

# Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi

M. Ali ERSÖZ  
Abdullah YILDIZ

## ÖZET

*Bu çalışmada, ısı borusu çapı 16, 22 ve 18 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri imal edilmiştir. Termosifon tipi ısı borularında işgören akışkan olarak etanol ve ısıtılan akışkan olarak endüstriyel kurutma ve bina ısıtımında ihtiyaç duyulan hava kullanılmıştır. İmal edilen her bir güneş kolektörü Uşak/Türkiye eş koşullarında, kolektör hava çıkış hızı 3m/s olmak üzere 5 gün süre ile deneysel olarak incelenmiştir. Deneylere, saat 09:30'da başlanmış ve 17:30'da son verilmiştir. Deneylerde, çevre havası sıcaklığı, hava dağıtım kolektörü giriş sıcaklığı, her bir kolektör için depo çıkış havası sıcaklığı ve o güne ait güneş ışınımı şiddeti ölçülmüştür. Sıcaklık ve güneş ışınımı şiddeti ölçümleri 5'er dakikalık periyotlarda yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler grafiklerle değerlendirilerek belirlenen boru çaplarının ısı verime etkileri ve en yüksek ısı verimi sağlayan ısı borusu çapı belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Vakum Tüp, Isı Borusu, Kurutma, Hava Isıtma

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve insanın rahat yaşama arzusunun sonucu olarak gelişen teknoloji, enerji kaynakları tüketimini hızlandırmıştır. Günümüze kadar kömür, petrol, doğalgaz gibi tükenbilir enerji kaynaklarının öncelikli ve yoğun kullanımı, tükenbilir enerji rezervlerinde büyük ölçüde azalmaya, insanlığı ve evreni tehdit eden çevresel ve iklimsel tehlikelere neden olmuştur. Günümüzde de bu tehlikeleri devam etmektedir.

“Çevre Dostu Teknolojiler” kavramı küresel ısınma ile birlikte daha da ön plana çıkmış, teknolojik gelişmelerde konfor faktörünün yanı sıra önemli bir yaklaşımı da gündeme getirmiştir. Artık teknolojik araştırmalarda sadece konfor ve ekonomiklik değil aynı zamanda çevreci yaklaşım da etkin bir rol oynamaktadır.

## Abstract:

In this study, heat pipe vacuum tube solar collectors whose heat pipe's diameters are 16, 22 and 18 mm have been manufactured. As working fluid in the thermosiphon type heat pipe ethanol and as heated fluid, air which is required industrial drying an building heating have been used. Each of the designed solar collectors has been analyzed experimentally in the same conditions of Uşak/Turkey localization as collector air out speed in 3 m/s for five days. The experiments started at 9:30 and finished at 17:30. In the experiments, environment air temperature, air distribution collector input temperature and tank output air temperature used for each collector and intensity of solar irradiation of that day were measured. Temperature and intensity of solar irradiation were measured 5 minutes intervals. The data obtained from the experiments were evaluated diagrammatically and the effects of heat pipe diameters on thermal efficiency and heat pipe diameter providing the highest thermal efficiency were determined.

## Key Words:

Solar Energy, Vacuum Tube, Heat Pipe, Drying, Air Heating

**Makale**

Uygulama alanı olarak yüksek potansiyele sahip olan güneş, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin en çok kullanıldığı alanlardan birisi akışkan ısıtmasıdır. Bu akışkanların başında su ve hava gelir. Türkiye önemli güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir ve güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı evsel sıcak su üretimindedir.

Isı boruları sıcak ve soğuk kaynaklar arasında az sıcaklık farkı ile yüksek miktarda ısı taşıyan çift fazlı cihazlardır. Günümüzde çok değişik tipleri olan ısı boruları, ısı geçişini iyileştirmek amacıyla, birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı boruları, bilgisayar CPU'larının soğutulmasından nükleer santrallere, uzay araçlarındaki kullanımdan elektronik sanayisine, çeşitli proseslerin kontrolünden güneş enerjisi uygulamalarına, otoyollardan petrol boru hatlarına ve daha birçok uygulama alanına sahiptir. Özellikle iklimlendirme sistemlerinde ve büyük sistemlerde de havanın ön ısıtılması amacıyla ısı geri kazanım uygulamalarında kullanılmaktadır.

Vakum tüplü güneşli su ısıtma sistemlerinde, sistem iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. Tüpler arasındaki hava, vakumlama teknolojisi ile boşaltılmış, böylece ısı kaybının azaltılması amaçlanmıştır. Dışta yer alan özel yapılmış cam her türlü hava koşuluna dayanıklıdır. İçteki cam tüpün yüzeyi güneş ışınlarını en iyi şekilde toplamak için üretilmiş, siyah renkli bir maddeyle kaplanmıştır. Cam tüpler yuvarlak yapısı sayesinde günün her saati güneş ışınlarını dik olarak alırlar ve yansıtma oranı çok düşüktür. İki cam tabaka arasındaki vakum yalıtımından dolayı kış aylarında donma riski yoktur ve antifiriz kullanımını gereksiz kılar.

Vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri panel kolektörlü sistemlere göre daha pahalıdır. Isı borulu olmayan tiplerinde, suyun sadece cam tüp içerisinde termosifon etkisi ile doğal dolaşıma maruz kalması sistemin verimini düşürmektedir. Özellikle bulutlu havalarda ve kış aylarında yüksek verim beklentisinin gerçekleşmemesi pahalı olan bu sistemlere olan talebi azaltmaktadır. Isı borulu olan tipler ise çok daha maliyetli olduğundan ve ithal edilen bir ürün olduğundan kısıtlı bir kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada endüstride kurutma ve yapılarda ortam ısıtmasında ihtiyaç duyulan sıcak hava, ısı borusu çapı 16, 22, 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri ile imal edilmiş ve belirlenen ısı borusu çaplarının ısı verime etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda en yüksek ısı verime sahip olan ısı borusu çapı belirlenmiştir.

**2. LİTERATÜR ÖZETLERİ**

Isı borusunun aktif olarak kullanılması Gravier ve çalışma arkadaşları tarafından Los Alamos bilimsel araştırma laboratuvarında yapılan prototip ile gerçekleştirilmiştir. Isı borusu ismini ilk defa Gravier kullanmış ve belli çalışma sınırları altında günümüzde bilinen metallerin ısı iletkenliklerinden daha yüksek değere sahip bir yapıya eşdeğer olabileceğini vurgulamıştır [1].

Birçok araştırmacılar tarafından ısı borusu ile ilgili çok yönlü çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Yılmaz ve ark., güneşten gelen ışınları verimli bir şekilde konut ısıtımında kullanımı için ısı borulu bir güneş kolektörü tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Kolektör içerisine yaklaşık %40 R134a doldurmuşlar ve 10 adet fitilsiz ısı borusu kullanmışlardır. Mart ayında yapılan deneylerde ısı borulu güneş kolektörünün giriş-çıkış sıcaklıkları farkı 2 ile 6 °C arasında olurken kolektör verimi ortalama %36 olarak hesaplanmıştır. Haziran ayında yapılan deneylerde ise giriş-çıkış sıcaklıkları farkı 5.3 ile 9.2 °C arasında olurken kolektör verimi ortalama %46 olarak hesaplanmıştır [2]. Salem ve Akash, yapmış oldukları deneysel çalışmada çalışma akışkanı olarak su kullanmış olup, fitilli ve fitilsiz iki farklı ısı borusu kullanılmışlardır. 30, 60 ve 90 eğimlerde 30 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklıklarda çalışmışlardır. Sonuçta fitilli ısı borusunun fitilsiz ısı borusuna göre daha iyi bir ısı transferi sağladığını belirlemişlerdir [3]. Dowing ve Waldin, R11'li iki fazlı güneş kolektörü ile glikol-su karışımı güneş kolektörü sistemlerinin verimlerini araştırmışlar ve freon gazlarının iki fazlı sistemlerde kullanılıp kullanılmayacağını incelemişlerdir.

