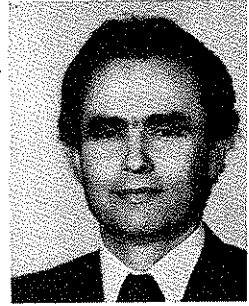


UYGULAMA KONULARI

1947 yılında Bafra'da doğan Dr. Hasan Külünk; 1964'te Ankara Yüksek Öğretmen Okulu Hazırlık Lisesini; 1969'da O.D.T.Ü. Fizik Bölümü ve Ankara Yüksek Öğretmen Okulunu bitirdi. 1972'de, Manchester Victoria Üniversitesinden Yüksek Lisans ve 1980'de Zonguldak Devlet M.M. Akademisinden Doktora Diploması aldı. 1972 yılından beri Fizik Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. 30 civarında tebliğ ve makalesi, 2 kitabı ve 1 tercümesi vardır. Yenilebilir enerji sistemleri üzerinde araştırmalar yapmaktadır.

Hasan Külünk
Yıldız Üniversitesi,
Kocaeli Müh. Fak. İzmit



SUMMARY

In this study salt stratified solar ponds (S.S.S.P.) are described and some countries which are utilizing these ponds are mentioned. Then a study about S.S.S.P. pond constructed in Çukurova University is represented by comparing and discussing the concentration profile measurements with Fick's diffusion law and the temperature profile.

The main aim of this paper is to help to increase the number of researchers about S.S.S.P. systems in Turkey.

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde çok az araştırmacının ilgi duyduğu TTGH (Tuz Tabakalı Güneş Havuzları=Salt Stratified Solar Ponds) tanıtılmakta ve çeşitli ülkelerden bazı örnekler verilmektedir. Daha sonra, Çukurova Üniversitesi kampusunda inşa edilen bir TTGH sisteminde ölçülen konsantrasyon profili Fick difüzyon kanunu bulgularıyla; sıcaklık profili ise periyodik sıcaklık dağılımı ifadesiyle karşılaştırılmakta, her iki ölçümün kritiği ve yorumu yapılmaktadır. Tebliğin amacı, TTGH sistemlerine ilişkin araştırmaların ülkemizde de yaygınlaştırılmasına yardımcı olmaktır.

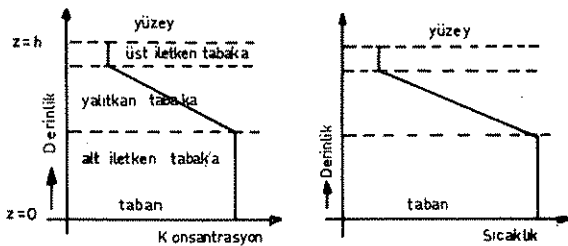
1.GİRİŞ

Güneş enerjisinden düşük sıcaklıkta ısı enerjisi üreten sistemlerden birisi de TTGH sistemleridir. Bilindiği üzere, adı bir havuzun tabanı, yüzeye kıyasla, daha soğuk olup yoğunluk daha fazladır. Bir güneş kolektörü ve mevsimsel ısı depolama aracı olarak geliştirilen TTGH sisteminde ise, durum bunun tam tersidir. En üstteki ince iletken tabakayla, en alttaki kalın iletken tabaka arasında oluşturulan üçüncü bir yalıtkan tabaka sayesinde, havuz tabanında soğurulan güneş ışınım enerjisi alt iletken tabakada hapsedilmekte ve ihtiyaç duyulan yerlerde (ısıtma, soğutma, elektrik enerjisi üretimi v.b.) kullanılmaktadır. Tipik bir TTGH sistemine ait tuz konsantrasyonu ve sıcaklık dağılımı Şekil 1'de verilmektedir. Bu üç tabakanın boyutlandırılması ve TTGH sisteminin perfor-

mansına etkisinin ne düzeyde olacağı incelenmektedir (1). Bu sistemlerde halen: NaCl, MgCl, KNO₃, NaNO₃ gibi tuzlar kullanılmaktadır.

