

Güneş Kollektörü Testi için Güneş Simülör Tasarımı ve İmalatı

*¹Ahmet ÖZSOY(0000-0003-0911-9799), ²Mustafa GALİP(0000-0003-4934-5651)

*¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta

¹ahmetozsoy@sdu.edu.tr

²m.galip_92@hotmail.com

Geliş Tarihi: 21.11.2017

Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Bu çalışmada güneş kolektörlerinin laboratuvar ortamında test edilebilmesi için 140x250 cm büyüklüğünde bir güneş simülörü oluşturulmuştur. Simülörde 46 adet 400 W ve 4 adet 1000 W halojen lamba kullanılmış, lambalar dört gruba ayrılarak dimmerlerle ışınım şiddetleri ayarlanmıştır. Simülörün 100x200 cm'lik orta alanında ortalama 1080 W/m² ışınım şiddeti sağlanmıştır. Simülöre sera filesi ile gölgeleme yapılarak ışınım şiddeti 896 W/m²'ye düşürülmüştür. Hazırlanan simülörde bir düzlemsel güneş kolektörü 25, 40, 60 ve 80 °C sabit akışkan giriş sıcaklıklarında ve 0.02 kg/s m² standart akışkan debisiyle test edilmiştir. Kollektör verimi çalışılan sıcaklık aralığında %72-48 arasında hesaplanmış ve kolektördeki basınç düşümü de 19.4 paskal olarak ölçülmüştür. Tasarımı yapıp üretimi gerçekleştirilen güneş simülörüyle, dış ortamın değişken şartlarından bağımsız olarak, düzlemsel veya U-borulu vakum tüplü güneş kolektörleri standarda uygun olarak test edilip, kolektör verim eğrileri oluşturulabilecektir.

Anahtar kelimeler: Güneş simülörü, Güneş kolektörü, TS EN ISO 9806

Solar Simulator Design and Production for Solar Collector Test

*¹Ahmet ÖZSOY, ²Mustafa GALİP

*¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Isparta

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta

¹ahmetozsoy@sdu.edu.tr

²m.galip_92@hotmail.com

Abstract

In this study, a solar simulator with a size of 140x250 cm was established to test the solar collectors in the laboratory. Inside of the simulator, 46 pieces of 400 W and 4 pieces of 1000 W halogen lamps were used. The lamps were divided into four groups and their light intensities were adjusted with dimmers. The simulator provided an average intensity of 1080 W/m² radiation from the 100x200 cm central area. Greenhouse shading material was used on the simulator and the average radiation value was reduced to 896 W/m². A flat plate solar collector was tested with the prepared simulator. The tests were carried out at 25, 40, 60 and 80 °C constant fluid input temperatures and a standard flow rate of 0.02 kg/s m². The efficiency of the tested collector was calculated as 72-48% of the working temperature range and the pressure drop of the collector was measured 19.4 pascal. Independently from the variable environmental conditions, flat plate or U-pipe vacuum tube solar collectors could be tested and their efficiency curves could be generated with the designed and established simulator.

Keywords: Solar simulator, Solar collector, TS EN ISO 9806

*Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Isparta, ahmetozsoy@sdu.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.356801

1. GİRİŞ

Güneş kolektörlerinin dış ortamda, gerçek şartlarda test edilmesinde, dış ortam sıcaklığı ve ışınım şiddeti gibi kolektör verimini doğrudan etkileyen girdilerin sabit olmaması ve zamanla değişmesi nedeniyle sağlıklı veri alınmasında sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle güneş kolektörlerinin dış ortam şartlarından etkilenmeden sabit şartlarda test edilmesi, laboratuvar ortamında güneş simülatörlerinde yapılmaktadır. Yaygın olarak bilinen ısı güneş kolektörlerinin test yöntemleri ISO 9806-1, ISO 9806-3, ASHRAE 93-77 ve EN 12975 gibi standartlar mevcuttur [1]. TS EN ISO 9806 Güneş kolektörleri, deney metotlar standardına göre iç ortam performans testleri için belirlenmiş kriterler vardır [2]. Bunlar; simülatörde ışınım şiddeti 700 W/m^2 'den büyük olmalı, kolektörde birim alan için akışkan debisi 0.02 kg/s.m^2 ve rüzgar hızı da 1-4 m/s olmalıdır. Test boyunca kolektördeki akışkan debisindeki değişim $\pm\%10$ 'dan fazla olmamalı ve simülatör alanı içerisinde ışınım şiddetinde ortalama üzerinden en fazla $\pm\%15$ sapma olmalıdır.

