

SIVİLİ DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ ÜZERİNE PARAMETRİK BİR İNCELEME*

* Bu çalışma, Ege Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenen "Optimizasyonu" isimli araştırma projesinin bir bölümüdür.

Hüseyin GÜNERHAN

13 Nisan 1966 yılında İzmir'in Urla İlçesinde doğdu. 1984 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı. 1989 yılında Prof. Dr. Macit TOKSOY gözetiminde "Bir Faz Değişimli Enerji Deposunun Tasarımı" isimli lisans tezin yaptı. 31 Ocak 1990 yılında Makina Mühendisi unvanı ile Termodinamik ve Enerji Anabilim Dalı'ndan mezun oldu.

1990 yılında Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 30 Ocak 1990 yılında Araştırma Görevlisi oldu. Prof. Dr. Ing. Gürbüz ATAGÜNDÜZ gözetiminde "Bilgisayar Destekli Sivili Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Optimizasyonu" konulu Yüksek Lisans Tezi ve Ege Üniversitesi Araştırma Fonu'nun desteği ile aynı isim altında Proje Yürütücülüğü (Proje Numarası: GNE, 1991/001) yaptı. 3 Ağustos 1992 yılında Yüksek Mühendis unvanı ile Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı'dan mezun oldu. Şu anda aynı enstitüde "Doktora" yapmakta ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

ÖZET

Bu çalışmada, diğer aynı kalan şartlar altında, yani incelenen parametrelerden ikisi veya üçü değişken alınıp diğer parametreler sabit tutulduğunda, boru arası uzaklık, kollektör en/boy oranı ve soğurucu yüzey malzemesi gibi parametrelerin kollektör termik verim katsayısına etkisi, deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Amaç en/boy oranı, boru sayısı, iki boru arası uzaklık ve malzeme yönünden optimum (en uygun) bir sivili düzlemsel güneş kollektörü tasarlamaktır.

1- GİRİŞ

Bilindiği gibi, günümüzde güneş enerjisinden yararlanma en yaygın şekilde sivili düzlemsel güneş kollektörleri ile olmaktadır. Türkiye'de genelde, Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmış standartlar çerçevesinde kollektör üretimi yapılır.

Türk Standartlarında, kollektör brüt alanının ve soğurucu levha alanının alt sınırları sırasıyla, 1.73 m² ve 1.55 m² kullanılacak boru sayısının alt sınırı 8 adet. iki boru arası uzaklık için alt ve üst sınırlar ise, sırasıyla 6cm ve 12.5 cm olarak belirlenmiştir. (1) Türkiye' de güneş kollektörleri üreten 45 tane firma bazında, Ege Ü.Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından Aralık 1990- Mayıs 1991 döneminde yapılan bir ankette, üretici firmaların %34.09'unun 1.96*0.95 m² %20,45'inin 1,85 * 0,95 m², % 9,09'unun ise 1,94 * 0,94 * 0,94 m² ve 1,90 * 0,90 m² alanlara sahip güneş kollektörleri ürettikleri, kollektörlerde kullanılan boru sayılarının genellikle 8 ile 12 adet arasında ve üretilen kollektörlerin %34'ünün -ki bu en büyük yüzdendir- 12 adet borulu olduğu görülmüştür. (2)

Bu çalışmada, alüminyum soğurucu levha-alüminyum boru, alüminyum sistem ve bakır soğurucu levha-ba-kır boru, bakır-bakır sistem alınmış ve incelenen parametrelerden ikisi veya üçü değişken alınıp diğer parametreler sabit tutularak, boru sayısı, iki boru arası uzaklık, en/boy oranı ve soğurucu levha malzemesi gibi parametrelerin kollektör termik verim katsayısına ve kollektörden alınan ısı enerjisine etkisi, deneysel (3) ve teorik olarak incelenmiştir. Amaç; kollektör en/boy oranı, boru sayısı iki boru arası uzaklık ve malzeme yönünden optimum (en uygun) bir sivili düzlemsel güneş kollektörü tasarlamaktır.

