

BÜTÜNLEŞİK PARABOLİK TOPLAYICI İLE GELENEKSEL VAKUM TÜPÜN YILLIK OPTİK PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

Arş. Gör. Paşa YAMAN*, Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA**

*Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Kayalı Yerleşkesi, 39100, Merkez, Kırklareli, pasa.yaman@klu.edu.tr

**Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, serhan.kucuka@deu.edu.tr

BÜTÜNLEŞİK PARABOLİK TOPLAYICI İLE GELENEKSEL VAKUM TÜPÜN YILLIK OPTİK PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

Özet: Bütünleşik parabolik toplayıcılar (BPT), güneş takip sistemi bulunmayan ve kurulum maliyeti çok az olan basit sistemlerdir. BPT'lerde bir yutucu yüzey ve etrafında gelen ışınımı yutucu yüzey üzerinde farklı noktalara yönlendiren bir yansıtıcı yüzey bulunur. Işınların tek bir noktaya odaklanmamasından dolayı güneş takip sistemleri kullanıma zorunluluğu olmaz. Toplayıcı yüzey silindirik olabileceği gibi, düzlemsel bir yüzey de kullanılabilir. BPT'ler ile 200°C sıcaklıklara kadar sıcak akışkan elde edilebilir. Bu çalışmada, vakum cam tüplü toplayıcı yüzey kullanılan bir BPT tasarımı yapılmıştır. Işın analizi uygulanarak farklı güneş geliş açılarında optik verimi elde edilmiştir. Güneş ışını geliş açısı ve ışınım şiddetinin gün boyu değişimi kullanılarak toplayıcıda yutulan günlük toplam enerji hesaplanmıştır. Hesaplamalar her ay için tekrarlanarak yıllık enerji projeksiyonu çıkarılmış ve yansıtıcı yüzey kullanılmayan vakum tüplü toplayıcı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tasarımı yapılan BPT'li toplayıcının yıllık enerji toplama kapasitesinin yansıtıcısız vakum tüplü toplayıcının 2.3 misli mertebesinde olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik parabolik toplayıcı, yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi, vakum tüp, optik verim.

Abstract: Compound parabolic concentrators (CPC) are the systems that has not a sun tracking system and lower installation cost. CPC's have an absorber surface and a reflector surface which concentrates the solar irradiation in its surroundings to different points on the absorber. Concentration of sun rays is not occurred on a single point, so that a sun tracking system is not an obligation. A circular surface can be used as absorber, as well as a flat surface. A temperature of 200°C can be reached by CPC's. In this study, a CPC with vacuum glass tube as absorber was designed. Optical efficiency was obtained by applying ray analysis at different incident angles. Using the daily variation of incident angle of sun ray and solar irradiation total, total absorbed energy was calculated. Calculations were repeated for all months and the total energy projection for a year made; and it was compared with vacuum tube without the reflector surface. The results showed that the designed CPC has an annual energy collection capacity of as much 2.3 times as the vacuum tube without reflector surface.

Keywords: Compound parabolic concentrator, concentrated solar power, vacuum tube, optical efficiency.

GİRİŞ

Geleneksel yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (parabolik oluk tip, fresnel ayna ve güneş kulesi yoğunlaştırucular) 300°C'den yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Kurulumlarının ve işletmelerinin maliyetli olması nedeniyle evsel olarak uygulama fırsatı bulamamaktadırlar. Bu sistemlerin maliyetli olmasının bir nedeni güneşi takip eden mekanizmalar içermeleridir. Bu mekanizmalar bir yandan sistemin ilk kurulum maliyetini arttırırken, diğer yandan işletme ve bakım zorluğu getirmektedirler. Bütünleşik parabolik toplayıcılar (BPT) ise, yansıtıcı kanatlar ve yutucu borulardan oluşan basit yapıları evsel kullanıma uygun sistemlerdir. BPT'ler 80°C-90°C'de sıcak su veya 150°C~200°C sıcak akışkan elde etmede kullanılarak yüksek sıcaklıklarda su ihtiyacını giderebilecek birçok alanda uygulanabilirler.

Dairesel kesitli yutucu kullanılan BPT'lerde yansıtıcı yüzeyler yanlarda parabolik kanatlardan, alt kısımda da düşey doğrultuda gelen ışınları üzerindeki daireysel yüzeye yönlendiren involüt (evolvent) yüzeyden oluşur. Bu yapı sayesinde yansıtıcı kanatlara düşmeyen veya farklı açılardan gelerek yutucu yüzeyin arkasına geçen ışınlar involütten yutucuya doğru geri yansıtılırlar.