Literatürdeki güneş simülatörleriyle ilgili çalışmalar incelendiğinde, Shatat vd., [3] oluşturduğu güneş simülatöründe 30 adet 400 W halojen lamba kullanarak, lambalara uygulanan elektriksel gerilimi değiştirip, $150 \times 165 \text{ cm}^2$ 'lik simülatör alanında $200-900 \text{ W/m}^2$ arasında ortalama ışınım şiddeti elde etmiştir. Köse [4], 28 adet 400 W halojen lamba ile, $100 \times 200 \text{ cm}^2$ 'lik simülatör alanında 946 W/m^2 ortalama ışınım şiddeti sağlamış, fakat simülatör alanı içinde standarda uygun homojen bir ışınım dağılımı oluşturamamıştır. Sabahi vd. [5], $2.8 \times 2.7 \text{ m}$ ölçülerindeki bir alan için 6 adet 1000 W ve 6 adet de 2000 W olmak üzere 12 adet metal halide lamba kullanarak standarda uygun bir güneş simülatörü tasarımı ve üretimi yapmıştır. Lambalardan 1 m uzaklıkta 790 W/m^2 ortalama ışınım sağlanmıştır. Bir CPC güneş kolektörü hem dış ortamda güneş altında hem de simülatörde test edilmiş, sonuçların benzer olduğunu bildirmiştir. Sopian vd. [6], 45 adet 330 W halojen lamba ile $120 \times 240 \text{ cm}$ boyutlarında güneş simülatörü oluşturmuş, lambaları dimmerle kontrol ederek 600 W/m^2 ortalama ışınım sağlamıştır. Literatürde güneş hücreleri ve PV modüllerinin test edilmesine yönelik benzer çalışmalar da mevcuttur [7-8]. Meng vd. [9], 188 adet, 400 W metal halide lambayla $388 \times 450 \text{ cm}$ boyutunda güneş simülatörü oluşturmuş ve simülatör alanında $150-1100 \text{ W/m}^2$ ışınım şiddeti sağlanmıştır. Lambalarda 175 cm uzaklıkta $200 \times 230 \text{ cm}^2$ 'lik alanda 1000 W/m^2 ışınım şiddet elde edilmiş, bu alandaki ışınım dağılımındaki düzensizliğin $\%4.3$ ve toplam alanda da $\%24.5$ olduğu belirtilmiştir.

Codd vd. [10], yoğunlaştırılmalı güneş güç sistemleri için düşük maliyetli, ışınım şiddeti yüksek bir güneş simülatörü tasarlayıp, üretmiştir. Simülatörde 7 adet 1500 W metal halide lamba kullanılmış, odak merkezinde 61.0 kW/m^2 , merkezden 5.1 cm uzaklıkta 56.4 kW/m^2 ışınım şiddeti oluşturulmuştur. Ekmen vd., [11] tarafından da yüksek ışınım şiddetine sahip güneş simülatörlerinin geliştirilmesi için her biri 6 kW'lık 7 lambanın kullanıldığı sistemde 1

MW/m^2 ışınım şiddeti sağlanmıştır. Yüksek ışınım yoğunluğuna sahip çalışmalar da literatürde bulunmaktadır [12]. Bu simülatörler odaklamalı ve yüksek sıcaklıkta çalışan güneş enerjisi sistemlerinin test edilmesinde kullanılmaktadır.

Fotovoltaik paneller için kullanılacak güneş simülatörlerindeki lambalarla ilgili bir çalışma Esen vd. [13] tarafından yapılmıştır. Çalışma kapsamında karbon ark lambaları, sodyum buharlı lambalar, argon arkı lambaları, kuartz-tungsten halojen lambalar, civa xenon lambalar, ksenon arkı, ksenon flaş lambaları, metal halide lambalar, LED ve süper sürekli lazer ışık kaynakları incelenmiştir. Yine fotovoltaik güneş simülatörlerindeki spektrum ve ölçüm belirsizlikleri Schubert ve Spinner [14] tarafından analiz edilmiştir. Solanki vd, [15], PVT kolektörlerin test edilmesi için 16 adet 500 W lamba ile bir simülatör oluşturmuş, ancak çalışmada simülatör ile ilgili detaylı bilgi verilmemiştir.

Güneş simülatörü ile ilgili daha önceki yapılan çalışmalarda simülatörlerle ilgili ışınım şiddetinin dağılımı ve lambaların konumları gibi detaylar verilmemiş, çoğunlukla kullanım amacına yönelik simülatör yapılıp çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada laboratuvar ortamında güneş kolektörü ısı performans testi için TS EN ISO 9806 standardına uygun bir güneş simülatörü tasarlanıp üretilmiş ve bir düzlemsel güneş kolektörü test edilmiştir.

