

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAKUMLU TÜP KULLANILAN GÜNEŞ
ENERJİLİ BİR MEKAN ISITMA SİSTEMİNİN
ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ



Güvenç Umur ALPAYDIN

Ocak, 2017
İZMİR

**VAKUMLU TP KULLANILAN GÜNEŞ
ENERJİLİ BİR MEKAN ISITMA SİSTEMİNİN
ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Programı



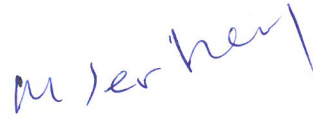
Güvenç Umur ALPAYDIN

Ocak, 2017

İZMİR

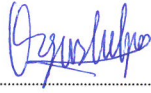
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÜVENÇ UMUR ALPAYDIN, tarafından PROF. DR. M. SERHAN KÜÇÜKA yönetiminde hazırlanan “VAKUMLU TÜP KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİLİ BİR MEKAN ISITMA SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



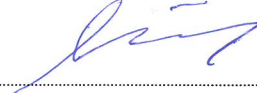
Prof. Dr. M. Serhan KÜÇÜKA

Yönetici



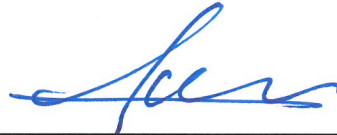
Doç. Dr. Can Özgür Çolpan

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Levent B. İm

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince her zaman yanımda olan, benden bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. M. Serhan KÜÇÜKA'ya teşekkür ederim.

Tez süresince benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN'a teşekkür ederim.

Test düzeneğinin montajının yapılmasında ve teknik problemlerinde hep yardımcı olan termodinamik laboratuvarı sorumlusu Alim Zorluol'a çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar için gerekli vakumlu cam tüplerin tedarik sürecindeki yardımlarından ve ilgilerinden dolayı SOLARSAN'a teşekkür ederim.

Projemizi paylaştığımız andan itibaren ilgi ve yardımlarını bizden esirgemeyen ELBA A.Ş. Arge Şefi E. Serdar ELÇE ve Arge Mühendisi Soykan GÜNSEL ile deney laboratuvarı teknikerleri Cihan ŞAHİN ve Ümit AYANDIN'a teşekkür ederim.

Deney sisteminin kurulması için çalışma alanlarını bize tahsis eden başta Yrd. Doç. Dr. Aytaç GÖREN olmak üzere tüm SOLARİS ekibine teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tezin hazırlanmasındaki yardım ve desteği için Ceren YÜKSEL'e teşekkür ederim.

En önemlisi, Murat-Fusun ALPAYDIN'a ve özellikle de kız kardeşim Gizem ALPAYDIN'a sonsuz destekleri için minnettarım.

Güvenç Umur ALPAYDIN

VAKUMLU TÜP KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİLİ BİR MEKAN ISITMA SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Bu çalışmada vakumlu cam tüp kullanılan güneş enerjili ısıtma sisteminin yaklaşık 10 metrekare alana ve 2,5 m yüksekliğe sahip bir hacim için performansı incelenmiştir. Öncelikle ışıınım olduğu zamanlarda üretilen ısıyı depolamak amacıyla 0,6 m yüksekliğinde ve 1 m uzunluğunda standart bir (PKKP) radyatörün ön paneli ikiye bölünerek bir bölümü faz değişim malzemesi ile doldurulmuştur. Faz değişim malzemesi olarak uygun faz değişim sıcaklığına ve özelliklerine sahip bir parafin çeşidi olan tricosane kullanılmıştır. Geliştirilen radyatörün, kararlı durum ısı güç testinin yanı sıra ısınma ve soğuma davranışları incelenmiştir.

Isıtma sistemi dış ve iç ünitelerden oluşmaktadır. Dış üniteye bulunan toplayıcı yüzey üzerine gelen güneş ışıını soğurularak buradaki su ısınmakta ve doğal dolaşım ile iç üniteye radyatöre geçmektedir. Toplayıcı yüzey olarak vakumlu cam tüpler kullanılmıştır. Toplayıcı yüzeye gelen ışıınım pıranometre ile ölçülmüştür. İç üniteye faz değişim malzemeli radyatör, test odasının uygun olmamasından kullanılamamış bunun yerine alüminyum dilimli radyatör kullanılmıştır. Sistemin belirli yerlerine ısı çiftleri bağlanarak güneş ışıını olduğu saatler arasında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Radyatör girişi hattına bağlanan bir elektrikli ısıtıcı üzerinden su sıcaklığı kontrollü şekilde artırılarak, sıcaklık artışından hareketle su dolaşım debisi hesaplanmıştır. Dolaşım debisi ve radyatör giriş-çıkış sıcaklıkları kullanılarak ısıtma gücü ve gelen ışıınım şiddetine bağlı olarak günlük ısıtma verimi belirlenmiştir. Meteorolojik verilerin kullanılması ile sistemin ısıtma mevsimindeki genel performansı incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal dolaşım, güneş enerjili mekan ısıtıcı, vakum tüp, faz değişim malzemeli radyatör

THERMAL PERFORMANCE OF A SOLAR ROOM HEATER WITH EVACUATED TUBES

ABSTRACT

In this study, the performance of a vacuum glass tube heating system was investigated for a room that has 10 square meter area and 2.5 meter height. A standard radiator's front panel is divided into two parts and filled with phase change material to store heat when the radiation is generated. Radiator's size is 0.6 m height and 1 m length. As a phase change material, tricosane which has suitable phase change temperature and properties is selected. The developed radiator's steady state thermal power, heating and cooling behaviors have been examined.

The heating system consists of the outer and inner units. The collector in the outer unit absorbs solar radiation. The water that is in the collector warms and passes through the radiator inside unit. Vacuum glass tubes were used as collector surface. The radiation on the collecting surface was measured by a pyranometer. In the inner unit, a phase change material radiator was used instead of the test room, so an aluminum section radiator was used instead. Thermocouples were connected to certain parts of the system and temperature measurements were made at the time of irradiation. An electric heater connected to the radiator inlet line for the water temperature is controlled and the water circulation rate is calculated by increasing the temperature. By means of an electric heater connected to the radiator inlet line, the water temperature is controlled and the mass flow is calculated by increasing the temperature. Using the mass flow and radiator inlet-outlet temperatures, the efficiency is determined depending on the heating power and the irradiation. The overall performance of the system during the heating season was investigated by using meteorological data.

Keywords: Natural circulation, solar room heater, evacuated tube, radiator with phase change material

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|--------------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZ | iv |
| ABSTRACT | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | ix |
| TABLolar LİSTESİ..... | x |
| BÖLÜM BİR – GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Enerji Kaynakları | 1 |
| 1.1.1 Jeotermal Enerji | 2 |
| 1.1.2 Hidroelektrik Enerjisi..... | 2 |
| 1.1.3 Biokütle Enerjisi | 3 |
| 1.1.4 Rüzgâr Enerjisi..... | 3 |
| 1.1.5 Güneş Enerjisi | 4 |
| 1.1.5.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli..... | 4 |
| 1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Tezin içeriği | 5 |
| BÖLÜM İKİ – LİTERATÜR TARAMASI..... | 7 |
| 2.1 Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri | 7 |
| 2.1.1 Trombe Duvarı | 7 |
| 2.1.2 Güneş Bacası..... | 8 |
| 2.1.3 Termal Diyot ve Termosifon sistemleri | 9 |
| 2.1.4 Vakumlu Cam Tüpler..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.2 Çalışmanın Mevcut Literatür ile Farkı | 14 |
|---|----|

BÖLÜM ÜÇ – FAZ DEĞİŞİM MALZEMELİ RADYATÖR ÜRETİMİ VE TESTLERİ..... 15

| | |
|--|----|
| 3.1 Faz Değişim Malzemesi | 15 |
| 3.2 Panel Radyatör | 17 |
| 3.3 Faz Değişim Malzemesi Hazneli Radyatör Tasarım ve İmalatı..... | 17 |
| 3.4 Isıl Kapasite Test Kabini | 18 |
| 3.5 Isıl Testler..... | 19 |
| 3.5.1 Kararlı Durum Isıl Kapasite Testleri..... | 19 |
| 3.5.2 Isınma Testi Sıcaklık Değişimleri | 21 |
| 3.5.3 Soğuma Testi Sıcaklık Değişimleri..... | 23 |
| 3.5.4 Depolanan Isı Miktarı | 24 |
| 3.5.5 Termal Kamera Görüntüleri..... | 25 |
| 3.6 Radyatör Isıl Testlerinin Sonucu..... | 26 |

BÖLÜM DÖRT – GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMİNİN TASARIM VE KURULUMU 28

| | |
|---|----|
| 4.1 Deney Düzenğinde Kullanılan Ekipmanlar..... | 28 |
| 4.1.1 Vakumlu Cam Tüp | 28 |
| 4.1.2 Genleşme Tankı | 29 |
| 4.1.3 Piranometre | 29 |
| 4.1.6 Isıtıcı ve Isılçiftler | 30 |
| 4.2 Isıtma Sistemi Tasarımı ve Kurulumu | 30 |
| 4.3 Dolaşım Debisinin Hesaplanması | 32 |

**BÖLÜM BEŞ – DENEY SONUÇLARI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
ISITMA SİSTEMİNİN YILLIK DEĞERLENDİRİLMESİ 36**

5.1 Deneysel Çalışmanın Sonuçları 36

5.2 Sistemin Isıtma Mevsiminde Performansı 42

BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME..... 47

KAYNAKLAR 50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu atlası | 4 |
| Şekil 1.2 İzmir ili toplam güneş radyasyonu atlası | 5 |
| Şekil 2.1 Trombe duvarı şematik gösterimi | 8 |
| Şekil 2.3 a) Termal diyot tasarımının önden görünümü b) yandan görünümü | 11 |
| Şekil 2.4 Vakum tüplerin toplayıcıya bağlanmış hali | 13 |
| Şekil 3.1 Üretimi planlanan radyatörün şematik gösterimi..... | 18 |
| Şekil 3.2 FDM'nin hazneye doldurulması | 18 |
| Şekil 4.1 Vakumlu cam tüpler..... | 29 |
| Şekil 4.2 Radyatör giriş hattı, ısıtıcı ve ısı çift bağlantısı | 30 |
| Şekil 4.3 Dış unite | 31 |
| Şekil 4.4 İç ünitenin a) ön b) yan görünüşü | 31 |
| Şekil 4.5 Sistemin a) önden b) yandan görünümü | 32 |
| Şekil 5.1 Toplayıcı çıkış sıcaklığı değişimi | 40 |
| Şekil 5.2 Kütleli debi değişimi..... | 41 |
| Şekil 5.3 a) Deney-1 b) Deney-2 için radyatör gücü ve toplayıcıya gelen ışınım .. | 42 |
| Şekil 5.4 Test odası planı | 43 |

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Tablo 3.1 Radyatör ve ortam arasındaki sıcaklık farkına göre su giriş/çıkış sıcaklıkları..... | 20 |
| Tablo 3.2 Farklı radyatör düzenlemeleri için ısı kapasiteler..... | 20 |
| Tablo 4.1 Solarsan vakumlu cam tüpleri özellikleri | 28 |
| Tablo 5.1 Deney 1’de elde edilen 15 dakikalık veriler | 37 |
| Tablo 5.2 Deney 2’de elde edilen 15 dakikalık veriler | 38 |
| Tablo 5.3 Deney 1 için ısıtıcı açıldıktan sonra elde edilen veriler..... | 39 |
| Tablo 5.4 Deney 2 için ısıtıcı açıldıktan sonra elde edilen veriler..... | 40 |
| Tablo 5.5 Ayların ortalama gündüz sıcaklık ve ışınım değerleri | 44 |
| Tablo 5.6 Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart ayları için odanın ısı kayıpları | 44 |
| Tablo 5.7 Isıtma mevsimi için odanın ısı kayıpları ve odaya aktarılan ısı..... | 46 |

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Sosyal kalkınma, ekonomik büyüme ve yaşam standardının yükselmesi ile enerji tüketimi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu alanlardan bir ya da bir kaçında gelişme gösteren ülkelerin enerji tüketim oranlarında da artış gözleneceği bilinen bir gerçektir (Koç ve Şenel, 2013). Bu durum gelişen ve özellikle gelişmekte olan ülkeler için bir enerji sorununa ve enerji kaynağı bulma gereksinimine dönüşmüştür. Enerji sorununu çözmeye çalışan ülkeler için aşılması gereken sorunların başında enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılığın artması ve çevre kirliliği gelmektedir.

Enerji ihtiyacını ortadan kaldırmak için göze alınan dışa bağımlılık ülkelerin gelişimine engel olabilecek bir unsurdur. Çünkü enerji, ülkelerin gelişimi için çok büyük önem arz etmesi sebebiyle, sadece ekonomik değil siyasi anlamda da bağımlılık yaratmaktadır. Türkiye özelinde örnek vermek gerekirse, Türkiye'nin enerji alanında dışa bağımlılık oranı %70 civarındadır, bu durum tüketilen enerjinin yaklaşık dörtte üçünün başka ülkeler tarafından sağlandığı anlamına gelmektedir. Bu sebeple Türkiye'nin dahil olacağı muhtemel her siyasi ya da ekonomik sıkıntı ülkemiz için enerji krizine dönüşebilme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda ülkemizin kaynaklarının potansiyeli ve olası kötü senaryolar için ne ölçüde hazırlıklı olduğu irdelenmelidir (Yazar, 2010).

1.1 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları yenilenemeyen (tükenebilir) ve yenilenebilir olmak üzere iki alt grupta sınıflandırılabilir. Yenilenemez enerji kaynakları, kullandıkça tükenen, kısıtlı rezerv sahip ve yenilenmesi çok uzun zaman alan enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji ve fosil yakıtlar yenilenemez kaynaklardandır. Nükleer enerji, radyoaktif elementlerin (uranyum, plütonyum gibi) fisyon tepkimesine girmesi ile meydana gelmektedir. Fosil yakıtlar ise, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve

hayvan gibi organik kalıntıların fosillerinden oluşmaktadır. Fosil yakıtların başlıca örnekleri petrol, doğalgaz, kömür olup rezervlerinin tükenme süreleri sırasıyla yaklaşık 54 yıl, 64 yıl ve 112 yıl olarak öngörülmektedir (Koç ve Şenel, 2013). Türkiye bu rezervler bakımından zengin bir ülke değildir ve petrol ile kömür ihtiyacının %92'sini, doğalgaz ihtiyacının ise %98'ini ithalat ile karşılamaktadır. Bu durum, Türkiye'nin dışa bağımlılık derecesinin büyüklüğünü gözler önüne sermektedir (Bayrak ve Esen, 2014).

Yenilenebilir enerji, tekrar tekrar kullanılabilen, sınırsız olarak varsayılan ve sürekli kullanılabilen enerjidir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve hidrolik enerji yenilenebilir enerji grubunu oluşturmaktadır.

1.1.1 Jeotermal Enerji

Jeo “yer” ve termal ise “ısı” anlamına gelir. Jeotermal enerji magmanın yer kabuğun çeşitli bölgelerinde sıcaklığın artmasıyla yüksek sıcaklıklara ulaşan yer altı sularından ve buharından elde edilir. Elektrik üretiminde, ısıtma uygulamalarında termal turizmde (kaplıcalar), maden suyu üretiminde, mineral ve kimyasal maddelerin üretiminde jeotermal enerji kullanılmaktadır. Türkiye jeotermal enerji açısından şanslı bir ülkedir.

1.1.2 Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerji elde edebilmek için hidroelektrik santralleri (HES) kurulmaktadır. Bu santrallerin çalışma prensibi, suyun potansiyel enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmesidir. Tabii kaynaklar (akarsular) veya sunî kaynaklar (barajlar) kullanılarak, su yüksek bir seviyeden daha düşük seviyedeki türbinlere iletilir. Türbinler mili döndürür, mil ise jeneratörü çalıştırarak elektrik üretimi sağlanır.

1.1.3 Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütle enerjisinin önemi gitgide artmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenen enerji kaynaklarının çevreye zararları ve kısıtlı kullanım süreleri göz önüne alındığında, biyokütle kullanımı giderek artan enerji ihtiyacına alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. İhtiyaca göre katı, sıvı veya gaz olarak kullanılabilmesi ve kolay depolanabilir olması gibi özellikleri biyokütle enerjisini diğer enerji kaynaklarından ayıran özellikleridir .

Biyokütle materyalleri doğrudan yakma, havasız çürütme, fermantasyon, piroliz, gazlaştırma, biyofotoliz gibi yöntemlerle işlenerek biyo-motorin, biyo-etanol, biyo-gaz gibi yakıtlar elde edilir. İşlem sonucunda bu yakıtların yanı sıra gübre, metan ve hidrojen gibi yan ürünler de elde edilebilmektedir. Gelişen teknolojilerle birlikte biyokimyasal ve termokimyasal verimliliğin önemli derecede artması, biyokütle kaynakları kullanılarak termik santrallerin yapılması gibi ileriye dönük planlamalara olanak sağlamaktadır.

1.1.4 Rüzgâr Enerjisi

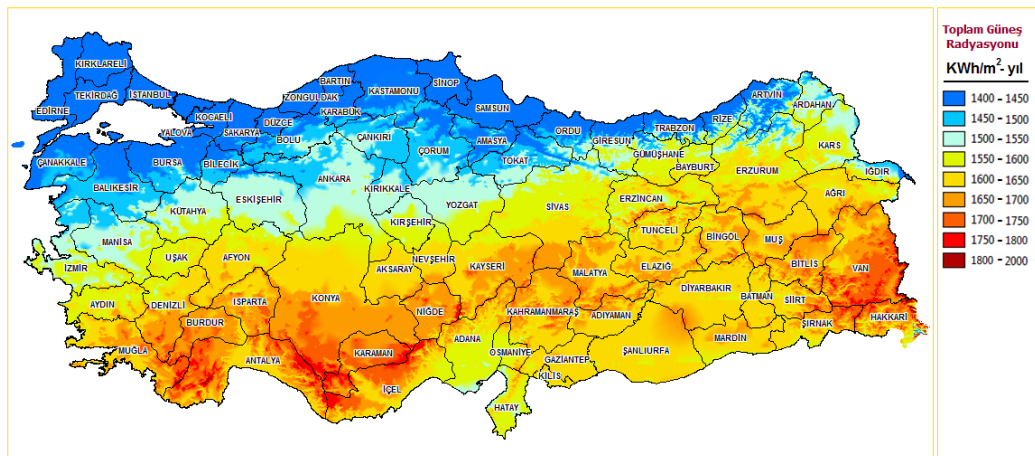
Güneş'in yeryüzündeki her bölgeyi aynı sıcaklıkta ısıtamaması sebebiyle yerküre üzerinde basınç ve sıcaklık farkları oluşur. Isınan havanın yükselmesi ve boşalan yerlere soğuk havanın geçmesi rüzgârların oluşmasına sebep olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin sadece %2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr enerjisi kullanılarak elektrik elde edilmesi, hidroelektrik enerji üretimi ile aynı prensibe sahiptir. Hidroelektrik santrallerdeki türbinler su yardımıyla döndürülürken burada görevi rüzgâr üstlenmektedir. Rüzgârın çarptığı kanatlar şaftı döndürür, şaft ise jeneratörü çalıştırarak elektrik üretimini sağlar. Almanya, Hollanda, Danimarka gibi birçok Avrupa ülkesi gibi Türkiye'de de rüzgâr enerjisine verilen önem gitgide artmaktadır.