Soğutucu akışkanlar olarak kullanılan freon gazları-

nın kolaylıkla buharlaştığını gözlemlemişler ve R11 kullanılan kollektörün veriminin diğer kolektörlere oranla yaklaşık % 35 daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçta iki fazlı sistemin su sıcaklığı daha çabuk artmış ve verimi diğer sisteme göre daha yüksek çıkmıştır. Deneylerinde ayrıca soğutucu akışkanlardan R12, R113 ve R114'de kullanmışlardır [4]. Noie, havadan havaya yerçekimi destekli ısı borulu ısı değiştiricisi evaporatör bölgesinin % 60'ı çalışma akışkanı su ile doldurularak, ısı borusunun ısıl etkenliğini deneysel ve teorik olarak incelemiştir[5]. Payakaruk ve ark., eğimli termosifon tipte güneş kollektörleri üzerine çalışmışlardır.

Kollektörlerde çalışma akışkanları olarak, R-404a, R-123, R-134a, etanol ve su kullanmışlardır. Sistemler %50, %80 ve %100 oranlarında doldurulmuştur. Doldurma oranı dikey pozisyonun herhangi bir açısında ısı transfer karakteristiğine etki etmediği, bununla birlikte kullanılan akışkan özelliklerinin ise, ısı transfer hızına etki ettiği anlaşılmıştır [6].

Ürün ve ark., yerçekimi destekli ısı borusuyla ısı geri kazanım sisteminin ısıl performansını deneysel olarak incelemiştir. Bu ısı geri kazanım sistemi bakırdan yapılan 16 ısı borusundan oluşmaktadır. ısı borularında çalışma akışkanı olarak R.134a soğutkanını kullanmışlardır. Deneyler, 75, 100, 125, 150, 175 °C beş baca gazı sıcaklığında, 1, 1.5, 2, 2.5 m/s baca gazı hızında ve 1, 2, 3, 4 L/dak soğutma suyu debisinde olmak üzere sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre ısı borusunun etkenliği % 57 olarak gerçekleşmiştir[7].

Güngör tarafından değişik, verimli ve çok üstün uygulamaları ile yaygın bir kullanım alanı bulan ısı borularının, temel prensipleri, kullanılan malzemeler, çalışma akışkanları üzerinde durulmuş, ısı borulu ısı değiştiricilerin enerji geri kazanım ve özellikle iklimlendirmedeki uygulamaları anlatılmıştır [8].

Esen ve ark. tarafından, ısı borularından oluşan iç içe cam borulu düzlem bir güneş kolektörüne bağlı bir güneş enerjili pişirici imal edilerek deneysel olarak test edilmiştir. Bakır ısı boruları, ısı geçiş akışkanı olarak bir soğutucu akışkanla doldurulmuştur.

Soğutucu akışkanlar olarak Freon 404A ve Freon 410A kullanılmıştır. Pişirici ile değişik yiyecekler 25 ile 73 dakika arasında pişirilmiştir [9]. Yılmaz ve Deniz tarafından güneş enerjisinin ısıl uygulamalarında yüksek verimle çalışan R-22 akışkanlı ısı borulu güneşli sıcak su üreticinin performansı araştırılmıştır. ısı borulu sistem, imalatının kolay maliyetinin düşük oluşu ve kışın don olayından etkilenmeyişi, akşam saatlerinde ters akım ile ısı kaybına neden olmayışı gibi üstünlüklerinden dolayı tercih edilecek bir sistem olarak değerlendirilmiştir [10].

Acar ve ark., sıcak su elde etmek için kullanılan güneş kollektörlerinde, ısı borulu sistemlerin kolektör verimine etkisini incelemiştir. Birleşik ısı borulu ve ayrık ısı borulu olmak üzere iki farklı kollektör tipi imal etmişlerdir. İmalatı yapılan kollektörler ile Karabük şartlarında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler sırasında her iki kolektördeki depo su sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, ışıyım şiddeti değerleri ölçülerek kollektörlerin verimlerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak birleşik ısı borulu güneş kollektörünün ortalama verimini % 57,6 ve ayrık ısı borulu güneş kollektörünün ortalama verimini ise %48,5 olarak tespit etmişlerdir [11]. Özsoy, iki bölümden oluşan çalışmasının birinci bölümünde tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen bakır-su ısı borusu, farklı güçlerde çalıştırmıştır. Farklı eğim açılarında ve soğutma suyu debilerinde, ısı borusu yüzeyindeki belirli noktalardaki sıcaklık dağılımı ve ısı akısı deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, ısı borusunun kondenser kısmında dolaşan akışkan miktarının artması ile toplam ısı transfer katsayısının da arttığını görmüştür. Aynı şekilde, evaporatör kısmına uygulanan ısı yükünün artmasıyla da ısı transfer katsayısının arttığı görmüştür. Analiz sonucunda, toplam ısı transfer katsayısı ve ısı akısının; eğim açısı, doyma sıcaklığı, su debisi ve sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini tespit etmiştir.

Çalışmasının ikinci bölümünde iş akışkanı olarak su kullanan, yerçekimi destekli, ısı borulu ısı geri kazanım sistemi, tasarlayıp üretimini gerçekleştirmiştir. ısı borulu ısı geri kazanım sistemi, düz sıralı olup, toplam 16 ısı borusundan oluşmuştur. ısı değiştirici karşıt akışlı tipte olup ısı geri kazanım ünitesinin

## Makale

evaporatör bölgesi kanatlı olarak dizayn edilmiştir. Isı geri kazanım sistemi, farklı baca hızı ve sıcaklıklarında çalıştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sıra sayısı ve baca hızının artmasıyla basınç kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde kondenser bölgesindeki su debisinin artışı ile de etkinliğin yükseldiği görülmüştür [12]. Mathioulakis ve Belessiotis, tümleşik ısı borusu ile güneş sıcak su sisteminin teorik ve deneysel verimini incelemiştir. Sistem çalışma akışkanı olarak etanol ile fitilsiz yerçekimi destekli ısı borusu kullanmışlardır. Kondenser tankın içine konulmuş olup %60'a kadar anlık verim elde etmişlerdir [13].

### 3. DENEY SİSTEMİ ve METOD

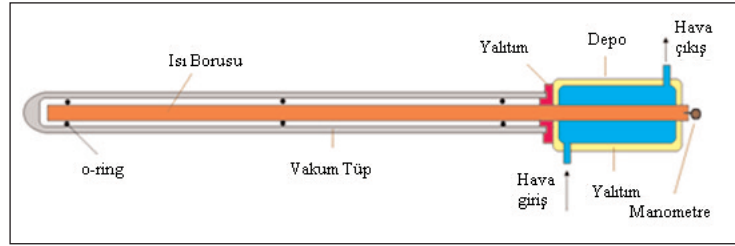
#### 3.1. Deneysel Sistemin Hazırlanması

Bu çalışmada, ısı borusu  $\varnothing$  16, 22, 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörü imal edilmiştir. Kolektörlerdeki ısı borularının ve ısı değiştiricilerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Isı borusu yapımı için bakır borular 1800 mm boyunda hazırlandıktan sonra bir ucuna boşaltma pürjörü diğer ucuna da doldurma pürjörü kaynatılmıştır.

