



KONİK YOĞUNLAŞTIRMALI BİR GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA ISITICININ VERİMİNE FARKLI ABSORBER YÜZEY KULLANIMININ ETKİSİ

İnci TÜRK TOĞRUL, Dursun PEHLİVAN

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü 23279 Elazığ, Türkiye
e-mail: itogrul@firat.edu.tr veya dpehlivan @firat.edu.tr

(Geliş Tarihi: 26.07.2002)

Özet: Bu çalışmada, çift geçişli hava akış kanalında dolgu malzemesi bulunan yeni dizayn edilmiş bir konik yoğunlaştırıcı hava ısıtıcının termal performansına farklı absorber yüzey kullanımının etkisi incelendi. Bu amaçla, standart siyah boyalı bakır boru, seçici yüzey ve yapay olarak pürüzlendirilmiş absorber yüzeyleri ayrı ayrı kullanıldı. En yüksek termal verim seçici yüzey kullanımı ile elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Konik Yoğunlaştırıcı, Güneş Enerjili Hava Isıtıcı, Dolgu Malzemesi, Seçici Yüzey, Pürüzlü Yüzey.

EFFECT OF VARIOUS ABSORBER SURFACES ON THE EFFICIENCY OF SOLAR AIR HEATER WITH CONICAL CONCENTRATOR

Abstract: In this study, the effects of various absorber surfaces on the thermal performance of a newly designed solar air heater with conical concentrator, including packings inside two-pass airflow channel of the absorber were investigated. For this purpose, in addition to standart black-painted copper tube, absorber with selective surface or artificially roughened surface was used separately as absorber surfaces. The highest thermal efficiency was obtained by using the absorber with selective surface.

Key words: Conical Concentrator, Solar Air Heater, Packings, Selective Surface, Roughened Surface.

SEMBOLLER

U_L	Isı kayıp katsayısı, W/m^2K
A_a	Kollektör açıklık alanı, m^2
A_r	Yansıyan ışınların düştüğü yüzeyin yüzey alanı, m^2
C_p	Akışkanın ısı kapasitesi, J/kgK
F_R	Isı kazanç katsayısı, boyutsuz
I	Anlık direkt ışıma, W/m^2
m	akışkanın kütleli debisi, kg/s
T_a	Çevre sıcaklığı, $^{\circ}C$
T_i	Akışkanın absorbere giriş sıcaklığı, $^{\circ}C$
T_o	Akışkanın absorberden çıkış sıcaklığı, $^{\circ}C$
Q_u	Faydalı ısı, W
α	Absorberin absorbtivitesi
γ	Yansıyan ışınların alıcı yüzeye düşme kesri
η	Kollektörün verimi
ρ	Yansıtıcının yansıtma katsayısı
τ	Camin geçirgenliği

GİRİŞ

Günümüzde birincil enerji kaynaklarının zamanla tükenme noktasına gelmesi ve maliyetlerinin sürekli artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu kaynakların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi, ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi üretimi, tarım ve orman ürünlerinin kurutulması, yemek pişirme, acı ve tuzlu suların distilasyonu gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilir.

Güneş enerjisi kullanımının en basit yöntemlerinden birisi güneş enerjili hava ısıtıcılarıdır. Isı transfer ortamı olarak absorber yüzey ve çalışma akışkanı olarak da havayı kullanarak güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Havanın düşük termofiziksel özelliklere sahip olması güneş enerjili hava ısıtıcıların verimini de düşük kılmaktadır. Absorber ile hava akımı arasındaki termal performansı artırmak için absorberden transfer edilen ısıyı

artırmak ve çevreye olan ısı kayıplarını azaltmak gerekmektedir. Hava ile absorber arasındaki ısı transferini geliştirmek için, hava geçiş sayısının artırılması (Bhargava, vd., 1982; Verma vd.,1992), seçici yüzey kullanımı (Hottel ve Unger, 1959; Edwards vd.,1961), hava, akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirilmesi (Gupta, 1978; Al-Nimr, 1993), absorber yüzeyinin yapay olarak pürüzlendirilmesi (Liu vd., 1984; Prasad ve Saini, 1988) gibi bir çok yöntem denenmektedir.

