

M. Ali ERSÖZ

**Abstract:**

In this study, recovery of waste heat throws out by chimney gasses using a heat pipe having high heat transfer properties has been investigated. Seven heat pipes of 12 mm in length and 50 cm in diameter were designed and manufactured. Commercial spirit -etenol- as the heating fluid is used in heat pipe. Evaporator part of prepared heat pipe was mounted in a prototype chimney channel and the other part namely condenser was placed in a tank in dimension of 20x30x30 cm by 450. Water, diesel, fuel-oil and air were used as heating fluid in experiments. The every temperatures variation of heating fluid were measured from chimney gasses at 140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C. Finally, how much recovery heat gained was examined by evaluation of experimental results with graphs.

**Key Words:**

Heat recovery, Heat pipe, Waste heat

# Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu İle Geri Kazanımının Deneysel İncelenmesi

**ÖZET**

*Bu çalışmada, yüksek ısı iletebilme özelliğine sahip bir ısı transfer cihazı olan ısı borusu yardımıyla baca gazları ile atılan ısının geri kazanılması deneysel olarak incelenmiştir. 12 mm çapında 50 cm boyunda 7 adet ısı borusu tasarımı yapılarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Isı borularında ısıtma akışkanı olarak etanol (ticari ispirto) kullanılmıştır. Hazırlanan ısı borularının evaporatör bölümü prototip imalatı yapılan bir baca kanalı içerisine, kondenser bölümü ise 20x30x30 cm boyutlarındaki depo içerisine gelecek şekilde ve 45°'lik açı ile yerleştirilmiştir. Deneylerde; ısıtılan akışkan olarak su, motorin, fuel-oil ve hava kullanılmıştır. 140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C baca gazı sıcaklıklarında her bir ısıtılan akışkanın sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Araştırma bulguları grafiklerle değerlendirilerek ne kadar ısı kazancı olduğu incelenmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Isı geri kazanım, Isı borusu, Atık ısı*

**1. GİRİŞ**

Dünyada enerji ihtiyacı, artan nüfus ve gelişen teknolojiye bağlı olarak sürekli artmaktadır. Buna karşılık başta petrol olmak üzere sınırlı olarak bulunan fosil enerji kaynakları tükenmektedir. Diğer yandan bu tür enerji tüketimini yoğun olarak yapan ülkelerin, enerjinin sağlanması ve kullanılmasında atmosfere bıraktıkları başta CO<sub>2</sub> olmak üzere dünyanın ısınmasına yol açan gaz emisyonlarının meydana getirdiği çevre sorunları gün geçtikçe artmaktadır. Canlıların yaşamını etkileyen bu çevre sorunlarının çözümü için ülkelerin bir dizi tedbirler alma zorunluluğu karşısında uluslararası sözleşmeler imzalanmaktadır. Tüm bu gelişmeler mevcut enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra yeni arayışları da zorunlu kılmaktadır. Özellikle, Türkiye gibi enerji açısından büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkeler için bu durum çok büyük önem taşımaktadır.

Bugün herkes tarafından kabul edilmektedir ki; en ucuz enerji, verimli kullanım sonucu tasarruf edilen enerjidir. Enerji tasarrufu enerji arz-talep dengesini düzenler. Savurganlığı kaldırarak, talebin abartılmış biçimde ortaya çıkmasını önler. Enerji tasarrufu, ekonomik büyümeyi ve yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir.

Enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi son derece önemlidir. Bunun sonucu, sosyal refahı engellemeden yapılacak enerji tasarrufunun, kısa ve orta dönemde, ülkelerin enerji teminiyle ilgili sorunlarının çözümüne küçümsenemeyecek katkıları olacaktır. Enerji üretimi, sanayi, ulaşım, konut ve hizmet sektörlerinde ortaya çıkan atık ısı enerjilerinin çeşitli araç ve yöntemlerle geri kazanılarak enerji/yakıt tasarrufu sağlanması mümkündür. Endüstriyel süreçlerde de enerjinin etkin ve verimli kullanılması, sadece ülke ekonomisine katkı sağlamayacak, ayrıca üretilen ürünün birim maliyeti de azalacaktır. Böylece, sanayi kuruluşlarının iç ve dış pazardaki rekabet gücünü arttıracaktır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı borusu üzerine birçok araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır. Faghri ve Thomas (1989), eşmerkezli halkalı ısı borusunda kılcallık üzerine deneysel ve analitik yöntemle çalışmalar yapmıştır [1]. Faghri (1989), sıkıştırılmaz akım ve kararlı basınç yayılımına dayalı olarak sayısal bir yöntem kullanarak eşmerkezli halkalı ısı borusunda buhar akımı modellemiştir [2]. Faghri ve Buchko (1991) tarafından evaporatör bölümünde çeşitli ısı kaynakları ve ısı kaynağı yayılımının etkisi ile düşük sıcaklık ısı borusu üzerinde sayısal analiz ve deneylerle araştırmalar yapılmıştır [3]. Tournier ve El-Genk (1994), sınırlı güç planına dayalı sayısal bir yöntem kullanarak ısı borusunun kısa süreli davranışını incelemiştir [4]. Kim ve diğ. (2003) tarafından oluklu bir fitil ile minyatür bir ısı borusunun çalışma karakteristikleri ve ısı optimizasyonu üzerine analitik ve deneysel bir araştırma yapılmıştır [5]. Nouri-Borujerdi ve Layeghi (2004), şaşırtmalı izgara planı ve basit algoritma kullanan eşmerkezli halkalı ısı borusunda buhar akımını analiz etmişlerdir. Farklı radyal Reynolds sayıları için basınç yayılımını bulmuşlardır [6]. Chan and Faghri (1995) tarafından bir ve daha çok ısı kaynakları ile bir ısı borusunda boru duvarı ve akışkan fitili aracılığıyla buhar akımı ve ısı iletimi analiz edilmiştir. Bu çalışmada, ısı borusu çalışmasına tesir eden parametrelerin analizi için sayısal bir yöntem kullanılmıştır. Sürekli hal sıkıştır-

ılamaz akım, sadece buhar bölgesi için değil akım fitil yapısında da etkinliği artırmak için birlikte çalışan silindirik, bilgisayar yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Gözenekli araçlarda momentum eşitliği için Darcy kanunu kullanılmıştır [7]. Özsoy ve Acar (2005), yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bakır-su ısı borusunun sabit bir güçte çalıştırılması esnasında ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve kondenserden transfer edilen ısı miktarı çeşitli eğim açılarında ve değişik soğutma suyu debilerinde deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada eğim açısının 0 derece olduğu konumda transfer edilen ısının diğer eğim açılara kıyasla daha az olduğu 30-90 derece eğim açılarında ise transfer edilen ısı miktarlarında fazlaca bir değişimin olmadığı gözlemiştir. Isı borusundan yatay konumunda transfer edilen ısı miktarının az olması nedeniyle evaporatör ve kondenser yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının da arttığı gözlenmiştir [8]. Güngör (1995), Son yıllarda çok değişik, çok 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 [9]. Esen ve diğ. (2005) 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, kolektör 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 [10]. Yılmaz ve Deniz (2005) tarafından güneş enerjisinin ısı uygulamalarında yüksek verimle çalışan R-22 akışkanlı ısı borulu güneşli sıcak su üreticinin performansı araştırılmıştır. Isı 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 [11]. Acar ve diğ. (2008), sıcak su elde etmede kullanılan güneş kolektörlerinde, ısı borulu sistemlerin kolektör verimine etkisini belirlemiştir.