1.1.5 Güneş Enerjisi

Doğal bir füzyon reaktörü olan Güneş daha milyonlarca yıl ışınmasını sürdürecektir bir enerji kaynağıdır ayrıca bütün yenilenebilir enerjinin kaynağı da Güneş'tir. Dünyaya güneşten saniyede yaklaşık 170 milyar MW ulaşmaktadır. Güneşten elde edilebilecek enerji miktarı, yıllık olarak dünyada kullanılan enerji miktarının yaklaşık 15 bin katıdır. Ayrıca bu miktar petrol rezervlerinden elde edilebilecek enerji miktarının yaklaşık 516 katı ya da kömür rezervlerinden elde edilebilecek enerjinin yaklaşık 157 katına tekabül etmektedir. Günümüzde güneş enerjisinden 2 farklı yöntemle fayda sağlanmaktadır. Bunlardan ilki ısı enerjisine çevirme, ikincisi ise güneş enerjisinden elektrik üretimidir (Ünsal, 2004).

1.1.5.1 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünya üzerinde güneş ışınımını en fazla alan bölgelere güneş kuşağı adı verilmektedir. Türkiye güneş kuşağına yakın konumundan dolayı güneş enerjisinden yararlanma konusunda birçok ülkeden daha şanslıdır ve yıllık 380×10^9 kilowatt-saatlik güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ülkemizin toplam güneş radyasyonu dağılımını Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu atlası (Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı, 2006)

Güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti bakımından birçok Avrupa ülkesine göre şanslı bir jeopolitik konumda bulunmasına rağmen, Türkiye’de güneş enerjisi genellikle sıcak su temini ve çeşitli ısıtma sistemlerinde yardımcı kaynak olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda otel gibi çeşitli tesislerde yüzme havuzu suyu ısıtma ve sıcak su gereksiniminin karşılanmasında, gıda sektöründe ise kurutma işlemlerinde güneş enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjili sistemler elektrik üretim yöntemleri içerisinde ise ancak 2014 yılı itibariyle yer alabilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen deneyler İzmir ilinde gerçekleştirilmiş olup bölgeye ait toplam güneş radyasyonu ortalaması 1500 – 1800 KWh/m²-yıl arasındadır. Şekil 1.2’de İzmir ili toplam güneş radyasyonu değerleri yıl bazında verilmiştir. Türkiye genelinde olduğu gibi İzmir’de de güneş enerjili sistemler çoğunlukla sıcak su temini amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 1.2 İzmir ili toplam güneş radyasyonu atlası (Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı, b.t.)

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Tezin İçeriği

Çalışmanın birinci bölümünde, güneş enerjisinin depolanarak güneş ışınımından yararlanılamayan akşam saatlerinde ısıtma amacıyla kullanılacağı bir ısıl depolama sisteminin kullanışlı olup olmadığını incelemek amacıyla faz değişim malzemesi (FDM) haznesi içeren radyatör tasarlanmış ve ısıl testleri yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde vakumlu cam tüpler ve radyatör içeren basit yapılı bir ısıtma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde, bir dış ünite ve bir iç ünite bulunmaktadır. Dış üniteye toplayıcı yüzey olarak vakumlu cam tüpler kullanılmıştır. İç üniteye ise, ısıyı mekâna aktaracak olan radyatör bulunmaktadır. Vakumlu cam tüpler binanın güney yönüne bakan duvarın dış yüzeyine yerleştirilmiş olup, çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Isınan suyun doğal taşınım yoluyla radyatöre ulaşabilmesi için iç ünite dış üniteye daha yükseğe yerleştirilmiştir. İlk kısımda tasarlanan FDM'li radyatörün, ısıl testler sonucunda kullanışlı olmadığı sonucuna varıldığından ve kurulumu yapılacağı test odasının duvarlarının ağırlığını kaldıramayacağından bu çalışmada alüminyum dilimli radyatör kullanılmıştır.

Geliştirilen sistemin belirli yerlerindeki su dolaşım sıcaklıkları, toplayıcı yüzeye gelen ışıma şiddeti ölçülmüş ve ısıtma kapasitesi hesaplanmıştır. Ayrıca meteorolojik veriler kullanılarak güneş enerjili ısıtma sisteminin yıllık toplam potansiyeli değerlendirilmiştir.

Çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

2. Literatür Taraması
3. Faz Değişim Malzemeli Radyatör Üretimi ve Testleri
4. Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Tasarım ve Kurulumu
5. Deneysel Sonuçları ve Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Yıllık Değerlendirilmesi
6. Sonuç ve Değerlendirme

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR TARAMASI

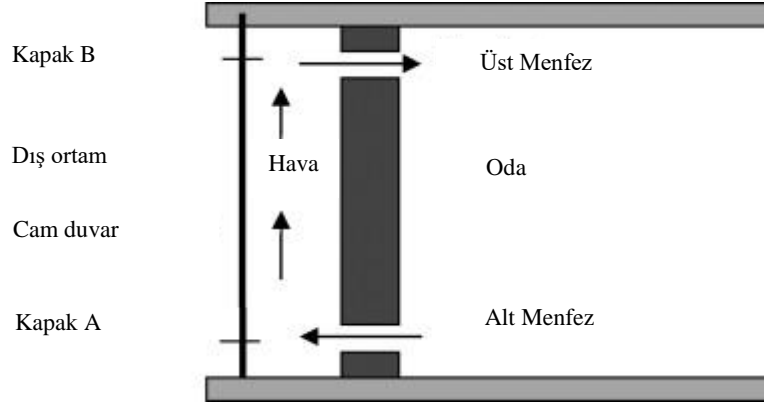
Güneş enerjili ısıtma sistemleri aktif ve pasif olarak ikiye ayrılabilir. Aktif sistemler zorlanmış taşınımlı sistemleri, pasif sistemler ise doğal taşınımlı sistemleri ifade etmektedir. İki tip güneş enerjili ısıtma sistemi üzerine de geniş bir literatür mevcuttur. Bu tez kapsamında doğal taşınımlı bir sistem tasarlandığı için literatür taramasında pasif sistemler ele alınmıştır. Bunun yanı sıra vakumlu cam tüpler üzerine yapılmış çalışmalar da incelenmiştir.

2.1 Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri

2.1.1 Trombe Duvarı

Trombe duvarı uygulamalarında binanın güneş alan dış duvarı üzerine kaplanan cam yardımıyla duvar üzerinde ince bir akış bölgesi oluşturulmaktadır. Üzerine güneş ışınımı etkimesiyle ısınan duvarda enerji duyulur olarak depolanmakta ve kavite içerisinde oluşan doğal taşınım yardımıyla iç ortama sıcak hava akışı sağlanmaktadır. Trombe duvarı, basit yapısı sayesinde binalara kolaylıkla uygulanabilir olmakla birlikte, çalışma koşullarına bağlı olarak iç ortama olan ısı transferi olumsuz etkilenebilmektedir. Chan ve ark. (2010) trombe duvarının olumsuz yanlarını şu şekilde özetlemişlerdir;

1. Güneş ışınımı miktarının düşük olduğu günlerde sıcak iç ortamdan dışarıya doğru ters ısı transferinin gerçekleşmesi,
2. Güneş enerjisinin zamana bağlı değişkenlik göstermesi nedeniyle duvar sıcaklığında salınımlar meydana gelerek istenen ısıtma yükünün elde edilememesi,
3. Geometrik boyutların (kavite genişliği, giriş ve açıklıklarının boyutları vb.) kavite içerisindeki ısı transferi mekanizmasını etkilemesi nedeniyle optimum boyutlandırma konusunda zorluk yaşanması.



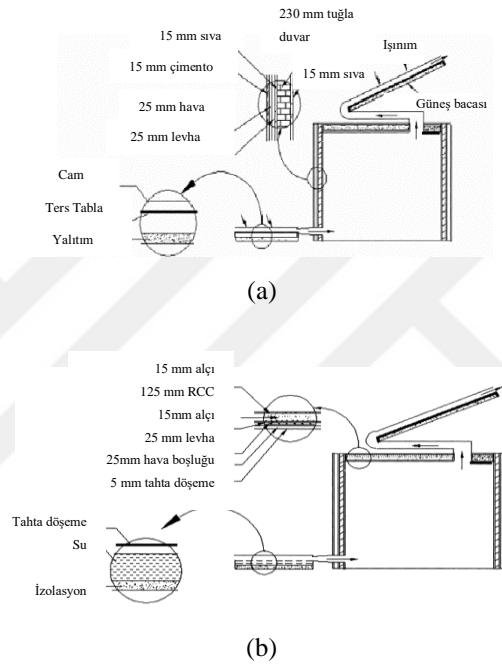
Şekil 2.1 Trombe duvarı şematik gösterimi (Chan ve ark., 2010)

Klasik trombe duvarının düşük ısı dirence sahip olması soğuk zaman dilimlerinde önemli ısı kayıplarına sebep olmaktadır. Bu problemin önüne geçebilmek amacıyla için Trombe-Michel kompozit duvarı geliştirilmiştir. Trombe-Michel kompozit duvarı, klasik trombe duvarına ek olarak yalıtımlı bir duvar içermektedir. Hava hareketi ve taşınımıyla ısı transferi bu iki duvar arasında gerçekleşir (Shen ve ark., 2007). Klasik trombe duvarında ısı kaybını önlemek için, tek cam yerine çift cam kullanımı diğer bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem sadece kışın ısı kaybını önlemekle kalmayıp yazın da pasif soğutmaya katkı sağlamaktadır. Soğutma uygulamasında havalandırma oranını maksimuma çıkarmak için depolama duvarının iç yüzeyi izole edilmelidir (Gan, 1998). Onbasioglu ve ark. (2002), çalışmalarında farklı çalışma şartları için Rayleigh sayıları hesaplamışlardır. Bu çalışmaya göre Rayleigh sayısının bir değerinde odaya olan ısı transferi maksimum olurken, diğer bir durumda ise ters akış nedeniyle dış ortama doğru ısı kaybı başlamaktadır. Trombe duvarı uygulamaları literatürde geniş olarak yer almakla birlikte mimari kısıtlamalar nedeniyle pratik uygulamalarda yaygınlaşamamıştır.

2.1.2 Güneş Bacası

Güneş bacası uygulamaları, toplayıcı tarafından ısıtılan ve yoğunluğu azalan havanın doğal taşınım mekanizması ile dış ortama aktarılmasıyla binanın havalandırılmasını sağlar. Bir güneş bacası projesinde ilk tasarlanan model bir yıl süreyle gözlenmiş ve geri bildirimlere göre 2. model tasarlanmıştır. İlk modelde biri çatıda diğerinde ise yer seviyesinde olmak üzere iki adet güneş enerjisi destekli doğal

taşınımlı hava ısıtıcısı mevcuttur. Çatıda bulunan güneş enerjisi destekli hava ısıtıcısı gün içerisinde içerden aldığı havayı dışarıya atarak çıkış fanı görevi görmekte iken diğer ısıtıcı odaya verilen taze havanın ısıtılmasında kullanılmaktadır. Geliştirilen ikinci modelde ise hacmin güney duvarı siyaha boyanmıştır. Duvarın alt kısmına ve düşey toplayıcının köşesinin en üstüne iki dikdörtgen hava boşluğu açılarak hava dolaşımı sağlanması amaçlanmıştır (Raman ve ark., 2001). Deney düzeneği Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 a) Birinci b) İkinci deney düzenekleri (Raman ve ark., 2001)

Harris ve Helwig (2007) çalışmalarında, güneş bacasının güneşe bakan kısmının sahip olması gereken eğimi araştırmışlardır. Buna göre, $67,5^\circ$ eğimin düşey konuma göre %11 daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca düşük yayma kuvvetine sahip duvar yüzeyi kullanılarak %10 daha yüksek verim elde edilmiştir.

2.1.3 Termal Diyot ve Termosifon Sistemleri

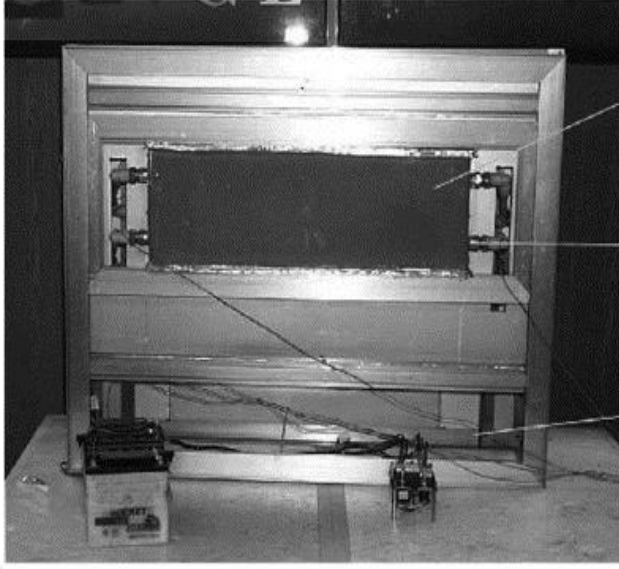
Bölüm 2.1.1 ve bölüm 2.1.2’de anlatılan pasif bina ısıtma sistemleri, bina dış cephesinin tamamen veya kısmen değiştirilmesini gerektirmektedir. Bu tasarımlara

alternatif olarak, güneş enerjisinin tek yönlü olarak içeriye aktarıldığı termal diyot uygulamaları farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Termal diyot sistemlerinde ısının tek yönlü olarak içeriye aktarılması ısı borusu veya termosifon döngüleri ile sağlanmaktadır.

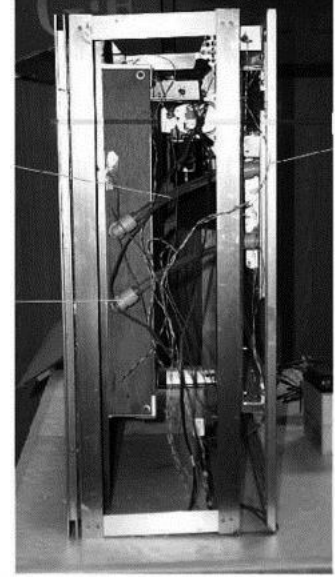
Bu konuda yapılan öncü araştırmalar, Chun, Chen ve çalışma ekipleri tarafından başlatılmıştır. Chen ve ark. (1995) bayonet tipi termal-diyot tasarımının ısı performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu tasarımda iki sıvı haznesi arasında eğimli dar bir kanal bulunmakta ve alt kısımda ısınan sıvı, kaldırma kuvvetinin etkisiyle üst kısımdaki hazneye hareket etmektedir. Sıcak ve soğuk akış hatlarının birbirine karışmaması için ince bağlantı kanalında yönlendirici yer almaktadır.

Chun ve ark. (1996) ise, termal diyot sistemi kullanılarak güneş enerjisinin iç ortama aktarılabilmesini vurgulamışlardır. Çalışmalarında, su ile çalışan dikdörtgen şeklinde bir termosifon döngüsü için zamana bağlı bir model geliştirerek, akışkanın döngüdeki dolaşıma başlama süresi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı çalışmada bayonet tipi bir termal diyot için de deneysel ve sayısal çözümler sunulmuştur.

Chun ve Chen (2002) deneysel çalışmalarında ısı transferi yönünün mekanik olarak değiştirilebileceği yeni bir termal-diyot tasarımı geliştirmişlerdir. Bu tasarımda, termosifon döngüsünü oluşturan yatay borulardan dış ortama açık olanlar hareketli, iç ortama komşu olanlar ise dönel mafsallı olarak imal edilmiştir. Dış ortamdaki toplayıcı yüzeyin düşey hareketiyle doğal taşınımın yönü tersine döndürülebilmektedir. Böylece, sistem hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılabilir. Deneysel ölçümler 400 ila 800 W/m² arasında değişen güneş ışınımları için gerçekleştirilmiştir. Tüm ısı yükleri için, sıcak/soğuk termosifon bacaları arasındaki doğal taşınım hareketliliğinin gerçekleşmesi için yaklaşık olarak 15 dk geçmesi gerektiği belirtilmektedir. Sistemin ısı olarak kararlı duruma geçmesi için ise 2 saate ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik hesaplamalar sonucunda alıcı yüzey üzerine gelen enerjinin yaklaşık %50'sinin termal-diyot üzerinden iç ortamdaki ısı değiştiricisine aktarılabilirdiği belirtilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.3 a) Termal diyot tasarımının önden görünümü b) yandan görünümü (Chun ve Chen, 2002)

Chun ve ark. (2009) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada ise, güneş enerjisinden yararlanmak üzere tasarlanan bir termal diyot sisteminde, döngüdeki çalışma akışkanının ısı performansına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ısı iletkenlik katsayısı ve viskoziteleri farklı 5 ayrı akışkan güneş simülatörü kullanılarak test edilmiş, su ve düşük viskoziteli silikon yağı kullanılması durumunda en yüksek ısı transfer hızları gözlenmiştir.

Fang ve Xia (2010), 30 cm genişliğindeki bir su haznesini düşey bir bölme ile ikiye bölmüşler ve bölme ile hazne tavanı arasındaki akış yönünün bir klap ile sağa veya sola ayarlanabilmesini sağlamışlardır. Bu şekilde kışın bölmenin güneş gelen yüzeyinde ısınan su doğal taşınım ile bölmenin üst tarafından iç kısma aktarılmış, yaz döneminde ise geceleri ters yönlü su dolaşımı ile pasif soğutma sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmalarında, bir yüzeyi su haznesi olan sıcaklık kontrollü bir oda tesis ederek, bölmenin hazne içindeki optimum yerleşimini ve aktarılan ısı miktarını belirlemişlerdir.

