

V-Kanatçık Kullanımının Havalı Güneş Kollektörlerinde Termal ve Termohidrolik Verime Etkisinin Parametrik Analizi

Cihan YILDIRIM*¹

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.01.2019

Kabul tarihi: 27.03.2019

Öz

Bu çalışmada V-kanatçıklar ile yutucu yüzeyi pürüzlendirilmiş bir hava akışkanlı güneş kolektörünün termal ve termohidrolik verimi sayısal olarak araştırılmış ve farklı pürüzlülük parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Pürüzlülük parametrelerinin artması ile termal ve termohidrolik verimin sürekli arttığı bununla beraber rölatif pürüzlülük mesafesi (RRP), rölatif pürüzlülük genişliği (RRW) ve kanatçık açısı (α) parametreleri için belli değerlerden sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Bu parametrelere dair optimum değerler RRP=8, RRW=6 ve $\alpha=60^\circ$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca V-kanatçıklı yutucu yüzey kullanımının düzlemsel yutucu yüzey kullanımına göre, farklı Reynolds sayılarında, termal verimi %65 ile %165 oranında arttırdığı, termohidrolik verimi ise %67 ile %165 arasında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kolektörü, V-Kanatçık, Termal verim, Termohidrolik verim

Parametrical Analysis of V-Rib Usage in Solar Air Heater on the Thermal and Thermohydraulic Efficiencies

Abstract

In this study, thermal and thermohydraulic efficiencies of a solar air heater having roughned absorber plate by V-ribs are numerically evaluated and the effects of the different roughness parameters on the thermal and thermohydraulic efficiencies are investigated. It is observed that increasing roughness parameters continously increases the thermal and thermohudraulic efficiencies; however thermal and thermohydraulic efficiencies decrease after certain point for relative roughnes pitch, relative roughness width and angle of ribs. Optimum points for these parameters are calculated as RRP=8, RRW=6 ve $\alpha=60^\circ$. In addition to that thermal efficiency is enhanced by 65%~165% and thermohydraulic efficiency is enhanced by 67%~165% for different Reynolds number by using V-rib roughned absorner plate compared to flat plate.

Keywords: Solar air heater, V-rib, Thermal efficiency, Thermohydraulic efficiency

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Cihan YILDIRIM, dr.cihan.yildirim@gmail.com

1. GİRİŞ

Güneş enerjisinin düşük sıcaklıklı termal kullanımı üzerine bilimsel çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjili sıcak su kolektörleri ve bu kolektörler ile çalışan çeşitli ısıtma uygulamaları hakkındaki teknik bilgi kapasitemiz, bilimsel açıdan belli bir doygunluğa ulaşmış ve ticari ürünler olarak günlük kullanıma sunulmuştur. Bununla beraber bu kolektörlerin ve sistemlerin maruz kaldığı önemli sorunlar bulunmaktadır. Kullanılan sudan kaynaklı kireçlenme/korozyon problemleri, suyun donması veya kaynaması kaynaklı riskler ve ısıtma amaçlı kullanımlarda karmaşık sistem gereksinimi gibi nedenlerden ötürü araştırmacılar aracı akışkan olarak havanın kullanıldığı sistemler üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Güneş enerjili sıcak hava kolektörleri; basit yapıları, üretim için düşük teknoloji gereksinimleri, donma ve kaynama gibi risklerin bulunmaması gibi nedenlerden ötürü binaların ve seraların ısıtılmasında ve zirai ürünlerin kurutulmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla beraber, güneş enerjili sıcak hava kolektörlerinin termal verimleri, havanın sahip olduğu fiziksel özellikler nedeniyle güneş enerjili sıcak su kolektörlerine göre düşüktür. Bu mahsurdan ötürü kullanımları güneş enerjili sıcak su kolektörlerine nazaran daha azdır.

Güneş enerjili sıcak hava kolektörlerinin yaygınlaşmasının önündeki bu önemli engel çeşitli araştırmacılar tarafından giderilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalar arasında öne çıkanlar ise, toplayıcı yüzeyi üzerinde yapılan değişikliklerle ısı transfer katsayısını arttırmaya yönelik çalışmalar, toplayıcı üzerinde ısı depolamaya yönelik çalışmalar ve ısı transfer yüzeyini arttırmaya yönelik çalışmalardır [1].