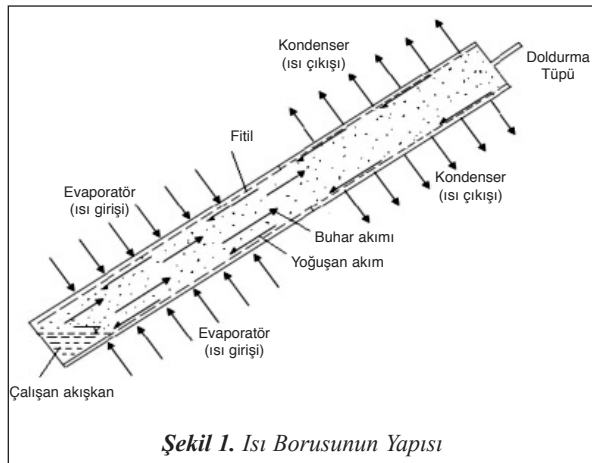
## Makale

Birleşik ısı borulu ve ayrıık ısı borulu olmak üzere iki farklı kollektör tipi imal edtmşlerdir. İmalatı yapılan kollektörler ile Karabük şartlarında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler sırasında her iki kollektördeki depo su sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, ışınım şiddeti değerleri ölçülerek kollektörlerin verimlerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak birleşik ısı borulu güneş kollektörünün ortalama verimini %57,6 ve ayrıık ısı borulu güneş kollektörünün ortalama verimini ise %48,5 olarak tespit etmişlerdir [12].

### 3. ISI BORUSU

#### 3.1. Isı Borusunun Çalışma Prensibi

Isı borusu esas itibariyle, içinde az miktarda ısıtma akışkanı bulunan, havası alınmış kapalı bir kaptır (Şekil 1). Kabin iç yüzeyine ince tülde yapılmış olan fitil, konur. Çalışma sırasında buharlaştırıcı (evaporatör) bölgesine uygulanan ısı, ısıtma akışkanının bir bölümünü buharlaştırır ve kısa zamanda, kabin tamamını saf buharla doymuş hale getirir. Sistemden ısı çekilmesiyle birlikte, yoğunlaştırıcı (kondenser) bölgesinde, kap duvarı yüzeyi soğuk olacağı için, bu bölgede yoğunlaşma başlar. Açığa çıkan yoğunlaşma ısı, ısı iletim yoluyla aktarılır. Yoğuşan sıvı, yerçekimi takviyeli ısı borusunda, buharlaşma gizli ısı büyük olduğundan dolayı,



Şekil 1. Isı Borusunun Yapısı

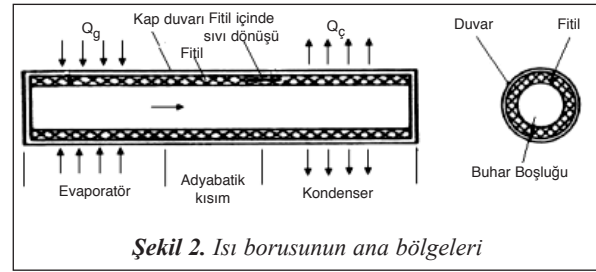
önemli miktarda ısı, kabinin bir ucundan diğer ucuna, çok az bir sıcaklık farkı ile taşınır. Bundan dolayı, yapı çok yüksek bir ısı iletim kapasitesine sahip olur [13]. Isı borusunda evaporatörün pozisyonu sınırlandırılmıştır ve evaporatör herhangi bir konumda

kullanılabilir. Eğer ısı borusu evaporatörü en düşük pozisyonda ise, yerçekimi kuvvetleri, fitil kılcal kuvvetlerine de yardım eder [14].

#### 3.2. Isı Borusu Konstrüksiyonu

Isı borusunun ana bölgeleeri, Şekil 2’de gösterilmiştir. Isı borusu, bir evaporatör ve bir kondenserden meydana gelir. Çevre geometrik şartları gerekli kılarsa, evaporatör ve kondenseri ayırmak için Teknolojik Araştırma Bildirisi

adyabatik bir kısım ilave edilir. Isı borusunun enine kesiti, kap duvarından, fitil malzemelerinden ve buhar boşluğundan meydana gelir [14].



Şekil 2. Isı borusunun ana bölgeleeri

Isı boruları çok geniş sıcaklık aralığında, değişik ebatlarda, sabit veya esnek şekillerde, silindirik, düzlemsel, döneel veya kullanma yerine ve amacına uygun olarak imal edilebilirler [8].

