuzları gelen güneş enerjisinin yaklaşık %20'sini düşük sıcaklıklarda ısı enerji biçiminde depolama bölgelerinde depolayabilen sistemlerdir [5]. Depolanan bu enerji, yılın her mevsiminde çekilebilmektedir. Depolama bölgesinden itibaren yüzeye yaklaşıldıkça havuz sıcaklığında bir azalma olduğu görülür. Güneş havuzları ile yapılan bir deneysel çalışmada ise, verimliliğin yaklaşık %16 olduğu belirtilmiştir [6]. Güneş havuzlarında güneş ışının soğurulması, yansımaları, saçılması, geçirilmesi, havuzun alt ve üst konveksiyonlu bölgelerinde konveksiyonla ve difüzyonla ısı ve tuz transferi gibi olaylar olmaktadır. Havuz yüzeyi ile atmosfer arasındaki ısı ve kütle transferi, rüzgar ve yağmur etkilerinin bilinmesi önemlidir. Bu konuda şimdiye kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır [7-14]. Bu etkilerin belirlenmesi kadar havuz yüzeyinden içeri giren güneş enerjisinin artırılması da büyük önem taşımaktadır. Güneş havuzlarının ısı performansının artırılması ile ilgili önceki çalışmalarımızda havuza giren enerjinin artırılması ve havuzun üst yüzeyinden ve yan duvarlarından olan ısı kayıplarının en aza indirilmesinin önemli olduğu görüldü [15]. Güneş havuzları iç kısımları genellikle üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Her bölgenin kalınlık ve yoğunlukları farklı özelliklere sahiptir. Bu yüzden, güneş havuzlarının ısı depolama performansını etkileyen birçok parametrenin incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada, depolama bölgesindeki ısının havaya kaçması önlemek için bu bölgenin üstüne bir tuz gradyentli (eğimli) bölge tasarlanmıştır. Bu bölge farklı yoğunluklarda tuzlu su tabakalarının üst üste yığılması ile oluşturulmuştur. Tabakaların saydam olması ve konveksiyonun bozulmaması için tabakalar en uygun kalınlıklarda ve yoğunluklarda seçilmeye çalışılmıştır. Bu parametrelerden özellikle havuzun iç bölgesini oluşturan tabakaların kalınlıkları ve yoğunluk dağılımlarındaki değişimin havuzun ısı performansı üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Bunun için, tabaka kalınlıkları, yoğunluk ve sıcaklık dağılımları belirlenecektir. Elde edilecek ölçüm sonuçlarına göre de tabakaların öz ısı kapasitelerindeki değişiklikler belirlenecektir. Tabakaların öz ısı kapasiteleri ve tuzlulukları ampirik bağıntılar kullanılarak hesaplanacak ve havuzun iç bölgelerinin ısı performansı belirlenmeye çalışılacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

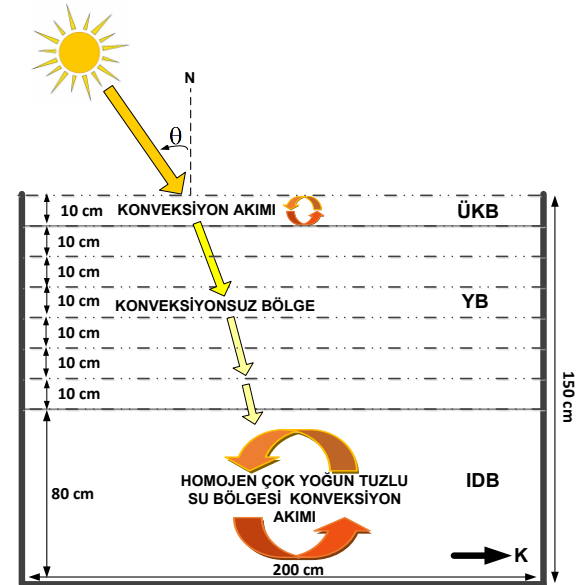
2.1. Materyal

Bu çalışmada, yalıtımlı bir güneş havuzunun üst yüzeyine gelen güneş ışınının güneş havuzunu oluşturan iç bölgelerde soğurulmasını ve ısı olarak depolanması sağlamak için tuzlu su tabakalı bir güneş havuzu oluşturulmuştur. Burada amaç, tuzlu su tabakalarından geçerek depolama bölgesine ulaşan ışınların depolama bölgesinde en verimli bir şekilde soğurulmasını ve burada ısı olarak depolanmasını sağlamaktır. Depolama bölgesinde depolanan ısının tutulması, yani iç bölgelerden havaya konveksiyonla ısı transferini önlemek için depolama bölgesinin hemen üst kısmından itibaren yukarıya doğru azalan yoğunluklarda tabakalar üst üste yığılmak suretiyle ısı yalıtımı görevi yapan bir konveksiyonsuz bölge oluşturulmuştur. Bu sayede, havuzun iç bölgesinde havaya, konveksiyonla ısı transferi önlenmeye çalışılmıştır. Depolama bölgesine ulaşan güneş ışınının maksimum olması, yani daha fazla güneş ışığının havuza girmesini sağlamak için tabakalar temiz tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, daha fazla güneş ışığının havuzun depolama bölgesine ulaşarak ısıya dönüşmesi sağlamak için en uygun tabaka kalınlıkları ve yoğunluk dağılımları belirlenmeye

