

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A SOLAR COOKER USING COLLECTOR WITH HEAT PIPES

Mehmet ESEN*, Hanbey HAZAR, Hikmet ESEN

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 15.04.2004 Kabul/Accepted: 09.03.2005

ABSTRACT

In this study, a solar cooker coupled vacuum-tube collector with integrated heat pipes was constructed and tested experimentally. The heat pipes made of copper were filled with a refrigerant as the heat transfer fluid of the solar collector. The refrigerant studied were Freon 404A and Freon 410A. The experiments were performed on several clear days in Elazığ, and the experimental results recorded on days having similar meteorological conditions were presented here to evaluate the performance of the cooker. The solar radiation, ambient temperature, and temperatures at various points of the cooker system were measured. The different foods were cooked with the cooker in 25-73 min periods.

Keywords: Solar cooker, Vacuum-tube collector, Heat pipe, Refrigerant.

MSC number/numarası: 83B05

ISI BORULU KOLLEKTÖR KULLANAN GÜNEŞ ENERJİLİ BİR PİŞİRİCİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, ısı borularından oluşan iç içe cam borulu düzlem bir güneş kollektörüne bağlı bir güneş enerjili pişirici imal edilerek deneysel olarak test edilmiştir. Bakır ısı boruları, kollektör ısı geçiş akışkanı olarak bir soğutucu akışkanla doldurulmuştur. Soğutucu akışkanlar olarak Freon 404A ve Freon 410A çalışıldı. Deneyler Elazığ'da güneşli günlerde gerçekleştirilmiş ve bu çalışmada pişiricinin performansını değerlendirmek için benzer meteorolojik şartlara sahip günlerde kaydedilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Güneş ışınımı, çevre hava sıcaklığı ve pişirici sisteminin çeşitli noktalarındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Pişirici ile değişik yiyecekler 25 ile 73 dakika arasında pişirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş enerjili pişirici, Vakum borulu düzlem kollektör, Isı borusu, Soğutucu akışkan.

1. GİRİŞ

Dünyada tüketilen enerji, çeşitli kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu enerji kaynakları arasında en çok kullanılanları ise fosil kökenli olanlarıdır. Fakat mevcut tüketim hızı ile bu fosil esaslı kaynakların yakın gelecekte tükenme tehlikesi vardır. Bu durum insanlığı çevre dostu ve yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Güneş enerjisi de bu yenilenebilir enerji kaynaklarından günümüzde üzerinde en çok çalışılan kaynaklardan birisidir. Güneş enerjisi uygulamaları arasında yemek pişiriciler ise son zamanlarda yoğun çabaların sarf edildiği uygulamalardan birisi olmuştur. Yakıtın yüksek maliyeti ve odun arzının azalması, gelişmekte

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: mesen@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00/6155

Experimental Investigation of a Solar Cooker...

olan birçok ülkede pişirme için güneş enerjisinin kullanımı üzerine araştırmalara yol açmıştır. Son yıllarda bilhassa fazla güneş ışınımı alan birçok ülkede (Hindistan, Çin, Afrika ülkeleri vb) güneş enerjisi kaynaklı pişiriciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise güneş enerjisi ile yemek pişirme yöntemi henüz uygulanmamakta ve bu konudaki çalışmalar akademik araştırmalar düzeyindedir. Bol güneş ışınımı alan özellikle güney bölgelerimizde bu pişiricilerin kullanılabilmesi düşünülmektedir. Güneş enerjili pişiricilerin geliştirilmesi ile bu sahada tüketilen büyük miktarda enerjiden tasarruf edileceği ve bu amaçla daha çok odun kullanıldığı için ormanlarımızın da azalmayacağı bir gerçektir [1]. Güneş enerjili pişiriciler basitlikleri ve dolayısı ile düşük maliyetlerinden dolayı pratiktir. Şu anda genel olarak kullanılan güneş enerjili pişiriciler kutu tip, yoğunlaştırıcı tip ve düzlemsel termosifon kolektör tipleridir. Kutu tip pişiricilerde yüksek miktarda ısı birikmesinin temel prensibi üst örtüden (örneğin camdan) giren güneş ışınlarının tekrar buradan dışarı yansımaması (sera etkisi) neticesi kutu içi sıcaklığının yükselmesidir [2-7]. Kutu içerisine gelen güneş ışınımını artırarak içerdeki sıcaklığı daha da yükseltmek için bazen yanlara yansıtıcı aynalar da yerleştirilir [8,9]. Pişirici bir veya daha fazla cam örtüden ve içerisine pişirilecek yiyeceğin bulunduğu yine üstü örtülü bir kaptan oluşur. Bu tip ısı kutulu pişiriciler güneşi izleyecek şekilde yapılmadıklarından normal olarak pişirme ortamında sıcaklığın ulaşacağı değer çok yüksek olmamaktadır. Güneşi tek eksende veya iki eksende izleyebilen ısı kutulu pişiricilerde kutu iç sıcaklığı daha yüksek olmakta ve pişirme süresi daha da kısalmaktadır [10,11]. Bazı tipleri gizli ısı [12,13] veya duyulur ısı [14] depolamalı da yapılmaktadır. Pişirme sıcaklığı fazla yüksek olmadığından yemeğin pişmesi yavaş olur. Pişirme süresinin uzun olması bazı pişirilecek maddeler için avantaj olduğu gibi bazıları için de dezavantaj olmaktadır. En büyük dezavantajları pişirmenin açık sahada güneş altında ve de gündüz güneş ışınımının olduğu saatlerde yapılmak zorunda olmasıdır.

