

GİZLİ ISI DEPOLAMALI KUTU TİPİ İKİ GÜNEŞ FIRINININ DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRMASI

*Numan YÜKSEL **
*Atakan AVCI ***

Özet: Bu çalışmada güneş enerjisinin gizli ısı depolama tekniğiyle güneş fırınlarında depolanarak kullanım potansiyeli deneysel olarak araştırılmış ve bu fırınlar karşılaştırılmışlardır. Bu amaçla imal edilen iki güneş fırınının çevresi faz dönüşüm malzemesi (FDM) parafinle doldurularak, hem güneşlenme süresince hem de güneş battıktan sonra olmak üzere gün boyunca fırın faz dönüşüm malzemesi sıcaklıkları sürekli olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde FDM miktarı fazla ve büyük olan fırında, FDM sıcaklığı 92,8 °C iken diğer fırında 80,4 °C'dir. Bununla birlikte en iyi performans, gün boyunca maksimum fırın yüzey sıcaklığının 111 °C olduğu ve ısıyı ertesi sabaha 52 °C ye kadar muhafaza eden fırın-1 ile ulaşılmıştır. Fırın yüzey sıcaklığı ise, 1 saat sonunda 85 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Güneş fırını-1'in faydalanma oranı veya verimi % 36,89 ve diğer fırının %30,10 olarak elde edilmiştir. Fırınların, FDM miktarı ve fırın büyüklüğüne bağlı amacına uygun dizayn edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu tip bir güneş fırınının 24 saat boyunca başka bir ısı kaynağına ihtiyaç duymadan yılın önemli bir kısmında ısınma-pişirme gibi değişik amaçlarla etkin olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Fırını, Enerji Depolama, Faz Değişimi, Sıcaklık Değişimi.

A Comparison of the Box Type Two Solar Cookers with Latent Heat Storage

Abstract: In this study, the use potential of solar cookers storing by latent heat technical of solar energy was experimentally researched and these cookers were compared. For this purpose, the temperatures of the cookers' phase change material (PCM) were continuously measured during the day, both during sun and after sunset, by filling with the phase change material around the solar cooker manufactured. From the measurements, while the temperature of the PCM in the big cooker filled the large amount of PCM is 92,8 °C, the temperature of the PCM in the other cooker is 80,4 °C. However, the better performance is reached by the cooker-1 in which the maximum surface temperature during the day is 111 °C and the heat is preserved to 52 °C until the next morning. Also, the surface temperature in the cooker is reached to the temperature of 85 °C at the end of 1 hour. It is obtained that the utilization rate or efficiency of the solar cooker-1 is % 36,89 and that of the other cooker is %30,10. It is seen that the solar cookers should be designed for the purpose, depending on the amount of PCM and the cooker's size. It is concluded that the solar cooker designed can be effectively used with the different purposes, such as heating-cooking, on 24 hours a day, an important part of the year without the need for the other heat source.

Keywords: Solar Energy, Solar Cooker, Energy Storage, Phase Change, Temperature Change.

* Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Müh. Böl., 16190, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.

İletişim Yazarı: N. Yüksel (numan.yuksel@btu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Enerji kullanımı günlük hayatın her kademesinde gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde kullanılan enerji kaynakları, çevreye kirletici salınımını artırmakta ve bunlarda yerel ve küresel önemli problemlere yol açmaktadır. Diğer bir sorunsu yenilenebilir olmaması ve tükenecek olmasıdır. Şu an çözüme dair olarak, mevcut kaynaklara alternatif olabilecek yeni, temiz ve yenilenebilir kaynaklar bulmak, bunların mevcut sistemlere dahilini sağlamak ve mevcut kaynakların kullanım ömürlerini uzatmak için tasarruf sağlayıcı sistemleri geliştirmek gösterilebilir. Bu enerji kaynakları arasında güneş enerjisi ve bu enerjiyi kullanan fırınlar ön plana çıkmaktadır. Bu enerji kaynağından daha yüksek fayda sağlayabilmek için enerji depolama sistemleri kullanılarak sürekli olmayan enerji, ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmak üzere kısa (gece/gündüz) süreli olarak depolanabilir (Dincer ve Rosen, 2002). Gizli ısı enerji depolama sistemlerine olan bu ilginin nedeni ise, duyulur ısı depolama sistemlerine kıyasla, enerji depolamanın sabit bir sıcaklıkta gerçekleşmesi, enerji yoğunluğunun yüksek ve depolanacak birim enerji başına gerekli hacmin nispeten küçük olmasıdır (Yüksel, 2004). Bu şekilde, hem enerjinin etkin ve verimli kullanımını sağlayacak hem de çevrenin korunmasına katkı sağlayacaktır. Güneş enerjili fırınlar, pişirmede ekonomiklik ve süreklilik sağlaması, fosil yakıtları kullanan diğer fırınlara göre çevre temizliği imkânı vermesi ve diğer güneş fırınlardan farklı olarak gizli ısı depolama ile enerji tasarrufu sağlaması açısından önemlidir. Günümüzde birçok güneş fırını modeli geliştirilmiş olup bunlar arasında kutu tipi, odaklayıcı tip ve geliştirilmiş tip güneş fırınları sayılabilir (El-Sebaai ve Ibrahim, 2005). Bu fırınların imalatının kolaylığı ve maliyetlerinin ucuz olması nedeniyle 19. yüzyıldan bu zamana kadar geniş kapsamlı olarak araştırılmışlardır (Nahar, Sharma ve Chaudhary, 2009). Odaklayıcı tip güneş fırınları, kabın yerleştirildiği odak bölgesinde direkt ışınları yoğunlaştıran parabolik düzlem tipi güneş fırınlarıdır (Ghai, 1953). Isı transferi tipi geliştirilmiş güneş fırınları, güneş enerjisini toplayacak kollektör kısmı dışarıda olup pişirme ünitesi evin içerisinde mutfakta olan tipidir (Gedik ve Öz, 2007). Kutu tipi güneş fırınları ise, güneş ışınımının yalıtılmış bir kutuda toplanması şeklinde çalışmaktadır (Nahar, 2003). Güneş fırınlarının temel prensibi, kısa dalga boyundaki güneş ışınlarının saydam ortamlardan kapalı hacimlere geçişi ve hacim içinde uzun dalga boyunca gelen ışınların aynı saydam ortamdan dış ortama geçememesidir (Gedik ve Öz 2007). Bu şekilde kapalı ortamlarda sürekli artan enerji nedeniyle sıcaklık yükselmektedir. İlk güneş fırını üretimi ise, Georges Louis Leclerc Buffon (1707–1788) tarafından yapılmış, fakat Horacede Saussure (1740–1799) pişirme için güneşi kullanan ilk kişi olmuştur (Nahar, 2001). Günümüze kadar, güneş fırınlarının performansını arttırmak için birçok araştırma yapılmıştır. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli, maksimum temmuz ayında 365 h/ay ve minimum aralık ayında 103 h/ay olmak üzere 2624 h/yıldır (Öztürk, 2004). Bu potansiyele rağmen, panel güneş kollektörler hariç güneş fırınları yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu fırınlarla ilgili El-Sebaai (1997) iç ve dış yansıtıcılara sahip bir güneş fırının performansını araştırmış ve dikkate değer olduğunu ifade etmiştir. Güneşi izlemeyen farklı bir güneş fırının performansı ise, her saat güneşe göre konumlandırılan kutu tipi fırınla benzer olduğu Nahar (1998) tarafından bulunmuştur. Başka bir çalışmada yalıtımlı ve yalıtımsız güneş fırını üzerinde araştırma yapmıştır (Nahar, 2001). Ayrıca kanatçıklı ve kanatçıksız yutucu yüzeylere sahip iki benzer güneş fırınlarının performansları da deneysel olarak karşılaştırılmıştır (Harmim ve diğ., 2010). Kurt ve diğ. (2008), aynı işletme şartları altında dikdörtgen ve silindirik iç yapıya sahip güneş fırınlarını karşılaştırmıştır. Shukla (2009) ise, parabolik tip iki güneş fırınının enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Prasanna ve Umanand (2011), mutfağına güneş enerjisini ulaştıran hibrid bir güneş fırını sistemi önermiştir. Kumar (2004) ise farklı bir açıdan çift camlı güneş fırını için doğal taşınım ile ısı transfer katsayısını incelemiştir. Son zamanlarda ise güneş ısı enerji depolama sistemlerinde faz değişim malzemelerinin (FDM) kullanımı üzerine araştırmalar yapılmıştır (Hussein ve diğ., 2008 vb). Bu şekilde FDM kullanımı, pişirme sürelerinin kısalmasına neden olduğu görülmüştür (Buddhi ve Sahoo, 1997; Sharma ve diğ., 2000, 2005).

