

Isı Depolama Malzemesi ile Bütünleşik Hava Isıtıcılı Güneş Kollektörünün Geliştirilmesi

Development of Solar Collector with Integrated Air Heater and Heat Storage Material

Osman GÖKDOĞAN^{1*}, Recep KÜLCÜ², Ahmet SÜSLÜ³

Öz

Hava ısıtıcılı güneş kolektörleri, kolektör aktif alanı, kullanılan izolasyon malzemesi ve kalınlığı, yutucu yüzey, koruyucu cam ve ısı depolama özelliği gibi birçok tasarım parametresine sahiptir. Bu parametrelerden kolektör aktif alanı, kullanılan izolasyon malzemesi ve kalınlığı gibi parametreler sabit tutularak değişiklik yapılan parametrenin kolektörün ısı verimindeki etkileri araştırılabilmektedir. Bu sayede farklı materyallerle tasarlanmış kolektörler arasında en iyi ısı verimin elde edildiği materyal ve uygulama parametreleri belirlenebilmektedir. Deneysel tasarlanmış kolektörler genel olarak belirlenmiş sabit tasarım parametreleri üzerinden üretilmekte ve uygulama parametreleri değiştirilerek ısı verime olan etkileri incelenmektedir. Bu durum her bir varyasyon için ayrı bir kolektör üretimini gerektirmektedir. Bu çalışmada güneş simülatörleri ile ilgili yapılmış çalışmalar incelenerek ve belirlenmiş standartlar dahilinde bir güneş simülatörünün tasarımdan imalata kadar olan sürecinde izlenen yöntemler ve elde edilen sonuçlar anlatılmıştır. İç ortam şartlarında güneş enerjili sistemler üzerine yapılacak çalışmalarda kullanılabilecek; ışıyım miktarının ayarlanabildiği, geliş açısının değiştirilebildiği, %10'dan daha az hatayla homojen ışıyım dağılımı sağlayabilen, araştırmacının belirlemiş olduğu parametreler üzerinden deney sürecini kontrol edebilen, farklı sıcaklık verisini dakikada bir kayıt edebilen, akışkan hızını ve debisini ayarlayabilen halojen lambalarla işletilen bir güneş simülatörünün tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada farklı noktalarındaki sıcaklık sensörleri ile güneş simülatörünün otomasyon sistemine entegre olabilen farklı materyaller ile ısı depolaması sağlayan bir kolektör tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu kolektör ile çalışma içeriğinde belirtildiği üzere en çok ısı verimin sağlandığı materyalin belirlenmesine yönelik denemeler yürütülmüştür. Denemelerin sonuçlarına göre çift akışlı sistem ile yürütülen testlerin tamamında verimin tek akışlı sisteme göre daha verimli olduğu görülmüştür. Kullanılan ısı depolama materyali ve optimum miktarlar bakımından değerlendirildiğinde ise; serpantin dizilimli başmakçı tuğlası ile yapılan denemelerde 12 adet başmakçı tuğlası ile çift akışlı yöntemde yürütülen denemenin %66.9 verim ile en yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş simülatörü, Hava ısıtmalı güneş kolektörü, Isı enerjisi depolama malzemesi, Isıl verim

^{1*}**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Osman Gökdoğan, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. E-mail: osmangokdogan@gmail.com  OrcID: 0000-0002-4933-7144

²Recep Külcü, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. E-mail: recepkulcu@isparta.edu.tr  OrcID: 0000-0002-7185-6514

³Ahmet Süslü, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye. E-mail: mail@ahmetsuslu.com  OrcID: 0000-0003-4016-589X

Atıf: Gökdoğan O., Külcü R., Süslü A. (2026). Isı depolama malzemesi ile bütünleşik hava ısıtıcılı güneş kolektörünün geliştirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1): 75-85.

Citation: Gökdoğan O., Külcü R., Süslü A. (2026). Development of Solar Collector with Integrated Air Heater and Heat Storage Material. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 23(1): 75-85.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2026

Abstract

Air heater solar collectors have many design parameters such as collector active area, insulation material and thickness used, absorber surface, protective glass and thermal storage feature. By keeping the parameters such as collector active area, insulation material and thickness constant, the effects of the changed parameter on the thermal efficiency of the collector can be reviewed. In this way, the material and application parameters that provide the best thermal efficiency among collectors designed with different materials are determined. Experimentally designed collectors are generally produced based on the determined fixed design parameters and their effects on thermal efficiency are examined by changing the application parameters. This requires the production of a separate collector for each variation. Within the scope of this study, studies related to solar simulators were examined. In addition, the methods followed and the results obtained in the process from design to manufacturing of a solar simulator within the specified standards were explained. As a result of the study, the design and manufacturing of a solar simulator was carried out. This simulator can be used in studies on solar energy systems under indoor conditions and the amount of radiation can be adjusted, the angle of incidence can be changed, it can provide homogeneous radiation distribution with less than 10% error, the experimental process can be controlled through the parameters determined by the researcher, and it can record different temperature data every minute and it is operated with halogen lamps that can adjust the fluid speed and flow rate. In addition, in the study, a collector that provides heat storage with different materials that can be integrated into the automation system of the solar simulator with temperature sensors at different points was designed and manufactured. With this collector, experiments were carried out to determine the material that provides the highest thermal efficiency, as stated in the study content. According to the trial results, it was observed that the efficiency in all the tests carried out with the double-flow system was more efficient than the trials carried out with the single-flow system. The heat storage material used and optimum quantities were evaluated. In this sense, in the trials carried out with serpentine-arrayed basmakchi brick, it was determined that the trial carried out in the double-flow method with 12 basmakchi bricks had the highest efficiency with 66.9% efficiency.

