



# **Isparta Koşullarında Düzlemsel Su Isıtmalı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tasarım Özelliklerinin Enerji ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi**

Recep Külcü<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta. (ORCID: 0000-0002-7185-6514)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 14 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.799663)

**ATIF/REFERENCE:** Külcü, R. (2020). Isparta Koşullarında Düzlemsel Su Isıtmalı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tasarım ve Malzeme Kullanımının Enerji ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 949-956.

## **Öz**

Dünya'da küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının temel kaynağı fosil enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanılmasıdır. Fosil enerji kaynaklarının alternatifi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi, yenilenebilir ve yakıt kullanmayan özelliğiyle en temiz enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi; elektrik ve ısı dönüşümler yoluyla kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden ısı enerji dönüşümünde güneş kolektörleri kullanılmaktadır.

Güneş kolektörleri hava ve su ısıtma amacıyla tasarlanmış sistemlerdir. Bu çalışmada; Isparta koşullarında güneş kolektörlerinde, farklı tasarım ve malzeme kullanımının üretilecek enerji ve kolektör verimi üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kolektörlerde malzeme olarak farklı yutucu yüzey ve izolasyon maddeleri öngörülmüştür. Hesaplamalarda, 7 yutucu yüzey ve 5 yalıtım malzemesi kullanımına göre kurgular yapılmıştır. Tasarım parametresi olarak yalıtım malzemesi kalınlığı ve boru sayısı kullanılmıştır. Çalışmada 4 farklı boru sayısı ve 4 farklı yalıtım malzemesi kalınlığı için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; Isparta koşulları için en uygun eğim açısının 28° olduğu tespit edilmiştir. Yalıtım ve yüzey malzemesi kullanımıyla kolektörlerin yıllık veriminin %30'dan %44'e yükselebileceği ve tasarım parametreleriyle bu verimin %47 seviyelerine taşınabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Isparta, Güneş enerjisi, Güneş kolektörü, Yutucu yüzey, Yalıtım malzemesi

## **Determination of the Effects of Using Different Designs on Energy and Efficiency in Flat Plate Water Heated Solar Collectors in Isparta Conditions**

### **Abstract**

The main source of greenhouse gas emissions that cause global warming in the world is the intense use of fossil energy resources. Alternative to fossil energy sources are renewable energy sources. Solar energy is regarded as the cleanest energy source as a renewable and fuel-free resource. Solar energy; it is used through electrical and thermal transformations. Solar collectors are used in thermal energy conversion from solar energy.

Solar collectors are used for air and water heating. In this study, it is aimed to determine the effects of using different designs and materials on solar collectors used in Isparta conditions on the energy and collector efficiency to be produced. Different absorbing surface and isolation materials have been foreseen as materials in the collectors. In the calculations, the use of 7 absorptive surfaces and 5 insulation materials has been predicted. Insulation material thickness and pipe number are used as design parameters. In the study, simulations were carried out for 4 different pipe numbers and insulation material thickness. In the results of study; it was determined that the most suitable angle of inclination for Isparta conditions was 28°. It has been demonstrated that the annual efficiency of collectors can increase from 30% to 44% with the use of insulation and surface material, and this efficiency can be increased to 47% with design parameters.

**Keywords:** Isparta, Solar energy, Solar collectors, Absorber, Isolation materials

\* Sorumlu Yazar Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Türkiye, ORCID0000-0002-7185-6514, [recepkulcu@isparta.edu.tr](mailto:recepkulcu@isparta.edu.tr)

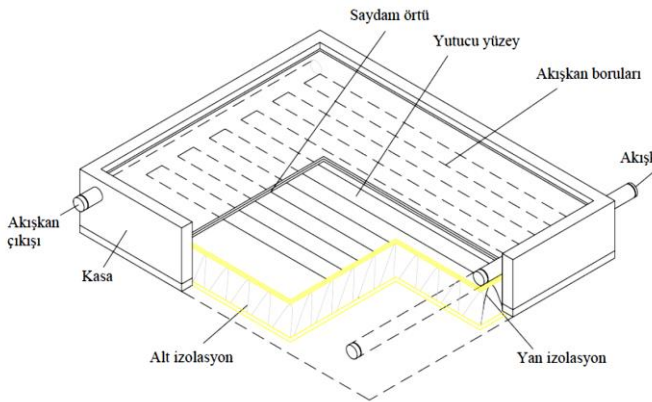
## 1. Giriş

Dünyamız son yüzyılda sera gazı emisyonlarının sonucunda küresel ısınma ve bu ısınma nedeniyle ortaya çıkan iklim değişiklikleriyle karşı karşıya kalmıştır. Dünya üzerinde yaşamın ve faaliyetlerin sürdürülebilirliği için sera gazı emisyonlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Sera gazı emisyonlarının temel nedeni fosil enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanılmasıdır. Bu bağlamda fosil enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş kritik öneme sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, yakıt kullanmayan özelliğiyle en temiz kaynak olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde fotovoltaik sistemler kullanılırken, ısı dönüşümlerde kolektörler kullanılmaktadır. Kolektörler kullanım amacına bağlı olarak hava ve su ısıtım için tasarlanmaktadır.

