

İZMİR KOŞULLARINDA AÇIK GÖKYÜZÜ IŞINIMI İÇİN FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) KOLEKTÖRÜN TEORİK MODELLENMESİ

Theoretical Modeling of The Photovoltaic/Thermal (PV/T) Collector For Clear Sky Radiation In İzmir Conditions

Erhan KIRTEPE
Ali GÜNGÖR

ÖZET

Bu çalışmada İzmir ili için açık gökyüzü ışınım modeli kullanılarak her ayı temsil eden gün için güneye bakan, 30° eğimle kurulmuş olan kolektör yüzeyine gelen saatlik ışınım değerleri hesaplanmıştır. Bu ışınım değerlerine bağlı olarak fiziksel boyutları ve özellikleri belirli bir Fotovoltaik/Termal (PV/T) kolektörün teorik modellemesi yapılmıştır. İncelenen PV/T kolektörün sürekli olarak sabit sıcaklıkta su girişi sağlanan koşullarda ki analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde İzmir ili koşullarında ki bir PV/T kolektör tarafından üretilen elektrik ve ısı enerjisi her ayı temsil eden gün için saatlik değişimlerle gün boyunca hesaplanarak belirlenmiştir. Ayrıca bu saatlik ışınım değerlerine göre PV/T kolektörün elektriksel, ısı ve toplam kolektör verimliliği hesaplanmıştır. Verimlilik değerlerinin yıl boyunca aylara göre değişimleri de verilmiştir. PV/T kolektörde soğutmanın elektrik üretimine ve toplam kolektör verimine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik/Termal (PV/T) kolektör, Açık gökyüzü modeli.

ABSTRACT

In this study, hourly radiation values from the collector surface which is installed with a 30° inclination facing south for the day representing the every month by being used the Clear sky radiation model for İzmir city are calculated. Based on these radiation values, theoretical modeling of a Photovoltaic/Thermal (PV/T) collector with a specific physical size and characteristics is made. The investigated PV/T collector was continuously analyzed at the constant temperature water inlet conditions. As a result of the analyzes, electricity and heat energy produced by a PV/T collector in İzmir city conditions were determined by calculating hourly changes throughout the day for day representing the every month. In addition, electrical, thermal and total collector efficiency of PV/T collector were calculated according to these hourly radiation values. Changes according to months throughout the year of efficiency values were also given. The effect on electricity generation and total collector efficiency of cooling in PV/T collector was investigated.

Key Words: Solar energy, Photovoltaic/Thermal (PV/T) collector, Clear sky model.

1. GİRİŞ

Yaşadığımız Dünya'da enerji üretmek için kullanılan fosil kökenli yakıtların tükenme tehlikesi ve bunun yanı sıra bu yakıtları kullanarak doğaya verilen zararlar göz önünde bulundurularak temiz, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında dünyamızı ısıtan ve aydınlatan güneş ile ilgili birçok çalışma yapıldığını ve güneşten en iyi şekilde yararlanmamızı sağlayacak sistemlerin üretilmeye çalışıldığını görebiliriz. Mevcut sistemlere bakıldığında güneşten elektrik ve ısı olmak üzere iki farklı enerji türünün

üretilebildiği görülür. Bu enerji türlerinin ayrı ayrı üretildiği sistemler olmakla birlikte son yıllarda bu iki enerji türünün de birlikte üretildiği Fotovoltaik/Termal (PV/T) kolektörler kullanılmaya başlanmıştır. Bu kolektörlerin kullanılması ile güneşten elektrik ve ısı enerjisi aynı anda üretilirken bir yandan da sadece elektrik üreten Fotovoltaik (PV) panellerde sıcaklık yükselmesinden dolayı yaşanan verim kayıplarının da önüne geçilmektedir. PV/T kolektörlerin kullanılmaya başlanması ile sadece ısı veya elektriksel enerji üreten panellerdeki verimlere nazaran toplam kolektör verimi artırılmış olup, temiz, yenilenebilir ve doğa dostu olan güneş enerjisinden de maksimum miktarda yararlanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada da İzmir ilinde güneşe bakan, 30° eğimle yatay bir zemine kurulmuş olan PV/T kolektörün matematiksel modellenmesi yapılmış ve teorik analizi gerçekleştirilmiştir. Kolektör analizinin yapılması için gerekli olan ışınım değerleri açık gökyüzü ışınım modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

2. AÇIK GÖKYÜZÜ IŞINIMIN HESABI

Atmosferde ışınımın saçılması ve absorblanmasının etkileri atmosferik koşullara ve hava kütlelerinin değişimine bağlı olarak zamanla değişmektedir. Standart bir açık gökyüzü tanımlamak ve bu standart koşullar altında yatay yüzeye gelen saatlik ve günlük ışınımı hesaplamak kullanışlıdır [1].

Hottel (1976) standart koşullardaki bir atmosfer ve dört iklim tipi için zenit açısı ve rakımı hesaba katarak açık gökyüzü koşullarındaki atmosferden geçen direkt ışınımın tahminlenmesi için bir metod sunmuşlardır. Direkt ışınım için atmosfer geçirgenliği 1 numaralı eşitlikte gösterilmiştir [1].

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \quad (1)$$

23 km görüş mesafesi olan standart atmosfer için a_0^* , a_1^* ve k^* sabitleri 2500 m'den daha az rakımlı olan yerler için 2, 3 ve 4 numaralı eşitliklerle gösterilmiştir.

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2 \quad (2)$$

$$a_1^* = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \quad (3)$$

$$k^* = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \quad (4)$$

2, 3 ve 4 numaralı eşitliklerde gösterilen A gözlemcinin kilometre olarak rakımını ifade etmektedir. Kentsel pusun etkili olduğu atmosfer koşulları için ise a_0^* , a_1^* ve k^* değerleri 5, 6 ve 7 numaralı eşitliklerle gösterilmiştir [2, 3].

$$a_0^* = [0,2538 - 0,0063(6 - A)^2] \quad (5)$$

$$a_1^* = [0,7678 + 0,01858(6,5 - A)^2] \quad (6)$$

$$k^* = [0,249 + 0,081(2,5 - A)^2] \quad (7)$$

Dört iklim tipi için a_0^* , a_1^* ve k^* sabitlerine uygulanan düzeltme faktörleri, r_0 , r_1 ve r_k Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. İklim tipleri için düzeltme faktörleri [1].

İklim Tipi	r_0	r_1	r_k
Tropikal	0,95	0,98	1,02
Orta Enlem derecesi, Yaz	0,97	0,99	1,02
Subarktik Yaz	0,99	0,99	1,01
Orta Enlem derecesi, Kış	1,03	1,01	1,00

Tablo 1'de gösterilen r_0 , r_1 ve k değerleri 8, 9 ve 10 numaralı eşitliklerle de gösterilmiştir.



$$\Gamma_o = \frac{a_o}{a_o^*} \quad (8)$$

$$\Gamma_1 = \frac{a_1}{a_1^*} \quad (9)$$

$$\Gamma_k = \frac{k}{k^*} \quad (10)$$

Açık gökyüzü koşullarında yatay yüzeye gelen anlık ve saatlik güneş ışınımı değerleri sırasıyla 11 ve 12 numaralı eşitliklerle belirlenebilir.

$$G_{cb} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (11)$$

$$I_{cb} = I_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (12)$$

13 ve 14 numaralı eşitliklerle gösterilen G_{on} ve I_{on} sırasıyla atmosfer dışında yılın n . günü ışınımına dik yüzeye gelen anlık ve saatlik güneş ışınımıdır.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \quad (13)$$

$$I_{on} = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \quad (14)$$

Tüm dalga boylarında gelen atmosfer dışındaki güneş ışınımının spektral dağılımına bakıldığında 0,3 ile 3,0 μm dalga boyu aralığındaki ışınımın toplam ışınım miktarının yaklaşık %98'ini oluşturduğu görülmektedir. Bu çalışmada da atmosfer dışında ışınımına dik yüzeye gelen saatlik güneş ışınım değeri 0,9751 katsayısı ile çarpılarak hesaplanmıştır [3, 4].

