

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KANATÇIK YÜZEYİNDEKİ SICAKLIK DAĞILIMININ SONLU FARKLAR METODU İLE ANALİZİ**Hikmet DOĞAN Mustafa AKTAŞ Tayfun MENLİK**

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Isı transferinde verimi arttırmak için kullanılan yöntemlerden biri de ısı değiştiricilerde kanatçık kullanmaktır. Bu çalışmada güneş enerjili tabii dolaşimli dolaylı sıcak su hazırlama sistemlerinde kanatçık yüzeyindeki sıcaklık dağılımının sonlu-farklar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Bu amaç için tasarlanan tabii dolaşimli dolaylı sıcak su hazırlama sisteminde sınır şartlarına göre sonlu-fark eşitlikleri yazılarak bu eşitliklerde bilinmeyen kanatçık yüzey sıcaklıkları Gauss Seidel İterasyonu kullanılarak bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan kanatçık yüzey sıcaklıklarına göre kanatçık yüzeyinden taşınan ısının önemli miktarda olduğu ve kanatçık kullanımının ısı verim bakımından çok faydalı olabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dolaylı sistem, Güneş enerjisi, Kanatçık, Sonlu farklar yöntemi, Tabii dolaşım

IN SOLAR ENERGY SYSTEMS THE ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION ON THE FIN SURFACE WITH FINITE DIFFERENCE METHOD**ABSTRACT**

The using of fin is one of the methods to rise the heat transfer in the heat exchangers. In this study, on the fin surface the temperature distribution analysis was done with finite difference method in the natural circulation indirect hot water preparing systems by solar energy. The natural circulation indirect hot water preparing systems designed for this purpose by writing finite difference equations according to boundry condition, at these equations unknown fin surface temperatures calculated with computer programme by using Gauss Seidel Iteration. It was seen that the amount of heat passing the fin surface occuring at the significant degree according to calculated fin surface temperatures and the usage of fin can be very useful in terms of thermal performance.

Key Words: Indirect system, Solar energy, Fin, Finite difference method, Natural circulation.

1. GİRİŞ

Yeryüzünden, 151.10^6 km uzaklıkta bulunan güneş, nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan bütün yakıtların ana kaynağıdır. İçerisinde, sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmekte ve oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Ancak, bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.10^{14} kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının sebebi, atmosferdeki CO_2 , su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı emmeleri ve kat ettiği yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000 K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük yıldız olan güneşin yaydığı ışınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı % 70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367 W/m²'dir ve bu değer "güneş sabiti" olarak alınır. Pratik olarak, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı değeri 1000 W/m² olarak kabul edilmektedir [1].

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri, daha çok sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca azda olsa ısıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale geleceği

tahmin edilmektedir. Bunun yanında; yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde soğutma amacıyla güneş enerjisinden faydalanıldığı da görülmektedir.

Birçok uygulamalarda birim hacim başına ısı transferinin fazla olması istenmektedir. Isı transferini arttırmak için toplam ısı transfer katsayısının (K) artırılması, daha çok ısı iletim ve ısı taşınım katsayılarına bağlıdır. Isı iletim katsayısı, seçilen malzemeye göre sabittir. Isı taşınım katsayısı ise, akışkanın cinsi, fiziksel özellikleri, hızı, vb. birçok etkene bağlıdır. Genelde gazlarda ısı taşınım katsayısı çok küçüktür. Bu yüzden K'nın artırılması sınırlıdır. Sıcaklık farkı (ΔT) endüstrideki birçok uygulamada ve konut ısıtılmasında sınırlı bir değerdedir. O halde ısı transferini arttırmanın en önemli yollarından birisi ısı transfer yüzeyinin artırılmasıdır. Bunun için yapılması gereken ısı transferi olan yüzeyler üzerine kanatlar yerleştirilerek ısı geçiş yüzeyinin artırılmasıdır [2].

