

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖR BORUSU İÇERİSİNDE
KIVRILMIŞ ŞERİT KULANIMININ ISI TRANSFERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İSMAİL İLKE KÖSE

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2011

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Isı Transferi Mekanizmaları	2
1.1.1 Isı iletimi.....	2
1.1.2 Isı taşınımı	2
1.1.3 Isı ışıınımı	2
1.2. Güneş Kollektörleri.....	3
1.2.1. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleri	3
1.2.1.1. Üst örtü	4
1.2.1.2. Emici plaka	4
1.2.1.3. Isı yalıtımı	5
1.2.1.4. Kollektör kasası.....	5
1.2.2. Vakumlu güneş kollektörleri	6
1.2.3. Odaklamalı (Yoğunlaştırıcı) tip güneş kollektörleri	6
1.3. Akış Türleri.....	7
1.4. Sınır Tabakası	8
1.4.1. Hız sınır tabakası.....	8
1.4.2. Isıl sınır tabakası	9
1.5. Tam Gelişmiş Hız ve Isıl Giriş Bölgesi	10
1.6. Isı transferini Artırma Yöntemleri	12
1.6.1. Aktif yöntem.....	12
1.6.2. Pasif yöntem	12
1.7. Borularda Isı Transferini Artırma Yöntemleri.....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16

3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Deneysel çalışma	28
3.2. İç ortamdaki ölçümler	31
3.3. Dış ortam deneyleri.....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	38
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	52
6. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖR BORUSU İÇERİSİNDE KIVRILMIŞ ŞERİT KULANIMININ ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İsmail İlke KÖSE

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY

Son yıllarda ısı transferini artırma teknolojileri gelişmiş ve ısı değiştiricilerde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Isı transferini artırma teknikleri aktif ve pasif metotlar olarak sınıflandırılabilir. Aktif sistemlerde ısı transferini artırmak için mekanik yardımcı elemanlarla akışkanın karıştırılması, yüzeyin titreştirilmesi veya akış ortamında elektrostatik alanların oluşturulması gibi metotlar kullanılmaktadır. Pasif sistemlerde ise yüzeye özel şekiller verilmesi, boru içerisine ikincil akışlar oluşturan kıvrılmış şerit, helissel tel, yönlendirme kanatları gibi yöntemler kullanılmaktadır. Pasif sistemlerde, kıvrılmış şerit ve helissel tellerin kullanımı çok daha yaygındır.

Bu çalışma ile düzlemsel güneş kolektörlerinin verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla güneş kolektörlerinde emici plaka tarafından çekilen ısının plakadan akışkana daha iyi aktarılması için, kolektör boruları içine ısı transferini artırıcı kıvrılmış şerit yerleştirilmiştir. Bu şekilde modifiye edilen kolektörde sağlanacak verim artışı deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca boru içerisine yerleştirilen elemanların neden olduğu basınç kayıplarında incelenmiştir. Yapılan uygulamanın doğal sirkülasyonlu sistemlere nazaran pompalı sistemlerde daha verimli olacağı anlaşılmıştır. Çalışma deneysel olarak iki temel aşamada tamamlanmıştır. İlk olarak düzlemsel güneş kolektörlerindeki akışa benzer şartlarda

laminer bölgede ısı transferini artışıını sağlayan en uygun pasif yöntem tespit edilip deneysel olarak araştırılmıştır. İkinci olarak bir başka kolektör içine kıvrılmış şeritler yerleştirilerek elde edilen modifiye kolektörler laboratuvar ortamında güneş simülatöründe denenerek verim eğrileri çıkarılmıştır. Verim eğrileri incelendiğinde modifiye kolektör veriminde bir miktar artış gözlenmektedir. Son olarak standart ve modifiye kolektör dış ortamda doğal sirkülayonlu bir sistemde gerçek şartlarda çalıştırılarak, her iki sistem karşılaştırılmıştır. Hem iç hem de dış ortamda yapılan deneylerde kolektör boruları içinde kıvrılmış şerit kullanımının kolektör verimini standart kolektöre göre yaklaşık %15 artırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzlemsel Güneş Kolektörü, Isı Transferinde İyileştirme, Türbülötör, Kıvrılmış şerit, Helissel Tel, Laminer Akış

2011, 57 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECT TO HEAT TRANSFER OF USING TWISTED TAPE INTO TUBE OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR

İsmail İlke KÖSE

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Education**

Supervisor:

Asst. Prof. Dr. Ahmet ÖZSOY

In the past decades, heat transfer enhancement technology has been developed and widely applied to heat exchanger applications. Heat transfer enhancement techniques classified active and passive methods. For the increasing heat transfer enhancement at active systems some methods are used like mixing fluids with auxiliary fluids, surface vibration and setting electrostatic fields in flow media. As for passive systems, methods are used like forming special shapes to surfaces, twisted tapes which form a secondary flow in tubes, wire coil and guided wings. The usage of twisted tapes wire coils is more common at passive systems.

The aim of this study is to increase efficiencies of flat plate solar collectors. For this purpose, various elements will place into collector tubes which increase the heat transfer for better transfer which absorbed by plate and to fluid. Thus, the efficiency increase of the collector will be determined. Also the pressure losses from the elements which placed into tubes will be investigated. It is expected that the application which will make will more efficient at forced systems than natural circulated systems. This study will be complete experimentally at two basic stages. First of all, the most appropriate passive method was investigated and search experimentally which provide to increase heat transfer in laminer section similar to flat solar collector. Secondly, curling bands into other collector has been placed. This modified collector has been tested using solar simulator in the laboratory.

Efficiency curves of modified collector were obtained. It has been seen that efficiency of the modified collector from efficiency curves has increased. Finally, the modified collector system was compared with standard collector under actual conditions. The collector efficiency by using curling bands into tube of collector according to standard collector has increased %15 about.

Key Words: Flat Plate Solar Collector, Heat Transfer Enhancement, Turbulator, Twisted Tape Inserts, Wire Coil Inserts, Laminar Flow

2011, 57 pages

TEŞEKKÜR

Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY, tez danışmanı olarak, çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yön gösterici olmuştur.

Makina Teknikeri Sayın Cengiz KAZMACI ve Mümin ULUSOY, atölye çalışmalarında yardımcı olmuşlardır.

1906-YL-09 No'lu, “Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Boru İçerisinde Isı Transferini Artırıcı Elemanlar Kullanımı” projesi ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür ederim.

Tezimin bütün aşamalarında gösterdikleri fedakârlık ve destekleri ile beni yalnız bırakmayan aileme ve sevdiğim insanlara sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İsmail İlke KÖSE
ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Düzlemsel güneş kollektörü (Şahin, 2010).....	4
Şekil 1. 2. Farklı geçiş bölgeleri (Altınışik, 2004)	7
Şekil 1. 3. Düz bir levhada hidrodinamik sınır tabakası (Altınışik, 2004)	9
Şekil 1. 4. Düz bir levhada ısı sınır tabakası (Altınışik, 2004)	10
Şekil 1. 5. Borudaki akışta hız profili (Altınışik, 2004).....	11
Şekil 1. 6. Borudaki akışta ısı profil (Altınışik, 2004).....	11
Şekil 1. 7. Helisel tel.....	13
Şekil 1. 8. Helisel tel örnekleri	13
Şekil 1. 9. Helisel tel kesit	13
Şekil 1. 10. Kıvrılmış şerit örnekleri.....	14
Şekil 2. 1. Sürtünme katsayısı ile Re sayısı arasındaki ilişkisi (P.K.Sarma at all, 2008)	19
Şekil 2. 2. Kıvrılmış şerit (Eiamsa-ard at all., 1999)	20
Şekil 2. 3. Helisel şerit çeşitleri (Eiamsa-ard and Promvonge , 2005)	21
Şekil 3. 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	23
Şekil 3. 2. Güneş simülatöründeki ışınım dağılımı.....	27
Şekil 3. 3. Deney düzeneği.....	28
Şekil 3. 4. Rezistanslı borulu tip ısıtıcı	29
Şekil 3. 5. Debimetre	30
Şekil 3. 6. Fark basınç transmitteri	30
Şekil 3. 7. Çalışmada kullanılan kıvrılmış şerit örnekleri.....	31
Şekil 3. 8. Güneş simülatörü iç kısmı	32
Şekil 3. 9. Halojen lamba	32
Şekil 3. 10. Güneş simülatörü.....	33
Şekil 3. 11. Debimetre.....	34
Şekil 3. 12. Boyler	34
Şekil 3. 13. Güneş kollektör iç kesidi (Jaisankar at all., 2008)	35
Şekil 3. 14. Standart ve modifiye güneş kollektörü.....	36
Şekil 3. 15. Güneş ışınım ölçüm cihazı.....	37

Şekil 4. 1. 325 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi	39
Şekil 4. 2. 475 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi	39
Şekil 4. 3. 590 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi	40
Şekil 4. 4. 325 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	41
Şekil 4. 5. 475 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	41
Şekil 4. 6. 590 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	42
Şekil 4. 7. 325 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	43
Şekil 4. 8. 475 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	43
Şekil 4. 9. 690 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi	44
Şekil 4. 10. 120 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	45
Şekil 4. 11. 240 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	45
Şekil 4. 12. 360 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	46
Şekil 4. 13. 480 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	46
Şekil 4. 14. Kollektöre farklı giriş suyu sıcaklıklarında kollektör veriminin debi ile değişimi	47
Şekil 4. 15. 120 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	47
Şekil 4. 16. 240 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	48
Şekil 4. 17. 360 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	48
Şekil 4. 18. 480 lt/h debide kollektör veriminin değişimi.....	48
Şekil 4. 19. 30 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi	49
Şekil 4. 20. 45 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi	49
Şekil 4. 21. 58 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi	50
Şekil 4. 22. Depo sıcaklığının deney süresince değişimi.....	50

Şekil 4. 23. Modifiye ve Standart kollektörlerin gün içindeki verimleri51

Şekil 4. 24. Modifiye ve Standart kollektörlerin veriminin deney süresince zamanla
değişimi51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Borularda yapılacak deneyler için temel değişkenler24

Çizelge 3. 2. Güneş kollektöründe yapılan deneyler için temel değişkenler 24

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan [m ²]
a	Isı yayılım katsayısı [m ² /s]
d	Çap [m]
c _p	Sabit basınçta özgül ısı [J/kgK]
F	Toplam boru alanı [m ²]
f	Sürtünme katsayısı
h	Taşıma katsayısı [W / m ² K]
h	Dönme adım uzunluğu [m]
I	Güneş ışınım şiddeti [W/m ²]
L	Uzunluk [m]
L _H	Hidrodinamik giriş uzunluğu [m]
L _T	Isıl giriş uzunluğu [m]
m	Kütleli debi [lt/h]
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandil sayısı
T _{çevre}	Çevre sıcaklığını [°C]
T _{ort}	Ortalama sıcaklık [°C]
U	Toplam ısı transferi katsayısı [W / m ² K]
v	Hız [m/s]
y	Dönme oranı
ΔP	Basınç farkı [mbar]
ΔT	Boş boruya giriş ve çıkış suyu sıcaklık farkı [°C]
λ	İletim katsayısı [°C/ (W / m K)]
x	Sıcaklık farkının ışınım şiddetine oranı [°C/ (W / m ²)]
η	Verim

ρ Yoğunluk [kg/m³]

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı, hızlı sanayileşme, teknolojiye gelişim ve bunun sonucunda da yaşam standartlarının yükselmesi nedeniyle enerji tüketimini ve ihtiyacını günden güne artırmaktadır. Birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükenmesi, alternatif enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Fosil yakıtlar için başka bir olumsuzluk da çevre kirliliğine sebep olması ve yakıldığında, sera gazları olarak bilinen çevremiz için tehlikeli gazları açığa çıkararak küresel ısınmaya katkıda bulunuyor olmasıdır.

Ülkemiz güneş kuşağında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından şanslı ülkeler arasında bulunmaktadır. Ülkemizde özellikle sıcak su hazırlama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan düzlemsel güneş kolektörlerinden faydalanma oranının artırılması için, kolektör veriminin yükseltilmesi ve farklı uygulama alanlarının uygulanabilirliğinin artırılması gerekmektedir. Kolektör veriminin artırılması için, üst yüzeyden olan ısı kayıplarının azaltılması amacıyla bal peteği (honeycomb design) (Abdullah at all., 2003) benzeri konveksiyonla ısı akışını azaltıcı düzenlemeler veya kolektör üst yüzey örtüsü olarak çift cam uygulaması (Özgür ve Özsoy, 2005) kullanılabilir. Kolektörde güneş ışınımının ısı enerjisine dönüştürüldüğü emici plaka olarak klasik mat siyah renkli yüzey yerine, seçici (selektif) yüzey kaplamaları ile plakadan ışımla olan ısı kayıpları azaltılmaktadır (Tırıs vd., 1997). Kolektörden dış ortama olan ısı kayıplarını azaltmak amacıyla da daha etkin ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.

Isı transferi termodinamik kanunlardan yararlanılarak transfer edilecek ısı miktarını belirleyebilmek için deneysel sonuçlardan teoriler üretir. Isı transferi mekanizmaları üç yolla gerçekleşir. Bunlar iletimle, taşınım ve ışımla ısı transferidir.

1.1. Isı Transferi Mekanizmaları

Isı transferinin fiziki mekanizması genelde oldukça karmaşık olmakla beraber literatürde üç tür ısı transferi mekanizması tanımlanır. Bunlar:

- a) Isı iletimi
- b) Isı taşınımı
- c) Isı ışıınımı

1.1.1. Isı iletimi

Isı iletimi aynı katı, sıvı veya gaz ortamındaki farklı bölgeler arasında veya doğrudan fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, moleküllerin gözle görülür bir yer değiştirmesi olmaksızın, moleküllerin doğrudan teması sonucunda oluşan ısı yayılımı işlemidir. İletme işlemi sıvılarda moleküllerin birbirini takip eden çarpışmaları ile olur.

1.1.2. Isı taşınımı

Bir boru üzerinden veya bir boru içerisinden akan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı ise akışkan hareketi sonucu akışkan ile yüzey arasındaki ısı transferi mekanizması konveksiyon (taşınım) olarak adlandırılır. Akışkanın hareketi uygulanan basınç farkı nedeni ile oluşuyorsa (örneğin, ısıtılmış bir borudan pompa ile akışkanın devredilmesi vb.) zorlanmış konveksiyondan, akışkan hareketi yoğunluk farkı nedeniyle oluşuyorsa (örneğin, bir sobanın veya radyatörün çevresini ısıtması vb.) doğal konveksiyondan bahsedilir.

1.1.3. Isı ışıınımı

İletim ve taşınımında, enerji bir ortam vasıtası ile transfer edilir. Deneysel sonuçlar hiçbir transfer ortamı olmaması durumunda da enerjinin transfer edildiğini göstermektedir. Elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla olan bu ısı transferi mekanizması kısaca ışıınım olarak adlandırılır. Işıma terimi genel olarak bütün

manyetik dalga olayları için kullanılır. Burada belirtmek istediğimiz bir cismin sıcaklığından dolayı meydana gelen ısı ışımıdır.

Bütün cisimler (katı, sıvı veya gaz), özellikle yüksek sıcaklıkta enerji yayınlarlar. Yayınlanan enerjinin yoğunluğu yüzey sıcaklığına ve yüzeyin doğasına bağlıdır. Ayrıca, bütün cisimler üzerlerine düşen ısı ışımının bir kısmını soğurur, bir kısmını geçirir, kalan kısmını da yansıtırlar.

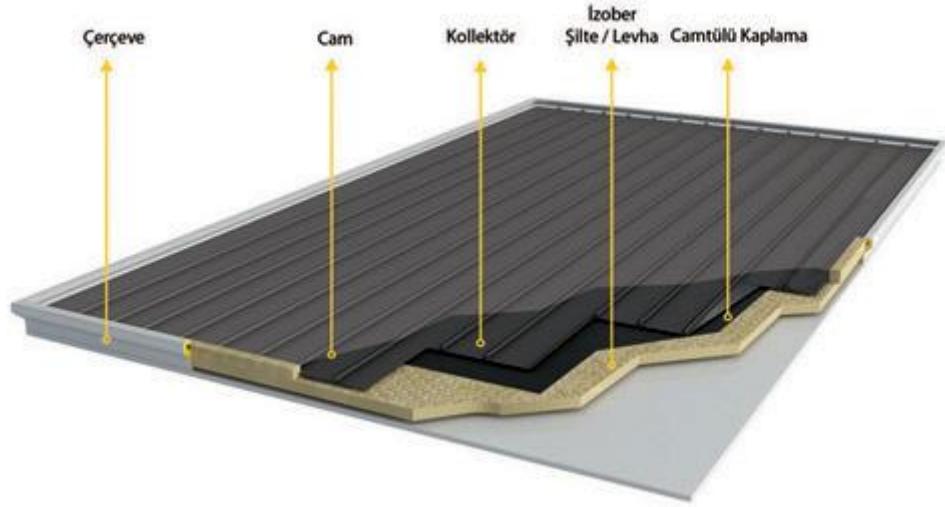
1.2. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörleri, güneş radyasyonunu alıp, bir akışkan (sıvı ya da hava) bünyesine geçiren birer ısı değiştiricidirler (Şahin, 2010). Üç grupta sınıflandırılırlar;

1. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri
2. Vakumlu güneş kolektörleri
3. Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kolektörleri

1.2.1. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri

Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve herhangi bir akışkana aktarıldığı (sıvı ya da hava) çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. En fazla ulaşılabilecek sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Kolektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere üst örtü, emici plaka, ısı yalıtımı, kolektör kasası ve bunların birleştirilmesinde kullanılan parçalar düzlemsel yüzeyli güneş kolektörünü oluşturur (Şahin, 2010).



Şekil 1. 1. Düzlemsel güneş kollektörü (Şahin, 2010)

1.2.1.1. Üst örtü

Kollektörlerin üstten olan ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen bir maddeden olmalıdır. Üst örtünün, kısa dalga boyundaki güneş ışınlarının, saydam ortamlardan kapalı hacimlere geçişi ve hacim içinde uzun dalga boyunca gelen ışınların aynı saydam ortamdan dış ortama geçirmemesini sağlamalıdır. Cam, güneş ışınlarını geçirmediği ve ayrıca emici plakadan yayılan uzun dalga boylu ışınları geri yansıtması nedeniyle örtü maddesi olarak son derece uygun bir maddedir. Bilinen pencere camının geçirme katsayısı 0.88'dir. Son zamanlarda özel olarak üretilen düşük demir oksitli camlarda bu değer 0.95 seviyesine ulaşmıştır. Bu tür cam kullanılması verimi %5 mertebesinde artırır (Şahin, 2010).

1.2.1.2. Emici plaka

Emici plaka kollektörün en önemli bölümüdür. Güneş ışınları, emici plaka tarafından yutularak ısıya dönüştürülür ve sistemde dolaşan sıvıya aktarılır. Emici plaka tabanda ve üstte birer manifold ile bunların arasına yerleştirilmiş akışkan boruları ve yutucu plakadan oluşur. Yutucu plaka ışınları yutması için koyu bir renge genellikle siyaha boyanmıştır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle de bu

özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Mat siyah boyanın yutuculuğu 0.95 gibi yüksek bir rakam iken yayıcılığı da 0.92 gibi istenmeyen bir değerdedir. Yapılan seçici yüzeylerde yayma katsayısı 0.1' in altına inmiştir. Seçici yüzey kullanılması halinde kollektör verimi ortalama % 5 artar (Şahin, 2010).

