



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Vakum tüplü U-borulu güneş kolektörünün güneş simülatöründeki test sonuçlarının analizi

Analysis of the test results on the solar simulator of the U-pipe evacuated tube solar collector

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet ÖZSOY¹, Mustafa GALİP²

ORCID¹: 0000-0003-0911-9799

ORCID²: 0000-0003-4934-5651

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özsoy A., Galip M., “Vakum tüplü u-borulu güneş kolektörünün güneş simülatöründeki test sonuçlarının analizi”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 229-236, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.385469

Vakum Tüplü U-Borulu Güneş Kollektörünün Güneş Simülatöründeki Test Sonuçlarının Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet ÖZSOY^{1*}, Mustafa GALİP²

¹Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

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

(Geliş/Received : 23.06.2017 ; Kabul/Accepted : 03.01.2018)

ÖZ

Bu çalışmada iç ortam şartlarında güneş simülatöründe vakum tüplü U-borulu bir güneş kollektörü test edilerek verim eğrisi oluşturuldu. Farklı akışkan debilerinde güneş kollektörünün basınç düşümü belirlendi. Simülatörden güneş kollektörü üzerine gelen ışınlar halojen lambalarla sağlanmakta olup, ışınlar kollektör üzerine güneş ışınları gibi birbirine paralel olarak gelmediğinden verim hesabında, absorber izdüşüm alanının kullanılmasının yanıltıcı olacağı görüldü. Daha gerçekçi bir yaklaşım olarak, ışınların geldiği açısız absorber alanının hesaplanması ile ilgili bir yöntem geliştirildi. Kollektör absorber izdüşüm alanına bağlı kollektör verimi %116 ile %80 arasında değişirken, açısız absorber alanına bağlı kollektör veriminin %56 ile %38 arasında değiştiği görüldü. Deneysel çalışmadan elde edilen bu sonuçlar, güneş simülatöründe vakum tüplü güneş kollektörü testlerinde verim hesabında kullanılacak alanın belirlenmesinin önemini ortaya çıkardı. Ayrıca kollektördeki akışkan debisinin kollektör verimine ve basınç düşümüne etkisi de incelendi. Kollektördeki akışkan debisi arttıkça basınç düşümünün de arttığı, göreceli olarak akışkan debisi ile verimde de bir artış gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, vakum tüplü güneş kollektörü, u-borulu güneş kollektörü, güneş simülatörü.

Analysis of the Test Results on the Solar Simulator of the U-Pipe Evacuated Tube Solar Collector

ABSTRACT

In this study, a U-pipe evacuated tube solar collector was tested in a solar simulator under indoor conditions and an efficiency curve was formed. The pressure drop of the solar collector was determined for different mass flow rates. Beams that come from the simulator to the solar collector are provided with halogen lamps. Since beams from the lamps do not come parallel to the collector like solar beams, it would be misleading to use the absorber projection area in the calculation of efficiency. As a more realistic approach, a method that calculates the angular absorber area of beams was developed. While collector efficiency that depends on the collector absorber projection area varies between 116% and 80%, collector efficiency that depends on the field of the angular absorber has changed between 56% and 38%. These results obtained from the experimental study reveal the importance of determining the collector's area to be used in the solar simulator for the efficiency calculation of evacuated tube solar collector tests. The effect of fluid flow on collector efficiency and pressure drop is also investigated. As the fluid flow in the collector increases, the pressure drop also increases and a relatively increase in the efficiency is observed.

Keywords: Solar Energy, evacuated tube solar collector, u-pipe solar collector, solar simulator

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde küresel ısınma ve konvansiyonel enerji kaynaklarının azalması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artmakta olup, bu kaynakların başında da güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi kullanılarak sıcak su veya elektrik enerjisi üretilmesi mümkündür. Sıcak su üretimi yaygın olarak düzlemsel kollektörleri veya vakum tüplü kollektörlerle yapılmaktadır.

Dış ortam ile kollektör sıcaklığı arasındaki farkın az olduğu durumlarda düzlemsel kollektörlerinin verimleri yüksektir. Sıcaklık farkı arttıkça ısı kayıpları da artar ve kollektör verimi düşer. Vakum tüplü kollektörlerin kullanılmasıyla, ısı kayıpları azaltılarak kollektörlerin

daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi sağlanır. Vakum tüpler iki borosilikat cam tüpün iç içe geçirilerek arasındaki havanın 5×10^{-3} Pa değerine kadar vakumlanmasıyla üretilir. Bu vakum katmanını kollektör seçici yüzeyinden çevreye olan ısı kayıpları azaltmakta ve düzlemsel kollektörlerin kullanılmadığı yüksek sıcaklıklarda vakum tüplü kollektörlerin verimli şekilde kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Ülkemizde düşük sıcaklıklar için, düzlemsel güneş kollektörlerinin üretimi ve kullanımı yaygın olmakla birlikte vakum tüplü kollektörlerinin üretimi kısıtlı ve kullanımı da kısmen yaygındır. Kullanılan vakum tüplü sistemler çoğunlukla akışkanın doğrudan cam tüp içinde bulunduğu sistemler ile ısı borulu vakum tüplü sistemlerdir. Vakum boru içerisinde U şeklinde borular kullanılarak oluşturulan U-borulu vakum tüplü sistemler ise hemen hemen hiç kullanılmamaktadır.

