

SOLAR-TERMAL ENERJİ ÜRETİMİ VE MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Batur BEKİROĞLU

Dr. Vatan TUĞAL

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektrik Eğitimi Bölümü

Göztepe, İstanbul.

Özet

Günümüzde hızla tükenen enerji kaynakları (petrol, doğal gaz, atıklar v.b.), insanoğlunu gelecekte kullanılmak üzere yeni kaynaklar aramaya zorlamıştır. Bu düşünce tüm araştırmaları sonsuz bir kaynak olan Güneş'e yöneltmiştir. Bu aramalar sonucunda ise elde edilen sonuçlar, her geçen gün daha umut verici olmaktadır.

Mevcut sistem, gelen güneş ışınlarını alarak, yarı-iletken olarak bilinen elektronik özelliklere sahip olan malzemelerin, güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine çevirmek için kullanılan bir teknolojidir. Sistemin tüm değişkenleri güneşten gelen ışınlardan elde edilen ısı, başlangıç gerilimi, ve sistemden elde edilecek olan akımdan ibarettir. Yalnız, sistemin akım-gerilim grafiğini incelediğimiz zaman, sistemden elde edilen güç, sistem ısındığı zaman, belli bir doyum noktasından sonra hızlı bir düşüş göstermektedir.

Bu projede yapılan çalışmalarda ise hem sistemi soğutmak hem de verimliliği artırmak amaçlanmıştır.

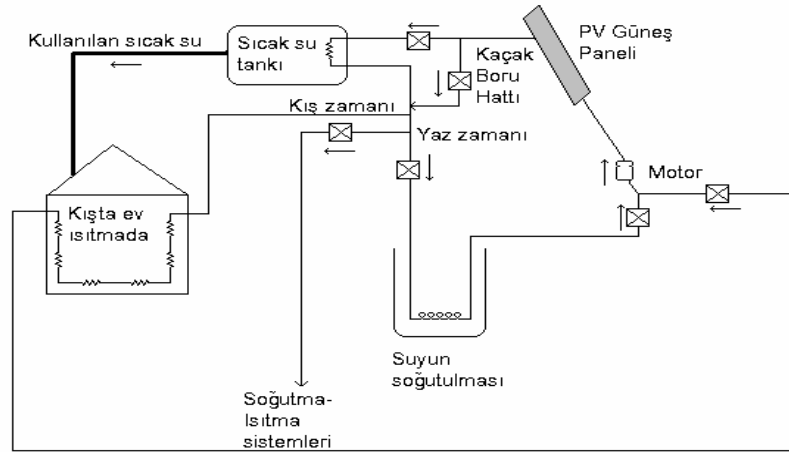
Giriş

Bu doğrultuda öncelikle sistemin soğutulması için araştırma yapıldı. Bunun için sistemin yüzeyinden bir sıvı geçirilmesi düşünülmüştür.

Diğer taraftan suyu panel üzerinden nasıl geçireceğimizi tasarlamaya başladık. En iyi sonucu elde edebilmek için panelin başına ve sonuna, üzerinde delikler açılmış plastik kanallar döşedik. Böylece bir motor aracılığıyla pompalanacak olan suyun başlangıçtaki kanaldan çıkarak, paneli geçtikten sonra, panelin diğer ucunda bulunan kanaldaki deliklerden dışarıya çıkması sağlanmıştır. Panelin girişinde motor aracılığıyla pompalanan suda oluşan kuvvetten dolayı suyun çıkışa yönelmesinde herhangi bir sorunla karşılaşmadık.

Panel üzerine yerleştirilmiş çift cam ise izolasyonu sağlayacağından üstten kaybedilecek olan ısı kaybı da bu sayede elimine edilmiş olmaktadır.

Bu arada sistemin ne kadar ısınıp ne kadar soğutulacağı da çok önemli bir noktadır. Eğer sistemi çok soğutursak sistemden yeterli verimi alamayacaktık. Dolayısıyla ısı oranını optimum düzeyde tutmak için panelin giriş ve çıkışına bir ısı kontrol mekanizması kurduk. Böylece sistem fazla ısınmışsa su akımını hızlandırarak sistemin daha çabuk soğumasını, veya fazla soğumuşsa su akımını yavaşlatarak ısınan suyun panel içerisinde bekletilerek sistemi ısıtmayı sağladık.