Emici plaka, borular ile sıkı temas halinde olmalıdır. Alüminyumda olduğu gibi, akışkan borularının kanatlarla bir bütün teşkil etmesi en iyi durumdur. Bakır ve sacda bu mümkün olmadığı için akışkan boruları ile plakanın birbirine temas problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem ya tamamen yada belli aralıklarla lehim veya kaynak yapmakla çözülebilir (Şahin, 2010).

1.2.1.3. Isı yalıtımı

Kollektörün arkadan ve yan taraflarından olan ısı kayıplarını minimuma indirmek için absorban plaka ile kasa arası uygun bir yalıtım maddesi ile yalıtılmalıdır. Absorban plaka sıcaklığı, kollektörün boş kalması durumunda 150°C' ye kadar ısınması nedeniyle kullanılacak olan yalıtım malzemesinin sıcak yalıtım malzemesi olması gerekmektedir. Isı iletim katsayıları düşük ve soğuk yalıtım malzemesi olarak bilinen poliüretan kökenli yalıtım malzemeleri tek başına kullanılmamalıdır. Bu tür yalıtım malzemeleri, absorban plakaya bakan tarafı sıcak yalıtım malzemesi ile takviye edilerek kullanılmalıdır.

1.2.1.4. Kollektör kasası

Kolektör kasalarının yapımında ağaç malzeme çok kullanılır. Ağaç malzemenin yapımı ve montajı kolaydır. Ağacın tek sakıncası aşırı sıcaklıklardan etkilenmesidir. Yangın tehlikesi azdır. Kolektör yapımında kullanılan ağaç iyi işlenmiş ve kurutulmuş olmalıdır. Kolektörün en sıcak elamanı olan emici plaka ağaç kısımlarla direkt temasta olmamalıdır. Metal sağlam ve ateşe dayanıklıdır. Ancak ağır, pahalı ve iyi bir ısıl iletken olması dezavantajdır. Buna rağmen birçok bakımdan ağaçtan daha uygundur. Emici plaka ile yalıtıldığı takdirde ısı kaybı önlenir. Ağırlığının azaltılması alüminyum kullanılarak sağlanabilir. Kolektör kasalarının yapımında

plastik malzeme de kullanılabilir. Plastiklerin bazı türleri yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve metaller kadar sağlamdır. Morötesi ışıklardan zarar görmemesi için, plastik kasalar boyanırlar.

1.2.2. Vakumlu güneş kolektörleri

Vakum borulu toplayıcının dışında geçirgenliği yüksek cam boru veya cam plaka ve bunun içinde eş eksenel durumda madeni boru ya da selektif malzemeyle kaplanmış cam borudan oluşur. İç ve dıştaki boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azaltılmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır (Şahin, 2010).

1.2.3. Odaklamalı (Yoğunlaştırıcı) tip güneş kolektörleri

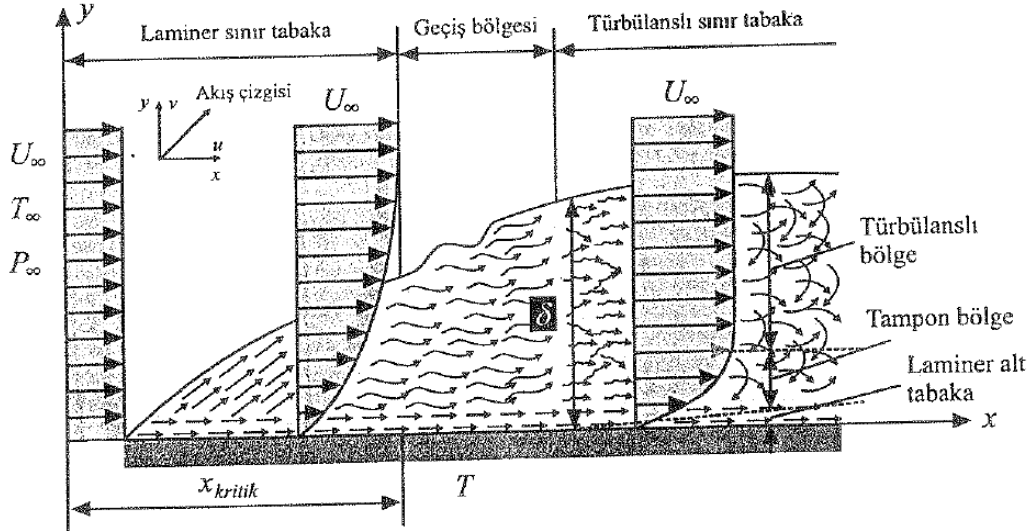
Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Kollektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutulmuş ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir (Şahin, 2010).

1.3. Akış Türleri

Isı geçiş hızının akışın laminar veya türbülanslı olmasına büyük ölçüde bağlıdır. Bir akışkan kütlesi içinde, akışkan zerreleri salınım hareketi yapmaksızın aynı yörüngeyi takip ederek gidiyorsa, bu akış laminar akış olarak adlandırılır. Laminar akış için Re sayısı 2100'den küçüktür. Laminar akışta akış hızı düşük seviyededir. Bunun yanında türbülanslı akış ise akışkan partikülleri aynı yörüngeyi takip etmeyip salınım hareketleri yaparak yol alıyorsa bu akış şekli türbülanslı akış olarak tanımlanır. Türbülanslı akışta Re sayısı 2300'den büyüktür. 2100 ile 2300 arası ise geçiş bölgesi olarak tanımlanır. Aşağıdaki Şekil 1.2.'de verilen düz bir levha üzerinde akış göz önüne alınmaktadır. Akışkan hareketli bir yörünge boyunca x ve y yönlerinde u ve v hız bileşenleriyle verilsin. Y yönündeki hız bileşeni cidara diktir. Levha üzerindeki akışta hız sınır tabakası başlangıçta laminardır. Akışkan giriş ucundan itibaren yol aldıkça, yavaş yavaş akış düzensizlikleri başlar ve ilerledikçe artarak türbülanslı akışa geçer. Sınır tabakanı sonunda akış tamamen türbülanslıdır. Türbülanslı bölgeye levha üzerinden itibaren laminar alt bölge, tampon bölge ve türbülanslı bölge bulunmaktadır (Altınışık, 2004).



Şekil 1. 2. Farklı geçiş bölgeleri (Altınışık, 2004)

Laminar, geçiş ve türbülanslı bölgelerde akışkanın fiziksel durumları bir örnekle incelemek gerekirse; saydam bir boru içerisinde su akışı varken, akış içine enjekte edilen mürekkep yardımıyla akış çizgilerinin incelenmesi sağlanmıştır. Düşük su

hızlarında enjekte edilen mürekkep enjekte edildiği doğrultuda ilerlemekte ve akış yönünde herhangi bir bozulma olmamaktadır. Daha yüksek su hızlarında akış çizgisinde düzensiz hareketler meydana gelmekte ve sıçramalar olmaktadır. Yeteri kadar yüksek su hızlarında ise akış tamamen düzensizleşmekte ve enjekte edilen mürekkep boru içinde düzensiz bir şekilde dağılmaktadır. Bu üç akış modeli, laminar, geçiş rejimi ve türbülanslı akış olarak adlandırılmaktadır. Akış, küçük hızlarda laminar, hız yükseldikçe önce geçiş akışı ve daha sonra türbülans akışa dönüşür.

1.4. Sınır Tabakası

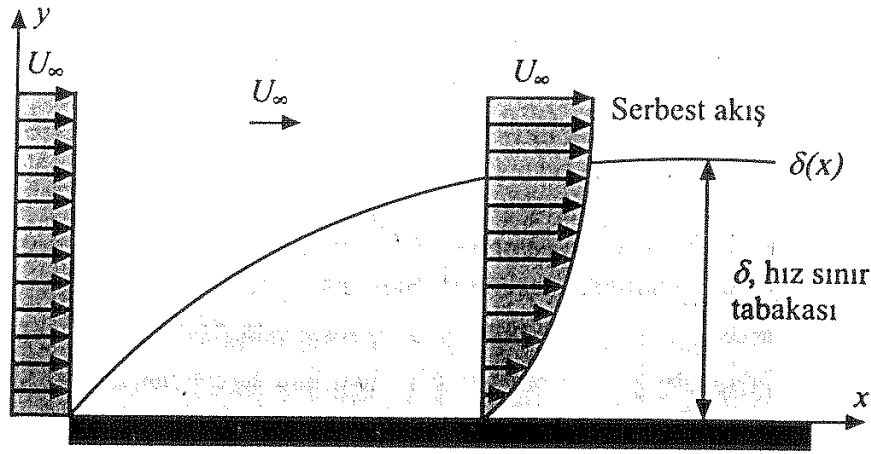
Sınır tabaka fikri ilk defa Prandtl tarafında ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre, akan bir akışkan içindeki viskoz etkiler, hız değişiminin büyük olduğu bölgeye çok yakın olan ince bir tabaka içinde görülür. Bu ince tabaka sınır tabaka olarak adlandırılır. Viskoz etkiler yüzeye en yakın bölgede maksimum, yüzeyden uzaklaştıkça minimum değere ulaşır. Sınır tabaka dışındaki akış sürtünmesiz olarak kabul edilir. Gerçekte sürtünmesiz akış ve cidar etkisiyle oluşan sürtünmeli akış arasındaki sürtünmeyi belirlemek imkansızdır. Fakat yüzeye paralel hız bileşenlerinin serbest akış hızının % 99'una ulaştığı nokta, sınır olarak kabul edilir. Hız sınır tabakası hız sınır ve ısı sınır tabakası olarak ikiye ayrılır (Altınışık, 2004).

1.4.1. Hız sınır tabakası

Şekil 1.3' de verilen düz bir levha üzerinde akış incelenirse başlangıçta hız profili düzgün dağılımlıdır. Hızı sabit olan yüzeye bitişik durumda olan akışkan partiküllerinin hızları sıfırdır. Partiküller yüzeyden uzaklaştıkça yüzey etkisi hemen azalır. Bu azalma sınır tabakası kalınlığına ulaşınca kadar devam eder ve partikül hızı serbest akış hızına eşit olur. Şekille bakıldığı zaman akışın iki farklı bölgeden oluştuğu görülür. Bunlar, sınır tabaka olarak adlandırılan ince bir akışkan tabakası ile serbest akış bölgesi olarak tanımlanan sınır tabaka dışındaki bölgedir. Sınır tabaka içinde bulunan akışkan için cidar şartları geçerlidir. Sınır tabak içinde hız farkı ve

kayma gerilmesi büyüktür. Serbest akış bölgesinde ise bu etki ihmal edilebilir seviyede bulunmaktadır (Altınışik, 2004).

Sınır tabaksında iki farklı akış gözlenir. x mesafesi küçük değerleri için akış laminar akış olarak ifade edilebilir. Fakat x ' in artmasıyla sınır tabaka kalınlığı da artacağından akış türbülanslı akışa dönüşür. Türbülans sınır tabakasında bile, cidarda çok ince ve akışın laminar olduğu bir akışkan tabakası vardır. Bu tabaka ise laminar alt tabaka olarak adlandırılır (Altınışik, 2004).



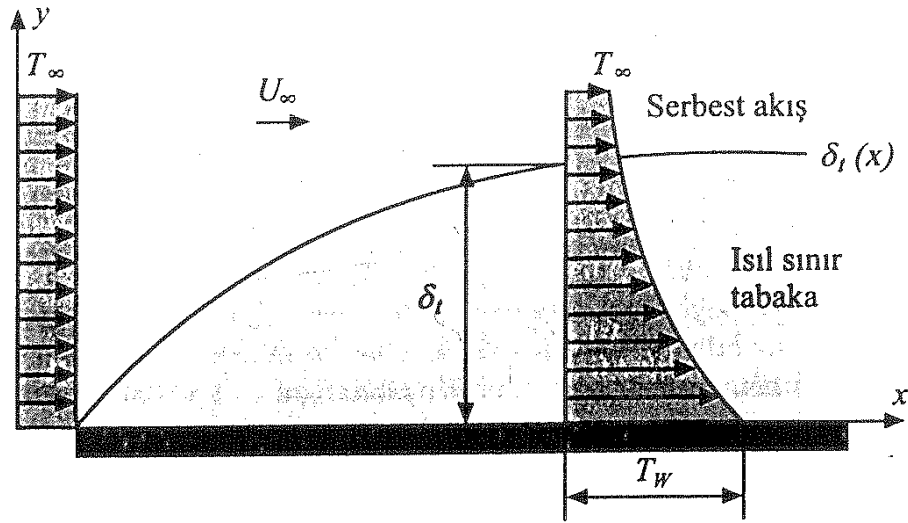
Şekil 1. 3. Düz bir levhada hidrodinamik sınır tabakası (Altınışik, 2004)

1.4.2. Isıl sınır tabakası

Akışkan yüzey üzerinden akarken, yüzeyle akışkan sıcaklığı farklı olması nedeniyle, yüzey üzerinde ısı sınır tabakası gelişir. Şekil 1.4.'de görüldüğü gibi düz bir levhadaki ısı sınır tabaka gösterilmektedir. Levha başlangıcında akışkan sıcaklık profili düzgün dağılımlıdır. Fakat akış ilerledikçe akışkan partikülleri sıcaklık farkı ile komşu partiküller ile ısı alış verişi yaparlar. Sıcaklık farkının olduğu bölgede ısı sınır tabakası oluşur. Akışkan sıcaklığındaki tüm değişim, levha yüzeyi ile direkt temasta olan ince bir tabaka toplanır. Bu tabak ısı sınır tabaka olarak adlandırılır (Altınışik, 2004).

Hız sınır tabakasındaki gelişmeye benzer şekilde levha girişinden itibaren akış yönünde ilerledikçe ısı sınır tabak kalınlığı artar. Sabit cidar üzerinde hızın sıfır

olması nedeniyle cidara yapışan partiküllerin hareketi yoktur. Bu nedenle ısı geçişi sadece iletimle olur. Ancak cidarın cidarda uzaklaştıkça partikül hareketi olacağından Newton'un soğuma yasası gereği ısı geçişi taşınım gerçekleşir. Isı transferi işlemlerinde, yüzeyin büyüklüğü ve şekli çok önemlidir. Hız ve ısı sınır tabakasını düşürebilmek için helisel tel ve kıvrılmış şerit gibi ısı transferini artırıcı elemanlar kullanılır (Altınışik, 2004).

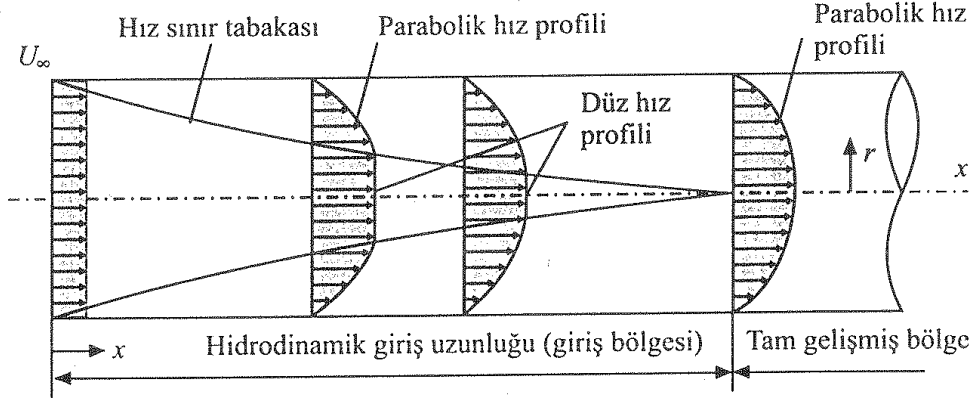


Şekil 1. 4. Düz bir levhada ısı sınır tabakası (Altınışik, 2004)

1.5. Tam Gelişmiş Hız ve Isıl Giriş Bölgesi

Şekil 1.5'de verilen borudaki akış göz önüne alınırsa girişte üniform bir akış bulunmaktadır. Akışkan boruya girer girmez kaymazlık şartı sebebiyle sınır tabaka gelişmeye başlamaktadır. Akış yönünde ilerledikçe iki kenardan oluşmaya başlayan hız sınır tabakası ileri bir noktada boru merkezinde birleşir ve sınır tabaka tüm boruyu doldurarak tam gelişmiş akım elde edilebilmektedir. Laminer gelişmiş akımda hız profili paraboliktir. Eğer akış türbülanslı ise akışkan türbülanslı olduğu yerlerde hız profili küt olacaktır. Hız sınır tabakasının başlangıç noktasından boru merkezinde birleştiği noktaya kadar olan uzaklık hidrodinamik giriş bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgenin uzunluğu ise hidrodinamik giriş uzunluğu adını alır. Bu

bölgenin ötesinde kalan bölge ise, hidrodinamik olarak tam gelişmiş bölgedir. Burada hız profili tamamen paraboliktir (Altınışık, 2004).



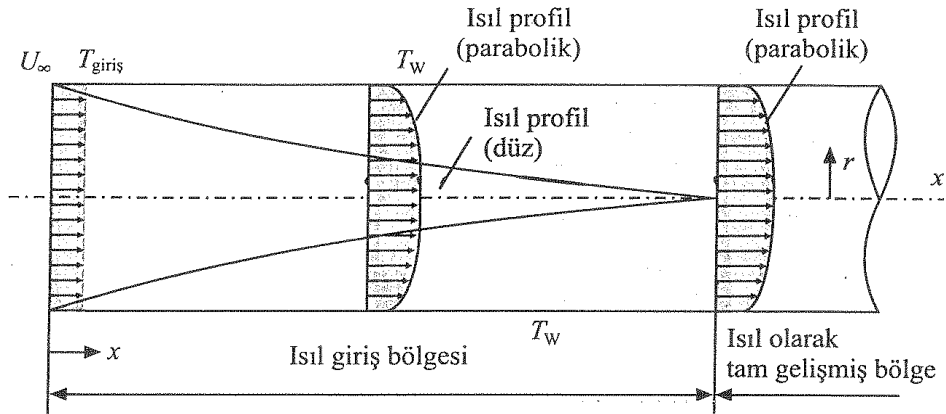
Şekil 1. 5. Borudaki akışta hız profili (Altınışık, 2004)

Hız profiline benzer şekilde bir giriş bölgesi (giriş uzunluğu) ve ısı olarak tam gelişmiş bölgeden oluşur. Şekil 1.6 'da görülmektedir.