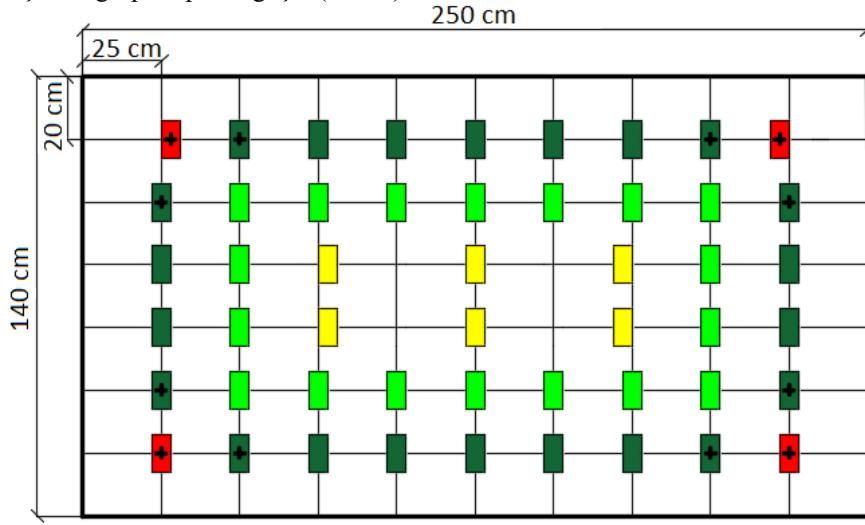
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada literatürdeki benzerleri de referans alınarak $140 \times 250 \times 150 \text{ cm}$ boyutlarında simülatör yapılması planlanmıştır. Lambaların merkezleri arası enine 20 cm ve boyuna da 25 cm olacak şekilde konumlandırılmış ve toplamda 46 adet 119 mm uzunlukta 400 W ve 4 adet 189 mm uzunlukta 1000 W r7s Philips (2900 K) halojen lambalar kullanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalarda ve ön deneysel ölçümlerde, simülatörün orta kısımlarında oluşan ışınım yoğunluğunu azaltmak için lambalar dört gruba ayrılarak dimmerlerle ışınım şiddetleri ayarlanmıştır. Alınan ilk ışınım ölçümlerinden sonra orta bölgelerde yine yoğunlaşma olduğu görülüp, orta bölümden 4 adet lamba çıkarılarak son durumdaki lamba konumları Şekil 1'deki hale getirilmiştir. Buradaki sarı renkli olarak görünen ilk grup sistemin en iç merkezidir. Bu bölge 6 adet 400 W halojen lambadan oluşmakta ve 5 kW'lık dimmer ile kontrol edilmektedir. İkinci grup, ortada kalan lambaları (açık yeşil renkte) kapsar. Bu grup 18 adet 400 W halojen lambadan oluşmakta ve 10 kW'lık dimmer ile kontrol edilmektedir. Üçüncü

grup ise en dıştaki (koyu yeşil) lambalardır. Bu grup 14 adet 400 W halojen lambadan oluşmakta ve 10 kW'lık dimmer ile kontrol edilmektedir. Dördüncü grup ise köşelerde bulunan "+" işaretli grup olup tam güçte (220 V)

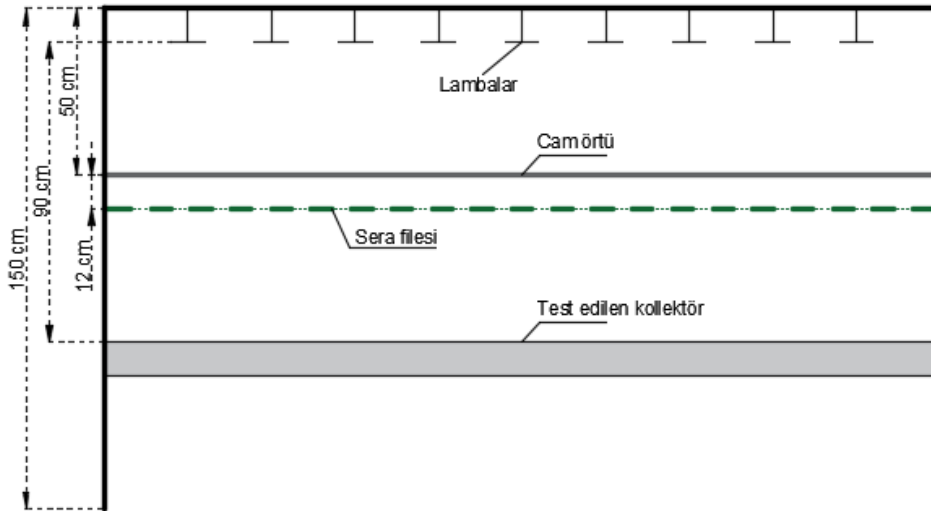
çalışmaktadır. 1. ve 2. grup 120 V, 3. grup 215 V gerilime ayarlanmıştır.



Şekil 1. Simülördeki lambaların konumları

Güneş simülöründe kullanılan 50 adet halojen lambalar tam güçte 22.4 kW gücünde olup, çalıştıklarında bu lambalardan deney ortamına çok miktarda ısı enerjisi yayılmaktadır. Güneş kolektörleri test edilirken simülör lambalarından kolektöre doğru oluşan yoğun ısı akışını kolektörden uzaklaştırmak için 6 mm'lik temperlenmiş camdan bir perde oluşturulmuştur. Cam perdenin altından

ve üstünden birer fan yardımıyla hava akışı sağlanarak lambalarda üretilen ısı simülörden uzaklaştırılmıştır. Böylece test edilen kolektörün alt ve üst ortamlarının yaklaşık aynı sıcaklıkta olması sağlanmıştır. Şekil 2'de simülördeki elamanlar arası mesafe şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2. Simülörde yükseklik ölçüleri

Test ortamındaki ışınım şiddeti yoğunluğunun tespiti için test alanı, 10x12.5 cm ölçülerinde 280 adet alana bölünerek her bir alan için ışınım şiddeti ölçümleri üçer defa tekrarlanarak, ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