ŞEKİL-1

Güneş panelinin kullanılması düşünülen sistem

Şekil-2'den de görüleceği üzere, panele gelen güneş ışınları sayesinde ısınan su, panelin altına yerleştirilmiş

olan pompa sayesinde sistem içerisinde devir daim yapmaktadır. Panelin çıkışında elde ettiğimiz sıcak suyu, sıcak su tankına göndererek depoda bulunan suyu ısıtıyoruz. Isıtılan bu su, daha sonraları ev içerisindeki sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere gerek banyoda gerekse farklı alanlarda kullanılır. Eğer evde kullanılacak olan su fazla ısınmışsa ve daha fazla ısıtılmasına gerek duyulmuyorsa suyu panel çıkışında bulunan “by-pass” kaçak boru hattından geçirerek su tankına gitmeden sisteme gönderebiliriz.

Bu noktada akla şöyle bir soru gelmektedir. Şayet ben sıcak su elde edebiliyorsam ve ben bunun için ek bir maliyet ödemiyorsam, niye bu suyu ev ısıtmasında kullanmıyorum?

Bu düşünceden hareket ederek sistemimizi biraz daha geliştirdik. Bu defa ısıtılan suyu kışın eve döşenmiş olan kalorifer peteklerinden geçirerek ısıtma sağlanacak, aynı zamanda bu suyu ihtiyaç durumunda kullanılacaktır. Yazın ise bu su soğutma amaçlı kullanılacaktır. Solar-termal enerji sistemlerinde ısıtma-soğutma sistemleri ayrı bir proje olacağından bu konuya girmiyorum.

Tüm bu dolaşım işleminden sonra şayet su hala daha belli bir ısının altına düşmemişse, suyun panele girmeden soğutulması gerekmektedir. Bu yüzden, endoğal yoldan, suyu, su borularının içerisinde soğuk su kuyusundan geçirdikten sonra soğutarak panele geri pompalarız.

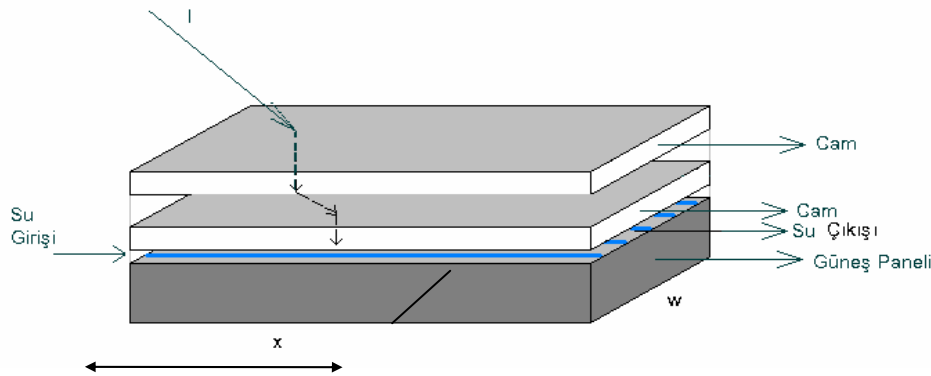
Tüm bu işlemler gerçekleşirken, panel girişinde ve çıkışında, ısı kontrollerini gerçekleştiren “thermocouple” ’lar , suyun hangi borudan geçerek sistemin hangi yönüne gideceğini ayarlayan kontrol mekanizmaları hakkında ise, solar-termal enerji üretimi ile doğrudan bir bağlantı olmadığından bu projede açıklanmamıştır.

