## T.C. ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞITİM ENSTİTÜSÜ

## BORULARDAKİ AKIŞTA ISI TRANSFERİNİN ARTIRILMASI AMACIYLA SPİRAL TEL KULLANIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Kazım PEHLİVAN

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI ISPARTA - 2019 © 2019 [Kazım PEHLİVAN]

### **TEZ ONAYI**

Kazım PEHLİVAN tarafından hazırlanan "Borulardaki Akışta Isı Transferinin Artırılması Amacıyla Spiral Tel Kullanımının Deneysel İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	<b>Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZSOY</b> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniver	sitesi
Jüri Üyesi	<b>Doç. Dr. Murat KORU</b> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniver	sitesi
Jüri Üyesi	<b>Dr. Öğr. Üyesi Tansel KOYUN</b> Süleyman Demirel Üniversitesi	T. Kaun

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

## ТААННÜТNАМЕ

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Kazım PEHLİVAN

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
IÇINDEKILER	i
OZET	
ABSTRACT	
ŞEKILLER DIZINI	V
ÇIZELGELER DIZINI	Viii
SIMGELER VE KISALTMALAR DIZINI	İX
1. GIRIŞ	1
1.1. Borularda Isi Transferini Artirma Yontemleri	
1.2. Duzlemsel Guneș Kollektorleri	
2. KAYNAK OZETLERI	
2.1. Borulardaki Akişta İsi Transferi	
2.2. Duzlemsel Guneș Kollektorlerinde Verim Artirma ile Ilgili Çalişmala	ar 18
3. BORU IÇERISINDEKI AKIŞTA BASINÇ DUŞUMU ve ISI TRANSFERI	
4. DENEYSEL SISTEMLERIN HAZIRLANMASI	
4.1. Duz Borulu Deney Sisteminin Hazirlanişi	
4.2. Deneysel Sistem ve Baglantilarinin Hazirlanmasi	
4.3. Boru Içi Ekipmanlarla Duz Borunun Hazirlanması ve Deneyler	
4.4. Duziemsei Guneș Kollektoru Test Duzeneginin Hazirianmasi	
5. AKAŞTIKMA BULGULAKI VE TAKTIŞMA	
5.1. Duz Borulu Deney Sisteminin Bulgulari	
5.2. Duz Borulardaki Deneyler için Hata Analızı	
5.3. Duziemsei Guneș Kollektorunde Spiral Tel Oygulamasi Deneysei	()
Bulgulari   5.2.1. Curved and a "surved all all all all all all all all all al	
5.3.1. Standart guneş kollektoru deney sonuçları	
5.3.2. Kollektorde çift spiral sargili tel kullanımı deney sonuçları	
5.3.3. Kollektorde spiral tel sargi kullanimi deney sonuçlari	
5.3.4. Duziemsei guneș kollektor deneyi nata analizi	
O. SUNUÇ VE UNEKILEK	
KATNAKLAK	
	ŭ1

#### ÖZET

#### Yüksek Lisans Tezi

## BORULARDAKİ AKIŞTA ISI TRANSFERİNİN ARTIRILMASI AMACIYLA SPİRAL TEL KULLANIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ

## Kazım PEHLİVAN

## Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

## Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZSOY

Bu çalışmada borulardaki akışta ısı transferinin artırılması amacıyla boru içerisinde spiral tel kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak borulardaki akışta ısı transferinin artırılması amacıyla spiral tel kullanımında 5 farklı adım aralığı ve 3 farklı tel çapı incelenmiştir. Deneyler Re sayısının 500 ile 14000 aralığında yapılmıştır. İkinci olarak, düzlemsel günes kollektörlerinde ısı transferinin artırılması amacıyla, çalışmanın ilk kısmındaki deneyimlerden daha uygun olduğu görülen spiral tel konfigürasyonunun kollektör verimine ve basınç düşümüne etkisi incelenmiştir. Borularda yapılan deneysel çalışmada, boru icine uvgulanan spiral tellerin 1s1 transferini artırmakla birlikte önemli ölçüde basınç düşümüne de neden olduğu görülmüştür. İsi transferindeki artışla birlikte değerlendirildiği iyileşme basınc düşümündeki artışın oranı değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. En iyi iyileşme oranı; Ø0.8 mm ve Ø1.2 mm'lik Wire coil icin 10 ve 15mm adım aralıklarının, Ø1.34 mm double spiral wire coil için de 5 ile 10 mm adım aralıklarında gözlenmiştir.

Düzlemsel güneş kollektöründe, kollektör boruları içerisine yerleştirilen 10 mm adım aralığındaki Ø0.8 ve Ø1.2 tel çapı spiral tel sargılar ve yine 10 mm adım aralığındaki Ø1.34 mm tel çapındaki çift spiral tel sargının, kollektör verimine etkisi ayrı ayrı deneysel olarak çalışılmıştır. Deneyler atölye ortamında güneş simülatöründe gerçekleştirilmiştir. Kollektördeki akışkanın kütlesel debisinin kollektör verimine etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla kollektördeki akışkan debisi hem standartta belirtilen birim kollektör alanı için alınması gereken akışkan debisi, hem de gerekli akışkanın 1.5 katı ve 2.25 katı ile deneyler yapılmıştır. Akışkan debisinin artmasıyla kollektör verimindeki artışın yanında kollektördeki basınç düşümünü da arttığı görülmüştür. Çalışma sonuçlarının kollektör üreticileri için yararlı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelime:** Pasif ısı transferi artırma, türbülans oluşturma, spiral tel, güneş kollektörü, kollektör verimi

#### 2019, 81 sayfa

### ABSTRACT

#### **M.Sc. Thesis**

## AN EXPERIMENTAL ANALYZE OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN TUBES BY MEANS OF WIRE COIL INSERTS

## Kazım PEHLİVAN

## Isparta University of Applied Sciences The Institute of Graduate Education Department of Energy Systems Engineering

### Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet ÖZSOY

In this study, the use of wire coil in the pipe has been investigated experimentally in order to increase the heat transfer in the flow in the pipes. Firstly, 5 different pitch range and 3 different wire diameters were investigated in the use of wire coil to increase heat transfer in the pipes. Experiments were carried out with the Re number range of 500 to 14000. Secondly, in order to increase the heat transfer in flat plate solar collectors, the effect of wire coil configuration, which is found to be more suitable according to the experiment results in the first part of the study, to collector efficiency and pressure drop is investigated. In the experimental study, it was seen that the wire coils applied inside the pipe increased the heat transfer but also caused a significant pressure drop. The improvement rate in which the increase in heat transfer and pressure drop evaluated together was used as evaluation criteria. The best rates are observed at 10mm and 15mm pitch range for Ø0.8mm and Ø1.2mm wire coil, and for Ø1.34mm double spiral wire coil it is between at 5mm and 10mm pitch range.

In the flat plate solar collector, effects of the implanted wire coils with diameters of Ø0.8 and Ø1.2 and with a pitch range of 10 mm and Ø1.34 mm double spiral wire coil with a pitch range of 10 mm on the collector efficiency were separately investigated. The experiments were carried out in a solar simulator in the indoor conditions. The effect of the mass flow rate of fluid on the collector efficiency was also investigated. For this purpose, the change in collector efficiency was observed for the standard fluid flow rate of 0.02 kg/sm2 and for the standard flow rate times 1.5 and 2.25. It was observed that the collector efficiency increased with the increase of fluid flow rate. It is thought that the results of the study will be useful for collector manufacturers.

**Keywords:** Passive heat transfer enhancement, turbulence promoter, wire coil, solar collector, collector efficiency

### 2019, 81 pages

## TEŞEKKÜR

Öğretmenlik mesleğinin öğrenilmesinde ara kademelerden biri olan yüksek lisans eğitimimin sonuna doğru, mesleğin ayrıntılarını öğrenmek ve gelecek nesillere daha faydalı olmak için önümde aşmam gereken daha birçok engel olduğunun farkında olarak;

Yüksek lisans eğitimin ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, birlikte çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZSOY'a,

Tez çalışması sırasında destek ve yardımlarını gördüğüm Teknoloji Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Reşat SELBAŞ ile Isparta Karayolları 135. Şube Şefi Adem AYDEMİR ve ailesine,

Araştırmam boyunca eğitim ve öğretim alanında kazandırdıkları ve gelecekte söz sahibi yapacak bilgileri benimle paylaşan Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine ve Mekatronik Mühendisliği Bölümünden Dr. Öğr. Üyesi Melik Ziya YAKUT'a

Tezimin en başından itibaren yazımına kadar hep yanımda olan, insani değerleriyle her zaman destek aldığım, çok değerli ablam Nurhan PEHLİVAN'a,

Hayatımın her anında yaptıkları iyilik ve güzelliklerle beni bugünlere getiren sonsuz ışık kaynaklarım, tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli aileme sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

> Kazım PEHLİVAN ISPARTA, 2019

# ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Pasif ısı transferi artırma yöntemleri	2
Şekil 1.2. Boru yüzeyinde ve içinde kullanılan bazı pasif yöntemler	4
Şekil 1.3. Boru içerisine helisel vida yerleştirilmesi	5
Şekil 1.4. Boru içerisine bilye yerleştirilmesi	5
Şekil 1.5. Dairesel olmayan borular	6
Şekil 1.6. V kesimli bükümlü şerit	6
Şekil 1.7. Boru üzerine eklenmiş kıvrılmış şerit	7
Şekil 1.8. Boru içi akışlarda kullanılan çeşitli pasif ısı transferi artırma yöntemleri	8
Şekil 1.9. Boru içi akışta hız profili (a), ideal ısıl profil (b) ve gerçek ısıl profil (c)	9
Şekil 1.10. Boru içindeki spiral tel sargı	9
Şekil 1.11. Spiral tel sargı	9
Şekil 1.12. Kollektördeki enerji akışı	10
Şekil 2.1. Tel üzerine teflon sarımı	14
Şekil 2.2. Boru içerisine spiral tel yerleştirilmesi	14
Şekil 2.3. Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	15
Şekil 2.4. Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	
Şekil 2.5. Farklı tel adımlarındaki sürtünme katsayısının kütlesel debi ile	
değişimi	17
Şekil 2.6. Düz boru için deneysel ve sayısal sonuçlar	18
Şekil 2.7. Standart ve geliştirilmiş düz plakalı güneş kolektörleri için	
ısıl verim	19
Şekil 2.8. Deney yapılan günlere ait sistemlerin verim grafiği	20
Şekil 2.9. Boru içerisine yerleştirilmiş spiral tel	20
Şekil 2.10. Farklı iki kollektör veriminin gün içindeki değişimi	21
Şekil 2.11. Farklı emici plaka kesitleri	22
Şekil 2.12. Boru içerisinde spiral tel kullanımında Re sayısı ile sürtünme	
katsayısının değişimi	23
Şekil 3.1. Hidrolik olarak tam gelişmiş akış	24
Şekil 3.2. Isıtılmış dairesel boruda akışın ısıl olarak gelişmesi	26
Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kollektöründe optik ve ısıl kayıplar	29
Şekil 3.4. Optik ve ısıl kayıpların kollektör verimine etkisi	29
Şekil 4.1. Krohne Rotametre	30
Şekil 4.2. Sistemin hidrodinamik olarak gelişmiş olması için sistem girişine	!
eklenen bakır boru	
Şekil 4.3. Termokuplların boru üzerine bağlanması ve elektriksel yalıtımı.	31
Şekil 4.4. Autrol APT3100 fark basınç transmitteri	32
Şekil 4.5. Boru içinde spiral tel kullanımı deney düzeneğinin şematik	
görünümü	
Şekil 4.6. Boru içinde spiral tel kullanımı deney düzeneği fotoğrafi	33
Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan borunun ölçüleri	34
Şekil 4.8. İçerisine spiral tel yerleştirilmiş düz boru	35
Şekil 4.9. TS ve boru içi görüntüsü	
Şekil 4.10. Çift spiral tel sargıların görünümü	
Şekil 4.11. Basınç düşümünün ölçüm aralığı	
Şekil 4.12. Veri toplama sisteminin şematik görünüşü	

Şekil 4.13. Hazırlanan deneysel sistemin şematik görünümü	39
Şekil 4.14. Kullanılan boş borulu kollektör	41
Şekil 4.15. İçerisine spiral tel yerleştirilmiş kollektör	41
Şekil 4.16. Tel sargı ve boru içindeki görüntüsü	42
Şekil 4.17. Kollektörün güneş simülatöründe test aşamasındaki görünümü	43
Şekil 5.1. Boş boruda Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	44
Şekil 5.2. Boş boruda sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi	45
Şekil 5.3. Ø0.8 mm TS için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	45
Şekil 5.4. Ø0.8 mm TS için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi	46
Şekil 5.5. Ø0.8 mm TS için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	47
Şekil 5.6. Ø1.2 mm TS için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	47
Şekil 5.7. Ø1.2 mm TS için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi	48
Şekil 5.8. Ø1.2 mm TS için deneysel iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	49
Şekil 5.9. Ø1.34 mm MT için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	50
Şekil 5.10. Ø1.34 mm MT için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi	51
Şekil 5.11. Ø1.34 mm MT için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	51
Şekil 5.12. 5 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	52
Şekil 5.13. 5 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile	
değişimi	53
Şekil 5.14. 5 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	54
Şekil 5.15. 10 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	54
Şekil 5.16. 10 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile	
değişimi	55
Şekil 5.17. 10 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	56
Şekil 5.18. 15 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi	56
Şekil 5.19. 15 mm adım aralığı için surtunme katsayısının Re sayısı ile	
Cabil 5 20, 15 mm adva avališti izi izilarna avanum Da azara ila dažisini	5/
Şekli 5.20. 15 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi	58 
Şekil 5.21. 25 mm adım aralığı için Nu sayısının Ke sayısı ile değişimi	58
Şekii 5.22. 25 inin adım arangı için surtunme katsayısının ke sayısı ne	FO
Colril E 22, 25 mm adım aralığı için iyilgeme oranının Do çayıçı ile değiçimi	39 60
Şekil 5.25. 25 illili dulli di diği için iyleşile ol dilillili ke sayısı ile değişimi	
Solvil 5.24. 55 mm adım aralığı için gürtünme katsayısı De sayısı ile değişini	00 61
Sokil 5.25.35 mm adım aralığı için iyilosmo oranının Po sayısı ile değişimi	01 62
Sekil 5.20. 55 mini admi arangi için iyneşine oranının ke sayısı ne değişinin	02 .61
Sekil 5.27. Standart boş kollektör için kölektör veriminin net be hürüt	07
kollektör alanlarına göre değişimi	65
Sekil 5 29 Standart hos kollektörde farklı dehiler için haşınç düşümü	05 65
Sekil 5 30 Standart boş kollektörde akışkan dehişi ile nomnalama güçü	
değişimi	66
Sekil 5.31. MT icin kollektör net alanına bağlı kollektör verimi	67
Sekil 5.32. MT için farklı kollektör alanlarına göre kollektör verimi	68
Sekil 5.33. MT'nin farklı debilerde kollektördeki basınc düsümüne etkisi	68
Sekil 5.34. MT icin pompalama gücü ve kollektör veriminin akıskan debisi	
ile değişimi	69
Şekil 5.35. TS için net kollektör alanına göre kollektör verimi	69
Şekil 5.36. TS için farklı kollektör alanlarına göre kollektör verimi	70
Şekil 5.37. TS için farklı debilerde kollektördeki basınç düşümü	71

