



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

**LEVHA TİPİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISI
TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

AMİR GÖLOĞLU

Danışman: Doç. Dr. Adem YILMAZ

Haziran-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Amir GÖLOĞLU tarafından hazırlanan “**LEVHA TİPİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan Danışman

Doç. Dr. Adem YILMAZ

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Abdülkadir KOÇER

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÖZEN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
LEE Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Amir GÖLOĞLU

20/06/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LEVHA TİPİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Amir GÖLOĞLU

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adem YILMAZ
2023, 59 Sayfa

Jüri
Doç Dr. Adem YILMAZ
Dr. Öğretim Üyesi Abdülkadir KOÇER
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÖZEN

Son dönemde teknolojinin hızla ilerlemesi ve gelişmesi, enerji konusunun giderek artan bir öneme sahip olmasına neden olmuştur. Enerjinin üretimi ve verimli bir şekilde kullanılması, fosil yakıtlar ve diğer kaynaklar üzerindeki baskılar göz önüne alındığında son derece kritik hale gelmiştir. Enerji kaynaklarının coğrafi olarak farklı bölgelere dağılımı ve bu bölgelerdeki istikrarsızlık faktörleri, enerji üretimi ve verimli kullanımı açısından daha da önemli hale gelmiştir. Artan enerji maliyetleri, insanları alternatif enerji üretim yöntemlerine yönlendirmiş ve enerji tüketiminde verimlilik artışı sağlama arayışına yöneltmiştir. Sanayi ve konutlarda kullanılan buhar ve sıcak su kazanları gibi sistemlerde, enerji kayıplarının büyük bir kısmı yüksek sıcaklıktaki baca gazının atmosfere atılmasıyla gerçekleşmektedir. Isı transferi için kullanılan ısı değiştiriciler ve eşanjörler, ısıtma-soğutma sistemlerinde ve enerji santrallerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Isı değiştiriciler, su, hava ve gaz gibi doğrudan veya dolaylı temaslı olabilen tipleri içermektedir. Bu noktada, farklı türbülator yöntemleri kullanılarak ısı değiştiricilerinin verimliliği üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Türbülatorler, baca gazı aracılığıyla dışarı atılan enerjinin kazan suyuna geri verilmesini sağlar. Duman borularından geçen baca gazının türbülansını artırarak geçiş hızını azaltır ve temas yüzeyini genişleterek, baca gazının taşıdığı ısıyı kazan suyuna aktarır. Günümüzde türbülatorler, bakır, alüminyum, galvaniz ve çelik gibi çeşitli malzemelerden ve kullanım amacına bağlı olarak farklı açılara sahip olarak üretilmektedir.

Bu çalışmada, ısı transfer verimini artırmak amacıyla bakır borular içerisine farklı malzemelerden yapılmış levha ve spiral sac yerleştirilmiştir. Bu sistemde buhar ve hava akışkanları kullanılmıştır. Deneyin yapıldığı sistemde, ısıtılan su alt kısımdaki depoda tutulmuş ve boru aracılığıyla buhar olarak üst kısımda bulunan türbülatorre gönderilmiştir. Hava akış hızını değiştirebilmek için deney sisteminde bir fan kullanılmıştır. Türbülatorlü ve boş borulu deneyler gerçekleştirilmiştir. Galvaniz levha için yapılan hesaplamalarda, 2,5 m/s hızda en yüksek verim %23 olarak elde edilmiştir. Galvaniz spiral levha için yapılan hesaplamalarda ise 2,5 m/s hızda en yüksek verim %27 olarak elde edilmiştir. Paslanmaz çelik levha kullanıldığında ise 3,9 m/s hızda en yüksek verim %22 olarak belirlenmiştir. Paslanmaz çelik spiral levha kullanıldığında da 3,9 m/s hızda en yüksek verim %22 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır Boru, Galvaniz Sac Levha, Galvaniz Spiral Sac, Isı transferi, Paslanmaz Çelik Sac, Paslanmaz Spiral Levha, Türbülator

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF TURBULATORS PRODUCED OF DIFFERENT MATERIALS ON HEAT GAIN

AMİR GÖLOĞLU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN RENEWABLE ENERGY
SYSTEM**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

2023, 59 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Adem YILMAZ

Assist. Prof. Dr. Abdülkadir KOÇER

Assist. Prof. Dr. Fatih ÖZEN

The rapid advancement and development of technology in recent times have led to increasing importance of the energy sector. The production and efficient utilization of energy have become critically important considering the pressures on fossil fuels and other resources. The geographical distribution of energy sources and instability factors in these regions have further highlighted the significance of energy production and efficient usage. Rising energy costs have prompted people to turn to alternative energy generation methods and seek improvements in energy efficiency. Systems such as steam and hot water boilers used in industries and residential buildings incur significant energy losses through the expulsion of high-temperature flue gases into the atmosphere. Heat exchangers and heat transfer devices are extensively employed in heating, cooling, and power generation systems to facilitate heat transfer. These heat exchangers include types that enable direct or indirect contact with fluids such as water, air, and gases. Research is currently being conducted on various turbulator methods to enhance the efficiency of heat exchangers. Turbulators facilitate the recovery of energy expelled through flue gases and transfer it back to the boiler water. They increase turbulence in the flue gases passing through the smoke tubes, reduce their flow velocity, and increase the surface area for heat transfer, thus enabling the transfer of heat carried by the flue gases to the boiler water. Turbulators are manufactured using various materials like copper, aluminum, galvanized steel, and are designed with different angles depending on their intended applications.

In this study, to enhance the efficiency of heat transfer, sheets and spiral plates made from different materials were placed inside copper tubes. The system utilized steam and air as the working fluids. In the experimental setup, the heated water was held in a lower tank and sent as steam through the tubes to the turbulator located in the upper part. A fan was employed in the experimental system to adjust the air flow rate. Experiments were conducted with both turbulated and plain tubes. Calculations performed for galvanized sheets yielded the highest efficiency of 23% at a flow velocity of 2,5 m/s. For galvanized spiral plates, the highest efficiency of 27% was obtained at the same flow velocity. When stainless steel sheets were used, the highest efficiency of 22% was determined at a flow velocity of 3,9 m/s. Similarly, using stainless steel spiral plates resulted in the highest efficiency of 22% at a flow velocity of 3,9 m/s.

Keywords: Copper Tube, Galvanized Sheet, Galvanized Spiral Plate, Heat Transfer, Stainless Steel Sheet, Stainless Steel Spiral Plate, Turbulator.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin her bölümünde yanımda olan, verdiği bilgi ve tavsiyeleriyle beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Adem YILMAZ ve Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımda yardımcı olan Yasin SOLMAZ ve Mustafa CAYMAZ' a teşekkür ederim. Deney çalışmalarım esnasında ve sonrasında bilgilerine başvurduğum hocalarıma vermiş oldukları katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Zor günlerimde her zaman yanımda olan ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Amir GÖLOĞLU
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. GENEL BİLGİLER	13
3.1. Isı Değişiriciler	13
3.1.1. Isı	14
3.1.2. Isı transferi iyileştirme teknikleri.....	14
3.2. Isı İletim Şekilleri	14
3.2.1. Kondüksiyon (Temas ve iletim) yolu ile ısı transferi	15
3.2.2. Konveksiyon (Isının kütsel hareketi) yolu ile ısı transferi.....	15
3.2.3. Radyasyon (Işıma) yolu ile ısı transferi.....	16
3.3. Türbülötör	16
3.3.1 Isı değiştirici şekilleri ve sınıflandırılması.....	17
3.3.1.1. Borulu ısı değiştiriciler (Eşanjörler)	17
3.3.1.2. Plakalı(Levhalı) ısı değiştiriciler	18
3.3.1.3.Kanatlı rejeneratip ısı değiştiriciler.....	19
3.3.1.4.Spiral levhalı ısı değiştiriciler	19
3.3.1.5.Spiral levhalı ısı değiştiricilerin avantajları	20
4. MATERYAL ve YÖNTEM	21
4.1. Yöntem.....	21
4.2. Deney Düzeneginin Tanıtımı	21
4.3. Deney Sisteminde Kullanılan Ölçüm Aletleri	26
4.3.1. Datalogger cihazı	26
4.3.2. Fan motoru	28
4.3.3. Anemometre	29
4.4. Hesaplama Yöntemi.....	31
4.4.1. Reynolds sayısı hesabı	31
4.4.2. Nusselt sayısı hesabı	32

4.4.3. Sürtünme katsayısı hesabı.....	34
4.4.4. Diğer bağıntılar	35
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	36
5.1. Türbülatorlerin Kıyaslandığı Nusselt-Reynolds grafikleri	36
5.2. Türbülatorlerin Reynolds Sayısı 1902-3803-5705-7060-9508-11409-13311-14832 Değerleri ile kıyaslandığı Nusselt Grafikleri.....	41
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	47



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	: Isıl kapasite (W)
C_{ort}	: Ortalama akışkan hızı (m/s)
c_p	: Özgül Isı ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
D_i	: İçteki borunun iç çapı (m)
D_H	: Hidrolik çap (m)
f	: Sürtünme faktörü
h_m	: Ortalama ısı taşınım katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
k	: Isı iletim katsayısı ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
L	: İç boru uzunluğu (m)
Nu	: Nusselt sayısı
Re	: Reynolds sayısı
A	: Alan (m^2)
A_y	: İç borunun yanal alanı (m^2)
A_k	: İç borunun kesit alanı (m^2)
Q_g	: Giriş-Çıkış arası ısı kazancı (W)
$\dot{S}_{top,\Delta p}$	: Basınç farkından kaynaklanan entropi ($W.K^{-1}$)
$\dot{S}_{top,\Delta T}$	: Sıcaklık farkından kaynaklanan entropi ($W.K^{-1}$)
$\dot{S}_{top,boş\ boru}$	: Boş borudaki entropi ($W.K^{-1}$)
$\dot{S}_{top,tür}$	: Türbülantörlü boruda entropi ($W.K^{-1}$)
U	: Toplam ısı transfer katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi (m^2/s)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu ($kg.m^{-3}$)
$\dot{m}$	: Havanın kütleli debisi ($kg.s^{-1}$)
T_y	: Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}K$)
T_g	: Akışkanın giriş sıcaklığı ($^{\circ}K$)
$T_{\dot{c}}$	: Akışkanın çıkış sıcaklığı ($^{\circ}K$)
T_o	: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)
ΔT_1	: Yüzey sıcaklığı ve giriş sıcaklığı farkı ($^{\circ}K$)
ΔT_2	: Yüzey sıcaklığı ve çıkış sıcaklığı farkı ($^{\circ}K$)
ΔT_{lm}	: Logaritmik sıcaklık farkı ($^{\circ}K$)

