

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORU İÇERİSİNDE KULLANILAN APARATLAR İLE ISI GEÇİŞİNİN  
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**İsmet Faruk YAKA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2017**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORU İÇERİSİNDE KULLANILAN APARATLAR İLE ISI GEÇİŞİNİN  
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**İsmet Faruk YAKA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 10/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Afşin GÜNGÖR (DANIŞMAN)

Doç. Dr. Murat GÖKÇEK

Yrd. Doç. Dr. Mustafa KILIÇ

## ÖZET

### BORU İÇERİSİNDE KULLANILAN APARATLAR İLE ISI GEÇİŞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

İsmet Faruk YAKA

**Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Doç. Dr. Afşin GÜNGÖR**  
**Şubat 2017, 43 sayfa**

Enerji insanoğlu için temel ihtiyaçlardan birisidir. Her geçen yüzyıl gelişen teknoloji ve artan nüfus ile bu temel ihtiyaca olan talep artarak devam etmiştir. 21.yy'a gelindiğinde ise enerji talebi maksimum düzeye çıkmıştır. Bu yüzden araştırmacılar artan enerji ihtiyacını karşılamak için temelde iki yöntem öne sürmüşlerdir. Bunlardan ilki yeni enerji kaynakları araştırma ve geliştirme diğeri ise mevcut enerji kaynaklarından maksimum verimle yararlanmaktır. Yeni enerji kaynakları ile ilgili günümüze kadar birçok çalışma yapılmakta olup yeni bilgiler ve yeni sistemler geliştirilmektedir. Aynı şekilde enerjiyi maksimum verimle kullanmak için de birçok çalışma yapılmış olup yeni çalışmalar bunları takip etmektedir. Enerjinin verimli kullanılması üretim, iletim ve tüketim aşamalarında yapılan iyileştirmelerle mümkündür. Özellikle üretim ve iletim aşamalarında yaygın bir şekilde kullanılan ısı transferi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Enerjinin ısı formundan başka formlara dönüşmesinde ya da tam tersi durumlarda kullanılan ısı transferini arttırmak, enerjiyi maksimum oranda verimli kullanmak için önemli bir etkidir.

Isı transferi farklı fazda maddelerle, farklı şekilde tasarlanan cihazlar aracılığıyla çeşitli formlarda gerçekleşmektedir. Boru, kanal vb. gibi çeşitli malzemeler kullanılarak yapılan ısı değiştiricileri ısı transferini gerçekleştirmede bir araç olarak kullanılır. Isı transferini arttırmada ısı değiştiricilerinin tasarımının yanı sıra akıştaki türbülansı arttırmanın önemi büyüktür. Isı değiştiricisinin içerisinde dolaşan akışkanın türbülans miktarını arttırmak amacıyla ısı değiştiricisinin komponentlerine çeşitli türbülatorler yerleştirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında düz bir boru içerisinde türbülansı arttırmak ve dolayısıyla boyutsuz sayılarda artış sağlamak suretiyle ısı transferini arttırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla boru içerisine çeşitli aparatlar eklenmiştir. 3-4 mm çaplarında düz krom çubuk, ve 4-5 mm çaplarında seramik bilye, 8 mm çapında 3 m uzunluğunda düz bakır bir boru içerisine yerleştirilmiştir. Akışkan olarak su kullanılmıştır. Su bir depoda belli bir sıcaklığa ulaşması için ısıtılmış ve pompa vasıtasıyla borulara basılmıştır. Farklı debi oranlarına bağlı olarak çalıştırılan sistemde çeşitli deneyler yapılarak aparatların ısı transferini arttırmaya olumlu ve olumsuz anlamdaki katkısı incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Isı transferi, Boru İçi Akış, Türbülator, Enerji.

**JÜRİ:** Doç. Dr. Afşin GÜNGÖR (DANIŞMAN)

Doç. Dr. Murat GÖKÇEK

Yrd. Doç. Dr. Mustafa KILIÇ

## ABSTRACT

### IMPROVING THE APPARATUS USED IN PIPES AND HEAT TRANSFER

İsmet Faruk YAKA

**M.Sc. Thesis in Mechanical Engineering**  
**Supervisor: Associate Prof. Afşin GÜNGÖR**  
**February 2017, 43 Pages**

Energy is one of the basic needs for mankind. With each passing century developing technology and increasing population, the demand for this basic necessity has continued to increase. When it comes to the 21st century, the energy demand has reached the maximum level. So, researchers have basically put forward two methods to meet their increasing energy need. The other is the new energy sources research and development and the other is to utilize the existing energy sources with maximum efficiency. There are many studies on new energy sources, and new information and new systems are being developed. In the same way, many studies have been done to use energy with maximum efficiency and new studies follow them. Efficient use of energy is possible through improvements in production, transmission and consumption stages. Many studies have been made on heat transfer, which is widely used especially in the production and transmission stages. Increasing the heat transfer of the energy from heat form to other forms, or vice versa, is an important influence to maximize energy efficiency.

Heat transfer takes place in various forms through devices designed in different ways, in different phases. Pipe, duct, etc. are used as a means of achieving heat transfer. In addition to designing heat exchangers to increase heat transfer, it is important to increase flow turbulence. Various turbulators are installed in the components of the heat exchanger to increase the amount of turbulence in the fluid circulating in the heat exchanger.

Within the scope of this thesis, it is aimed to increase the turbulence in a straight pipe and thus increase the heat transfer by increasing the dimensionless numbers. Various apparatuses have been added to the pipe for this purpose. Plain chrome bars 3-4 mm in diameter and ceramic balls 4-5 mm in diameter were placed in a 3 m long flat copper pipe 8 mm in diameter. Water was used as a fluid. The water is heated in a depot to reach a certain temperature and is pumped through the pump. Various experiments have been carried out on the system operated depending on the different flow rates and the contribution of increasing and decreasing the heat transfer of the apparatuses has been investigated.

**KEYWORDS:** Heat transfer, In-pipe flow, Turbulator, Energy.

#### **COMMITTEE:**

Assoc. Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR (Supervisor)

Assoc. Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Assist. Prof. Dr. Mustafa KILIÇ

## ÖNSÖZ

Isı transferi enerjiyi aktarmak için en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Enerji santrallerinden evlerde kullanılan buzdolaplarına kadar yaygın olarak kullanılan bu yöntemde iki kaynak arasındaki ısı transfer miktarını arttırmak hem verimlilik hem de enerji tasarrufu sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Isı transferini arttırmak enerji kaybını azaltarak enerjiyi maksimum verimle kullanmaya olanak sağlayacaktır. Bu durum kısıtlı enerji kaynaklarına sahip olan dünyamız açısından mevcut kaynakların sürdürülebilirliğini arttırmada büyük fayda sağlayacaktır. Yapılan bu tez çalışmasında sudan havaya ısı geçişini arttırmak için suyun geçtiği bakır boruların içerisine farklı türbülötörler yerleştirilmiş ve türbülötörlerin ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Lisansüstü çalışma hayatım boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden esirgemeyip beni yönlendiren, bana her zaman destek olan tez danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Afşin GÜNGÖR'e, deney düzeneğinin kurulmasında büyük emekleri olan Uğur BÜZLÜ ve Fuat İZCİ'ye ve benden hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen günlere gelmemde büyük pay sahibi olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1.GİRİŞ .....	1
2.KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. İletim İle Isı Transferi.....	3
2.2. Taşınım İle Isı Transferi.....	3
2.3. Işınım İle Isı Transferi .....	4
2.4. Isı Transferi İyileştirme Yöntemleri .....	4
2.4.1. Aktif teknikler .....	4
2.4.2. Pasif teknikler .....	5
2.5. Literatür Taraması .....	9
3. MATERYAL VE METOT.....	14
3.1. Deney Düzenegi .....	14
3.2. Ölçüm Aletleri .....	20
3.3. Sistem Çalışma Prensipleri ve Deneyin Yapılışı .....	23
3.4. Boru İçerisinde Kullanılan Aparatlar .....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	26
4.1. Boru İçerisine Eklenen Türbülatorlerin Sıcaklık Değişimi .....	26
4.2. Türbülatorlerin Sıcaklık Değişimi Açısından Karşılaştırılması .....	33
5. SONUÇ .....	35
6.KAYNAKLAR.....	37
7. EKLER .....	40
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>		<b><u>Birim</u></b>
$A_s$	Isı transferi yüzey alanı	$[m^2]$
$c_p$	Özgül ısı	$[kJ/kg^{\circ}C]$
$k$	Isı iletim katsayısı	$[W/mK]$
$\dot{Q}_{Taş.}$	Taşıyma ile olan ısı miktarı	$[W]$
$\dot{Q}_{ilt.}$	İletimle olan ısı miktarı	$[W]$
$\dot{Q}_{Işın.}$	Işınım ile olan ısı miktarı	$[W]$
$T$	Sıcaklık	$[^{\circ}C]$
$T_{\infty}$	Ortam sıcaklığı	$[^{\circ}C]$
$T_s$	Yüzey sıcaklığı	$[^{\circ}C]$
$h$	Taşıyma katsayısı	$[W/m^2K]$
$\sigma$	Stefan-Boltzmann sabiti	$[W/m^2 \cdot K^4]$
$\varepsilon$	Yüzeyin yayıcılığı	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kabarcıklı kaynamanın şiddetlendirilmesi için özellikle yapılandırılmış, ısı transferini iyileştirici yüzeyler.....	5
Şekil 1.2. Borularda tek fazlı akış ve çekirdek kaynamada bazı pürüzlü yüzey örnekleri.....	6
Şekil 1.3. Kanatçık örnekleri.....	6
Şekil 1.4. Boru içerisine akışa ters ve akış yönünde yerleştirilmiş yaprak şeklinde elemanlar	7
Şekil 1.5. Boru içerisine farklı düzenlerde yerleştirilmiş konik halka elemanlar. ....	7
Şekil 1.6. Boru içerisine yerleştirilmiş kıvrılmış şerit eleman boydan boya ve belirli mesafelerde .....	8
Şekil 1.7. Boru içerisine yerleştirilmiş farklı pervane tipleri .....	8
Şekil 1.8. Farklı şekillerde boru içerisine yerleştirilmiş helisel şerit elemanlar .....	9
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik resmi .....	14
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	15
Şekil 3.3. Bakır borular ve masaların genel görünümü.....	16
Şekil 3.4. Pompanın genel görünümü .....	16
Şekil 3.5. Sıcak su deposu genel görünümü.....	17
Şekil 3.6. Sıcak su deposu ısıtıcısı ve soğuk su dönüş girişi.....	17
Şekil 3.7. Depoların genel görünümü.....	18
Şekil 3.8. Plastik küresel vana genel görünümü.....	19
Şekil 3.9. Bakır boru giriş kısmı bağlantı elemanları.....	19
Şekil 3.10. Bakır boru çıkış kısmı bağlantı elemanları .....	19
Şekil 3.11. Boru bağlantılarının genel görünümü .....	20
Şekil 3.12. Debimetrenin genel görünümü.....	21
Şekil 3.13. Datalogger genel görünümü.....	22
Şekil 3.14. K tipi termokupl genel görünümü.....	23
Şekil 3.15. Termokupl'un boru üzerine bağlanma şekli .....	23



Şekil 3.16. Düz çubuk üzerine sarılan bakır tel.....	24
Şekil 3.17. Bakır borunun içerisine düz çubuğun yerleştirilmesi .....	25
Şekil 3.18. Bakır boru içerisine yerleştirilen seramik bilyeler .....	25
Şekil 4.1. Düz boş boruda 2.3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi .....	27
Şekil 4.2. Düz boş boruda 3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi .....	27
Şekil 4.3. Düz boş boruda 3.6 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi .....	28
Şekil 4.4. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 2.3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	29
Şekil 4.5. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	29
Şekil 4.6. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 3.6 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	30
Şekil 4.7. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 2.3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	31
Şekil 4.8. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 3 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	31
Şekil 4.9. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 3.6 m <sup>3</sup> /h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi.....	32
Şekil 4.10. İçerisine 4 mm seramik bilye eklenmiş sıcaklığın zamanla değişimi.....	33
Şekil 4.11. Türbülator ve debi değişimine göre sıcaklık değişimi .....	34
Şekil 7.1. Sistemin termal olarak genel görünümü .....	40
Şekil 7.2. Boru girişlerinin ve sistemin termal olarak görünümü .....	40
Şekil 7.3. Debimetre ve boru girişlerinin termal olarak görünümü.....	41
Şekil 7.4. Plastik boru ve vanaların termal olarak görünümü .....	41
Şekil 7.5. Ölçüm noktalarının termal olarak görünümü.....	42
Şekil 7.6. Pompa ve sıcak su deposu çıkışı termal olarak görünümü .....	42
Şekil 7.7. Sıcak su deposu termal olarak görünümü .....	43
Şekil 7.8. Soğuk su deposu termal olarak görünümü.....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Testo 176-T4 genel özellikleri .....	22
Çizelge 4.1. Debi değerleri.....	26
Çizelge 4.2. Türbülator ve debi değişimine göre sıcaklık düşümü .....	33

## 1.GİRİŞ

Enerji insanlığın var oluşundan günümüze kadar insan yaşamı için vazgeçilmez bir olgu haline gelmiştir. İnsanoğlu yerleşik hayata geçtikten sonra yerleşim yerlerini enerji kaynaklarına yakın olacak şekilde seçmiştir. Nüfusun artması ve enerji kaynaklarının azalması sonucu enerjinin önemi çok artmıştır.

20. yy ve 21. yy 'da gelişen teknoloji neticesinde enerji ihtiyacı had safhaya çıkmış ve enerji elde etmek için yapılan küçük çaplı mücadeleler büyük savaflara dönüşmüştür. İnsanoğlu sürekli enerji üretip enerjiyi tüketen bir yapıya dönüşmüştür. Ancak enerji kaynaklarının sınırlı olması ve mevcut teknolojinin enerji kaynaklarını yeterli oranda faydalı enerjiye dönüştürememesi mevcut kaynakların hızla azalmasına sebep olmuştur. Her ne kadar enerjiye sahip olmak, enerjiyi üretmek çok önemli olsa da enerjinin verimli ve yerinde kullanılması da mevcut kaynakların hızla azalması açısından büyük bir önem kazanmıştır.

Enerjinin verimli ve yerinde kullanılması için birbirine dönüşmesi ve bir formdan farklı bir forma aktarılması gerekmektedir. Enerjinin birbirine dönüşmesi için farklı dönüştürücüler kullanılmaktadır. Örneğin elektrikli rezistans sistemi, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede sık olarak kullanılan bir sistemdir. Enerjinin farklı formlara aktarılması için de çeşitli değiştiriciler kullanılmaktadır. Örneğin havadaki ısı enerjisini suya, sudaki ısı enerjisini havaya ya da başka bir akışkana aktararak enerjinin form değiştirmesini sağlayan sistemler vardır. Bu sistemlerde ısı enerjisi kullanılmasından dolayı bu sistemlere ısı değiştiricisi denir.

Termodinamiğin birinci yasasına göre enerji kayıp olmaksızın birbirine aktarılan ve dönüştürülebilen bir olgudur. Ancak gerçek hayatta çeşitli etkenler sonucu bu durum imkansızdır. Isı değiştiricileri üretilen ısı enerjisini kullanım yerine göre istenilen formda aktaran sistemleridir. Bu sistemler üretilen enerjiyi ne kadar yüksek miktarda diğer kısma aktarırsa o kadar verimli oldukları kabul edilir. Isı değiştiricilerinin verimlerinin yüksek olması enerjinin çok az miktarda kayıp edilmesi ve enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir.