Yoğunlaştırıcı (odaklayıcı) tip güneş enerjili pişiricilerde ise güneş ışınımı ya pişirme kabına noktasal olarak doğrudan odaklanır ya da silindirik odaklayıcı türlerinde silindir eksenine çizgisel olarak yoğunlaştırılıp genellikle burada ısıtılan su veya sıvı yağ benzeri akışkanlar ile pişirme kabına dolaylı olarak aktarılır [15-19]. Çizgisel odaklayıcı vasıtasıyla aynı açıklık alanına sahip noktasal odaklayıcıya kıyasla daha düşük sıcaklıklara erişilmesine rağmen, çizgisel odaklayıcıların imalatı daha basittir.

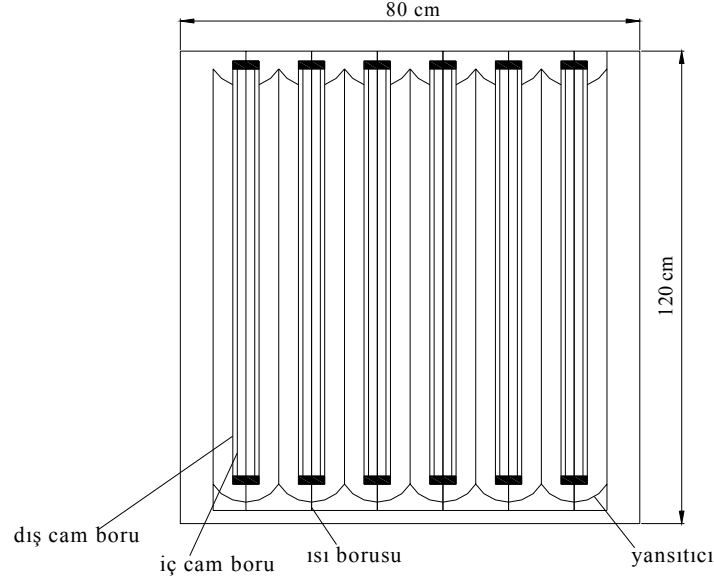
Düzlemsel termosifon kolektör tiplerinde ise buharlaştırılan suyun veya bir soğutucu akışkanın ısı ile yemek pişirilmektedir [20-25]. Su buharlaştırmalılarda kolektör borularında ısınan su buharlaşarak kolektörün üst tarafındaki yemek kabının altına gelir ve burada ısıyı kaptaki yemeğe vererek yoğunlaşır ve tekrar termosifon prensibine göre kolektörün alt tarafına döner. Ayrıca parçalı bulutlu havalarda da sistemden yararlanılabilir. Bilhassa arası vakumlanmış eş eksenli çift cam boruların en iç tarafına eksenlenmiş ısı boruları içerisine soğutucu akışkan doldurularak oluşturulan düzlemsel kolektörlü pişirme sistemleri düşük ışınımı havalarda çok daha verimli çalışmaktadır. Bu tür pişiricilerde pişirme ünitesi evin (veya mutfağın) içine yerleştirilerek, diğer tip pişiricilerdeki dış ortamda (yani evin dışında) pişirme işlemini gerçekleştirme dezavantajı da yok edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, düşük kaynama noktasına ve yüksek ısı kapasitesine sahip soğutucu akışkanların, bir güneş enerjili pişiriciye entegre edilmiş ısı borulu düzlem güneş kolektöründe ısı geçiş akışkanı olarak kullanılabilirliklerini deneysel olarak araştırmaktır.