Buddhi ve Sahoo (1997), güneş fırınında yutucu yüzey altındaki boşlukta stearic asit doldurarak çalışmıştır. Güneş fırınında FDM olarak Domanski ve diğ. (1995) magnezyum nitrat heksahidrat ve Sharma ve diğ. (2000) erythritol kullanmışlardır. Buddhi ve diğ. (2003), ısı depolama ünitesinde acetanilide olan 3 yansıtıcı bir güneş fırını geliştirmişlerdir. Ayrıca güneş fırınında FDM olarak acetamide kullanımı da incelenmiştir (Sharma ve diğ., 2005). Geceleri güneş fırınından faydalanabilmek için depolamalı güneş fırının performansı, sıcaklıklar ölçülerek ve pişirme testleri yapılarak araştırılmıştır (Nahar, 2003). Bu farklı FDM (magnezyum nitrat heksahidrat, stearic asit, acetamide, acetanilide ve erythritol) malzemelerin teorik olarak araştırması ise Chen ve diğ. (2008) tarafından yapılmıştır. Sharma ve Sagara (2007), FDM'lerin kararlılığını, termofiziksel ve ısı transferi özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bununla birlikte Sharma, Sharma ve Buddhi (2002), parafinin, stearic asit ve acetamide FDM'lerinin ergime gizli ısısını, erime sıcaklığını çalışmışlardır. Parafinin ve acetamide malzemelerinin, iyi bir ısı kararlılığına sahip bir FDM olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, FDM'lerin depolanması sırasında ısı yüklemesi ve boşaltma süreleri ve sıcaklık değişimleri ile ilgili teorik bir yaklaşımda Yüksel (2004) ve Yüksel ve diğ. (2006) tarafından geliştirilmiştir. Bu kadar farklı FDM malzemelerinin güneş fırınları için seçimi ve değerlendirmesi ise, farklı çalışmalarda ele alınmıştır (Dincer, 1999, Dincer ve Rosen, 2002, Sharma ve diğ., 2009).

Literatürde yapılan çalışmalarda gizli ısı depolamalı fırınlarda farklı faz değişim malzemeleri kullanılmış ve faz değişimsiz hal karşılaştırılmıştır. Ancak parafin kullanımı ve farklı faz değişim miktarları ele alınmamıştır. Bunun için, gizli ısı depolamalı kutu tipi iki farklı güneş fırını tasarlanarak faz değişim miktarı, güneş fırını boyutları ve yansıtıcı konumu açısından Bursa şartlarında incelenmiştir. Deneylerde, ilk güneş fırınına 13,7 kg ve diğer fırına da 5 kg'lık parafin doldurularak farklı yansıtıcı konumlarında fırın iç yüzey FDM sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu güneş enerjili gizli ısı depolamalı sistemlerde ısı depolamanın etkisi, güneş ışınım şiddetini de dikkate alarak araştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

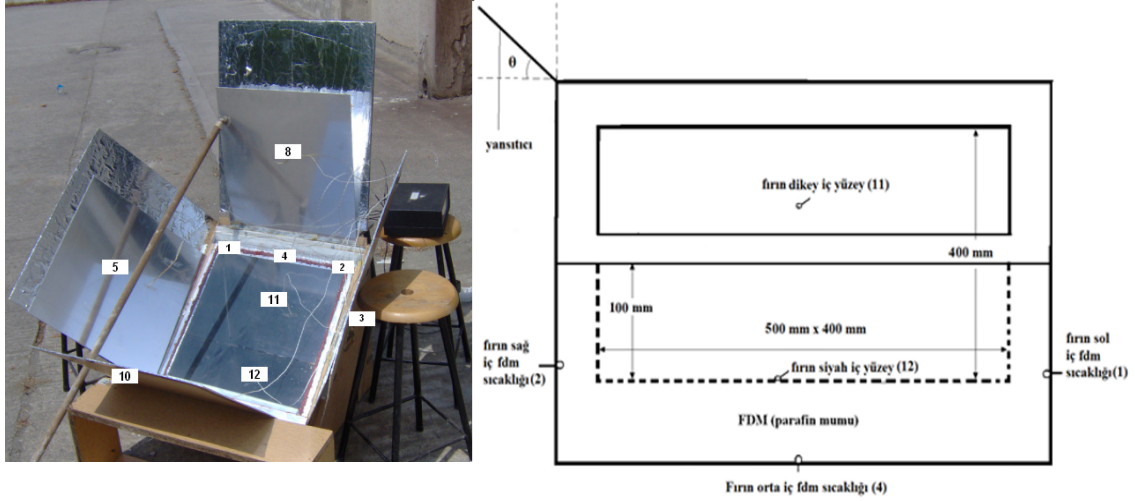
Gizli ısı depolamalı kutu tipi iki farklı güneş fırını tasarlanmış ve üzerinde gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmıştır. Tasarımı, pratikte uygulaması mevcut olabilecek fırının boyutları değiştirilerek ve ısı depolayıcı parafin mumu (FDM olarak) ekleyerek gerçekleştirilmiştir. Her iki gizli ısı depolamalı fırın, dış ahşap kutu, iç kutu, parafin, yalıtım malzemesi ve yansıtıcılardan oluşmaktadır.