Açık gökyüzü koşullarında yatay bir yüzey üzerine gelen toplam güneş ışınımının bulunması için bu koşullardaki yayılı ışınım miktarının belirlenmesine de gerek vardır. Liu and Jordan (1960) açık gökyüzü koşullarındaki günler için direkt ve yayılı ışınımın atmosfer geçirgenliği katsayıları arasında deneysel bir ilişki geliştirmişlerdir. Bu iki değer arasındaki ilişki eşitlik 15'de görülmektedir [1].

$$\tau_d = 0,271 - 0,294 \tau_b \quad (15)$$

Yayılı ışınım geçirgenliği (τ_d) 16 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi yatay yüzey üzerine gelen yayılı ışınım miktarının atmosfer dışı gelen ışınım miktarına oranıdır [1].

$$\tau_d = \frac{G_d}{G_o} = \frac{d_o}{I_o} \quad (16)$$

Açık gökyüzü koşullarında yatay yüzeye gelen toplam ışınım miktarı 17 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde aynı koşullardaki yatay yüzeye gelen yayılı ve direkt ışınımın toplamıdır.

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \quad (17)$$

Eğimli yüzeye gelen güneş ışınımının hesaplanmasında Liu ve Jordan (1963) tarafından geliştirilen izotropik gökyüzü modeli kullanılmıştır. Bu modelde eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınımının direkt, yayılı ve yerden yansıyan olmak üzere üç bileşenden oluştuğu belirtilmiştir. Eğimli yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı eşitlik 18'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır [1].

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (18)$$

18 numaralı eşitlikte belirtilen ρ_g ve β sırasıyla yerin yansıtması ve kolektörün eğim açısıdır. R_b ise eğimli yüzeye gelen toplam ışınımın yatay yüzeye gelen toplam ışınımına oranı olup eşitlik 19'da gösterilmiştir.

$$R_b = \frac{A}{B} \quad (19)$$

Buradaki A ve B değerleri 20 ve 21 numaralı eşitliklerle gösterilmiştir.

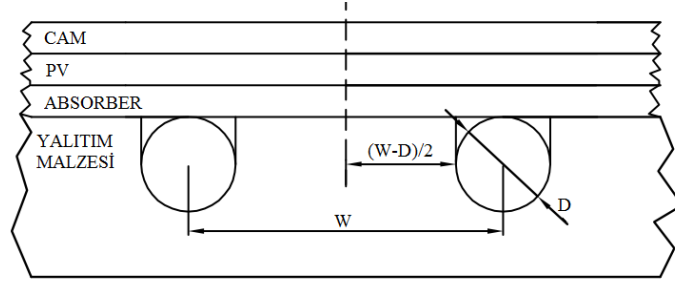
A =

$$(\sin \delta \sin \theta \cos \beta - \sin \delta \cos \theta \sin \beta \cos \gamma) \times \frac{1}{180} (\omega_2 - \omega_1) \pi + (\cos \delta \cos \theta \cos \beta + \cos \delta \sin \theta \sin \beta \cos \gamma) \times (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) - (\cos \delta \sin \beta \sin \gamma) \times (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \quad (20)$$

$$B = (\cos \theta \cos \delta) \times (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \sin \theta \sin \delta \times \frac{1}{180} (\omega_2 - \omega_1) \pi \quad (21)$$

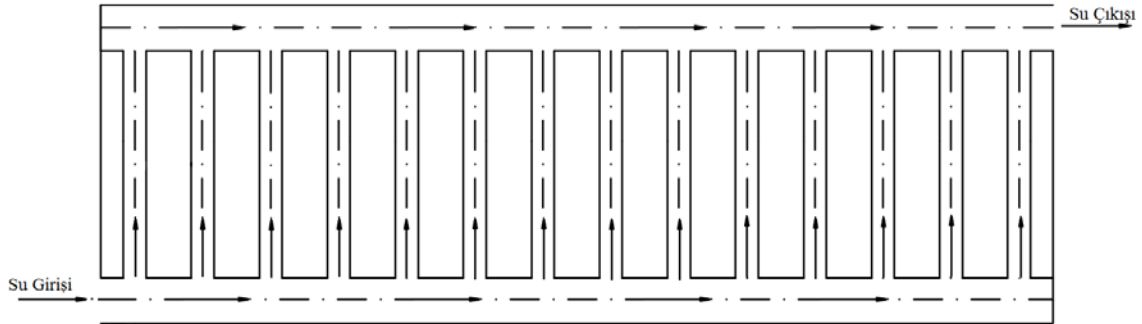
3. FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖRÜN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Bu çalışmada incelenen PV/T kolektörün şematik resmi Şekil 1'de görülmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere PV/T dört farklı katmandan meydana gelmektedir. Bu katmanlardan en üstte olanı koruyucu camdır. Camın altında monokristal malzemeden olan PV panel bulunmaktadır. PV panelin altında ise yutucu yüzey vardır. Yutucu yüzeyin altında yutucu yüzeye kaynakla birleştirilmiş olan, hem ısı enerji sağlamak ve hem de PV paneli soğutmak için içerisinde su geçirilen borular bulunmaktadır. En altta ise kolektörden olan ısı kaybını önlemek için yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır.



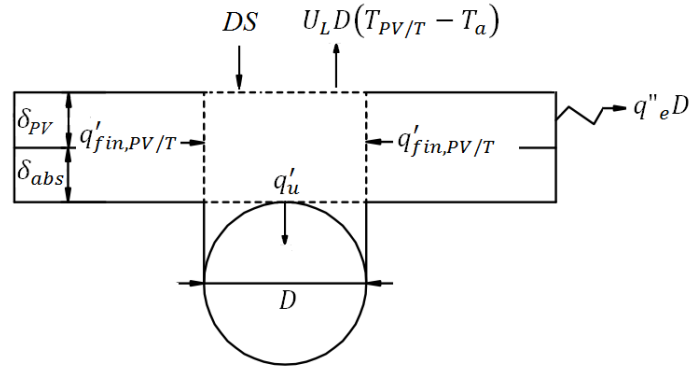
Şekil 1. PV/T kolektörün katmanlarının şematik gösterimi.

Bu sistemde PV/T kolektöre giren akışkan Şekil 2'de görüldüğü üzere her bir borudan paralel olarak akmaktadır. Böylece her bir borudan geçen akışkan eşit miktarda ısı elde etmektedir. PV/T kolektörün çıkışında ise tüm borulardan geçen akışkan toplanarak tek bir çıkış borusu ile kolektörü terk etmektedir.



