International Journal of Innovative Engineering Applications

Journal homepage: https://dergipark.org.tr/ijiea

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFICIENCY INCREASING IN SOLAR CHIMNEY

***Hasan Karakaya*[1], *Ali Serkan Avcı*[*2], *Aytaç Çetinbaş*[3], *Aydın Durmuş*[4]**

[1]*Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye*
[2]*Batman Üniversitesi, Beşiri Organize Sanayi Bölgesi MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Batman,Türkiye*
[3]*Antalya İl Milli Eğitim Müdürlüğü, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Antalya, Türkiye*
[4]*İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Abstract

Original scientific paper

In this study, remedial arrangements were made to increase the efficiency of the solar chimney and it was examined experimentally. The solar chimney used in the experimental study is a prototype with a chimney length of 12 m and a collector area of 128 m^2, which was previously installed in the province of Batman. For measurements, temperature, velocity and radiation data were taken simultaneously in four different geographical directions and compared with the initial state of the system. First of all, the floor of the collector area was painted black in order to absorb solar radiation. Then, hot water pipes were added to the floor so that the system could work at night, and the turbine was divided into four zones with steel plates to increase the inlet air velocity. According to the data obtained, it was observed that the average temperature increase under the collector glass surface increased by 17.4%, the turbine inlet temperature increased by 11.2%, the turbine inlet speed by 9.94% and the system power output by 9.4%.

Keywords: *Solar chimney, solar energy, efficiency, efficiency improvement.*

GÜNEŞ BACASINDA VERİM ARTTIRILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışma, güneş bacasının etkinliğinin arttırılması için iyileştirici düzenlemeler yapılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan güneş bacası daha önce Batman ilinde kurulan 12 m baca uzunluğuna ve 128 m^2 toplayıcı alanına sahip bir prototiptir. Ölçümler için dört farklı coğrafi yönde eş zamanlı sıcaklık, hız ve radyasyon verileri alınarak sistemin ilk hali ile karşılaştırılmıştır. Öncelikle toplayıcının güneş ışınımını absorbe etmesi için zemini siyah renge boyanmıştır. Daha sonra sistemin gece saatlerinde çalışabilmesi için zemine sıcak su boruları eklenmiş ve türbin giriş hava hızının arttırılması için çelik plakalar ile dört bölgeye ayrılmıştır. Elde edilen verilere göre toplayıcı cam yüzeyi altında ortalama sıcaklık artışının 17.4 %, türbin giriş sıcaklığının % 11.2 türbün giriş hızının % 9.94 ve sistem güç çıkışını % 9.4 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Güneş bacası, güneş enerjisi, etkinlik, verim iyileştirme.*

1 Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kolay uygulanabilirliği ile fosil yakıtlardan daha düşük bir etkiye sahip olması, son dönemlerde üzerinde giderek yoğunlaşan çalışmaların yapılmasına teşvik etmiştir. Bu teknolojilerden biride radyasyonu farklı yöntemlerle elektriğe dönüştüren güneş enerjisi üretim teknolojileridir. Güneş ışınımını toplama ve yoğunlaştırma durumlarına göre adlandıran bu üçlü sistemde, güneş çanak sistemleri, parabolik oluk enerji santralleri ve güneş kuleleridir.

Güneş bacaları ise güneş enerjisi teknolojisi kullanarak türbin vasıtasıyla elektrik üreten yenilenebilir bir enerji santralidir. Sistemin ana toplayıcı elemanı olarak çalışan kolektör; içindeki havayı ısıtmak için güneş radyasyonu toplamaktır. Toplayıcının ortasına dikilen bacanın yardımı ile sürekli bir hava akışı, sistem ve çevre arasında büyük bir basınç farkı oluşturur. Böylece toplayıcı çevresine daha fazla hava çekilir ve zorlanmış konveksiyon başlatılır. Isınan hava daha sonra büyük bir hızla bacaya yükselir. Güneş bacasının merkezine veya basınç düşüşünün gerçekleştiği toplayıcının çıkışına yakın eksen tabanlı bir türbin konumlandırılırsa, havanın ısı ve

* Corresponding author.
E-mail address: aliserkan.avci@batman.edu.tr (A. S. Avcı)
Received 12 October 2022; Received in revised form 25 January 2023; Accepted 27 April 2022
2587-1943 | © 2023 IJIEA. All rights reserved.
Doi: https://doi.org/10.46460/ijiea.1187370

potansiyel enerjisi kinetik enerjiye daha sonrada elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güneş bacası sistemleri gelişmekte olan ve enerji üretimi açısından ticarileşmeye geçmiş bir güneş enerjisi teknolojisidir [1].