Şekil 5.38. TS için pompalama gücü ve kollektör veriminin akışkan debisiyle	
değişimi	.72



# ÇİZELGELER DİZİNİ

# Sayfa

Cizelge 1.1. Yaygın kullanılan iyilestirme yöntemleri	2
Cizelge 2.1. Test edilen düzlemsel günes kollektörler	21
, Çizelge 4.1. Test ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri	34
, Çizelge 4.2. Üretilen akış karıştırıcıların özellikleri	35
, Cizelge 4.3. Düzlemsel günes kollektörünün teknik özellikleri	42
, Çizelge 4.4. Kollektör için üretilen akış karıştırıcıların özellikleri	42
Çizelge 5.1. Boru içerisine yerleştirilen pasif yöntemlerin iyileşme oranları	62



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

А	Yüzey alanı (m²)
BB	Boş boru
С	Özgül ısı (kj/kg)
d	Çap (m)
е	Tel kalınlığı (mm)
f	Sürtünme katsayısı
$f_0$	Sürtünme katsayısı (boş boru için)
h	Konveksiyonla isi transferi katsayisi (W/m <sup>2</sup> K)
$\mathbf{h}_{rad}$	Işınımla isi transferi katsayısı (W/m²K)
Ι	Isınım siddeti (W/m <sup>2</sup> )
İO	İvilesme oranı
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	Uzunluk (m)
МТ	Cift spiral tel sargi
ṁ	Kütlesel debi (kg/sn)
Nu	Nusselt sayısı
$Nu_0$	Nusselt sayısı (boş boru için)
р	Adım aralığı (mm)
Pr	Prandtl sayısı
Q	Isı akısı (W)
$\mathbf{Q}_{\mathbf{d}}$	Yüzeyde depolanan ışınım
$Q_{\mathrm{f}}$	Akışkana geçen ışınım
Qk	Çevreye kaybolan ışınım
Re	Reynolds sayısı
Т	Sıcaklık (°C)
TS	Spiral tel sargi
U	Toplam ısı transferi katsayısı (W/m²K)
V	Hız (m/sn)
W	Toplam hata oranı
ρ	Yoğunluk (kg/m³)
δ	Isıl sınır tabaka kalınlığı (m)
ΔΤ	Sıcaklık farkı (°C)
η	Kollektör verimi
μ	Dinamik vizkozite (Pa sn)
σ	Stefan Boltzman sabiti
τ	Işınım geçirgenliği

## 1. GİRİŞ

Isi transferini iyileştirme yöntemleri literatürde aktif ve pasif yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Aktif yöntemlerde sisteme dışarıdan bir enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlanmaktadır. Sistemdeki akışkanın veya yüzeyin titreştirilmesi, akışkanın karıştırılması, mekanik yardımcı elemanlar, akustik veya elektrostatik alan uygulamaları aktif yöntemlerden bazılarıdır. Aktif yöntemlerde dışarıdan ilave güç gerektirdiğinden, kullanılacak aktif yöntemin maliyetinde, bu ilave gücün maliyeti de genel değerlendirmede dikkate alınmalıdır. Pasif ısı transferi iyileştirme tekniğinde ise, akışkana hariçten bir enerji verilmeden sistem içerisinde kullanılan yöntemlerin değiştirilmesi ile ısı transferi iyileştirilir. Sistem içerisine yerleştirilen helisel yay, pervane, çeşitli geometrilerdeki türbülatörler, dönmeli akış üreteçleri, akışkan katkı maddeleri kullanımı veya sistem yüzeyinin geniş ve/veya pürüzlü imal edilmesi pasif ısı transferini iyileştirme tekniklerinden bazılarıdır. Endüstriyel uygulamalar için genellikle pasif yöntemler tercih edilmektedir (Güneş, 2009; Saha vd., 1989).

Aktif sistemler, maliyetlerinin yüksek olması ve karşılaşılan problemler sebebiyle ısı transferini iyileştirmede çok fazla tercih edilmemektedir. Bu nedenle araştırmacılar çoğunlukla pasif yöntemleri tercih etmektedirler. Pasif yöntemler uygulandığında ısı transferinde önemli miktarda iyileşmeler gözlemlenirken, sürtünme katsayısının artması sonucu artan basınç düşümü nedeniyle, akışkanı pompalamak için gerekli enerji miktarında büyük bir artış meydana gelmektedir. Pasif iyileştirme yöntemlerinin kullanılması, sistemde çözümlenmesi gereken çeşitli problemler oluşturmaktadır. Bazıları, boru içerisine yerleştirilen spiral tel zamanla sistem içerisinde akışkanın kirlenmesine, türbülatörler ise akış kaynaklı titreşimlerde boru sistemlerinde yorulmalara ve yorulma kaynaklı kırılma ve çatlamalara neden olmaktadır. Kimyasal proseslerde ise akışkanın özelliğine bağlı olarak kirlenme, çökelme gibi problemler meydana gelmektedir. Böylesi durumlar belli bir süre sonra ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir. Çizelge 1.1'de aktif ve pasif yöntemlerde uygulanan işlemler verilmiştir.

1

Pasif Yöntemler	Aktif Yöntemler		
İşlenmiş yüzeyler	Mekanik etkiler		
Çıkıntılı yüzeyler	Yüzeyin titreştirilmesi		
Genişletilmiş yüzeyler	Akışkanın titreştirilmesi		
Sondalar	Elektrostatik alanlar		
Sarmal kıvrılmış borular	Akışkan jeti		
Yüzey gerilimi araçları			
Sıvı akışkanlara katı eklenmesi			
Gaz akışkanlara katı eklenmesi			
Sondalar Sarmal kıvrılmış borular Yüzey gerilimi araçları Sıvı akışkanlara katı eklenmesi Gaz akışkanlara katı eklenmesi	Akışkan jeti		

Çizelge 1.1. Yaygın kullanılan iyileştirme yöntemleri (Bergles, 1997)

Uygulama açısından bakıldığında pasif yöntemlerde çok farklı tipte uygulama bulunmaktadır. Şekil 1.1'de farklı tipteki pasif ısı transferi artırma yöntemlerinin görünümleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Pasif ısı transferi artırma yöntemleri (Galip, 2017)

Mühendislik uygulamalarında kullanılan boru ve kanallardaki akış; ısı değiştiricilerde ve gelişmiş güç reaktörlerinde kullanılmaktadır. Kanal içerisindeki ısı transferinin karakteristiği birçok araştırmada çalışma konusu olarak incelenmiştir. Bu çalışmalardaki amaç, borularda ısı transferini artırmak olduğunda ilave ısı transferi yüzeyi oluşturmak veya kanal içerisinde türbülans yaratmak gerekir. Bunun için kanallar içine veya dışına kanatçıklar ilave edilir (Kızılırmak, 2012).

## 1.1. Borularda Isı Transferini Artırma Yöntemleri

Literatürde bulunan boru içerisinde ısı transferi artırmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; farklı akışkan kullanımı, boru içerisindeki spiral tel kullanımı, boru iç ve dış yüzeyine farklı şekiller vermek, boru içerisine helisel vida, dairesel parçalar, V kesimli bükülmüş şerit, tel fırça veya akışı değiştirici, türbülans oluşturucu elemanlar eklemek veya dairesel olmayan borular kullanımı gibi farklı uygulamalar kullanılmaktadır.

**Farklı akışkan kullanımı:** Bu yöntem boru içerisine yerleştirilen pasif yöntemler ile birlikte akışkan olarak su, etilen glikol, motor yağı, hava, alüminyum oksit, propil glikol, amonyak, azot v.b kullanımıdır. Farklı akışkan kullanımı, akışkanların ısı iletim katsayısının yüksek olmasından dolayı tercih edilmektedir. Bazı çalışmalarda iki veya üç farklı akışkan karıştırılarak ısı transferi artırmada kullanılmıştır. Yun vd. (2007), akışkan olarak azotun kullanıldığı çalışmasında maksimum ısı transferinin % 174 oranında artırdığını görmüştür. Akhavan-Behabadi vd. (2010), ise çalışmalarında akışkan olarak kullanılan yağın sistemdeki sürtünme katsayısını % 22–35 oranında artmıştır.

**Boru içerisindeki spiral tel kullanımı:** Boru içi akışlarda ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla boru içerisine spiral tel yerleştirilir. Spiral telin ısı transferi ve basınç kaybı üzerindeki etkileri telin adım aralığı ile değişmektedir. Diwan ve Sosi'nin (2015), 6–20 mm arasında değişen ve farklı 9 spiral tel adım aralığı ile gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, pasif yöntemlerden biri olan boru içerisine spiral tel yerleştirilmesi, telin adım aralığının azalması ısı transferini artırırken, adım aralığının artması ile de ısı transferi azaltmaktadır. Yun vd. (2007), boru içerisine tel çapı Ø1.5, Ø2.0 ve Ø2.5 mm olan spiral telin yerleştirilmesi, boş boru ile karşılaştırıldığında ısı transferinde % 174 oranında

artış olduğu gözlenmiştir. Garcia vd. (2007), boru içerisine yerleştirilmiş spiral telin ısı transferine olan etkisi, Re sayısının 200 ve altındaki değerleri boş boruya kıyasla ısı transferini artırmadığı, Re sayısı 200–1000 arasında yani laminer bölgede önemli değerde ise artış olduğu görülmüştür.

**Boru iç ve dış yüzeyine farklı şekiller vermek:** Boru yüzeyine farklı geometrik şekiller verip yüzey pürüzlülüğünü artırarak ısı transferi iyileştirme çalışmaları literatürde incelenmiştir. Ravigururajan'ın (1986), çalışmasında (Şekil 1.2), boru yüzeyine farklı şekiller verip boru içerisine de spiral tel yerleştirilerek yapılan deneysel çalışmada, boş boru ve diğer yöntemlere göre boru yüzeyi yarım daire şeklindeki çalışma basınç düşümünü ve ısı transferini artırmıştır. Garda vd. (2011), boru yüzeyine şekil vererek (kıvrımlı ve çukurlu) ve boru içerisine spiral tel yerleştirerek üç farklı yöntem uygulayıp ısı transferindeki değişimin incelenmesi sonucu boru içerisine spiral telin yerleştirilmesi Re sayısı 200–2000 arasında daha iyi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1.2. Boru yüzeyinde ve içinde kullanılan bazı pasif yöntemler (Ravigururajan, 1986)

**Boru içerisine helisel vida yerleştirme:** Boru içerisine yerleştirilen dairesel mil üzerindeki kanatçıklar, delikli kanatçıklar ve mil üzerinde sağ ve sol yönlü helisel uçlar kullanılarak ısı transferi artırılabilir. Urkude ve Farkade (2017), kanatçık kalınlığı 1 mm, vida çapı Ø52 mm ve vida uzunluğu 1.25 m olan bir delikli helisel vidayı (Şekil 1.3) boru içerisine yerleştirerek deneysel inceleme yapmıştır. Mishra ve Bharti (2017), boru içerisine dairesel kanatçıklı vida (Şekil

1.3) yerleştirerek ısı transferinde % 9–11 oranında artma görüldüğü gözlenmiştir.



Şekil 1.3. Boru içerisine helisel vida yerleştirilmesi (Urkude ve Farkade, 2017, Mishra ve Bharti, 2017, Nagarajan ve Sivashanmugam, 2011)

**Boru içerisine dairesel parçalar yerleştirme:** Pasif yöntem tekniklerinden biri olan boru içerisine bilye yerleştirilmesi ısı transferini artırmak için kullanılmaktadır. Bilyenin boru içerisine yerleştirilmesi, sistem içerisindeki akışkanı boru yüzeyine temas ettirerek ısısını bırakmasıdır. Yuan vd. (2018), boru içerisine Ø8, Ø12 ve Ø16 mm çapında bilye (Şekil 1.4) yerleştirerek ısı transferinde 1.26–2.01 kat artma sağlanmıştır.



Şekil 1.4. Boru içerisine bilye yerleştirilmesi (Yuan vd., 2018)

**Dairesel olmayan borular kullanımı:** Pasif yöntemler üçgen, kare, yarım üçgen, yamuk kesitli veya trapez kesit vb. gibi dairesel olmayan borular için ısı

transferindeki iyileşmeler ile ilgili yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Nagayach ve Agrawal (2012), dairesel olmayan borularda ısı transferini incelemiş ve dairesel borulara göre dairesel olmayan boruların (Şekil 1.5) ısı transferine etkisinin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Kare kesitli boruların dairesel borulara göre hacimsel olarak farklı yüzey alanına sahip olması ısı transferindeki iyileşmenin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.5. Dairesel olmayan borular (Nagayach ve Agrawal, 2012)

V kesimli bükülmüş şerit: Farklı büküm oranları ile şeridi keserek geometrik şekiller verip boru içerisine yerleştirerek ısı transferini artırmak için çalışmalar yapılmıştır. Boru içerisine yerleştirilmiş farklı kesimli bükülmüş şeritler, akışkanın boru içerisinden geçiş hızını azaltarak ısı transferinde artış sağlamıştır. Salman vd. (2013), boru içerisine büküm oranı 2.93, 3.91 ve 4.89 ile kesme derinliği 0.5, 1 ve 1.5 cm olan V şeklinde kesilmiş şerit (Şekil 1.6) yerleştirerek ısı transferindeki iyileşmeyi incelenmiştir.



Şekil 1.6. V kesimli bükümlü şerit (Salman vd., 2013)

**Mil üzerine eklenen bükülmüş tel:** Telin, mil üzerine sarılarak boru içerisine yerleştirilmesiyle ısı transferini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalardır. Bhuiya vd. (2012), farklı dört yöntem kullanılarak mil üzerine her cm'sine 100, 150, 200 ve 250 tel sarılıp boru içerisine yerleştirilmesiyle ısı transferindeki iyileşme oranı incelenmiştir. Boru içerisine yerleştirilen bükülmüş telin (Şekil 1.7) görünümü aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.7. Boru üzerine eklenmiş kıvrılmış şerit (Bhuiya vd., 2012)

**Boru içine akışı değiştirecek elemanlar eklemek:** Boru içine dağınık, sargılı, üçgen, kıvrılmış şerit (twisted tape) üzerine spiral tel (wire coil) sarımı ve spiral tel yerleştirme gibi çeşitli isimlerle adlandırılan ve boru içindeki akışın profilini değiştiren elemanlar eklenerek ısı transferi ve dolayısıyla sistem verimi arttırılabilir. Bu elemanlar eklenerek (Şekil 1.8) boru cidarında hareketsiz durumdaki akışa hareket kazandırılır, böylece boş boruya göre daha iyi bir ısı transferi gerçekleştirilebilir.