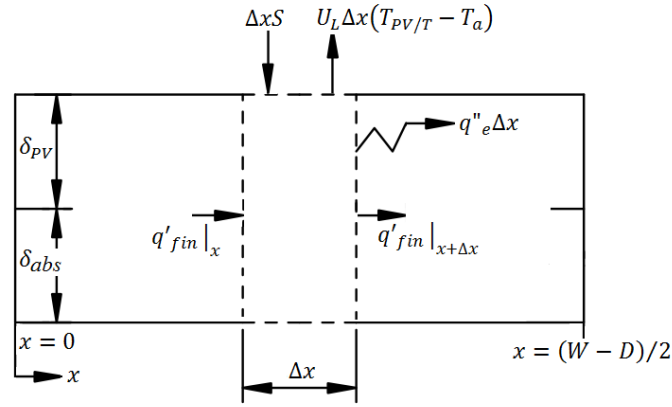
Şekil 2. PV/T kolektör içerisinde geçen su akışının şematik gösterimi.

Tek bir borudan elde edilecek yararlı ısı enerjisi miktarını bulabilmek için Şekil 3'de gösterildiği gibi D genişliğindeki elemana enerji dengesi uygulanır.



Şekil 3. PV/T kolektör içerisindeki tek bir boruya uygulanan enerji dengesi.

Şekil 3'de görüldüğü üzere bir borudan geçen akışkana enerji dengesi uygulandığı zaman $q'_{fin,PV/T}$ değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 4'de görülen sonsuz küçüklükteki Δx elemanına enerji dengesini uygulanır ve bu enerji dengesi 22 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde yazılabilir.



Şekil 4. Sonsuz küçüklükteki Δx elemanına uygulanan enerji dengesinin şematik gösterimi.

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{system}}{dt} \quad (22)$$

Sürekli rejimde $\frac{dE_{system}}{dt} = 0$ olur. Sonsuz küçüklükteki Δx elemanı giren ve çıkan enerjiler yazılırsa 23 numaralı eşitlik elde edilir.

$$S\Delta x - U_L\Delta x(T_{PV/T} - T_a) + q'_{fin}|_x - q'_{fin}|_{x+\Delta x} - q''_e\Delta x = 0 \quad (23)$$

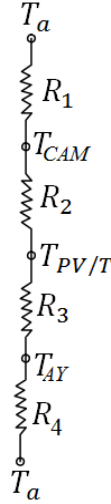
23 numaralı eşitlikte gösterilen q''_e PV/T kolektörden birim kolektör alanı başına üretilen elektrik enerjisi olup 24 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$q''_e = \eta_e S \quad (24)$$

24 numaralı eşitlikte gösterilen η_e PV/T kolektörün elektriksel verimidir ve 25 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde PV/T kolektör sıcaklığına bağlı olarak hesaplanır [5].

$$\eta_e = 0,18[1 - 0,0040(T_{PV/T} - 298,15)] \quad (25)$$

PV/T kolektördeki ısı direnç ağı Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. PV/T kolektördeki ısı direnç ağı.

Şekil 5'de görülen R_1 , R_2 , R_3 ve R_4 dirençleri sırasıyla 26, 27, 28 ve 29 numaralı eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,cam-a} - h_{r,cam-a}} \quad (26)$$

$$R_2 = \frac{\delta_{cam}}{k_{cam}} \quad (27)$$

$$R_3 = \frac{\delta_{yalıtım}}{k_{yalıtım}} \quad (28)$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{c,ay-a} - h_{r,ay-a}} \quad (29)$$

PV/T kolektörden taşınım ve ışınlama ile çevreye olan ısı transfer katsayısı sırası ile 30 ve 31 numaralı eşitliklerde gösterildiği şekilde hesaplanır [1, 6].

$$h_c = 5,7 + 3,8 V \quad (30)$$

$$h_r = \sigma \epsilon (T + T_{sky})(T^2 + T_{sky}^2) \quad (31)$$

31 numaralı eşitlikte gösterilen T_{sky} çevre hava sıcaklığına bağlı olarak 32 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde hesaplanır [6].

$$T_{sky} = 0,0552 T_a^{1,5} \quad (32)$$

$S_{PV} = (S - q''_e)$ olarak alınır ve 23 numaralı eşitlik yeniden düzenlenirse 33 numaralı eşitlik elde edilir.

$$S_{PV} \Delta x - U_L \Delta x (T_{PV/T} - T_a) + q'_{fin}|_x - q'_{fin}|_{x+\Delta x} = 0 \quad (33)$$

Fourier yasası kullanılarak $q'_{fin}|_x$ 34 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde yazılır.

$$q_x = -k_{PV/T} \delta_{PV/T} \left. \frac{dT_{PV/T}}{dx} \right|_x \quad (34)$$

$x + \Delta x$ 'deki ısı iletimi ise 35 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$q_{x+\Delta x} = q_x + \frac{d(q_x)}{dx} dx \quad (35)$$

34 ve 35 numaralı eşitlikler 33 numaralı eşitlikte yerlerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa 36 numaralı eşitlik elde edilir.

$$\left. \frac{d^2 T_{PV/T}}{dx^2} \right|_x = m^2_{PV/T} \psi_{PV/T} \quad (36)$$

36 numaralı eşitlikte geçen $m_{PV/T}$ ve $\psi_{PV/T}$ değerleri sırasıyla 37 ve 38 numaralı eşitliklerle gösterilmektedir.

$$m_{PV/T} = \sqrt{\frac{U_L}{k_{PV/T}\delta_{PV/T}}} \quad (37)$$

$$\psi_{PV/T} = \left[T_{PV/T} - T_a - \frac{S_{PV}}{U_L} \right] \quad (38)$$

36 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü 39 numaralı eşitlikle verilmektedir.

$$\psi_{PV/T} = C_{PV/T,1} \sinh(m_{PV/T}x) + C_{PV/T,2} \cosh(m_{PV/T}x) \quad (39)$$

39 numaralı eşitlikteki $C_{PV/T,1}$ ve $C_{PV/T,2}$ sabitlerini bulabilmek için iki farklı sınır şartı gereklidir. Bu sınır şartları 40 ve 41 numaralı eşitliklerle gösterilmiştir.

$$\left. \frac{d(T_{PV/T}|_x)}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (40)$$

$$T_{PV/T}|_{x=\frac{(W-D)}{2}} = T_b \quad (41)$$

40 ve 41 numaralı eşitlikler ile gösterilen sınır şartları 36 numaralı diferansiyel denkleme uygulanarak $C_{PV/T,1}$ ve $C_{PV/T,2}$ sabitleri elde edilir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa q'_{fin} değeri 42 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi elde edilir.

$$q'_{fin,PV/T} = \frac{(W-D)}{2} F[S_{PV} - U_L(T_b - T_a)] \quad (42)$$

42 numaralı eşitlikte gösterilen F faktörü 43 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$F = \frac{\tanh\left(m_{PV/T}\frac{(W-D)}{2}\right)}{m_{PV/T}\frac{(W-D)}{2}} \quad (43)$$

Şekil 3'de gösterildiği gibi D genişliğindeki elemana sürekli rejimde enerji dengesi uygulanırsa 44 numaralı eşitlik elde edilir.

$$SD - U_L D(T_b - T_a) + 2q'_{fin,PV/T} - q''_e D - q'_u = 0 \quad (44)$$

$S_{PV} = (S - q''_e)$ olarak alınır ve 44 numaralı eşitlikte gerekli düzenlemeler yapılırsa 45 numaralı eşitlik elde edilir.

$$q'_u = [D + (W - D)F][S_{PV} - U_L(T_b - T_a)] \quad (45)$$

Yararlı ısı enerjisi (q'_u) 46 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi verilebilir.