Bilim insanları ısı değiştiricilerinin verimlerini arttırmak amacıyla çeşitli yöntemler üzerinde çalışmaktadırlar. Isı değiştiricilerinde farklı tasarımlar kullanarak enerjiyi aktarılmak istenen tarafa en yüksek oranda aktarmak bu yöntemlerin başında gelmektedir. Bir diğer yöntem ise ısı enerjisini hızlı bir şekilde ve yüksek oranda absorbe edip, gene hızlı bir şekilde ve yüksek oranda karşı sisteme aktaran çeşitli akışkanlar kullanılmasıdır.

Bunların yanı sıra ısı değiştiricisinde bulunan akışkanın, gerek ısı değiştiricisinin içinden gerekse dışından yaptıkları müdahale ile akışkanın türbülans haline geçmesi ve bu durumda daha fazla ısıyı aktarması da ısı değiştiricilerinin verimlerini arttırmak için kullanılan önemli yöntemlerdendir.

Yapılan bu tez çalışmasında sudan havaya ısı transferi gerçekleştirecek borulu bir ısı değiştiricisi tasarlanmıştır. Bu ısı değiştiricisindeki akışkanın ısısını hızlı bir şekilde havaya vermesi için fan kullanılarak zorlanmış taşınım yapılmıştır.

Isı değiştiricisinin verimini arttırmak amacıyla boru içerisine farklı parçalar yerleştirilmiştir. Farklı ap oranında düz tel ve farklı çap büyüklüklerine sahip seramik bilyeler yerleştirilerek bu elemanların ısı transferine etkisi incelenmiştir.

## 2.KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI

Isı sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğer bir sisteme transfer edilebilen bir enerji türüdür. Bu enerjinin transferinin hızlarını bulmakla ilgilenen bilim dalı ısı transferidir. Enerjinin ısı olarak transferi her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde ısı transferi durur (Çengel 2017).

Isı transferi üç farklı yolla gerçekleşir: İletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon).

### 2.1. İletim İle Isı Transferi

İletim parçacıklar arası etkileşmelerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerji aktarmasıdır. İletim maddenin tüm hallerinde gerçekleşir. Gazlarda ve sıvılarda iletim moleküllerin gelişigüzel hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmaları sebebiyle olur. Katılarda ise iletim kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur (Çengel 2017).

İletimle ısı transferi J.Fourier tarafından 1822’de

$$\dot{Q}_{iletim} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

formülü ile ifade edilmiştir.

### 2.2. Taşınım İle Isı Transferi

Taşınım katı bir yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı veya gaz arasında enerji aktarımı türüdür; iletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa taşınım ısı aktarımı da o kadar büyük olur. Yığın akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde, katı yüzeyle bitişiklerindeki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletimle olur (Çengel 2017).

Eğer akışkan yüzeyin üzerinden fan, pompa veya rüzgar vasıtasıyla aktarmaya zorlanıyorsa taşınım zorlanmış ısı taşınım denir. Aksine, eğer akışkan hareketi - akışkan içerisinde sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının doğurduğu- kaldırma kuvveti sebebiyle oluyorsa, taşınım doğal (veya serbest) taşınım denir (Çengel 2017).

Taşınım ısı transfer hızının sıcaklık farkıyla doğru orantılı olduğu gözlenir ve Newton’un soğuma kanunu ile uygun şekilde taşınım ısı transferi

$$\dot{Q}_{taşınım} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

formülü ifade edilir.

### 2.3. Işınım İle Isı Transferi

Işınım, atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişmelerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. İletim ve taşınımından farklı olarak ışınım ile ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez. Gerçekte, ışınım ile ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz (Çengel 2017).

$T_s$  (K veya R olarak) termodinamik sıcaklığına sahip bir yüzeyden yayılabilecek maksimum ışınım hızı Stefan-Boltzmann kanunu ile

$$\dot{Q}_{yayılan,maks} = \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (2.3)$$

formülü ile ifade edilir. Burada  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$  yada  $0.1714 \times 10^{-8} Btu/h \cdot ft^2 \cdot R^4$  değeri Stefan-Boltzmann sabitidir. Bu maksimum hızla ışınım yapan ideal yüzeye, kara cisim denir ve kara cismin yaydığı ışınım kara cisim ışınımı olarak adlandırılır. Bütün yüzeylerden yayılan ışınım, aynı sıcaklıktaki kara cisim tarafından yayılan ışınımından azdır ve

$$\dot{Q}_{yayılan} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (2.4)$$

formülü ile ifade edilir. Burada  $\varepsilon$  yüzeyin yayıcılığıdır. Yukarıda belirtilen denklemler ve sabitler düzenlendiğinde ışınım ile ısı transferi

$$\dot{Q}_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (2.5)$$

formülü ile ifade edilir (Çengel 2017).

### 2.4. Isı Transferi İyileştirme Yöntemleri

Isı transferini iyileştirme teknikleri, pasif ve aktif teknikler olarak iki ana sınıfta incelenebilirler. Pasif tekniklerde akışkana dışardan bir enerji verilmeksizin sistem içerisindeki geometrik değişikliklerle ve akışkan hareketleri ile ısı transferi iyileştirilir. Aktif yöntemlerde ise ısı aktarılan akışkana elektrik veya yüzey titreşimi gibi ilave bir enerji verilerek ısı transferinde artış sağlanır.

#### 2.4.1. Aktif teknikler

**Yüzey Titreşimi ve Akış Titreşimi:** Özellikle tek fazlı akışta ısı transferini geliştirmek için yüzeye yüksek ya da düşük yüzey titreşimi uygulanır. Bu titreşimi oluşturmak için motor tahrikli eksantrikler veya elektrodinamik titreştiriciler kullanılmaktadır. Yüzey titreşimi yöntemi ile laminar alt tabaka parçalanarak ısı transferi iyileştirilmektedir.

**Mekanik Yardımcılar:** Mekanik yöntemler ile yüzeyin döndürülmesi sağlanarak akışkanın karıştırılması ile ısı transferi artırılır. Daha çok kimyasal proses endüstrisinde kullanılan, bu tekniğe örnek olarak evaporatörler ve dönen ısı pompası verilebilir.

**Akışkan Titreşimi:** Birçok ısı değiştiricisinin kütesinin büyük olması nedeniyle akışkan titreşimi kullanılır. Özellikle tek fazlı sistemlerde kullanılan bu teknikte titreşim frekans aralığı 1Hz ila ses ötesi (ultrasound) aralığındadır (Webb 1994).

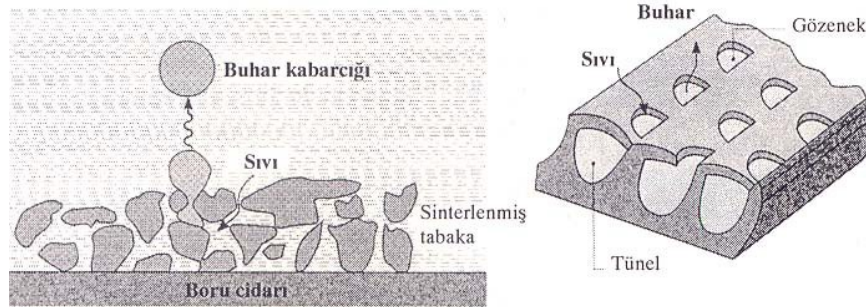
**Enjeksiyon ve Emme:** Enjeksiyon, gözenekli ısı transfer yüzeyi aracılığı ile gazın durgun ya da hareketli akışkana enjekte edilmesiyle ya da aynı akışkanın ısı transfer bölgesinin üst kısmına enjekte edilmesi şeklinde uygulanır. Gaz enjeksiyonu ile ısı transferini iyileştirme tek fazlı akış için geçerlidir. Emme ise tek fazlı akışta çekirdek veya film kaynamada gözenekli ısıtılmış yüzey arasından buhar çekilmesi yoluyla, ya da gözenekli ısıtılmış yüzey arasından akışkanın çekilmesi şeklinde olmaktadır (Webb 1994).

**Jet Çarpması:** Bu teknikte akışkan yüzeye dik veya açılı bir şekilde tek veya birden fazla jet ile çarptırılarak ısı transferi artırılır.

**Elektrostatik Alanlar:** Dielektrik akışkanlara doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) uygulanarak ısı transferi yüzeyi yakınında daha iyi bir karışım sağlanmak suretiyle ısı transfer yüzey alanı artırılır. Örneğin, sıvılara ve gazlara basit ısıtıcılar daldırılarak ısı transferini arttırmak mümkündür (Webb 1994).

#### 2.4.2. Pasif teknikler

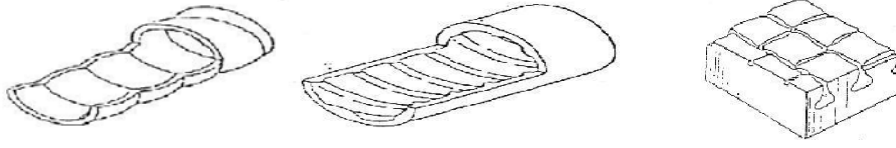
**İşlem Görmüş Yüzeyler:** Daha çok kaynama ve yoğuşmada kullanılan bu teknikte yüzey polimer, farklı metaller veya kimyasal yağlar ile kaplanır. Şekil 1.1’de kabarcıklı kaynamanın şiddetlendirilmesi için yapılandırılmış, ısı geçişini arttırıcı yüzeyler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kabarcıklı kaynamanın şiddetlendirilmesi için özellikle yapılandırılmış, ısı transferini iyileştirici yüzeyler soldan sağa sırasıyla (a) sinterlenmiş metal kaplama (b) mekanik olarak oluşturulmuş çift-girintili oyuk (Incropera 2001).

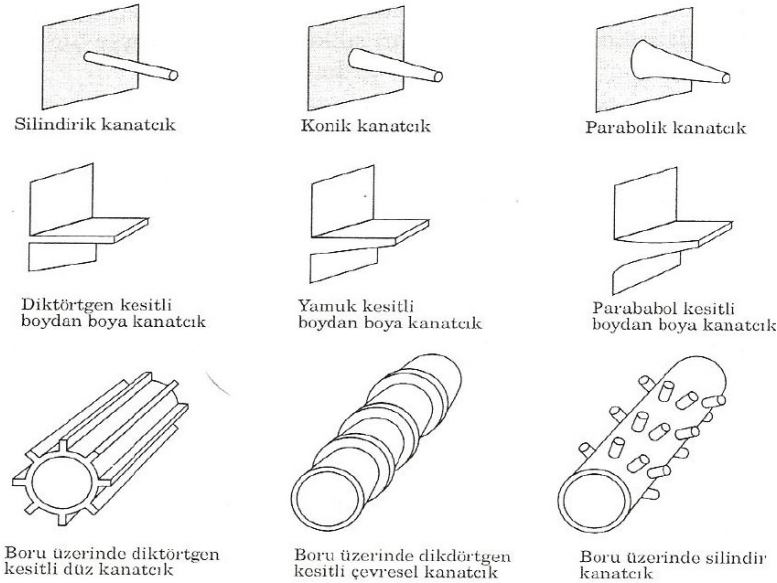
**Pürüzlü Yüzeyler:** Boru veya kanal yüzeyinde çok farklı şekillerde pürüzlülük elde etmek mümkündür. Yüzey pürüzlülüğü, yüzeye düşük yükseklikli kanatçıklar eklemek,

kum tanelerini rasgele yerleştirmek veya farklı konfigürasyonlarda yarık ve tümsekler eklemek şeklinde olabilir. Bu teknik ısı transfer yüzey alanını artırmaktan ziyade yüzeydeki sınır tabakayı rahatsız etmek için kullanılır. Şekil 1.2’de bu teknik için örnekler verilmiştir.



Şekil 1.2. Borularda tek fazlı akış ve çekirdek kaynamada bazı pürüzlü yüzey örnekleri soldan sağa sırasıyla (a) oluklu boru (b) pürüzlü boru (c) çekirdek kaynaması için pürüzlü yüzey (Bergles 1999).

**Genişletilmiş Yüzeyler:** Isı değiştiricilerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yüzeyleri genişletmek için daha çok kanatlar kullanılmaktadır. Güç üretim prosesleri, buhar soğutma sistemleri, otomotiv gibi birçok ısı transferi uygulamalarında boruların dış yüzeyine kanatların eklenmesiyle ısı transferi yüzey alanının artırılması ile birlikte aynı zamanda akışın türbülans şiddeti de artırılır. Yüzeye yerleştirilen bu kanatlar ile sınır tabakanın sürekli yenilenmesini sağlar. Şekil 1.3’de bazı kanatçık örnekleri gösterilmiştir.

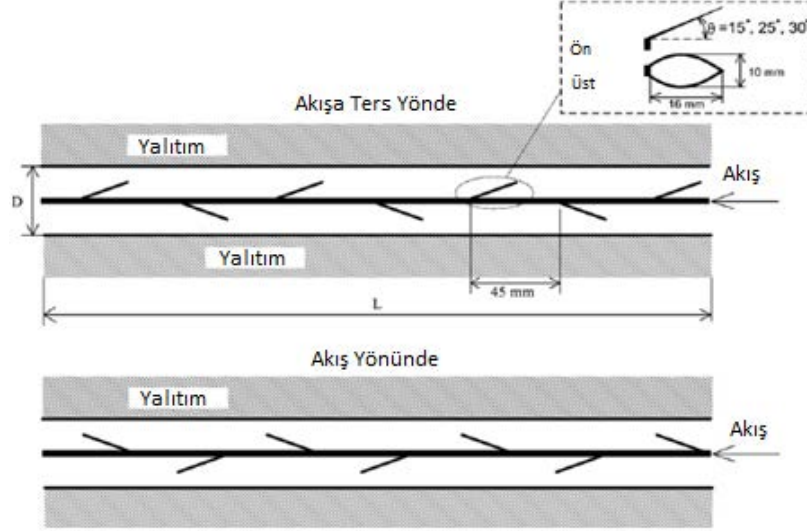


Şekil 1.3. Kanatçık örnekleri (Yüncü 1999).

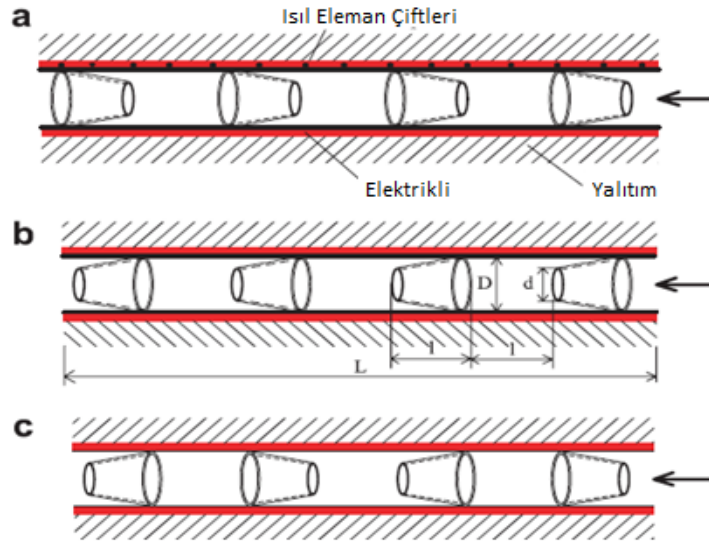
**Yerleşik İyileştirme Elemanları:** Akış kanalının içine yerleştirilen bu elemanlar dolaylı olarak ısıtılmış yüzeyde taşınımı sağlarlar. Bu elemanlar tek fazlı ve iki fazlı akışlarda zorlanmış konveksiyon durumunda kullanılırlar. Akışı kesit boyunca



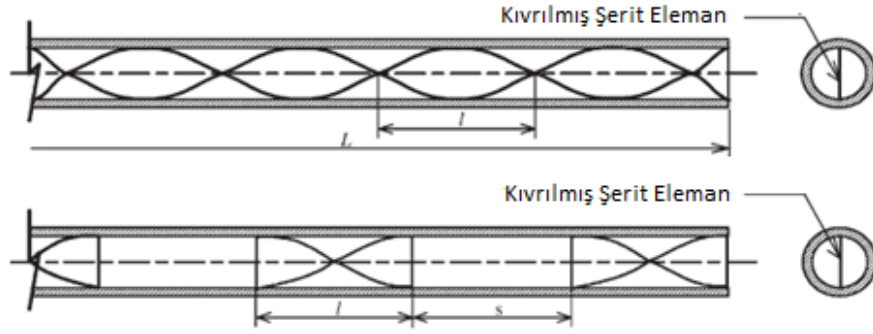
periyodik olarak karıştırarak cidara yakın bölgelerdeki yerel hızı artıran bu elemanlar aynı zamanda basınç kaybını da arttırlar. Şekil 1.4-1.6'da boru içerisine yerleştirilmiş farklı iç elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Boru içerisine akışa ters ve akış yönünde yerleştirilmiş yaprak şeklinde elemanlar (Eiamsa-Ard 2008).