2- TEORİK İNCELEMELER

Teorik incelemeye kanat teorisi esas alınmıştır. Çünkü, sivili düzlemsel güneş kollektörlerinde güneş enerjisini toplayan ve ısıtılmak istenen suya aktaran eleman, soğurucu levhaya birleştirilmiş borulardan oluşur. Burada levha- boru çifti kanat teorisine en yakın geometriyi vermektedir. (4, 5, 6, 7, 8)

2.1. Su Çıkış Sıcaklığı, Termik Verim Katsayısı ve Kollektörden Alınan Isı Enerjisi Hesabı

Kollektörden çıkan suyun sıcaklığını hesaplamak için, literatürde bulunan yöntemlerden (4) kanat teorisini baz alan uygun eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\frac{t_{\zeta} - t_a - q_p^* / \alpha}{t_{\xi} - t_a - q_p^* / \alpha} = \text{Exp}(-A_k \cdot \alpha \cdot F_c / (m^* \cdot C_w)) \quad (1)$$

(Bkz: 60)

Denklem (1) ile kolektörden çıkan suyun sıcaklığı, t_c , Denklem (2) ile termik verim katsayısı η , Denklem (3) ile kolektörden alınan ısı enerjisi, q_k , Denklem (4) ile de, soğurucu levhaya gelen güneş enerjisi, q_p^* ;

$$\eta = \frac{I t \beta^* \cdot A_k}{m^* \cdot C_w \cdot (t_c - t_g)} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$q_k = Fr \cdot (q_p^* - \alpha \cdot (t_g - t_a)) / (L \cdot G) \quad (W/m^2) \quad (3)$$

$$q_p^* = I t \beta^* \cdot d_{CAM} + \alpha \cdot (t_f - t_a) - \alpha_s \cdot (t_f - t_{CAM}) \quad (W/m^2) \quad (4)$$

Matematik modellemede, soğurucu levha altından ısı kaybı olmadığı (çok çok iyi yalıtım) kabul edilmiştir.

2.2. Yardımcı Eşitlikler

Teorik incelemeye ait eşitlikler Denklem (1,2,3,4) ile verilmiştir. Bu eşitliklere ait yardımcı eşitlikler ise, aşağıda verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} L_k &= L - 2 \cdot G \zeta & (m) &, G_k = G - 2 \cdot G \zeta & (m) \\ A_k &= L_k \cdot G_k & (m^2) &, E = G_k / n & (m) \\ m^* &= n \cdot V \cdot g \cdot D^2 \cdot \rho / 4 & (kg/s) &, m = [a / (b \cdot k)]^{0.5} & (m^{-1}) \end{aligned} \right\} (5)$$

$$F = \tanh [(m/2) \cdot (E - Da)] / [(m/2) \cdot (E \cdot Da)] \quad (-) \quad (6)$$

Denklem (6) kullanılarak, A_k , net alanına sahip bir sıvılı düzlemsel güneş kolektörünün F , kanat verimi

$$k_l = \frac{I}{(\alpha_s \cdot \pi \cdot D_i)^{-1} + (2 \cdot \pi \cdot k \text{ boru})^{-1} - I \cdot \ln(D_o/D_i)} \quad (W/mk) \quad (7)$$

Denklem (7) kullanılarak, birim uzunluk için k_l , toplam ısı transferi katsayısı,

$$Fe = \frac{(1/\alpha)}{\frac{E}{a \cdot (E - Da) \cdot F + Da} + \frac{E}{k_l}} \quad (-) \quad (8)$$

Denklem (8) ile kolektör verim faktörü, Fe , Denklem (9) ile de termik randıman katsayısı, Fr , hesaplanır.

$$Fr = \frac{m^* \cdot C_w \cdot (t_c - t_g)}{A_k \cdot (q_p^* - \alpha \cdot (t_g - t_a))} \quad (-) \quad (9)$$

2.3. Toplam Konvektif Isı Transferi Katsayısı ve Soğurucu Levhaya Gelen Net Enerji Hesabı

Dış ortam koşullarının kolektörde meydana getirdiği ısı kaybı hesabı için, dış ortam ısı transferi katsayısı, α dış, Denklem (10) ile, gökyüzü ile cam örtü arasındaki ısı transferi denklemi Denklem (11) ile ve buradan radyasyonla ısı transferi katsayısı, α_s , Denklem (13) ile verilmiştir.

$$\alpha_{dış} = 5.7 + 3.8 \cdot V_f \quad (W/m^2 K) \quad (10)$$

$$q_{GCAM}^* = \epsilon_{CAM} \cdot C_s \cdot [(T_g/100)^4 - (T_{CAM}/100)^4] \quad (W/m^2) \quad (11)$$

$$C_s = 5.667 \cdot W/m^2 K^4$$

$$T_g = 0.0552 \cdot T_a^{1.5} \quad (K) \quad (12)$$

$$\alpha_s = q_{GCAM}^* / (T_g - T_{CAM}) \quad (W/m^2 K) \quad (13)$$

$$\alpha = \alpha_{dış} + \alpha_{dış} \quad (W/m^2 K) \quad (14)$$

Denklem (14) ile toplam konvektif ısı transferi katsayısı hesaplanır.

