İKİ FAZLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN İNCELENMESİ†

Investigation of two-phase solar collector†

Orhan BÜYÜKALACA
Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Ülkemiz büyük güneş enerjisi potansiyeline rağmen, bu enerjiden gerektiği kadar faydalanamamaktadır. Bunun başlıca sebebi halen güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan güneş kollektörlerinin başta don tehlikesi olmak üzere, korozyon, kireçlenme ve ters çevrimle geceleri depo suyunun soğuması dezavantajlarının olmasıdır. Bu çalışmada güneş enerjisinden faydalanmada yeni bir alternatif olarak ortaya konulan iki fazlı güneş kollektörleri ele alınmıştır. Önce iki fazlı güneş kollektörünün teorik bir modeli oluşturulmuş, sistemin verimini belirleyen önemli fiziksel ve geometrik parametrelerin etkisi araştırılmış, elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca küçük bir iki fazlı güneş kollektörü imal edilerek, deneysel bulgular elde edilmiş ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar arsında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

ABSTRACT

Although solar energy is abundantly available in our country, this energy potential is not being utilized at a sufficient level presently. The main reasons for this unwise situation are some problematic disadvantages associated with the currently used solar collectors such as the possibility of occosional freezing, corrosion, calfication due to calcine water in the pipes, and the cooling of stored water owing to reverse cycling at night. In this study, a two-phase solar collector has been investigated as a new alternative in solar energy utilization. Firstly, a theoretical model for

---

† Yüksek Lisans Tezi - MSc. Thesis

two-phase solar collector has been developed. The effects of governing physical and geometric parameters on the efficiency of the collector are examined and the results are presented in graphical forms. A small two-phase solar collector has been constructed, and the results of experimental measurements on it have been compared with the theoretical findings. A good agreement has been observed between experimental and theoretical results.

1. Giriş

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak enerji tüketimi artmaktadır. Bu tüketimi karşılamak için günümüzde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalara hız verilmiş durumdadır. Güneş enerjisi ; bedava, yenilenebilen, temiz enerji kaynağı oluşunun yanında, nakletme probleminin olmayışı, yerel uygulamalara müsait oluşu, karmaşık teknoloji gerektirmemesi ve tesis bakım masraflarının az olması gibi üstünlükleri sebebiyle son zamanlarda üzerinde en çok durulan enerji kaynağı olmuştur.

Güneş enerjisinin bugünkü durumuyla ülkemizde en yaygın kullanım alanı sıcak su elde edilmesidir. Bu amaçla da en çok düzlem levha güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Sıcak su elde edilmesi genelde açık ve kapalı devre olmak üzere iki ayrı sistemle yapılmaktadır. Açık devreli sistemlerde kullanılacak su doğrudan kollektör içinden geçmektedir. Bu yüzden bu kollektörlerde don tehlikesinin yanında kireçlenme ve korozyon da görülmektedir. Don, korozyon ve kireçlenme tehlikelerine karşı ise kapalı devre sistemler kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin verimi açık sistemlerde ulaşılanın %70'i kadardır (AKYURT, 1984). Ayrıca her iki sistemde depo içindeki su en yüksek bir sıcaklığa çıktıktan sonra, kollektördeki serbest su dolaşımının tersine dönmesi ve böylece depodaki sıcak suyun soğuması ihtimali vardır.