Kısaltmalar

J	: Joule (jul)
kj	: Kilojoule
°C	: Santigrat
ç	: Çıkış
g	: Giriş
ort	: Ortalama
Kcal	: Kilokalori (kcal)
μ	: Dinamik viskozite, ($\text{kg.m}^{-1}.\text{sn}^{-1}$)
$\square$	: Performans Karakteristiği
$\square_{ij}$	: Her bir deneyin performans karakteristiği değeri
ν	: Havanın kinematik viskozitesi, ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)
θ_0	: Yüzey ve akışkan arasındaki sıcaklık farkı, (K)
ρ	: Havanın yoğunluğu, (kg.m^{-3})
s	: Cidar
sis	: Sistem
ε	: Etkinlik
h:	: Isı transfer taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2.\text{K}$)
L:	: Karakteristik Uzunluk (m)
V:	: Akışkanın Hızı (m/s)
D	: Boru Çapı (m)
V_{ort}	: Akışkanın ortalama geçiş hızı
C_p	: Akışkanın özgül ısı
T_y	: Cidar sıcaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Deney düzeneğinin tanıtılması (Yıldız, 2007)	3
Şekil 2.2. Deney sisteminin elemanları (Baysal, 2009)	4
Şekil 2.3. Deney düzeneğinin gösterimi (Abdı, 2014)	6
Şekil 2.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Yaka, 2017)	7
Şekil 2.5. Deney düzeneğinin şematik görünüşü (Deviren, 2019)	8
Şekil 2.6. Deney düzeneğinin gösterimi (Baykara, 2019)	9
Şekil 2.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Fırat, 2022)	11
Şekil 3.1. Düz borulu ısı değiştiricisi (Bozkula, 2016)	13
Şekil 3.2. Isı transfer yöntemleri (anonim)	15
Şekil 3.3. Türbülator örneği (Ertan, 2019)	16
Şekil 3.4. Spiral boru ısı değiştiricileri (Deviren, 2019)	18
Şekil 3.5. Levha kanatlı ısı değiştiriciler (Sarı, 2017)	18
Şekil 3.6. Plakalı (Levhalı) ısı değiştirici (Bozkula, 2016)	19
Şekil 4.1. Deney sisteminin şematik görünüşü	22
Şekil 4.2. Türbülatorlerin lazer kesim makinesi ile imalatı	23
Şekil 4.3. Lazer kesim makinesi ile imal edilen türbülator	23
Şekil 4.4. Deney sisteminde yer alan türbülatorler	24
Şekil 4.5. Deneyde kullanılan türbülator yerleşimi	24
Şekil 4.6. Deney setinin görseli	25
Şekil 4.7. Datalogger cihazı ile deney ölçümlerinin yapılması	26
Şekil 4.8. Isıl çiftlerin datalogger cihazına bağlanması	27
Şekil 4.9. Kompakt seri dönüştürücü adaptör cihazı	27
Şekil 4.10. ELİMKO E-680 dijital veri tarayıcı görseli	28
Şekil 4.11. Sıcaklık verilerinin okunup kaydedilmesi	28
Şekil 4.12. Deney düzeneğinde kullanılan fan motoru görseli	29
Şekil 4.13. Kestrel anemometre cihazının görseli	29
Şekil 4.14. Deney düzeneğinde kullanılan türbülatorlerin imalat görseli	30
Şekil 4.15. Deney düzeneğinde kullanılan türbülatorlerin çizimi	30
Şekil 4.16. Paralel ve çapraz akışlı eşanjörlerde sıcaklık fark grafiği (Çengel, 2002) ...	34
Şekil 5.1. Deney sisteminde kullanılan türbülatorlerin sıcaklık-hız grafiği	36
Şekil 5.2. Deney sisteminde kullanılan türbülatorlerin verim oranlarının grafiksel gösterimi	37
Şekil 5.3. Deney sistemi boş boru Nusselt sayısı-Reynolds sayısı grafiği	38
Şekil 5.4. Deney sistemi galvaniz levha boru Nusselt sayısı-Reynolds sayısı grafiği ..	39
Şekil 5.5. Deney sistemi paslanmaz çelik levha Boru Nusselt Sayısı-Reynolds sayısı grafiği	39
Şekil 5.6. Deney sistemi spiral galvaniz levha boru Nusselt sayısı-Reynolds sayısı grafiği	40
Şekil 5.7. Deney sistemi spiral paslanmaz çelik levha boru Nusselt sayısı-Reynolds sayısı grafiği	40
Şekil 5.8. Türbülatorlerin Reynolds Sayısı 1902-3803-5705-7606-9508-11409-13311 değerleri ile kıyaslandığı Nusselt grafikleri	41

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Hesaplanan Reynolds değerleri	32
Tablo 5.1. Deney sisteminde kullanılan türbülatorlerin verim oranları (%)	37



1.GİRİŞ

Enerji, günümüzde en önemli konulardan biri olarak öne çıkmaktadır. Enerjinin üretimi, etkili bir Şekilde kullanımı ve tasarrufu son derece kritik bir öneme sahiptir. 21. yüzyıl araştırmalarında, enerji konusu büyük bir önem taşımaktadır. Kullanmakta olduğumuz enerji kaynakları, değişen ve gelişen teknolojiyle birlikte değişmektedir. Eskiden, doğada kolaylıkla bulunan odun gibi yakıtlar kullanılırken, daha sonra kömür, son zamanlarda ise petrol ve doğal gaz kullanımı yaygın hale gelmiştir. Günümüzde neredeyse tüm enerji ihtiyacımız fosil yakıtlar ve bunların türevleriyle karşılanmaktadır. Ayrıca, enerjinin bir kısmı rüzgar, güneş, jeotermal enerjisi gibi kaynaklardan, çok küçük bir kısmı ise nükleer enerjiden sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenme olasılığı, enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı sorusunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların tükenmesiyle birlikte fiyatların artması, enerjinin daha etkili bir Şekilde kullanılması, alternatif kaynakların bulunması ve mevcut kaynakların geliştirilmesi konularına odaklanmayı gerektirmektedir.

Sanayi ve konutlarda kullanılan buhar ve sıcak su kazanlarında, enerji kaybımızın büyük bir kısmı yüksek sıcaklıktaki baca gazının atmosfere atılmasıyla gerçekleşmektedir. Isı transferi için ısı değiştiriciler ve eşanjörler kullanılmaktadır. Isıtma-soğutma sistemleri ve enerji santralleri gibi çeşitli alanlarda ısı değiştiriciler yaygın bir Şekilde kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri, su, hava ve gaz gibi doğrudan temaslı veya dolaylı temaslı olabilen farklı türleri içermektedir.

Türlütörler aracılığıyla, baca gazıyla dışarı atılan enerji kazan suyuna geri verilmektedir. Türlütörler, duman borularından geçen baca gazının türlütörünü artırarak geçiş hızını azaltır ve temas yüzeyini genişleterek, geçen baca gazının taşıdığı ısının kazan suyuna aktarılmasını sağlar. Günümüzde, türlütörler çeşitli malzemelerden (bakır, alüminyum, galvaniz, çelik vb.) ve farklı açılara sahip olarak üretilmektedir. Bu üretimler, kullanım amacına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Dünya genelindeki enerji kaynaklarının maliyetinin artması ve azalması, enerji verimliliği konusundaki farkındalığımızı artırmıştır. Bu çalışmada, düz bir boru içine farklı levha tipleri ve galvaniz ile paslanmaz çelik türlütör tasarımları yerleştirilerek, verimlilikleri incelenmiştir. İncelenen türlütörlerin sonuçları tablo ve grafikler şeklinde sunulacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Türbülatorler enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Türbülatorler, çeşitli ısı kaynakaları ile çalışabilmesi, düşük maliyetli oluşları, kurulumlarının ve bakımının kolay olması nedeniyle cazip olmaktadır. Türbülatorlerin günümüzde kullanıldığı alanlar, termik santraller, ısıtma ve soğutma alanında, otomotiv sektörü, petro-kimya sektörü, sanayi ve çeşitli endüstri alanlarında kullanılmaktadır.

Kurtbaş ve ark. (2002), araştırmasında ısı değiştirici tasarımı üzerinde durmuşlardır. Isı değiştiricilerin işletme maliyetlerinin fazla olması, kullanım ömrü boyunca toplam maliyete ek yük getirmesi gibi olumsuz durumlarından bahsedilmekte ve ısı değiştirici dizaynında en önemli parametrenin etkinlik analizi olduğu üzerinde durmuşlardır. Isı değiştiricilerde etkinliğin artırılarak, enerji tasarrufu sağlamada en etkili yöntem, sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki ısı taşınım katsayılarının mevcut duruma göre artırmayı sağlamaktır. Bu durum aktif veya pasif yöntemlerin bir kaç tanesi ile gerçekleştirilebilir. Araştırma ekibi çalışmalarında dış yüzeyi buhar ile ısıtılan, sabit cidar sıcaklığına sahip bir tüp içindeki akışta, ısı transferini arttırmak amacıyla kesik koni şekline sahip olan türbülatorler kullanılmıştır. Tüp içerisinden hava akmaktadır. Reynolds $5000 < Re < 30000$ aralığında yapılmıştır. Tüpte; basınç kaybı, ekserji analizi ve ısı transferi için çeşitli hesaplamalar türbülatorlü ve türbülatorsüz durumlar için yapılmıştır.

Turgut (2005), çalışmasında farklı kanat çaplarına sahip türbülatorleri, eş eksenli iç içe geçmiş iki borudan oluşan ısı değiştiricisinin, iç boru girişine farklı kanat açılarında yerleştirilmiştir. Burada oluşan akışın basınç kayıpları ve ısı transferi incelenmiştir. Yapılan deneylerde kanat açısının basınç kaybı ve ısı transferi açısından önemli bir parametre olduğu saptanmıştır. Türbülator kanat açısının küçülmesi akışkanın dönme açısını azaltmış ve akış yolunu da uzatmıştır. Bu durum da ısı transferinde iyileştirmeler oluşturmuştur.

Argunhan ve ark. (2006), araştırmalarında iç içe geçmiş borulu ısı değiştiricilerin farklı delik sayılı dönme üreticilerinin basınç düşüşü ve ısı transferine etkisi incelenmiştir. Deneyde değiştirgecin 60 mm çapındaki iç borunun girişine 55° kanat açısına sahip ve kanatlarda birer, ikişer, üçer ve dörder adet olmak üzere dairesel delikler bulunan dönme üreticiler yerleştirilmiştir. İç boru girişine rahatça takılabilen ve sökülebilecek şekilde tasarlanmıştır. Akışkan olarak İç borunun dışından soğuk akışkan su geçirilmiş ve iç boru içinden ise sıcak akışkan olarak hava geçirilmiştir.

Kahraman ve ark. (2008) araştırmasında boru içerisine yerleştirilen türbülans yayıcı olarak paslanmaz çelikten imal edilmiş iki farklı kanatçık açıklığında olan ve üç farklı kanatçık açısına sahip türbülator kullanılarak ısı geçişi üç boyutlu olarak incelenmiştir. Çalışmada çeşitli veriler elde edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Boru içerisinde türbülator kullanıldığı zaman Nusselt sayısının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca türbülatorün kanatçık mesafesi ve kanatçık açısının ısı transferini etkilediği gözlenmiştir. Reynolds sayısının artması sonucu Nusselt sayısının da arttığı gözlenmiştir ve sürtünme katsayısı azalmaktadır.

Baysal (2009), çalışmasında bir deney düzeneği kurmuştur. Eş merkezli borulu ısı değiştiriciye yerleştirilmiş türbülatorlerin Reynolds sayının 3000-14000 aralığı için ısı transfer performansı ve sürtünme durumları deneysel olarak incelenmiştir. İç içe geçmiş olan iki borudan sırayla sıcak hava ve soğuk akışkan olarak su geçirilmiştir. Daha sonra çeşitli veriler elde edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Boş boruya göre helisel türbülator kullanılan borularda ısı transfer iyileşmesinin sağlandığı görülmüştür. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Deney sisteminin elemanları (Baysal, 2009)

Behçet ve ark. (2009) araştırmasında boru içi akışındaki ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla ısı değiştiricinin giriş kısmına dönmeli hava akışını gerçekleştirmek için pervane tipi türbülator yerleştirilerek basınç kayıpları ve ısı transferi incelenmiştir. Isı transfer edilen akışkan olarak su ve suya ısı transferini sağlamak amacıyla hava kullanılmıştır. Isı transferi ve basınç kaybı değerleri Reynolds 8000-24000 arası için hesaplanmıştır. Boş boru ve türbülatorlü boru hesaplamaları karşılaştırıldığında ısı transferi ve basınç kaybında artış olduğu gözlenmiştir.

Yemenici (2010), yapmış olduğu çalışmada farklı giriş hızlarında farklı blok yüksekliklerindeki akış ve ısı transfer analizi yapmıştır. 3 m/s giriş hızı için laminar akış, 5 m/s, 10m/s hızları için geçiş ve 15 m/s hız için türbülanslı akış yapısı incelenmiştir. Bloklu yüzeyler için yapılan akış ölçümü, düz yüzey türbülans yoğunluğu değerleri için yapılan akış ölçümlerinden yüksek çıkmıştır. Isı transfer artışı laminar akışa göre türbülanslı akışta daha fazla olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarının tamamı incelendiğinde tüm blok yükseklikleri ve giriş hızlarında bloklu yüzeyler üzerindeki ısı transferinin düz yüzeydeki ısı transferinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Karahan (2010), yapmış olduğu çalışmada Malatya' da bulunan kazan fabrikasında yer alan 125.000 kcal/h kapasiteli katı yakıtlı kazanda 8 farklı tipte ısı değiştirici kullanarak ısı verimi incelemiştir. Türbülatorlerin neden olduğu basınç kayıpları da incelenmiştir. Önce boş duman borularındaki ısı verim ve basınç değerleri ölçülmüştür. Daha sonra kazan duman boruları içerisine türbülatorler yerleştirilerek ısı verim ve basınç değerleri ölçülmüştür.

