673 -

BÜTÜNLEŞİK PARABOLİK YANSITICILI VE İÇ BORULU VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ TOPLAYICISININ BUHAR ÜRETİMİ PERFORMANS ANALIZI

Performance Analysis Of Inner-Tube Evacuated Solar Collector With Compound Parabolic Reflector For Steam Generation

Azat SERVER Serhan KÜCÜKA

ÖZET

Bu çalışmada, yansıtıcı yüzey kullanılan iç borulu vakum tüplü güneş toplayıcısının ısıl performansı incelenerek, buhar üretiminde kullanılabilirliği arastırılmıştır. Bu amacla bütünlesik parabolik bir güneş toplayıcısının tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Sistem performansını gözlemlemek için, farklı dış ortam koşullarında deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında besleme suyu ve buhar çıkış sıcaklıkları, çevre sıcaklığı, vakum tüp dış yüzey sıcaklığı, iç boru yüzey sıcaklığı, güneş ışınım değeri ve üretilen buhar miktarı, ısıl çiftler ve piranometre kullanılarak ölçülmüştür. Yutucu yüzeyden çevreye olan ısı kaybını belirlemek için deneysel veriler yardımıyla matematiksel model oluşturulmuş ve ısı kayıp katsayıları hesaplanmıştır. Bu model sonucunda elde edilen sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak, yansıtıcılı iç borulu güneş toplayıcısının ısıl verimi ve buhar üretimine uygunluğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik parabolik yansıtıcı, İç boru, Buhar üretimi, İsıl performans analizi, Güneş toplayıcı.

ABSTRACT

In this study, the thermal performance of evacuated tube solar collector(ETSC) with reflective surface and availability of system was investigated for steam generation. For this purpose, the compound parabolic solar collector has been designed and manufactured. In order to observe system performance, experiments were carried out in different outdoor conditions. During the experiments, the feed water and steam outlet temperatures, the ambient temperature, the inner tube surface temperature, solar radiation and amount of steam generation were measured using thermocuples and pyranometer. In order to determine the heat loss from absorber surface to the environment, mathematical model was created with the help of experimental data and heat loss coefficient were calculated. Comparing of the experiental and analytical datas, the suitability of the ETSC with inner tube for steam genration and thermal efficeny was evaluated.

Key Words: Compound parabolic reflector; Inner tube, Steam generation, Thermal performance analysis, Solar collector.

1. GIRIS

Güneş enerjisi; ısı üretimi, evsel su ısıtma, absorpsiyonlu soğutma, elektrik enerjisi üretimi, kurutma gibi birçok amaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Evsel su ısıtma için kullanılan güneş enerjili sistemler; yapılarına ve suyun dolaşım şekline göre sınıflandırılmaktadır. Güneş enerjili sistemlerde en çok kullanılan sistemler düzlemsel ve vakum tüplü güneş toplayıcılarıdır. Düzlemsel güneş toplayıcıları genellikle 100°C' ye kadar olan(düşük çalışma sıcaklıkları) uygulamalarda kullanılırken, vakum tüplü toplayıcılar bütünleşik parabolik yansıtıcıların katkısıyla 240°C'ye kadar olan uygulamalarda kullanılmaktadır [1].

Vakum tüplü toplayıcılar; iç içe geçmiş iki cam tüpün birleşmesiyle oluşan yapılardır. Eş merkezli olan bu cam tüplerden, iç cam tüpün dış yüzeyi (Al/N/Al, ALN/AIN-SS/Cu) selektif boya ile kaplanır. Dış cam tüpten giren güneş ışınları seçici yüzey sayesinde %90'ın üzerinde absorbe edilir. İki cam tüp arasındaki boşluk ise vakumlanarak yutucu yüzeyde biriken ısının kaybolması engellenmektedir. Vakum tüplü toplayıcılar, içinde çalışma akışkanının taşındığı borular bulunan (U-borulu, eş eksenel, ısı borulu) veya taşıyıcı boru bulunmayan direkt akışlı(geleneksel) olarak kullanılmaktadırlar. Direkt akışlı vakum tüpte, çalışma akışkanı tüpün içinde doğrudan dolaşmaktadır. Shah ve Furbo, farklı çalışma koşulları altında, direkt akışlı vakum tüplerin içindeki ısı transferini ve akış yapılarını hesaplamalı akışkanlar dinamiği(HAD) ile incelemişlerdir [2]. Toplayıcı geometrisi vakum tüpler yatay, dağıtım borusu ise düşey olacak şekilde belirlenmiştir. Toplayıcıya giren akışkanın sıcaklığı 333 K'de sabit alınarak, 0.59, 1.17, ve 1.47 m olmak üzere 3 farklı tüp uzunlukları için HAD modeli oluşturulmuştur. Sisteme giren akışkan debileri için 0.05, 0.4, 1.0, 3.0 ve 10 kg/dk değerleri ile analiz yapılmış, en yüksek verimin 0.4-1 kg/dk debi aralığında ve en kısa tüpte elde edildiği gözlemlenmiştir.