TTGH sistemlerine ilişkin ilk çalışma 1902 yılında Kalecsinsky tarafından gerçekleştirilmiştir (2). Bu araştırmacı alanı yaklaşık 42000 m², maksimum derinliği 15 m olan Medve Gölünde (Romanya) sıcaklık ve NaCl konsantrasyonunun derinlikle değişimini ölçmüştür. 23.7.1901 tarihindeki ölçümlerde, yaklaşık 20°C olan yüzey sıcaklığının 1 m derinlikte 55°C'ye yükselip, daha sonra derinlere gidildikçe tekrar azaldığı; NaCl konsantrasyonunun ise yüzeyde %5 civarında olduğu halde, 1 m derinde yaklaşık %20'ye çıktığı ve bu değerinde sabit kaldığı keşfedilmiştir.

Kalecsinsky'nin ölçümlerini gerçekleyen Rozsa daha sonra (1907-1909) Baren Gölünün (Romanya) mevsimsel sıcaklık değişimini ölçmüştür (3). 0-1-2 m derinliklerde yapılan mevsimsel sıcaklık ölçümlerinin sinüzoidal olduğu; Ocak ayında göl yüzeyi buz tuttuğu halde, 1 m derinde sıcaklığın ortalama 10°C ve 2 m derinde 23°C civarında seyrettiği; Temmuz ayında ise 0-1-2 m derinde sıcaklıkların sırasıyla 27-40-50°C civarında olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 1.- Tipik bir TTGH sisteminde konsantrasyon ve sıcaklığın derinlikle değişimi.

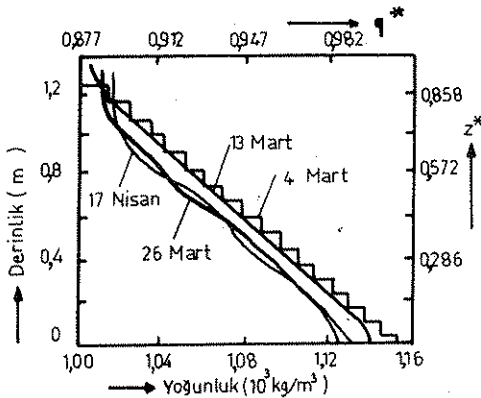
Yukarda belirtilen iki eski ölçüme ek olarak 1960'lı yıllarda başka ölçümler de yapılmıştır. Örneğin uzunluğu 5,4 km, genişliği 1,1 km, maksimum derinliği 31 m olan Bonney Gölü (Mc-Murdo Sound, Antartika); uzunluğu 6,5 km, genişliği 1,8 km ve maksimum derinliği 66 m olan Vanda Gölünün (Mc-Murdo Sound, Antartika) herikisinin de yüzeyi 3,4 ila 4,2 m arasında değişen kalınlıkta buzla sürekli olarak kaplı olduğu halde derinlerde sıcaklığın 24°C'ye kadar çıktığı keşfedilmiştir (4). Bu ölçümlerden bu iki gölde TTGH özelliği olduğu anlaşılmaktadır.

1968 yılı Şubat ayının ikinci yarısında Eliat Gölünde (İsrail) yapılan sıcaklık ve tuz konsantrasyonu ölçümleri de TTGH özelliği göstermiştir (5). Elat Gölünde yüzey sıcaklığı 38°C ölçüldüğü anda 3 m derinde 50°C sıcaklık bulunduğu keşfedilmiştir.

Sıcaklık değişimleri kısaca belirtilen bu beş gölden başka, A.B.D.'de: Sıcak Göl (Hot Lake), (6); Büyük Tuz Gölü (Great Salt Lake) (7), Salton Denizi (8); Uganda'da Mahega Gölü (9); Venezuela'da Los Roques Gölü (10)'nün de TTGH özelliği gösterdiği rapor edilmektedir.

Yukarda belirtilen doğal TTGH sistemlerine ek olarak: İsrail (11), S.S.C.B. (12), A.B.D. (13), Hindistan (14), İngiltere (15), Kanada (16), ve İtalya (17) başta olmak üzere pek çok ülkede yapay TTGH sistemleri üzerinde yoğun çalışmalar sürdürülmektedir.