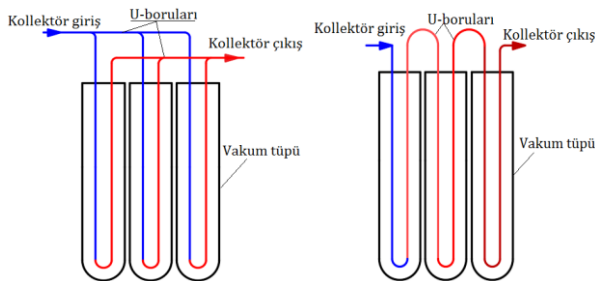
*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : ahmetozsoy@sdu.edu.tr

Yaghoubi vd., vakum tüplü güneş kolektörlerinde vakumun ısı kayıplarına etkisi 250 kW gücündeki bir santralde kullanılan vakum tüplü parabolik kolektörlerde incelemiştir [1]. Yapılan çalışmada normal vakum tüp, az vakumlu tüp ve vakum tüpü kırılarak sadece emici yüzeyin kullanıldığı üç farklı sistem üzerinde ölçümler yapılmış, yüzey sıcaklıkları bu üç farklı uygulama için sırasıyla 47 °C, 57 °C ve 181 °C olarak görülmüştür. Yapılan sayısal çalışmada kolektör verimleri bu üç sistem için sırasıyla %61, %58 ve %46 olarak hesaplanmıştır. Vakum azaldıkça ısı kayıplarının artarak, akışkan çıkış sıcaklıklarının düştüğünü bildirilmiştir.

Güneş kolektörlerinde akışkan sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki fark arttıkça ısı kayıplarının arttığı için verim azalır. Belirli bir sıcaklık farkından sonra verim sıfıra gider. Verimin sıfıra düştüğü bu noktaya stagnasyon noktası denir. Vakum tüplü kolektörlerde stagnasyon noktası düzlemsel güneş kolektörlerine göre çok daha yüksek sıcaklıklardadır. Vakum tüplü sistemler; suyun doğrudan cam tüp içinde akan sistemler, vakum tüplü ısı borulu sistemler ve U-borulu vakum tüplü sistemler şeklinde sınıflandırılabilir. U-borulu vakum tüplü kolektör sistem ile sulu vakum borulu kolektörün karşılaştırıldığı bir çalışmada kolektör verimi her iki sistem için sırasıyla %51,8 ve %35,2 olarak ve birim alandan alınan enerji de sırasıyla 192 kWh/m² ve 132 kWh/m² olarak bulunmuştur [2].

Doğal sirkülasyonlu U-borulu bir sistem ile ısı borulu sistem, ışınım şiddetinin çok değişken olduğu Malezya şartlarında dış ortamda test edilmiş, çalışmada ısı borulu sistem verimi %65, U-borulu sistem verimi ise %53 olarak bulunmuştur [3].

Vakum tüplü U-borulu kolektörlerde U-borularının bağlantıları paralel veya seri olarak (Şekil 1) bağlanabilir. Paralel bağlantılı sistemlerde, sistemde dolaşan toplam akışkan miktarı fazladır. Seri bağlantılı sistemlerde ise kolektörden çıkan akışkan sıcaklığı daha yüksektir. Bazı durumlarda hem seri hem de paralel bağlantı uygulamaları kombine olarak yapılabilmektedir [4].



Şekil 1. Paralel ve seri bağlı U-borulu sistemler (Paralel ve serial connected U-pipe systems)

Vakum tüplü ısı borulu veya U-borulu sistemlere verimi artırmak amacıyla mini yansıtıcılar da yerleştirilebilmektedir. Aboulmagd vd. vakum tüplü U-borulu parabolik kolektörde yansıtıcılı ve yansıtıcısız

kullanımının ısı analizi çalışılmıştır [5]. Ma vd., tarafından yapılan çalışmada [6], ortalama akışkan sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasında 100 °C'lik fark olması durumunda yaklaşık %38 verim elde edilerek deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gao vd. [7], TRNSYS ile simüle edilen vakum tüplü U-borulu kolektörlerin teorik ve deneysel sonuçlarını karşılaştırmış ve kolektör akışkan çıkış sıcaklığının teorik modele çok yakın olduğu belirtilmiştir. Kolektör için optimum debinin farklı iklim bölgeleri ve ışınım şiddetleri ile değişebileceği belirtilmiştir.

Ong vd. [8] doğal dolaşimli vakum tüplü U-borulu kolektörü farklı coğrafi yönlere yönlendirerek test etmiş, uzun dönemli çalışma sonucunda en iyi performans değerlerinin güney ve doğu yönlerinde alındığı belirtilmiştir.

Liang vd. [9, 10] cam tüp içerisine iki veya daha fazla U-borusu konulmasının kolektör verimine etkisi incelenmiş, 1, 2 ve 3 U-borulu kolektör verimleri sırasıyla 0,74, 0,77 ve 0,82 olarak bulunmuştur. Başka bir çalışmada ise vakum tüplü U-borulu kolektörde cam tüp içerisi 106,36 W/m²K ısı iletkenliğe sahip grafit esaslı malzeme ile doldurulmasının kolektör verimine etkisini incelenmiştir. Eklenen maddeyle, bakır levha kanat kullanılan kolektöre kıyasla %11,42 verim artışı sağlandığını belirtilmiştir [11].

Güneş kolektörlerinin dış ortamda gerçek şartlarda test edilmesinde, dış ortam sıcaklığı, ışınım şiddeti ve rüzgâr etkisi gibi kolektör verimini doğrudan etkileyen girdiler sabit olmayıp, zamanla değişmesi nedeniyle sağlıklı veri alınmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Bu nedenle güneş kolektörlerinin dış ortam şartlarından etkilenmeden sabit şartlarda test edilmesi, laboratuvar ortamında güneş simülatörlerinde yapılabilmektedir.

Güneş simülatörü ile ilgili çalışmalar incelendiğinde Shatat vd., 30 adet 400 W halojen lamba kullanarak 2,32 m²'lik bir simülatör oluşturmuş, lambalara uygulanan elektriksel gerilimi değiştirerek simülatör alanında lambalardan 15, 25, 35 ve 45 cm uzaklıklarda 200 ile 900 W arasında ışınım şiddeti elde edilmiştir [12, 13].