Şekil 1.8. Boru içi akışlarda kullanılan çeşitli pasif ısı transferi artırma yöntemleri

Boru içi tam gelişmiş laminer akışta hız profili Şekil 1.9.a'daki gibi olup boru cidarında hız sıfırdır. Akış hızı, Re sayısı ile doğru orantılıdır. Boru içindeki akışın laminer olması ve boru cidarında sınır tabaka problemleri nedeniyle ısı transferinde çok daha küçük Nu sayıları oluşur. Bu olumsuz etkiyi azaltmak için boru içi akış karıştırıcısı adı verilen boru içine sargılı, üçgen, kıvrılmış şerit üzerine spiral tel sarımı ve spiral tel yerleştirme gibi elemanlar boru cidarına mümkün olduğunca yakın kullanılarak (boru cidarına temas ederek) cidardaki durağan haldeki akış hareketlendirilir. Böylece akışın  $\delta_t$  ısıl sınır tabaka kalınlığı azaltılarak sahip olduğu ısı profili Şekil 1.9.c'den Şekil 1.9.b'ye mümkün olduğunca yaklaştırılır. Şekil 1.9.c'de gerçekleşen durum ise boru içi laminer akışta oluşan ısıl profilidir. Burada boru yüzeyinden boru merkezine doğru sıcaklık azalır. Bu nedenle dış ortamdan akışkana olan ısı transferi de azalır. Akış karıştırıcı ekipmanlar kullanarak ısıl profil Şekil 1.9.b'ye yani ideale yaklaştırılıp bu sayede akışkana aktarılan ısı miktarı arttırılır.



Şekil 1.9. Boru içi akışta hız profili (a), ideal ısıl profil (b) ve gerçek ısıl profil (c)

Çalışmada kullanılan boru içi elemanlardan olan spiral tel sargı Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Boru içindeki spiral tel sargı

Spiral tel sargılardaki parametreler, d çap, e tel kalınlığı ve p adımdır. Spiral tel sargıların görünümü de Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11. Spiral tel sargı

## 1.2. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla kullanılan sistemdir. Sistem bileşenleri; güneş ışınlarını absorbe ederek çevreye olan ısı kayıplarını azaltan kollektör yüzeyi üzerindeki saydam örtü, kollektörlerde güneş ışınımlarını yutan ve ısı enerjisini borulardaki akışkana aktaran yutucu yüzey, kollektörü soğuk ve sıcaklığa karşı koruyan genellikle cam yünü kullanılan ve iklime göre kalınlığı değişen ısı yalıtımı, güneş enerji sisteminin taşınması, korunması ve bu sistemin estetik görünmesini sağlayan bir kasa ve yutucu yüzey aralarında bulunan kanatçıklarla ısıyı akışkana ileten borulardan oluşmaktadır. Düzlemsel bir kollektördeki enerji akısı Şekil 1.12'de verilmiştir.



Şekil 1.12. Kollektördeki enerji akışı (Öksüz, 2014)

Güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan sistemlerin verimi, bu sistemlerde kullanılacak malzemenin doğru seçimine bağlıdır. Verimi yüksek ve maliyeti düşük kollektör üretmek güneş enerjisi uygulamalarında başlıca amaçtır. Kollektör verimliliği, kollektörün absorbe ettiği kullanılabilir enerji miktarının, kollektörün üzerine düşen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Verimli bir güneş kollektöründe, güneşten gelen ışınımın çoğu yutulmalı, kollektör tarafından ısı kayıpları minimum düzeyde tutularak yutulan ısı, akışkana yüksek oranda iletilebilmelidir. Kollektör verimini etkileyen en önemli parametreler; saydam örtü, yutucu yüzey, kasa malzemesi, akışkan boruları ve aralarındaki uzaklık, yalıtım malzemesi, kollektör eğimi ve yönüdür.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

#### 2.1. Borulardaki Akışta İsi Transferi

Borulardaki ısı transferini artırmak için pasif yöntemlerin kullanılması ısı transferinde dikkate değer artışlar sağlamaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde çok sayıda teorik ve uygulamalı olarak çalışmalar mevcuttur. Araştırmada, hem düz borulardaki ısı transferini hemde düzlemsel güneş kollektörlerindeki kollektör verimini artırmak için deney öncesi hazırlıklar ve deneyler sonucunda elde edilen veriler ile karşılaştırılarak literatürdeki çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Garcia vd. (2005), akışın laminer, geçiş ve türbülanslı bölgelerinde boş boru ve içerisine spiral tel yerleştirilmiş boruda, Re sayısının 80–90000, Pr sayısının ise 2.8–150 arasında değişken hızla ısı transfer özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Altı farklı yöntem kullanarak boş borunun, içerisine spiral tel yerleştirmiş boruya oranla daha az ısı taşıdığı ve sürtünme katsayısının daha az olduğu gözlemlemişlerdir. Geçiş bölgesinde ısı transferinin fazla olduğu, türbülanslı akışta spiral telin yüksek basınç düşümüne neden olduğunu da görülmüş. Sonuç olarak, boş boru, boru içerisine yerleştirilmiş spiral tel ile karşılaştırdığında sabit pompa gücü ile 30000 altındaki Re sayılarında ısı transferinde artış elde edip, spiral telin farklı altı çeşit durumunun analizinde büyük benzerlikler olduğu, geçiş bölgesinde ısı transferinin fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Garcia vd. (2007), akışın laminer, geçiş ve türbülanslı bölgelerdeki ısı transferine etkisini boş boru ve içerisine spiral tel yerleştirilmiş boruda deneysel çalışma yapmışlardır. Sürtünme katsayısının Re sayısına göre değişimini boş ve boru içine yerleştirilen spiral tel ile performansını farklı üç yöntemi inceleyerek karşılaştırmışlardır. Elde edilen deney sonuçlarında, Re sayısının 200'ün altında ısı transferini artırmada etkisi olmadığı, Re 200-700 arasında sürtünme katsayısının düştüğünü görmüşlerdir. Re sayısı 700-2500

12

arasında boş boruda elde edilen verilere göre içerisine spiral tel yerleştirilmiş borunun ısı transferine olan etkisi daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Agrawal vd. (1998), boru içerisine yerleştirilen üç farklı adımda (tel çapının Ø0.6 mm, Ø1 mm ve Ø1.5 mm olduğu durumlarda) spiral telin R-22 akışkanı ve bu akışkanın hızı ile ısı transfer katsayısındaki değişimine yönelik incelemeler yapmışlardır. Çalışmalarında, bir boruyu dört eşit parçaya bölerek boş boru ve boru içerisine yerleştirilen farklı çaplardaki spiral tellerin değişiminin ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, akışkanın hem kütle debisinin hem de tel çapının artmasıyla ısı transfer katsayısının da arttığını görmüşlerdir.

Naphon (2006), Ø1 mm tel çapı ve 7.80 mm adım aralığında boru içerisine spiral tel yerleştirerek ısı transfer katsayısı ve sürtünme katsayısının değişimini deneysel olarak boş boru ile karşılaştırmıştır. Deney sonucunda, ısı transfer katsayısı ve ısı akısının kütle akış oranına bağlı olduğu, Re sayısı arttıkça ısı iletiminde azalma eğilimi olduğu, spiral tel kullanılan borunun boş boruya göre ısı transfer katsayısı ile sürtünme katsayısının arttığını gözlemlemiştir.

Gunes vd. (2010), bir boru içerisindeki ısı transferi ve basınç düşümünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma Re sayısının 1405-26400 aralığında ve boru yüzeyinden uygulanan sabit ısı akısında yapmışlardır. Sabit tel kalınlığı için üç farklı p/d oranı ve spiral telin iki farklı adımı incelemişlerdir. Boru içerisine spiral tel yerleştirmenin ısı transferini artırdığını görmüşlerdir.

Gunes vd. (2011), Taguchi yöntemi ile boru içerisindeki ısı transfer artırma yöntemlerini kullanarak maksimum ısı transferi ve minimum basınç düşüşünü optimize ederek deneysel çalışma yapmışlardır. Tel üzerine teflon sararak (Şekil 2.1), farklı üç tel adımıyla gerçekleştirilen deneylerinde, adım aralığı düşük olan telin ısı transferini artırdığı, Re sayısı arttıkça sürtünme katsayısının da azaldığı deney sonuçlarında gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.1. Tel üzerine teflon sarımı (Güneş vd., 2011)

Desale ve Ghuge (2014), boru içerisine spiral tel yerleştirilmesiyle (Şekil 2.2) ısı transferindeki değişimi incelemişler. Farklı üç adım kullanılarak yaptıkları deneylerinde, Re sayısının küçük olduğu durumlarda (laminer akışta) ısı transferi artarken türbülanslı akışta sürtünme katsayısı azalmaktadır.



Şekil 2.2. Boru içerisine spiral tel yerleştirilmesi (Desale ve Ghuge, 2014)

Garcia vd. (2007), Re sayısı 10–2500 arasında laminer akışta ve geçiş gölgesinde boru içerisine spiral tel yerleştirilerek ısı transferini artırılmasını deneysel olarak incelemişlerdir. 200'ün altındaki Re sayıları içerisinde spiral tel olan pürüzsüz ve boş boruda ısı transferini artırmamış, 200–1000 arasındaki Re değerlerinde ısı transferini önemli ölçüde artırdığı ve Re sayısının 1000 olduğu durumlarda boş boruya göre spiral telin ısı transfer katsayısını sekiz katına kadar çıktığını görmüşlerdir. Sürtünme katsayısı tam gelişmiş laminer akış bölgesinde % 5–40 arasında artmıştır. Şekil 2.3'te deney sonuçları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 2.3. Nu sayısının Re sayısı ile değişimi (Garcia vd., 2007)

Choudhari ve Taji (2013), Re sayısı 4000–13000 arasında bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik malzelerden yapılmış spiral telin farklı üç adım aralığında (5, 10 ve 15 mm) iç çapı Ø17 mm dış çapı ise Ø21,4 mm olan boruların içerisine yerleştirilmesinin ısı transferi ve sürtünme katsayısının değişimine etkisini incelemişlerdir. Boş boru ile kıyasla içerisine yerleştirilen spiral telin ısı transferinde, bakır telde 1.58, alüminyum telde 1.41 ve paslanmaz çelikte 1.31 kat artış olmuştur. Yaptıkları farklı deneylerinde adım aralığı 5 mm olan bakır malzemenin ısı transferine etkisi diğerlerine göre daha yüksek olduğu Şekil 2.4'te görülmektedir. Sürtünme katsayısı spiral telin adım aralığının azalmasıyla artmaktadır.



Şekil 2.4. Nu sayısının Re sayısı ile değişimi (Choudhari ve Taji, 2013)

Yun vd. (2007), akışkan olarak azot kullanılan sistemde, boru içerisine yerleştirilen spiral telin boş boru ile deneysel olarak ısı transferine etkisini karşılaştırmışlardır. Testler, 191 °C doyma sıcaklığında, 58 ila 105 kg/m<sup>2</sup>s'lik kütle akıları ve 22.5 ila 32.7 kW/m<sup>2</sup> arasındaki ısı akısı ile gerçekleşmiştir. Farklı üç adım aralığı ile çalışılarak adım aralığı en az olan mesafenin ve tel kalınlığı büyük olanın maksimum ısı transferini % 174 oranında (adım aralıkları 18.4, 17.6, 36.8 mm ve tel kalınlıkları Ø1.5, Ø2.0 ve Ø2.5 mm) artırmıştır.

Diwan ve Soni (2015), 6–20 mm arasında dokuz farklı adım aralığında tel mesafeleri boş boru ile karşılaştırılarak Nu ve Re sayısındaki değişimi incelemiş ve Şekil 2.5'teki sonuçları bulmuşlardır. Deney veri sonuçlarında, adım mesafesi 6 mm olan spiral telin ısı transferini ve basınç düşümünü artırmıştır. Boru içerisindeki akış hızı arttıkça Re sayısını ve dolayısıyla Nu sayısını artırdığını gözlemlemişlerdir. Adım aralığı 20 mm olan tel ile boş boru kıyaslandığında Re sayısının değerlerine oldukça yakın olduğundan 20 mm adım aralığı ısı transfer arttırma amacı için tercih edilmez. Sürtünme katsayısının maksimum artışı % 12.6 ve Nu sayısındaki artış da maksimum % 330'dur.



Şekil 2.5. Farklı tel adımlarındaki sürtünme katsayısının kütlesel debi ile değişimi (Diwan ve Soni, 2015)

Waghode ve Shende (2016), çalışmalarında iki farklı yöntemi boru içerisinde aynı anda kullanarak Nu sayısı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki deneysel olarak incelemişlerdir. Kıvrılmış şerit üzerine sarılan spiral telin kullanımı, akışkana türbülans oluşturarak ısı aktarım hızında artışa neden olmuştur. Spiral tel çapının artması ve adım mesafesinin azalması Nu sayısının artmasına neden olduğu gözlemlemişlerdir.

Ray ve Jhinge (2014), düz boru içerisine sargılı, üçgen şerit, kıvrılmış şerit üzerine spiral tel sarımı ve spiral tel yerleştirme deneylerini ayrı ayrı yapmışlardır. Sabit pompalama gücünde geçiş bölgesinde ısı transferi % 200'e kadar artırılmıştır. Pürüzsüz boş boru ile karşılaştırdıklarında laminer bölgede ısı transferi artmıştır. Spiral tel kullanımının diğer pasif yöntemlere göre, ısı transferi ve yüksek ısı elde edilmesinde daha etkin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Muñoz-Esparza ve Sanmiguel-Rojas'in (2011), çalışmalarında, boru içerisine spiral tel yerleştirilerek sürtünme katsayısını deneysel olarak incelemiş ve sonuçları da Şekil 2.6'da görülmektedir. Sayısal modellemelerde, Re<500 için sürtünme katsayısında lineer bir düşüş olduğu, 500<Re<600 için sürtünme katsayısının etkin alanında olduğu, 600<Re<850 için sabit hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Akışın 850<Re için laminerden türbalansa geçtiği modelde de görülmüştür. Spiral telin adım aralık oranı (p/d)'nin artmasının sürtünme katsayısının değerini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.6. Düz boru için deneysel ve sayısal sonuçlar (Muñoz-Esparza ve Sanmiguel-Rojas, 2011)

Akhavan-Behabadi vd. (2010), akışkan olarak yağ kullandıkları sistemde, içerisine spiral tel yerleştirilen bakır borunun sürtünme katsayısı ile ısı transfer artışı deneysel olarak araştırmışlardır. Ø2 mm tel çapı için, Re<500'de sürtünme katsayısı değerindeki artış % 22-35 aralığındadır. Adım aralığının azalmasıyla sürtünme katsayısında artış meydana gelmektedir. Ø2 mm çapında spiral tel kulanılan boru, boş boru ile kıyaslandığında Nu sayısı 2.2 kat artarken, çapı Ø3.5 mm olan tele göre ise 3.2 kat artış olduğu gözlemlemişlerdir.

## 2.2. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Verim Artırma ile İlgili Çalışmalar

Literatürde güneş kollektörlerinin verim artırma ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen bazı bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Martín v.d (2011), düzlemsel güneş kollektöründe boru içerisine spiral tel yerleştirilip boş boruya göre verim artışını incelenmişlerdir. Kollektör verimi

için önce boş boru çalışması yapılıp ardından da adım aralığı p/D=1 ve e/D=0,0717 olan spiral tel boru içerisine yerleştirilerek elde ettikleri veriler ile spiral telin ısı transferine olan etkisi karşılaştırmışlardır. Boru içerisinde spiral tel kullanımı Şekil 2.7'de görüldüğü gibi kollektör verimini % 15 oranında artırmıştır.



