

## Dinamik test metodu ile bir güneş kolektörünün ısıl performansının belirlenmesi

### Determination of thermal performance of a solar collector by using dynamic test method

Ahmet YILANCI<sup>1</sup>, Öner ATALAY<sup>2\*</sup>, Günnur KOÇAR<sup>3</sup>, Ahmet ERYAŞAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Enerji Anabilim Dalı, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

ahmetyilanci@gmail.com

<sup>2</sup>Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

oatalay@pau.edu.tr

<sup>3,4</sup>Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

gkocar@gmail.com, ahmeter@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 02.05.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 20.12.2018

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.04453

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Güneş enerjisi bakımından zengin konumda bulunan Türkiye’de, sıvılı, örtülü, düzlemsel güneş kolektörleri uzun yıllardan beri evsel sıcak su temininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu kolektörlerin üretim kolaylıkları yüzünden düşük ısıl verime sahip, son kullanıcının ihtiyacını karşılamaktan uzak ürünlerle de sıklıkla karşılaşmaktadır. Bunu önlemek amacıyla, güneş kolektörlerinin ısıl performans testlerinin yapılması gerekmektedir. Isıl performans testleri kararlı ve dinamik çalışma koşulları altında yapılmaktadır. Bu çalışmada, sıvılı (su), örtülü (cam) bir düzlemsel güneş kolektörünün ısıl performansı dinamik çalışma koşulları altında belirlenmiştir. Bu amaçla kolektörün ısıl denklemi oluşturulmuştur ve bir deney düzeneği kurulmuştur. Deneyler dört farklı giriş sıcaklıkları (25 °C, 30 °C, 45 °C, 60 °C) ve sabit kütleli debi (0.037 kg/s) için dış ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yararlı ısı miktarları ve ölçüm değerleri kullanılarak Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ile denklemdaki sabitler çözülmüştür. Deneysel çalışma ve ısıl denklem sonuçları büyük oranda benzer bir karakterizasyonun elde edildiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş kolektörleri, Isıl performans, Verim, Matematiksel modelleme, Dinamik test metodu

#### Abstract

In Turkey at the location where solar energy is rich, liquid-glazed type flat plate solar collectors have been widely used to obtain domestic hot water for many years. However, it is generally faced some products which do not fulfill the requirements of the final consumers and have low thermal efficiencies since this type of collectors are easily manufactured. In order to prevent from this issue, it is needed to do thermal performance tests of the solar collectors. The thermal performance tests are performed under the steady state and dynamic operating conditions. In this study, thermal performance of a liquid based (water), glazed (glass) type solar collector is determined under the dynamic operating conditions. For this purpose, thermal equation of the collector is developed, and an experimental setup is installed. Experiments are performed for four different inlet temperatures (25 °C, 30 °C, 45 °C, 60 °C) and constant mass flow rate (0.037 kg/s) at outdoor conditions. Constants in the equation are solved by Multiple Regression (MLR) method. Results of the experimental study and thermal equation show that a fairly similar characterization is obtained.

**Keywords:** Solar collectors, Thermal performance, Efficiency, Mathematical modeling, Dynamic test method

## 1 Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden ısı (kurutma, soğutma, mekân ısıtma, sıcak su, buhar üretimi vb.) ve elektrik enerjisi elde edilmesinde farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Basitliği, düşük maliyeti, üretim ve bakım kolaylığı gibi avantajları sayesinde düzlemsel güneş kolektörlerinden düşük sıcaklık ( $\leq 100$  °C) uygulamalarında uzun yıllardan beri yararlanılmaktadır. Genellikle düzlemsel bir güneş kolektörü, camdan yapılan saydam bir üst örtü, boşluk, ısının tutulunu sağlayan yutucu plaka, yalıtım ve sızdırmazlık elemanları ile tüm bunları muhafaza eden bir kasadan oluşmaktadır. Türkiye, güneş enerjisi bakımından zengin bir konuma sahiptir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 sa. (günlük toplam 7.2 sa.)’tir.

Ortalama toplam ışınım şiddetinin ise  $1311 \text{ kWh/m}^2 - \text{yıl}$  (günlük toplam  $3.6 \text{ kWh/m}^2$ ) olduğu tespit edilmiştir [1]. Güneş enerjisi bakımından zengin bir konuma sahip olan Türkiye’de yaygın olarak sıcak su elde edilmesi uygulamaları ve bu uygulamalarda da düzlemsel güneş kolektörleri büyük paya sahiptir. Türkiye’de kurulu olan yaklaşık 18 milyon  $\text{m}^2$  güneş kolektörü alanının oldukça büyük bir kısmını cam örtülü, sıvılı, düzlemsel güneş kolektörleri oluşturmaktadır [2]. Ancak, bu kolektörlerin çoğunun tasarımları, üretimleri ve mühendislik uygulamaları standartlardan yoksun olduğundan ısıl performansları ve dolayısıyla verim değerleri bilinmemektedir. Ülkemizde üretilen ve/veya kullanılan düzlemsel güneş kolektörlerinin standartizasyonunun ulusal ve uluslararası sağlanarak, kalite sertifikalarına sahip olmaları sürdürülebilir bir çevre ve ekonomi için gerekli olmaktadır. Bu amaçla daha önceki ismi Elektrik İşleri Etüt İdaresi olan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından, ülkemizde üretilen düzlemsel güneş kolektörlerinin Türk Standartları Enstitüsü’nce verilen ürün belgesi ile ürün veya