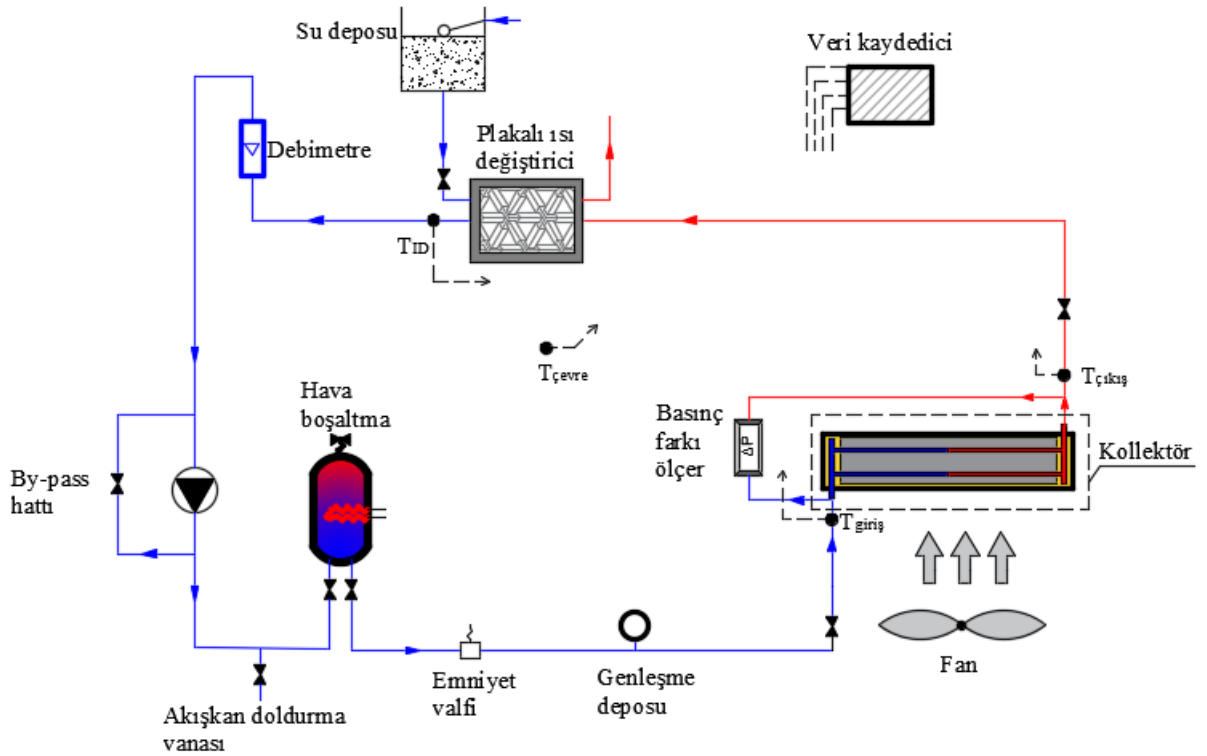
Işınım şiddeti ölçümlerinde Ahlborn FLA613-GS global radyasyon probu kullanılmış olup, bu cihaz $\pm 10\%$ luk hassasiyetle çalışmaktadır. Şekil 3'te oluşturulan güneş simülörü görülmektedir.



Şekil 3. Güneş simülâtörünün görünümü

Simülâtör kullanılarak yapılacak iç ortam kolektör performans testleri, sabit ışınım şiddeti ve akışkan debisinde, kolektöre giren akışkan sıcaklığı değiştirilerek

yapılır. Bu amaçla hazırlanan test düzeneği şematik olarak Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Kolektör testi için oluşturulan deneysel sistemin şeması

Test düzeneğinde kolektöre giren akışkan sıcaklığın istenilen değerde sabit tutmak için 60 lt kapasiteli elektrikli termosifon kullanılmış ve termosifondan alınan suyun sirkülasyonu bir pompa ile sağlanmıştır. Kolektöre giren

ve çıkan akışkan sıcaklıkları Pt100 ile ölçülmüştür. Sistemde dolaşan akışkan debisi Krohne rotametre ile ve kolektördeki basınç düşümü de kolektör giriş ve çıkışındaki fark basınç transmitteri (Autrol APT3100) ile

ölçülmüştür. Kollektörden çıkan akışkan sıcaklığını, istenilen kollektör giriş sıcaklığına yakın bir değere getirmek için plakalı ısı değiştirici kullanılarak depodaki akışkan sıcaklığının sabit bir değerde kalması sağlanmıştır. Test edilen kollektörün alt ve üst ortam sıcaklıkları birer adet K tipi termokupilla ölçülmüş, bu sıcaklıkların ortalaması dış ortam sıcaklığı olarak alınmıştır. Sıcaklık

ölçümleri Ahlborn Almemo 5690-2 ile kaydedilmiştir. Bir adet fan, kollektör üzerinde rüzgar etkisi oluşturmak amacıyla kullanılmış, oluşan havanın ortalama hızı Testo 312-4 ile 1.5 m/s olarak ölçülmüştür. Çizelge 1'de deneysel sistemdeki ölçme cihazlar ve bu cihazların hassasiyetleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan ölçüm cihazları ve hassasiyetleri