Budak (2011), araştırmasında iç içe bir ısı değiştiricide iç borunun girişine yerleştirilen dört farklı türbülatorün ısı transferine olan etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deney düzeneğinde ısı değiştiricinin iç borusundan sıcak akışkan olarak hava, soğuk akışkan olarak dış borudan su geçirmiştir. Deliksiz ve farklı delik konumlu olarak imal edilen türbülatorlerin basınç düşüşü ve ısı transferine etkisini incelemiştir. Deneyde akış hem aynı yönlü hem de zıt yönlü olarak gerçekleştirmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en fazla ısı transferi iç, dış kanadı ve gövdesi delikli türbülatorde gerçekleştiği görülmüştür.

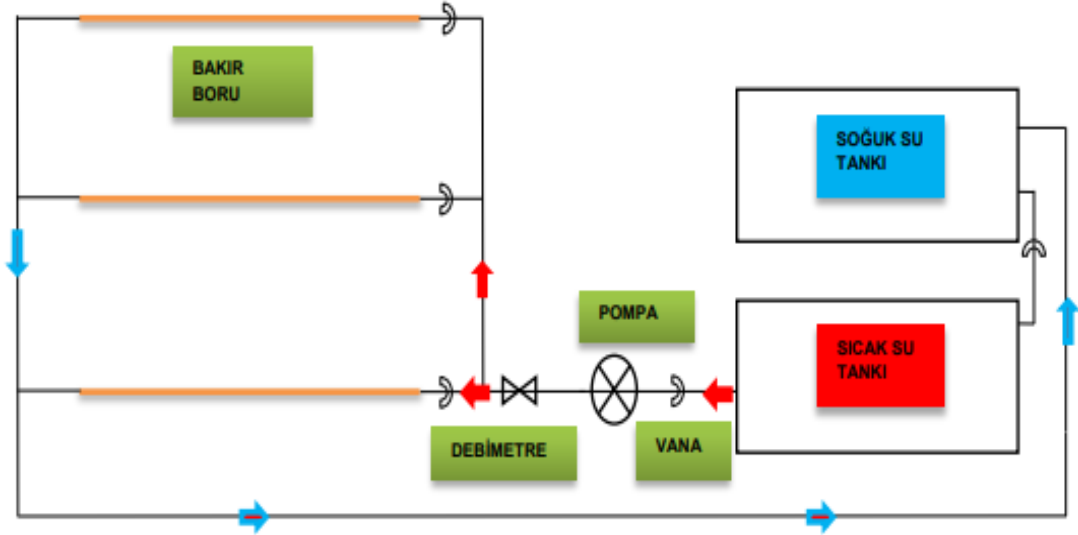
Abdı (2014), teorik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Boru içerisine şerit ve yay şeklinde türbülator yerleştirmiştir. Çalışmasında üç farklı şerit adımı ve üç farklı yay ve beş farklı Reynolds sayısına sahip altı farklı türbülator kullanarak Nu sayısına sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemiştir. Türbülator adımlarındaki değişimin Nu

sayılarına olan etkisi çalışmalarda gözlenmiştir. Sonuç olarak uygun geometride tasarlanan türbülatorlerin enerji tasarrufu sağlayacağı gözlenmiştir. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3. Deney düzeneğinin gösterimi (Abdı, 2014)

Yaka (2017), araştırmasında ısı transferini artırmayı hedeflemiştir. Çalışmasında düz boru içerisine türbülansı artırmak için düz krom çubuk, seramik bilye ve düz bakır çubuk yerleştirmiştir. Akışkan olarak su kullanılmış ve bir depoda su ısıtılarak belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra pompa vasıtasıyla borulara gönderilmiştir. Yapılan deney farklı debi oranlarına bağlı olarak ısı transfer durumları olumlu ve olumsuz katkıları araştırılmıştır. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Yaka, 2017)

Nacak (2018), çalışmasında boru içerisine yerleştirilen, cidardan ayırık olan trapez ve burulmuş trapez formundaki elemanların akış karakteristiğine ve ısı transferine olan etkisini Reynolds sayısının 5000-25000 aralığında inceleme yapmıştır. Sabit akış ve zorlanmış akış çalışma şartları altında deneyler yapılmıştır. Deneyler önce boş test borusu ile yapılmış ve daha sonra trapez ve burulmuş trapez formundaki elemanlar takılarak yapılmıştır. Burada diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak trapez ve burulmuş trapez formundaki şerit elemanlar boru merkezine aksel olarak yerleştirilmiş ve burada türbülantör etkisi oluşturmak hedeflenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde şerit elemanların ısı transferinde iyileştirmeler olmasına rağmen basınç kayıplarına neden olduğu görülmüştür.

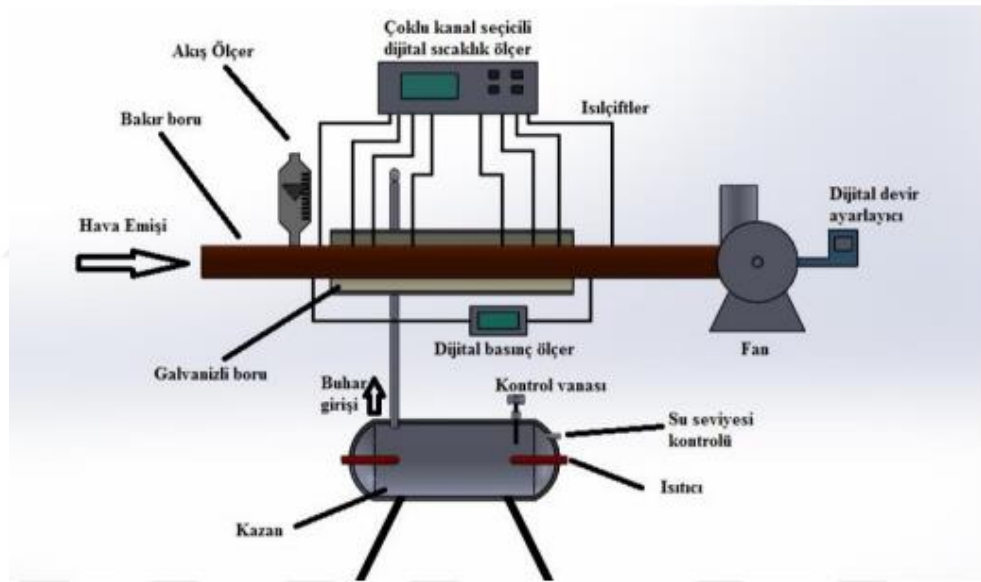
Sungur ve ark. (2018), çalışmasını duman borulu kazanların verimlerini artırmaya yönelik olarak yapmıştır. Duman borularına konik geometriye sahip türbülantörler yerleştirmiş ve ısı transferine olan etkileri nümerik olarak incelemiştir. Sonsuz sayıda ve farklı sayıda olmak üzere yedi geometri oluşturulmuş ve boş boru için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir oluşturulan geometrideki ısı transferi ve basınç kayıpları incelenmiştir. Isı transferinin kullanılan türbülantör sayısı arttıkça arttığı gözlenmiştir. Fakat ısı transfer artışı ise türbülantör sayısı artmasına rağmen artmamıştır.

Sarı (2019), çalışmasında farklı hatve yüksekliğinde tasarlanmış olduğu türbülantörlerin boru içerisindeki ısı transferini, akış üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmasında akışkan olarak hava kullanmıştır. Boru içerisine yerleştirilen türbülantörler

ile vorteksler üretilerek ısı transferinde iyileştirme amaçlanarak sayısal veriler incelenmiştir.

Erzincanlı (2019), deneysel olarak yapmış olduğu çalışmada boru içerisine yerleştirmiş olduğu türbülatorlerin tek fazlı akış için etkilerini incelemiştir. Deneyde üç farklı türbülator kullanılmıştır. Boru içerisine yerleştirilen türbülatorler akışı türbülanslı hale getirerek sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısında meydana gelen değişimler gözlenmiştir.

Deviren (2019), çalışmasında yeni tasarımı yapılan türbülatorlerin kullarımdaki sayı ve diziliminin verimliliğe olan etkilerini incelemiştir. Isı değıştiricinin giriş ve çıkış basınç, sıcaklık, debi hız gibi ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde türbülator sayısının artmasının verimde artış sağlandığı gözlenmiştir. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.5’de görölmektedir.



Şekil 2.5. Deney düzeneğinin şematik görünüşü (Deviren, 2019)

Ertan (2019), araştırmalarında iç içe geçmiş iki adet borulu $5000 \leq Re \leq 30000$ aralığında 6 farklı Reynold sayısı için çeşitli deneyler yapmıştır. Araştırmasında türbülatorlü ve türbülatorsüz olarak basınç kaybı, sürtünme faktörü, ısı transferi, ekserji analizi için hesaplamalar yapmış ve yapmış olduğu bu hesaplamaları grafik yöntemiyle göstermiştir.

Baykara (2019) araştırmasında konik tipli bir türbülatorü bir boru iç kısmına yerleştirmiş ve ısı transferi, basınç kaybı durumlarını incelemiştir. Çalışmasında Reynolds 18000-37000 sayısını aralığında gerçekleşmesini incelemiştir. Taguchi

Deneysel Tasarım metodu ile türbülatorlerin basınç kaybı ve ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiş, boyutsuz ekserji, NTU, entropi, etkinlik ve ısıl performans hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Deney düzeneğinin gösterimi (Baykara, 2019)

Çıtlak ve ark. (2019) yapmış oldukları araştırmada 125000 kcal/h kapasiteli katı yakıtlı kazanda ısı transferini iyileştirmek amacı ile 4 farklı tipte türbülatorü kazan duman borularına yerleştirerek deneyler yapmışlardır. İlk deney türbülator yerleştirilmeden yapılmıştır. Daha sonra ise kazan duman boruları içerisine türbülator yerleştirerek deneyler yapılmış ve ısı transferi hesaplanmıştır. Deney hesaplamaları Reynolds 1800-2800 aralığında yapılmıştır. Türbülatorlü yapılan deneyler, türbülatorsüz deneylere göre ısı transferinde en az %44, en fazla % 82 oranında artış sağladığı görülmüştür. Elde edilen modelde hata analizleri yapılmış ve basınç değerlerini başarılı bir şekilde tahmin ettiği gözlenmiştir.

Karagöz ve arkadaşları (2019), çalışmalarında boş boru ve içerisine türbülans oluşturacak kanatçıklar yerleştirilen boru karşılaştırılmıştır. Türbülatorlerin ısı karakteristikleri ve ısı transfer performansları incelenmiştir. En yüksek hızda verim 90° açıda olduğu görülmüştür.

Turgut (2019), çalışmasında iç içe geçmiş iki boru kullanmıştır. İç boruya eş eksenli olarak dairesel kesitli türbülatorler yerleştirilmiş ve basınç kaybı ve ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada parametre olarak Reynolds sayısı, türbülatorler arası mesafe türbülator üzerinde bulunan delik çapı ve sayısı gibi

parametreler seçilmiştir. Bir buhar kazanından elde buhar, konsantrik ısı değiştiricinin iç borusu ile dış borusu arasında bulunan boşluğa gönderilmiştir. Böylece iç boru dış yüzeyinde sabit sıcaklık elde edilmiştir. Reynolds 10000-42000 arasında seçilmiştir. Çalışmada akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Deney sonuçları incelendiğinde boş boru deney sonuçları ve literatürdeki bağıntılarla kıyaslanmış, kıyaslanan sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının artması ile ısı transfer değeri artmış ve sürtünme kayıp katsayısı değerleri de artmıştır. Reynolds sayısındaki artışa ters orantılı olarak ısı performans değişmiştir. Deney sonuçları enerji tasarrufu açısından değerlendirildiğinde türbülator tasarımının uygulanabilir olduğu görülmüştür.