Sonuç olarak, sistemin soğutulmasından dolayı elde edilecek olan verim artışı ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için yapılacak olan harcamalar, sistemden elde edilecek olan sıcak su ile karşılanacağından, buradan elde edilen kazançlar ile kışın evi ısıtmak için yapılacak olan harcamalar yerine sistem tarafından ısıtılmasından kaynaklanan kazançları da eklersek, yapılan projede, sıradan bir güneş paneline göre ne kadar avantajlı ve kazançlı olduğumuz, gözardı edilemeyecek bir gerçektir.

SİSTEMİN MATEMATİKSEL FORMÜLÜNÜN ÇIKARILMASI

Yukarıda, sıradan bir sistemin güneş pilleri üzerindeki etkisini inceledik. Kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve dolun faktörlerindeki sıcaklık (T) değişkeni, sıradan bir sistemde hava sıcaklığına eşit olurken, hazırladığımız projede mevcut olan çift cam ve aradan geçirilen sudan dolayı birtakım değişikliklere uğramıştır. Şimdi bu değişiklikleri inceleyelim.

Gelen güneş ışını önce üst cama geliyor. Bu cam üzerindeki bazı ışınlar geriye yansırken bazı ışınlar camdan aşağıya geçiyor. Aşağıya geçen ışınlar ikinci cam ile karşılaşıyorlar. Aynı şekilde ışınların bir kısmı yukarıya yansıyor bir kısmı aşağıya geçiyor. Aşağıya geçen ışınlar su ile karşılaşıyor. İşte bu noktada ışınların zararlıları elimine ediliyor. Sudan geçen gerekli sıcaklıktaki ışınlar panele geliyor. Panele gelen ışınlar, bu noktadan sonra bilinen panellerdeki formüller geçerli oluyor. Dolayısıyla güneş ışınlarının panel yüzeyine gelene kadar ne gibi değişikliklere uğradığını, ne kadar değer kaybettiğini bularak, bu noktadan sonra bilinen formülleri uygulayacağız.



Sistemdeki enerji eşitliğini kurarsak, giren enerji çıkan enerjiye eşittir mantığından hareket ederek enerji dengesini yazalım. Öncelikle kullanacağımız değişkenleri bir tanıyalım.

- | | |
|---|------------------------------------|
| $h_{(w)} = 1 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$ | : Suyun ısı iletim katsayısıdır. |
| $h_{(air)} = 0.01 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$ | : Havanın ısı iletim katsayısıdır. |
| $C_{p(air)} = 1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ | : Havanın özgül ısısıdır. |
| $C_{p(water)} = 4.179 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ | : Suyun özgül ısısıdır. |
| $\alpha_v = 0.93 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ | : Panelin ısıyı emme katsayısıdır. |
| $\alpha_g = 0.0504 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ | : Camın ısıyı emme katsayısıdır. |

$\alpha_w = 0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$: Suyun ısıyı emme katsayısıdır.
$m_p =$ Değişken	: Suyun akış hızıdır.
$I =$ Değişken	: Birim alandaki ışıma miktarıdır
$\Delta x = 1.5 \text{ m}$: Panelin uzunluğudur
$W = 0.5 \text{ m}$: Panelin genişliğidir.
$T_\infty =$ Değişken	: Panele giren sıcaklığı belirtir.
$T_{gi} =$ Değişken	: Camdaki ısı miktarı.
$T_{wi} =$ Değişken	: Su içerisindeki sıcaklık.
$T_{wi-1} =$ Değişken	: Paneli eşit parçalar halinde incelediğimiz zaman, bir önceki bölümdeki suyun sıcaklığı.
$T_{vi} =$ Değişken	: Panel üzerine gelen sıcaklık.

Üst cam için enerji eşitliğini yazarsak;

$$I * \alpha_g * \Delta x * w = h * \Delta x * w * (T_{gi} - T_\infty) + h_w * \Delta x * w * (T_{gi} - T_{wi}) \quad (24)$$

Eğer eşitliğin iki tarafındaki $(\Delta x * w)$ değişkenlerini kısaltırsak karşımıza

$$I * \alpha_g = h * (T_{gi} - T_\infty) + h_w * (T_{gi} - T_{wi}) \quad (25)$$

gibi bir eşitlik çıkmaktadır. Bu eşitliğin sol tarafında kalan $I * \alpha_g$ bölümü suya gelen ışıma miktarını simgelemekte,

$h * (T_{gi} - T_\infty)$, camın dış kısmında hava ile gerçekleşen ısı iletimini,
 $h_w * (T_{gi} - T_{wi})$, camın iç kısmında su ile gerçekleşen ısı değişimini simgelemektedir.