Keywords: Solar energy, Solar simulator, Air heating solar collector, Thermal energy storage material, Thermal efficiency

1. Giriş

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkemizin coğrafi konumu ve iklim özellikleri, güneş enerjisi sistemlerinin verimli kullanımına olanak sağlamaktadır. Fosil yakıtlara alternatif olan bu temiz enerji kaynağından faydalanma konusunda Türkiye, uzun güneşlenme süreleri ve yüksek güneş enerjisi potansiyeli sayesinde diğer birçok ülkeye kıyasla daha avantajlı bir konumdadır (Yüksel Türkboyları, 2018).

Hava ısıtıcılı güneş kolektörleri, kolektör aktif alanı, kullanılan izolasyon malzemesi ve kalınlığı, yutucu yüzey, koruyucu cam ve ısı depolama özelliği gibi birçok tasarım parametresine sahiptir. Bu parametrelerden kolektör aktif alanı, kullanılan izolasyon malzemesi ve kalınlığı gibi parametreler sabit tutularak değişiklik yapılan parametrenin kolektörün ısı verimindeki etkileri araştırılabilmektedir. Bu sayede farklı materyallerle tasarlanmış kolektörler arasında en iyi ısı verimin elde edildiği materyal ve uygulama parametreleri belirlenmektedir. Deneysel tasarlanmış kolektörler genel olarak belirlenmiş sabit tasarım parametreleri üzerinden üretilmekte ve uygulama parametreleri değiştirilerek ısı verime olan etkileri incelenmektedir. Bu durum her bir varyasyon için ayrı bir kolektör üretimini gerektirmektedir.

Güneş enerjili sistemlerde verim performansını etkileyen en temel kriter güneş ışınımının şiddeti olup gün içinde dünyanın değişen konum itibarı ile belirli bir konumdaki ışınım şiddeti devamlı değişiklik göstermektedir. Güneş simülatörleri, Karacabey ve ark. (2020)'nın belirttiği gibi, kontrollü deney şartlarının oluşturulabilmesi için kullanılan önemli ekipmanlardan birisidir. Güneş simülatörü sahip olduğu ışınım kaynağı vasıtasıyla yoğunluk seviyesi ayarlanabilir olan ve doğal güneş ışınımına yakın spektral kompozisyon sunan bir ekipmandır (Wang, 2014; Süslü ve ark., 2022).

Çalışma kapsamında geliştirilen kolektör sabit bir konstrüksiyon üzerinde tasarımsal değişiklikler yapmaya izin veren bir yapıdadır. Bu sayede farklı depolama materyalleri, yutucu yüzey çeşitleri ve koruyucu cam gibi parametrelerdeki değişikliklerin ısı verime etkileri belirlenirken diğer faktörler tam olarak sabit tutulmuş olacaktır. Geliştirilen kolektör ile ısı depolamasında kullanılabilecek çeşitli materyallerin, farklı miktarlarda uygulanan depolama materyalinin, uygulama parametrelerinin (kütlesel debi, ışınım şiddeti vb.), ısı verimine etkilerinin incelenmesi ve en yüksek verimin sağlandığı varyasyonun belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yenilenebilir Enerji Laboratuvarında tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen güneş simülatörünün teknik ve yöntem detayları anlatılmıştır. İç ortam şartlarında güneş enerjili sistemler üzerine yapılacak çalışmalarda kullanılabilecek; ışınım miktarının ayarlanabildiği, geliş açısının değiştirilebildiği, %10'dan daha az hatayla homojen ışınım dağılımı sağlayabilen, araştırmanın belirlemiş olduğu parametreler üzerinden deney sürecini kontrol edebilen, farklı sıcaklık verisini dakikada bir kayıt edebilen, akışkan hızını ve debisini ayarlayabilen halojen lambalarla işletilen bir güneş simülatörünün tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. TS EN ISO 9806 (2014) standartlarına göre güneş simülatörlerinden elde edilen ışınım dağılımındaki sapmaların en fazla $\pm\%15$ olması gerekmektedir. Bu anlamda geliştirilen simülatör standartlara uygun niteliktedir. Isı depolama malzemesi ile bütünleşik hava ısıtıcılı güneş kolektörü geliştirilmiş ve ısı kazancın artırılması için depolama materyalinin hava akışı yolu üzerinde konumlandırılması sonucunda ısı verime etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada yapılan denemelerde yapay güneş ışınımı koşullarında ısı depolayıcı materyal olarak çakıl taşı, metal taşı, hurda demir parçaları ve başmakçı tuğlası parçaları kullanılmıştır. Literatürde yer alan örneklerden farklı niteliklere sahip, dolgu güneş kolektörü geliştirilmiştir. Dolgu malzemeleri farklı miktarlarda uygulanmış ve en yüksek verimi sağlayacak dolgu uygulaması ve hava hızı belirlenmiştir. Farklı noktalarındaki sıcaklık sensörleri ile güneş simülatörünün otomasyon sistemine entegre olabilen farklı materyaller ile ısı depolaması sağlayan bir kolektör tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen kolektör ile çalışma içeriğinde belirtildiği üzere en çok ısı verimin sağlandığı materyalin belirlenmesine yönelik denemeler yürütülmüştür.