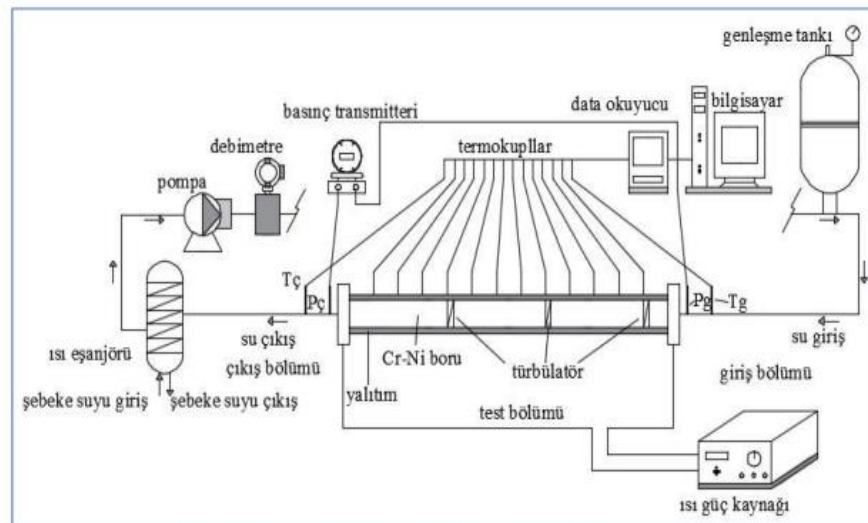
Koca ve Budak (2020), yapmış olduğu çalışmalarda kanatçık sayısı farklı olan kanatçıklı iç borulu ısı değiştiriciyi dik olarak konumlandırarak ısı transferinin artırılması incelenmiştir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan olan en önemli farkı türbülatorün dik olarak konumlandırılmasıdır. Basınç düşümleri ve ısı transferleri farklı iç borularda incelenmiştir. Yapılan çalışmada ısı transferinin kanatçık sayısının fazla olduğu iç boruda bulunduğu gözlenmiştir.

Fırat ve ark. (2021) yapılan deneysel çalışmalarında 10^0 ve 20^0 kanatçık açılara sahip türbülatorlerin ısı transferi ve sürtünme faktörü etkileri araştırılmıştır. Bu deneyde kullanılan boru dairesel kesitlidir. Deney borusu boyunca paralel olarak paslanmaz tele sabitlenen üç adet açılı kanatçıklı türbülatorler ile akışın türbülanslı olması sağlanmış ve iki farklı açılı türbülatorler için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde türbülatorlerin, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü üzerine etkileri incelenmiştir. Reynolds 7223-10043 aralığında yapılan deneylerde 10^0 ve 20^0 kanatçık açılara sahip türbülatorlerin Nusselt sayılarının, boş boruya göre daha fazla artış gösterdiği görülmüştür. Açılı türbülatorlerin ısı transferindeki iyileşmenin $1'$ in üzerinde olduğu görülmüştür.

Çeri ve Koca (2022), yapmış olduğu araştırmasında farklı açılı kanatçıklara sahip türbülatorlerin ısı transferinde iyileştirmeler sağladığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında gaz yakıt ile çalışan kazanda farklı açılı kanatçıklara sahip türbülatorler üç geçiş borularına eklenerek türbülator kanatçık açısı değişiminin baca çıkış sıcaklığına ve ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Demiray (2022), deneysel çalışmasında bakır, alüminyum ve çelikten oluşan farklı malzemeleri bir mil üzerine yerleştirerek ısı transferini arttırmayı hedeflemiştir. Deneysel çalışmasında akışkan olarak buhar ve havayı kullanmıştır. Bir mil üzerine yerleştirilen türbülator kanatçıklarının başta, ortada ve sonda olacak şekilde verimleri incelenmiştir.

Farah (2022), deneyinde Reynolds sayısı 4000-20000 aralığı için boru içi türbülanslı akışta, boru içi boyunca yerleştirilmiş dikdörtgen kanatçıklar yerleştirilerek araştırmalar yapmıştır. Deneyler sabit ısı akışı çalışma koşulları ve zorlanmış taşınım şartları altında gerçekleşmiştir. Deneyler üç farklı açılı ve üç farklı kanatçık genişliği ve 9 farklı kanatçıklı burulmuş ve tipik burulmuş şerit eleman için yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar; Reynolds sayısı (Re), Nusselt sayısı (Nu) ve sürtünme faktörü (f) değişimleri tablolar ve ampirik bağlantılar kullanılarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında kanatçıklı burulmuş şerit eleman ile tipik burulmuş şerit eleman karşılaştırıldığında Nusselt sayısında ve sürtünme faktöründe artışa yol açtığı görülmüştür.

Fırat (2022), yapmış olduğu çalışmada daha önce çalışılmamış boru içerisine yerleştirilmiş olan üç farklı açı ve sayıdaki kanatçıklı türbülatorlerin kendi ekseninde dönen (sabit ve hareketli) durumlarının ısı transferi ve sürtünme faktörü açısından ele alarak incelemiştir. Deneyde kullanılan tüm türbülatorlerin Nusselt sayılarının, destekli dış boruda elde edilen Nu sayılarından daha büyük olduğu ve benzer tüm türbülator modellerine ait sürtünme faktörlerinin destekli boş boruda elde edilen sürtünme faktörlerinden daha büyük olduğunu gözlemlemiştir. Hem hareketli hem de sabit durumlarda, kanatçık açısı ve türbülator sayısının artmasına bağlı olarak Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün arttığı gözlenmiştir. Hareketli türbülatorlere göre sabit olan türbülatorlerin daha fazla ısı transferi ve sürtünme meydana getirdiğini gözlemiştir. Yapılan deney çalışmasına ait görsel Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Fırat, 2022)

Yapılan literatür çalışmasında türbülatorler ile yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Farklı malzeme ve farklı tasarımlarda türbülatorlerin kullanıldığı gözlenmiştir. Yapacağımız tez çalışması ile ilgili bir çalışmaya rast gelinmemiştir. Yapacağımız tez çalışması ile boru içerisine farklı tasarımlarda yapılan levha tipi türbülatorlerin ısı verimleri, basınç kayıplarının araştırılması yapılacaktır.

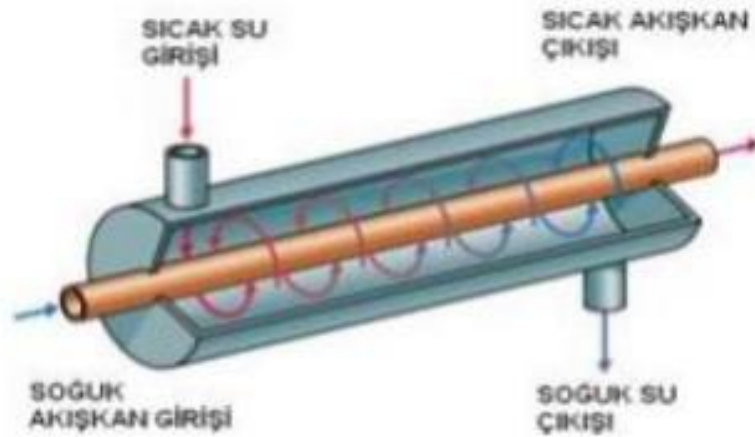


3. GENEL BİLGİLER

Isı değıştircileri incelediğimizde karşımıza çok çeşitli tipler çıkmaktadır. Farklı malzeme tipleri (bakır, alüminyum, çelik, v.b.), farklı açılarda ve farklı tiplerde (borulu ısı değıştirci, levha tipi ısı değıştirci, kanatlı ısı değıştirci, v.b.) ısı değıştircilerin üretiminin yapıldığı görölmektedir. Temelde ısı değıştircileri kullanım amacı ise günümüzde artan enerji maliyetlerinden tasarruf ve enerji kullanımını verimli hale getirmektir.

3.1. Isı Değıştirciler

Günümüzde mühendislik uygulamaları incelendiğinde en çok karşılaşılan süreçlerden birisi olan ısı değıştirciler, farklı sıcaklığa sahip iki yada daha fazla akışkan arasında ısı geçişini sağlayan elemanlardır. Isı değıştircilerin kullanım alanlarına baktığımızda özellikle ısıtma ve soğutma endüstrisinde, kimya endüstrilerinde, termik santrallerde, taşıtlarda ilaç sanayisinde, yenilenebilir enerji kaynakları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı değıştircileri, kullanım amacına göre farklı şekillerde tasarımı yapılabilmektedir. Isı değıştircilerin tasarımında akışkan tipleri, ısı geçiş mekanizması, fazları ve ekonomik faktörler gibi çeşitli parametreler etkilidir. Düz borulu ısı değıştirci Şekil 3.1’de görölmektedir (Deviren, 2019).



Şekil 3.1. Düz borulu ısı değıştircisi (Bozkula, 2016)

3.1.1. Isı

Isı ve sıcaklık kavramları genellikle birbirleriyle karıştırılmaktadır. Ancak bu iki kavramın birimleri ve ölçüm türleri birbirinden farklıdır. Isı, enerjinin bir çeşididir, oysa sıcaklık bir enerji çeşidi değildir. Sıcaklık, bir maddenin veya ortamın ölçüsüdür. Isı, sıcaklığı farklı olan iki madde birbirine temas ettiğinde sıcak olan maddeden soğuk olan maddeye doğru enerji transferi olarak ortaya çıkar ve sıcaklıkları eşitlenir. Bu enerji transferine ısı denir ve sıcaklık, maddeye ilişkin ısıl durumu gösteren ve enerji transferine neden olan bir etkidir. Farklı sıcaklıklardaki maddeler arasında, yüksek sıcaklıktaki maddeden düşük sıcaklıktaki maddeye enerji transferi, sıcaklık farkı nedeniyle gerçekleşir ve bu enerji transferine ısı adı verilir. Isı sembolü Q ile gösterilir ve uluslararası kabul gören birimi Joule (J) olarak ifade edilir.

Isı ve sıcaklık ölçülebilir büyüklüktür. Bir maddenin sıcaklığında azalma yada artma durumu var ise çevresinden ısı alış veriş gerçekleşmektedir. Sıcaklık termometre ile ölçülür ve T harfi ile sembolize edilir. Farklı sıcaklık ölçüm birimleri de bulunmaktadır. Celcius termometrelerde suyun deniz seviyesinde donma sıcaklığı 0°C , kaynama sıcaklığı ise 100°C alınır. Yüksek sıcaklıktaki bir madde yada ortamdan, düşük sıcaklıktaki bir madde yada ortama ısı geçişi sıcaklık miktarı eşitlenene kadar devam etmektedir (Demiray, 2022).

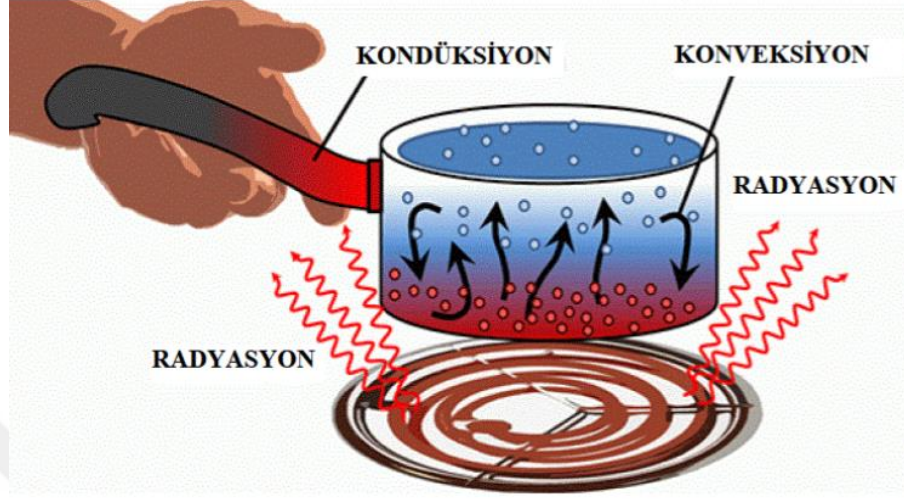
3.1.2. Isı transferi iyileştirme teknikleri

Isı transferi iyileştirme yöntemleri, ısı değiştiricilerin performansını artırmak veya boyutunu ve maliyetini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, pasif, aktif ve karma yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Aktif yöntem, akışkana ek enerji sağlayarak ısı transferinde iyileştirme gerçekleştirirken, pasif yöntem enerji eklenmeden ısı transferinde iyileştirme sağlamaktadır. Endüstriyel uygulamalarda genellikle pasif yöntemler tercih edilmektedir. Karma yöntemlerde ise aktif ve pasif yöntemler birlikte kullanılmaktadır, hatta bazen daha fazla yöntem bir arada kullanılabilir (Nacak, 2018).