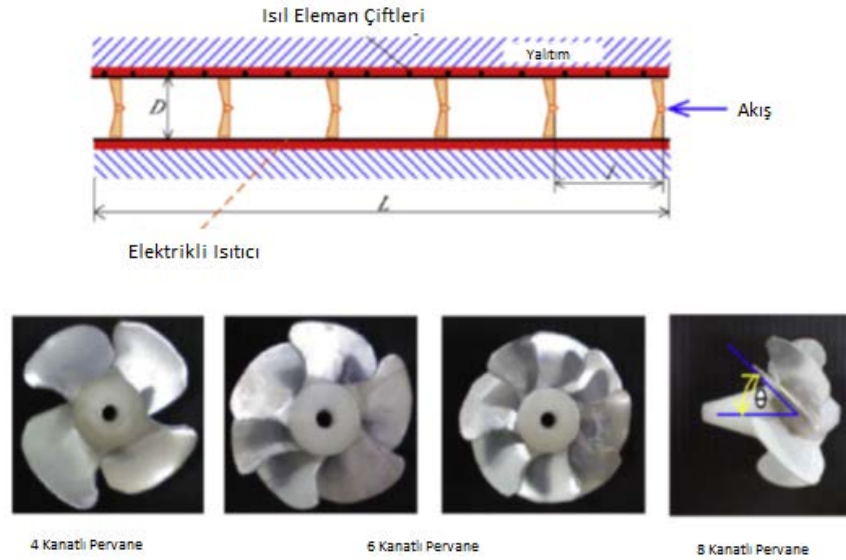


Şekil 1.5. Boru içerisine farklı düzenlerde yerleştirilmiş konik halka elemanlar (Promvonge 2008).

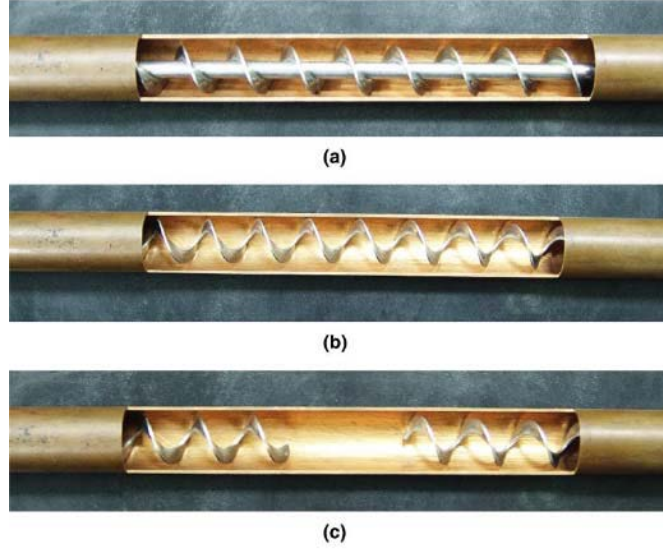


Şekil 1.6. Boru içerisine yerleştirilmiş kıvrılmış şerit eleman boydan boya ve belirli mesafelerde (Eiamsa-Ard 2006).

**Dönmeli Akış Cihazları:** Genelde tek fazlı zorlanmış konveksiyona uygulansa da son yıllarda çift fazlı akışta da kullanılması için çalışmalar yapılan bu cihazlar zorlanmış konveksiyona dönme şeklinde bir akış oluşturarak katkıda bulunan ilave tüplerden meydana gelmiştir. Bu cihazlara örnek olarak sargılı tüpler, vorteks üreteçleri, kıvrılmış borular, bükülmüş şeritler verilebilir. Şekil 1.7 ve Şekil 1.8’de dönmeli akış sağlayan elemanlara örnekler verilmiştir.



Şekil 1.7. Boru içerisine yerleştirilmiş farklı pervane tipleri (Eiamsa-Ard 2009).



Şekil 1.8. Farklı şekillerde boru içerisine yerleştirilmiş helisel şerit elemanlar (Eiamsa-Ard 2005).

**Yüzey Gerilim Cihazları:** Kaynama ve yoğuşmada sıvı akışını yönlendirmek için yüzey gerilme kuvvetlerinden faydalandığı fitilli ya da oluklu yüzeylerdir (Bergles 1999).

**İlave Katkı Maddeleri:** Tek fazlı akışlarda sıvılar için katı parçacıklar veya gaz kabarcıkları kullanılır. Kaynamayan sistemler için sıvı izleyici katkıları kullanılır. Gazlar için ise sıvı damlacıkları veya katı parçacıkları kullanılır. Yüksek sıcaklıklarda ısı transferinde katı partiküllerinde radyasyon nedeniyle artış meydana gelir (Demir 2006).

## 2.5. Literatür Taraması

Güneş (2009) yaptığı çalışmada, boru içerisine yerleştirilen helisel sarılmış tellerin ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkisini Reynolds sayısının 3514-27188 aralığında deneysel olarak incelemiştir. İçerisine helisel teller yerleştirilerek hazırladığı boru ile boş borudaki ısı transferini karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmada, literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak eşkenar üçgen kesitli helisel tel boru içerisine cidardan ayrık olarak yerleştirmiştir. Deneysel çalışmalar, cidardan iki farklı ayrıklık durumu ( $s=1\text{ mm}$  ve  $s=2\text{ mm}$ ), üç farklı hatve oranı ( $P/D=1$ ,  $P/D=2$  ve  $P/D=3$ ) ve tel kesitindeki eşkenar üçgenin üç farklı kenar uzunluğu ( $a=4\text{ mm}$ ,  $a=5\text{ mm}$  ve  $a=6\text{ mm}$ ) için, 6 farklı helisel tel grubu (H1, H2, H3, H4, H5, H6) ile gerçekleştirilmiştir.

Güngör (2009) yaptığı çalışmada, katı hacim fraksiyonu, partikül çapı, süspansiyon yoğunluğu, katı dolaşım oranı gibi Sirkülasyon akışlı yataklardaki operasyon parametrelerinin yatak-duvar ısı transferi üzerindeki etkileri araştırmıştır. Daha önce geliştirilen 2D CFB modeline dayanarak, bu araştırmada değiştirilmiş bir küme yenileme modeli kullanmıştır. Model parçacık tabanlı yaklaşımı (PBA) kullanır

ve hidrodinamik ve yanma özelliklerini bütünleştirir. Çalışma deneysel verilerle de doğrulanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, yataktan duvara ısı aktarım katsayılarının, yükseltici duvarın partikül çapına ve katı konsantrasyonuna kuvvetle bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Daha küçük parçacıklar, aynı katı hacim fraksiyonu değerleri için daha büyük parçacıklara göre daha yüksek ısı transfer katsayılarına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Abdi (2014) yaptığı çalışmada deneysel ve teorik olarak boru içerisine türbülans oluşturacak yay ve şerit şeklinde türbülatorleri incelemiştir. Üç farklı yay ve üç farklı şerit adımı, beş farklı Reynolds sayısına (Re) sahip toplam altı farklı türbülator kullanmıştır. Nu sayısına ve sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemiştir.

Gürlek (2012) yaptığı çalışmada ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden biri olan boru içerisine türbülator yerleştirme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada, iç içe borulu ısı değiştiricisine farklı geometri ve boyutlarda türbülatorler yerleştirilmiştir. Bu türbülatorlerin ısı transferi ve basınç düşümüne olan etkilerini incelemek amacıyla Reynolds sayısının 7000 ile 15000 olduğu çalışma aralığında yapılmıştır. İlk olarak dört farklı hatvede, 130 mm, 150 mm, 200 mm ve 250 mm hatveli klasik tip düz türbülatorler kullanılmıştır. Aynı hatve uzunluğunda kanat ucu sıcak akışkanın akım yönünde olan V kanatlı türbülatorler ve yine aynı hatve uzunluğunda kanat ucu sıcak akışkanın akımına ters yönde olan V kanatlı türbülatorlerin ısı transferine ve sürtünme katsayısına olan etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Baş (2012) yaptığı çalışmada içerisine bükülmüş şeritler yerleştirilmiş bir boruda ısı geçişi ve basınç düşümünü deneysel olarak incelemiştir. Boru içerisine şeritler boru iç yüzeyinden ayırık olarak yerleştirilmiştir. Beş farklı büküm oranı ( $y/D=2, 2.5, 3, 3.5$  ve  $4$ ) ve dört farklı açıklık oranı ( $c/D=0.0178, 0.0357, 0.0535$  ve  $0.0714$ ) olmak üzere toplam 20 farklı şerit kullanılarak Reynolds sayısının 5132-24989 aralığında deneyler gerçekleştirilmiştir. Boru dış yüzeyine sabit ısı akısı uygulanmış ve akışkan olarak hava seçilmiştir. Yapılan bu çalışma ile büküm oranının ( $y/D$ ) açıklık oranına ( $c/D$ ) nazaran ısı geçişi ve basınç düşümü üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu ve bükülmüş şeritlerin boru iç yüzeyinden ayırık olarak yerleştirilmesi ile boru içerisinde oluşması düşünülen kirlenmeyi de azaltarak ısı geçişinin artırılabilceğini gösterilmiştir.

Karakaya (2013) yaptığı çalışmada, boru içerisine yerleştirilen delikli şerit elemanların ısı transferi ve düşümüne etkisi Reynolds sayısının 4860-24130 aralığında deneysel olarak incelemiştir. Deneyler iki farklı şerit eleman genişliği ( $w=54$  mm,  $w=52$  mm), üç farklı delik çapı oranı ( $d/D=0.0714, 0.1071, 0.1428$ ) ve üç farklı kıvrım oranı ( $y/D=2, 2.5, 3$ ) olmak üzere 18 farklı şerit elemanla gerçekleştirilmiştir. Boru içerisine yerleştirilen delikli şerit elemanlar ısı transferinde ciddi artışlar meydana getirmişlerdir. Isı transferindeki en yüksek artış  $y/D=2$  kıvrım oranı ve  $d/D=0.0714$  delik çapı oranına sahip şerit elemanı ile sağlanmıştır. En yüksek sürtünme katsayısı ise

en yüksek ısı transferinin sağlandığı  $y/D=2$  kıvrım oranı ve  $d/D=0.0714$  delik çapı oranına sahip şerit elemanla yapılan deneylerde görülmüştür.

Yıldız (2007) yaptığı çalışmada, dış yüzeyi buhar ile ısıtılan, sabit cidar sıcaklığına sahip iç içe borulu bir ısı değiştiricisi içinde ısı transferini artırmak için farklı çapta yaylar kullanmıştır. Kullanılan yayların dizim sayısı ve dizim şeklinin değişimine göre ısı transferini incelemiştir. Boru içerisinde akışkan olarak hava kullanılmış ve deneyler  $2500 \leq Re \leq 12000$  aralığında, 22 farklı debi için yapılmıştır. Çalışmada ısı transferi, basınç kaybı ve ekserji analizi türbülantör ve türbülantörlessiz durumlar için hesaplanmıştır.

Ömeroğlu (2012) yaptığı çalışmada iş akışkanı olarak su kullanıp, test kısmı yatay bir boru olan zorlanmış konveksiyonlu kaynamalı deney düzeneği kurarak iki fazlı akışların dinamik kararsızlıklarına ısı transfer iyileştirmesinin etkileri incelemiştir. Beş farklı ısı transfer yüzey konfigürasyonu kullanmıştır. Akışkan giriş sıcaklığındaki azalmayla yani aşırı soğutma seviyesinin artmasıyla kaynamanın başladığı noktanın daha düşük kütleel debilere doğru kaydığı ve iki fazlı bölgede belirli bir kütleel debi değerinde giriş sıcaklığı arttıkça basınç düşümünün arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Turan (2010) yaptığı çalışmada, boru içerisine keskin uçlu bir engel yerleştirerek ısı transferi hem sayısal hem de deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, akışkan olarak hava kullanmıştır. Borunun test bölgesine sabit ısı akısı uygulamıştır. Hesaplamalar ve deneyleri 450, 785, 1125 olmak üzere üç farklı Reynolds sayısında gerçekleştirmiştir. Kaldırma kuvvetlerinin etkili olduğu sayısal çalışmada Rayleigh sayısını 46237 olarak hesaplamıştır. Böylece birleşik ısı transferi problemi çözülmüştür. Sonlu elemanlar kodu kullanılarak, Navier-Stokes ve enerji denklemleri çözülmüştür. ANSYS ticari kodu kullanılarak problemin simülasyonu yapılmıştır.

Sekmen (2006) yaptığı çalışmada boru içerisine yerleştirilen türbülans yayıcı olarak paslanmaz çelikten imal edilmiş üç farklı kanatçık açıklığında ( $b$ ) ve üç farklı kanatçık açısına ( $\theta$ ) sahip toplam dokuz farklı türbülantör kullanılarak ısı geçişindeki artış üç boyutlu olarak incelemiş ve FLUENT programını kullanarak sayısal hesaplamalar yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda eşit hız değerlerinde ısı geçiş miktarındaki en yüksek artış  $b=5$  cm kanatçık açıklığında,  $\theta =60^\circ$  kanatçık açısında elde edilmiştir.

Koca (2007) yaptığı çalışmada, helis sayısı farklı olan helisel borularda ısı transferini artırmak için, helisel boruların döndürülmesini deneysel olarak ele almıştır. Dönen helisel borulardaki ısı transferini ve oluşan basınç kayıplarını belirlemek için deney seti kurmuştur. Isı transferi ve basınç kayıpları farklı kapasite oranlarında, farklı debilerde ve farklı dönme sayılarında hesaplamıştır.

Kurtul (2007) yaptığı çalışmada, hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış koşullarında, içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan

sabit yüzey sıcaklığına sahip 90 derecelik kare kesitli eğrisel kanalda laminar akış ve ısı transferinin üç boyutlu sayısal analizi gerçekleştirmiştir. Üç boyutlu süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini Fluent paket programı ile sayısal olarak çözmüştür. Kanatçık sayısının ve kanatçık yüksekliğinin akış ve ısı transferi üzerine etkileri incelemiştir. Kanatçiksız kanal ve kanatçık bulunan kanal için Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında hesaplamalar yapmıştır.