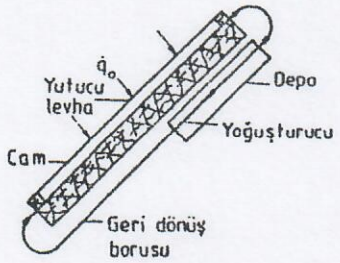
Yukarıda bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak için son zamanlarda iki fazlı güneş kollektörleri üzerinde durulmaktadır. Bu sistemlerde, kollektör üzerine güneş ışınımı gelince çalışma akışkanı (R11, R113, R114, metonol,etanol ve aseton) sıvı fazdan buhar fazına geçer. Akışkan kendi buhar basıncı ile su deposu içindeki eşanjöre doğru hareket eder. Burada ısısını veren akışkan sıvı faza geçer, yerçekimi kuvvetiyle tekrar kollektöre döner ve böylece çevrim devam eder. İki fazlı sistemlerde ısı transferi buharlaşma ve yoğuşma gizli ısılarıyla gerçekleşir. Bunlarda kullanılan çalışma akışkanlarının özgül ısıları düşük olduğundan, sıvı çok çabuk olarak buharlaşma sıcaklığına kadar ısınıp buharlaşmaktadır. Bu da iki fazlı sistemlerin reaksiyon zamanının kısa olması demektir.

İki fazlı güneş kollektörleriyle ilgili ilk çalışmalar SOIN (1979) tarafından yapılmıştır. DOWNING ve WALDIN (1980) tarafından bildirildiğine göre "Refrigeration Research Inc." de R11 li iki fazlı kollektörler ile eşanjörlü kollektörler deneysel olarak karşılaştırılmış ve 1. nin veriminin %34 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Freonların iki fazlı sistemlere uygunlukları da DOWNING ve WALDIN (1980) tarafından ortaya konmuştur. R11 li ve glykol-su karışımlı sistemler BOTTUM (1981) tarafından da incelenmiştir. Bu araştırmacı da iki fazlı sistemlerin veriminin diğerine göre günün erken saatlerinde %100, geç saatlerinde ise %28 daha yüksek olduğunu bildirmiştir. İki fazlı güneş kollektörleri üzerine teorik ve deneysel bir çalışma AL-TAMIMI ve CLARK (1984) tarafından yapılmıştır. Bu yazarlar da iki fazlı güneş kollektörü verimlerinin kapalı devre sistemlere göre yaklaşık iki kat iyi olduklarını ve kollektörde yutucu levha ile doyma sıcaklığı arasındaki farkın ortalama $4^{o}C$ ile $6^{o}C$ arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Yukarıda verilen kaynaklardan iki fazlı güneş kollektörleriyle ilgili bazı deneysel çalışmalar mevcut olduğu halde, uygun bir modelin oluşturulup, teorik bir hesaplamanın yapılmadığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, bir iki fazlı güneş kollektörünün önce teorik bir modeli oluşturulmuş, değişik durumlarda sistem parametrelerinin verime etkisi incelenmiştir. Ayrıca R11 kullanılarak küçük bir iki fazlı güneş kollektörü imal edilerek, deneyler yapılmıştır.

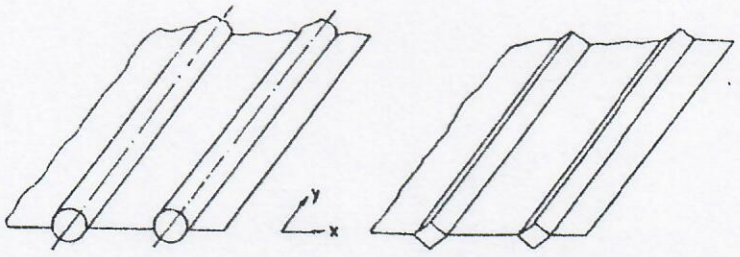
2. Teorik Modelleme

Şekil 1 de teorik modellemesi yapılan sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. İki fazlı güneş kollektörü.

Teorik modelin yine de karmaşık olması dolayısıyla yoğuşturucu kısmı hesaplara dahil edilmeyecek, sadece kollektör kısmı dikkate alınacaktır. Bu durumda yutucu levha ve borusu ile yaklaşık modeli şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yutucu levha ve borusu ile yaklaşık modeli.

Kollektördeki ısı transferinin hesaplanmasında kullanılacak diferansiyel denklemleri çıkarabilmek için aşağıdaki varsayımların yapılması gerekmektedir :

1) Kollektör boyunca doyma basıncı, levha ve boru cidar sıcaklıkları sabittir.