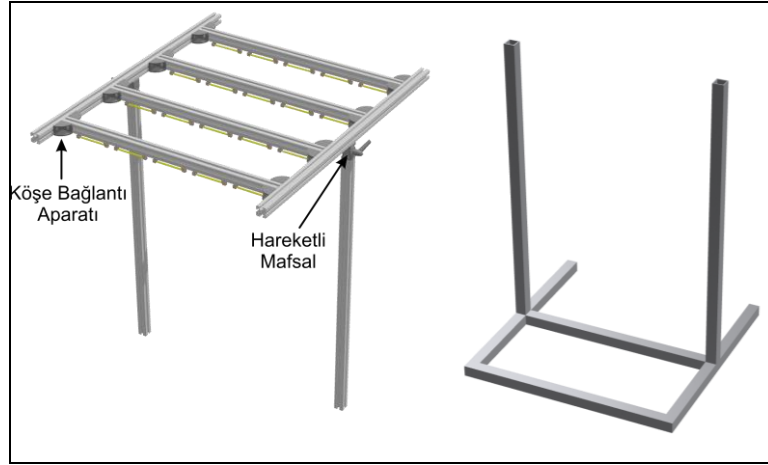
2. Materyal ve Metot

2.1. Deney sistemi tasarımı

Literatürde benzer konuda yapılan çalışmalardaki örneklerden pozitif anlamda ayrılarak işlevselliği ile ön plana çıkmaktadır. Bu durum imalat sonucunda oluşabilecek farklılıkları ortadan kaldırarak oluşabilecek hata miktarlarını en aza indirmede de katkı sağlamıştır (Şekil 1).

2.1.1. Güneş simülatörü tasarımı

Güneş simülatörünü oluşturan parçalar ve genel tasarımı ilgili üç boyutlu çizimler Shapr3D paket programı kullanılarak yapılmış olup oluşturulan tasarım Şekil 1’de verilmiştir. Simülatörü oluşturan yapısal kısımlar, çatı aksamı ve taşıyıcı kolonlar olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Çatı aksamında 40 mm’lik alüminyum sigma profiller kullanılmış ve köşe bağlantı aparatları kullanılarak birbirlerine sabitlenen çatı aksamının nihai ölçüsü 100x120 cm’dir. Bu alanda 20 adet halojen lambanın eşit aralıklar ile monte edilmesi planlanmıştır. Bu nedenle çatıyı oluşturan 4 adet paralel profil üzerine eşit aralıklar ile 5’er adet R7S duymontelenmiştir. Çatının taşıyıcı kolonlar ile bağlantısını gerçekleştirmek amacıyla kenar profillerin orta noktalarına dik profiller montelenmiştir. Bu profillerin montajında açı değiştirebilme özelliği kazandırması için bağlantı aparatı olarak hareketli mafsallar kullanılmıştır. Taşıyıcı kolonlar 50 mm’lik kare demir profillerden oluşmuş olup çatı ayaklarını oluşturan 40 mm’lik sigma profiller taşıyıcı kolonları oluşturan profillerin iç kısmında kolayca hareket edebilmekte ve istenilen yükseklikte sabitlenebilmektedir (Süslü ve ark., 2022).