Laminer akışta hidrodinamik bağıntısıyla, ısı giriş uzunluğu sırasıyla eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$L_H = 0.05 \cdot ReD \quad (1.1)$$

$$L_T = 0.05 \cdot RePrD \quad (1.2)$$



Şekil 1. 6. Borudaki akışta ısı profil (Altınışık, 2004)

1.6. Isı Transferini Artırma Yöntemleri

Günümüzde ısı transferinin artırılması ve buna bağlı olarak malzeme ve enerjiden tasarruf edilmesi oldukça önem kazanmıştır. Endüstriyel alanda akış sistemlerinde ısı transferinin artırılması sürekli geliştirilmesi istenen bir olgudur. Son yıllarda özellikle elektronik cihazların soğutulması, otomotiv ve uzay araçları, nükleer reaktörler ve ısı değiştiricileri alanındaki çalışmalar hız kazanmıştır. Isı transferini artırma yöntemleri iki şekilde sınıflandırılabilir (Durmuş vd., 2002).

1.6.1. Aktif yöntem

Isı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlayan yöntem aktif yöntem denir. Isı transferini artırmak için, mekanik yardımcı elemanların kullanılması, yüzeyin döndürülmesi, mekanik parçalar ile akışın karıştırılması, yüzey titreşiminin oluşturulması, akışkanın titreştirilmesi, akış ortamında elektro-statik alanların oluşturulması gibi yöntemler, aktif yöntemlere örnek verilebilir (Durmuş vd., 2002).

1.6.2. Pasif yöntem

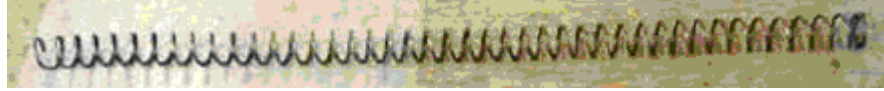
İlave enerji vermeden ısı transferindeki iyileşmeyi sağlayan yöntem ise pasif yöntem denir. Isı transfer yüzeyinin işlenerek; yüzeyin kaplanması, yüzeyin değiştirilmesi, kaba yüzeylerdeki pürüzlerden ayrı çıkıntıların oluşturulması gibi işlemlerin yapılması pasif yöntem en iyi örnekleri teşkil ederler. Isı transferini artırmak için; yüzey alanlarının büyütülmesi rutin olarak hemen hemen bütün ısı değiştiricilerinde kullanılır. Kanatçıklı yüzeylerin ve sabit yönlendirici kanatların imalat güçlüğü ve ısı değiştiricisinin boyutlarını aşırı artırması ve bakımlarının zorluğu gibi sebeplerden dolayı son yıllarda yerini tak-söklü türbülatoörlere bırakmaktadır. Bundan dolayı zorlanmış akışta dönme ve ikincil akışları oluşturmak için borular içerisine yerleştirilen parçalar, kangal şeklinde bükülmüş borular, girişe yerleştirilen vorteks üreticileri, bükülmüş bant parçaları, vida tipi döndürme

parçaları, sarımlı teller, yönlendirici kanatlar, akış ile dönen pervaneler gibi yöntemler pasif yönleme örnek teşkil ederler. Güneş kolektörleri sekiz borulu, on borulu olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Güneş kolektörleri boru içinde akış laminedir (Durmuş vd., 2002).

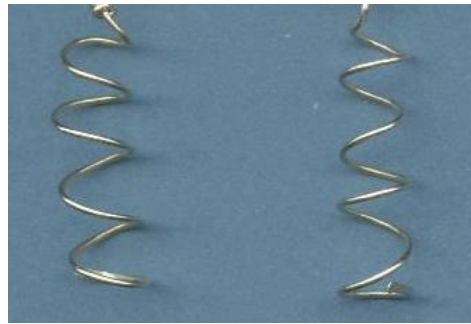
1.7. Borularda Isı Transferini Artırma Yöntemleri

Uygulamalarda boru içi akışlarda ısı transferini artırmak amacıyla boru içine yerleştirilmiş kıvrılmış şerit (twisted tape), helisel tel (wire coil), konik halka (conic ring) ve benzeri metotlar kullanılmaktadır. Örneğin gövde-boru tipi ısı değiştiricilerde ısı transferini artırmak amacıyla dönmeli akış elemanları olarak kıvrılmış şerit, helisel tel gibi uygulamalar ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Benzer şekilde kazanlarda, duman borularındaki ısı transferinin artırılması amacıyla türbülantör kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma olup (Sarı, 2000), kullanımı da oldukça yaygınlaşmıştır.

Helisel tel



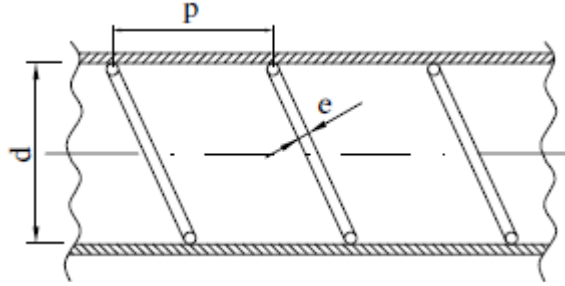
Şekil 1. 7. Helisel tel



Şekil 1. 8. Helisel tel örnekleri

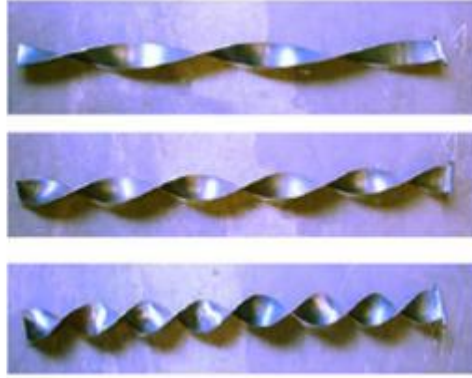
Yukarıda bulunan şekiller de helisel tel görülmektedir. Isı transferi artırıcı dönmeli bu elemanlar borularda kullanılmaktadır. Farklı p/d oranlarında mevcuttur. Yapılan deneysel çalışmada ısı transferini iyileştirmede helisel tel kullanılmıştır. Deneyler laminedir, geçiş ve türbülantör bölgelerde yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmadan helisel telin ısı transferini belirli oranlarda artırdığı anlaşılmaktadır (Alberto at all., 2005).



Şekil 1. 9. Helisel tel kesit (Alberto at all., 2005)

Kıvrılmış şerit



Şekil 1.10. Kıvrılmış şerit örnekleri

Kıvrılmış şeritler helisel teller gibi ısı transferi artırıcı dönmeli bir elemandır. Şekil 1.10 'da görüldüğü gibi farklı h/d oranlarında kıvrılmış şeritler mevcuttur. Boruda iki kıvrılmış teldeki iki kıvrım arasındaki uzunluğun borunun çapına bölümü h/d olarak adlandırılır. Deneysel çalışmada ısı transferini artırıcı eleman olarak kullanılmıştır. Kıvrılmış şerit düz boruda ve güneş kollektöründe ısı sınır ve hız sınır tabakasını minimum düzeye indirerek ısı transferini artırma işlemini yapmaktadır. Isı transferini artırmakla birlikte akışa karşı direnç oluşturarak basınç kayıplarını artırmaktadır.

Nu sayısı ve f (sürtünme katsayısı) hesaplarken aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır (Altınışık, 2004).

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (1.3)$$

Düz borudaki sürtünme katsayısı;

Laminer akış için,

$$4f = \frac{64}{Re} \quad \text{veya} \quad f = \frac{16}{Re} \quad (1.4)$$

ile hesaplanır.

Türbülanslı akış için Blasius formülü (Altınışik, 2004)

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (1.5)$$

ile hesaplanır.

Helisel tel veya kıvrılmış şerit bulunan borulardaki sürtünme katsayısı ise (Altınışik, 2004)

$$f = \frac{4a\Delta P}{\rho v^2 L} \quad (1.6)$$

ile hesaplanır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kollektör verimini artırmak için üst yüzeyden olan kayıpları azaltmak amacıyla çift cam uygulaması (Özgür ve Özsoy, 2005) veya emici plaka ile geçirgen yüzey (cam) arasına konveksiyonla olan taşınım katsayısını azaltmak amacıyla bal peteği uygulamaları ve benzeri çalışmalar yapılmıştır (Abdullah at all., 2003).

Kumar ve Prasad (2000), tarafından yapılan çalışmada düzlemsel kolektörlerde kıvrılmış şerit kullanımının %18-70 oranında ısı transferini artırdığı gözlenmiştir. Re sayısının artışı ile ısı performansın arttığı gözlenmiştir. Borular içerisine yerleştirilen akışa dönme hareketi sağlayan kıvrılmış şeritlerin akışa oluşturdukları direnç nedeniyle basınç kaybında %87-132'lik bir artış gözlenmiştir. Ancak deneysel çalışmada kolektör içerisindeki akış tek bir borudan kolektör içerisinde serpantin şeklinde dolaşacak şekilde düzenlenmiştir. Kumar ve Prasad'ın bu çalışmasında, Reynold sayısının 5000-23000 aralığında çalışılmıştır.

Kanada'da yapılan bir çalışmada Hobbi (2007) tarafından soğuk iklimler için düzlemsel güneş kolektörlerinde ısı transferini artırıcı uygulamaları çalışmıştır. Bu çalışmada düz boru, kısa tip ve tam boy kıvrılmış şerit, helisel tel ve konik halka kullanımının ısı transferine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Boru içerisine yerleştirilen elemanların verime etkisinin çok önemsiz olduğu gözlenmiştir. Çalışmada kolektör yüzey sıcaklığı radyant ısıtıcılarla 300 ve 400 °C sıcaklıklarında sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Sonuçta boru içerisinde yapılacak akış düzenlemelerinin kolektör verimine önemli bir etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Jaisankar ve arkadaşlarının (2008) yaptıkları çalışmada doğal sirkülasyonlu sistemlerde gün boyunca sistemdeki akışkan debisinin sabah 10:00 ile 16:00 arasında 0,010 ile 0,022 kg/s aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu zaman aralığında ısı şiddeti 700 W/m² ile 1100 W/m² aralığında değişmiştir. Bu çalışmada güneş kolektörü boruları içerisine farklı özelliklerde bükülmüş şerit ($y=3, 4, 5, 6$) yerleştirilerek kolektör verimindeki artış deneysel olarak incelenmiştir. Kollektör veriminde düz boruya oranla verim artışı en fazla $y=3$ olan uygulamada gözlenmiştir.

Verimdeki artış gün boyunca değişimler birlikte sabah saatlerinde düz borudaki verim %30 civarında iken modifiye edilen sistemde %45'ler seviyesine, yerel saatle 12:00 civarında ise %65'lerden %80'lere kadar bir artış gözlenmiştir. Boru içerisine konulan bükülmüş şeritlerin neden olduğu basınç kaybının artması ile f sürtünme katsayısının değeri de önemli derecede artmıştır. Sonuçta boş boruya nazaran kıvrılmış şeritlerin daha iyi sonuç verdiklerini bilirlenmiştir.

Ho ve Chen (2008), düzlemsel güneş kolektörlerinde kolektör iç boru bağlantılarının tek ve çok geçişli olmaları ile boru içerisine yerleştirilen kanatların kolektör verimine etkisini incelemişlerdir. Akışkanın bir borudan sonra çıkışta tekrar başka bir borudan kolektöre giriş yapmasının konvektif ısı transferi katsayısında bir iyileşme sağladığı, fakat ön ısıtma ile istenmeyen etkilerin oluştuğu bildirilmiştir.

Isı transfer etmek amacıyla kullanılan borularda (ısı değiştiricilerde, kazanlarda vs) ısı transferini artırmak amacıyla kıvrılmış şerit ve helisel tel uygulamaları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Behçet, 1993). Bu çalışmalardan en kapsamlısı Manglik (1991)'de doktora çalışmasıdır. Manglik' in bu çalışmasında farklı Pr ve Re sayıları için akışkan olarak su ve etilen glikol kullanarak kıvrılmış şeritlerde (farklı konfigürasyonlar için) borulardaki ısı transferini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmada Re sayısının ve akışkanın dolayısıyla Pr sayısının değişimi ile borulardaki Nu sayısının değişimi grafikler halinde verilmiştir. Boru içerisine yerleştirilen ısı transferi artırıcı farklı uygulamalar ile devrede oluşan basınç kaybının değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan diğer çalışmalarda incelendiğinde genellikle Re sayısının artmasıyla transfer edilen ısı miktarının arttığı, ancak boru boyunca oluşan basınç kaybının da daha fazla oranda arttığı gözlenmektedir (Zerrouiki at all., 2002). Çalışmalar borularda çoğunlukla laminer bölgede ısı transferini artırmak amacıyla farklı konfigürasyonlardaki kıvrılmış şerit, helisel teller, konik halkalar kullanımının ısı transferine olan etkisi, kullanılan malzemelerin neden oldukları basınç kayıpları, sürtünme kayıp katsayılarının Re sayısı ile değişimi konularında ağırlık kazanmaktadır. Bükülmüş şerit kullanımında $y=h/d$ oranı küçüldükçe transfer edilen

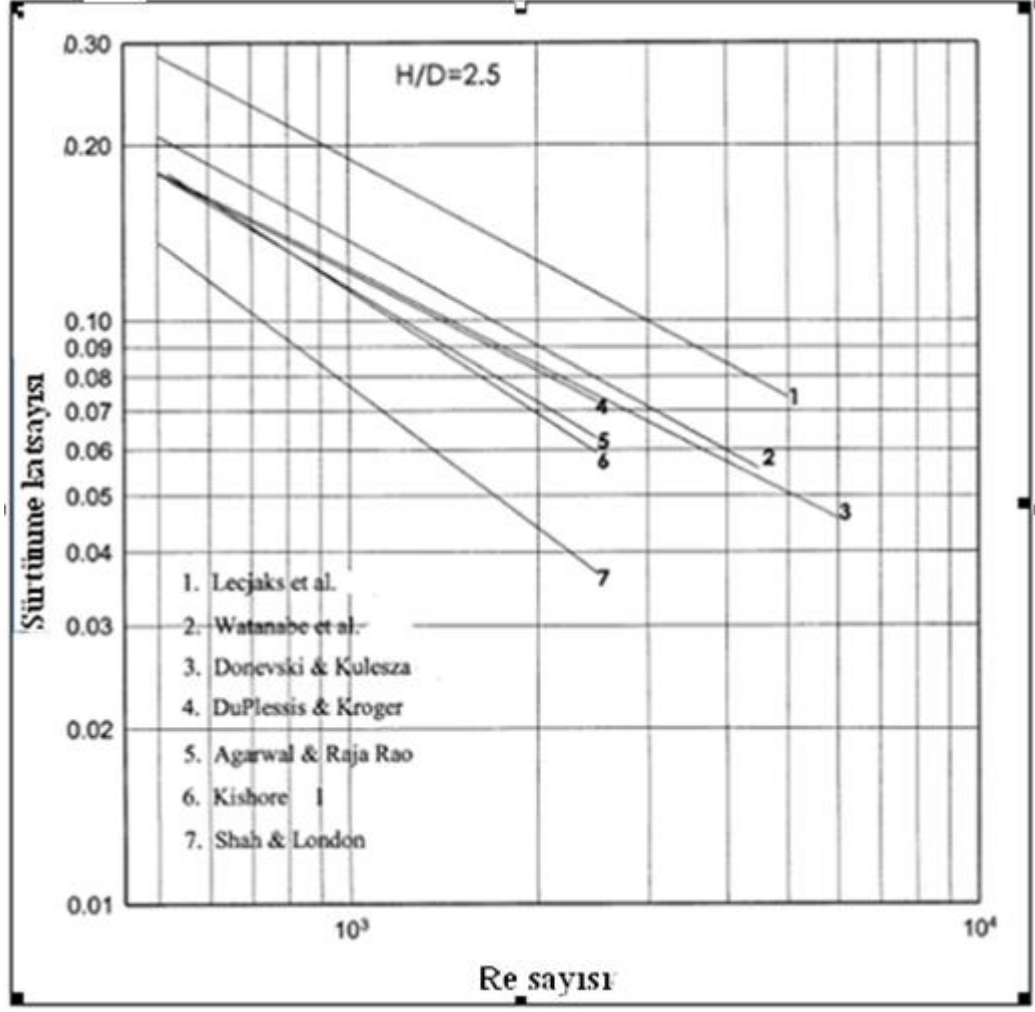
ısının arttığı, büyüdükçe azaldığı gözlenmektedir. Çalışmalardan anlaşıldığına göre h/d oranı arttıkça transfer edilen ısı azalmaktadır. Viskozitesi yüksek olan akışkanlarda bu etki çok daha belirgin olmaktadır (Manglik, 1991).

Bazı uygulamalarda ise kıvrılmış tellerin kenarlarının kesilmesi, aralara delikler açılması (Jaisankar at all., 2009) konik halkaların kesik koni şeklinde olması, dönme yönünün sağ veya sol tarafa olması gibi farklı çalışmalar yapılmıştır (Sivashanmugam, 2007).

Boru içerisine helisel tel konulmasında tel çapının helis adımının ve boru çapının değişimi ile ısı transferi ve sürtünme kaybındaki değişikliklerde birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Garcia at all., 2007).

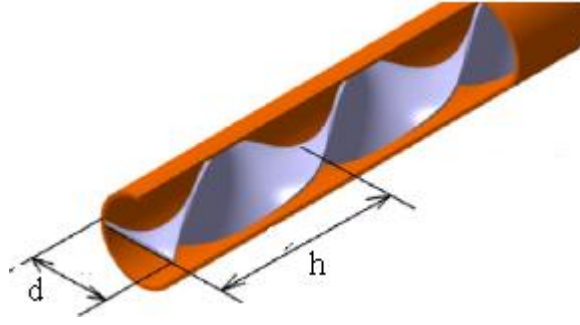
Sarma ve arkadaşlarının (2008)'de yaptığı çalışmada farklı döndürme oranları ile farklı Pr sayıları ele alınarak yapılmış olan çalışmalar arasındaki farklar incelenmiştir. Çalışma laminer bölgede ve ısı transferi artırıcı elemanlardan kıvrılmış şerit kullanılmıştır. Çalışmada h/d oranı 4,8 ile 9,68 arasında, Pr sayısı ise 10 ile 100 arasında değişmiştir. Literatürde yapılan diğer deneylerle yapılan çalışma yaklaşık olarak benzer çıkmıştır.

Şekil 2. 1.'de bulunan çalışma ise h/d nin 2,5 olduğu zamanda Re sayısı ile sürtünme katsayısının değişimini göstermektedir. Bu değişim Reynold sayısı arttıkça sürtünme kuvvetinin azaldığını, sürtünme katsayısı arttıkça Reynold sayısının azaldığını göstermektedir (Sarma at all., 2008).



Şekil 2. 1. Sürtünme katsayısı (f) ile Re sayısı arasındaki ilişkisi (Sarma et al., 2008)

Liao ve Xin, (1999) tarafından yapılan bir çalışmada farklı h/d oranlarında kıvrılmış şerit kullanılmıştır. Çalışma akışkanı olarak su, etil alkol, VG46 türbin yağı kullanılmıştır. Farklı oranlarda dört boru kullanılmıştır. Her bir deney farklı akışkanlar için denenmiştir. Yapılan deney sonuçlarında h/d oranının küçük olduğu ısı artırıcı sistemlerin verimlerinin yüksek olduğu sonucu çıkarılmıştır. Yapılan deneylerde düz boruya oranla kullanılan kıvrılmış şeritler ısı transferini artırdığı görülmüştür.