Karakaş (2012) yaptığı çalışmada dikdörtgen bir kanal içerisine yerleştirilen akışa konkav ve konveks dirençlerin ısı transferine, basınç kaybına ve sistemdeki ekserji kaybına etkisi deneysel olarak incelemiştir. Bağımsız parametre olarak Reynolds sayısı, direnç sayısı, direnç yüksekliği, direnç çapı ve direnç açısı seçilmiştir. Her bir bağımsız parametrenin Nusselt sayısı, sürtünme katsayısı ve tersinmezlik gibi bağımlı parametreler üzerindeki etkisini incelemiştir. Reynolds sayısı 2514-13111 arasında seçilmiş ve buna bağlı olarak türbülanslı akış şartlarında deneyler yapılmıştır. Deneylerde sabit ısı akısı uygulanmıştır. Yapılan deneylerde ısı transferi ve basınç kaybı üzerindeki en önemli parametrenin Reynolds sayısı olduğu, bununla birlikte direnç sayısı, direnç yüksekliği, direnç çapı ve direnç açısı ile ısı transferinin doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Çalışır vd. (2015) yaptıkları çalışmada tek bir jet akışı kullanılarak, dikdörtgen kanalın içindeki bir grup elektronik bileşenin ısı transferi ve akışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı Reynolds sayılarına göre  $Re = 4000, 6000$  ve  $8000$  yerel Nusselt sayılarını hesaplamışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucu elektronik bileşenlerdeki ikinci sıradaki bakır plakalar için en iyi Nusselt değerleri elde edilmiştir. Plaka satır sayısı arttıkça Nusselt sayısının düştüğü gözlemlenmiştir.

Sawarkar vd. (2015) yaptıkları çalışmada türbülanslı akışta Reynolds sayısının türbülatoörle değişimi üzerine odaklanmışlardır. Çalışmada, basınç düşüşü, Nusselt sayısı (Nu) ve sürtünme faktörü (f) üzerindeki yarı dairesel kesilmiş bükülmüş bantın etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yarı dairesel kesimli bükümlü bantlar, serbest jeneratörler olarak kullanılmıştır. Deneyler homojen ısı akışı koşullarında 4000 ila 9000 arasında Reynolds sayısı (Re) aralıkları için iki farklı büküm oranına sahip bükülmüş bant kullanılarak yapılmıştır. Farklı büküm oranlarına sahip bükülmüş bantlara belirli aralıklarla küçük çentikler açılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, çentikli bükülmüş bantların düz bantlara göre ısı aktarım hızında belirgin bir iyileşme sağladığını göstermektedir.

Basha vd. (2015) yaptıkları çalışmada Bu yazıda, tel sargılı bobin matrisi türbülatoörünün, konik tel sargılı türbülatoörün, tam gelişmiş türbülanslı bir akış için ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Deneyler, akış kontrol vanasını kontrol ederek çeşitli debide gerçekleştirilmiştir. Vana açıklıkları (%25, % 50,% 75,% 100 valf açık) şeklinde belirlenmiştir. Testler, üç farklı tel sargılı bobin matrisi türbülatoörlü ve türbülatoörsüz olarak gerçekleştirilmiştir. Konik tel sargılar 5, 10 ve 15 mm'lik farklı aralıklarla



sarılmıştır. Sonuçlar, ısı aktarım hızının, tel sargı aralığı ile ters orantılı olduğunu ve kütle akış hızlarıyla doğru orantılı olduğunu göstermiştir.

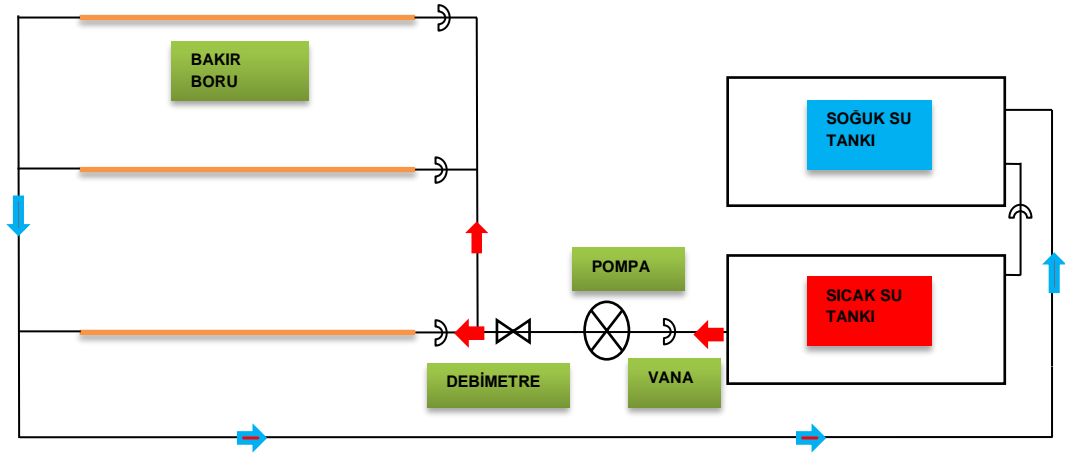
Bu noktadan hareketle bu çalışmada 8 mm çapında düz bakır boru içerisine yerleştirilen türbülatorler ve üç farklı debi şartında çalıştırılarak türbülatorlerin ısı transferine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında boru içerisine yerleştirilmiş çubuk, bükülmüş tel şeklinde metal türbülatorlerin sık kullanıldığı görülmektedir. Ancak seramik bilye kullanımına rastlanmamıştır. Yapılan çalışma bu noktada diğer çalışmalara göre özgün bir değer kazanmaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde sudan havaya ısı geçişinin arttırılması için boru içerisine yerleştirilen türbülatorlerin etkisini incelemek amacıyla kurulan deney düzeneğinin kurulumu, çalışması ve kullanılan malzemeler detaylı olarak belirtilmiştir.

#### 3.1. Deney Düzeneği

Zorlanmış akış ve sabit ısı akısı şartlarında, boru tipli ısı değiştiricisindeki boruların içerisine cidardan hariç olarak yerleştirilen belirli çaplarda, düz çelik tel ve seramik bilyelerin yerleştirilmesinin ısı transferine etkisini incelemek amacıyla Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji ve Akışkanlar Mekaniiği Laboratuvarına deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinin şematik görünümü şekil 3.1’de ve genel görünümü şekil 3.2’de verilmiş olup sistem ayrıntıları belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik resmi





Şekil 3.2. Deney düzeneğinin genel görünümü

Deney düzeneği 3 adet 8 mm çapında ince düz bakır boru, 1 adet sirkülasyon pompası, yalıtımlı ve normal olmak üzere 1'er adet su deposu ile boru ve vana bağlantılarından oluşmaktadır. Deney düzeneği sudan havaya ısı transferi sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Mahaldeki havayı sirküle ederek zorlanmış hava akışı oluşturup ısı transferini arttırmak amacıyla 3 adet fan kullanılmıştır. Boru içerisine ilave edilen aparatların aynı şartlarda çalışmasını görmek için 3 adet bakır boru kullanılmıştır. Yukarıda detaylı şekilde tanıtılan deney düzeneğinin bakır borular, pompa, su deposu ve diğer elemanlar olarak 4 ana bölümden oluştuğu kabul edilmiştir ve bu bölümler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İlk olarak zorlanmış akış ve sabit ısı şartlarında ısı transferini incelemek amacıyla 3 adet 8 mm çapında 3 metre uzunluğunda düz bakır boru seçilmiştir. Bakır boruların su iletimini sağlayan plastik borulara bağlanması için bakır borulara havşa açılmış ve çeşitli ara elemanlar kullanılmıştır. 20 mm'lik plastik boru batarya çıkışı redüksiyon elemanlarını kullanarak 8 mm'lik çapa düşürülmüştür. Bu işlemler bakır borunun ve plastik borunun her iki tarafına uygulanmıştır. 3 m uzunluğundaki borularda sarkma meydana gelmemesi için 20x85 cm en-boy oranlarında suntadan ve 80 cm yüksekliğinde monte edilmiş ayaklardan oluşan masalar imal edilmiştir. Masaların ve bakır boruların genel görünümü şekil 3.3'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Bakır borular ve masaların genel görünümü

İkinci olarak Ulusu marka 40 m basma yüksekliğine sahip 38 L/dakika debi kapasitesinde bir adet pompa düzeneğe eklenmiştir. Pompa 220 volt ile çalışmakta ve ayarlanabilir debi özelliğine sahiptir. Pompanın giriş kısmı sıcak su deposuna çıkış kısmı ise bakır borulara giden ana dağıtım borusuna bağlanmıştır. Pompanın genel görünümü şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Pompanın genel görünümü

Üçüncü olarak 2 adet 150 lt su deposu sisteme eklenmiştir. Su depoları üst üste durmaktadır. Alt kısımda sıcak su deposu üst kısımda ise soğuk su deposu mevcuttur. Sıcak suyun ısı kaybını azaltmak amacıyla yalıtımlı depo kullanılmıştır. Sıcak su deposunda 2 adet giriş 1 adet çıkış mevcuttur. Birinci giriş depoyu doldurmak için hazırlanmıştır, ikinci giriş ise üst kısımda bulunan dönüş suyunun tekrar ısınması için sıcak su deposuna girmesi için hazırlanmıştır. Çıkış ise ısınan suyun sıcak su deposundan pompaya iletilmesi için hazırlanmıştır. Suyu ısıtmak amacıyla depoya bir

adet elektrikli rezistans ilave edilmiştir. Deponun ve ısıtıcının genel görünümü Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Sıcak su deposu genel görünümü



Şekil 3.6. Sıcak su deposu ısıtıcısı ve soğuk su dönüş girişi

Soğuk su deposunda ise 1 giriş ve 1 çıkış mevcuttur. Giriş sistemde dönen suyun toplanması için, çıkış ise toplanan soğumuş suyun sıcak su deposuna gönderilmesi içindir. Soğuk suyun sıcak su deposuna gönderilmesi işlemi için ekstra bir pompalama kuvvetine ihtiyaç yoktur. Bu durum yükseklik farkıyla çözülmüştür. Su depolarının genel görünümü Şekil 3.7'de verilmiştir.





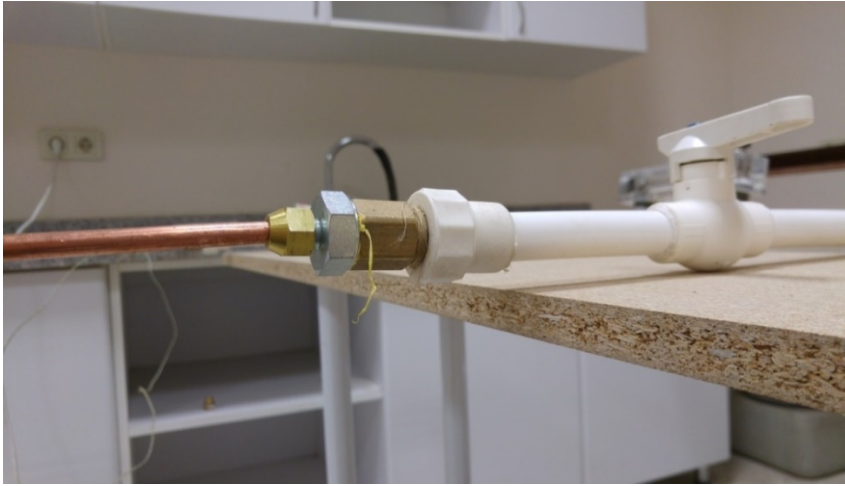
Şekil 3.7. Depoların genel görünümü

Dördüncü ve son olarak sistemde bağlantı elemanları ve plastik borular mevcuttur. Plastik borular, plastik küresel vanalar, dirsekler, T bağlantı elemanları ve rekor elemanları ile deney düzeneği birbirine bağlanmıştır. Su deposu giriş ve çıkışı ile pompa girişinde 25 mm'lik plastik borular, pompa çıkışı, plastik vanalar ve bakır boru girişlerinde 20 mm'lik plastik borular kullanılmıştır. Pompa çıkışındaki tesisat üç ayrı kola ayrılmıştır. Her bir kol bir bakır boruya bağlanmakta ve her bir kolun başında bir adet vana bulunmaktadır. Bakır boruların çıkışında ise tüm borular birleşerek tek bir boru halinde soğuk su deposuna bağlanır.

Şekil 3.8 - 3.10'da boru bağlantıları ve vanalar detaylı şekilde gösterilmiştir. Plastik boru bağlantıları yapılırken plastik kaynak makinesi kullanılmıştır. Plastik boruların her iki tarafı kaynak makinesinde ısıtılmış ve tam dik olarak birbiri içerisine geçirilmek suretiyle kaynatılmıştır. Bakır boruları plastik borulara bağlamak için adaptörler kullanılmıştır. Adaptörün bir ucu plastik boru ile kaynatılmıştır diğer ucu ise pirinçten üretilmiş redüksiyon elemanı vasıtasıyla çap küçültme yapılarak bakır boruya bağlanmıştır. Redüksiyon elemanları bağlantı yapılırken sızdırmazlık sağlanması amacıyla kendir ve tesisat bandı kullanılmıştır. Bakır borulara giriş kısmında küresel vanalar kullanılmıştır. Küresel vanalar gerekli görüldüğünde borulardaki akışa müdahale etmek amacıyla sisteme ilave edilmiştir.



Şekil 3.8. Plastik küresel vana genel görünümü



Şekil 3.9. Bakır boru giriş kısmı bağlantı elemanları



Şekil 3.10. Bakır boru çıkış kısmı bağlantı elemanları

Sistem bağlantı elemanlarının genel görünümü Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Boru bağlantılarının genel görünümü

### 3.2. Ölçüm Aletleri

Kurulan deney düzeneğinde iki adet ölçüm aleti kullanılmıştır. Sistemde kullanılan tüm ölçüm aletlerinin deney yapılmadan önce gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. İlk olarak sistemin debisini ölçmek ve ayarlamak amacıyla LZT M-25 marka debimetre kullanılmıştır. LZT M-25 marka debimetre şamandıralı tip olup 0-70 m<sup>3</sup>/h aralığında ölçüm yapmaktadır. Debimetre pompa çıkışına bağlanmış olup manuel olarak ayarlanmaktadır. Debimetrenin genel görünümü Şekil 3.12’de detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 3.12. Debimetrenin genel görünümü

İkinci olarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümü için K tipi termokupl ve Testo 176-T4 markalı çok amaçlı datalogger kullanılmıştır. Datalogger sıcaklık sensörleri sıcak su deposu çıkışına ve her bir borunun üzerine 4 adet olmak üzere yerleştirilmiştir. Dataloggerin genel görünümü Şekil 3.13’de ve teknik bilgileri Çizelge 3.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Ayrıca termokuplların genel görünümü ve boru üzerine bağlanma şekli Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de verilmiştir.