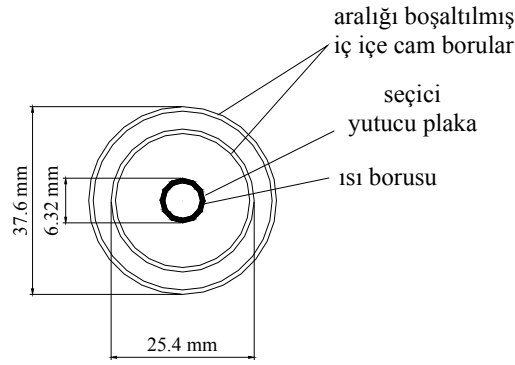
2. DENEY SETİ

İmal edilen ve deneysel olarak test edilen, ısı borulu düzlem güneş kolektörüne bağlı pişirici sisteminin güneş kolektörü ile çift cam borulu ısı borusu ve pişirici üniteli komple sistemin şematik olarak görünüşleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü gibi güneş enerjili pişirici sistemi başlıca üç üniteden oluşmaktadır: kolektör, ısı boruları, pişirici ünitesi. Düzlem güneş kolektöründe kullanılan altı adet ısı borusunun her birinin dışına iç içe cam

borular yerleştirilmiştir. Kollektörden dışarıya ısı kayıplarını azaltmak için cam boruların arasındaki hava boşaltılmıştır (vakumlanmıştır). Cam borular 1 m uzunlukta olup, dıştaki ve içteki



(a)



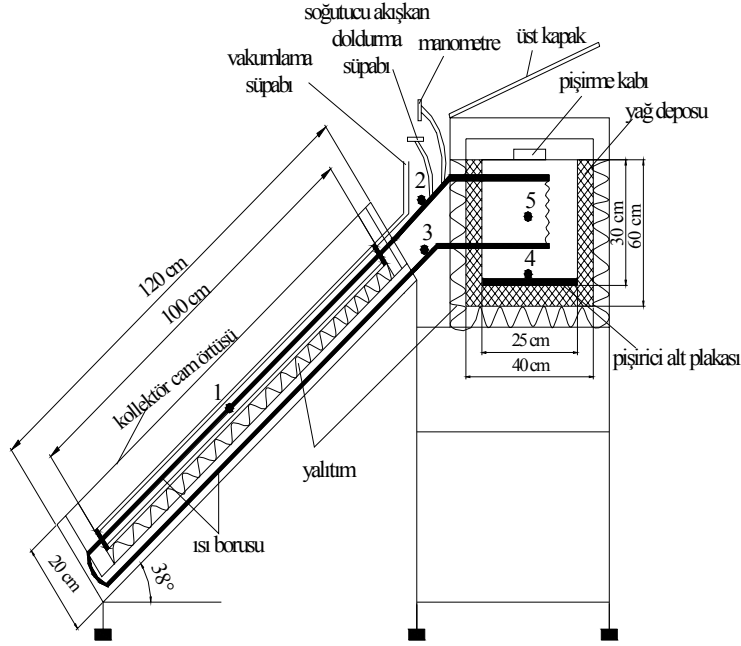
(b)

Şekil 1. Güneş kolektörünün ön görünüşü (a) ve dışı çift cam borulu ısı borusunun kesiti (b)

boruların dış çapları sırasıyla 37.6 ve 25.4 mm'dir. Isı boruları üzerine güneş ışınımını odaklamak için, cam borular parabolik yoğunlaştırıcı krom-nikel reflektörler üzerine yerleştirilmiştir. Kollektör, açıklık alanı 0.96 m^2 olacak şekilde 120 cm uzunluğunda ve 80 cm genişliğinde yapılmıştır. Kollektör ısı kayıplarına karşı yanlarından ve altından poliüretan izolasyon maddesi ile yalıtılmıştır. Daha fazla güneş ışınımı soğurabilmeleri için dışları mat siyah boya ile boyanan bakır ısı borularının boyu 1 m ve dış çapı 6.32 mm'dir. Güneş kolektörünün ön yüzünde ısı borularının güneş gören kısımları sistemde bir buharlaştırıcı vazifesi görürken, kolektörün üst

Experimental Investigation of a Solar Cooker...