Şekil 2.7. Standart ve geliştirilmiş düz plakalı güneş kolektörleri için ısıl verim (Martin vd., 2011)

Dağ (2005), düzlemsel güneş kollektörlerinde kullanılan boruların şekilsel olarak değiştirilmesinin verim üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında, klasik dairesel kesitli borulu kollektör ile oval hale getirilmiş borulu kollektör, aynı şartlarda deneysel olarak incelemiştir. Elde ettiği verilere göre, oval borulardan yapılmış kollektörün verimi % 46.34, dairesel kollektörün verimi ise % 43.84 olarak bulmuş olup sonuçlar Şekil 2.8'de görülmektedir. Deney sonucunda, oval kesitli borular dairesel kesitli borulara göre verimin % 5.7 oranında arttığını gözlemlemiştir.



Şekil 2.8. Deney yapılan günlere ait sistemlerin verim grafiği (Dağ, 2005)

Hobbi ve Siddiqui (2009), dört farklı pasif yöntemi düzlemsel güneş kollektörlerinde kullanarak, bu yöntemlerin ısı transferine olan etkisi deneysel olarak incelemişlerdir. Düzlemsel güneş kollektörlerinde, akış hızının az olduğu zamanlarda boru cidarı ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının yüksek olduğu görüldüğünden, akışkanın düşük debilerdeki çalışmalarında ısı transferini artırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada boru içerisine yerleştirilen spiral tel Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Boru içerisine yerleştirilmiş spiral tel (Hobbi ve Siddiqui, 2009)

Chen vd. (2015), polimer malzemelerden üretilen güneş kollektörlerinin verimi deneysel olarak incelemişlerdir. Polimerik kollektörler metal güneş kollektörlerinden % 67.8, şeffaf kaplamalı malzemeden üretilen kollektörlerden ise % 40.3 daha hafiftir. Elde ettikleri deneysel veriler sonucunda polimerik güneş kollektörü veriminin metal güneş kollektörlerine göre % 8–15 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

Şahin (2013), düzlemsel güneş kollektörleri ile saydam yalıtımlı farklı bir güneş kollektörü tasarımı yaparak Isparta'nın verilerine göre verimleri incelemiştir. Bal peteği şeklindeki şeffaf yalıtım malzemesi eklenerek ısıl kayıpların azaltılmasını amaçlamıştır. Her iki sistem için üç farklı debi aralığı ile çalışmıştır. Araştırmasında, düzlemsel güneş kollektörün ortalama verimi % 63, saydam yalıtımlı güneş kollektörün verimi ise % 53 olarak bulmuştur. Elde ettiği verilere göre kollektörün üstten olan kayıpları azaltılmış ancak kollektör verimi düzlemsel güneş kollektörün göre % 10 azaldığı Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10. Farklı iki kollektör veriminin gün içindeki değişimi (Şahin, 2013)

Taze (2010), düzlemsel güneş kollektörlerinde beş farklı kollektör (Çizelge 2.1) üzerinde farklı üç uygulama (boru geçiş sayısı, boru malzemesi ve boru-yutucu plaka birleşim yöntemi) için kollektör verimi incelemiştir.

Çizelge 2.1. Test edilen düzlemsel güneş kollektörler (Taze, 2010)

Özellikler	А	В	С	D	Е
Yüzey Alanı (mmxmm)	930x1930	930x1930	930x1930	930x1937	930x1937
Boru Malzemesi	Cu	Al	Al	Al	Al
Boru Sayısı	8	8	12	10	12

Dış ortamda yaptığı deneylerde kollektör veriminin, boru sayısı artırıldığında % 20, boru imalatında kullanılan alüminyum malzeme yerine bakır kullanımında % 2, boru-yutucu plaka birleşim yöntemiyle ise % 10 arttığını görmüştür.

Özkaya vd. (2007), kollektördeki ısı transferini arttırmak için farklı dört yüzey yapısı (Şekil 2.11) kullanarak verimlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullanılan plaka kesitleri Şekil 2.11'de görülmektedir. Deneysel olarak yapılan araştırmada kollektör verimleri, düz yüzeyli emici plaka % 32.9, boru birleşimi üstte zikzak kanallı emici plaka % 32.1, boru birleşimi ortada zikzak kanallı emici plaka % 36.3, parabolik kanallı emici plakada ise % 26.7 olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri verilere göre, boru birleşimi ortada olan zikzak kanallı emici plakalı kollektörün verimi daha yüksektir. Kollektör üzerine gelen güneş ışınımlarından daha fazla yararlanmak için siyah mat boya yerine ısıyı absorbe eden seçici yüzeyler kullanılması da verimi artırma yönünde etkilemektedir.



Şekil 2.11. Farklı emici plaka kesitleri (Özkaya vd., 2007)

Değirmenci (2006), güneş enerjili düzlemsel kollektörlerde sistemde dolaşan akışkan miktarı, depodaki akışkan sıcaklığına ve verime olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Ø8 mm bakır boru 3.6 lt akışkan kapasitesine sahip kollektör, 28.88 kg/h ile 90 kg/h arasında farklı debilerde deneyler yapmıştır. Farklı debilerdeki çalışmasında optimal akışkan debisi 28.88 kg/h – 39.6 kg/h aralığında ve bu değerler de kollektör verimi % 78–88 arasında değişmektedir, akışkan sıcaklığı ise 38–44 °C'dir.

Huertas vd. (2014), düzlemsel güneş kollektörlerinde, kollektör borularının içerisine spiral tel yerleştirerek farklı iki adım ve tel çapında kollektör verimi ile

basınç düşümünü deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre, laminer bölgede kollektör verimi yüksek olup Re sayısı arttıkça basınç düşümü artmaktadır. Boru içerisine yerleştirilen spiral tel uygulamasındaki sürtünme katsayısının, boş boru ile karşılaştırılması Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Boru içerisinde spiral tel kullanımında Re sayısı ile sürtünme katsayısının değişimi (Huertas vd., 2014)

Özsoy vd. (2014), kollektör verimliliğini artırmak için çift cam kullanımı deneysel olarak incelemişlerdir. Kollektör sıcaklığı ile ortam havası sıcaklığı arasındaki fark 25 °C ve üzerinde olduğu durumlarda çift camlı kollektörün daha verimli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sıcaklık farkı 40 °C olduğunda çift camlı kollektör kullanmak, tek camlı kollektörden % 24 daha verimli olduğunu görmüşlerdir.
## 3. BORU İÇERİSİNDEKİ AKIŞTA BASINÇ DÜŞÜMÜ VE ISI TRANSFERİ

Borular içerisindeki akışta basınç kaybı ve ısı geçişi, akışın türüne (laminer, geçiş veya türbülans) bağlıdır. Bu tez çalışmasında, ısı transferinin iyileştirilmesi hem laminer, hem geçiş hem de türbülanslı akış için deneysel olarak incelenmiştir.

Bir borudaki akışın gelişimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Laminer ve türbülanslı akış bölgelerindeki akışta belirgin farklılıklar vardır. Laminer bölgede, akışkan hareketi çok düzenli ve moleküllerin akış çizgileri boyunca hareket ettikleri gözlenir.



Şekil 3.1. Hidrolik olarak tam gelişmiş akış

Akış başlangıçta laminerdir fakat girişin biraz ötesinde küçük çalkantılar başlayarak giderek şiddetlenir ve türbülanslı akışa geçiş olur. Akışkan içerisindeki düzensiz bu çalkalanmalar geçiş bölgesinde gelişmeye başlar ve akış türbülanslı hale gelir.

Türbülanslı bölgede akışkan hareketi çok düzensiz ve boru içerisindeki akışkanda ani hız ve yön değişimleri gözlenir. Bu düzensiz değişimlerde enerji geçişi hızlanır ve giriş ile herhangi bir nokta arasındaki basınç farkı da artar.

Akışla ilgili çalışmalarda akışın türüne göre giriş bölgesinin uzunluğunun bilinmesi önemlidir. Akış türünün belirlenmesi Re sayısı ile yapılır. Dairesel borulardaki akış için Re sayısı;

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$
(3.1)

olarak tanımlanır. Burada  $\rho$  akışkanın yoğunluğu, v boru kesiti boyunca ortalama akışkan hızı,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesi ve d ise boru çapıdır.

Türbülanslı bölgede akışın kararlı hale gelmesi için giriş uzunluğu Re sayısından bağımsız olarak;

$$10 \le \left(\frac{x}{d}\right)_{tur} \le 60 \tag{3.2}$$

bağlantısından hesaplanabilir. Burada, x akışın kararlı hale gelmesi için gerekli giriş uzunluğu, d ise boru çapıdır.

Laminer akış için hidrodinamik giriş uzunluğu (Tırıs vd., 1997);

$$\frac{L_{h,lam}}{D} \cong 0.05 \text{ Re}$$
(3.3)

bağıntısından ve türbülans akış için hidrodinamik giriş uzunluğu da (Tırıs vd., 1997);

$$\frac{L_{h,tur}}{D} = 1.359 \text{ Re}^{1/4}$$
(3.4)

bağıntısından hesaplanır.

Bu çalışma için deney düzeneği tasarlanırken akışın tam kararlı hale gelmesi için gerekli giriş uzunluğunun sağlanması dikkate alınmıştır. Deney düzeneğinde ölçümlerin hidrodinamik açıdan gelişmiş akış koşullarında yapılmasına dikkat edilmiştir.

**Isı taşınım katsayısının hesaplanması:** Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak, ısı taşınım katsayısı ve buna bağlı olarak Nu sayısı hesaplanmıştır. Dairesel borulardaki akış için Nu sayısı eşitlik (3.5)'den bulunur.

**Isıl gelişme uzunluğu:** Şekil 3.2'de görülen boruya akışkan, boru yüzey sıcaklığından daha düşük sabit bir sıcaklıkta girerse, borudan akışkana ısı geçişi olur. Sıcaklık profilinin tam gelişmiş biçimi, sabit yüzey sıcaklığı veya sabit ısı akısı sınır koşuluna göre farklı olmakla birlikte akışkanın sıcaklığı boru boyunca artar.



Şekil 3.2. Isıtılmış dairesel boruda akışın ısıl olarak gelişmesi

**Borularda basınç düşümü ve sürtünme katsayısı:** Boru içerisindeki akış esnasında, boru ile akışkan arasındaki sürtünme nedeniyle boru boyunca oluşan basınç düşümü, pompa büyüklüğünün belirlenmesinde gereklidir. Basınç düşümünü hesaplamak için Fanning sürtünme katsayısı;

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D} \frac{\rho \, u^2}{2}} \tag{3.6}$$

Tam gelişmiş laminer akışta sürtünme katsayısı sabit bir değer olup, Eşitlik 3.7 ile tanımlanır.

$$f = \frac{64}{Re}$$
(3.7)

Sürtünme katsayısı, boru yüzey pürüzlülüğüne de bağlıdır. Boru yüzey pürüzlülüğüne göre, pürüzsüz yüzeylerde sürtünme katsayısının değerleri

düşürken boru yüzey pürüzlülüğü arttığında ise sürtünme katsayısı değeri de artar.

**Debi ve hız ölçümü:** Debinin ölçülmesi çoğunlukla akış hızı ölçülerek yapılmakta olup, çoğu akış ölçerler bu amaç için kullanılan basit hız ölçerlerdir. Bu çalışmada, akan akışkanın debisini belirlemek için hem debimetre kullanılmış, hem de ölçülü bir kabın dolum zamanı kaydedilerek kontrol edilmiştir.

**İyileşme oranı:** Boru içi akışlarda pasif ısı transferi artırma yöntemlerinin kullanılması durumunda, Nu sayısındaki artışın, basınç düşümündeki artışa oranı iyileşme oranı (İO) olarak ifade edilmiştir. Pasif yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar, boş boru ile karşılaştırılarak iyileşme oranı Eşitlik (3.8)'dan bulunur.

$$i0 = \frac{Nu_{Nu_0}}{(f_{f_0})^{1/3}}$$
(3.8)

**Hata analizi:** Deneysel çalışmada kullanılan cihazların ölçüm hassasiyetlerinden faydalanılarak elde edilen verilerin hesaplanması sonucu yapılmış olan analizlerdeki hata Eşitlik 3.9 ile hesaplanmıştır.

$$W_{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\partial_{y}}{\partial_{\dot{m}}} W_{m}\right)^{2} + \left(\frac{\partial_{y}}{\partial_{\Delta T}} W_{\Delta T}\right)^{2} + \left(\frac{\partial_{y}}{\partial_{I}} W_{I}\right)^{2}}$$
(3.9)

Burada; m kütlesel debi ölçümlerini, T sıcaklık ölçümlerini ve I ışınım şiddeti ölçümlerini ifade etmektedir.

Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Teorik Analizi: Kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüden yansır, bir kısmı ise yutulur. Yutucu yüzeye gelen ışınımın, bir kısmı taşıyıcı akışkana geçerken, bir kısmı yüzeyde depolanır, geri kalan kısmı da çevreye yansıtılır. Güneş kollektörlerinde meydana gelen ısı kayıpları, güneş ışınımı şiddeti, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı, saydam örtü sayısı ve özellikleri, yutucu yüzeyin ışınım yutma ve yayma değeri, emici yüzey ısı iletim katsayısı, yalıtım malzemesinin cinsi ve kalınlığı gibi etmenlere bağlıdır. Tüm değişkenler dikkate alınarak kollektörün ısıl analizi yapılmalıdır.

Akışkana aktarılan faydalı enerji ise Eşitlik 3.10'dan bulunur.

$$Q = \dot{m} C_{p} \Delta T \tag{3.10}$$

Anlık kollektör verimi ise 3.11 eşitliğinden bulunur.

$$\eta = \frac{\dot{m} \, c_p \, \Delta T}{A \, I} \tag{3.11}$$

Kollektördeki basınç düşümüne karşılık gelen gerekli pompalama gücü PG (W) Eşitlik 3.12'den bulunur.

$$PG = \dot{V} \Delta P \tag{3.12}$$

Burada,  $\Delta P$  (Pa) deneysel çalışmada kollektör girişi ile çıkışı arasında ölçülen basınç düşümünü,  $\dot{V}$  (m<sup>3</sup>/s) hacimsel debiyi ifade etmektedir.

Kollektör verimi, optik ve ısıl performans olarak iki bölümde açıklanmaktadır. Kollektörün optik performansı; ışınım, yansıma ve yutucu plaka tarafından yutulan ışınım miktarını kapsar. Kollektörün ısıl peformansı ise ısı transfer ortamı ile güneş kollektörü arasındaki kayıplarını içerir. Şekil 3.3'te kollektörde meydana gelen optik ve ısıl kayıplar ile faydalı ısı şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kollektöründe optik ve ısıl kayıplar (Galip, 2017)

Kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı konveksiyonla bir kısmı da ışınımla kaybolur. Şekil 3.4'te optik ve ısıl kayıpların kollektör verimine etkisi görülmektedir.



Şekil 3.4. Optik ve ısıl kayıpların kollektör verimine etkisi (Galip, 2017)

## 4. DENEYSEL SİSTEMLERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada zorlanmış akışta, boru yüzeyinden uygulanan sabit ısı akısı altında, boru içerisine spiral tel yerleştirilmesinin ısı transferine etkisi farklı iki deneysel çalışmada incelenmiştir. Birinci deneyde, pasif yöntemlerden biri olan boru içerisinde spiral tel kullanımının ısı transferine etkisi, ikinci deneyde ise güneş kollektörlerinde kollektör borularında spiral tel kullanımının kollektör verimine etkisi incelenmiştir.