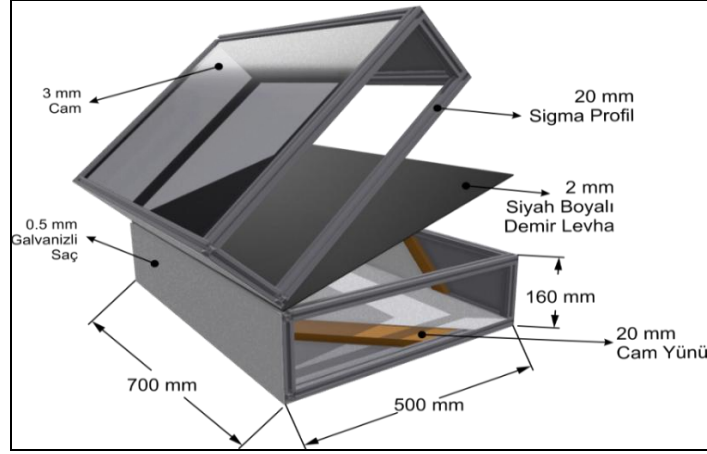
Şekil 1. Çatı aksamının (sol) ve taşıyıcı kolonların (sağ) üç boyutlu tasarımı

Figure 1. Three-dimensional design of the roof assembly (left) and supporting columns (right)

2.1.2. Kollektör tasarımı

Kollektör imalatından önce kullanılacak malzemelerin ve boyutlarının belirlenmesi amacıyla 3 boyutlu bir tasarım gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Tasarım oluşturulurken dikkate alınan bazı hususlar aşağıda listelenmiştir.

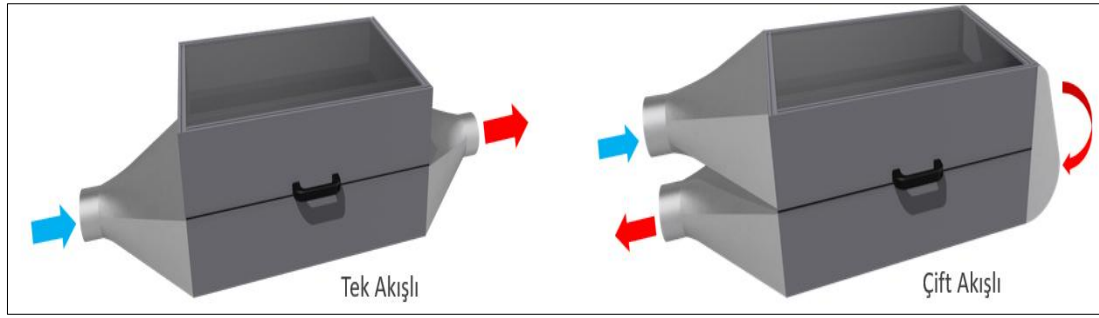
- Farklı materyallerin ısı depolayıcı özelliklerinden yararlanabilecek bir depolama haznesine sahip olması.
- Farklı yutucu yüzey profillerinin kullanılabilirliği için değiştirilebilir olması
- Hava giriş ve çıkış kanallarının ek aparatlarla yönlendirilebilir olması ve bu sayede tek akışlı ya da çift akışlı bir kollektör yapısının aynı kollektör üzerinde denenebilir olması.



Şekil 2. Kollektör tasarımının 3 boyutlu görünümü

Figure 2. 3D view of the collector design

Literatürde bulunan mevcut sistemler tasarım odaklı incelendiğinde tek ve çift akışlı olmak üzere iki farklı tipte tasarlanmaktadır. Akışın tek ya da çift olma durumunda akışkan hareketlerinin nasıl olduğunu ifade eden temsili gösterim Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Farklı aparatlarla akış kontrolünün değiştirilmesi

Figure 3. Changing the flow control with different devices

Bu işlevlerin yerine getirilebilmesi için oluşturulan yazılım kısmında ise daha karmaşık ve olası tüm durumların değerlendirildiği bir algoritma oluşturmak gerekmektedir. Delta marka PLC’lerin programlanabilmesi için kullanılan WPLSoft v2.51 yazılımı ile güneş simülatörüne ait özgün bir yazılım geliştirilmiştir. Yapılan sistem tasarımı Şekil 4-6’da verilmiştir.



Şekil 4. Sistem tasarımı-I

Figure 4. System design-I



Şekil 5. Sistem tasarımı-II

Figure 5. System design-II



Şekil 6. Sistem tasarımı-III

Figure 6. System design-III

Denemelerde ısı depolayıcı materyal olarak çakıl taşı, metal talaşı, hurda demir parçaları ve başmakçı tuğlası parçaları kullanılmıştır. Materyallerin serbest durumda kapladıkları hacimleri değişiklik göstermektedir. Bu sebeple, hava akış yolu üzerine yerleştirilmiş her materyal için 3 farklı miktara (az, orta ve çok) karşılık gelen ağırlıklarda denemeler yürütülmüştür.

Güneş simülatöründen sağlanan ışınlam şiddeti 1000 W m^{-2} ve 0° geliş açısıyla sabitlenmiş ve her denemede 3 saat açık konumda 1 saat kapalı konumda denemeler gerçekleştirilmiştir. Kolektör yüzeyine gelen yapay güneş ışınlamı bu sayede sağlanacaktır. Güneş simülatörü kapatıldıktan sonra kolektör çıkış sıcaklığı, ortam sıcaklığı seviyesine gelinceye kadar radyal fan ve sıcaklık kaydı çalışmaya devam etmiştir.