Ölçüm cihazı	Kullanım amacı	Hassasiyeti
Pt100	Akışkan sıcaklık ölçümü	± 0.05
K tipi termokupıl	Çevre sıcaklığı ölçümü	± 0.05
Krohne hacimsel debimetre	Debi ölçümü	± % 1.16
Autrol APT3100	Basınç farkı ölçümü	± % 0.075
Ahlborn FLA613-GS	Işınım şiddeti ölçümü	± % 10

Güneş kollektörlerinde verim, alınan enerjinin, kollektör yüzeyine gelen enerjiye oranı şeklinde ifade edilir. Alınan enerji test edilen kollektöre giren akışkanın sıcaklık artışı ile belirlenir. Gelen enerji ise dış ortam şartlarında güneşten, laboratuvar ortamında güneş simülatöründen kollektör alanına gelen enerjidir. Kollektör verimi Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\eta_k = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A I} \quad (1)$$

Burada \dot{m} (kg/s) kütleli debi, C_p (J/kg°C) akışkanın özgül ısı, ΔT (°C) akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı, A (m²) kollektör alanı ve I (W/m²) ışınım şiddetidir. Güneş kollektörlerinin verimi dış ortam sıcaklığı, ışınım şiddeti ve kollektördeki ortalama akışkan sıcaklığı ile değişir. Bu değişim azaltılmış sıcaklık olarak tanımlanmış olup T^* ile ifade edilir (Eşitlik 2).

$$T^* = \frac{T_k - T_c}{I} \quad (2)$$

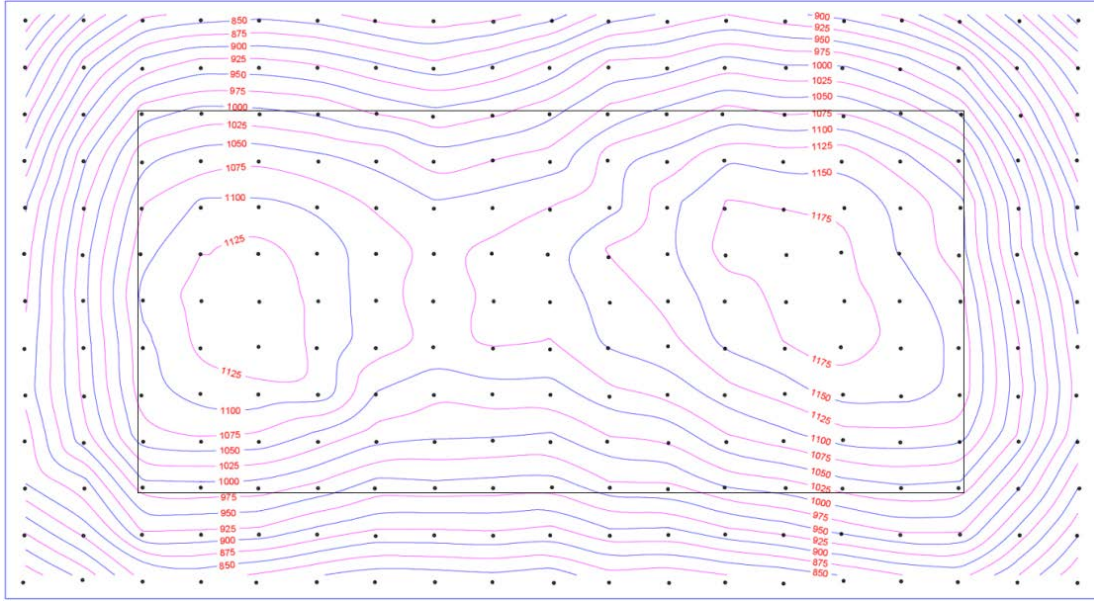
Burada T_k (°C) kollektördeki ortalama akışkan sıcaklığı ve T_c (°C) çevre sıcaklığıdır. Ortalama akışkan sıcaklığı, kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarının, çevre sıcaklığı ise kollektörün üst ve alt kısımlarındaki ortam sıcaklıklarının aritmetik ortalaması olarak alınır.

3. DENEYSEL BULGULAR

Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci kısımda güneş simülatöründeki ölçümlerden elde edilen bulgular ve ikinci kısımda kollektör testlerinden elde edilen bulgular incelenmiştir.