2.1.4 Vakumlu Cam Tüpler

Vakumlu cam tüpler, arasındaki hava vakumla boşaltılarak ısı kaybı azaltılan iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. Dış tüp koruma amaçlı olup her türlü hava koşuluna dayanıklı olacak şekilde üretilmiştir. İçteki cam tüp ise güneş ışınlarının %93'ünü emebilen özel bir seçici yüzeyle kaplanmıştır. Vakum işlemi, tüplerin içindeki suyun donma riskini ortadan kaldırdığı için bu sistemde antifriz ihtiyacı duyulmaz. Vakumlu cam tüpler, şekilleri sayesinde günün her saati güneş ışınlarını dik alabilmektedirler.

Güneş enerjisinden yararlanmak için pratik bir yöntem olarak kullanılan vakumlu cam tüpler ile ilgili literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Budihardjo ve ark. (2007) tek ağızlı açık cam tüpler içinde doğal taşınım etkisi ile gerçekleşen su dolaşımını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Tüp içindeki su dolaşım debisi, tüpün düşeyle yaptığı açı ve gelen ışınım şiddetine bağlıdır. Çalışmada, tüp içindeki dolaşım miktarı ve ısı transfer katsayısını belirlemeye yönelik bağıntılar geliştirilmiştir. Budihardjo ve Morrison (2009) ise vakumlu cam tüp kullanılan güneş enerjili su ısıtıcısının Avustralya ve yakın bölgelerinde farklı şehirlerdeki yıllık performansını incelemişler ve düzlemsel güneş enerjili su ısıtıcı performansı ile karşılaştırmışlardır. 30 adet vakumlu çap tüpün 3.7 m² düzlemsel güneş kolektörüne göre daha az enerji verimliliğine sahip olduğu vurgulanmıştır.

Tang ve ark. (2009) çalışmalarında vakumlu cam tüpler için güneş geometrisine bağlı olarak optimum eğim açısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmaya göre vakumlu cam tüplerde düzlemsel toplayıcılardan farklı olarak diffuse (yayıllı) ışınımın etkisi de hesaba katılmalıdır. Çalışmada, toplayıcıya gelen ışınımın eğim ve azimut açılarına bağlı değişimi verilmiştir.

Li ve ark. (2010), bir toplama/dağıtım hattı üzerinde vakumlu cam tüpleri paralel olarak bağlamış ve hat üzerinde zorlanmış su dağıtımının olması durumundaki ısı transferini modellemişlerdir. Dağıtım hattına gelen soğuk su, doğal taşınım etkisi ile cam tüpün içine girmektedir. Cam tüp içinde aşağı inen ve yukarı çıkan akışkanların

karişmadığı varsayılmakta, tñpñn dağıtım hattı ile bağlantı noktasında ise gelen su hattaki su ile karişarak bir kademe ısınmış olarak yandaki tñpe doğru hareketine devam etmektedir. Çalışmada gñneř radyasyonu ve ısı kayıpları gñz önñne alınarak dağıtım hattı çıkış sıcaklığı belirlenmiştir. Deney dñzeneđinde vakum tñplerin yerleşimi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Vakum tñplerin toplayıcıya bağlanmış hali (Li ve ark., 2010)

Wang ve ark. (2010) alışmalarında, vakumlu cam tñpler içerisine U-şeklinde bakır boru daldırılmış, tñpñn içi ve borunun etrafı ısı transfer akışkanı olarak yađ ve grafit karişımından oluşan malzeme ile doldurulmuştur. Tñplerin arka yñzeyine gñneři yansıtmağ üzere bñtñnleřik parabolik yoğuşturucu levha yerleştirilmiştir. Çalışmada, farklı sayıda tñp seri bağlanarak ve boru içinden hava geçirilerek, %30 toplama verimi ile 200 °C sıcaklıkta hava elde edilmiş ve modelin endñstriyel amaçlarla kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Ma ve ark. (2010) içine U-boru yerleştirilmiş vakumlu tñpten çevreye olan ısı kaybının hesaplanması için analitik bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada cam tñpñn üzerindeki absorber yñzeyin sıcaklığının, ısı kaybı için önemli bir parametre olduğu gñsterilmiřtir. Sonuçlara gñre, sentetik iletkenliğin 5'ten 40 W/mK'ye yñkselmesi durumunda, gñneř kolektñrñnñ verimliliği %10 artmış ve çıkış akışkanı sıcaklığı %16 oranında artmıştır.

Sakhrieh ve Al-Ghandoor (2011), vakumlu cam tüp, siyah ve mavi kaplamalı güneş kollektörleri, alüminyum kollektör ve bakır kollektör sistemleri arasında verim ve performans karşılaştırılması yapılmışlardır. Vakumlu cam tüplerin en verimli, bakır kollektörlerin ise en verimsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

2.2 Çalışmanın Mevcut Literatür ile Farkı

Literatürde güneş enerjisinin ısıtma sistemlerinde kullanılması üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Pasif ısıtma sistemlerinde, mekana gelen güneş enerjisinin Trombe duvarı benzeri düzenlemeler ile içeri aktarılmasına ilişkin araştırmalar geniş yer tutmaktadır. Ancak bu sistemler, yapısal mimari düzenlemeler gerektirmektedir veya bina ısıtma sistemine eklenmesi gerekmektedir. Diğer çalışmalarda ise, ısı borulu, bayonet tip veya termosifon çevrimi içeren termal diyot sistemlerinin bir yüzeye gelen güneş enerjisinin iç ortama aktarılması amacıyla kullanılma olanakları araştırılmıştır. Bu tip sistemler, bina merkezi sistemine bağlı olmadığı için daha basit bir yapıdadırlar. Ancak, mekana aktarılan enerji miktarı sınırlı olup deneysel amaçlı çalışmaların ötesine geçilmemiştir.

Son yıllarda, vakumlu cam tüplerin güneş enerjisini toplama performansı ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda havuz ısıtma, sıcak su depolama ve kurutma işlemleri gibi uygulamalar amaçlanmıştır. Ancak, tüplerin bina ısıtma sisteminde kullanılmasına ilişkin bir çalışma ile karşılaşılmamıştır.

Bu çalışmada vakumlu cam tüpler kullanılarak dış ünitelerde ısınan suyun, i ünitelerde bulunan radyatörde dolaştırıldığı bir sistemin performansı değerlendirilmiştir. Tez kapsamında incelenen sistem, bina ısıtma sistemi ile bütünleşik olmayıp, depo, şantiye odası gibi mekanların ısıtmasında değerlendirilebilecek basit yapılı bir düzenlemedir.

BÖLÜM ÜÇ

FAZ DEĞİŞİM MALZEMELİ RADYATÖR ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Güneş ışınımının olmadığı saatlerde, odaya ısı aktarımının devam etmesi amacı ile kullanılabilceği düşünölen faz değışim malzemesi (FDM) haznesi içeren bir radyatörün tasarım ve imalatı gerçekleştirilerek test edilmiştir. Elba Basınçlı Döküm Sanayii A.Ş. tarafından standart bir panel radyatörün ön paneli ince bir sac yardımı ile ikiye bölünerek ön kısmında bir FDM haznesi tesis edilmiş ve parafin ile doldurulmuştur. Radyatörün ısıl davranışının belirlenebilmesi için Elba Basınçlı Döküm Sanayii A.Ş. laboratuvarlarında bir dizi test uygulanmıştır.

3.1 Faz Değişim Malzemesi

Sistemdeki iç enerji değişiminin faz değişimi ile ilişkili olan kısmına gizli enerji denir. Parçacıklara yeterli enerji verildiği takdirde, moleküler kuvvetlerin üstesinden gelinmesi sağlanır ve faz değişimi meydana gelir. Bazı maddeler, katı-sıvı faz değişimi sırasında gizli ısı depolamaları sayesinde büyük miktarlarda enerji depolayabilirler.

Bazı malzemeler, kimyasal özelliklerinde değişiklik olmadan defalarca faz değiştirebilirler (Cellura ve ark., 2008). Faz değişim malzemeleri, faz değişimi sıcaklığında enerjinin önemli bir miktarını gizli ısı olarak depolar. FDM yüksek depolama kapasitesi nedeniyle, ısıl enerji depolama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Malzemelerin FDM olarak kullanılması sahip olması gereken özellikler Sharma ve ark. (2009) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Uygun faz değışim sıcaklığı
- Yüksek gizli ısı depolama
- Yüksek ısı aktarımı
- Uygun Faz dengesi

- Yüksek yoğunluk
- Küçük hacim değişikliği
- Düşün buhar basıncı
- Uzun dönemli kimyasal stabilite
- Yapı malzemeleri ile uyumluluk
- Zehirli olmaması
- Yanma riski bulunmaması
- Kolay temin edilebilir olması
- Ucuz olması

Bu koşullar altında, en yaygın faz değişim malzemeleri, su, çeşitli tuzlu su karışımları, parafin ve polietilen glikol gibi organik ve inorganik malzemelerdir (Ezan, 2006).

Bu çalışmada, kolay temin edilebilir olması ve uygun maliyeti göz önüne alınarak parafin tipi faz değişim malzemesi kullanımının elverişli olacağı sonucuna varılmıştır. Radyatörün içinde dolaşan su sıcaklığı düşünüldüğünde erime sıcaklığı 45°C – 50°C aralığında olan FDM'ler içerisinde Tricosane (C₂₃H₄₈) seçilmiştir. Tricosane'in aşındırıcı etkisi yoktur ve radyatörün içinde dolaşan su sıcaklığına uygun, nispeten düşük erime sıcaklığına sahiptir. Ticari bir ürün olan Tricosane'in faz değişim sıcaklığı aralığı ve faz değişim entalpisi Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Analiz sonucunda, erimenin 45,91°C – 53,72°C sıcaklık aralığında gerçekleştiği ve bu aralıktaki entalpi değişiminin ise 130 J/g olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca analiz sırasında FDM'ye ait asıl erime noktasına gelmeden 26,53°C – 32,56°C aralığında küçük bir pik görülmüştür. Bu görülen pik ticari bir ürün olan Tricosane'in saf olmadığını ortaya koymaktadır.

3.2 Panel Radyatör

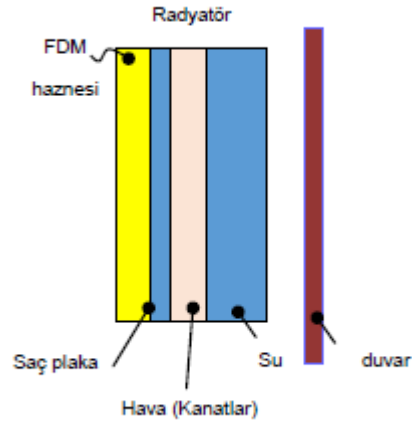
Radyatörler, dolaşan sıcak suyun ısını, bulunduğu ortama taşınım ile aktarması için tasarlanmışlardır. Eskiden yüksek su kapasiteli, düşük ısı aktarım hızına sahip ve oldukça ağır döküm radyatörler kullanılmaktaydı. Ancak bu tip radyatörler ısı kaynağına fazla yük oluşturdukları için tasarruflu değillerdi. Teknolojinin gelişmesi ile alüminyum panel radyatörlere geçiş yapılmıştır. Alüminyum panel radyatörler hafiftir ve yüksek ısı transferine olanak sağlayacak tasarıma sahiptir. Ayrıca döküm radyatörlerin aksine panel radyatörler düşük su kapasiteleri sayesinde işletme maliyetini düşürmektedir. Pres yardımı ile üretilen panel radyatörler birden fazla panelden oluşabilirler.

Günümüzde üretildikleri malzemeler veya üretim şekilleri değişse de radyatörler, düşük maliyeti ve kolay kurulumu sebebi ile mekan ısıtmasında kullanılan en yaygın ısıtma araçlarıdır.

Bu çalışmada odaya ısı aktarması için radyatör kullanılmış ve standart bir radyatörün ön paneli iki bölünüp FDM doldurularak ısıl davranışı belirlenmiştir.

3.3 Faz Değişim Malzemeli Radyatör Tasarımı ve İmalatı

Standart bir alüminyum radyatörün ön paneli ince bir alüminyum sac ile Şekil 3.1'de gösterildiği gibi ikiye ayrılarak FDM doldurulması için bir hazne oluşturulmuştur. Haznenin çok küçük hacimli olmaması için 1000 x 600 mm boyutlarında Tip-22 (PKKP) alüminyum radyatör seçilmiştir.



Şekil 3.1 Üretimi planlanan radyatörün şematik gösterimi

Alüminyum radyatör ön paneli 1,1 mm kalınlığında alüminyum sac levha kullanılarak ikiye bölünmüştür. Böylece 6 litrelik toplam su hacminin 1,3 litresi FDM için ayrılmıştır. Bu miktar yaklaşık 1035 gr'a tekabül etmektedir. Kullanılan parafinin donmadan haznenin her tarafına ulaşmasını sağlamak amacı ile dolun aşaması sırasında radyatör su haznesinde 75°C sıcaklıkta su dolaşımı sağlanmıştır. Ardından parafin eritilerek Şekil 3.2'de gösterildiği gibi beher yardımı ile hazneye doldurulmuştur.



Şekil 3.2 FDM'nin hazneye doldurulması

3.4 Isıl Kapasite Test Kabini

Isıl testler, üretici firmanın TS-EN 442-2 standardına uygun olarak yapılan test odasında gerçekleştirilmiştir. Test odasında ısıl kapasite test kabini, chiller (soğutma

ve ısıtma) ünitesi, kazan üniteleri, alt kazan, üst kazanlar, debi ayar vanaları ve hassas terazi bulunmaktadır.

Isıl kapasite test kabini 4x4x3 m boyutlarında olup duvarları sandviç panellerden oluşmaktadır. İç ortam sıcaklığını sabit tutmak amacıyla ($20 \pm 0,1$ °C) radyatörün bağlandığı duvar hariç diğer duvarların içinden soğutma sıvısı geçirilmektedir.

3.5 Isıl Testler

Isıl testler, kararlı durum ısı kapasite testleri, radyatörün devreye alınmasından (su beslemesinin başlamasından) itibaren yapılan ısınma testleri ve radyatör su beslemesi durdurularak yapılan soğuma testleri olarak üç ayrı grupta gerçekleştirilmiştir. Isıl kapasite testleri 3 ayrı radyatör düzenlemesi için gerçekleştirilmiştir:

- i) Tip-22 (PKKP) 1000 x 600 mm standart alüminyum panel radyatör
- ii) FDM haznesi boş radyatör
- iii) FDM haznesi dolu radyatör

Isınma ve soğuma testleri ise sadece standart radyatör ve FDM haznesi dolu radyatör için yapılmıştır.

3.5.1 Kararlı Durum Isıl Kapasite Testleri

Radyatörün ısı kapasitesinin belirlenmesi için yapılan testler TS EN 442 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Besleme kazanından test radyatörüne öngörülen sıcaklıkta su beslemesi sağlanmış ve dönüş sıcaklığı istenen değerde olacak şekilde su debisi ayarlanmıştır. Radyatörün ısı kapasitesi, radyatör içerisindeki suyun ortalama sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farka (ΔT) bağlı olarak verilmektedir. Farklı ΔT değerleri için gerçekleştirilen deneylerdeki su besleme ve dönüş sıcaklıklarının ana değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Radyatör ve ortam arasındaki sıcaklık farkına göre su giriş/çıkış sıcaklıkları

| Radyatör ve Ortam Arasındaki Sıcaklık Farkı, ΔT (°C) | Giriş Sıcaklığı (°C) | Çıkış Sıcaklığı (°C) | Oda Sıcaklığı (°C) |
|--|----------------------|----------------------|--------------------|
| 30 | 45 | 55 | 20 |
| 50 | 65 | 75 | 20 |
| 60 | 70 | 90 | 20 |

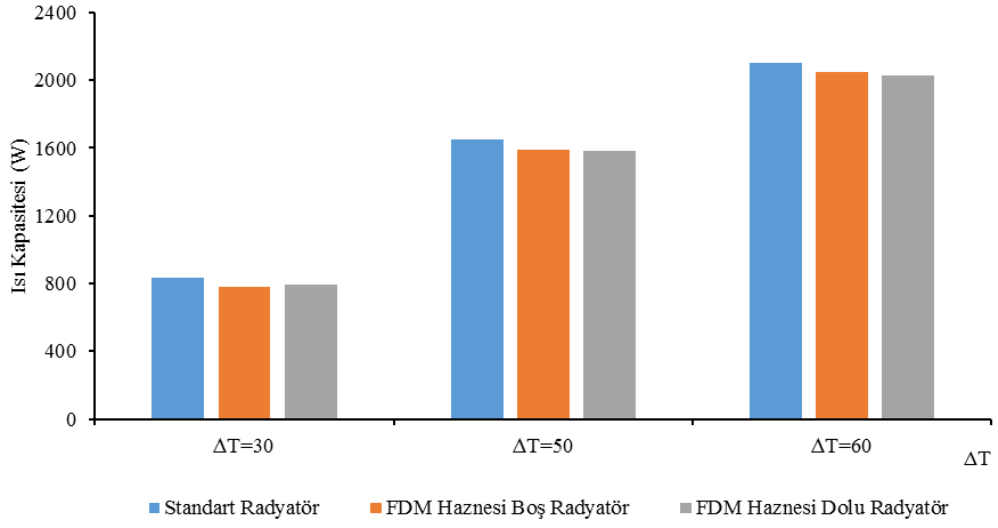
TS EN 442 Standardına göre ısı güç, radyatörün 20°C'lik hava sıcaklığı, 75°C su giriş ve 65°C su çıkış sıcaklığı için hesaplanan ısı gücüdür.