Su ısıtım amacıyla tasarlanan güneş kolektörleri, konutlarda, yüzme havuzlarında, otellerde ve bazı sanayi işletmelerinde sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu kolektörler yaygın olarak düzlem yüzeylidirler ancak son yıllarda vakum tüplü modellerin de yayınlamaya başladığı bilinmektedir. Dünyada 2014 yılı itibarıyla güneş enerjisinden ısı enerjisi üretmek amacıyla kullanılan kolektör alanı 530 milyon m<sup>2</sup> ve kurulu güç 406 000 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu sistemlerden yılda 36,7 MTEP petrol tasarrufunda bulunulmuş ve bunun sonucunda 118,6 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu azaltılmıştır. Ülkemizde ise 16 milyon m<sup>2</sup> kolektör alanıyla yılda 1 MTEP enerji tasarrufu gerçekleştirilmekte ve bunun sonucunda 1,6 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu azaltılmaktadır. Ayrıca ülkemiz yılda 1,6 milyon m<sup>2</sup> kolektör üretim potansiyeli ile pazarda önemli bir aktör haline gelmiştir (GÜNDER, 2020).

Su ısıtım için güneş kolektörleri; güneşten gelen ışınımın yutucu yüzey üzerinde ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının, yutucu yüzey içerisinde oluşturulan borulardan geçen suya aktarılması prensibine göre çalışmaktadır. Kolektörler bir kasa korumasına alınmakta, ısı kayıplarını azaltmak amacıyla izolasyon malzemesi kullanılmakta ve üst yüzey kayıplarını azaltmak amacıyla genellikle cam üst örtü ile kapatılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Su ısıtım için güneş kolektörü (Tırıs, 1997)

Güneş kolektörlerinde kullanılan malzeme ve tasarım parametreleri elde edilecek verim ve ısı enerjisi miktarını doğrudan etkilemektedir. Kullanılan izolasyon malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısı, kullanılan boru sayısı, yutucu yüzeyin yutma ve yayma oranları kolektör verimini etkilemektedir. Bu etki gelen

ışınım miktarı ve açılarına bağlı olduğu için değişiklikler kolektörün bulunduğu lokasyona göre değişim göstermektedir.

Shariah vd. (2019) su ısıtım için güneş kolektörleri konusunda gerçekleştirdikleri kuramsal çalışmada, kolektör yutucu yüzey plakasının malzemesinin verim üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre çelik sac yerine alüminyum plaka kullanımının verimi %4-7 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Alüminyum yerine bakır plaka kullanımı ise verimi %3 (Çelik saca göre %7-11) oranında artırdığını bildirmişlerdir. Kılıçkap vd. (2015) Elazığ ilinde siyah mat boya kullanılan standart bir güneş kolektörünün verimini deneysel koşullarla belirlemişlerdir. Denemelerinde temmuz ayında anlık verim değerleri %35-56 arasında değişirken, kasım ayında verim değerleri %35-51 arasında değişim göstermiştir. Kumar ve Rosen (2010) çalışmalarında güneş kolektörlerinde izolasyon kullanımının verime etkilerine değerlendirmişlerdir. İzolasyon kullanılması durumunda verimi %46,8 olarak hesaplamışlar ve izolasyon kullanılmaması durumunda verimin %40 seviyesine düşeceğini belirlemişlerdir.

Çalışma kapsamında, güneş kolektörlerinde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi ile farklı boru sayısı kullanımının verim üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kuramsal nitelikte yapılan çalışma kapsamında kolektörün Isparta koşullarında kullanımı öngörülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek sonuçların Isparta koşullarında hangi kolektör tasarımının ne ölçüde başarılı olacağı konusunda aydınlatıcı veriler ortaya çıkartması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında; Isparta ilinde farklı yutucu yüzey ve izolasyon malzemesine ile farklı boru sayısı ve yalıtım kalınlığına sahip düzlem yüzeyli güneş kolektörlerinin su ısıtım amacıyla kullanılması ile elde edilecek enerji miktarlarının hesaplanması ve yıl içerisindeki enerji değişiminin simülasyonunun yapılması hedeflenmiştir. Kuramsal olarak gerçekleştirilen çalışmada rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi veriler T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Hesaplamalarda kolektöre ait bazı özellikler, kullanımda olan sistemlerin tasarım parametreleri dikkate alınarak Tablo 1'deki gibi kabul edilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan kolektöre ait bazı özellikler