3.1. Güneş Simülatörü Işınım Şiddeti Ölçümlerinin Analizi

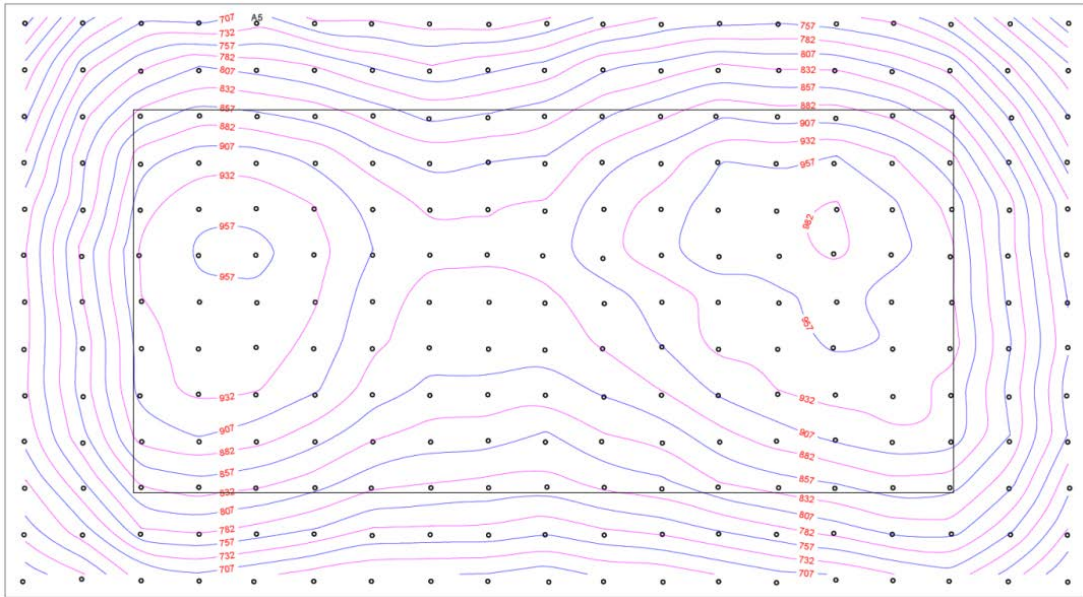
Şekil 1'de verilen lamba konumları ve Şekil 2'deki simülatör tasarımına göre 140x250 cm ölçülerindeki (3.5 m²) alan, 10x12.5 cm'lik bölümlere ayrılıp her bir alan için ışınım şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm değerlerinin eş yükselti eğrileri şeklinde NetCAD programı ile oluşturulan görünümü Şekil 5'de görülmektedir. Şekil üzerindeki her çizgi üzerindeki değer oradaki ışınım şiddetini göstermektedir. Simülatör alanında ölçülen en küçük değer 633 W/m², en büyük değer de 1187 W/m² olup, tüm alanın ortalama ışınım şiddeti 987 W/m²'dir. Ancak ilgili standartta [2] ±%15 sapmaya müsaade edildiğinden standarda uygun değildir. Eş yükselti eğrilerinin dağılımı incelendiğinde simülatör alanının orta kısımlarında ışınım şiddetinde bir yoğunlaşma, kenar kısımlarında ise özellikle köşelerde ise azalma dikkat çekicidir. Bu azalma köşe ve kenarlardaki lambalardan yayılan ışınımın, ölçüm alanının dışına çıkmasından kaynaklanmaktadır. Eğer sadece simülatörün orta kısmındaki çizgilerle işaretlenmiş alan (100x200 cm'lik bölüm) dikkate alınırsa, burada ölçülen en yüksek değer 1187 W/m² ve en düşük değerde 982 W/m² olup, bu alandaki ortalama ışınım şiddeti 1080 W/m²'dir. Bu bölgedeki ortalama değer ±%8 sapma ile standarda uygundur. Bu çalışmada oluşturulan 3.5 m² simülatör alanın %57'si standarda uygun homojenliktedir. Meng vd. [9] oluşturdukları 17.46 m² simülatör alanının sadece %26'sında homojen bir dağılım elde edebilmiştir.



Şekil 5. Simülâtördeki ışınım şiddeti dağılımı

Güneş simülâtörünün Şekil 5'te çizgi ile işaretli bölge içindeki ortalama ışınım şiddeti 1080 W/m^2 'dir. Ancak bu değer, gerçek dış ortam şartlarındaki ışınım şiddetine göre yüksek olduğundan azaltılmasının kollektör verim eğrilerinin oluşturulmasında daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle halojen lambalardaki kısılma

daha da azaltılmadığı için ısı perdesi olarak kullanılan camın altına, seralarda gölgeleme amacıyla kullanılan sera filesi uygulanarak (dimmer gerilimleri 115 V, 115 V ve 210 V'da sabit tutularak) ışınım şiddeti azaltılmış ve ışınım ölçümleri tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen eş yükselti eğrileri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Simülâtörde sera filesi uygulaması ile oluşan ışınım şiddeti dağılımı