çalışılmıştır. Doğal olarak, havuza giren toplam güneş radyasyonu ısıya dönüştürme oranlarının belirlenmesi için tabakaların öz ısı kapasitesi değerlerindeki değişimler ampirik bağıntılarla belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için farklı zamanlarda tabakaların tuz yoğunluğu dağılımlarını belirlemek için yoğunluk ölçümleri hidrometreler yardımıyla yapılmıştır. Tabakaların sıcaklık dağılımları ise saatlik olarak yapılmıştır. Böylece, havuzun iç bölgelerinin (üst konveksiyonlu, konveksiyonsuz ve düşük konveksiyonlu) yoğunluk ve sıcaklık dağılımlarındaki değişimler ve depoladıkları ısı oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 1’de 150×200 cm boyutlarında bir güneş havuzu görülmektedir. Havuzun iç kısmı üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgelerin yapıları ve işlevleri farklıdır. 1. Bölge; üst konveksiyonlu bölge (ÜKB) dir. Bu bölge havuz yüzeyini dış etmenlerden korumaktadır. Alt bölgelerdeki tabakalardan tuzun moleküler difüzyonla bu bölgeye ulaşması ile yoğunluğu zamanla bir miktar artabilir. Bakım gerektiren bir bölgedir ve zaman zaman temiz su ile değiştirilir. 2. Bölge; farklı yoğunluklu tuzlu su tabakalarından oluşan ara bölgedir. Yukarıdan aşağıya doğru artan yoğunluklarda olacak şekilde oluşturulmuştur. Konveksiyon akımları bu bölgede oluşmaz ve alt bölgeden üst bölgeye konveksiyonla ısı akışına engel olan bir ısı yalıtım bölgesi (YB)’dir. Tuz eğimini oluşturan tabakaların yoğunluk dağılımları, tuz eğimini koruma sistemi yardımıyla tuzlu su ile beslenerek korunmaktadır. Bu sayede tabakalar tuz difüzyonuna karşı korunabilmektedir. 3. Bölge ise, alt konveksiyonlu bölgedir. Bu bölge çok yoğun tuzlu çözeltiden oluşturulmuş homojen bir bölgedir. Bu bölgenin her tarafında sıcaklık hemen hemen aynıdır. Güneş ışınları son olarak bu bölgeye ulaşır ve burada ısıya dönüşerek depolandığı ısı depolama bölgesidir. Güneş havuzu enerjisini güneşten gelen ışınlardan almaktadır. Güneş ışınları doğrusal olarak dağılmaktadır ve havuz yüzeyine yüzeyin normali (N) ile θ açısı yapacak şekilde gelir. Yüze gelen ışınlarının bir kısmı havuz yüzeyinden yansır, geri kalan kısmı ise önce üst konveksiyonlu bölgedeki (ÜKB) suyun kırılma indisine bağlı olarak kırılır ve soğurur. Geri kalan kısmı konveksiyonsuz

bölgeyi (YB) oluşturan tabakalar tarafında kırılarak ve soğurularak taban bölgesi olan ısı depolama bölgesine (IDB) doğru ilerler. Isı depolama bölgesine ulaşan ışınlarda burada soğurur ve ısı biçiminde depolanır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, ÜKB 10 cm kalınlığında az yoğun tuzlu sudan oluşmaktadır. YB, her biri 10 cm kalınlığında ve yoğunluğu giderek artan 6 farklı tuzlu su tabakasından oluşmaktadır. IDB ise, 80 cm kalınlığında çok yoğun tuzlu su tabakasından oluşan konveksiyonlu bir bölgedir. Bu bölgede depolanan ısı hemen üst kısmında bulunan konveksiyonsuz tabakalar tarafında üst bölgeye kaçması engellenmektedir. Böylece, burada ısı uzun süre depolanabilmektedir.



Şekil 1. Güneş havuzunun iç bölgelerinin yapısı

Şekil 1’de verilen güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan tuz su tabakalarının konumu, kalınlıkları ve konveksiyonlu bölgeler görülmektedir. Bu bölgelerin tuz su yoğunluğu, tuz eğimini koruma sistemi ile korunmaktadır. Ancak sıcaklık artışına ve azalışına bağlı olarak tuzun moleküler difüzyonundaki artışlar yüzünden tabakaların yoğunluklarında da bazı artış ve azalmalar olmaktadır. Bu nedenle, yıl içinde çok sıcak aylarda özellikle çok yoğun tuzlu su tabakalarında artan difüzyonla oluşan bozulmalar yüzünden bazı

aşağıdan yukarıya doğru olacak şekilde tabakalarda kütleli değişimleri oluşmaktadır. Çizelge 1’de yılın en sıcak ayı olan Ağustos’ta tabakalardan oluşan bölgelerin yoğunluk değişimlerine bağlı olarak kütleli değişimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1. İç bölgeleri oluşturan tuzlu suyun Ağustos ayına ait kütleli değişimi