Şekil 2. 2. Kıvrılmış Şerit (Eiamsa-ard at all., 2010)

Garcia ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan deneylerde üç farklı tip bükülmüş şerit kullanılmıştır. Çalışma laminar ve geçiş bölgesindedir. $Re = 10-2500$, $Pr = 200-700$ arasında değişmektedir. Çalışma akışkanı olarak su ve propylene glycol kullanılmıştır. Yapılan üç farklı bükülmüş telin çapları ve döndürme oranları (h/d) aşağıdaki gibidir. Re sayısının 200'e kadar olan kısmında düz borudaki ısı transferinin diğer üç bükülmüş tele göre yüksek olduğu, 700-2500 arasında ise üç tip helisel telin diğer düz tüpe göre ısı transferinin fazla olduğu sonucuna varılmıştır

Yapılan bir başka çalışmada (Smith at all., 2006) ısı transferini artırmak amacıyla boşluklu bükülmüş şeritler kullanılmıştır. Çalışma laminar ve türbülanslı bölgelerdedir. Çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Farklı döndürme oranları için çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda $y=6$, $y=8$ ve düz boru karşılaştırılmış sonuçta $y=6$ döndürme oranı için ısı transferinin en yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Isı transferinin en fazla olduğu noktada basınç kaybıda en fazladır.

Yapılan diğer çalışmalarda incelendiğinde genellikle Re sayısının artmasıyla transfer edilen ısı miktarının arttığı, ancak boru boyunca oluşan basınç kaybının da daha fazla oranda arttığı gözlenmektedir (Hasim at all., 2003).

Bazı uygulamalarda ise kıvrılmış şeritlerin kenarlarının kesilmesi, aralara delikler açılması (Rahimi at all., 2009) konik halkaların kesik koni şeklinde olması (Jaisankar at all., 2008) dönme yönünün sağ veya sol tarafa olması (Sivashanmugam and Nagarajan, 2007) gibi farklı çalışmalar yapılmıştır. Boru içerisine helisel tel konulmasında tel çapının helis adımının ve boru çapının değişimi ile ısı transferi ve

sürtünme kaybındaki değişikliklerde birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Garcia, 2007).



Şekil 2. 3. Helisel şerit çeşitleri (Eiamsa-ard and Promvonge, 2005)

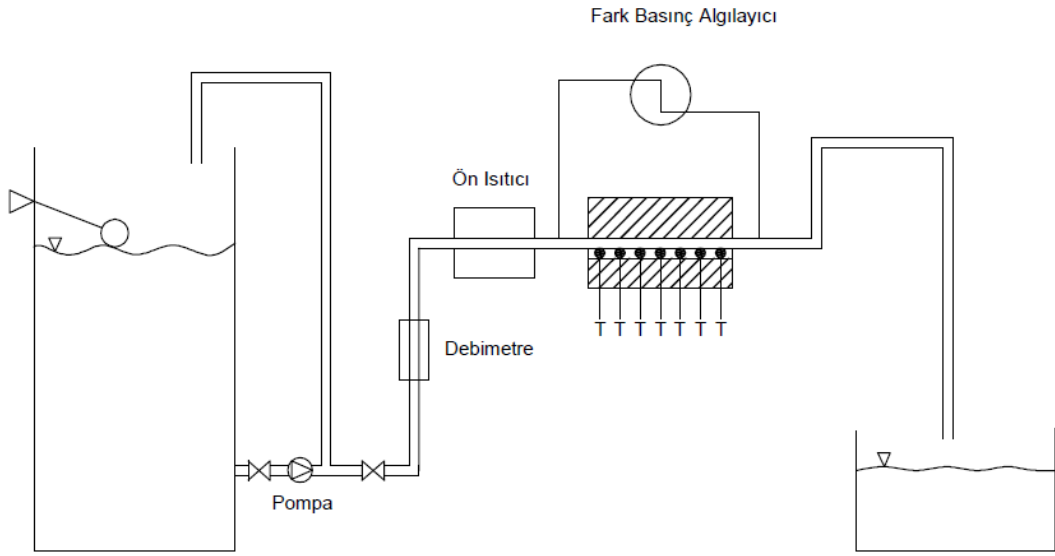
Şekil 2.3’de farklı helisel şerit uygulamaları görülmektedir. Bu çalışmada boruların içine helisel tel yerleştirilerek ısı transferini artırması amaçlanmıştır. Bu yapılan çalışmada ısı transferi oranında % 16’ lık artış elde edilmiştir (Eiamsa-ard and Promvonge, 2005).

Bu çalışmaların hiçbirisi düzlemsel güneş kolektörlerindeki uygulamalarla doğrudan ilgili değildir. Burada, kaynaklar kısmında verilen çalışmalar borularda çoğunluklu olarak laminer bölgede ısı transferini artırmak amacıyla farklı konfigürasyonlardaki kıvrılmış şerit, helisel teller, konik halkalar kullanımının ısı transferine olan etkisi, kullanılan malzemelerin neden oldukları basınç kayıpları, sürtünme kayıp katsayılarının Re sayısı ile değişimi konularında ağırlık kazanmaktadır. Bükülmüş şerit kullanımında $y=h/d$ oranı küçüldükçe transfer edilen ısının arttığı, büyüdükçe azaldığı gözlenmektedir. Yine çalışmalardan anlaşıldığına göre h/d oranı arttıkça transfer edilen ısı azalmaktadır. Viskozitesi yüksek olan akışkanlarda bu etki çok daha belirgin olmaktadır (Manglik, 1991).

Kıvrılmış şeritlerin güneş enerjisi sistemlerinde kullanımıyla ilgili olarak yapılan literatür araştırmasında, konuyla doğrudan bağlantılı kayda değer bir çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle emici plakadan akışkana olan ısı transferini artırmak amacıyla dönmeli akış elemanları yerleştirilerek, laminar akışta ısı transferinin artırılması bu çalışmada araştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma ağırlıklı deneysel olarak gerçekleştirilmiş olup, temel olarak üç adımda tamamlanmıştır. İlk adım düz boruda yapılacak deneyler, ikinci adım modifiye edilmiş güneş kollektörünün güneş simülatöründe, laboratuvar ortamında çalıştırılması ve son adım ise dış ortamda, gerçek şartlarda yapılmış deneylerle çalışma tamamlanmıştır.



Şekil 3. 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

İlk olarak ısı transferini artırmak amacıyla boru içine yerleştirilen ısı transferi artırıcı kıvrımlı akış elemanları (kıvrılmış şerit) düz boru için denenmiştir ve deney sonuçları incelenip, düzlemsel güneş kollektörleri için uygulanabilecek en uygun konfigürasyon belirlenmiştir. Şekil 3.1’de düz boru deneysel düzeneği görülmektedir. Pompa yardımıyla depodan alınan ve basılan su debimetreden geçerek istenen debiyeye ayarlanır. Debisi ayarlanan su ön ısıtıcı ısıtılarak boş boruya girmektedir. Boş boru içine kıvrılmış şeritte yerleştirilmiştir. Deneysel bölgenin üstü şekilde görüldüğü gibi yalıtılmıştır. Termokapullar ile yüzey sıcaklıkları, giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Literatür incelemesi ve yapılan ön hesaplamalara göre güneş kollektörleri içerisindeki akış laminer ($Re < 2300$) bölgededir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda Re sayısının bu aralığında çalışılmıştır. Deneylerde teste tabi tutulan boruya dışarıdan uygun şekilde ısı enerjisi verilerek boru içerisindeki akışkana

transfer edilen ısı enerjisinden ısı transferi katsayısı ve akış için Nu sayısı deneysel verilerle tespit edilmiştir. Bunun için boruya giren ve çıkan akışkanın sıcaklıkları ve debisi ölçülmüştür. Boruda meydana gelen basınç kaybını tespit etmek amacıyla giriş ve çıkış basınç farkları da ayrıca ölçülmüştür. Meydan gelen sürtünme katsayısı, Nu sayısı ise aşağıda bulunan eşitliklerle hesaplanır.

$$f = \frac{\Delta p d}{2\rho v^2 L} \quad (2.1)$$

$$Nu = \frac{hd}{\lambda} \quad (2.2)$$

$$Q = m.c_p.\Delta T \quad (2.3)$$

$$h = \frac{Q}{F.\Delta T} \quad (2.4)$$

$$F = 3.14.d.L \quad (2.5)$$

Çizelge 3. 1. Borularda yapılan deneyler için temel değişkenler

Deneyisel çalışmadaki değişkenler	Deneylerden alınan ölçümler, hesaplan değerler
q: Boru yüzeyinden verilecek sabit ısı akısı (W) q=325 W, 475 W, 590 W	T _{giriş} : Giriş suyu sıcaklığı (°C) T _{çıkış} : Çıkış suyu sıcaklığı (°C) m: Kütleli debi (lt/h), Re, Nu ve Pr sayıları
T: Giriş suyu sıcaklığı (°C) T= 30 °C, 35 °C, 55 °C	v: Hız (m/s) ΔP : Basınç kaybı (mbar)
y: Kıvrılma oranları y=h/d oranı y=3.75, 5, 7.5, 10, boş boru	f: Sürtünme katsayısı u: Toplam ısı transferi katsayısı (W/m ² °C)

Çizelge 3. 2. Güneş kolektöründe yapılan deneyler için temel değişkenler

Deneyisel çalışmadaki değişkenler	Deneylerden alınan ölçümler, hesaplan değerler
m : Kütleli debi (lt/h) m=120 lt/h, 240 lt/h, 360 lt/h, 480 lt/h	T _{giriş} : Giriş suyu sıcaklığı (°C) T _{çıkış} : Çıkış suyu sıcaklığı (°C) T _{çevre} : Çevre sıcaklığı (°C)
T: Giriş suyu sıcaklığı (°C) T= 30 °C, 45 °C, 58 °C	ΔP : Basınç kaybı (mbar) I : Işınım şiddeti (W/m ²)
y: Kıvrılma oranları y=h/d oranı y=2.75, boş boru	

Deneysel çakışmanın ikinci aşamasında, ilk deneylerdeki çalışma şartları ile aynı koşulda, ancak boru içerisine konfigürasyonu önceden belirlenmiş (h/d) oranlarında kıvrımlı akış elemanları yerleştirilerek düzlemsel güneş kollektöründe deneyler yapılmış ve uygun olmayan deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneylerin sonucuna göre düzlemsel güneş kollektörlerinin kullanılabilir en uygun konfigürasyon tespit edilmiştir. Belirlenen konfigürasyona uygun borulardan üretilen düzlemsel güneş kollektör standartlara uygun olarak test edilerek kollektör verim eğrileri oluşturulmuştur. Standart güneş kollektörleri ile modifiye edilmiş kollektörler deneysel veriler ışığında karşılaştırılmıştır. Ayrıca Standart kollektörler ile modifiye edilmiş kollektörün basınç kayıpları ayrıca ölçülmüştür.

Güneş simülatör sistemi kullanılmasının nedeni iç ortamdanda dış ortam şartlarının sağlamak için yapılmıştır. Güneş simülatörü 300W ve 500W halojen lambalar yerleştirilmiştir. Simülatörün yan kısımlarında dışarıya lambaların ışınımı yayıldığı için simülatörün dış kısımlarına daha fazla güçte lambalar takılmıştır.

Kollektör testleri, daha önceden tarafımızdan tasarımlanıp imalatı gerçekleştirilen güneş simülatöründe laboratuvar ortamında yapılmıştır. Böylece deneysel çalışma mevsim şartları ve dış hava koşullarından etkilenmeden, istenilen şartlarda tekrarlanabilecektir. Mevcut halinde güneş simülatöründe ortalama 880 W/m² ışınım şiddeti ve 1.2 m/s yapay rüzgar hızı oluşturulmuştur. Güneş simülatöründe yapay rüzgâr bir fan yardımıyla sağlanmıştır.

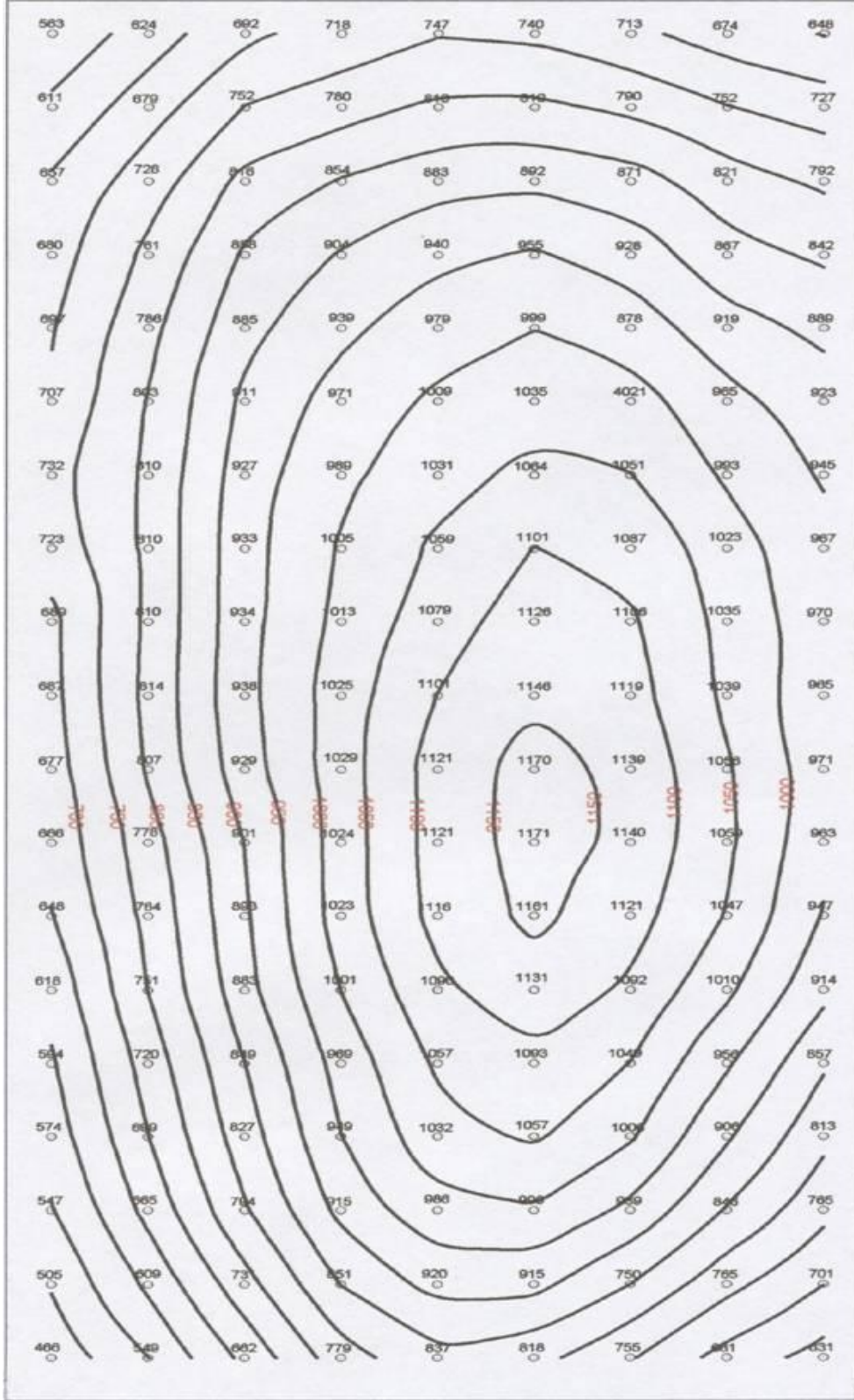
Rüzgar hızı Testo 454 cihazı ve özel probu ile, yüzeydeki global radyasyon miktarı ise Ahlborn marka özel probu Almemo 5690-2M ile ölçülmüştür. 100X200 cm ölçülerindeki bir alana 300 ve 500 W güçlerindeki halojen lambalarla ışınım sağlanmıştır. Test alanındaki ışınım şiddeti 10 cm aralıklarla bütün yüzey taranarak ölçülmüştür. Ancak güneş ışınımını sağlamak için kullanılan halojen lambalarla sağlanan ışınım şiddeti dağılımı bütün test alanında TS EN 12975-1 de belirtilen oranda ± %20 sabit aralığında sağlanamamıştır. Şekil 3.1'de simülatöründeki ışınım dağılımı eş yükselti eğrisi şeklinde verilmiştir. Eş yükselti eğrilerinden görüldüğü gibi simülatörün orta kısımlarında ışınım şiddeti 1170 W/m²'ye çıkmakta, kenarlarda

ise 500 W/m^2 seviyelerine kadar düşmektedir. Tüm yüzeydeki ışınım dağılımı 880 W/m^2 (+%30 ile %45 aralığında) olarak sağlanmıştır. Bu deneysel çalışmadan sonra güneş simülatöründe test edilen standart kollektörler ve modifiye kollektör dış ortam şartlarında gün boyunca yapılan ölçümlerle denenmiştir. Belirli saatlerinde alınan ölçümler ile modifiye kollektör ile standart kollektörün verim hesabı aşağıdaki eşitlikle

$$\eta = \frac{m.c_p.\Delta T}{A.I} \quad (2.6)$$

$$x = \frac{\Delta T}{I} = \frac{T_{\text{ort}} - T_{\text{çevre}}}{I} \quad (2.7)$$

hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 2. Güneş simülatöründeki ışınlm dağılımı (W/ m²)

3.1. Deneysel çalışma

Deneysel çalışmada birçok deneysel eleman kullanılmıştır. Deneysel çalışma iki aşamada yapıldığı için ilk olarak düz boruda kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir.

Deneysel çalışmada boru içerisindeki akışın türbülantörlerle ayarlanması esnasında deney sisteminde bakır boru içine yerleştirilen kıvrılmış şeritler ile deneyler yapılmıştır. Boru çapı 19.6 mm olarak alınmıştır. Boru uzunluğu 1.8 m' dir. Tam gelişmiş hız ve ısı giriş bölgesini sağlama için ön kısmına düz boru yerleştirilmiştir. Fakat gelişme bölgesini hazırlayan borunun yeteri kadar uzunlukta olamaması tam gelişmiş giriş bölgesini sağlayamamıştır. Yapılan çalışma gelişmiş ve gelişmekte olan giriş bölgesi olarak tanımlanmaktadır. 300 lt'lik bir su deposu, bir sirkülasyon pompası, bir debimetre ve boru içerisinde yerleştirilen bir ısıtıcı kullanılmıştır. İstenilen debi ve sıcaklıktaki su deneysel çalışmanın yapıldığı sınırlara gelmektedir. Burada öncelikle düz boruda ön ölçüm çalışmaları yapılmış, daha sonra boru içerisine yerleştirilecek kıvrılmış şeritlerle çalışmaya devam edilmiştir. Burada boru içerisindeki akışın neden olduğu basınç kaybı bir fark basınç transmitteri yardımıyla ölçülmektedir. Akışkanın sıcaklığı ise K tipi ısı çiftleriyle ölçülmektedir.

Aşağıdaki şekil 3.3'de deney düzeneği görülmektedir. Tek boruda deneyle başlanmış ve uygun konfigürasyonun tespiti yapılarak güneş kolektöründeki çalışmalarla tamamlanmıştır.