Ülkemizde TTGH sistemlerine ilişkin birkaç çalışmaya literatürde rastlanmaktadır (1), (18), (19). Bunlardan Çukurova Üniversitesi kampusunda inşa edilen 4,75x4,75x1,5 m³ ebadlarındaki TTGH sistemi örnek bir deneysel çalışmadır (19). Bu deneysel çalışmada, başlangıçta oluşturulan merdiven tipi tuz gradyanının zaman içindeki sonumu Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2.- Çukurova Üniversitesi TTGH sisteminde yoğunluk ve konsantrasyonun derinlikle değişimi, (M=18; h=1,44 m; [19]).

Şekil 2'yi incelemeyen önce konsantrasyonun derinlik ve zamanla değişimine göz atmakta yarar bulunmaktadır.

2.KONSANTRASYON PROFİLİ

Şekil 2'de görülen merdiven tipi bir tuz konsantrasyonu kendi haline bırakılırsa ne olur? Haliyle uniform bir konsantrasyon beklenmektedir. Bu oluşum sürecinin büyüklüğü ve konsantrasyon profili Fick difüzyon kanunundan bulunabilir (16). TTGH sistemlerinde esas sorun tuz gradyanının oluşturulmasından ziyade bunun korunmasıdır. Aksi halde tuz gradyanı bozulmakta ve sistem işlemez hale gelmektedir. Yalıtkan tabakada oluşturulan yoğunluk gradyanının korunması için ileri sürülen yöntemleri üç grupta toplayabiliriz: a) yüzeyi yıkama metodu (20); b) alçalan havuz metodu (21); c) enjeksiyon metodu (22). Ancak burada kendi haline bırakılmış bir TTGH sisteminde konsantrasyonun derinlik ve zamanla değişimi üzerinde durulmaktadır.

Fick difüzyon kanununa göre,

$$\partial q / \partial t = \alpha \cdot \partial^2 q / \partial z^2 \quad (1)$$

yazılmaktadır. Yalıtkan tabakanın z=0 düzlemleriyle sınırlandırıldığını ve bu sınırlarda tuz difüzyonu olmadığını hatırlarsak,

$$\partial q / \partial z \Big|_{z=0} = 0 \text{ ve } \partial q / \partial z \Big|_{z=h} = 0 \quad (2)$$

ile verilen iki sınır şartı ortaya çıkar. Denklem (1), birimsiz parametreler cinsinden yeniden yazılırsa,

$$\partial q^* / \partial t^* = \partial^2 q^* / \partial z^{*2} \quad (3)$$

elde edilir. Denklem (3)'ün çözümü:

$$q^*(z^*, t^*) = f(z^*) \cdot g(t^*) \quad (4)$$

biçiminde düşünülür ve yukarda yerine yazılırsa,

$$g^{-1} \cdot (dg/dt^*) = f^{-1} \cdot (d^2 f/dz^{*2}) \quad (5)$$

bulunur. Birinci taraf sadece t* ve ikinci taraf sadece z* parametresine bağlı olduğundan dolayı her iki tarafın aynı bir sabite eşit olması gereklidir. Bu sabit -K² olsun. Böylece problem,

$$g^{-1} \cdot (dg/dt^*) = -K^2 \quad (6)$$

$$f^{-1} \cdot (d^2 f/dz^{*2}) = -K^2 \quad (7)$$

denklemlerine indirgenmiş olur. Denklem (6) ve denklem (7)'den,

$$g(t^*) = A \cdot \exp(-K^2 \cdot t^*) \quad (8)$$

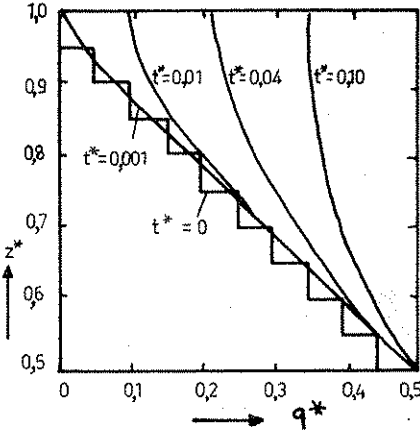
$$f(z^*) = B \cdot \sin(K \cdot z^*) + C \cdot \cos(K \cdot z^*) \quad (9)$$

ifadeleri bulunmaktadır. Merdiven tipi başlangıç konsantrasyon profili ve sınır şartlarıyla konsantrasyon profilinin diagonale göre simetrik olması A, K, B, C sabitlerinin bulunmasına yeterlidir. Gerekli işlemlerden sonra,

$$q^* = 0,5 \frac{2}{\pi \cdot (M-1)} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cot \left[\frac{(2m-1)\pi}{2M} \right]}{2m-1} \cos \left[\frac{(2m-1)\pi z^*}{2} \right] e^{-(2m-1)^2 \cdot \pi^2 \cdot t^*} \quad (10)$$

ifadesi bulunmaktadır (16).