Bölge	Kalınlık l (m)	Hacim V (m ³)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Kütle m (kg)
ÜKB	0,10	0,4	1023,71	163,79
YB	0,60	2,4	1073,21	2578,10
IDB	0,80	3,2	1178,46	3771,07

2.2 Isı Depolaması

Güneş havuzu yüzeyine gelen güneş enerjisinin önemli bir kısmı tabakalar tarafından soğurulmakta ve ısıya dönüşerek orada bir süre tutulmaktadır. Tabakaların ısıl performansı, havuz içindeki konumuna ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Bunlar: havayla teması, çevreyle ısı yalıtımı durumu, kalınlıkları, sıcaklıkları, ısı iletim ve ısı kapasitesi, yoğunlukları, tuz eğimi ve konveksiyon durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, tabakaların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlar iyi bilinirse, güneş havuzunun ısı depolama kapasitesi ve performansı hesaplanabilir.

Üst konveksiyonlu bölgede ısı depolaması: Üst konvektif bölgeye gelen güneş ışınlarının bir kısmının burada soğurulmasıyla, bu bölgenin sıcaklığı bir miktar artmaktadır. Aynı zamanda, bu bölgenin hemen altındaki daha sıcak bölge olan konveksiyonsuz bölgeden de iletim yolu ile ısı akışı olmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgeden her ne kadar havaya olan ısı kayıpları çok olsa da yine de az bir miktar ısı depolaması yapabilmektedir. Ancak, burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde çok önemli bir katkısı bulunmamaktadır. Aksine havayla teması dolayısıyla iletimle olan ısı kaybının büyük bir kısmı burada olmaktadır. Bu çalışmada, ÜKB’ in sıcaklık ve yoğunluk ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki eşitliklere göre de hesaplanmıştır. ÜKB’de depolanan ısı,

$$Q_{st,ÜKB} = m_{ÜKB} C_{p,ÜKB} [T_{ÜKB} - T_h] \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de verilen denklem ile bulunur. Burada, $m_{ÜKB}$ tabakanın toplam kütesidir. $C_{p,ÜKB}$ ÜKB’in öz ısı kapasitesi (J/kg°C), $T_{ÜKB}$ tabakanın sıcaklığı (°C) ve T_h ise havuzu çevreleyen havanın sıcaklığıdır ve Ocak, Mayıs ve Ağustos ayı için sırasıyla, ortalama 9°C, 18°C ve 28°C olarak alınmıştır. ÜKB’deki az tuzlu çözeltinin kütlesi,

$$m_{ÜKB} = \rho_{ÜKB} V_{ÜKB} \quad (2)$$

Eşitlik (2) ile hesaplanır. Burada, $\rho_{ÜKB}$; ÜKB’in ortalama yoğunluğudur (kg/m³). $V_{ÜKB}$ ise, bölgenin toplam hacmidir (m³) ve değeri 0,4 m³’dür. Az yoğun tuzlu su tabakası olan ÜKB’in öz ısı kapasitesi,

$$C_{p,ÜKB} = 4180 - 4,396s_{ÜKB} + 0,0048s_{ÜKB}^2 \quad (3)$$

empirik bağıntısı ile bulunur. Burada $s_{ÜKB}$, ÜKB’in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{ÜKB} = \frac{\rho_{ÜKB} - 988 + 0,4[T_{ÜKB} - 20]}{0,65} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır [6]. ÜKB’in ısı depolama kapasitesinin, eşitlik (1) ile doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, Eşitlik (3) ile bölgenin sıcaklık ve yoğunluk değişimine bağlı olarak öz ısı kapasitelerinin doğru hesaplanması gerekmektedir. Benzer şekilde, bu eşitlikler havuzun diğer bölgeleri olan YB ve IDB için de yazılabilir.

Konveksiyonsuz bölgede ısı depolaması: Üst konvektif bölgede (ÜKB) soğurulduktan sonra konveksiyonsuz bölgeye (YB) gelen güneş ışınlarının bir kısmının burada soğurulmasıyla, bu bölgeyi oluşturan tabakaların sıcaklıkları yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır. Aynı zamanda, bu bölgenin hemen altındaki daha sıcak bölge olan ısı depolama bölgesinden bu bölgeye iletim yolu ile ısı akışı olmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgeden iletimle ÜKB’ye olan ısı kayıplarına rağmen yine de tabakalarda yukarıdan aşağıya doğru artan bir şekilde önemli miktarlarda ısı tutulmaktadır. Bu artış, YB’deki tuz eğimine benzer şekilde bir sıcaklık gradyenti biçimindedir.

Burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde önemli katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmada, YB'in sıcaklık ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlere göre, tabakaların toplam kütlesi, öz ısı dağılımları hesaplanmıştır. YB'de depolanan ısı;

$$Q_{st,YB} = m_{YB} C_{p,YB} [T_{YB} - T_h] \quad (5)$$

eşitliğine göre bulunur. Burada, m_{YB} tabakanın toplam kütlesidir. $C_{p,YB}$ tabakanın öz ısı kapasitesi, T_{YB} tabakaların sıcaklığıdır. YB'nin kütlesi;

$$m_{YB} = \rho_{YB} V_{YB} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, ρ_{YB} ; YB' in ortalama yoğunluğudur. V_{YB} ise, bölgenin toplam hacmidir ve değeri $2,4 \text{ m}^3$ 'dür. Az yoğun tuzlu su tabakası olan YB'in öz ısı kapasitesi ise,

$$C_{p,IDB} = 4180 - 4,396s_{YB} + 0,0048s_{YB}^2 \quad (7)$$

Burada s_{YB} , ÜKB' in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{YB} = \frac{\rho_{YB} - 988 + 0,4[T_{YB} - 20]}{0,65} \quad (8)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlere göre, öz ısı kapasiteleri bölgeyi oluşturan tabakaların yoğunluk ve sıcaklık dağılımlarına göre değişmektedir.

Alt konveksiyonlu bölgede ısı depolaması: ÜKB'den havuza giren güneş ışınları, YB'de soğurulduktan sonra geri kalan kısmı ısı depolama (IDB) ulaşır ve burada soğurulur ve ısı biçiminde depolanır. Bu bölge konveksiyonlu bir bölge olduğu için, ısı dağılımı hemen hemen homojendir. Ancak, IDB'i çevreleyen yan duvarlar ve YB ile temasın olduğu kısımlarda iletimle az bir miktarda ısı akışı olmaktadır. Bu bölgelerdeki ısı kayıpları, sıcaklık dağılımı eğimine göre hesaplanmaktadır. Burada tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerinde önemli katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmada, IDB'nin sıcaklık ve yoğunluk dağılımı ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlere göre, tabakaların toplam kütlesi, öz ısı dağılımları hesaplanmıştır. Bu hesaplara göre de, IDB'de depolanan ısı,

$$Q_{st,IDB} = m_{IDB} C_{p,IDB} [T_{IDB} - T_h] \quad (9)$$

denklemlere göre bulunur. Burada, m_{IDB} tabakanın toplam kütlesidir. $C_{p,IDB}$ tabakanın öz ısı kapasitesi, T_{IDB} tabakanın sıcaklığıdır. IDB'in toplam kütlesi ise,

$$m_{IDB} = \rho_{IDB} V_{IDB} \quad (10)$$

eşitliği ile gösterilir. Burada, ρ_{IDB} ; IDB' in ortalama yoğunluğudur. V_{IDB} ise, bölgenin toplam hacmidir ve değeri $3,2 \text{ m}^3$ 'dür. Çok yoğun tuzlu su tabakası olan IDB'in öz ısı kapasitesi ise,

$$C_{p,IDB} = 4180 - 4,396s_{IDB} + 0,0048s_{IDB}^2 \quad (11)$$

s_{IDB} ise, IDB' in tuzluluğudur (g/kg).

$$s_{IDB} = \frac{\rho_{IDB} - 988 + 0,4[T_{IDB} - 20]}{0,65} \quad (12)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

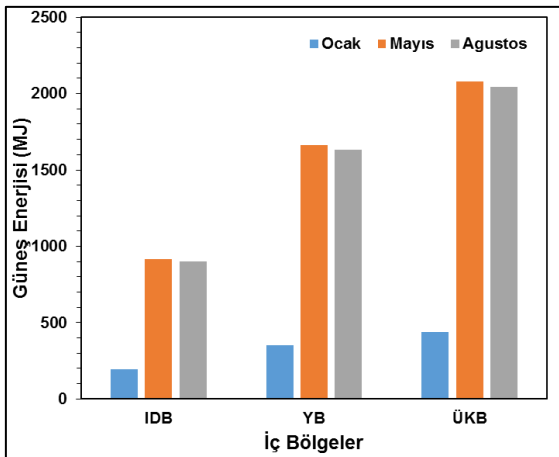
3. BULGULARI VE TARTIŞMA

Güneş havuzunun enerji kaynağı güneş enerjisidir ve birim yüzey alanına düşen güneş enerjisi oranı önemlidir. Havuz yüzeyine Güneşten gelen ışınlar, havuzun iç bölgesini oluşturan tuzlu su tabakaları tarafından kademe kademe soğurularak havuzun en önemli bölgesi olan ısı depolama bölgesine (IDB) ulaşmaktadır. Bu bölgeye ulaşan güneş ışınları soğurularak ısıya dönüşmektedir. Bu enerji dönüşüm işlemi havuzun iç bölgelerinin oluşturan tabakaların yapısına göre değişmektedir. Güneş ışınlarının özellikle IDB'de soğurulan kısmı ısı biçiminde depolanabilmekte ve daha uzun süre burada tutulmaktadır. Bu bölgenin üstündeki yalıtım bölgesinde (YB) daha az ısının tutulabildiği ve YB'den itibaren ÜKB'ye kadar sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Bu azalmalar tabakaların yapısına göre değişir. Bu bakımdan güneş havuzunun yapısı önemlidir.