Şekil 3. 3. Deney Düzeneği

300 litrelik su deposu deneysel çalışma için gerekli olan akışkanın sağlanmasını sağlamaktadır. İhtiyaç halinde depo şehir suyu şebekesinden beslenmektedir. Deponun önünde bulunan 1/2 in çapındaki galvanizli elik boru ile sirkülasyon pompasından çıkan su depoya dökülerek deponun geri beslemesini sağlamaktadır.

Sistemdeki akışkanın dolaşımını sağlayan sirkülasyon pompası bulunmaktadır. Pompa arkasına konulan iki tane vana yardımıyla sistemdeki akışkan debisi istenilen değere ayarlanması için kullanılmaktadır. Sirkülasyon pompası üç kademeli olup ayarlanabilmektedir.

Test bölgesinde boruya verilen ısı akısı sabit ısı akısıdır. Bu sabit ısı akısı boruya sarılan rezistans teli sayesinde verilmiştir. Rezistans teli ile ayarlı trafo tarafından kontrollü olarak ısıtılmaktadır. Kısa devreyi önlemek için rezistans teli ile bakır boru arasına elektrik yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Dışarıya ısı kaybını önlemek için ise cam ynyle yalıtım yapılmıştır.

şekil 3.4'te elektrikli rezistanslı borulu tip ısıtıcı deneysel çalışma da kullanılacak akışkanın istenilen sıcaklığa gelmesini sağlar. zerinde buluna ayar düğmesiyle suyun istenilen sıcaklığa gelmesini sağlar. Sıcaklık değerleri 20 C, 40 C, 60 C, 80 C' dir.



şekil 3. 4. Rezistanslı borulu tip ısıtıcı

Aşağıdaki Şekil 3.5’de debimetre görülmektedir. Debimetre birim zamanda geçen su miktarını (lt/h) göstermektedir. 20-180 lt/h aralığında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3. 5. Debimetre

Aşağıdaki şekil 3.6 ’da fark basınç transmitteri görülmektedir. Bu cihaz borudaki akışta meydana gelen basınç farkını mbar olarak ölçmektedir. Cihaz 12 ile 45 V DC aralığında çalışmaktadır. Fark basınç transmitterinin çalışma sıcaklığı -20 °C ile 60 °C aralığında çalışmaktadır. Maksimum sıcaklığı 80 °C’e kadar çıkabilmektedir. Fark basınç transmitteri Autrol markadır.



Şekil 3. 6. Fark Basınç Transmitteri

Deneysel çalışmada pasif ısı transferi artırıcı elamanlardan olan kıvrılmış şerit kullanılmıştır. Çeşitli döndürme oranlarında özel bir mekanizma ile uygun konfigürasyonun elde edilmesi sağlanmıştır. Döndürme oranları boş boru, $y=3.75$, $y=5$, $y=7.5$, $y=10$ oranlarında kıvrılmış şerit üretilmiştir. Şekil 3.7' de üretilen kıvrılmış şeritler görülmektedir.



Şekil 3. 7. Çalışmada kullanılan kıvrılmış şerit örnekleri

3.2. İç ortamdaki ölçümler

Güneş simülatöründe yapılan deneylerde debi 120, 240, 360, 480 lt/h olarak alınmıştır. Standart kollektör ile içinde $y= 2.75$ dönme oranında kıvrılmış şerit yerleştirilen modifiye kollektör güneş simülatörü ortamında karşılaştırılmıştır. Kollektöre giriş sıcaklıkları 30, 45 ve 58 °C olarak alınmıştır.

Şekil 3.8'de güneş simülatöründe ışınımı yapay olarak sağlayan halojen lambalar, Şekil 3.9'da halojen lamba örneği ve 3.10'da güneş simülatörü- görülmektedir. Güneş simülatöründe 24 adet halojen lamba, üç adet içeriği soğutmasını sağlayan aspiratör, plastik plaka bulunmaktadır. Lambalardan güneş kollektörüne gelen ısıyı azaltmak için plastik plaka kullanılmıştır. Ortalama üretilen ışınım şiddeti 880 W/m^2 tir. Güneş simülatörü TS EN 12975-1 e göre imalatı sağlanmıştır. Güneş simülatöründeki iç kısmı uygun halojen lamba değişiklikleri ile test edilebilir hale getirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. 8. Güneş simülatörü iç kısmı



Şekil 3. 9. Halojen lamba



Şekil 3. 10. Güneş Simülatörü

Şekil 3.11’de iki adet debimetre görülmektedir. İki adet debi metre kullanılmasının nedeni laminer ve türbülanslı bölgelerindeki karşılaştırmaları yapabilmektir. İlk debimetre 120 lt/h’e kadar olan deneyler için kullanılmıştır. Debimetrenin çalışma basıncı 10 bar ve çalışma sıcaklığı 100 °C çalışma sıcaklığındadır. İkinci debimetre ise 600 lt/h’e kadar olan deneyler için kullanılmıştır. Debimetrenin çalışma basıncı 15 bar ve 100 °C çalışma sıcaklığındadır. İki debimetrede Krohne markadır.

Kollektörlerin test edilmesinde su giriş sıcaklığı üç farklı değerde (30 °C, 45 °C ve 58 °C) alınmıştır. Suyun ısıtılması Şekil 3.10’daki boyler tarafından sağlanmıştır.



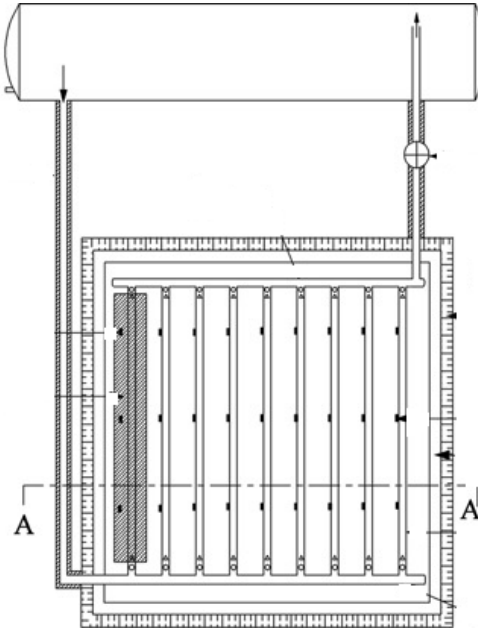
Şekil 3. 11. Debimetre



Şekil 3. 12. Boyler

3.3. Dış ortam deneyleri

Dış ortam deneyleri sıcak su deposu ve 1 adet güneş kolektörü kullanılarak kapalı bir çevrim şeklinde yapılmıştır. İki farklı kolektör biri biriyle dış ortam şartlarında birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Standart kolektör ile $y=2.75$ dönme oranında kıvrılmış şeritli modifiye iki kolektör birbiriyle karşılaştırılmıştır. Kolektörler 8 borulu olarak imal edilmiştir. Kıvrılmış şeritler kolektör boruları içinde getirilmemiştir. Kıvrılmış şeritler kolektör boruları içine bizim tarafımızdan yerleştirilmiştir. Kolektör boyunun uzunluğu kadar yaklaşık 180 cm dir. Dağıtıcı borulara kıvrılmış şerit konulmamıştır. Kıvrılmış şeritler boru içine yerleştirilirken her bir borunun giriş ve çıkışları kesilip, kesilen yerlere rekor takılmıştır. Böylece kıvrılmış şeritlerin kolektör borularına yerleştirilmesi kolaylaştırmıştır. Standart kolektöre ise modifiye kolektöre takılan rekorlar takılarak iki kolektör arasında aynı şartlar sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 3.13’de bizim çalışmamıza benzer olarak yapılmış bir çalışmadaki güneş kolektörü kesiti görülmektedir.



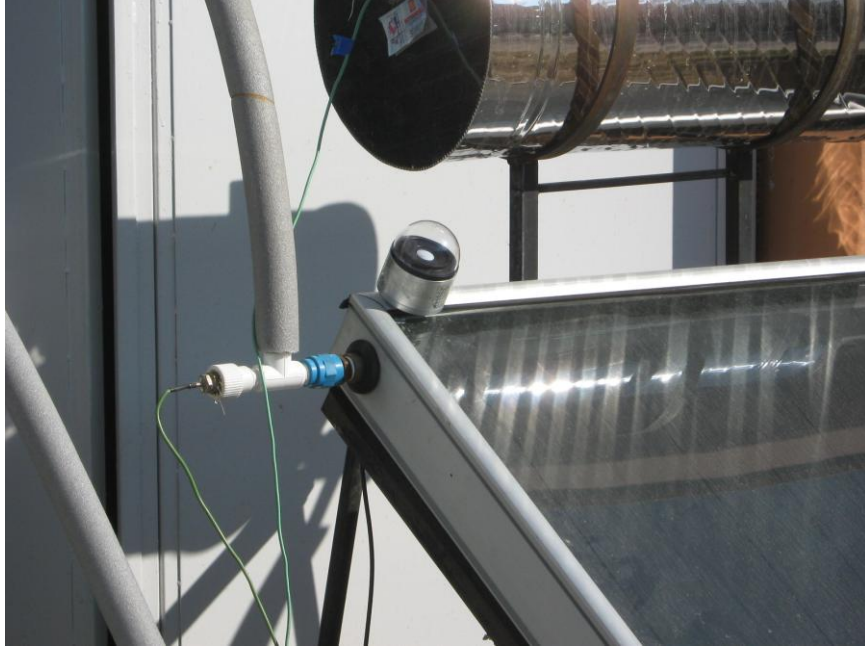
Şekil 3. 13. Güneş kolektör iç kesiti (Jaisankar at all., 2008)



Şekil 3. 14. Standart ve modifiye güneş kollektörü

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi güneş kollektörlerinin giriş ve çıkış sıcaklıkları, depo iç sıcaklığı ve dış ortam sıcaklıkları termokupullar yardımıyla ölçülmektedir. Termokupullar ölçüm aşamasından önce kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Yapılan kalibrasyon işlemi kullanılacak termokupullar kaynar suya ve buzlu suya yerleştirildi. Ölçülen değerler excell ortamın atılarak bir düzeltme denklemi ortaya çıkarılmıştır. Isparta için kaynama noktası ve donma noktası esas alınarak karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak veri analizinde kullanılan değerler elde edilen düzeltme denklemleri uygulanılarak ortaya çıkarılmıştır.

Güneş kollektörü boruları ve depo yalıtım yapılmıştır. Güneş kollektörü 8 boruludur. Depo içindeki su doğal sirkülasyon prensibine göre hareket etmektedir. Depolardan Şekil 3.14’te görülen standart kollektörün deposu 46 litre, modifiye kollektörün deposu ise 47.5 litre kapasitelidir. Depo paslanmaz çelik malzemenen, dış yalıtımı cam yünüyle sağlanmıştır.



Şekil 3. 15. Güneş ışınım ölçüm cihazı (Solarmetre)

Güneşten gelen radyasyonu Şekil 3.15' de görülen güneş ışınımı ölçüm cihazıyla (solarmetre) ölçülmüştür. Solarmetrenin eğimi güneş kollektörlerinin eğiminde olacak şekilde sisteme montajı yapılmıştır. 22 Ekim 2011 tarihinde 10:00 ile 16:00 saatleri arasında 15 dakika aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Günün belirli saatlerinde alınan ölçümler ile modifiye kollektör ile standart kollektörün verim hesabı yapılarak grafikler çizilmiştir.

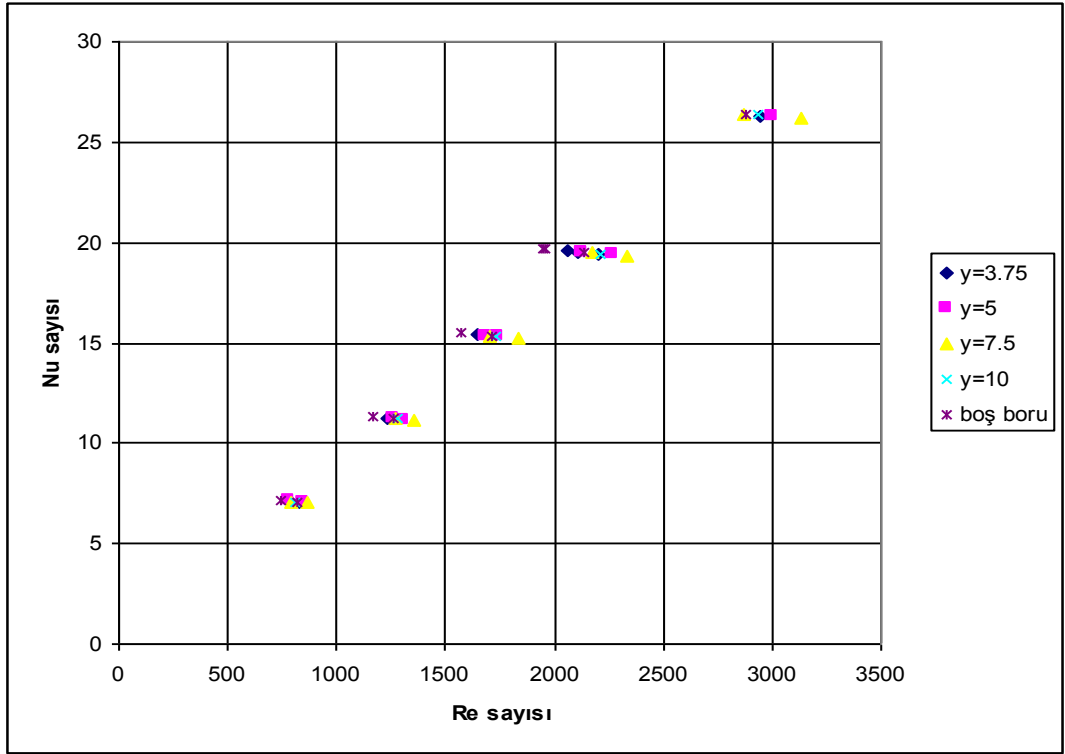
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar, düz borularda yapılan deneyler ile başlamaktadır. Düz boruda, Boş boru, $y=3.75$, $y=5$, $y=7.5$ ve $y=10$ kıvrılma oranlarındaki şeritler yapılmıştır. Deneysel çalışmada boruların içinde belirtilen oranlarda kıvrılmış şeritler kullanılmıştır. Boruya suyun giriş sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Çalışmada boru yüzeyinden sabit ısı akısı uygulanmıştır. Uygulanan ısı akısı 325 W , 475 W , 590 W değerlerindedir. Boru içerisindeki su debisi 30 lt/h , 45 lt/h , 60 lt/h , 75 lt/h ve 100 lt/h sabit olarak alınmıştır. Bu akış oranları, kullanılan boru çapı dikkate alındığında akışın laminar ve geçiş bölgesinde olması için seçilmiştir. Deneylerde boru içindeki akışta Reynold sayısı ağırlıklı olarak, laminar ve geçiş bölgesi olarak kabul edilen Re sayısının 500 ile 3500 aralığında değişmiştir. Düzlemsel güneş kolektörlerinin çalışma aralığı da akışın laminar olduğu bölge olduğundan çalışma aralığının uygun olduğu görülmektedir.

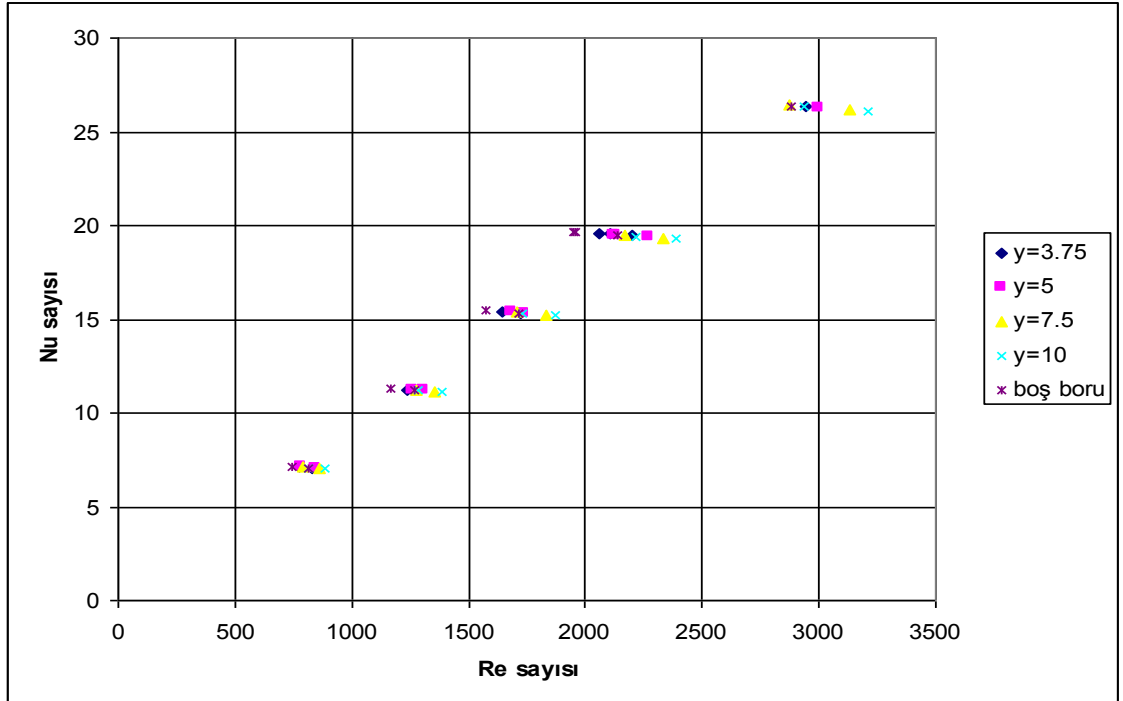
Deneysel çalışmanın ikinci kısmında güneş simülatöründe yapılan çalışmayla devam edilmiştir. Güneş simülatöründe standart kolektör ve içinde $y=2.75$ dönme oranında kıvrılmış şeritli modifiye edilmiş kolektör ile karşılaştırma yapılmıştır.

Deneysel çalışmanın üçüncü kısmında ise güneş kolektöründe dış ortamda deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler günün belirli saatlerinde yapılarak, ölçümler alınmıştır.