Her bir ısı borusu içine ısı borusu toplam hacminin 1/3 oranında işgören akışkan olarak etanol konulmuş ve daha sonra boru içerisinde kalan hava vakum cihazı (Rothenberger, Model: ROAIRVAC 3.0, 230 V, 50/60 Hz, 25 micron, 3 FM, 85 L/min, 330 ml, 4 Poles, 2 Stages) -0.06 MPa kadar vakumlanmıştır.

Isı borusunun yoğunlaştırıcı kısmı (300 mm'lik boru bölümü) 300 mm boyunda 1mm saçtan hazırlanmış

tek zıt akımlı (tek giriş tek çıkış) depo içerisine yerleştirilmiştir. Deponun ısı yalıtımı yapıldıktan sonra ısı borusunun buharlaştırıcı ve adyabatik kısmı (depo dışında kalan 1500 mm boru bölümü) hazır olarak temin edilen 1500 mm boyunda ve  $\varnothing$  57 mm vakum tüp içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Isı Borulu Vakum Tüplü Hava Isıtma Güneş Kolektörünün Kesit Görünüşü

Isı borusunu vakum tüp içerisinde eş merkezli olarak konumlandırmak için uygun kesitli O-ringler ısı borusu boyunca eş mesafede 3 adet yerleştirilmiştir (Şekil 1).

Bu şekilde hazırlanan 3 adet (her biri farklı çapta) ısı borulu vakum tüplü kolektör taşıyıcı sistem üzerine yerleştirilmiştir. Her bir kolektörün depo girişi  $\varnothing$ 25 mm PPRC boru ile yapılmış ve her depo girişine hava debisini kontrol etmek için küresel vana konulmuştur. Borular  $\varnothing$  25 mm PPRC borudan yapılan hava dağıtım kolektörüne bağlanmıştır. Hava dağıtım kolektörünün girişine radyal fan (Marka: Bahçivan Model: BDRS 120-60, güç: 90 W, Devir: 2315 Rpm, Debi: 380 m<sup>3</sup>/h, Frekans: 50 Hz) bağlantısı yapılmıştır. Borular, depolar ve hava dağıtım kolektörleri 10 mm kalınlıktaki izoBOZZ yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır (Şekil 2).

Tablo 1. Kolektörlerdeki Isı Borularının ve Isı Değiştiricilerinin Özellikleri

Isı Borusu Boyu (cm)	Isı Borusu Çapı (cm)	Isıtılan Akışkan (hava) Depo Boyu (cm)	Isıtılan Akışkan (hava) Depo Çapı (cm)	Isı Borusu Toplam Hacmi (cm <sup>3</sup> )	Isı Borusu işgören Akışkan (etanol) Hacmi (cm <sup>3</sup> )	Isıtılan Akışkan (hava) Hacmi (cm <sup>3</sup> )
180.0	1.6	30.0	15.329	361.7	120.6	5473.4
180.0	2.2	30.0	15.403	683.9	228.0	5473.3
180.0	2.8	30.0	15.500	1107.8	369.3	5473.3



Şekil 2. Deney Setinden Görünüm

Deneylerde, çevre havası sıcaklığı, hava dağıtım kolektörü giriş sıcaklığı, her bir kolektör için depo çıkış havası sıcaklığı ve o güne ait güneş ışınımı şiddeti ölçülmüştür. Sıcaklık ve güneş ışınımı şiddeti ölçümleri 5'er dakikalık periyotlarda yapılmıştır.

### 3.2. Deney Planı

Hazırlanan deney seti, gölgeleme faktörü olmayan bir yerde, yatayla 25°'lik bir açı ve güney yönünde konumlandırılarak Uşak/Türkiye (29.25° Enlem ve 38.41° Boylam) şartlarında deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler 3 m/s hava çıkış hızı için 5 gün süre ile yapılmıştır (Tablo 1).

Deneylere belirtilen günlerde saat 09:30'da başlanmış ve 17:30'da son verilmiştir. Deneyler süresince deney sisteminin yeri hiç değiştirilmemiş, bu sebeple deneylere başlanılan saat 09:30'a kadar deney sistemi güneş ışınımına maruz kalmıştır. Belirtilen günlerde saat 09:30'da ilk ölçme verisi alındıktan hemen sonra kolektörlere hava girişini sağlayan fan çalıştırılmıştır.

### 3.3. Kolektör Verim Analizi

Güneş kolektörü verimi, kolektörlerde ısıtılan akışkana geçen toplam ısı enerjisinin, kolektör yüzeyine gelen güneş enerjisine oranı tanımlanır.

Güneş kolektörlerinde emici veya alıcı yüzeye gelen enerji, iletim ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır.

Kolektördeki ısıtılan akışkan tarafından soğurulan enerji ( $q_u$ ) için;

$$q_u = m_a \cdot c_{p_a} \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

Isıtılan akışkanın kütle debisi ( $m_a$ ) için;

$$m_a = \rho \cdot V \cdot A_k \quad (2)$$

$\rho$  nemli havanın yoğunluğu olup giriş-çıkış havasının ortalama sıcaklığı ve Uşak ili yerel atmosferik basıncı ile mükemmel gaz denkleminde hesaplanmıştır.

Kolektöre gelen güneş enerjisi miktarı ( $q_c$ ) için;

$$q_c = A_c \cdot I_c \quad (3)$$

Eşitlik 1, 2 ve 3'den yararlanılarak bulunan her iki değer eşitlik 4'de gösterildiği gibi birbirine oranlanarak kolektörün anlık verimi için;

$$\eta = q_u / q_c$$

$$\eta = [(\rho \cdot V \cdot A_k) \cdot c_{p_a} \cdot (T_o - T_i)] / (A_c \cdot I_c) \quad (4)$$

eşitlikleri kullanılmıştır.

## 4. BULGULARI DEĞERLENDİRME

### 4.1 Deney Sonuçları

30.06.2012 günü yapılan deneyde, elde edilen sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi gün boyu güneş ışınımı şiddetinde ani ve aşırı değişimler olmamış buna bağlı olarak da her bir kolektörün çıkış hava sıcaklıklarında büyük miktarlarda düşüşler ve yükselişler meydana gelmemiştir. Farklı ısı borusu çaplarına sahip her bir güneş kolektörünün hava çıkış sıcaklığında, deney başlangıcından itibaren saat 10:40'a kadar hızlı bir yükselme olduğu görülmektedir. Bu süreçte, ısıtılan akışkan (hava) sıcaklığı ilk önce Ø 16 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe sonra Ø 22 mm ve Ø 28 mm olan ısı borulu kolektörlerde yükselmiştir.



## Makale

Saat 10:40'dan sonra sıcaklık eğrilerindeki dalgalanmaların, verilerin 5'er dakikalık periyotlarda alınmış olması ve periyot süresince bulutlanmaya bağlı güneş ışınımı şiddetinde meydana gelebilecek değişimlerden ve çevre havası sıcaklığındaki değişimlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Grafikte, çevre havası sıcaklığı eğrisinde dikkate değer bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızındaki değişim olabileceği değerlendirilmektedir.