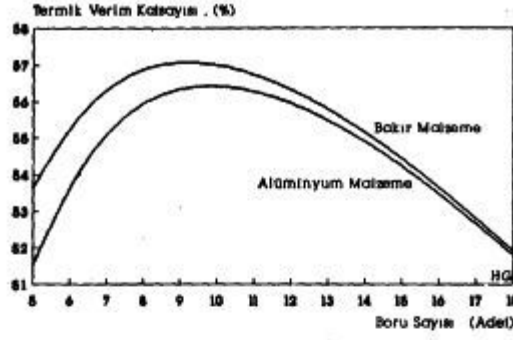
3- HESAPLAMALAR

Bölüm 2' de verilen teorik incelemeler yardımı ile, boru sayısı, iki boru arası uzaklık, kolektör boyu, kolektör eni ve kolektör alanı değişken alınarak, alüminyum ve bakır malzemeli kolektörler için termik verim katsayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ve bilgisayar programı çıktıları dikkate alınarak hazırlanan diagramlar Şekil 1'den Şekil 4'e kadar verilmiştir. Hesaplamalarda, Çizelge 1'de verilen giriş verileri kullanılmıştır. Teorik modelin çözümünde, incelenen parametrelerden ikisi veya üçü değişken alınıp diğer parametreler sabit tutulmuştur. Yani, modelin serbestlik derecesi 2 ile 3 arasında değişmektedir. Şekillerde, termik verim katsayısı değerleri %olarak gösterilmiştir. (3,4,5)

Şekil 1'de; Termik verim katsayısı, boru sayısı üzerine taşınmıştır. Alüminyum soğurucu levha ve alüminyum boru ile bakır soğurucu levha ve bakır boru malzemeli kolektörler için, boru sayısı 5 adetten 18 adete kadar değiştirilmiştir. Bu incelemenin serbestlik derecesi 2' dir. Boru sayısı ve soğurucu levha malzemesi değişken parametreler olarak alınmış, diğer parametreler sabit tutulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi, termik verim katsayısının aldığı en büyük değer bakır soğurucu levhada 9 adet ve alüminyum soğurucu levhada 10 adet boru sayısında olmaktadır.

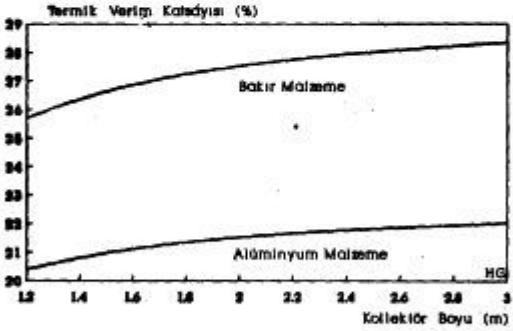
Çizelge 1. Güneş Kolektörü Tasarımı Bilgisayar Giriş Verileri

Deney Tarihi.....	28.09.1987	
Deney Yeri.....	Bornava -İzmir	
Çevre Sıcaklığı	32.0000	°C
Su Giriş Sıcaklığı	38.7900	°C
Kolektör Çerçeve Kalınlığı	0.0250	m
Kolektör Soğurucu Levha Kalınlığı	0.0015	m
Boru Dış Çapı	0.0172	m
Boru İç Çapı	0.0148	m
Rüzgar Hızı	2.0000	m/s
Gelen Toplam Güneş Radyasyonu	790.1100	W/m ²
Kolektör Brüt Boyu	2.0000	m
Kolektör Brüt Eni	1.0000	m
Kolektör Net Alanı	1.8525	m ²
Toplam Su Debisi	0.0371	kg/s
Soğurucu Levhaya Gelen Toplam Net Enerji.....	788.0294	W/m ²
Toplam Konvektif Isı Transferi Katsayısı.....	18.9007	W/m ² K
Bakır Malzeme Isı İletim Katsayısı.....	372.0000	W/mK
Alüminyum Malzeme Isı İletim Katsayısı.....	211.0000	W/mK



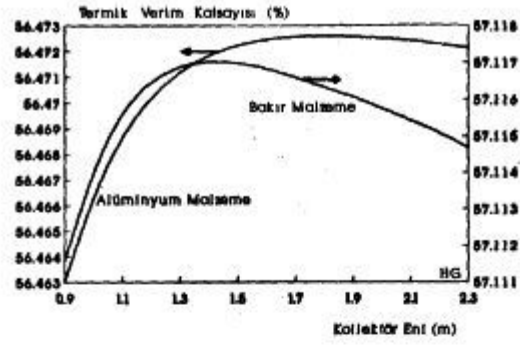
Şekil 1. Termik verim katsayısı-Boru sayısı değişimi