Özsoy vd. 28 adet halojen projektör ile oluşturdukları 100x200 cm büyüklüğündeki simülatörde 946 W/m² ortalama ışınım sağlanmış, düzlemsel güneş kolektörlerinde çift cam uygulaması deneysel olarak incelenmiştir [14].

Güneş kolektörlerinde ısı performans testleri sabit sıcaklık değerindeki ölçümlerle veya dış ortamda gerçek çalışma koşullarında zamana bağlı değişiminin incelendiği çalışmalar da vardır. Sabit sıcaklık testlerinde akışkanın kolektöre giriş sıcaklık değerleri belirlenir ve bu sabit değerlerde ölçümler alınarak kolektör verim grafiği oluşturulur. Zamana bağlı değişim deneylerinde ise kolektörün tüm gün boyunca, gerçek çalışma koşullarındaki veriminin anlık olarak değişimi gözlemlenir. Sabit sıcaklık metodu yaygın olarak kullanılmasına karşın bazı araştırmacılar [15-20] zamana bağlı değişimi incelemiş, bazılarıysa [4, 6, 7, 11] sabit

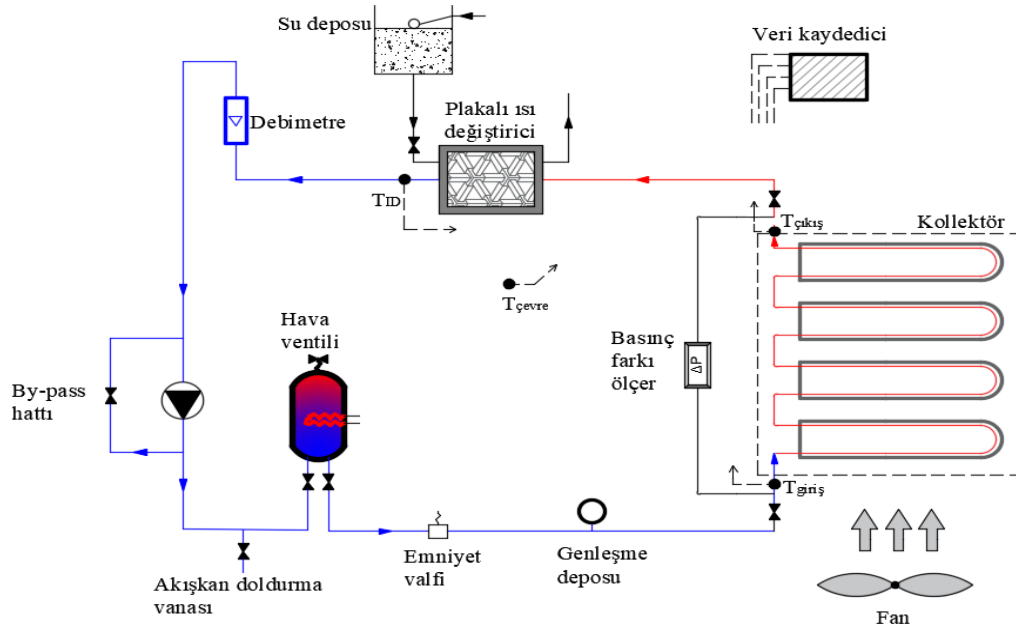
sıcaklık deneyleriyle kollektör verim grafiğini oluşturmuşlardır.

TS EN ISO 9806 standardı [22] güneş kollektörlerinin iç ortamda test edilmesi ile ilgili bir standarttır. Bu standarda göre iç ortam performans testlerinde ışınım değeri en az 700 W/m^2 , kollektörde birim alan için akışkan debisi $0,02 \text{ kg/s m}^2$ ve rüzgâr hızı $1-4 \text{ m/s}$ olmalıdır. Test boyunca kollektördeki akışkan debisindeki değişim $\pm\%10$ 'dan fazla olmamalıdır.

Düzlemsel güneş kollektörleri yüzey alanı düz olduğu için ışınım alınan yüzey bellidir. Ancak vakum tüplü kollektörler silindirik yapıları nedeniyle simülátörde ışınım üreten lambalarla olan konumlarına göre her bir vakum tüp farklı ışınım alanına sahiptir. Dış ortam şartlarında test edilen yada kullanılan güneş kollektörü üzerine gelen güneş ışınimleri, tek kaynaktan ve birbirine paralel olarak geldiğinden alan belirlidir. Vakum tüplü güneş kollektörlerinin iç ortam şartlarında bir güneş simülátöründe test edilip, sonuçların dış ortam şartlarında çalışacak sistemlere uygulanmasında hangi alanın

Bu amaçla hazırlanan test düzeneği şematik olarak Şekil 2'de görülmektedir.

Test düzeneğinde kollektöre gönderilen akışkan sıcaklığını istenilen değerde ayarlamak için 60 lt kapasiteli bir elektrikli termosifon kullanıldı. Termosifondan alınan su bir pompa yardımıyla sisteme gönderildi. Kollektöre giren ve çıkan akışkan sıcaklığı Pt100 tipi sıcaklık ölçme elemanları ile ölçüldü. Sistemde dolaşan akışkan debisi Krohne rotametre ile ve kollektördeki basınç düşümü, kollektör giriş ve çıkışındaki fark basınç transmitteri (Autrol APT3100) yardımıyla ölçüldü. Kollektörden çıkan akışkan sıcaklığını kollektör giriş sıcaklığına yakın bir değere getirmek amacıyla plakalı ısı değiştirici kullanılarak depo sıcaklığının sabit bir değerde kalması sağlandı. Test edilen kollektörün alt ve üst tarafına yerleştirilen birer adet K tipi termokupilla ortam sıcaklığı ölçüldü. Ölçülen bu sıcaklıkların ortalaması dış ortam sıcaklığı olarak alındı. Sıcaklık ölçümleri Ahlborn Almemo 5690-2 ile kaydedildi. Test edilen güneş kollektörü üzerindeki ısı



Şekil 2. Deney düzeneğinin görünümü (The view of the experimental setup)

kullanılacağı konusunda belirsizlik yaşanabilecektir.