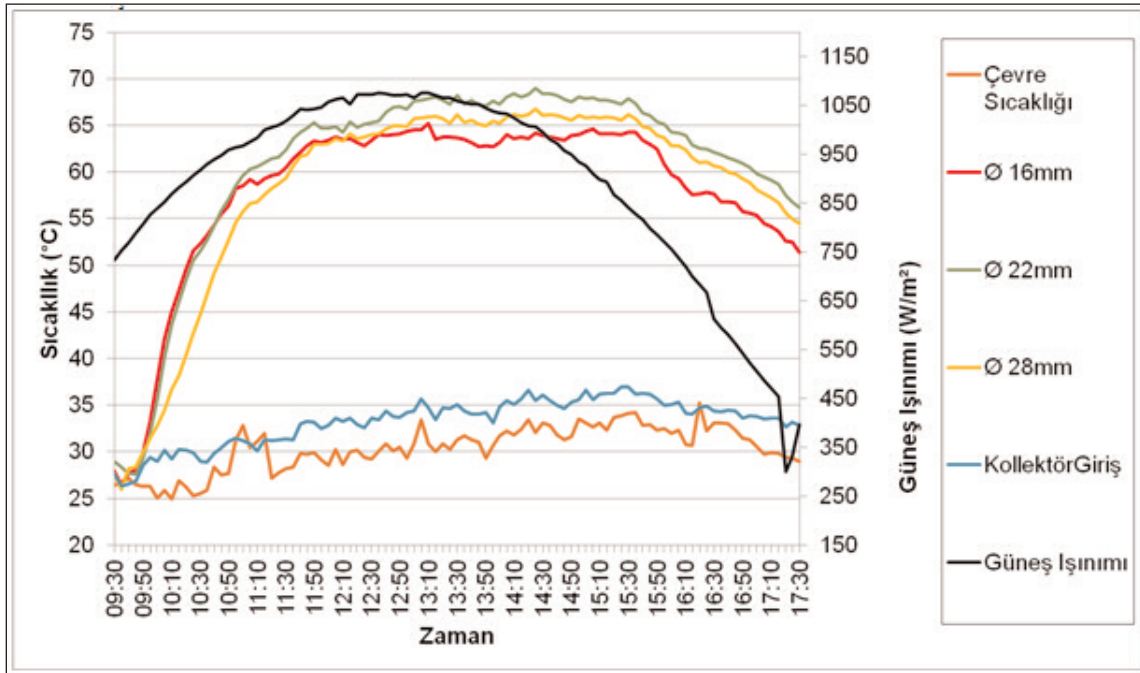
Ayrıca grafikte, deney süresince en yüksek hava çıkış sıcaklığının, ısı borusu çapı  $\varnothing$  22 mm olan kollektörde gerçekleştiği görülmektedir. Hava çıkış sıcaklığının en düşük gerçekleştiği güneş kollektörü ise ısı borusu çapının  $\varnothing$  16 mm olduğu kollektör olmuştur.

Deney süresince elde edilen verilerden ortalama sıcaklıklar; çevre sıcaklığı 30.36 °C, hava dağıtım kollektörü girişi 33.26 °C ve çapı 16, 22 ve 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kollektörlerinde çıkış havası sıcaklığı sırasıyla 57.99 °C, 60.77 °C, 58.43 °C ayrıca kollektörlerin yüzeyine gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti 886.81 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

01.07.2012 günü yapılan deneyde, elde edilen sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi gün boyu güneş ışınımı şiddetinde ani ve aşırı değişimler olmamış buna bağlı olarak da her bir kollektörün çıkış hava sıcaklıklarında büyük miktarlarda düşüşler ve yükselişler meydana gelmemiştir. Ancak, farklı ısı borusu çaplarının kullanıldığı her bir güneş kollektörünün hava çıkış sıcaklığında, deney başlangıcından itibaren saat 09:55'e kadar bir düşme eğilimi görülmektedir. Bu, deneyler süresince deney sisteminin yerinin hiç değiştirilmemesi, buna bağlı olarak deneylere başlanılan saat 09:30'a kadar deney sistemi güneş ışınımına maruz kalması ve saat 09:30'da ilk ölçme verisi alındıktan hemen sonra fanın çalıştırılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Saat 09:55'den sonra sıcaklık eğrilerindeki dalgalanmaların, verilerin 5'er dakikalık periyotlarda alınmış olması ve periyot süresince bulutlanmaya bağlı güneş ışınımı şiddetinde meydana gelebilecek değişimlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Grafikte, çevre havası sıcaklığı eğrisinde dikkate değer bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızındaki değişim olabileceği



Şekil 3. Sistem ile 30.06.2012 Tarihinde Yapılan Deneylerde Elde Edilen Verilerin Zamana Bağlı Değişimi

değerlendirilmektedir.

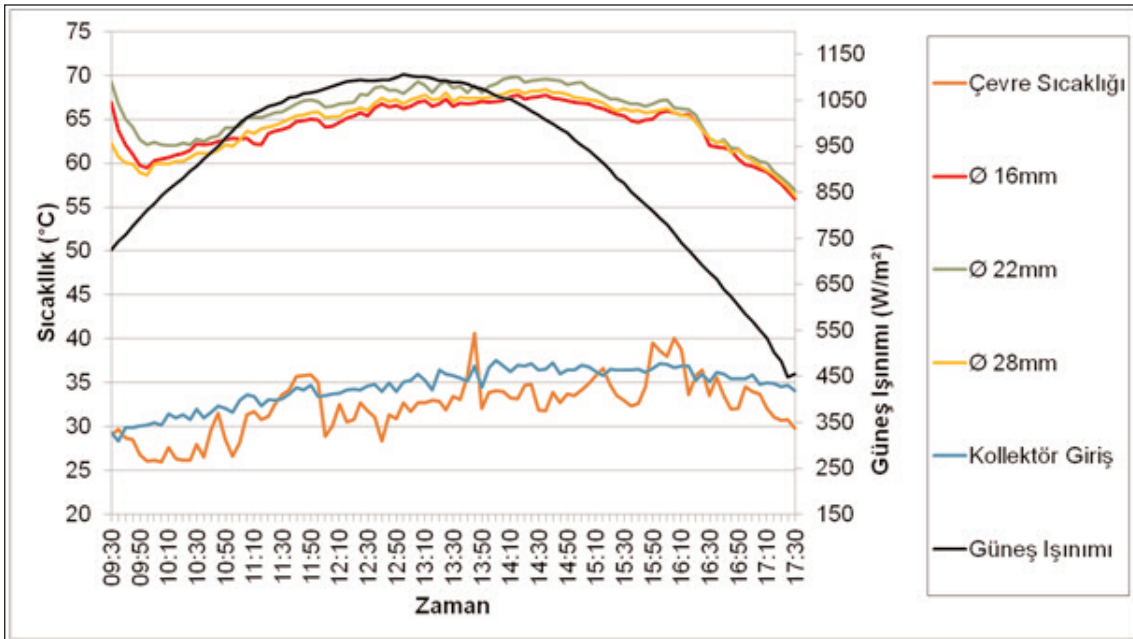
Ayrıca grafikte, deney süresinin büyük bir bölümünde ve güneş ışınımının yüksek olduğu süreçte hava çıkış sıcaklığı Ø 22 mm olan ısı borulu kolektörde, ikinci olarak Ø 28 mm olan ısı borulu kolektörde gerçekleştiği görülmektedir. Hava çıkış sıcaklığının en düşük gerçekleştiği kolektör ise Ø 16 mm olan ısı borulu güneş kolektörü olmuştur.