Ulaşılan hava sıcaklığını artırmak için, son yıllarda yoğunlaştırıcı toplayıcılar kullanılmaya başlanmıştır ve bu konu ile ilgili çok sayıda tasarım vardır (Smith, 1977; Uroshevich, 1981). Yoğunlaştırıcı toplayıcılar, güneşten gelen ışınımı odak bölgesinde bulunan absorber üzerine yansıtarak, absorberin daha fazla güneş ışınımını absorblamasını sağlarlar. Bu şekilde hem ısı kaybının meydana geldiği alanın küçülmesiyle, hem de absorblanan ısı miktarının artırılmasıyla daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Sıvı ısıtmada yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan bu tip toplayıcıların hava ısıtma amaçlı kullanımına pek rastlanmamıştır. (Murphy ve May,1982; Kalogirou vd., 1997)

Bu çalışmada, yeni dizayn edilen konik yoğunlaştırıcı bir hava ısıtma sisteminin verimini artırmak için farklı absorber yüzeyler denenmiştir. Konik yoğunlaştırıcının çift geçişli hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildikten sonra farkı absorblama kapasitesine sahip yüzeyler kullanılarak sistem verimine etkisi incelenmiştir. Absorber yüzey olarak, siyah güneş enerjisi boyası ile boyanmış bakır boru, seçici yüzey ve siyah boyalı sinek teli ile yapay olarak pürüzlendirilmiş yüzeyler kullanılmıştır.

YOĞUNLAŞTIRICILI TOPLAYICILAR İÇİN VERİM DENKLEMLERİ

Kararlı akım şartlarında çalıştığı kabul edilen yoğunlaştırıcı bir toplayıcı için faydalı enerji kazancı aşağıdaki eşitlikle verilir. (Duffie ve Beckman, 1991)

$$Q_u = F_R A_a I(\gamma\tau\alpha)_n \rho - F_R U_L A_r (T_i - T_a) \quad (1)$$

Kollektörün faydalı enerjisi açıklık alanı ve direkt ışımaya bölünürse yoğunlaştırıcı toplayıcılarda kullanılan genel verim ifadesi bulunur.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} = F_R I(\gamma\tau\alpha)_n \rho - F_R U_L \frac{A_r (T_i - T_a)}{A_a I} \quad (2)$$

Eşitlikteki, kollektör ısı kazanç faktörü, F_R , kollektörün ısı transfer kapasitesini gösterir. U_L , toplam ısı kayıp katsayısıdır. $(\gamma\tau\alpha)_n \rho$ terimi ise sistemin optik özelliklerini gösterir.

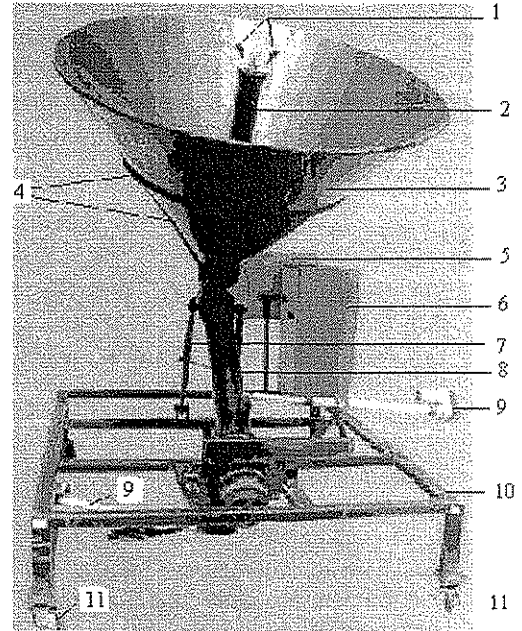
Kollektör veriminin hesaplanmasında kullanılan diğer bir eşitlik ise aşağıda verilmiştir.

$$\eta = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{I A_a} \quad (3)$$

(2) ve (3) eşitliği kollektör performansında en yaygın kullanılan eşitliklerdir. İşletme noktası parametresine $(T_i - T_a)/I$ karşı verim grafiğe geçirilirse bir doğru elde edilir. Doğrunun eğimi $F_R U_L A_r / A_a$ kayması ise $F_R (\gamma\tau\alpha)_n \rho$ yu verir. Sistemin optik özellikleri biliniyorsa F_R ve U_L belirlenebilir.

DENEY SİSTEMİ VE ÖLÇÜMLER

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sistemi Şekil 1' de, karakteristik özellikleri ise Tablo 1' de verilmiştir. Kollektör, yoğunlaştırıcı olarak paslanmaz çelikten yapılmış bir koni ve bunun odak düzlemine yerleştirilmiş silindirik bir absorberden oluşmuştur. Silindirik absorber, üzeri siyaha boyalı bakır bir borudur. Bakır boru içine bakır levha yerleştirilerek, absorber iki geçişli hale getirilmiştir. Bu sayede absorberin giriş ve çıkışında hava aynı taşıyıcı boru ile taşınmıştır. Rüzgar kayıplarını azaltmak için absorber üzerine bora silikat bir cam boru geçirilmiştir.