Bu çalışmada tarafımızdan tasarlanıp üretilen güneş simülátörü ile laboratuvar ortamında vakum tüplü U-borulu güneş kollektörü ısıl performans testi TS EN ISO 9806 standardına göre yapılmış, güneş simülátörü kullanılarak yapılan vakum tüplü kollektör deneylerinde farklı alanların kollektör verimine etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Deney Düzeneği (Experimental Setup)

Güneş kollektörlerinde kararlı halde ısıl performans testleri sabit ışınım şiddeti ve akışkan debisinde, kollektöre giren akışkan sıcaklığı değiştirilerek yapılır.

toplanmasını önlemek amacıyla kollektör ile halojen lambalar arasına cam konuldu. Bir adet fan cam örtü üzerindeki ısınmayı önlemek amacıyla, bir adet fanla kollektör üzerinde rüzgâr etkisi oluşturuldu ve ortalama hız Testo 445 ile $1,5 \text{ m/s}$ olarak ölçüldü. Simülátördeki ortalama ışınım şiddeti üç farklı ölçüm yapılarak ortalama 1040 W/m^2 olarak bulundu. Güneş simülátöründe test aşamasındaki U-borulu vakum tüplü güneş kollektörü Şekil 3'te görülmektedir.

Bu çalışmada Sunmax SX-SS 17 [25]. U-borulu güneş kollektörü test edilmiştir. Çizelge 1'de çalışmada kullanılan vakum tüplü U-borulu güneş kollektörünün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. Güneş simülöründe U-borulu vakum tüplü güneş kolektörü testi (U-pipe evacuated tube solar collector test in the solar simulator)

Çizelge 1. Vakum tüplü U-borulu güneş kolektörünün teknik özellikleri (Technical specifications of U-pipe evacuated tube solar collector)

Cam tüp	Dış cam çapı (m)	0,047
	İç cam çapı (m)	0,038
	Cam tüp uzunluğu (m)	1,850
	Cam tüp emici yüzey uzunluğu (m)	1,800
	Cam tüp sayısı (adet)	17
U-borusu	Boru dış çapı (m)	0,010
	Et kalınlığı (m)	0,005

2.2. Güneş Kolektörü Yüzey Alanı ve Verim Analizi (Solar Collector Surface Area and Efficiency Analysis)

Güneş kolektörlerinde verim, alınan enerjinin, kolektör yüzeyine gelen enerjiye oranı şeklinde ifade edilir. Alınan ısı enerjisi, gelen enerji ile kaybolan enerjinin farkı şeklinde tanımlanır. Güneş kolektörü verimi Eşitlik 1'de verilmiş olup Eşitlik 2'deki gibi de yazılabilir.

$$\eta_k = \frac{Q_a}{Q_g} \quad (1)$$

$$\eta_k = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A I} \quad (2)$$

Burada \dot{m} (kg/s) kütleli debi, C_p (J/kg°C) akışkanın özgül ısısı, ΔT (°C) akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı, A (m²) kolektör alanı ve I (W/m²) ışınım şiddetidir. Güneş kolektörlerinin verimi dış ortam sıcaklığı, ışınım şiddeti ve kolektörün ortalama akışkan sıcaklığı ile değişir. Bu değişim azaltılmış sıcaklık olarak tanımlanmış olup T^* ile ifade edilir. T^* Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$T^* = \frac{T_k - T_c}{I} \quad (3)$$

Burada T_k (°C) kolektördeki ortalama akışkan sıcaklığı ve T_c (°C) çevre sıcaklığıdır. Kolektördeki ortalama akışkan sıcaklığı, akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarının,

çevre sıcaklığı ise kolektörün üst ve alt sıcaklıklarının aritmetik ortalaması olarak alınır.

Düzlemsel güneş kolektörlerinde verim hesabında ışınımın geldiği alan belirlidir. Ancak vakum tüplü kolektörler iç içe geçmiş iki cam tüp kullanıldığından, alan tanımı farklı şekillerde yapılabilmektedir. Bunlar brüt alan, açıklık alanı ve absorber yüzey alanıdır. Brüt alan; kolektörün dıştan dışa ölçüleriyle kapladığı izdüşüm alanıdır. Açıklık alanı (aperture area) cam tüplerin ara boşlukları ile birlikte izdüşüm alanıdır. Absorber alan ise, emici yüzey olarak kullanılan içteki cam tüpün izdüşüm alanıdır.

Vakum tüplü güneş kolektörlerinin dış ortamda güneş ışınımı altında yapılan testlerde ışınım kaynağı olan güneşten direkt ışınlar paralel olarak gelmekte olup, kolektör absorber alanı üzerinde ısı enerjisine dönüşür. Ancak simülör altında gerçekleşen deneylerde kolektöre çok yakın mesafede ve çok sayıda ışınım kaynağı bulunmaktadır. Işınım kaynağı olarak kullanılan lambalardan çıkan ışınlar ortama farklı açılarla dağılmaktadır. Bu nedenle absorber alanı olarak dış ortam şartlarında test edilen vakum tüp kolektörler için kullanılan içteki cam tüpün izdüşüm alanının kullanımı verim hesabında hatalı sonuçlar verir. Fraunhofer Enerji Enstitüsü'nün yayınladığı vakum tüplü bir kolektörün test raporunda absorber izdüşüm alanı kullanılarak kolektör verimi %110 olarak, cam tüp tam silindirik alanı kullanılarak elde edilen verim ise %60 olarak verilmiştir [21]. Yapılan bazı çalışmalarda silindirik alan, bazılarında ise izdüşüm alanı kullanılmıştır [6-11]. Absorber alanı ile ilgili olarak standartlarda da bir açıklama bulunmamaktadır [22-24].