Araştırmacılar güneş bacası prototiplerinde entegre sistemlerin ve prototip elemanlarının boyutsal ve yapısal değişikliklerinin sistem performansına olan etkilerini incelenmiştir. Sakonidou ve ark. [2] güneş bacası içerisindeki hava yoğunluğunu, sıcaklığını ve siyaha boyanmış absorber yüzey tarafından emilen ısının sıcaklığını belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Yabuz ve Delikanlı [3] güneş bacası prototipinin performansının artırılması için bir takım konstrüksiyon düzenlemeleri yapmışlardır. Bouhdjar ve ark. [4] farklı geometrik ölçülerde güneş bacası sistem tasarımının verim analizi için akış ve enerji hesaplamaları türetmişlerdir. Haydan [5] güneş bacalarının sistem performansını arttırmak için bir takım sayısal simülasyon ile teorik analiz yaparak sistemden elde edilen deneysel verileri kıyaslamışlardır. Jemli ve ark. [6] güneş bacasının farklı geometrik tasarımlarında sıcaklık değişimi ile elde edilen elektrik enerjisini belirlemişlerdir. Aurybi ve ark. [7] güneş baca santralini bir hibrit modele dönüştürerek, güneşin olmadığı bulutlu günler ve gece vakitleri için harici bir ısı kaynağını sisteme entegre ederek sistemin genel verimini arttırmışlardır. Ahmed ve Hussein [8] güneş bacası tesisi için PV panelleri sisteme entegre etmiş ve yenilikçi bir güneş bacası tasarlamışlardır. Ayadi ve ark. [9] baca uzunluğunun yükselen hava akışı üzerine etkisini araştırmak için çeşitli güneş bacası geometrileri belirlemişlerdir. Hoseini ve Mehdipour [10] güneş ışınımından daha iyi yararlanabilmek için farklı açılarda toplayıcı tasarımları sunmuşlardır. Khashan ve ark. [11] güneş bacası sisteminin performansını arttırmak için su depolarını entegre ederek sistemin aralıksız çalışabilmesini sağlamışlardır. Cottam [12] kolay üretilebilir ve yüksek verimlilikte çalışabilen yeni bir toplayıcı tasarımı sunmuştur. Bu çalışmada güneş bacasının ısı tutma kapasitesini arttırma maksadıyla güneşin olmadığı gece saatlerinde sistemin çalışabilme kabiliyetinin geliştirilmesi için toplayıcı zemininin siyaha boyanması ve zeminden güneş enerjili sıcak su dolaştırılması gibi ön işlemler yapılarak deneysel olarak incelenmiştir.

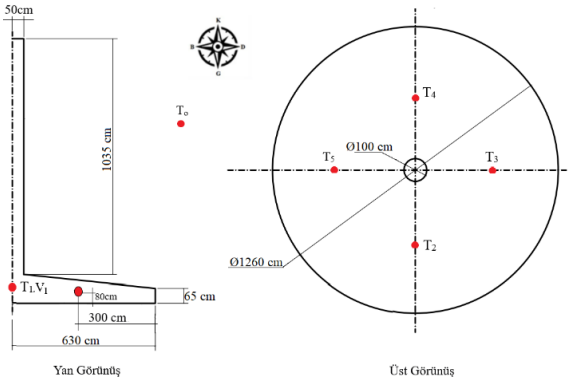
2 Materyal ve Yöntem

Deneylerin yapıldığı güneş bacası prototipi Batman Üniversitesi'nin Batı Raman kampüsünde düz ve geniş bir araziye 2017 yılında kurulmuştur. Bu yerleşke Akdeniz sıcak yaz iklimi olarak sınıflandırılmıştır. Batman'ın ortalama ışınım değeri ise 51640 W/m^2/gün'dür.