marka yenileme belgesi alabilmesi ve üretilen yeni bir ürünün ısı performansının tespit edilmesi amacı ile testleri yapılmaktadır. Fakat üniversite ve araştırma kurumları bünyesinde yürütülen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Düzlemsel güneş kolektörlerinin test metodlarının ana amacı bir kolektörün davranışının en doğru şekilde karakterizasyonunu sağlamaktır. Bu metodlar, kararlı hal ve dinamik test metodu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu metodların uygulanma şekilleri ve aralarındaki temel farklar bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.

1942 yılında Hottel ve Woertz düzlemsel güneş kolektörlerinin temel çalışma prensiplerini ortaya koyarak, ısı performans testleri ile ilgili ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir [3]. Fakat 1970'li yılların sonundan itibaren ısı performans testlerinin standartizasyonu ile ilgili çalışmalara başlanmış, 1974'te Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (NBS) tarafından kararlı hal için test prosedürü belirlenmiş [4] ve ASHRAE 93:1977'de test prosedürleri kararlı hal için açıklanmıştır [5]. Bu gelişmelerin ardından, uluslararası standart ISO 9806:1994 ve Avrupa standardı EN 12975:2001 güneş kolektörlerinin ısı performanslarının belirlenmesi amacıyla oluşturulmuştur. Özellikle Avrupa ülkelerinde kararlı hal metodunun ölçüm aşamasındaki zorluklarından dolayı 1970'li yılların sonlarından itibaren dinamik metodun kullanılmaya başlandığı görülmektedir [6]-[13]. Dinamik metodun yürürlükte olan ISO 9806:2013'te tanımlanmasından önce, ölçüm koşulları, kullanılan matematiksel modeller ve bunların çözüm yaklaşımları ile ilgili literatürde farklı örnekler yer almaktaydı. Nayak ve Amer [12],[14] yaptıkları çalışmalarda bu örnekleri dış ortam testleri için sınıflandırmışlardır. 2014 yılından itibaren ise test metodlarının karşılaştırıldığı, düzlemsel kolektörlerin gerçek koşullardaki davranışının farklı matematiksel yöntemler ve çözüm yaklaşımlarıyla doğrulandığı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [15],[16]. Deng ve diğ. [15] tarafından yapılan çalışmada, dinamik metod ile farklı matematiksel modeller elde edilerek, deneysel olarak bu modeller doğrulanmaya çalışılmıştır. Yaptıkları çalışmada özellikle anlık güneş ışınımı değişiminin keskin olduğu durumlar için çıkış sıcaklığını ve yararlı ısı miktarını kararlı hal metodu ve dinamik metodunu birlikte kullanarak yüksek bir doğrulama ile tahmin etmişlerdir. Kong ve diğ. [16] tarafından yapılan çalışmada ise dinamik test metodunda kullanılan matematiksel modelin çözümünde Laplace dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Deneyler üç farklı günde yapılarak, kararlı hal metodu ile karşılaştırma yapılmıştır. Bulunan sonuçlara göre ısı performans karakteristiğinde kararlı hal metoduna göre verim parametrelerinde %2'lik bir hata ile yakınsama gerçekleşmiştir. Aynı zamanda son yıllarda, farklı ısı kolektörlerin birlikte kullanıldığı durumlar için dinamik metodun ısı performansın belirlenmesinde kullanıldığı çalışmalar da yapılmaya başlanmıştır. Tian ve diğ. [17] tarafından yapılan bir çalışmada, 5960 m<sup>2</sup> alana sahip düzlemsel kolektör ve 4039 m<sup>2</sup> alana sahip parabolik oluklu kolektörlerden oluşan seri bağlı bileşik bir sistem için ısı performans elde edilmiştir. Sistemin TRNSYS'te simülasyonu yapılarak, dinamik modellemesi yapılmış ve birim alan için yararlı ısı miktarları deneysel olarak elde edilerek, model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Eylül 2015-Ağustos 2016 dönemlerini kapsayan bir yıllık deneysel çalışmada çıkış sıcaklıklarının tahmini de farklı gün koşulları için bulunmuştur.

Bu çalışmada, düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı performanslarının dinamik metod kullanılarak, dış ortamda, gerçek koşullar altında belirlenmesi amaçlanmıştır. Düzlemsel

güneş kolektörlerinin ısı performanslarının belirlenmesinde kullanılan test standı kapalı devre bir sistem olarak, ISO 9806:2013 standartına uygun şekilde oluşturulmuştur. Deneylerin gerçek meteorolojik koşullarda yapılması ile düzlemsel kolektörlerin dinamik koşullardaki ısı performansları belirlenmektedir. Bu amaçla, test metodunun uygulanacağı deney düzeneğinde kullanılmak üzere cam örtülü, sıvılı (su) bir düzlemsel güneş kolektörü seçilmiştir. Bu sayede ele alınan bir düzlemsel kolektörün ısı performansına ait karakterizasyonu, deneyler ve matematiksel model ile elde edilen sabitler ile gerçekleştirilmiştir. Böylece bir düzlemsel kolektörün farklı çalışma koşulları altında ısı performansı belirlenerek, kolektörün gerçek koşullar altındaki ısı performansının tahmini sağlanmıştır.