Düşük yoğunlaştırıcı toplayıcılar arasında olan BPT'ler, 1~10 arasında değişen yoğunlaştırma oranına sahiptirler. Bir güneş toplayıcısı ne kadar yüksek yoğunlaştırma oranına sahipse, o kadar yüksek sıcaklarda akışkan elde etmede kullanılabilir. Dairesel yutuculu BPT'ler su ısıtmada ve düzlemsel yutuculu BPT'ler ise hava ısıtılmasında en çok tercih edilen tiplerdir. Dairesel yutuculara vakum tüp ve ısı borusu örnek verilebilirken düzlemsel yutucuya düz hava kanalları örnek verilebilir. Sıcak akışkan eldesinde kullanılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Wang ve ark., endüstriyel üretimde kullanmak üzere 150°C -200°C'de hava ısıtmak için vakum tüplü BPT'li bir sistem hazırlanmıştır [1]. Sistem 30 güneş toplayıcısından oluşmakta ve bir kompresör ile sisteme sabit sıcaklıkta hava basılmaktadır. Yansıtma, yutma ve geçirme katsayıları göz önüne alındığında sistemin %51'lik bir optik verime sahip olduğu çıkarımı yapılmıştır. İnvolüte sahip BPT'lerin düzlemsel yutuculu BPT'lere göre %15 daha az yoğunlaştırma verimine sahip olduğu dile getirilmiştir. Kullanılan toplayıcı sayısının en yüksek çıkış sıcaklığını etkilemediğini sadece havanın kütleli debisini ve çıkış gücünü etkilediğini belirtmişlerdir. Öğlen vakti 920 W/m²'lik ışınım şiddetinde 30. güneş toplayıcı çıkışında elde edilen hava sıcaklığı 230°C'dir. Öğleden sonra ışınım şiddetinin azalmasından dolayı elde edilen hava sıcaklığı hızla düşmüştür. Öğle saatlerinde 3 saat boyunca 160°C'de sıcak hava elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre kışın bile sistem iyi performans göstermiştir. Isıl verimlilik çıkış sıcaklığı arttıkça düşmüş ve 70°C'de %52, 150°C'de %35 ve 220°C'de %21 olarak gerçekleşmiştir.

Gudekar ve ark., buhar üretimi için bir BPT modeli geliştirmişlerdir [2]. Çalışma mantığının anlaşılması için BPT'ler birkaç farklı tipte (boyu kısaltılmış, kısaltılmamış) üretilmiş, su ısıtmada ve buhar üretiminde kullanılabilirlikleri gözlemlenmiştir. 6°'lik kabul açısına sahip bir BPT üretilip eğim ayarlaması gınaşırı tekrarlanmış ve 150°C'de buhar üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. İki sıra halinde olacak şekilde 30 güneş toplayıcısı kullanılmış ve 60 m²'lik bir açıklık alanı elde edilmiştir. Kurulan bir ana manifold ile su dağıtımı yapılmıştır. Toplayıcılarda üretilen ıslak buhar bir kazanda toplanmış ve buhar ayrılmıştır. Nisan ayında yapılan deneylerde, sistem 100°C'ye 1 saat 50 dakikada ulaşmış ve kütleli debi 7 kg/h ile başlayıp 10 kg/h'ye yükseltilmiştir. Deney süresince güneş ışınımı şiddeti 700 W/m² olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak modellenen sistemin üretimi kolay ve buhar üretimi için kullanılabilir bir sistem olduğu görülmüştür.

Buttinger ve ark., 1.8 yoğunlaştırma oranına sahip düzlemsel bir BPT üzerinde çalışmışlardır [3]. Toplayıcı doğu-batı düzleminde yerleştirilmiş ve yansıtıcı ile yutucu yüzeylerden oluşmaktadır. Yansıtıcının alt kısmı V şeklinde tasarlanarak yansıyan güneş ışınları kaybının azaltılması sağlanmıştır. Yıllık yüksek enerji kazancı için uygun bir kabul açısı ve yoğunlaştırma oranı seçmek için bir çalışma yürütülmüştür. Deneysel çalışmada, güneş toplayıcısının içi 10 mbar basınç altında sırasıyla hava, argon ve kripton gazıyla doldurulmuştur. Toplayıcı içindeki düşük basınç iletim ve taşınım ile olan ısı kayıplarını azaltmaktadır. 10 mbar'da ısı kayıplar 1 bar'lık basınca göre hava ile %50, kripton gazı ile %75'e kadar azalmıştır. Sızdırmazlık 10 yıl boyunca bozulmayacak şekilde yapılmıştır.