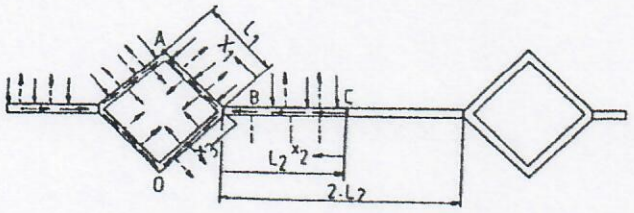
2) Boru cidar eğriliği ihmal edilerek bir düzlem gibi düşünülecektir.

3) Kollektördeki sıcaklıklar zamana göre değişmemektedir.

4) Kollektör yan kısımlarından ısı kaybı ihmal edilecek, üst kısımdan ısı kaybı ışınım ve konveksiyon, alt kısımdan da yalnız iletim yoluyla olmaktadır. Konveksiyonla ısı transferi katsayısı sıcaklıkla değişmemektedir.

5) Levha ve cidar kalınlığında sıcaklık gradyanı yoktur.

Bu varsayımlarla yutucu levha şekil 3 te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Kollektör yutucu levha ve borusunda ısı akış yönleri.

Isı transferini hesaplamak için değişik aralıklarda aşağıdaki eşitlikler yazılabilir :

A-B arasında :

$$\lambda_1 . S_1 . \frac{d^2T_1}{dx_1^2} = k_d . (T_1 - T_d) + \varepsilon_{t,1} . \sigma . (T_1 - T_a) . T_a^3 . 4 . f(T_1/T_a) + \varepsilon_{t,1} . \sigma .$$

$$(T_a^4 - T_d^4) + \alpha_b . (T_1 - T_a) - (a\tau) . \dot{q}_o \qquad (1)$$

B-C arasında :

$$2 . \lambda_2 . S_2 . \frac{d^2T_2}{dx_2^2} = k_d . (T_2 - T_d) + \varepsilon_{t,2} . \sigma . (T_2 - T_a) . T_a^3 . 4 . f(T_2/T_a) + \varepsilon_{t,2} .$$

$$(T_a^4 - T_d^4) + k_{a,d} . (T_2 - T_a) - (a\tau) . \dot{q}_o$$

B-D arasında :

$$\lambda_1 . S_1 . \frac{d^2T_3}{dx_3^2} = \alpha_b . (T_3 - T_a) \qquad (3)$$

(1) ve (3) eşitlikleri için

$$f(T/T_a) = [\,(T/T_a)^3 + (T/T_a)^2 + (T/T_a) + 1\,]/4 \qquad (4)$$

olarak tanımlanmıştır.

Eşitlikler için sınır şartları da şöyledir :

$$x_1 = L_1 \quad ; \quad \frac{dT_1}{dx_1} = 0$$

$$x_2 = 0 \quad ; \quad \frac{dT_2}{dx_2} = 0$$

$$x_3 = L_1 \quad ; \quad \frac{dT_3}{dx_3} = 0 \qquad (5)$$

$$x_1 = 0 \quad , \quad x_2 = L_2 \quad ; \quad T_1 = T_3$$

$$x_2 = L_2 \quad , \quad x_3 = 0 \qquad ; \quad T_2 = T_3 \quad .$$

$$x_1 = 0 \quad , \quad x_2 = L_2 \quad , \quad x_3 = 0 \quad ; \quad 2.\lambda_2.S_2.\frac{dT_2}{dx_2} = \lambda_1.S_1.\left(\frac{dT_1}{dx_1} + \frac{dT_3}{dx_3}\right)$$

Bu eşitliklerde ; T_1 boru üst, T_2 levha, T_3 boru alt, T_a akışkan, T_d dış ortam sıcaklığını, S_1 ve S_1 borunun, λ_2 ve $2.S_2$ de levhanın ısı iletim katsayısını ve cidar kalınlığını göstermektedir. k_d kollektör üst kısmından dış ortama konveksiyonla, $k_{a,d}$ kollektör alt kısmından dış ortama toplam ısı transferi katsayısı, $\varepsilon_{t,1}$ ve $\varepsilon_{t,2}$ sırasıyla boru ve levha ile dış ortam arasındaki [illegible] ve σ Stefan-Boltzmann sabitesidir.