Denemeler sonucunda elde edilen sıcaklık verileri karşılaştırılarak, depolama malzemesi kullanılmamış kontrol denemesine karşın depolama malzemesinin kolektörün ısı verimi üzerindeki yarattığı etki üzerinden en yüksek verimi sağlayan dolgu malzemesi ve uygulama miktarının belirlenmesi sağlanmıştır. Isıl verimin hesaplanabilmesi için öncelikle havanın kütsel debisi hesaplanmıştır. Kütsel debi hesabında Eşitlik (1)'den yararlanılmıştır (Lane, 1983; Ghiami and Ghiami, 2018; Süslü ve ark., 2021).

$$m = q * A_c * V \quad (\text{Eş. 1})$$

Burada; q: Havanın yoğunluğu (kg m^{-3}), A_c : Kolektör çıkış kesit alanı (m^2), V: Hava akış hızı (m s^{-1})'dir.

Elde edilen kütleli debi değerleri ve ısı çiftler yardımıyla ölçülmüş olan sıcaklık değerleri kullanılarak faydalı enerji hesaplanmaktadır. Faydalı enerji hesaplanabilmesi için Eşitlik (2) kullanılmıştır (Lane, 1983; Ghiami and Ghiami, 2018; Süslü ve ark., 2021).

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_{\text{ç}} - T_g) \quad (\text{Eş. 2})$$

Burada; Q: Faydalı enerji (kW), $\dot{m}$: Kütleli debi (kg s^{-1}), C_p : Özgül ısı ($1.005 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$), $T_{\text{ç}}$: Kollektörün çıkış sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), T_g : Kollektörün giriş sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)’dır.

Kollektörün ısı verimi, çıkış havasına yüklenmiş faydalı enerji ve bunu elde etmek için uygulanmış olan enerjinin birbirlerine oranları olup hesaplamak için Eşitlik (3) kullanılmıştır (Lane, 1983; Ghiami and Ghiami, 2018; Süslü ve ark., 2021).

$$\eta = Q / C_p * (I * A) \quad (\text{Eş. 3})$$

Burada; A: Kollektör yüzey alanını (m^2), I: Işınım şiddetini (W m^{-2}), η : Kollektörün ısı verimini ifade etmektedir.

Kollektör verim denemeleri Tablo 1’de verilen değerlerde yapılmıştır. Kollektörün ısı verim altındaki verimi, kollektör verimi ve kollektörün soğurken giriş havasına aktardığı enerji (kWh) hesaplanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

“Isı Depolama Malzemesi ile Bütünleşik Hava Isıtıcı Güneş Kollektörünün Geliştirilmesi” başlıklı proje kapsamında yürütülen denemelerde uygulanması gereken alansal kütleli debinin belirlenmesi amacıyla boş kollektör üzerinde ön denemeler gerçekleştirilmiş ve optimum değer $4 \text{ kg dk}^{-1} \text{ m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Alansal kütleli debinin her denemede aynı değerde olması amacıyla, hava akışını oluşturan motor üzerinde gerekli frekans değişikliği yapılmıştır. Proje kapsamında, farklı materyaller ve farklı akış tiplerinde gerçekleştirilen denemelerin sonuçlarına ilişkin veriler listesi *Tablo 1*’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneme planı