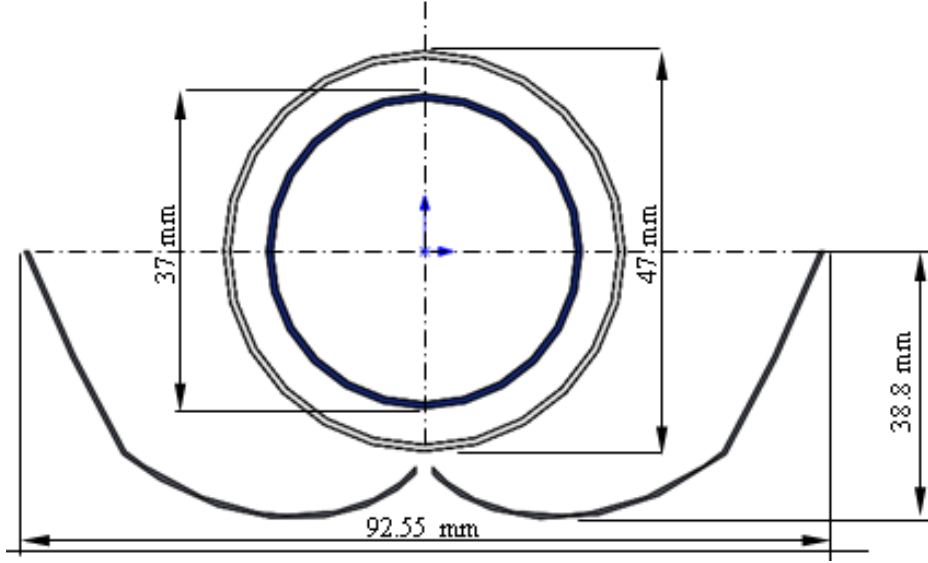
Münih'te yazın test edilen prototip 2 m²'lik bir açıklık alanına sahiptir. 1000 W/m²'lik ışınım altında 150°C'lik sıcaklıkta akışkan üretiminde kripton gazı ile %50, hava ile %40 verim elde edilmiştir.

Aguilar-Jimenez ve ark., eşmerkezli tüplerin yatayda doğu-batı konumunda ve 32°'lik eğim açısıyla kuzey-güney konumlarında yerleştirildiği bir çalışma yapmışlardır [4]. Kabul açısı 24.3°, yoğunlaştırma oranı 2.22 ve BPT'nin uzunluğu 2 m olarak ayarlanmıştır. Yansıtıcı alüminyumdan, saydam kısım polikarbonattan, yutucu seçici yüzeyli bakırdan ve en içteki tüp de bakırdan yapılmıştır. Deneyleri gerçekleştirmek üzere iki toplayıcı seti üretilmiştir. Kuzey-güney yerleşimde 1.76°C ve doğu-batı yerleşimde ise 2.19°C'lik bir ortalama sıcaklık farkı çıkmıştır. 2.4 kg/dk'lık debi ile kuzey-güney yerleştirilen BPT en çok 6°C'lik bir sıcaklık farkı elde ederken, doğu-batı yerleştirilen BPT 6.2 kg/dk'lık debi ile en çok 5.5°C'lik bir sıcaklık farkı elde edebilmiştir. Kuzey-güney yerleştirilen BPT'nin ortalama 980 W/m²'lik ışınımında verimi %36 ve ısı kazanımı 793 W, doğu-batı yerleştirilen BPT'nin ortalama 980 W/m²'lik ışınımında verimi %34 ve ısı kazanımı 742 W'tır. Sonuçlar doğu-batı yerleştirilen BPT'nin %57.5, kuzey-güney yerleştirilen BPT'nin %51.3 optik verime sahip olduğunu göstermişlerdir. Isıl kayıplar ise doğu-batı yerleştirilen BPT'de daha fazladır. Verimlilik, ısıl kayıplar ve ulaşılabilen en yüksek sıcaklığın güneş geliş açısına ve akışlar dinamiğine bağlı olduğu belirtilmiştir.

BPT'NİN TASARIMI VE OPTİK ANALİZ

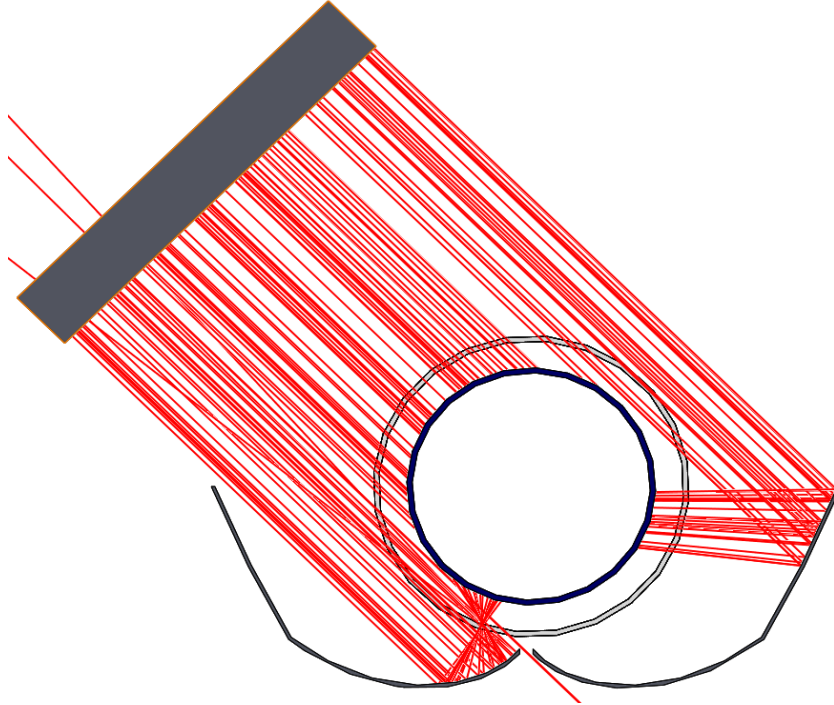
Vakum tüp, iç içe eş eksenli olarak yerleştirilen iki borosilikat cam borudan oluşmaktadır. İç cam borunun üzerine Al-N/Al ile seçici yüzey kaplaması yapılmıştır. Farklı çaplarda üretilmekle birlikte tasarımda kullanılan, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan 37 mm iç çap ve 47 mm dış çapa sahip olanıdır. Camların et kalınlığı 1.3 mm'dir. Vakum tüp uzunluğu 1800 mm kabul edilmiştir.