Aynı mantıkla yapılan enerji denklemlerini bu kez su için kurarsak;

$$m_w * C_p * (T_{wi-1} - T_{wi}) + h_w * \Delta x * w * (T_{gi} - T_{wi}) - h_w * \Delta x * w * (T_{wi} - T_{vi}) + I * \alpha_w * \Delta x * w = 0 \quad (26)$$

Aynı eşitliği güneş paneli için de kurarsak;

$$I * \alpha_v * \Delta x * w + h_w * \Delta x * w * (T_{wi} - T_{vi}) = 0 \quad (27)$$

Şimdi sistemdeki denklemleri sadeleştirerek işlemlerimize daha basit formüllerle devam edebilmek için (25) numaralı formülden hareket ederek üst cam için yazılan formülü sadeleştiririm.

$$T_{gi} = \frac{I * \alpha_g + h * T_\infty + h_w * T_{wi}}{h + h_w} \quad (28)$$

Su için yazmış olan (26) numaralı formülden hareket ederek, formülde bulunan suyun sıcaklığını simgeleyen T_{wi} değişkenini sadeleştirerek eşitliğin sol tarafına çekersek;

Bu noktadan itibaren,

$$\Delta x * w = A \quad (29)$$

olarak tanımlayıp bu değişkenler yerine kısaca "A" karakterini kullanacağız.

Dolayısıyla;

$$m_w * C_p * (T_{wi-1} - T_{wi}) + h_w * A * (T_{gi} - T_{wi}) - h_w * A * (T_{wi} - T_{vi}) + I * \alpha_w * A = 0 \quad (30)$$

Formüldeki çarpımları açarsak;

$$(m_w * C_p * T_{wi-1}) * (-m_w * C_p * T_{wi}) + (h_w * A * T_{gi}) - (h_w * A * T_{wi}) - (h_w * A * T_{wi}) + (h_w * A * T_{vi}) + I * \alpha_w * A = 0 \quad (31)$$

Bu formülden T_{wi} değişkenini çekecek olursak;

$$T_{wi} * (-m_w * C_p - 2 * h_w * A) + (m_w * C_p * T_{wi-1}) + (h_w * A * T_{gi}) + (h_w * A * T_{vi}) + I * \alpha_w * A = 0 \quad (32)$$

$$T_{wi}(m_w * C_p + 2 * h_w * A) = (m_w * C_p * T_{wi-1}) + (h_w * A * T_{gi}) + (h_w * A * T_{vi}) + I * \alpha_w * A = 0 \quad (33)$$

Böylece;

$$T_{wi} = \frac{(m_w * C_p * T_{wi-1}) + (h_w * A * T_{gi}) + (h_w * A * T_{vi}) + I * \alpha_w * A}{(m_w * C_p + 2 * h_w * A)} \quad (34)$$

Aynı şekilde güneş pili için yazılmış olan (27) numaralı formülde de gerekli sadeleştirmeyi yaparsak;

Sistemde bulunan $\Delta x * w = A$ değişkenini yerine yerleştirdikten sonra çarpanları ayırırsak;

$$I * \alpha_w * A + (h_w * A * T_{wi}) - (h_w * A * T_{vi}) = 0 \quad (35)$$

formülünü elde etmiş oluruz. Buradan da A değişkenlerini sadeleştirdikten sonra panelin sıcaklığını simgeleyen T_{vi} değişkenini eşitliğin sol tarafında yalnız bırakırsak;

$$T_{vi} = \frac{I * \alpha_w + (h_w * T_{wi})}{h_w} \quad (36)$$

T_{wi} formülünü (34) tekrar ele alalım. İçerisinde kullanılan T_{gi} ve T_{vi} formüllerini T_{wi} formülünün içerisine yerleştirelim.