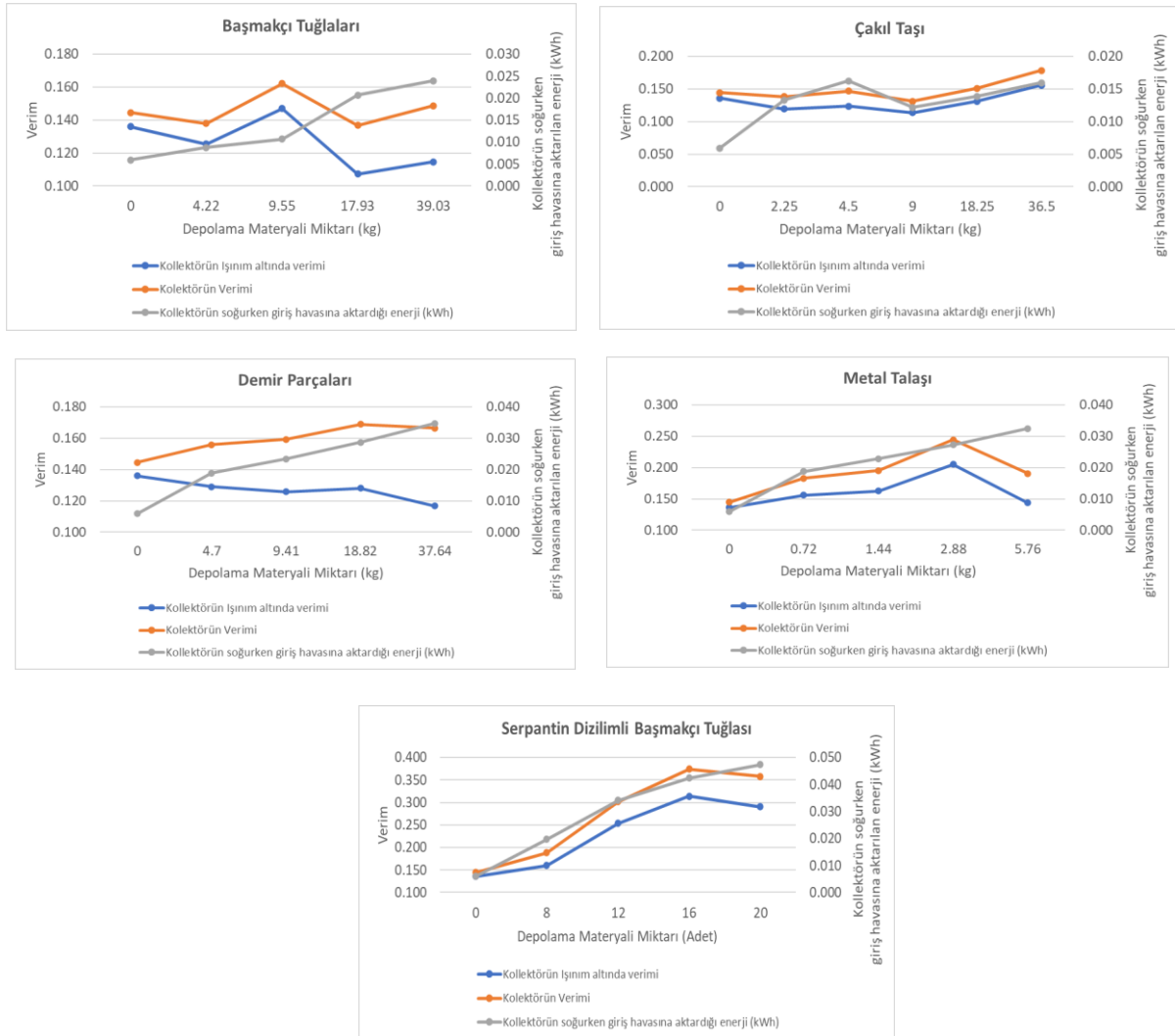
Table 1. Trial plan

Materyal		Tek akışlı	Çift akışlı
Kontrol denemesi		0	0
Depolama materyali miktarı (kg)	Başmakçı tuğlası	4.22	4.2
		9.55	9
		17.93	18
		39.03	38
	Çakıl taşı	2.25	2.25
		4.5	4.5
		9	9
		18.25	18.25
	Demir parçaları	36.5	36.5
		4.7	4.7
		9.41	9.41
		18.82	18.82
	Metal talaşı	37.64	37.64
		0.72	0.72
		1.44	1.44
		2.88	2.88
Depolama materyali miktarı (adet)	Serpantin diziliimli başmakçı tuğlası	5.76	5.76
		8	8
		12	12
		16	16
		20	20

Akış tiplerine göre farklı materyaller ile yapılmış denemelere ait veriler Şekil 7’de gösterilmiştir. Grafikler, kollektörün ısıtım altında verimi, kollektörün genel verimi ve ısıtım kesildikten sonra soğuma esnasında giriş havasına aktarılan ısı enerjisi (kWh) bakımından karşılaştırma yapılabilecek şekilde oluşturulmuştur. Bu grafiklerin genelinde miktara bağlı olarak verimde artış ve azalışlar gözlemlenmiştir. Optimum miktarların belirlenmesinde verimleri maksimum değere ulaştıran materyal miktarları özellikle dikkat çekmektedir. Bu yaklaşımla değerlendirildiğinde gözlemlenen miktar-verim ilişkisi kollektörün hacimsel kapasitesi ile sınırlı kalmış olarak görünse de uygulanan eşit miktarda “Alansal Kütlesel Debi” miktarı ($4 \text{ kg dk}^{-1} \text{ m}^{-2}$) ile ileride tasarlanacak farklı boyutlardaki kollektörler için de elde edilebilecek verimi temsil gücüne sahip niteliktedir.

3.1. Tek akışlı sistemde yapılan denemeler

Tek akışlı olarak düzenlenmiş kollektör tasarımı ile yapılan denemelere ait grafikler kullanılan materyaller özelinde ayrı ayrı grafiklerde Şekil 7’de gösterilmiştir. Oluşturulan grafikler kendi içerisinde incelendiğinde verime ait grafiklerde tepe noktalarının çoğu materyal için belirgin şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak çakıl taşı ile yapılan denemelerde, diğer materyallerde oluşan ve kolay hava akışına izin veren boşluklu yapıya sahip olmayışından dolayı verime ait bu tepe noktasının elde edilemediği görülmüştür. Bunun dışında diğer materyaller ile elde edilen veriler, materyale özgün optimum miktarın belirlenmesinde açıkça görünür şekilde sonuçları açığa çıkarmıştır.