Testlerde su giriş-çıkış sıcaklıkları istenilen (ΔT) fark sıcaklığı sağlanacak şekilde anma değeri civarında ayarlanmış ve kararlı hal sağlandıktan sonra en az 12 ölçüm alınarak dolaşım suyunun bıraktığı ısıdan ısı kapasite hesaplanmıştır. FDM kullanılan radyatörler için belirlenen ısı kapasiteler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı radyatör düzenlemeleri için ısı kapasiteler

| | $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ | $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ | $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Standart Radyatör | 835,7 W | 1647 W | 2098,3 W |
| FDM Haznesi Boş | 782,8 W | 1588,8 W | 2045,5 W |
| FDM Haznesi Dolu Radyatör | 790 W | 1581,1 W | 2025,4 W |

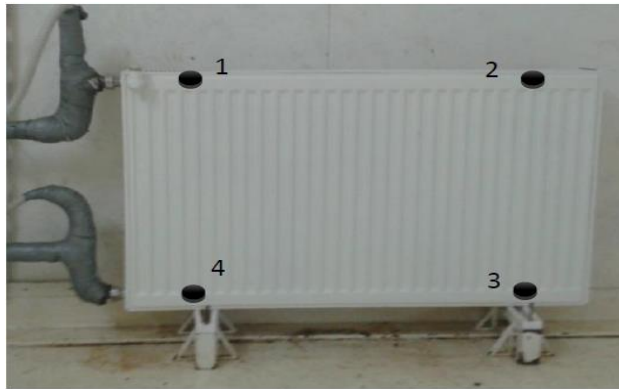
FDM doldurulmuş radyatörün ısı kapasitesinin standart radyatöre göre ΔT sıcaklığına bağlı olarak sırasıyla %5,5, %4, %3,5 oranlarında daha düşük olduğu görülmektedir. Özel üretim radyatör için FDM haznesinin boş olması durumunda yapılan testlerde ise diğer iki radyatör için elde edilen değerlerin arasında bir ısı kapasite değeri elde edilmiştir. Üç tip radyatöre ait ısı kapasite testi sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Farklı radyatör tipleri için ısı kapasitenin ΔT ile değişimi

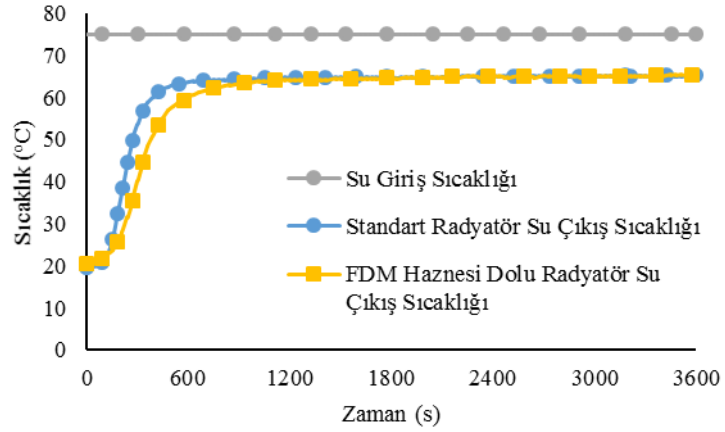
3.5.2 Isınma Testi Sıcaklık Değişimleri

Standart radyatör ve FDM haznesi dolu radyatör için ısınma testleri yapılarak bu radyatörlerin ısınma periyodu sırasındaki ısı davranışları karşılaştırılmıştır. Isınma testlerinde, başlangıçta 20°C sıcaklıkta olan radyatöre, 75°C sıcaklıkta ve kararlı durum testlerinde belirlenen debi ile su beslemesi yapılmıştır. Ardından su çıkış (dönüş) sıcaklıkları kararlı duruma gelene kadar radyatörün ısı davranışı incelenmiştir. Bu süreçte su giriş sıcaklığı ve dönüş sıcaklığı ölçümlerine ek olarak radyatörün ön yüzüne yerleştirilen 4 ölçüm ucuyla radyatörün yüzey sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçüm uçları yan kenarlara 100 mm uzaklığa, üst ve alt kenarlara ise bitişik yerleştirilmiştir. Ölçüm uçlarının radyatör yüzeyine yerleşim durumu Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



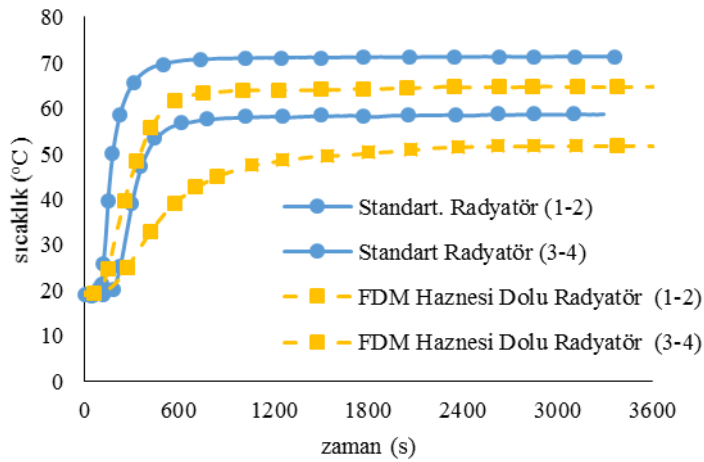
Şekil 3.4 Yüzey sıcaklık ölçüm uçlarının yerleşim düzeni

75°C su giriş sıcaklığı için, FDM hazneli radyatör ve standart radyatöre ait su dönüş sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. FDM'nin enerji depolaması nedeniyle FDM hazneli radyatörde su dönüş sıcaklığının başlangıçta standart radyatör dönüş sıcaklığından daha düşük kaldığı, ancak radyatör kararlı duruma yaklaştıkça dönüş sıcaklıklarının birbirine yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 3.5 Isınma testinde radyatörün su çıkış sıcaklığının değişimi

Yüzeyin alt ve üst kısımlarının sıcaklık değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Burada (1-2) numaralı ölçüm uçları yüzeyin üst tarafındaki sıcaklık değişimini, (3-4) numaralı ölçüm uçları ise yüzeyin alt tarafındaki sıcaklık değişiminin ortalamasını göstermektedir.

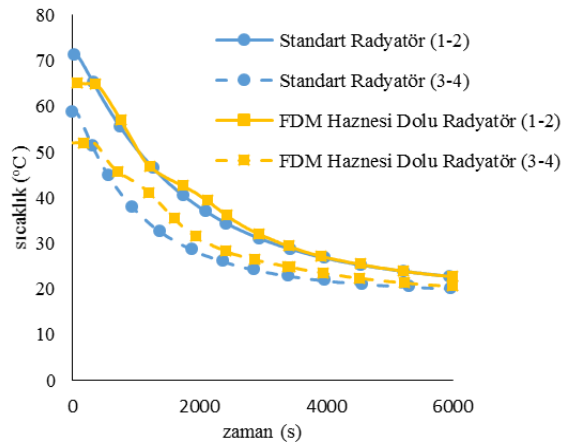


Şekil 3.6 Isınma testinde radyatör ön yüzey sıcaklığının değişimi

Şekil 3.6’de görülebileceği üzere, FDM kullanılan radyatörde ısının bir kısmının faz değişim malzemesinde depolanması nedeniyle sıcaklık artışı daha yavaş gerçekleşmektedir. Diğer yandan ısınmanın tamamlandığı kararlı durumda, FDM’nin ısı direnci ön yüzey sıcaklığının düşük kalmasına neden olmuştur. Bunun nedeni FDM’li radyatörün ısı kapasitesi standart radyatöre oranla daha düşüktür.

3.5.3 Soğuma Testi Sıcaklık Değişimleri

Soğuma testlerinde standart radyatörün ve FDM içeren radyatörün soğuma sırasındaki ısı davranışları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, denge durumuna ulaşmış radyatöre su beslemesi kesilmiş ve radyatör yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi izlenmiştir. Soğuma testi sırasında yüzey sıcaklığının değişiminin Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Soğuma testinde radyatör ön yüzey sıcaklığının değişimi

Su beslemesinin kesilmesinin ardından standart radyatörün yüzey sıcaklığı 72°C’den, FDM içeren radyatörün yüzey sıcaklığı ise 65°C’den düşmeye başlamaktadır. Beklendiği gibi FDM içeren radyatörün soğuma hızı daha düşüktür. FDM olarak kullanılan parafinin faz değiştirmesi nedeniyle, yaklaşık 3000 saniyeden sonra, FDM içeren radyatör alt ve üst yüzey sıcaklıkları birbirine yaklaşmaya başlamıştır. Alt ölçüm uçlarının bağlandığı bölümde sıcaklık parafinin erime noktasına yakın sıcaklıklardan düşmeye başladığı için sıcaklık düşümü yavaştır. Soğuma sırasında FDM içeren radyatörün ön yüzey sıcaklığının standart radyatöre göre yaklaşık 3°C - 8°C daha fazla olduğu görülmüştür.

3.5.4 Depolanan Isı Miktarı

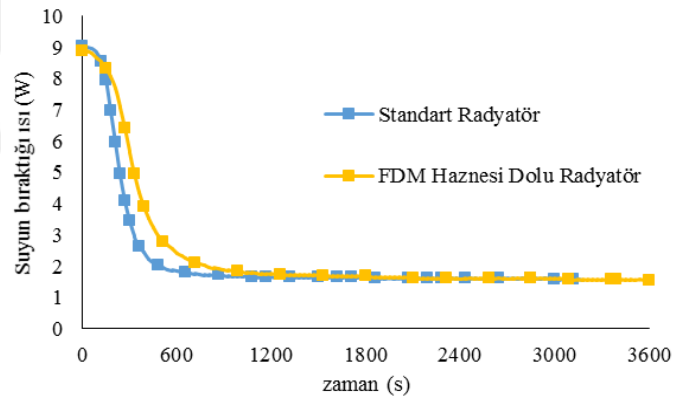
Isınma periyodu sırasında suyun radyatörde bıraktığı ısının bir kısmı radyatör yüzeyinden odaya aktarılırken, bir kısmı ise radyatör gövdesi, gövde içindeki su ve FDM tarafından depolanmaktadır.

Suyun ısı bırakma hızı;

$$q_{su} = m_{su} \cdot C_{su} \cdot (T_{radyatör,giriş} - T_{radyatör,çıkış}) \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

FDM'li ve standart radyatörlerin devreye alınmasından itibaren kararlı duruma gelene kadar suyun ısı bırakma hızlarının değişimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Suyun ısı bırakma hızının değişimi

Isınma deneyleri boyunca gözlenen ısı bırakma hızları karşılaştırıldığında, su dolaşımının kararlı hale gelmesinin FDM içeren radyatörde standart radyatöre göre daha fazla zaman aldığı görülmektedir. Aradaki farkın önemli bir kısmı FDM'nin erime esnasındaki ısı tutma kapasitesinden ileri gelmektedir. Bu iki tip radyatörün çevreye yaydıkları ısı arasındaki fark ihmal edilerek, depolanan ısı miktarı ısınma süreci boyunca suyun bıraktığı ısı arasındaki farka eşit alınabilir. Isıl dengeye ulaşma süresi 3600 saniye kabul edilerek ve (1) bağıntısı kullanılarak FDM'li radyatörde suyun bıraktığı ısı miktarı

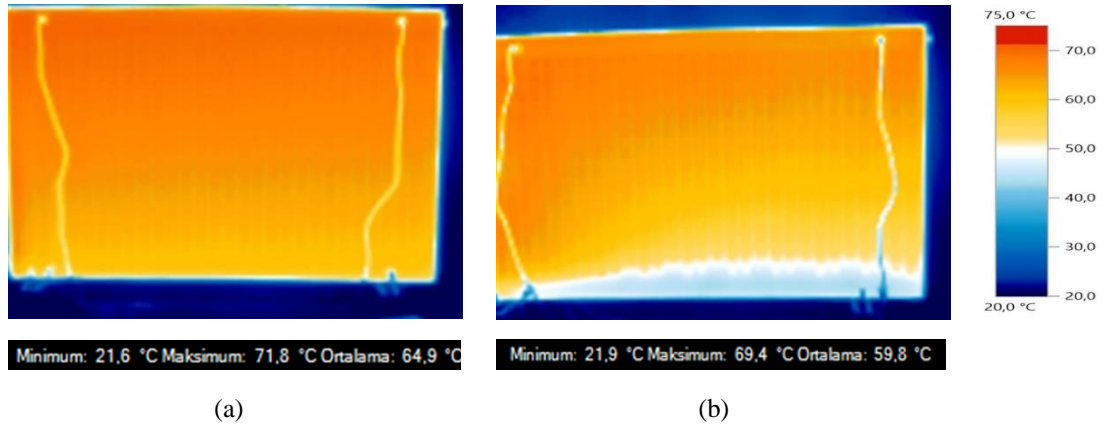
(3.2)

$$Q_{depolanan} = \int_0^{3600} (\dot{q}_{su,FDM} - \dot{q}_{su,std}) * dt = 797,8 \text{ kJ}$$

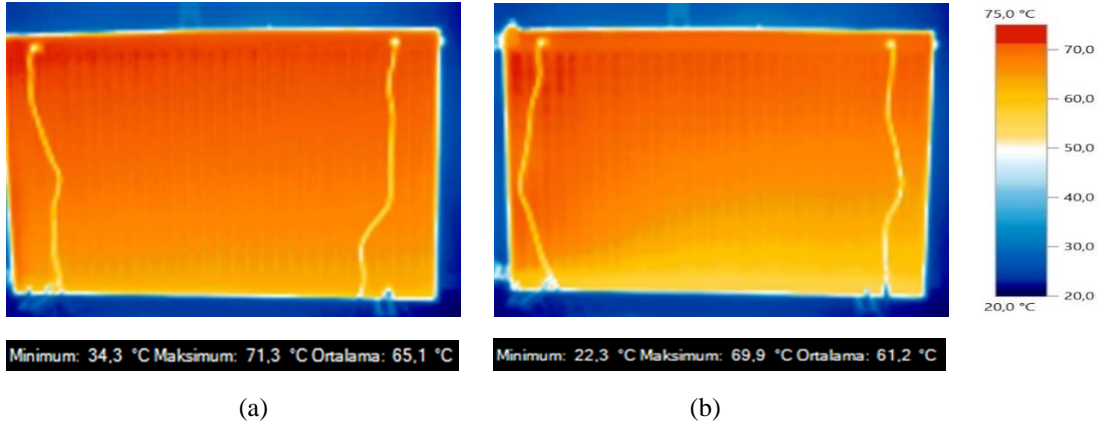
olarak hesaplanır. Radyatörün standart kapasitedeki 1647 W ısı yükü dikkate alındığında bu değer 484 s (~ 8 dakika) bir çalışma süresinde yayılan ısıya eşittir.

3.5.5 Termal Kamera Görüntüleri

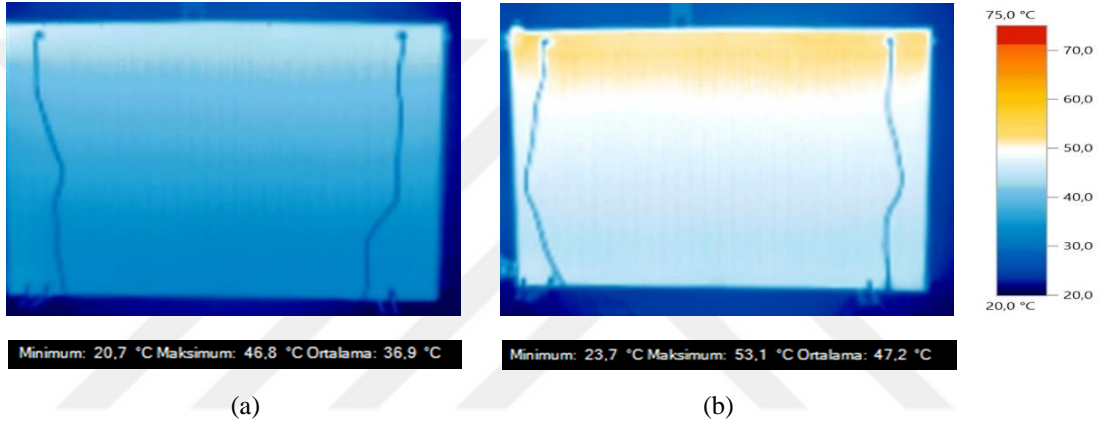
Standart ve FDM hazneli radyatörlerin, ısınmaya başladıktan 20 dk sonra, denge durumunda ve soğumaya geçtikten 20 dk sonra çekilen termal kamera görüntüleri Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11’de verilmiştir. Buna göre faz değişim malzemesi içeren radyatörün yüzey sıcaklığının ısınma periyodunda ve kararlı hal durumunda standart radyatör yüzey sıcaklığından daha düşük kaldığı, ancak soğuma periyodu sırasında beklendiği gibi FDM hazneli radyatörün daha yavaş soğuduğu görülmektedir. Ayrıca, ısınma periyodu başladıktan 20 dk sonra, faz değişim malzemesinin haznenin alt tarafında kalan bir kısmının halen katı veya yarı-eriyik “mushy” durumda olduğu anlaşılmaktadır. Kararlı duruma gelindiğinde faz değişim malzemesi tamamen erimiştir. Soğuma periyodu başladıktan 20 dk sonra ise, FDM henüz tam katılaşmamış olup, büyük ölçüde yarı-eriyik durumundadır.



Şekil 3.9 (a) Standart (b) FDM doldurulmuş radyatörlerin ısınma sırasındaki yüzey sıcaklıkları



Şekil 3.10 (a) Standart (b) FDM doldurulmuş radyatörlerin kararlı durumdaki yüzey sıcaklıkları



Şekil 3.11 (a) Standart (b) FDM doldurulmuş radyatörlerin soğuma sırasındaki yüzey sıcaklıkları

3.6 Radyatör Isıl Testlerinin Sonucu

Bu çalışmada, radyatör ön yüzeyinde oluşturulan bir hazneye yerleştirilen faz değişim malzemesinin radyatörün ısıl davranışına etkileri araştırılmıştır. Beklendiği gibi faz değişim malzemesi içeren radyatör daha yavaş kararlı hale ulaşmış, buna karşılık soğuma süresi boyunca radyatör yüzey sıcaklığı standart radyatörün yüzey sıcaklığına göre 3-8°C daha yüksek kalmıştır. Faz değişim malzemesinin yüzeyde yarattığı ısıl direnç nedeni ile kararlı hal durumunda faz değişim malzemeli radyatörün ısıl kapasitesinin standart radyatöre göre %3,5-5,5 oranlarında düşük olduğu belirlenmiştir.

Kullanılan faz değişim malzemesinin sadece ön panelin yarısı kadar bir hacimde olması nedeniyle depolanan ısı miktarının soğuma süresinin gecikmesine olan katkısı

sınırlı olduğu yapılan testlerle görölmüştür. Ayrıca tez kapsamında faz değişimli radyatörün üretilme amacının gündüz saatlerinde depolanan ısının akşam saatlerinde kullanılması olmasına rağmen testleri yapılan radyatörün bunu karşılayamayacağı anlaşılmıştır. Bunlara ek olarak radyatörün ağırlığının deneyin yapıldığı prefabrik yapıya montaj sırasında sorunlar çıkaracak olması da güneş enerjili ısıtma sisteminde kullanılmamasına yol açmıştır.



BÖLÜM DÖRT

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMİNİN TASARIM VE KURULUMU

Güneş enerjisinin mekan ısıtma amacıyla kullanımını incelemek amacıyla vakumlu cam tüplerden oluşan toplayıcıya sahip bir dış ünite tasarlanmış ve dış üniteye ısınan suyun, mekan içine yerleştirilen radyatöre doğal dolaşım ile ilerlemesi sağlanarak sistemin ısı performansını değerlendirilmiştir.