Güneş havuzun iç ve dış bölgelerinin yapısı güneş havuzunun ısı depolama performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu yüzden, bu bölgelerin yapısı ile ilgili parametrelerin iyi bilinmesi

gerekmektedir. Özellikle, iç bölgeleri oluşturan tuzlu su tabakalarının kalınlıklarının, termofiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlardan özellikle tuzlu suyun tuz yoğunluğu, öz ısısı ve iletkenliği iç bölgelerin ısı performansı üzerinde etki eden önemli parametrelerdir. Bu parametreler, sistem performansının belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir. Şekil 1’de havuzunun iç bölgeleri, tuzlu su tabakalarının kalınlıkları ve yoğunluk dağılımları verilmektedir. Şekilde verilen güneş havuzunun sistem performansını havuz yüzeyine gelen güneş ışınının tabakalar tarafında bir kısmı soğurulmakta geri kalan kısmı ise alt tabakalar geçirilmektedir. Tabakalarda soğurulan ışınlar, tabakaların öz ısı kapasitesi, ısı iletim katsayısı, iletimle ısı transferi gibi özelliklerde olumlu ya da olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu neden, güneş havuzunu etkileyen bu parametrelerin sistemin ısı performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Güneş havuzun iç bölgelerine bulunduğu yerin iklimsel şartlarına ve coğrafi konumuna bağlı olarak farklı zamanlarda farklı oranlarda güneş enerjisi gelmektedir. Gelen güneş enerjisi havuzu oluşturan tabakalar tarafından soğurulmakta ve ısı biçiminde depolanabilmektedir. Dolayısıyla, Tabakaların sıcaklık dağılımları farklı zamanlarda farklı değerlere ulaşmaktadır.

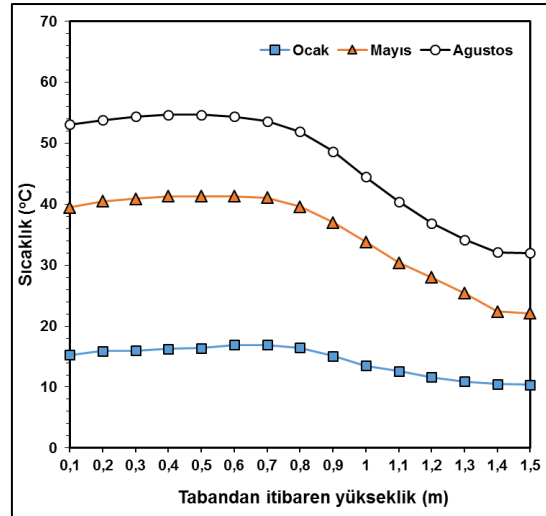


Şekil 2. Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi dağılımı

Şekil 2’de güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan ÜKB, YB ve IDB’nin yüzeyine düşen toplam güneş enerjisi dağılımı Ocak, Mayıs ve Ağustos ayı için verilmiştir.

En fazla güneş enerjisi en üst yüzey olan ÜKB’ye düşmüştür. Gelen güneş enerjisi tabakaların derinliğine, soğurma ve geçirgenlik özelliklerine göre ÜKB’den aşağıya doğru azalarak IDB’ye ulaşmıştır. Beklenildiği gibi, güneş enerjisi en düşük Ocak ve en yüksek ise Mayıs-Ağustos ayında olduğu görülmüştür.

Şekil 3’de model bir güneş havuzunun iç bölgelerinin Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için aylık ortalama sıcaklık dağılımları görülmektedir. Havuz yüzeyine gelen güneş enerjisine bağlı olarak, küçük boyutlu ve yalıtımlı bir güneş havuzunun iç bölgelerinin Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için aylık ortalama sıcaklık dağılımları verilmiştir.