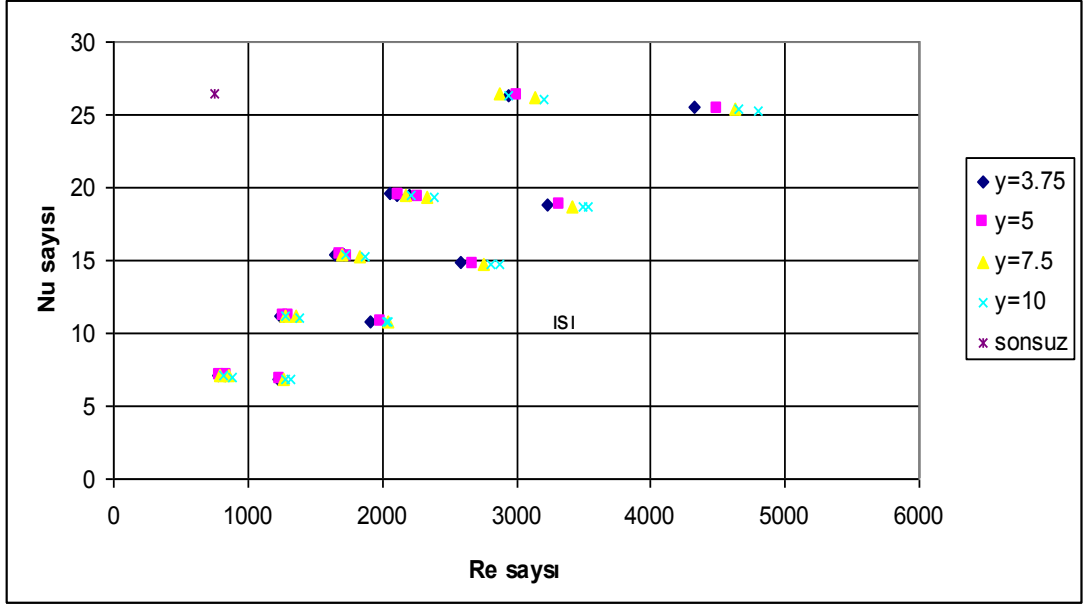
Aşağıda düz boruda yapılan deneyler ve boru içerisine yerleştirilen farklı Re sayıları için deneysel sonuçlardan elde edilen Nu sayılarının değişimi verilmiştir.



Şekil 4. 1. 325 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi



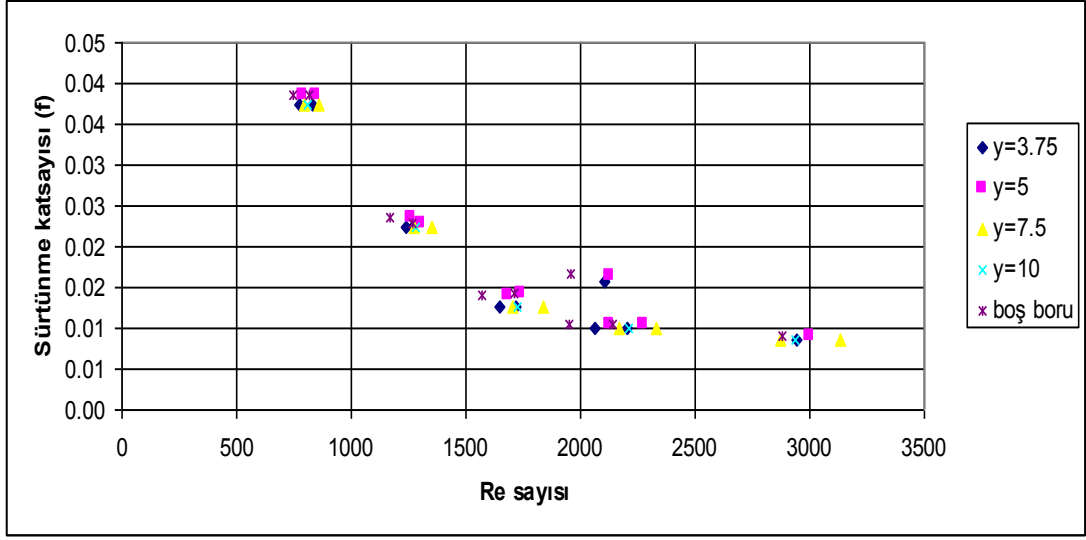
Şekil 4. 2. 475 W Isı yükünde kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi



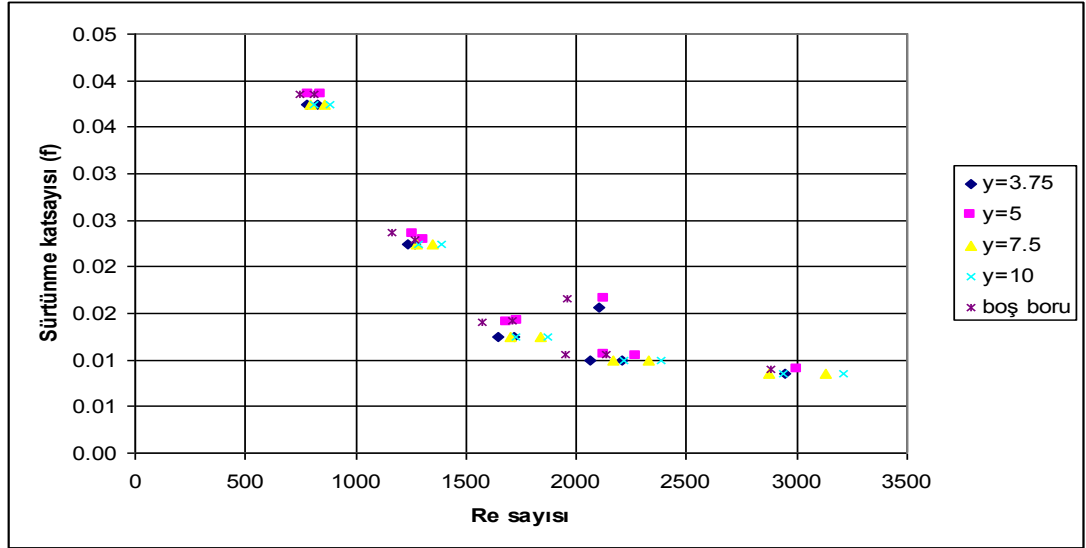
Şekil 4. 3. 590 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile Nu sayısının değişimi

Yukarıda verilen Şekil 4.1, 4.2, 4.3, incelendiğinde boru içerisinde farklı kıvrım oranlarında sahip kıvrılmış şerit kullanımının Laminer akış ve geçiş bölgesinde dikkate değer bir ısı transferini artırıcı etkiye sahip olmadığı gözlenmektedir. Halbuki literatürdeki bir çalışmada boru içerisinde helisel tel uygulanmasının ısı transferini artırıcı bir etkisi olduğu kaydedilmekteydi. Deneysel sonuçların tamamının kendi içinde uyumlu olmasının bu çalışmada veri alınmasında hata olmadığını deneylerin güvenilir olduğunun bir göstergesidir.

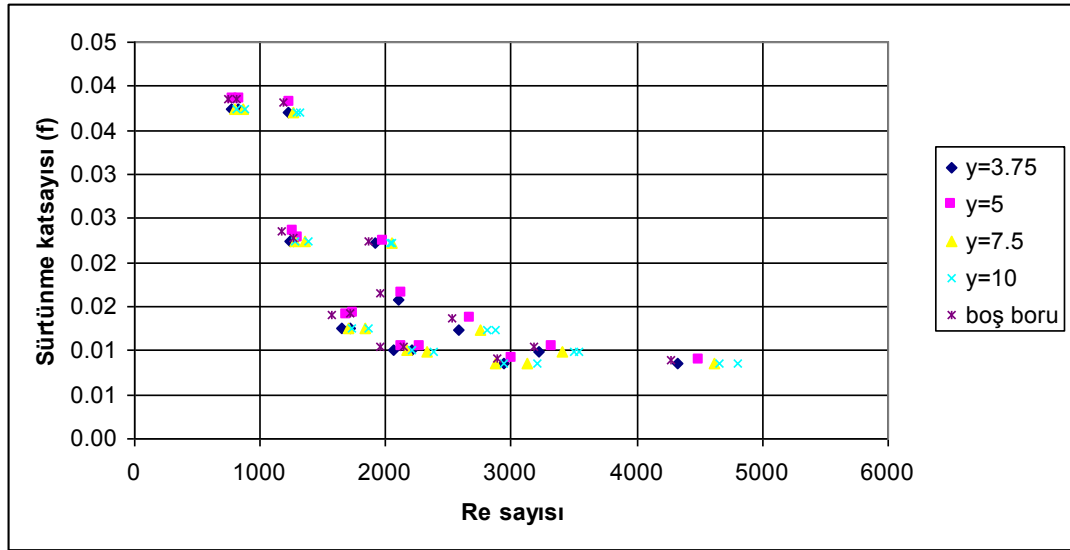
Çok lokal olarak veriler irdelendiğinde kıvrılmış şerit kullanımında çok küçük değerlerde yaklaşık aynı Reynold sayılarında y kıvrılma oranının artmasıyla (3.75'den 10'a doğru) Nu sayısında da çok az bir azalma literatürde de bildirildiği gibi (Kumar ve Prasad, 2000) bu çalışmada da gözlenmektedir. Ancak bu artış dikkate değer bir oran olarak gözükmemektedir. Boş boru ilgili olarak yapılan deney sonuçlarında bazı Nu değerlerinin kıvrılmış şerit kullanıldığı durumlarla karşılaştırıldığında, boş borunun daha iyi olduğu görünümünü vermektedir. Ancak teorik olarak bu mümkün değildir. Ölçmelerde kullanılan K tipi termokupulların ölçme hassasiyeti ve çalışma sıcaklıkları dikkate alındığında kabul edilebilir hata oranlarının sonuçları etkileyebilecek derecede olduğu dikkate alınmalıdır.



Şekil 4. 4. 325 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi



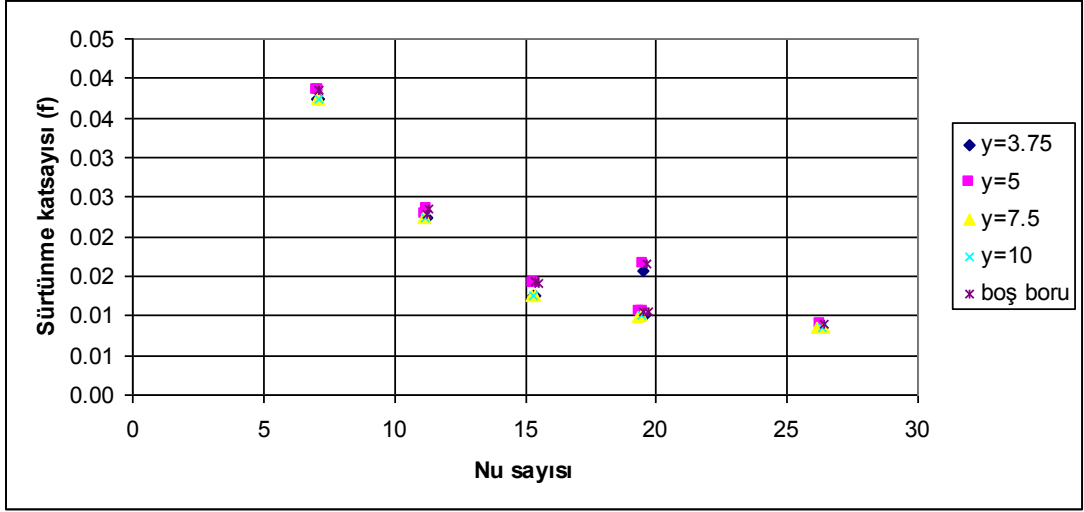
Şekil 4. 5. 475 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi



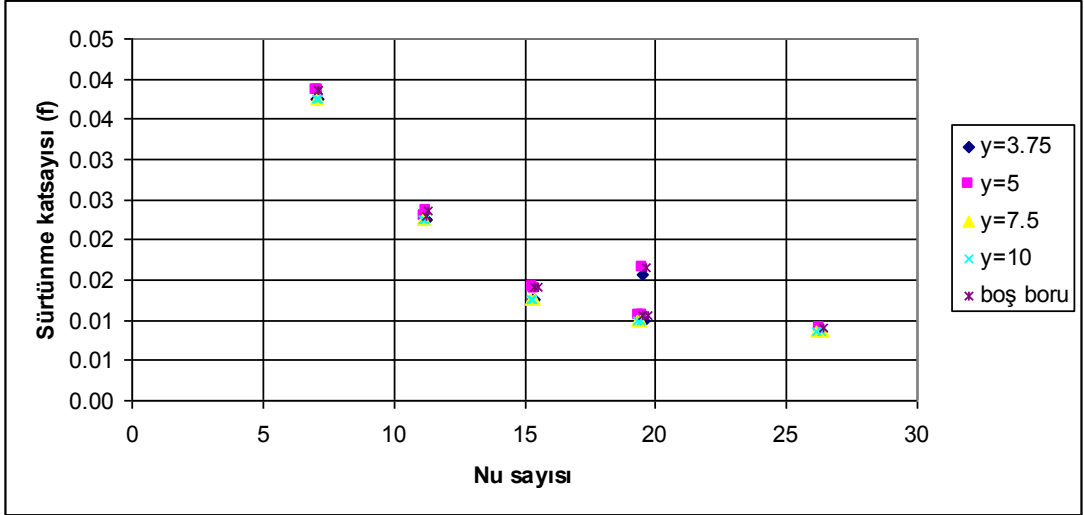
Şekil 4. 6. 590 W Isı yükünde farklı kıvrılma oranları (y) için Re sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi

Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da farklı ısı yüklerinde boru içerisine yerleştirilmiş olan farklı kıvrım oranlarındaki (y) kıvrılmış şeritlerin neden oldukları basınç kayıplarından hesaplanan sürtünme kayıp katsayıları grafik halinde verilmiştir. Grafiklerin genel karakteristiği akıştaki Reynold sayısı ile ters orantılı olarak f sürtünme katsayısının değiştiğini göstermektedir.

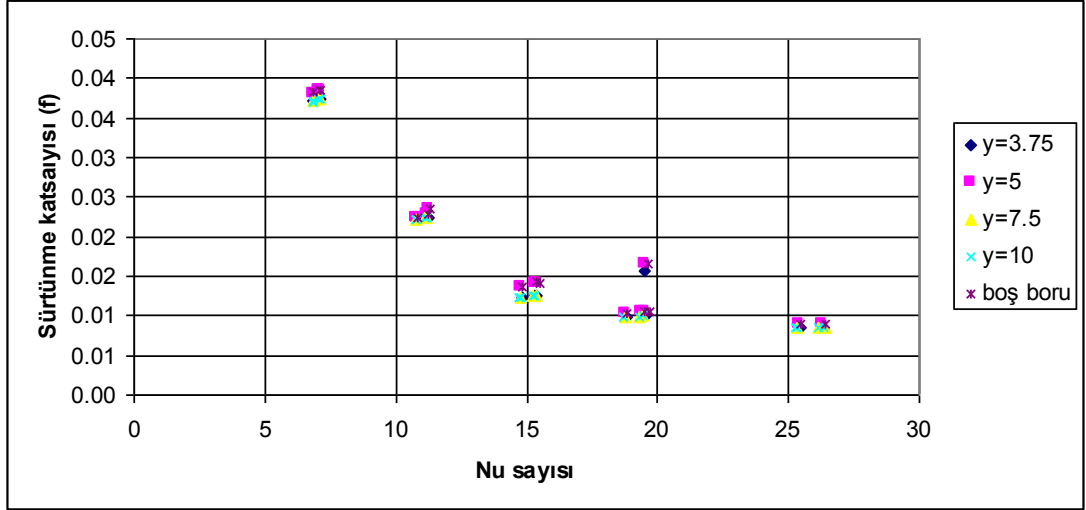
Yine veriler lokal olarak incelendiğinde aynı Re sayısında boru içerisinde kullanılan kıvrılmış şeridin y değeri ile ters orantılı olarak f sürtünme katsayısının değiştiği görülmektedir. Sürtünme katsayısının ölçümü ile alınan değerlerin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 7. 325 W Isı yükünde farklı y oranları için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi

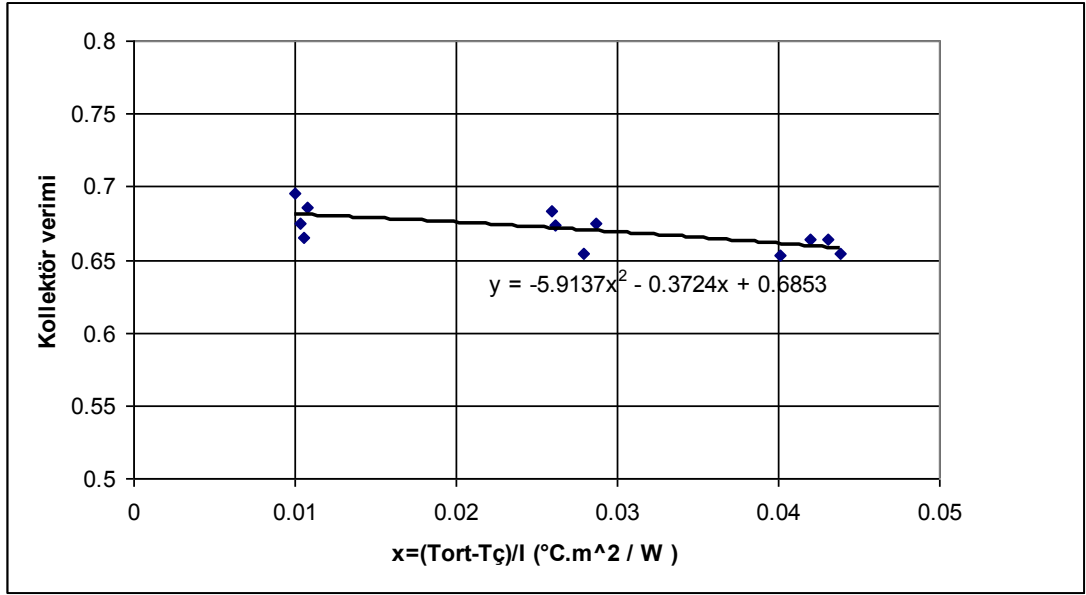


Şekil 4. 8. 475 W Isı yükünde farklı y oranları için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi

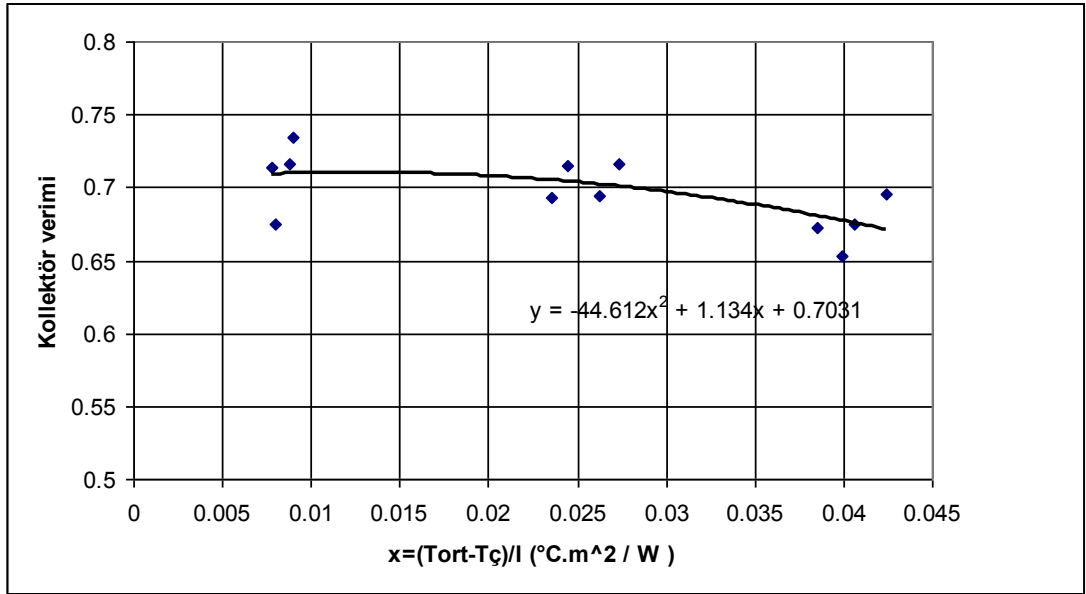


Şekil 4. 9. 690 W Isı yükünde farklı y oranları için Nu sayısı ile f sürtünme katsayısının değişimi