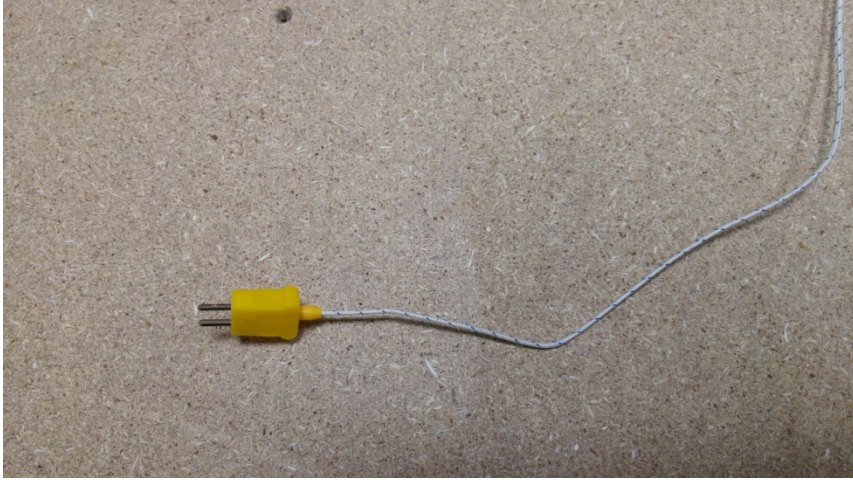
Çizelge 3.1. Testo 176-T4 genel özellikleri

Özellik	Değerler
Ölçüm değeri	Sıcaklık (°C/°F)
Algılayıcı tipi	4 termoeleman (Tip T, K, J), haricî
Ölçme aralığı	-100 ile +750 °C arası (Tip J) -195 ile +1000 °C arası (Tip K) -200 ile +400 °C arası (Tip T)
Cihaz hassasiyeti	Ölçüm değeri $\pm$ % 1 (-200 ile -100,1 °C arası) $\pm$ 1 Digit $\pm$ 0,3 °C (-100 ile +70 °C arası) $\pm$ 1 Digit Ölçüm değeri $\pm$ % 0,5 (+70,1 ile +1000 °C arası) $\pm$ 1 Digit
Açılım	0,1 °C
Çalışma sıcaklığı	-20 ... +70 °C
Depolama sıcaklığı	-40 ... +85 °C
Pil tipi	1x Lityum (TL-5903)
Bakıma kadar çalışma süresi	8 yıl (15 dk. ölçüm saykılı, +25 °C)
Koruma türü	IP65
Ebatlar [mm] (UxGxY)	103 x 63 x 33 mm
Ağırlık	yakl. 230g
Ölçme zamanlaması	1s – 24h (seçilebilir, çevrimiçi ölçümü için 2s-24h)
Arayüz	Mini USB, SD kart yuvası
Bellek kapasitesi	2 milyon ölçüm değeri
Garanti	24 ay, Garanti koşulları: İnternet sitemize bkz.: <a href="http://www.testo.com/warranty">www.testo.com/warranty</a>
AB Direktifi	2014/30/EU



Şekil 3.13. Datalogger genel görünümü





Şekil 3.14. K tipi termokupl genel görünümü



Şekil 3.15. Termokupl'un boru üzerine bağlanma şekli

### 3.3. Sistem Çalışma Prensibi ve Deneyin Yapılışı

Yukarıda detaylı olarak anlatılan sistem genel olarak şu şekilde çalışır

İlk olarak çalışma ortamı iş sağlığı ve güvenliği açısından kontrol edilir ve gerekli önlemler alınır. Daha sonra sistem elemanları detaylı bir şekilde kontrol edilir, dataloggerlar çalışır hale getirilir ve herhangi bir aksaklığa rastlanmazsa deney için uygun ortam sağlanmış olup deneye başlanır.

İlk olarak ölçüm yapılmak istenen bakır boruların bağlantı noktaları tekrar kontrol edilerek vana bağlantısı açılır. Diğer vanalar ise kapalı konuma getirilir. Sıcak su deposuna plastik hortum vasıtasıyla çeşme suyu doldurulur. Su doldurulduktan sonra elektrikli rezistans çalıştırılarak su ısıtılmaya başlanır. Depo çıkışında bir adet sıcaklık ölçer mevcuttur. Sıcaklık ölçer takip edilerek su sıcaklığı 70°C sıcaklık değerine

ulaştığında pompa devreye alınır ve debimetreden debi değeri okunur. İstenilen debi değeri debimetre ile ayarlanır. Bakır borularına gönderilen suyun, boru üzerindeki termokupllar vasıtasıyla sıcaklık değerleri dataloggerdan okunur ve bakır borular ısınarak sistem rejime girdikten sonra fan devreye alınır. Fan devreye alındıktan sonra datalogger kayıt işlemine başlar. Yaklaşık olarak 3-5 dakika arasında rejime ulaşan sistem depo içerisindeki suyun tamamı bitene kadar çalıştırılarak veri alınır.

Depo içerisindeki su bittikten sonra yukarıda yapılan işlemler geriye şekilde uygulanarak deney sonlandırılmış olur.

#### 3.4. Boru İçerisinde Kullanılan Aparatlar

Deneyde bakır boru içerisine çeşitli aparatlar yerleştirilmiştir. Bunlardan ilki 3 mm ve 4 mm kalınlığında 3 metre düz demir çubuktur. Çubuğun boru içerisinde tam merkezde durması için çubuk üzerinde 2 noktaya ince bakır tel sarılmıştır. Telin sarım şekli Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Düz çubuk üzerine sarılan bakır tel

Hazırlanan çubuk bakır borunun içerisine Şekil 3.17'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.17. Bakır borunun içerisine düz çubuğun yerleştirilmesi

Düz tel haricinde bir diğer aparatta seramik bilyelerdir. Boru içerisinde suyun, boru içerisine yerleştirilen aparatlarla daha fazla yüzey teması kurması, yani yüzey alanını arttırmak için bilye formunda bir aparat tercih edilmiştir. Gerek maliyet gerekse kolay temin edilebilirliği açısından seramik bilyeler tercih edilmiştir. Deney kapsamında temin edilen seramik bilyeler 4 ve 5 mm çapında boru içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 3.18’de seramik bilyelerin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.18. Bakır boru içerisine yerleştirilen seramik bilyeler

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sıcaklık değişimi sonuçları grafikler ve termal fotoğraflar halinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

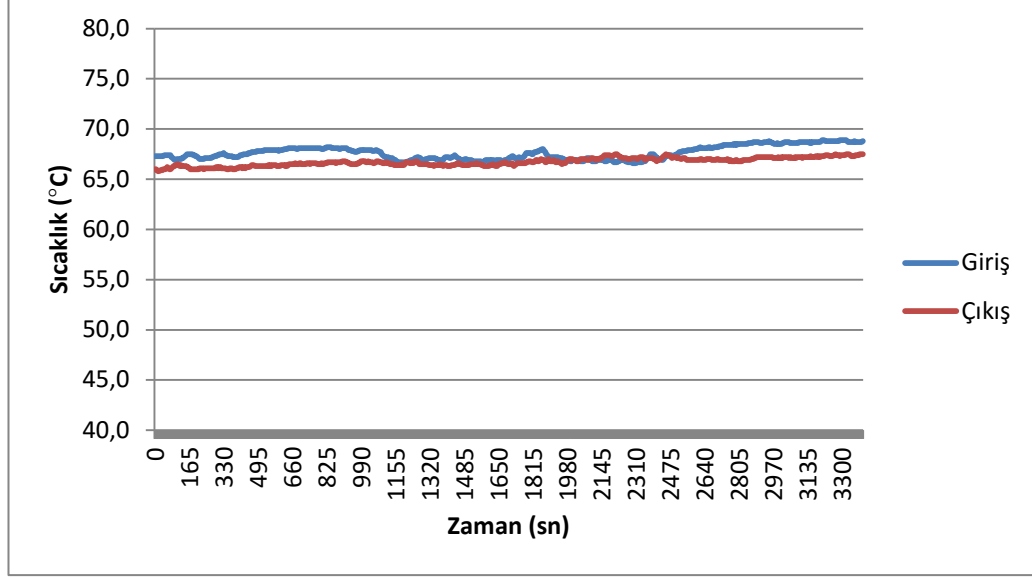
Çalışmada 3 farklı debi değerine göre sıcaklığın değişimi incelenmiş ve grafikler bu şekilde oluşturulmuştur. Her bir boru içerisine eklenen aparatlar sonrasında boru çıkış debileri tek tek ölçülmüş ve eşitlenmiştir. Çizelge 4.1’de çalışmada kullanılan debi miktarları ve bir boru başına düşen debi miktarı verilmiştir. Boş düz boru, çubuk ve seramik bilye ilaveli borular olmak üzere hazırlanan grafiklerde yatay sütun birimi saniye olacak şekilde zaman olarak belirlenmiştir, dikey sütun ise birimi °C olacak şekilde sıcaklık olarak belirlenmiştir. Grafiklerde 70 °C sıcaklığa ısıtılan suyun boruya giriş ve çıkış sıcaklığının değişimi verilmektedir. Giriş ve çıkış sıcaklığının arasındaki farkın değişimi ısı transferi açısından sistemin verimliliğini ortaya koyar.

Çizelge 4.1. Debi değerleri

Debi Değeri (m <sup>3</sup> /h)	Boru Sayısı	Bir Boru İçin Debi (m <sup>3</sup> /h)
7	3	2,3
9	3	3
11	3	3,6

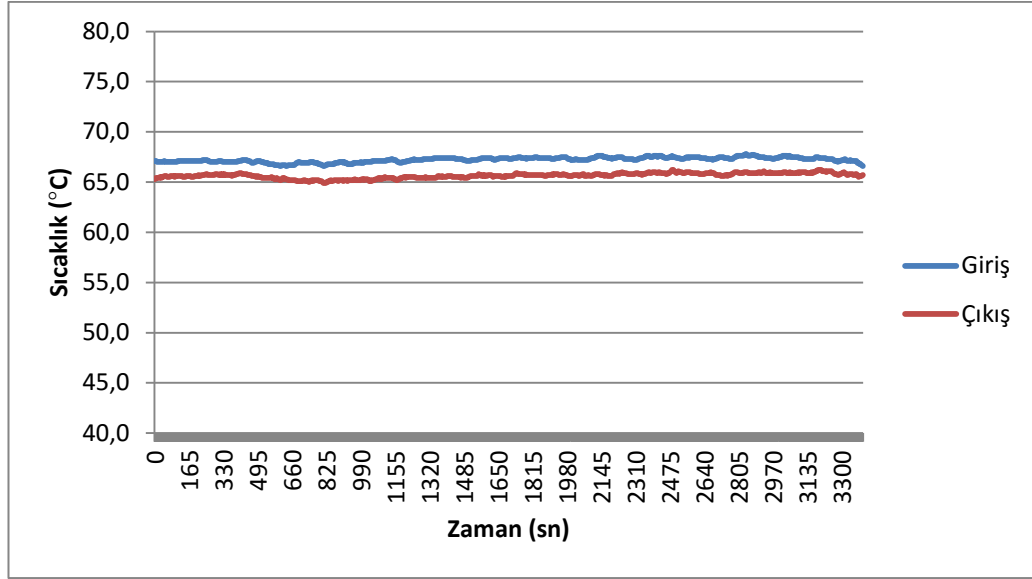
##### 4.1. Boru İçerisine Eklenen Türbülatorlerin Sıcaklık Değişimi

İlk olarak düz boş boruda yapılan deneyler yapılmıştır. Deneyler 7, 9 ve 11 m<sup>3</sup>/h olmak üzere üç farklı debide yapılmıştır. Bu üç debi pompa çıkışında okunmuştur. Pompadan çıkan su eşit olacak şekilde 3 bakır boruya bölünmüştür. Dolayısıyla yeni debi değerleri 2.3, 3 ve 3.6 m<sup>3</sup>/h olacaktır. Sıcaklığın zamanla değişimi boş boru için Şekil 4.1 - 4.3’de çizilen grafiklerle detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Düz boş boruda 2.3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

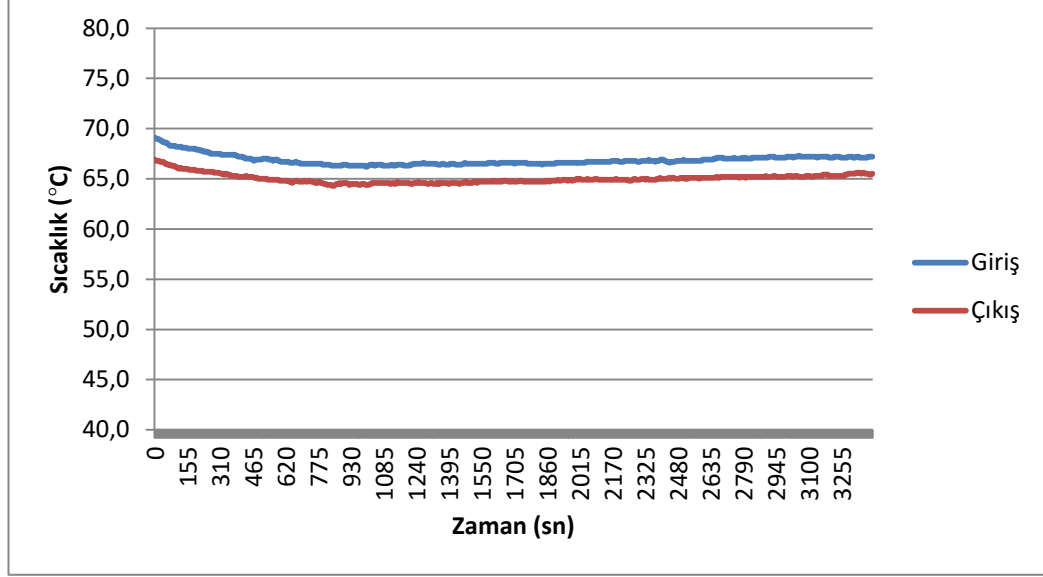
Şekil 4.1 detaylı incelendiğinde 2.3 m<sup>3</sup>/h debi değerinde giriş ve çıkış sıcaklıklarının birbirine çok yakın değişim gösterdiği görülmektedir. Giriş sıcaklığı 65-67°C aralığında değişirken çıkış sıcaklığı da 65-67°C aralığında değişmektedir. Zaman zaman çok düşük, hatta hiç sıcaklık değişimi olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Düz boş boruda 3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi



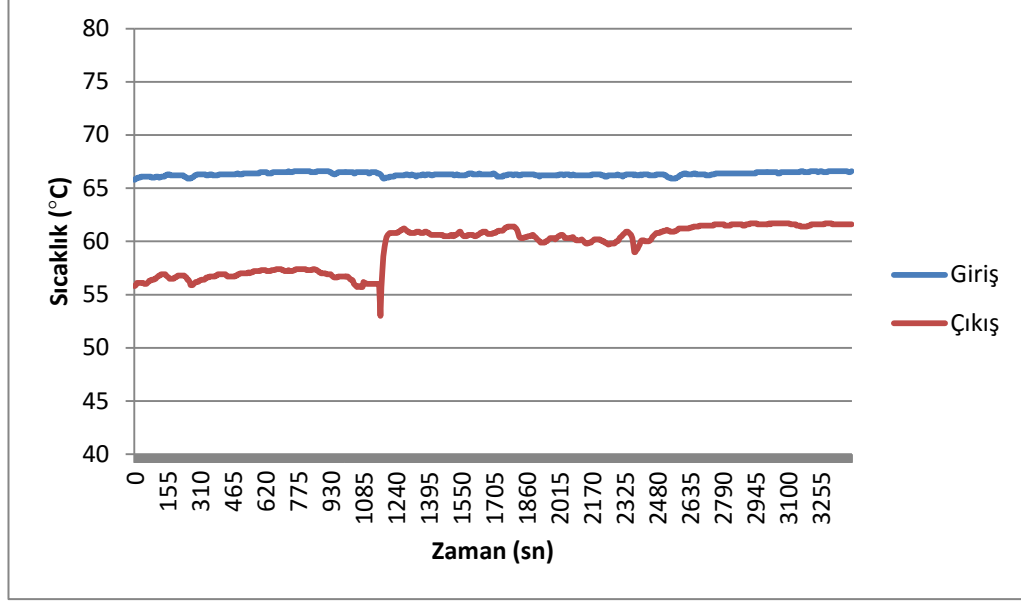
Şekil 4.2. detaylı incelendiğinde debi arttıkça yani 3 m<sup>3</sup>/h'den debi değerinden itibaren sıcaklıkların arasındaki farkın arttığı ve düzgün bir rejime oturmaya başladığı gözlemlenmiştir. Giriş sıcaklığı 66-67°C aralığında değişirken çıkış sıcaklığı 65-66°C aralığında değişmektedir.