Kolektör uzunluğu	1,94 m
Kolektör yüksekliği	0,1 m
Kolektör genişliği	0,94 m
Toplayıcı sac kalınlığı	0,5 mm
Boruların iç çapı	10 mm
Suyun debisi	0,02 kg/s m <sup>2</sup>
Camın yayma katsayısı	0,08
Enlem açısı (Isparta)	37,75
Cam üst örtü sayısı	1

Çalışma kapsamında güneş kolektörlerinde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi kullanımının etkilerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, hesaplamalara dâhil edilen yutucu yüzey malzemesi ve özellikleri Tablo 2'de ve yalıtım malzemeleri ile özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Yutucu yüzey malzemeleri A-F harfleriyle simgelenmiştir. A dışındaki diğer yutucu yüzeyler seçici yüzey olarak adlandırılmaktadır. Bu yüzeylerin temel özelliği ısı ışınlarını yayma oranlarının

düşürülmüş olmasıdır. Seçici yüzey kaplamaları özel tasarlanmış ticari ürünlerdir. Tablo 2’de bu ürünlerin ticari isimleri ve üretici firmaları da gösterilmiştir. A kaplaması ise seçici değildir ve

birçok firma tarafından düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Tablo 2. Kollektör yüzeylerinde kullanılan yutucu yüzey malzemeleri ve özellikleri

(Korkmaz, 2006; Madhukeshwara ve Prakash, 2012, Sakallı, 2005)

Simge	Kolektör Yapımcı Firma	Yutucu Kaplama Yapımcı Firma	Yutucunun Ticari İsmi	Yutucu Kaplama Türü	Malzeme	Malzemenin Isıl İletkenliği (W/m K)	Yutma Katsayısı ( $\alpha_n$ )	Yayma Katsayısı ( $\epsilon_p$ )
A	-	-	Siyah Mat Boya	Boya Malzemesi	Galvanizli sac	16	0,94	0,88
B	Agema SA, İsviçre	Energie Solarie SA İsviçre	Energie Solarie	Siyah krom	Galvanizli sac	16	0,94	0,16
C	Schweizer Metallbau, İsviçre	Thermafin Solar, ABD	Thermafin	Siyah krom	Bakır	386	0,94	0,16
D	Tekno Term AB, İsveç	Granges, İsveç	Sunstrip	Nikel pigment, Anodize AL	Alüminyum	204	0,93	0,16
E	VDM Aluminium Gbmh, Almanya	VDM Aluminium Gbmh, Almanya	Evidal	Nikel pigment, Anodize Al	Alüminyum	204	0,92	0,18
F	Arbonia, İsviçre	INCO Selective Surface Ltd İngiltere	Maxorb	Nikel Folyo üstü Ni	Alüminyum	204	0,94	0,09
G	AMCR, İsrail	Solarion, İsrail	Solarion, 2000	Siyah krom	Galvanizli sac	16	0,95	0,10

Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan izolasyon malzemeleri ve ısı iletim katsayıları

(Sakallı, 2005, Özel ve Şengür, 2012; Bektaş vd., 2017)

Simgesi	Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
I	Poliüretan Köpük	0,023
II	Polystrene Köpük	0,029
II	Cam Yünü	0,032
IV	Taş Yünü	0,039
V	Cam Köpüğü	0,052

Farklı özelliklere sahip kolektörlerden elde edilecek ısı enerjisinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Hesaplamalarda, öncelikle kolektörün kurulacağı koordinat için yeryüzüne gelen günlük toplam ışıyım belirlenmiş ve bu ışıyım 06:00-20:00 zaman periyodunda her saat aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Saatlik güneş ışıyımını hesaplamaları tamamlandıktan sonra, kolektör kayıp ve faydalı enerji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Saatlik gerçekleştirilen bu hesaplamalar sonucunda, bir yıl içerisinde sıfırın üzerinde hesaplanan tüm değerler toplanarak kolektörden bir yıl için elde edilebilecek faydalı enerji toplamına ulaşılmıştır.

