

# Alüminyum ve Bakır Borulu Güneş Kolektörlerinin Enerji ve Ekserji Verimlerinin Deneysel Karşılaştırılması

Abdullah YILDIZ, Gökhan GÜRLEK, Ali GÜNGÖR, Necdet ÖZBALTA  
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin coğrafi konuma sahip olan Türkiye'de bu enerji kaynaklarını kullanmak uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, tükenmez enerji kaynağı olan, çevre kirliliği yaratmayan, dışa bağımlılığı olmayan ve işletme giderlerinin düşük olduğu bir enerji kaynağıdır. Türkiye'de güneş kolektörlerinin verimini arttırmak için çalışmalar yapılmakta ve yaygın olarak alüminyum ve bakır borulu sıvılı kolektörler su ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada bakır ve alüminyum borulu güneş kolektörlerinin birinci (enerji) ve ikinci yasa (ekserji) verimleri deneysel olarak irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, güneş kolektörü, enerji analizi, ekserji analizi

## ABSTRACT

Turkey has relatively rich renewable energy resources and utilizing these resources energies as a suitable alternative. Solar energy is one of the most important renewable energy due to relatively small environmental effects, being a local energy source and relatively small operating cost. Several studies are carried out to improve solar collector efficiencies in Turkey. Studies are mostly concentrated on aluminum and copper piped solar water heaters. In this study, energy and exergy efficiencies of such solar water heaters are investigated experimentally.

**Keywords:** Solar energy, solar collector, energy analysis, exergy analysis

## GİRİŞ

Dünya genelinde ve ülke bazında enerji kaynakları arzı, GSMH'ların yaklaşık % 6-7'sini oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yeryüzündeki homojen olmayan dağılımları nedeniyle enerji kaynakları ülkeler arası ticarete konu olmuştur. Bu veriden yola çıkarak enerji ticareti ve yatırımlarının yıllık değerinin 1 milyon doları aştığı belirlenmiştir. Bu ticaret kapsamında ülkelerin, ihtiyaç duydukları enerji kaynaklarını uygun fiyatlarla ve kesintisiz temin etme istekleri güvenlik riskleri sunmakta ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu fosil kaynaklarca zengin olan coğrafyayı stratejik açıdan önemli kılmaktadır. Dolayısıyla enerji sektörü, her ülke için, ekonomik büyüme, iç huzur ve barışın tesisi açısından stratejik öneme sahip bir sektördür.

Enerji sektörü stratejik öneminin dışında, çevreye en fazla

olumsuz etkilerde bulunan sektörlerden biridir. Fosil yakıtların yol açtığı emisyonlar, yerel, bölgesel ve hatta küresel çevre sorunlarına yol açmakta, iklim değişimlerinin nedenleri arasında sayılmaktadır. Bu gibi olumsuz etkiler dikkate alındığında fosil enerji kaynaklarından kademeli olarak uzaklaşarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin coğrafi konuma sahip olan Türkiye'de bu enerji kaynaklarını kullanmak uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, tükenmez enerji kaynağı olan, çevre kirliliği yaratmayan, dışa bağımlılığı olmayan ve işletme giderlerinin düşük olduğu bir enerji kaynağıdır. Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup, güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Doğu Karadeniz Bölgesi dışında tüm bölgelerimizde çok yüksektir. Türkiye'nin yıllık toplam

güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama toplam ışıma şiddeti 1311 kWsaat/m<sup>2</sup>yıl olarak saptanmıştır. Elektrik amaçlı kullanılabilir güneş potansiyelimiz 8,8 MTPE, ısınma amaçlı kullanılabilir potansiyel ise 26,4 MTPE olarak bilinmektedir [1,2].

Güneş enerjisinden su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma gibi ısı amaçlarla yararlanılabileceği gibi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek de olanaklıdır. Güneş enerjisi sistemleri içerisinde en yaygın kullanılan ve en ekonomik olanı sıcak su üretim amacıyla kullanılan kolektörlerdir. Bugün Türkiye'de su ısıtma amaçlı 2,5-3 milyon m<sup>2</sup> kurulu kolektör alanı olup, yıllık kolektör üretimi 400-500 bin m<sup>2</sup> düzeyindedir. Kurulu kolektör alanıyla güneşten kazanılan enerji yılda 120 bin TEP kadardır [1,2].