Yoğuşmuş akışkanı tekrar evaporatöre geri getirmek için yerçekimi kuvveti ve kılcal, merkezkaç, osmotik, manyetik vs. kuvvetler kullanılır. En çok kullanılan yöntem kılcal kuvvetlerden yararlanmaktır [8].

#### 3.3. Isı Borusunun Performansı

Isı borusunun performansı, çoğunlukla, eşdeğer ısı iletim kapasitesi cinsinden ifade edilir. İyi bir ısı borusunun, aynı çaptaki dolu bakır çubuğun boyuna iletebildiği ısı miktarının birkaç bin mislini, aynı yönde iletebildiği belirtilmektedir [15].

Isı borusunun güç iletim kapasitesi çok yüksektir. 1500 °C’de çalışan ve akışkan olarak lityum kullanan ısı boruları, aksel olarak 10 ile 20 kW/cm<sup>2</sup>’lik ısı taşırlar. Isıtma akışkanının ve kap malzemelerinin uygun seçilmesi ile, 4 °K ile 2300 °K arasındaki

sıcaklıklardaki kullanım için, ısı borusu imal edilebilir [14].

### 3.4. Isı Borusunun Uygulama Alanları

Isı boruları günümüzde, bilgisayar CPU'larının soğutulmasından nükleer santrallere, uzay araçlarındaki kullanımdan elektronik sanayisine, çeşitli proseslerin kontrolünden güneş enerjisi uygulamalarına, iklimlendirme tesislerinden otoyollara ya da petrol boru hatlarına ve daha birçok uygulama alanında yer bulabilmektedir. Özellikle iklimlendirme sistemlerinde ve büyük sistemlerde de havanın ön ısıtılması amacıyla ısı geri kazanım uygulamalarında kullanılmaktadır [8,9,13,16].

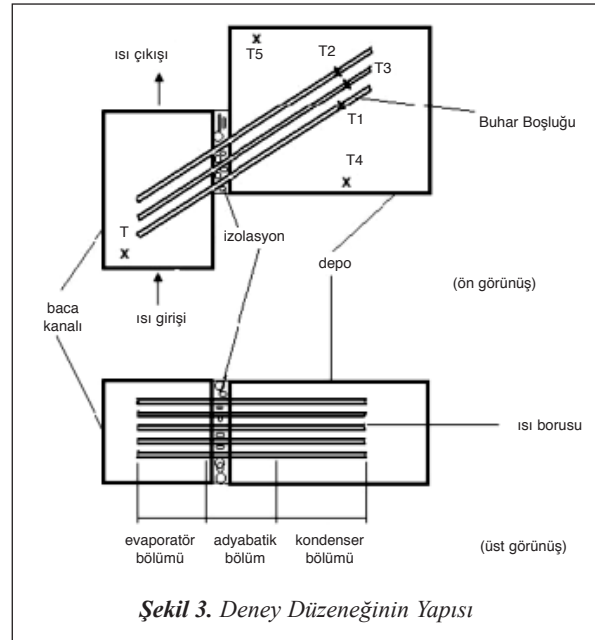
## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1. Materyal

Deney çalışmalarında, ısı borusu yapılacak 12 mm çapında bakır boru önce 50 cm'lik boylarda kesilerek yedi adet hazırlandı. Boruların birer ucuna aynı malzemeden kapaklar yapılarak kaynatıldı. Diğer uçlarına da aynı malzemeden hazırlanmış, 6 mm çapında ve 6 cm uzunluğundaki borular kaynatıldı. Boruların içerisine boru boyunun 1/3 oranında etanol (ticari ispirto) koyuldu. Boruların alt uçlarından ısı uygulanarak etanolün boru içerisinde buharlaşıp, içerisindeki havayı dışarı atması sağlandıktan sonra sert lehimleme ile uçları kaynatıldı. Bu şekilde hazırlanan ısı borularının, ısı verilmek suretiyle ısı iletimi yapıp yapmadığı kontrol edildi. Baca kanalı 20 x 20 x 30 cm ebatlarında, depo ise 20 x 30 x 30 cm ebatlarında 1 mm kalınlığında siyah saçtan yapıldı.