Kolektör yüzeyine gelen ışıyım hesabında kullanılan eşitlikler:

(Duffie ve Beckman, 2013; Liu ve Jordan, 1960; Klein, 1977; Munroe, 1980; Lunde, 1980)

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{n+284}{365}\right) \quad [1]$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\lambda \tan\delta) \quad [2]$$

$$f = 1 + 0.033 \left(\cos \frac{360n}{365}\right) \quad [3]$$

$$H_o = \frac{24}{\pi} \frac{3600}{G_{gc}} f \left[ \cos\lambda \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \right] \quad [4]$$

$$\frac{H}{H_o} = -2.4275 + 11.946 \frac{t}{t_o} - 16.745 \left(\frac{t}{t_o}\right)^2 + 7.9575 \left(\frac{t}{t_o}\right)^3 = 5.7 + 3.8 V_r \quad [5]$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.390 - 4.027 \frac{H}{H_o} + 5.531 \left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 3.108 \left(\frac{H}{H_o}\right)^3 = \frac{k}{L} \quad [6]$$

$$\Psi = \exp\left[-4 \left(1 - \frac{|h|}{\omega_s}\right)^2\right] \quad [7]$$

$$r_t = \frac{\pi}{4} \frac{1}{t_o} \left[ \cos\left(90 \frac{h}{\omega_s}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \Psi) \right] \quad [8]$$

$$r_t = \frac{I}{H} \quad [9]$$

$$r_y = \frac{I_d}{H_d} = \frac{I_o}{H_o} \quad [10]$$

$$I_{dogru} = I - I_d \quad [11]$$

$$r_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cosh - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi}{180} \omega_s \cos\omega_s} \quad [12]$$

$$R = \frac{\cos(\lambda - \zeta) \cos\delta \cosh + \sin(\lambda - \zeta) \sin\delta}{\cos\lambda \cos\delta \cosh + \sin\lambda \sin\delta} \quad [13]$$

$$I_t = I_{dogru} R + I_d \frac{(1 + \cos\zeta)}{2} + (I_{dogru} + I_d) \frac{(1 - \cos\zeta) \rho}{2} \quad [14]$$

Kolektör ısı kayıplarını hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Tırs vd., 1997; Klein, 1973; Deris, 1979)

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{344}{T_p} \left[ \frac{(T_p - T_a)}{(N + f_a)} \right]^{0.31} + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0.0425 N (1 - \varepsilon_p)]} \quad [15]$$

$$f_a = \frac{\sin\lambda \sin\delta}{(1 - 0.04 h_w) + 5 \cdot 10^{-4} h_w^2} (1 + 0.058 N) \quad [16]$$

$$U_e = \frac{k_g c h}{L_y A_c 1.8236} \quad [19]$$

$$U_l = U_t + U_b + U_e \quad [20]$$

Optik kayıpları hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Gordon, 2001; Tırıs vd., 1997)

$$\begin{aligned} \cos \theta_T &= \sin \delta \sin \lambda \cos \zeta - \sin \delta \cos \lambda \sin \zeta \\ &+ \cos \delta \cos \lambda \cos \zeta \cosh + \cos \delta \sin \lambda \sin \zeta \cosh \end{aligned} \quad [21]$$

$\tau$  değeri üst örtünün geçiş katsayısını ifade etmektedir. Ancak çalışma kapsamında hesaplamalar saatlik yapıldığından,  $\tau$  değeri geliş açısına göre hesaplanmıştır.  $\tau$  değerinin geliş açısına göre değişimi modellenerek, modelleme sonucunda elde edilen değer kullanılmıştır.  $\alpha$  değeri için kullanılan düzeltme katsayısı olan D için de bir model oluşturularak, geliş açısına göre belirlenen D katsayısı kullanılmıştır.

$$\alpha = D * \alpha_n \quad [22]$$

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d} \quad [23]$$

Kollektörden elde edilecek faydalı ısı enerjisi hesaplamada kullanılan eşitlikler:

(Hsieh, 1986; Duffie ve Beckman, 2013; Gordon, 2001; Tırıs, vd., 1997)

$$F = \frac{\text{tg } h m(W - D) / 2}{m(W - D) / 2} \quad [24]$$

$$m = \left( \frac{U_L}{k_p \delta_p} \right)^{1/2} \quad [25]$$

$$F' = \frac{1/u_L}{W \left\{ \frac{1}{U_L [D + (W - D) F]} + \frac{1}{c_b} + \frac{1}{\pi D h_{f,i}} \right\}} \quad [26]$$

$$V = \frac{m}{\rho \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right)} \quad [27]$$

$$R_e = \frac{V D}{\nu} \quad [28]$$

$$P_r = \frac{c_p V}{k_a} = \frac{\nu}{\alpha} \quad [29]$$

$$R_e \leq 2300 \Rightarrow Nu = 1.86 (R_e P_r)^{1/3} (D/L)^{1/3} \quad [30]$$

$$R_e \geq 2300 \Rightarrow Nu = 0.027 R_e^{0.8} P_r^{1/3} \quad [31]$$

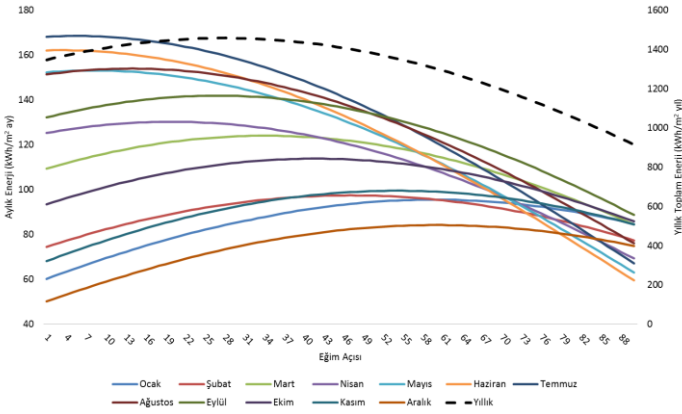
$$h_{f,i} = \frac{Nu k_a}{D} \quad [32]$$