$$q'_u = \frac{T_b - T_f}{R_b} \quad (46)$$

46 numaralı eşitlikte gösterilen R_b absorber ile boru içerisinden akan akışkan arasındaki ısı direncidir. Bu değer 47 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi verilebilir.

$$R_b = \frac{1}{h_f \pi D_i} + \frac{\gamma}{k_b b} \quad (47)$$

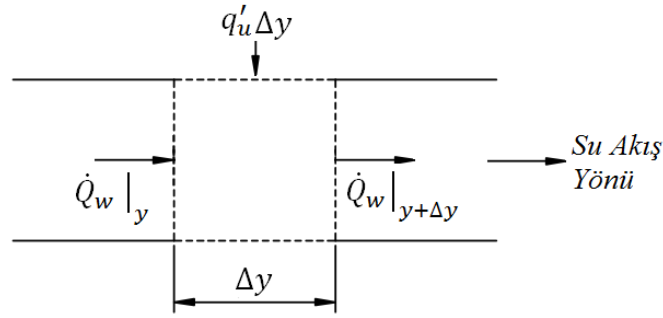
46 numaralı eşitlikten T_b ifadesi alınır ve 45 numaralı eşitlikte yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa 48 numaralı eşitlik elde edilir.

$$q'_u = WF'[S_{PV} - U_L(T_f - T_a)] \quad (48)$$

48 numaralı eşitlikte gösterilen F' faktörü 49 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + R_b \right]} \quad (49)$$

Şekil 6'da görüldüğü üzere bir boru içerisinden geçen akışkan için, sürekli rejimde sonsuz küçüklükteki Δy elemanına enerji dengesi uygulanırsa 50 numaralı eşitlik elde edilir.



Şekil 6. Bir borudan geçen akışkanda Δy elamanına uygulanan enerji dengesinin şematik gösterimi.

$$q'_u \Delta y + q'|_y - q'|_{y+\Delta y} = 0 \quad (50)$$

Fourier yasası kullanılarak $q'|_y$ 51 numaralı eşitlikte olduğu gibi yazılır.

$$q'|_y = \dot{m}c_p T_f|_y \quad (51)$$

$y + \Delta y$ 'deki ısı iletimi ise 52 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$q'|_{y+\Delta y} = q'|_y + \frac{d(q'|_y)}{dy} dy \quad (52)$$

51 ve 52 numaralı eşitlikler 50 numaralı eşitlikte yerlerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa 53 numaralı eşitlik elde edilir.

$$\dot{m}c_p \frac{dT_f|_y}{dy} = q'_{u,PV/T} \quad (53)$$

48 numaralı eşitlikten q'_u ifadesi alınır ve 53 numaralı eşitlikte yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa 54 numaralı eşitlik elde edilir.

$$T_{f,o} = \exp\left(-\frac{WF'U_L}{\dot{m}c_p}\right) \left[T_{f,i} - T_a - \frac{S_{PV}}{U_L}\right] + T_a + \frac{S_{PV}}{U_L} \quad (54)$$

Akışkanın borudan geçerken elde ettiği yararlı ısı 55 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}c_p(T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (55)$$

54 numaralı eşitlikten $T_{f,o}$ ifadesi alınır, 55 numaralı eşitlikte yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa 56 numaralı eşitlik elde edilir.

$$\dot{Q}_u = \frac{\dot{m}c_p}{U_L} \left(1 - \exp\left(-\frac{A_{PV/T}F'U_L}{\dot{m}c_p}\right)\right) [S_{PV} - U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (56)$$

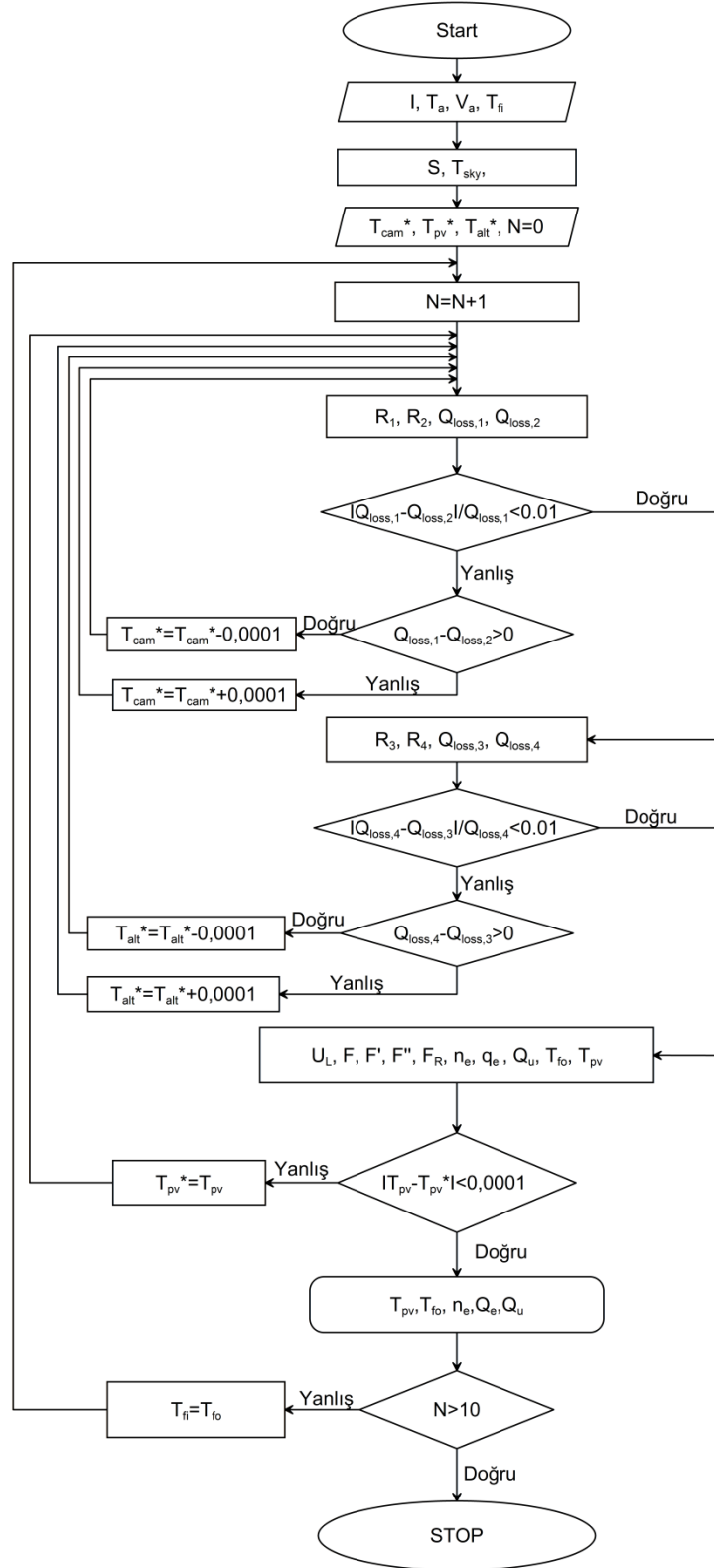
57 numaralı eşitlikte gösterilen F_R parametresi tanımlanır ve 56 numaralı eşitlik buna göre yeniden düzenlenirse 58 numaralı eşitlik elde edilir.