Isı transfer katsayısını ve beraberinde termal verimi arttırmaya yönelik olarak araştırmacılar farklı yutucu yüzey tasarımları önermişlerdir [2]. Patil [3] bu yutucu yüzeylerde kullanılan farklı pürüzlülük geometrilerinin kapsamlı bir derlemesini yapmış ve oluşan farklı akış özelliklerinin kolektörlerin termal ve termohidrolik performanslarına etkisini açıklamıştır. Sharma ve Kalamkar [4] farklı

pürüzlülük elemanları kullanan kolektörler üzerine detaylı bir inceleme yapmışlar ve bu elemanların farklı kullanımlarından doğan pürüzlülük geometrilerinin, kolektörlerin termohidrolik özelliklerine etkisini göstermişlerdir. Gawande ve arkadaşları [5] ise yaptıkları incelemede, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemlerinin farklı pürüzlülük geometrilerine sahip kolektörler üzerine uygulamalarını derlemişlerdir. HAD ile yapılan çalışmalar, özellikle deneysel çalışmalarda gözlemlenemeyen pek çok detayı (sınır tabakadaki akışın ayrılma ve birleşme noktaları gibi) vermesi nedeniyle güneş enerjili sıcak hava kolektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

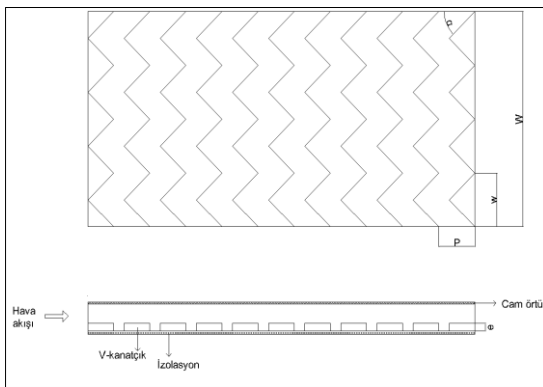
Güneş enerjili sistemlerin incelenmesinde deneysel çalışmalar ve HAD yöntemleri her ne kadar güvenilir ve detaylı sonuçlar verse de, çok zaman ve masraf gerektiren çalışmalardır. Literatürde bu tür çalışmalar yerine sıklıkla, daha basit olan ve daha hızlı sonuç veren teorik modeller kullanılmaktadır. Kolektörlere ait her detayın bilinmesinin gerekmediği, ama kolektörün verimi ve çıkış sıcaklığı gibi sonuçların hızlı ve doğru bir şekilde hesaplanmasının gerektiği durumlarda teorik benzetimler tercih edilmektedirler. Teorik benzetimler aynı zamanda hızlı sonuç üretmeleri nedeniyle parametrik çalışmayı ve dolayısıyla tasarım ve işletme parametrelerinin optimizasyonunu da kolaylaştırmaktadır. Güneş enerjili sıcak hava kolektörlerinin analizinde kullanılan teorik benzetimler üzerine Tchinda [6] kapsamlı bir derleme hazırlamıştır. Yıldırım ve Solmuş [7], kolektör elemanları arasındaki enerji dengesi esasına dayanan bir teorik model ile çift geçişli düzlemsel yutucu yüzeyli bir kolektörün zamana bağlı incelemesini yaparak kanal yüksekliğinin termal ve termohidrolik verime etkisini incelemişlerdir. Hegazy [8] yapmış olduğu teorik analizde güneş enerjili sıcak hava kolektörleri için optimum kanal derinliği/uzunluk oranını tayin etmiştir. Bu oran arttıkça, hava debisinin artması ile toplayıcı veriminin düştüğünü rapor etmiştir. El-Sebaai ve arkadaşları [9] bir çift geçişli havalı kolektördeki düzlemsel plakalı ve V-oluk plakalı yutucu yüzeyin, termal ve termohidrolik verime etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Yıldırım ve Aydoğdu [10]

oluşturdukları teorik model vasıtasıyla tek geçişli ve çift geçişli havalı kollektörler üzerinde bir optimizasyon çalışması yürütmüştür.

Bu çalışmada yutucu yüzeyi V-kanatçıklar ile pürüzlendirilmiş bir güneş enerjili sıcak hava kollektörünün termal ve termohidrolik verimi teorik olarak incelenmiştir. Farklı pürüzlülük parametreleri için yapılan benzetimler sonucunda optimum pürüzlülük geometrisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kollektör yüzeyinde pürüzlülük oluşturmak çoğu zaman imalat maliyetlerine çok az etki etmekte, bununla beraber güneş enerjili sıcak hava kollektörlerinin termal verimlerini önemli oranda iyileştirmektedir. Termal verimdeki bu iyileştirmelerin ise çok fazla hidrolik kayba neden olmaması beklenmektedir. Bu çalışma ile üretim maliyetlerine etkisinin çok az olduğu düşünülen bir pürüzlülük geometrisi araştırılarak literatüre güneş enerjili sıcak hava kollektörlerinin verimlerinin artırılmasına yönelik katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. SİSTEM TANIMI VE TEORİK BENZETİM

Teorik benzetimi yapılan kollektörün şematik çizimi Şekil 1'de gösterilmiştir. İncelenen kollektörün bileşenleri yukarıdan aşağıya doğru şu şekildedir: Cam örtü, hava kanalı, yutucu yüzey, izolasyon malzemesi ve kollektör tabanı.