tarafından kolektörü terk edip pişirici ünitesinin altından geçen kısımları da bir yoğurturucu görevi görmektedir. Isı borularının yoğurturucu ünitesinden geçen kısımları ısı geçiş yüzeyini arttırmak için kangal şeklinde bükülmüştür. Kolektörün yukarı tarafında yer alan yoğurturucunun girişinde bakır ısı borularına soğutucu akışkan doldurulup boşaltılması ve vakumlama (ısı borularındaki havayı tahliye etmek) için süpablar monte edilmiştir. Ayrıca çalışma basıncını gözleyebilmek için yoğurturucu girişinde ısı borusu üzerine manometre de monte edilmiştir. Alüminyum malzemeden olan pişirici alt tablası 25cmx25cm boyutlarında ve 7 kg kütleinde olup, alt tarafında bir aracı ısı geçiş akışkanı içerisine daldırılmış ısı borularının yer aldığı yoğurturucu kısmı vardır. Isı borularının kangal şeklinde bükülmüş olduğu yoğurturucu içerisine aracı ısı geçiş akışkanı olarak 9 litre Mobiltherm-605 yağı doldurulmuştur. Düzlem güneş kolektörünün güneşi gören buharlaştırıcı kısmında ısı boruları içerisindeki soğutucu akışkan güneş enerjisi ile buharlaşmakta ve termosifon prensibiyle pişirme kabının bulunduğu yoğurturucu bölümüne yükselmektedir. Daha sonra buradaki aracı ısı geçiş akışkanına yüksek orandaki gizli ısıyı vererek yoğuşur ve yerçekimi etkisi ile tekrar kolektörün alt tarafına kapalı döngü şeklinde dönerek bir sonraki çevrim için güneş ışınımı ile tekrar buharlaşır. Aracı ısı geçiş akışkanı ise ısı borularından aldığı ısıyı pişirme kabına iletmektedir. Bu aracı ısı geçiş akışkanında depolanan ısı ile pişirici ön ısıtıldığı gibi pişirme işleminden sonra yemeğin sıcak tutulması da sağlanmış olur. Yoğurturucu kısmında pişirme kabının etrafındaki yağ deposu dışardan yalıtılmış ve 40cmx40cmx60cm boyutlarındaki bir suntadan kutu içerisine yerleştirilmiş olup, yemek kabının yerleştirilmesi ve çıkarılması için üst tarafı açılıp kapanabilir kapaklı yapılmıştır. Kolektör güneşe doğru Elazığ enlem derecesinde yatayla 38° eğim yapacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Pişirici ünitesi ve ısı borulu güneş kolektörlü deney düzeneğinin yan görünüşü

3. DENEYLERİN YAPILIŞI VE ÖLÇMELER

Güneş ışınımı, kolektörle aynı düzlemde yerleştirilen bir solarimetre ile ölçülmüş ve datalogger ile kaydedilmiştir. Çevre hava sıcaklığı gölgedeki bir termometreden okunmuştur. Sıcaklıkları ölçmek için bakır-konstantan (T tipi) ısı çiftleri ısı borusuna, yoğunlaştırıcı ünitesine ve pişirme kabı içerisine Şekil-2’de gösterildiği biçimde yerleştirilmiştir. Isı borusu dışına ısı çiftler 30 cm aralıkla tutturulmuştur. Çevre sıcaklığı, kolektörün güneş gören kısmındaki ısı borusu sıcaklığı, ısı borusunun yoğunlaştırıcı giriş ve çıkışındaki sıcaklığı, pişirici alt tabla sıcaklığı, aracı ısı geçiş akışkanı sıcaklığı ve yemek kabındaki sıcaklık deneyler boyunca her yarım saatte bir ölçülüp datalogger ile kaydedilmiştir. İki fazlı termosifon güneş kolektörü ısı borularının içlerindeki hava üstlerindeki süpablar vasıtasıyla boşaltıldıktan (vakumlandıktan) sonra kullanılacak soğutucu akışkan ısı borularına yine aynı süpablardan eşit miktarda doldurulmuştur. Güneş kolektörü ısı borularına değişik güneşli günlerde soğutucu akışkan olarak Freon 404A ve Freon 410A doldurularak çalışılmıştır. Doldurma işleminden sonra, ısı borularının hemen çalışmaması için kolektörün üstü bir örtü ile kapatıldı. Kullanılan soğutucu akışkanların bazı özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Deneylerin yapılacağı her günün sabahında saat 08⁰⁰’de kolektör camı üzerindeki örtü kaldırılmış ve deney sonuçlarının alınmasına saat 08³⁰’da başlanmıştır. Ölçülen güneş ışınımı ve bütün sıcaklık değerleri datalogger tarafından her on dakika ara ile kaydedilmiştir. Deney sonuçları akşam 20⁰⁰’ye kadar kaydedilmiştir. Bütün pişirme deneyleri, uluslararası güneş enerjili