Denklem (10) ile verilen konsantrasyon profili $q^*(z^*, t^*)$: $t^*=0,1-0,4-0,01-0,001$ ve $M=20$ değerleri için hesaplanırsa Şekil 3 elde edilir. Bu şeklin incelenmesinden t^* arttıkça eğrilerin düzleştiği, yeterince uzun bir süre sonra havuzun her tarafının homojen bir hal aldığı ve $q^*=0,5$ olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.- NaCl kullanılan tipik bir TTGH sisteminde hesaplanan konsantrasyon profilleri ($M=20$; $h=1$ m.; [16]).

Şimdi, Çukurova Üniversitesi kampusunda inşa edilen TTGH sistemiyle ölçülen ve Şekil 2'de verilen yoğunluk (ve konsantrasyon) profili, benzer koşullara sahip bir TTGH sisteminin Şekil 3'de verilen teorik konsantrasyonuna ait eğrilerle karşılaştırılabilir. Bu iki şeklin incelenmesinden açıkça görüleceği üzere, deneysel olarak elde edilen profil, teorik olarak beklenenin tam tersi bir davranış göstermektedir. $t^*=0$ zaman başlangıcında (4 Mart) Şekil 2'deki gibi merdiven tipi oluşturulan ($M=18$) yoğunluk gradyanı 13 Mart'ta hemen hemen düzleşmektedir. 26 Mart ve 17 Nisan'daki ölçümlere göre çizilen eğriler merdiveni alt bölgesine kaymaktadır. $\alpha=1,68 \cdot 10^{-9}$ m²/s; $h=1,44$ m. ($=0,08 \cdot 18$); $t^*=0,01$ yazılırsa $t=1,234 \cdot 10^6$ s veya 14 gün civarında çıkmaktadır ki bu 4-13 Mart arasındaki 10 günlük süreden biraz fazladır. Bu fark Şekil 3'deki teorik profilin $M=18$ ve $h=1,44$ m yerine $M=20$ ve $h=1$ m için çizilmiş olmasıyla açıklanabilir. Açıklanması zor olan konu $t^*>0,001$ için elde edilen deneysel eğrilerin merdivenin ($t^*=0$) alt bölgesine kaymasıdır. Teorik olarak bu çelişki açıklanamamaktadır. Zira bu deney havuzunda, birimsiz t^* zamanı ve dolayısıyla t zamanı yeteri kadar büyüse dahi, tuz çözeltisinin her yerinde konsantrasyonun aynı ve $q^*=0,5$ olması

mümkün olamamaktadır. Teoriyle deneyin bu ilişkisi muhtemelen bu havuzda, 4 Mart ile 25 Nisan arasında tabandan ortalama günde $0,1$ m³ sızdığı saptanan kuvvetli çözelti ile ilgili bulunmaktadır.

Şekil 2'nin incelenmesinden 17 Nisan'da yüzeyde yaklaşık 0,2 m, tabanda ise yaklaşık 0,15 m kalınlıkta iki iletken tabaka oluştuğu görülmektedir. Bu havuzun tabandan itibaren 0,5 m kalınlıktaki bölgede, birim zamanda birim alanda depolanan ısı enerjisinin yüzeye gelen ısıtım enerjisinin ortalama %30 kadarı olduğu belirtilmektedir (19). Depolanan ısı enerjisinin çekilmesi için en uygun konum alt iletken tabakayla yalıtkan tabakanın arakesitidir. Bu nedenle 0,5 m yerine 0,15 m değerinin alınması daha uygun olurdu. Buna ilave olarak, deneysel havuzun üst iletken tabakası hayli fazla kalındır. Özellikle rüzgarın neden olduğu bu tabakanın TTGH sistemi performansı üzerine etkisi çok fazladır. Örneğin 0,1 m'lik bir üst iletken tabaka, alt iletken tabakanın ortalama sıcaklığını, üst iletken tabaka olmaması haline kıyasla, %10 dan fazla azaltmaktadır (1).