Ataee ve Ameri, yaptıkları çalışmada, T-tipi ve H-tipi eş eksenel direkt akışlı vakum tüp toplayıcılar için zorlanmış taşınım akışını modellemişlerdir [3]. Farklı çalışma akışkanlarının (hava, CO₂), dağıtım borusu özelliklerinin ve yutucu tüpün; çalışma akışkanının sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca her iki toplayıcı için; kütlesel debi, güneş ışınım yoğunluğu, giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı, optik verim ve tüp uzunluğunun, çıkış sıcaklığına etkisi araştırılmış ve enerji-ekserji analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, H-tipi modelde akışkan çıkış sıcaklığının ve ekserji analizinin hem CO₂ hem hava için, T-tipi modelden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Yadav ve Saikhedkar, direkt akışlı vakum tüplü toplayıcının teorik verimini belirlemek için MATLAB yazılımı ile simulasyon modeli geliştirmiş ve atmosferik koşulların toplayıcı performansına etkisini incelemişlerdir [4]. Yutucu yüzey ve gelen güneş ışınım miktarının toplayıcı verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda toplayıcı veriminin gün boyunca %71.4 ile %75.6 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Yang ve ark., direkt akışlı vakum tüplü toplayıcının içerisine iç boru yerleştirerek yeni bir dağıtım borusu modeli önermişlerdir [5]. Akışkan iç boru içinden beslenerek boru ve cam tüp arasından geri dönmekte ve ve vakum tüp içerisinde zorlanmış dolaşım meydana gelmektedir. 0.45, 0.6 ve 0.8 kg/s debilerinde ve 20, 25 ve 32 mm çaplarında iç borular ile gerçekleştirilen analizler sonucunda, ideal kütlesel debinin 1.6 kg/s'den az, iç boru çapının ise 32 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Geleneksel (direkt akışlı) vakum tüplü toplayıcılar ile iç borulu direkt akışlı toplayıcılar deneysel olarak karşılaştırılmış ve verimler sırasıyla %55.19 ve %59.99 olarak elde edilmiştir.

Vakum tüplü güneş toplayıcıların diğer bir şekli ise ısı borulu güneş toplayıcılardır. Yutucu yüzeyde tutulan güneş ışınları, ısı borusunun içerisindeki akışkanın sıcaklığını arttırarak kondenser bölgesine doğru yükselmesini sağlar. Isı borusunun kondenser bölgesinde biriken ısı, akışkana aktarılır. Kondenserde enerjisini bırakan ısı borusu akışkanı yoğuşarak tekrar evaporatör bölgesine döner. Vakum tüp güneş ışınımına maruz kaldığı sürece ısı borusunun içerisindeki akışkan bu hareketine devam eder.

Kumar ve ark. yaptıkları çalışmada, ısı borulu vakum tüp güneş toplayıcısının ısı üretimini modellemişlerdir [6]. Çalışmanın esas amacını; uzunluğu 1.8 m, iç ve dış çapları sırasıyla 0.049 m ve 0.058 m borosilikat camdan imal edilmiş olan, ısı borulu vakum tüplü güneş toplayıcısının ısı transfer analizi ve tasarımı oluşturmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda evaporatör uzunluğunun kondenser bölgesi uzunluğuna oranının toplayıcı tasarımı için önemli bir değişken olduğu belirlenmiştir. Jafarkazemi ve Abdi ise, ısı borulu vakum tüp güneş toplayıcısını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [7]. Isı kaybı, literatürde mevcut bağıntılar kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Testler, 4 ve 19 ısı borulu iki farklı toplayıcı ile iki gün tekrarlanmış ve elde edilen deney sonuçlarının teorik sonuçlarla oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca akışkan debisi azaldıkça toplayıcının çıkış sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Topal, tarafından yapılan bir çalışmada ise, ısı borulu vakum tüplü güneş toplayıcılarında kullanılan çalışma akışkanlarına, alternatif nanoakışkanlar kullanarak sistem performansına etkilerini araştırılmıştır [8]. Isı borularında kullanılan antifiriz, metanol ve aseton gibi çalışma akışkanlarına bakır oksit ve alüminyum oksit nanoparçacıklar eklenerek yeni nanoakışkanlar elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, en yüksek sistem verimi Aseton-alüminyum oksit karışımından ve %58.4 olarak elde edilmiştir.

U-borulu vakum tüplü güneş toplayıcılarında tüp içerisinde çalışma akışkanının taşındığı U şeklinde metal bir boru bulunmaktadır. Taşıyıcı boru malzemesi olarak genellikle bakır kullanılmaktadır. İç cam tüp ve U-borular arasında ısı geçişini sağlmak için dolgu malzemesi veya bakır kanatçık kullanılır. Liandong ve ark. yapıkları çalışmada, U-borulu vakum tüplü toplayıcının yutucu yüzey ve kanatçık arasında kalan hava katmanının toplayıcı ısıl verimine etkisini incelemişlerdir [9]. Toplayıcının ısıl performansı, enerjinin korunumu ilkesi esas alınarak analitik yöntemle araştırılmıştır. Sonuçlar, yutucu yüzey ve bakır kanatçık arasındaki hava direncinin toplayıcı verimini %10 düşürdüğünü, yutucu yüzey sıcaklığını ise, 30°C arttırdığını göstermiştir.

Ong ve Tong, doğal sirkülasyonlu U-borulu vakum tüp güneş toplayıcısı ile ısı borulu vakum tüp güneş toplayıcılarını aynı çalışma koşulları altında ve ışınım şiddetinin çok değişken olduğu Malezya şartlarında dış ortamda test etmişlerdir [10]. Yapılan tesler sonucunda U-borulu toplayıcı verimi % 53, ısı borulu toplayıcının verimi ise % 65 olarak bulunmuştur. Farjallah ve ark. ise, U-borulu güneş toplayıcısı için, 3 boyutlu sayısal model geliştirerek, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmışlardır [11]. Sayısal sonuçlar, çalışma akışkanı debisinin 0.001, 0.002 ve 0.003 kg/s olduğu durumlarda toplayıcı veriminin % 30.9 'dan % 35.6'ya arttığını göstermiştir. Benzer sayısal yöntem Cu kanatçıklı ve grafit ile doldurulmuş U-borulu vakum tüplü güneş toplayıcıları için de tekrarlanmış ve toplayıcı verimleri sırasıyla %54 ve % 64 olarak hesaplanmıştır.