Aktaş [3], güneş enerjili tabii dolaşımli dolaylı sıcak su hazırlama sistemlerinde en iyi olabilecek kanatçık boyutlandırmasını yapmaya çalışmıştır. Yapılan çalışmada üç adet dikdörtgen (10 mm x 310 mm, 20 mm x 310 mm ve 30 mm x 310 mm) kanatçıklı ve bir adet kanatçiksiz sistem tasarlayıp imal etmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kanatçiksiz sisteme göre 10 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin % 4, 20 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin % 6 ve 30 mm x 310 mm kanatçıklı sistemin de % 7 daha iyi verime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şahin ve Acır [4], talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizini yaparak, rejim halinde birinci ve ikinci bölgede ısının tahmini dağılımı elde edilerek, takım ve talaş yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımının simülasyonunu elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların, literatürdeki değerlerle benzer olduğu tespitini yapmışlardır.

Öz, Menlik ve Aktaş [5], güneş enerjili tabii dolaşımli dolaylı sıcak su hazırlama sistemlerinde kanatçık kullanımının ısıl analizini teorik olarak yapmışlardır. Kanatçıklı bir sistem ile kanatçiksiz bir sistem karşılaştırılarak, kanatçıklı sistemin ısıl yönden % 10,5 daha iyi performansa sahip olabileceğini belirtmişlerdir.

2. GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMLERİ

Günümüzde güneş enerjili sistemlerin içinde en ekonomik ve en yaygın olarak kullanılanların başında sıcak su hazırlama sistemleri gelmektedir. Genellikle, çatının güney yönüne konulan düz kolektörlerle ışıma şiddetine bağlı olarak sıcak su ihtiyacının büyük bir kısmı güneş enerjisinden karşılanır. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ile konut için gerekli olan toplam enerjinin % 12'sini teşkil eden enerjinin temini sağlanabilir [6].

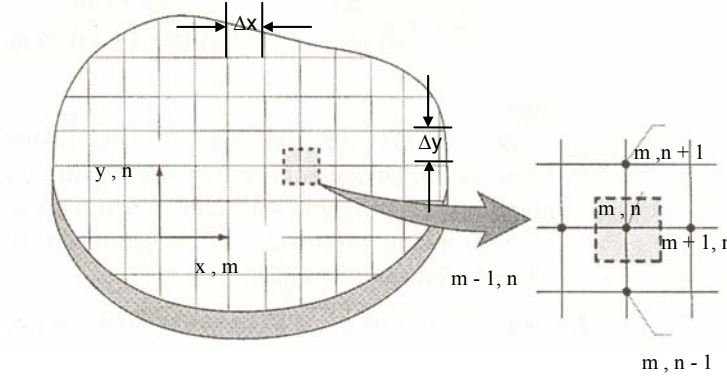
Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri enerji kullanım yeri olan; bölgenin meteorolojik özellikleri, gerekli sıcak su miktarı ve sıcaklığı, gün içindeki kullanma saatleri, binanın ya da işyerinin sıhhi tesisat donanımı, kolektör yüzey alanının büyüklüğü, şebeke suyunun özellikleri, binanın konumu ve mimari projesi gibi özelliklerine bağlı olarak dolaşım şekline göre tabii ya da cebri (pompalı), devre şekline göre doğrudan ya da dolaylı olarak uygulanabilirler [7]. Güneş enerjili sistemde istenilen kullanma sıcak suyu miktarı az ise ve sistemdeki suyun donma riski yoksa doğrudan kullanım sistemi uygulanır [8]. Tabii dolaşımli sistemde tabii dolaşım elde edilebilmesi için depo alt seviyesi ile kolektör üst seviyesi arasındaki mesafe en az 45 cm olmalıdır. Tabii sirkülasyonlu sistemlerde güneşli bir günde kolektörde dolaşacak su miktarı 40-60 l/m²h değerinde olabilir [9].