2.1. Güneş Fırını-1

Pratikte mevcut fırın boyutlarına yakın ve taban alanı ortalama bir fırın tepsisi boyutunda kutu tipli güneş fırını 500x400x400 mm iç boyutlarında tasarlanmıştır. Bu amaca yönelik imalatı yapılan güneş fırınının elemanları ve sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 1'de verilmiştir (Yüksel ve Avcı, 2010). Fırın en dış kısımda, 10 mm kalınlıklı tahta kutu kullanılmıştır. İç kısımda 2 mm kalınlığında alüminyum plaka kullanılarak iki metal kutular oluşturulmuştur. İç alüminyum plaka, güneş ışınımını yutarak ısıyı iç hacme ve pişirme kaplarına ısı enerjisini aktaran yutucu yüzey olup siyah mat boya ile boyanarak imal edilmiştir. Ayrıca saydam cam güneş ışınımının içeri girişine izin verirken bir yandan da sıcak havayı ve ısıyı içeride tutarak ısı kaybını azaltmaktadır. Fırından olan ısı kayıplarını azaltmak için iç kutunun alt ve yan yüzeyleri 5 cm kalınlığındaki cam yünüyle kaplanmıştır. Birleşme kısımları ise, 300°C'e dayanıklı silikon ile kaplanmıştır. Fırında FDM olarak 13,7 kg parafin mumu kullanılmıştır. İç ve dış alüminyum kısımlar arasına talaş parçaları birlikte yerleştirilmiştir. Metal kanatçıklar ve talaş parçaları parafinin ergime noktasının artmasıyla orantılı olarak ısı iletkenliğinin azalması nedeniyle kullanılmıştır. Bu kanatçıklar, hem ısı iletimini arttırmak hem de alt kısmına destek amaçlı yapılmıştır. Güneş ışınımını sağlayan yansıtıcılar, atmosferde yansıyan ışınımı fırın iç yüzeyine yönlendirerek ısı artışı sağlamaktadır. Fırına, MDF plakalar üzerine alüminyum folyo

ve üzerine de 3 mm kalınlığında alüminyum plakalar yerleştirilerek sağlanmıştır. Boyutları, 570 x 651 mm'dir.

Deneyler, 2009 yılının temmuz ayında her beş dakikada bir sabah 09.52'den ertesi sabah 09.00'a kadar sıcaklıklar ölçülerek gerçekleştirilmiştir (Yüksel ve Avcı, 2010). Fırın ve yansıtıcılar, güneş ışınımından faydalanmak için güneşe göre konumlandırılmış ve Tablo 1'de açısal konumları ve fırının güneyden sapma açıları verilmiştir. Bu sırada fırındaki iç yüzey sıcaklıkları, iç ve dış metal yüzey arasındaki (parafinin bulunduğu kısımdaki) sıcaklıklar, dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti ölçülmüştür.



Şekil 1:

Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırını, boyutları ve sıcaklık ölçüm noktaları

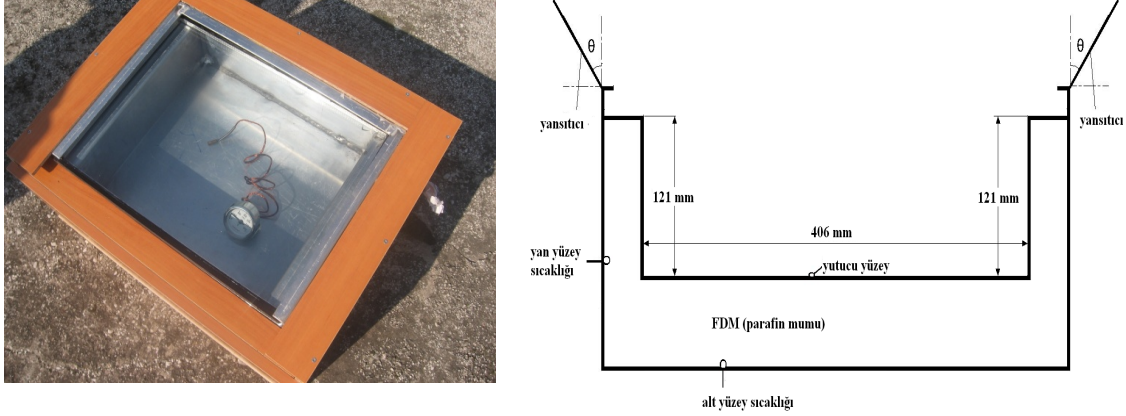
Tablo.1. Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırının ve yansıtıcıların gün içi saatlere göre açılarla konumlandırılması

Yerel zaman	10:30	12:00	13:15	14:00	14:30	15:15	16:00	16:30
Fırının güneyden sapma açısı	+96°	+56°	+6°	-14°	-14°	-54°	-54°	-54°
Yansıtıcı Kanat No	3	65°	65°	70°	75°	75°	75°	70°
	5	65°	65°	70°	75°	75°	75°	70°
	8	85°	85°	85°	90°	95°	95°	100°
	10	35°	45°	45°	45°	45°	40°	35°

2.2. Güneş Fırını-2

Gizli ısı depolamalı diğer kutu tipi güneş fırını, 648 x 524 x 290 mm dış ve 406 x 374 x 121 mm iç boyutlarda tasarlanarak üretilmiştir (Arabacıgil, 2011). Güneş fırın ve elemanları Şekil.2'de verilmiştir. İç kısmı, 3 mm kalınlıklı iki alüminyum plakadan imal edilmiş ve bu iki alüminyum plaka arası, 5 kg'lık parafin ve 3,5 kg'lık metal talaşlar ile doldurulmuştur. Bu talaşlar, iyi bir ısı iletimi, parafin mumunda erime/donmayı ve yutucu yüzey ile ısıl temas sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. İç kısım, dış ahşap kutu içine merkezine yerleştirilmiş ve aralarındaki boşluk ısı kaybını önlemek için 8 mm kalınlıklı cam yünü ile doldurulmuştur. İç kutu yüzeyi, minimum ısı absorpsiyonu için parlatılmış ve alanı 0,151844 m² olarak belirlenmiştir. Dış kutu, 10 mm kalınlığında ahşaptan imal edilmiş ve üzerine çift cam (11 mm

boşluklu) kapak yerleştirilmiştir. Cam, 3,5 mm kalınlığında ve piyasada bulunabilir bir malzemedir. Güneş ışınımını atmosferden fırına ulaştıran yansıtıcılar, karton üzeri alüminyum folyo kaplı olarak imal edilmiştir. Bu yansıtıcılardan ikisi, 374 x 950 mm ve diğerleri 406 x 950 mm boyutlarındadır. Fırının köşeleri ve kenarları, sızdırmazlığı önlemek için silikon ve kaynak ile kapatılmıştır.