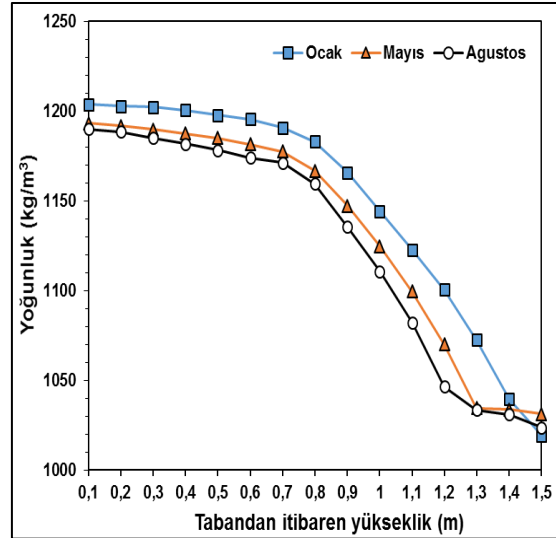
Şekil 3. Güneş havuzunun iç bölgelerinin sıcaklık dağılımı

Şekil 3’de görüldüğü gibi, ısı depolama bölgesinin sıcaklığı Ağustos ayında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Güneş havuzunun en alt bölgesindeki sıcaklık dağılımı tabandan itibaren 0,7 m’ye kadar hemen hemen aynı değerdedir. Çünkü bu bölge konveksiyonlu bir bölgedir ve ısı dağılımı IDB’de

yaklaşık homojendir. Ağustos'ta sıcaklık IDB'de yaklaşık 53°C ile en yüksek değerlere ulaşırken, 0,7 m'den itibaren 0,8 m arasında bir kavis yaparak azalmaya başlamıştır. Bu noktadan itibaren oluşan tuz eğimi ile birlikte aynı zamanda bir sıcaklık eğimi de oluşmaya başlamıştır. 0,8 cm'den 1,4 m'e kadar olan ısı yalıtım bölgesi (YB) denen tuz eğimli bölge aynı zamanda bir sıcaklık eğimi oluşmasını sağlamaktadır. Isı yalıtım bölgesinde oluşan bu sıcaklık eğimi 50°C, 47°C, 40°C, 35°C, 28°C, 23°C şeklinde azalmaktadır. Isı depolama bölgesi (IDB)'in sıcaklığı Mayıs ayında yaklaşık olarak 45 °C iken tuz eğimli bölgede ise 35°C, 30°C, 27°C, 19°C olarak kademe kademe azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde Ocak ayı için IDB' in yaklaşık sıcaklığı 15 iken, YB'in sıcaklığı ise kademe kademe azalmaktadır. Sıcaklığın Ağustos ayında en yüksek değerle çıkmakta, fakat Ocak ayında ise en düşük değerlere inmektedir. İç bölgelerdeki sıcaklık artışı ve azalması üzerinde başta bölgenin iklimsel değişimlerin önemli bir rol üslenmektedir. Ancak, uygun kalınlık ve yoğunluklarda bu değerle olumlu olarak geliştirmek mümkündür.

Şekil 4'te, Ocak, Mayıs ve Ağustos aylarında iç bölgelerin yoğunluklarının tabandan itibaren yükseklikle değişimi görülmektedir. Havuzun tabanından itibaren 0,7 m'ye kadar yoğunluk oranlarında gözle görülür bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın en önemli nedeni,

homojen tuzlu su yoğunluğuna sahip ve eğimsiz bir bölge olan IDB'nin sıcaklığındaki artışla birlikte tuz difüzyonunda da bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu IDB'nin yoğunluk dağılımında tabandan yukarıya doğru az bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Tuz moleküllerinin difüzyonla birlikte üst kısımlara doğru taşınması özellikle YB'de bir yoğunluk artışına neden olmuştur. YB'de tuz eğimin mevsimsel değişimlerden etkilendiği görülmektedir. Bu değişimler tuz eğimi dışardan yoğun tuzlu su ile beslenerek yeniden onarılabilir.



Şekil 4. Güneş havuzu yoğunluğu dağılımı

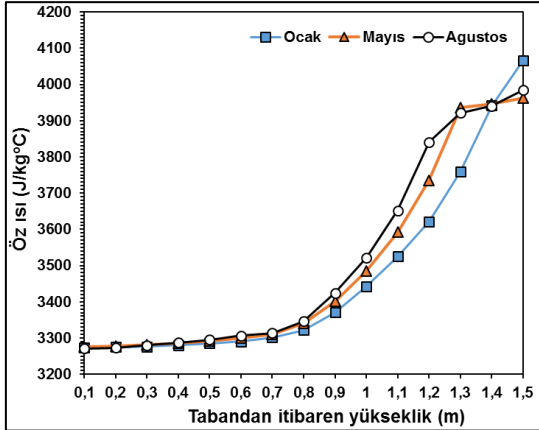
Cizelge 2. İç bölgelerin ortalama öz ısı kapasiteleri

Aylar	Sıcaklık (°C)			Yoğunluk (kg/m³)			Öz ısı (J/kg°C)		
	$T_{ÜKB}$	T_{YB}	T_{IDB}	$\rho_{ÜKB}$	ρ_{YB}	ρ_{IDB}	$C_{p,ÜKB}$	$C_{p,YB}$	$C_{p,IDB}$
Ocak	10,4	12,36	16,26	1019,20	1107,50	1197	4066,01	3588,82	3287,47
Mayıs	23,3	29,66	40,68	1031,33	1084,97	1184,10	3959,27	3659,39	3294,65
Ağustos	32	39,46	53,82	1023,71	1073,21	1178,46	3984,20	3696,92	3295,55

Şekil 5'te ise, güneş havuzunun iç bölgelerinin öz ısı kapasite değerlerinin mevsimsel değişimleri görülmektedir. Eşitlik 3, 7, 11 kullanılarak, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için bölgelerin öz ısı

kapasiteleri hesaplanmıştır. Yoğunluk dağılımlarının öz ısı kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Özellikle, en yüksek yoğunluğa sahip depolama bölgesinde,

sıcaklığın etkisi yok denecek kadar azdır. Ancak yoğunluk burada çok etkilidir.