Prototip radyosyon emilimini arttırmak için beton zemine kurulmuştur. Baca, zeminden yukarı yönlü bir hava akışı için merkez noktaya konumlandırılmıştır ve malzemesi 8 mm kalınlığında çeliktir. Baca girişine 22 kanata sahip, 0.9 m çapında bir adet türbin konumlandırılmıştır. Toplayıcı giriş ağzı 0.65 m yüksekliğinden baca merkezine doğru yukarı 1 m yüksekliğe ulaşmaktadır. Böylece havanın akışı yukarı yönlü radyal olacaktır. Sistemin, uzun ömürlü olması ve radyasyonu emilimini arttırması için 2 mm kalınlığında şeffaf cam, örtü malzemesi olarak kullanılmıştır [13]. Şekil 1'de prototipin ilk hali Şekil 2'de ise prototipe ait fiziksel büyüklükler ile ölçüm noktaları verilmiştir.



Şekil 1. Prototipin ilk hali [13].



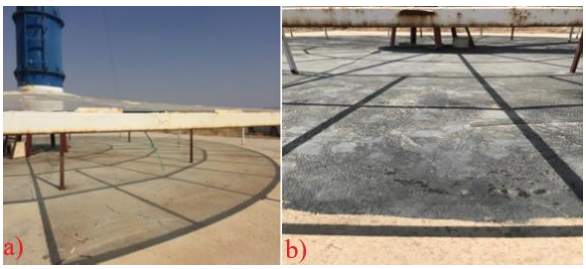
Şekil 2. Prototipe ait fiziksel büyükler ve ölçüm noktaları.

Güneş bacası verimini arttırmak için 2021 yılının ağustos ayında yapılan deneyler herhangi bir iyileştirme işlemi yapılmayan 2018 yılının ağustos ayı verileri [13] ile kıyaslanmıştır. Deneyler sabah 06:30'da başlayıp 21:00'a kadar 30 dk'lık aralıklarla devam etmiştir. Sıcaklık ölçümleri için 6 farklı noktada Elimko 602 model dataloger ile, baca girişindeki hava hızı ölçümleri için Unit UT362 marka anemometre ve günlük global güneş radyasyonu için SM602 cihazı kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Ölçüm cihazları.

Bu deneysel çalışmada ilk olarak kurutma alanı olan toplayıcı alanının ısı tutma kapasitesinin arttırılması için zemin siyah boya ile boyanmıştır. Şekil 4 (a)'da toplayıcı alanının zeminin siyaha boyanmadan önceki hali ve Şekil 4 (b)'de zemin mat siyaha boyandıktan sonraki hali görülmektedir [14].



Şekil 4. (a) Zeminin boyanmadan önceki hali (b) Zeminin boyalı hali [14].

Güneş bacası toplayıcı alanının ısı tutma kapasitesinin arttırılması ve geceleri azalan hava sıcaklığına bağlı olarak sıcaklığı düşen toplayıcı alanının sıcaklığını artırmak amacıyla toplayıcı zemininden su boruları yardımıyla güneş enerjili sıcak su dolaştırılmıştır. Şekil 5'te toplayıcı alanına döşenen güneş enerjili sıcak su döşemesi gösterilmiştir.



Şekil 5. Güneş enerjili sıcak su sistemi döşenmiş toplayıcı alanı [14].

Toplayıcı alanındaki kurutma performansının en iyi hangi yönde olacağını belirlemek ve türbin girişindeki havanın hızını arttırmak ve sabit duruma getirmek amacıyla toplayıcı alanı coğrafi yöne bağlı 4 bölgeye ayrılmıştır. Şekil 6'da bölmelere ayrılmış toplayıcı alanı gösterilmektedir.



Şekil 6. Toplayıcı alanının bölümlendirilmiş hali [14].