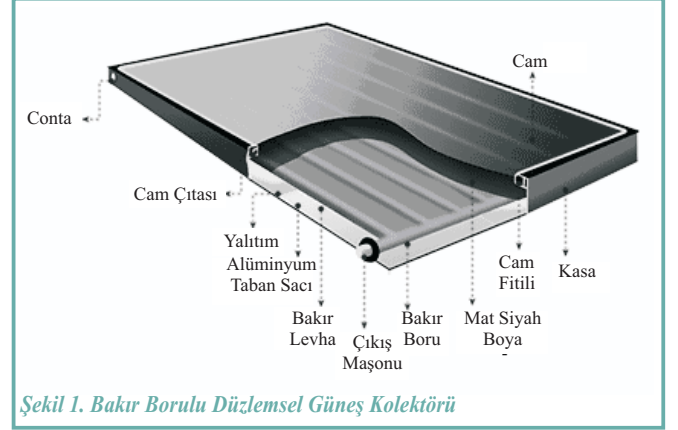
Türkiye'de güneş kolektörlerinin verimini arttırmak için çalışmalar yapılmakta ve yaygın olarak alüminyum ve bakır borulu sıvılı kolektörler su ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada Ege Üniversitesi'nde deneyleri yapılan bakır ve alüminyum borulu güneş kolektörlerinin birinci ve ikinci yasa analizleri yapılarak verimlilik değerleri irdelenmiştir.

## DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Düzlemsel kolektörlerin elemanı olduğu güneş enerjisi sistemleri, en yaygın ve en ekonomik olarak sıcak su üretim amacıyla kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri sıcak su üretim sistemleri, düzlemsel kolektörler, yalıtımlı borular, su deposu, pompa ve kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Sıcak su üretim amacıyla, düzlemsel kolektörlerin yanı sıra güneş enerjisi sistemlerinde odaklı ve vakum borulu kolektörler de kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri, çalışma yapılarına göre doğal dolaşım ve pompalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal dolaşım sistemlerinde ısı transfer akışkanı sistem içerisinde kendiliğinden dolaşırken, pompalı sistemlerde ise ısı transfer akışkanı pompa yardımıyla sistem içerisinde dolaştırılır. Güneş enerjili sıcak su sistemleri kullanım suyu ile kolektörde dolaşan suyun aynı olup olmaması durumuna göre de açık ve kapalı sistemler olarak da adlandırılırlar.

Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin en önemli elemanı güneş kolektörleridir. Düzlemsel güneş

kolektörleri, gelen güneş enerjisini yararlı ısıya dönüştürüp, borular içerisindeki akışkana aktaran cihazlardır. Düzlemsel kolektörler cam örtü yüzey, yutucu yüzey, yalıtım malzemeleri ve kasadan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bakır Borulu Düzlemsel Güneş Kolektörü

Örtü yüzey olarak kullanılan cam, güneş ışınlarını iyi geçirmesi ve yutucu yüzeyden yayınlanan ışınları geri yansıtması nedeniyle en çok tercih edilen malzemedir. Yüksek geçirme katsayılarına sahip cam kullanımı, kolektör ısı verimini arttırmaktadır. Yutucu yüzey güneş ışınlarını yutarak ısıya dönüştürür ve sistemde dolaşan sıvıya aktarır. Yutucu yüzey ile akışkanın dolaştığı borular arasında temasın iyi sağlanması gerekmektedir. Isı kayıplarını en aza indirmek için borular ile kasa arasında yalıtım malzemesi yerleştirilmektedir. Tüm bu sistemi içine alan ve koruyan kasanın sızdırmazlığı sistemin verimi açısından çok önemlidir.

## DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN ISIL VERİMLERİ

Geleneksel ısı sistem analiz yöntemleri termodinamiğin birinci yasasına dayandırılmıştır. Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumunu yani bir ısı sisteme elektrik, yakıt veya madde akışı ile giren bir enerjinin korunacağını ve kayıp olmayacağını ifade eder. Genelde, enerji dengeleri, ısı sistem sınırından geçen enerjinin kalitesi veya niteliği hakkında ve iç kayıplar hakkında bilgi vermez. Birinci yasa, çok çeşitli hal değişimlerine uygulanabilen yararlı ve gerekli bir ilkedir, ancak, bazı enerji dönüşümleri sadece birinci yasa ile açıklanamaz. Birinci yasa, ısı ve iş arasındaki bağıntıyı verir, depolanmış enerjinin tanımlanmasını sağlar fakat herhangi bir enerji dönüşümünün mümkün olup olmadığını,

