ISI BORULU BÜTÜNLEŞİK PARABOLİK TOPLAYICI PANELİN OPTİK VE DENEYSEL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Paşa YAMAN*, Azat SERVER, Serhan KÜÇÜKA*****
*Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, pshymn@gmail.com
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, azat_srvr@hotmail.com
***Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, serhan.kucuka@deu.edu.tr

Özet: Bütünleşik parabolik toplayıcılar (BPT), parabolik oluk tip toplayıcılardan farklı olarak, güneş takip mekanizması içermeyen basit yapılı sistemlerdir. Bu toplayıcılar temel olarak yansıtıcı ve yutucu yüzeylerden oluşmaktadır. BPT'li güneş panelleri ile ~200°C sıcaklıklara kadar akışkan elde edilmesi mümkündür. Isı borulu BPT'lerin içindeki taşıyıcı akışkanın düşük sıcaklıklarda kaynaması ve kısa sürede istenilen sıcaklıklara ulaşması, diğer güneş toplayıcılarına göre üstün taraflarıdır. Çalışmada öncelikle ısı borulu bir BPT panel tasarımı yapılmış ve ışın analizi yapılarak optik verimin geliş açısına bağlı değişimi belirlenmiştir. Farklı dış ortam koşullarında gerçekleştirilen testlerde, gelen güneş ışınımı şiddeti ve su giriş çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve suya aktarılan toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Suya aktarılan enerji miktarı ile gelen toplam güneş ışınımı miktarı karşılaştırılarak BPT panelin ısıl verimi elde edilmiştir. Yapılan 6 farklı deneyde ortalama %55.2 ısıl verim değerine ulaşılmıştır. Deneyler, ısı borulu BPT kullanılması ile sistemin kısa sürede devreye girebildiğini göstermiştir.
Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Isı borusu, Bütünleşik parabolik toplayıcı, Optik verim, Isıl verim.

OPTICAL AND EXPERIMENTAL PERFORMANCE EVALUATION OF HEAT PIPE INTEGRATED COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATOR PANEL

Abstract: Compound parabolic concentrators (CPC) are widely popular solar collector type among concentrated solar power applications. These collectors basically are comprised of a reflector and an absorber surfaces. Differently from parabolic trough collectors, it does not involve a sun-tracking mechanism. It is possible with CPC solar panels to obtain hot fluid up to a temperature of ~200°C. Its superior aspects in comparison with other solar collector are heat transfer fluid in the heat pipe has low boiling temperature and it reaches to the desired temperature in a short time. In the study, a CPC with vacuum tube heat pipes is designed and the variation in optical efficiency was obtained in respect with solar incidence angle by applying ray tracing. In the experiments which occur at different outdoor conditions, solar irradiance and inlet-outlet temperature of CPC's manifold were measured and the total amount of energy transferred to water was calculated. The total amount of energy transferred to water was compared with the total amount of solar irradiance so that the overall thermal efficiency of the CPC was obtained. In six different experiments, it was reached to an average thermal efficiency of 55.2%. The experiments showed that the system can step in short time by utilization of CPC with heat pipes.
Keywords: Solar energy, Heat pipe, Compound parabolic concentrator, Optical efficiency, Thermal efficiency.

1.GİRİŞ

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi uygulamalarından olan parabolik oluk tip, lineer fresnel ve kule tip güneş toplayıcıları oldukça yüksek çalışma sıcaklıklarına (300°C~400°C) çıkabilmektedirler. Ancak yüksek kurulum maliyeti ve işletme gideri sebebiyle küçük ölçekte uygulama fırsatı bulamamaktadırlar. Yoğunlaştırılmış diğer güneş toplayıcılarının uygulanamamasının nedenlerinden biri güneş takip sistemine olan gereksinimdir. Güneş takip sistemleri güneş toplayıcılarının maliyetini yükselterek uygulanmasını güç kılmaktadır. BPT'ler, yansıtıcı yüzey bulunmakla birlikte güneş takip mekanizması içermezler. Bu sebeple, BPT'lerin küçük ölçekteki (şehirsel ve kırsal) yüksek sıcaklıkta su ihtiyacının karşılanmasında uygulama alanı çok daha fazladır.

BPT'lerin yoğunlaştırma oranı 1~10 arasında olduğu için düşük yoğunlaştırıcılı güneş toplayıcıları sınıfına girerler. Bir toplayıcının yoğunlaştırma oranının yüksekliği, yüksek sıcaklıklara çıkabilmesinin bir

göstergesidir. Rabl (1976) çalışmasında yoğunlaştırma oranının yansıtıcı açıklık alanının, yutucu yüzey alanına oranı olduğunu belirtmiştir. Yaman ve Küçüka (2018) çalışmalarında, BPT optik performansının detaylı analiz ve değerlendirilmesine yönelik ilişkin temel esaslar vermişlerdir.

BPT'lerde en çok dairesel (tubular) ve düzlemsel yutucular kullanılmaktadır. Hava ısıtıcı olarak kullanılanlarda düzlemsel yutucu yüzeyler tercih edilmektedir. Ancak yüksek sıcaklıkta akışkan elde etme uygulamalarında çeşitli dairesel yutucular tercih edilmektedir. Kullanılan dairesel yutucular vakum tüp, U-borulu vakum tüp, kanatçıklı vakum tüp, ısı borusu veya bunların birleşimi olabilir. BPT kullanılarak sıcak akışkan üretimine ilişkin bir kısım çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Pradhan vd. (2015) yaptıkları çalışmada orta sıcaklıklarda kullanılmak üzere ısı borulu bir BPT'nin tasarımını yapıp performansını değerlendirmişlerdir. Sistem performansı, Kuzey-Güney konumlandırılmış bir toplayıcıda; 15°, 25° ve 45°'lik toplayıcı eğim açıları için değerlendirilmiştir. Ayrı ayrı günlerde yapılan dört farklı deneyde 45°'lik toplayıcı eğiminde sistemin ortalama verimi %20'dir. Ayrıca, deneye başladıktan 62 dakika sonra ısı borusunun yoğuşturucusu 100°C'ye ulaşmış ve yoğuşturucu etrafındaki suyu kaynatmaya başlatmıştır. Sonuç olarak, 15°, 25° ve 45°'lik eğim açılarında 50°C'lik bir sıcaklık farkı için sistemin standart gücü sırasıyla 71.77 W, 77.28 W ve 81 W olarak ölçülmüştür.