Vakum tüp güneş toplayıcıların ısıl verimini doğrudan etkileyen değişkenlerin başında sistemden çevreye olan ısı kayıpları gelmektedir. Bu kayıpları analitik olarak belirlemek ve sistemin ısıl verimini arttımak için birçok çalışma yapılmıştır. Sistemde meydana gelen ısı kayıpları için ısıl direnç ağı oluşturularak, matematiksel modeller geliştirilmiştir. Gao ve ark. U-borulu vakum tüp güneş toplayıcısının ısıl verimi için matematiksel model belirlemişlerdir [12]. Belirlenen bu model ile tüp boyunca radyal ve eksenel sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Isıl verimin meteorolojik koşullara bağlılığı ve önemli tüp tasarım parametreleri; tüp boyutu, ısıl karakteristikler(akış oranı, ısı kayıp katsayısı, selektif katmanın absorpsiyon katsayısı) araştırılmıştır.

Ghoneim ve ark. yaptıları çalışmada, Kuveyt şartlarında U-borulu vakum tüp güneş toplayıcısının performansını deneysel ve sayısal çalışmalarla değerlendirmişlerdir [13]. Toplayıcının kapsamlı bir optik ve ısıl analizi yapılmıştır. Matematiksel modeli oluşturan non-lineer denklemleri çözmek için sayısal bir prosedür uygulanmıştır. Deneysel veriler ve sayısal simülasyon verileri karşılaştırılarak yakın sonuçlar elde edilmiştir. Badar ve ark. ise, vakum tüplü güneş toplayıcısının toplam ısı kayıp katsayısı (U_L) değerini vakum zarf içerisinde kalan gaz basıncına bağlı olarak laboratuvar deneyleriyle ölçmüşlerdir [14]. Ölçüm sonuçları, vakum tüplerin beklenenden daha yüksek ısı kayıp katsayılarına sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ısı kayıp katsayısı değeri için yaklaşık teorik bir model geliştirilmiş ve deneysel ölçümlerle yakın değerler elde edilmiştir.

Bütünleşik parabolik toplayıcılar(BPT), yansıtıcı açıklığına farkllı açılarla gelen güneş ışınlarını yutucu yüzeye yönlendiren yapılardır. Bu yapılar vakum tüp toplayıcı yüzeyine gelen güneş ışınım miktarını arttırdığından, çalışma akışkanı daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. BPT'li güneş toplayıcılarının 240°C'ye kadar çıkabilmesi bu sistemlerin buhar üretiminde kulanılmasını sağlamıştır. Aboulmagd ve ark. yaptıkları çalışmada, yansıtıcılı ve yansıtıcısız U-borulu vakum tüp güneş toplayıcıları için performans değerlendirmesi yaparak yeni bir model geliştirmiştirler [15]. Isı kayıpları için oluşturulan matematiksel model MATLAB ortamında çözülmüştür. Deneysel ve analitik veriler karşılaştırılmış, yansıtıcılı U-borulu toplayıcının yansıtıcı bulunmayan toplayıcıya göre optik ve ısıl verim açısından daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Wang P.Y. ve ark. bütünleşik parabolik yansıtıcılı vakum tüp hava ısıtıcı güneş toplayıcısı için deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir [16]. Sistem birbirine bağlı 10 toplayıcı panelden oluşmaktadır. Ayrıca, her panelde bütünleşik parabolik yansıtıcı ve içerisinde U şeklinde bakır boru bulunan vakumlu cam tüp bulunmaktadır. Hava ısıtıcı güneş toplayıcısının ısı transfer modeli belirlenerek, havanın çıkış sıcaklığı, ısı gücü ve ısı verimi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve deneyler sonucunda sistemden 200°C üzerinde hava sıcaklığı elde edilmiştir. Pei ve ark. yaptıkları çalışmada, deneysel olarak yansıtıcılı ve yansıtıcı bulunmayan vakum tüplü güneş toplayıcıları kurmuş ve termodinamiğin 1 ve 2. yasasına göre ısıl performanslarını karşılaştırmıştırlar [17]. Deneyler iki gün boyunca her iki toplayıcı için tekrarlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda su elde ederken yansıtıcılı toplayıcı ısıl ve ekserji veriminin yansıtıcı bulunmayan toplayıcıya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

14. ULUSAL TESISAT MÜHENDISLIĞI KONGRESI – 17-20 NISAN 2019/IZMIR

Yadav ve ark. deneysel olarak vakum tüplü güneş toplayıcıdan buhar üretimi gerçekleştirerek toplayıcı verimini hesaplamışlardır [18]. Dağıtım borusu ve ona bağlı vakum tüplerin eğimlerinden dolayı sistemde doğal dolaşım meydana gelmektedir. Deney sonuçları en yüksek verimin 14:00- 15:00 saatleri arasında ve %46.26 olduğunu göstermiştir. Ayrıca, kış aylarında yapılan bu çalışmada buhar üretimi, 13:30-15:30 saatleri arasında gerçekleşmiş ve 620 mL buhar elde edilmiştir. Liu ve ark. yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli bütünleşik parabolik yansıtıcılı vakum tüplü buhar üretici geliştirmişlerdir [19]. Açıklık alanı 32 m² olup 60 toplayıcı ünitesinden oluşan buhar üreticinin her ünitesinde, vakum tüpün içerisine yerleştirien metal boru bulunmaktadır. Üretilen buhar sıcaklığı 0.10-0.55 Mpa basınç aralığında 200°C 'ye kadar çıkmıştır. İç cam tüp ve eş merkezli metal tüpün arasında kalan hava boşluğu ise yüksek vizkositeli yüksek sıcaklık yağı ve grafit tozu ile doldurulmuştur. Deneysel sonuçlar, maksimum buhar çıkış sıcaklığının 200°C ve 0.55 Mpa basınçta, toplayıcı ısıl veriminin ise %30'un üzerinde olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak vakum tüplü toplayıcı içerisine çelik iç-boru yerleştirilmiş ve sistemin tamamı çalışma akışkanı olan su ile doldurulmuştur. İç borulu bütünleşik parabolik toplayıcı için optik verim hesabı yapılmış ve toplayıcı verimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sistemdeki ısı kayıplarının ve sistemin ısıl veriminin hesaplanması için EES ortamında matematiksel model oluşturulmuştur. Bir prototip imal edilerek buhar üretimi gerçekleştirilmiş ve toplayıcının buhar eldesinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. ISIL ANALİZ