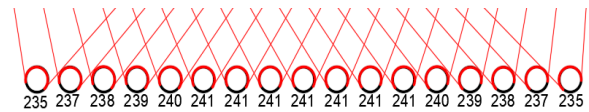
Işınım alınan yüzey olarak içteki cam tüpün (absorber tüp) izdüşüm alanı yada yarı silindirik çevresel alan alınabilir. Bu iki durum için alanlar Eşitlik 4 ve 5'te verilmiştir.

$$A_{abs,izd} = n D_{abs} L_{abs} \quad (4)$$

$$A_{abs,ysil} = n \pi D_{abs} L_{abs} / 2 \quad (5)$$

Burada n (ad) kolektördeki cam tüp sayısını, D_{abs} (m) iç cam tüp dış çapı ve L_{abs} (m) ise absorber alanı kaplı cam tüp uzunluğunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada absorber alanı hesabına yönelik farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda güneş simülördeki lamba konumları ve kolektör gerçek ölçüleriyle AutoCAD programı ile çizilerek, her bir vakum tüpü için aktif ışınım demetleri boru yüzeyine gönderilmiş, ışınım alan yüzeyler açılacak olarak belirlenmiştir. Belirlenen açılacak değerler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Güneş simülöründe vakum tüplerin ışınım alan açılacak yüzey alanları (Angular surface areas that actively receive radiation of evacuated tube in the solar simulator)

Burada her cam tüpün altında yazan değer, cam tüpün iki tarafından gelen ışınların alındığı alanın belirlenmesinde kullanılacak açıdır. Bu açısal değerlerden (α) ışınım alan yüzey alanı bulunur. Şekilden görüldüğü gibi ışınım alma açısı arttıkça her vakum tüpün ışınım alan yüzey alanı da artacaktır. Bu çalışmada kullanılan 17 vakum tüpten oluşan güneş kollektörünün ortadaki 7 vakum tüpe 241° açıyla ışınım gelmekte, yanlara doğru gidildikçe ışınım alma açısı azalmakta ve kollektörün her iki tarafındaki birer vakum tüp 235° açıyla ışınım almaktadır (Şekil 4). Kollektör açısal absorber alanı Eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$A_{abs.a} = \pi D_{abs} L_{c.tüp} \alpha / 360 \quad (6)$$

Burada $A_{abs.a}$ (m^2) açısal alanı, D_{abs} (m^2) seçici yüzeye kaplı vakum tüp dış çapını ve L_c (m) vakum tüp ışınım alan uzunluğunu ifade etmektedir. Absorber alanın belirlenmesinde iç cam tüp iz düşüm alanı, silindirik alanı veya açısal yüzey alanı kullanılması hesaplanan değer yüksek veya düşük görünmesine neden olur. Fakat kazanılan ısı her durumda sabittir. Çizelge 2’de kullanılan kollektöre ait hesaplanan alan değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Hesaplanan kollektör alan değerleri (Calculated values of the collector area)

Alan adı		
Kollektör brüt alanı (m^2)		2,400
Kollektör açıklık alanı (m^2)		1,438
Kollektör absorber alanı	İç cam izdüşüm alanı (m^2)	1,120
	İç cam yarı silindirik alanı (m^2)	1,830
	Açısal alan (m^2)	2,338

2.3. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Bu çalışmada deneysel ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelge 3’teki veriler kullanılarak kollektör verimi için hata analizi Eşitlik 7 ile yapılmıştır.

$$W_\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \dot{m}} w_{\dot{m}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial T} w_T\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I} w_I\right)^2} \quad (7)$$

Burada \dot{m} kütleli debi ölçümlerini, T sıcaklık ölçümlerini ve I ışınım şiddeti ölçümlerini ifade etmektedir.

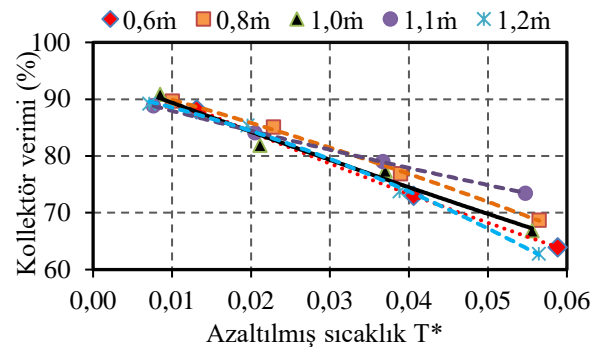
Toplam hata ölçülen debinin, sıcaklık ve ışınım şiddetinin ölçüm hatalarını kapsamakta olup kollektör veriminde maksimum hata %11,4 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Kullanılan ölçüm cihazları ve hassasiyetleri (Measuring instruments and their sensitivities)

Ölçüm cihazı	Kullanım amacı	Hassasiyeti
Pt100	Akışkan sıcaklık ölçümü	$\pm 0,05$
K tipi termokupıl	Çevre sıcaklığı ölçümü	$\pm 0,05$
Krohne hacimsel debimetre	Debi ölçümü	$\pm \%1,16$
Autrol APT3100	Basınç farkı ölçümü	$\pm \%0,075$
Ahlborn FLA613-GS	Işınım şiddeti ölçümü	$\pm \%10$

3. BULGULAR (FINDINGS)

Deneyler 5 farklı debide ve kollektöre giriş sıcaklığı da $25^\circ C$, $40^\circ C$, $60^\circ C$ ve $80^\circ C$ sıcaklıklarında yapılmış, ölçümler standarda uygun olarak dörder defa tekrarlanmıştır. Deneyler süresince çevre sıcaklığı $20-25^\circ C$ arasında değişmiştir. Kollektörde akışkan debisiyle verimdeki değişimi gözlemlemek için standarda uygun olarak kollektör açıklık alanına göre birim alan için akışkan debisi $0,02 \text{ kg/s m}^2$ referans alınarak, uygulanan debi %60 (0,6 \dot{m}), %80 (0,8 \dot{m}), %100 (1,0 \dot{m}), %110 (1,1 \dot{m}) ve %120 (1,2 \dot{m}) oranında alınmıştır. Açıklık alanı kullanılarak farklı akışkan debileri için kollektör veriminin değişimi Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Açıklık alanına göre, farklı debilerdeki kollektör veriminin değişimi (Variation of the collector efficiency at different mass flow rate according to the aperture area)