3.2. Isı İletim Şekilleri

Isı bir enerjidir. Diğer enerji türleri gibi ısı da bir bölgeden başka bir bölgeye transfer edilebilir. Isı transferi üç şekilde gerçekleşir. Isı transferi yöntemleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Bunlar;

- İletim (Kondüksiyon) yolu ile ısı transferi
- Taşınım (Konveksiyon) yolu ile ısı transferi
- Işınım (Radyasyon) yolu ile transferi (Demiray, 2022).



Şekil 3.2. Isı transfer yöntemleri (Anonim)

3.2.1. Kondüksiyon (temas ve iletim) yolu ile ısı transferi

Isı transferi, bir cismin sıcak olan bölgesindeki moleküllerin kinetik enerjisiyle birlikte hareket ederek, soğuk olan bölgesine doğru moleküllerin aktarılmasıyla gerçekleşen iletim yoluyla gerçekleşir. Bir cisim veya madde içindeki parçacıkların veya moleküllerin hareketinden kaynaklanan enerjiye ısı enerjisi denir. Bir madde ısıtıldığında, eklenen bu enerji moleküllerin hızlı hareket etmesine neden olur. Örneğin, bir metal kaşık sıcak çaya daldırıldığında, ısı çaydan kaşığa doğru aktarılır. Bu ısı, kaşığın yapısındaki moleküllerin hareket etmesine ve ısının kaşığın sapına doğru yayılmasına neden olur. Böylece ısı, kaşığın kürek kısmından sapına doğru iletilir. Bu tür ısı transferine temas ve iletim yoluyla ısı transferi denir (Demiray, 2022).

3.2.2. Konveksiyon (ısının kütleli hareketi) yolu ile ısı transferi

Konveksiyon yoluyla ısı taşınımı, enerjinin akışkan hareketleriyle bir yerden başka bir yere aktarılması sürecidir. Eğer ortam sıvı veya gaz durumunda ise, akışkan hareketinin sebep olduğu sıcaklık farkı nedeniyle ısı enerjisi bir alandan diğerine aktarılır, yani taşınır. Isı transferi konuları arasında, konveksiyon yoluyla ısı transferi en önemlilerinden biridir. Soğutucu elemanlarda hava dolaşımı, konveksiyon akımının verilebileceği temel örneklerden biridir. Örneğin, bir endüstriyel buzdolabında,

soğutucu serpantin ile temas halinde olan hava soğur ve havadaki yoğunluk artarak buzdolabının alt kısımlarına doğru hareket eder. Bu hava akımı sayesinde, buzdolabı içindeki yiyeceklerden ısı çekilir ve soğutma işlemi gerçekleşir. Isı iletim hızını etkileyen faktörler arasında şunlar bulunur:

- Akışkanın akış sırasındaki hızı
- Isınmış madde ile soğuk madde arasındaki sıcaklık farkı (Demiray, 2022).

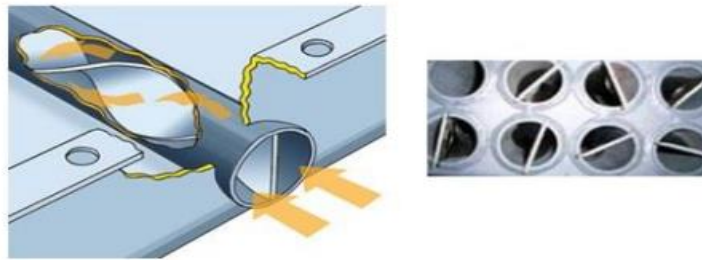
3.2.3. Radyasyon (ışırma) yolu ile ısı transferi

Radyasyon yolu ile ısı transferi, sonlu sıcaklığa sahip malzemeler tarafından elektromanyetik dalgalar ile iletilen bir enerji çeşididir. Taşınım ve iletim ile ısı transferinin gerçekleşmesi için bir madde ortamına ihtiyaç duyulur, ışıınım ile ısı transferi gerçekleşmesi için bir madde ortamına ihtiyaç yoktur.

İşırma yoluyla ısı transferine, en güzel örnek olarak güneş gösterilebilir. İşırma yoluyla ısı transferi, ısı enerjisini ışık dalgaları şeklinde yayma sürecidir. Bu süreçte, ışık kaynağından, yani güneşten yansıma şeklinde ısı transferi gerçekleşir. İşırma ile ısı transferi, var olan ısı enerjisini dalgalar halinde yayarak aktarır. Bununla birlikte, ısıyı hissedebilirken, ışığı görebiliriz. Örneğin, kızılötesi ısıtıcılar çalıştığında, kırmızı-turuncu ışığı görebilir ve bu ışığın ortama verdiği ısıyı hissedebiliriz (Karakaş, 2012).

3.3. Türbülötör

Günümüzde enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, alternatif enerji kaynakları arayışı ve tükenmeyen enerji kaynakları kullanımının yaygınlaştırılması önem kazanmıştır. Yeni enerji kaynağı arama çalışmaları devam ederken, diğer taraftan da mevcut kaynakların kullanımı ve enerji verimliliği sağlamanın değişik metotları bulunmaktadır. Bu noktada türbülötörler önemlidir. Türbülötör örneği Şekil 3.3’de görölmektedir (Ertan, 2019).



Şekil 3.3. Türbülötör örneği (Ertan, 2019)

Isı transfer miktarını artırmak amacıyla birçok yöntem kullanılır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesi de ısı değiştirici içerisinde bulunan boruların içerisine türbülator yerleştirmektir. Türbülanslı akışlarda türbülatorler akışın türbülans miktarının artırmaya yaramaktadır. Akışın türbülanslı ve laminar olması ile ısı geçişi yakından ilişkilidir. Akışkan hareketi laminar akışlarda düzenlidir yani doğrusaldır. Türbülanslı akışta ise akışkanın hareketi düzensizdir yani karmaşıktır. Burada akışın düzensiz olması enerji ve kütle geçişini artırarak ısı geçişini de artırmış olur. Buradaki ısı geçişini incelediğimizde aktif ısı geçişi ve pasif ısı geçişi olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz. Sis teme dışarıdan bir enerji olur ise bu durum aktif ısı geçişidir. Dışardan enerji girişinin olmadığı sisteme pasif yöntem adı verilir (Yardımcı, 2018).

3.3.1. Isı değiştirici şekilleri ve sınıflandırılması

Isı değiştirici, fiziksel yönden birbirinden ayrılmış olan akışkanların arasında ısı iletimini sağlamak amacıyla tasarlanmış olan cihazlardır. Isı değiştiriciler; akış düzenlemesine, konstrüksiyon geometrisine, yüzey kompaktlığına, transfer prosesine, ısı transfer mekanizmalarına, akışkan sayısı ve uygulama alanlarına göre değişiklik gösterebilirler. Konstrüksiyon özellikleri bakımından incelediğimizde ısı değiştiricileri; levhalı, borulu ve kanatlı rejeneratif tip ısı değiştiricileri en önemlilerindendir. Gövde boru tipi ısı değiştiricisi yaygın olarak kullanılmaktadır (Yakar, 2007).

3.3.1.1. Borulu ısı değiştiricileri (Eşanjörler)

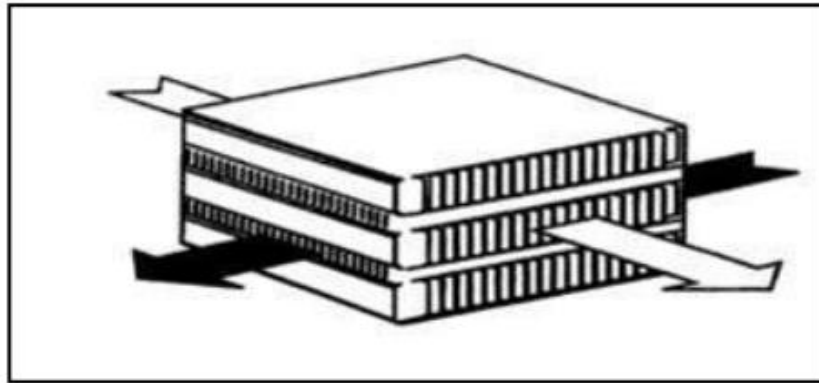
Bu tip ısı değiştiriciler dairesel, dikdörtgen ve eliptik kesitli borulardan oluşmaktadır. Yüksek basınçlara dayanıklı olması sebebiyle dairesel kesitli borular diğer geometrik şekillere göre daha fazla tercih edilirler. Bu ısı değiştirici tiplerinde bir akışkan borunun iç kısmından akarken, diğer akışkan borunun dış kısmından akmaktadır. Boru, uzunluğu, boru çapı, boru sayısı ve boru dizaynı tasarıma göre değiştirilebilir. Spiral boru ısı değiştiricileri Şekil 3.4'de görülmektedir (Yakar, 2007).



Şekil 3.4. Spiral boru ısı değıştircileri (Deviren, 2019)

3.3.1.2. Plakalı (Levhalı) ısı değıştircileri

Yapılan alışmalar neticesinde klasik borulu ısı değıştirci ile beraber olarak çok farklı tipte ısı değıştirci tipleri de bulunmuştur. Bulunan ısı değıştircilerinden kullanım alanı plakalı ısı değıştirilir verimlilik açısından tercih edilmektedir. Sistemin büyüklüğüne göre farklı kapasitelerde imal edilirler. Plaka yüzeyleri değişik şekillerde imal edilebilir. Akış esnasında akışkan hızı sürekli değişim gösterebilir ve plakalarda çarpan akışkanlar türbülans göstererek daha fazla ısı transferi meydana getirir. Levha kanatlı ısı değıştirciler şekil 3.5’de grlmektedir (Deviren, 2019).



Şekil 3.5. Levha kanatlı ısı değıştirciler (Sarı, 2017)

Bu tip ısı değıştircilerde akışkan, iki farklı akışkan plakalarının dizilmesi sonucu oluşan kanallar arasından geçmektedir. Isı geçişinin gerçekleştiği yüzeyler, sıralı, dalgalı, oluklu, düz ve pürüzsüz ince metal plakalardan imal edilir. Akışkanın giriş ve çıkış bağlantıları plaka üzerinde bulunmaktadır. Saplamalar yardımıyla iki levha birbirine sıkıştırılır ve iki akışkanın karışmaması için conta kullanılır. Plakalı (Levhalı) ısı değıştirci şekil 3.6’da grlmektedir (Yakar, 2007).



Şekil 3.6. Plakalı (Levhalı) ısı değıştircisi (Bozkula, 2016)

3.3.1.3. Kanatlı rejeneratif ısı değıştircileri

Isı geişı dolaylı olarak gerçekleşir. Bu ısı değıştircilerinde ısı depolanır ve transfer edilmektedir. Sistemin avantajları incelendiğinde yatırım maliyeti düşük, sistemin kendini temizleme özelliğinin olması ve kompakt olması göze çarparken; dezavantajları ise farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasında bir miktar kaçak olması, akışkanlar birbirine etki ettiğinde bu tip ısı değıştircilerin kullanılamaz olması olarak sıralanır (Deviren, 2019).

3.3.1.4. Spiral levhalı ısı değıştircileri

Plakalı ısı değıştirciler, spiral Şekilde sarılmış iki ince metal levhadan oluşan bir tür ısı transfer cihazıdır. Bu tip cihazların üretimi sırasında, levhaların her iki tarafı contalı kapaklarla kapatılır ve levhalar arasında düzgün bir aralık sağlamak için saplamalar kullanılır. Bu Şekilde, paralel veya ters yönde akan akışkanlar arasında ısı transferi plakalardan gerçekleşir. İhtiyaçlara göre farklı tipte plakalar kullanılarak ısı transferi etkinliğı artırılabilir.