## 4.1. Düz Borulu Deney Sisteminin Hazırlanışı

Isi transferini artırmak amacıyla boru içinde spiral tel kullanımıyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelenip, laboratuvar ortamında deney sistemi hazırlanmıştır. Düz borulardaki deneysel çalışmalar, 1800 mm uzunluğunda ve çapı Ø18 mm olan bakır boruda yapılmıştır. Kapalı sistem olarak tasarlanan çevrimde, gerekli olan akışkan 100 litre kapasiteli bir depo ile sağlanmıştır. Sistemde sürekli olarak dolaşan akışkanın dolaşımını sağlayan iki kademeli Grundfos pompa, depo çıkışına bağlanmıştır. Akışkan debisi Krohne rotametre (debimetre) ile (Şekil 4.1) ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Krohne Rotametre

Boru içerisindeki akışta, akışın hidrodinamik olarak gelişmiş olması için çalışılan boru öncesine 2000 mm uzunluğunda Ø18 mm çapında bakır boru (Şekil 4.2) bağlanmıştır.



Şekil 4.2. Sistemin hidrodinamik olarak gelişmiş olması için sistem girişine eklenen bakır boru

Sistemdeki sıcaklık değişimi, borunun giriş ve çıkışına bağlanılan Pt100 sıcaklık ölçme elemanı ile ölçülerek bilgisayar ortamında kayda alınmıştır. Deney borusu olarak kullanılan 1800 mm uzunluktaki boru üzerine 7 adet K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Bu termokuplların üzeri yanmaz bant ile izole edilmiştir (Şekil 4.3). Bantın üzeri, elektrik enerjisiyle ısı verilecek 10 mm adım aralığında yassı rezistans ile sarılmıştır. Isı kaybını en aza indirmek için boru üzeri ısı yalıtım malzemesi ile sarılmıştır.



Şekil 4.3. Termokuplların boru üzerine bağlanması ve elektriksel yalıtımı

Boru içerisindeki basınç düşümü, akışkanın sisteme giriş ve çıkışından Autrol APT3100 marka fark basınç transmitteri (Şekil 4.4) yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 4.4. Autrol APT3100 fark basınç transmitteri

Sistemden çıkan akışkan sıcaklığını sisteme giriş sıcaklığına yakın bir değere getirmek amacıyla, sistemdeki depo sıcaklığının sabit bir değerde kalması için sistem çıkışına plakalı bir ısı değiştirici bağlanmıştır.

Sistemdeki akışkanın ısıtılması, boru üzerine sarılan rezistans teli ile ve istenilen sabit ısı akısının sağlanması da elektrik gücünü ayarlayabilen Varyak ile sağlanmıştır. İstenilen farklı gerilimlerde ayarlanan elektriksel güç, Wattmetre'den okunarak kaydedilmiştir.

# 4.2. Deneysel Sistem ve Bağlantılarının Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında hazırlanan test düzeneği Şekil 4.5'te ve fotoğrafı da Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Boru içinde spiral tel kullanımı deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 4.6. Boru içinde spiral tel kullanımı deney düzeneği fotoğrafı

Test düzeneğinde, boru yüzeyinden ısı akısı uygulamak için boru üzerine sarılan rezistans telinin elektrik gücünü değişken kademelerde ayarlanabilen Varyak (ayarlı trafo) ile rezistans teline elektrik enerjisi verilmiştir. Sisteme verilen elektrik enerjisinin değerleri Wattmetre'den görülmektedir. Ayrıca sisteme gönderilen akışkan sıcaklığını istenilen değerde sabit tutmak için sistem çıkışında plakalı ısı değiştirici kullanılmıştır. Isı değiştiricisinden çıkan akışkan depoya gönderilerek depo çıkışındaki pompa yardımı ile sisteme gönderilmiştir. Sistemde dolaşan akışkan debisi Krohne marka rotametre aracılığıyla, boru içerisindeki basınç düşümü de sistemin giriş ve çıkışından fark basınç transmitteri (Autrol APT3100) yardımı ile ölçülmüştür. Sistemde kullanılan borunun giriş ve çıkışındaki akışkan sıcaklıkları Pt100 tipi sıcaklık ölçme elemanları ile ölçülmüştür. Sistemden çıkan akışkan sıcaklığını sistemin giriş sıcaklığına yakın bir değere getirmek amacıyla plakalı ısı değiştirici kullanılarak depo sıcaklığının sabit bir değerde kalması sağlanmıştır. Test edilen sistemin ortam sıcaklığı ile boru yüzey alanının sıcaklıkları K ve Pt100 ile ölçülerek, verilerin kaydedilmesinde Ahlborn Almemo 5690–2 veri kaydedicisinden yararlanılmıştır. Kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Cihaz	Kullanım amacı	Hassasiyet
Pt100	Akışkan sıcaklık ölçümü	± 0.05 °C
K tipi termokupl	Çevre sıcaklığı ölçümü	± 0.1 °C
Krohne hacimsel debimetre	Akış debi ölçümü (63-600 l/h)	± 1.16
Autrol APT3100	Basınç farkı ölçümü	± 0.075

Çizelge 4.1. Test ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri

# 4.3. Boru İçi Ekipmanlarla Düz Borunun Hazırlanması ve Deneyler

Çalışmada kullanılan boru Şekil 4.7'de görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Boru girişi ve çıkışına 1/2" T bağlanarak bir ucuna sıcaklık ölçer Pt100 bağlanmıştır. Çalışmada; boş, spiral tel sargılı ve çift spiral tel sargılı 3 farklı pasif yöntem Çizelge 4.2'de verilen 5 farklı adım aralığı ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan tanımlamalar aşağıda verilmiştir:

## BOŞ: Düz boruda boş borulu sistem

- TS : Düz boruda spiral tel sargı kullanılan sistem
- MT : Düz boruda çift spiral tel sargı kullanılan sistem





Çalışmada kullanılan içerisine spiral tel yerleştirilmiş düz boru ise Şekil 4.8'deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 4.8. İçerisine spiral tel yerleştirilmiş düz boru

Kullanılan boru bakır olup; iç çapı Ø16 mm, dış çapı Ø18 mm ve et kalınlığı 1 mm'dir. Kullanılan akış karıştırıcı elemanların spiral telin dış çapı (d), adım aralığı (p) ve tel kalınlığı (e) Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Kullanılan eleman	p (mm)	d (mm)	e (mm)
	5	16	0,80
	10	16	0,80
Spiral tel sargi	15	16	0,80
(13)	25	16	0,80
	35	16	0,80
	5	16	1,20
Spiral tel sargı (TS)	10	16	1,20
	15	16	1,20
	25	16	1,20
	35	16	1,20
Çift spiral tel sargı (MT)	5	16	1,34
	10	16	1,34
	15	16	1,34
	25	16	1,34
	35	16	1,34

Çizelge 4.2. Üretilen akış karıştırıcıların özellikleri

Ø0.8 mm ve Ø1.2 mm olan TS'ler boru iç çapına uygun olacak şekilde çelik miller üzerine seçilen dönüş adımına göre sarılmış ve sargılı mil boru içerisine yerleştirildikten sonra yavaşça gevşetilerek tellerin boru iç yüzeyine yay etkisi ile teması sağlanmıştır. Ø0.8 mm tel çapı olan TS Ø12 mm'lik ve Ø1.2 mm tel çapı olan TS'de Ø14 mm'lik mil üzerine sarılarak boru içine yerleştirilmiştir (Şekil 4.9). Ø1.34 mm çift sargılı olan tel de benzer şekilde Ø13 mm mil kullanılarak oluşturulan MT'nin sargılı görünümü de Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. TS ve boru içi görüntüsü



Şekil 4.10. Çift spiral tel sargıların görünümü

**Debi ölçümü:** Şekil 4.4'te gösterilen Krohne marka 5–40 l/h ve 63–630 l/h kapasiteli debimetreler kullanılarak debi ölçümü ayrı ayrı yapılmıştır. 25–440

l/h aralığında farklı 17 debi değerleri kullanılarak debi ölçümü ve debimetrenin kalibrasyonu yapılmıştır

**Sıcaklık ölçümü:** K ve Pt100 tipi elemanlarla sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Boru dış yüzey sıcaklığının değişik noktalarda ölçülebilmesi için termokupllar, boru dış yüzeyine Şekil 4.3'te gösterildiği gibi bağlanmıştır. Termokuplların konumları da Şekil 4.11'de verilmiştir. Termokuplların bağlantısı yapılırken boru yüzeyi ile iyi bir temasının sağlanmasına dikkat edilmiştir.

**Basınç düşümü ölçümü:** Isı transferi artırılması için boru içerisine yerleştirilen spiral tellerin neden olduğu basınç düşümü, fark basınç ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Basınç düşümü Şekil 4.11'de gösterilen A ve B noktaları arasında yapılmışıtr. Deneyde, boru içerisinde akışkan olarak su kullanılan basınç farkının da Pa cinsinden ve doğrudan okunabildiği Autrol APT3100 kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Basınç düşümünün ölçüm aralığı

**Sürtünme katsayısı:** Giriş ve çıkışı arasında 1800 mm mesafe bulunan boru içerisinde ölçülen basınç farkı ve akışkan (su) debisi yardımıyla Eşitlik 3.7 kullanılarak sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.

**Boruya uygulanan elektriksel güç:** Boru içerisinden geçen akışkana ısı enerjisini vermek için, boru üzeri yassı rezistans ile sarılıp varyak bağlantısıyla istenilen güçte gerilim uygulanarak önce boru ardından da boru içerisinden geçen akışkan ısıtılmıştır. Boruya uygulanan elektriksel güç ise bir Wattmetre kullanılarak ölçülmüştür.

**Veri toplama ünitesi:** Veri toplayıcı olarak E–680 serisi 16 bit hassasiyetli Elimko veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Pt100 ve K tipi sıcaklık ölçülebilmektedir. Veri toplama sisteminin ara birimi, 32 kanallı analog ve dijital giriş ve çıkış kapasitesine sahiptir. Veriler ASCII karakterler cinsinden RS 485 seri bağlantı ile bilgisayara iletilmektedir. Veri toplama ünitesinin çalışması şematik olarak Şekil 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.12. Veri toplama sisteminin şematik görünüşü

**Deneylerin yapılışı:** Sabit ısı akısı sınır şartlarında deneyler 4 parametre değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Bunlar; debi, spiral tel adımı, tel çapı ve ısı akısıdır. Isı transferini arttırmaya yönelik deneylerde boruya uygulanan elektrik gücü, akışkanın sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları, ısıtılan boru boyunca belirli noktalardaki boru dış cidar sıcaklıkları, akışkan debisi ve boruda oluşan basınç düşümü ölçülmüştür. Deneyler 160–2600 W ısı akısı ve 500–17000 Re sayısı aralığında yapılmıştır. 17 farklı debi, 5 farklı adım, 3 farklı tel çapı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler yapılırken önce varyak ile sabit bir elektriksel gerilim boruya üzerinden uygulanmış ve bu sabit ısı akısında, sisteme bağlı akışkan kontrol vanası yardımıyla debi ayarlanmıştır. Deneyin başlangıcından itibaren, veri toplama ünitesi yardımıyla boru dış yüzey sıcaklıkları, suyun giriş ile çıkış sıcaklıkları ve boru üzerinden uygulanan ısı akısı ile çalışılan bölgedeki basınç düşümü ölçülmüştür.

### 4.4. Düzlemsel Güneş Kollektörü Test Düzeneğinin Hazırlanması

Güneş kollektörlerinin dış ortam şartlarında test edilmesinde dış ortam sıcaklığı ve ışınım şiddeti gibi kollektör verimini doğrudan etkileyen etmenlerin sabit

olmaması veya zamanla değişmesi nedeniyle sağlıklı veri alınmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Güneş kollektörlerinin değişken dış ortam şartlarından etkilenmeden sabit şartlarda test edilebilmesi ancak laboratuvar ortamında bulunan güneş simülatörlerinde yapılabilmektedir.

Güneş kollektörlerinde sabit sıcaklık ısıl performans deneyleri, sabit ışınım şiddeti ve akışkan debisinde kollektöre giren akışkan sıcaklığı değiştirilerek yapılır. TS EN ISO 9806 standardına göre (TSE) iç ortam performans testlerinde ışınım değeri 700 W/m<sup>2</sup>'den büyük olmalı, akışkan debisi 0.02 kg/s m<sup>2</sup>, rüzgâr hızı 1–4 m/s olmalıdır. Bu amaçla daha önceden hazırlanmış olan güneş simülatörü kullanılmış ve hazırlanan test düzeneği Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13. Hazırlanan deneysel sistemin şematik görünümü

Test düzeneğinde, kollektöre gönderilen akışkan sıcaklığını istenilen değerde sabit tutmak için 60 lt kapasiteli bir elektrikli termosifon kullanılmıştır. Termosifondan alınan su bir pompa yardımıyla sisteme gönderilmiştir. Kollektöre giren ve çıkan akışkan sıcaklıkları Pt100 tipi sıcaklık ölçme elemanlarıyla, sistemde dolaşan akışkan debisi de Krohne marka rotametre ve kollektördeki basınç düşümü ise boru giriş ve çıkışlarında fark basınç transmitteri yardımıyla ölçülmüştür. Kollektörden çıkan akışkan sıcaklığını kollektör giriş sıcaklığına yakın bir değere getirmek amacıyla plakalı bir ısı değiştirici kullanılarak depo sıcaklığının sabit bir değerde kalması sağlanmıştır. Test edilen kollektörün alt ve üst bölgelerine yerleştirilen K tipi termokupllarla ortam sıcaklığı ölçülmüştür. K ve Pt100 tipi elemanlarla yapılan sıcaklık ölçümlerinde Ahlborn Almemo 5690-2 veri kaydedici kullanılmıştır. Kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

TS EN ISO 9806 standardına göre ve kollektör alt–üst sıcaklıklarının eşitlenmesi ve simülatörden kollektör üzerine lambalardan gelen ısı akısını önlemek amacıyla hava perdesi oluşturulmuştur. Kullanılan fan ile test alanı üzerinde ortalama 1.5 m/s hava hızı sağlandığı Testo 445 hava hızı ölçer ile görülmüştür.

Düzlemsel güneş kollektörü çalışmasında kullanılan kollektör iki borulu ve paralel akışlı olarak Şekil 4.14'teki gibi tasarlanmıştır. Kollektörün dağıtım ve toplama hatları 20x1 mm ve levha üzerindeki kısımları 10x1 mm bakır borudan yapılmıştır. Kollektör içerisindeki boruların uzunlukları 1600 mm olarak ölçülmüş ve buna uygun olarak levha üzerindeki boruların 1500 mm'lik kısmına da akış karıştırıcı elemanlar yerleştirilmiştir. Ayrıca kollektör giriş-çıkış bağlantısı için 1/2" nipel kaynaklanmıştır. Köllektör ölçüleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çalışmada; borular içine herhangi bir uygulama yapılmamış standart kollektör ve farklı spiral tel uygulanmış 3 farklı pasif yöntem Çizelge 4.4'te kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kollektörün tanımlamaları aşağıda verilmiştir.