Şekil 7. Tek akışlı şekilde oluşturulan kollektör üzerinde farklı materyal ve miktarları ile yapılan denemelere ilişkin grafik sonuçları

Figure 7. Graphical results of experiments with different materials and quantities on a single-pass collector

Tek akışlı sistem için belirlenen materyale özgün optimum miktarlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tek akışlı oluşturulmuş kollektör için optimum verimin sağlandığı materyal miktarları

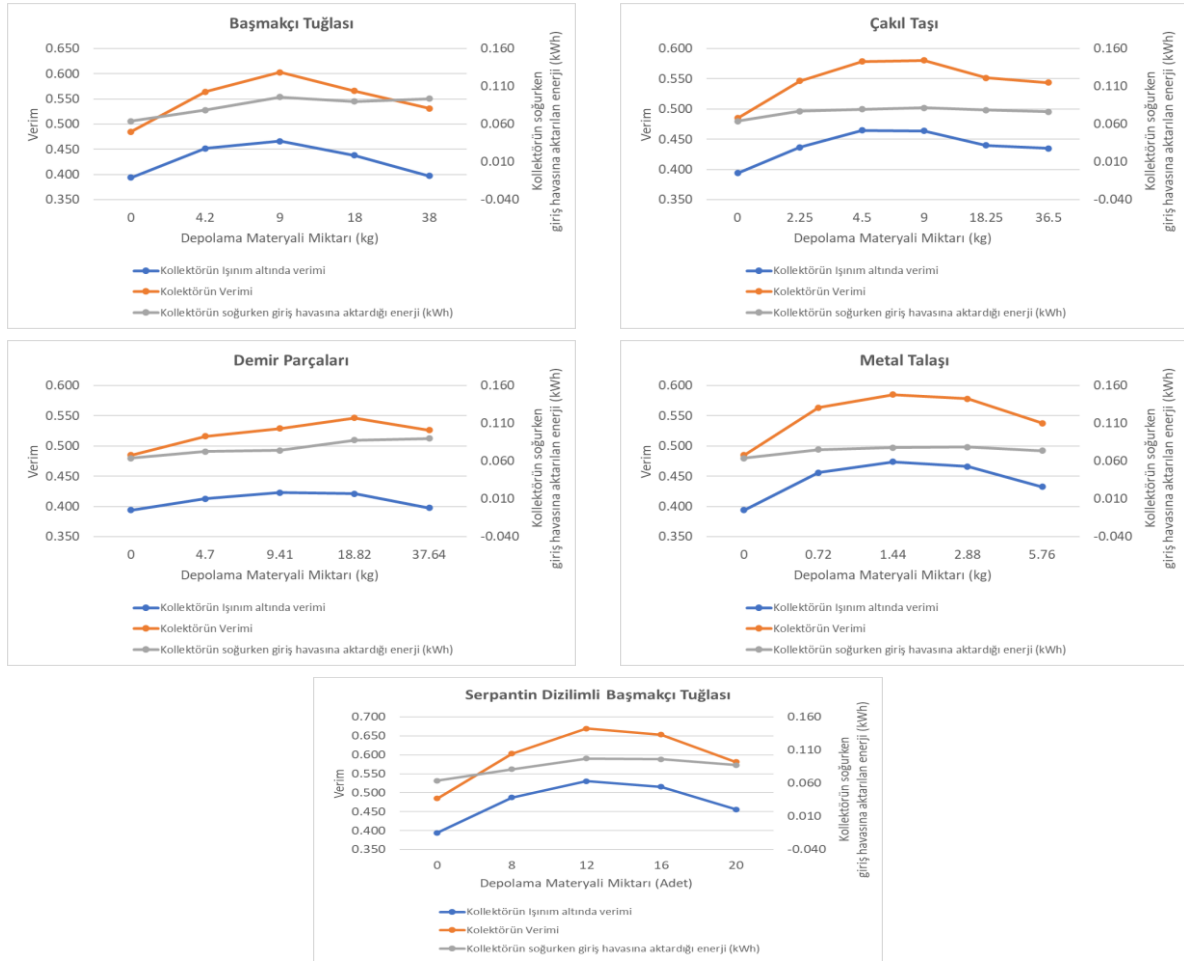
Table 2. Material quantities that provide optimum efficiency for a single-flow formed collector

Materyal	Tek akışlı kollektör için depolama materyali miktarı	Kollektör verimi
Başmakçı tuğlası	9.55 kg	0.162
Çakıl taşı	4.50 kg*	0.147
Demir parçaları	18.82 kg	0.169
Metal talaşı	2.88 kg	0.205
Serpantin dizilimli başmakçı tuğlası	16 adet**	0.374