2.1 Güneş Bacası Sisteminin Analitik Denklemleri

Enerji akışının hesaplanabilmesi için termodinamiğin I. yasası kullanılmıştır. Güç hesaplama denklemleri için Cottam [12] tarafından geliştirilen model uygulanmıştır. Baca içerisindeki hava tek boyutlu eksenel akış, toplayıcıdan bacaya doğru giden havada tek boyutlu radyal akış olarak varsayılmıştır.

$$IA_k\eta_k = \dot{m}_{Cp}\Delta T + \frac{1}{2}\dot{m}\Delta v^2 \quad (1)$$

Burada toplayıcı içinde havanın aktarılan ısısı, I ve toplayıcı alanı A_k'dir. Toplayıcı verimliliği ise η_k'dir. Prototip içindeki kütle akış hızı $\dot{m}$'dır. Sabit basınçta çalışma havasının özgül ısı değeri cp'dir. Toplayıcı girişi ve çıkışı arasındaki hava sıcaklığı farkı ise ΔT'dir; Toplayıcıya giren çalışma havası ile çıkan arasındaki fark ise v'dir.

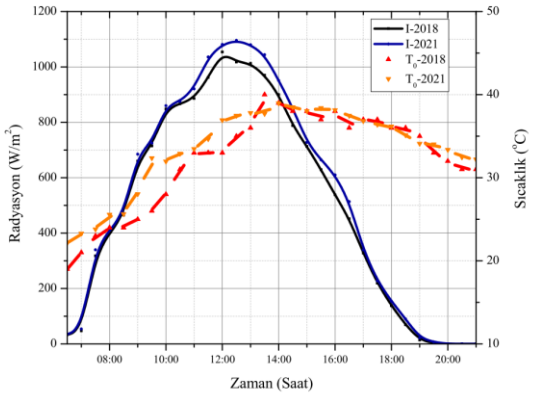
$$\dot{m} = \rho_\infty A_{baca} v_{baca} \quad (2)$$

Güneş bacası sisteminde türbinden elde edilebilecek verim önceki çalışmalarda [15] belirlendiği gibi %80 oranındadır. Sistemden elde edilebilecek en fazla güç için ise tüm basınç farkının 2/3'ünün türbinden düşmesi gerekmektedir. Böylece güç:

$$P = \frac{\eta_t \eta_k x I \pi R_k^2 g H_{baca}}{C_p T_\infty + (1-x) g H_{baca} \beta} \quad (3)$$

3 Tartışma ve Bulgular

Güneş bacası sisteminde verim arttırıcı düzenlemelere ait sıcaklık, hız ve radyasyon ölçümleri Avcı [13]'nın 2018 yılında elde ettiği ölçüm verileri ile kıyaslanmıştır. Karşılaştırmalı ölçümlerde hata payını minimize etmek amacıyla öncelikle 2018 ve 2021 Ağustos ayına ait radyasyon, ortam sıcaklığı ve hava hızına ait değerler incelenmiştir. Şekil 7'de 2018-2021 dış ortam verilerinin birbirilerine yakın değerler olduğu görülmektedir. Elde edilen parametreler için istatiksel olarak ölçüm sayısı, ortalama, medyan, minimum ve maksimum ele alınmıştır (Tablo 1).



Şekil 7. 2018 ile 2021 Ağustos ayı radyasyon ve ortam sıcaklıkları ölçümleri.

Tablo 1. Radyasyon ve ortam sıcaklıklarına ait istatiksel veriler.

Parametreler	R-2018	R-2021	T_0-2018	T_0-2021	V_o-2018	V_o-2021
Ölçüm Sayısı(N)	30	30	30	30	30	30
Ortalama	501.5	529.2	32.1	33.4	0.89	0.91
Medyan	501.5	562	33	34.3	0.8	0.8
Maksimum	1054	1096	40	38.9	1.15	1.21
Minimum	0	0	19	22.1	0.6	0.61