3. SICAKLIK PROFİLİ

Öte yandan Çukurova Üniversitesi TTGH sisteminde tabandan 0,5 m yukarıda ölçülen havuz sıcaklığının zamanla değişiminin,

$$T(t) = 0,52 \cdot t(\text{gün}) + 18 \quad (11)$$

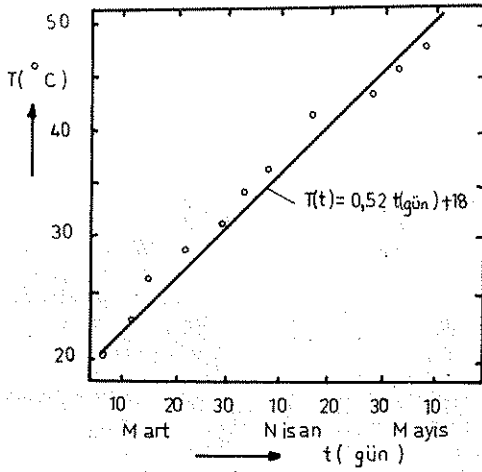
olduğu belirtilmektedir (19). Bu durum Şekil 4'de görülmektedir. Mart-Nisan ve Mayıs aylarındaki sadece 70 günlük dar bir dönemi kapsayan bu ölçümler, denklem (11) ile belirtilen doğrusal bağlantıya uygun düştüğü halde, yıllık dönemlere ait ölçümlerin periyodik fonksiyonlara göre değiştiği saptanmaktadır (1),

$$T(t) = \bar{T} + \tilde{T} \cdot \exp i(\omega t - \delta) \quad (12)$$

Denklem (12)'de görülen $\bar{T}$, $\tilde{T}$ ve δ 'nın bulunması prensip olarak: çevre sıcaklığı, havuz yüzeyine ulaşan ısıtım enerjisi ve havuzdan çekilen ısı miktarının periyodik ölçümlerinden hesaplanabilmektedir (23). 1980'de Hamburg'da tebliğ olarak sunulan Çukurova Üniversitesi TTGH sistemine ilişkin bulgu ve bilgiler, Kaynak (1) ve (23) de belirtilen yöntemlerle değerlendirilip denklem (12) ile verilen sıcaklık profili elde edilmesine yetecek kadar parametre ihtiva etmediğinden, bu hususta daha fazla yorum yapılamamaktadır.

4. SONUÇ

TTGH sistemleri henüz yeni bir teknoloji olup, bunlara ilişkin sorunların başında: serbest sıvı yüzeyindeki olayların (rüzgar, buharlaşma, donma) kontrolü; havuz suyu geçirgenliğinin artırılması (havuzda üreyen biyolojik canlıların önlenmesi, çöpler v.b.); tuz konsantrasyonunun korunması yöntemlerinin geliştirilmesi; havuzda ve zeminde ısı depolama sorunları; havuz modelleri (İsrail tipi, A.B.D. tipi, çift-zarlı tip, koloitli



Şekil 4.- Çukurova Üniversitesi TTGH sisteminde tabandan 0,5 m yukarıda ölçülen sıcaklık değerleri [19].

tip, sağ güneş havuzu tipi) üzerindeki eksiklikler sayılmaktadır.

Düşük sıcaklık gerektiren pekçok uygulamada (sera ısıtma, sebze ve meyve kurutma, sıcak su ve endüstri için proses ısısı üretimi) yapay ve mümkünse doğal güneş havuzları kullanılabilir. Metinde belirtilen doğal TTGH sistemlerinin hemen hepsinde görülen ortak özellik, çözeltinin serbest yüzeyinin taze suyla yıkanmasını sağlayan bir akarsuyun varlığı ve zeminin jeolojik yapısı nedeniyle tabanda artan tuz konsantrasyonu oluşmasıdır. Bu tür doğal TTGH sistemlerinin ülkemizde de bulunması muhtemeldir. Göllerimizin TTGH özelliği gün ışığına çıkarıldığında, bunlardan ısı ve elektrik enerjisi üretimi konusunda uluslararası işbirliği olanakları da vardır. Sonuç olarak, yapay ve doğal TTGH sistemlerini araştırmalı ve kendi koşullarımıza uygun uygulamalara başlamalıyız.