Şekil 2'de; Termik verim katsayısı, kolektör boyu üzerine taşınmıştır. Boru sayısı 1 adet alınarak, kolektör boyu 1.2 m'den 3 m'ye kadar değiştirilmiştir. Bu incelemenin serbestlik derecesi 2'dir. Kolektör boyu ve soğurucu levha malzemesi değişken parametreler olarak alınmış, diğer parametreler sabit tutulmuştur. Şekil 2'den görülebileceği gibi, alüminyum kolektör için, kolektör boyu 1.4m'den 2.8 m'ye artırıldığında verim %20.83'den %21.96'ya, bakır kolektör için ise, kolektör boyu 1.4 m'den 2.8 m'ye artırıldığında verim %26,42 den %28.26'ya yükselmektedir.



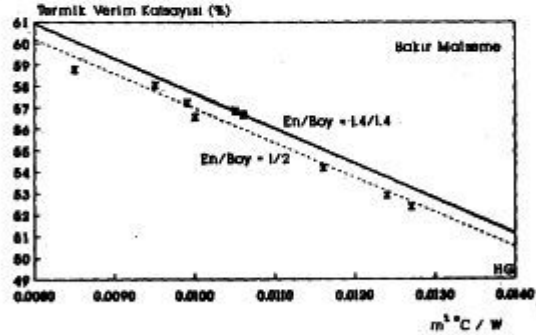
Şekil 2. Termik verim katsayısı-Kolektör boyu değişimi

Şekil 3'de; Termik verim katsayısı, kolektör eni üzerine taşınmıştır. Kolektör eni 0.9 m'den 2.3 m'ye kadar değiştirilmiştir. Bu incelemenin serbestlik derecesi 3'tür. Kolektör eni, en büyük verimin sağlandığı boru sayısı ve soğurucu levha malzemesi değişken parametreler olarak alınmış, diğer parametreler sabit tutulmuştur. Boru sayısı, alüminyum kolektörler için , kolektör eni*10, bakır kolektörler için, (kolektör eni *10)-1 formülüne göre değişmektedir. Termik verim katsayısı en büyük değerini, alüminyum kolektörler için, kolektör enininin 1.8 m, bakır kolektörler için ise 1.4 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Termik verim katsayısı-Kolektör eni değişimi

Şekil 4'de; Termik verim katsayıları, $(t_p+t_c)/2-t_a / I\beta^* - I\beta^*$ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) üzerine taşınmıştır. En/boy oranı = 1.00 olan bakır malzemeli kolektör ile en/boy oranı=0.50 olan bakır malzemeli kolektör karşılaştırılmıştır. Bu incelemenin serbestlik derecesi 2'dir. $((t_p+t_c)/2-t_a)/I\beta^*$ ve kolektör en/boy oranı değişken parametreler olarak alınmış, diğer parametreler sabit tutulmuştur. En/boy oranı=1.00 olan kolektörün ortalama olarak %1.7 oranında daha fazla verime sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Bakır kolektör verim eğrisi

4. SONUÇLAR

Çizelge 2'de görüldüğü gibi, kolektörlerde kullanılan malzeme cinsinin ısı iletim katsayısı arttıkça, termik verim katsayısı artmakta, kullanılan boru sayısı azalmakta ve buna bağlı olarak ta iki boru arası uzaklık artmaktadır. Şekil 4 ve Çizelge 2 birlikte incelendiğinde ise, en/boy oranı, 1'e doğru yaklaştıkça, termik verim katsayısı ve kolektörlerden alınan ısı enerjisinin artmakta olduğu görülmektedir.

Bu çalışma sonucu, ulaşılabilecek en yüksek verim termik verim katsayılarınının, en/boy oranı 1.0 olan sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinden sağlanabileceği görülmüştür.

Çizelge 2.En Büyük Verimlere Ait Optimum Tasarım Sonuçlarını İçeren Bilgisayar Çıktıları.