## 2 Düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı performansı

Güneş kolektörlerinden sağlanabilecek yararlı ısı enerjisini kolektörlerin verimleri belirlemektedir. Verim, ısı performansın bir ölçüsüdür ve değişken özelliğe sahiptir. Güneş kolektörlerinin ısı performanslarını kolektörlerin yapısal/tasarım parametreleri (kolektörü oluşturan bileşenlerin ısı özellikleri) ve buldukları yerin meteorolojik verileri (güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, nem gibi) etkilemektedir. Güneş kolektörlerinin ısı performanslarını (verimlerini) belirlemek için farklı ulusal/uluslararası standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlar ile ısı performansların belirli test prosedürleri/ölçüm yöntemleri uygulanarak tekrarlanabilir ve elde edilen performans değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılabilir olması amaçlanmaktadır [18]. Güneş kolektörlerinin ısı performans test metodları, kararlı hal test metodu ve dinamik test metodu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. ISO 9806-1, EN 12975-2 ve ASHRAE 93 (2003) uluslararası standartlarında kararlı hal test metodu ve bu test işlemindeki basamaklar, matematiksel model ve deney düzeneği detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Dinamik test metoduna ise ISO 9806-1 ve EN 12975-2 Standartlarında yer verilmektedir [19],[20].

Günümüzde Avrupa Standardı olan EN 12975-2 ile Uluslararası Standart ISO 9806-1 birleştirilmiştir ve düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı performansları için 2014 yılından itibaren ISO 9806:2013 yürürlükte bulunmaktadır. EN 12975 Standardı yürürlükte olduğu 2001-2014 yılları arasında diğer ilgili EN 12976 ve EN 12977 standartlarıyla birlikte dünyada yaklaşık 18000 kalite sertifikası vermiştir [21]. ISO 9806:2013 No.lu Standartta, iklimsel faktörlere bağlı olarak farklı test düzenekleri ve test prosedürleri/ölçüm yöntemleri bazı şartlar altında belirlenmiştir. Güneş kolektörlerinin ısı performans testleri iç ortam (laboratuvar şartlarında) ve dış ortam koşullarında yapılabilmektedir. İç ortam testlerinde, dış ortamda yapılanlara göre yapay güneş ışınımı elde etmek üzere oldukça pahalı güneş simülatörlerine ve yapay rüzgâr üreteçlerine (dinamik test metodu uygulanırsa) gereksinim bulunmaktadır. Her iki ortamda da kullanılmak üzere iki farklı düzenek tanımlanmıştır. Bunlar açık devreli ve kapalı devreli test düzenekleri olarak standartlarda yer almaktadır. Bu düzeneklerde yapılacak deneyler için kararlı hal ve dinamik (yarı dinamik) test metodları olmak üzere iki farklı test metodu bulunmaktadır.

Kararlı hal metodu yıllardır birçok uluslararası standartta tanımlanmış olmasına rağmen (ISO 9806-1; ASHRAE 93; EN 12975 gibi), dinamik metod sadece Avrupa standardı olan EN 12975'te belirlenmiş durumdaydı [22]. İki metodun

uygulanması sırasında gerekli olan şartlar Tablo 1'deki gibi özetlenebilir.

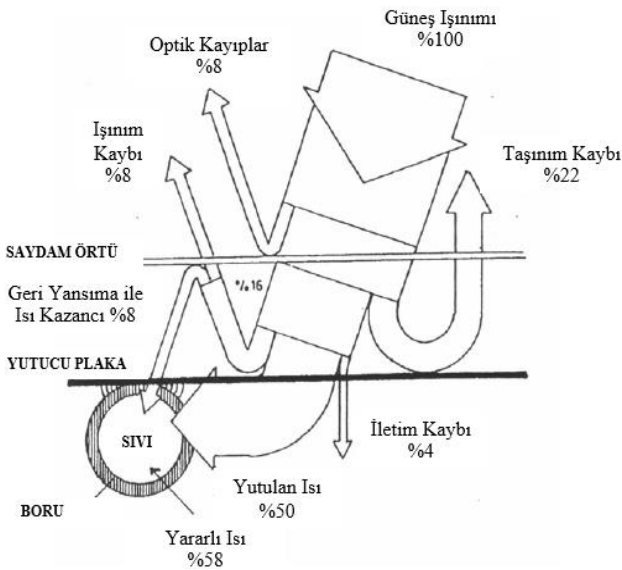
Tablo 1'de görüldüğü gibi kararlı hal metodunun dış ortamda uygulanması, çok kısıtlı bir zaman içerisinde yapılabilmektedir. Bu testlerin gerektirdiği açık atmosfer şartları, yüksek güneşlenme miktarı ve rüzgâr hızı özellikleri, senenin önemli bir bölümünde elde edilememektedir. Bu nedenle genellikle bu şartların kontrollü oluşturulabileceği pahalı iç ortam testleri ön plana çıkmaktadır. Kararlı hal ve dinamik test metodları birbirine oldukça yakın sonuç vermektedir. Ancak dinamik test metodu daha hızlı ölçümlerin alınmasına imkân tanınmasına rağmen, ölçümlerin değerlendirilmesi ve sonuçların elde edilmesi aşamaları daha karmaşıktır.