Singh vd. (2010) kuzey deniz ikliminde sıcak su elde etmek üzere BPT panellerin kullanımını araştırmışlardır. İki farklı yutucu türüne sahip olan, ısı borulu vakum tüp ve geleneksel vakum tüp, BPT'lerin karşılaştırılması yapılmıştır. BPT'lerin yoğunlaştırma oranı 1.82'dir. Geliştirilen iki toplayıcı için 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C'lik su giriş sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Her iki panelde de, 800 W/m^2'lik güneş ışınımı altında 75 dakika sonra yutucu yüzey sıcaklığı 80.3°C'ye ve yansıtıcı yüzey sıcaklığı 42.9°C'ye ulaşmıştır. 40°C ve 50°C'lik su giriş sıcaklıklarında iki toplayıcı da yaklaşık olarak %58'lik verimde çalışmışlardır. Kuzey deniz ikliminde, 600 W/m^2'den daha düşük ışınımda ve daha düşük su giriş sıcaklıklarında (<50°C) %58'den yüksek verimler elde edilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonuçları, geleneksel BPT'nin evsel sıcak su ihtiyacının karşılanmasında (~50°C) daha uygun olduğunu göstermiştir.

Wang vd. (2014) bütünleşik parabolik yansıtıcılı vakum tüp hava ısıtıcı güneş toplayıcısı için deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. 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 vd. (2012) yaptıkları çalışmada, yansıtıcılı ve yansıtıcı bulunmayan vakum tüplü güneş toplayıcıları kurmuş ve termodinamiğin 1 ve 2. yasasına göre ısıl performanslarını karşılaştırmıştırlar. Deneyler iki gün boyunca her iki toplayıcı için tekrarlanmıştır. Yansıtıcılı toplayıcının ısıl ve ekserji veriminin yansıtıcı bulunmayan toplayıcıya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

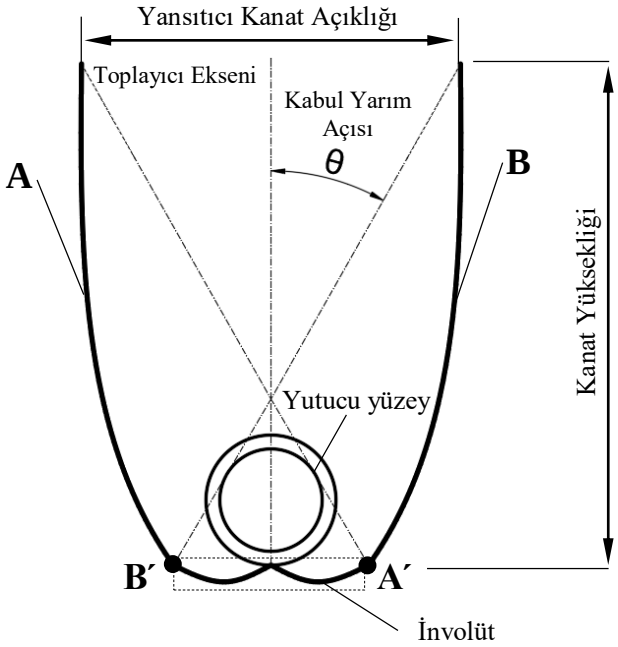
Yadav ve Saraswat (2016) vakum tüplü güneş toplayıcıdan buhar üretimi gerçekleştirerek toplayıcı verimini hesaplamışlardır. Dağıtım borusu ve ona bağlı vakum tüplerin eğimlerinden dolayı sistemde doğal dolaşım meydana gelmektedir. Deney sonuçları en yüksek verimin 14:00 - 15:00 saatleri arasında ve % 46.26 olduğunu göstermiştir. Kış aylarında yapılan bu çalışmada 13:30-15:30 saatleri arasında buhar üretimi gerçekleşmiş ve 620 mL buhar elde edilmiştir.

Liu vd. (2014) yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli bütünleşik parabolik yansıtıcılı vakum tüplü buhar üretici geliştirmişlerdir. Açıklık alanı 32 m^2 olup 60 toplayıcı ünitesinden oluşan buhar üreticinin her ünitesinde, vakum tüpün içerisine yerleştirilen 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 viskoziteli 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.