2.1. Fiziksel Model

Bu çalışmada kullanılan iç borulu vakum tüp güneş toplayıcısı, iç içe geçmiş eş eksenli iki cam tüp ve metal iç borudan oluşmaktadır. İç ve dış cam tüpün arası vakumlu olup, iç tüp dış yüzeyi güneş ışınlarına karşı emiciliği yüksek seçici malzeme ile kaplanmıştır. Ayrıca, ısıl direnci azaltmak amacıyla vakum tüpün iç camı ve metal iç boru arasında kalan boşluk ısı iletken yağı ile doldurulmuştur. Şekil 1.' de sırasıyla vakum cam tüp şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 1. İç borulu vakum tüp şematik görünümü

Yukarıda belirtilen iç borulu vakum tüp güneş toplayıcı için aşağıda verilen kabuller;

- 1- Cam tüplerin kalınlıklarından kaynaklanan ısıl dirençler ihmal edilmiştir.
- 2- Dış cam tüpün güneş enerjisi yutuculuğu ihmal edilmiştir.
- 3- İki cam tüp arasındaki hava mükemmel vakumlu olduğundan, buradaki gaz iletimi ihmal edilmiştir.
- 4- Isı transferinin kararlı hal durumunda gerçekleştiği kabul edilmiştir.
- 5- Dağıtım borusundan çevreye olan ısı kaybı sabit kabul edilmiştir.
- 6- Toplayıcı yüzeyine gelen güneş ışını(ısı akısı) dağılımının yüzeyin her yerinde homojen olduğu kabul edilmiştir.
- 7- Toplayıcı yüzeyindeki toz ve kir ihmal edilmiştir.

yapılarak bir boyutlu analitik model oluşturulmuştur.

2.2. Matematiksel Model ve Toplam Isı Kayıp Katsayısı

Sistemde bütünleşik parabolik yansıtıcı kullanıldığından yutucu yüzeye gelen toplam güneş enerjisi; yansıtıcı optik verimi η_{opt} , BPT yüzeyine dik gelen güneş ışını I_r (W/m²) ve yansıtıcı yüzey alanı A_{BPT} (m²)'ye bağlıdır.

$$S = \eta_{opt} * I_r * A_{BPT} \tag{W}$$
(1)

Yutucu yüzeye gelen toplam güneş enerjisi S (W), bu yüzeyden çevreye toplam ısı kaybı olan Q_L (W) ve çalışma akışkanına aktarılan net ısı olan Q_U 'nun (W) toplamına eşittir.

$$S = (Q_L + Q_U) \tag{W}$$

İç borulu vakum tüpün yutucu yüzeyinden çevreye olan ısı kaybını hesaplamak için ısıl direnç ağı oluşturulmuştur(Şekil 2).



Şekil 2. İç borulu vakum tüp ısıl direnç ağı

Şematik olarak gösterilen bu ısıl direnç ağındaki iletim, taşınım, ışınım ve kenar kayıp katsayıları ayrı ayrı belirlenerek yutucu yüzeyden çevreye olan toplam ısı kaybı hesaplanır.

$$Q_L = A_P * U_L * (T_P * T_A)$$
 (W) (3)

$$A_p = \pi * D_P * L_P \tag{(m2)}$$

(3) eşitliğinde verilen T_p ve T_a değerleri sırasıyla yutucu yüzey sıcaklığı (K) ve çevre sıcaklığını (K), A_p ise yutucu yüzey alanını (m²) ifade etmektedir.

Toplam ısı kayıp katsayısı U_L (W/m²K); dağıtım borusu kenar kayıp katsayısı U_e (W/m²K) ile vakum tüpten çevreye olan ısı kayıp katsayısı U_t (W/m²K)'nin toplamına eşittir.

$$U_L = U_e + U_t \tag{W}$$

Yutucu yüzeyden çevreye ışınım, taşınım ve iletimle gerçekleşen ısı kayıpları için toplam ısı kayıp katsayısı U_t, Şekil 2'deki ısıl direnç ağı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$U_t = \left(\left(A_P * \left[h_{pg,cond} + h_{pg,rad} \right] \right)^{-1} + \left(A_g * \left[h_{ga,conv} + h_{ga,rad} \right] \right)^{-1} \right)^{-1} / A_P$$
(W/m²K) (6)

h_{ga},_{rad}, dış cam tüp ile çevre arasındaki ışınım ısı transferi katsayısını (W/m²K), h_{ga},_{conv}, dış cam tüp ile çevre arasındaki taşınım ısı transferi katsayısını (W/m²K), h_{pg},_{rad}, dış cam tüp ile iç cam tüp arasındaki ışınım ısı transferi katsayısını (W/m²K), h_{pg},_{cond}, dış cam tüp ile iç cam tüp arasındaki arasında bulunan metal tutucunun iletim ısı transferi katsayısını (W/m²K) ifade etmektedir.

h_{pg},_{rad}, iç cam tüp ve dış cam tüp arasındaki ışınım ısı transferi katsayısı;

$$h_{pg,rad} = \pi * D_{p} * L_{p} * [\sigma * \varepsilon_{p}(T_{g}^{2} + T_{p}^{2}) * (T_{p} + T_{g})/[1 + (\varepsilon_{p} * D_{p,dis}/\varepsilon_{g} * D_{g,is})(1 - \varepsilon_{g}) \quad (W/m^{2}K) (7)$$