Şekil 4.3. Düz boş boruda 3.6 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

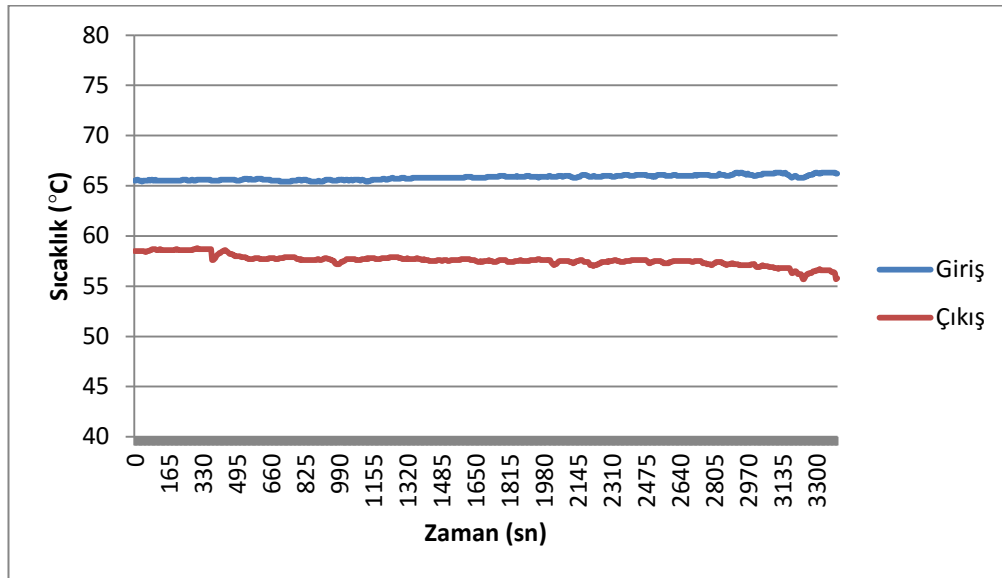
Şekil 4.3. detaylı incelendiğinde 3.6 m<sup>3</sup>/h debi değerinden itibaren giriş ve çıkış değerleri büyük oranda sabit ilerlediği görülmüştür. Giriş sıcaklığı 68°C çıkış sıcaklığı ise 65°C olarak sabit bir halde ısı değişimi gerçekleşmiştir.

İçerisine 4mm çubuk yerleştirilmiş düz boruda sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.4 - 4.6'da çizilen grafiklerle detaylı olarak gösterilmiştir.

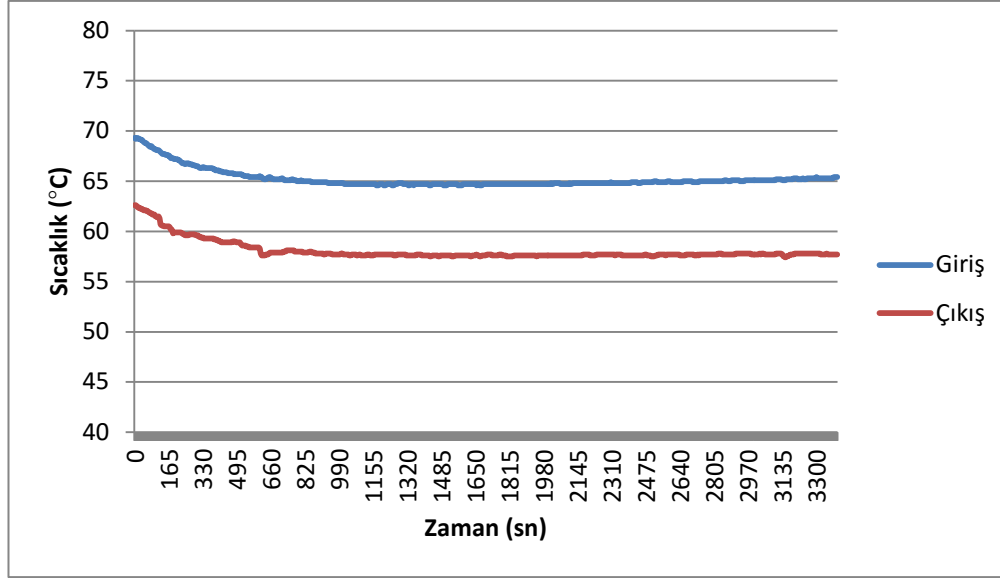


Şekil 4.4. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 2.3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

Şekil 4.4 detaylı incelendiğinde 2.3 m<sup>3</sup>/h debi değerinde giriş ve çıkış sıcaklıklarının birbirine daha yakın değişim gösterdiği görülmektedir. Giriş sıcaklığı 65-66°C aralığında çıkış sıcaklığı da 1200. saniyeye kadar 55-57°C aralığında daha sonrasında 62-64°C aralığında değişmektedir.



Şekil 4.5. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

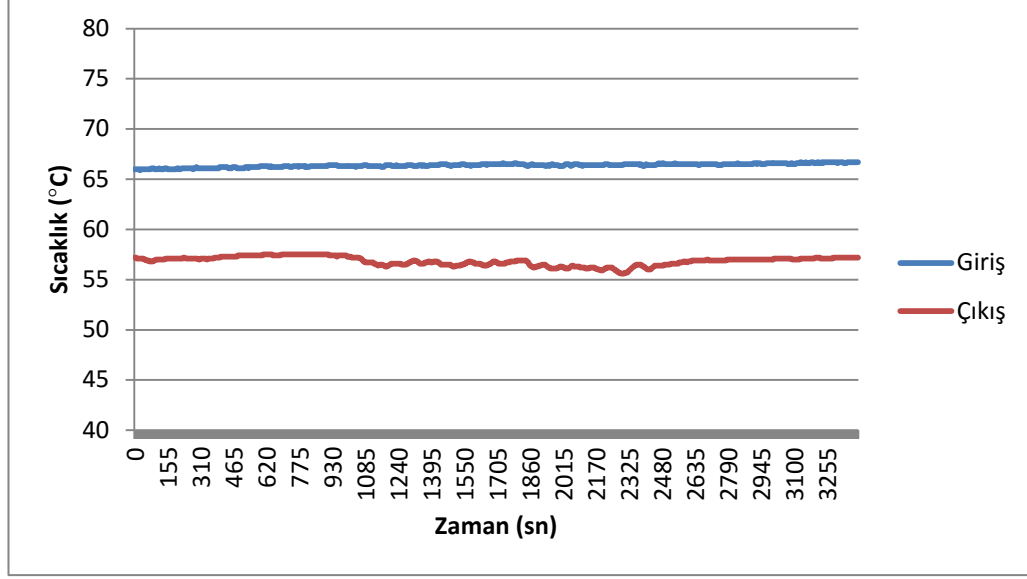


Şekil 4.6. İçerisine 4 mm çubuk eklenmiş boruda 3.6 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

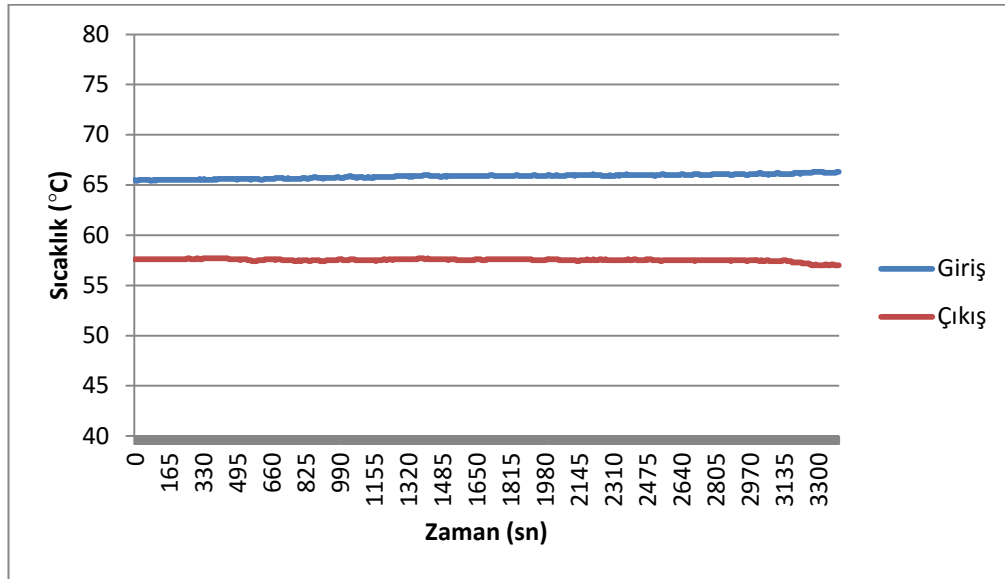
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 detaylı olarak incelendiğinde debi arttıkça yani 3 m<sup>3</sup>/h'den itibaren sıcaklıkların arasındaki farkın arttığı ve düzgün bir rejime oturduğu gözlemlenmiştir. 3 ve 3.6 m<sup>3</sup>/h den itibaren giriş sıcaklığı 65-66°C aralığında değişirken çıkış sıcaklığı 60-57°C aralığında değişmektedir. Ortalama +5-8 derece sıcaklık değişimi olmuş dolayısıyla ısı transferi gerçekleşmiştir.

İçerisine 3 mm çubuk yerleştirilmiş düz boruda sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.7 - 4.9'da çizilen grafiklerle detaylı olarak gösterilmiştir.

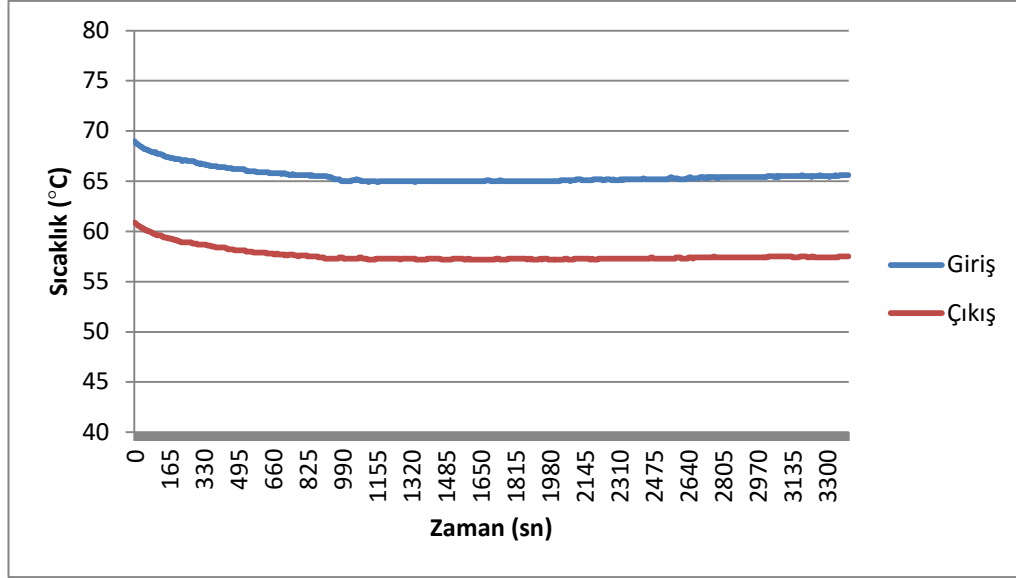




Şekil 4.7. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 2.3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi



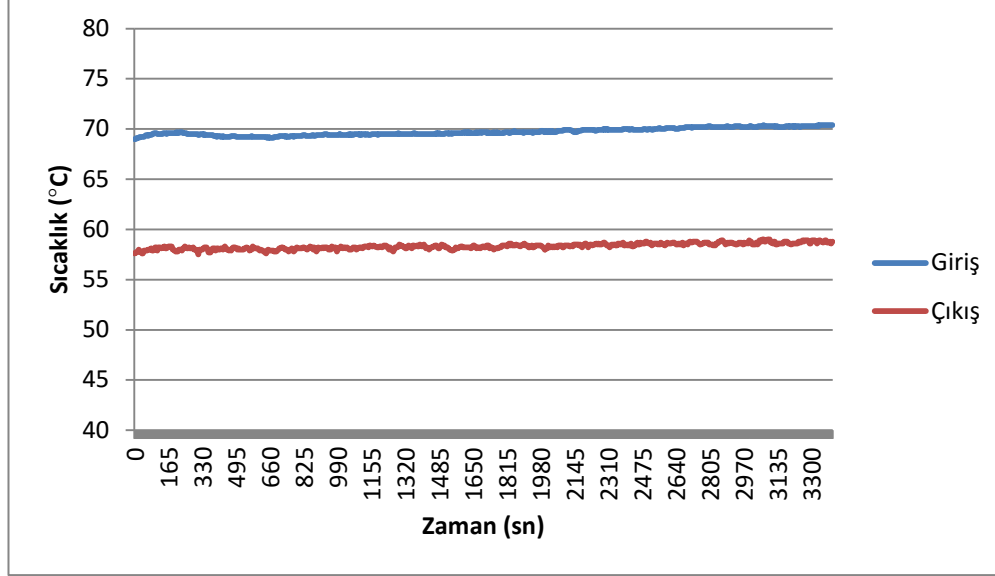
Şekil 4.8. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 3 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi



Şekil 4.9. İçerisine 3 mm çubuk eklenmiş boruda 3.6 m<sup>3</sup>/h debiye göre sıcaklığın zamanla değişimi

Şekil 4.7 - 4.9 detaylı incelendiğinde debi değerinin değişse bile giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark sabit kalmaktadır. Her üç debi değerinde giriş sıcaklığı 66-67°C ve çıkış sıcaklığı 56°C aralığındadır. Ortalama 10°C derece sıcaklık değişimi olmuş dolayısıyla ısı transferi gerçekleşmiştir.

Şekil 4.10'da bakır boru içerisine 4 mm çapında seramik bilye yerleştirilerek yapılan deney sonucu elde edilen sıcaklığın zamanla değişimi verilmiştir. Seramik bilyeler boru içerisine yerleştirilmiştir ve pompa maksimum debide çalıştırılmıştır. Seramik bilyeler boru içerisini büyük oranda doldurduğu için boru içerisinden geçen su miktarı düz çubuklara göre daha azdır. Bu yüzden pompa maksimum debi şartında çalıştırılmış ancak düz ve boş borudaki debi değerlerinden daha az bir debi elde edilmiştir. Elde edilen debi değeri 2 m<sup>3</sup>/h'dir.



Şekil 4.10. İçerisine 4 mm seramik bilye eklenmiş sıcaklığın zamanla değişimi

Şekil 4.10. detaylı olarak incelendiğinde giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında yüksek bir fark olduğu görülmektedir. Giriş sıcaklığı yaklaşık 69-70°C değerinde seyrederken çıkış sıcaklığı ise 57-58°C aralığında değişmektedir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında ortalama olarak +12°C'lik bir değişim meydana gelmiştir.