2.MATERYAL VE METOD

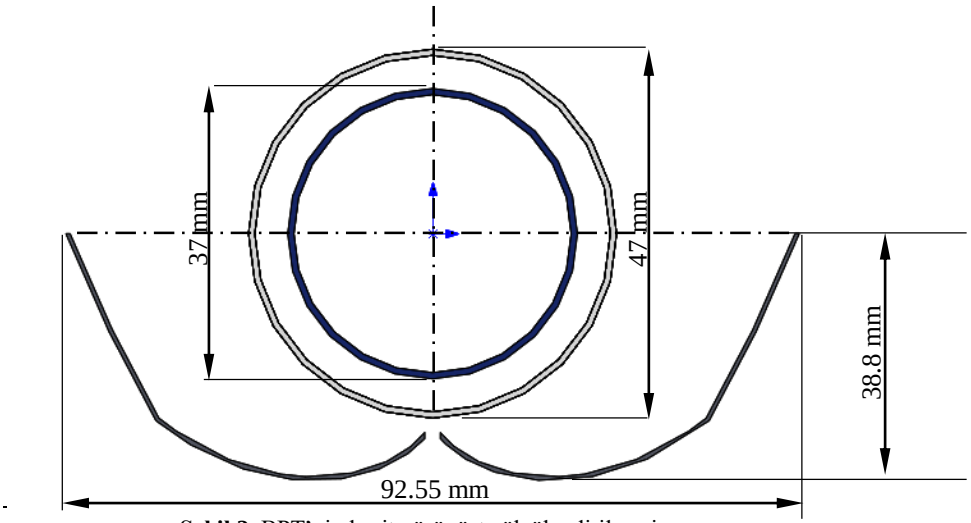
2.1 BPT Tasarımı

Tasarlanan BPT güneş ışınlarının toplandığı ısı borulu bir vakumlu tüp ve ışınların bu tüpe yönlendirildiği yansıtıcı yüzeylerden oluşmaktadır. BPT'nin yansıtıcı yüzeyi, toplayıcının eksenine göre simetrik olarak yerleştirilmiş iki farklı parabolik yansıtıcıdan ve aradaki involütten oluşur. Şekil 1'de görüldüğü üzere, A parabolünün odak noktası A´, B parabolünün odak noktası ise B´'dür. A parabolüne (θ) kabul yarım açısı ile gelen güneş ışınları A´ noktasına, daha küçük açı ile gelenler ise A´-B´ doğrultusuna yönlenmektedirler. Güneşin gökyüzünde diğer yöne dönmesi ile B parabolüne gelen ışınlar aynı şekilde içeri doğru yönlendirilirler. A´- B´ odak noktaları arasına yönlenen bu ışınlar, araya yerleştirilmiş olan ısı borulu vakum tüpün yutucu yüzeyine gelerek burada soğurulmaktadır. Geliş açısının sıfır ve sıfıra yakın değerlerinde düşeye yakın doğrultularda gelen güneş ışınları ise involüt yüzey üzerinden yansıtılarak yutucuya yönlendirilir. Bunun haricinde, kabul yarım açısından daha büyük geliş açısına sahip ışınlar yutucu üzerine düşmeden karşı yansıtıcı yüzeye ve buradan da dışarı yansımaktadırlar.



Şekil 1. Bütünleşik parabolik toplayıcı tasarım geometrisi.

BPT'lerde kullanılan yansıtıcı kanatlar tasarlandıkları yükseklikte üretilmezler. Bunun sebebi ise kanat yüksekliğinin geliş açısının yüksek olduğu sabah ve öğleden sonra saatlerinde gelen güneş ışınlarının yutucuda toplanmasını engellemesidir. Yaman ve Küçüka (2018) yaptıkları çalışmada, kanat yüksekliğini kısaltmanın gün boyu toplam enerji üretimine katkı sağladığını göstermişlerdir. Bunun yanısıra, kanat yüksekliğinin kısaltılması yansıtıcı malzemeden tasarruf edilmesine ve üretim maliyetinin azaltılmasına katkı sağlar. Bu çalışmada kullanılan yansıtıcı kabul açısı 30° alınarak tasarlanmış ve yutucu borunun yatay ekseninden kesilmiştir. Tasarım ölçüleri şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. BPT'nin kesit görünüşte ölçülendirilmesi.

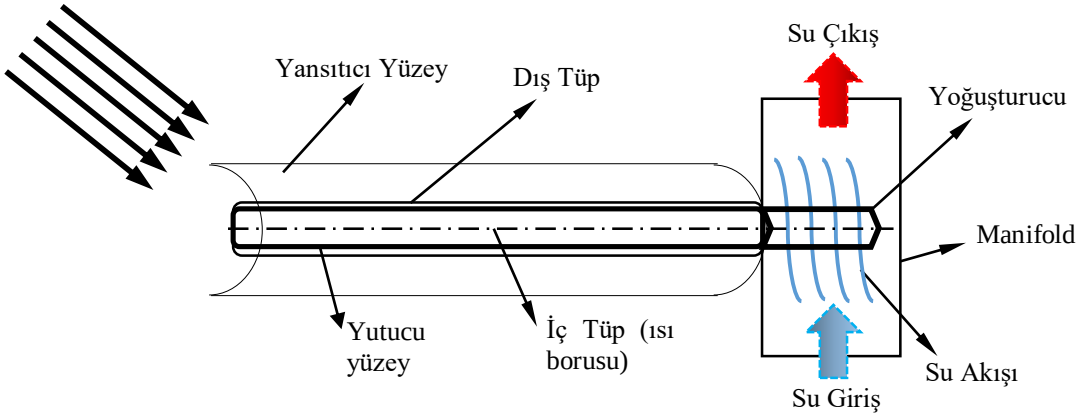
2.2 Isı Borulu Vakum Tüp ve Bütünleşik Parabolik Yansıtıcı

Isı borulu vakumlu tüp, geleneksel vakumlu tüpler gibi iç içe geçmiş iki ayrı cam tüpten oluşmaktadır. İki cam tüpün iç içe geçirilmesi ve arada kalan boşluktaki havanın vakumlanmasıyla doğal bir yalıtım oluşturulur. İçteki cam borunun dış kısmı Al/Cu-SS ile kaplanarak kısa dalga boylu ışınıma karşı yutma katsayısı yüksek ve uzun dalga boylu ışınım için yayınım katsayısı düşük olan seçici bir yüzey oluşturulur.