3. SONLU FARK EŞİTLİKLERİ

Belli hallerde sürekli, iki boyutlu ısı iletimi problemlerinin matematik çözümlerini bulmak için analitik yöntemler kullanılabilir. Bu çözümler basit geometri ve sınır şartları için çıkartılabilir. Bununla birlikte, iki boyutlu problemler çok defa bu tip çözümlere izin vermeyen geometriler ya da sınır şartları ihtiva ederler. Bu gibi durumlarda, genellikle en iyi çözüm sonlu-fark, sonlu-eleman veya sınır-eleman gibi sayısal yöntemleri kullanmaktır. Sonlu farklar yöntemi, uygulanmasındaki kolaylık sebebiyle sayısal yöntemlere giriş olarak çok uygundur [10].

3.1 Ağ Yapısı

Çözüm bölgesinin her noktasında sıcaklığın belirlenmesine imkan sağlayan analitik çözüme karşı, sayısal çözüm sıcaklığın sadece ayırık noktalarda belirlenmesini öngörmektedir. Bundan dolayı herhangi bir sayısal çözümde ilk adım bu noktaları seçmektir. Bu işlem çözüm alanını alt bölgelere parçalayarak ve her birinin merkezine bir referans noktası verilerek yapılır. Referans noktası genelde “düğüm noktası” olarak adlandırılır ve bu noktaların tamamına da “ağ” veya “kafes” denir. Düğüm noktalarının “x” ve “y” koordinatları sırasıyla “m” ve “n” indisleri ile gösterilmektedir. Şekil 3.1.’de bir ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1. Ağ Yapısı

Her nokta belli bir bölgeyi gösterir ve sıcaklığı o bölgenin ortalama sıcaklığıdır. Düğüm noktaları bazen rasgele, genelde geometriye uygunluk ve istenen çözüm hassaslığı gibi kriterlere göre seçilir. Sayısal çözümün hassaslığı genelde seçilen düğüm noktalarının sayısına bağlıdır. Eğer bu sayı büyükse (sık ağ) son derece hassas çözümler bulunabilir.

3.2 Isı Eşitliğinin Sonlu Farklarla Gösterimi

Sayısal olarak sıcaklık dağılımının bulunması, sıcaklıkları belli olmayan her düğüm noktasında uygun denge eşitliğinin yazılmasını gerektirir. Bulunan eşitlik takımı, her noktadaki sıcaklık için birbirlerine bağlı olarak çözülebilir. Aşağıda güneş enerjili dolaylı sistemde kanatçık yüzeyindeki sıcaklık dağılımını bulabilmek için uygun sınır şartında ve $\Delta x = \Delta y$ için sonlu fark eşitlikleri verilmiştir [10].

İç düğüm noktası için:

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4 T_{m,n} = 0 \quad (3.1)$$

Taşınım olan bir iç köşedeki düğüm noktası için:

$$2(T_{m-1,n} + T_{m,n+1}) + (T_{m+1,n} + T_{m,n-1}) + 2 \frac{h\Delta x}{k} T_{\infty} - 2\left(3 + \frac{h\Delta x}{k}\right) T_{m,n} = 0 \quad (3.2)$$

Taşınım olan düz yüzeydeki düğüm noktası için:

$$(2 T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}) + \frac{2h\Delta x}{k} T_{\infty} - 2\left(\frac{h\Delta x}{k} + 2\right) T_{m,n} = 0 \quad (3.3)$$

Taşınım olan bir dış köşedeki düğüm noktası için:

$$(T_{m,n-1} + T_{m-1,n}) + 2 \frac{h\Delta x}{k} T_{\infty} - 2\left(\frac{h\Delta x}{k} + 1\right) T_{m,n} = 0 \quad (3.4)$$

eşitlikleri yazılabilir.

3.3 Sonlu Fark Eşitliklerinin Çözümleri

Ağ oluşturulup her nokta için uygun sonlu-fark eşitliği yazıldıktan sonra sıcaklık dağılımı bulunabilir. Problem lineer, cebirsel bir eşitlik takımının çözümüne indirgenir. Eşitlik takımının çözümü için kullanılabilir ve doğrudan veya iteratif olmalarına göre sınıflandırılan birçok yöntem vardır. Doğrudan yöntemlerde, belli ve önceden belirlenmiş sayıda cebirsel işlem vardır ve eşitlik sayısı (bilinmeyen düğüm noktası sıcaklığı) azsa kullanılması uygundur. İteratif yöntemler, gerekli aritmetik işlem sayısı önceden belirlenememesine karşın, düşük bilgisayar hafızası gerektirirler ve özellikle düğüm noktası sayısı fazla ise uygundur.