Özellikleri verilen vakum tüpün yutucu olarak kullanıldığı ve 30°'lik kabul yarım açısına sahip BPT tasarımı yapılmıştır. Yaman ve ark., yaptıkları çalışmada BPT'nin tasarım esaslarını vermişlerdir [5]. BPT'lerin ön tasarımında kanat yüksekliği kabul açısına bağlı olarak yutucu tüp çapının ~8 katına kadar yükselebilir. Bu durum, sabah ve akşam saatlerinde yansıtıcının kendi içerisinde gölge yapmasına neden olmakta ve verimi düşürmektedir. Yansıtıcı boyu kısaldığında çok küçük ve çok büyük açılarda gelen güneş ışınlarının yutucuda toplanma ihtimali artmaktadır. Yaman ve Küçüka, önceki çalışmalarında farklı yansıtıcı boylarına sahip BPT'lerde toplanan ışınım miktarlarının karşılaştırmasını yapmışlardır [6]. Çalışılan sınırlar içerisinde BPT yansıtıcı kanat boyunun kısaltılmasının enerji toplama kapasitesini arttırdığını göstermişlerdir. Bu çalışmada esas alınan tasarımda BPT geleneksel durumuna göre %87 kısaltılarak kanat yüksekliği toplayıcı boru ekseninde bırakılmıştır (Şekil-1).



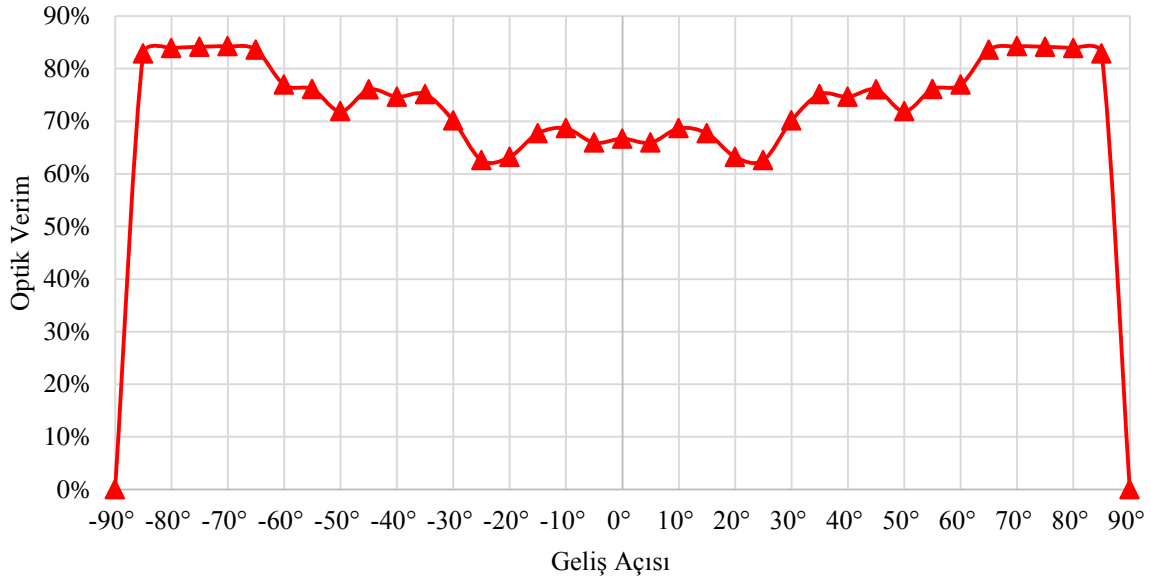
Şekil 1. BPT önden görünüşü ve ölçüleri.

Tasarlanan BPT, öncelikle üç boyutlu olarak SolidWorks'te modellenmiş ve RayViz programı kullanılarak belli açılarda gelen güneş ışınlarının izlediği yol gözlenmiştir. 45° açı için elde edilen ışın yolları Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 45° geliş açısına sahip ışınlar için BPT üzerindeki ışın yolları ve yansımaları.