ne ölçüde gerçekleştirilebileceğini ve iç kayıplar hakkında bilgi vermez. Bunun yanında, termodinamiğin ikinci yasası, ısı sistemlerin analizinde kullanılabilir enerji (ekserji) hakkında bilgi verir. Isı enerjisinin sadece belirli bir kısmının işe çevrilebileceğini, çevrenin iç enerjisinden faydalanılarak iş elde edilemeyeceğini belirtir. Bunun sonucunda, bütün doğal olayların tersinmez olduğunu ve enerjinin bir şekilden diğer bir şekle dönüşümünde faydalanılabilecek kısmının azaldığı sonucuna varılmaktadır. Ekserji, enerji kalitesinin veya niteliğinin bir ölçüsüdür ve ısı sistem içinde kaybolabilir. Yani ikinci yasa analizi, bir ısı sisteme elektrik, yakıt veya madde akışı ile giren ekserjinin bir kısmının tersinmezliklerden dolayı sistem içinde kaybolacağını ifade eder.

### Birinci Yasa (Enerji) Verimi

Güneş enerjili düzlemsel kolektörlerin ısı verimleri, yutucu yüzeyin optik ve ısı verimleri ile dış iklim özellikleri (sıcaklık ve rüzgâr hızı), güneş ışınımının geliş açısına, kolektör düzlemine gelen güneş ışınımına, kolektör eğimine, çalışma akışkanı kütleli debisine bağlıdır.

Güneş enerjili düzlemsel kolektörlerinin anlık ısı verimi, çalışma akışkanından elde edilen yararlı ışınım kolektör yüzeyine gelen güneş enerjisine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta = Q/AI_t \quad (1)$$

Eş. (1)'de,  $\eta$  ısı verim,  $Q$  yararlı ısı,  $A$  ( $m^2$ ) kolektör alanı ve  $I_t$  ( $W/m^2$ ) kolektör düzleminin birim alanına gelen toplam güneş ışınımı şiddetidir. Yararlı ısı ( $Q$ ) aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$Q = \dot{m}C_p (T_c - T_g) \quad (2)$$

Eş. (2)'de, ( $kg/s$ ) çalışma akışkanı kütleli debisi,  $C_p$  ( $J/kg^\circ C$ ) çalışma akışkanı özgül ısı,  $T_c$  ( $^\circ C$ ) ve  $T_g$  ( $^\circ C$ ) sırasıyla çalışma akışkanının kolektörden çıkış ve kolektöre giriş sıcaklıklarıdır. Düzlemsel güneş kolektörü ısı verim deneyleri için alınan ölçüm değerleri kullanılarak gelen güneş enerjisi, yararlı ısı ve çevreye olan ısı kayıpları belirlenir. Kararlı hal koşullarında çalışan bir düzlemsel kolektörün ısı verimi ortalama akışkan sıcaklığı cinsinden:

$$F_m = F_m U (T_f - T_a) / I_t \quad (3)$$

olarak tanımlanır. Burada,  $F_m$  kolektörden gerçekte elde edilen yararlı ısının tüm kolektör yüzeyinin akışkan ortalama

sıcaklığında olması durumunda alınabilecek yararlı ısıya oranı olarak tanımlanır ve kolektör ısı verim faktörü olarak isimlendirilir,  $U$  ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) toplam ısı kayıp katsayısı,  $T_a$  ( $^\circ C$ ) çevre sıcaklığı,  $\tau$  cam örtü geçirgenlik katsayısı ve  $\alpha$  yutucu yüzey yutma katsayısıdır.