Tablo 1: Kararlı hal ve dinamik test metodlarının uygulama şartları [22].

Parametre	Kararlı Hal		Dinamik	
	Değ	Hassasiye	Değ	Hassasiye
Güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )	>700	±50	300<	-
Direkt ışınımın geliş açısı	<20	-	-	-
Difüz ışınım oranı (%)	<30	-	-	-
Dış ortam sıcaklığı (°C)	-	±1	-	-
Rüzgar hızı (m/s)	3±1	-	-	-
Kollektör giriş sıcaklığı	-	±0.1	-	±1

## 2.1 Isıl analiz

Kollektöre gelen güneş ışınımı, ısıya dönüşür. Bu ısının bir kısmı saydam örtüden yansır, bir kısmı yutulur ve geri kalan kısmı yutucu plakaya ulaşır. Yutucu plaka ile temasta olan malzemeden ısının bir miktarı taşıyıcı akışkana geçer, bu geçen miktar yararlı ısı olmaktadır. Ancak, yararlı ısı ve yüzeyde depolanan ısının dışındaki ısı çevreye geçmektedir. Çevreye olan ısı kaybı, güneş ışınımı şiddeti, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, kollektörün tipi, yerleşimi, özellikleri gibi değişkenlere bağlıdır. Kollektör yüzeyine düşen direkt ve difüz güneş ışınlarının belli bir kısmı ısıya dönüşürken, geri kalanı da ışınım, taşınım ve iletimle çevreye geçerek kaybolmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Bir güneş kollektörünün örnek ısı bilançosu [23].

Yutucu plaka yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, ısı kayıplar büyümektedir. Kollektörden elde edilen yararlı ısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] = \dot{m} c_p (T_c - T_g) \quad (1)$$

Burada,  $S$  (W/m<sup>2</sup>), güneş kollektörünün yutucu plakasının birim alanı tarafından yutulan güneş ışınımı miktarını göstermektedir.  $U_L$  (W/m<sup>2</sup> °C), kollektörün toplam ısı kayıp katsayısı, yutucu plaka yüzey sıcaklığı  $T_{pm}$  (°C), hava veya çevre sıcaklığı  $T_a$  (°C) ve kollektör alanı  $A_c$  (m<sup>2</sup>) olarak tanımlanmaktadır. Yararlı ısı aynı zamanda akışkana transfer edilen ısı miktarıdır ve  $\dot{m}$  (kg/s) kütleli debiyi,  $c_p$  (kJ/kgK) özgül ısıyı,  $T_c$  (°C) kollektörden çıkan sıvının sıcaklığını ve  $T_g$  (°C) kollektöre giren sıvının giriş sıcaklığını belirtmektedir.

Güneş kollektörünün yutucu plakasının birim alanı tarafından yutulan güneş ışınımı miktarı, plakanın (dolayısıyla seçici yüzeyin) yutma oranına ve saydam örtünün geçirme ve yansıtma oranlarına bağlıdır; aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$S = G_T \left( \frac{\tau \alpha_p}{1 - (1 - \alpha_p) \rho_c} \right) \cong G_T (\tau \alpha_p) \quad (2)$$

Burada, kollektör üzerine düşen güneş ışınımı miktarı  $G_T$  (W/m<sup>2</sup>), camın güneş ışınımını geçirme oranı  $\tau$  (-), yutucu plakanın güneş ışınımını yutma oranı  $\alpha_p$  (-) ve camın güneş ışınımını yansıtma oranı  $\rho_c$  (-) olmaktadır. Sonuç olarak yutucu plakaya gelen enerjinin bir kısmı kollektörde depolanır; geri kalan kısmı ışınım, taşınım ve iletimle çevreye kaybolur.  $A_c$  alanındaki bir kollektörden alınan yararlı ısı, aşağıdaki gibi hesaplanabilir [24],[25].

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_g - T_a)] \quad (3)$$

Burada, kollektörden alınan yararlı ısı  $Q_u$  (W) ve kollektör ısı kazanç faktörü  $F_R$  (-) olarak tanımlanır.

Bir düzlemsel güneş kollektörünün anlık verimi, çalışma akışkanından elde edilen yararlı ısının kollektör üzerine gelen güneş ışınımına oranı olarak tanımlanır [24],[25].