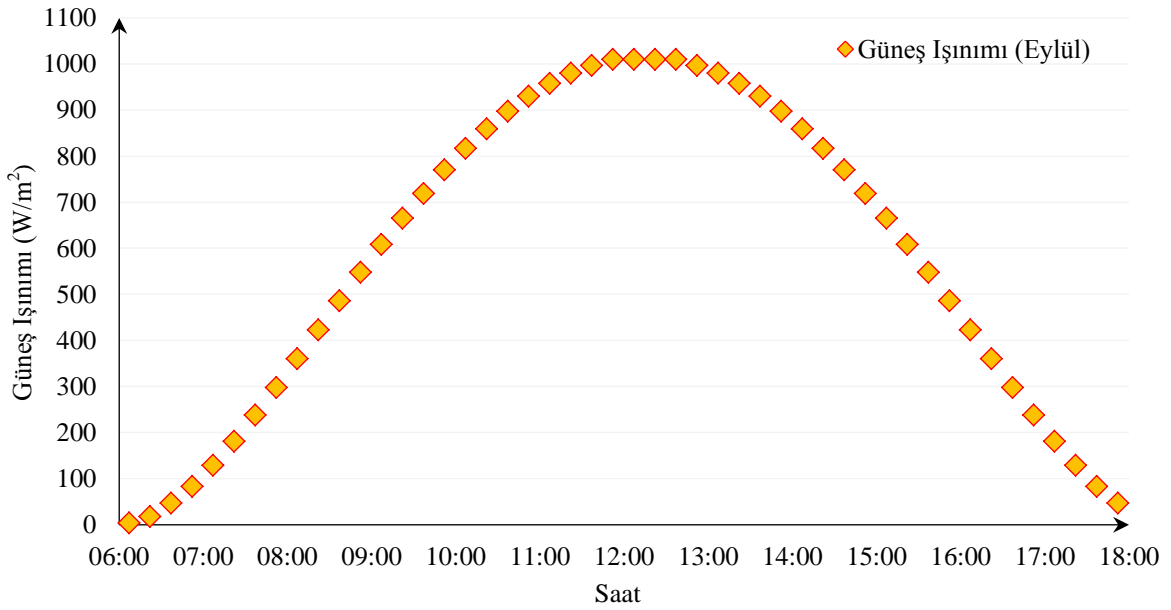
Optik verimin hesaplanabilmesi için model TracePro yazılımına aktarılmıştır. Işın analizlerinde yansıtma katsayısı 0.80, camın geçirgenlik katsayısı 0.90 ve yutma (soğurma) katsayısı 0.925 olarak kabul edilerek optik verim (yutucu yüzeyde soğurulan ışınının gelen ışınımına oranı) hesaplanmıştır. Geliş açısı 0° ile 90° arasında 5° 'lik aralıklarla değiştirilerek ışın analizleri tekrarlanmıştır (Şekil-3). Yapılan tasarım %70.32'lik bir ortalama optik verime sahiptir. Yansıtıcı yüzey kullanılmayan vakum cam tüpün optik verimi ise geçirgenlik ve yutma katsayısına bağlı olarak gün boyu sabit ve %83.25 değerindedir.



Şekil 3. BPT optik veriminin geliş açısı ile değişimi.

İŞINIM DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

BPT ve yansıtıcısı vakumlu tüpte gün boyu toplanacak olan güneş enerjisinin hesaplanabilmesi için güneş geliş açısının ve ışınım şiddetinin zamana bağlı değişimi göz önüne alınmalıdır. Eylül ayı için ortalama bir gün boyunca güneş ışınımı şiddeti değerlerinin değişimi Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi'nden (PVGIS) elde edilmiştir (Şekil-4) [7]. Işınım şiddeti verileri İzmir'de deney yapılan konumun koordinatlarına göre alınmıştır. BPT ve vakum tüpün Kuzey-Güney yönünde yerleştirildiği ve eğim açısının 35° olduğu kabul edilmiştir.



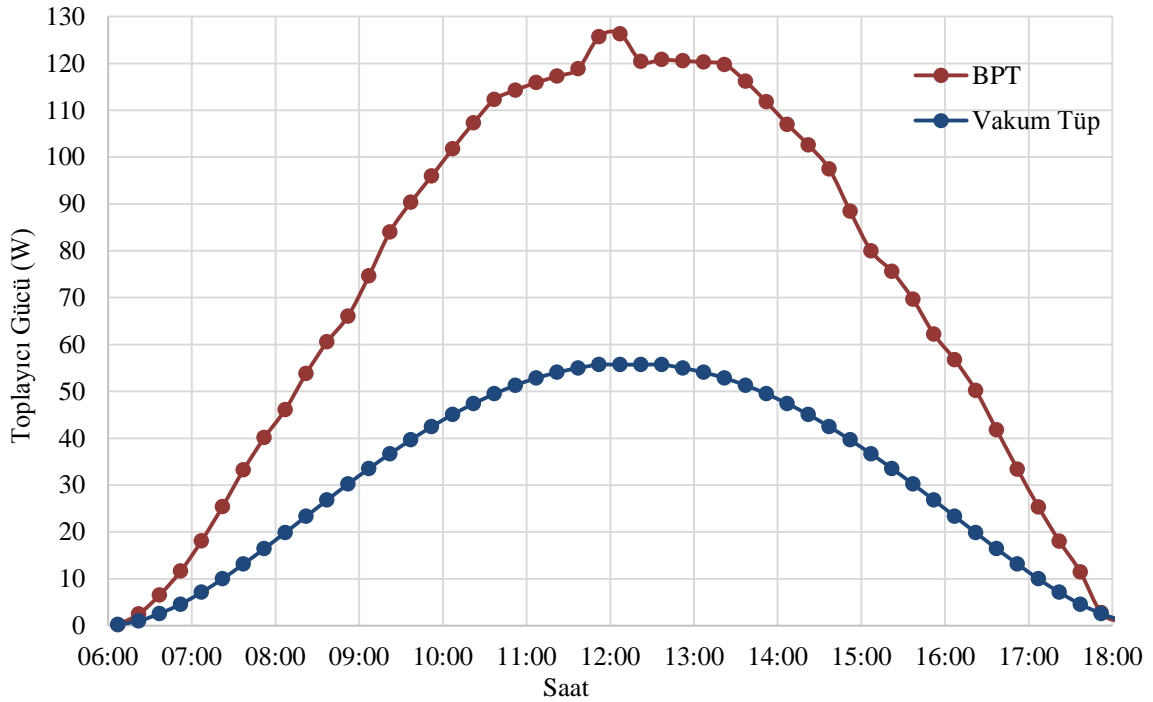
Şekil 4. Güneş ışınımı şiddetinin gün boyunca değişimi (Eylül).