BOŞ: İki borulu standart kollektör (Boş borulu)

- TS : Kollektörde spiral tel sargı kullanıldığı durum
- MT : Kollektörde çift spiral tel sargı kullanıldığı durum



Şekil 4.14. Kullanılan boş borulu kollektör

Düzlemsel güneş kollektörü çalışmasında kullanılan içerisine spiral tel yerleştirilmiş kollektör ise Şekil 4.15'deki gibi tasarlanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi kollektör boruları içine spiral tel yerleştirilmiş, dağıtım ve toplama boruları içine yerleştirilmesine gerek görülmemiştir.



Şekil 4.15. İçerisine spiral tel yerleştirilmiş kollektör

Kollektörde kullanılan bakır borunun iç çapı Ø8 mm, dış çapı Ø10 mm, boru et kalınlığı 1 mm'dir. Kullanılan akış karıştırıcı elemanların tel çapı (d), adım

aralığı (p) ve tel kalınlığı (e) Çizelge 4.4'te ve deneylerde kullanılan düzlemsel güneş kollektörünün teknik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Kollektör (brüt)	Genişlik (cm)	38
	Uzunluk (cm)	196
Kollektör (net)	Genişlik (cm)	27
	Uzunluk (cm)	183
Kollektör brüt alanı (m <sup>2</sup> )	0.7448	
Kollektör net alanı (m <sup>2</sup> )	0.4941	

Çizelge 4.3. Düzlemsel güneş kollektörünün teknik özellikleri

Çizelge 4.4. Kollektör için üretilen akış karıştırıcıların özellikleri

Kullanılan eleman	p (mm)	d (mm)	e (mm)
Spiral tel sargı (TS)	10.0	8.0	0.80
Spiral tel sargı (TS)	10.0	8.0	1.20
Çift spiral tel sargı (MT)	10.0	8.0	1.34

Ø0.8 mm ve Ø1.2 mm olan TS'ler boru iç çapına uygun olacak şekilde çelik miller üzerine seçilen dönüş adımına göre sarılmış ve sargılı mil boru içerisine yerleştirildikten sonra yavaşça gevşetilerek tellerin boru iç yüzeyine yay etkisi ile teması sağlanmıştır. Çelik mil üzerine sarılmış TS'nin boru içerisine yerleştirilmesi Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16. Tel sargı ve boru içindeki görüntüsü

Güneş kollektörünün verim eğrilerinin oluşturulması için yapılan testlerde deneyler 3 farklı debide ve kollektöre giriş sıcaklığı 25 °C ile 80 °C arasında 4 farklı kollektör giriş sıcaklığında yapılmış, ölçümler standarda uygun olarak dörder defa tekrarlanmıştır. Kollektörde akışkan debisi standarda uygun olarak kollektör açıklık alanına göre belirlenmiştir. Akışkan debisiyle kollektör veriminin değişimini incelemek amacıyla hem standart debide (1.0m), hem de standart debinin % 50 ve % 125 artırılmış miktarı (1.5m, 2.25m) ile yapılmıştır. Kollektörün test düzeneğindeki görünümü Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Kollektörün güneş simülatöründe test aşamasındaki görünümü

#### **5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA**

### 5.1. Düz Borulu Deney Sisteminin Bulguları

Boş boru deneyleri Re sayısının 500–14000 aralığında yapılmıştır. Re sayısının 500–2000 arası laminer, 2000–4000 arası geçiş ve 4000'den büyük olduğu durumlar türbülanslı olarak kabul edilmiştir. Boş boru üzerinde yapılan deneylerde, boru yüzeyine 320 W ile 2475 W ısı akısı uygulanmış, 17 farklı debi için Re sayısı 500 ile 17000 Re arasında değişmiş ve ölçümler her bir debi için üçer defa tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda bulunan Şekil 5.1 ile Şekil 5.26 arasında sunulmuştur.



Şekil 5.1. Boş boruda Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Boş boruda Re sayısındaki artışla beraber sürtünme katsayısı da laminer bölgede en yüksekte, geçiş bölgesinde azalmakta ve türbülanslı bölgede ise sabit durumdadır. Deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Boş boruda sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

Ø0.8 mm TS deneylerinde ölçülen beş farklı adım aralığının hesaplanan Nu sayısı ortalama değeri Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Boru içerisine yerleştirilen TS'nin boş boruya göre ısı transferinde artışlar sağladığı görülmüştür. Nu sayısı Re sayısı ile artmakta olup, Re sayısı ise 12000'den sonra yaklaşık sabittir. Adım aralığındaki azalma ile Nu sayısındaki artış da azalmıştır. Buna göre, Nu sayısındaki en yüksek artış, adım aralığının 5 mm olduğu ve en düşük artış da 35 mm aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Ø0.8 mm TS için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Boru içerisine yerleştirilen spiral tel sargı nedeniyle Nu sayısındaki artışla beraber basınç düşümünde de artış meydana gelmiştir. Şekil 5.4'te 0.8 mm'lik spiral tel kullanılması ile yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Beklendiği üzere sürtünme katsayısı, düşük Re sayılarında büyük olmakta, Re sayısının artmasıyla da azalmaktadır. Deney sonuçlarından örnek verilir ise; adım aralığı 25 mm ve 35 mm olan laminer bölgede sürtünme katsayısı en yüksek iken, adım aralığı 5 mm olan değerin geçiş ve türbülanslı bölgedeki sürtünme katsayısı adım aralığı 25 ve 35 mm'ye göre daha yüksektir. Adım aralığı azaldıkça sürtünme katsayısı ve dolayısıyla basınç düşümü de azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.4. Ø0.8 mm TS için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

Boru içerisine yerleştirilen beş farklı adımdaki spiral tel sargının Eşitlik 3.10'da verilen iyileşme oranı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'ün ortak değerlendirilmesi sonucu Re sayısı ile olan değişimi Şekil 5.5'te verilmiştir. İyileşme oranı, laminer bölgede yükselme eğilimdeyken, geçiş bölgesinde azalan eğiliminde ve türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit görünümdedir. 0.8 mm TS için en iyi iyileşme oranı 15 mm adım aralığında gözlenmiştir.



Şekil 5.5. Ø0.8 mm TS için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

Ø1.2 mm TS deneylerinde Nu sayısının Re sayısı ile değişimi de Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Re ve Nu sayısı artarak Nu sayısı 100'den, Re sayısı 12000'den sonra Nu sayısı yaklaşık sabit olarak devam etmektedir.



Şekil 5.6. Ø1.2 mm TS için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.7'de 1.2 mm TS için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Sürtünme katsayısı, düşük Re sayılarında büyük olmakta, Re sayısının artmasıyla da azalmaktadır. Adım aralığının artması ile sürtünme

katsayısı azalmakta olduğu şekilden açıkça görülmektedir. Şekil 5.4'te verilen 0.8 mm TS uygulaması ile karşılaştırıldığında, sürtünme katsayısının özellikle 5 mm, 10 mm ve 15 mm adım aralıklarında daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7. Ø1.2 mm TS için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.8'e göre Şekil 5.4'teki iyileşme oranında çok az bir azalma olduğu görülmüştür. Laminer bölgede iyileşme oranı artarken, geçiş bölgesinde Re sayısının artışı ile azalmakta, Re sayısının yüksek olduğu türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit olduğu görülmektedir. Hemen hemen tüm türbülanslı akışlarda iyileşme oranının tüm adım aralıkları için benzer sonuçlar alınmıştır.



Şekil 5.8. Ø1.2 mm TS için deneysel iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.9'da, Ø1.34 mm çift spiral tel sargının (MT) boru içerisinde uygulanması ile ısı transferindeki değişim Re sayısına bağlı olarak Nu sayısının değişimi olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, MT uygulaması diğer TS uygulamalarına benzer olarak Re sayısının artışı ile Nu sayısında bir artış olduğu gözlenmiş, Re sayısı 12000'den sonra Nu sayısındaki değişim yaklaşık sabittir. Boru içine MT uygulanmasında, Nu sayısında en iyi uygulamanın adım aralığı en az olanda meydana geldiği, adım aralığı arttıkça Nu sayısının azaldığı görülmektedir. MT uygulaması ile TS uygulaması sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında MT'nin özellikle laminer bölgede daha etkin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.9. Ø1.34 mm MT için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

MT için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi de Şekil 5.10'da verilmiştir. Boş boruyla kıyasladığımızda, boru içerisine yerleştirilen MT'nin sürtünme katsayısı laminer bölgede yüksek, geçiş ve türbülanslı bölgelerde ise yaklaşık sabit ve TS'deki sonuçlara benzer karakteristikte olduğu görülmektedir. Adım aralığı en az olan durumda en fazla basınç düşümü, dolayısıyla en büyük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Adım aralığı azaldıkça sürtünme katsayısı da azalmaktadır.



Şekil 5.10. Ø1.34 mm MT için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

MT için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.11'de gösterilmiştir. İyileşme oranı 2.25 olan Ø0.8 mm TS ve iyileşme oranı 2.00 olan Ø1.2 mm TS'ye göre iyileşme oranı 2.50 olan Ø1.34 mm MT'nin her iki deney grubuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Laminer ve geçiş bölgesinde en iyi iyileşme oranı 5 mm adım aralığında sağlanmıştır. Türblanslı bölgede kısmen 5 mm, 10 mm ve 15 mm adım aralıklarında yaklaşık benzer performans oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.11. Ø1.34 mm MT için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

Literatürdeki bazı çalışmalarda boru içerisine yerleştirilen spiral tel sargının 18.4, 27.6 ve 36.8 mm (Rin Yun vd. 2006), 22.5, 30.96 ve 60.66 mm (Garcia vd. 2007), olmak üzere üç farklı adım aralığı, 1.25, 1.72, 3.37, 1.21,1.65 ve 3.66 mm (Desale ve Ghuge 2014), altı farklı p/d oranı ile hesaplanmıştır. Desale vd.'nin çalışması ile karşılaştırıldığında; düşük Re sayılarında (200–3000) ısı transferinde artmalar görülmüş olup, bizim çalışmada ise Re sayısı 500–2000 arasında daha fazla artış meydana gelmiştir. Garcia vd. ile adım aralığı karşılaştırıldığında, Garcia'nın çalıştığı adım aralıkları ile kıyaslandığında adım aralığı 5 mm olan çalışmada Nu sayısı oranı daha yüksektir.

Boru içerisine yerleştirilen Ø0.8 mm TS, Ø1.2 mm TS ve Ø1.34 mm MT için 5 mm adım aralığında, boru yüzeyinden uygulanan sabit ısı akısında Re sayısı ile Nu sayısının değişimi Şekil 5.12'de verilmiştir. Farklı üç tel çapının ayrı ayrı yapılan deneylerinde, grafikte de görüldüğü gibi Re sayısı arttıkça Nu sayısı da artmıştır. Deneylerde çalışılan aralık için, Nu sayısı Re sayısı ile değişmekte olup, 6–108 değerleri arasında gözlenmiştir. 5 mm adım aralığı için en iyi uygulama 0.8 mm TS ile sağlanmış, 1.2 mm TS ile MT birbirlerine benzer performans göstermiştir.



Şekil 5.12. 5 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

5 mm adım aralığı için elde edilen sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi de Şekil 5.13'te verilmiştir. Sürtünme katasayısı laminer ve geçiş bölgesinde belirgin olarak artış eğiliminde, türbülanslı bölgede ise Re sayısının artışı ile kısmen azalmaktadır. En büyük sürtünme katsayısı 1.2 mm tel çapındaki spiral tel için gözlenmiş, 0.8 mm TS ile MT için sürtünme katsayısı değerleri yaklaşık benzer olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.13. 5 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

5 mm adım aralıklı farklı üç tel çaplı yöntemin boş boruya göre sağladığı iyileşme oranı Şekil 5.14'te verilmiştir. İyileşme oranı 2.36 değerine kadar laminer bölgede yani Re sayısının düşük olduğu değerlerde yükselirken, geçiş bölgesinde iyileşme oranı 2.57 değerine kadar yükselerek sonrada azalmaya başlamış ve türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit değerdedir.



Şekil 5.14. 5 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

10 mm adım aralığındaki spiral tel için, Nu sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.15'te verilmiştir. Akışkanın laminer, geçiş ve türbülanslı bölgelerinde Re sayısı arttıkça Nu sayısının da arttığı görülmüştür. Nu sayısı 6-108 değerleri arasında değişmekte olup her üç spiral tel için benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.15. 10 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

10 mm adım için boru içine uygulanan spiral tel uygulamalarında, sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.16'da verilmiştir. Grafikten bir örnekle; tel çapı Ø1.2 mm ve geçiş bölgesinde Re sayısı 2820 iken sürtünme katsayısı

0.39, türbülanslı bölgede Re sayısı 11689 ve sürtüme katsayısı 0.27 değerinde bulunmuştur. Re sayısının artmasıyla sürtünme katsayısı geçiş bölgesinden sonra azalmaya başlamıştır.



Şekil 5.16. 10 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

10 mm adım için boru içine uygulanan spiral tel uygulamalarında, iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. Laminer bölgede iyileşme oranı 2.16 değerine kadar yükselirken, geçiş bölgesinde 2.87 değerine kadar yükselip sonra da azalmaya başlamış ve türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit değerde devam etmektedir.



Şekil 5.17. 10 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

15 mm adım aralığındaki spiral telin, Nu sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.18'de verilmiştir. Bu şekle göre de, Re sayısı arttıkça Nu sayısı da artmıştır. Nu sayısı 5-101 değerleri arasında değişmektedir.



Şekil 5.18. 15 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

15 mm adım için boru içine uygulanan spiral tel uygulamalarında, sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.19'da verilmiştir. Şekilde; tel çapı Ø1.34 mm olan MT'nin geçiş bölgesindeki Re sayısı 2940 değerinde iken sürtünme katsayısı 0.21, türbülanslı bölgede Re sayısı 11967 değerinde iken

sürtünme katsayısı ise 0.17 değerlerinde olduğu görülmüştür. Geçiş bölgesinde Re sayısının artmasıyla sürtünme katsayısı da azalmaya başlamıştır.



Şekil 5.19. 15 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

15 mm adım için boru içine uygulanan spiral tel için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.20'de görülmektedir. İyileşme oranı laminer bölgede 2.00 değerine kadar yükselirken, geçiş bölgesinde 2.49 değerine kadar yükselip sonrada azalmaya başlamış ve türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit durumdadır. Boru içerisine uygulanan pasif ısı transferi artırma elemanlarının laminer ve geçiş bölgesinde daha etkin olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 5.20. 15 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

25 mm adım aralığındaki telin, Nu sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.21'de verilmiştir. Deneylerde, Re sayısı arttıkça Nu sayısı da artmıştır. Grafikte Nu sayısı 6–75 değerleri arasında değişmektedir.



Şekil 5.21. 25 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

25 mm adım aralığındaki spiral tel uygulamasından elde edilen sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.22'de verilmiştir. Örneğin grafikte de görüldüğü üzere; tel çapı Ø0.8 mm olan akışkanın laminer bölgedeki Re sayısı

599 iken sürtünme katsayısı 0.7, türbülanslı bölgede Re sayısı 12434 iken sürtüme katsayısı da 0.11 değerindedir. Re sayısının artmasıyla sürtünme katsayısı azalmaya başlamıştır.



Şekil 5.22. 25 mm adım aralığı için sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi

25 mm adım aralığı için Re sayısı ile iyileşme oranının değişimi Şekil 5.23'te verilmiştir. Grafikte; laminer bölgede iyileşme oranı 1.95 değerine kadar artarken, geçiş bölgesinde 3.08 değerine kadar yükselip sonrada azalan eğilimde ve türbülanslı bölgede ise sabit değerde devam etmektedir. En iyi iyileşme oranı 1.2 mm adım aralığında sağlanmıştır.