Şekil 1. Hava akışkanlı V-kanatçıklı güneş kollektörünün şematik [üst ve yan görünüş] gösterimi

Şekildeki gösterime göre, hava kollektöre sol taraftaki açıklıktan girerek yutucu yüzey ve cam örtü arasında akar. Bu sırada, güneş ışınlarını yutan yutucu yüzey, kazandığı ısının önemli bir kısmını havaya taşınım ile aktarılır. Geri kalan miktarı ise tabandan iletim ve cam örtüden ışınlama ile kaybedilir. Isınan hava kollektörün diğer tarafında bulunan açıklıktan çıkar. Yutucu yüzey ile hava arasındaki ısı transferinin iyileştirilmesi için yutucu yüzey üzeri V-kanatçıklar ile pürüzlendirilir. Farklı kanatçık yükseklikleri, farklı kanatçık dizilimleri ve farklı kanatçık sayılarının kullanımı sistem üzerinde farklı pürüzlülük parametrelerinin oluşmasına neden olur.

İncelemeye konu olan pürüzlülük parametreleri sırasıyla şunlardır: Kanatçık yüksekliğinin hidrolik çapa oranı olan rölatif pürüzlülük yüksekliği ($RRH=e/D$), akışa dik yöndeki iki ardışık kanatçık arası mesafenin kanatçık yüksekliğine oranı olan rölatif pürüzlülük mesafesi ($RRP=P/e$), kollektör genişliğinin kanatçık genişliğine oranı olan rölatif pürüzlülük genişliği ($RRW=W/w$), kanatçık ile akış doğrultusu arasında kalan açı olan kanatçık açısı (α).

Sistemin teorik benzetimi için kollektör bileşenleri arasındaki enerji dengesinin yazılması gereklidir. Belirli meteorolojik veriler kullanılarak farklı parametre setleri için yapılacak olan hesaplamalarla kollektörün termal ve termohidrolik verimi hesaplanır.

Yapılan teorik benzetimde hesaplamaları kolaylaştırmak için bir takım kabuller yapılmıştır. Bunlar:

- Sistemde hava kaçağı nedeniyle oluşan kütle kaybı yoktur.
- Toplayıcıdaki hava sıcaklığı akış boyunca doğrusal olarak değişir.
- Toplayıcıda laminar ($Re < 2300$) ya da türbülanslı ($Re > 2300$) akış tam olarak gelişmiştir (Düzlemsel yüzeyli yutucu için).
- Yutucu yüzeye gelen güneş ışınlama değeri 500 W/m^2 , rüzgar hızı değeri 1 m/s , dış ortam sıcaklığı $10 \text{ }^\circ\text{C}$, kollektör eni 1 m , kollektör boyu 2 m , kanal yüksekliği 5 cm kabul edilmiştir. Kollektör tabanının 10 cm

kalınlığında cam yünü ($k=0,040$ w/mK) ile izole edildiği kabul edilmiştir.

Kolektörü oluşturan her eleman için yazılan zamandan bağımsız enerji eşitlikleri, MATLAB ortamında program hazırlanarak hesaplanmıştır [7].

Cam örtü:

$$I\alpha_g A_c - q_{c,g-amb} - q_{r,g-sky} + q_{r,p-g} + q_{c,a-g} = 0 \quad (1)$$

Hava kanalı:

$$q_{c,p-a} - q_{c,a-g} - \dot{m}c_p (T_{out} - T_{in}) = 0 \quad (2)$$

Yutucu yüzey:

$$I\alpha_p \tau_g A_c - q_{c,p-a} - q_{r,p-g} - q_{loss} = 0 \quad (3)$$

Enerji dengesinin yazılması sonucu elde edilen eşitlik seti matris formunda yazılır:

$$[A][T]=[B] \quad (4)$$

Eşitlik 4’de yer alan $[A]$ matrisi ısı transfer katsayılarının hesaplanması ile oluşturulur. Taşınım ve ışınım ile olan ısı transferine ait katsayıların hesabı Yıldırım ve Solmuş [7] tarafından detaylıca ele alınmıştır. $[B]$ vektörü bilinen değerlerin (Güneş ışınımı vs.) hesaplanmasından elde edilir. $[T]$ vektörü ise çözüm için gerekli olan kolektör elemanlarının ve çıkan havanın sıcaklık değerlerini ifade etmektedir.

Isı transfer katsayılarının belirlenmesi için kolektör elemanlarının sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Sıcaklık değerlerinin bilinmiyor olması nedeniyle Eşitliğin her iki tarafında da bilinmeyenler mevcuttur. Dolayısıyla sistem iteratif çözüme ihtiyaç duyar. Başlangıçta tahmini olarak dış ortam sıcaklık değeri kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde, önce ısı transfer katsayıları ardından da Eşitlik 4’ün çözümünden kolektör elemanlarının ve çıkan havanın sıcaklık değerleri hesaplanır. Elde edilen sıcaklık değerleri ile başlangıçta

yapılan tahmin karşılaştırılır. Çıkan sonuç, tüm sıcaklık değerleri için $0,01$ °C’den daha yüksek ise, hesaplanan yeni sıcaklık değerleri bir sonraki iterasyonun tahmini değerleri olarak kullanılır ve hesaplamalar tekrar edilir. Yapılan iterasyonlar sonrasında sıcaklık farkları $0,01$ °C’den daha düşük ise iterasyon sonlandırılır ve en son hesaplanan sıcaklık değerleri nihai sonuç olarak kabul edilir.