Yapılan hesaplamalarda gün boyu üretilebilecek enerji miktarı BPT'li ve yansıtıcısız vakum tüp için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Eşitlik-1'de P anlık toplayıcı gücünü, $I_{ışınım}$ güneş ışınımı şiddetini, η_{optik} BPT'nin optik verimini temsil etmektedir. Eşitlik-2'de ise $E_{gün}$ gün boyu üretilebilecek enerjiyi, Δt ise zamanı temsil etmektedir.

$$P = I_{ışınım} \cdot A_{yüzey} \cdot \eta_{optik} \quad (1)$$

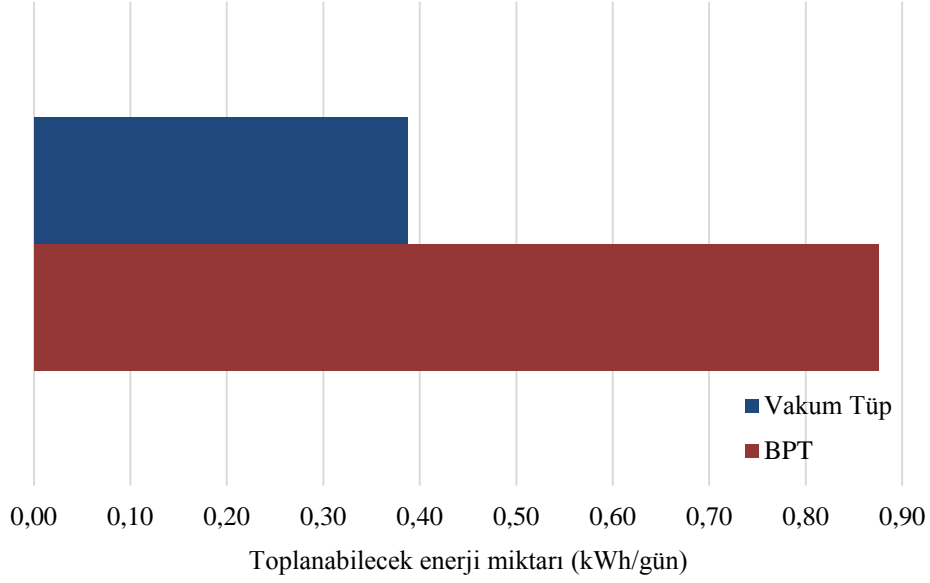
$$E_{gün} = \sum P \cdot \Delta t \quad (2)$$

Eşitlik-1 uygulanarak, verilen ölçülere sahip eksenel BPT ile vakum tüpün karşılaştırması yapılmıştır. 1.8 m uzunluğa sahip olan tek bir BPT için açıklık alanı 0.1665 m^2 olarak hesaplanmaktadır. Yansıtıcı yüzey kullanılmayan vakum cam tüpün toplayıcı alanı ise 0.0666 m^2 'dir. BPT anlık gücünün değerlendirilmesinde, güneş geliş açısı ve ilgili açıda sahip olduğu optik verim anlık olarak belirlenmiştir. BPT ve vakum tüpün gücünün gün boyu değişimi Şekil-5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu duruma göre, güneş ışınlarının en dik geldiği saatlerde eksenel BPT'nin vakum tüpün iki katı kadar bir güce sahip olduğu görülmektedir.