Şekil 1. Konik kollektör (1- fotoseller;2-absorber; 3-konik yansıtıcı; 4-kollektörü destekleyici kollar; 5-güneşi isleyici birim; 6- sıcaklık ölçüm birimi; 7- eğim ayarlayıcı kollar; 8-ana taşıyıcı boru; 9- hareket kolları; 10-alt tabla; 11-tekerlek.)

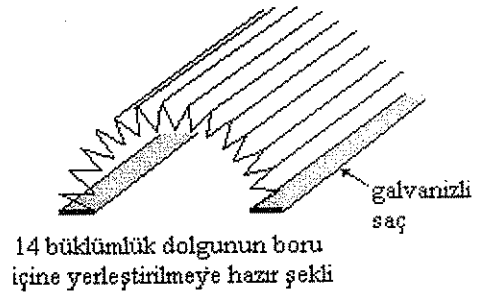
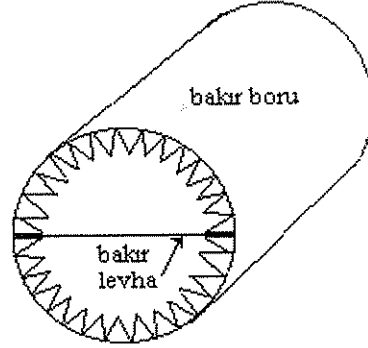
Yoğunlaştırıcı olarak kullanılan koni bir ana taşıyıcı demir boru üzerine monte edilmiştir. Bu boru, kollektörün eğim açısını ayarlayacak, yüksekliği ayarlanabilir iki kol ile ayak uçlarında tekerlek bulunan bir tabla üzerine monte edilmiştir. Absorber borunun ucuna iki adet fotosel yerleştirilmiştir. Fotosellerde ışık yoğunluğu eşit olana kadar kollektör, hareket kolları vasıtasıyla güneşi izler. Birinci hareket kolu, koniyi döndürmekte, ikinci hareket kolu ise ilk kolun hareketinin yetmediği durumda alt tablayı döndürmektedir. Bu şekilde konik toplayıcının güneşi doğuşundan batışına kadar izlemesi sağlanmaktadır.

Tablo 1. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin karakteristik özellikleri

A_r	0.295m ²
A_a	2.22 m ²
β (Koni iç açısı)	76 °
Hava akış hızı, m	70 kg/saat
Kollektör eğim açısı, θ	28.4°
Absorber	Bakır
Absorber iç çapı	100 mm
Absorber dış çapı	102 mm
Geçirgen kapak	Bora silikat cam ($n_d=1.473, \tau=0.9183, \rho_d=0.0697, \alpha=0.012$)
Geçirgen kapak iç çapı	114 mm
Geçirgen kapak dış çapı	120 mm
Siyah güneş enerjisi boyası ($\gamma\tau\alpha$) _e	$\alpha=0.98, \epsilon=0.88$ 0.9012
Yoğunlaştırıcı	18-10 Cr-Ni paslanmaz çelik
γ	1 (Löf vd., 1962)

Doğal konveksiyonda %12, zorlanmış konveksiyonda %50 olan (Toğrul, 2001) sistem verimini artırmak amacıyla, hava akış kanalına dolgu malzemesi yerleştirildikten sonra absorber yüzeyler değiştirilerek verime etkisi incelenmiştir.

Dolgu malzemesi olarak 14 büküm oluşturacak şekilde katlanmış alüminyum sinek teli kullanılmıştır. Dolgu malzemesinin katlanış şekli Şekil 2’de görülmektedir. Alüminyum sinek telinin absorber içinde kolay hareket ettirilebilmesi için uç kısımlarına galvanizli saçtan iki plaka lehimlenmiştir. Dolgu malzemesi, kıvrım noktalarının absorber boru ile her noktada teması sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. 14 bükümlük dolgu malzemesinin katlanış ve absorbere yerleştiriliş şekli

Siyah güneş enerjisi boyası ile boyanmış bakır boru ilk absorber yüzey olarak kullanıldı. Bu boru üzerine ince seçici yüzey sarılarak seçici yüzeyli absorber elde edildi. Seçici yüzey ile bakır boru arasında boşluk kalmamasına dikkat edildi. Bu şekilde arada kalabilecek durgun hava filminin ilave bir ısı transfer direnci oluşturması önendi. Seçici yüzey özellikleri Tablo 2’ de verilmiştir. Üçüncü absorber yüzey olarak yapay olarak pürüzlendirilen bir yüzey kullanıldı. Bu amaçla siyah bakır boru üzerine iki kat, siyaha boyanmış alüminyum sinek teli sarıldı ve telin gözenekli yapısı absorber yüzeyine pürüzlü bir görünüm kazandırmış oldu.