Problemin çözümünde kısmi diferansiyel bir eşitlik olan ısı eşitliği sonlu farklar yöntemi ile cebirsel eşitliğe dönüştürülür. Daha sonra probleme uygun yukarıda belirtilen sınır şartlarının yardımıyla elde edilen lineer eşitlik takımları katsayılar matrisi şeklinde yazılır [4]. Lineer eşitlik takımının çözümünde kullanılan doğrudan metotlardan Cramer Kuralı, Gauss Eliminasyon Metodu ya da Thomas Algoritması yardımıyla sonuçlara ulaşılır. İteratif yöntemlerden ise Gauss Seidel İterasyonu ve Successive Over-Relaxation Metodu kullanılarak çözüme ulaşılır. Basit geometri ve sınır şartları durumlarını içeren problemlerde eşitlikler katsayılar matrisi formuna dönüştürülerek çözüm yapılır. Burada; bilinmeyen sıcaklık değerleri ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$[A] \cdot [T] = [B] \quad (3.5)$$

Burada [A] bilinen sayılar ya da katsayılar veya köşegenler matrisidir, [T] bilinmeyen sıcaklık değeridir ve [B] bilinen katsayılar ve sabitler olup Δx , k , h , T_∞ gibi büyüklüklerle ifade edilirler.

4. YATAY BORUDA TABİİ ISI TAŞINIMININ ÇÖZÜMLENMESİ

Yatay silindir ya da boruda Grashof ve Rayleigh sayısındaki karakteristik uzunluk olarak borunun dış çapı alınır. Yatay boruda ortalama Nusselt Sayısı Morgan [2] tarafından,

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = C \cdot Ra^n \quad (4.1)$$

biçiminde verilmiştir. Burada Ra sayısına bağlı olarak "C" ve "n" katsayıları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Rayleigh Sayısına Bağlı Sabitler [2]

Ra	C	n
$10^{-10} - 10^{-2}$	0,675	0,058
$10^{-2} - 10^2$	1,020	0,148
$10^2 - 10^4$	0,850	0,188
$10^4 - 10^7$	0,480	0,250
$10^7 - 10^{12}$	0,125	0,333

Isı değiştirici ya da kanatçık yüzeyinden olan ısı geçişi miktarı;

$$Q = h \cdot A \cdot (T_y - T_\infty) \quad (4.2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Tabii ısı taşınım şartlarında sistemde kullanılan yatay boru için Rayleigh ve Grashof sayısı;

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad (4.3)$$

$$Gr = \frac{D^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad (4.4)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır.

Hacimsel genleşme sayısı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [11].

$$\beta = \frac{1}{K} \quad (4.5)$$

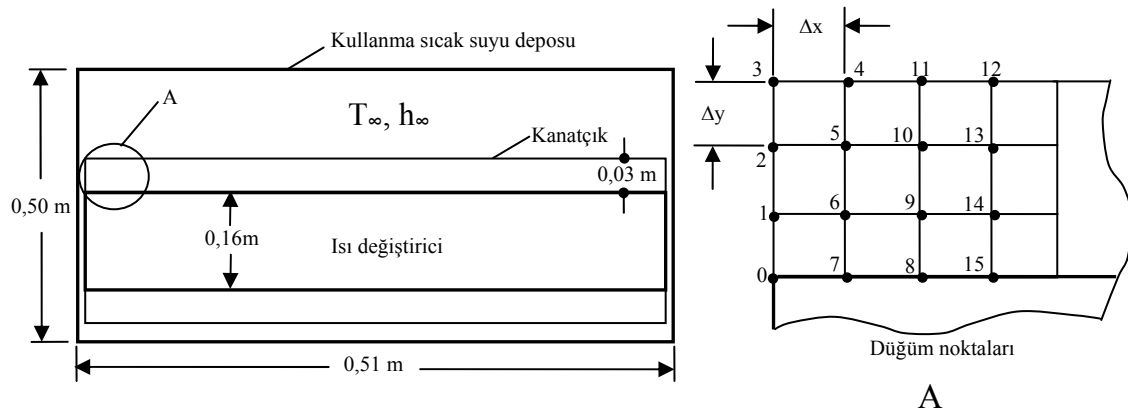
Eşitlik 4.5.'deki K değeri ise

$$K = \frac{T_y + T_\infty}{2} \quad (4.6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