Şekil 5. Güneş havuzunun iç bölgelerinin öz ısı dağılımı

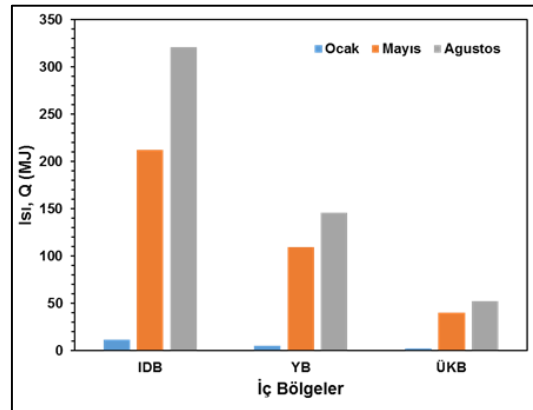
Havuzun iç bölgelerinin öz ısı kapasitelerinin ortalama değerleri Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için hesaplanmıştır. IDB'nin öz ısı kapasitesi yaklaşık olarak 3287,91, 3295,42 ve 3296,62 J/kg°C'dir. YB'in öz ısı kapasiteleri 3610,05, 3682,57 ve 3716,90 J/kg°C'dir. ÜKB'de ise, yoğunluk dağılımları ile birlikte sıcaklık dağılımlarının da etkisi görülmektedir. ÜKB'nin öz ısı kapasitesi, Ocak ayında 4066 J/kg°C iken Mayıs ve Ağustos aylarında ise 3962,15 ve 3984,20 J/kg°C olarak hesaplanmıştır.

Güneş havuzunun iç bölgelerini oluşturan tuzlu su tabakalarının zamanla değişen sıcaklık ve yoğunluk dağılımları ölçülmüştür. Elde edilen bu ölçüm değerlerine göre de, sıcaklık ve yoğunluk dağılım profilleri çıkarılmıştır (Şekil 3 ve 4). Bu ölçüm değerlerinin her bölge için ortalamaları alınmak suretiyle ÜKB, YB ve IDB'nin ortalama sıcaklık, yoğunluk ve öz ısı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2'deki veriler göre, havuzun iç bölgelerde depolanan ısı oranları Eşitlik 1-5-9 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen oranlar Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için hesaplanmıştır (Şekil 6). Güneş havuzunun iç bölgelerinde mevsimsel değişimle birlikte ısı depolama oranlarında önemli değişimler

görülmektedir. Şekil 2'ye göre en fazla güneş enerjisi ÜKB'ye gelmesine rağmen, Şekil 6'da görüldüğü gibi en az ısı enerji ÜKB'de tutulabilmektedir. Mayıs ve Ağustos aylarında güneş enerjisindeki artışla birlikte hızlı bir şekilde çok az miktarda ısı tutabilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, Ocak, Mayıs ve Ağustos ayları için, IDB, YB ve ÜKB'in ısı depolama kapasiteleri belirlenmiştir. Buna göre, IDB'de depolanan ısı, Ocak ayında en düşüktür ve 11,42 MJ'dir. Ağustos ayında ise en yüksek 320,94 MJ değerine ulaşmıştır. Şekil 6'da ısı depolama özelliğinin en yüksek olduğu bölge IDB olup, YB'den itibaren ÜKB'ye kadar azaldığı ve ÜKB'de önemli düzeyde ısı depolamanın mümkün olmadığı görülmektedir. Ocak ayında çevre sıcaklığındaki ani düşüşler yüzünden özellikle ÜKB'de hemen hemen hiç ısı depolanamazken, çevre sıcaklığındaki artışla birlikte Mayıs ve Ağustos aylarında bir miktar ısı depolanabildiği görülmüştür.