Tablo 1. Kullanılan soğutucu akışkanların karakteristik özellikleri

Soğutucu Akışkanların Özellikleri	Freon 404A	Freon 410A
Kmol kütle, (kg/kmol)	97.6	72.59
Kaynama noktası (1 atm.’de) (°C)	-46.5	-51.81
Kaynama noktasında buharlaşma gizli ısı, (kJ/kg)	208.9	271.6
Sıvı yoğunluğu (25 °C’de), (kg/m ³)	1048	1062
Doymuş sıvının buhar basıncı (25 °C’de), (kPa)	1255	1653
Sıvının özgül ısı (25 °C’de), (kJ/kgK)	1.54	1.84
Buharın özgül ısı (1 atm. ve 25 °C’de), (kJ/kgK)	0.867	0.833
Sıvının ısı iletkenliği (25 °C’de), (W/mK)	0.0683	0.0886
Buharın ısı iletkenliği (1 atm.’de), (W/mK)	0.01346	0.01339
Kritik sıcaklık, (°C)	72.1	72.13
Kritik basınç, (kPa)	3732	4926
ODP, CFC-12=1	0	0
GWP, CO ₂ =1	3.26	1.725

pişiricileri test etme ve performansını rapor etme yöntemine göre gerçekleştirilmiştir [26]. Buna göre deneyler rüzgar hızının 1 m/s’den küçük ve çevre hava sıcaklığının 21-36 °C arasında olduğu günlerde yapıldı. Su ısıtma deneylerinde su sıcaklığının 40-97 °C aralığında data kaydı yapıldı. Ayrıca güneş ışınımındaki değişimin 10 dakikada 100 W/m²’yi aştığı deneyler ile güneş ışınımının 450 W/m² altında ve 1100 W/m² üstünde olduğu deneylerin sonuçları değerlendirmeye alınmamış ve pişirme deneyleri saat 10⁰⁰ ile 15⁰⁰ arasında yapılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

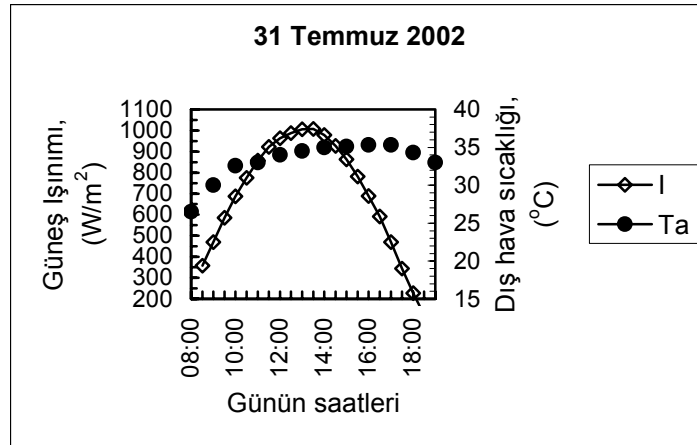
Deneyler ısı borularının çalışmasını test için öncelikle ısı borularında ısı geçiş akışkanı olarak su kullanılarak yapıldı ve bu deneyde pişirme kabında su ısıtıldı. Pişirme deneyleri ise ısı borularına değişik günlerde Freon 404A ve Freon 410A doldurularak yapıldı. Şekil 3’de kolektörün su ile

Experimental Investigation of a Solar Cooker...