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{A_c F_R [S - U_L (T_g - T_a)]}{A_c G_T} \quad (4)$$

Enerjinin korunumu ve Denklem 4'teki genel verim denklemini gözönüne alınırsa dinamik koşullar altında aşağıdaki ifade yazılabilmektedir [11],[12]:

$$\begin{aligned} \frac{Q_u}{A_c} = & F'(\tau \alpha_p) K_{\theta b}(\theta) G_b + F'(\tau \alpha_p) K_{\theta d} G_d - c_6 W G_T \\ & - c_1 (T_g - T_a) - c_2 (T_g - T_a)^2 \\ & - c_3 W (T_g - T_a) + c_4 (E_L - \sigma T_a^4) \\ & - c_5 \frac{dT_g}{dt} \end{aligned} \quad (5)$$

Burada  $c_i$  terimleri güneş kollektörünün ısı performans denklemlerini belirleyen sabitler olmaktadır. Dinamik metotta toplam güneş ışınımının difüz ve direkt bileşenlerinin katkılarına dikkate alan terimlerle optik performans belirlenmektedir. Rüzgâr hızının iki terimde etkisi bulunmaktadır. Uzun dalga boylu ışınımın ısı kaybına ilave edilmektedir. Genellikle saydam örtülü güneş kollektörlerinde  $c_6$ ,  $c_3$  ve  $c_4$  sabitlerinin etkisi oldukça küçük

olduğundan ihmal edilebilirler [26],[27], sonuç olarak denklem aşağıdaki hale dönüşmektedir:

$$\frac{Q_u}{A_c} = F'(\tau\alpha_p)K_{\theta b}(\theta)G_b + F'(\tau\alpha_p)K_{\theta d}G_d - c_1(T_g - T_a) - c_2(T_g - T_a)^2 - c_5 \frac{dT_g}{dt} \quad (6)$$

Direkt ışınımın geliş açısı düzeltme faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$K_{\theta b}(\theta) = 1 + b_0 \left( \frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad (7)$$

Burada  $b_0$  geliş açısı düzeltme faktörü sabitidir.

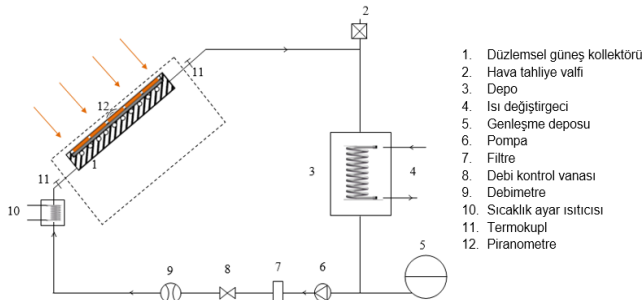
$c_1$  sabitlerinin her birinin bulunmasında literatürdeki [26],[27] çalışmalarda detaylı bir şekilde açıklanan Çoklu Lineer Regresyon çözümünden MS Excel 2013 ortamında yararlanılmıştır. Bu çözüm yönteminde Denklem 6, aşağıdaki gibi düşünülmektedir.

$$\eta = c_1p_1 + c_2p_2 + \dots + c_Mp_M \quad (8)$$

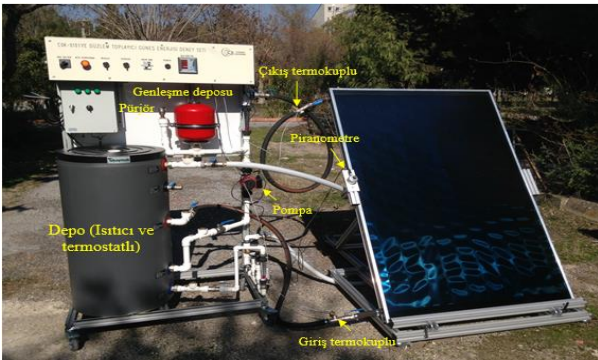
Burada  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_M$  testler sırasında ölçülen değerler ve bilinen değerler olmaktadır. Kollektöre ait bilinmeyenler ise  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_M$  regresyon analizi ile bulunmak istenen değerleri ifade etmektedir.

### 3 Deneysel çalışma ve yöntem

Test düzeneği, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulmuştur. Test düzeneğinin şematik gösterimi ve ölçüm aletlerinin yerleşimi Şekil 2'deki gibidir. Deney standı, ISO 9806:2013 Standardında belirtilen kapalı devre şeklinde tasarlanmıştır. Deney düzeneğindeki kapalı devreyi tamamlayabilmek için testi yapılacak düzlemsel kollektör tesisata bağlanmıştır. Test düzeneğinin fotoğrafı Şekil 3'te bulunmaktadır.



Şekil 2: Isıl performans test düzeneğinin şematik gösterimi.



Şekil 3: Sıvılı düzlemsel güneş kollektörü ısıl performans test düzeneği.