Tablo 2. Seçici yüzey özellikleri

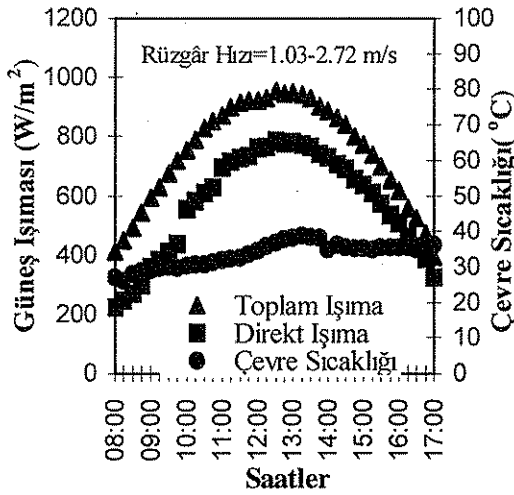
Seçici yüzey	Nikel kaplanmış bakır boru üzerine siyah krom ile renklendirme ($\alpha=0.96, \epsilon=0.12$)
Kalınlığı	0.2 mm
($\gamma\tau\alpha$) _e	0.884

Deneyler sırasında, doğal konveksiyonda 15 dakika, zorlanmış konveksiyonda 30 dakika aralıklarla , rüzgar hızı , çevre sıcaklığı, güneş ışıması, havanın absorbere giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçüldü. Rüzgar hızı ölçümleri anemometre ile, güneş ışıması ölçümleri CC12 model Kipp-Zonen piranometresi ve ona bağlı bir solar integratör

yardımları ile ve sıcaklık ölçümleri Fe-constantan ısılıçiftleri ve çok kanallı dijital bir sıcaklık ölçer yardımı ile yapıldı.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney yapılan günleri temsil eden ortalama bir gün için zamanla çevre sıcaklığının ve güneş ışımasının değişimi Şekil 3’de görülmektedir. Farklı absorber yüzey kullanımının sistem verimine etkisinin incelendiği bu çalışmada, kollektör ana taşıyıcı borusu yatayla 28.4° açı yapacak şekilde ayarlanmıştır. Bu değer bölge enleminden 10° daha düşüktür. Ayrıca zorlanmış konveksiyon deneylerinde hava sisteme 70 kg/saat debi ile gönderilmiştir. Daha önceki çalışmalar, hava ısıtıcının 10° daha düşük eğimle yerleştirilmesi ve 70 kg/saat hava debisinde çalışılması ile daha yüksek sıcaklıklar elde edilebildiğini göstermektedir. (Toğrul, 2001)

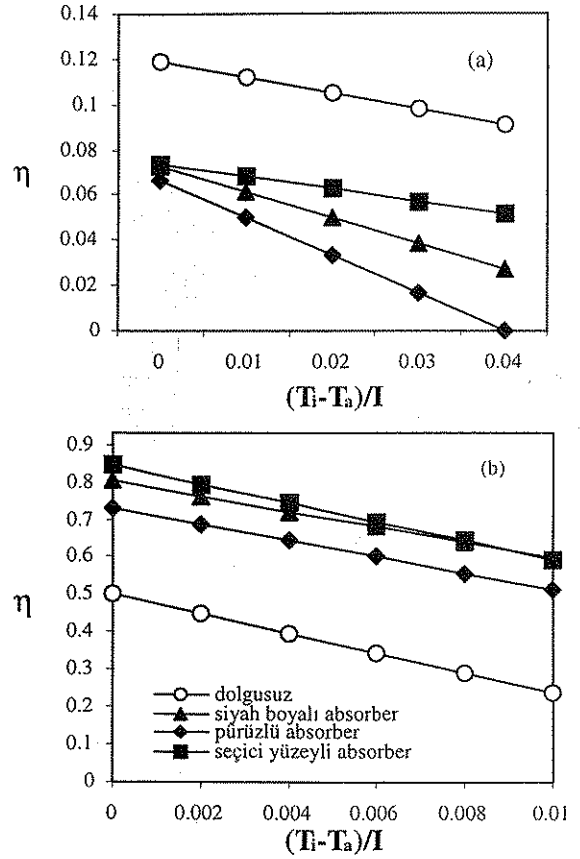


Şekil 3. Deney yapılan günlerde hava sıcaklığı ve güneş ışımasının günün saatleriyle değişimi