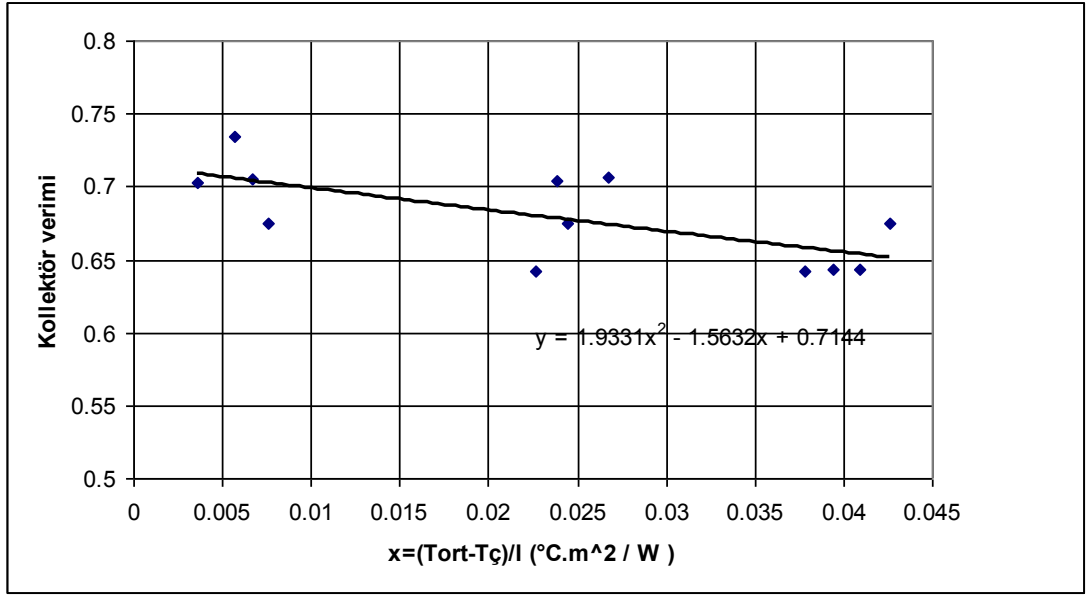
Aşağıda bulunan Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'te güneş kolektör borularına $y= 2.75$ oranında kıvrılmış şerit yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Bu tip güneş kolektörü modifiye güneş kolektörü olarak adlandırılmıştır. güneş kolektör boruları boş olan kolektör ise standart güneş kolektörü olarak adlandırılmıştır. Hacimsel debi 120 lt/h, 240 lt/h, 360 lt/h, 480 lt/h olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Deneylerde kolektöre suyun giriş sıcaklığı 30, 45 ve 58 °C solarak ayarlanmıştır. Kolektörde dolaşan su debisi 120 lt/h'den 480 lt/h'e doğru arttıkça, kolektör veriminin arttığı, giriş suyu sıcaklığı da 30 °C'den 58 °C'e doğru arttıkça kolektör veriminin azaldığı görülmüştür. Kullanılan verilerin güvenilirliği için 10 dakika aralıkla 4 defa tekrarlanarak yapılmıştır.



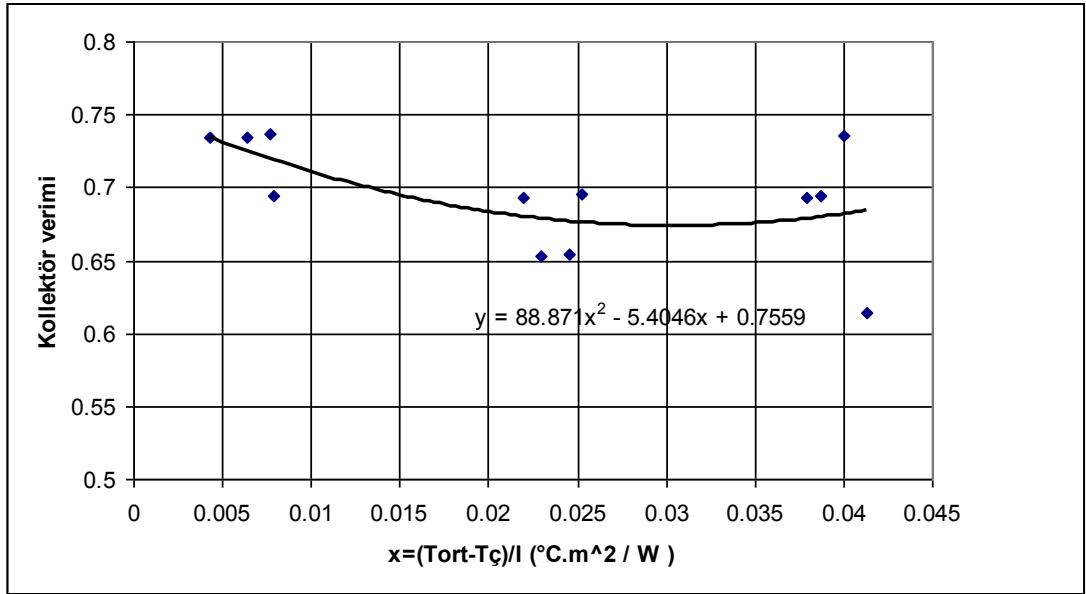
Şekil 4. 10. 120 lt/h debide kollektör veriminin değişimi



Şekil 4. 11. 240 lt/h debide kollektör veriminin değişimi

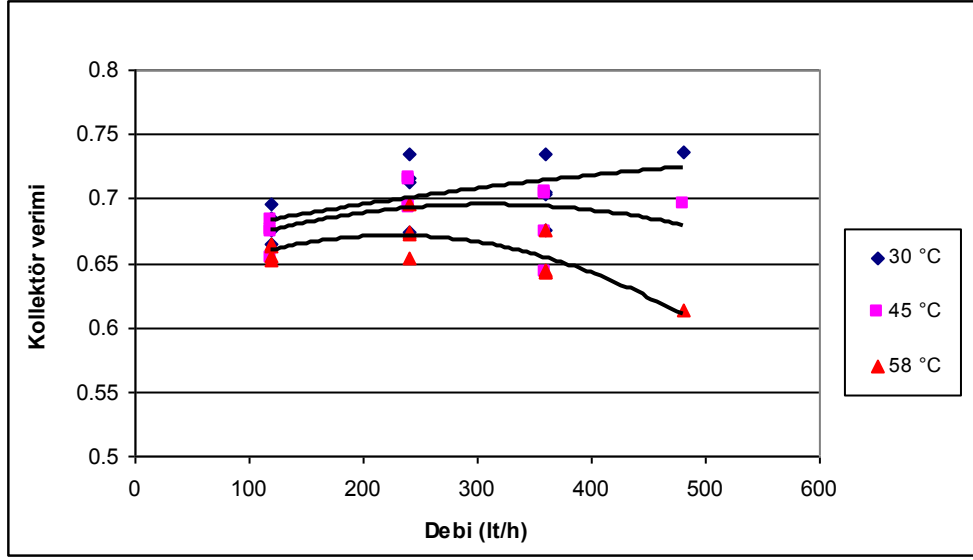


Şekil 4. 12. 360 lt/h debide kollektör veriminin değişimi



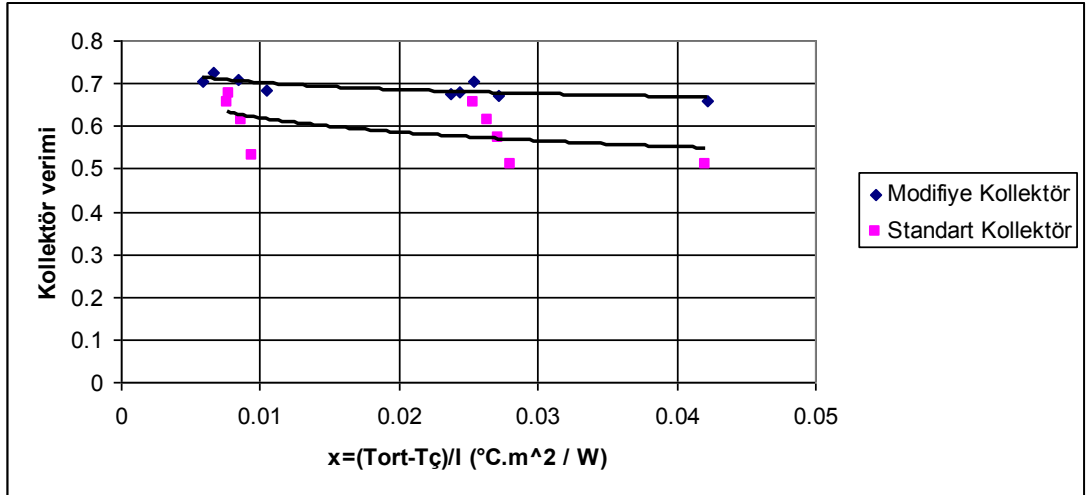
Şekil 4. 13. 480 lt/h debide kollektör veriminin değişimi

Şekil 4.14'de görülen grafikte kıvrılmış şeritli kollektörde verim ile debi arasındaki değişim verilmektedir. Deneyler 30 °C, 45 °C ve 58 °C su giriş sıcaklıklarında yapılmıştır. Debi arttıkça güneş kollektöründeki verim artmaktadır. Şekilde görüldüğü kollektörün çalışma sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı görülmektedir.

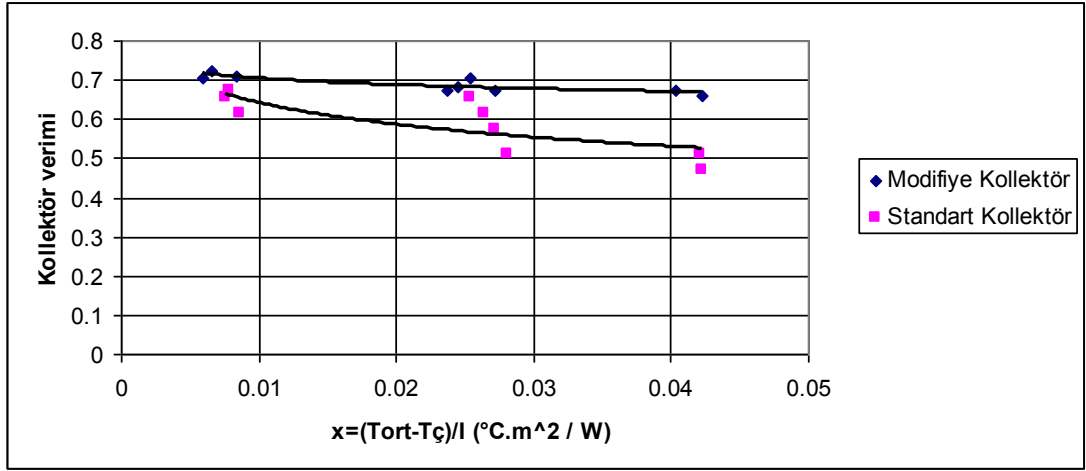


Şekil 4. 14. Kollektöre farklı giriş suyu sıcaklıklarında kollektör veriminin debi ile değişimi

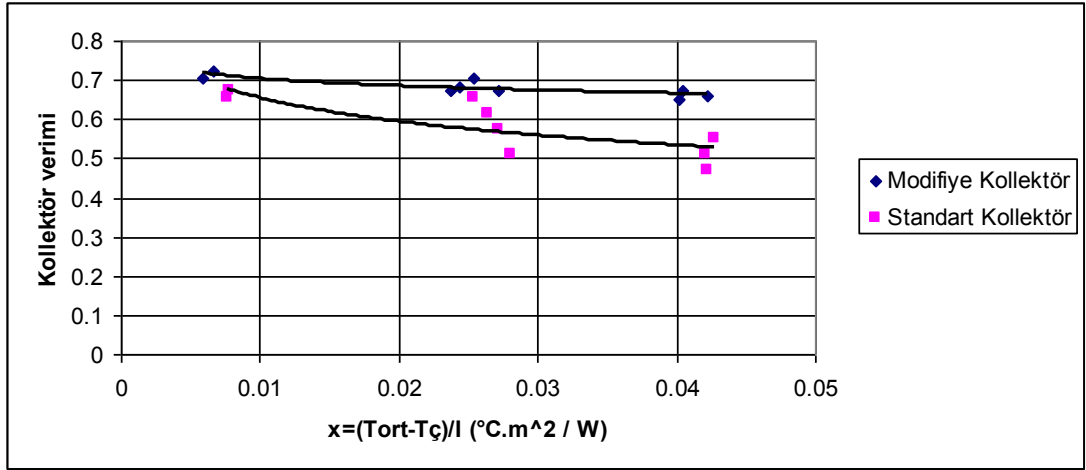
Aşağıda bulunan Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18’de Modifiyeve Standart kollektörlerde verimin değişimi görülmektedir. Modifiyekollektörün veriminin daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Aynı şekilde aşağıdaki Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de her iki kollektörün karşılaştırmalı olarak verimlerinin değişimi görülmektedir.



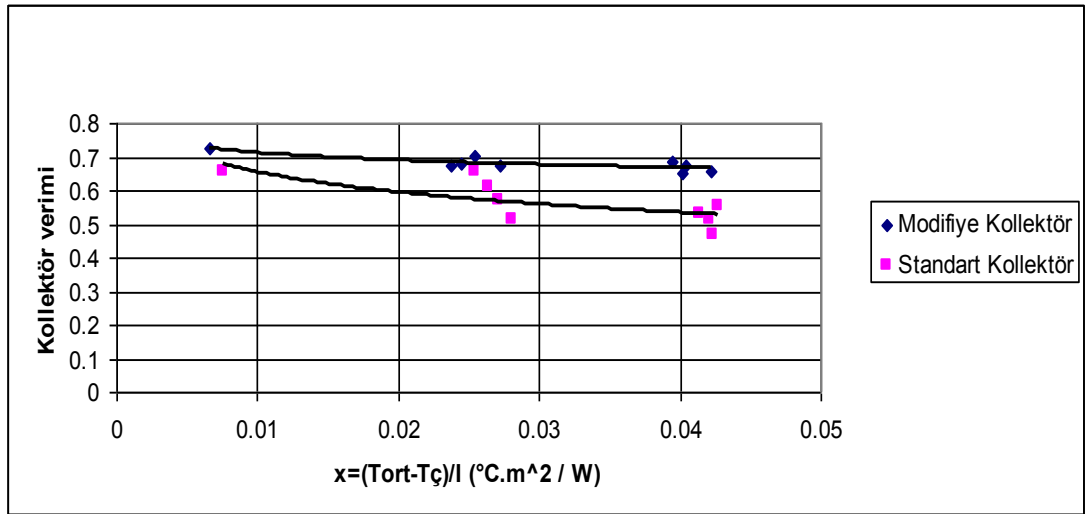
Şekil 4. 15. 120 lt/h debide kollektör veriminin değişimi



Şekil 4. 16. 240 lt/h debide kollektör veriminin değişimi

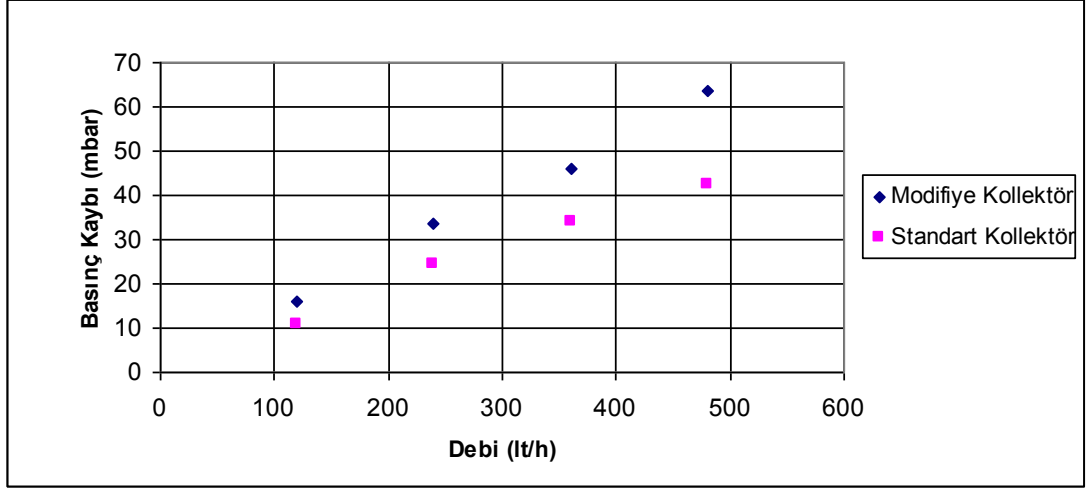


Şekil 4. 17. 360 lt/h debide kollektör veriminin değişimi

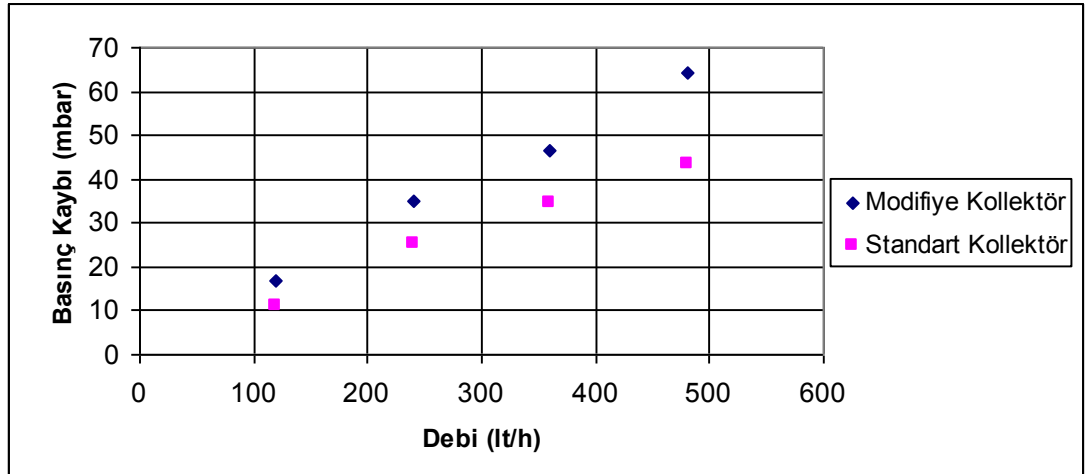


Şekil 4. 18. 480 lt/h debide kollektör veriminin değişimi

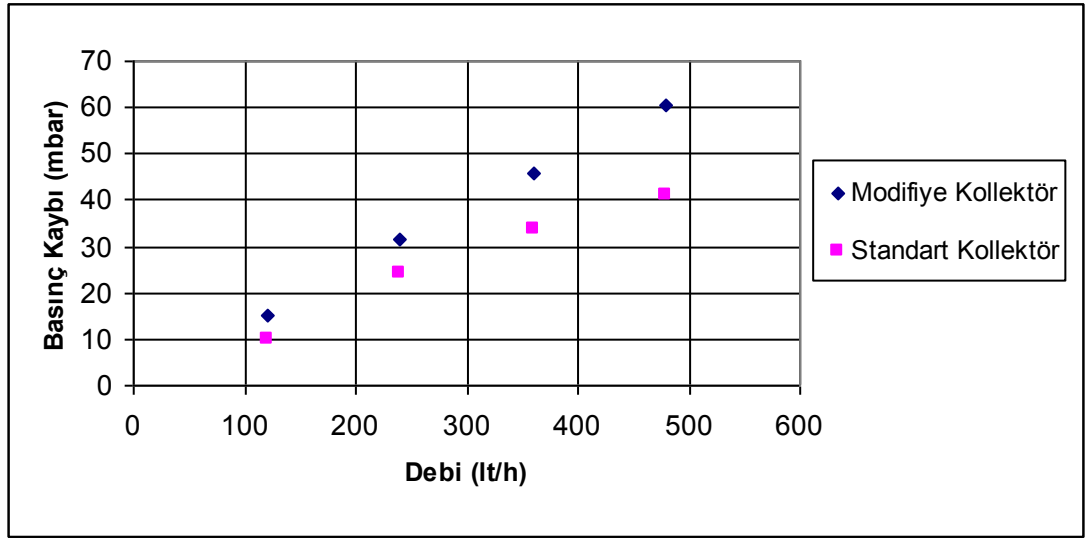
Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21’de 30 °C, 45 °C ve 58 °C sıcaklıklar için basınç kaybı ile debi arasındaki değişim bulunmaktadır. Kıvrılmış şeritli modifiye güneş kollektöründeki basınç kaybı, boş borulu güneş kollektördekenden fazla olduğu görülmektedir.