Düzlemsel güneş kollektörü, 45° eğimle, güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Kollektör eğimi ile eşit bir düzlemde bulunan piranometre yardımıyla 45° eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınımının ölçümü sağlanmıştır. El tipi bir anemometre yardımıyla rüzgâr hızı ölçülüp, termometre yardımıyla dış ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Kapalı devredeki suyun dolaşımını sağlamak amacıyla kademeli bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Suyun debisi, rotametre tipi bir debimetre aracılığı ile ölçülmektedir ve aynı zamanda bir ayar vanası aracılığı ile su debisi ayarlanabilmektedir. Bu sayede, deneyler için gerekli olan kapalı devrede dolaşacak ve standartta belirtilen 0.02 kg/s/m<sup>2</sup> (133.2 lt/h) sabit kütleli debi miktarı elde edilmiştir. 100 lt hacmindeki tek serpantinli ve ısıtıcı bir depo (boyler) ile suyun kollektöre giriş sıcaklığı (15 °C, 30 °C, 45 °C ve 60 °C) deneyler için gerekli olan sabit değerlere getirilmiştir. Bu boylerde bulunan termokupullar sayesinde depodaki su sıcaklığı ölçülerek, bir termostatın ısıtıcıyı kontrolü sağlanmıştır. Deneyler bu sıcaklık değerlerine ulaşılması beklenerek, sabit kollektör giriş sıcaklıklarında 10 dk. aralıklarla farklı gün tipleri için standartta belirtildiği gibi yapılmıştır ve 8 kanallı bir veri kaydedici ile 1 dk. ölçüm aralığında sıcaklıklar (suyun kollektöre giriş, çıkış sıcaklıkları, suyun depo içi, depoya giriş, çıkış sıcaklıkları) ve güneş ışınımı değerleri kaydedilmiştir. Testler, 12-16 Ekim 2016 tarihleri arasında yapılmıştır ve aşağıdaki ölçümler alınmıştır:

- Dış ortam sıcaklığı,
- Suyun kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları,
- Suyun kütleli debisi,
- Kollektör yüzeyine gelen anlık güneş ışınımının toplam ve difüz bileşen değeri,
- Rüzgâr hızı.

Testler sırasında sıcaklık ölçerler, piranometre, debimetre ve anemometre kullanılmıştır. Isı taşıyıcı akışkanın çıkış ve giriş sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler, en çok ±0.1 °C hata ile, çevre ve ısı taşıyıcı akışkan sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler ise, en çok ±0.5 °C hata ile, çevre ve ısı taşıyıcı akışkan sıcaklıkları ile yüzey sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler de en çok ±0.1 °C hata ile ölçüm yapabilmektedir. Sıcaklık ölçümleri 6 adet termokupl ile sağlanmıştır. İkinci sınıf bir piranometre ile kollektör üzerine düşen ışınım ölçülmektedir. Rotametre tipi bir debimetre, kollektör devresinde dolaşan suyun kütleli debisini ölçmek ve sabit tutmak amacıyla kullanılmıştır. El tipi bir anemometre ile ±0.5 m/s hassasiyetinde rüzgâr hızı ölçümü yapılmıştır.

### 4 Bulgular ve tartışma

ISO 9806:2013'te belirtilen dinamik testler için 5-10 dk. aralıklarla birbirini takip eden 4-5 gün boyunca ölçümlerin alınması gerekmektedir. Testler, 12-16 Ekim 2016 tarihleri arasında, 5 gün için, saat 09:00-17:10 zaman aralığında, sabit giriş sıcaklığında 10 dk. süre ile, toplam 45 adet yapılmıştır ve 495 ölçüm koşulu incelenmiştir. Bu zaman diliminin seçilmesinde temel olarak dinamik test metodunun standartlarda belirtilen toplam güneş ışınımı değerinin 300 W/m<sup>2</sup>'nin üzerinde olması gerekliliği dikkate alınmıştır. Tarihlerin Ekim ayında seçilmesiyle çok sıcak günlerde deney düzeneği ile sabit kollektör giriş sıcaklığının sağlanmasının zorluğu problemi aşılmıştır.

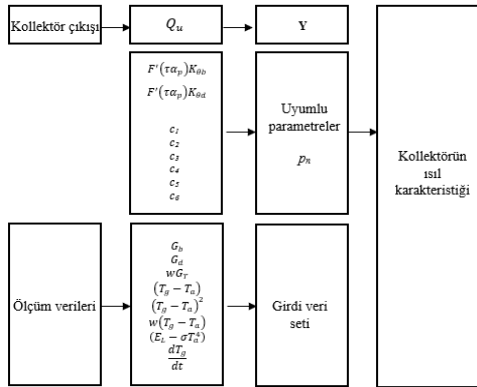
12 Ekim ve 13 Ekim tarihlerinde bulutlu gökyüzü koşullarında, 14 Ekim, 15 Ekim ve 16 Ekim'de ise açık gökyüzü koşullarında

deneylerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Suyun kolektöre giriş sıcaklığı sabit tutularak çıkış sıcaklıklarının değişimi ölçülmüştür, giriş sıcaklıklarının belirlenmesinde Tablo 2'de belirtilen şartlar gözönünde bulundurulmuştur. Buna göre seçilen değerler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2: Sabit giriş sıcaklığı koşulları ve testlerde buna uygun kullanılan değerler.

Sabit akışkan giriş sıcaklığı koşulu (°C)	Suyun kolektöre giriş sıcaklığı (°C)
$T_a \pm 3$	25
$(T_a + 60)/3$	30
$2(T_a + 60)/3$	45
60	60

Ölçüm süresince sabit kolektör giriş sıcaklıkları için suyun kolektörden çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür ve analiz için tüm günlerdeki aynı giriş sıcaklığı değerlerindeki veriler bir araya getirilmiştir. Sabit kütesel debi (0.037 kg/s) ile farklı koşullardaki yararlı ısı miktarları hesaplanmıştır. Regresyon analizinde gerekli olan diğer parametreler hesaplanarak, ısı karakteristiğinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Düzlemsel güneş kolektörünün ısı performans karakteristiğini elde etmek üzere matematiksel modelde sabitler Denklem 5'teki gibi ifade edilmektedir. Kolektör özelliğine bağlı olan değerler, hesaplanan ve ölçülen değerler kullanılarak sabitler bulunabilir. Bu denklemin çözüm yöntemi olarak çalışmada Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemdeki işlem akışı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Çoklu Lineer Regresyon ile ölçüm verileri ilişkisi [26].