Deney yapılan günlerde güneş öğlesine göre birbirine paralel zaman dilimi olan 11:00-14:00 saatleri arasında alınan ölçümlerden, toplayıcı giriş ve çıkış sıcaklığının farkı alınıp o anda gelen direkt ışımaya bölünmüş ve işletme noktası parametresi olarak da bilinen, $(T_i - T_a)/I$ değerleri elde edilmiştir. Aynı zaman dilimi için anlık verimler ise, absorber giriş ve çıkışından okunan sıcaklıklar kullanılarak (3) eşitliği yardımı ile hesaplanmıştır.

Şekil 4’ de hava akış kanalının boş olduğu durum ve dolgu malzemesi yerleştirilerek üç ayrı absorber yüzeyin kullanıldığı durumlar için işletme noktası parametresi (İNP) ile anlık verimin değişimi doğal ve zorlanmış akış için görülmektedir. Şekildeki doğrular, İNP’ ye karşılık anlık verimdeki

değişimi en iyi ifade eden, regresyonla bulunmuş doğrulardır. Şekilden görüldüğü gibi konik yoğunlaştırma sisteminin doğal konveksiyon verimi zorlanmış konveksiyona göre oldukça düşük çıkmaktadır. Absorber içindeki doğal akış sırasında, sistem geometrisinden dolayı, ısınan hava borunun U dönüşü olan boş kısmında tıkanıp kalmaktadır. Boş kısımdaki durgun sıcak hava ancak U dönüşündeki direnci yenecek bir basınca ulaştığında akış sürmektedir. Havanın doğal akışı sırasında gözlenen bu kesiklilik absorber içinden akan havanın kütleli debisini düşürdüğü için sistem verimi de düşük çıkmaktadır.



Şekil 4. İşletme noktası parametresi ile anlık verimin değişimi: a-doğal konveksiyon, b-zorlanmış konveksiyon

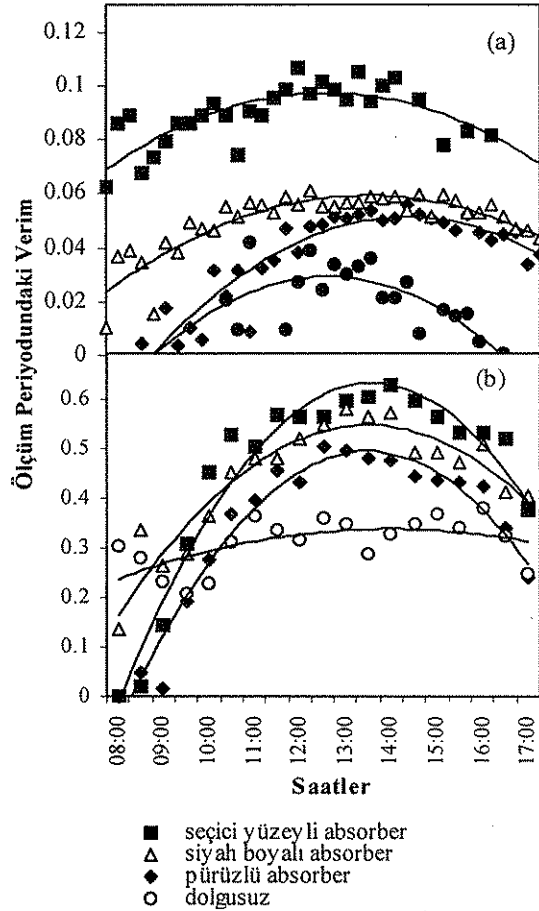
Yine şekilden görüldüğü gibi, hava akış kanalına yüzey genişletme elemanı yerleştirmek sistemin doğal konveksiyon verimini önemli ölçüde düşürmüştür, zorlanmış konveksiyon verimini de önemli oranda artırmıştır. Yüzey genişletme elemanının, absorber yüzeyindeki ısının alttan geçen havaya transfer edildiği alanını artırarak, ısı transferinde bir iyileşme ve dolayısıyla verimde bir

artış sağlaması gerekirken, aksine sistem geometrisinin yanında havanın doğal akışına ilave bir direnç oluşturarak havanın hareketini engellediği ve kütsel debiyi daha da düşürdüğü sonucuna varılabilir. Ancak zorlanmış konveksiyonda havanın hareketi bir fan yardımı ile sağlandığından, sistem geometrisi ve dolgu malzemesinin meydana getirdiği direnç yenilmiş ve sistem verimi dolgu malzemesi kullanımına bağlı olarak önemli ölçüde artmıştır.