Hazırlanan ısı borularının evaporatör bölümü baca kanalı, kondenser bölümü ise depo içerisine gelecek şekilde ve ısı boruları 45°'lik açı ile yerleştirildi. Depo içerinde sızdırmazlığın sağlanması için sert lehimleme yapıldı. Baca gazı sızdırmazlığı için de silikon tercih edildi. Baca kanalı ile depo arasında ısı yalıtımı poliüretan köpük ile sağlandı (Şekil 3).

Deney düzeneği, 20 x 10 x 1 mm profil malzemeden yapılan bir taşıma sistemi üzerine yerleştirildi.



Şekil 3. Deney Düzeneğinin Yapısı

### 4.2. Metot

Deney çalışmalarında; baca gazlarındaki atık ısıyı oluşturmak için ısı kaynağı olarak bütan gaz tüpü kullanıldı. Isı, tüpe bağlı bir üfleç ile baca kanalı içerisine verildi. Baca kanalı içerisindeki sıcaklık değişimlerini önlemek için bütün deneyler hava sirkülasyonunun olmadığı kapalı bir ortamda yapıldı.

Deneylerde; ısıtılan akışkan olarak su, motorin, fuel-oil ve hava kullanıldı. Her bir akışkan için 140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C baca gazı sıcaklıklarında (BGS), sıcaklık değişimleri, depo içerisindeki akışkanın alt ve üst noktalarına konulan termokupullar ile ölçüldü. Ayrıca, alt, orta ve üst konumlarda bulunan ısı borularının kondenser bölümüne de termokupullar konularak sıcaklık değişimleri ölçüldü.

Isıtılan akışkan olarak su, motorin ve fuel-oil kullanılan deneylerde sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 3'te gösterilmiştir.

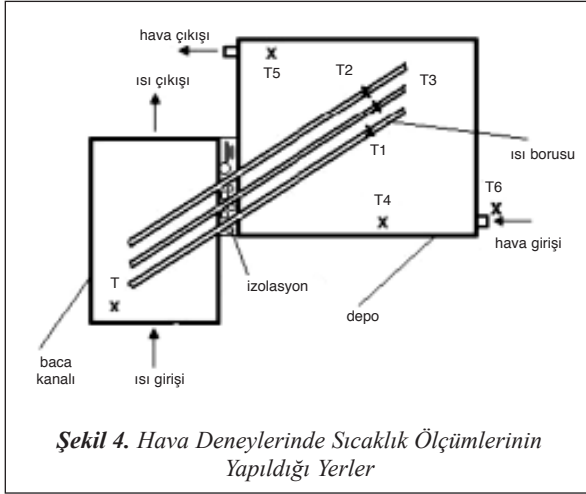
Isıtılan akışkan olarak havanın kullanıldığı deneylerde ise sıcaklık ölçüm noktaları diğer ısıtılan akışkanlardan farklı seçilmiş ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

Isıtılan akışkan olarak hava kullanılan bütün deneylerde, hava, 3 m/s hızla deney tesisine verildi. Hava deneylerinde depo üzeri, aynı malzemeden yapılan

## Makale

kapak ile kapatılarak sızdırmazlık silikon ile sağlandı.

Fuel-oil deneylerinde 6 numaralı fuel-oil kullanıldı. Her bir baca gazı sıcaklığında ve her bir akışkan için, sıcaklık değişimleri, 60 dakika süre ile ve 5'er dakikalık aralıklarla ölçüldü.