Yukarıdaki diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için buharlaşmadaki ısı transferi katsayısı α_b nin hesaplanması gereklidir. Boru içinde buharlaşma [illegible] serbest konveksiyonla, daha sonra da kabarcıklı buharlaşma ile [illegible]. Serbest konveksiyonla buharlaşma normal olarak kabarcıklı bölgede [illegible]. α_b nin hesaplanması için buharlaşma olayı incelenerek hesaplamalar [illegible] serbest konveksiyon bölgesinde

$$\alpha_b = W_1.(T-T_a)^{1/3} \qquad (6)$$

ve kabarcıklı buharlaşma bölgesinde

$$\alpha_b = W_2.(T-T_a)^4 \qquad (7)$$

ifadeleri bulunmuştur. Bunlarda W_1 ve W_2 sistemde kullanılan çalışma akışkanının fiziksel ve termodinamik özelliklerine bağlı katsayılardır. W_1 ve W_2 nin bulunabilmesi için öncelikle kullanılan çalışma akışkanının fiziksel ve termodinamik özelliklerinin sıcaklıkla değişiminin bilinmesi gereklidir.

Ucuz, temininin kolay olması yanında 1 Bar'da buharlaşma sıcaklığının 23,68°C olması dolayısıyla deneysel çalışmalarda kolaylık getirmesi gibi avantajları sebebiyle, bu çalışmada ısı taşıyıcı akışkan olarak R11 seçilmiştir. Verilen hesap yöntemi diğer akışkanlara da aynı şekilde uygulanabilir.

Bilgisayar kullanımının mümkün olabilmesi için R11 in önemli fiziksel ve termodinamik özellikleri Kali-Chemie A.G. (1978) tarafından verilen tablolardan alınarak eşitlikler haline getirilmiştir. Bu eşitliklerden faydalanılarak R11 için α_b, T_a ve $T-T_a$ sıcaklık farkının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

durum dikkate alınmıştır. Bunlardan birincisi

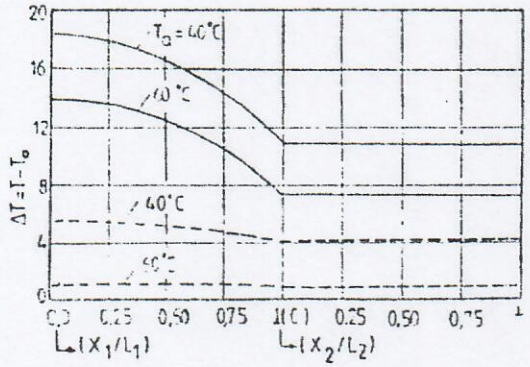
$$\dot{q}_o = 1000\ W/m^2K\ ,\ T_d = 40^oC\ ,\ k_d = 1,78\ W/m.K\ ,\ \varepsilon_{t,1} = \varepsilon_{t,2} = 0,119$$

değerleri ile iyi durum, diğeri ise

$$\dot{q}_o = 500\ W/m^2K\ ,\ T_d = 10^oC\ ,\ k_d = 2,65\ W/m.K\ ,\ \varepsilon_{t,1} = \varepsilon_{t,2} = 0,618$$

değerleri ile kötü durumdur.