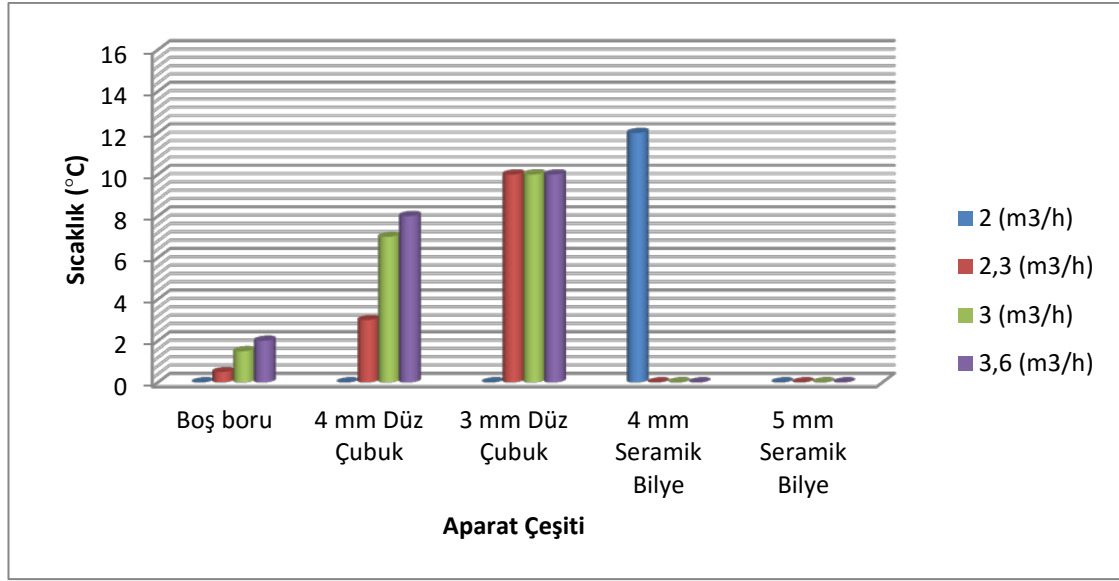
Bakır boru içerisine son olarak 5 mm çapında seramik bilyeler yerleştirilmiştir. Ancak yerleştirilen bilyelerle yapılan deneyler sonucu istenilen verim alınamamıştır. Bilyeler boru içerisini yoğun bir şekilde doldurduğu için çok düşük miktarda su geçişi olmuştur. Bu yüzden 5 mm çapındaki bilyelerin sistem için uygun olmadığı görülmüştür.

#### 4.2. Türbülatorlerin Sıcaklık Değişimi Açısından Karşılaştırılması

Bölüm 4.1'de türbülatorlerin farklı debi şartlarına göre sistemde sağladıkları sıcaklık düşüşü verilmiştir. Bu bölümde ise türbülatorler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Türbülator çeşidi ve debi değerine bağlı olarak ortalama sıcaklık değişimi Çizelge 4.2'de detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Türbülator ve debi değişimine göre sıcaklık düşümü

Türbülator Çeşidi	Debi Değeri (m <sup>3</sup> /h)			
	2	2.3	3	3.6
Boş boru Sıcaklık Değişimi °C	-	0.5	1.5	2
4 mm Düz Çubuk Sıcaklık Değişimi °C	-	3	7	8
3 mm Düz Çubuk Sıcaklık Değişimi °C	-	10	10	10
4 mm Seramik Bilye Sıcaklık Değişimi °C	12	-	-	-
5 mm seramik bilye Sıcaklık Değişimi °C	-	-	-	-



Şekil 4.11. Türbülötör ve debi değişimine göre sıcaklık değişimi

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.11. detaylı olarak incelendiğinde boş boruda çok düşük bir sıcaklık değişimi meydana geldiği görülmüştür. Ancak boru içerisine 4 mm çapında düz çubuk eklendiğinde sıcaklık değişimi bir miktar artmıştır. Özellikle 3 m<sup>3</sup>/h debi miktarından sonra sıcaklık değişimi belli bir rejime oturmuştur. 3 m<sup>3</sup>/h debiden itibaren borunun girişi ve çıkışı arasında 5-8°C aralığında bir sıcaklık değişimi olmaktadır.

Bakır boru içerisine 3 mm düz çubuk eklendiği zaman giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki değişim her üç debi değeri içinde 10°C'dir. Her üç debi içinde bu sıcaklık değerinin aynı olması 3 mm düz çubuğun boru içerisinde cidarlara eşit uzaklıkta kalmasıdır. Çubuğun her iki cidara da aynı uzaklıkta olması sayesinde, boru yüzeyden rahat bir şekilde ısıyı dış ortama aktarmıştır. 3 mm çapındaki çubuğun cidarlara eşit mesafede kalmasını sağlamak için şekil 3.16'daki şekilde çubuk üzerine eşit aralıklarla bakır tel sarılmıştır. Aynı şartlarda 4 mm çapındaki düz çubuk üzerine de ince bakır tel sarılmış ancak kalınlıktan dolayı boru içerisine yerleştirilememiştir.

Bakır boru içerisine 4 mm çapında seramik bilye eklendiği zaman ise maksimum debi değeri 2 m<sup>3</sup>/h değerinde +12°C'lik bir sıcaklık değişimi elde edilmiştir. Sudan havaya ısı geçişini arttırmak için boru içerisine eklenen aparatlar arasında en verimli 4 mm çapındaki seramik bilyeler olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇ

Enerji her geçen gün önemini arttırmakta ve enerjiye olan ihtiyaçta dolaylı olarak artmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması bu açıdan büyük önem kazanmaktadır. Enerjiyi verimli kullanmak için enerjinin iletiminde, dönüşümünde ve tüketiminde maksimum verimli cihazlar kullanılmalıdır. Enerji dönüşümünde en çok kullanılan yöntemlerin başında ısı transferi gelir. Eğer ısı transferi bir sistemde hangi oranda gerçekleşirse sistem o kadar verimli olur. Buradan hareketle yapılan bu tez çalışması kapsamında sudan havaya ısı transferini arttırmak amacıyla düz bakır boru içerisine çeşitli elemanlar ilave edilmiştir.

Boru içerisine eklenen elemanlar akış karakteristiğini değiştirerek akışta türbülasyon meydana getirmişlerdir. Meydana gelen türbülasyon sayesinde ısı transferinde artış meydana gelmiştir. Boru içerisine 3 ve 4 mm çapında düz çubuk ile 4 ve 5 mm kalınlığında seramik bilye eklenmiştir.

- 3 mm düz çubukta 10°C'lik bir artış
- 4 mm düz çubukta 5-8°C'lik bir artış
- 4 mm seramik bilyede 12°C'lik bir artış

Eklenen bu elemanlar sayesinde sudan havaya ısı transferinde boş boruya göre minimum 5°C maksimum 12°C'lik sıcaklık artışı sağlanmıştır. 5 mm'lik seramik bilyede herhangi bir artış sağlanamamıştır. Bu sıcaklık artışları sayesinde boru içerisine eklenen elemanların ısı transferini arttırdığını ortaya çıkmıştır.

Boru içerisine eklenen bu elemanların ısı transferini arttırması enerjinin verimli ve etkin bir şekilde kullanılmasının yanı sıra ısı transferi için geliştirilen ısı değiştiricisi sistemlerinin de değişmesine sebep olacaktır. Boru içerisine eklenen elemanlar sayesinde daha kısa mesafede daha fazla ısı geçişi gerçekleştiği için ısı değiştiricilerin boyutlarında ciddi miktarda azalma olacaktır. Isı değiştiricilerinin boyutlarındaki küçülmeler sayesinde daha kompakt ve verimli cihazlar elde edilecektir.

Yapılan bu tez çalışması dahilinde gerçekleştirilen deneylerde çeşitli değişiklikler yapılarak yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir. Örneğin deneyde kullanılan düz çubukların malzeme cinsi, çapı ve yüzey pürüzlülüğü değiştirilerek ısı transferine etkisi incelenebilir. Bunun yanısıra deneylerde kullanılan seramik bilyelerinde malzeme cinsi, çapı ve yüzey pürüzlülüğünün değişiminden kaynaklı ısı transferinin değişimi ayrıca farklı bilyelerin karıştırılarak boru içerisine eklenip ısı transfer katsayısının arttırılması da incelenebilir.

Isı transferini pasif yöntemler kullanarak arttırma oldukça yaygın ve popüler bir konudur. Sudan havaya, havadan suya vb. gibi çeşitli ısı değişimleri için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler sürdürülebilir bir enerji kullanımını açısından

oldukça önemlidir. Yapılan bu çalışma pasif yöntemler kullanarak ısı transferini arttırmak için yapılan çalışmalara bir katkı sağlayacak ve gelecek çalışmalar açısından yol gösterici olacaktır.

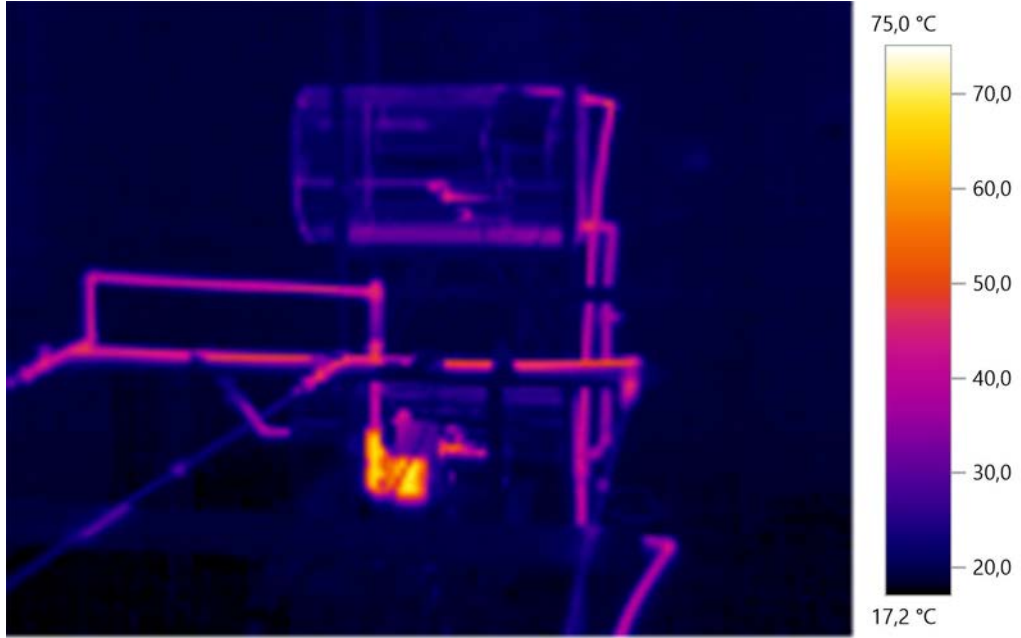
**6.KAYNAKLAR**

- ABDİ, H. 2014. Yatay borularda türbülötörlerin ısı transferine olan etkisinin deneysel ve teorik araştırılması. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 99
- BASHA, J.K., KARTHIKEYAN, G. and KARUPPUSAMY S. 2015. Heat Transfer Enhancement on Double Pipe Heat Exchanger by Wire Coiled and Taper Wire Coiled Turbulator Inserts, *Journal of Recent Research in Engineering and Technology* 2:1-11.
- BAŞ, H. 2012. İçerisine bükülmüş şeritler yerleştirilmiş bir boruda ısı geçişinin ve basınç düşümünün deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 95
- BERGLES, A.E. 1999. The Imperative to Enhance Heat Transfer, In: Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, Nato ASI series, 355:13-29.
- ÇENGEL Y.A. 2017 Isı ve Kütle Transferi; Palme Yayıncılık.
- CALISIR, T., KOSEOGLU, M. F., KILIC, M., and BASKAYA, S. 2015. Experimental and numerical investigation of flow field and heat transfer from electronic components in a rectangular channel with an impinging jet. *In EPJ Web of Conferences EDP Sciences*, 92:02009.
- DEMİR A. 2006. Kanatlı Bir Isı Değiştiricisi İçin Optimum Dizayn Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- DESALE P.S. and GHUEGE N. C. 2014. Heat Transfer Enhancement in Tube-in-Tube Heat Exchanger using Passive Techniques. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1(10):343-349.
- EIAMSA-ARD, S. and PROMVONGE, P. 2005. Enhancement of Heat Transfer in a Tube with Regularly- Spaced Helical Tape Swirl Generators. *Solar Energy*, 78, 483–494.
- EIAMSA-ARD, S., PETHKOOL, S., THIANPONG, C., and PROMVONGE, P. 2008. Turbulent Flow Heat Transfer and Pressure Loss in a Double Pipe Heat Exchanger with Louvered Strip Inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35:120–129.
- EIAMSA-ARD, S., RATTANAWONG, S., and PROMVONGE, P. 2009. Turbulent Convection in Round Tube Equipped with Propeller Type Swirl Generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36:357–364.

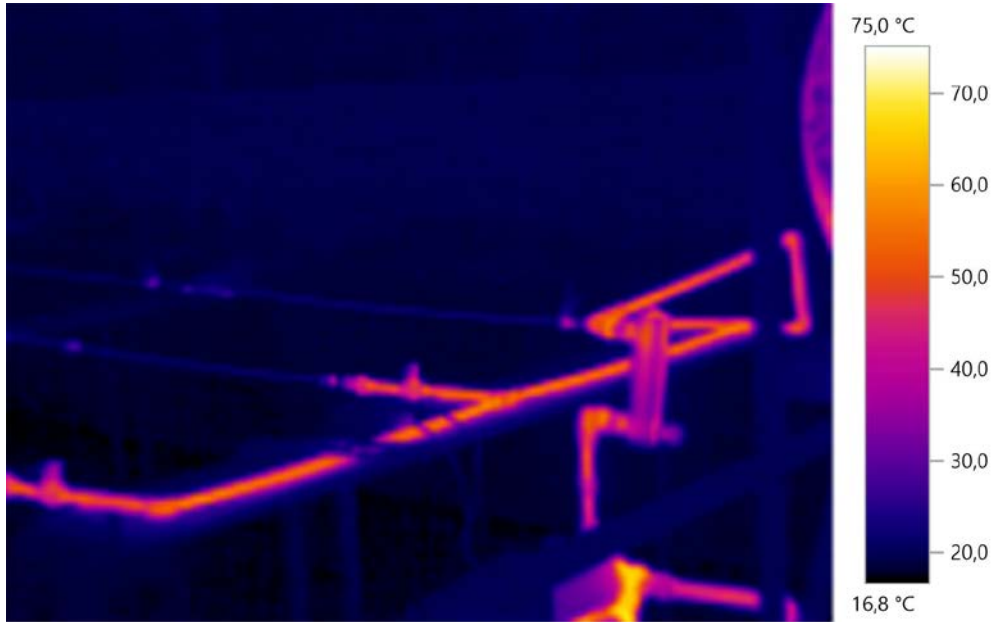


- EIAMSA-ARD, S., THIANPONG, C., and PROMVONGE, P. 2006. Experimental Investigation of Heat Transfer and Flow Friction in a Circular Tube Fitted with Regularly Spaced Twisted Tape Elements. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33:1225–1233.
- GUNES, S., OZCEYHAN V. and BUYUKALACA O. 2010. Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34:684–691.
- GUPTA, R. M. and BISSA, B.C. 2015. Heat transfer enhancement and friction factor analysis in tube using conical spring insert. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(5):253-260.
- GÜNEŞ, S. 2009. Çeşitli iç elemanlar yerleştirilmiş bir boruda ısı geçişinin incelenmesi. Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 130
- GÜNGÖR A. 2009. A Study On The Effects Of Operational Parameters On Bed-To-Wall Heat Transfer. *Applied Thermal Engineering*, 29:2280-2288.
- GÜRLEK, G. 2012. Farklı geometrilerdeki boru içi türbülatorlerin ısıl hidrolik performansa olan etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 154
- INCROPERA, F. and DEWITT P.D., 2001. Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri. Literatür Yayınları No:51, İstanbul.
- KARAKAŞ, A. 2012. Konveks ve konkav dirençlerin ısı transferine etkisinin zorlanmış konveksiyon şartlarında incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum
- KARAKAYA, E. 2013. Boru içerisine cidardan ayrık olarak yerleştirilen delikli şerit elemanların ısı transferi ve basınç düşümüne etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 66
- KIZILIRMAK, E. 2012. İç yüzeyinde engeller bulunan dairesel kanal içerisinde türbülanslı akış ve ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara,
- KOCA, T. 2007. Dönel helisel iç borulu ısı değiştiricilerinde ısı transferi ve basınç kaybının analizi. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ,
- KURTUL, Ö. 2007. İçerisine boylamasına kanatçıklar yerleştirilmiş kare kesitli eğrisel bir kanal içerisinde laminar akış ve ısı transferinin sayısal olarak analizi. Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara,