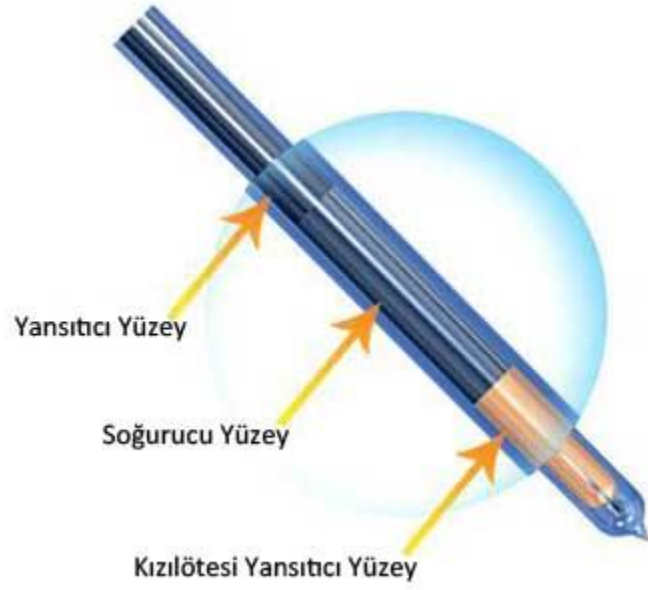
4.1 Deney Düzeninde Kullanılan Ekipmanlar

4.1.1 Vakumlu Cam Tüp

Toplayıcı üniteye Solarsan Vakumlu Cam Tüp Üretim San. ve Tic. A.Ş tarafından üretilen vakumlu cam tüpler kullanılmıştır. Standart uzunluğu 1800 mm olan cam tüpler, deney sisteminin kurulacağı yapının yüksekliği göz önüne alınarak 1000 mm uzunluğunda özel olarak üretilmiştir. Vakumlu cam tüplerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiş ve cam tüpler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Solarsan vakumlu cam tüpleri özellikleri (Solarsan, 2016)

| Özellikler | Değerler |
|---------------------|-----------------------------|
| Uzunluk | 1000 mm |
| Tüp Dış Çapı | 47 mm |
| Tüp İç Çapı | 37 mm |
| Cam Kalınlığı | 1,6 mm |
| Isıl Genleşme | $3,3 \times 10^{-6}$ (1/°C) |
| Malzeme | Borisilikat cam 3,3 |
| Yüzey Kaplama | AL-N\AL selektif |
| Absorbsiyon Oranı | %90 Ortalama 40 kcal/h |
| Yansımaya Oranı | %7 (100 °C) |
| Vakum | P<0.005 Pa |
| Boş Tüp Sıcaklık | >200°C |
| Isı Kayıp Katsayısı | <0,8W/ (m ² °C) |
| Tüp Ömrü | <15 yıl |
| Garanti Süresi | 3 yıl |



Şekil 4.1 Vakumlu cam tüpler

4.1.2 Genleşme Tankı

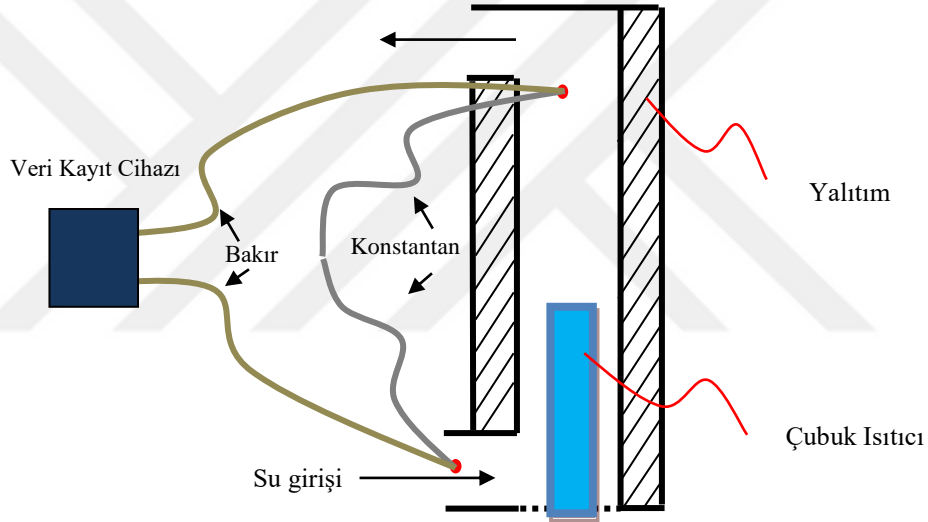
Isınan suyun genişleyeceği düşünülerek deney düzeneğine bir genişleme tankı eklenmiştir. Deneyde kullanılan ekipmanların özellikle toplayıcı ve cam tüplerin bağlantısının basınca dayanıklı olmaması sebebiyle açık genişleme tankı sisteme ilave edilmiştir. Sisteme su beslemesi de bu genişleme kabından sağlanmaktadır.

4.1.3 Piranometre

Düşey yüzeye gelen anlık güneş ışınımı EPPLEY tip, 8-48 model, 23169 seri numaralı piranometre yardımıyla dakika bazında alınan veriler halinde ölçülmüştür. Veri kayıt cihazı ile piranometrenin ölçüğü değerler milivolt olarak kaydedilmiştir. Ölçülen değerler piranometrenin üretici firması tarafından verilen dönüştürme faktörü ($1 \text{ W/m}^2=10,72 \text{ } \mu\text{V}$) kullanılarak ışınım değeri W/m^2 birimine dönüştürülmüştür.

4.1.6 Isıtıcı ve Isılçifler

Sistemin debisini hesaplamak için radyatörün sıcak su giriş hattına boru eksenine paralel olarak çubuk şeklinde elektrikli ısıtıcı tesis edilmiştir. Isıtıcının bağlı olduğu boru hattındaki su dolaşım sıcaklığı farkından hareketle debi hesaplanmıştır. Bu amaçla Şekil 4.2’de gösterildiği gibi iki bakır-konstantan ısılçiftinin (T-tipi) ölçüm uçları su giriş ve çıkış noktalarına bağlanmış ve uçlar arasındaki gerilim farkı ölçülerek dönüşüm katsayısı yardımı ile sıcaklık farkı doğrudan hesaplanmıştır. Çalışılan sıcaklık aralığında T-tipi ısılçift sıcaklık dönüşüm katsayısı $43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ alınmıştır.

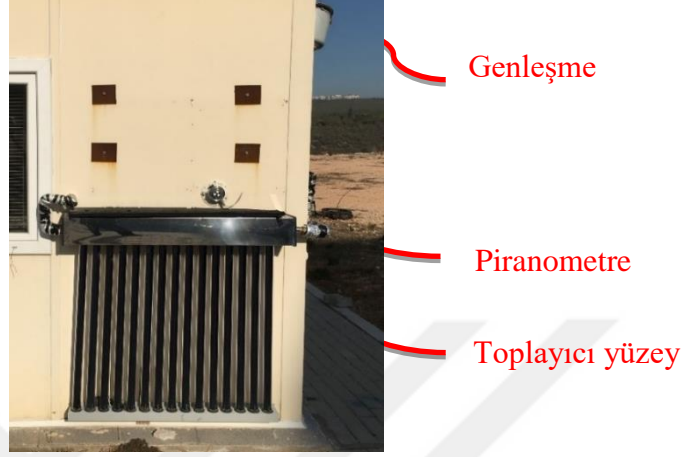


Şekil 4.2 Radyatör giriş hattı, ısıtıcı ve ısıl çift bağlantısı

4.2 Isıtma Sistemi Tasarımı ve Kurulumu

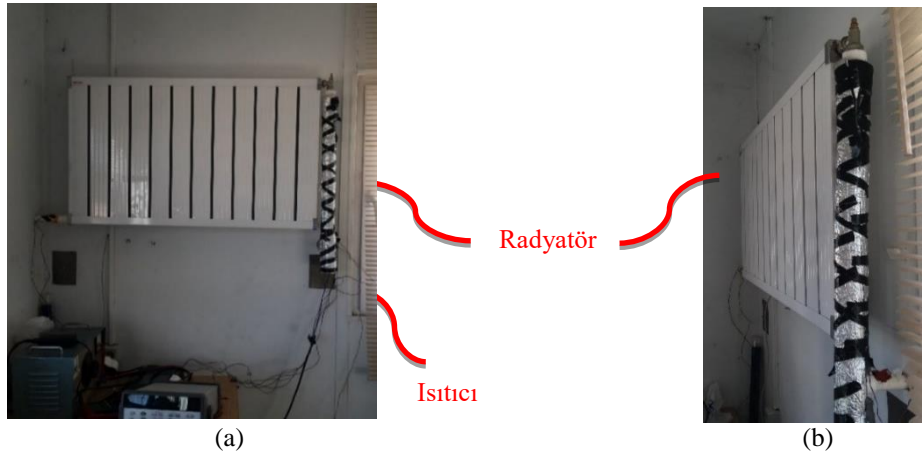
Çalışmada test odası olarak Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe kampüsünde yer alan Solaris çalışma binasının bir odası seçilmiştir. Bina prefabrik olup 2 odadan oluşmaktadır. Kullanılan oda yaklaşık 10 m^2 'lik bir alana sahiptir. Güney ve doğu cepheleri dış ortam ile temas halindedir. Test odasının güney duvarına vakumlu cam tüplerden oluşan bir toplayıcı bir dış ünite tesis edilmiş, doğal dolaşım etkisini sağlayabilmek üzere aynı duvarın iç yüzeyine ve daha yüksek seviyeye bir radyatör yerleştirilmiştir.

Dış ünite de toplayıcı yüzey olarak 15 adet vakumlu cam tüp kullanılmıştır. Toplayıcı yüzey güney duvarına düşey doğrultuda yerleştirilmiş olup, 1,20 m² yüzey alanına sahiptir. Cephesi 10° güney doğu yönüne bakmaktadır. Dış ünitenin montajı yapıldıktan sonraki görüntüsü Şekil 4.3’de verilmiştir.



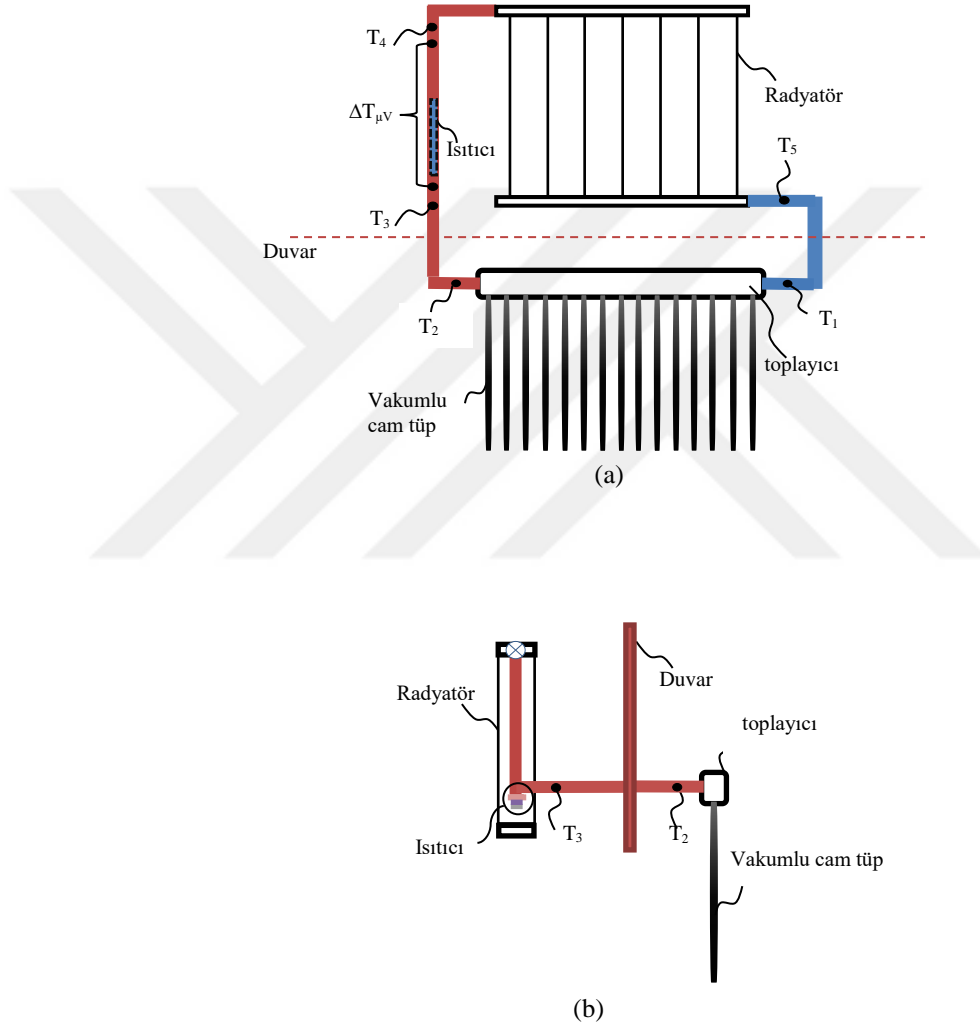
Şekil 4.3 Dış unite

Toplayıcı yüzeye gelen ışınımının soğurulması ile tüp içerisindeki suyun sıcaklığı artmaktadır. Isınan su doğal dolaşım ile iç ünite de bulunan radyatöre sağ üst köşeden girmektedir. Elektrikli çubuk ısıtıcı bu giriş hattı üzerine tesis edilmiştir (şekil 4.4). Radyatör alt hizası toplayıcı yüzeyden 20 cm yukarıda bulunmaktadır. Radyatörde ısı aktarıldıktan sonra soğuyan su sol alt köşeden çıkarak dış üniteye geri dönmektedir. Dış ve iç ünite arasındaki bağlantı 21/26,9 mm çapında ppr-c boru ile sağlanmıştır. Boru çevresi 4,5 mm kalınlığında polietilen köpük ile yalıtılmıştır.



Şekil 4.4 İç ünitenin a) ön b) yan görünüşü

Sistemin ana elemanları olan radyatör ve toplayıcı yüzeyin giriş çıkışlarındaki su sıcaklıkları T-tipi ısıl çiftler kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 4.5'te ısıl çiftlerinin yeri ve numaraları şematik olarak gösterilmiştir. Elektrikli ısıtıcının yerleştirildiği boru hattı üzerinde ısılçiftlerdeki gerilim farkı kullanılarak hesaplanan sıcaklık değişimi $\Delta T_{\mu V}$ ibaresi ile belirtilmiştir..



Şekil 4.5 Sistemin a) önden b) yandan görünümü

4.3 Dolaşım Debisinin Hesaplanması

Deneyde radyatörün yaydığı ısı miktarının ve vakumlu cam tüplerin ısıl gücünün hesaplanabilmesi için öncelikle su dolaşım debisinin (\dot{m}_{su}) ölçülmesi gerekmektedir. Ancak sistem doğal taşınım ilkesiyle çalıştığı için debi ölçer gibi akışa direnç

yaratacak cihazların kullanımından kaçınılmıştır. Bunun yerine radyatöre gelen su hattı içine bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilerek hattın iki ucunda oluşan sıcaklık farkından hareketle debi hesabı yapılmıştır. Isıtıcının bağlı olduğu hattın su girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı, ısıal çiftlerin oluşturduğu gerilim farkının uygun katsayı ile çarpımıyla hesaplanmıştır.

Isıtıcının bulunduğu hattan çevreye olan ısı kaybı iki farklı şekilde hesaplanmıştır. İlk değerlendirmede, hattaki sıcaklık değişimi 0°C olacak şekilde ısıtıcı çalıştırılmış ve ısı kaybı ısıtıcı gücüne eşit alınmıştır. Bu deneyde boru içi su sıcaklığı 36,3°C ve ortam sıcaklığı 18,7°C olarak ölçülmüş ve ısı kaybı 2,94W olarak belirlenmiştir. Boru hattının toplam direnci (R_{toplam}) ise;

$$\frac{1}{R_{toplam}} = \frac{\dot{Q}_{kayıp}}{(T_{iç} - T_{dış})} \quad (4.1)$$

bağıntısından 5,63 ($\frac{W}{K}$) olarak bulunmuştur.

Diğer yöntemde ise boru direnci, iç ve dış taşınım katsayıları ($h_{iç}$, $h_{dış}$) ve yalıtım malzemesi ile boru ısıal iletkenlik katsayıları (k_{boru} , $k_{yalıtım}$) kullanılarak bulunmuştur. Borunun ısı iletim katsayısı (k_{boru}) ve polietilen yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ($k_{yalıtım}$) sırasıyla 0,43 ve 0,056 (W/mK) olarak alınmış olup boru içi taşınım katsayısı laminer akış kabulü yapılarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır (Bergman ve ark., 2007):

$$Re = 4 \cdot \frac{\dot{m}}{\mu \cdot \pi \cdot D} \quad (4.2)$$

$$Nu_{iç} = 3,66 + \frac{0,065 \cdot \left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re_{iç} \cdot Pr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re_{iç} \cdot Pr\right]^{2/3}} \quad (4.3)$$

$$(4.4)$$

$$h_{iç} = \frac{Nu_{iç} \cdot k_{su}}{D_{iç}}$$

Burada, elektrikli ısıtıcının bulunduğu boru içindeki su sıcaklığı 40°C ve kütleli debi 4 g/s olarak kabul edilerek, dinamik viskozite (μ), Prandtl sayısı (Pr) ve ısı iletim katsayısı (k) yukarıdaki denklemlerde yerine konmuştur. Bu şekilde Reynolds sayısı 365,8 ve taşınım katsayısı ($h_{iç}$) 181,48 (W/m²K) olarak hesaplanmıştır.

Isıtıcının bağlı olduğu borunun dış yüzeyindeki doğal taşınım katsayısının hesaplanmasında düşey duvarlar için aşağıda verilen bağıntı kullanılmıştır (Bergman ve ark., 2007):

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty)}{\nu \cdot \alpha} \quad (4.5)$$

$$Nu_{dış} = 0,68 + \frac{0,67 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{1 + \left[\left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{16}{9}} \right]^{\frac{4}{9}}} \quad Ra < 10^9 \quad (4.6)$$

$$h_{dış} = \frac{Nu_{dış} \cdot k_{hava}}{D_{dış}} \quad (4.7)$$

Isıl özelliklerin belirlenmesinde ortam (T_{oda}) sıcaklığı 20°C ve yalıtım yüzey sıcaklığı 35°C kabul edilmiştir. Öngörülen sıcaklık için havanın kinematik viskozitesi (ν), ısı iletim katsayısı (k), ısı yayılım katsayısı (α), Prandtl sayısı (Pr), (4.5), (4.6), (4.7) numaralı denklemlerde yerine konularak boru dış tarafında Rayleigh sayısı $Ra=224 \times 10^6$ ve ısı taşınım katsayısı $h_{dış}=2,5$ (W/m²K) olarak hesaplanmıştır.