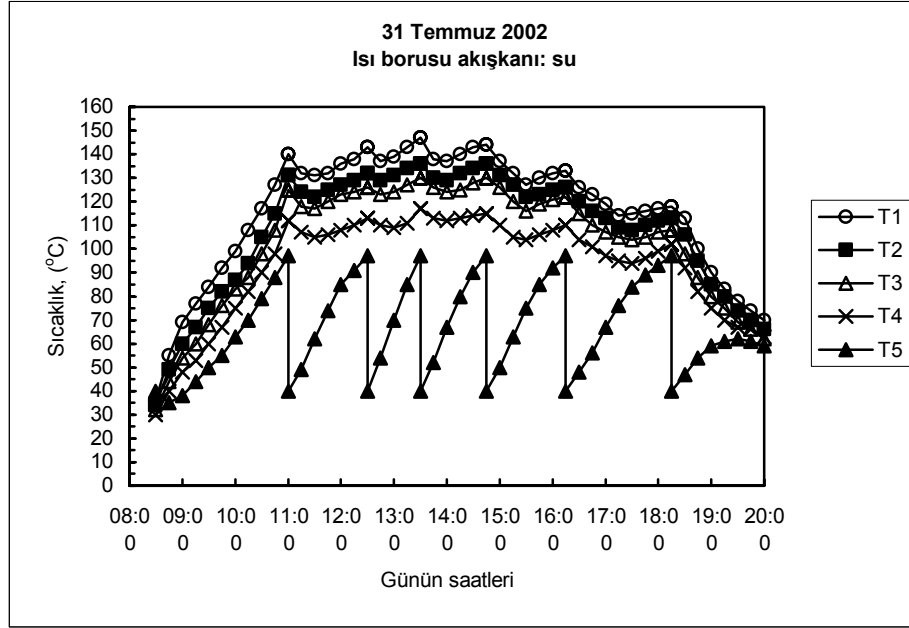
test edildiği günün dış hava sıcaklığı ve 38° eğimli kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım değerleri gösterilmiştir.

Şekil 4’de ise aynı test gününde kolektörlü pişirme sisteminin değişik noktalarında ölçülmüş sıcaklıkların zamanla değişimi verilmiştir. Bu deneyde 40 °C’deki 7 litre su ile doldurulan pişirme kabı pişirici alt tablası üzerine yerleştirilmiştir. Kaptaki su sıcaklığı yaklaşık suyun kaynama noktası 97 °C’ye her ulaştığında kap boşaltılarak 40 °C’deki ve aynı miktardaki su ile tekrar doldurulmuştur. Şekil 4’deki beş sıcaklık eğrisinde de tepe noktaların yaklaşık eşzamanlı bir görünüş sergilemesi pişirici alt tablası ile yemek kabı arasında yüksek bir ısı iletkenliğinin olduğunu göstermektedir. Saat 08³⁰’dan 18¹⁵’a kadar geçen süre zarfında suyun 97 °C’ye kadar ısıtılma işlemi altı defa gerçekleştirilebilmiştir. Suyun bu yaklaşık kaynama noktasına kadar ısıtılma işlemlerinden en kısa süreni güneş ışınımının maksimum olduğu saat 12³⁰ ile 13³⁰ arasında yaklaşık 1 saat olmuştur. Kabın su ile yedinci doldurulduğundan sonra bile akşamın geç saatlerinde su sıcaklığı 60 °C’ye ulaşabilmiştir. Dolayısıyla bu ısı borulu kolektör ile böylece diğer klasik tek fazlı güneş kolektörlerinde geç saatlerde veya ışınımın olmadığı gece saatlerinde görülen terse akış problemi de olmamaktadır. Saat 08³⁰ ile 20⁰⁰ arasında kolektör üzerine gelen günlük toplam 7 kWh güneş enerjisinin yaklaşık % 42’sine denk gelen 2.95 kWh enerji pişirme kabı içerisine aktarılmıştır. Isı borusu boyunca sıcaklık düşümü (T_1, T_2, T_3) yoğunlaştırıcı ve pişirici alt tablası ($T_3 \rightarrow T_4$) ile alt tabla ve pişirme kabı arasındaki ($T_4 \rightarrow T_5$) sıcaklık düşümüne göre daha azdır. Farklı soğutucu akışkanlar için pişirici performansını değerlendirebilmek için, benzer güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı ve rüzgar hızı değerlerine sahip günlerde gerçekleştirilen yemek pişirme deneylerinin sonuçları bu çalışmada verilmektedir. Pişirme deneyleri açık (güneşli) günlerde gerçekleştirilmiştir. Her pişirilecek yiyecek günün aynı saatlerinde pişirilmiş ve her pişirme günü ısı borularında değişik soğutucu akışkan kullanılmıştır. Pişirme deneyleri belirli miktarda yiyecek malzemeleri pişirmek için yapılmış ve pişirme süreleri belirlenmiştir.