İncelemeye konu olan yutucu yüzey geometrisindeki akışa ve ısı transferine ait sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısı için literatürdeki bir deneysel çalışmadan (Hans ve arkadaşları [11]) elde edilen korelasyonlar kullanılmıştır.

$$f = 4,47 \times 10^{-4} Re^{-0,3188} RRH^{0,73} RRW^{0,22} RRP^{8,9} \left(\frac{\alpha}{90}\right)^{-0,39} \times \exp\left(-0,52[\ln(\alpha/90)]^2\right) \exp(-2,133[\ln(RRP)]^2) \quad (5)$$

$$Nu = 3,35 \times 10^{-5} Re^{0,92} RRH^{0,77} RRW^{0,43} RRP^{8,54} \left(\frac{\alpha}{90}\right)^{-0,49} \times \exp(-0,1177[\ln(RRW)]^2) \times \exp(-0,61[\ln(\alpha/90)]^2) \times \exp(-2,0407[\ln(RRP)]^2) \quad (6)$$

Pürüzlendirilmiş yüzey ve düzlemsel yüzey arasındaki farkı karşılaştırmak için hesaplamalar düzlemsel yüzeyli yutucu için de yapılmıştır. Bu durumda kullanılan sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısı ise laminar akışta:

$$f = 16/Re \quad (7)$$

$$Nu = 4,9 + \frac{0,606(RePr\frac{D}{L})^{1,2}}{1 + 0,0909(RePr\frac{D}{L})^{0,7} Pr^{0,17}} \quad (8)$$

ve türbülanslı akışta:

$$f = (0,79 \ln(Re) - 1,64)^{-2} \quad (9)$$

$$Nu = \frac{\frac{f}{8}(Re-1000)Pr}{1 + 12,7\left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} (Pr^{0,67}-1)} \quad (10)$$

Eşitliklerde kullanılan ifadeler; hidrolik çap ($D=2WD_c/(W+D_c)$), kolektör uzunluğu (L),

Reynold sayısı ($Re=VD/v$) ve Prandtl sayısıdır ($Pr=\nu/\alpha$).

Eşitlik 4'ün çözümünden elde edilen kollektör çıkış sıcaklığı kullanılarak termal verim değeri hesaplanır:

$$\eta_T = \frac{\dot{m}c_p(T_{out}-T_{in})}{IA_c} \quad (11)$$

Termohidrolik verim ise sistemdeki basınç kayıplarını bertaraf etmek için gerekli olan fan gücünün termal verim değerinden çıkarılması ile hesaplanır [7, 9].

$$\eta_{TH} = \frac{mcp(T_{out}-T_{in})-P_{fan}}{IA_c} \quad (12)$$

Fan gücünün belirlenmesinde El-Sebaai ve arkadaşları [9] takip ettiği metodolojiden faydalanılmıştır. Fan gücünün hesaplanmasına dair ayrıntılar Yıldırım ve Solmuş [7] tarafından ele alınmıştır.

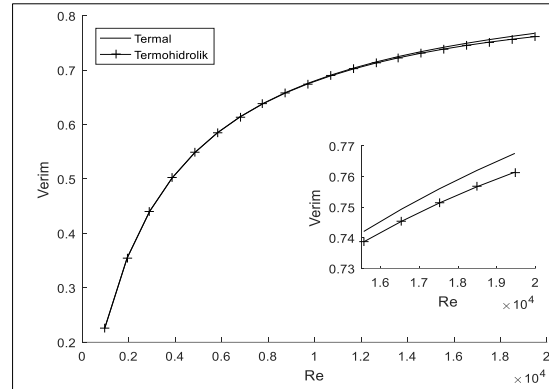
Yapılan teorik benzetimde kullanılan pürüzlülük parametreleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan parametre seti

Rölatif pürüzlülük yüksekliği (RRH=e/D)	Rölatif pürüzlülük mesafesi (RRP=P/e)	Rölatif pürüzlülük genişliği (RRW=W/w)	Kanatçık açısı (α)
0,019	6	1	30°
0,026	8	2	45°
0,035	10	3	60°
0,043	12	4	75°
		5	
		6	
		7	
		8	
		9	
		10	

3. ANALİZ VE BULGULAR

Hazırlanan bilgisayar programı vasıtasıyla Çizelge 1'de verilen parametrelerin değişiminin termal ve termohidrolik verime etkisi araştırılmıştır.