5. SONLU FARKLARLA KANATÇIKTAKİ SICAKLIK DAĞILIMININ HESAPLANMASI

Bu çalışmada güneş enerjili bir dolaylı sıcak su hazırlama sistemi, sistemde kullanılan kullanma sıcak suyu deposu hacmi 100 litre, eşanjör hacmi ise 10 litre olarak tasarlanmıştır. Şekil 5.1.'de tasarlanan depo, ısı değiştirici ve kanatçık detayı görülmektedir.



Şekil 5.1. Depo, Isı Değiştirici Ve Kanatçık Detayı

Çalışmada sistemin rejim halinde, kanatçık malzemesinin ısı iletim katsayısı sabit, ısı geçişinin iki boyutlu olduğu ve ısı üretiminin olmadığı kabul edilmiştir. Kanatçık malzemesi % 0,5 C (karbon) çeliği olarak tasarlanmış ve ısı iletim katsayısı 53,5 W/mK olarak alınmıştır (50 °C için). Yapılan literatür taramasında günümüzde kullanılan sistemler incelendiğinde kullanma sıcak suyu deposundaki su sıcaklığı ortalama olarak 40 °C ve ısı değiştiricide dolaşan su sıcaklığı ise 62 °C olarak alınabilir [3]. Isı değiştirici yüzeyi ile sıcak akışkan arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 2 °C alınabilir [12]. Bu verilerden yola çıkarak, ısı değiştirici yüzey sıcaklığı 60 °C kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak 62 °C'deki suyun termofiziksel özelliklerine ait değerler Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 62 °C'de Suyun Termofiziksel Özellikleri [2]

Özellikler	Değer
Prandtl sayısı, Pr	2,88
Isı iletim katsayısı, k (W/mK)	0,656
Kinematik viskozite, ν (m ² /s)	0,4613.10 ⁻⁶
Dinamik viskozite, μ (Pas.s)	453 . 10 ⁻⁶
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	982

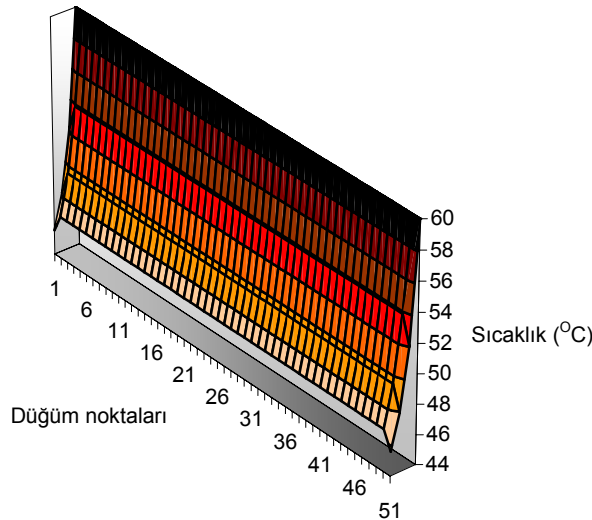
6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Eşitlik 4.1., 4.3., 4.4., 4.5. ve 4.6' 'dan yararlanarak Grashof, Rayleigh sayıları ve bu değerlere bağlı olarak ısı değiştiricisindeki suyun ısı taşınım katsayısı hesaplanmıştır. Hesap edilen ısı taşınım katsayısı ve Eşitlik 3.1., 3.3. ve 3.4.'den yararlanıp, her düğüm noktası için uygun sınır şartı kullanılarak katsayılar matrisi elde edilmiştir. Bu katsayılar matrisinin, Q Basic programlama dilinde hazırlanan bilgisayar programıyla, Gauss Seidel İterasyon Yöntemi kullanılarak yapılan 1000 adet iterasyon ile her düğüm noktası için sıcaklık değeri bulunmuştur. Son olarak Eşitlik 4.2.'den yararlanarak hesabı yapılan düğüm noktalarından olan ısı transfer miktarı hesaplanmıştır.