Çalışmada yansıtıcı yüzeyler olarak anodize edilmiş alüminyum kullanılmıştır. Metal yüzeylerin elektriksel oksidasyonuna anodizasyon denir. Mevcut alüminyum yüzeyi elektrokimyasal bir işlemle alüminyum okside (Al_2O_3) dönüştürülür. Anodizasyon sayesinde en üst seviyede dayanım ve yansıtıcılık elde edilmektedir. Anodize olmayan alüminyumun yüzeyi ise zamanla oksitlenerek parlaklığı azalmakta ve optik özdeşliği bozulmaktadır.

Geleneksel vakum tüplü toplayıcılardan farklı olarak, bu çalışmada kullanılan yutucu iç cam tüpün çıkış ağzı kapatılmış ve ısı borusu olarak tasarlanmıştır. Kullanılan

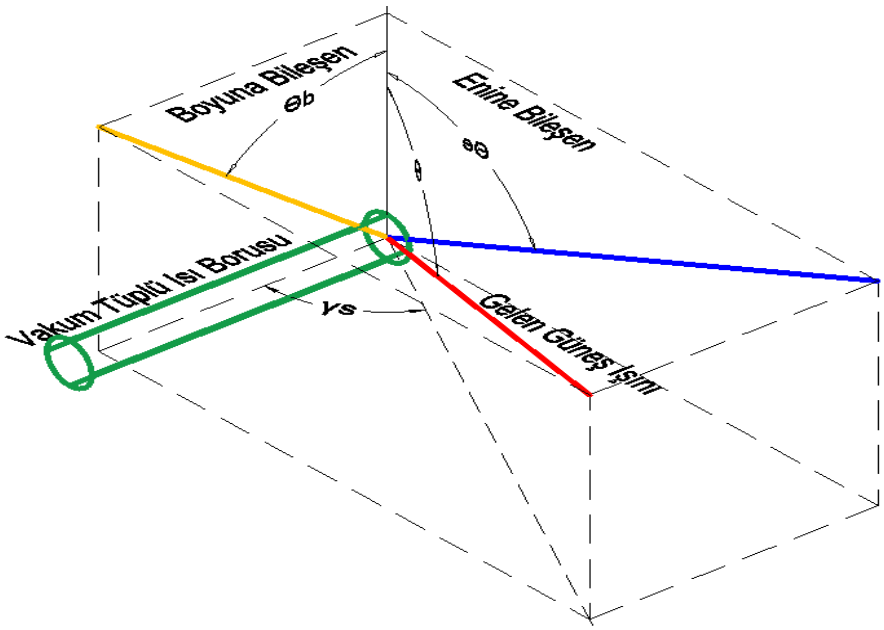
ısı borulu tüpte çalışma akışkanı olarak etil alkol karışımı kullanılmaktadır. Cam tüpün vakum borudan dışarıya doğru uzatılmış kısmı etrafında ısıtılacak olan akışkan (su) dolaştırılarak, ısı borusu içindeki akışkanın yoğuşması sağlanmaktadır. Yansıtıcı ve toplayıcı yüzeylerin ve ısı borusunun yerleşimi Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Bütünleşik parabolik yansıtıcılı ısı borulu vakum tüp.

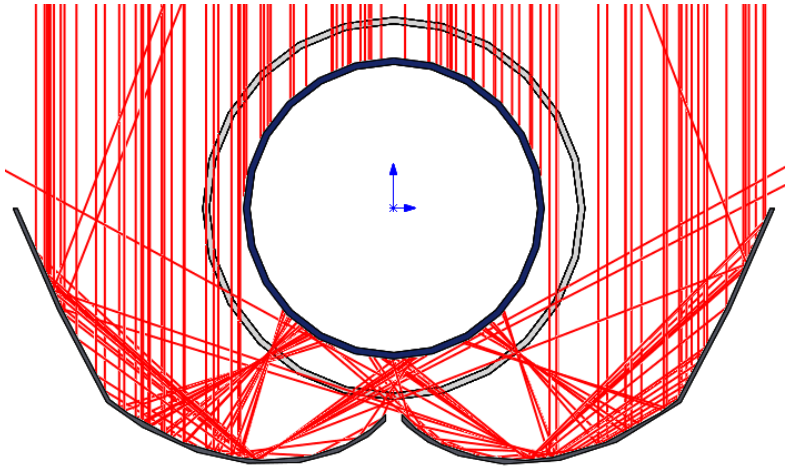
2.3 Optik Analiz

Işın analizi yapılarak, yansıtıcıya gelen güneş ışınımlarının yolunun izlenmesi ve malzemelerin yansıtma, geçirme ve yutma katsayılarına göre yutucuda toplanan güneş enerjisinin miktarının hesaplanması sağlanır. Bir yüzeye gelen ışının izlediği yol, geliş açısı ile değişmektedir. Geliş açısı, bir yüzeye gelen ışın ile yüzeyin normali arasındaki açıdır. Dünya'ya gelen güneş ışınları sabah ve akşamları yataya yakın açıda, öğlen saatlerinde ise daha dik bir açı ile gelmektedir. Geliş açısının toplayıcı yüzeyin eksenine paralel ve dik yönde iki farklı bileşeni bulunmakta olup, iki boyutlu ışın analizi için enine bileşenin kullanılması gerekmektedir. (Şekil 4).