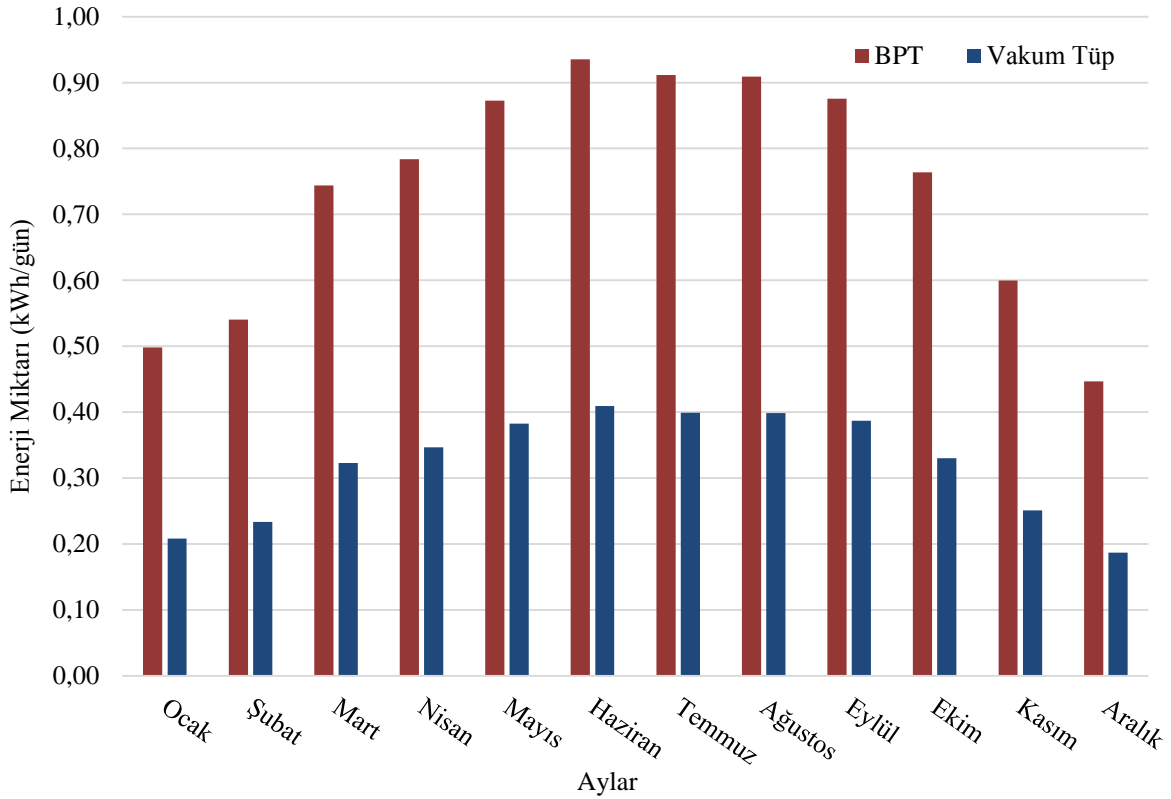
Şekil 5. BPT ve çıplak vakum tüp toplayıcı güçlerinin gün boyu değişimi (Eylül).

Bu hesaplamalardan sonra Eşitlik-2 kullanılarak gün boyunca toplanabilecek enerji miktarı bulunabilir. Yapılan çalışma sonucunda eksenel BPT ile vakum tüpün gün boyunca enerji toplama potansiyeli karşılaştırılarak vakum tüpe eklenen yansıtıcının etkisi görülmüştür. Şekil 6'da görüldüğü üzere, Eylül'de ortalama bir günde eksenel BPT'nin 0.876 kWh/gün ve vakum tüpün 0.387 kWh/gün enerji toplayabileceği görülmektedir. Vakum tüpe bütünsel parabolik yansıtıcı eklenerek toplanabilecek enerjinin 2.26 katına kadar artırılacağı görülmektedir.



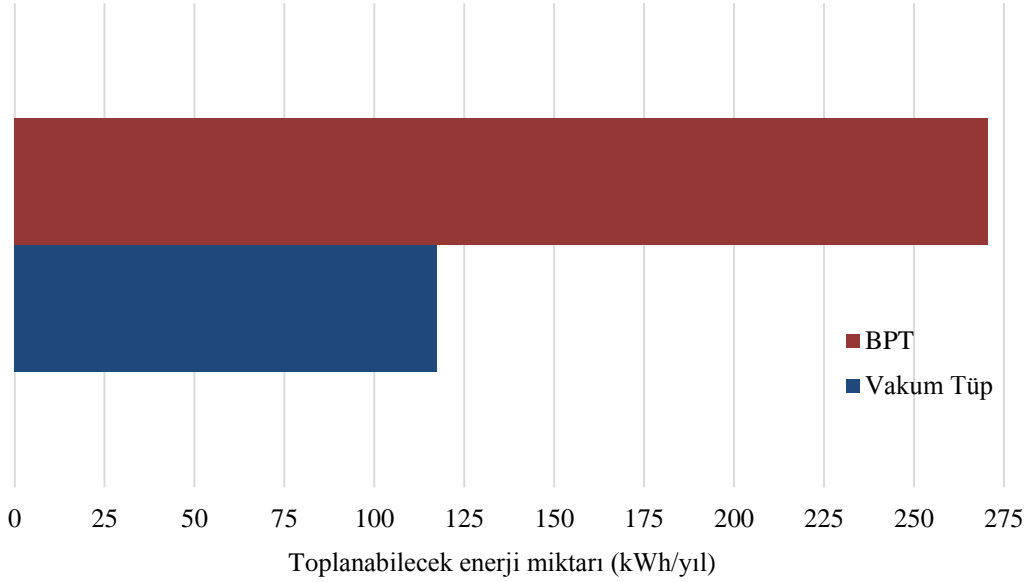
Şekil 6. BPT ve vakum tüp toplayıcıların günlük enerji üretimleri (Eylül).