Şekil 2:
Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırını ve boyutları

Deneyler, güneş fırınının güneye konumlandırılmasıyla yürütülmüştür (Arabacıgil, 2011). Herhangi bir zaman aralığında güneşe göre konumu değiştirilmemiştir. Ancak yansıtıcılar, fırın dikey yüzeyine göre farklı eğim açılarında düzenlenmiştir. Bu açılar, yutucu yüzeyde güneş ışınımını tutabilmek için 0-90° aralığında değiştirilerek ayarlanmıştır. Deneyler, 2011 yılında haziran ve temmuz aylarında her 10 dakikada bir sıcaklıklar ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Bu sırada fırın iç kısmında dış metal yüzey üzerindeki (parafinin bulunduğu kısımda) sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu sıcaklıklar, alt ve yan yüzey parafin sıcaklıklardır. Deneyler, önce yansıtıcısız, ardından 5 cm kalınlıklı poliüretan köpük ile kapatılarak yapılmıştır. Son olarak ta farklı yansıtıcı açıda (30°) yapılarak tamamlanmıştır.

Her iki gizli ısı depolamalı fırın, dış ahşap kutu, iç kutu, parafin, yalıtım malzemesi ve yansıtıcılardan oluşmaktadır. Bu güneş fırınları, Bursa yaz şartlarında farklı zaman dilimlerinde test edilmiştir. Ayrıca boyutları küçük ve parafin miktarı az olan güneş fırını-2, geceleri dış ortamda bırakılmıştır. Her iki fırında kullanılan parafinin özellikleri ise, maliyeti düşük, piyasada bol miktarda bulunabilen, korozif etkisi olmayan, kimyasal olarak kararlı ve gizli ısı enerjileri yüksek bir FDM'dir. Ergime sıcaklığı firma tarafından 56-58,5 °C aralığında verilmiştir. Bu yüzden parafin mumunun gizli ısı ergime ısı, Sharma ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmadan 58-60 °C ergime sıcaklığı için 189 kJ/kg olarak alınmıştır. Parafinlerin yoğunlukları 0,920 kg/dm³ (20 °C) 0,795 kg/dm³ (70 °C), 100 C'deki özgül ısı 2,1 kJ/kgK, ve ısı iletim katsayısı 0,21 W/mK'dir (Yüksel, 2004). Bu maddeler erime esnasında faz ayrılma problemi göstermezler ve çekirdekleştiriciye gerek duymadan çekirdekleşme özelliği gösterirler. Erime noktasındaki hacim değişimleri düşüktür. Faz geçişi için en iyi kinetik özellikleri gösterirler. Fakat bu maddelerin ısı iletkenlikleri zayıftır ve ısı değiştirici tasarımında özel bir itina gerektirirler (Yüksel, 2004). Bu nedenle talaş malzemeleri kullanılmıştır. Güneş fırınlarının sıcaklık ölçümleri, K tipi termo elemanların bağlandığı 12 kanallı Cole-parmer Digi-Sense (model 92000-05) veri toplayıcıda ±0,1% okuma hassasiyetinde kaydedilmiştir. K tipi termo elemanlar NiCr-Ni termoelemanlar olup ölçüm aralığı -200.....+1200°C aralığında değişmektedir. Bunlar 41 µV/°C duyarlılığa ve ±2,2°C hassasiyetine sahiptir. Sistemin çevre

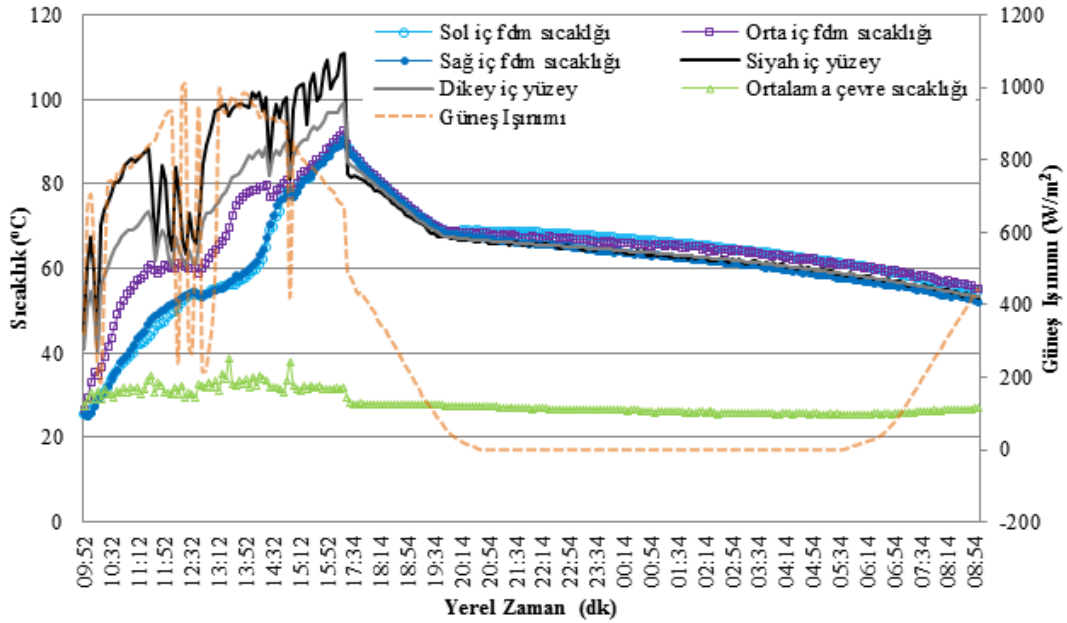
sıcaklığı ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddeti, çevre mühendisliği meteoroloji istasyonu ölçüm cihazından (Davis vantage pro2 Plus™ model 6162EU weather station) alınan verilerle belirlenmiştir. Işınım verilerinin ölçüm aralığı 0-1800 W/m², hassasiyeti % ±5'dir. Sıcaklık verilerinin ölçüm aralığı ise -40 °C...+65°C, 0,1°C çözünürlükte ve ±0,5°C hassasiyetindedir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırınlarının, pişirme için gerekli olan enerjiler ve sıcaklık ölçümleri sunularak performansları tartışılmıştır.

3.1. Güneş Fırınlarının Ölçüm Sonuçları

Güneş fırını-1 ile yapılan gün içi deneylerde, fırın yüzey ve faz değişim malzemesinin sıcaklıklarının zamanla değişimi ölçülerek verilmiştir. Şekil 3'te gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırının sıcaklık-zaman ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddeti grafiği görülmektedir. Bu grafikte saat 16:17-17:24 aralığında veriler kaydedilememiştir.