Isıl çiftler arasındaki boru boyu 600 mm'dir. Yukarıda hesaplanan iç ve dış taşınım katsayıları ile boru ve yalıtım malzemesi iletkenlik katsayılarının kullanılmasıyla, bu aradaki toplam ısı geçiş direnci (R_{toplam}) (4.8) numaralı bağıntı kullanılarak hesaplanır:

$$\frac{1}{R_{toplam}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\frac{1}{h_{iç}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_{boru}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{yalıtım}} + \frac{1}{h_{dış}}} = 5,75 \left(\frac{W}{K}\right) \quad (4.8)$$

Hesaplanan değer (4.1) bağıntısı ile belirlenen değere yakın olup, boru ısı direnci olarak bu değer kabul edilmiştir. Dolaşım suyu debisinin değişiminden dolayı boru içi taşınım katsayısında ve Rayleigh sayısına bağlı olarak boru dış yüzeyindeki taşınım katsayısında olabilecek değişimler göz ardı edilmiştir. Boru hattından çevreye olan ısı kaybı ise

$$\dot{Q}_{kayıp} = \frac{0,5 \cdot (T_3 + T_4) - T_{oda}}{R_{boru}} \quad (4.9)$$

olmaktadır. Isıtıcı gücü ve çevreye olan ısı kaybının bilinmesi ile dolaşım debisi hesaplanır:

$$\dot{m}_{su} = \frac{\dot{Q}_{ısıtıcı} - \dot{Q}_{kayıp}}{c_p \cdot \Delta T_{\mu V}} \quad (4.10)$$

4.4 Deneylerin Yapılması

Sistem içinde hava kalmayacak şekilde açık genişleme tankı aracılığıyla su ile doldurulmuştur. Daha sonra ısı çiftlerinin ve piranometrenin bağlı olduğu veri kayıt cihazı ile 24 saat boyunca dakikada bir veri alınmıştır. Elde edilen sıcaklık değerleri yardımıyla radyatörün iç ortama yaydığı ısı miktarı denklem (4.11) kullanılarak hesaplanmıştır. Toplayıcı yüzeye gelen ışınlama miktarı ise toplam güneş ışınlama değerinin (I) toplayıcı yüzey alanı ile çarpımından bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{radyatör} = \dot{m}_{su} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_5) \quad (4.11)$$

$$\dot{Q}_{ışınlama} = I \cdot A_{yüzey} \quad (4.12)$$

Sistemin ısıtma verimi ise gün içinde radyatörden aktarılan ısınlama miktarının toplayıcıya gelen ışınlama oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\eta_{sistem} = \frac{\dot{Q}_{radyatör, gün}}{\dot{Q}_{ışınlama, gün}} \quad (4.13)$$

BÖLÜM BEŞ

DENEY SONUÇLARI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMİNİN YILLIK DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Deneysel Çalışmanın Sonuçları

Deneyler 2 Aralık (Deney-1) ve 6 Aralık (Deney-2) 2016 tarihlerinde yapılmış olup ölçümler deney günü saat 08:00 - 17:30 arasında yapılmıştır ve bu süreçte veri kayıt cihazı her dakika için ısıtıcı çiftlerden sıcaklık, piranometreden ışınım şiddeti değerlerini kaydetmiştir. Ölçüm, toplayıcı yüzeyin ışınım alabildiği son saat olan 16:00'dan sonra bir süre daha devam ettirilmiştir. Ölçümler Deney-1 ve Deney-2 için 15 dakikalık veriler halinde Tablo 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.

İki tablo da incelediğinde ışınım değerlerinin saat 10:00 civarında yüksek değerlere ulaşmaya başladığı gözükmektedir. Ancak bu saatlerde toplayıcı yüzeyde bulunan suyun sıcaklığı yaklaşık 10°C'dir. Ayrıca saat 10:00 olana kadar iç üniteye suyun sıcaklığının dış üniteye göre daha sıcak olduğu gözlenmiştir. Bu durum doğal dolaşımın olmadığını göstermektedir. Yaklaşık saat 10:45 – 11:00 aralığında bu durum düzelmeye başlasa da sıcaklık değerleri çok düşüktür.

Saat 12:00 – 16:00 aralığında sıcaklık ve ışınım değerleri daha stabil kalmış ve en yüksek değerlerini almıştır. Deney 1 için en yüksek ışınım 745 W/m² olarak ölçülmüşken Deney-2 için 660 W/m² olarak ölçülmüştür. Ancak Deney-1'de ışınım değerlerinin Deney-2'ye göre daha fazla değişkenlik göstermesi sebebiyle, Deney-1'de ulaşılan en yüksek sıcaklık değeri (45°C) Deney-2'nin en yüksek sıcaklığına göre (50°C) daha düşük kalmıştır.

Saat 16:00'dan sonra ise piranometrenin ölçtüğü değerlerden güneş ışınımının toplayıcıya ulaşmadığı anlaşılmış ve bu saatten sonra sıcaklık değerlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5.1 Deney-1 için elde edilen veriler

| Saat | Toplayıcı Giriş (°C) (T ₁) | Toplayıcı Çıkış (°C) (T ₂) | Isıtıcı Hattı Girişi (°C) (T ₃) | Isıtıcı Hattı Çıkış (Radyatör Giriş) (°C) (T ₄) | Radyatör Çıkışı (°C) (T ₅) | Oda Sıcaklığı (°C) | Işınım Değerleri (W/m ²) |
|-------|--|--|---|---|--|--------------------|--------------------------------------|
| 08:00 | -1,29 | 4,67 | 6,47 | 15,74 | 12,45 | 11,84 | 8,40 |
| 08:15 | -0,72 | 5,14 | 6,84 | 16,12 | 13,12 | 12,75 | 15,39 |
| 08:30 | -0,50 | 5,97 | 7,01 | 17,61 | 13,29 | 13,12 | 29,38 |
| 08:45 | -0,13 | 5,76 | 7,12 | 16,26 | 12,23 | 12,83 | 170,24 |
| 09:00 | 0,27 | 5,64 | 7,09 | 15,20 | 11,64 | 12,51 | 156,25 |
| 09:15 | 2,62 | 5,82 | 6,77 | 14,44 | 11,45 | 13,54 | 215,49 |
| 09:30 | 3,59 | 6,51 | 6,64 | 13,98 | 11,44 | 13,72 | 96,08 |
| 09:45 | 4,97 | 7,80 | 6,72 | 13,56 | 11,47 | 13,97 | 354,94 |
| 10:00 | 5,02 | 9,54 | 6,94 | 13,35 | 11,65 | 13,99 | 401,58 |
| 10:15 | 6,68 | 11,05 | 7,08 | 13,13 | 11,95 | 15,22 | 441,23 |
| 10:30 | 10,02 | 13,48 | 8,06 | 13,37 | 12,38 | 16,05 | 485,54 |
| 10:45 | 12,82 | 16,64 | 8,54 | 13,66 | 13,33 | 16,80 | 521,92 |
| 11:00 | 15,25 | 23,51 | 22,09 | 20,15 | 15,84 | 17,76 | 553,17 |
| 11:15 | 17,15 | 26,49 | 26,09 | 25,50 | 17,56 | 18,67 | 584,89 |
| 11:30 | 17,63 | 29,35 | 28,92 | 28,39 | 19,90 | 19,21 | 621,74 |
| 11:45 | 19,97 | 32,16 | 31,73 | 31,67 | 21,62 | 18,64 | 169,31 |
| 12:00 | 21,93 | 34,59 | 34,16 | 34,14 | 23,54 | 19,32 | 114,27 |
| 12:15 | 22,14 | 36,59 | 36,20 | 36,07 | 25,03 | 19,03 | 532,65 |
| 12:30 | 21,40 | 36,61 | 36,30 | 35,88 | 25,39 | 18,69 | 705,22 |
| 12:45 | 22,31 | 36,96 | 36,67 | 37,00 | 25,88 | 20,01 | 130,13 |
| 13:00 | 23,94 | 38,64 | 38,34 | 39,61 | 27,35 | 20,33 | 59,23 |
| 13:15 | 24,08 | 40,02 | 39,88 | 40,73 | 28,48 | 19,89 | 132,46 |
| 13:30 | 24,33 | 39,01 | 38,98 | 40,33 | 28,41 | 19,59 | 84,88 |
| 13:45 | 23,86 | 37,81 | 37,71 | 38,98 | 27,58 | 19,53 | 52,70 |
| 14:00 | 22,64 | 36,77 | 36,61 | 37,75 | 26,80 | 19,40 | 472,94 |
| 14:15 | 21,22 | 35,77 | 35,35 | 36,48 | 25,93 | 18,63 | 441,21 |
| 14:30 | 21,48 | 34,83 | 34,37 | 35,68 | 25,18 | 18,80 | 632,93 |
| 14:45 | 21,16 | 34,97 | 34,56 | 35,51 | 24,90 | 18,64 | 570,43 |
| 15:00 | 22,10 | 35,80 | 35,40 | 36,30 | 25,26 | 19,10 | 745,34 |
| 15:15 | 22,33 | 37,52 | 37,12 | 38,33 | 26,03 | 18,39 | 715,02 |
| 15:30 | 23,29 | 39,64 | 39,23 | 38,56 | 27,00 | 19,47 | 678,68 |
| 15:45 | 24,13 | 41,88 | 41,48 | 41,10 | 28,51 | 19,49 | 38,25 |
| 16:00 | 25,70 | 43,92 | 43,35 | 44,23 | 30,29 | 19,78 | 8,40 |
| 16:15 | 25,73 | 43,48 | 44 | 45,04 | 31,04 | 19,08 | 15,39 |
| 16:30 | 24,68 | 42,79 | 43,75 | 44,77 | 30,78 | 18,97 | 12,46 |
| 16:45 | 24,21 | 42,01 | 43,19 | 44,03 | 30,34 | 18,75 | 12,12 |
| 17:00 | 22,83 | 41,55 | 42,72 | 43,24 | 29,87 | 18,45 | 8,53 |
| 17:15 | 21,76 | 41,24 | 42,65 | 42,88 | 29,04 | 18,21 | 8,32 |
| 17:30 | 21,32 | 40,98 | 41,49 | 42,02 | 28,45 | 18,04 | 8,10 |

Tablo 5.2 Deney-2 için elde edilen veriler

| Saat | Toplayıcı Giriş (°C) (T ₁) | Toplayıcı Çıkış (°C) (T ₂) | Isıtıcı Hattı Girişi (°C) (T ₃) | Isıtıcı Hattı Çıkış (Radyatör Giriş) (°C) (T ₄) | Radyatör Çıkışı (°C) (T ₅) | Oda Sıcaklığı (°C) | Işınım Değerleri (W/m ²) |
|-------|--|--|---|---|--|--------------------|--------------------------------------|
| 08:00 | 2,45 | 7,12 | 4,78 | 5,87 | 6,92 | 9,64 | 8,42 |
| 08:15 | 3,78 | 7,56 | 5,24 | 6,21 | 7,72 | 10,45 | 10,76 |
| 08:30 | 4,22 | 8,01 | 6,88 | 7,65 | 8,45 | 11,11 | 12,45 |
| 08:45 | 5,34 | 8,79 | 7,75 | 8,78 | 10,02 | 11,34 | 24,45 |
| 09:00 | 6,98 | 9,53 | 8,02 | 9,99 | 9,28 | 11,45 | 81,75 |
| 09:15 | 7,55 | 10,87 | 9,45 | 10,01 | 10,62 | 11,92 | 175,75 |
| 09:30 | 8,03 | 11,21 | 10,59 | 11,03 | 10,78 | 12,12 | 201,81 |
| 09:45 | 9,66 | 11,78 | 11,56 | 12,08 | 11,12 | 12,45 | 255,96 |
| 10:00 | 10,24 | 12,32 | 11,38 | 13,71 | 10,61 | 12,70 | 259,79 |
| 10:15 | 11,12 | 13,84 | 12,26 | 12,55 | 11,41 | 13,90 | 312,03 |
| 10:30 | 11,74 | 16,08 | 14,19 | 12,29 | 12,20 | 14,44 | 356,34 |
| 10:45 | 13,04 | 21,33 | 20,32 | 18,73 | 13,31 | 15,67 | 404,38 |
| 11:00 | 14,42 | 24,09 | 23,63 | 23,16 | 15,02 | 16,96 | 445,90 |
| 11:15 | 16,83 | 26,44 | 26,07 | 25,62 | 17,57 | 17,93 | 486,01 |
| 11:30 | 18,44 | 29,10 | 28,67 | 28,27 | 19,54 | 18,60 | 515,86 |
| 11:45 | 22,47 | 31,92 | 31,49 | 31,42 | 21,68 | 19,27 | 545,24 |
| 12:00 | 23,63 | 34,25 | 33,81 | 33,39 | 23,59 | 19,77 | 557,37 |
| 12:15 | 25,03 | 36,53 | 36,11 | 35,62 | 25,11 | 20,16 | 562,50 |
| 12:30 | 25,49 | 38,32 | 38,01 | 37,76 | 26,69 | 20,51 | 512,13 |
| 12:45 | 26,45 | 39,59 | 39,26 | 40,51 | 28,24 | 20,89 | 516,79 |
| 13:00 | 27,80 | 40,65 | 40,35 | 41,63 | 29,38 | 21,29 | 593,75 |
| 13:15 | 27,25 | 40,70 | 40,52 | 41,78 | 29,65 | 20,53 | 423,97 |
| 13:30 | 25,92 | 39,63 | 39,43 | 40,72 | 29,17 | 20,69 | 95,62 |
| 13:45 | 25,77 | 38,87 | 38,57 | 39,81 | 28,77 | 20,89 | 620,34 |
| 14:00 | 27,51 | 39,77 | 39,42 | 40,51 | 28,76 | 20,89 | 650,65 |
| 14:15 | 28,16 | 41,42 | 41,16 | 42,02 | 29,97 | 20,99 | 639,93 |
| 14:30 | 29,08 | 43,22 | 42,87 | 43,82 | 31,17 | 21,19 | 645,52 |
| 14:45 | 30,31 | 44,90 | 44,50 | 45,36 | 32,30 | 21,41 | 664,65 |
| 15:00 | 30,23 | 46,26 | 46,00 | 46,66 | 32,99 | 21,54 | 648,32 |
| 15:15 | 31,14 | 47,51 | 47,19 | 47,92 | 34,10 | 21,72 | 659,05 |
| 15:30 | 31,68 | 48,92 | 48,39 | 49,06 | 34,67 | 21,49 | 647,85 |
| 15:45 | 32,00 | 49,69 | 49,19 | 49,88 | 35,44 | 21,90 | 597,48 |
| 16:00 | 32,26 | 50,31 | 49,85 | 50,53 | 35,79 | 21,85 | 553,64 |
| 16:15 | 31,24 | 49,70 | 49,62 | 50,36 | 35,87 | 21,36 | 52,71 |
| 16:30 | 30,52 | 48,64 | 48,47 | 49,27 | 35,34 | 20,88 | 47,57 |
| 16:45 | 29,12 | 47,94 | 47,89 | 48,77 | 34,81 | 20,75 | 45,91 |
| 17:00 | 27,43 | 45,46 | 47,01 | 48,03 | 34,55 | 20,10 | 42,35 |
| 17:15 | 26,75 | 44,94 | 46,75 | 47,64 | 33,25 | 19,98 | 41,38 |
| 17:30 | 26,02 | 43,31 | 46,01 | 47,17 | 32,97 | 19,75 | 40,97 |

Her iki deneyde de, dış ünite sıcaklığının öğle saatlerine doğru ani değişimlerle artmaya başladığı görülmüş ve bu saatler öncesinde akışın düzenli olmadığı tahmini yapılmıştır. Yanlış güç hesaplamalarına ve verim değerlerine ulaşmamak amacıyla ani sıcaklık değişimlerinin sonlandığı saat 12:30'da elektrikli çubuk ısıtıcı açılarak debi ölçümüne başlanılmış ve toplayıcı yüzeyin son olarak ışıyım aldığı saat 16:00'da ölçümler sonlandırılmıştır.

Deneylede dolaşım suyu debisi (4.10) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümler sırasında ısıtıcı gücü 20 W olarak sabit tutulmuş ısıtıcı hattan çevreye olan ısı kaybı 2,94 - 4,38 W arasında değişmiş, ısıtıcı giriş-çıkış sıcaklık farkı ($T_{\mu V}$) ise 0,65 – 1,33°C olarak belirlenmiştir. Sıcaklık farkının küçük olmasından dolayı ısıtıcının deneylede olan etkisi ihmal edilmiştir.

Isıtıcı gücü ile ısıtıcının bağlı olduğu hattın uçları arasındaki sıcaklık farkının, bu sıcaklık farkına bağlı olarak hesaplanan dolaşım debisinin, radyatör gücünün, ışıyım şiddetinin ve toplayıcı yüzeye gelen toplam ışıyım değerlerinin deney süresi boyunca değişimleri Tablo 5.3 ve 5.4'de verilmiştir.