Bize işlem kolaylığı sağlaması için bazı değişkenleri kısaltarak tek değişken olarak tekrar tanımlayalım.

$$m_w * C_p = C \quad (37)$$

$$m_w * C_p + 2 * h_w * A = C + 2 * h_w * A = K \quad (38)$$

$$h_w * A = D \quad (39)$$

Böylece (34) numaralı formülümüzü yeni değişkenleri kullanarak tekrar yazarsak

$$T_{wi} = \frac{(C * T_{wi-1}) + (D * T_{gi}) + (D * T_{vi}) + I * \alpha_w * A}{(C + 2 * D)} \quad (40)$$

Şimdi T_{gi} ve T_{vi} formüllerini yerine yerleştirelim.

$$T_{wi} = \frac{(C^*T_{wi+1}) + \left[h_w^*A^* \left(\frac{I^*\alpha_g + h^*T_\infty + h_w^*T_{wi}}{h+h_w} \right) \right] + \left[h_w^*A^* \left(\frac{I^*\alpha_v + h_w^*T_{wi}}{h_w} \right) \right] + I^*\alpha_w^*A}{C+2^*h_w^*A} \quad (41)$$

$$T_{vi} = \frac{(C^*T_{vi+1}) + \left[A^* \left(\frac{h_w^*I^*\alpha_g + (h^*h_w^*)T_\infty + h_w^2T_{vi} + (h+h_w^*)I^*\alpha_v + (h+h_w^*)h_w^*T_{vi}}{D} \right) \right] + I^*\alpha_w^*A}{K} \quad (42)$$

Formüldeki çarpanları da açarsak;

$$T_w = \frac{C^*T_{w+1}}{K} + \frac{h_w^*A^*I^*\alpha_g}{K^*D} + \frac{h^*h_w^*A^*T_\infty}{K^*D} + \frac{h_w^2A^*T_{wi}}{K^*D} + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{h_w^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{h^*h_w^*A^*T_{vi}}{K^*D} + \frac{h_w^2A^*T_{vi}}{K^*D} + \frac{I^*\alpha_w^*A}{K} \quad (43)$$

$$T_{wi} = \frac{h^*h_w^*A^*T_{wi}}{K^*D} + \frac{h_w^2A^*T_{wi}}{K^*D} + \frac{h_w^2A^*T_{wi}}{K^*D} + \frac{C^*T_{wi}}{K} + \frac{h_w^*A^*I^*\alpha_g}{K^*D} + \frac{h^*h_w^*A^*T_\infty}{K^*D} + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{h_w^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{I^*\alpha_w^*A}{K} \quad (44)$$

$$T_w \left[1 - \frac{h^*h_w^*A}{K^*D} - \frac{h_w^2A}{K^*D} - \frac{h_w^2A}{K^*D} \right] = \frac{C^*T_{w+1}}{K} + \left[\frac{A^*h_w^*}{K^*D} \left[I^*\alpha_g + h^*T_\infty + I^*\alpha_v \right] \right] + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{I^*\alpha_w^*A}{K} \quad (45)$$

$$T_w \left[1 - 2^* \left(\frac{h_w^2A}{K^*D} \right) - \frac{h^*h_w^*A}{K^*D} \right] = \frac{C^*T_{w+1}}{K} + \left[\frac{A^*h_w^*}{K^*D} \left[I^*\alpha_g + h^*T_\infty + I^*\alpha_v \right] \right] + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{I^*\alpha_w^*A}{K} \quad (46)$$

$$T_{wi} = \frac{\frac{C^*T_{wi-1}}{K} + \left[\frac{A^*h_w}{K^*D} * [I^*\alpha_g + h^*T_\infty + I^*\alpha_v] \right] + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{I^*\alpha_w^*A}{K}}{\left[1 - 2 * \left(\frac{h_w^2 * A}{K^*D} \right) - \frac{h^*h_w^*A}{K^*D} \right]} \quad (47)$$

$$T_{wi} = \frac{\frac{D^*C^*T_{wi-1}}{K^*D} + \left[\frac{A^*h_w}{K^*D} * [I^*\alpha_g + h^*T_\infty + I^*\alpha_v] \right] + \frac{h^*A^*I^*\alpha_v}{K^*D} + \frac{D^*I^*\alpha_w^*A}{K^*D}}{\left[\frac{K^*D}{K^*D} - 2 * \left(\frac{h_w^2 * A}{K^*D} \right) - \frac{h^*h_w^*A}{K^*D} \right]} \quad (48)$$