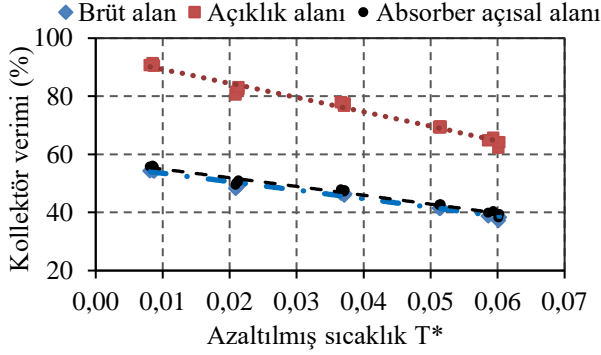
Şekil 5’te grafikleri verilen farklı debilerdeki kollektör veriminin akışkan debisi ile değişimini veren eşitlikler Çizelge 4’te verilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü gibi azaltılmış sıcaklığın (T^*) düşük değerlerinde, debi değişiminin kollektör üzerindeki etkisi daha az, yüksek T^* değerlerinde ise daha fazladır. Örneğin azaltılmış sıcaklığın 0,01 değeri için farklı debilerde kollektör verimi %88 ile %90 arasında, 0,05 için de %67 ile %74 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Literatürdeki bazı çalışmalarda U-borulu kollektör verimleri standart debi değeri için kollektör açıklık alanına bağlı olarak %70 ile %53 arasında [7], bir başka çalışmada %75 ile %66 arasında [11] hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise standart debi için açıklık alanına bağlı verim %90 ile %67 arasında değişmektedir.

Çizelge 4. Debi ile kollektör verimindeki değişiklik (Change in the collector efficiency with the flow rate)

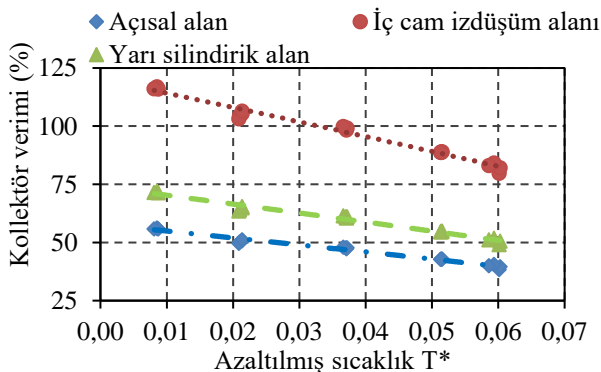
Uygulanan debi /Standart debi	Eşitlik
0,6 \dot{m} (%60)	$\eta = 1272,4x^2 - 623,0x + 96,2$
0,8 \dot{m} (%80)	$\eta = -1370,9x^2 - 366,8x + 93,7$
1,0 \dot{m} (%100)	$\eta = 708,3x^2 - 531,7x + 94,6$
1,1 \dot{m} (%110)	$\eta = 809,5x^2 - 375,2x + 91,6$
1,2 \dot{m} (%120)	$\eta = -3958,9x^2 - 295,5x + 91,9$

Standart debide (1,0m) farklı alanlar kullanılarak oluşturulan verim eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Her durum için toplanan ısı enerjisi sabittir, kullanılan alan türü değiştirildiğinde kolektör veriminin değeri de değişir. Literatürde bu alanların birçoğu kullanılmakla birlikte en yaygın olarak kolektör açıklık alanı kullanılmaktadır.



Şekil 6. Farklı kolektör alanlarına göre verimin değişimi (Variation of the efficiency with different collector areas)

Farklı absorber alanları referans alınarak hesaplanan verimler Şekil 7'de verilmiştir. Kolektörün standart akışkan debisinde, 25 °C akışkan giriş sıcaklığında, iç cam iz düşüm alanı, yarı silindirik alanı ve açısız yüzey alanı ile hesaplanan verimleri sırasıyla %116, %72 ve %56'dır. Görüldüğü gibi iç cam iz düşüm alanıyla hesaplanan verim %100'den büyük olmakta ve kullanılan alanda problem olduğu görülmektedir. Bu durum güneş simülasyonunda yapılan çalışmalarda, verim hesabında kullanılacak alanın belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Kolektör veriminin tespitinde kullanılan alan değiştiğinde sadece sayısal değer değişmekte olup eğrinin karakteristiği değişmemektedir. Eğer ışınların geldiği alan daha küçük alınırsa verim yüksek, alan büyük alınırsa verim de düşük çıkacaktır. Asıl sorun verim eğrisinin projelendirme amacıyla kullanılmasında yaşanabilecektir.

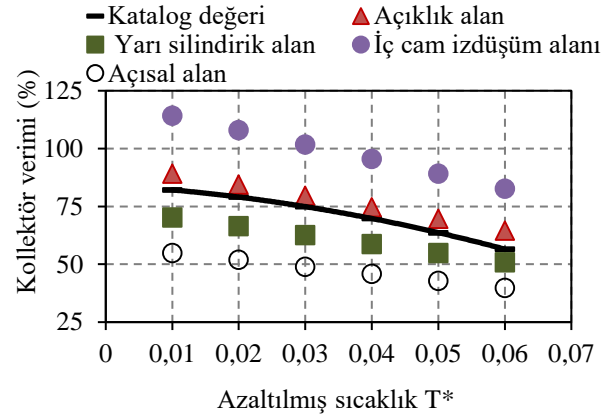


Şekil 7. Farklı absorber alanlarına göre kolektör veriminin değişimi (Variation of the collector efficiency according to different absorber areas)

Şekil 8'de deneysel çalışmada kullanılan güneş kolektörünün katalogunda verilen verim eşitliği ile bu çalışmada elde edilen farklı alan tanımlarına göre elde edilen verim eğrileri karşılaştırılmıştır. Ürün katalogunda verim eğrisinin hangi alana göre oluşturulduğu belirtilmemiştir. Şekil incelendiğinde atölye ortamında güneş simülasyonunda yapılan test sonuçlarından kolektör açıklık alanına göre elde edilen verim değerlerinin katalogta verilen değerlerden ortalama %9 daha fazla olduğu görülmüştür.