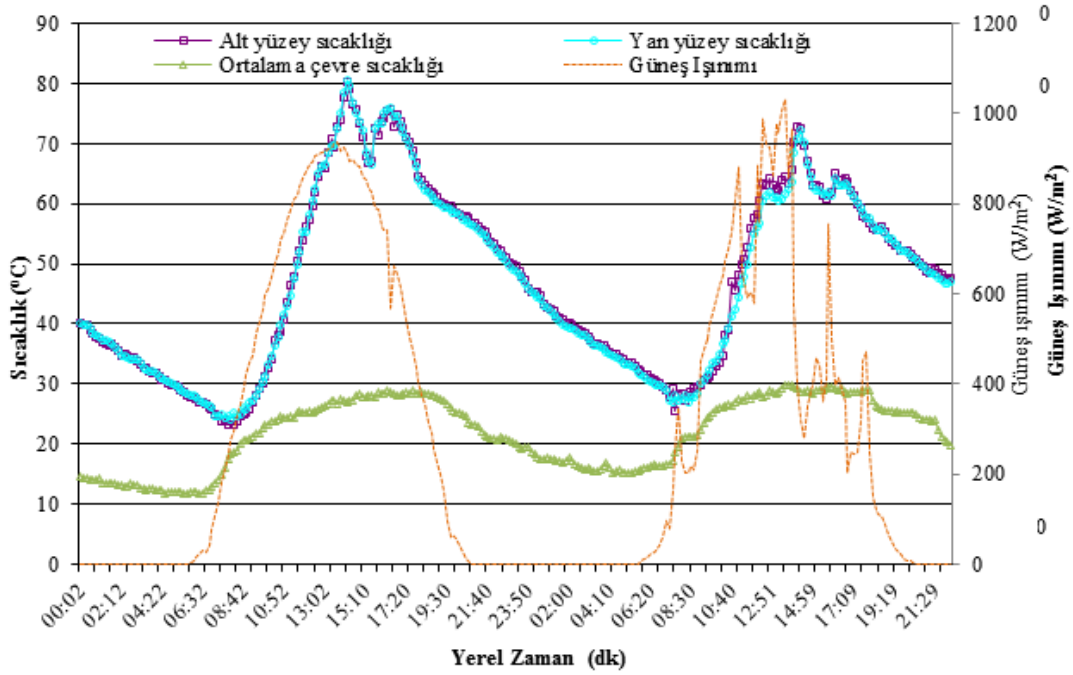
Şekil 3:

Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırının sıcaklık-zaman ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddeti grafiği (05-06 Temmuz 2009)

Güneş fırını-1'in ısınmada fırın iç yüzey sıcaklıkları 6,5 saat sonunda 111 °C ye kadar ulaşırken, FDM sıcaklığının 92,9 °C'ye kadar ulaştığı görülmektedir. Dış ortam sıcaklığı ise, maksimum 29,8 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Bu çalışmada fırın iç yüzey sıcaklığı 1 saat sonunda 85 °C'ye ulaşmıştır. Gedik ve Öz (2007) ise 1 saatin sonunda fırın içerisindeki su sıcaklığı maksimum 82 °C'ye ulaşmıştır. Soğuma sonunda, 16,28 saat boyunca sıcaklığın en düşük 52 °C'ye düştüğü görülmektedir. Bir sonraki günde yapılacak yeniden ısınma ile daha yüksek sıcaklığa ulaşmak mümkün olabilecektir. Aynı zamanda uzun süreli olarak bu işletme yerlerinde 60-90 °C arası sıcaklıkta malzemeyi tutulması yada pişirilen birçok yemeğin devamlı müşteriye hazır olması demektir ki tekrar ısıtma için enerjiden tasarruf anlamına gelecektir. Fırın iç FDM sıcaklıklarının 11:22 sonrası zaman dilimlerinde sabit kalması, o gün için faz dönüşümünün gerçekleştiğini göstermektedir. FDM'nin 58,5 °C ergime noktasına göre gizli ısı depolamasını

orta iç için 171. ve sol/sağ iç için 231. dakikalarda tamamlayabildiği ve ardından sıvı halde duyulur ısıyı depoladığı söylenebilir. Gece yaklaşık 13 saat boyunca sıcaklık 68-58 °C arasında kalmıştır. Bu bölge faz dönüşümünün gerçekleştiği dilimdir. Enerjinin büyük kısmı gündüz ısınmada bu sıcaklıkta depolanmıştır.

Gizli ısı depolamalı diğer güneş fırını-2 ile yapılan deneylerde, yansıtıcıların 30° açığa konumlandırıldığı durumdaki faz değişim malzemesinin sıcaklık değişimi verilmiştir. Bu ise, Şekil.4'de parafinin sıcaklık-zaman değişimi ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddeti olarak görülmektedir. Bu deneyde fırın iç yüzey sıcaklığı ölçülmemiş ancak parafin sıcaklıkları belirlenmiştir. Isınmada fırın alt ve yan yüzey sıcaklıkları yaklaşık 6-7 saat sonunda 77,1 °C ye, 80,5 °C ye ve 72,2 °C ye kadar ulaşmıştır. Dış ortam sıcaklığı ise, 11,9-29,7 °C aralığında değişmektedir. Soğuma sonunda, 15-17 saat sonunda sıcaklığın en düşük 24 °C'ye ve 27 °C'ye düştüğü görülmektedir. Gizli ısı depolamanın fırın iç FDM faz dönüşüm sıcaklıklarında gerçekleştiğini metal talaşlar nedeniyle grafik eğiminden gözlenebilir.