Şekil 4 te iyi ve kötü şartlar altında çalışmada levha ve boru sıcaklık dağılımı akışkan sıcaklığının 40^oC ve 60^oC olması durumu için verilmiştir. Bu şekilden boru cidarında sıcaklık dağılımının yaklaşık sabit kaldığı görülmektedir. Diğer çeşitli parametreler için hesaplanan sıcaklık dağılımlarının da benzer eğriler verdiği görülmüştür.



Şekil 4. Kollektörde sıcaklık dağılımı. (——— İyi durum, - - - - Kötü durum)

Yapılan hesaplamalar sonucu piyasada bulunan borular için t_1, S_1 ve ayrıca normal yalıtım kalınlıklarında ise $k_{a,1}$ nin etkisinin diğerleri yanında ihmal edilebilecek mertebede olduğu görülmüştür.

Şekil 5 te iyi şartlarda, şekil 6 da da kötü şartlarda boru iç çapının 4-12 mm arasında değişmesinin verime etkisi verilmiş, çapın 6 mm civarında seçilmesinin uygun olacağı görülmüştür.

Borular arasındaki mesafenin verime etkisi iyi şartlar için şekil 7 de, kötü şartlar için ise şekil 8 de gösterilmiştir. Buradan özellikle kötü şartlarda borular arasındaki mesafenin çok etkili olduğu, aralığın 2-5 cm arasında olması gerektiği görülmektedir.

Şekil 9 ve şekil 10 da iyi ve kötü şartlarda yutucu levha ısı iletim

2.1. Verimin Hesaplanması

Kollektör verimi hem kayıp ısıların yardımıyla hem de borulardan akışkana transfer edilen ısı yardımıyla hesaplanabilir. Burada 2. yoldan faydalanılacaktır.

Kollektör verimi η, $\dot{Q}_y$ ısı taşıyıcı akışkana geçen yararlı ısı, $\dot{Q}_o$ kollektör üst örtüsüne gelen güneş ışınımı olmak üzere

$$\eta = \dot{Q}_y / \dot{Q}_o \tag{8}$$

şeklinde yazılır. Yararlı ısı

$$\dot{Q}_y = B.\left[\int_o^{L_1} \alpha_b.(T_1 - T_a).dx_1 + \int_o^{L_1} \alpha_b.(T_3 - T_a).dx_3 \right] \tag{9}$$

eşitliğiyle ve kollektör üst örtüsüne gelen güneş ışınımı ise

$$\dot{Q}_o = \dot{q}_o.B.(L_1 + L_2) \tag{10}$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. B kollektör uzunluğu, $\dot{q}_o$ ise kollektör üst örtüsüne gelen güneş ışınım şiddetidir.

Kollektörde sıcaklık dağılımının ve verimin bulunabilmesi için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programda diferansiyel denklemler verilen sınır şartları altında sonlu farklar metodu kullanılarak çözülmüş, verimin elde edilmesi için ise nümerik integrasyondan faydalanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları, Tartışma ve Sonuçlar

3.1. Nümerik Sonuçlar

İki fazlı güneş kollektöründe verim geometrik ve fiziksel büyüklüklerin fonksiyonudur. şu şekilde yazılabilir :

$$\eta = \eta/(a\tau) = f(\dot{q}_o, T_d, k_d, T_a, \varepsilon_{t,1}, \varepsilon_{t,2}, L_1, L_2, \lambda_1, \lambda_2, S_1, S_2) \tag{11}$$

Çeşitli parametrelerin verime etkisini gösterebilmek için, yutucu levha ve boru için aşağıdaki değerler alınmıştır :

$L_1 = 5{,}5.10^{-3}$m $\lambda_1 = 400$ W/m.K $S_1 = 1.10^{-3}$m

$L_2 = 5.10^{-2}$m $\lambda_2 = 200$ W/m.K $S_2 = 3.10^{-4}$m

$k_{a,d} = 0{,}8$ W/m.K

Dış ortam şartlarını belirleyen $\dot{q}_o$, T_d, k_d ve $\varepsilon_{t,1}$, $\varepsilon_{t,2}$ için 2 sınır