Katalogta verilen verim eğrisi: $y = -50,146x^2 - 1,6157x + 0,8428$

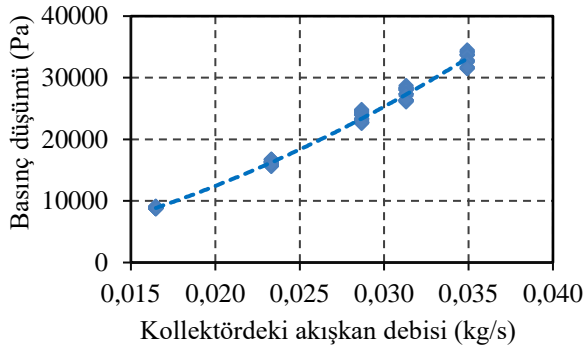
Bu çalışmada türetilen verim eğrisi: $y = -302,039x^2 - 471,752x + 94,024$



Şekil 8. Farklı alan tanımlamalarının katalog değeri ile karşılaştırılması (Comparison of different area definitions with catalog value)

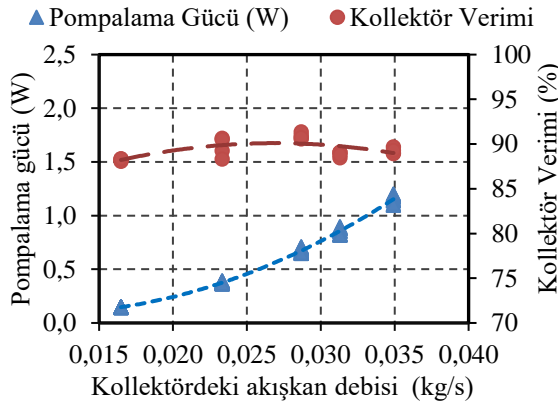
Güneş kolektörlerinin en önemli özelliklerinden olan verim eğrileri ile birlikte kolektördeki basınç düşümü de önemli bir parametre olarak projelendirme aşamasında kullanılır. Kullanılan U-borulu kolektörü için ölçülen basınç düşümü değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Basınç düşümü akışkan debisi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Çalışmada kullanılan kolektör boruları seri bağlantılı olması basınç kaybını standart kolektörlere oranla büyük ölçüde artırmaktadır. Ticari olarak bulunan bazı U-borulu kolektörler için basınç düşümü değerleri literatürde 14, 15, 16 ve 20 vakum tüp sayısı için verilmiştir. Karşılaştırma amacıyla literatürdeki 17 vakum tüp için karşılık gelen basınç düşümü farklı ürünler için 1,3 ile 1,7 kPa arasında [26, 27] değiştiği görülmüştür. Deneysel ölçümleri yapılan kolektörde standart debideki basınç düşümü ise 23,8 kPa olarak bulunmuştur. Buradaki büyük farkın nedeni; literatürden alınan değerlerin paralel bağlantılı U-borular için, bu çalışmada elde edilen sonuçların ise seri bağlantılı U-borular için olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan ölçümlerle, basınç düşümü ile debi arasındaki ilişki belirlenmiş ve Eşitlik 8'de verilmiştir.

$$\Delta P = 20357525,2 \text{ m}^2 + 269865,9 \text{ m} - 1112,8 \quad (8)$$



Şekil 9. Farklı debilerde kollektördeki basınç düşümü (Pressure drops in the collector at different flow rates)

Şekil 10'da kollektördeki basınç düşümünden kaynaklanan pompalama gücündeki artışın akışkan debisiyle değişimi 25 °C'deki kollektör veriminin değişimiyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 10. Pompalama gücü ve kollektör veriminin akışkan debisiyle değişimi (Pumping power and collector efficiency change with the flow rate)

Şekilde görüldüğü gibi 0,029 kg/s akışkan debisine kadar (yaklaşık standart debi) artan debi ile verim değeri de artmış, bu noktadan sonra ise pompalama gücündeki artış devam etmiş, kollektör verimi ise azalmaya başlamıştır.

Kollektördeki basınç düşümüne karşılık gelen gerekli pompalama gücü P_G (W) Eşitlik 9'dan [28] bulunur.

$$P_G = \dot{V} \Delta P \quad (9)$$

Burada, ΔP (Pa) deneysel çalışmada kollektör girişi ile çıkışı arasında ölçülen basınç düşümünü, \dot{V} (m^3/s) hacimsel debiyi ifade etmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Tasarım ve üretimi yapılan güneş simülatöründe vakum tüplü U-borulu bir güneş kollektörünün test edilmesi çalışılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Standart debide iç cam izdüşüm alanına bağlı kollektör verimi %116 ile %80 arasındayken, gerçek absorber alanına (açısal alan) göre kollektör verimi %56 ile %40

arasında değişmektedir. İç cam izdüşüm alanı kullanımının yanıtıcı sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Güneş simülatörleriyle kollektör verim eğrileri oluşturulurken gerçek açılal alan ile brüt alan birbirlerine yakın sonuçları vermektedir. Katalog verilerine en yakın olarak da kollektör açıklık alanına göre elde edilen verim eşitliği olmuştur. Kollektör testleri raporlanırken alan tanımlamaları mutlaka verilmelidir.