Termodinamik Sempozyumu

şeklinde hesaplanmıştır. T_p yutucu yüzey sıcaklığını (K), ε_p yutucu yüzey emisivitesini, D_{o,iç} ve D_{abs,dış} ise sırasıyla dış cam tüpün iç çapı (m) ve yutucu yüzeyin dış çapını (m) göstermektedir. İç ve dış cam arasındaki metal tutuculardan ileri gelen kayıp boru çapına bağlıdır

$$h_{pg,cond} = 1.8 * D_p / A_p$$
 (W/m²K) (8)

h_{ga, rad}, dış cam tüp ile çevre arasındaki ışınım ısı transferi katsayısı;

$$h_{ga,rad} = \sigma * \varepsilon_g * \pi * D_g * L_{g*}(T_g^2 + T_{sky}^2) * (T_g + T_{sky}) * (T_g - T_{sky}) / (T_g - T_a)$$
(W/m²K) (9)

eşitlik (9) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, σ stefan boltzman sabiti (W/m²K⁴), εg dış cam tüpün emisivitesini, T_g veT_{sky} ise sırasıyla dış cam tüp sıcaklığı (K) ve gökyüzü sıcaklığını (K) göstermektedir.

h_{ga}, conv, dış cam tüp ile çevre arasındaki taşınım ısı transferi katsayısı;

$$h_{ga,conv} = (A_{og}/A_{ig}) * 0.6 * (5.7 + 3.8 * V_w)$$
(W/m²K) (10)

eşitlik (10) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, A_{og} ve A_{ig} iç ve dış cam tüplerin yüzey alanlarını (m²), V_w , ortamdaki havanın(rüzgar) hızını (m/s) ifade etmektedir.

Bu verilen bağıntılardaki ışınım kayıp katsayıları T_g değerine bağlıdır. T_g değerinin hesaplanabilmesi için, vakum tüpün dış cam yüzeyinden çevreye olan toplam ısı kaybı, iç ve dış cam arasındaki ısı kaybına eşitlenir:

$$(h_{pg,rad} + h_{pg,cond}) * (T_p - T_a) = (h_{ga,rad} + h_{ga,conv}) * (T_g - T_a)$$
(W/m²K) (11)

iterasyon yapılarak, dış cam sıcaklığı T_g ve buna bağlı olarak taşınım katsayıları hesaplanır.

Dağıtım borusu ısı kayıp katsayısı;

$$(UA)_{kenar} = 2 * \pi * k_{izo} * L_e / \ln(\frac{D_{izo,d}}{D_{izo,i}})$$
(W/K) (12)

Bağıntısı ile hesaplanır. Bu eşitlikte verilen Le dağıtım borusu uzunluğunu (m), k_{izo} yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısını (W/mK), D_{izo,d} ve D_{izo,i} ise, sırasıyla yalıtım borusunun dış ve iç çaplarını (m) ifade etmektedir. Yutucu boru yüzey alanına referans alınan kenar kayıp katsayısı ise

$$U_e = UA_{kenar}/A_p \tag{W/m^2K}$$
(13)

(13) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

3. DENEY DÜZENEĞİ

3.1. Bütünleşik Parabolik Toplayıcı

Bütünleşik parabolik toplayıcılar, açıklık alanlarına(iki yansıtıcı kanat arasındaki yüzey alanı) gelen güneş ışınlarını toplayıcı yüzeye gönderen yapılardır. Yansıtıcı kanatlar, toplayıcı eksene göre simetrik yerleştirilmiş iki ayrı parabolik yüzey ve onları birleştiren, involüt yüzeyden oluşmaktadır. Açıklık alanı, parabolik toplayıcı yüzeyin uzunluğu ve genişliğinin çarpımıdır. Yansıtıcı yüzey, anodize Alüminyum malzemeden, genişliği 145.4 mm, uzunluğu 1500 mm olacak şekilde imal edilerek vakum tüp güneş toplayıcısının alt yüzeyine eş merkezli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kullanılan vakum tüp eş merkezli, iç içe geçmiş iki adet silindirik Borosilikat 3.3 camdan oluşmaktadır. İç cam tüpün dış yüzeyi güneş ışınlarını yutucu, fakat yayma katsayısı düşük seçici malzeme ile elektrostatik ortamda kaplanmıştır. İç cam tüp içine, ayrıca 42 mm çapında bir metal iç boru yerleştirilmiştir. Metal iç boru ile iç cam tüp arasındaki boşluk, ısı iletim yağı ile doldurulmuştur. İç boru malzemesi olarak St-37 çelik kullanılmıştır. Bütünleşik toplayıcı tüp ve yansıtıcı yüzeylerin termofiziksel özellikleri Tablo 1.'de belirtilmiştir.



Şekil 3. Bütünleşik Parabolik Toplayıcı 3 Boyutlu Tasarımı

Tablo 1.	Bütünleşik	toplayıcı	termofiziksel	özellikleri
----------	------------	-----------	---------------	-------------

Değişkenler	Değerler	
Dış Cam Tüp Dış Çapı	58 mm	
İç çam tüp (Yutucu Yüzey) Dış Çapı	47 mm	
Dış Cam Tüp Uzunluk	1500 mm	
İç Cam Tüp Uzunluk	1485 mm	
Cam tüp Et Kalınlıkları	1.6 mm	
İç metal boru dış çap	42 mm	
İç metal boru iç çap	36 mm	
Dış Cam Tüp Geçirgenlik	0.9	
Yansıtıcı Yüzey Yansıma katsayısı	0.8	
Yutucu Yüzey		
Yutma Katsayısı	0.92	
Yayma Katsayısı	0.08	

3.2. Deney Düzeneği Kurulumu

Bu çalışmada kurulan deney düzeneği, yansıtıcı yüzey, vakum cam tüp, vakum cam tüp içerisine yerleştirilmiş eş merkezli metal iç boru, ısı değiştirici ve ölçüm ekipmanlarından oluşmaktadır. Buhar hattı çıkışında, çıkan buharın yoğuşturulabilmesi için iç içe borulu ısı değiştirici tesis edilmiştir. Sistemi oluşturan tüm bileşenler Şekil 4.'de şematik olarak gösterilmiştir.