$$F_R = \frac{G c_p}{U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{U_L F' / G c_p}{1} \right) \right] \quad [33]$$

$$\mathcal{G}_u = A_c F_r [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad [34]$$

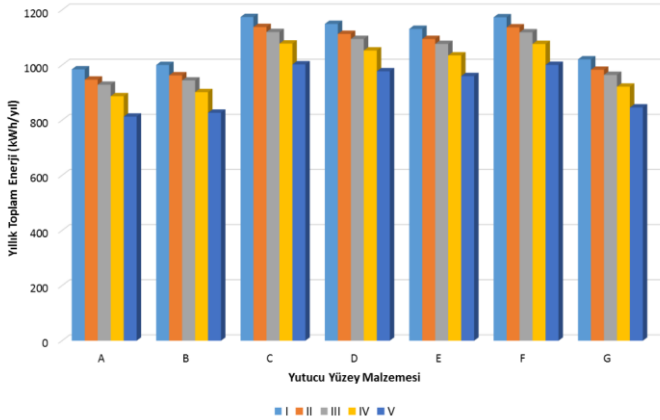
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında öncelikle Isparta koşullarında güneş kollektörlerinin optimum eğim açısının belirlenmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda kollektör yüzeyine yıllık toplam gelen güneş ışınımı miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar 1-90 derecelik eğimlerde her bir eğim açısı için tekrarlanarak, kollektör yüzeyine gelen enerji miktarları belirlenmiştir. Yaz aylarında düşük eğim açılarında yüksek miktarda enerji sağlanırken, kış aylarında eğim açısındaki artışın belirli bir seviyeye kadar enerji miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Şekil 2'de kesikli çizgi ile gösterilen ve grafiğin sağ tarafındaki eksenle referanslanan çizgi, hesaplama yapılan eğim açısında 1 m<sup>2</sup> alana gelen yıllık toplam enerji miktarlarını göstermektedir. Bu bağlamda yıllık değerler incelendiğinde en yüksek enerji miktarının Isparta için 28° eğim açısında 1457,83 kWh/m<sup>2</sup> yıl olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda kollektör hesaplamaları Isparta koşulları için 28° eğim açısında gerçekleştirilmiştir.



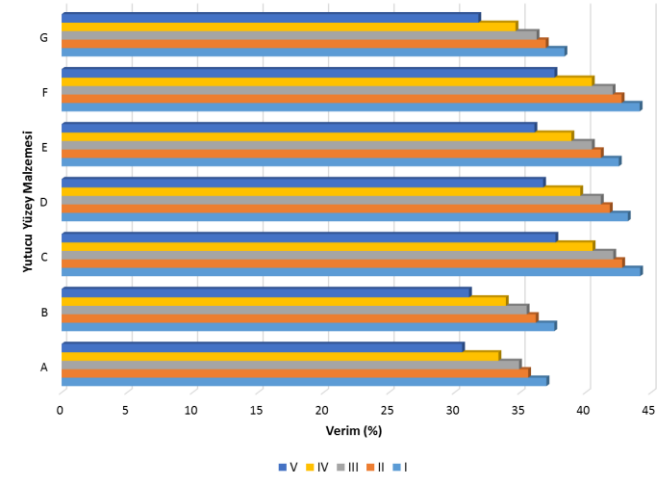
Şekil 2. Isparta koşullarında farklı eğim açılarındaki 1 m<sup>2</sup> alana gelen güneş enerjisi miktarları

Şekil 3'de Isparta koşullarında 7 farklı yutucu yüzeye sahip ve 5 farklı yalıtım malzemesi kullanılan kollektörlerden elde edilecek enerji miktarları gösterilmiştir. Hesaplamalarda en düşük enerji üretimi, AV (A Yutucu Yüzey, V yalıtım malzemesi) için 812,932 kWh/yıl olarak hesaplanırken, en yüksek değer CI için 1174,305 kWh/yıl seviyesinde hesaplanmıştır. C ve F yutucu yüzeylerinin enerji değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.