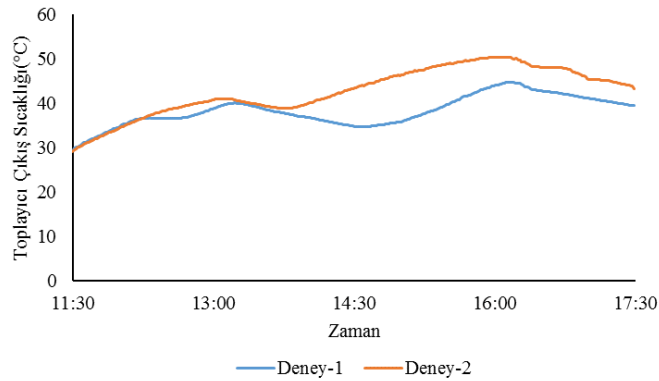
Tablo 5.3 Deney-1 için ısıtma sırasında verilerin değişimi

| Saat | Isıtıcı Hattı Giriş/Çıkış Isıl Çift Gerilim Farkı (μV) | Sıcaklık Farkı ($^{\circ}C$) | Isıtıcı Gücü (W) | Isı Kaybı (W) | Kütlesel Debi (g/s) | Radyatör Gücü (W) | ışıyım Şiddeti (W/m^2) | Toplayıcı Yüzeye Gelen ışıyım (W) |
|-------|---|--------------------------------|------------------|---------------|---------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 11:30 | - | - | 0 | - | - | - | 553,17 | 663,80 |
| 12:00 | - | - | 0 | - | - | - | 621,74 | 746,08 |
| 12:30 | 47 | 1,10 | 20 | 3,13 | 3,67 | 160,90 | 684,24 | 821 |
| 13:00 | 45 | 1,05 | 20 | 3,20 | 3,76 | 192,53 | 705,23 | 846,28 |
| 13:30 | 53 | 1,23 | 20 | 3,44 | 3,14 | 156,57 | 59,24 | 71,08 |
| 14:00 | 51 | 1,19 | 20 | 3,06 | 3,34 | 153,04 | 84,89 | 101,87 |
| 14:30 | 57 | 1,33 | 20 | 2,77 | 3,04 | 133,61 | 472,95 | 566,40 |
| 15:00 | 54 | 1,26 | 20 | 2,89 | 3,19 | 147,15 | 632,93 | 759,52 |
| 15:30 | 50 | 1,18 | 20 | 3,51 | 3,28 | 158,58 | 745,34 | 894,4 |
| 16:00 | 28 | 0,65 | 20 | 4,19 | 5,68 | 330,70 | 678,64 | 814,37 |
| 16:30 | - | - | 0 | - | - | - | 10,38 | 12,46 |
| 17:00 | - | - | 0 | - | - | - | 7,11 | 8,53 |
| 17:30 | - | - | 0 | - | - | - | 6,84 | 8,21 |

Tablo 5.4 Deney-2 için ısıtma sırasında verilerin değişimi

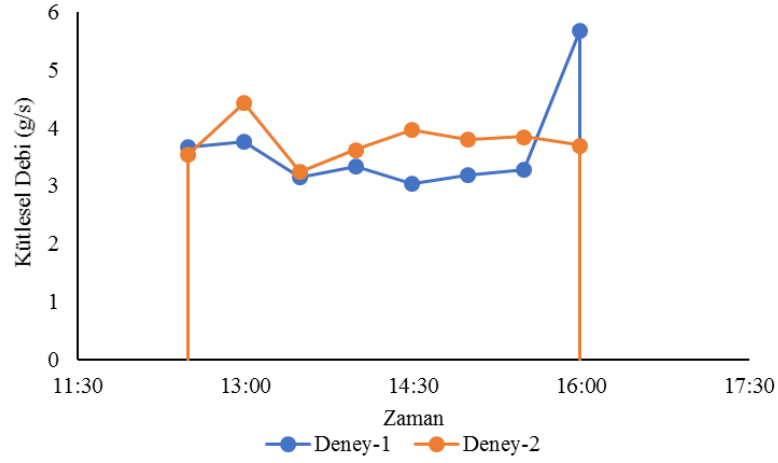
| Saat | Isıtıcı Hattı Giriş/Çıkış Isıl Çift Gerilim Farkı (μV) | Sıcaklık Farkı ($^{\circ}\text{C}$) | Isıtıcı Gücü (W) | Isı Kaybı (W) | Kütleli Debi (g/s) | Radyatör Gücü (W) | Işınım Şiddeti (W/m^2) | Toplayıcı Yüzeğe Gelen Işınım (W) |
|-------|---|---------------------------------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|--|-----------------------------------|
| 11:30 | - | - | 0 | - | - | - | 445,90 | 619,03 |
| 12:00 | - | - | 0 | - | - | - | 515,86 | 668,84 |
| 12:30 | 42 | 1,10 | 20 | 3,43 | 3,54 | 163,93 | 512,13 | 614,56 |
| 13:00 | 37 | 0,87 | 20 | 3,56 | 4,44 | 227,15 | 593,75 | 712,50 |
| 13:30 | 51 | 1,19 | 20 | 3,52 | 3,25 | 156,83 | 95,62 | 114,74 |
| 14:00 | 46 | 1,06 | 20 | 3,56 | 3,63 | 178,50 | 650,65 | 780,78 |
| 14:30 | 40 | 0,93 | 20 | 4,27 | 3,97 | 210,11 | 645,52 | 774,62 |
| 15:00 | 40 | 0,94 | 20 | 4,78 | 3,80 | 217,11 | 648,32 | 777,98 |
| 15:30 | 39 | 0,91 | 20 | 5,14 | 3,85 | 231,48 | 647,85 | 777,42 |
| 16:00 | 40 | 0,93 | 20 | 5,34 | 3,70 | 228,13 | 553,64 | 664,37 |
| 16:30 | - | - | 0 | - | - | - | 38,26 | 45,91 |
| 17:00 | - | - | 0 | - | - | - | 35,32 | 42,35 |
| 17:30 | - | - | 0 | - | - | - | 32,1 | 38,52 |

Piranometreye gelen ışınım karşılaştırıldığında Deney-1'in daha bulutlu bir günde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Deney-2'de ise Güneş ışınımı Deney-1'e göre daha fazla olmuştur. Buna bağlı olarak toplayıcı'dan çıkan suyu sıcaklığı (T_2), kütleli debi ve ısıtma gücü Deney-2'de daha yüksek değerler almıştır. Deneyler sırasında toplayıcı çıkış sıcaklığının (T_2) değişimi şekil 5.1'de gösterilmiştir.



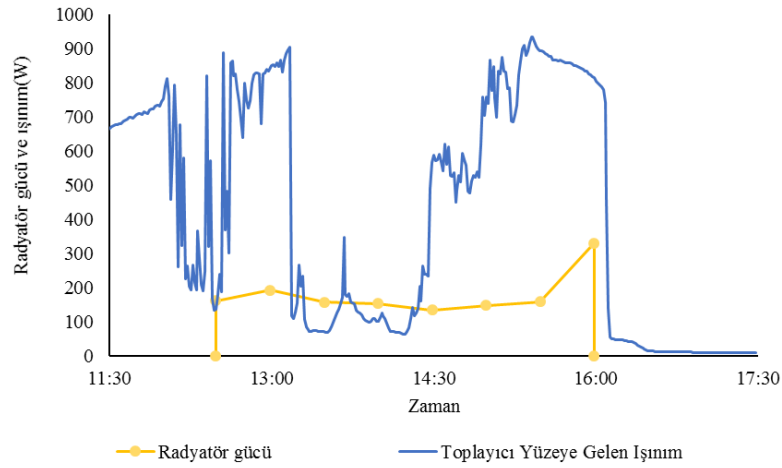
Şekil 5.1 Toplayıcı çıkış sıcaklığı değişimi

Deneylerde kütleli debinin değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere iki günde de birbirine yakın kütleli debiler hesaplanmıştır. Kütleli debi değişimi 3 ile 5,5 g/s arasında gerçekleşmiştir.

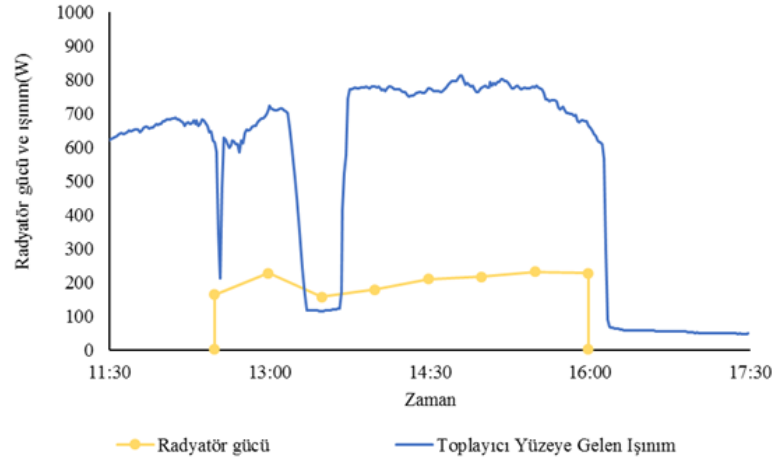


Şekil 5.2 Kütlesel debi değişimi

Radyatör giriş-çıkış sıcaklıkları göz önüne alınarak hesaplanan radyatörün gücü ile toplayıcıya gelen ışınım değerleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Kütlesel debinin düzensiz olduğu 8.30-12-30 saatleri arasında radyatör (sistem) gücü sıfır kabul edilmiştir. Grafiklerin incelenmesi ile anlaşıldığı gibi, birinci deneyde ışınımın çok değişken oluşu radyatör gücünde azalmalara sebep olmuştur. Deney sonuçları, güneş ışınımının toplayıcıya ulaştığı son saat olan 16:00'da bitirilmiş ışınım ölçümü ise 17:30'a kadar sürdürülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 5.3 a) Deney-1 b) Deney-2 için radyatör gücü ve toplayıcıya gelen ışınım

İkinci deneyde ışınım miktarı yaklaşık bir saatlik bir aralıkta düşüş göstermiş ardından tekrar yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bunun sonucu radyatör gücü bir saatlik aralıkta düşüş göstermesine rağmen stabil bir seyir izlediği söylenebilir.

Yakın sonuçlar elde edilen iki deneye birlikte bakıldığında, radyatör gücü 160W'ın altına inmemiş ancak 330W'ın üstüne de çıkamamıştır.

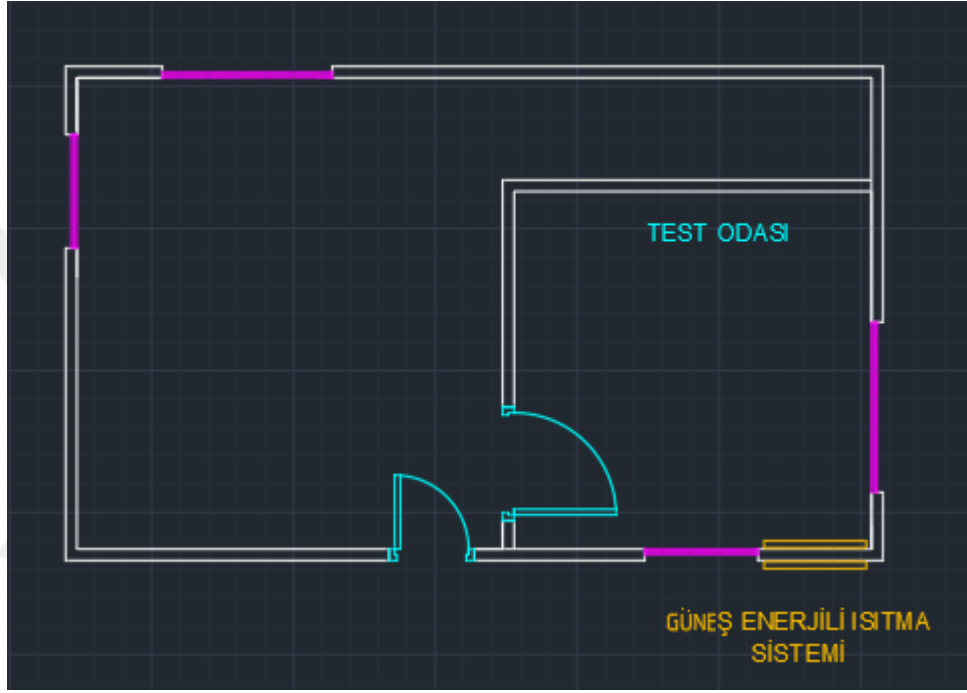
Denklem (15)'te gösterildiği gibi deneyler sırasında hesaplanan toplam sistem gücünün toplayıcı yüzeye gelen toplam ışınımına oranı sistemin verimi olarak kabul edilmiştir. Deneyin sürdüğü 12:30-16:00 saatleri arasında 1,2 m²'lik toplayıcı yüzeye gelen toplam ışınım gücü ortalaması Deney-1 için 609,365 W, Deney-2 için ise 652,12 W'tır. Aynı süre içinde radyatörden odaya aktarılan ısı güç ortalaması Deney-1 için 179,135 W ve Deney-2 için 202,405 W olarak hesaplanmıştır. Buna göre sistemin Deney-1 için verimi %31 Deney-2 için verimi %29 olarak belirlenmiştir.

5.2 Sistemin Isıtma Mevsiminde Performansı

Sistemin ısıtma mevsimindeki performans değerlendirmesi aylık ortalama ışınım ve sıcaklık değerlerini paylaşan websitesinden (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>) yararlanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada hesaplanan verim ile websitesinden

alınan ışınlım değerlerinden, sistemin odaya ne kadar ısı aktarabileceği hesaplanmış ve odanın ısı kaybı ile karşılaştırılmıştır.

İzmir için ısıtma mevsimi kasımda başlayıp mart sonunda bitmektedir. Öncelikle odanın ısıtma mevsimi için ısı kaybı hesaplanmıştır. Şekil 5.4'te planı gösterilen odanın duvarları sandviç panelden yapılmış ve yan odaya açılan bir kapısı bulunmaktadır.



Şekil 5.4 Test odası planı

Odanın yapı bileşenlerinin ısı geçiş katsayıları, çift pencereler için 1,6 (W/m²K), yan odayla temas halinde bulunan odalar için 0,51 (W/m²K), dış ortamla temas halinde bulunan odalar için ise 0,53 (W/m²K) olarak belirlenmiştir. İç ortam sıcaklığı 20°C'de tutulmaktadır. Yan oda atölye işlerinde kullanıldığından sıcaklığı 15°C'dir. Dış ortam sıcaklıkları için meteorolojik verilerden her bir ayın (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) 9:00-18:00 saatleri arasındaki ortalama gündüz sıcaklıkları hesaplanmıştır. Saat aralığı, güneş ışınlımını olan saatler göz önüne alınarak seçilmiştir. Yine aynı aylar için 10° güneydoğu yönündeki yüzeye gelen toplam ışınlım değerleri aynı websitesinden (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>) alınmıştır. Tablo 5.5'de ısıtma mevsiminde ayların ortalama gündüz sıcaklık ve ışınlım değerleri verilmiştir.

Tablo 5.5 Ayların ortalama gündüz sıcaklık ve ışınım değerleri

| | Kasım | Aralık | Ocak | Şubat | Mart |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 09.00-18.00 arası ortalama sıcaklık (°C) | 15,17 | 10,29 | 8,94 | 10,46 | 14,44 |
| 09:00-18:00 arası ortalama ışınım gücü (W/m ²) | 347,16 | 297,32 | 329,76 | 336,16 | 334,84 |

Aylar için hesaplanan ısı kaybı hesapları Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart ayları için odanın ısı kayıpları

| Dış Ortam Sıcaklığı: 15 | | | | KASIM AYI ISI KAYBI HESABI | | | | | | | | Kat No | | | 1 | |
|-------------------------|------|-----------|---------|----------------------------|----------------|--------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | | | Tesilat Cinsi | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Yapı bileşeni işareti | Yönü | Kalınlığı | Uzunluk | ALAN HESABI | | | | ISI KAYBI HESABI | | | | ARTIRIMLAR | | | | |
| | | | | Yükseklik veya genişlik | Toplam alan | Miktar | Çıkarılan alan | Hesaba giren alan | Toplam ısı geçiş katsayısı | Sıcaklık farkı | Zamsız ısı kaybı | Birleştirilmiş artırım katsayısı | Yön artırımı katsayısı | Kat yükseklik artırım katsayısı | Toplam artırım katsayısı | Toplam ısı ihtiyacı |
| | | cm | m | m | m ² | tane | m ² | A | U | ΔT | q _o | Z _D | Z _H | Z _W | Z | q _h |
| | | | | | | | | m ² | W/m ² K | °C | W | % | % | % | % | W |
| Test Odası- 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÇP | G | - | 1,35 | 1 | 1,35 | 1 | - | 1,35 | 1,6 | 5 | 10,80 | | | | | |
| DD | G | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 1,35 | 6,53 | 0,53 | 5 | 17,29 | | | | | |
| ÇP | D | - | 1,35 | 1,5 | 2,025 | 1 | - | 2,03 | 1,6 | 5 | 16,20 | | | | | |
| DD | D | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,025 | 5,85 | 0,53 | 5 | 15,50 | | | | | |
| İK | - | - | 1 | 2,2 | 2,2 | 1 | - | 2,20 | 2 | 5 | 22,00 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,2 | 5,68 | 0,51 | 5 | 14,47 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | - | 7,88 | 0,51 | 5 | 20,08 | | | | | |
| Dö | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,42 | 5 | 21,83 | | | | | |
| Ça | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,43 | 5 | 22,35 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | -5 | 0 | 1,02 | 163,74 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 268,42 |

| Dış Ortam Sıcaklığı: 10,3 | | | | ARALIK AYI ISI KAYBI HESABI | | | | | | | | Kat No | | | 1 | |
|---------------------------|------|-----------|---------|-----------------------------|----------------|--------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | | | Tesilat Cinsi | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Yapı bileşeni işareti | Yönü | Kalınlığı | Uzunluk | ALAN HESABI | | | | ISI KAYBI HESABI | | | | ARTIRIMLAR | | | | |
| | | | | Yükseklik veya genişlik | Toplam alan | Miktar | Çıkarılan alan | Hesaba giren alan | Toplam ısı geçiş katsayısı | Sıcaklık farkı | Zamsız ısı kaybı | Birleştirilmiş artırım katsayısı | Yön artırımı katsayısı | Kat yükseklik artırım katsayısı | Toplam artırım katsayısı | Toplam ısı ihtiyacı |
| | | cm | m | m | m ² | tane | m ² | A | U | ΔT | q _o | Z _D | Z _H | Z _W | Z | q _h |
| | | | | | | | | m ² | W/m ² K | °C | W | % | % | % | % | W |
| Test Odası- 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÇP | G | - | 1,35 | 1 | 1,35 | 1 | - | 1,35 | 1,6 | 9,7 | 20,95 | | | | | |
| DD | G | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 1,35 | 6,53 | 0,53 | 9,7 | 33,55 | | | | | |
| ÇP | D | - | 1,35 | 1,5 | 2,025 | 1 | - | 2,03 | 1,6 | 9,7 | 31,43 | | | | | |
| DD | D | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,025 | 5,85 | 0,53 | 9,7 | 30,07 | | | | | |
| İK | - | - | 1 | 2,2 | 2,2 | 1 | - | 2,20 | 2 | 5 | 22,00 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,2 | 5,68 | 0,51 | 5 | 14,47 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | - | 7,88 | 0,51 | 5 | 20,08 | | | | | |
| Dö | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,42 | 5 | 21,83 | | | | | |
| Ça | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,43 | 9,7 | 43,36 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 7 | -5 | 0 | 1,02 | 242,49 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 347,18 |