Deney süresince elde edilen verilerden ortalama sıcaklıklar; çevre sıcaklığı 32.34 °C, hava dağıtım kolektörü girişi 34.53 °C ve çapı 16, 22 ve 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörlerinde çıkış havası sıcaklığı sırasıyla 64.18 °C, 65.87 °C, 64.45 °C ayrıca kolektörlerin yüzeyine gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti 913.25 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

02.07.2012 günü yapılan deneyde, elde edilen sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi gün boyu güneş ışınımı şiddetinde ani ve aşırı değişimler olmamış buna bağlı olarak da her bir kolektörün çıkış hava sıcaklıklarında büyük miktarlarda düşüşler ve yükselişler meydana gelmemiştir. Ancak, farklı ısı borusu çaplarının kullanıldığı her

bir güneş kolektörünün hava çıkış sıcaklığında, deney başlangıcından itibaren saat 10:00’a kadar bir düşme eğilimi görülmektedir. Bu, deney planında açıklandığı üzere, deneyler süresince deney sisteminin yerinin hiç değiştirilmemesi, buna bağlı olarak deneylere başlanılan saat 09:30 kadar deney sistemi güneş ışınımına maruz kalması ve saat 09:30’da ilk ölçme verisi alındıktan hemen sonra fanın çalıştırılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Saat 10:00’dan sonra sıcaklık eğrilerindeki dalgalanmaların, verilerin 5’er dakikalık periyotlarda alınmış olması ve periyot süresince bulutlanmaya bağlı güneş ışınımı şiddetinde meydana gelebilecek değişimlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Grafikte, çevre havası sıcaklığı eğrisinde dikkate değer bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızındaki değişim olabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca grafikte, deney süresinin büyük bir bölümünde ve güneş ışınımının yüksek olduğu süreçte hava çıkış sıcaklığı Ø 22 mm olan ısı borulu kolektörde, ikinci olarak Ø 28 mm olan ısı borulu kolektörde gerçekleştiği görülmektedir. Hava çıkış sıcaklığının en düşük gerçekleştiği kolektör ise Ø 16 mm olan ısı borulu güneş kolektörü olmuştur.



Şekil 4. Sistem ile 01.07.2012 Tarihinde Yapılan Deneylerde Elde Edilen Verilerin Zamana Bağlı Değişimi

**Makale**

Deney süresince elde edilen verilerden ortalama sıcaklıklar; çevre sıcaklığı 27.05 °C, hava dağıtım kollektörü girişi 29.33 °C ve çapı 16, 22 ve 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kollektörlerinde çıkış havası sıcaklığı sırasıyla 57.04 °C, 58.38 °C, 57.58 °C ayrıca kollektörlerin yüzeyine gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti 869.50 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

03.07.2012 günü yapılan deneyde, elde edilen sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi gün içerisinde özellikle öğleden sonra saatlerinde güneş ışınımı şiddetinde ani ve aşırı değişimler meydana gelmiş buna bağlı olarak da her bir kolektörün çıkış hava sıcaklıklarında dikkate değer miktarlarda güneş ışınımına benzer düşüşler ve yükselişler gerçekleşmiştir. Öğleden sonra saatlerinde sıcaklık ve güneş ışınımında görülen bu dalgalanmalar uzun bulutlanma sürelerinden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca, farklı ısı borusu çaplarının kullanıldığı her bir güneş kollektörünün hava çıkış sıcaklığında, deney başlangıcından itibaren saat 10:20'e kadar bir düşme eğilimi görülmektedir.

Bu, deneyler süresince deney sisteminin yerinin hiç değiştirilmemesi, buna bağlı olarak deneylere başlanılan saat 09:30'a kadar deney sistemi güneş ışınımına maruz kalması ve saat 09:30'da ilk ölçme verisi alındıktan hemen sonra fanın çalıştırılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Grafikte, çevre havası sıcaklığı eğrisinde dikkate değer bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızındaki değişim olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca grafikte, deney süresinin büyük bir bölümünde ve güneş ışınımının yüksek olduğu süreçte hava çıkış sıcaklığı Ø 22 mm olan ısı borulu kollektörde, ikinci olarak Ø 28 mm olan ısı borulu kollektörde gerçekleştiği görülmektedir. Hava çıkış sıcaklığının en düşük gerçekleştiği kollektör ise Ø 16 mm olan ısı borulu güneş kollektörü olmuştur. Saat 15:30-17:30 periyotlarında Ø 16 mm ısı borusu içerisinde etanolün güneş ışınımına bağlı olarak aniden yoğunlaştığı buna karşın Ø 22 ve 28 mm olan ısı borularında etanolün buharlaşma için yeterli güneş

ışınımına sahip olmadığı değerlendirilmiştir. Deney süresince elde edilen verilerden ortalama sıcaklıklar; çevre sıcaklığı 27.44 °C, hava dağıtım kollektörü girişi 30.08 °C ve çapı 16, 22 ve 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kollektörlerinde çıkış havası sıcaklığı sırasıyla 55.03 °C, 55.85 °C, 54.38 °C ayrıca kollektörlerin yüzeyine gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti 750.15 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

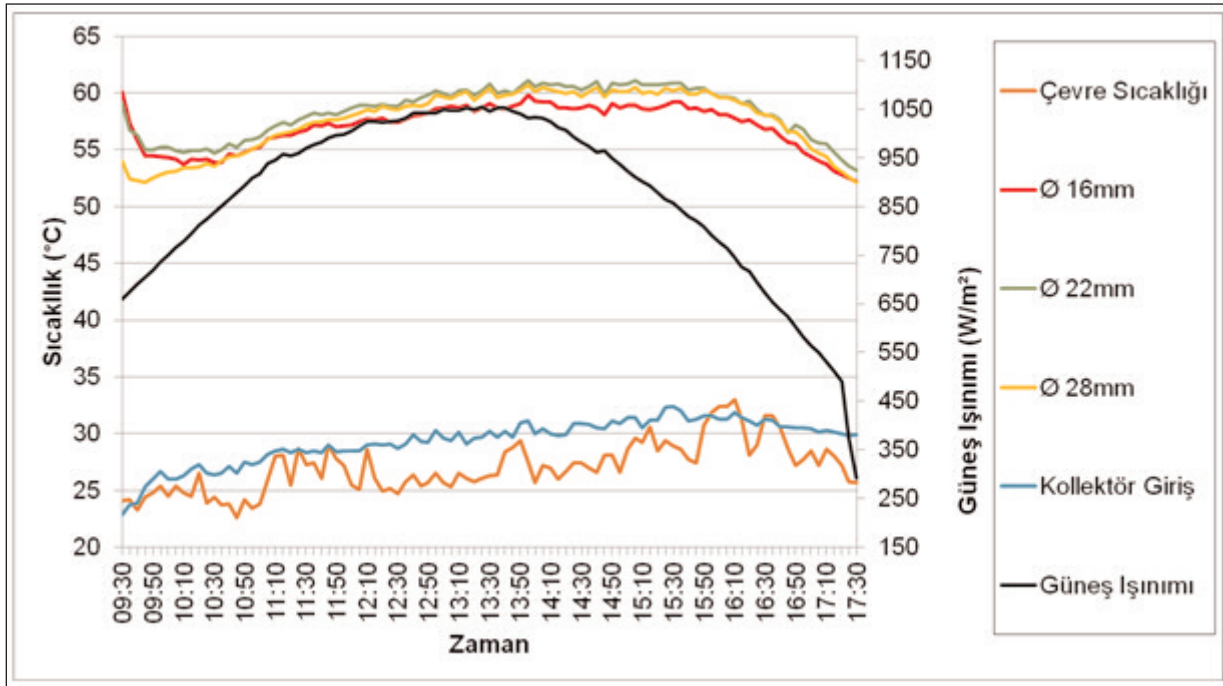
04.07.2012 günü yapılan deneyde, elde edilen sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi saat 15:00'den sonra güneş ışınımı şiddetinde ani ve aşırı değişimler meydana gelmiş buna bağlı olarak da her bir kolektörün çıkış hava sıcaklıklarında dikkate değer miktarlarda güneş ışınımına benzer düşüşler ve yükselişler gerçekleşmiştir. Öğleden sonra saatlerinde sıcaklık ve güneş ışınımında görülen bu dalgalanmalar uzun bulutlanma sürelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, farklı ışögören akışkanların kullanıldığı her bir güneş kollektörünün hava çıkış sıcaklığında, deney başlangıcından itibaren saat 09:55'e kadar bir düşme eğilimi görülmektedir. Bu, deneylere başlanılan saat 09:30 kadar deney sistemi güneş ışınımına maruz kalması ve saat 09:30'da ilk ölçme verisi alındıktan hemen sonra fanın çalıştırılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Grafikte, çevre havası sıcaklığı eğrisinde dikkate değer bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızındaki değişim olabileceği değerlendirilmektedir.