Şekil 4' den görülen diğer bir önemli sonuç ise, mukayese edilen absorber yüzeyler içinde en yüksek verimin seçici yüzeyli absorber ile elde edilmesidir. Absorber yüzeyindeki pürüzlerin beklenenin aksine, yüzeyin pürüzsüz olduğu duruma göre sistem verimini düşürdüğü görülmektedir. Pürüzlü bir yüzeye çarpan güneş ışınımı yüzeyin absorbtivitesi oranında soğurur, yansıtma katsayısı oranında yansıtılır. Pürüzlü yüzeyden yansıyan ışınlar yüzey pürüzlerine çarparak tekrar tekrar absorblandığı için cam boruya yansıyan kesir azalır. Bu durum güneşten gelen ışınların absorblanan kesrinin arttığı anlamına geldiği için sistem verimini artırması beklenir. Ancak buradaki sistemde beklenen etkiyi yapmadığı gibi aksine verim değerinin siyah boyalı bakır borudakinden daha da düşük olduğu görülüyor. Bu durum, yüzey üzerine gelen güneş ışınlarının üstteki gözenekli sinek teli tarafından soğurulduğunun ve alttaki bakır boruya fazlaca ulaşamadığının göstergesidir. Siyah gözenekli sinek teli absorbladığı bu ısıyı etkili bir şekilde bakır boruya transfer edememiş, kendi yüzeyini ısıtmıştır. Artan yüzey sıcaklığı, cam boru ile absorber arasında sıkışmış haldeki durgun hava filminin sıcaklığının artmasına, dolayısıyla kayıp olarak ifade edilen ısının artmasına neden olmuştur. Aynı zamanda bu duruma ait verim eğrisinin eğiminin diğerlerine göre daha yüksek olması absorber yüzeyinden çevreye kaybolan ısının fazla olduğunun göstergesidir.

Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin saatlik performansını incelemek amacıyla, ölçüm aralığındaki ortalama verimleri hesaplanmıştır. Şekil 4'deki doğruların eğim ve kaymasından yararlanılarak bulunan F_R ve U_L değerleri (2) eşitliğinde kullanılmış ve ölçüm aralığı için integre edilmiştir. Ölçüm aralığı doğal konveksiyon için 15 dakika, zorlanmış konveksiyon için 30 dakikadır. Hesaplanan verimlerin günün saati ile değişimi Şekil 5' de görülmektedir. Konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin ölçüm periyotlarında hesaplanan verim değerlerinin zamanla değişimi, güneş ışımasının gün boyu değişimine benzer bir profil izlemektedir. Gelen güneş ışınımı miktarının fazla olduğu öğle saatlerinde verimin yüksek

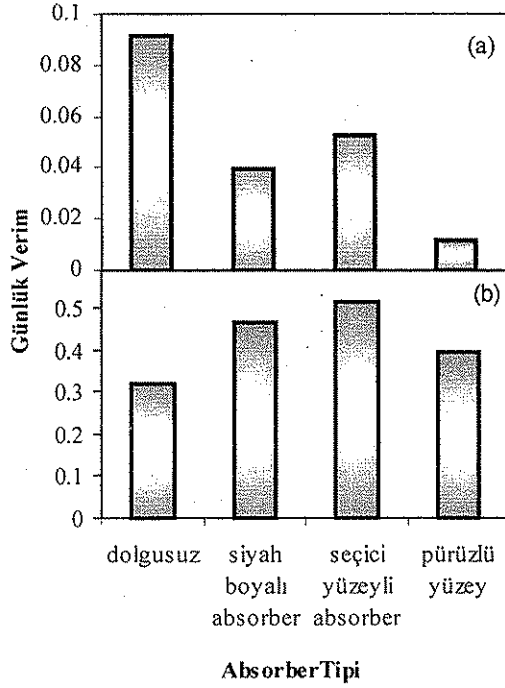
olduğu, sabah ve akşam saatlerinde ise düşük olduğu görülmüyor. Ayrıca şekilde görüldüğü gibi, seçici yüzeyli absorber ve dolgu malzemesi kullanıldığında elde edilen %85'lik anlık verim ölçüm periyodu baz alındığında %60 dolayında kalmaktadır.