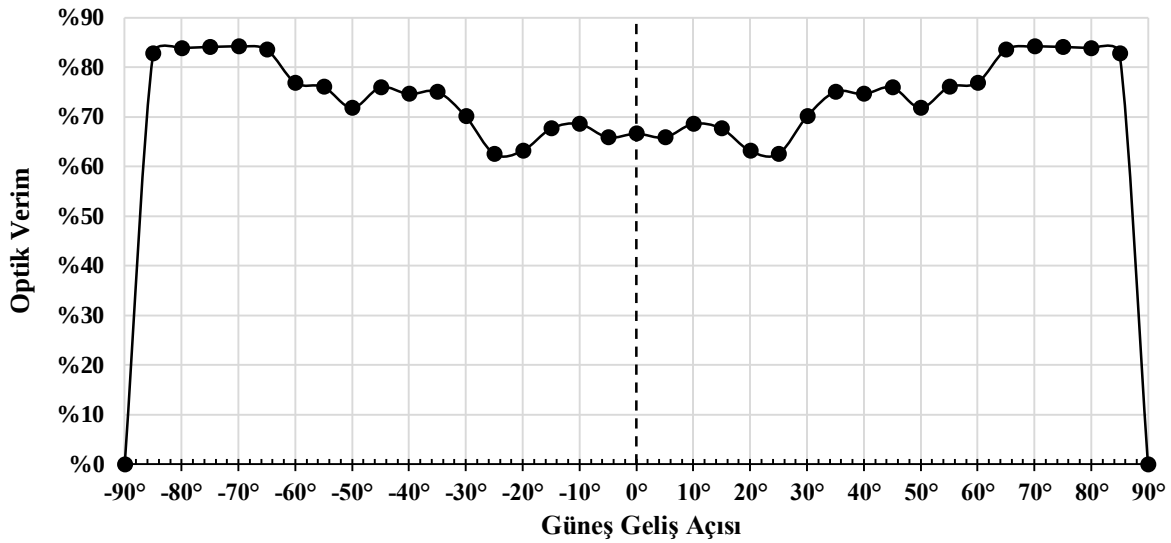
Şekil 4. Güneş geliş açısının enine ve boyuna bileşenleri.

Optik analiz TracePro ışın analiz programının 7.8. sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Işın yollarının bir örneği geliş açısının 0° olduğu durum için gösterişmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Geliş açısısının 0° olması durumundaki ışın simülasyonu.

Yapılan analizde, tasarımı yapılan toplayıcının yansıtıcı, geçirgen ve yutucu yüzeylerinin optik özellikleri girilerek (yansıtma, geçirme ve yutma katsayıları) sanal güneş ışınlarının yolu izlenmiştir. Yazılımda, yutma katsayısı 0.925, yansıtma katsayısı 0.80 ve camın geçirme katsayısı 0.90 olarak girilmiştir. Işınların geliş açısı değiştirilerek, güneş ışınlarının simülasyonu yapılmış ve optik verim belirlenmiştir.



Şekil 6. BPT optik veriminin geliş açısına bağlı değişimi.

Eş. (1)'de güneş toplayıcısının günün farklı saatlerinde ve farklı aylarda üretebileceği faydalı enerji optik verimin kullanılması ile hesaplanabilir.

$$E_{gün} = \sum_{gün} I_{ışınım} \cdot A_{yüzey} \cdot \eta_{\theta_T} \cdot \Delta t \qquad (1)$$

η_{θ_T} ile optik verim ifade edilmekte olup; verimin değerinin belirlenmesinde yutma, yansıtma ve camın geçirme katsayıları doğrudan etkili olmaktadır.

2.4 Deney Düzeneği

Şekil 7'de görüldüğü üzere, test yapılan güneş enerjisi toplayıcısı paralel bağlanmış 7 adet BPT'den oluşmaktadır. Her bir BPT, yansıtıcı bir yüzey ve ışınımın yönlendirildiği vakum tüplü bir ısı borusundan oluşmaktadır. Vakumlu tüp dış boru dış çapı 47 mm, iç boru dış çapı 37 mm'dir. Isı borusu olarak kullanılan iç borunun toplam uzunluğu 1930 mm olup, 130 mm'si yoğuşturucu ve 1800 mm'si buharlaştırıcı kısımlarıdır. Deney düzeneği İzmir Buca'da Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'ne kurulmuştur.

Toplayıcının azimut açısı (γ_s) 0°'dir. Toplayıcının eğimi mevsime göre ayarlanabilmektedir ve deneyler 23° eğimde yapılmıştır. Gelen güneş ışınımı şiddeti anlık olarak toplayıcıyla aynı eğime yerleştirilen bir piranometre ile ölçülmektedir. Panel girişinde ve çıkışında, panel üzerindeki su ısıtılan manifold içinde eşit aralıkta 4 ayrı noktada ve dış ortamda olmak üzere toplam 7 farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınmaktadır.



Şekil 7. BPT deney düzeneği.

Deneylerde düzgün debili bir akış elde etmek üzere su dolaşımı toplayıcının 1 m üzerinde bulunan küçük bir besleme tankı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bir sabit sıcaklık banyosundan besleme tankına su gönderilmiş, çıkış debisi bir ayar vanasıyla ayarlanarak yer çekimi etkisiyle doğal akış sağlanmıştır. Deneylerde su debisi 0.22 L/dk ile 1.55 L/dk arasında değiştirilmiş ve su giriş çıkış sıcaklık farkı yaklaşık 2°C~25°C arasında gerçekleşmiştir. Panele gelen anlık güneş ışınımı gücü Eş. (2)'de ve suya aktarılan enerji ise Eş. (3)'te verilmiştir.

$$\dot{P}_{güneş} = I_{ışınım} \cdot A_{yüzey} \tag{2}$$

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{su} \cdot c_{p,su} \cdot \left(T_{su,çıkış} - T_{su,giriş}\right) \tag{3}$$

Işınım şiddetinin ve suya aktarılan enerjinin bilinmesi ile BPT panelin ısıl verimi Eş. (4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\eta_{BPT} = \frac{\dot{Q}_{su}}{\dot{P}_{güneş}} \tag{4}$$