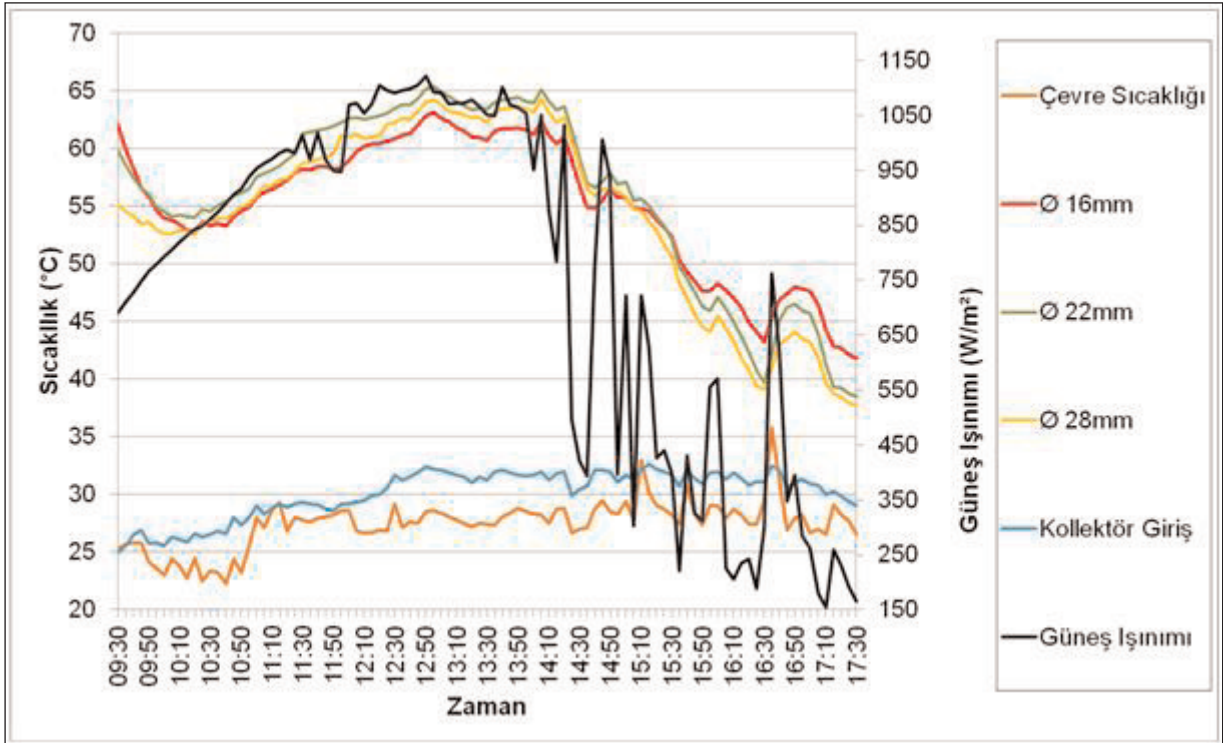
Ayrıca grafikte, deney süresinin büyük bir bölümünde ve güneş ışınımının yüksek olduğu süreçte hava çıkış sıcaklığı Ø 22 mm olan ısı borulu kollektörde, ikinci olarak Ø 28 mm olan ısı borulu kollektörde gerçekleştiği görülmektedir. Hava çıkış sıcaklığının en düşük gerçekleştiği kollektör ise Ø 16 mm olan ısı borulu güneş kollektörü olmuştur.

Saat 16:00-17:30 periyotlarında Ø 16 mm ısı borusu içerisinde etanolün güneş ışınımına bağlı olarak aniden yoğunlaştığı buna karşın Ø 22 ve 28 mm olan ısı borularında etanolün buharlaşma için yeterli güneş ışınımına sahip olmadığı değerlendirilmiştir.



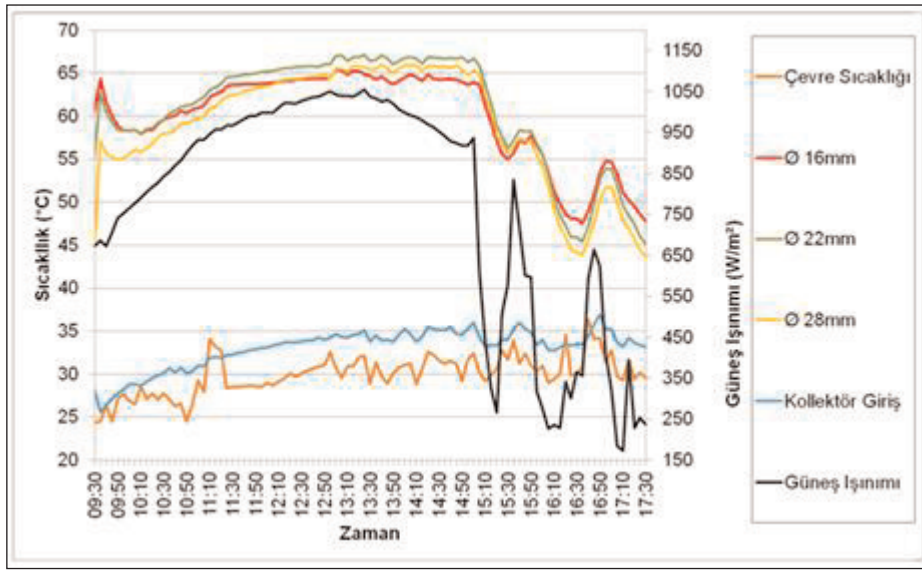


Şekil 5. Sistem İle 02.07.2012 Tarihinde Yapılan Deneylerde Elde Edilen Verilerin Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 6. Sistem İle 03.07.2012 Tarihinde Yapılan Deneylerde Elde Edilen Verilerin Zamana Bağlı Değişimi

## Makale



Şekil 7. Sistem ile 04.07.2012 tarihinde yapılan deneylerde elde edilen verilerin zamana bağlı değişimi

Deney süresince elde edilen verilerden ortalama sıcaklıklar; çevre sıcaklığı 29.94 °C, hava dağıtım kollektörü girişi 33.00 °C ve çapı 16, 22 ve 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörlerinde çıkış havası sıcaklığı sırasıyla 59.94 °C, 60.66 °C, 58.92 °C ayrıca kollektörlerin yüzeyine gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti 775.45 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Deneylerde elde edilen anlık sıcaklık ve güneş ışınımı verilerinin günlük ortalama değerlerinin günlere bağlı değişimi Şekil 8’de görülmektedir. Şekilde, ısıtılan akışkan hava çıkış hızının 3 m/s olduğu 30 Haziran 2012, 1 Temmuz 2012 ve 2 Temmuz 2012 günlerinde, en yüksek hava çıkış sıcaklığının sırasıyla Ø 22, Ø 28 ve Ø 16 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe gerçekleştiği görülmektedir. Ancak, ısıtılan akışkan hava çıkış hızının yine 3 m/s olduğu 3 Temmuz 2012 ve 4 Temmuz 2012 günlerinde ise en yüksek hava çıkış sıcaklığının sırasıyla Ø 22, Ø 16 ve Ø 28 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe gerçekleşmektedir.