Şekil 5. Ölçüm periyodundaki verimler: a- doğal konveksiyon, b-zorlanmış konveksiyon

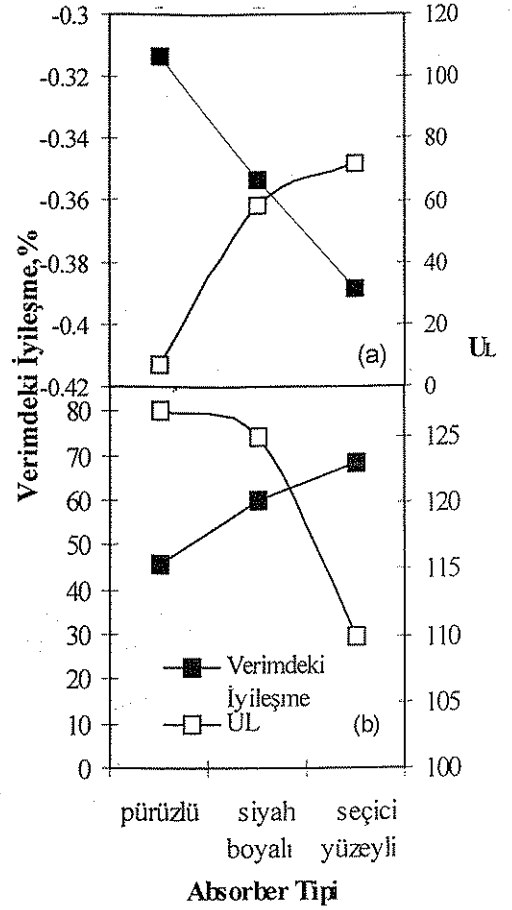
Yine konik yoğunlaştırıcı hava ısıtma sisteminin bir günlük çalışma periyodu sonunda göstereceği toplam verimi hesaplamak amacıyla, ölçüm periyotlarında güneşten gelen ve havayı ısıtmada kullanılan faydalı enerjinin toplamı, kollektörün tüm açıklık alanına gün boyu gelen direkt ışımaya bölünerek günlük toplam verim değerleri hesaplanmıştır. Şekil 6' da doğal ve zorlanmış akış durumları için kullanılan absorber tipi ile günlük toplam verimin değişimi görülmektedir. 14 bükümlük dolgu malzemesi üzerine seçici yüzey kullanıldığı durumda kollektörün gün boyu güneşten gelen enerjinin %52' sini akışkan ısıtmada kullandığı söylenebilir. Dolgu akış kanalları için (2)

eşitliğindeki F_R verim faktörü yerine literatürde yaygın olarak verimdeki % iyileşme terimi kullanılır (Sharma vd.,1991).



Şekil 6. Absorber tipi ile günlük verimin değişimi: a-doğal, b- zorlanmış konveksiyon.

Anlık verimi ifade eden (2) eşitliğinde dolgu malzemesini açıklayan , onunla bağlantılı hiçbir parametre olmadıgından verimde meydana gelecek değişimi F_R olarak ifade etmek doğru olmayacaktır. F_R ile ifade edilse bile dolgunuz durumda bulunan F_R ile aynı olmayacaktır. Bu nedenle F_R , ısı kazanç faktörü yerine dolgu durumu verim ile dolgunuz durumdaki verimin farkının alınması ve dolgunuz durumdakine oranlanmasıyla verimdeki iyileşme %'si belirlenir. Dolgu malzemesinden kaynaklanan verimdeki değişimi bu değer ile ifade etmek daha doğru olacaktır. Şekil 7' de doğal ve zorlanmış akış şartları için denenen üç absorber yüzeyin verimde meydana getirdiği % iyileşme ve ısı kayıp katsayısındaki değişim görülmektedir. Hava akış kanalında dolgu malzemesi bulunan üç ayrı absorber yüzey dolgunuz durum ile karşılaştırılırsa, seçici yüzey kaplamanın diğerlerine göre verimi %70 artırdığı ve yüzeyden yansıyan ışınları azalttığı için ısı kayıp katsayısını düşürdüğü görülür. Siyah bakır boru üzerine sinek teli sarılarak elde edilen pürüzlü yüzeyin dolgunuz duruma göre verimi %45 artırmaya rağmen, daha önce anlatılan nedenlerden ısı kayıp katsayısını da artırmıştır.



Şekil 7. Absorber tipi ile verimdeki iyileşmenin ve ısı kayıp katsayısının değişimi: a-doğal, b- zorlanmış konveksiyon.