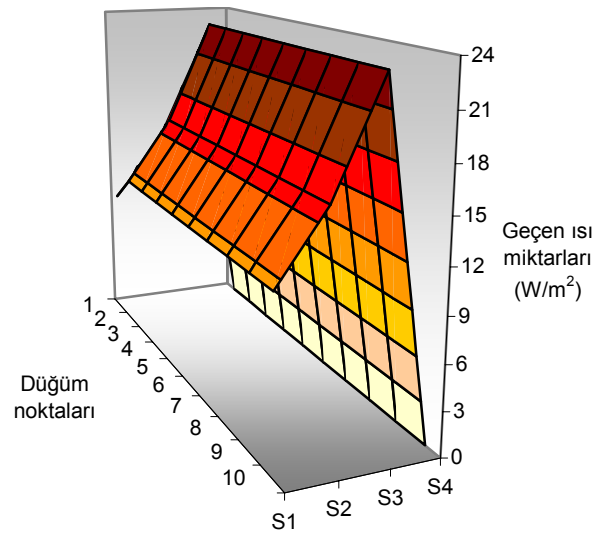
Hesap edilen ısı taşınım katsayısı, her düğüm noktası için sıcaklık değeri ve her bir düğüm noktasından olan ısı transfer miktarı Çizelge 6.1.'de verilmiştir. Ayrıca kanatçık yüzeyinde her bir düğüm noktasındaki sıcaklık değişiminin daha iyi anlaşılabilmesi için sıcaklık değerleri Şekil 6.1.'de, geçen ısı miktarları ise Şekil 6.2.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Hesap Edilen Isı Taşınım, Sıcaklık Ve Isı Transfer Miktarları

Hesap edilen parametreler	Sonuç
Isı taşınım katsayısı, h_{su} (W/m^2K)	1672,61
Kanatçık dip sıcaklığı, T_0, T_7, T_8, T_{15} ($^{\circ}C$)	60
Birinci düğüm noktası sıcaklığı, T_1 ($^{\circ}C$)	52,033
İkinci düğüm noktası sıcaklığı, T_2 ($^{\circ}C$)	47,941
Üçüncü düğüm noktası sıcaklığı, T_3 ($^{\circ}C$)	45,620
Dördüncü düğüm noktası sıcaklığı, T_4 ($^{\circ}C$)	46,812
Beşinci düğüm noktası sıcaklığı, T_5 ($^{\circ}C$)	49,536
Altıncı düğüm noktası sıcaklığı, T_6 ($^{\circ}C$)	53,856
Birinci düğüm noktasından olan ısı transferi, q_1 (kW/m^2)	20,126
İkinci düğüm noktasından olan ısı transferi, q_2 (kW/m^2)	13,282
Üçüncü düğüm noktasından olan ısı transferi, q_3 (kW/m^2)	9,4
Dördüncü düğüm noktasından olan ısı transferi, q_4 (kW/m^2)	11,393
Beşinci düğüm noktasından olan ısı transferi, q_5 (kW/m^2)	15,950
Altıncı düğüm noktasından olan ısı transferi, q_6 (kW/m^2)	23,175



Şekil 6.1. Düğüm Noktalarındaki Kanatçık Yüzeyinde Sıcaklık Değişiminin Grafiksel Gösterilişi



Şekil 6.2. Düğüm Noktalarındaki Kanatçık Yüzeyinden Geçen Isı Miktarlarının Grafikselsel Gösterilişi

Güneş enerjili sistemlerin dolaylı olarak yapılması durumunda, ısı değıştirci eleman sistem genel verimi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu sistemlerde kullanılan ısı değıştircilerinde amaç; sistem maliyetine fazladan ek yük getirilmeden, sistem verimini arttırmaktır. Bunun içinde yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda en uygun yöntem; ısı değıştircinin kanatçıklı yapılmasıdır. Kullanılan kanatçıklar sayesinde ısı transfer yüzey alanı; dolayısıyla sistem verimi artırılabilir.