Eğer (K*D) katsayıları tüm formülde sadeleştirilirse;

$$T_{wi} = \frac{D^*C^*T_{wi-1} + \left[A^*h_w * [I^*\alpha_g + h^*T_\infty + I^*\alpha_v] \right] + h^*A^*I^*\alpha_v + D^*I^*\alpha_w^*A}{\left[K^*D - 2 * (h_w^2 * A) - h^*h_w^*A \right]} \quad (49)$$

$$T_{wi} = \frac{D^*C^*T_{wi-1} + \left[A^*h_w^*I^*\alpha_g + A^*h_w^*h^*T_\infty + A^*h_w^*I^*\alpha_v \right] + h^*A^*I^*\alpha_v + D^*I^*\alpha_w^*A}{\left[K^*D - 2 * (h_w^2 * A) - h^*h_w^*A \right]} \quad (50)$$

$$T_{wi} = \frac{(D^*C^*T_{wi-1}) + (A^*h_w^*I^*\alpha_g) + (A^*h_w^*h^*T_\infty) + (A^*h_w^*I^*\alpha_v) + (h^*A^*I^*\alpha_v) + (D^*I^*\alpha_w^*A)}{\left[(K^*D) - 2 * (h_w^2 * A) - (h^*h_w^*A) \right]} \quad (51)$$

Yapılan kısaltmaları (37), (38), (39) yerine yerleştirirsek;

Sonuç olarak suya gelen ısı miktarı aşağıdaki denkleme eşittir.

$$T_w = \frac{\left((h_w)_p m_p^* C_p^* T_{p1} + \Delta^* w_w^* T_g^* + \Delta^* w_w^* T_c^* + \Delta^* w_w^* T_q^* + h^* \Delta^* w_w^* T_q^* + (h_w)_p T_{q1}^* \Delta^* w \right)}{\left[m_p^* C_p^* + 2^* h_w^* \Delta^* w (h_w)_p - 2^* h_w^* \Delta^* w - h_w^* \Delta^* w \right]} \quad (52)$$

Bu noktada, (52) numaralı formülden bulunan sonucu (28) numaralı formüle uygularsak;

$$T_g = \frac{I_g^* h_w^* T_{sc}^* \left[\frac{\left((h_w)_p m_p^* C_p^* T_{p1} + \Delta^* w_w^* T_g^* + \Delta^* w_w^* T_c^* + \Delta^* w_w^* T_q^* + h^* \Delta^* w_w^* T_q^* + (h_w)_p T_{q1}^* \Delta^* w \right)}{\left[m_p^* C_p^* + 2^* h_w^* \Delta^* w (h_w)_p - 2^* h_w^* \Delta^* w - h_w^* \Delta^* w \right]} \right]}{h_w} \quad (53)$$

cam üzerindeki sıcaklığı bulmak mümkündür. Aynı şekilde (52) numaralı formülden elde ettiğimiz sonucu bu kez (36) numaralı formüle uygularsak;

$$T_i = \frac{I_g^* h_w^* \left[\frac{\left((h_w)_p m_p^* C_p^* T_{p1} + \Delta^* w_w^* T_g^* + \Delta^* w_w^* T_c^* + \Delta^* w_w^* T_q^* + h^* \Delta^* w_w^* T_q^* + (h_w)_p T_{q1}^* \Delta^* w \right)}{\left[m_p^* C_p^* + 2^* h_w^* \Delta^* w (h_w)_p - 2^* h_w^* \Delta^* w - h_w^* \Delta^* w \right]} \right]}{h_w} \quad (54)$$

sonucunu buluruz.