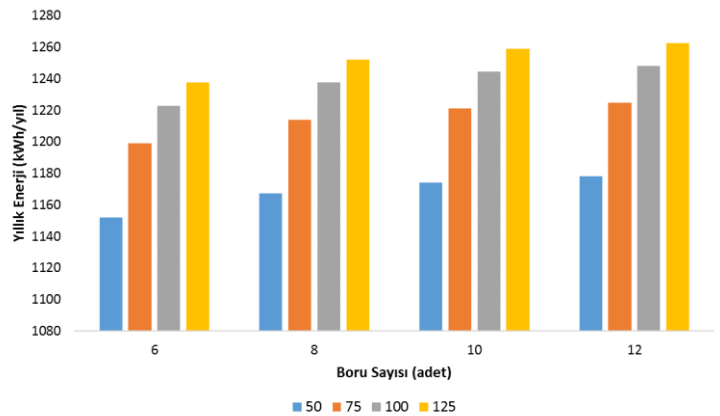
Şekil 3. Isparta koşullarında farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemesi kullanımı sonucunda kollektörlerden alınacak yıllık toplam ısı enerjisi miktarları

Şekil 4'de Isparta koşullarında kollektörlerde farklı yutucu yüzey ve yalıtım malzemeleri kullanımı sonucunda hesaplanan yıllık verim değerleri gösterilmiştir. Yıllık verim değerleri, enerji değerlerine paralel olarak, en düşük AV uygulaması için %30 olarak hesaplanırken, yüksek CI uygulaması için %44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Farklı yalıtım malzemesi ve yutucu yüzeyler için hesaplanan yıllık verim değerleri

Şekil 5'de farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığı kullanılması durumunda Isparta koşullarında güneş kollektöründen elde edilecek enerji miktarları gösterilmiştir. Bu hesaplamalar, yutucu yüzey ve yalıtım malzemesinde CI uygulaması kullanıldığı kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda yalıtım malzemesinin kalınlaşmasıyla, ısı kayıplarının azalması sonucunda, kollektörden elde edilecek enerji miktarlarının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde boru sayısının artması, toplam ısı transfer yüzey alanını artırarak, elde edilecek enerji miktarlarını yükseltmiştir. Kollektör tasarımlarında 28° eğim açısında en düşük enerji kazancı 50 mm yalıtım malzemesi kalınlığında, 6 boru kullanılması durumunda 1151,931 kWh/yıl olarak hesaplanırken en yüksek enerji kazancı 125 mm yalıtım malzemesi kalınlığında 12 boru kullanımında 1262,646 kWh/yıl seviyesinde hesaplanmıştır.

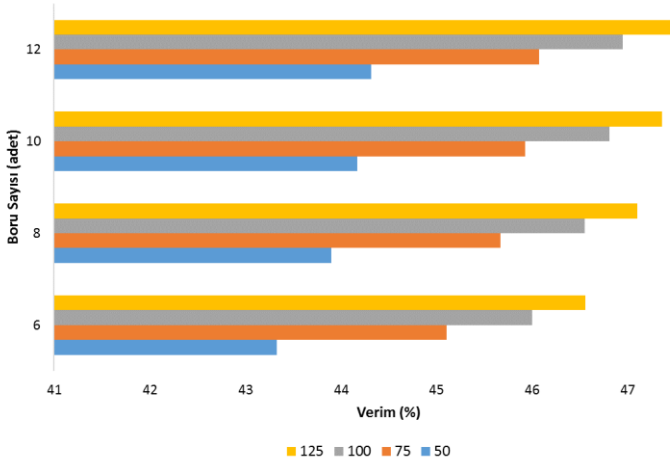


Şekil 5. Farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında kollektörlerden alınacak yıllık toplam ısı enerjisi miktarları

Şekil 6'da farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında kollektör verimlerinde meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Kollektör verimleri, kazanılan enerji miktarlarına paralel bir değişim göstermiştir. En düşük kollektör verimi 50 mm yalıtım malzemesi kalınlığında ve 6 boru kullanılması durumunda %43 olarak hesaplanırken, en yüksek kollektör verimi 125 mm yalıtım malzemesi kalınlığında 12 boru kullanımında %47 seviyesinde belirlenmiştir.



Şekil 6. Farklı boru sayısı ve yalıtım malzemesi kalınlığında hesaplanan kolektör verimleri.