#### 4.2. Kollektör Verimlerinin Değerlendirilmesi

Deneylerden alınan sıcaklık verileri yardımıyla yazılan eşitlikler geliştirilen bir bilgisayar programında çözdürülerek analize ait sonuçlar elde edilmiştir.

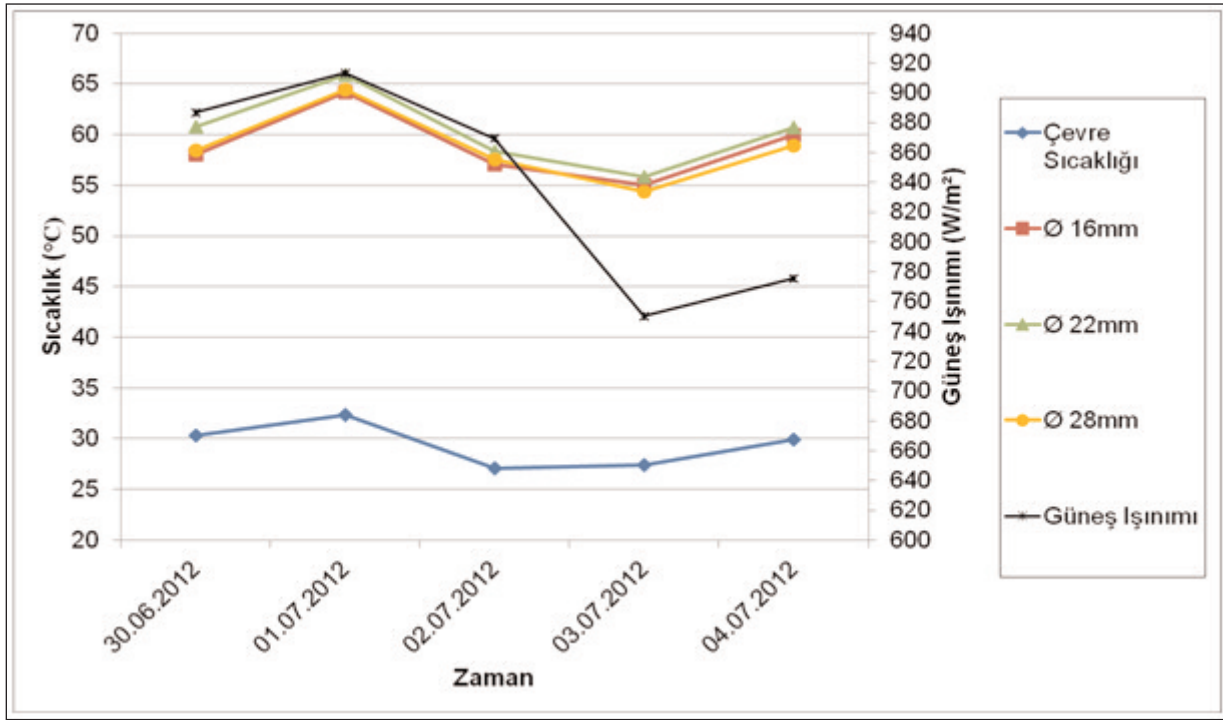
Farklı ısı borusu çapları kullanılan ısı borulu vakum

tüp güneş kolektörlerinde 3 m/s hava hızı için tespit edilen günlük ortalama verimler Şekil 9’da görülmektedir.

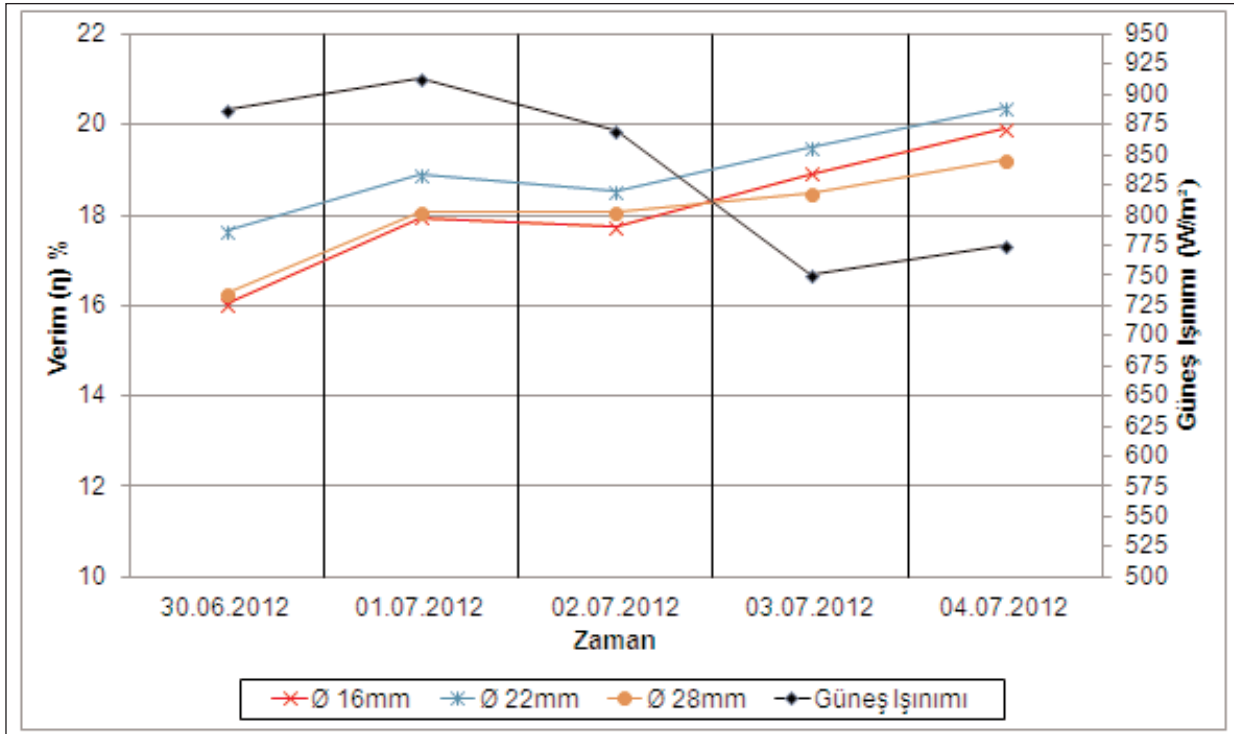
Buna göre, 3 m/s ısıtılan akışkan hava çıkış hızı için 30.06.2012, 01.07.2012 ve 02.07.2012 günü yapılan deneylerde, en yüksek günlük ortalama verimin sırasıyla, ısı borusu Ø 22, Ø 28 ve Ø 16 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe gerçekleştiği görülmektedir.