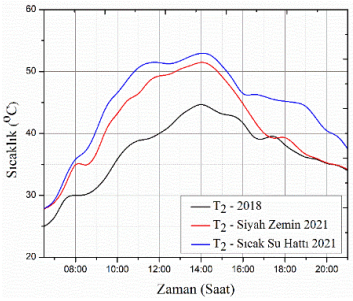
Dört coğrafi (Güney, Doğu, Kuzey, Batı) bölge için sıcaklık verileri incelendiğinde zeminin siyaha boyanması ile güney bölgesinde (T_2) ortalama sıcaklık 4.3 ^oC, doğu bölgesinde (T_3) 2.8 ^oC, kuzey bölgesinde (T_4) 4.1 ^oC ve batı bölgesinde (T_5) 4.1 ^oC arttığı tespit edilmiştir. Boyama işlemi sonrası zeminde sıcak su boruları gezdirilmiştir. Bu iyileştirme ile sıcaklık güney ve doğu bölgelerinde 3.2 ^oC artmıştır (Şekil 8 ve Şekil 9). Kuzey ve batı bölgelerinde ise 1.8 ^oC'lik bir artış görülmektedir (Şekil 10 ve Şekil 11). 2018 verileri ile kıyaslandığında ortalama toplam sıcaklık artış oranı güney bölgesinde %20.2 doğu bölgesinde % 15.5 kuzey bölgesinde % 17.5 ve batı bölgesinde % 16.5 olarak bulunmuştur. En yüksek sıcaklık artışının güney, en düşük sıcaklık artışının ise doğu bölgesinde olduğu gözlemlenmiştir. Güney bölgesi kolektör alt yüzeyi güneş ışınımına en çok maruz kalan bölge olması sebebiyle en yüksek sıcaklık farklılıklarının oluştuğu kısımdır. Ayrıca kolektör alt yüzeyinin kuzey ve batı bölgelerindeki sıcaklık artış farkının doğu bölgesinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Hâlihazırda en az ışınım alan bu bölgelerin en düşük sıcaklık verilerine de sahip olmaları, verim iyileştirmeleri ile sistemin genel bir ısıl dengeye ulaşabilmesi yönünden daha fazla bir sıcaklık farkı yaratacaktır. Sistemin doğu tarafı yüksek ve dengeli bir sıcaklıkta işlevini sürdürdüğü için en düşük sıcaklık artışı da burada gözlemlenmiştir. Elde edilen verilere ait tanımlayıcı istatiksel değerler Tablo 2'de verilmiştir. Son olarak sistem çelik plakalar ile coğrafi bölgelere ayrılmıştır. Ancak bu işlem sonrası sıcaklık artışlarında kayda değer bir artış görülmemiştir. Plaka işlemi hava hızlarını arttırmak ve sabit duruma getirmek için uygulanmıştır.

Baca giriş noktasında ölçülen hava sıcaklığı türbin girişinin ölçüm noktasıdır. Bu alanın gölgelik kısımda bulunması sıcaklık ölçüm ucunun radyasyon ile birebir temasını engellemektedir. Bu nedenle sıcaklık verileri toplayıcı yüzey alanına göre daha düşüktür. Tablo 3'te 2021 yılına ait sıcaklık artışının %11,2, hız artışının ise %9,94 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 12).

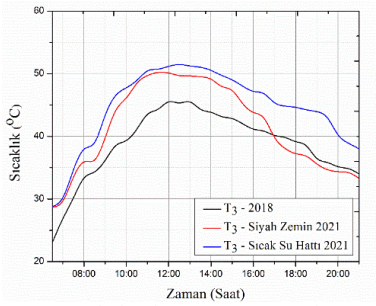
Şekil 13'te elde edilen güç değerinin gün içerisindeki değişimleri kıyaslanmıştır. Elde edilen güç miktarları boyutsuzlaştırılmıştır. 2021 yılı iyileştirme düzenlemeleri sonucu ortalama sistem güç performansının %9,4 arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Dört coğrafi bölgede verim arttırıcı düzenlemelerin sıcaklıklarına ait istatiksel veriler.