#### 4. Sonuç

Çalışma kapsamında; Isparta koşullarında su ısıtmalı güneş kolektörlerinde kullanılan yutucu yüzey, yalıtım malzemesi, yalıtım malzemesi kalınlığı ve boru sayılarının verim ve kazanılacak enerji kazancı üzerindeki etkilerinin kuramsal olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Hesaplamalarda, 7 farklı yutucu yüzey, 5 farklı yalıtım malzemesi, 4 farklı yalıtım malzemesi kalınlığı ve 4 farklı boru sayısı kullanılmıştır. Hesaplamalarda en düşük kolektör verimi %30, en yüksek verim %47 olarak belirlenmiştir. Bu verim değerleri anlık veya aylık değil, yıllık düzeyde hesaplanmıştır. Hesaplanan verim değerleri literatürde belirlenen %35-56 aralığındaki değerlerle uyumludur. Literatürde yutucu yüzey malzemesinin verimi % 7-11 oranında değiştirdiği belirlenirken, çalışma kapsamında yutucu yüzey kaplaması, yutucu yüzey malzemesi ve yalıtım uygulaması kombinasyonunda yapılacak değişikliklerin verimi % 14'e kadar arttırabildiği belirlenmiştir. Hesaplamalarda seçici yüzey kaplamalarının ve malzeme özelliklerinin çok etkin olduğu görülmüştür. Yutucu yüzey olarak "Thermafın" ve "Maxorb" ticari isimlerine sahip seçici yüzey kullanımının kolektör verimini yükselttiği tespit edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak "Poliüretan Köpük" kullanımının diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi izolasyon sağladığı ve kolektör verimliliğini arttırdığı görülmüştür. Kolektör tasarımında yalıtım malzemesi kalınlığının 50 mm'den 75 mm'ye çıkartılmasının verimliliği yüksek seviyede etkilediği hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi 75 mm'nin üzerine çıktığında sağlanan verim artış hızının biraz azaldığı görülmüştür. Bu kapsamda 75mm'nin üzerinde yalıtım malzemesi kullanımının kolektör maliyetini arttıracığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kolektörde kullanılacak boru sayısının artışına paralel olarak verim artışı sağlanabilmektedir. Bu bağlamda 12 boru kullanılması en yüksek verimi sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler ile Isparta koşullarında kullanılan su ısıtma kolektörlerinde tasarımsal değişiklikler yapılması durumunda verimin toplam %17 oranında arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışma kuramsal bir perpektif sunmaktadır. Çalışmanın deneysel verilerle desteklenmesi daha net bir görüntü ortaya koyacaktır. Ayrıca çalışma kapsamında verimi arttıran parametreler seçilirken, pratikte maliyetinde artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

#### Simgeler

- $\delta$ - Deklinasyon açısı
- $n$ - Yılın hesaplama yapılan gün sayısı
- $h$ - Saat açısı
- GS- Güneş saati
- $w_s$ - Gün batımı saat açısı
- $\lambda$ - Hesaplama yapılan kordinatın enlem açısı
- $f$  - Düzeltme faktörü
- $G_{sc}$ - Güneş sabiti ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ )
- $H_0$ - Atmosfer dışına gelen günlük ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )
- $H$ - Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )
- $H_d$ - Difüz günlük ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )
- $r_t$ - Günlük ışınlamın saatliğe dönüşüm oranı
- $t_0$ - Gün uzunluğu (h)
- $\Psi$ - Saat açısı dönüşüm katsayısı
- $r_y$ - Difüz- atmosfer dışı ışınlam gün saat oranı
- $I_{doğru}$ - Doğrudan gelen saatlik ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- $I_0$ - Atmosfer dışına gelen saatlik ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- $I$ - Yeryüzünde yatay düzleme gelen saatlik ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- $I_d$ - Difüz saatlik ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- $I_t$ - Yeryüzüne düşen saatlik toplam ışınlam ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- $\zeta$  - Eğim açısı
- $\theta_T$  - Geliş açısı
- $U_{t1}$  - Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{°K}$ )
- $U_{b1}$  - Kolektör alt yüzey ısı kayıp katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{°K}$ )
- $U_{c1}$  - Kolektör yan yüzey ısı kayıp katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{°K}$ )
- $U_{t2}$  - Kolektör üst yüzey toplam ısı kayıp katsayısı ( $\text{W/m}^2 \text{°K}$ )
- $N$ - Kolektörün üst örtü sayısı
- $f_a$  - Rüzgar etki faktörü
- $h_w$ - Rüzgar katsayısı
- $V_r$ - Rüzgar hızı (m/s)
- $\tau$ - Cam örtü geçirgenlik katsayısı
- $\alpha_p$ - Yutucu yüzey yutma katsayısı (düzeltilmiş)
- $D$ - Yutma katsayısı düzeltme faktörü
- $\alpha$ - Malzemenin yutma katsayısı
- $\sigma$ - Stefan-Boltzmann Sabiti ( $\text{W/m}^2 \text{K}^4$ )
- $\rho_d$ - Üst örtünün yutucu yüzeyden yansıyan ışınları yansıtma oranı
- $\eta$ - kolektör verimi
- $(\tau\alpha)$ - geçiş-yutma katsayısı
- $\rho_c$ - Üst örtünün yansıma katsayısı
- $\varepsilon_c$ - Üst örtünün ışınlam yayma katsayısı
- $\varepsilon_p$ - Yutucu yüzeyin ışınlam yayma katsayısı
- $k$ - Yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı ( $\text{kcal/m K}$ )