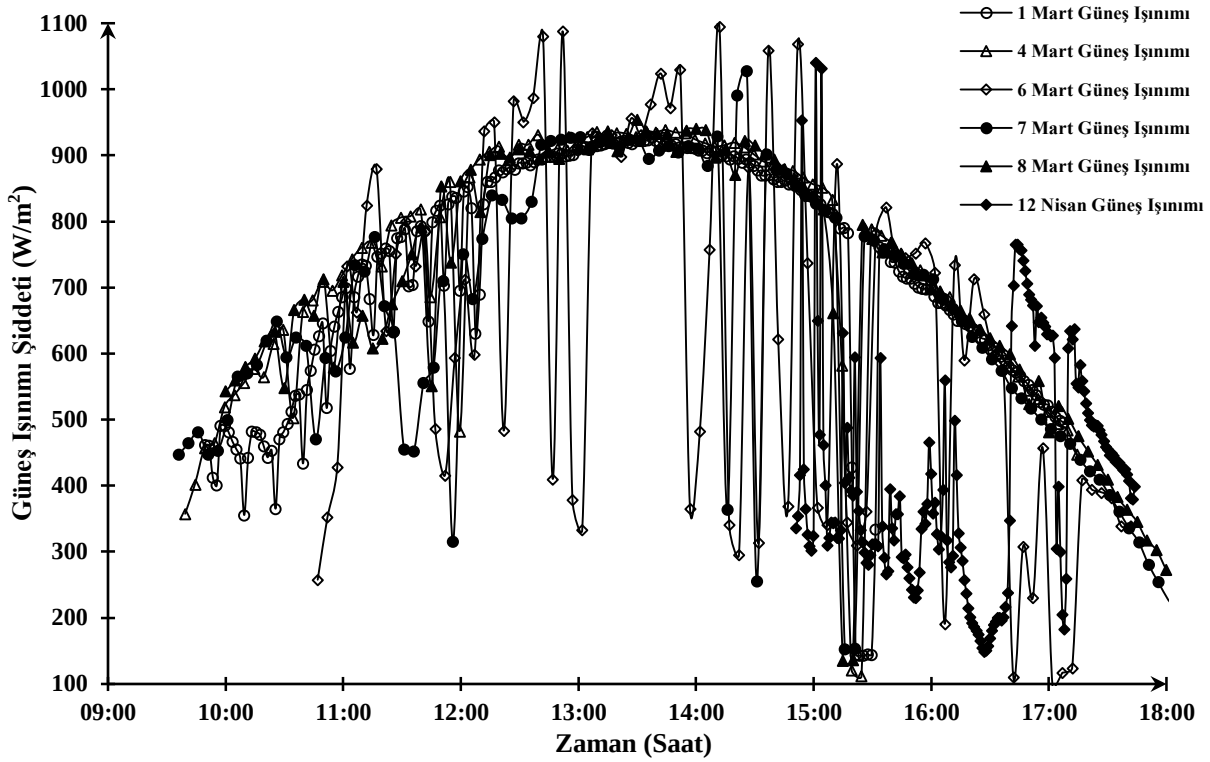
Sıcaklık ölçümleri Agilent 34972A model veri kaydediciye bağlı ±0.5°C belirsizlik ile çalışan T tipi ısılçift kullanılarak ölçülmüştür. Işınım şiddeti, LP Silicon PYRA-04 model ışınımölçer ile ölçülmektedir. Ölçüm belirsizliği okunan değerin %3'üdür. Debi ölçümü sabit hacimli beher kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hacim ölçümündeki belirsizlik 5 mL, dolum süresi belirsizliği 0.5 s'dir. Gao vd. (2014) çalışmalarında Eş. (5) ile belirsizlik analizinde kullanılacak genel ifadeyi vermişlerdir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3\right)^2\right]^{1/2} \tag{5}$$

Eş. (5) kullanılarak, Eş. (3)'teki suya aktarılan enerjinin hesaplanmasındaki belirsizlik %14.1, panel veriminin hesaplanmasındaki belirsizlik %5.0 olarak hesaplanmıştır.