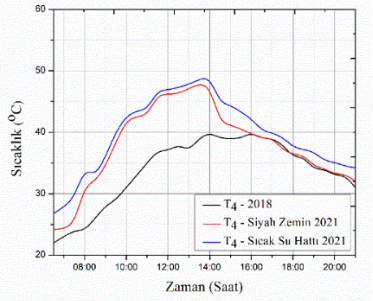
Parametreler	T_2 2018	T_2 Siyah Zemin	T_2 Su Boruları	T_3 2018	T_3 Siyah Zemin	T_3 Su Boruları	T_4 2018	T_4 Siyah Zemin	T_4 Su Boruları	T_5 2018	T_5 Siyah Zemin	T_5 Su Boruları
Ölçüm Sayısı(N)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ortalama	37	41.3	44.5	38.6	41.4	44.6	33.7	37.8	39.6	35.6	39.7	41.5
Medyan	38	40.6	45.6	39.5	41.6	46.0	35.5	38.7	40	37.5	40.2	43.2
Maksimum	45	51.7	53.1	46	50.3	51.6	40	47.9	49	44	49.2	50
Minimum	25	27.8	27.9	23	28.7	28.8	22	24.2	26.8	23	24.6	24.7



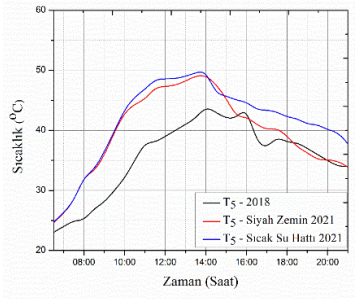
Şekil 8. Güney bölgesi 2018 ile 2021 verim arttırıcı düzenlemelerin sıcaklık verilerinin karşılaştırılması.



Şekil 9. Doğu bölgesi 2018 ile 2021 verim arttırıcı düzenlemelerin sıcaklık verilerinin karşılaştırılması.



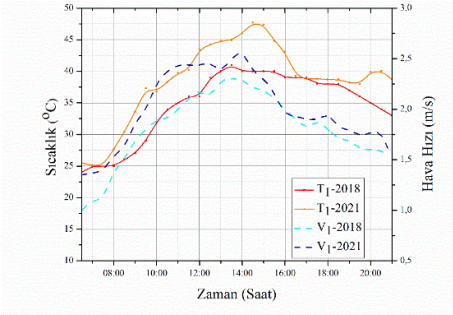
Şekil 10. Kuzey bölgesi 2018 ile 2021 verim arttırıcı düzenlemelerin sıcaklık verilerinin karşılaştırılması.



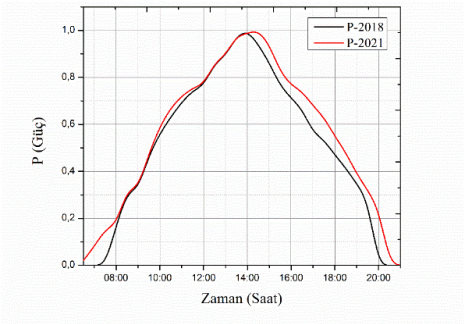
Şekil 11. Batı bölgesi 2018 ile 2021 verim arttırıcı düzenlemelerin sıcaklık verilerinin karşılaştırılması.

Tablo 3. Türbin girişinde sıcaklık ve hava hızlarına ait istatiksel veriler.

Parametreler	T_1-2018	T_1-2021	V_1-2018	V_1-2021
Ölçüm Sayısı(N)	30	30	30	30
Ortalama	34.6	38.5	1.81	1.99
Medyan	36	38.8	1.85	1.93
Maksimum	41	47.7	2.3	2.6
Minimum	24	25	1	1.35



Şekil 12. Türbin girişinde 2018 ile 2021 sıcaklık ve hava hızı ölçümlerinin karşılaştırılması.



Şekil 13. 2018 ile 2021 boyutsuz güç değerlerinin karşılaştırılması.