Şekil 5.23. 25 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

Adım aralığı 25 mm olan spiral telin, Nu sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.24'te verilmiştir. Yapılan deneylerde, Re sayısı arttıkça Nu sayısının da arttığı görülmüş ve Nu sayısının değeri 6–72 arasında değişmektedir.



Şekil 5.24. 35 mm adım aralığı için Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Adım aralığı 35 mm olan spiral tel için, sürtünme katsayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 5.25'te verilmiştir. Tel çapı Ø1.2 mm örneğinde; laminer bölgede

Re sayısı 680 değerinde iken sürtünme katsayısı 0.63, türbülanslı bölgede ise Re sayısı 11971 olduğunda sürtünme katsayısı 0.095 değerlerinde görülmüştür. Re sayısının artmasıyla da sürtünme katsayısı azalmaya başlamıştır. Bütün deneylerde her üç uygulama için de sürtünme katsayısı birbirlerine yakın değerlerde bulunmuştur.



Şekil 5.25. 35 mm adım aralığı için sürtünme katsayısı Re sayısı ile değişimi

35 mm adım aralığı için elde edilen deney sonuçlarından iyileşme oranı Şekil 5.26'da verilmiştir. Grafikten örnekle; laminer bölgede iyileşme oranı 1.74 değerine kadar yükselme eğiliminde, geçiş bölgesinde 3.37 değerine kadar yükselen sonrada azalan eğilimdeyken türbülanslı bölgede ise yaklaşık sabit durumdadır.



Şekil 5.26. 35 mm adım aralığı için iyileşme oranının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.1 ile Şekil 5.26 aralığında sunulan bu grafiklerden de görüldüğü üzere elde edilen verilerdeki iyileşme oranı doğrudan Nu sayısı ve f sürtünme katsayısı ile değişmektedir. Nu sayısı ve f sürtünme katsayısıda kullanılan akış karıştırıcı spirallerin tel çapı ve adım aralığı ile doğrudan ilişkilidir.

Yapılan tüm deneylerde, içerisine yerleştirilen Ø0.8 mm TS, Ø1.2 mm TS ve Ø1.34 mm MT pasif yöntem uygulamalarından elde edilen verilerin iyileşme oranlarının aritmetik ortalamaları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

İyileşme Oranı (%)									
Adım	Ø0.8 mm TS			Ø1.2 mm TS			Ø1.34 mm MT		
Aralığı	Lam.	Geçiş	Tür.	Lam.	Geçiş	Tür.	Lam.	Geçiş	Tür.
5 mm	158	211	110	174	130	88	223	178	100
10 mm	191	221	111	166	164	99	196	177	103
15 mm	155	209	121	189	185	100	189	165	99
25 mm	116	189	86	143	192	101	111	171	88
35 mm	104	171	91	123	211	105	97	183	84

Çizelge 5.1. Boru içerisine yerleştirilen pasif yöntemlerin iyileşme oranları

#### 5.2. Düz Borulardaki Deneyler İçin Hata Analizi

Bu çalışmalada kullanılan cihazlarının ölçüm hassasiyetleri kullanılarak düz borulardaki ısı transferinde oluşacak hata analizi Eşitlik 3.11 ile yapılmış ve düz borulardaki deneylerde oluşabilecek maksimum hata % 10.7 olarak bulunmuştur. Toplam hata; ölçülen debinin, sıcaklık değerlerinin ve sistemdeki ölçüm cihazlarının tüm hatalarını kapsamaktadır.

## 5.3. Düzlemsel Güneş Kollektöründe Spiral Tel Uygulaması Deneysel Bulguları

Deneyler 3 farklı debide ve kollektöre giriş sıcaklığı 25 °C ile 80 °C sıcaklık aralığında yapılmış ve ölçümler stardarda uygun olarak dörder defa tekrarlanmıştır. Kollektörde akışkan debisi standarda uygun olarak kollektör brüt alanına göre 0.02 kg/m<sup>2</sup>s değeri referans alınarak (1.0m) belirlenmiştir. Akışkan debisiyle kollektör veriminin değişimini incelemek amacıyla standart debinin % 50 (1.5m) ve % 125 artırılmış miktarı (2.25m) kullanılmıştır. Deneylerde kollektör yüzeyine gelen ışınım şiddeti güneş simülatöründen sağlanmış olup, ortalama 1052 W/m<sup>2</sup>'dir.

### 5.3.1. Standart güneş kollektörü deney sonuçları

Standart güneş kollektörünün (BB) verim eğrisini oluşturmak için toplanan verilerle kollektörün izdüşüm alanına (brüt alan) göre verim eğrisi Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.27. Standart boş kollektör için kollektör verimi

Kollektörde dolaşan akışkan debisindeki değişim nedeniyle kollektör veriminde dikkate değer bir değişim gözlenmiştir. Akışkan debisinin artması, kollektör boruları içindeki akışın Re sayısını, dolaylı olarak Nu sayısını artırdığından, kollektör üzerine gelen güneş ışınımının akışkana ısıl enerji olarak geçişi de artmaktadır. Sonuç olarak kollektör verimi de akışkan debisi ile artmaktadır. Şekil 5.27'de görülen farklı debilerin (1.0m, 1.5m, 2.25m) kollektör verimine etkisini gösteren eşitlikler aşağıda verilmiştir.

1.0ṁ debi için:	η = -5.3889 T* + 0.8794
1.5ṁ debi için:	η = -5.4197 T <sup>*</sup> + 0.8451
2.25ṁ debi için:	η = -4.969 T* + 0.7549

Standart debide (1.0m) brüt ve net kollektör alanları kullanılarak oluşturulan verim eğrileri de Şekil 5.28'de verilmiştir. Kollektör veriminin belirlenmesinde brüt veya net kollektör alanının kullanılması sayısal olarak verimi değiştirmekle birlikte her iki durum için de kollektörden alınan ısı enerjisinin miktarı aynıdır.



Şekil 5.28. Standart boş kollektörde kollektör veriminin net be bürüt kollektör alanlarına göre değişimi

Düzlemsel güneş kollektörlerinde basınç düşümü, sistem performansı için önemli bir parametre olarak projelendirme aşamasında kullanılır. Kollektörlerdeki basınç düşümü, kollektörde dolaşan akışkan debisi ve hızına bağlıdır. Şekil 5.29'da kollektördeki akışkan debisine bağlı olarak kollektör basınç düşümü verilmiştir. Ticari olarak kullanılan bazı düzlemsel güneş kollektörleri için basınç düşümü, literatürde 150 kg/h ile 400 kg/h arası debi için 0.25 kPa ile 5 kPa arasında verilmiştir (Galip, 2017).



Şekil 5.29. Standart boş kollektörde farklı debiler için basınç düşümü

Kollektördeki basınç düşümünden kaynaklanan pompalama gücündeki artışın akışkan debisiyle değişimi Şekil 5.30'da verilmiştir. Kollektör verimi akışkan debisi ile artmakla birlikte, akışkanın pompalama gücü gereksiniminin daha fazla arttığı görülmektedir.



Şekil 5.30. Standart boş kollektörde akışkan debisi ile pompalama gücü değişimi

#### 5.3.2. Kollektörde çift spiral sargılı tel kullanımı deney sonuçları

Kollektörde boru içerisinde çift spiralli tel (MT) kullanılarak oluşturulan güneş kollektörünün net kollektör alanına göre, farklı akışkan debileri için verim eğrileri Şekil 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.31. MT için kollektör net alanına bağlı kollektör verimi

Şekil 5.31'de görüldüğü üzere, standart debinin azaltılmış sıcaklığın 0.005 değeri için farklı debilerde kollektör verimi % 78 ile % 91 arasında, azaltılmış sıcaklığın 0.05 olduğu durum için de % 50 ile % 60 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 5.31'de görülen boruların içerisine MT yerleştirilmiş kollektör veriminin farklı akışkan debisi ile değişimini veren eşitlikler aşağıda verilmiştir.

1.0ṁ debi için:	$\eta = 3.8237 \ (T^*)^2 - 5.4255 \ T^* + 0.7913$
1.5ṁ debi için:	$\eta = 10.217 \ (T^*)^2 - 6.3251 \ T^* + 0.8839$
2.25ṁ debi için:	$\eta = 9.194 \ (T^*)^2 - 6.1077 \ T^* + 0.9174$

1.0m akışkan debisinde brüt ve net alanlar kullanılarak oluşturulan verim eğrileri Şekil 5.32'de verilmiştir. Boş borulu standart kollektör ile boru içerisine MT yerleştirilmiş kollektör verimi karşılaştırıldığında, kollektör veriminde net alanda yaklaşık % 5, brüt alanda ise % 3 artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32. MT için farklı kollektör alanlarına göre kollektör verimi

Kollektördeki akışkan debisinin artması ile kollektördeki basınç düşümünün değişimi Şekil 5.33'de verilmiştir. Basınç düşümü akışkan debisi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. MT yerleştirilmiş kollektör ile boş kollektörün basınç düşümü değerleri (Şekil 5.29) karşılaştırıldığında, kollektör içerisine MT'nin yerleştirilmesinin basınç düşümünü 20 kat arttırdığı görülmüştür.



Şekil 5.33. MT'nin farklı debilerde kollektördeki basınç düşümüne etkisi

Şekil 5.34'te MT yerleştirilmiş kollektör verimi ve pompalama gücünün akışkan debisi ile değişimi verilmiştir. Boruların içine MT yerleştirilen kollektör,

standart boş kollektör ile karşılaştırıldığında kollektör verimi % 5, pompalama gücü ise % 7 artmıştır.



Şekil 5.34. MT için pompalama gücü ve kollektör veriminin akışkan debisi ile değişimi

### 5.3.3. Kollektörde spiral tel sargı kullanımı deney sonuçları

Toplanan verilerle kollektör içerisine yerleştirilen TS'nin izdüşüm alanına göre kollektör verim eğrisi Şekil 5.35'te verilmiştir.



Şekil 5.35. TS için net kollektör alanına göre kollektör verimi

Şekil 5.35'te görüldüğü gibi standart debideki sıcaklığın 0.005 değeri için farklı debilerde kollektör verimi % 74 ile % 87 arasında, 0.05 için de % 52 ile % 63 arasında değiştiği gözlenmiştir. Şekil 5.35'teki farklı debilerdeki kollektör veriminin akışkan debisi ile değişimini veren eşitlikler aşağıda verilmiştir.

1.0m debi için: $\eta = -5.1371 \text{ m} + 0.7789$ 1.5m debi için: $\eta = -5.6021 \text{ m} + 0.8645$ 2.25m debi için: $\eta = -5.3441 \text{ m} + 0.8913$ 

Kollektör içerisine yerleştirilen TS'nin kollektör verim değerleri (Şekil 5.36) verilmiştir. TS'nin kollektör verimini boş borulu kollektör verim eğrisi (Şekil 5.28) ile kıyasladığımızda, elde edilen değerlerle yaklaşık olarak aynı sonuçlar gözlenmiştir. MT'nin kollektör verimi (Şekil 5.32) ile kıyaslamamızda ise net alanda % 3 artış, brüt alanda ise % 3 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 5.36. TS için farklı kollektör alanlarına göre kollektör verimi

Kollektördeki basınç kaybı artışının deneysel sonuçları Şekil 5.37'de verilmiştir. Boş kollektördeki basınç düşümü değerlerini (5.29) içerisine TS yerleştirilen kollektörler ile karşılaştırıldığında, kollektörün içerisine TS yerleştirilmesinin basınç düşümünü 10 kat arttırdığı, içerisine MT yerleştirilmesiyle elde edilen verilerin (Şekil 5.33), kollektör içerisine TS yerleştirilen kollektörler ile karşılaştırıldığında ise kollektörün içerisine TS yerleştirilmesinin basınç düşümünü % 50 oranında azalttığı görülmüştür.



Şekil 5.37. TS için farklı debilerde kollektördeki basınç düşümü

Pompalama gücü ve kollektör veriminin, kollektör içerisine TS yerleştirilerek elde edilen verilerin, boş kollektörden elde edilen veri sonuçları (Şekil 5.30) ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Kollektör içerisine MT yerleştirilen kollektör verileri (Şekil 5.34) ile karşılaştırıldığında ise kollektör veriminin yaklaşık % 5, pompalama gücünün ise % 4 oranında arttığı Şekil 5.38'de görülmüştür.



Şekil 5.38. TS için pompalama gücü ve kollektör veriminin akışkan debisiyle değişimi

#### 5.3.4. Düzlemsel güneş kollektör deneyi hata analizi

Çalışmada kullanılan cihazlarının ölçüm hassasiyetleri kullanılarak kollektör verim hesabı için hata analizi Eşitlik 3.11 ile yapılmış ve kollektör veriminde maksimum % 9.8 olarak bulunmuştur. Deneydeki toplam hata, ölçülen debinin sıcaklık değerleri ve ışınım şiddeti ölçüm hatalarının tamamını kapsamaktadır.

#### 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada sabit ısı akısı ve zorlanmış akış sınır şartlarında, pasif ısı transferi artırma elemanlarından TS ve MT tel sargıların ısı transferi ve basınç düşümüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, iş akışkanı olarak su kullanılmış olup, deneysel çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk deney aşamasında düz borularda boru içinde farklı özelliklerdeki spiral tel kullanımının ısı transferine etkisi, ikinci deney aşamasında ise güneş kollektörlerinde bu pasif elemanların kollektör verimine ve basınç düşümüne etkileri incelenmiştir.

Düz borularda yapılan çalışmada; boru içerisine yerleştirilen spiral tel sargıların (TS) ısı transferi ve basınç düşümüne etkisi Re sayısının 500–14000 aralığında deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler ilk önce boş boru ile yapılmış, sonra beş farklı adım aralığındaki (5, 10, 15, 25 ve 35 mm) spiral tel sargı ve çift spiral tel sargı uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Boş boru deneylerinde, Re sayılarının artışı ile Nu sayılarının da yükseldiği ve Re sayısının 15000'den sonraki değerlerinde, Nu sayısının yaklaşık sabit kaldığı görülmüştür. Sürtünme katsayısı laminer bölgede (Re 500–2000 arasında) 0.30 ile en yüksek değere ulaşırken, Re sayısı 2000'den sonraki değerlerinde ise yaklaşık sabit değerlerde ölçülmüştür.

Boru içerisine Ø0.8 ve Ø0.12 mm spiral tel sargı (TS) yerleştirildiğinde laminer akış bölgesinde Nu sayısındaki artışın % 250'ler seviyesinde olduğu, geçiş bölgesinde en fazla % 300 değerine ulaştığı, Türbülanslı bölgede ise ortalama % 218 olduğu görülmüştür. Spiral tel uygulamasında farklı adımlar birbirleriyle karşılaştırıldığında, Nu sayısındaki artış daha çok 5 mm adım aralığı için sağlandığı görülmüştür. Boru içine uygulanan spiral tel sargıların neden olduğu sürtünme katsayısının laminer bölgede Ø0.8 mm için 0.24, Ø0.12 mm için 0.33, geçiş bölgesinde Ø0.8 mm için 0.24, Ø0.12 mm için ise 0.33 olduğu görülmüştür.