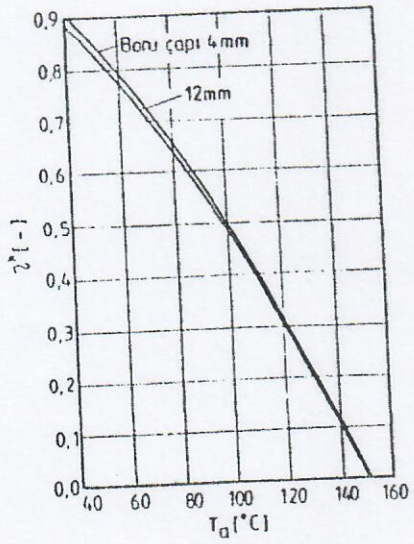
katsayısının etkisi araştırılmış ve yutucu levhanın alüminyum olmasının avantajlı olacağı görülmüştür.

Levha kalınlığının değiştirilmesiyle iyi ve kötü dış ortam şartlarında verim eğrilerinin durumu, şekil 11 ve şekil 12 de verilmiştir. Buradan levha kalınlığının 0,6 ile 0,8 mm civarında seçilmesinin gerektiği sonucuna varılmıştır.

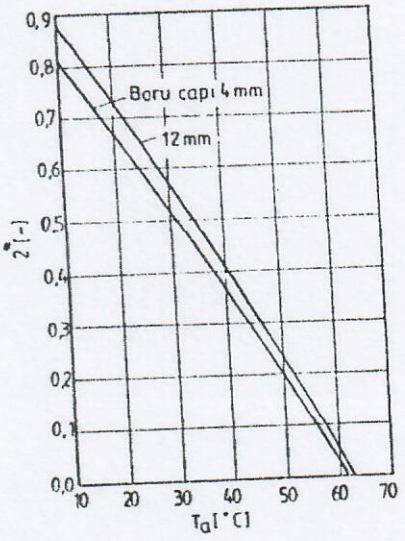
3.2. Deneysel Sonuçlar

Oluşturulan teorik modelin doğruluğunu anlamak için bir iki fazlı güneş kollektörü imal edilmiştir(şekil 13). Bu kollektörde R11 kullanılarak yapılan deneyler sonunda elde edilen sıcaklıklar şekil 14 de verilmiştir. Bu değerler ile BOTTUM (1981) tarafından verilen değerler arasında tam bir uyum vardır.

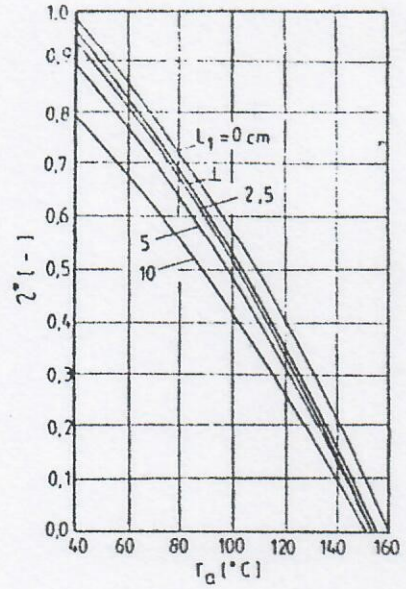
Elde edilen deneysel verilerden faydalanılarak teorik modelin doğruluğunu kontrol etmek için, imal edilen kollektörün fiziksel ve geometrik değerleri ile deney yapılan andaki atmosfer şartları teorik hesapların yaptırıldığı bilgisayar programına girilerek sıcaklıklar bulunmuştur. Buradan elde edilen sıcaklıklar ile deneysel sıcaklıklar şekil 15 de gösterilmiştir. Deneysel ve teorik değerler arasındaki fark max. %2 civarındadır.