Çalışma akışkanı ortalama sıcaklığı ( $T_f$ ), akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması olarak alınır.

$$T_f = (T_{f1} + T_{f2})/2 \quad (4)$$

Doğrusal yaklaşım kullanılarak kolektör ısı verim eğrilerinin oluşturulmasında toplam ısı kayıp katsayısının sabit olduğu varsayılmaktadır. Ancak yukarıda tanımlanan ısı verim eşitliklerinde yer alan toplam ısı kayıp katsayısı, sabit olmayıp; yutucu yüzey, çevre ve gökyüzü sıcaklıkları ile rüzgâr hızı, kolektör eğimi, yutucu yüzeyin özelliklerine bağlıdır. Bu değişkenlerin kolektör ısı kayıp katsayısı ve dolayısıyla kolektör ısı verimi üzerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Türkiye'de halen geçerli olan ilgili standartlarda rüzgâr hızının  $5,5 \text{ m/s}$ 'nin altında olma ve çevre sıcaklığının  $5-32 \text{ } ^\circ C$  arasında olma gibi sınır değerler dışında bir verim değerlendirmesi deneyi bulunmamaktadır. Türkiye'de de Avrupa standartlarına uyumlu olarak hazırlanan yeni Türk standartlarında toplam ısı kayıp katsayısının değişimi dikkate alınarak kolektör ısı verim denklemi ortalama akışkan sıcaklığı (Eş. 4) temel alınarak ikinci dereceden denklemle verilmektedir [3].

$$F_m = \alpha_1 (T_f - T_a) / I_t + \alpha_2 (T_f - T_a) / I_t^2 \quad (5)$$

Burada  $\alpha_1$  birinci dereceden ısı kayıp katsayısı,  $\alpha_2$  ikinci dereceden ısı kayıp katsayısıdır. ısı verimin ikinci dereceden denklemle ifade edilebilmesi için  $\alpha_2$  değeri negatif olmamalıdır. Ayrıca ışınım değeri  $800 \text{ W/m}^2$  olmalıdır. Yeni yaklaşım ile halen kullanılmakta olan değerlendirme yöntemi karşılaştırılırsa, özellikle denge sıcaklığı ile optik verimlilik değerlerinin doğrusallaştırılmış ısı verim eğrisinden elde edilebilecek sonuçlara göre farklı olabilmektedir [4,5].

### İkinci Yasa (Ekserji) Verimi

Mevcut bir çevrede, belirli bir başlangıç durumu ile, bir sistemden alınabilecek maksimum iş, "ekserji" olarak tanımlanır. Sistemden çıkan ekserjinin sisteme giren ekserjiye oranı ekserji verimi olarak tanımlanmaktadır. Bu yasadaki elde edilen sonuçlarla,

- Isı makinalarının maksimum verimleri saptanabilir.
- Soğutucuların maksimum etki katsayıları saptanabilir.
- Düşündüğümüz herhangi bir hal değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği saptanabilir.
- Bir kimyasal reaksiyonun veya başka bir hal değişiminin hangi yönde gelişeceği tahmin edilir.
- Fiziksel özelliklerden bağımsız bir sıcaklık ölçeği geliştirilebilir.
- Fiziksel özellikler arasında bağıntılar oluşturulabilir [6]

Literatürde, giriş ekserjisi iki şekilde ifade edilmektedir.

#### Metot I

Bu metotta, giriş ekserjisi  $\dot{E}x_g$  aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{E}x_g = I_t A_c \left( 1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \quad (6)$$

Eş. (6)'da,  $T_s$  (K) güneş yüzey sıcaklığıdır ve burada 6000 K olarak alınmıştır.

Çıkan ekserji ise Eş. (7) ile ifade edilebilir.

$$\dot{E}x_\zeta = \dot{m} h_\zeta - h_g - T_a s_\zeta - s_g \quad (7)$$

Eş. (7)'de,  $h_\zeta$  ve  $h_g$  (kJ/kg) sırasıyla çıkan ve giren suyun özgül entalpisi,  $s_\zeta$  ve  $s_g$  (kJ/kgK) sırasıyla çıkan ve giren suyun özgül entropisidir.

Eş. (7)'den yararlanılarak, çıkış ekserjisi aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir.

$$\dot{E}x_\zeta = \dot{m} C_p (T_\zeta - T_g) - T_a \ln \frac{T_\zeta}{T_g} \quad (8)$$

Ekserji verimi, çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta = \frac{\dot{E}x_\zeta}{\dot{E}x_g} = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}x_g} \quad (9)$$

Eş. (9)'da,  $\sum \dot{I} = T_o \cdot S_{\text{üretim}}$  toplam tersinmezliği ifade etmektedir.

Eş. (6) ve (8), Eş. (9)'da yerine konulursa ekserji verimi (veya ikinci yasa verimi) için genel ifade elde edilir.