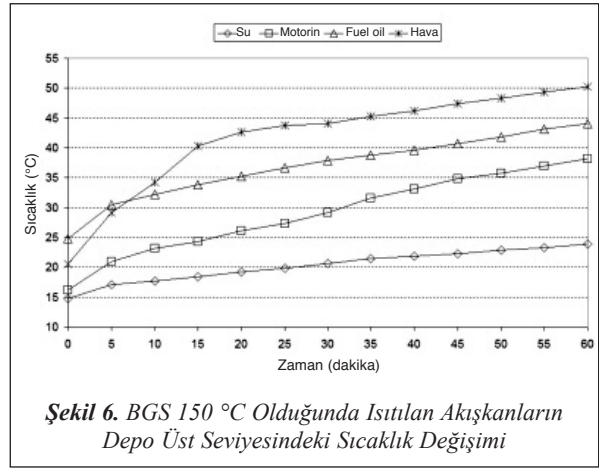
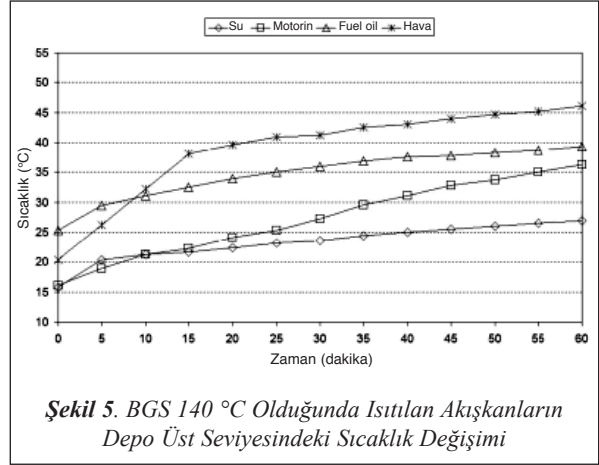
Yapılan her deneyden sonra ısıtılan akışkanın, sıcaklığı, ortam sıcaklığına düşürüldükten sonra bir sonraki deneyde kullanıldı.

### 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneylerde; ısıtılan akışkan olarak su, motorin, fuel-oil ve hava kullanılmış ve her bir akışkan için 140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C baca gazı sıcaklıklarında (BGS), sıcaklık değişimleri, düzeneğin çeşitli yerlerine konulan termokupllar ile ölçülmüştür.

BGS 140 °C olduğunda ısıtılan akışkanların depo üst seviyesindeki sıcaklık değişimi Şekil 5'te görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı 140 °C olduğunda suyun sıcaklığı 15,8 °C'den 26,9 °C'ye, motorinin sıcaklığı 16,1 °C'den 36,2 °C'ye, 6 numara kalorifer sıvı yakıtının sıcaklığı 25,3 °C'den 39,3 °C'ye ve havanın sıcaklığı 20,3 °C'den 46,1 °C'ye yükselmiştir.

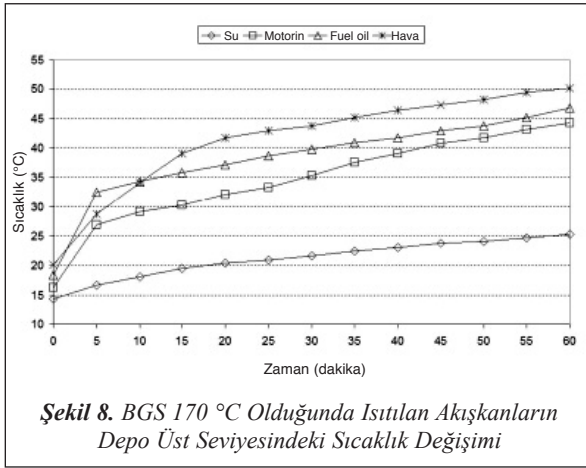
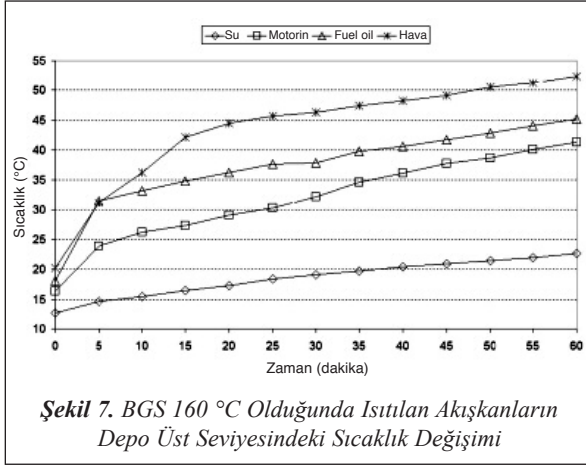
BGS 150 °C olduğunda ısıtılan akışkanların depo üst seviyesindeki sıcaklık değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı 150 °C olduğunda suyun sıcaklığı 14,8 °C'den 23,9 °C'ye, motorinin



sıcaklığı 16,2 °C'den 38,2 °C'ye, 6 numara kalorifer sıvı yakıtının sıcaklığı 24,8 °C'den 44,1 °C'ye ve havanın sıcaklığı 20,5 °C'den 50,2 °C'ye yükselmiştir.