*: Bu miktarda bir uygulama belirgin bir verim değişimi ortaya koymamakla beraber diğer miktarlara göre grafikte bir tepe oluşumu sağlamaktadır. **: Belirli bir desen ile oluşturulmuş ve hava akışının yolu uzatılarak verim artışı hedeflenmiştir. Bu sebeple kullanılan tuğlalar adet ile ifade edilmiştir

3.2. Çift akışlı sistemde yapılan denemeler

Çift akışlı olarak düzenlenmiş kollektör ile yapılan denemelere ait sonuçlar kullanılan materyallerin özelinde ayrı ayrı Şekil 8’de gösterilmiştir. Oluşturulan grafikler tek akışlı sistemde yapılan denemeler gibi incelenmiş ve materyallerin tamamı için optimum miktarları açıkça ifade edecek şekilde sonuçlar gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Çift akışlı şekilde oluşturulan kollektör üzerinde farklı materyal ve miktarları ile yapılan denemelere ilişkin grafik sonuçları

Figure 8. Graphical results of experiments with different materials and quantities on the collector created in a double-pass manner

Çift akışlı sistem için belirlenen materyale özgün optimum miktarlar *Tablo 3*'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Çift akışlı oluşturulmuş kollektör için optimum verimin sağlandığı materyal miktarları

Table 3. Material quantities that provide optimum efficiency for a double-flow formed collector

Materyal	Tek akışlı kollektör için Depolama materyali miktarı	Kollektör verimi
Başmakçı tuğlası	9.00 kg	0.530
Çakıl taşı	9.00 kg	0.581
Demir parçaları	18.82 kg	0.547
Metal talaşı	1.44 kg	0.585
Serpantin dizilimli başmakçı tuğlası	12 adet*	0.669

*: Belirli bir desen ile oluşturulmuş ve hava akışının yolu uzatılarak verim artışı hedeflenmiştir. Bu sebeple kullanılan tuğlalar adet ile ifade edilmiştir

4. Sonuç

Bu çalışmada farklı noktalarındaki sıcaklık sensörleri ile güneş simülatörünün otomasyon sistemine entegre olabilen, farklı materyaller ile ısı depolaması sağlayan bir kollektör tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu kollektör ile proje içeriğinde belirtildiği üzere en çok ısı verimin sağlandığı materyalin belirlenmesine yönelik denemeler yürütülmüştür.

Deneme verileri incelendiğinde *Tablo 1* ve *2*'de görüldüğü üzere çift akışlı sistem ile yürütülen denemelerin tamamında verimin tek akışlı sistemde yürütülen denemelere göre daha verimli olduğu sonucu açıkça görülmektedir. Kullanılan ısı depolama materyali ve optimum miktarlar bakımından değerlendirildiğinde ise; serpantin dizilimli başmakçı tuğlası ile yapılan denemelerde 12 adet başmakçı tuğlası ile çift akışlı yöntemde yürütülen denemenin %66.9 verim ile en yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2020-BTAP1-0077 Nolu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama: Gökdoğan, O., Külcü, R., Süslü, A.; Materyal ve Metot: Süslü, A.; Veri toplama ve İşleme: Gökdoğan, O., Süslü, A.; İstatistiki Analiz: Gökdoğan, O., Külcü, R.; Literatür Tarama: Gökdoğan, O., Süslü, A.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Gökdoğan, O., Külcü, R., Süslü, A.

Kaynakça

- Ghiami, A. and Ghiami, S. (2018). Comparative study based on energy and exergy analyses of a baffled solar air heater with latent storage collector. *Applied Thermal Engineering*, 133:797-808.
- Karacabey, E., Aktaş, T., Taşeri, L. ve Uysal Seçkin, G. (2020). Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde farklı kurutma yöntemlerinin kurutma kinetiği, enerji tüketimi ve ürün kalitesi açısından incelenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1): 53-65.
- Lane, A. G. (1983). Introduction and History, Solar Heat Storage: Latent Heat Materials. In: Background and Scientific Principles, Ed: Lane, A.G., CRC Press, U.S.A.
- Süslü, A., Külcü, R. and Ertekin, C. (2021). The effect of using the fire-brick fragments as a thermal energy storage material on thermal efficiency of solar air heater. *European Journal of Science and Technology*, 31: 358-364.
- Süslü, A., Gökdoğan, O. ve Külcü, R. (2022). Deneysel Kullanım İçin Otomasyon Kontrollü Güneş Simülatörünün Tasarımı ve İmalatı. In: Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar II, Ed: Sayıncı, B., Akademisyen Yayınevi, Türkiye.
- TS EN ISO 9806. (2014). Güneş Enerjisi-Güneş kolektörleri- Deney metotlar.
- Yüksel Türkoğlu, E. (2018). Tekirdağ koşullarında güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisi ile sera toprağının dezenfekte edilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1): 123-128.
- Wang, W. (2014). *Simulate a sun for solar research: A literature review of solar simulator technology*. Royal Institute of Technology (01/14) Project Report. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:756274/FULLTEXT01.pdf>