- c- Kollektör çevresi (m)  
L- Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)  
h- Kollektörün yan kenar yüksekliği (m)  
A<sub>c</sub>- Kollektör alanı (m<sup>2</sup>)  
L<sub>c</sub>- Yan yüzey yalıtım malzemesi kalınlığı (m)  
F- Kollektör kanat verimi katsayısı  
F'<sub>c</sub>- Kollektör etki faktörü  
W- Boru eksenleri arasındaki mesafe (m)  
D- Boru iç çapı (m)  
k<sub>p</sub>- Yutucu plakanın ısı iletkenlik katsayısı (kcal/m h K)  
δ<sub>p</sub>- Yutucu plakanın kalınlığı (m)  
C<sub>b</sub>- Kaynak malzemesinin ısı geçiş direnci (kcal/m h K)  
h<sub>fi</sub>- Boru iç yüzeyi ile sıvı arasındaki ısı geçiş katsayısı (kcal/m<sup>2</sup> h K)  
F<sub>R</sub>- Kollektör kanat verimi  
G- Kollektör birim alanına düşen kütledebisi (kg/h m<sup>2</sup>)  
c<sub>p</sub>- Suyun özgül ısısı (kcal/kg C)  
Q<sub>u</sub>- Kolektörden kazanılan enerji (W/m<sup>2</sup>)  
T<sub>a</sub>- Çevre sıcaklığı (°K)  
T<sub>i</sub>- Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (°K)  
T<sub>p</sub>- Yutucu plaka sıcaklığı (°K)  
ν- Kinematik viskozite (m<sup>2</sup>/s)  
V- Akışkan hızı (m/s)  
Re- Reynolds sayısı  
k<sub>a</sub>- Akışkanın ısı iletkenlik katsayısı (kcal/m h K)  
Pr- Prandtl sayısı  
Nu- Nusselt sayısı

## Kaynakça

- Bektaş, V. (2017). Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 36-42.
- Deris, N. (1979). Solar energy, solar water heating technique. Sermet Matbaası, İstanbul.
- Duffie J. and Beckman W. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes, 4th ed., 163: 236-319, New Jersey
- Gordon, J. (2001). Solar energy: the state of the art. ISES, New York.
- Günder. (2002). Güneş ülkemizin enerji geleceğidir. Erişim Tarihi: 15/08/2020, erişim adresi: <https://gunder.org.tr/wp-content/uploads/gunder-enerjimaden.pdf>.
- Hsieh, J.S.(1986). Solar energy engineering. Prentice Hall Inc., New York.
- Kılıçkap, S., Yıldız, C., Çakmak, G. (2015). Elazığ iklim koşullarında sıcak sulu güneş kolektörlerine ilişkin verimlerin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 103-110.
- Klein, S.A. (1973). The effects of thermal capacitance upon the performance of flat plate collectors. M.Sc. Thesis, University of Wisconsin.
- Klein, S.A. (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy* 19, 325-329.
- Korkmaz, M. (2006). Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Farklı Profillerdeki Emici Plakaların Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Öğretimi ABD Yüksek Lisans Tezi.
- Kumar, R., Rosen, M.A. (2010). Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with corrugated absorber surface. *Applied Thermal Engineering*, 30, 1764-1768.

- Liu, B.Y.H.; Jordan, R.C. (1960). The interrelationship and characteristics and distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy* 4, 1-10.
- Lunde, P.J. (1980). Solar thermal engineering: space heating and hot water systems. John Wiley and Sons: New York.
- Madhukeshwara, N., Prakash, E.S. (2012). An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings. *International Journal of Energy And Environment* 3(1), 99-108.
- Munroe, M.M. (1980). Estimation of totals of irradiance on a horizontal surface from UK: average meteorological data. *Solar Energy* 24, 235-238.
- Özel, M., Şengür, S. (2012). Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Sayı* 132, 5-11.
- Sakallı, U. (2005). Antifrizli Sulu Vakumlu Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Klasik Direkt Dolaşimli Güneş Kollektörlerinin Verimlerinin Karşılaştırılması. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Bilim Uzmanlığı Tezi.
- Shariaha, A.M., Rousana A., Rousanb Kh.K., Ahmada A.A.(1999). Effect of thermal conductivity of absorber plate on the performance of a solar water heater. *Applied Thermal Engineering* 19, 733-741.
- Tırıs, M.; Tırıs, C.; Erdallı (1997). Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Tübitak M.A.M. Matbaası, Kocaeli, 1-60.