- Kollektördeki akışkan debisi arttıkça basınç düşümü de artmakta, göreceli olarak akışkan debisi ile verimde de bir artış gözlenmektedir.

- Farklı akışkan debilerinin kollektör verimine etkisi, basınç kayıpları ve pompalama gücü birlikte değerlendirildiğinde standart debi veya %10 fazlasının kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4680-YL1-16 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yaghoubi M., Ahmadi F. and Bandehee M., "Analysis of heat losses of absorber tubes of parabolic through collector of Shiraz (Iran) solar power plant", *Journal of Clean Energy Technologies*, 1, 1: 1729-1734, (2013).
- [2] Gao Y., Zhang Q., Fan R., Lin X. and Yu Y., "Effects of thermal mass and flow rate on forced-circulation solar hot-water system: comparison of water-in-glass and U-pipe evacuated-tube solar collectors", *Solar Energy*, 98: 290-301, (2013).
- [3] Ong K.S. and Tong W.L., "System performance of U-tube and heat pipe solar water heaters", *Journal of Applied Science and Engineering*, 15/2, 105-110, (2012).
- [4] Pei G., Li G., Zhou X., Ji J. and Su Y., "Comparative experimental analysis of the thermal performance of evacuated tube solar water heater systems with and without a mini-compound parabolic concentrating (CPC) reflector ($C < 1$)", *Energies*, 5: 911-924, (2012).
- [5] Aboulmagd A., Padovan A., Oliveski R. and Col D. "A new model for the analysis of performance in evacuated tube solar collectors", *3rd International High Performance Buildings Conference*, Paper 142, 3559, (2014).
- [6] Ma L., Lu Z., Zhang J. and Liang R., "Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube", *Building and Environment*, 45: 1959-1967, (2010).
- [7] Gao Y., Fan R., Zhang X.Y., An Y.J., Wang M.X., Gao Y.K. and Yu Y., "Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector", *Solar Energy*, 107: 714-727, (2014).
- [8] Ong K.S., Li T.W. and Cheong D., "Performance of U-tube solar water heaters facing different directions", *Journal of Energy and Power Engineering*, 7: 1729-1734, (2013).

- [9] Liang R., Ma L., Zhang J. and Zhao D., "Performance analysis of a new-design filled-type solar collector with double U-tubes", *Energy and Buildings*, 57: 220-226, (2013).
- [10] Liang R., Zhang J., Zhao L. and Ma L., "Research on the universal model of filled-type evacuated tube with U-tube in uniform boundary condition", *Applied Thermal Engineering*, 63: 362-369, (2014).
- [11] Liang R., Ma L., Zhang J. and Zhao D., "Theoretical and experimental investigation of the filled type evacuated tube solar collector with U-tube", *Solar Energy*, 85: 1735-1744, (2011).
- [12] Shatat M., Riffat S. and Agyenim F., "Experimental testing method for solar light simulator with an attached evacuated solar collector", *International Journal of Energy and Environment*, 4: 2, 219-230, (2013).
- [13] Shatat M., Mayere A. and Riffat S., "A standardized empirical method of testing solar simulator coupled with solar tube and concentrator collectors", *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 5: 1, 13-20, (2013).
- [14] Ozsoy A., Demirer S. and Adam N.M., "An experimental study on double-glazed flat plate solar water heating system in Turkey", *Applied Mechanics and Materials*, 564: 204-209, (2014).
- [15] Rodríguez-Hidalgo M. C., Rodríguez-Aumente P. A., Lecuona A., Gutiérrez-Urueta G. L., and Ventas R., "Flat plate thermal solar collector efficiency: Transient behavior under working conditions. Part I: Model description and experimental validation", *Applied Thermal Engineering*, 31: 2394-2404, (2011).
- [16] Li X., Dai Y.J., Li Y. and Wang R.Z., "Comparative study on two novel intermediate temperature CPC solar collectors with the U-shape evacuated tubular absorber", *Solar Energy*, 93: 220-234, (2013).
- [17] Selvakumar P., Somasundaram P. and Thangavel P., "Performance study on evacuated tube solar collector using Therminol D-12 as heat transfer fluid coupled with parabolic trough", *Energy Conversion and Management*, 85: 505-510, (2014).
- [18] Wang P., Guan H., Liu Z., Wang G., Zhao F. and Xiao H., "High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger", *Energy Conversion and Management*, 77: 315-323, (2014).
- [19] Liu Z., Hu R., Lu L., Zhao F. and Xiao H., "Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluid for evacuated tubular high temperature air solar collector", *Energy Conversion and Management*, 73: 135-143, (2013).
- [20] Zambolin E. and Del Col D., "Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions", *Solar Energy*, 84: 1382-1396, (2010).
- [21] Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems, "Efficiency test according to EN 12975-2:2002. Test Report: KTB No. 2005-07-en", (2005).
- [22] TS EN ISO 9806, "Güneş enerjisi- Güneş kolektörleri- Deney metotlar", (2014).
- [23] TS ISO 9459-1, "Güneş enerjisiyle ısıtma-Konut su ısıtma sistemleri-Bölüm 1: İç ortam deney metotları kullanılarak performans değerlendirme işlemi", (1999).
- [24] TS ISO 9459-2, "Güneş enerjisi - Konut su ısıtma sistemleri - Bölüm 2: Sadece güneş enerjili sistemlerin yıllık performans tahmini ve sistem performans karakteristikleri için dış ortam deney metodu", (2000).
- [25] www.sunmax.com.tr/index.php?t=urd&u=1&uk=9&i=11
- [26] www.himinsun.com/2-1-u-pipe-solar.html
- [27] www.himinsun.com/4-5-u-pipe-solar-collector.html
- [28] Keklikcioglu O. and Ozceyhan V., "Experimental investigation on heat transfer enhancement of a tube with coiled-wire inserts installed with a separation from the tube wall", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78: 88-94, (2016).