Dolgu kullanılan üç ayrı absorber yüzey birbiri ile mukayese edildiğinde seçici yüzeyin siyah boyalı absorbere göre veriminin % 5.14 daha fazla olduğu, yapay olarak pürüzlendirilen yüzeyin ise % 3.4 daha düşük olduğu görüldü.

Sonuç olarak pürüzlendirilen absorber yüzey ile yüksek verim değerlerine ulaşmak için havanın absorber yüzeyin altından değil de üstünden geçirilebileceği bir tasarım tavsiye edilebilir. Bu sayede güneş ışınlarının daha fazla absorblanması ile elde edilen ısının üstten akan akışkana daha etkili bir şekilde transfer olması sağlanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından(FÜNAF-296) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Al-Nimr, M.A., Transient Behavior of a Matrix Solar Air Heater, *Energy Conversion and Management*, 34(8), 649-656, 1993.

Bhargava, A. K., Garg, H. P. and Sharma, V.K., Evaluation of The Performance of Air Heaters of Conventional Designs, *Solar Energy*, 29, 523, 1982.

Duffie, J.A., and Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd edition John Wiley and Sons Inc., New York, 1991.

Edwards, E.K., Gier, J.T., Nelson, K.E. and Roddick, R.D., Spectral and Directional Thermal Radiation Characteristics of Selective Surfaces For Solar Collectors, *Proc. of the U.N. Conference on New Sources of Energy*, Rome, 1961.

Gupta, S. C., *Effectiveness of Packed-Bed Solar Air Heaters*, Solar Energy Int. Prog., vol 2.Ed. T.N. Veziroğlu, P.Press, 767, 1978.

Hottel, H.C. and Unger, T.A., The Properties of a Copper Oxide- Aluminum Selective Black Surface Absorber of Solar Energy, *Solar Energy*, 3,10,1959.

Kalogirou S., Lloyd S. and Ward J., Modelling, Optimisation and Performance Evaluation of a Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System, *Solar Energy*, 60, 49-59, 1997.

Liu, V.D., Diaz, L.A., and Suryanarayana, N.V., Heat Transfer Enhancement in Air Heating Flat-

Plate Solar Collectors, *J. Solar Energy Engineering*, 106, 358-363, 1984.

Löf, G.O.G., Fester D.A. and Duffie J.A., Energy Balance on a Parabolic Cylinder Solar Reflector, *ASME, J. Eng. for Power*, 84A, 24, 1962.

Murphy L.M. and May E.K., *Steam Generation in Line-Focus Solar Collectors: a Comparative Assessment of Thermal Performance, Operating Stability, and Cost Issues*, SERI/TR-1311, 1982.

Prasad, B.N., and Saini, J.S., Effect of Artificial Roughness on Heat Transfer and Friction Factor in Solar Air Heater, *Solar Energy*, 41, 555-560, 1988.

Smith, P.D., Solar Collector with Conical Element, *US Patent*, 1977.

Sharma S.P., Saini, J.S. and Varma, H.K., Thermal Performance of Packed-Bed Solar Air Heaters, *Solar Energy*, 47(2), 59-67, 1991.

Toğrul I.T., Kurutmada Konik Yoğunlaştırıcı Bir Güneş Enerjisi Sisteminin Kullanılması, *Doktora Tezi*, Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2001.

Uroshevich M., Solar Collector, *US Patent*, 1981.

Verma, R., Chandra, R. and Garg, H.P., Optimization of Solar Air Heaters of Different Designs, *Renewable Energy*, 2(4-5), 521-531, 1992



İnci TÜRK TOĞRUL

8.10.1971 tarihinde Malatya'da doğdu. 1992 tarihinde İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yüksek lisansını 1995 yılında, doktorasını 2001 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim dalında tamamladı. 1994 yılından beri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Güneş enerjisi hesaplamaları, güneş enerjili hava ısıtıcılar ve kurutma konularında çalışmaktadır.

Prof. Dr. Dursun PEHLİVAN

08.09.1955 Terme/Samsun'da doğdu. 1976 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü lisans programından. 1977 yılında aynı Fakültenin Kimya Yüksek Mühendisliği programından mezun oldu. 1978 yılında Fırat Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Burada 1984 yılında doktorasını tamamladı. 1989-1990 yıllarında İngiltere'de kömürün yanması konularında bilimsel araştırmalar yaptı. Yurda döndükten sonra 1993 yılında Enerji Teknolojileri alanında Doçent oldu. 1999 yılında Fırat Üniversitesi'nde Profesörlüğe atandı. Halen Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı görevini sürdürmektedir.