Tablo 5.6 Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart ayları için odanın ısı kayıpları (devamı)

| Dış Ortam Sıcaklığı: 9 | | | | OCAK AYI ISI KAYBI HESABI | | | | | | | | Kat No | | | 1 | | | | |
|------------------------|------|-------------|---------|---------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Tesisat Cinsi | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Yapı bileşeni işareti | Yönü | ALAN HESABI | | | | ISI KAYBI HESABI | | | | ARTIRIMLAR | | | | Z _D | Z _H | Z _W | Z | q _h | |
| | | Kalınlığı | Uzunluk | Yükseklik veya genişlik | Toplam alan | Miktar | Çıkarılan alan | Hesaba girilen alan | Toplam ısı geçiş katsayısı | Sıcaklık farkı | Zamsız ısı kaybı | Birleştirilmiş artırım katsayısı | Yön artırımı katsayısı | | | | | | Kat yükseklik artırım katsayısı |
| | | cm | m | m | m ² | tane | m ² | A | U | ΔT | q _o | % | % | % | % | % | % | w | |
| Test Odası- 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÇP | G | - | 1,35 | 1 | 1,35 | 1 | - | 1,35 | 1,6 | 11 | 23,76 | | | | | | | | |
| DD | G | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 1,35 | 6,53 | 0,53 | 11 | 38,04 | | | | | | | | |
| ÇP | D | - | 1,35 | 1,5 | 2,025 | 1 | - | 2,03 | 1,6 | 11 | 35,64 | | | | | | | | |
| DD | D | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,025 | 5,85 | 0,53 | 11 | 34,11 | | | | | | | | |
| İK | - | - | 1 | 2,2 | 2,2 | 1 | - | 2,20 | 2 | 5 | 22,00 | | | | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,2 | 5,68 | 0,51 | 5 | 14,47 | | | | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | - | 7,88 | 0,51 | 5 | 20,08 | | | | | | | | |
| Dö | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,42 | 5 | 21,83 | | | | | | | | |
| Ça | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,43 | 11 | 49,17 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 259,10 | 7 | -5 | 0 | 1,02 | 264,28 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 368,96 |

| Dış Ortam Sıcaklığı: 10,5 | | | | ŞUBAT AYI ISI KAYBI HESABI | | | | | | | | Kat No | | | 1 | | | | |
|---------------------------|------|-------------|---------|----------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Tesisat Cinsi | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Yapı bileşeni işareti | Yönü | ALAN HESABI | | | | ISI KAYBI HESABI | | | | ARTIRIMLAR | | | | Z _D | Z _H | Z _W | Z | q _h | |
| | | Kalınlığı | Uzunluk | Yükseklik veya genişlik | Toplam alan | Miktar | Çıkarılan alan | Hesaba girilen alan | Toplam ısı geçiş katsayısı | Sıcaklık farkı | Zamsız ısı kaybı | Birleştirilmiş artırım katsayısı | Yön artırımı katsayısı | | | | | | Kat yükseklik artırım katsayısı |
| | | cm | m | m | m ² | tane | m ² | A | U | ΔT | q _o | % | % | % | % | % | % | w | |
| Test Odası- 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÇP | G | - | 1,35 | 1 | 1,35 | 1 | - | 1,35 | 1,6 | 9,5 | 20,52 | | | | | | | | |
| DD | G | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 1,35 | 6,53 | 0,53 | 9,5 | 32,85 | | | | | | | | |
| ÇP | D | - | 1,35 | 1,5 | 2,025 | 1 | - | 2,03 | 1,6 | 9,5 | 30,78 | | | | | | | | |
| DD | D | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,025 | 5,85 | 0,53 | 9,5 | 29,45 | | | | | | | | |
| İK | - | - | 1 | 2,2 | 2,2 | 1 | - | 2,20 | 2 | 5 | 22,00 | | | | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,2 | 5,68 | 0,51 | 5 | 14,47 | | | | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | - | 7,88 | 0,51 | 5 | 20,08 | | | | | | | | |
| Dö | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,42 | 5 | 21,83 | | | | | | | | |
| Ça | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,43 | 9,5 | 42,46 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 234,45 | 7 | -5 | 0 | 1,02 | 239,14 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 327,78 |

Tablo 5.6 Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart ayları için odanın ısı kayıpları (devamı)

| Dış Ortam Sıcaklığı: 14,4 | | | | MART AYI ISI KAYBI HESABI | | | | | | | | Kat No | | | 1 | |
|---------------------------|------|-------------|---------|---------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|
| | | | | Tesisat Cinsi | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Yapı bileşeni işareti | Yönü | ALAN HESABI | | | | ISI KAYBI HESABI | | | | ARTIRIMLAR | | | | Toplam ısı ihtiyacı | | |
| | | Kalınlığı | Uzunluk | Yükseklik veya genişlik | Toplam alan | Miktar | Çıkarılan alan | Hesaba girilen alan | Toplam ısı geçiş katsayısı | Sıcaklık farkı | Zamsız ısı kaybı | Birleştirilmiş artırım katsayısı | Yön artırımı katsayısı | | Kat yükseklik artırım katsayısı | Toplam artırım katsayısı |
| | | cm | m | m | m ² | tane | m ² | m ² | W/m ² K | °C | W | % | % | % | Z | q _h |
| Test Odası- 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÇP | G | - | 1,35 | 1 | 1,35 | 1 | - | 1,35 | 1,6 | 5,6 | 12,10 | | | | | |
| DD | G | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 1,35 | 6,53 | 0,53 | 5,6 | 19,37 | | | | | |
| ÇP | D | - | 1,35 | 1,5 | 2,025 | 1 | - | 2,03 | 1,6 | 5,6 | 18,14 | | | | | |
| DD | D | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,025 | 5,85 | 0,53 | 5,6 | 17,36 | | | | | |
| İK | - | - | 1 | 2,2 | 2,2 | 1 | - | 2,20 | 2 | 5 | 22,00 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | 2,2 | 5,68 | 0,51 | 5 | 14,47 | | | | | |
| ID | - | 10 | 3,15 | 2,5 | 7,875 | 1 | - | 7,88 | 0,51 | 5 | 20,08 | | | | | |
| Dö | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,42 | 5 | 21,83 | | | | | |
| Ça | | | 3,15 | 3,3 | 10,395 | 1 | - | 10,40 | 0,43 | 5,6 | 25,03 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 170,38 | 7 | -5 | 0 | 1,02 | 173,79 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 278,47 |

Isıtma mevsimi süresince odanın toplam ısı ihtiyacı 290–390W arasında değişmektedir.

Isıtma ihtiyacının olduğu dönem için güneşli ısıtma sisteminin gücü de yine meteorolojik veriler yardımı ile hesaplanmıştır. Toplayıcı yüzey 1,2m² alınarak, gelen ışınım miktarı hesaplanmış ve deneysel olarak belirlenen verimle (%30) çarpılarak sistemin gücü elde edilmiştir. Isıtma mevsimi için odanın ısı kaybı ve sistemin gücü Tablo 5.7’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 5.7 Isıtma mevsimi için odanın ısı kayıpları ve odaya aktarılan ısı

| | KASIM | | ARALIK | | OCAK | | ŞUBAT | | MART | |
|----------------------------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
| Ortalama Isıtma İhtiyacı (W) | 268,42 | | 347,18 | | 368,96 | | 327,78 | | 278,47 | |
| Odaya Aktarılan ortalama Isı (W) | 124,98 | %47 | 107,04 | %30 | 118,71 | %32 | 121,02 | %37 | 120,54 | %43 |

Güneş enerjili ısıtma sisteminin gücünde önemli iniş çıkışlar olmayıp yaklaşık 120 W civarında değişkenlik göstermiştir. Ancak ısıtma ihtiyacında mevsime göre olan değişiklikler nedeniyle, sistemin ihtiyacı karşılama oranı %30 ile %47 arasında değişmiştir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında ilk aşama olarak özel tasarım faz değişim malzemeli (FDM'li) radyatör üretilmiştir. Ardından radyatörün ısı kapasite ve ısınma-soğuma testleri yapılmıştır.

Isıl kapasite testleri sonucunda faz değişim malzemesinin oluşturduğu ısı direnç sebebiyle FDM'li radyatörün ısı kapasitesinin standart radyatöre göre %3,5-%5,5 oranında düştüğü gözlenmiştir.

Isınma testinde belirli debide 75°C'de radyatöre iletilen suyun çıkış sıcaklığının kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Faz değişim malzemesinin ısı depolama özelliği sebebiyle sistemin kararlı hale gelmesi FDM'li radyatörde daha uzun sürdüğü gözlenmiştir.

Soğuma testinde ise sistem kararlı hale geldiğinde radyatöre su beslemesi kesilmiş ve soğuması gözlenmiştir. Soğuma sırasında da FDM'li radyatörün daha geç soğuduğu anlaşılmıştır. Bu gecikmenin yaklaşık 8 dakika civarında olduğu hesaplanmıştır. FDM'li radyatörün güneş enerjili ısıtma sisteminde ışı nım olmadığı akşam vaktinde odaya ısı aktarması için kullanılacağı düşünöldüğünde bu sürenin çok az olduğu göz önüne alınarak güneş enerjili ısıtma sisteminde standart dilimli radyatör kullanılmıştır.

FDM'li radyatörün güneş enerjili sistemlerde ışı nım olmadığı vakitlerde kullanılabilmesi için faz değişim malzemesi miktarının artırılması gerekmektedir. Bu şekilde daha çok ısı depolanması sağlanacak ve radyatörün soğuma süresi artacaktır.

Tezin ikinci aşamasında, güneş enerjili ısıtma sisteminin test odasına montajı tamamlandıktan sonra sistemin çevre koşulları altındaki ısı performansını belirlemek amacıyla 2 Aralık (Deney-1) ve 6 Aralık (Deney-2) tarihlerinde ölçüm ve test

çalışmaları yapılmıştır. Bu deneyler sırasında sıcaklıklar ısı çiftleri kullanılarak ölçülmüştür. Radyatör girişine elektrikli çubuk ısıtıcı bağlanarak kontrollü şekilde oluşturulan sıcaklık farkı ile sistemin dolaşım debisi hesaplanmıştır. Buna göre sistem debisi 3-5,5 (g/s) arasında değişkenlik göstermektedir. Radyatör giriş-çıkış sıcaklık farkı ile sistem debisi çarpılarak sistemin toplam ısı gücüne ulaşılmıştır. Deney-1 için 179,135 W ve Deney-2 için 202,405 W ısı güç çıktısı elde edilmiştir. Isıl güçlerin toplayıcı yüzeye gelen ışıma değerlerine oranı ile verim hesaplanmıştır. Buna göre, sistemin deney 1 için %31, deney 2 için %29 verimde çalıştığı sonucuna varılmıştır. Buradan yola çıkılarak ısıtma mevsimi süresince sistemin yaklaşık %30 verimde çalışacağı düşünülebilir.

Sistemin ısıtma mevsimindeki performansını incelemek için öncelikle test odasının ısı kaybı hesaplanmıştır. Isı kayıpları Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 268,42 W, 347,18 W, 368,36 W, 347,18 W ve 278,47 W bulunmuştur. Ardından güneş enerjisiyle çalışan sistemler için meteorolojik veriler sunan interaktif bir haritadan (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>) alınan ışıma değerleri ile toplayıcı yüzeye gelen ışıma değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kontrollü deneyler sonucunda bulunan toplam sistem verimi ile çarpılarak sistemin her ay için ısı gücü bulunmuştur. Isıl güçler Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için sırasıyla 124,98 W, 107,04 W, 118,71 W, 121,02 W, 120,54 W olarak hesaplanmıştır. Isı kaybı ve ısı güç hesaplamaları karşılaştırıldığında sistemin ısı ihtiyacını karşılamada en yetersiz olduğu ay %30 oranla Aralık ayı olmuştur. En yüksek olan ay ise %47 oranla Kasım ayıdır.

Sistemin ısıtma mevsimindeki ısı ihtiyacı karşılama oranları incelendiğinde, sistemin mevcut durumda tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılabilir. Buna karşılık, %50'ye yaklaşan ısıtma oranı ile, fosil yakıt kullanımında tasarruf sağlanmasına yardımcı olacak nitelikte olduğu söylenebilir.

Sistemin ısıtma kapasitesi mevcut durumda yeterli olmamasına rağmen, yapılacak bazı iyileştirmeler ile çevre koşullarına bağlı olarak %100'e yaklaştırılabilir. Yapılabilecek bazı iyileştirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- Dış ünite toplayıcı yüzey alanının artırılması durumunda, sistem ataleti yenilerek daha iyi bir su dolaşımı sağlanacağı için, verimde bir artış beklenmelidir. Mevcut durumda, su dolaşım debisi sınırlı kalmış ve toplayıcı yüzeyin güneş ışınımı almaya başlamasından ancak 3 saat sonra ısıtma başlamıştır.
- Vakumlu cam tüp sayısı artırılarak toplayıcı yüzey alanı genişletilebilir. Toplayıcı yüzey alanının iki katına çıkarılması durumunda, verim artışı göz ardı edilse bile, sistemin ısıtma ihtiyacının karşılamada en yetersiz kaldığı Aralık ve Ocak aylarında bile %60 yeterlilikte çalışması söz konusudur.
- Sistemin test odasına yerleştirilebilmesi için özel olarak üretilen 1 metre uzunluğundaki vakumlu cam tüpler yerine standart boyda (1,8 m) tüpler kullanılabilir. Bu durumda yine toplayıcı yüzey alanı ve dolayısıyla sistemin gücü arttırılacaktır.
- Sistemin binalara uygulanabilir olması için, toplayıcı yüzey bina duvarına düşey olarak yerleştirilmiştir. Toplayıcı yüzeyin optimum çalışma açısında yerleştirilmesi sistemin verimini arttıran bir parametredir. Böylece sistemin ısıtma gücü arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- Bayrak, M. ve Esen, Ö. (2014). Türkiye'nin enerji açığı sorunu ve çözümüne yönelik arayışlar. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*,28,139-158
- Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F. ve DeWitt, D. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6. Baskı). USA: Wiley
- Bony, J. ve Citherlet, S. (2007). Comparison between a new TRNSYS model and experimental data of phase change materials in a solar combi-system. *Proceedings: Building Simulation*.
- Budihardjo, I., Morrison, G. L. ve Behnia, M. (2007). Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors. *Solar Energy*,81,1460–1472.
- Budihardjo, I., Morrison, G. L. ve Behnia, M. (2009). Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. *Solar Energy*,83,49-56.
- Cabeza, L. F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J. ve Nogués, M. (2006). Experimentation with a water tank including a PCM module. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(9),1273-1282.
- Cellura, M., Ciulla, G., Lo Brano, V., Marvuglia, A. ve Orioli, A. (2008). A photovoltaic panel coupled with a phase changing material heat storage system in hot climates. *In Plea*,1-13.
- Chan, H.Y., Riffat, S. B. ve Zhu, J. (2010). Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 781-789
- Chen, K., Shorthill, R. W., Chu, S. S., Chailapo, P. ve Narasimhan, S. (1995) An energy-efficient construction module of variable direction of heat flow, heat

- capacity, and surface absorption, *ABD Hava Kuvvetleri Wright Laboratuvarı Teknik Raporu*, 95, 3045.
- Chun, W., Lee, Y. J., Lee, J. Y., Chen, K., Kim, H. T. ve Lee, T. K. (1996). Application of the thermal diode concept for the utilization of solar energy. *Energy Conversion Engineering Conference*, 1709 – 1714.
- Chun, W. ve Chen, K. (2002). Test results of a bi-directional thermodiode system for solar energy utilization. *Solar Energy*, 73, 269–280.
- Chun, W., Koa, Y.J., Lee, H. J., Han, H., Kim, J. T. ve Chen, K. (2009). Effects of working fluids on the performance of a bi-directional thermodiode for solar energy utilization in buildings. *Solar Energy*, 83, 409–419.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2006). 26 Kasım 2016, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (b.t). 01 Kasım 2016, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx>
- Ezan, M. A. (2006). *Design and optimization of ice-on-coil latent thermal storage system*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Fang, X. ve Xia, L. (2010). Heating performance investigation of a bidirectional partition fluid thermal diode. *Renewable Energy*, 35, 679–684.
- Gan, G. (1998). A parametric study of trombe walls for passive cooling of buildings. *Energy and Buildings*, 27, 37-43.
- Harris, D.J. ve Helwig, N. (2007). Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy*, 84, 135-146.

Ibanez, M., Cabeza, L. F., Sole, C., Roca, J. ve Nogues, M. (2006). Modelization of a water tank including a PCM module. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1328–1333.

Institute for Environment and Sustainability Renewable Energies (b.t.). *Photovoltaic geographical information system, interactive maps*. 5 Kasım 2016 <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu - genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54, 32-44.

Li, Z., Chen, C., Luo, H., Zhang, Y. ve Xue, Y. (2010). All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system. *Solar Energy*, 84, 1413–1421.

Ma, L., Lu, Z., Zhang, J. ve Liang, R. (2010). Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube. *Building and Environment*, 45, 1959-1967.

Mazman, M., Cabeza, L. F., Mehling, H., Nogues, M., Evliya, H. ve Paksoy, H. Ö. (2009). Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems. *Renewable Energy*, 34(6), 1639-1643.

Onbasioglu, H. ve Egrican, A. N. (2002). Experimental approach to the thermal response of passive systems. *Energy Conversion and Management*, 43, 2053-2065.

Raman, P., Mande, S. ve Kishore, N.V.V. (2001). A passive solar system for thermal comfort conditioning of buildings in composite climates. *Solar Energy*, 70, 319-329.

- Sakhrieh, A. ve Al-Ghandoor, A. (2011). Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors. *Energy Conversion and Management*, 65, 715-720
- 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
- Shen, J., Lassue, S., Zalewski, L. ve Huang, D. (2007). Numerical Study on Thermal Behavior of Classical or Composite Trombe Solar Walls. *Energy and Building*, 39, 962-974.
- Solarsan Vakumlu Cam Tüp Üretim San. ve Tic. A.Ş (b.t.). 26 Kasım 2016. <http://solarsan.com.tr/vakum-tupu.asp>
- Tang, R., Gao, W., Yu Y. ve Chen, H. (2009). Optimal tilt-angles of all-glass evacuated tube solar collectors. *Energy*, 34, 1387–1395.
- Ünsal, İ. (2004). *Enerji gündemi ve sorunlarımız* (1. Baskı). Ankara: Emo Yayınları
- Yazar, Y. (2010). Türkiye'nin enerjideki durumu ve geleceği, *SETA Analiz*, 31, 1-24.
- Wang, P. Y., Guan, H. Y., Liu, Z. H., Wang, G. S., Zhao, F. ve Xiao, H. S. (2014). High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 77, 315–323.