SEMBOLLER

A, B, C, K	= sabitler
h	= havuz derinliği, m
M	= havuzdaki tabakalaşma sayısı
q	= herhangi bir andaki konsantrasyon, (kg tuz/m ³ çözelti)
q₁	= tabandaki en kuvvetli çözelti konsantrasyonu, (kg tuz/m ³ çözelti)
q*	= q/q_1 , herhangi bir andaki birimsiz konsantrasyon
t	= merdiven tipi konsantrasyon oluşturulduğu $t=0$ anından itibaren ölçülen zaman, (s veya gün)
t*	= $\alpha \cdot t/h^2$, herhangi bir andaki birimsiz zaman
w	= $2\pi/365$, periyodik sıcaklık çarpıntısı, (rad/gün)

z	= havuz tabanından itibaren ölçülen derinlik, (m)
z*	= z/h , birimsiz derinlik
α	= tuz difüzyon katsayısı (m ² /s)
δ	= periyodik olarak değişen yalıtkan tabaka sıcaklığı ile havuz yüzeyine ulaşan ışınım şiddeti arasındaki faz farkı, (gün veya ^o)
T(t)	= herhangi bir andaki yalıtkan tabaka sıcaklığı, (^o C)
$\bar{T}, \tilde{T}$	= periyodik sıcaklık fonksiyonunun ortalama ve maksimum değerleri, ^o C

KAYNAKLAR

1. S.Eyice, H.Külünk, Tuz Tabakalı Güneş Havuzlarının İncelenmesi, Kocaeli Matbaası, İzmit, 1983.
2. Y.Kalecsinky, Annals Der Physik, V.4 (1902) 408.
3. M.Rozsa, Physik, Zeitschr, V.16 (1915) 108.
4. J.R.Hull, Physics of The Solar Pond, Ph.D. Thesis, Iowa State University, U.S.A., 1979.
5. F.D.Por, Nature, 218, 860 (1968).
6. G.C.Anderson, Limnology and Oceanography, V.3(1958) 259.
7. The Solar Thermal Report, Seri-Eg-77-C-10-4042, V.1, No.1, 1980.
8. The Salton Sea Solar Pond Project, JPL: 400-70, California, U.S.A., 1980.
9. J.M.Melack, P.Kilham, Lake Mahega: A Mesotrophic Sulfatochloride Lake in Western in Weston Uganda, African J. of Tropical Hydrobiology and Fisheries, V.2 (1972) 141.
10. P.P.Hudec, P.Sonnefeld, Science, 185, 440, 1974.
11. H.Tabor, Science Journal, V.2, No.66 (1966).
12. V.N.Eliseev, L.N. Teslenko, Gelioteknika, 7, 4, 17 (1971).
13. A.Rabl, C.E.Nielsen, Solar Energy, 17, 1 (1975).
14. G.C.Jain, Heating of solar ponds, Paris Congress on Solar Energy, 1973.
15. H.C.Bryant, I.Colbeck, Solar Energy, 19(1977) 321.
16. N.Chepurnity, S.B.Savagè, Solar Energy, 17(1975) 203.
17. G.Latini, M.Pacetti, P.Principi, Conference on Non-conventional Energy Sources and Summer Workshop on The Physics of Nonconventional Energy Sources, Trieste, Italy, 1983.
18. Ö.Arıcı, Makina ve Teknik, 9-10(1977) 27.
19. A.Vatansever, Third International Solar Forum, Hamburg, 1980.
20. H.Weinberger, Solar Energy, 8(1964) 45.
21. H.Tabor, R.Matz, Solar Energy, 9(1965) 177.
22. C.E.Nielsen, et al., Solar Energy, 19(1977) 763.
23. S.Eyice, H.Külünk, Second International Solar Energy Congress, Istanbul, 1983.