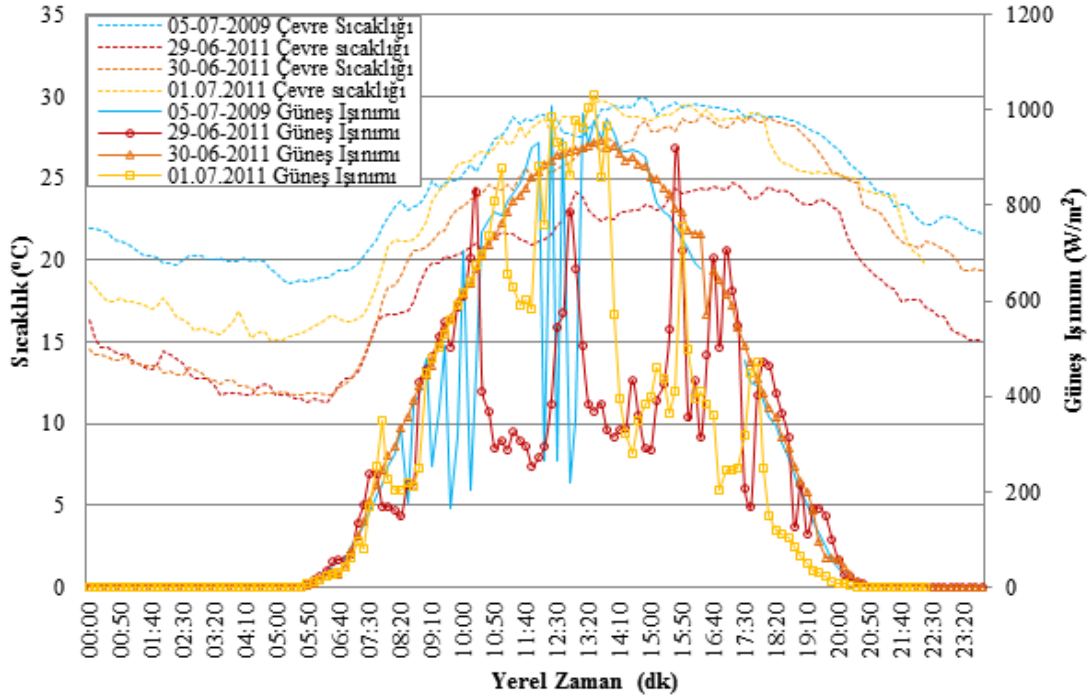
Şekil 4:

30° yansıtıcı açılı güneş fırınında parafinin alt ve yan yüzey sıcaklık-zaman ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddeti grafiği (30 Haziran-01 Temmuz 2011)

Deneylerin gerçekleştirildiği tarihlerdeki 10 dakika bir alınan çevre sıcaklıkları ve güneş ışınım şiddetleri Şekil.5'de karşılaştırılarak verilmiştir. Her iki fırının bulunduğu günlerde toplam güneş ışınımının yoğunluğunun kesintili ve bulutlu bir gün (bir gün hariç) olduğu görülecektir. Buna göre fırın-1'in yer aldığı 5 Temmuz 2009 tarihinde kesintili bir güneş ışınımı mevcutken fırın-2'nin bulunduğu 30 Haziran 2011 günü kesintisiz ve açık bir gün olduğu görülebilir. Ayrıca sıcaklık değişiminin 1 Temmuz 2011 ve 5 Temmuz 2009 tarihlerinde gündüz yakın olduğu görülebilecektir. Her iki fırın üzerinde çevre sıcaklığının ve güneş ışınım şiddetlerinin benzer etkiler yapabileceği söylenebilir.

Birçok gıdanın pişirilmesi için gerekli en düşük sıcaklık 75 °C (Domanski ve diğ., 2003) olduğu için fırın-1 yüzey sıcaklıklarına göre istenilen sıcaklığa ulaşmıştır. Aynı zamanda, bu fırında 52-92,9 °C arası sıcaklıkta uzun süreli olarak malzemeyi ya da gıdayı tutmak mümkün olacaktır. Bu ise ortam sıcaklığından ortalama 32 °C daha yüksektir. Yapılan deneyde yeniden ısınma ile daha kısa sürede yüksek sıcaklığa ulaşabilmek mümkün olabilecektir. Bu ise enerjinin

verimli etkin kullanımı anlamına gelir. Nahar (2003) ise ısı depolama materyali olarak motor yağı kullanılan fırının iç hava sıcaklığının saat 17'den 24'e kadar 14-23 °C aralığında daha fazla bulmuştur. Güneş fırını-2'nin parafin sıcaklıkları, 24-80,5 °C arasında değişmektedir. Ertesi güne kadar çevre sıcaklığına ulaştığından belirli sıcaklık aralığında tutmak zor olacaktır. Bunun nedeni fırın-2'nin yalıtım kalınlığı fazla olmasına karşın, dışarıda gece bekletilmesi ve yeterli kadar enerjinin depolanmamasıdır. Bu durum ise güneşi izlemeye ve FDM miktarına bağlıdır. Ayrıca güneş fırını-1'de FDM miktarının %174 fazla olmasının yanında yansıtıcı yüzeylerin güneşe göre hem kanatın hem de fırının konumlandırılması ile daha etkili bir ısınma ve yüksek sıcaklık gerçekleşmiştir.



Şekil 5:

Çevre sıcaklığı ve bölgeye düşen güneş ışınım şiddetinin farklı günlere göre karşılaştırması

Yansıtıcı açısının değişmesi, güneşten olan ısıl enerjinin toplanmasını sağlamıştır. Güneş fırını-1 ve 2'nin bulunduğu ortamların ışınım şiddeti karşılaştırıldığında kesintili güneş ışınım miktarlarına sahiptirler. Yansıtıcı boyutları güneş fırını-2'de 374 x 950 mm ve 406 x 950 mm olmasına karşın güneş fırını-1'de 570 x 651 mm'dir. Güneş fırını-2, yansıtıcı yüzey olarak daha fazla ve 60 °C açığa (yatayla) sahip olduğundan güneşten dik gelen ışınımdan faydalanabilecek durumdadır. Ancak güneş fırını-1, yüzey alanı az ve farklı bir açılara (65 °C, 65 °C, 85 °C, 35 °C) sahip olmasından diğer fırına nazaran ışınımdan yeterli oranda faydalanmamıştır. 1 saat 30 dakika sonunda, güneş fırını-1 en az 22,5 °C (en fazla 32,1 °C) güneş fırını-2 ise yaklaşık 16,4 °C iç FDM sıcaklığında artış gerçekleşmiştir. Bununla birlikte güneş fırını-1, gün sonunda % 36,89'luk bir verime ulaşmıştır. Burada güneş fırını-1'de FDM miktarının %174 fazla olması da dikkat edilmesi gereken diğer bir noktadır. Güneş Fırını-1'de daha fazla miktardaki FDM için daha fazla ısıl enerjiye ihtiyaç olmasına karşılık burada yüksek sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu durumda etken olan yansıtıcı yüzey alanından çok, güneş fırınının ve yansıtıcı yüzeylerin güneşe göre hem kanatın hem de fırının konumlandırılması ile daha etkili bir ısınma ve yüksek sıcaklık gerçekleşmiştir.