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_{PV/T}U_L} \left(1 - \exp\left(-\frac{A_{PV/T}F'U_L}{\dot{m}c_p}\right)\right) \quad (57)$$

$$\dot{Q}_u = A_{PV/T}F_R [S_{PV} - U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (58)$$

PV/T kolektörün performansının belirlenebilmesi için yapılan analizlerde tek bir borudan elde edilen enerji hesaplanmış ve bulunan sonuç boru sayısı ile çarpılarak PV/T kolektörden elde edilen toplam enerji belirlenmiştir. Bir boruda yapılan hesaplamada da boru 10 eşit parçaya bölünmüş ve sonuçlar farklar modeli ile her bir parçaya enerji dengesi uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda belirtilen hesapların yapılabilmesi, PV/T kolektörden elde edilen yararlı ısı ve elektriksel enerjinin belirlenebilmesi için tasarlanan bilgisayar programının akış şeması Şekil 7'de gösterilmektedir. Bu akış şeması MATLAB yazılımında program haline getirilip analizler yapılmıştır.



Şekil 7. PV/T kolektörde sonlu farklar modeliyle gerçekleştirilen analiz algoritmasının akış diyagramı.

4. BULGULAR

Bu çalışmada İzmir ilinde güneye bakan, 30° eğim ile kurulmuş boyutları ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiş olan bir Fotovoltaik/Termal (PV/T) kolektörün teorik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. PV/T kolektörün boyutları ve fiziksel özellikleri.

δ_{cam}	0,004 m	ϵ_{PV}	0,96	$\epsilon_{alt\ yüzey}$	0,09
δ_{PV}	0,0003 m	α_{PV}	0,90	W	0,111 m
δ_{abs}	0,00012 m	ϵ_{alt}	0,09	k_b	401 W/mK
k_{cam}	1 W/mK	D	0,008 m	γ	0,0001 m
k_{PV}	150 W/mK	D_i	0,0071 m	b	0,008 m
k_{abs}	401 W/mK	t_{ins}	0,050 m	L	0,752
τ_{cam}	0,95	k_{ins}	0,040 W/mK	ABSORBERİN ALANI	1,169 m ²
ϵ_{cam}	0,88	N	14	TOPLAM KOLEKTÖR ALANI	1,325 m ²

Saatlik hava sıcaklıklarının tahmini için ilgili aya ait ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklıklar ile PV/T kolektör için yapılacak teorik analizlerde kullanılmak üzere aylık ortalama rüzgar hızları meteorolojik verilerden belirlenmiştir. Tablo 3'de gösterilen f değerlerin kullanılması ile 59 ve 60 numaralı eşitlikler yardımıyla her saat oluşacak dış hava sıcaklığının tahmini hesabı yapılmıştır [7].

$$\Delta T_a = T_{a,max} - T_{a,min} \quad (59)$$

$$T_{a,i} = T_{a,max} - \frac{f}{100} \Delta T_a \quad (60)$$

Tablo 3. Saatlik hava sıcaklığını bulmak için gerekli f çarpanı.

Saat	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
f	87	92	96	99	100	93	98	84	71	56	39	23
Saat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
f	11	3	0	3	10	21	34	47	58	68	76	82

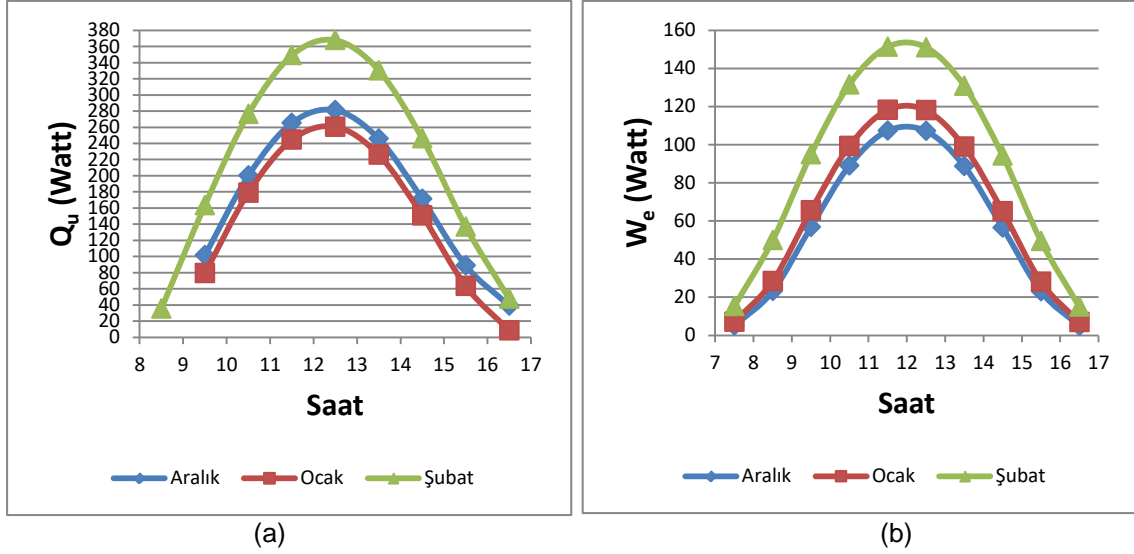
PV/T kolektörden elde edilen ısı verimin, elektriksel verimin ve toplam kolektör veriminin hesaplandığı eşitlikler sırasıyla 61, 62 ve 63 numaralı eşitliklerle verilmiştir [8].

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_{kol} G} \quad (61)$$

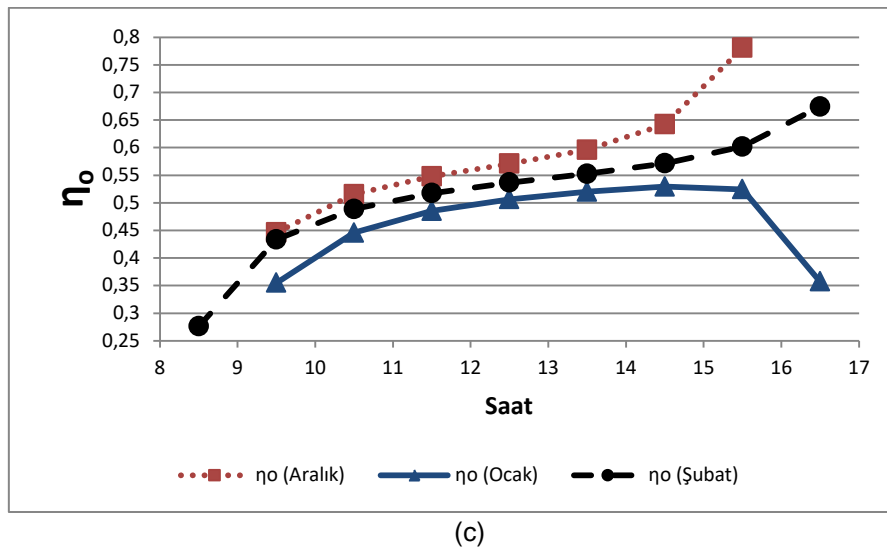
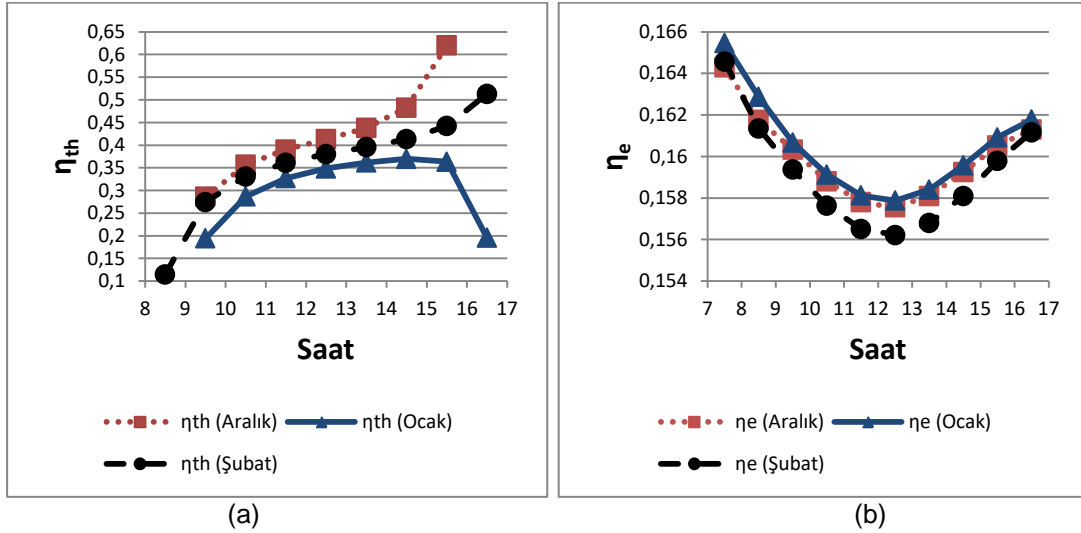
$$\eta_e = \frac{W_e}{A_{kol} G} \quad (62)$$