Boru içine uygulanan spiral tellerin ısı transferindeki iyileşmenin yanında sürtünme katsayılarında da artışa neden olduğu görülmüştür. Bu iki etkinin birlikte değerlendirildiği iyileşme oranı (eşitlik 3.8) dikkate alındığında; en iyi iyileşme oranının 0.8 mm tel çapı ve 10 mm adımındaki uygulamasında sağlandığı görülmüştür.

Boru içerisine yerleştirilen Ø0.8 ve Ø0.12 mm spiral tel sargının (TS) adım sayısı ve Re sayısı arttıkça Nu sayısının, sürtünme katsayısı ve iyileşme oranının laminer bölgede arttığı, geçiş bölgesinden sonra azaldığı görülmüştür. Deneyler sonucunda boru içerisine yerleştirilen spiral telin, 10 mm adım aralığı ve Ø0.8 mm'deki değerleri ile uygulamamız da en iyi pasif yöntem olduğu gözlenmiştir.

Tezde literatürdeki pasif yöntemlerde ilk kez uygulanan boru içerisine Ø1.34 mm çift spiral tel sargı (MT) yerleştirilerek yapılan çalışmada; laminer akış bölgesinde Nu sayısındaki artışın % 273'ler seviyesinde olduğu, geçiş bölgesinde en fazla % 295 değerine ulaştığı, türbülanslı bölgede ise ortalama % 200 değerlerinde olduğu görülmüştür. Çift spiral tel uygulamasında farklı adımlar birbirleriyle karşılaştırıldığında, Nu sayısındaki artışın daha çok 5 mm adım aralığı için sağlandığı görülmüştür. Boru içine uygulanan spiral tel sargıların neden olduğu sürtünme katsayısının, laminer bölgede 0.22, geçiş bölgesinde 0.28, türbülanslı bölgede ise 0.22 değerlerinde olduğu görülmüştür.

Yapılan tüm deneylerde, boru içerisine yerleştirilen Ø1.34 mm çift spiral tel sargı (MT) uygulamasından elde edilen veriler ile boru içerisine yerleştirilen Ø0.8 ve Ø0.12 mm spiral tel sargılı (TS) yöntemler karşılaştırıldığında, düşük Re sayılarında en iyi yöntemin boru içerisine yerleştirilen 5 mm adım aralığı ile Ø1.34 mm çift spiral tel sargı olduğu yapılan deneyler sonucunda görülmüştür.

Türbülanslı bölgede yapılan deneylerden elde edilen verilerin (TS ve MT) birbiri ile hemen hemen aynı sonuçları verdiği ve iyileşme oranının ise yaklaşık 1 değerinde olduğu gözlenmiştir. Düzlemsel güneş kollektörlerinde yapılan çalışmada; ısı transferini artırma ile ilgili deneysel çalışma yapılmıştır. Boş kollektör deneylerinde, 0.018 kg/s akışkan debisinde kollektör brüt alanına bağlı verim % 60 ile % 40 arasında değişmektedir. Deneylerde boş kollektörün basınç düşümü, akışkan debisi ile değişmekte olup 670 ile 3660 Pa arasında gerçekleşmektedir. Akışkan debisi arttıkça basınç düşümü de artmaktadır.

Kollektör içerisine yerleştirilen TS, kollektör veriminde artış meydana getirmiştir. Kollektör verimindeki artış, 2.25m debi ile % 86 olarak en yüksek değerine ulaşmıştır. Martin vd. (2011), çalışmasındaki kollektör verimi kıyaslandığında kollektör verimi % 10 daha fazla olduğu görülmüştür. Kollektör içerisinde TS kullanımı, kollektörde alınan ısı enerjisi ısıyı arttırırken basınç düşümünün de artmasına neden olmuştur. En yüksek basınç düşümü, kollektör içerisinde meydana gelen 80 °C sıcaklıkta ve akışkan debisi 2.25m iken gözlenmiştir.

Kollektör içerisine yerleştirilen Ø1.34 mm MT'nin kollektör verimindeki artışı, akışkan debisinin 2.25m olduğu durumda % 90.73 ile en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. En yüksek basınç düşümü, kollektör içerisinde yine 80 °C sıcaklıkta akışkan debisi 2.25m iken gözlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin sonuçları ise;

- 2.25m akışkan debisinde kollektöre yerleştirilen pasif yöntemlerin kollektör veriminde TS % 1.25 ve MT'de % 2.5 artış,
- 1.5m akışkan debisinde kollektöre yerleştirilen pasif yöntemlerin kollektör veriminde TS % 1.31 ve MT'de % 2.64 artış,
- 1.0m akışkan debisinde kollektöre yerleştirilen pasif yöntemlerin kollektör veriminde TS % 3 ve MT'de % 6.1 artış sağladığı görülmüştür.

Kullanılan pasif yöntemlerin neden olduğu değişimler hariç, debinin artmasıyla kollektör verimi ve basınç düşümü de artmıştır. Yapılan hata analizinde düzlemsel güneş kollektörü için maksimum hata % 9.8 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, enerji endüstrisinde yaygın olarak kullanılan pasif yöntemlerin, ısı transferini arttırma yöntemlerinden biri olan borular içerisine yerleştirilen spiral tel sargı uygulamasının çalışma şartlarına göre düşük Re sayılarında ısı transferinde iyileştirme sağladığı ve düzlemsel güneş kollektörlerinde de uygulanabilme olanağı olduğu görülmüştür.



#### KAYNAKLAR

- Agrawal, K.N., Kumar, A., Akhavan-Behadabi, M.A., Varma, H.K., 1998. Heat TransferAugmentation by Coiled Wire Inserts During Forced Convection Condensation of R–22 Inside Horizontal Tubes. International Journal of Multiphase Flow, 24(4), 635–650.
- Akhavan-Behabadi, M.A., Kumar, R., Salimpour, M.R., Azimi, R., 2010. Pressure Drop and Heat Transfer Augmentation Due to Coiled Wire Inserts During Laminar Flow of Oil Inside a Horizontal Tube. International Journal of Thermal Sciences, 49, 373–379.
- Bergles, A.E., 1997. Heat Transfer Enhancement-The Encouragement and Accommodation of High Heat Fluxes, Experimental Heat Transfer. Fluid Mechanics and Thermodynamics, 119(1), 8–19.
- Bhuiya, M.M.K., Chowdhury, M.S.U., Islam, M., Ahamed, J.U., Khan, M.J.H., Sarker, M.R.I., Saha, M., 2012. Heat Transfer Performance Evaluation for Turbulent Flow Through a Tube With Twisted Wire Brush Inserts. International Communications in Heat and Mass Transfer, 39, 1505– 1512.
- Chen, G., Doroshenko, A., Koltun, P., Shestopalov, K., 2015. Comparative Field Experimental Investigations of Different Flat Plate Solar Collectors. Solar Energy, 115, 577–588.
- Choudhari, S.S., Taji, S.G., 2013. Experimental Studies on Effect of Coil Wire Insert On Heat Transfer Enhancement and Friction Factor of Double Pipe Heat Exchanger. International Journal of Computational Engineering Research, 3(5), 32–39.
- Dağ, H., 2005. Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Dairesel Borulu Kollektör ile Oval Borulu Kollektörlerin Deneysel incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s. Ankara.
- Değirmenci, H., 2006. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Su Dolaşım Miktarının Kollektör Verimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s. Karabük.
- Desale, P.S., Ghuge, N.C., 2014. Effect of Use of Swirl Flow Devices to Improve Heat Transfer Rate in Heat Exchangers. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 2(11), 235–243.
- Diwan, K., Soni, M.S., 2015. Heat Transfer Enhancement in Absorber Tube of Parabolic Trough Concentrators Using Wire-Coils Inserts. Universal Journal of Mechanical Engineering, 3(3), 107–112.

- Galip, M., 2017. Vakum Tüplü U-Borulu Güneş Kollektörlerinde Verim Artırma Yöntemlerinin Deneysel İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s. Isparta.
- Garcia, A., Vicente, P.G., Viedma, A., 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.
- 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 İnserts. International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 3176– 3189.
- Garda, A., Solano, P.J., Vicente, P.G., Viedma, A., 2011. The İnfluence of Artificial Roughness Shape on Heat Transfer Enhancement: Corrugated Tubes, Dimpled Tubes and Wire Coils. Applied Thermal Engineering, 35(1).
- Gunes, S., 2009. Çeşitli İç Elemanlar Yerleştirilmiş Bir Boruda Isı Geçişinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 146s. Kayseri.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., Buyukalaca, O., 2010. The Experimental Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop in a Tube With Coiled Wire Inserts Placed Separately from the Tube Wall. Applied Thermal Engineering, 30(13), 1719–1725.
- Gunes, S., Manay, E., Senyigit, E., Ozceyhan, V., 2011. A Taguchi Approach for Optimization of Design Parameters in a Tube With Coiled Wire Inserts. Applied Thermal Engineering, 31(14-15), 2568–2577. Kayseri, Turkey.
- Hobbi, A., Siddiqui, K., 2009. Experimental Study on the Effect of Heat Transfer Enhancement Devices in Flat-Plate Solar Collectors. International Journal of Heat and Mass Transfer, 52, 4650–4658.
- Huertas, A., Solano, J.P., Garcia, A., Herrero, R., Pérez, J., 2014. Experimental Study on the Effect of Wire Coil Insert Geometry on the Heat Transfer Enhancement of a Flat-Plate Solar Collector. 10<sup>th</sup> International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 14–16 July, Orlando, Florida.
- Kızılırmak, E., 2012. İç Yüzeyinde Engeller Bulunan Dairesel Kanal İçerisinde Türbülanslı Akış ve Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 256s. Ankara, Turkey.
- Martin, R.H., Pinar, A.G., Garcia, J.P., 2011. Experimental Heat Transfer Research in Enhanced Flat-Plate Solar Collectors. World Renewable Energy Congress, 8–13 May, Linköping, Sweden, 3844–3851.

- Mishra, S., Bharti, S.K., 2017. Review of Passive Heat Transfer Augmentation in Circular Tube Using Baffles over the Twisted Wire Brush. International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering, 4(7), 28– 32.
- Muñoz-Esparza, D., Sanmiguel-Rojas, E., 2011. Numerical Simulations of the Laminar Flow in Pipes With Wire Coil Inserts. Computers and Fluids, 44, 169–177.
- Nagarajan, P.K., Sivashanmugam, P., 2011. Heat Transfer Enhancement Studies in a Circular Tube Fitted with Right-Left Helical Inserts with Spacer. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 5(10), 2098– 2102.
- Nagayach, N.K., Agrawal, A.B., 2012. Review of Heat Transfer Augmentation In Circular And Non-Circular Tube. International Journal of Engineering Research and Applications, 2(5), 796–802.
- Naphon, P., 2006. Effect of Coil-Wire İnsert on Heat Transfer Enhancement and Pressure Drop of the Horizontal Concentric Tubes. International Communications in Heat and Mass Transfer, 33, 753–763.
- Ozsoy, A., Demirer, S., Adam, N.M., 2014. Applied Mechanics and Materials Vol. 564 (2014) pp 204-209 564, 204. An Experimental Study on Double-Glazed Flat Plate Solar Water Heating System in Turkey.
- Öksüz, S., 2014. Güneş Enerjisi Sistemleri Temel Prensipler. Vaillant Energy Sources Meeting, Ankara, Turkey. Erişim Tarihi: 14.04.2016. <u>https://docplayer.biz.tr/9430079-Gunes-enerjisi-sistemleri-temel-</u> <u>prensipler-serdar-oksuz-teknik-ve-egitim-bolumu-yoneticisi-ankara-</u> <u>haziran-2014.html</u>
- Özkaya, M.G., Variyenli, H.İ., Korkmaz, M., 2007. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Farklı Profillerdeki Emici Plakaların Deneysel İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 10(2), 173–177.
- Ravigururajan, T.S., 1986. General Correlations for Pressure Drop and Heat Transfer for Single-Phase Turbulent Flows in Ribbed Tubes. Retrospective Theses and Dissertations, 331p. Ames, USA.
- Ray, P., Jhinge, P.K., 2014. A Review Paper on Heat Transfer Rate Enhancements by Wire Coil Inserts in the Tube. International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, 3(6), 238–243.
- Saha, S.K., Gaitonde, U.N., Date, A.W., 1989. Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Laminar Flow in a Circular Tube Fitted With Regularly Spaced Twisted-Tape Elements. Experimental Thermal and Fluid Science, 2, 310–322.

- Salman, S.D., Kadhum, A.A. H., Takriff, M.S., BakarMohamad, A., 2013. Numerical Investigation of Heat Transfer and Friction Factor Characteristics in a Circular Tube Fitted with V-Cut Twisted Tape Inserts. The Scientific World Journal, 8p. Article ID 492762.
- Şahin, E., 2013. Düşük Sıcaklıklarda Çalışan Farklı Tip Güneş Kolektörlerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s. Isparta.
- Sheikholeslami, M., Gorji-Bandpy, M., Domiri-Ganji, D., 2015. Review of Heat Transfer Enhancement Methods: Focus on Passive Methods Using Swirl Flow Devices. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 444– 469.
- Taze, G., 2010. Düz Güneş Kollektörü Verimini Etkileyen Bazı Parametrelerin Deneysel İncelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s. Kırıkkale.
- Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdallı, Y., 1997. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 156s, Gebze/Kocaeli.
- TSE, Türk Stadardları Enstitüsü, TS EN ISO 9806. Erişim Tarihi: 08.01.2017 https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?08111805 1115108051104119110104055047105102120088111043113104073 083107113112053074073111099087047
- Urkude, S. S., Farkade, H.S., 2017. Experimental Investigation on Heat Transfer Characteristics in a Circular Tube Fitted with Perforated Helical Screw-Tape Inserts. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6(5), 8713–8723, India.
- Yun, R., Hwang, J.S., Chung, J.T., Kim, Y., 2007. Flow Boiling Heat Transfer Characteristics of Nitrogen in Plain and Wire Coil Inserted Tubes. International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 2339–2345.
- Yuan, W., Fang, G., Zhang, X., Tang, Y., Wan, Z., Zhang, S., 2018. Heat Transfer and Friction Characteristics of Turbulent Flow Through a Circular Tube with Ball Turbulators. Applied Sciences, 8(776), 13p.
- Waghode, A., Shende, M.D., 2016. Heat Transfer Augmentation in Tube in Tube Type Heat Exchanger Using Wire Coil Insert. International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education, 2(4), 902–907.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Kazım PEHLİVAN	(Chan)
Doğum Yeri ve Yılı	: Kütahya, 1986	
Medeni Hali	: Bekar	Rex
Yabancı Dili	: İngilizce	
E-posta	: kazimpehlivan86@gmail.com	
Fğitim Durumu		

### Egitim Durumu

Lise	: Kütahya Endüstri Meslek Lisesi, 2004
Lisans	: Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği, 2011

# Mesleki Deneyim

Kütahya Halk Eğitim Merkezi ve Akşam Sanat Okulu	2013-2016
Süleyman Demirel Üniversitesi Keçiborlu MYO	2016-2017
Süleyman Demirel Üniversitesi Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz MYO	2016-2017
Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Teknik Bilimler MYO	2017-2018
Kütahya Halk Eğitim Merkezi ve Akşam Sanat Okulu	2018