3.2. Güneş Fırınlarnın Verimleri

Güneş ışınımından yararlanma oranı veya verimi, fırında depolanan enerji ile fırına ulaşabilecek maksimum enerji oranı olarak fırına özgü tanımlanabilir. Güneş fırınına gelen ışınımın biri güneş fırını cam yüzeyinden fırın yüzeylerine ve diğeri ise yansıtıcı yüzeylerden fırına ulaşmaktadır. Buradan gelen ısı, yüzeylerden geçerek ısı depolama malzemesinde ve fırında alüminyum malzemede depolanmaktadır. Fırına gelen ışınım ise, fırının iç ve dış metal alüminyum plakalarında duyulur ve faz değişim malzemesinde ise duyulur ve gizli ısı şeklinde depolanmaktadır. Buna göre güneşten yararlanma potansiyeli, fırın malzemesinin ortalama kütlesi ($m_{fırın}$), faz değişim malzemesinin kütlesi (m_{fdm}), başlangıç ve son sıcaklıkları (T_1 ve T_2) ve ilk ve son hal değişimi dikkate alınarak Termodinamiğin 1. Kanununa göre;

$$Q_{12} - W_{12} = \sum m_{2i} \cdot u_{2i} - m_{1i} \cdot u_{1i} \quad (1)$$

$$Q_{12} - W_{12} = m_{fırın} \cdot C_{fırın} \cdot (T_2 - T_1) + m_{fdm} \cdot C_{fdm} \cdot (T_2 - T_1) + m_{fdm} \cdot h_{sb} \quad (2)$$

$$Q_{12} = Q_{12t} - Q_k \text{ ve } W_{12} = 0 \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Çevreyle iş alışverişi yoktur. Olay sırasında pişirme veya başka amaçla kullanılmadığından sistemde depolanan enerji fırına gelen enerji ile ısı kayıpları nedeniyle kaybedilen enerji farkına ya da tutulan enerjiye eşittir. Fırına gelen toplam ışınım enerjisi ise,

$$Q_t = \sum \bar{I} \cdot A \cdot \Delta_t \quad (4)$$

şeklinde olup bunun bir kısmı yüzeyden geri yansırken diğerk kısmı cam yüzey üzerinde fırına ulaşır. Burada toplam gelen ışınım dikkate alınarak yararlanma verimi,

$$\eta_I = \frac{m_{fırın} \cdot C_{fırın} \cdot (T_2 - T_1) + m_{fdm} \cdot C_{fdm} \cdot (T_2 - T_1) + m_{fdm} \cdot h_{sb}}{\sum \bar{I} \cdot A \cdot \Delta_t} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada fırın yüzeyine gelen toplam maksimum güneş ışınımı ise, fırın yüzey alanı (A), zamana bağlı olarak (Δt) fırın yüzey alanına gelen ortalama ışınım şiddeti (\bar{I}) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Gelen ışınım için yararlanma yüzeyi olarak fırın yüzeyi ile yansıtıcıların fırın yüzey düzlemine iz düşüm alanının toplamı alınmış ve toplam gelen maksimum ışınım miktarı ise bu yüzeylere deney süresince gelen anlık ışınım miktarlarının toplamı şeklinde hesaplanmıştır. Faz değişim malzemesinin ergime ısısı 189 kJ/kg ve özgül ısısı 2,16 kJ/kgK olarak alınmıştır (Yüksel, 2004). Deneysel sonuçlar dikkate alınarak yapılan hesaplara göre fırın-1'e, gelen maksimum ışınım miktarı 13278,293 kJ ve bu fırında depolanan enerji ise toplam 4899,103 kJ olup faydalanma oranı veya verimi % 36,89 olarak elde edilmiştir. Güneşlenme bittikten sonra ertesi gün saat 09:00 kadar ısı kaybı ile kaybedilen enerji 3778,898 kJ olup yaklaşık olarak gelen enerjinin % 22,86 kadarı bu fırında kalmıştır. Literatürde, bu fırınların ortalama verimleri fırına yerleştirilen suya bağlı olarak geliştirilerek bulunmuş ve sırasıyla % 22, %31, % 29.5, %30.5, %28.25, %14, %32.4, %29.5 olarak verilmiştir (Gedik ve Öz, 2007; El-Sebaai, 1997; Nahar, 1998; Nahar, 2001; Kurt ve diğ., 2008; Shukla, 2009; Domanski ve diğ., 1995; Nahar, 2003). Burada faz değişim malzemesinin ve fırın malzemesine göre elde edilen verimlilik olup gizli ısı depolamalı güneş fırını-1'de %36,89 olarak hesaplanmıştır. Bu ise literatür değerlerine göre ölçüm şartları için iyi bir verime sahip olduğunu gösterir.