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_\zeta - T_g) - T_a \ln \frac{T_\zeta}{T_g}}{I_t A_c \left( 1 - \frac{T_a}{T_s} \right)} \quad (10)$$

#### Metot 2

Bu metotta, Petala (2003) [7] tarafından tanımlanan giriş ekserjisi tanımına göre ekserji verimi ifade edilmiştir. Giriş ekserjisi Eş. (11) ile verilmiştir.

$$\dot{E}x_g = I_t A_c \left( 1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} - \frac{1}{3} \frac{T_a}{T_s} \right)^4 \quad (11)$$

Çıkan ekserji Eş. (7) ve (8)'de tanımlandığı gibidir ve bu metoda göre ekserji verimi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_\zeta - T_g) - T_a \ln \frac{T_\zeta}{T_g}}{I_t A_c \left( 1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} - \frac{1}{3} \frac{T_a}{T_s} \right)^4} \quad (12)$$

## ENERJİ VE EKSERJİ VERİMLERİNİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada Ege Üniversitesi'nde deneyleri yapılan bakır ve alüminyum borulu sıvılı güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Kolektör ısı verimini etkileyen faktörler: kolektöre giren suyun debisi ve sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve kolektör tasarımıdır.

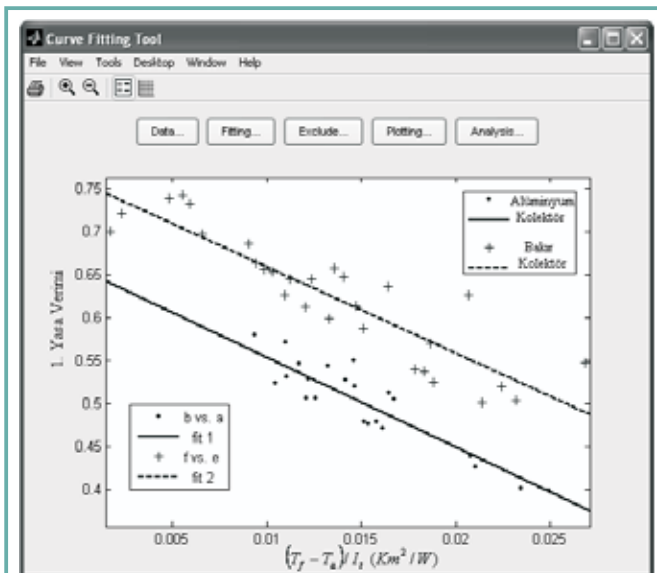
Kolektör ısı verimi, ASHRAE ve TSE standartlarında belirtildiği gibi, ortalama akışkan sıcaklığı cinsinden Eş. (3) ve (5)'de tanımlandığı gibi, sırasıyla birinci ve ikinci derece denklem ile ifade edilmektedir. (Eş. 3) doğrusal bir denklem ve Eş. (5) ikinci derece denklemleri sırasıyla aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$\eta(x) = \eta_0 - a_0(x) \quad (13)$$

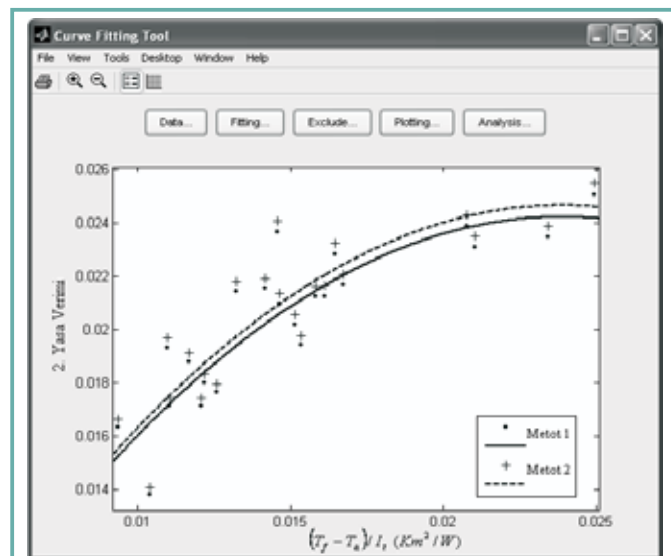
$$\eta(x) = \eta_1 - a_1(x) - a_2 I(x^2) \quad (14)$$

Eş. (13) ve (14)'de,  $\eta_0$ ,  $\eta_1$ ,  $a_0$ ,  $a_1$  ve  $a_2$  dönüşüm faktörüdür.  $x = (T_f - T_a)/I_t$  olarak tanımlanan "kolektör çalışma parametresi" dir.