BGS 160 °C olduğunda ısıtılan akışkanların depo üst seviyesindeki sıcaklık değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı 160 °C olduğunda suyun sıcaklığı 12,7 °C'den 22,7 °C'ye, motorinin sıcaklığı 16,4 °C'den 41,3 °C'ye, 6 numara kalorifer sıvı yakıtının sıcaklığı 18,1 °C'den 45,2 °C'ye ve havanın sıcaklığı 20,2 °C'den 52,4 °C'ye yükselmiştir.

BGS 170 °C olduğunda ısıtılan akışkanların depo üst seviyesindeki sıcaklık değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı 170 °C olduğunda suyun sıcaklığı 14,4 °C'den 25,3 °C'ye, motorinin sıcaklığı 16,3 °C'den 44,3 °C'ye, 6 numara kalori-



fer sıvı yakıtının sıcaklığı 18,4 °C'den 46,8 °C'ye ve havanın sıcaklığı 20,1 °C'den 50,1 °C'ye yükselmiştir.

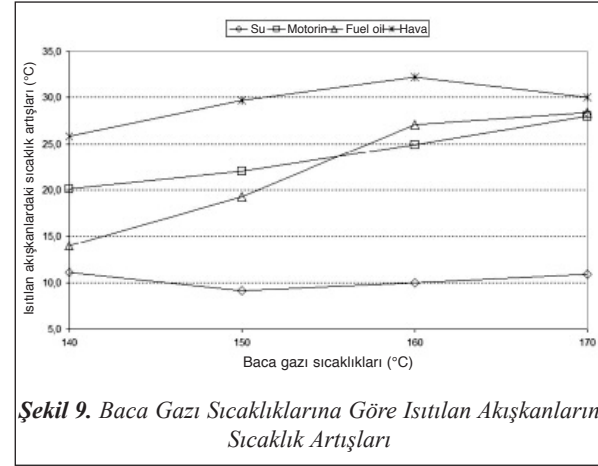
## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isıtılan akışkan olarak su kullanılan deneylerde; baca gazı sıcaklığı 140 °C olduğunda sıcaklık artışı 11,1 °C, baca gazı sıcaklığı 150 °C olduğunda sıcaklık artışı 9,1 °C, baca gazı sıcaklığı 160 °C olduğunda, sıcaklık artışı 10,0 °C, baca gazı sıcaklığı 170 °C olduğunda, sıcaklık artışı 10,9 °C olmuştur.

Isıtılan akışkan olarak motorin kullanılan deneylerde; baca gazı sıcaklığı 140 °C olduğunda, sıcaklık artışı 20,1 °C, baca gazı sıcaklığı 150 °C olduğunda, sıcaklık artışı 22,0 °C, baca gazı sıcaklığı 160 °C olduğunda, sıcaklık artışı 24,9 °C, baca gazı sıcaklığı 170 °C olduğunda, sıcaklık artışı 28,0 °C olarak bulunmuştur.

Isıtılan akışkan olarak fuel-oil'in kullanıldığı deneylerde; baca gazı sıcaklığı 140 °C olduğunda, sıcaklık artışı 14,0 °C, baca gazı sıcaklığı 150 °C olduğunda, sıcaklık artışı 19,3 °C, baca gazı sıcaklığı 160 °C olduğunda, sıcaklık artışı 27,1 °C, baca gazı sıcaklığı 170 °C olduğunda, sıcaklık artışı 28,4 °C olarak tespit edilmiştir.