Sistemde yüksek ısı iletim katsayısına sahip kanatçık malzemeleri kullanıldığında meydana gelecek ısı geçişi miktarının daha yüksek olması ve bundan dolayı sistem genel veriminin daha fazla olması kaçınılmaz bir gerçektir. Ancak kanatçık kullanmanın her durumda yararlı olacağını söylemek her zaman doğru olmayabilir. Kullanılacak kanatçık boyutu sistem verimi ile doğrudan ilişkilidir. Gereğinden büyük kanatçık boyunun bir faydası yoktur. Dolayısıyla kanatçık sıcaklık dağılımının bilip, uygun kanatçık boyunun tespit edilmesi gerekmektedir.

Kanatçık ısı dağılımının hesaplanmasına örnek teşkil etmesi amaçlanan bu çalışmada en uygun kanatçık boyu belirlenmemiş, sadece seçilen bir kanatçık boyundaki sıcaklık dağılımı sonlu farklar yöntemi ile hesaplanarak kanatçık kullanmanın uygun olduğu saptanmıştır.

SEMBOLLER

Gr	Grashof sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Nu	Nusselt sayısı
ν	Kinematik viskozite, (m^2/s)
h	Isı taşınım katsayısı, (W/m^2K)
k	Isı iletim katsayısı, (W/mK)
g	Yerçekimi ivmesi, (m/s^2)
β	Hacimsel genleşme sayısı
ΔT	Sıcaklık farkı (K)
T_y	Yüzey sıcaklığı (K)
T_∞	Akışkan sıcaklığı (K)
Ra	Rayleigh sayısı
A	Yüzey alanı (m^2)

KAYNAKLAR

1. Çıtıroğlu, A., Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi, **Mühendis ve Makina**, Sayı 485, Cilt 41, Haziran (2000), 32-33.
2. Halıcı, F., Gündüz, M., Örneklerle Isı Geçişi , **Burak Ofset**, Sakarya, (2001), 263-275.
3. Aktaş, M., Güneş Enerjili Tabii Sirkülasyonlu Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Kanatçık Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi** Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
4. Şahin, H., M., Acır, A., Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım ve Talaş Arasında Oluşan Sıcaklık Dağılımının Sonlu Farklar Metodu İle Analizi, **Politeknik Dergisi**, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı 3, Cilt 6, Eylül (2003), 541-549.
5. Öz, E., S., Menlik, T., Aktaş, A., Güneş Enerjili Tabii Sirkülasyonlu Endirekt Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Kanatçık Kullanmanın Isıl Analizi, **Teknoloji Dergisi**, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, Karabük, (2004), 189-195.
6. Menlik, T., Aktaş, M., Özdemir, M., B., Türkiye’de Bölgesel Olarak Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Kapasite Hesaplarının Bilgisayar Programı İle Yapılması, **Teknoloji Dergisi**, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 2 , Karabük, (2004), 219-224.
7. Özsincan, H., Güneş Enerjisi, Uygulaması ve Ekonomisi, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1992), 25-26.
8. Campbell, S., Build Your Own Solar Water Heater, **Garden Way Publishing**, United States of America, (1981).
9. Uyarel, A. Y., Öz, E. S., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, **Emel Matbaacılık**, Ankara, (1987).
10. Incropera F. P., Dewitt, D.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, **John Wiley Sons**, New York, (1996), 110-128.
11. Kakaç, S., Örneklerle Isı Geçişi, **Seldem Ofset**, Yedinci cilt, Ankara, (1987).
12. Usta, H., Güneş Enerjisi İle Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Tasarımlarının Geliştirilmesi ve İmali, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi** Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1995).