Isı borularında soğutucu akışkan olarak Freon 404A ve Freon 410A kullanılarak yapılan deneylerde belirlenen pişirme süreleri ve pişirme günlerine ait toplam ışınım ve ortalama dış hava sıcaklık değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablodaki değerlerden görüldüğü gibi Freon 404A kullanılan günde kolektör üzerine gelen günlük toplam güneş ışınımı değeri ve ortalama dış hava sıcaklığı daha yüksek olmasına rağmen, Freon 410A kullanılan günde daha kısa pişirme süreleri elde edilmiştir. Bu önemli sonuç muhtemelen Freon 410A’nın diğer soğutucu akışkana nazaran daha düşük kaynama noktası ve daha yüksek gizli ısı değerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. Güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığının zamanla değişimi



Şekil 4. Pişirme sisteminde değişik noktalardaki sıcaklıkların zamanla değişimi

Tablo 2. Değişik soğutucu akışkanlara göre pişme süreleri

	Freon 404A	Freon 410A
Deney tarihi	6 Ağustos 2002	5 Ağustos 2002
Kollektör yüzeyine gelen günlük toplam güneş ışınımı (kWh)	6.91	6.68
Günlük ortalama dış hava sıcaklığı (°C)	25.9	25.5
<i>Piştirilen yiyeceklerin adı ve miktarı (gr)</i>	<i>Pişme süreleri (dakika)</i>	
250 gr pirinç (400 gr suda)	68	46
250 gr makarna (400 gr suda)	62	42
500 gr patates (400 gr suda)	73	54
250 gr tavuk (300 gr suda)	64	44
Omlet (3 yumurtalı)	43	28
Çay (4 fincan)	38	25

Bu çalışmadan görülmektedir ki, ısı borularında soğutucu akışkanın kullanıldığı kolektöre bağlı güneş enerjili pişirici ile 27-70 dakika aralığında kalacak şekilde kısa pişirme süreleri elde edilmektedir. Ayrıca su kaynatma işlemlerinde elde edilen süreler de kısadır. Ayrıca sonuçlardan anlaşılmaktadır ki, soğutucu akışkan içeren ısı borulu güneş kolektörlü pişiricide, pişirme süreleri yalnızca meteorolojik şartlara değil, kullanılan soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle soğutucu akışkan seçimi, meteorolojik şartlar ve kolektörlü pişiricinin konstrüksiyon parametreleri birlikte göz önüne alınmalıdır.

Isı kutulu ve odaklayıcı diğer klasik güneş enerjili pişiricilere göre bu çalışmada değerlendirilen düzlem kolektörlü güneş enerjili pişirici daha pahalı ve kompleks olmasına

Experimental Investigation of a Solar Cooker...

rağmen, pişirme işleminin güneş altında değil de evin (veya mutfağın) içinde de gerçekleştirilebiliyor olması ve özellikle odaklayıcılardaki pişirme işlemini gerçekleştiren kişinin gözlerine güneş ışınımının odaklanabilmesi riskinin olmaması avantajlarına da sahiptir. Ayrıca sistemdeki pişiricide ön ısıtma yapıldığı zaman performans daha da artmaktadır.

SEMBOLLER

I	: Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı, W/m ²
GWP	: Küresel ısınma potansiyeli
ODP	: Ozon tüketme potansiyeli
T _a	: Dış hava sıcaklığı, °C
T ₁	: Kollektör kısmında ısı borusu sıcaklığı, °C
T ₂	: Yoğuşturucuya girişte ısı borusu sıcaklığı, °C
T ₃	: Yoğuşturucudan çıkışta ısı borusu sıcaklığı, °C
T ₄	: Pişirici alt tabla sıcaklığı, °C
T ₅	: Pişirme kabındaki yiyeceğin sıcaklığı, °C