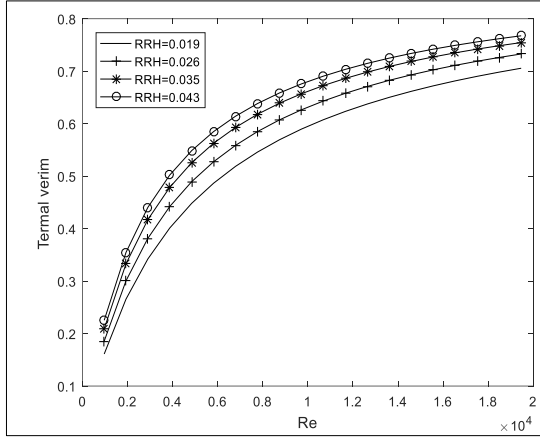


Şekil 2. Termal ve termohidrolik verimin Reynolds sayısı ile değişimi [RRH=0,043, RRP=8, RRW=6, $\alpha=60^\circ$]

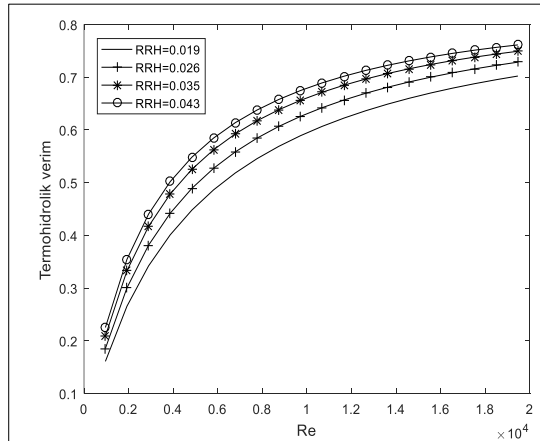
Şekil 2'de, belirtilen parametre değerleri için termal ve termohidrolik verimin Reynolds sayısına göre değişimi gösterilmektedir. Termal verim ve termohidrolik verim Reynolds sayısının artmasıyla artış göstermektedir. Düşük Reynolds sayılarında akışın neden olduğu basınç kaybı çok az olduğundan, bu değerlerde termal ve termohidrolik verim değerleri neredeyse birbirine eşittir. Bununla beraber Reynolds sayısının artması neticesinde yutucu yüzeydeki kanatçıkların neden olduğu sürtünme ile oluşan basınç kaybı artmakta ve termal verim ile termohidrolik verim arasındaki fark açılmaktadır (Şekil 2, iç resim).

3.1. Rölatif Pürüzlülük Yüksekliğinin Termal ve Termohidrolik Verime Etkisi

Kanatçık yüksekliğinin hidrolik çapa oranını ifade eden rölatif pürüzlülük yüksekliğinin (RRH) artması neticesinde akış içerisinde türbülans oluşmakta ve bu türbülans neticesinde ısı transfer katsayısı önemli ölçüde artmaktadır. Isı transfer katsayısının artması hem termal verime (Şekil 3) hem de termohidrolik verime (Şekil 4) olumlu etki etmektedir.



Şekil 3. Termal verimin rölatif pürüzlülük yüksekliği [RRH] ile değişimi [RRP=8, RRW=6, $\alpha = 60^\circ$]

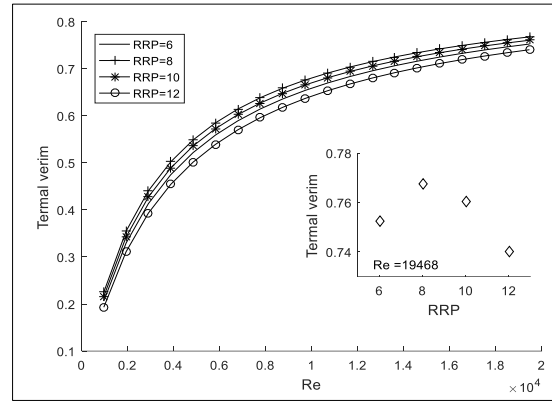


Şekil 4. Termohidrolik verimin rölatif pürüzlülük yüksekliği [RRH] ile değişimi [RRP=8, RRW=6, $\alpha = 60^\circ$]

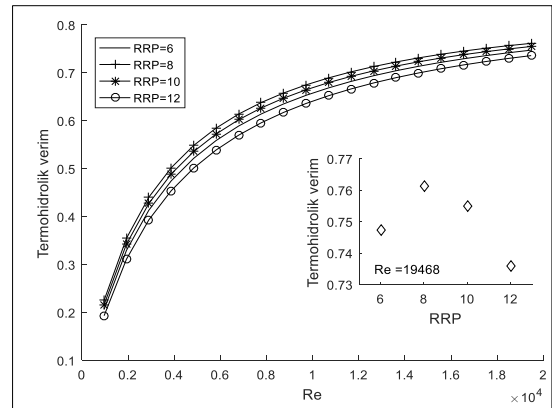
3.2. Rölatif Pürüzlülük Mesafesinin Termal ve Termohidrolik Verime Etkisi

Şekil 5’de ve Şekil 6’da rölatif pürüzlülük mesafesinin (RRP) termal ve termohidrolik verime etkisi gösterilmiştir. RRP’nin artması ile her iki verim değeri artmakta fakat RRP=8 değerinden sonra azalmaktadır. Bu durumun sınır tabakadan ayrılan akışın, akışa dik yönde iki kanatçık arası mesafenin kısa olduğu (RRP<8) durumda yeniden birleşmemesinden kaynaklandığı, iki kanatçık arası mesafenin uzun olduğu (RRP>8) durumda ise

ayrılan akışın kanatçıktan önce yeniden birleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hans ve arkadaşları [11]). Isı transfer mekanizması ve akış karakteristiği arasındaki bağlantının daha detaylıca anlaşılabilmesi için akış görselleştirme metodlarından faydalanan çeşitli çalışmaların yapılması uygun olacaktır.