Plakalı ısı değıştircilerin temizlenmesi kolay olduğu için, kâğıt fabrikaları, kimyasal tesisler ve diğerk birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür cihazlar, enerji verimliliğini artırarak ısı transferini optimize eder ve proseslerin daha verimli çalışmasını sağlar. Ayrıca, plakalar arasındaki kontak noktalarının temizlenmesi ve bakımı kolaydır, bu da işletme maliyetlerini düşürür. Genel olarak, plakalı ısı değıştirciler, çeşitli sektörlerde ısı transferi ihtiyaçlarını karşılamak için yaygın olarak kullanılan etkili ve pratik cihazlardır (Bozkula, 2016).

3.3.1.5. Spiral levhalı ısı değiştiricilerinin avantajları

Spiral levhalı ısı değiştiriciler, birçok avantaja sahip olan etkili ısı transfer cihazlarıdır. Bu tip ısı değiştiricileri, iki ince metal levhanın spiral şeklinde sarılmasıyla üretilir ve çeşitli endüstrilerde ısı transferi ihtiyaçlarını karşılamak için yaygın olarak kullanılır. spiral levhalı ısı değiştiriciler, yüksek verimlilik, esneklik, kompakt tasarım, kolay bakım ve temizlik gibi avantajlarıyla öne çıkar. Bu cihazlar, endüstriyel uygulamalarda ısı transferi ihtiyaçlarını karşılamak ve enerji verimliliğini artırmak için etkili bir çözüm sunar (Bozkula, 2016).



4. MATERYAL ve YÖNTEM

Deney sisteminde levha tipi türbülatorler, bakır boru, kazan, paslanmaz çelik sac, galvaniz sac, radyal fan, datalogger ve ısı kaynağı yer almaktadır.

4.1. Yöntem

Isı değiştiriciler; Farklı sıcaklıklara haiz akışkanlar arasında, akışkanın birbiri içerisinde karışmalarına izin vermeden, ısı transferinin gerçekleştirildiğı cihazlardır. Isı değiştiriciler yaygın olarak; Isıtma – soğutma sistemlerinde, kimyasal proseslerde, güç santrallerinde, Buhar kazanlarında, otomotiv üretim sektöründe, sanayi ve endüstri alanında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ısı transferini iyileştirmeyi hedefleyen bir yöntem olarak boru içine levha tipi türbülator yerleştirme yöntemi uygulanmıştır. Tez çalışmasında çelik ve galvaniz malzemelerden imal edilen levha tipi türbülatorler boru içerisine yerleştirilmiştir. İki farklı malzemeden üretilen türbülatorler kullanılmıştır. Levha tipi türbülatorlerin ölçüleri 56 mm genişlik ve 800 mm uzunlukta farklı tiplerde tasarlanmış levhalardır. Yapılan çalışmalar sonucunda sistemdeki ısı geçişlerindeki değişimler, basınç kayıpları, entropi üretimi ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiş ve datalogger cihazı kullanılarak veriler elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

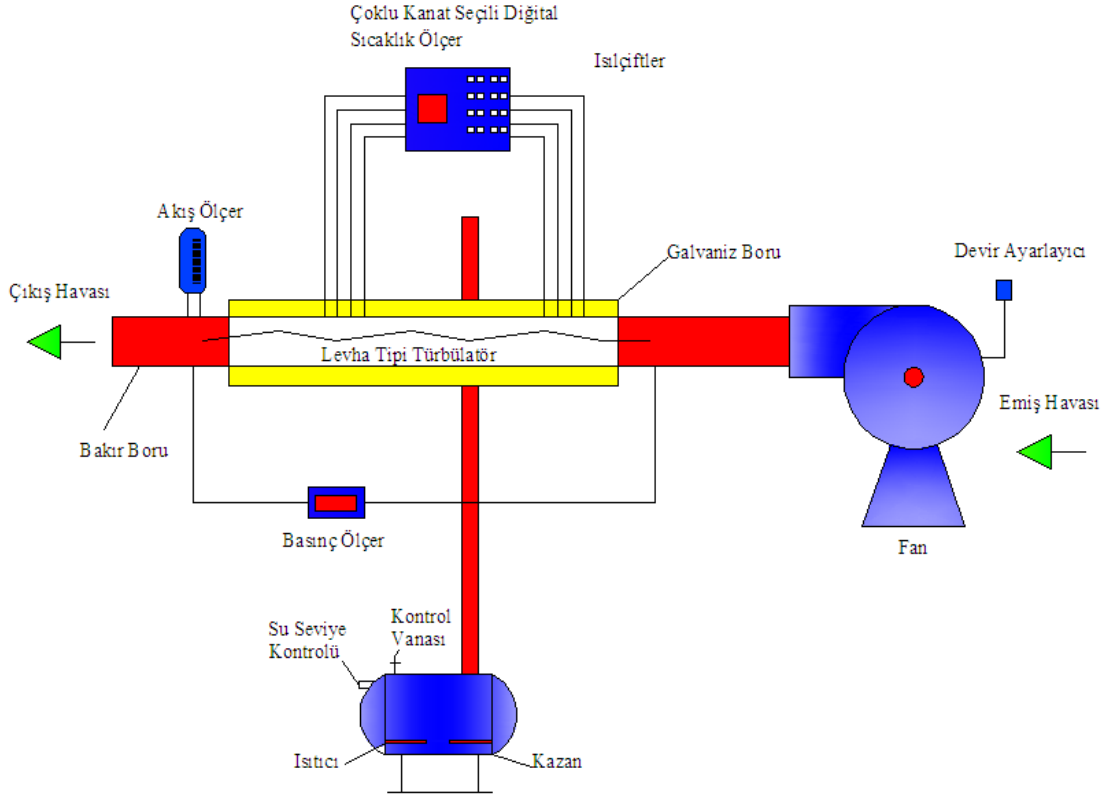
4.2. Deney Düzeneginin Tanıtımı

Türbülatorler, ısı miktarını yükseltmek amacıyla kullanılırlar. Duman gazlarının türbülansa verilmesi ve bu yolla gazlardan elde edilen ısı miktarının artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek verimlilik gerektiren alanlarda türbülatorler tercih edilmektedir. Yanma sonucu oluşan gazlardan ısı enerjisi elde etmek maksadıyla yüzey alanlarını artırılması gerekmektedir. Bu tür nedenlerden dolayı türbülatorlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Türbülatorlerin kullanım alanlarına bakıldığında kullanımı oldukça geniştir. Başlıca alanları; ısıtma-soğutma alanında, sanayi ve endüstri tesislerinde, petrol rafinelerinde ve otomotiv sektörü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Türbülatorler, farklı malzemelerden, farklı çaplarda, farklı açılarda tasarlanmaktadır.

Bu deney çalışması, Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulmuş olan türbülatorlü ısı değiştiricisi deney düzeneğı ile gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminin şematik gösterimi aşağıda yer alan Şekil 4.1’de verilmiştir.



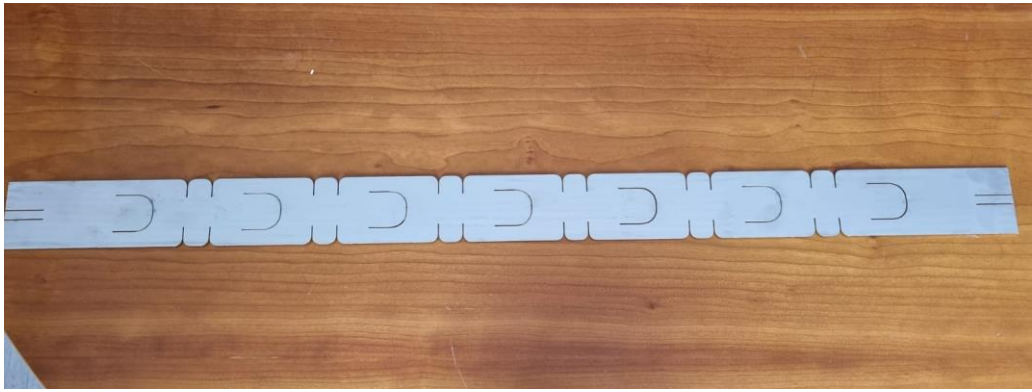
Şekil 4.1. Deney sisteminin şematik görünüşü

İncelenen deney sistemi, iç içe geçmiş ve paralel yapıya sahip iki borudan oluşan bir ısı değiştiricisidir. Alt kısımda, suyun buharlaşmasını sağlayan 20 litre kapasiteli bir kazan bulunmaktadır. Boru içerisine hava akımını yönlendirmek için bir fan ve dijital devir ayarlayıcı kullanılmıştır. Ayrıca, giren hava sıcaklığını ölçmek ve çıkan hava sıcaklığını takip etmek amacıyla ısı çiftler, basınç ölçümü için bir manometre, hava debisini ölçen dijital akış ölçer ve elde edilen verileri bilgisayara iletmek için bir veri kaydedici cihaz olan datalogger yer almaktadır. Deney sisteminde bulunan türbülatorler paslanmaz çelik ve galvaniz malzemelerden imal edilmiştir. Türbülatorlerin lazer kesim makinesi ile imalatı Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Türbülötörlerin lazer kesim makinesi ile imalatı

Tübülötörler lazer kesim makinesi ile 1 mm kalınlığında, 56 mm genişliğinde ve 800 mm uzunluğunda kesilerek imalatı yapılmıştır. Lazer kesim makinesi ile imal edilen türbülötör Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Lazer kesim makinesi ile imal edilen türbülötör

Şekil 4.4 yer alan sol taraftaki türbülötörlerin kıvrımlı şekli ise kalıp yardımı ile baskı uygulanarak yapılmıştır.



Şekil 4.4. Deney sisteminde yer alan türbülötörler

Türbülötörler deney sisteminde yer alan boru içerisine, boru çapına uygun olarak ve boru merkezine yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan türbülötörün yerleşimi Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Deneyde kullanılan türbülötör yerleşimi

Deney sisteminde yer alan iç içe geçmiş iki düz bakır borudan oluşan ısı değiştirici sisteminde iç kısımda 1000 mm uzunluğunda, 60 mm iç çapında ve 65 mm dış çapında pürüzsüz yapıya sahip boru kullanılmıştır. Dış kısımda yer alan boru ise, dış çapı 101 mm, et kalınlığı 1,0 mm ve 800 mm uzunluğundadır. Dış kısımda yer alan boru cam elyaf yünü ile sarılmış sistemin ısı kaybı engellenmeye çalışılmıştır. İç kısımda yer alan borudan bir fan yardımı ile hava geçirilmiştir. İki boru arasında yer alan kısımdan ise buhar kazanından gelen su buharı geçmektedir. İki boru arasında yoğunlaşma nedeniyle oluşan su buharını tahliye etmek için dış kısımda yer alan borunun alt kısmına tahliye vanası yerleştirilmiştir. Deney setinin görseli Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Deney setinin görseli

Deney sisteminde, iç kısımda yer alan bakır borunun dış cidarı boyunca su buharının temasıyla 100 °C sabit bir sıcaklık şartı sağlanmıştır. Sistemde oluşan nem dengesini korumak için, oluşan su buharı dış ortama bırakılmıştır.

Deney düzeneğinde, boru giriş ve çıkış hava sıcaklıkları ile boru cidarı sıcaklıkları, 0,5 mm çaplı Nikel-Krom malzemeden yapılmış T tipi ısı çiftleri aracılığıyla ölçülmüştür.

Sistemin sabit sıcaklıkta çalıştığını doğrulamak amacıyla, borunun dış cidarına ısıl çiftler monte edilmiştir. Isıl çiftler, sistemdeki yüksek basınç ve sıcaklıktan etkilenmemektedir. Isıl çiftler iç borunun giriş ve çıkış tarafına 50 mm mesafede bulunan delikten geçirilerek ölçümler alınmıştır. Ayrıca ortam sıcaklığını takip etmek için ısıl çiftler kullanılmıştır. Isıl çiftler vasıtasıyla alınan veriler hazırlanan çizelge ve bilgisayar ortamına kayıt işlemi yapılmıştır. Isıl çiftlerin ölçüm aralığı ($\pm 0,1$ hata oranı) -200°C ve $+2500^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Datalogger cihazı ile deney ölçümlerinin yapılması Şekil 4.7’de görülmektedir.