KAYNAKLAR

- [1] Tucker M., "Can Solar Cooking Save the Forests?", *Ecological Economics*, 31, 77-89, 1999.
- [2] Mullick S.C., Kandpal T.C, Saxena A.K., "Thermal Test Procedure for Box Type Solar Cooker", *Solar Energy*, 39, 353-360, 1987.
- [3] Nahar N.M., "Performance and Testing of an Improved Hot Box Solar Cooker", *Energy Conversion and Management*, 30, 1, 9-16, 1990.
- [4] Grupp M., Montagne P., Wackennagel M., "A Novel Advanced Box Type Solar Cooker", *Solar Energy*, 47, 2, 107-113, 1991.
- [5] Thulasi Das T.C., Karmakar S., Rao D.P. "Solar Box Cooker: Part II. Analysis and Simulation", *Solar Energy*, 52, 265-272, 1994.
- [6] Buddhi D., Sharma S.D., Sawhney R.L., "Performance Test of a Box Type Solar Cooker: Effect of Load on the Second Figure of Merit", *International Journal of Energy Research*, 23, 827-830, 1999.
- [7] Suharta H., Sayigh A.M., Abdullah K., et al., "The Comparison of Three Types of Indonesian Solar Box Cookers", *Renewable Energy*, 22, 379-387, 2001.
- [8] El-Sebail A.A, Dommanski R., Jaworski M., "Experimental and Theoretical Investigation of Box-Type Solar Cooker with Multi-Step inner Reflectors", *Energy*, 19, 10, 1011-1021, 1994.
- [9] Ekechukwu O.V., Ugwuoke N.T., "Design and Measured Performance of a Plane Reflector Augmented Box-Type Solar-Energy Cooker", *Renewable Energy*, 28, 1935-1952, 2003.
- [10] Algifri A.H., Al-Towaie H.A., Efficient Orientation Impacts of Box-Type Solar Cooker on the Cooker Performance, *Solar Energy*, 70, 2, 165-170, 2001.
- [11] Oturanç G., Özbalta N., Güngör A., "Performance Analysis of a Solar Cooker in Turkey", *International Journal of Energy Research*, 26, 105-111, 2002.
- [12] Sharma S.D., Buddhi D., Sawhney R.L., et al., "Design, Development and Performance Evaluation of a Latent Heat Storage Unit for Evening Cooking in a Solar Cooker", *Energy Conversion and Management*, 41, 1497-1508, 2000.
- [13] Buddhi D., Sharma S.D., Sharma A., "Thermal Performance Evaluation of a Latent Heat Storage Unit for Late Evening Cooking in a Solar Cooker Having Three Reflector", *Energy Conversion and Management*, 44, 809-817, 2003.

- [14] Schwarzer K. , Eugenia M., Silva V., “Solar Cooking System with or without Heat Storage for Families and Institutions”, *Solar Energy*, 75, 35-41, 2003.
- [15] Khalifa, A.M.A., Taha M.M.A., Akyurt M., “Design, Simulation, and Testing of a New Concentrating Type Solar Cooker”, *Solar Energy*, 38, 2, 79-88, 1987.
- [16] Mullick S.C., Kandpal T.C., Kumar S., “Thermal Test Procedure for a Parabolic Concentrator Solar Cooker”, *Solar Energy* 46, 3, 139-144, 1991.
- [17] Abou-Ziyan H. Z., “Experimental Investigation of Tracking Paraboloid and Box Solar Cookers under Egyptian Environment”, *Applied Thermal Engineering*, 18, 1375-1394, 1998.
- [18] Patel N.V., Philip S.K., “Performance Evaluation of Three Solar Concentrating Cookers”, *Renewable Energy*, 20, 347-355, 2000.
- [19] Sonune A.V., Philip S.K., “Development of a Domestic Concentrating Cooker”, *Renewable Energy*, 28, 1225-1234, 2003.
- [20] Khalifa A.M.A., Taha M.M.A., Akyurt M., “Solar Cookers for Outdoors and Indoors”, *Energy*, 10, 7, 819-829, 1985.
- [21] Khalifa A.M.A., Taha M.M.A., Mannaa A., et al., “A Split-System Solar Cooker with Heat Pipes”, *Energy Conversion and Management*, 26, 2, 259-264, 1986.
- [22] Balzar A., Stumpf P., Eckhoff S., et al., “A Solar Cooker Using Vacuum-Tube Collectors with Integrated Heat Pipes”, *Solar Energy*, 58 (1-3), 63-68, 1996.
- [23] Stumpf P., Balzar A., Eisenmann W., et al., “Comparative Measurements and Theoretical Modelling of Single- and Double-Stage Heat Pipe Coupled Solar Cooking Systems for High Temperatures”, *Solar Energy*, 71, 1, 1-10, 2001.
- [24] Kumar R., Adhikari R.S., Garg H.P., et al., “Thermal Performance of a Solar Pressure Cooker Based on Evacuated Tube Solar Collector”, *Applied Thermal Engineering*, 21, 1699-1706, 2001.
- [25] Esen M., “Thermal Performance of a Solar Cooker Integrated Vacuum-Tube Collector with Heat Pipes Containing Different Refrigerants”, *Solar Energy*, 76, 751-757, 2004.
- [26] Funk P.A., “Evaluating the International Standard Procedure for Testing Solar Cookers and Reporting Performance”, *Solar Energy*, 68, 1, 1-7, 2000.