$$\eta_o = \eta_{th} + \eta_e \quad (63)$$

Açık gökyüzü modeli kullanılarak her ayı temsil eden gün için İzmir ilinde güneye bakan, 30° eğimli yüzeye gelen saatlik toplam ışınım değerleri hesaplanmıştır. Her ayı temsil eden gün için PV/T kolektör ile ilgili yapılan analizlerde kolektöre giren suyun bir ısı pompasında soğutulduğu ve suyun giriş sıcaklığının 12 °C ve debisinin 0,02 kg/s sabit olduğu kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Kış mevsimi için yapılan analizler sonucunda aralık, ocak ve şubat aylarında elde edilen ısı ve elektriksel enerjilerin değişimi Şekil 8'de, ısı, elektriksel ve toplam kolektör veriminin değişimi ise Şekil 9'da görülmektedir.

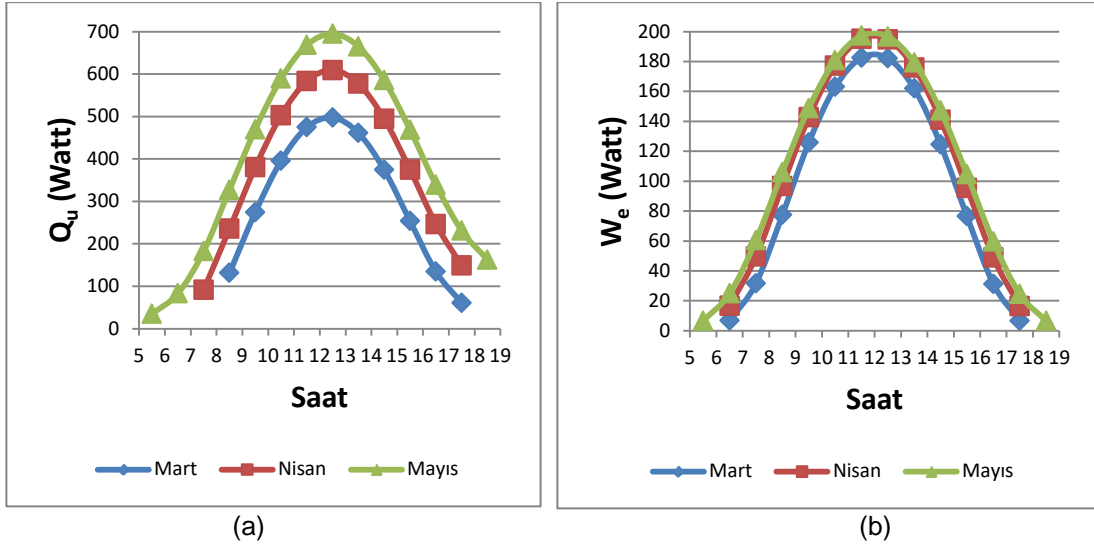


Şekil 8. Kış mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a)Yararlı ısı enerjisinin ve (b) Elektriksel enerjinin değişimi.

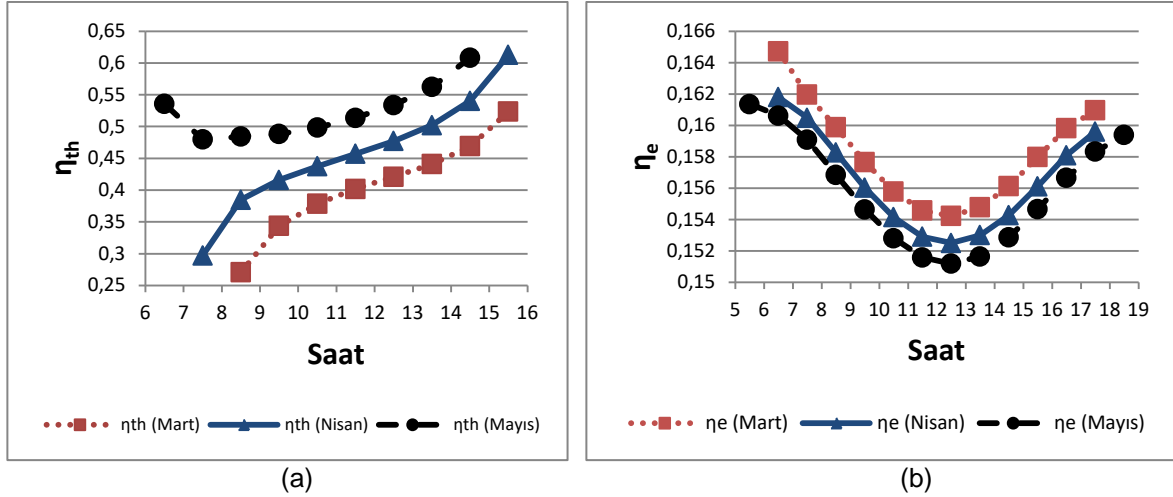


Şekil 9. Kış mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a) Isıl verimin, (b)Elektriksel verimin ve (c) Toplam kolektör veriminin değişimi.

İlkbahar mevsimi için yapılan analizler sonucunda mart, nisan ve mayıs aylarında elde edilen ısı ve elektriksel enerjilerin değişimi Şekil 10'da, ısı, elektriksel ve toplam kolektör veriminin değişimi ise Şekil 11'de görülmektedir.