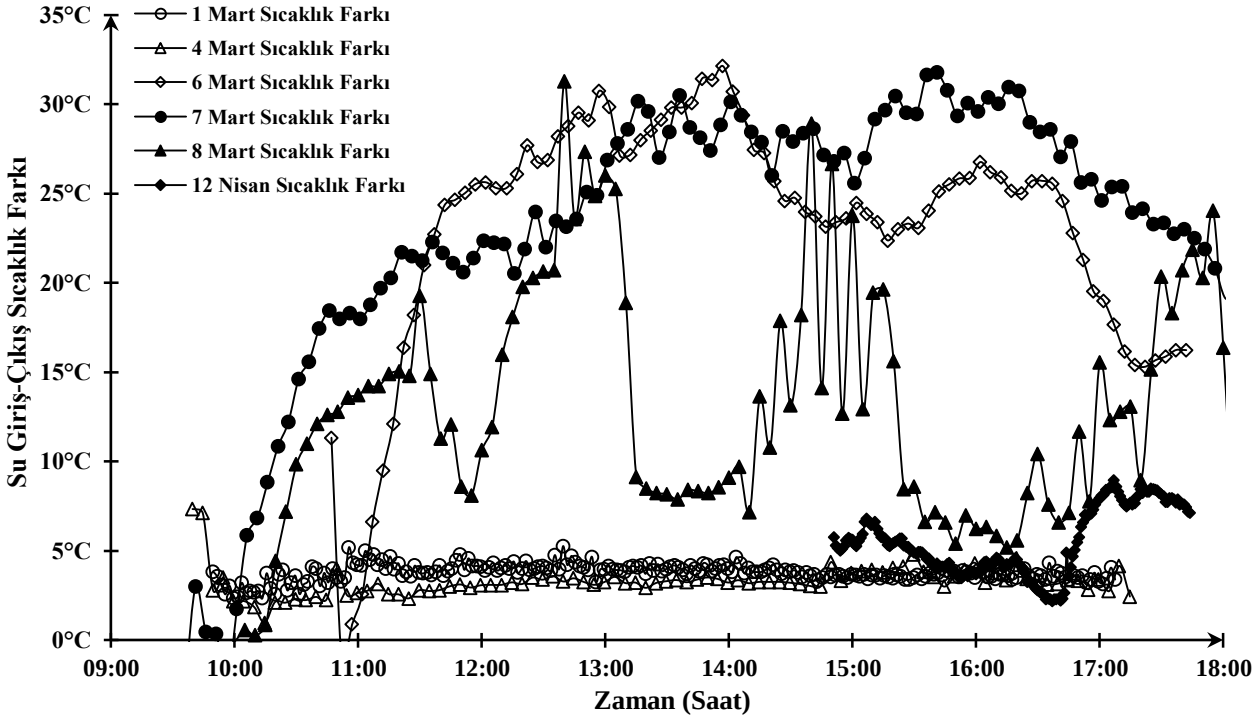
2.5 Deneyler

Deneyler 1 Mart, 4 Mart, 6 Mart, 7 Mart, 8 Mart ve 12 Nisan tarihlerinde tekrarlanarak toplayıcının verimi incelenmiştir. Deneyler sırasıyla 440 dakika, 460 dakika, 420 dakika, 525 dakika, 495 dakika ve 174 dakika boyunca sürdürülmüştür. Panel yüzeyine dik yönde etki eden güneş ışınımının deneyler sırasındaki değişimleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yağmur ve bulut gölgelenmesi gibi etmenler nedeniyle ışınım şiddeti dalgalı bir durumdadır. Deney sürelerindeki ortalama ışınım şiddetleri sırasıyla 724 W/m^2, 739 W/m^2, 629 W/m^2, 644 W/m^2, 700 W/m^2 ve 410 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



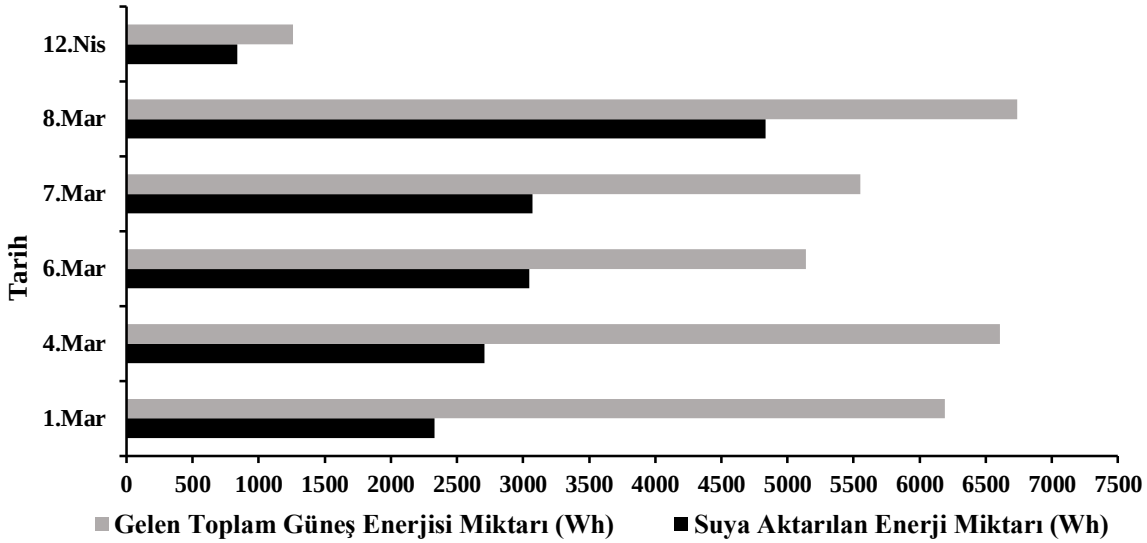
Şekil 8. Güneş ışınımının deneyler sırasındaki değişimi.

Deneylerde su debileri 1.2 L/dk, 1.55 L/dk, 0.27 L/dk, 0.22 L/dk, 0.65 L/dk ve 0.75 L/dk olarak ayarlanmıştır. Su giriş sıcaklığı yaklaşık olarak 40°C~50°C arasında tutulmuştur. Su çıkış sıcaklığı güneş ışınımı şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Su giriş-çıkış sıcaklık farkları Şekil 9'da gösterildiği gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Bütünleşik parabolik toplayıcı su giriş-çıkış sıcaklık farklarının gün içinde değişimi.

Yüzeye gelen toplam güneş ışınımı miktarı ve suya aktarılan toplam enerji miktarı her bir deney için ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 10'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Deneylerde gelen toplam güneş enerjisi miktarları sırasıyla 6189 Wh, 6609 Wh, 5139 Wh, 5553 Wh, 6736 Wh ve 1259 Wh'tir. Suya aktarılan enerji miktarları ise 2329 Wh, 2708 Wh, 3047 Wh, 3069 Wh, 4833 Wh ve 836 Wh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Toplam gelen güneş ışınımı miktarı ve toplam suya aktarılan enerji miktarı.

Buna göre yapılan deneylerde panelin ısıl verimi sırası ile %37.6, %41.3, %59.3, %55.3, %71.8 ve %66.4 olmaktadır. Tüm deneyler göz önüne alındığında, ortalama ısıl verim %55.2'dir. Görüldüğü üzere, deneyler birbirini takip eden günlerde yapılmasına rağmen ısıl verimlerde önemli ölçüde farklılıklar vardır. Bunun bir sebebi deney günlerinde atmosferin bulutlu olması ve ışınım şiddetinin değişkenliğidir. Diğer sebep ise, deneylerde ortalama su sıcaklığının ve çevreye taşınım ve ışınımla gerçekleşen ısı kayıplarının değişmesidir. İleriki çalışmalarda, deneylerin benzer şartlarda tekrarlanması ile bu kayıplar ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Genel olarak elde edilen enerji miktarı ışınım şiddetine bağlı olarak artış göstermektedir.