4 Sonuçlar

Bu çalışma ile güneş bacası sisteminde yapılan iyileştirmelerin verimi önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. 2018 yılına ait verilere göre toplayıcı girişinden merkez noktada bulanan bacaya doğru sıcaklık artışı ortalama 8 ^{o}C iken 2021 yılı verilerine göre bu sıcaklık artışı ortalama 14 ^{o}C olmuştur. En yüksek sıcaklık artışı 7.5 ^{o}C ve en yüksek sıcaklık değeri 53.1 ^{o}C ile güney bölgesinde ölçülmüştür. Ayrıca 2018 yılına ait dış ortam verilerinin (radyasyon, ortam sıcaklığı ve hava hızı) 2021 yılına ait dış ortam verileri ile neredeyse benzer olmasına rağmen sisteme eklenen iyileştirici düzenlemeler ile güç performansının %9.4 arttığı tespit edilmiştir. Sistem verimini daha fazla arttırmak için baca yüksekliği ve toplayıcı alanı arttırılabilir ayrıca güneş ışınımının geliş açısına göre en uygun konum belirlenerek toplayıcının eğim açısı farklı bölgelere göre değiştirilebilir. Baca geometrisi eğimli veya kavisli olarak tasarlanabilir. Buna ek olarak güneş bacası toplayıcı alanında kullanılan şeffaf cam yerine, saydam fotovoltaik paneller kullanılabilir ve buna benzer hibrit birçok yenilikçi metot ile sistem güç performansı arttırılabilir.

Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Teşekkür

Bu çalışma Batman Üniversitesi Proje Ofisi Koordinatörlüğünün BTÜBAP-2021-YL-07, BTÜBAP-2013-MMF-2 nolu projeleri ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Ming, T. (Ed.). (2016). *Solar chimney power plant generating technology*. Academic Press.

[2] Sakonidou, E. P., Karapantsios, T. D., Balouktsis, A. I., & Chassapis, D. (2008). Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow. *Solar Energy*, 82(1), 80-94.

[3] Yabuz, Z. R. (2009). *Güneş bacasında konstrüktif iyileştirme çalışmaları ve performans artırıcı yöntemlerin araştırılması* (Doctoral dissertation, Suleyman Demirel University).

[4] Bouhdjar, A., Larbi, S., Chergui, T., & Gahgah, M. (2011). Influence of fluid flow regimes on the performances analysis of solar chimney power plants. *International Journal of Energy, Environment and Economics*, 19(5), 431.

[5] Hadyan, H. (2015). *Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator*.

[6] Jemli, M. R., Naili, N., Farhat, A., & Guizani, A. (2017). Experimental investigation of solar tower with chimney effect installed in CRTEn, Tunisia. *International journal of hydrogen energy*, 42(13), 8650-8660.

[7] Aurybi, M. A., Al-Kayiem, H. H., Gilani, S. I., & Ismaeel, A. A. (2017). Numerical analysis of solar updraft power plant integrated with external heat source. In MATEC *Web of Conferences* (Vol. 131, p. 01004). EDP Sciences.

[8] Ahmed, O. K., & Hussein, A. S. (2018). New design of solar chimney (case study). *Case studies in thermal engineering*, *11*, *105-112*.

[9] Ayadi, A., Driss, Z., Bouabidi, A., Nasraoui, H., Bsisa, M., & Abid, M. S. (2018). A computational and an experimental study on the effect of the chimney height on the thermal characteristics of a solar chimney power plant. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, *232(4)*, *503-516*.

[10] Hoseini, H., & Mehdipour, R. (2018). Evaluation of solar-chimney power plants with multiple-angle collectors. *Journal of Computational & Applied Research in Mechanical Engineering (JCARME)*, *8(1)*, *85-96*.

[11] Khashan, M.K., Tilefih, R.J., Al-Khateeb, A. (2018). The effect of upper tank surface property on solar chimney power plant performance. *International Journal of Engineering Research and Technology*, *11 (3)*, *pp. 383-402*.

[12] Cottam, P. J. (2018). *Innovation in Solar Thermal Chimney Power Plants* (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).

[13] Avcı, A. S. (2021). *Güneş bacası sistem performansının sayısal ve deneysel olarak araştırılması* (Doctoral dissertation, Batman University).

[14] Çetinbaş, A. (2022). *Güneş bacası sera örtüsü altında tarım ürünlerinin kurutulması; Batman Sason çileği örneği* (Master's thesis, Batman University).

[15] Gannon, A. J., & Von Backstro'm, T. W. (2003). Solar chimney turbine performance. *J. Sol. Energy Eng.*, 125(1), 101-106.