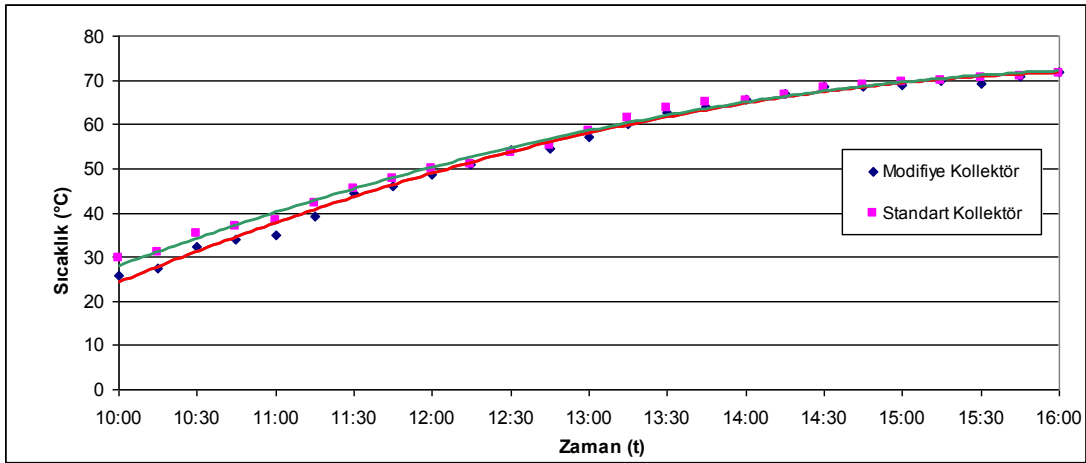
Şekil 4. 19. 30 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi



Şekil 4. 20. 45 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi

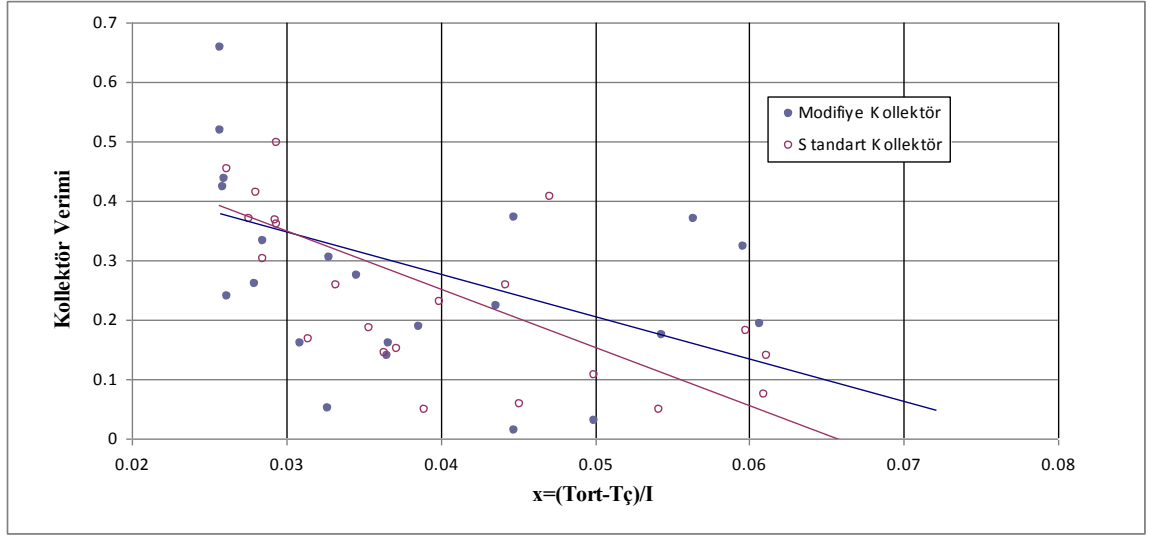


Şekil 4. 21. 58 °C sıcaklıkta debi ile basınç kaybının değişimi



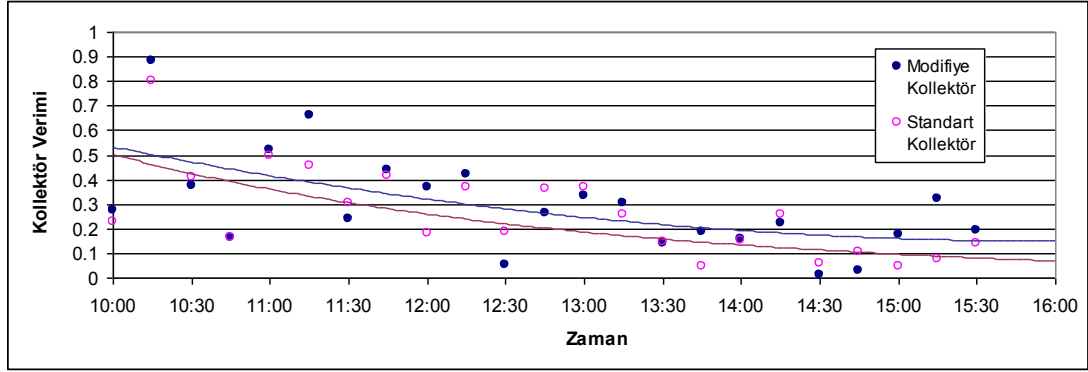
Şekil 4. 22. Depo sıcaklığının deney süresince değişimi

Modifiye ve standart güneş kolektörünün dış ortamdaki depo sıcaklığının deney süresince değişimi Şekil 4.22’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kıvrılmış şeritli güneş kolektörünün depo sıcaklığının boş borulu güneş kolektöründen fazla olduğu görülmektedir. Deneysel çalışma hava şartları nedeniyle 10:00 ile 16:00 aralığında alınan değerlerden oluşmaktadır. Depo sıcaklığının güneşin dik geldiği saatlerde artışı gözlenmektedir. Grafikteki deneysel çalışma 10:00 ile 16:00 arasında veriler elde edilmiştir. 22 Ekim 2011 tarihinde yapılmıştır. Havanın bulutlanıp açması deneysel verilerde değişkenliğe neden olmuştur.



Şekil 4. 23. Modifiye ve Standart kolektörlerin gün içindeki verimleri

Şekil 4.23’ te Modifiye ve Standart kolektörlerin verim ile x arasındaki değişim görülmektedir. Şekil 4.24’de Modifiye kolektör veriminin zamanla değişimi görülmektedir. Ölçümlerin ekim ayı içinde yapıyor olması ve havada ani bulutlanmaların oluşması sıcaklıklarda iniş ve çıkışlar olmasını sağlamıştır.



Şekil 4. 24. Modifiye ve Standart kolektörlerin veriminin deney süresince zamanla değişimi

Hesaplanan kolektör veriminde 10:00 ile 16:00 arasındaki verim değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bu alınan sonuçunlar ile standart kolektörün ortalama verimi % 25, modifiye kolektörün ortalama verimi % 30’ dur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada düzlemsel güneş kolektörlerde ısı transferi artırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde düz borularda, ikinci bölümünde güneş kolektörlerinde çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın birinci kısmında düz borularda yapılan deneyler ile başlanmıştır. Düz boruda boş boru, $y=3.75$, $y=5$, $y=7.5$, $y=10$ kıvrılma oranlarında deneyler yapılmıştır. Boruya giriş suyu sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Çalışmada boru yüzeyine 325 W , 475 W , 590 W sabit ısı akısı olarak uygulanmıştır. Boru içindeki su debisi 30 lt/h , 45 lt/h , 60 lt/h , 75 lt/h ve 100 lt/h olarak akışın laminar ve geçiş bölgesinde olacak şekilde seçilmiştir. Düz boruda ile yapılan deneysel çalışmada, 180 deney sonucundan elde edilen 200'den fazla veri analizlerde kullanılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde ve literatürdeki diğer deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında düz boruda yapılan deneylerin ısı transferinde artış gözle görülür oranda artış sağlamadığı anlaşılmaktadır. Artış oranının çok az olmasının nedeni olarak düz borunun içine yerleştirilen kıvrılmış şeritlerin boruya tam temas etmemiş olmasından kaynakmış olabileceği düşünülmektedir. Literatürdeki yayınlara bakıldığında (Kumar ve Prasad, 2000) ise artış miktarının gözle görülür seviyelerde olduğu görülmektedir.

Güneş kolektörü olarak standart güneş kolektörü ve borular içerisine kıvrılmış şeritler yerleştirilmiş modifiye kolektör kullanılmıştır. Kolektörlerin verim grafiklerini oluşturmak için deneyler hem iç ortamda güneş simülatöründe hem de dış ortamda yapılmıştır.

Güneş simülatöründe yapılan deneylerde kolektöre suyun giriş sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Kolektör su debisi 120 lt/h , 240 lt/h , 360 lt/h ve 480 lt/h giriş suyu debilerde deneyler yapılmıştır. Güneş simülatöründe yapılan deneysel çalışmada, 48 deney sonucundan elde edilen 200'e yakın veri analizlerde kullanılmıştır. Kolektörde dolaşan su debisinin 120 lt/h 'den 480 lt/h 'e doğru

yükseldikçe verimde artış gözlenmektedir. İç ortamda yapılan deneylerde kolektör boruları içerisinde kıvrılmış şerit kullanımının kolektör verimini yaklaşık %15 oranında artırdığı gözlenmiştir.

Dış ortamda yapılan deneysel çalışmada ısı transferi ve verimin modifiye güneş kollektörünün, standart güneş kollektörüne göre daha fazla olduğu görülmektedir. Modifiye güneş kollektörünün standart güneş kollektörüne göre verim artışı % 15 seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçta kollektör borularında kıvrılmış şerit kullanımının verim artışı sağladığını göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmanın Ekim ayı içinde yapılması dış ortam koşullarının değişken (ışınım şiddeti ve dış ortam sıcaklığı) olması sonuçlarda farklılıklar göstermiştir. Yapılan deneylerin kararlı dış ortam sıcaklıkları ve ışınımı oluşturabilecek yaz aylarında yapılması daha fazla veri ile değerlendirme yapılması için daha uygun olacaktır.

Elde edilecek bilgi ve deneyim ülkemizdeki güneş kollektörü imalatçıları tarafından kullanılabilmesi beklenmekte ve bu konuda çalışacak olan araştırmacılara da yarar sağlayacağı umulmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Abdullah, A., H., Abou-Ziyan, H., Z., Ghoneim, A., A., 2003. Thermal performance of flat plate solar collector using various arrangements of compound honeycomb. *Energy Conversion and Management*, 44, 3093-3112.
- Alberto, G., Pedro, G., B., Antonio, V., 2005. Experimental study of heat transfer enhancement with wire coil inserts in laminar-transition-turbulent regimes at different Prandtl numbers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 48, 4640-4651.
- Altınışik, K., 2004. *Uygulamalarla Isı Transferi*. Ankara, Nobel Yayın Dağıtım, 788. Ankara.
- Akhtar, N., Mullick, S.C., 2006. Computation of glass-cover temperatures and top heat loss coefficient of flat-plate solar collectors with double glazing. *Energy*, 32, 7, 1067-1074.
- Akpınar, E.K., 2006. Evaluation of heat transfer and exergy loss in a concentric double pipe exchanger equipped with helical wires. *Energy Conversion and Management*, 47, 3473-3486.
- Behçet, R., 1993. Isı eşanjörüne yerleştirilen konik-halka yüzey elemanları ve helisel yayların ısı transferine etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi , 71, Erzurum.
- Collins, J.T., Conley, C.M., Attig, J.N., 2002. Enhanced heat transfer using wire coil inserts for high heat load applications. 2nd International workshop on mechanical engineering design of collector radiation equipment and instrumentation, September 5-6 2002. 409-419, Argonne Illinois, USA.
- Durmuş, A., Kurtbaş, İ., Gülçimen, F., Durmuş, A., 2002. Akım ortamına yerleştirilen kesik konik türbülatorlerin sabit yüzey sıcaklığına sahip bir tüpde ısı transferi ve ekserji kaybına etkisi. *DEÜ, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4,3, 175-184.
- Eiamsa-ard, S., Promvong, P., 2005. Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators *Sustainable Energy and Green Architecture*, 78, 4, 483-494.
- Eiamsa-ard, S., Thianpong, C., Eiamsa-ard, P., 2010. Turbulent heat transfer enhancement by counter/co-swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, 1225-1233.
- Eiamsa-ard, S., Thianpong, C., Promvong, P., 2006. Experimental investigation of heat transfer and flow friction in a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 34, 53-62.
- Hasim, F., Yoshida, M., Miyashita, H., 2003. Compound heat transfer enhancement by a combination of ribbed tubes with wire coil inserts. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 36, 6, 647-654.

- Hobbi, A.R., 2007. Design of solar water heating systems for cold climate and study of heat transfer enhancement devices in flat plate solar collector. Ms Thesis, Concordia University, 175s., Montreal, Quebec, Canada
- Ho, C.D., Chen, T.C., 2008. Collector efficiency improvement of recyctic double-pass sheet-end-tube solar water heaters with internal fins attached. *Renewable Energy*, 33, 655-664.
- Garcia, A., Solano, J.P., Vicente, P.G., Viedma, A., 2007. Enhancement of laminar and transitional flow heat transfer in tubes by means of wire coil inserts. *International Journal Heat and Mass Transfer*, 50, 3176-3189.
- Kumar, A., Prasad, B.N., 2000. Investigation of twisted tape inserted solar water heaters-heat transfer, friction factor and thermal performance results. *Renewable Energy*, 19, 379-398.
- Liao, Q., Xin, M.D., 1999. Augmentation of convective heat transfer inside tubes with three-dimensional internal extended surfaces an twisted tape inserts. *Chemical Engineering Journal*, 78, 95-105.
- Manglik, R.M., 1991. Heat transfer enhancement of in tube flows in process heat exchangers by means of twisted tape inserts. Ph D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Instute, 399s. Troy, New York, USA.
- Jaisankar, S., Radhakrishnan, T.K., Sheeba, K.N., 2009. Experimental studies on heat transfer and friction factor characterisrics of thermosyphon solar water heater system fitted with spacer at the trailing edge of twisted tapes. *Applied Thermal engineering*, 29,1224-1231.
- Jaisankar, S., Radhakrishan, T.K., Sheeba, K.N., Suresh, S., 2008. Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of thermosyphon solar water heater system fitted left-right twisted tapes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 3, 8, 1091-1103.
- Özgür, A., E., Özsoy, A., 2005, Düzlemsel güneş kollektörlerinde üst yüzeyden olan sıvı kayıplarının azaltılmasında çift cam uygulamasının önemi. *Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 59-63.
- Rahimi, M., Shabanian, S.R., Alsairafi, A.A., 2009. Experimental and CFD studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube equipped with modified twisted tape inserts. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48, 3, 762-770.
- Saha, S.K., Dutta, A., Dhal, S.K., 2001. Frictions and heat transfer characteristics of laminar swirl flow through a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements. *International Journal Heat and Mass Transfer*, 44, 4211-4223.
- Sarma, P.K., Saramanyam, T., Kishore, P.S., Dharma Rao, V., Kakaç, S., 2008. Laminar convective heat transfer whit twisted tape inserts in a tube. *International Journal of Termal Sciences* , 42 ,821-828.
- Sarı, B., 2000. Boru ve kanatlarda ısı taşınım katsayısının artırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, 133 sayfa

- Sivashanmugam, P., Nagarajan, P.K., 2007. Studies on heat transfer friction factor characteristics of laminar flow through a circular tube fitted with right and left helical screw-tape inserts. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, 192-197.
- Şahin, T., 2010. Düzlemsel ve bükülmüş kollektörlerinin deneysel incelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans*, 61, Isparta.
- Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdadal, Y., 1997. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, 151s., Kocaeli.
- Türk Standardları Enstitüsü, 1999. TS EN 12975-1, Isıl güneş enerjisi sistemleri ve bileşenleri, Güneş enerjisi kollektörleri, Bölüm:1 Genel kurallar. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Zerrouiki, A., Boumedien, A., Bouhadek, K., 2002. The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution. *Renewable Energy*, 26, 549-559.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: İsmail İlke KÖSE

Doğum Yeri ve Yılı: Denizli 20.05.1984

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (kurum ve yıl):

Lise: Menemen Anadolu Lisesi (1998-2002)

Lisans: S.D.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi (2004–2008)

S.D.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendislik Bölümü Yandal

Programı (2005-2008)

Çalıştığı kurum/kurumlar ve yıl:

MEB Mesleki Eğitim Merkezi doğalgaz ve doğalgaz iç tesisat kursu (2008-2009)

145 saat

MEB Mesleki Eğitim Merkezi, Soğutma ve İklimlendirme kursu (2008-2009) 250

saat

Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gaz ve Tesisat Teknolojisi Öğretim görevlisi (2009-Halen)

Yayımları (SCI ve diğer makaleler):

1. ŞENCAN, A., KÖSE, İ.İ., SELBAŞ, R., 2011 An adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model for thermophysical properties of new refrigerant. Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 2011, Volume (Issue) 27(2): 275-286.
2. ŞENCAN, A., KÖSE, İ.İ., SELBAŞ, R., 2011. Prediction of thermophysical properties of mixed refrigerants using artificial neural network. Energy Conversion and Management, 52(2), 958-975