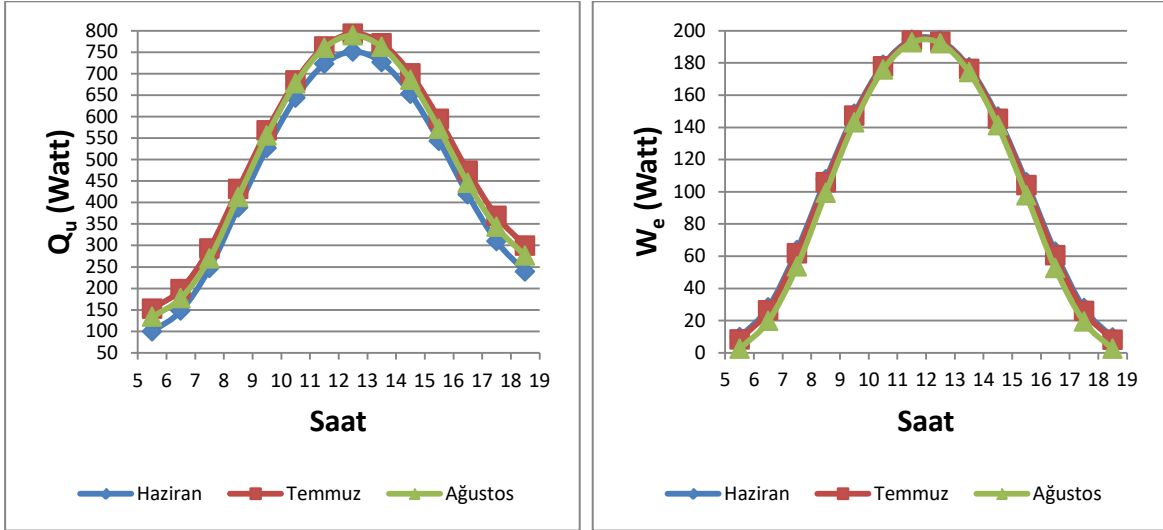


Şekil 10. İlkbahar mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a) Yararlı ısı enerjisinin ve (b) Elektriksel enerjinin değişimi.



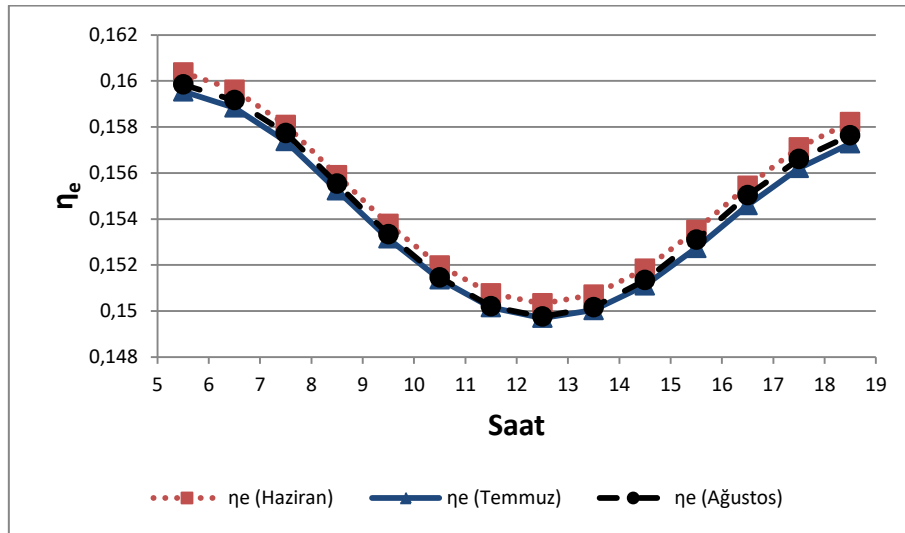
Şekil 11. İlkbahar mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a) Isıl verimin, (b) Elektriksel verimin ve (c) Toplam kolektör veriminin değişimi.

Yaz mevsimi için yapılan analizlerde sonucunda haziran, temmuz ve ağustos aylarında elde edilen ısı ve elektriksel enerjilerin değişimi Şekil 10'da, ısı, elektriksel ve toplam kolektör veriminin değişimi ise Şekil 12'de görülmektedir. Özellikle yaz aylarında hava sıcaklığının ve güneş ışınımının yüksek olması ve buna ek olarak PV/T kolektöre giren su sıcaklığının düşük olması sebebiyle PV/T kolektörden çevreye ısı kaybı olması yerine çevre havadan PV/T kolektöre ısı kazancı olmaktadır. Buda güneş ışınım değerine ve elde edilen yararlı ısı enerjine bağlı olan ısı veriminin %100'den daha büyük çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle ısı verim değerlendirilmesi ısı kazancı olan aylarda ve saatlerde yapılmamıştır. Başka bir çalışmada PV/T kolektöre giren suyun soğutulmasını ve düşük sıcaklıkta olmasını sağlayan ısı pompasının kompresöründe harcanan elektrik işinin de hesaba katıldığı bir değerlendirme yapılacaktır.



(a)

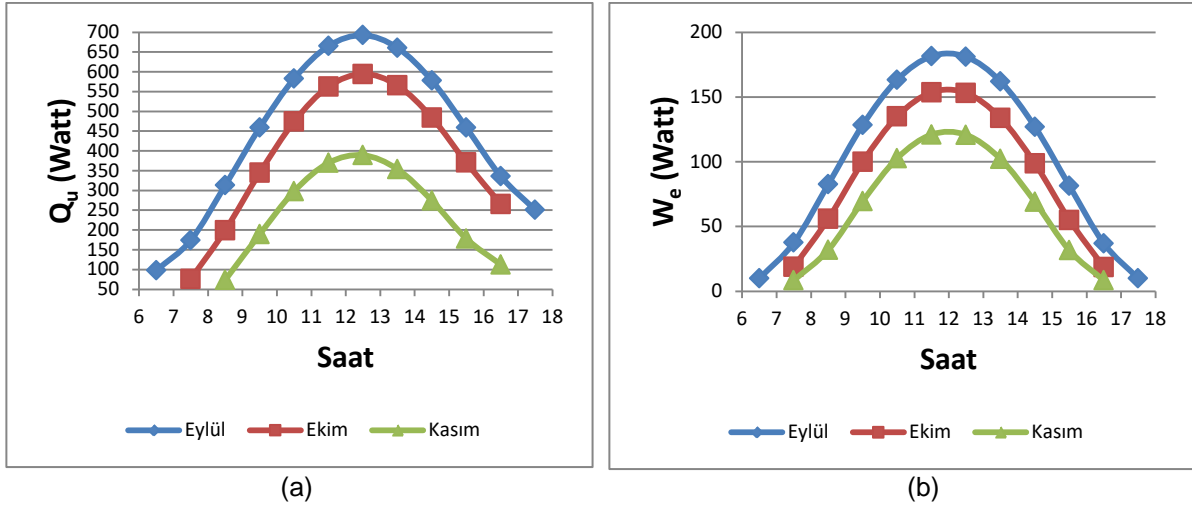
(b)