Şekil 5. Termal verimin rölatif pürüzlülük mesafesi [RRP] ile değişimi [RRH=0,043, RRW=6, $\alpha = 60^\circ$]

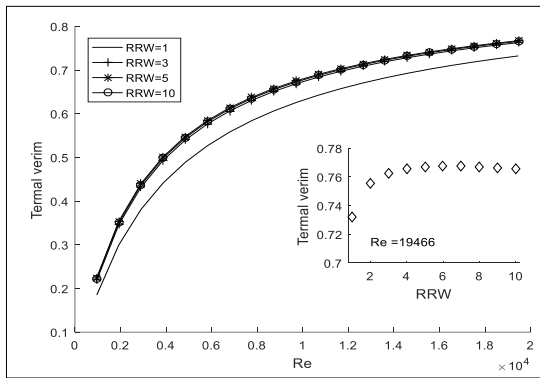


Şekil 6. Termohidrolik verimin rölatif pürüzlülük mesafesi [RRP] ile değişimi [RRH=0,043, RRW=6, $\alpha = 60^\circ$]

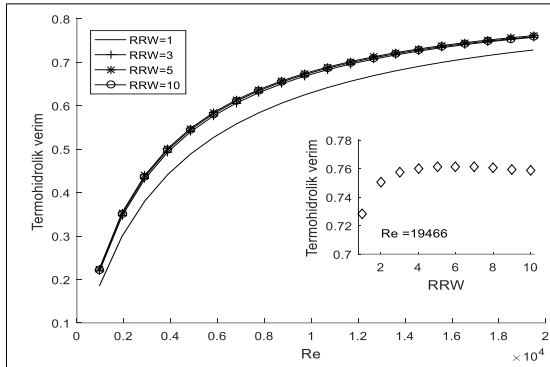
3.3. Rölatif Pürüzlülük Genişliğinin Termal ve Termohidrolik Verime Etkisi

Şekil 7’de ve Şekil 8’de rölatif pürüzlülük genişliğinin (RRW) termal ve termohidrolik verime etkisi gösterilmiştir. RRW’nin artması ile

her iki verim değeri artmakta fakat $RRW=6$ değerinden sonra az miktarda azalmaktadır. Bu azalma binde bir mertebesinde olduğundan, termal ve termohidrolik verim değerleri $RRW=6$ değerinden sonra değişmiyor kabul edilebilir. RRW 'nin artması ile akış yönünde daha fazla engel oluşacağı için bunun ısı transferini artırıcı bir etken olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber $RRW=6$ değerinden sonra oluşan türbülans ısı transferini daha fazla arttırmamaktadır.



Şekil 7. Termal verimin rölatif pürüzlülük genişliği [RRW] ile değişimi [RRH=0,043, RRP=8, $\alpha = 60^\circ$]

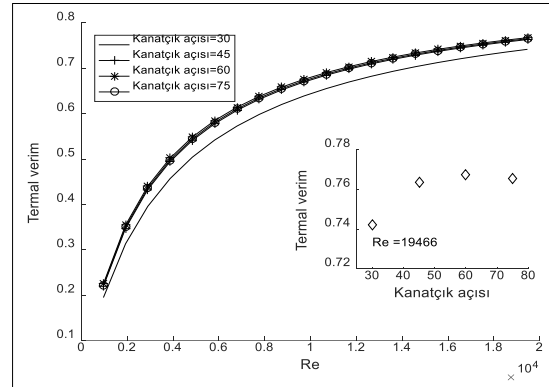


Şekil 8. Termohidrolik verimin rölatif pürüzlülük genişliği [RRW] ile değişimi [RRH=0,043, RRP=8, $\alpha = 60^\circ$]

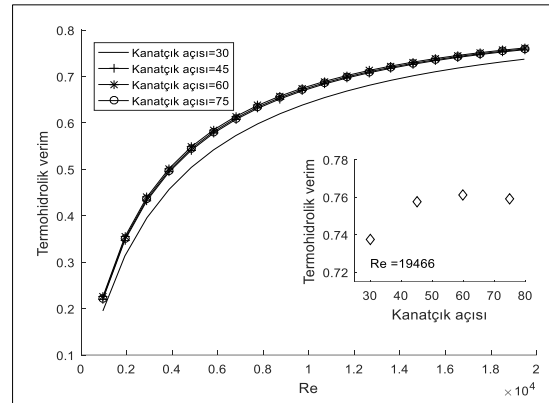
3.4. Kanatçık Açısının Termal ve Termohidrolik Verime Etkisi