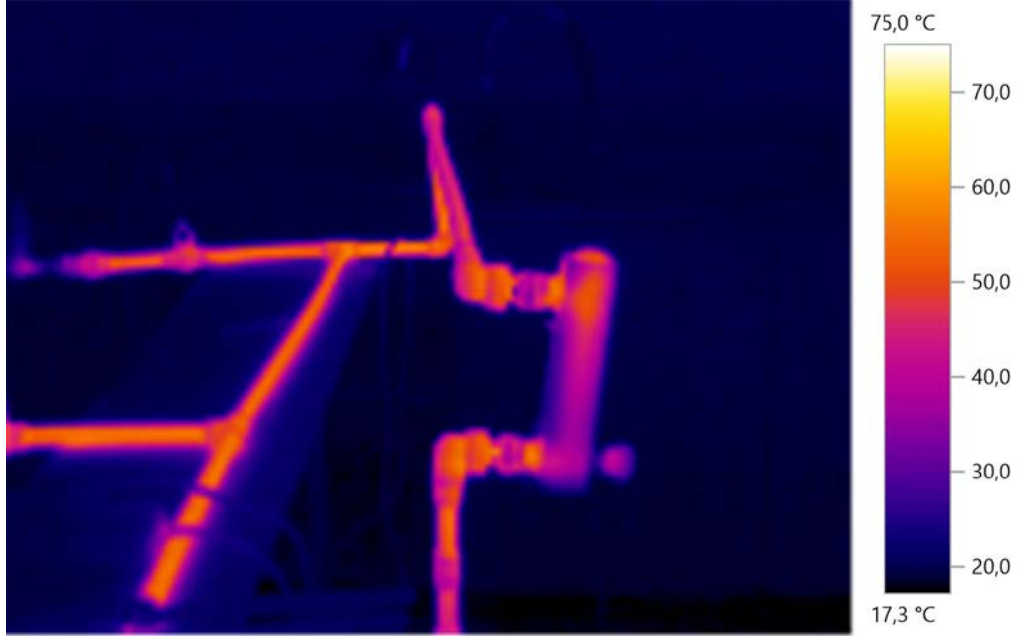
- MATANI, A.G. and DAHAKE, S.A. 2013. Experimental study on heat transfer enhancement in a tube using counter/co-swirl generation. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 2(3):100-105.
- ÖMEROĞLU, G. 2012. Türbülötörlerin iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisinin incelenmesi. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum,
- PROMVONGE, P. 2008. Heat Transfer Behaviors in Round Tube with Conical Ring Inserts. *Energy Conversion and Management*, 49:8–15.
- SAWARKAR, P. A., and PRAMOD R.P. 2015. Experimental Analysis of Augmentation in Heat Transfer Coefficient Using Twisted Tape with Semi-Circular Cut Insert. *International Journal of Science and Research*, 4(4):1174-1179.
- SEKMEN, U. 2006. Boru İçi Akışlarda Türbülötörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 73
- SHEIKHOLESAMI, M., BANDPY M. G. and GANJI D. D. 2015. Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49: 444–469.
- TURAN, B. 2010. İçerisine Keskin Uçlu Disk Yerleştirilmiş Borularda Karma Taşınım Isı Transferinin İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ,
- WEBB, R. L. 1994. Principals of Enhanced Heat Transfer, p. 1-20, John Wiley& Sons, Inc., New York.
- YILDIZ, Ş. 2007. İç içe borulu ısı değıştiricilerinde yaylı türbülötörlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkisi. Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ,
- YÜNCÜ H. ve KAKAÇ S. 1999. Temel Isı Transferi, Bilim Yayınevi, Ankara.
- ZIMPARAOV, V. 2001. Enhancement of Heat Transfer by a Combination of Three-start Spirally Corrugated Tubes with a Twisted Tape. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44: 551-574.

**7. EKLER****EK 1: Sistemin termal kamera görünümü**

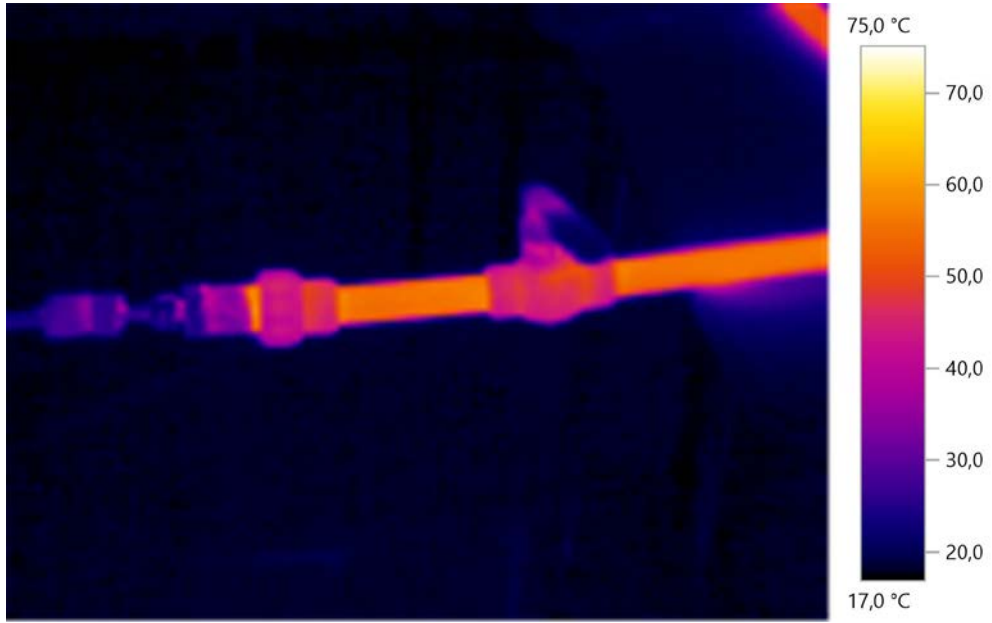
Şekil 7.1. Sistemin termal olarak genel görünümü



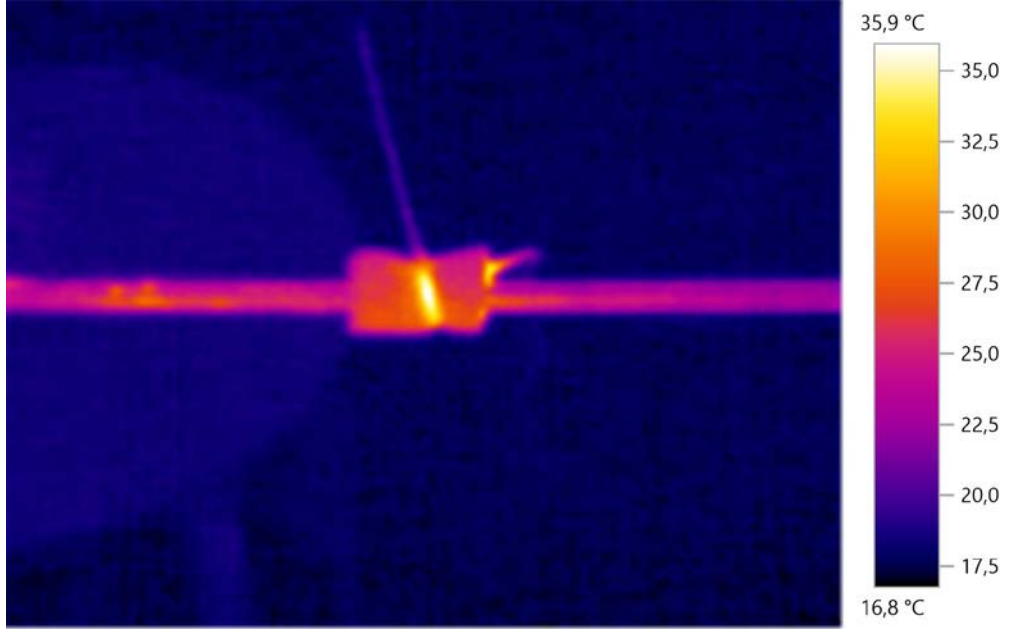
Şekil 7.2. Boru girişlerinin ve sistemin termal olarak görünümü



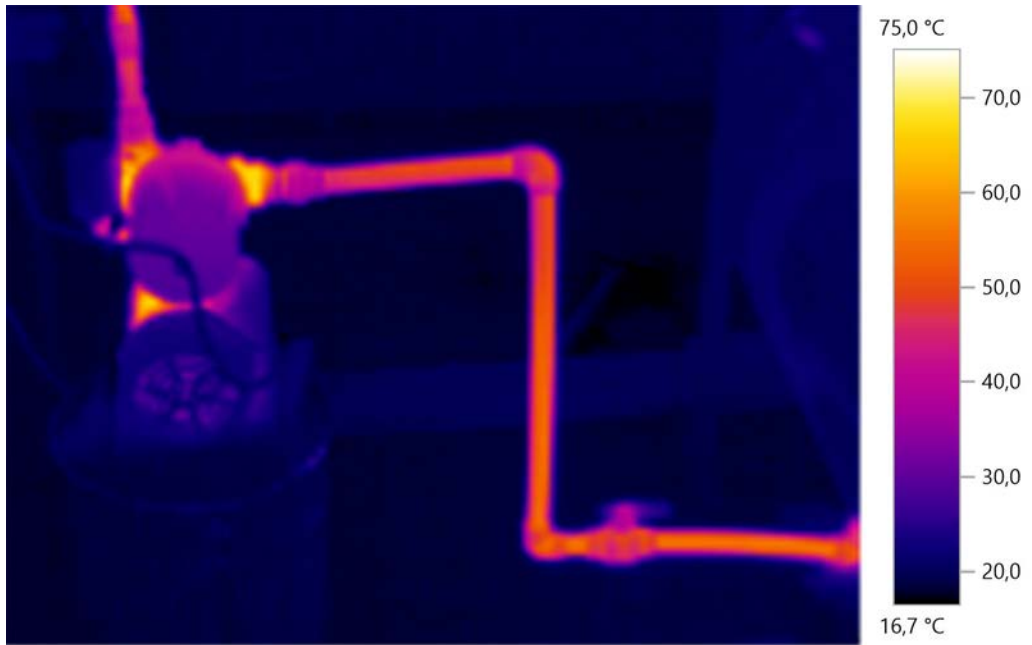
Şekil 7.3. Debimetre ve boru girişlerinin termal olarak görünümü



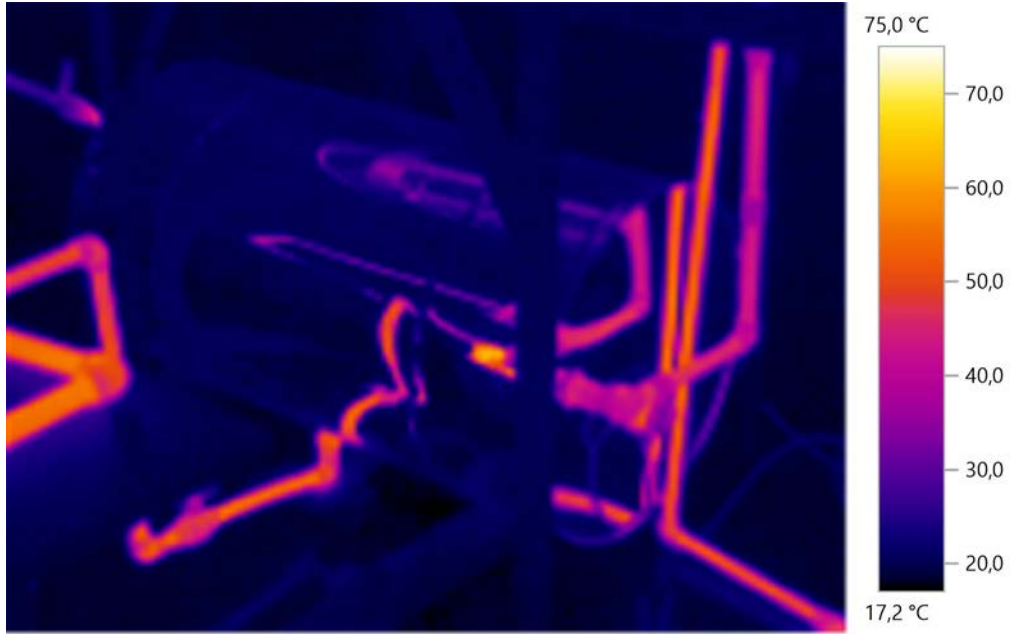
Şekil 7.4. Plastik boru ve vanaların termal olarak görünümü



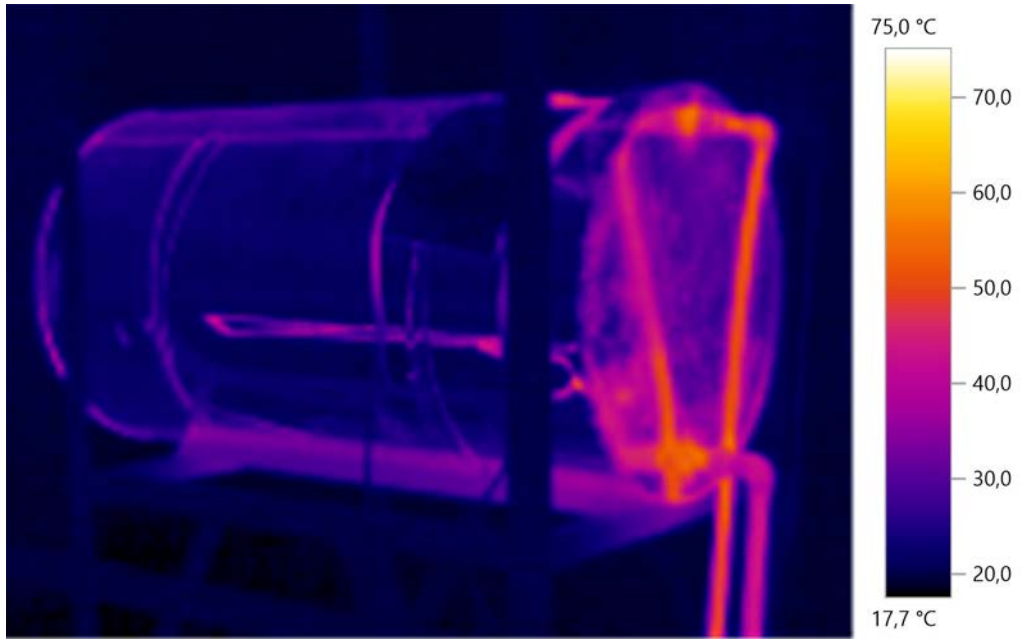
Şekil 7.5. Ölçüm noktalarının termal olarak görünümü



Şekil 7.6. Pompa ve sıcak su deposu çıkışı termal olarak görünümü



Şekil 7.7. Sıcak su deposu termal olarak görünümü



Şekil 7.8. Soğuk su deposu termal olarak görünümü

ÖZGEÇMİŞ



İsmet Faruk YAKA, 1991 yılında Antalya Korkuteli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya’da tamamladı. 2010 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. 2014-2017 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimini tamamladı