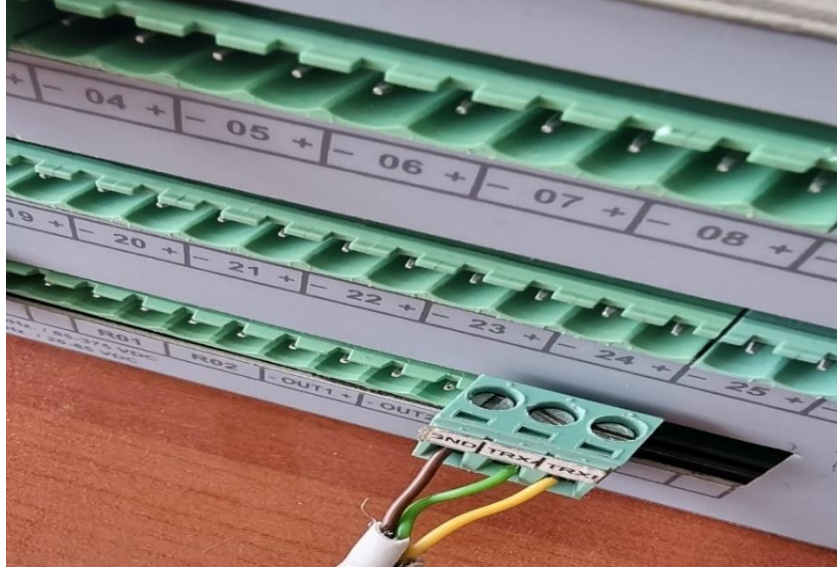


Şekil 4.7. Datalogger cihazı ile deney ölçümlerinin yapılması

4.3. Deney Sisteminde Kullanılan Ölçüm Aletleri

4.3.1. Datalogger cihazı

Datalogger cihazının bağlantı düzeni Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Verilerin bilgisayar ortamına kaydedilmesi için USB üzerinden kompakt adaptör formatında bir dönüştürücü kullanılmıştır. Datalogger cihazının veri aktarım hızı, seri veri aktarım hızıyla 300 bps’den 3 Mbps’ye yükseltilerek veri transferi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftlerin datalogger cihazına bağlanması Şekil 4.8’de, Kompakt seri dönüştürücü adaptör cihazı Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.8. Isıl çiftlerin datalogger cihazına bağlanması

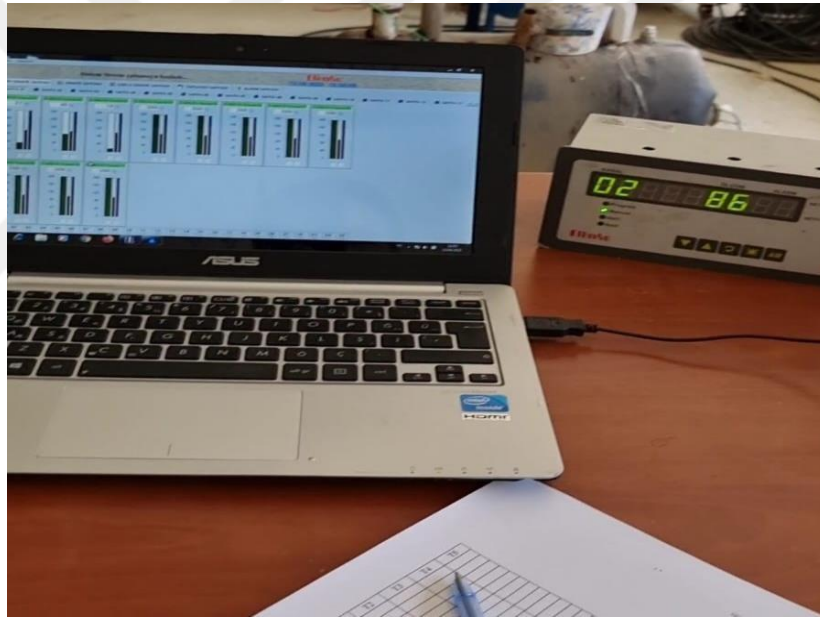


Şekil 4.9. Kompakt seri dönüştürücü adaptör cihazı

Sıcaklık ölçümleri ELİMKO E-680 modeli olan 32 kanallı dijital veri tarayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ELİMKO E-680 Şekil 4.10'da görülmektedir. Bu cihaz aracılığıyla veriler bilgisayara aktarılmış ve her kanal için 1 ya da 2 bağımsız röle çıkışı alınabilmektedir. Sıcaklık verilerinin okunup kaydedilmesi Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10. ELİMKO E-680 dijital veri tarayıcı görseli



Şekil 4.11. Sıcaklık verilerinin okunup kaydedilmesi

4.3.2. Fan motoru

Deney sisteminde hava akımı oluşturmak için AC GAMAK AGM 90 S 4 model fan motoru kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan fan motoru görseli Şekil 4.12’de görülmektedir. Bu fan motoru, 1.000-5.500 dev/dak aralığında çalıştırılmıştır. Türbülátörler boru içerisine yerleştirildikten sonra, deneyin toplamda 9 farklı fan hızında gerçekleştirilmesi için fan hızı aşağıdaki değerlerde ayarlanmıştır: 0,00- 0,50- 1,00- 1,50- 2,00- 2,50-3,00-3,50 ve 3,90 m/sn.



Şekil 4.12. Deney düzeneğinde kullanılan fan motoru görseli

4.3.3. Anemometre

Fan devir ayarları için devir ayarlayıcısı kullanılmıştır. Hava debi hızları ise Kestrel dijital Anemometre cihazı kullanılarak m/s olarak ölçülmüştür. Kestrel anemometre cihazının görseli Şekil 4.13’de görülmektedir.

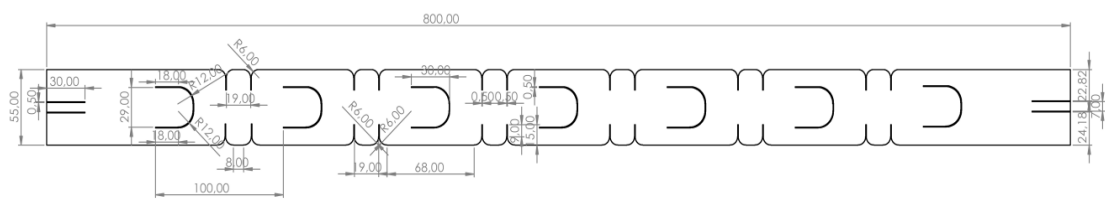


Şekil 4. 13. Kestrel anemometre cihazının görseli

Deney sisteminde, dışarıda galvanizli çelik boru ve iç kısımda pürüzsüz yapıya sahip bakır boru kullanılmıştır. Bakır borunun içine, paslanmaz çelik ve galvaniz malzemelerden imal edilen, 1 mm kalınlığında, 56 mm genişliğinde ve 800 mm ölçülere sahip türbülatorler yerleştirilmiştir. Toplamda 9 farklı konfigürasyonda deneyler gerçekleştirilmiştir. Sistemde, türbülatorler yerleştirilmeden önce boş boru deneyi yapılmıştır. Ardından türbülatorler yerleştirildiği ve yerleştirilmediği durumlar için toplamda 9 deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde basınç kayıpları, sürtünme faktörü, ısı transferine etkileri ve NTU değerlerine olan etkileri incelenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan türbülatorlerin imalat görseli Şekil 4.14’de ve Şekil 4.15’de görülmektedir.



Şekil 4.14. Deney düzeneğinde kullanılan türbülatorlerin imalat görseli



Şekil 4.15. Deney düzeneğinde kullanılan türbülatorlerin çizimi

Deneyler, sürekli rejim şartları altında gerçekleştirilmiştir. Buhar kazanı içerisinde bulunan su, rezistanslar aracılığıyla ısıtılarak kaynatılmış ve buhar elde edilmiştir.

Elde edilen buhar, ısı değiştiricinin annular boşluk kısmından geçerek iç borunun dış yüzeyini sabit sıcaklıkta tutmaktadır. Boru cidarı boyunca sabit sıcaklık sağlamak için buhar, tüm deneyler boyunca 180 dakika boyunca sisteme gönderilmiştir.

Salyangoz tipi fan, boru yüzeyinde sıcaklığın sabitlendiği noktada devreye girmiştir. Fan devir ayarı, istenilen Reynolds sayısına göre yapılmıştır. Bu amaçla, akış ölçerden hacimsel debi ayarı yapılmıştır. Hava akımı iç kısımdaki borudan geçirilerek, boru cidarı üzerindeki sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Datalogger cihazı ve ısı çiftleri kullanılarak boru girişi ve çıkışındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Boru girişi ve çıkışı arasındaki basınç farkı dijital manometre ile ölçülmüştür. Kazanda bulunan su seviyesi her 2 saatte bir kontrol edilmiş ve su seviyesinde azalma olduğu durumlarda su takviyesi yapılmıştır. Sistem, sıcaklık istikrar kazanıncaya kadar çalıştırılmış ve beklenmiştir.

4.4. Hesaplama Yöntemi

4.4.1. Reynolds Sayısı hesabı

Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı, Reynolds sayısı olarak adlandırılmaktadır. Reynolds sayısının hesaplanması için gerekli olan boru içerisindeki hava hızı, anemometre olarak bilinen bir cihaz ile ölçülmektedir. Reynolds sayısının hesaplanması için Formül (4.1)'de belirtilen değerler kullanılarak hesaplama yapılmaktadır (Yıldız ve Yılmaz, 2022).

$$\text{Reynolds Sayısı} = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad (4.1)$$

Burada;

ρ : Yoğunluk (kg/m^3)

V : Akışkanın Hızı (m/s) D : Boru Çapı (m)

μ : Akışkanın Dinamik Viskozitesidir (kg/ms)

Bu çalışmada, boru iç çapı $D = 0,06 \text{ m}$ olan sistemdeki hava hızı $0,5 \text{ m/s}$ olduğunda Reynolds Sayısı hesaplanmıştır. Bu Reynolds Sayısı formül (4.2)'de gösterilmiştir.

$$\text{Reynolds Sayısı} = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} = \frac{1.225 \times 0.5 \times 0.06}{1.78 \times 10^{-5}} = 2.0645 \quad (4.2)$$

olarak hesaplanmıştır. Diğer hava hızları için Reynolds değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Hesaplanan Reynolds değerleri

Hava Hızı (m/s)	Reynolds Sayısı
0,5	2,0645
1	4,129
1,5	6,194
2	8,258
2,5	10,323
3	12,388
3,5	14,452
3,9	16,103

4.4.2. Nusselt Sayısı hesabı

Taşıyım yoluyla ısı transferinin, iletim ile olan ısı transfer miktarı oranına Nusselt sayısı adı verilir. Nusselt sayısı yer alan Eşitlik (4.3) yardımı ile hesaplanır.

$$Nu = \frac{q_{\text{convection}}}{q_{\text{conduction}}} = \frac{h\Delta T}{\frac{k\Delta T}{L}} = \frac{h \cdot L}{k} \quad (4.3)$$

h: Isı transfer taşıyım katsayısı (W/m².K)

L: Karakteristik Uzunluk (m)

k: Isı transfer iletim katsayısı (W/m.K)

Nusselt sayısı hesaplamasında, h_m ısı transfer katsayısı değeri kullanılmaktadır. Dairesel kesitli borularda, taşıyım yoluyla aktarılan ısıнын sistemin giriş ve çıkış sıcaklıklarına eşitlendiği ve akışkan tarafından depolanmayan ısı olduğu durumlarda, ısı transfer katsayısı hesaplanabilir.

$$Q_{\text{gerçek}} = Q_{\text{taşıyım}} \quad (4.4)$$

Buradan,

$$(\rho \cdot V_{\text{ort}} \cdot A_k) \cdot c_p \cdot (T_c - T_g) = h_m \cdot A_{\text{yan}} \cdot \Delta T_m \quad (4.5)$$

ρ : Akışkanın yoğunluğunu

A_k : İç kısımdaki borunun kesit alanı

V_{ort} : Akışkanın ortalama geçiş hızı

C_p : Akışkanın özgül ısı

A_{yan} : İç kısımdaki borunun yanal yüzey alanı

T_{ζ} : Akışkanın sisteme giriş sıcaklığı

T_g : Akışkanın sistemden çıkış sıcaklığı

h_m : Ortalama ısı

$$h_m = \frac{\left(\frac{\rho V_{ort} \pi d_i^2}{4} \right) \cdot c_p \cdot (T_{\zeta} - T_g)}{\pi \cdot d_i \cdot L \cdot \Delta T_m} \quad (4.6)$$

şeklinde olacaktır.