Şekil 9'da ve Şekil 10'da kanatçık açısının (α) termal ve termohidrolik verime etkisi

gösterilmiştir. Kanatçık açısının genişlemesi ile kanatçıklar akış önünde daha fazla engel oluşturmuşlar ve yarattıkları türbülans neticesinde ısı transfer miktarını arttırmışlardır. Bununla beraber bu artış belli bir değerden ($\alpha=60^\circ$) sonra durmuş ve çok az miktarda azalmaya başlamıştır. Azalma binde bir mertebesinde olduğundan ihmal edilebilir seviyededir.



Şekil 9. Termal verimin kanatçık açısı ile değişimi [RRH=0,043, RRP=8, RRW=6]

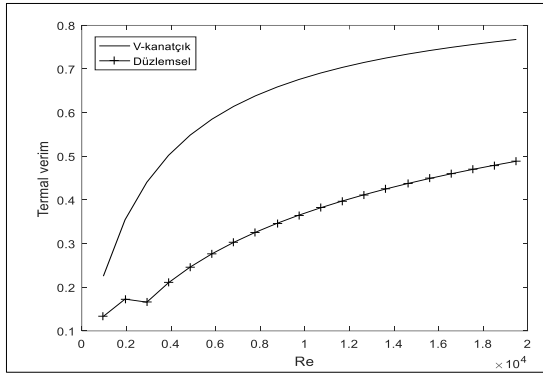


Şekil 10. Termohidrolik verimin kanatçık açısı ile değişimi (RRH=0,043, RRP=8, RRW=6)

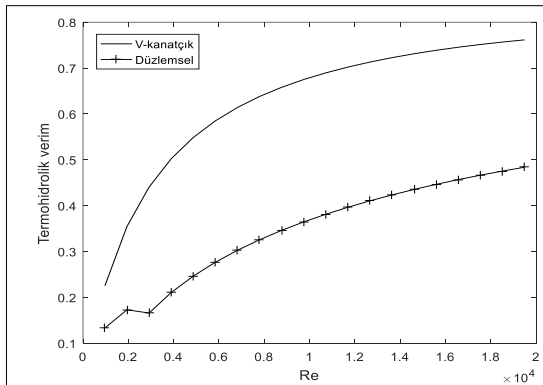
3.5. Düzlemsel Yutucu Yüzeyle ve Pürüzlendirilmiş Yutucu Yüzeyle Kollektörlerin Karşılaştırması

Şekil 11'de ve Şekil 12'de pürüzlendirilmiş yutucu yüzeye sahip kollektör ile düzlemsel yutucu yüzeye sahip kollektörün termal ve termohidrolik

verim değerleri karşılaştırılmıştır. Pürüzlendirilmiş yutucu yüzey düşük Reynolds sayılarından itibaren her iki verim değerini de arttırıcı bir etki sağlamıştır. Termohidrolik verimin, termal verim gibi yüksek miktarda artış göstermesi kanatçıkların sağladığı termal faydanın (ısı transferi artışı) hidrolik kayıplarından (basınç düşümü) çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Kanatçıklar ile pürüzlendirilmiş yüzeyler termal verim için %65 ile %165 oranında, termohidrolik verim için ise %67 ile %165 oranında bir artışa imkân vermektedir.



Şekil 11. Düzlemsel yüzeyli yutucu plakaya sahip bir kolektör ile V-kanatlı yutucuya sahip bir kolektörün termal verim değerleri. [RRH=0,043, RRP=8, RRW=6]



Şekil 12. Düzlemsel yüzeyli yutucu plakaya sahip bir kolektör ile V-kanatlı yutucuya sahip bir kolektörün termohidrolik verim değerleri. [RRH=0,043, RRP=8, RRW=6]

4. SONUÇ

Bu çalışmada, V kanatçıklar ile pürüzlendirilmiş bir yutucu yüzeye sahip hava akışkanlı güneş kolektörünün termal ve termohidrolik verimi, farklı pürüzlülük parametrelerine göre incelenmiş ve düzlemsel yüzeyli kolektörler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen temel bulgular şu şekilde özetlenebilir.