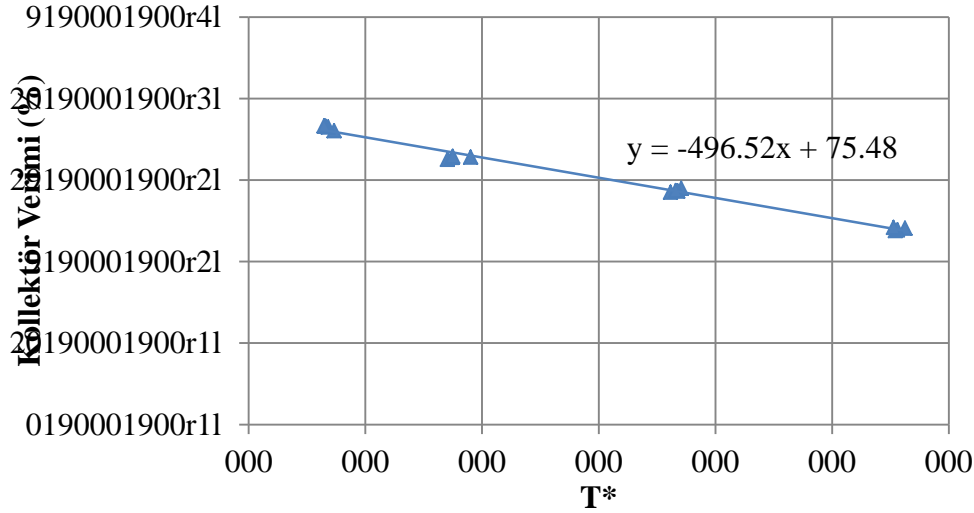
Şekil 6'daki eş yükselti eğrileri incelendiğinde, cam örtü altında tüm alana gölgeleme yapıldığı için karakteristik görünüm Şekil 5 ile aynıdır. Ancak tüm alan için ışınım şiddeti ortalaması ilk uygulamada 987 W/m^2 olmasına rağmen gölgelemeden sonra %17 azalarak 822 W/m^2 'ye getirilmiştir. Bu durumda alandaki ışınım şiddeti ölçümlerindeki en yüksek ve düşük değerler

sırasıyla 533 ve 988 W/m^2 ölçülmüştür. Elde edilen sonuç, standardın istediği maksimum hatadan yine fazladır. Ancak Şekil 6'daki işaretli alan kullanıldığında, en yüksek 988 W/m^2 , en düşük 836 W/m^2 ve ortalama 896 W/m^2 ışınım şiddeti elde edilmiştir. Bu değer maksimum %10 sapmaya karşılık gelmekte olup standarda uygundur.

3.2. Düzlemsel Güneş Kollektörü Test Sonuçları

Çalışmada 38x196 cm boyutlarında bir düzlemsel kollektör, üretilen güneş simülatörü kullanılarak test edilmiş ve verim grafiği oluşturulmuştur. Deneyler 25, 40, 60 ve 80 °C kollektör giriş suyu sıcaklıklarında ve 0.02 kg/s m² standart akışkan debisiyle test edilmiştir. Deneysel çalışmada çevre sıcaklığı 23-29 °C arasında değişmiştir.

Deneylerde kollektöre giren akışkan sıcaklığı istenilen değere ayarlanıp kollektörün kararlı hale gelmesi için en az 60 dakika beklenmiştir. Aynı sıcaklıkta alınan ölçümler tekrarlanırken de her ölçüm arasında bir süre beklenmiştir. Akışkan giriş sıcaklığının her değişiminde aynı prosedür uygulanmıştır. Şekil 7'de deneyler sonucunda oluşturulan kollektör verim eğrisi ve eşitliği verilmiştir.



Şekil 7. Güneş simülatöründe elde edilen düzlemsel kollektör verim eğrisi

Test edilen düzlemsel kollektörün verimi çalışılan sıcaklık aralığında %72 ile %48 arasında bulunmuştur. Literatürdeki düzlemsel kollektörlerle ilgili bazı çalışmalarda kollektör verimleri %66-33, %79-46, %65-51 ve %56-44 olarak verilmiştir [3,4,10-12]. Oluşturulan simülatörde gerçekleştirilen deneylerle literatürle uyumlu sonuçlar alındığı görülmektedir. Kollektörün basınç düşümü sıcaklıkla değişmekte olup, ortalama 28 °C akışkan sıcaklığında 64 l/h akışkan debisi için 19.3 Pa olarak ölçülmüştür.

3.3. Hata Analizi

Kollektör verim hesabındaki hata analizi Eşitlik 3'ten bulunur. Burada m kütleli debi ölçümlerini, T sıcaklık ölçümlerini ve I ışınım şiddeti ölçümlerini ifade etmektedir. Toplam hata ölçülen debinin, sıcaklık değerlerinin ve ışınım şiddetinin ölçüm hatalarını kapsamakta olup, Çizelge 1'deki veriler yardımıyla kollektör veriminde maksimum hata %5.24 olarak hesaplanmıştır.

$$W_{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial m} w_m\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial T} w_T\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I} w_I\right)^2} \quad (3)$$

4. SONUÇ

Çalışmada tasarlanıp üretilen güneş simülatörünün toplam 100x200 cm'lik alanında ortalama 1080 W/m² ışınım şiddeti sağlanmıştır. Simülatördeki ışınım şiddetini gerçek dış ortam şartlarına yaklaştırmak için yapılan sera filesi ile

gölgeleme yapılarak, ortalama ışınım şiddeti 896 W/m² değerine düşürülmüştür. Her iki durumda toplam simülatör alanının %57'lik kısmında, ışınım şiddetindeki sapma TS EN ISO 9806 standardında istenen maksimum ±%15'lik sapmanın altında kalmaktadır. Oluşturulan güneş simülatörlü kollektör test düzeneği ile laboratuvar ortamında, değişken atmosferik şartlardan bağımsız olarak kollektör testleri yapılabilir. Ayrıca sisteme eklenmiş olan fark basınç algılayıcıları ile güneş kollektöründeki basınç düşümü, farklı akışkan debileri için belirlenebilir.