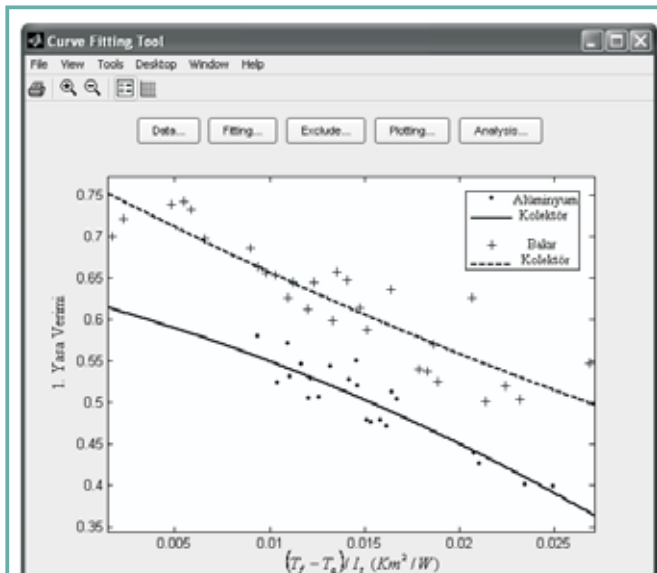
Eş. (13) ve (14)'de tanımlanan parametrelere göre, eğri uydurma tekniği kullanılarak, değeri ile bakır ve alüminyum kolektörler için kolektör ısı verimine karşılık gelen birinci ve ikinci derece eğriler çizilmiş ve sırasıyla Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir.



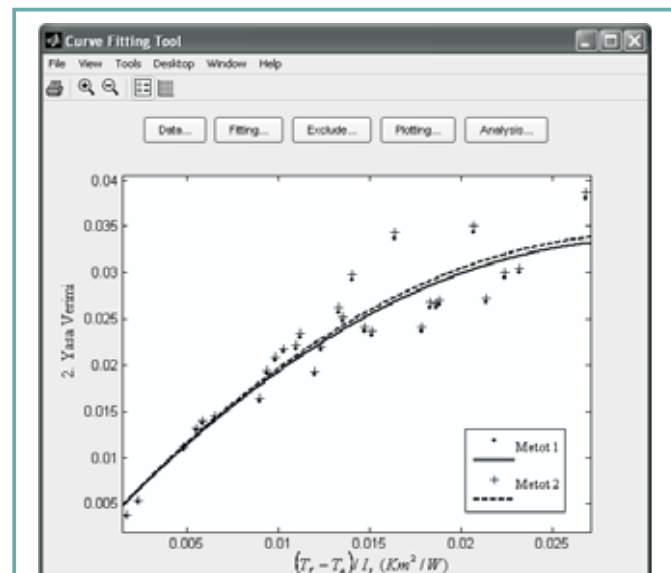
Şekil 3. Alüminyum ve Bakır Borulu Kolektör İçin Kolektör Isıl Veriminin Çalışma Parametresine Göre Değişimi (Doğrusal Denklem)



Şekil 5. Alüminyum Borulu Kolektör İçin Kolektör Ekserji Veriminin Çalışma Parametresine Göre Değişimi (İkinci Derece Polinom Denklem)



Şekil 4. Alüminyum ve Bakır Borulu Kolektör İçin Kolektör Isıl Veriminin Çalışma Parametresine Göre Değişimi (İkinci Derece polinom denklem)



Şekil 6. Bakır Borulu Kolektör İçin Kolektör Ekserji Veriminin Çalışma Parametresine Göre Değişimi (İkinci Derece Polinom Denklem)

Standartlarda güneş kolektörlerinin ekserji analizi ile ilgili herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Yukarıda da ifade edildiği gibi ikinci yasa analizi ile sistemlerin maksimum çalışma koşulları belirlenebilir. Bu doğrultuda bu çalışmada, alüminyum ve bakır borulu sıvılı kolektörler içinde  $x$  çalışma parametresine bağlı Metot 1 ve 2 ile bulunan ekserji verim eğrileri sırasıyla Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.