- Reynolds sayısının (yani akışkan debisinin) artması ısı transfer miktarını arttırıcı bir etki göstermektedir, bununla beraber incelenen Reynolds sayısı sınırları içerisinde çok fazla hidrolik kayba sebep olmamaktadır.
- Rölatif Pürüzlülük Yüksekliğinin artması ile termal ve termohidrolik verim artışı göstermektedir.
- Rölatif Pürüzlülük Mesafesinin artması belli bir noktaya kadar (RRP=8) termal ve termohidrolik verimi arttırmakta, bu noktadan sonra ise azalmasına neden olmaktadır.
- Rölatif Pürüzlülük Genişliğinin artması belli bir noktaya kadar (RRW=6) termal ve termohidrolik verimi arttırmakta, bu noktadan sonra ise ihmal edilebilir seviyede düşüşe neden olmaktadır. Üretim maliyeti açısından düşünüldüğünde kanatçık sayısını 6 ile sınırlandırılması uygun olacaktır.
- Kanatçık açısının artması 60° dereceye kadar termal ve termohidrolik verimi arttırmakta, bu noktadan sonra ise ihmal edilebilir seviyede düşüşe neden olmaktadır.
- Pürüzlülük geometrileri arasındaki en belirgin katkı Rölatif Pürüzlülük Yüksekliği (RRH) tarafından sağlanmıştır. RRH'nin artırılması ile termal ve termohidrolik verim yaklaşık %3,5, RRP için yaklaşık %3, kanatçık açısı için ise yaklaşık %2 mertebesinde dir.
- Kanatçıklı yutucu yüzey kullanımı düzlemsel yutucu yüzey kullanımına

göre, farklı Reynolds sayılarında, termal verimi %65 ile %165 oranında, termohidrolik verimi ise %67 ile %165 oranında arttırmaktadır.

- Yutucu yüzeyin pürüzlendirilmesinin termal ve termohidrolik verimin artırılmasına katkı sağladığı bilirse de, oluşan akış ve ısı transfer mekanizmalarının detaylı olarak incelenebilmesi için akış görselleştirme metodları ile yapılacak çalışmalara ihtiyaç vardır. Gelecekte bu yönde yapılacak çalışmalar, elde edilen termal faydayı daha da fazla artırabilir.

4.1. Semboller

A_c	: Kollektör yutucu yüzey alanı
I	: Kollektöre gelen güneş ışınımı miktarı
Nu	: Nusselt sayısı
Re	: Reynold sayısı
RRH	: Rölatif pürüzlülük genişliği
RRP	: Rölatif pürüzlülük mesafesi
RRW	: Rölatif pürüzlülük genişliği
T	: Sıcaklık
f	: Sürtünme katsayısı
q	: Isı transferi
α	: Kanatçık açısı
α	: Camın yutma-geçirme katsayısı
η	: Verim
\dot{m}	: Kütleli debi

Alt İndisler (Sub-Indexes)

a	: Hava
amb	: Dış ortam
c	: Konveksiyon ile ısı iletimi
g	: Cam
$loss$: Kollektör tabanında meydana gelen kayıp
p	: Yutucu yüzey
r	: Radyasyon ile ısı transferi
sky	: Gökyüzü

5. KAYNAKLAR

1. Chamoli, S., Chauhan, R., Thakur, N.S., Saini, J.S., 2012. A Review of the Performance of

- Double Pass Solar Air Heater, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 481-492.
2. Lanjewar, A.M., Bhagoria J.L., Agrawal M.K., 2015. Review of Development of Artificial Roughness in Solar Air Heater and Performance Evaluation of Different Orientations for Double Arc Rib Roughness, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 1214-1223.
3. Patil, A.K., 2015. Heat Transfer Mechanism and Energy Efficiency of Artificially Roughened Solar Air Heaters-A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, February, 681-689.
4. Sharma, S.K., Kalamkar, V.R., 2015. Thermo-hydraulic Performance Analysis of Solar Air Heaters Having Artificial Roughness-A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 413-435.
5. Gawande, V.B., Dhoble, A.S., Zodpe, D.B., Chamoli, S., 2016. A Review of CFD Methodology Used in Literature for Predicting Thermo-hydraulic Performance of a Roughened Solar Air Heater, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 550-605.
6. Tchinda, R., 2009. A Review of the Mathematical Models for Predicting Solar Air Heater Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1734-1759.
7. Yıldırım, C., Solmuş, İ., 2014. Çift Geçişli Hava Akışkanlı Güneş Toplacı Kanal Yüksekliğinin Termohidrolik Verime Etkisinin İncelenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34, 111-122.
8. Hegazy, A.A., 2000. Performance of Flat-plate Solar Air Heaters with Optimum Channel Geometry for Constant/variable Flow Operation, Energy Conversion and Management, 44(4), 401-430.
9. El-Sebaei, A.A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M.R.I., Shalaby, S.M., Moharram, B.M., 2011. Investigation of Thermal Performance of Double-pass Flat and V-corrugated Plate Solar Air Heaters, Energy, 36, 1076-1086.
10. Yıldırım, C., Aydoğdu, İ., 2017. Artificial Bee Colony Algorithm for Thermohydraulic Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters, Journal of Mechanical Science and Technology, 31(7), 3593-3602.

- 11.** Hans, V.S., Saini, R.P., Saini, J.S., 2010. Heat Transfer and Friction Factor Correlations for a Solar Air Heater Duct Roughened Artificially with Multiple V-ribs, *Solar Energy*, 84(6), 898-911.