Güneş fırını-2'ye gelen ışınım miktarına ve bu fırında depolanan faydalı enerjiye göre faydalanma oranı veya verimi ortalama % 67,55 olarak elde edilmiştir. Bu verim, yansıtıcı açısının 30° olduğu ve yansıtıcı yüzey alanının katkısı olmadığı durum için belirlenmiştir. Bu güneş fırını-2'de elde edilen verimin yüksekliği, yansıtıcı yüzeyin katkısını %50 olarak dâhil edilseydi %45 civarında olabileceği tahmin edilebilir. Bununla birlikte, gün sonunda (18:00) faydalanma verimi yaklaşık olarak % 30,10 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, parafin sıcaklığının 40 °C yaklaştığı varsayılmıştır. Güneşlenme bittikten sonra ertesi gün saat 08:00 kadar ısı kaybı ile depolanan enerjinin tamamı bu fırından kaybedilmiştir. Pişirme denemeleri, güneş fırını-1'de ekmek, kurabiye ile ve güneş fırını-2'de yumurta, biber ve kek ile yürütülmüştür. Bu gıdalardan ekmek 3,5 saat sonunda, yumurta, biber ise 3 ve 4 saat sonunda pişirilmiştir. Birçok gıdanın pişirilmesi için gerekli en düşük sıcaklık 75 °C (Domanski ve diğ., 2003) olduğu için parafin mumu FDM olarak kullanılabilir. Ancak FDM miktarının ilk güneş fırınında olduğu gibi artırılması ve boyutunun büyütülmesi etkili olacaktır. Aynı zamanda amaca uygun ergime sıcaklığına sahip farklı bir faz dönüşüm malzemesi kullanımı da akla gelebilir. Fırınlarda yapılan deneylere göre parafinin sıcaklığı, metal talaşlardan, yansıtıcı konumundan ve güneş ışınımından etkilenmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ısı depolamalı kutu tipi iki güneş fırını tasarlanarak farklı şartlarda yapılan deney sonuçlarına göre fırınlar ve performansları karşılaştırılmıştır. Güneş fırını-1'in faydalanma oranı veya verimi % 36,89 ve diğer fırının %30,10 (% 67,55) olarak elde edilmiştir. Güneş fırını-2'de elde edilen verimin yansıtıcı yüzeyi etkisiyle literatür değerleri ve üzerinde olabileceği söylenebilir. En iyi performansla fırın-1'de iç yüzey faz değişim malzemesinin sıcaklıklarına göre, 6,5 saatte ısının depolanmasıyla ulaşılmış ve soğuma sonunda 52 °C'ye ulaşılarak depolanan ısı ertesi güne kadar (16,28 saat) korunmuştur. Bu gizli ısı depolamalı fırın 60-90 °C sıcaklık aralığında ve uzun süre tutulabilir. Ayrıca, ilk günden sonra fırında kalan enerjiden dolayı daha hızlı ısınma gözlenecek ve daha uzun süre fırının etkin kullanımı mümkün olacaktır. Bu ise, fırının ısı depolama malzemesinin artmasıyla ısının uzun süreli muhafazası sağlanmış ve yansıtıcıyla birlikte fırının güneşe göre konumlanmasıyla da performansı artmıştır. Sonuçta, izolasyon derecesi, FDM miktarı, fırın ışınım yüzey alanı ve yansıtıcı konumları dikkate alınarak günün 24 saatinde fırından etkin olarak faydalanmak mümkündür. Bunların, amaca ve pişirme kapasitesine uygun büyüklükte seçilmesi de önemlidir. Söz konusu fırınların yaygınlaştırılması ve verimli hale getirilmesi ülkemizin fosil kaynaklı enerji ihtiyacının azaltılması, çevrenin korunması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması gibi problemlerin çözümüne önemli katkı sağlayacaktır. Bu performans ve test sonuçlarından gizli ısı depolamalı kutu tipi fırının verimleri yüksek ve pişirme zamanlarının da iyi olduğu sonucuna varılabilir. Bu performans, daha fazla izolasyon ve FDM malzemesi kullanılarak artırılabilir ve daha yüksek sıcaklıklara da ulaşılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın güneş fırınlarının imalatında yer alan ve bitirme çalışmasıyla katkıda bulunan A. Öztürk ve S. Mutlu'ya, diğer fırının imalatı ve ölçümlerinde yer alan B. Arabacıgil (2011)'e ve çevre mühendisliğinden alınan veriler için S. Cindoruk'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Arabacıgil, B. (2011). *Gizli ısı depolamalı güneş enerjili ısıtıcı analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 225 s.
2. Buddhi, D. ve Sahoo, L.K. (1997). Solar cooker with latent heat storage: design and experimental testing, *Energy Conversion and Management*, 38(5), 493–8.
3. Buddhi, D., Sharma, S.D. ve Sharma, A. (2003). Thermal performance evaluation of a latent heat storage unit for late evening cooking in a solar cooker having three reflectors, *Energy Conversion and Management*, 44 (6), 809–817.
4. Chen, C.R., Sharma, A., Tyagi, S.K. ve Buddhi, D. (2008). Numerical heat transfer studies of PCMs used in a box-type solar cooker, *Renewable Energy*, 33, 1121–29.
5. Dincer, I. (1999). Evaluation and selection of energy storage systems for solar thermal applications, *International Journal of Energy Research*, 23, 1017-28.
6. Dinçer, I. ve Rosen, M.A. (2002). *Thermal energy storage, systems and applications*, John Wiley & Sons, Chicheser, England.
7. Domanski, R., El-Sebaili, A.A. ve Jaworski, M. (1995). Cooking during offsunshine hours using PCMs as storage media, *Energy*, 20(7), 607–16.
8. El-Sebaili, A.A. (1997). Thermal performance of a box-type solar cooker with outer-inner reflectors, *Energy*, 22(10), 969-78.
9. El-Sebaili, A.A. ve Ibrahim, A. (2005). Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power, *Renewable Energy*, 30, 1861–1871.
10. Gedik, E. ve Öz, E.S. (2007). Isı kutusu tipi güneş fırını tasarımı ve örnek bir uygulaması, *Teknoloji*, 10 (4), 303-310.
11. Ghai, M.L. (1953) Design of reflector type direct solar cooker, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 12A, pp. 165–75.
12. Harmim, A., Belhamel, M., Boukar, M. ve Amar, M. (2010). Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate, *Energy*, 35, 3799-3802.
13. Hussein, H.M.S., El-Ghetany, H.H. ve Nada, S.A. (2008). Experimental investigation of novel indirect solar cooker with indoor PCM thermal storage and cooking unit, *Energy Conversion and Management*, 49, 2237–46.
14. Kumar, S. (2004). Natural convective heat transfer in trapezoidal enclosure of box-type solar cooker, *Renewable Energy*, 29, 211–222.
15. Kurt, H., Deniz, E. ve Recebli, Z. (2008). An investigation into the effects of box geometries on the thermal performance of solar cookers, *International Journal of Green Energy*, 5, 508–519.
16. Nahar, N.M. (1998). Design, development and testing of a novel non-tracking solar cooker, *International Journal of Energy Research*, 22, 1191-1198.
17. Nahar, N.M. (2001). Design, development and testing of a double reflector hot box solar cooker with a transparent insulation material, *Renewable Energy*, 23(2), 167–179.
18. Nahar, N.M. (2003). Performance and testing of a hot box storage solar cooker, *Energy Conversion and Management*, 44(8), 1323–1331.

19. Nahar, N.M., Sharma, P. ve Chaudhary, G.R. (2009). Processing of agricultural products in solar cooker for income generation, *International Solar Food Processing Conference*, January 14-16, Indore, India.
20. Öztürk, H.H. (2004). Second law analysis for solar cookers, *International Journal of Green Energy*, 1(2), 227–239.
21. Prasanna, U.R. ve Umanand, L. (2011). Modeling and design of a solar thermal system for hybrid cooking application, *Applied Energy*, 88, 1740–1755.
22. Sharma, S.D., Buddhi, D., Sawhney, R.L. ve Sharma, A. (2000). Design, development and performance evaluation of a latent heat storage unit for evening cooking in a solar cooker, *Energy Conversion and Management*, 41(14), 1497- 1508.
23. Sharma, A., Sharma, S.D. ve Buddhi, D. (2002). Accelerated thermal cycle test of acetamide stearic acid and paraffin wax for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion and Management*, 43, 1923–30.
24. Sharma, S.D., Iwata, T., Kitano, H. ve Sagara, K. (2005). Thermal performance of a solar cooker based on an evacuated tube solar collector with a PCM storage unit, *Solar Energy*, 78, 416–426.
25. Sharma, S.D. ve Sagara, K. (2007). Latent heat storage materials and systems: a review, *International Journal of Green Energy*, 2, 1-56.
26. Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R. ve Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318-345.
27. Shukla, S.K. (2009). Comparison of energy and exergy efficiency of community and domestic type parabolic solar cookers, *International Journal of Green Energy*, 6, 437–449.
28. Yüksel, N. (2004). *Enerji depolama sistemlerinin modellenmesi ve optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 129 s.
29. Yüksel, N., Avcı, A. ve Kilic, M. (2006). A model for latent heat energy storage systems, *International Journal of Energy Research*, 30(14), 1146–57.
30. Yüksel, N. ve Avcı, A. (2010). *Güneş enerjisinin gizli ısı depolamalı fırınlarda kullanımı*, VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10, 23, 1-5 Aralık, Bursa.

Makale 21.03.2012 tarihinde alınmış, 24.05.2012 tarihinde düzeltilmiş, 24.12.2012 tarihinde kabul edilmiştir.