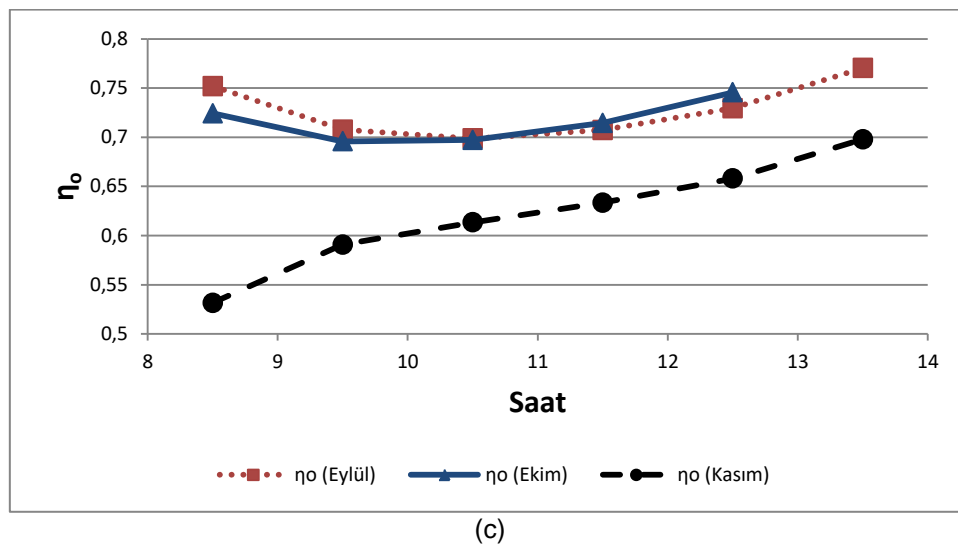
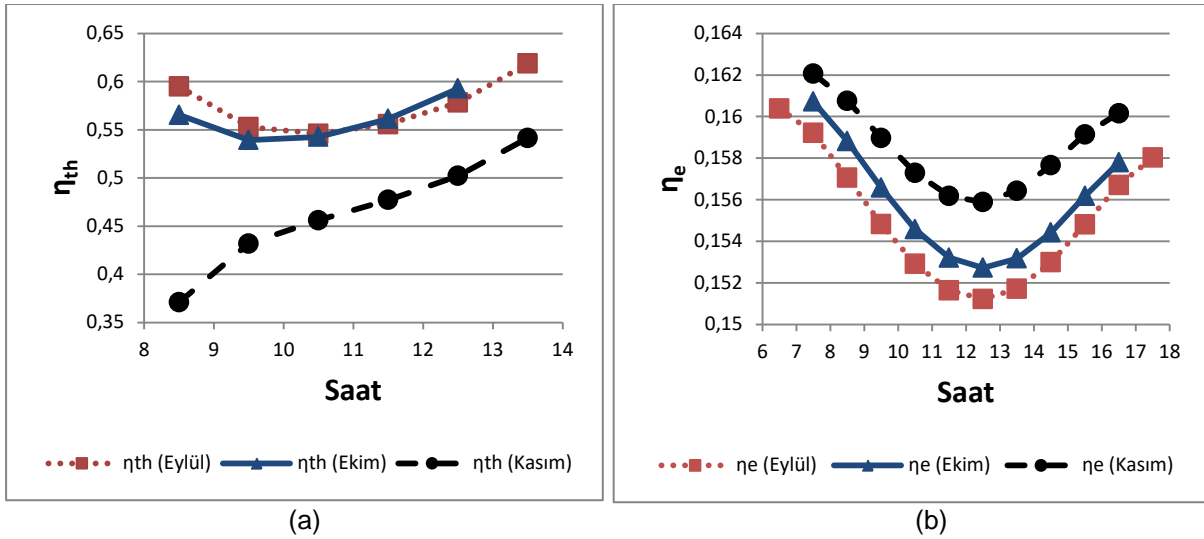
(c)

Şekil 12. Yaz mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a)Yararlı ısı enerjisinin, (b) Elektriksel enerjinin ve (c) Elektriksel veriminin değişimi.

Sonbahar mevsimi için yapılan analizler sonucunda eylül, ekim ve kasım aylarında elde edilen ısı ve elektriksel enerjilerin değişimi Şekil 13'de, ısı, elektriksel ve toplam kolektör veriminin değişimi ise Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 13. Sonbahar mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a)Yararlı ısı enerjisinin ve (b) Elektriksel enerjinin değişimi.



Şekil 14. Sonbahar mevsiminde PV/T kolektörden elde edilen saatlik (a) Isıl verimin, (b)Elektriksel verimin ve (c) Toplam kolektör veriminin değişimi.

SONUÇ

Literatüre bakıldığında PV/T kolektörlerden elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretilirken, PV/T kolektörün çalışma sıcaklığını da düşük tutarak sıcaklık yükselmesinden dolayı oluşan verim kayıplarının da önüne geçmek için hava ile soğutmalı, su ile soğutmalı, ısı pompalı, ısı borulu sistemler ve faz değişim malzemesi kullanılarak yapılan uygulamalara rastlanmaktadır. Bu uygulamalardaki temel amaç PV/T kolektörü verimli çalıştırmak ve güneş enerjisinden mümkün olan en yüksek mertebede faydalanmaktır. Bu çalışmada da İzmir ilinde güneye bakan, 30° eğim açısıyla kurulmuş olan bir PV/T kolektörde, ısı pompası ile soğutulmuş sabit sıcaklıktaki ve sabit debideki suyun dolaştırılması ile PV/T kolektörden elde edilebilecek ısı ve elektriksel enerjiler ile ısı, elektriksel ve toplam kolektör verimlilikleri teorik olarak hesaplanmıştır. Yıl boyunca yapılan teorik hesaplamalar ve analizler göstermiştir ki bu tür uygulamalar sistem verimliliğini artırmaktadır. Özellikle evsel uygulamalarda soğutma uygulanan PV/T kolektöre sahip sistemlerin çok amaçlı kullanımı verimlilik değerlerinin artırılması adına uygulanabilir. Ayrıca bu tarz sistemlerden faydalanma veriminin iyileştirilmesi için çeşitli uygulamalar ve çözümler geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., “Solar Engineering of Thermal Processes”, 4th ed., John Wiley and Sons, 2013.
- [2] ISLAHI, A., SHAKIL, S., HAMED, M. “Hottel’s Clear Day Model for a typical arid city – Jeddah.” International Journal of Engineering Science Invention ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org, Vol. 4(6), pp. 32-37. June, 2015.
- [3] YILMAZ, R., KIRTEPE, E., ÖZBALTA, N., “BANDIRMA ve GÖNEN İÇİN AÇIK GÖKYÜZÜ İŞİMASININ TAHMİNLENMESİ”, Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu (UBS’18) Tam Metin Bildiriler Kitabı III: Ulaştırma-Denizcilik-Su Ürünleri, Sağlık ve Sağlık Kurumları, Coğrafya ve Çevre, Enerji, Jeoloji-Madencilik, 458-468, 17-19 Eylül, 2018.
- [4] WONG, L.T., CHOW, W.K., “Solar Radiation Model”, Applied Energy, 69, 191-224, 2001.
- [5] ZHAO, X., ZHANG, X., RIFFAT, S.B., SU, Y., “Theoretical study of the performance of a novel PV/e roof module for heat pump operation”, Energy Conversion and Management, 52, 603–614, 2011.
- [6] ZHANG, X., ZHAO, X., SHEN, J., XU, J., YU, X., “Dynamic performance of a novel solar Photovoltaic/Loop-Heat-Pipe heat pump system”, Applied Energy, 114, 335-352, 2014.
- [7] BANSAL, N.K., THOMAS, P.C., “A simple procedure for selection and sizing of indirect passive solar heating systems”, Building and Environment, 26(4), 381-387, 1991.
- [8] QIU, Z., ZHAO, X., LI, P., ZHANG, X., ALI, S., TAN, J., “Theoretical investigation of the energy performance of a novel MPCM (Microencapsulated Phase Change Material) slurry based PV/T module”, Energy, 87, 686-698, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Erhan KIRTEPE

1985 yılı İzmir doğumludur. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Bölümünü ve ardından da Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirerek lisans öğrenimini tamamlamıştır. 2014 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimini tamamlamış ve şu anda aynı üniversitede doktora öğrenimine devam etmektedir. 2010-2011 yılları arasında Şirnak Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılında araştırma görevlisi olarak Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde görevine başlamış ve halen aynı üniversitede araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

**Ali GÜNGÖR**

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. 1997-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı yaptı ve halen aynı bölümde Termodinamik Ana Bilim Dalı Başkanlığını yapmaktadır.