03.07.2012 ve 04.07.2012 günü yapılan deneylerde ise en yüksek günlük ortalama verim sırasıyla, ısı borusu Ø 22, Ø 16 ve Ø 28 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe gerçekleşmektedir.

3 Temmuz 2012 ve 4 Temmuz 2012 günlerinde, ortalama günlük güneş ışınımı sırasıyla 750.15 W/m<sup>2</sup> ve 775.45 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiş Ø 28 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe işgören akışkan etenolün yoğunlaşması artmış yani buharlaşma için gereken güneş ışınımı gerçekleşmemiştir. Ø 16 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe ise işgören akışkan etenol tamamen buharlaşmış yoğunlaştırucuda ısı atmadığı için ısı transferi azalmıştır. Bu kollektörde yoğunlaşmanın sağlanabilmesi için ya ısıtılan akışkan hızı yada ısı borusunun yoğunlaştırucusunda kanatçık yapımı vb. uygulamalarla ısı transfer yüzeyi artırılmalıdır.



Şekil 8. Kollektörlerde Deney Yapılan Günler İçin Belirlenen Günlük Ortalama Sıcaklıklar Ve Güneş Işınımları



Şekil 9. Kollektörlerde Deney Yapılan Günler İçin Belirlenen Günlük Ortalama Sıcaklıklar Ve Güneş Işınımları

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 0.001 kg/s ısıtılan akışkan hava kütle debisi için 30.06.2012, 01.07.2012 ve 02.07.2012 günü yapılan deneylerde, en yüksek günlük ortalama kolektör verimi sırasıyla, ısı borusu Ø 22, Ø 28 ve Ø16 olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe gerçekleşmiştir.

0.07.2012 ve 04.07.2012 günü yapılan deneylerde ise en yüksek günlük ortalama kolektör verimi sırasıyla, ısı borusu Ø 22, Ø 16 ve Ø 28 olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe gerçekleşmiştir.

Tüm deneylerden elde edilen verilere göre en yüksek ortalama kolektör verimi 0.19 olarak ısı borusu çapı 22 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe gerçekleşmiştir.

Ortalama günlük güneş ışımasını  $775.45 \text{ W/m}^2$ 'nin altına düştüğü günlerde ısı borusu Ø 28 olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektöründe işgören akışkan etenolün yoğuşması artmış yani buharlaşma için güneş ışımasını şiddeti yeterli olmadığı için ısı verimi düşmüştür. Ortalama günlük güneş ışımasını  $775.45 \text{ W/m}^2$ 'nin üzerinde olduğu günlerde ise ısı borusu Ø16 olan ısı borulu vakum tüplü güneş kolektöründe, işgören akışkan etenol tamamen buharlaşmış yoğuşturucuda ısı atamadığı için ısı transferi azalmış ve buna bağlı olarak ısı verimi düşmüştür.

Sonuç olarak, ısı borusu çapı 16 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri Uşak ilinin kuzeyinde ve ısı borusu çapı 28 mm olan ısı borulu vakum tüp güneş kolektörleri Uşak ilinin güneyinde yer alan uygulamalar için kullanımı önerilebilir.

Isı borusu yoğuşturucusunda kanatçık veya farklı geometriler uygulanarak ısı transfer yüzeyinin artırılmasıyla ısı verim iyileştirilebilir.

Günümüzde vakum tüp güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde, 20, 24 ve 30 adetli vakum tüp grup sistemler kullanılmaktadır. Bu tür gruplamalarla hava ısıtımında güneş enerjisinden daha büyük miktarlarda ısı kazanım sağlanabilir.

Bu çalışmada, tasarlanan ve imal edilen farklı işgören akışkan kullanılan ısı borulu vakum tüplü güneş

kolektörlerinin ısı verim analizi Uşak/Türkiye yerel atmosfer basıncında yapılmış olup belirtilen kolektörler deniz seviyesindeki bir yerde kullanılır ise her bir işgören akışkan verimine % 2.2 bir ilave yapılmalıdır.

## SEMBOLLER

- $q_u$  : Isıtılan akışkana geçen ısı yükü (W)  
 $A_c$  : Kolektör yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )  
 $I_c$  : Kolektör yüzeyine gelen güneş ışımasını şiddeti ( $\text{W/m}^2$ )  
 $q_c$  : Kolektöre gelen güneş enerjisi miktarı (W)  
 $m_a$  : Havanın kütle debisi (kg/s)  
 $c_{p,a}$  : Havanın özgül ısıma ısısı (J/kgK)  
 $T_i$  : Havanın giriş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_o$  : Havanın çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $u$  : Havanın akış hızı (m/s)  
 $\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $A_k$  : Hava kanalının akışa dik kesit alanı ( $\text{m}^2$ )  
 $\eta$  : Kolektör verimi

## KAYNAKLAR

- [1] Silverstein, C., C., Design and Technology of Heat Pipes For Cooling and Heat Exchange, 1992
- [2] Yılmaz, S., Kayfeci, M., Keçebaş, A., "Çift Fazlı (Isı Borulu) Güneş Kolektörlerini Konut Isıtımında Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi" MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, (116) 5-10, 2010.
- [3] Salem, S.A., Akash, B.A., "Experimental performance of a heat pipe", Int. Comm. Heat Mass Transfer, 26, 5, 679-684. 1999.
- [4] Dowing, R.C., Waldin, V.H., "Phase-Change Heat Transfer in Solar Hot Water Heating Using R-11 And R-114", Ashrae Transactions, 848-856, 1980.
- [5] NOIE, S.H. "Investigation of Thermal Performance of an Air-To-Air Thermosyphon Heat Exchanger -NTU Method," Applied Thermal Engineering Vol. 26, pp. 559-567, 2006.
- [6] Payakaruk, T., Terdtoon, P. and Ritthidech, S. "Correlations to Predict Heat Transfer Characteristics of an Inclined Closed Two-Phase Thermosyphon at Normal Operating Conditions," Applied Thermal Engineering, Vol. 20, pp. 781-790, 2000.



- [7] Ürün, E., Çay, Y., Kurt, H., “Isı Borulu Isı Geri Kazanım Sistem Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- [8] Güngör, A., “İklimlendirmede Enerji Geri Kazanımında Isı Borulu İsi Değiştiriciler” II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi sayfa 659-655, 1995.
- [9] Esen, M., Hazar, H., Esen, H., “Isı Borulu Kollektör Kullanan Güneş Enerjili Bir Pişiricinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 2005/1 s 114-122, 2005.
- [10] Yılmaz, S., Deniz, E., “Isı Borulu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinde Soğutucu Akışkan R- 22 Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Teknoloji, Cilt 8, Sayı 4, 349-356, 2005.
- [11] Acar, B., Öz, E.S. ve Gedik, E., “Ayrık ve Birleşik Isı Borulu Kollektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Dergisi, 23 (2), 425-429, 2008.
- [12] Özsoy, A., “Isıtma Sistemlerinden Isı Geri Kazanımında Isı Borularının Uygulanabilirliği, Ekserji Ve Ekonomik Analizi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2005.
- [13] Mathioulakis, E. AND Belessiotis, V., “A New Heatpipe Solar Domestic Hot Water System”, Solar Energy, 72 (1), 13-20, 2002.