Simülatördeki ışınım şiddeti lambaların konumlarına ve kollektörün lambalardan olan uzaklığına da bağlıdır. Daha önceki çalışmalarda görüldüğü gibi oluşturulan güneş simülatörü tüm alanında standarda uygun bir homojenlik sağlanması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yapılacak deneylerin standarda uygun homojenliğin sağlandığı bölgede yapılması gerekir. Ayrıca ışınım üreten halojen lambaların ortama yaydığı ısı enerjisinin de bir ısı perdesi ile kollektörü etkilemesi engellenmiş ve bir fanla da ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Işınım şiddeti dağılımında orta kısımlarda yoğunlaşma, kenarlarda ve özellikle de köşelerde azalma vardır. Dört köşeye 1000 W'lık lamba yerleştirilmiş olmasına rağmen yeterli olmadığı görülmüştür. Kenarların orta kısımlarındaki 400 W'lık lambaların 1000 W'lık lambalarla değiştirilmesi ile bu sorun azaltılabilir.

Yapılan deneysel çalışmalarda güneş simülatörünü besleyen elektrik şebekesindeki gerilim değişikliklerinin halojen lambalarda üretilen ışınım şiddetini etkilemekte olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalarda sistem

gerilimlerindeki değişim pano üzerindeki voltaj göstergesinden takip edilip, değişiklik durumunda gerekli düzeltmeler manuel olarak yapılmıştır. Sistemin elektriksel kararlılığının sağlanması için voltaj regülatörünün kullanılması daha kararlı veriler alınması için uygun olacaktır.

Güneş simülatörü ile ilgili daha önceki yapılan çalışmalarda genellikle simülatörlerle ilgili detaylı bilgi verilmemiş, çoğunlukla kullanım amacına yönelik simülatör yapılmıştır. Bu çalışmada ise simülatör tasarımı, lambaların konumları, lambalarla güneş kollektörü arasındaki mesafe, ısı perdesi uygulaması, ışınım şiddetinin azaltılması ve alandaki ışınım şiddetinin dağılımı detaylı olarak verilmiştir. Bu çalışma, bundan sonraki araştırmacılara kendi uygulamalarına yönelik simülatör tasarımında yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4680-YL1-16 numaralı proje çalışması kapsamında desteklenmiştir. Çalışmaya katkılarından dolayı EFEM Mekatronik'e de ayrıca teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] S. Fischer, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, B. Perers, P. Bergquist, and B. Hellström, "Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European Standard EN 12975-2", *Solar Energy* 76, 117–123, 2004.
- [2] TS EN ISO 9806, "Güneş Enerjisi-Güneş kollektörleri-Deney metotlar", 2014.
- [3] M. Shatat, S. Riffat, and F. Agyenim, "Experimental testing method for solar light simulator with an attached evacuated solar collector", *International Journal of Energy and Environment*, 4, 2, 219-230, 2013.
- [4] İ.İ. Köse, "Düzlemsel güneş kollektörlerinde boru içerisinde kıvrılmış şerit kullanımının ısı transferine etkisinin deneysel incelenmesi", Süleyman Demirel

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Isparta, 2011.

- [5] H. Sabahi, A.A. Tofigh, I.M. Kakhki, and H. Bungypoor-Fard, "Design, construction and performance test of an efficient large-scale solar simulator for investigation of solar thermal collectors", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 15, 35–41, 2016.
- [6] K. Sopian, Dr. Supranto, W.R.W. Daud, M.Y. Othman, and B. Yatim, "Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media", *Renewable Energy*, 18, 557-564, 1999.
- [7] C. Dominguez, I. Anton, and G. Sala, "Solar simulator for concentrator photovoltaic systems", *Optics Express*, 16, 19, 14894-14901, 2008.
- [8] M.G. Guvenc, C. Gurcan, K. Durgin, and D. MacDonald, "Solar simulator and I-V measurement system for large area solar cell testing", *Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*, 3659, 2004.
- [9] Q. Meng, Y. Wang, and L. Zhang, "Irradiance characteristics and optimization design of a large-scale solar simulator", *Solar Energy*, 85, 1758-1767, 2011.
- [10] D.S. Codd, A. Carlson, J. Rees, and A.H. Slocum, "A low cost high flux solar simulator", *Solar Energy*, 84, 2202-2212, 2010.
- [11] B.M. Ekman, G. Brooks, and M. A. Rhamdhani, "Development of high flux solar simulators for solar thermal research". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 141, 436-446, 2015.
- [12] A. Galloa, A. Marzo, E. Fuentealba, and E. Alonso, "High flux solar simulators for concentrated solar thermal research: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 1385-1402, 2017.
- [13] V. Esen, Ş. Sağlam, and B. Oral, "Light sources of solar simulators for photovoltaic devices: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77, 1240-1250, 2017.
- [14] F. Schubert, and D. Spinner, "Solar simulator spectrum and measurement uncertainties", *Energy Procedia*, 92, 205-210, 2016.
- [15] S.C. Solanki, S. Dubey, and A. Tiwari, "Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors", *Applied Energy* 86, 2421-2428, 2009.