Şekil 6. Farklı aylarda güneş havuzunun iç bölgelerinde depolanan toplam ısı oranları

ÜKB'de tutulan ısının havuzun ısı performansı üzerine önemli bir katkısı yoktur. Fakat ara bölge olan YB'deki ısı artışları önemlidir ve bu bölge aynı zamanda bir yalıtım görevi yapmaktadır ve IDB'in ısı performansını etkilemektedir. Bu yüzden YB, IDB'den ÜKB'ye iletimle olan ısı kayıplarının azalmasında önemli bir ara bölgedir ve havuzun ısı performansı üzerine çok önemli katkısı olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş havuzlarında en önemli konularda birisi ısı performansının artırılmasıdır. Bunun için iç bölgelerinin yapısı çok önemlidir. Özellikle, tuz gradyentli (eğimli) bölge olan ve yalıtım bölgesi de (YB) denen ara bölgenin tabandan üst bölgeye (IDB'den ÜKB'ye) doğru konveksiyonla ısı akımlarını önlediği görülmüştür. Bu bölge, güneş ışınlarının sadece ısı depolama bölgesine ulaşmasına yardım etmediği aynı zamanda ısının ısı depolama bölgesinde uzun süre tutulmasında yardımcı olan önemli bir bölgedir. Böylece, havuz yüzeyine gelen ışınlarının önemli oranda tuzlu su tabakaların bulunduğu YB ve IDB tarafında soğurularak ısıya dönüştürüldüğü ve uzun süre depolanabildiği görülmüştür. Ancak, bu iki bölgenin tuz yoğunluğundaki artışla birlikte öz ısı kapasitesinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmayla birlikte güneş havuzunun ısı depolama performansı da olumsuz bir etkilemiştir. Bu da havuzun ısı performansının azalmasına neden olmuştur. Bu azalmayla birlikte, YB'de depolanan ısı miktarı da düşmüştür. YB'deki bu düşüş, aynı zamanda IDB'de depolanan ısı miktarını olumsuz bir şekilde etkileyerek havuzda depolanan ısı miktarının azalmasına ve dolayısıyla havuzun ısı performansının da düşmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, özellikle tuz gradyentli bölgeyi oluşturan tabakaların kalınlık ve yoğunluklarının güneş havuzunun ısı performansı üzerinde çok önemli etkisi olduğu görülmüştür. Geliştirilecek yeni model güneş havuzu sistemleri sayesinde, güneş havuzlarının ısı performanslarının artırılacağı ve daha verimli bir güneş enerjisi sistemi haline dönüşebileceği kanaatindeyiz.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma FBE 96.1, FEF 96.1 ve FBA-2014-3195 nolu projeler kapsamında hazırlanmıştır. Katkılarından dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Styris, DL., Harling, OK., Zaworski, RJ., Leshuk, J., 1976. The Nonconvecting Solar Pond Applied to Building and Process Heating, *Solar Energy*, 18; 3, 245-251.
2. Bozkurt, I., Karakilcik, M., 2015. The Effect of Sunny Area Ratios on the Thermal Performance of Solar Ponds, *Energy Conversion and Management*, 91; 323-332.
3. Ding, L.C., Akbarzadeh, A., Date, A., 2016. Transient Model to Predict the Performance of Thermoelectric Generators Coupled with Solar Pond. *Energy*, 103; 271-289.
4. Erden, M., Karakilcik, M., Dincer, I., 2016. Performance Investigation of Hydrogen Production by the Flat-Plate Collectors Assisted by a Solar Pond, *International Journal of Hydrogen Energy* (In Press, Corrected Proof.) doi:10.1016/j.ijhydene.2016.04.116.
5. Karakilcik, M., Dincer I., Rosen, MA., 2006. Performance Investigation of a Solar Pond, *Applied Thermal Engineering*, 26; 7, 727-735.
6. Wang, Y.F., Akbarzadeh, A., 1982. A Study of the Transient Behaviour of Solar Ponds. *Solar Energy*, 7; 12, 1005-1017.
7. Hawlader, M.N.A., 1980. The Influence of the Extinction Coefficient on the Effectiveness of Solar Ponds. *Solar Energy*, 25; 461-464.
8. Alcaraz, A., Valderrama, C., Cortina, JL., Akbarzadeh, A., 2016. Enhancing the Efficiency of Solar Pond Heat Extraction by Using Both Lateral and Bottom Heat Exchangers. *Solar Energy*, 134; 82-94.
9. Bansal, PK., Kaushik, ND., 1981. Salt Gradient Stabilized Solar Pond Collector. *Energy Conversion and Management*, 21; 81-95.
10. Akbarzadeh, A., MacDonald R.W.G., 1982. Introduction of a Passive Method for Salt Replenishment in the Operation of Solar Ponds. *Solar Energy*, 29; 1, 71-76.
11. Wang, Y.F., Akbarzadeh, A., 1983. A Parametric Study on Solar Ponds, *Solar Energy*, 30; 6, 555-562.
12. Akbarzadeh, A., 1984. Effect of Sloping Walls on Salt Concentration Profile in a Solar Pond. *Solar Energy*, 33; 2, 137-141.

13. Cengel, YA., Özişik, M.N., 1984. Solar Radiation Absorption in Solar Ponds, Solar Energy, 33; 6, 581-591.
14. Beniwal, S., Singh, R., Saxena, N.S., Bhandari, R.C., 1987. Thermal Behaviour of Salt Gradient Solar Ponds. J. Phys. D: Appl. Phys., 20; 1067-1071.
15. Karakılçık, M., 1998. Yalıtımlı Prototip Bir Güneş Havuzunun Performansının Saptanması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.