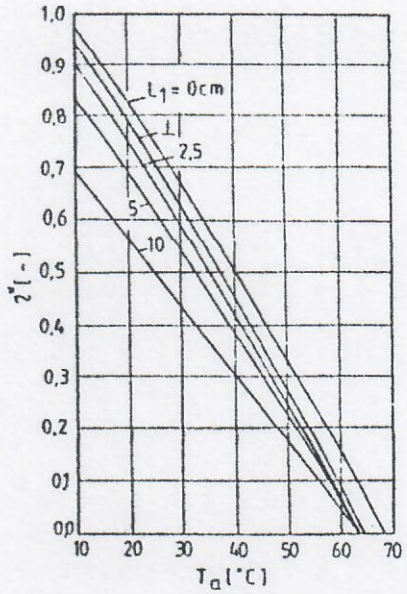
Şekil 5. İyi durumda verimin boru çapına göre değişimi.



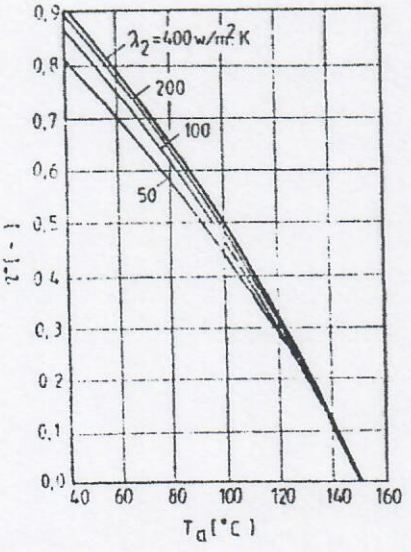
Şekil 6. Kötü durumda verimin boru çapına göre değişimi.



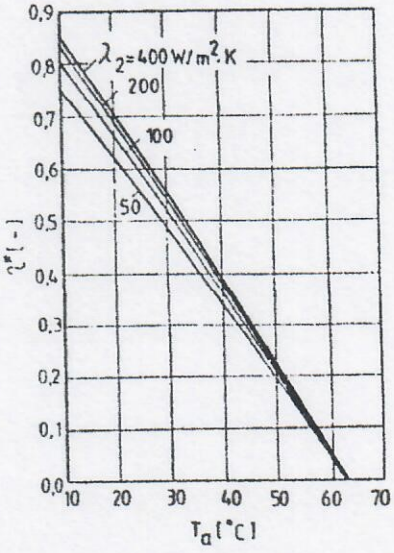
Şekil 7. İyi durumda verimin borular arasındaki mesafeye göre değişimi.



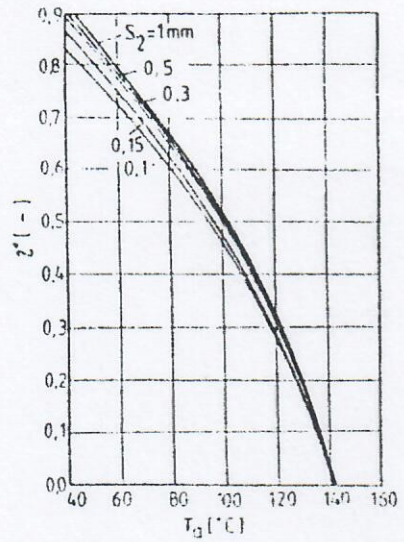
Şekil 8. Kötü durumda verimin borular arasındaki mesafeye göre değişimi.



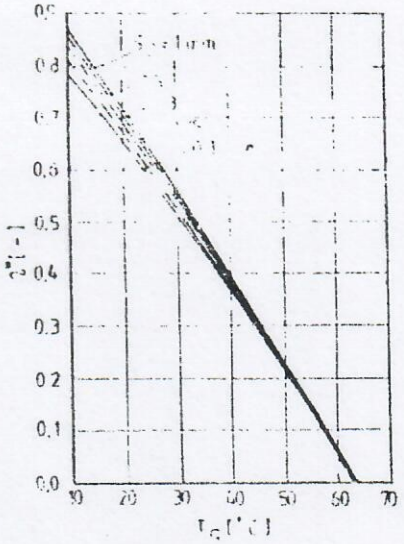
Şekil 9. İyi durumda verimin levha ısı iletim katsayısı ile değişimi.