Isıtılan akışkan olarak hava kullanılan deneylerde; baca gazı sıcaklığı 140 °C olduğunda, sıcaklık artışı 25,8 °C, baca gazı sıcaklığı 150 °C olduğunda, sıcaklık artışı 29,7 °C, baca gazı sıcaklığı 160 °C olduğunda, sıcaklık artışı 32,2 °C, baca gazı sıcaklığı 170 °C olduğunda, sıcaklık artışı 30,0 °C olarak gerçekleşmiştir.



Yapılan deneylerden, en yüksek ısı geri kazanımının sırasıyla hava, motorin, fuel-oil ve su olduğu görülmüştür (Şekil 9).

Sistemin yalıtımının daha iyi yapılması ve ısı geri kazanım ünitesinde çeşitli ısı borusu tasarımları geliştirilerek (Evaporatör ve kondenser bölgelerinin ısı yüzeyleri artırılarak) yüksek performansla baca gazlarındaki atık ısıdan, ısı çekilebilir. Bu deney için, bu durumda ısı kazanımının daha da artacağı kanaati oluşmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] FAGHRI, A., and THOMAS, S., "Performance Characteristics of a Concentric Annular Heat

**Makale**

- Pipe: Part I- Experimental Prediction and Analysis of the Capillary Limit,” Transaction of ASME: Journal of Heat Transfer, Vol. 111, pp. 844-850, 1989.
- [2] FAGHRI, A. “Performance Characteristics of a Concentric Annular Heat Pipe: Part II- Vapour Flow Analysis,” Transaction of ASME: Journal of Heat Transfer, Vol. 111, pp. 851-857, 1989.
- [3] FAGHRI, A. and BUCHKO, M., “Experimental and Numerical Analysis of Low-Temperature Heat Pipes with Multiple Heat Sources,” Transaction of ASME: Journal of Heat Transfer, Vol. 113, pp. 728-734, 1991.
- [4] TOURNIER, J.M. and EL-GENK, M.S., “A Heat Pipe Transient Analysis Model,” Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 37, No. 5, pp. 753-762, 1994.
- [5] KIM, S.J., SEO, J.K. and DO, K.H. “Analytical and Experimental Investigation on the Operational Characteristics and Thermal Optimization of a Miniature Heat Pipe with a Grooved Wick Structure,” Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 46, pp. 2051-2063, 2003.
- [6] NOURI-BORUJERDI, A. and LAYEGHI, M. “Numerical Analysis of Vapour Flow in Concentric Annular Heat Pipes,” Transaction of ASME: Journal of Heat Transfer, Vol. 126, pp. 442-448, 2004.
- [7] CHAN, M.M., and FAGHRI, A., “An Analysis of The Vapour Flow and Heat Conduction Through The Liquid Wick and Pipe Wall in a Heat Pipe With Single or Multiple Heat Sources,” Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.33, No. 9, pp. 194, 1995.
- [8] OZSOY, A., ACAR, M., “Yercekimi Destekli Bakır-Su Isı Borusu için Deneysel Bir çalışma” Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı: 90, s. 13-18, 2005.
- [9] GÜNGÖR, A., “İklmlendirmede Enerji Geri Kazanımında Isı Borulu İsi Değişiriciler” II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi sayfa 659-655, 1995.
- [10] 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
- [11] YILMAZ, S., DENİZ, E., “Isı Borulu Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinde Soğutucu Akışkan R- 22 Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Teknoloji, Cilt 8, Sayı 4, 349-356, 2005.
- [12] ACAR, B., ÖZ, E. S., GEDİK, E., “Ayrık ve Birleşik Isı Borulu Kolektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi. Cilt 23, No 2, 425-429, 2008.
- [13] UYAREL, A.Y., “Isı borusu prensibinin güneşli su ısıtıcılarına ve damıtmaya uygulanması, Doktora tezi, İstanbul, 1984.
- [14] DUNN, P. And REAY, D.A., “Heat pipes”, Pergamon press, p., 1-289, England, 1976.
- [15] AKYURT, M. ve BASMACI, Y., Jeotermal Kuyularda Isı Borusu Uygulaması”, TİBD. Isı Bilimi ve Tekniği, 17-20, 1983.
- [16] ERSÖZ, M.A., “Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu ile Geri Kazanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2002.