Eylül için yapılan çalışmadan yola çıkarak, Şekil 7’de eksenel BPT’nin ve vakum tüpün tüm aylar için enerji toplama potansiyeli karşılaştırması yapılmıştır. Enerji toplama potansiyelinin en yüksek olduğu ayların Haziran, Temmuz ve Ağustos olduğu görülmektedir. Ancak tüm aylarda eksenel BPT’nin vakum tüpten daha fazla enerji toplama potansiyeli olduğu açıktır. Eksenel BPT’nin vakum tüpe göre enerji toplama potansiyeli 2.2 kattan aşağı düşmemektedir.



Şekil 7. BPT ve vakum tüp için günlük enerji toplama potansiyelinin aylara göre değişimi.

Şekil 8’de yıllık bazda enerji toplama potansiyeli verilmiştir. Eksenel BPT ile vakum tüp karşılaştırılarak sırasıyla yıllık 270.48 kWh ve 117.43 kWh enerji toplayabilecekleri görülmektedir. Bütünleşik parabolik yansıtıcının eklendiği vakum tüpün toplayabileceği enerji miktarı yıllık 2.30 katına çıkmaktadır. Eklenen yansıtıcının maliyetinin fazla olmadığı düşünüldüğünde, vakum tüplü güneş toplayıcılarının eksenel BPT şeklinde üretilmesinin fayda sağlayacağı görülmektedir.



Şekil 8. BPT ve vakum tüp için yıllık enerji toplama potansiyeli.

SONUÇLAR

Eksenel BPT, geleneksel vakum tüpe bütünleşik parabolik yansıtıcı eklenerek oluşmuş basit bir yapıdır. Bunun haricinde güneş takip sistemi veya maliyeti arttıran bir sistem içermemektedir. Güneş ışınlarını yansıtıcı ile vakum tüp üzerine odaklayarak gün içinde yoğunlaştırma yapmaktadır. Eklenen yansıtıcı sayesinde her tipik gün için toplanan enerji 2 mislinden daha fazla artmakta ve tüm yıl boyunca toplanabilecek enerji 2.30 katına çıkmaktadır. Tüm yıl boyunca eksenel BPT 270.48 kWh, geleneksel vakum tüp 117.43 kWh enerji toplama potansiyeline sahiptir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi BAP 2017.KB.FEN.020 numaralı “Bütünleşik Parabolik Güneşli Toplayıcıların Performans Değerlendirmesi” isimli Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında yürütülmüştür. Yazarlar TracePro ücretsiz deneme sürümünü sağlayan Lambrades Research Corporation’a, projeyi destekleyen ve RayViz yazılımını sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi’ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] WANG, P. Y., LI, S. F., & LIU, Z. H. Collecting performance of an evacuated tubular solar high-temperature air heater with concentric tube heat exchanger. Energy Conversion and Management, 106, 1166–1173, 2015.

- [2] GUDEKAR, A. S., JADHAV, A. S., PANSE, S. V., JOSHI, J. B., & PANDIT, A. B. Cost effective design of compound parabolic collector for steam generation. *Solar Energy*, 90, 43–50, 2013.
- [3] BUTTINGER, F., BEIKIRCHER, T., PROLL, M., & SCHOLKOPF, W. Development of a new flat stationary evacuated CPC-collector for process heat applications. *Solar Energy*, 84(7), 1166–1174, 2010.
- [4] AGUILAR-JIMÉNEZ, J. A., VELÁZQUEZ, N., ACUÑA, A., LÓPEZ-ZAVALA, R., & GONZÁLEZ-URIBE, L. A. Effect of orientation of a CPC with concentric tube on efficiency. *Applied Thermal Engineering*, 130, 221–229, 2018.
- [5] YAMAN, P., SERVER, A., & KUCUKA, S. Isı Borulu Bütünleşik Parabolik Toplayıcı Panelin Optik ve Deneysel Performansının Değerlendirilmesi. *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kocaeli, 2019.
- [6] YAMAN, P., & KUÇUKA, S. Bütünleşik Parabolik Toplayıcı Tasarımı ve Optik Performansının Değerlendirilmesi. *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu* (pp. 2025–2034), Edirne, 2018.
- [7] PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System, Son Erişim: 02.09.2019, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

ÖZGEÇMİŞ

Paşa YAMAN – Kırklareli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisidir. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisidir. İlgi alanı güneş enerjisi uygulamalarıdır.

Serhan KÜÇÜKA – Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesidir. Doktorasını Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda tamamlamıştır. Çalışma alanları soğutma sistemleri, kurutma, jeotermal enerji ve güneş enerjisi sistemleridir.