$c_i$  sabitlerinin her birinin bulunmasında Microsoft Excel 2013 ortamında, regresyon analizi yapılarak 6 adet sabit elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Regresyon analizi ile elde edilen sabitler.

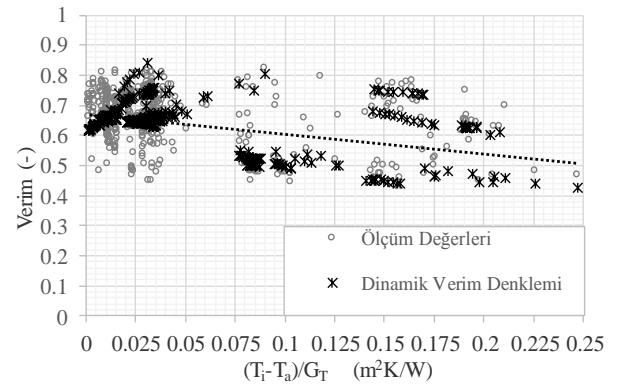
$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$
$F'(\tau\alpha_p)$	$b_0 F'(\tau\alpha_p)$	$F'(\tau\alpha_p)K_{\theta d}$	$-c_1$	$-c_2$	$-c_5$
1.0573	-0.0002	-0.73053	4.3486	-0.1655	0

Sonuç olarak, testte kullanılan düzlemsel güneş kolektörüne ait ısı performans karakteristik denklemi, Denklem 9'daki gibi bulunmuştur:

$$\frac{Q_u}{A_c} = 1.0573G_b - 0.0002G_b \left( \frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) - 0.73053G_d + 4.3486(T_g - T_a) - 0.1655(T_g - T_a)^2 + 14.85498 \quad (9)$$

Denklem 9, ısı performansın karakterizasyonunda, performans parametrelerinin etkisinin incelenmesi için kararlı

hal durumuna göre daha detaylı bir modelleme imkanı sunmaktadır. Böylelikle farklı koşullar altında ve farklı parametrelerle bu düzlemsel kolektörün performansı incelenebilmektedir. Ayrıca daha önce belirtildiği gibi daha kısa süreli deneylerle kararlı hal durumundaki verim eğrisine yakın ve daha iyi sonuç veren bir verim denklemi elde etmek mümkündür. Bu amaçla Denklem 9, Denklem 4'te yerine konularak, verim ifadesi elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen verim ifadesi, ölçümlerle elde edilen verim değerleri ile karşılaştırılabilir. Şekil 5'te ölçümlerle elde edilen verim değerleri, dinamik test metodu ile elde edilen verim değerleri görülmektedir. Kararlı hal durumunda genellikle birinci dereceden doğrusal bir denklem kullanıldığı için dinamik test metodu ile elde edilen verim eğrisinin doğrusal denklemi de Şekil 5'e ilave edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sonuçlar arasındaki büyük bir benzerlik bulunmaktadır.



Şekil 5: Ölçümler ve dinamik verim denklemi ile elde edilen verim değerleri ile dinamik verim denkleminin kararlı hal doğrusal verim denklemi eğrisi.

## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı performanslarının elde edilmesi için EN ISO 9806:2013 standardıyla uyumlu bir test standının kurulumu gerçekleştirilmiştir. Ticari bir düzlemsel güneş kolektörünün dinamik test metodu ile ısı performans karakteristik denklemi elde edilmiştir. Bu çalışmada özet olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Dış ortam testleri daha esnek test koşullarında ve daha az maliyetle yapılmıştır,
- ✓ Dinamik test metodunun uygulanabilirliği gösterilmiştir,
- ✓ Dinamik test metodu ile test süresi kısalmıştır,
- ✓ Dinamik test metodu ile meteorolojik verilerin ısı performansına etkisi daha iyi görülmüştür,
- ✓ Dinamik test metodunun uygulanmasından sonraki analiz safhası oldukça önem taşımaktadır. Bu nedenle, kararlı hal metoduna göre daha kısa süre de analizlerin karmaşıklığı dikkate alınmalıdır,
- ✓ Dinamik test metodunun analizinde literatürde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu projede Çoklu Lineer Regresyon yöntemi ile çözüm yapılmasına ve literatürde en sık kullanılan yöntem olmasına rağmen, diğer yöntemlerle elde edilen çözümler karşılaştırılmalıdır.