Deney düzeneğinde, içerisinde çalışma akışkanı olan suyun bulunduğu iç boru (1), gelen güneş ışınının toplayıcı yüzeye yönlendirildiği bütünleşik parabolik yansıtıcı yüzey (7), dış cam tüp (8), gelen güneş ışınlarının absorbe edildiği yutucu yüzey(9) den oluşan vakum tüp, yutucu tüpün iç yüzeyi ile metal iç boru arasında bulunan ısı iletim yağı (3) sistemin en önemli bileşenleridir. Bunların yanında sistemin belirli noktalarında sıcaklıkların ölçüldüğü T-tipi ısıl çiftler(T_1 , T_2 , $T_{yağ}$, T_g), üretilen buharın yoğuşturulduğu ısı değiştirici (2), üretilen buhar miktarının ölçüldüğü silindirik ölçüm kabı (5), gelen güneş ışınımının ölçüldüğü piranometre (4) ve elde edilen ölçüm değerlerinin sırasıyla aktarıldığı veri toplayıcı ve bilgisayar (6,10) deney düzeneğini oluşturan diğer bileşenlerdir.

Hazırlanan bütünleşik parabolik güneş toplayıcı sistemi, yatayla 45°'lik bir açı ve güney yönünde konumlandırılarak Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Yerleşkesi (38.37° Enlem, 28.20° Boylam) şartlarında deneysel olarak incelenmiştir (şekil-5).



Şekil 4. BPY'li iç borulu vakum tüp güneş toplayıcı şematik gösterimi



Şekil 5. BPY' li iç borulu vakum tüp güneş toplayıcı deney düzeneği

4. DENEYİN YAPILIŞI VE BULGULAR

4.1. Deney Setinin Hazırlanması ve Yapılışı

Bütünleşik parabolik yansıtıcılı iç borulu vakum tüplü toplayıcı deney düzeneği için ilk olarak metal iç boru vakum tüp içerisine eş merkezli olarak yerleştirilmiştir. İç boru ve vakum cam tüp arasında kalan boşluk yüksek ısı iletken yağı ile doldurulmuştur. İç boru, iç boruya bağlı su besleme borusu ve buhar çıkış borusunun çevreleri 5 mm kalınlığında polietilen köpük ile yalıtılmıştır. Su besleme borusu U şeklinde seçilerek su ile dolu tutulmuş diğer taraftan buhar çıkışının düzenli olması sağlanmıştır. Buhar çıkış borusu ve ısı değiştirici, su besleme borusundan daha yüksek bir konumda kullanılarak üretilen buharın bu tarafa yönlenmesi sağlanmıştır.

Deney başlangıcında sisteme yaklaşık 65°C sıcaklığında su doldurulmuştur. Güneş ışınımının etkisiyle iç boru içindeki su sıcaklığı zamana bağlı olarak artmıştır. Buharlaşmanın başlaması ile birlikte ısı değiştirici çıkışından damlalar halinde yoğuşmuş buhar elde edilmiştir.

Deneyler sırasında sıcaklık ölçümleri ışınım ölçümleri ve üretilen buhar ölçülerek kaydedildi.

Yutucu yüzeyde yutulan güneş ışınımının bütünleşik parabolik toplayıcı açıklığına gelen güneş ışınımı, yansıtıcı yüzeyden yönlendirilerek yutucu yönlendirilmektedir. Sistemin optik verimi; yansıtıcı kanat uzunlukları, yansıtıcı malzeme özellikleri, kabul açısı gibi değişkenler değerlendirilerek TracePro programının kullanılması ile hesaplanmıştır[21].

Deneylerde sistem ısıl veriminin hesaplanabilmesi için elde edilen buhar enerjisinin (W), yansıtıcı yüzey alanına gelen güneş enerjisine (W) oranı bilinmelidir. Bu nedenle ısı değiştirici çıkışına silindirik hacimsel ölçüm kabı konularak, elde edilen buhar burada toplanmış ve üretilen buhar miktarı ölçülmüştür. Elde edilen buharın enerjisi;

$$Q_{buhar} = m_b * (h_g - h_f) \tag{W}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte m_b elde edilen buhar miktarını (kg), h_g elde edilen buharın entalpi değerini (kJ/kg), h_f ise besleme suyu entalpi değerini ifade etmektedir. Sistemin ısıl verimi için hesaplanması gereken diğer değer olan yansıtıcı yüzey alanına gelen güneş enerjisi için ise eşitlik (3) kullanılmıştır.

Sistemin ısıl verimi;

$$\eta_{usul} = Q_{buhar} / S \tag{15}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

4.2. Deney Bulguları ve Değerlendirme

Deneyler 4 Kasım 2018 günü 09:00 itibariyle başlanmış ve. 13:15 itibari ile buharlaşma başlamış Ölçümler 13:41-14:15 ve 14:15-14:45 saatleri arasında 5'er dakikalık periyotlarla gerçekleştirilmiş ve veri kartına kaydedilmiştir.

Yapılan deneylerde elde edilen sıcaklık ve güneş ışınım verilerinin zamana bağlı değişimleri Tablo-1 ve Tablo-2'de verilmiştir.

Deney-1 için elde edilen ölçüm değerleri yutucu yüzey sıcaklığı, besleme suyu ve buhar çıkış sıcaklıklarının deney süresince neredeyse değişmediğini göstermiştir. Metal iç boru ve iç cam tüp arasındaki ortalama sıcaklık 102.2°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık iç cam tüp sıcaklığı (T_p) olarak kabul edilmiştir. Sistem ısıl verimini doğrudan etkileyen besleme suyu ve buhar çıkış sıcaklıklarının ortalama değerleri ise sırasıyla 62.9°C ve 98.57°C olarak belirlenmiştir. Çevre sıcaklığı ve dış cam tüp yüzey sıcaklığı ortalama değerleri de sırasıyla 24.96°C ve 30.67°C olarak belirlenmiştir.