3.SONUÇ

Vakum tüplü toplayıcı kullanılan bir BPT panelin tasarım ve üretimi yapılmıştır. Işın analizi yapılarak panelin optik analizi yapılmış ve optik verim hesaplanmıştır. Kullanılan vakum tüplü toplayıcı ısı borusu yapısındadır. Bu şekilde, panelin içindeki su hacmi azaltılarak kısa sürede devreye alınabilmesi sağlanmıştır. Işınım şiddeti ve su giriş çıkış sıcaklıklarının ölçülmesi ile toplayıcı verimi hesaplanmıştır. Farklı çalışma şartlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, sıcak su üretimi ortalama verimi %37.6 ile %71.8 arasında değişmiştir. Devam eden çalışmalarda, deneysel çalışmaların modellenmesi ile ısıl kayıpların analizi yapılacak, ayrıca açık ve güneşli bir günde yansıtıcılı ve yansıtıcısız toplayıcı performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Güneş enerjisi ile ilgili güncel araştırma konuları arasında olan bütünleşik parabolik toplayıcıların ve ısı borulu toplayıcıların güneş enerjili sıcak su üretimindeki payının artması beklenmektedir.

4. SEMBOLLER

$A_{yüzey}$	toplayıcı yüzey alanı [m^2]
α_{yutma}	yutma katsayısı [birimsiz]
$c_{p,su}$	suyun özgül ısısı [kJ/kgK]
Δt	zaman [saniye]
$E_{gün}$	günlük toplam enerji üretimi [Wh]
$\eta_{\theta T}$	güneş geliş açısına bağlı optik verim [%]
η_{BPT}	BPT panelin ısıl verimi [%]
γ_s	yüzey azimut açısı [°]
$I_{ışınım}$	güneş ışınımı şiddeti [W/m^2]
$\dot{m}_{su}$	kütlesel debi [kg/s]
n	bağımsız değişken sayısı
$\dot{P}_{güneş}$	güneş ışınımı anlık gücü [W]
R	Ölçümü yapılan boyut
$\dot{Q}_{su}$	suya geçen enerji miktarı [Wh]
$\rho_{yansıtma}$	yansıtma katsayısı [birimsiz]
$\tau_{geçirme}$	geçirme katsayısı [birimsiz]
$T_{su,giriş}$	suyun manifolda giriş sıcaklığı [°C]
$T_{su,çıkış}$	suyun manifoldtan çıkış sıcaklığı [°C]
w_n	bağımsız değişkenle ilgili hata oranı
W_R	toplam hata oranı
x_n	ölçümü etkileyen sapma

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi 2017.KB.FEN.020 numaralı "Bütünleşik Parabolik Güneşli Toplayıcıların Performans Değerlendirmesi" isimli Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında sürdürülmektedir. Yazarlar destek ve katkılarından ötürü Dokuz Eylül Üniversitesi'ne, deney düzeneğini üreten Sistem Enerji San. Tic. Ltd. Şti.'ye ve TracePro yazılımının ücretsiz deneme sürümünü sağlayan Lambrades Research Corporation'a teşekkür ederler.

6.KAYNAKLAR

Gao, Y., Fan, R., Zhang, X. Y., AN, Y. J., Wang, M. X., Gao, Y. K., & Yu, Y. (2014). Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector. *Solar Energy*, *107*, 714–727. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2014.05.023

Liu, Z., Tao, G., Lu, L., & Wang, Q. (2014). A novel all-glass evacuated tubular solar steam generator with simplified CPC. *Energy Conversion and Management*, *86*,175–185. https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2014.04.099

Pei, G., Li, G., Zhou, X., Ji, J., & Su, Y. (2012). 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*(4), 911-924.

Pradhan, D., Mitra, D., & Neogi, S. (2015). Thermal Performance of a Heat Pipe Embedded Evacuated Tube Collector in a Compound Parabolic Concentrator. *Energy Procedia*, *90*(December 2015), 217–226. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.188

Rabl, A. (1976). Comparison of solar concentrators. *Solar Energy*, *18*(2), 93–111. https://doi.org/10.1016/0038-092X(76)90043-8

Singh, H., Redpath, D. A. G., Aboutorabi, A., Kattakayam, T. A., & Griffiths, P. W. (2010). Optimum configuration of compound parabolic concentrator (CPC) solar water heater types for dwellings situated in the northern maritime climate. *International Journal of Ambient Energy*, *31*(1), 47–52. https://doi.org/10.1080/01430750.2010.9675807

Wang, P.-Y., Guan, H.-Y., Liu, Z.-H., Wang, G.-S., Zhao, F., & 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. https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2013.08.019

Yadav, A., Saraswat, A. (2016). 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, 10(5).

Yaman, P., & Küçüka, S. (2018). Bütünleşik Parabolik Toplayıcı Tasarımı ve Optik Performansının Değerlendirilmesi. In *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu* (pp. 2025–2034). Edirne.

7.ÖZGEÇMİŞLER



Paşa YAMAN

Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisidir. Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden 2016 yılında mezun olmuştur. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği'nde araştırma görevlisidir. İlgi alanı güneş enerjisi sistemleridir.



Azat SERVER

Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisidir. 2013 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Bursa'da Ermaksan firmasında 2013-2015 yılları arasında Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmıştır. İlgi alanları fiber lazer, lazer diyot ve güneş enerjisidir.



Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda öğretim üyesidir. Çalışma alanları soğutma sistemleri, kurutma, jeotermal enerji ve güneş enerjisi sistemleridir.