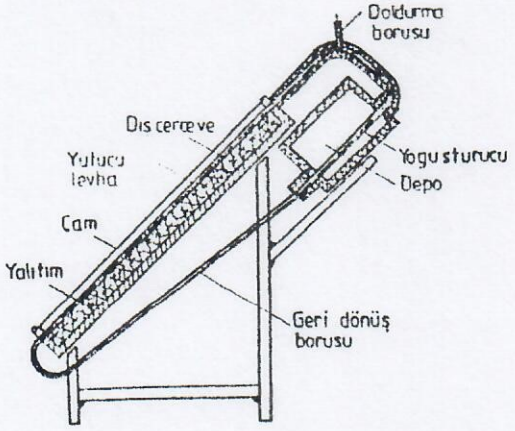
Şekil 10. Kötü durumda verimin levha ısı iletim katsayısı ile değişimi.



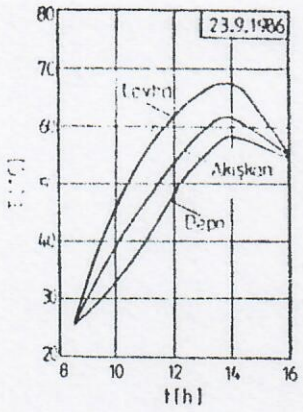
Şekil 11. İyi durumda verimin levha kalınlığı ile değişimi.



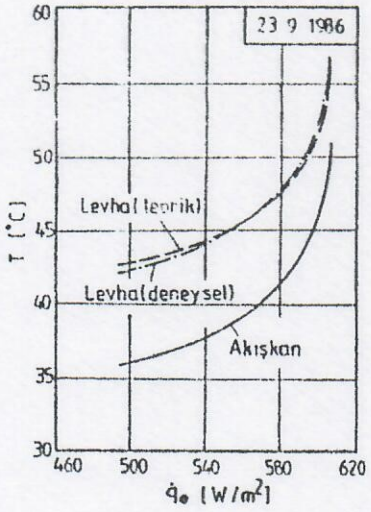
Şekil 12. [illegible] durumda verimin levha kalınlığı ile değişimi.



Şekil 13. İmal edilen iki fazlı güneş kollektörü.



Şekil 14. İmal edilen kollektörde ölçülen levha, akışkan ve depo suyu sıcaklıkları.



Şekil 15. Teorik ve deneysel levha sıcaklığının güneş ışınım şiddeti ile değişimi.

4. Kaynaklar

AKYURT, M., 1984. Development of Heat Pipes for Solar Heaters. Solar Energy Vol.32(5): 625-631.

AL-TAMIMI, A.I.,and CLARK, J.A., 1983. Thermal Analysis of a Solar Collector Containing a Boiling Fluid. Proceedings, American Solar Energy Society 1983 Annual Meeting. Minneapolis, MN.

BOTTUM, E.W., 1981., Refrigerant Charged Phase Change Solar Water and Space Heating Systems. ASHRAE Transactions 87. Part 2 :397-404.

DOWNING, R.C., and WALDIN, V.H., 1980. Phase-Change Heat Transfer in Solar Water Heating Using R11 and R114. ASHRAE Transactions 86. Part 1 : 848-856.

KALI- CHEMIE AG. 1978. Kaltron Tashenbuch.

SOIN, R.S., 1979. Performance of Flat-plate Solar Collector with Undergoing Phase Change. Solar Energy 23: 69-73.

F18

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çukurova University Institute of Science

FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Journal of Science And Engineering

Cilt : 1
Vol : 1

Sayı : 3
No : 3

1987
Adana