Saat	Yutucu Yüzey Sıcaklığı, ° C (T _p)	Besleme Suyu Sıcaklığı, ° C (T ₁)	Buhar Çıkış Sıcaklığı, ° C (T ₂)	Çevre Sıcaklığı, ° C (T _a)	Dış Cam Tüp Dış Yüzey Sıcaklığı, ° C (T _g)	lşınım Şiddeti, (W/m²)
13:09	103.0	63.00	98.50	24.60	26.40	956
13:14	103.0	63.40	98.60	24.50	29.30	947
13:19	102.0	63.90	98.60	25.60	31.60	951
13:24	102.0	63.20	98.60	25.00	28.90	947
13:27	102.0	62.90	98.50	25.30	31.00	950
13:32	102.0	63.20	98.60	24.50	32.30	944
13:37	102.0	62.20	98.60	25.30	31.40	943
13:42	102.0	62.30	98.60	24.30	32.50	935
13:47	102.0	62.10	98.50	25.50	32.60	937

Tablo 1. Denev-1	icin 5'er	dakika ara	ile alınan	ölcümler
Tuble I. Deney	işin o or	uunna uru	ne annan	olyannoi

Tablo 2. Deney-2 için 5'er dakika ara ile alınan ölçümler

Saat	Yutucu Yüzey Sıcaklığı, ° C (T _p)	Besleme Suyu Sıcaklığı, ° C (T ₁)	Buhar Çıkış Sıcaklığı, ° C (T ₂)	Çevre Sıcaklığı, ° C (T _a)	Dış Cam Tüp Yüzey Sıcaklığı, ° C (T _g)	lşınım Şiddeti, (W/m²)
13:42	102.0	62.30	98.60	24.30	32.50	935
13:47	102.0	62.10	98.50	25.50	32.60	937
13:52	102.0	63.40	98.50	25.30	30.30	935
13:57	102.0	63.20	98.50	25.30	29.30	932
14:02	102.0	64.50	98.50	25.30	30.80	925
14:07	102.0	65.00	98.50	25.70	30.10	925
14:12	102.0	65.30	98.50	25.60	31.60	917
14:17	101.0	63.90	98.60	25.70	29.90	913

Deney-2 için elde edilen ölçüm değerleri yutucu yüzey sıcaklığı, besleme suyu ve buhar çıkış sıcaklıklarının deney süresince neredeyse değişmediğini göstermiştir. Metal iç boru ve iç cam tüp arasındaki ortalama sıcaklık 101.875°C olarak belirlenmiştir. Sistem ısıl verimini doğrudan etkileyen besleme suyu ve buhar çıkış sıcaklıklarının ortalama değerleri ise sırasıyla 63.71°C ve 98.57°C olarak belirlenmiştir. Çevre sıcaklığı ve dış cam tüp yüzey sıcaklığı ortalama değerleri de sırasıyla 25.3°C ve 30.89°C olarak belirlenmiştir.

Yutucu yüzey ve çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı (8) eşitliği kullanılarak, Deney-1 ve Deney-2 için sırasıyla 2.16 (W/m²K) ve 2.12 (W/m²K) olarak hesaplanmıştır. Sistemin optik verimini etkileyen; yansıtıcı kanat uzunlukları, yansıtıcı malzeme özellikleri, kabul açısı gibi değişkenler değerlendirilmiştir. Bunun için tasarımı yapılan toplayıcının optik analizi Trace Pro programının kullanılması ile gerçekleştirilmiştir [21].

Yansıtıcı yüzeyin optik verimleri ise güneş geliş açılarına bağlı olarak sırasıyla %58.7 ve %56 olarak belirlenmiştir. Sistemde üretilen buhar enerjileri, yutucu yüzeye gelen güneş ışınımları, absorlayıcı yüzeyden çevreye olan toplam ısı kayıpları, yalıtımlı dağıtım borusundan çevreye olan ısı kayıpları ve ısıl verimler Deney-1 ve Deney-2 için ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 3.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

683 ----

Tablo 3. Deney-1 ve Deney-2 için sistemdeki ısı kayıpları

	Deney-1	Deney-2
Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı (W)	206.14	202.17
Yutucu yüzeye gelen ışınımı (W)	120.99	113.2
Yutucu yüzeyden çevreye olan ısı kaybı (W)	36.5	35.63
Yalıtımlı dağıtım borusundan olan ısı kaybı (W)	38.2	35.14
Üretilen buhar enerjisi (W)	40.25	40.7
Isıl verim	%33.26	%35.95

5. SONUÇ

Bütünleşik parabolik yansıtıcılı iç borulu vakum tüp güneş toplayıcı sistemi açık hava koşulları altındaki ısıl performansını belirlemek amacıyla iki farklı zaman aralığında ölçüm ve testler yapılmıştır.İç borulu taşıyıcı sistemin buhar üretimi için kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Yutucu yüzeyden çevreye olan ısı kayıpları sırasıyla 36.5 (W) ve 35.63 (W) olarak hesaplanmıştır. Yalıtımlı dağıtım borusundan çevreye olan ısı kayıpları da sırasıyla 38.2 (W) ve 35.14 (W) olarak hesaplanmıştır. Bağlantı elemanları ve dağıtım borusundan gerçekleşen ısı kayıplarının ısıl verimi önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Yutucu yüzeyde soğurulan enerjinin akışkana aktarılması ile hesaplanan ısıl verim her iki deneyde de yaklaşık olarak %34 olarak hesaplanmıştır. Buna karşın optik verim %57 civarındadır. Sistemin ısıl verimini arttırmak için yapılabilecek bazı iyileştirmeler aşağıda belirtilmiştir:

- Vakumlu cam tüpün yansıtıcı yüzey üzerine tam oturması ile aralık ışın kayıpları azaltılmalıdır.
- İç tüpün (yutucu yüzey) dış tüpe olan çap oranı arttırılarak, optik verim arttırabilir.
- Yalıtımlı dağıtım borusundan çevreye olan kenar kayıpları, yutucu yüzeyden doğrudan olan ısıl kayıplara yakındır. Buhar dağıtım borusu kısa tutularak ve daha iyi bir yalıtımla kenar kayıpları azaltılmalıdır.
- Çalışmada karşılaşılan bir husus, iç tüp içindeki su miktarı nedeni ile buhar üretimi öncesi sistemin devreye girmesinin iki saati aşan bir süre tutmasıdır.
- Sonuç olarak, yukarıdaki düzenlemelerin yapılması ile iç tüplü sistemin buhar üretiminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi 2017.KB.FEN.020 numaralı "Vakumlu Cam Tüp Kullanılan Güneşli Hava İsıtıcılarının Performans Değerlendirmesi" isimli Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmektedir. Işın analizinde TracePro deneme sürümü kullanılmıştır. Yazarlar TracePro'ya Optonom Scientific Instruments'a teşekkür eder. Yazarlar deney düzeneğinin kurulumunda yardımlarını esirgemeyen Solarsan ve Sistem Tubular'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] KALOGIROU, S.A. "Solar Thermal Collectors and Applications" Progress in Energy and Combustion Science 30, 231–295, 2004.
- [2] SHAH, L.J., FURBO, S., "Theoretical flow investigations of an all glass evacuated tubular collector" Solar Energy 81, 822–82, 2007.
- [3] ATAEE, S., AMERI, M., " Energy and exergy analysis of all-glass evacuated solar collector tubes with coaxial fluid conduit" Solar Energy 118, 575–591, 2015.
- [4] YADAV, M., SAIKHEDKAR N.K., "Simulation Modelling For the Performance of Evacuated Tube Solar Collector" <u>www.ijirset.com</u> Vol. 6, Issue 4, April 2017.
- [5] YANG, J., JIANG, Q., HOU, J., LUO, C., "A Study on Thermal Performance of a Novel All-Glass Evacuated Tube Solar Collector Manifold Header with an Inserted Tube" International Journal of Photoenergy Volume 2015, Article ID 409517, 7 pages

- [6] KUMAR, S.S., KUMAR, K.M., KUMAR, S.R.S., "Design of Evacuated Tube Solar Collector with Heat Pipe" Materials Today: Proceedings 4, 12641–12646, 2017.
- [7] JAFARKAZEMI, F., ABDI, H., "Evacuated tube solar heat pipe collector model and associated tests" Journal of Renewable and Sustainable Energy **4**, 023101, 2012.
- [8] TOPAL, M.A., "Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kollektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Performansa Etkisi" Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2018.
- [9] MA, L., LU, Z., ZHANG, J., LIANG, R., "Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube" Building and Environment 45, 1959e1967, 2010.
- [10] ONG, K.S., TONG, W.L. "System Performance of U-Tube and Heat Pipe Solar Water Heaters" Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 105-110, 2012.
- [11] FARJALLAH, R., CHAABANE, M., MHIRI, H., BOURNOT, P., DHAOUADI, H. "Thermal Performance of the U-Tube Solar Collector Using Computational Fluid Dynamics Simulation" Journal of Solar Energy Engineering Copyright VC 2016 by ASME DECEMBER 2016, Vol. 138 / 061008-1
- [12]GAO, Y., FAN, R., ZHANG, X.Y., AN, Y.J., WANG, M.X., GAO, Y.K., YU, Y., "Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector" Solar Energy 107, 714–727, 2014.
- [13] GHONEIM, A.A., SHABANA H.M., SHAABAN, M.S., MOHAMMEDIEN, A.M. "Performance Analysis of Evacuated Tube Collector in Hot Climate" European International Journal of Science and Technology Vol. 5 No. 3 April, 2016.
- [14] BADAR, A.W., BUCHHOLZ, R., ZIEGLER, F. "Experimental and theoretical evaluation of the overall heat loss coefficient of vacuum tubes of a solar collector" Solar Energy 85, 1447–1456, 2011.
- [15] ABOULMAGD, A., PADOVAN, A., OLIVESKI, R.D.C., COL, D.D. "A New Model for the Analysis of Performance in Evacuated Tube Solar Collectors" 3rd International High Performance Buildings Conference at Purdue, July 14-17, 2014.
- [16] WANG, P.Y., GUAN, H.Y., LIU, Z.H., WANG, G.S., ZHAO, F., XIAO, H.S. "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, 2014.
- [17] PEI, G., LI, G., ZHOU, X., JI, J., SU, Y. "Comparative Experimental Analysis of the Thermal Performance of Evacuated Tube Solar Water Heater Systems With and Without a Mini-Compound Parabolic Concentrating (CPC) Reflector(C < 1)" Energies, 5, 911-924, 2012.
- [18] YADAV, A., SARASWAT, A. "An Experimental Study on Evacuated Tube Solar Collector for Steam Generation in India" World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering Vol:10, No:5, 2016.
- [19] LIU, Z., TAO, G., LU, L., WANG, Q. "A novel all-glass evacuated tubular solar steam generator with simplified CPC" Energy Conversion and Management 86, 175–185, 2014.
- [20] ÇENGEL, Y.A., GHAJAR, A.J. Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications, 5th edition, 2015.
- [21] TracePro(2018), Bilgisayar Yazılımı.

ÖZGEÇMİŞ

Azat SERVER

1989 yılı Azerbaycan doğumludur. 2013 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2013-2015 yılları arasında Makine İmalatı sektöründe Araştırma Geliştirme Mühendisi olarak çalışmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Termodinamik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.

Serhan KÜÇÜKA

1960 İzmir doğumlu olup, 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 1985 yılında Yüksek Lisans ve 1993 yılında Doktora eğitimini tamamlamıştır. 1997 yılından beri DEÜ Mühendislik Fakültesinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 8., 9., 10., 13. Ve 14. TESKON kongrelerinde yürütme kurulu üyesi olarak görev almıştır. Çalışma konuları Soğutma Tekniği, Jeotermal Enerji ve Güneş Enerjisidir.