- ✓ Dinamik test metodu, daha geniş bir aralıkta ölçümlere izin vermekte ve esnek koşullar altında testler yapılabilir. Bu nedenle günlük verim değişiminin incelenmesinde kararlı hal metoduna göre daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu özelliği, bu metodun düzlemsel kollektörlerin kullanıldığı sıcak su elde etme sistemleri ve ısıtma sistemlerinin yıllık performans simülasyonları/tahminleri için önemli olabilir. Bu durum, yeni araştırmalarda çalışma konusu olarak incelenebilir,
- ✓ İlerideki çalışmalarda, farklı tipteki güneş kollektörlerinin (vakumlu, ısı borulu, yoğunlaştırılmalı, bileşik parabolik gibi) ısıl performanslarının elde edilmesinde dinamik test metodunun kullanımı incelenebilir ve birden fazla kollektör dizisi için performans değerlendirmesi yapılabilir.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 13GEE011.

## 7 Kaynaklar

- [1] Varınca KB, Gönüllü MT. "Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma". *UGHEK'2006: 1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 21-23 Haziran, 2006.
- [2] Mauthner F, Weiss W, Spörk-Dür M. "Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2014". IEA Solar Heating & Cooling Programme, Gleisdorf, Austria, Technical Report, 74, 2016.
- [3] Hottel HC, Woertz BB. "Performance of flat-plate solar-heat collectors". *Transactions of ASME*, 91-104, 1942.
- [4] David Waksman D, Streed E, Seller J. "Solar Collector Durability/Reliability Test Program Plan". US. Department of Commerce-National Bureau of Standards, Washington, USA, NBS Technical Note 1136, 85, 1974.
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors". ASHRAE Standard 93-77, ASHRAE Publications, New York, USA, 50, 1977.
- [6] Gicquel R. "Behavior of plane solar collectors under transient conditions". *International Chemical Engineering*, 19, 51-65, 1979.
- [7] De Ron AJ. "Dynamic modelling and verification of a flat-plate solar collector". *Solar Energy*, 4, 117-126, 1980.
- [8] Matter GR. "Transient response of solar collectors". *Journal of Solar Energy Engineering-ASME*, 104, 165-172, 1982.
- [9] Emery M, Rogers BA, "On a solar collector thermal performance test method for use in variable conditions". *Solar Energy*, 33, 117-123, 1984.
- [10] Frid SE. "Multinode models and dynamic testing methods of solar collectors". *Solar & Wind Technology*, 7(6), 655-661, 1990.
- [11] Perers B. "Dynamic method for solar collector array testing and evaluation with standard database and simulation programs". *Solar Energy*, 50(6), 517-526, 1993.
- [12] Perers B. "An improved dynamic solar collector test method for determination of non-linear optical and thermal characteristics with multiple regression". *Solar Energy*, 59(4-6), 163-178, 1997.
- [13] Amer EH, Nayak JK, Sharma GK. "A transient method for testing of flat-plate solar collectors". *Energy Conversion and Management*, 40, 1-9, 1998.
- [14] Nayak JK, Amer EH. "Experimental and theoretical evaluation of dynamic test procedures for solar flat-plate collectors". *Solar Energy*, 69(5), 377-401, 2000.
- [15] Deng J, Xu Y, Yang X. "A dynamic thermal performance model for flat-plate solar collectors based on the thermal inertia correction of the steady-state test method". *Renewable Energy*, 76, 679-686, 2015.
- [16] Kong W, Perers B, Fan J, Furbo S, Bava F. "A new Laplace transformation method for dynamic testing of solar collectors". *Renewable Energy*, 75, 448-458, 2015.
- [17] Tian Z, Perers B, Furbo S, Fan J. "Analysis and validation of a quasi-dynamic model for a solar collector field with flat plate collectors and parabolic trough collectors in series for district heating". *Energy*, 142, 130-138, 2018.
- [18] Tezcan M. Düzlemsel Güneş Kollektörleri ve Verim Hesaplamaları. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [19] International Organization for Standardization. "ISO 9806: Solar energy - Solar thermal collectors-Test methods". ISO Standard, Geneva, Switzerland, 90, 2013.
- [20] European Committee for Standardization. "EN 12975-2, Thermal solar systems and components, Solar collectors, Part 2: Test methods". Brussels, Belgium, European Standard, 134, 2006.
- [21] Fischer S. "New standards-solar thermal certification". *Sun & Wind Energy (The Magazine for Renewable Energies)*, 6, 52-55, 2013.
- [22] Fischer S, Heidemann W, Muller-Steinhagen H, Perers B, Bergquist P, Hellstrom B. "Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European Standard EN 12975-2". *Solar Energy*, 76, 117-123, 2004.
- [23] Uyarel AY, Öz ES, *Güneş Enerjisi Uygulamaları*. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, Birsen Yayınevi, 1987.
- [24] Tırıs Ç, Tırıs M. *Kollektör Yutucu Yüzeyi Optik Özelliklerinin Toplam Isı Kayıp Katsayısına Etkisi*. 1. Baskı. Kocaeli, Türkiye, Tübitak-MAM Matbaası, 1998.
- [25] Tırıs M, Tırıs Ç, Erdallı Y. *Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri*. Birinci Baskı. Kocaeli, Türkiye, Tübitak-MAM Matbaası, 1997.
- [26] Gaël SG, Ollas P. Optimization of the Quasi Dynamic Method for Solar Collector Testing. MSc Thesis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2012.
- [27] Zambolin E. Theoretical and Experimental Study of Solar Thermal Collector Systems and Components. Doktora Tezi, Università degli Studi di Padova, Padova, Italy, 2013.