Eğri uydurma sonucu enerji verimliliği için bulunan doğru ve ikinci derece polinom denklemleri Tablo 1'de verilmiştir.

Aynı yöntem ile Metot 1 ve Metot 2'ye bağlı olarak alüminyum

ve bakır borulu kolektörlerin ekserji verimliliği için bulunan ikinci derece polinom denklem takımları Tablo 2'de verilmiştir.

Şekil (4-6)'dan görüldüğü gibi bakır borulu kolektörün enerji ve ekserji verimi alüminyum borulu kolektörün ısı veriminden yüksektir. Tanımlanan verimliliklerin deneysel çalışmada kullanılan alüminyum ve bakır borulu kolektörler için geçerli olduğu belirtilmelidir. Aynı geometriye sahip kolektörlerde değişik fiziksel özellikler iyileştirmeleriyle verimliliklerin iyileştirilebileceği unutulmamalıdır. En önemlisi ise, bir güneş enerjili su ısıtma sistemi

Tablo 1. Enerji Verimliliği İçin Bulunan Doğrusal ve İkinci Derece Polinom Denklemleri

Kolektör tipi	Enerji verim denklemi	
	Doğrusal denklem	Polinom denklem
Alüminyum borulu kolektör	$\eta_{II} = 0.6575 - 10.42x$ ( $R^2=0.7773$ )	$\eta_{II} = 0.6231 - 6.082x - 128.6x^2$ ( $R^2=0.78$ )
Bakır borulu kolektör	$\eta_{II} = 0.7587 - 10.03x$ ( $R^2=0.8044$ )	$\eta_{II} = 0.7691 - 11.97x + 71.22x^2$ ( $R^2=0.8065$ )

Tablo 2. Ekserji Verimliliği İçin Bulunan Doğrusal ve İkinci Derece Polinom Denklemleri

Kolektör tipi	Ekserji verim denklemi	
	Metot 1	Metot 2
Alüminyum borulu kolektör	$\eta_{II} = -0.00006 + 2.034x - 42.61x^2$ ( $R^2=0.7796$ )	$\eta_{II} = -0.0000428 + 2.069x - 43.31x^2$ ( $R^2=0.7793$ )
Bakır borulu kolektör	$\eta_{II} = -0.01813 + 2.098x - 34.64x^2$ ( $R^2=0.8821$ )	$\eta_{II} = -0.01848 + 2.136x - 35.27x^2$ ( $R^2=0.8823$ )

projelendirilmesinde kullanılan kolektörlerin verimliliklerinin ve de özellikle ikinci yasa verimlilik davranışlarının bilinmesi ve üstünlük taşıması, iyi bir sistem tasarımı için ön koşuldur. Ayrıca, doğru bir projelendirme içinde gereklidir.

Bu çalışmada, kolektörlerin sadece enerji ve ekserji verimlilik değerleri araştırılmıştır. İlerleyen çalışmalarda, bu kolektörlerin eksergoekonomik analizi yapılmalıdır.

## KAYNAKÇA

1. Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli 2003. Vizyon 2023 teknoloji öngörüsü projesi, TÜBİTAK.
2. Pamir N.A. Enerji Güvenliği, Stratejik Öngörü 2006, ASAM
3. Isıl Güneş Enerjisi Sistemleri, Güneş Enerjisi Kolektörleri, Bölüm 2, TSEN 12975-2.
4. Özbalta, N., ve Güngör, A., 2003. Düzlemsel Güneş Enerjisi

Toplayıcılarında Verim Eşitliklerinin Değerlendirilmesi “Yeni Yaklaşım”. I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 114-119, Denizli.

5. Yıldız, A., Karakuş, A.A., Gürlek, G., Özbalta, N., ve Güngör, A., 2006. Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Projelendirilmesinde Toplayıcı İkinci Derece Isıl Verim Eşitliklerinin Kullanımının İncelenmesi, Örnek Uygulama: Muğla, III. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 300-307, Muğla.
6. Jones J.B., Dugan R.E., Engineering Thermodynamics, 1995 (Çeviren Prof. Dr. Hamra ATILGAN, 2003), Beta Basım A.Ş.
7. Petala R., 2003. Exergy of Undiluted Thermal Radiation, Solar Energy, 79, 469-488.