Malzeme Cinsi	En/boy Oranı (m/m)	Boru Sayı. (adet)	İki B.A.U (m)	Termik.Verim. (%)	K.A.İsı E. (W/m2)
Alüminyum	1/2	10	0.0950	56.4666	413.24
Bakır	1/2	09	0.1056	57.1142	417.98
Alüminyum	1.8/1.8	18	0.0972	56.4726	421.75
Bakır	1.4/1.4	13	0.1038	57.1170	419.63

5. GÖSTERİMLER

- t_c : Kollektörlerden Su Çıkış Sıcaklığı, (°C)
 t_g : Kollektörlere Su Giriş Sıcaklığı,(°C)
 t_a, T_a : Dış Ortam Sıcaklığı, (°C), (K)
 q_p^* : Soğurucu Levhaya Gelen Net Enerji, (W/m²)
 α : Toplam Konvektif Isı Tranferi Katsayısı, (W/m²k)
 A_k : Kollektör net alanı, (m²)
 F_c : Kollektör Verim Faktörü, (-)
 m^* : Toplam Kütleli Su debisi, (kg/s)
 C_w : Suyun özgül Isısı, (J/kgK)
 η : Kollektör Termik Verim Katsayısı (%)
 I_{p0}^* : Kollektöre Gelen Toplam Güneş Radyasyonu, (W/m²)
 q_k : Kollektörden Alınan Isı Enerjisi, (W/m²)
 F_R : Kollektör Termik Randıman Katsayısı, (-)
 L, G : Kollektör Brüt Boyu, Kollektör Brüt Eni, (m)
 L_k, G_k : Kollektör Net Boyu, Kollektör Net Eni, (m)
 G_c : Kollektör Çerçeve Kalınlığı, (m)
 d_{CAM} : Kollektör Camının Geçirgenlik Katsayısı, (-)
 t_r : Cam Örtü İle Soğurucu Levha Arasında Kalan Hacmin Sıcaklığı, (°C)
 t_{CAM}, T_{CAM} : Cam Örtü Sıcaklığı, (°C), (K)
 α_i : Suyun Isı Taşınım Katsayısı, (W/m² K)
 E : Eksenden Eksene İki Boru Arası Uzaklık, (m)
 n : Boru Sayısı, (Adet)
 V : Boru İçinden Geçen Suyun Hızı, (m/s)
 g : Suyun Yoğunluğu, (kg/m³)
 m : Kanat Parametresi, (m⁻¹)
 b : Soğurucu Levha Kalınlığı, (m)
 k : Soğurucu Levha Malzemesi Isı İletim Katsayısı
 F : Kanat Verimi, (-)
 D_a, D_i : Boru Dış Çapı, (m), Boru İç Çapı, (m)
 k_L : Toplam Isı Transferi Katsayısı, (W/mK)
 $\alpha_{dış}$: Dış Ortam Isı Transferi Katsayısı, (W/m²K)
 α_s : Radyasyon Isı Transferi Katsayısı, (W/m²K)
 V_r : Rüzgar Hızı, (m/s)
 q_{CAM}^* : Gökyüzünden Cama Gelen Net Enerji, (W/m²)
 ϵ_{CAM} : Isı Işınları İçin Camın Emisyon Katsayısı, (-)
 T_g : Gökyüzü Sıcaklığı, (K)

6- KAYNAKLAR

- 1- Türk Standartları Enstitüsü " Güneş Enerjisi Toplayıcıları Düz", birinci baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, TS 3680/Nisan 1989.
- 2- Keçecioglu, T., Güngör, A., "Ülkemizde Güneş Enerjisi Toplayıcısı Üreten Firmalar Üzerine Bir Çalışma" , Anadolu Üniversitesi ve Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği, 8. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eskişehir, 10-12 Eylül 1991.
- 3- Türk standartları , " Güneş Enerjisi Toplayıcıları Isıl Performans Dency Metotları" , Birinci Baskı, Türk Standartları Enstitüsü , Ankara, TS 4801/Nisan 1986
- 4- Atagündüz, G., Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları, E.Ü., Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayınları, No:2, İzmir 1989
- 5- Günerhan, H., "Bilgisayar Destekli Sıvılı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Optimizasyonu", Ege Ü., Güneş Enerjisi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.Bornova, İzmir, 1992
- 6- Günerhan, H., "Güneş Kollektörlerinde Boru Sayısı Optimizasyonu", Anadolu Üniversitesi ve Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği, 8. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eskişehir, 10-12 Eylül 1991.
- 7- Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering Of Thermal Proseses, John Wiley and Sons, New York. 1980.
- 8- Günerhan, H., "İzmir İli için Güneşli Su Isıtıcılarının Bilgisayar Yardımıyla Projelendirilmesi" , TMMOB, Makina Mühendisleri Odası , 1. Ulusal Tezisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Yayın No: 154/1, ISBN 975-395-077-2, Sayfa:165-203, İzmir, 15-17 Nisan 1993.