Isı değiştiricilerinde dairesel boruda konveksiyon yoluyla ısı transferi için ΔT_m logaritmik ortalama sıcaklık farkı hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama için boru cidarının giriş ve çıkış sıcaklık farkı bilinmelidir.

$$\Delta T_1 = T_y - T_{giriş} \quad (4.7)$$

$$\Delta T_2 = T_y - T_{çıkış} \quad (4.8)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (4.9)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

T_y : Cidar sıcaklığı

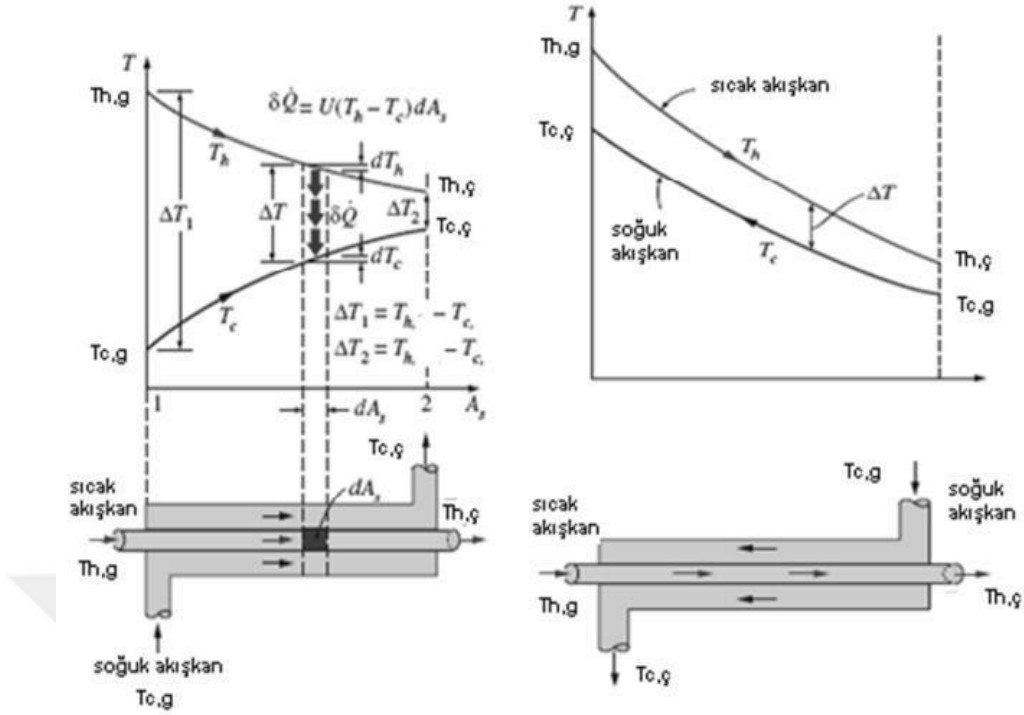
ΔT_m : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı Bu

Şekilde Nusselt sayısı;

$$Nu = \frac{h_m \cdot L}{k} \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

k : Isıl iletkenlik katsayısı.



Şekil 4.16. Paralel ve çapraz akışlı eşanjörlerde sıcaklık fark grafiği (Çengel, 2002)

4.3.3. Sürtünme katsayı hesabı

Isı değiştirici sistemlerinde, akışkan hareketinin ısı transferine olan etkisiyle birlikte basınç düşüşleri ve sürtünme de önemli bir rol oynar. Sürtünmeye bağlı kayıpları deneysel çalışmalarda hesaplamak için aşağıda verilen formül kullanılmaktadır.

$$f = \frac{\Delta P}{\rho \frac{u^2 L}{2 D}} \quad (4.11)$$

Burada;

ΔP : Boru giriş-çıkışı arasındaki basınç farkını

ρ : Akışkanın yoğunluğunu

u : Çıkış havasının ortalama hızını

L : Borunun uzunluğunu

D : Borunun iç çapını ifade etmektedir.

4.4.4. Diğer bağıntılar

Elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan Dittus-Boelter bağıntısı, Sieder-Tate bağıntısı, Petukhov bağıntısı ve Gnielinski bağıntısı ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Dittus-Boelter denkleminin Nusselt sayısı ile ilişkisi aşağıdaki gibidir:

$$Nu_{\rho} = 0.023 Re_{\rho}^{2/3} Pr^{0.3} \quad Re_{\rho} \geq 10000 \quad (4.12)$$

NU Siedel-Tate denkleminin Nusselt sayısı ile bağıntısı;

$$Nu_{\rho} = 0.027 Re_{\rho}^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{u}{u_s} \right)^{0.14} \quad Re_{\rho} \geq 10000 \quad (4.13)$$

Petukhov denkleminin Nusselt sayısı ile bağıntısı;

$$Nu_{\rho} = \frac{\left(\frac{f}{8} \right) Re_D Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \quad 10^4 < Re_D < 5 \cdot 10^6 \quad (4.14)$$

Gnielinski denkleminin Nusselt sayısı ile bağıntısı;

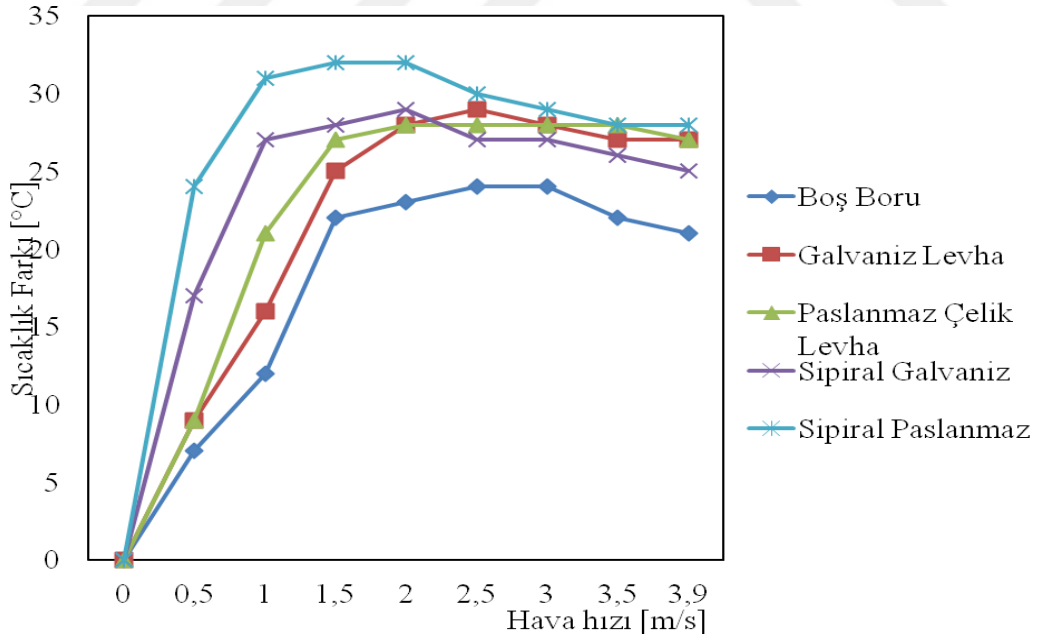
$$Nu_{\rho} = \frac{\left(\frac{f}{8} \right) (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \quad 3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6 \quad (4.15)$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deney sisteminde, galvaniz sac ve paslanmaz çelik malzemeden imal edilen türbülötörler kullanılmıştır. Deneylerde, 1000 mm boyunda ve 60 mm çapında bir bakır borunun içine özel olarak tasarlanmış türbülötörler yerleştirilmiştir. Bu türbülötörlerin üzerinden 98 °C sıcaklığında buhar geçirilmiş ve fan yardımıyla dış ortam havası türbülötöre çarptırılarak ısı transferinde verim artışı hedeflenmiştir. Deneyler bu doğrultuda gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar hesaplanarak grafiksel olarak gösterilmiştir.

5.1. Türbülötörlerin Kıyaslandığı Nusselt-Reynolds Grafikleri

Bu kısımda türbülötörlerin Reynolds Sayısına göre boş boru ve deney sisteminde kullanılan türbülötörlerin ayrı ayrı kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca Reynolds Sayılarına göre de karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 5.1. de deney sisteminde yer alan türbülötörlerin sıcaklık farkı ve hava hızı incelenmiştir. İnceleme sonucunda hava hızı 0 m/s' den 1 m/s' ye doğru artıkça sıcaklık farkı artmaktadır.

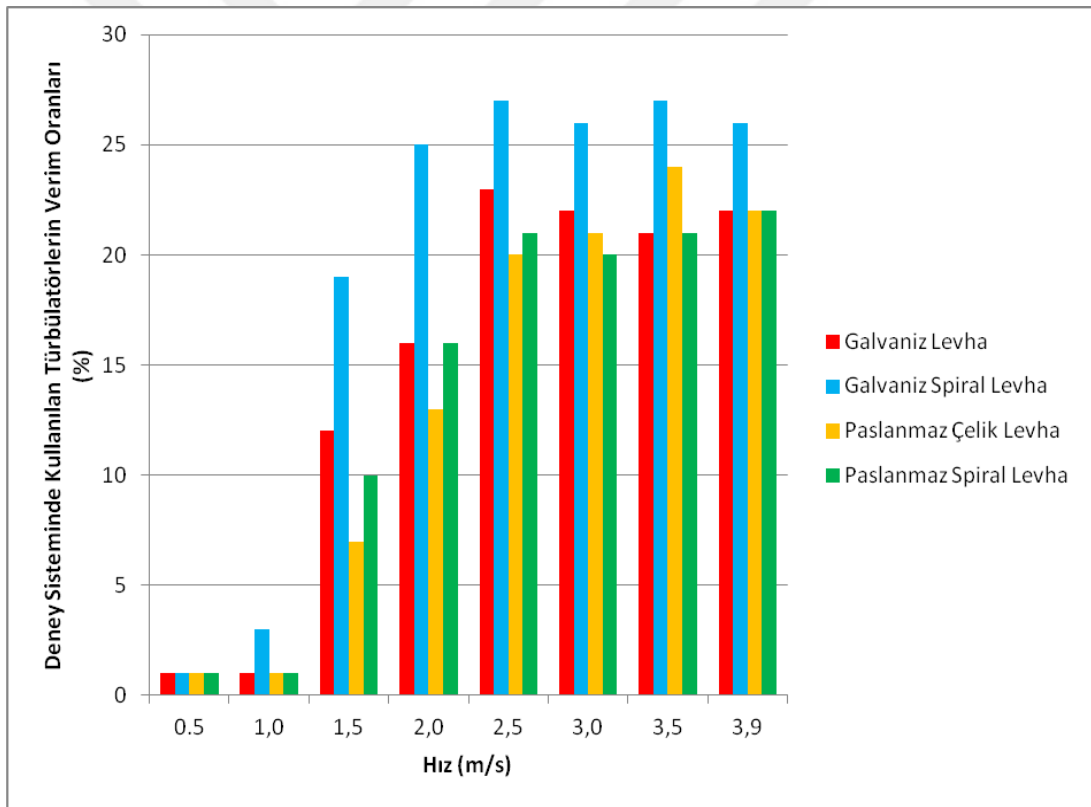


Şekil 5.1. Deney sisteminde kullanılan türbülötörlerin sıcaklık-hız grafiği

1 m/s' den sonra sıcaklık farkı boş boruda diğer türbülatorlere göre düşüş gözlenmiştir (Şekil 5.2). Diğer türbülatorler de ise 2 m/s' den sonra sıcaklık farkı birbirine yakın seyretmektedir.

Tablo 5.1. Deney sisteminde kullanılan türbülatorlerin verim oranları (%)

Hız (m/s)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	3,9
Galvaniz Levha	1	1	12	16	23	22	21	22
Galvaniz Spiral Levha	1	3	19	25	27	26	27	26
Paslanmaz Çelik Levha	1	1	7	13	20	21	24	22
Paslanmaz Spiral Levha	1	1	10	16	21	20	21	22

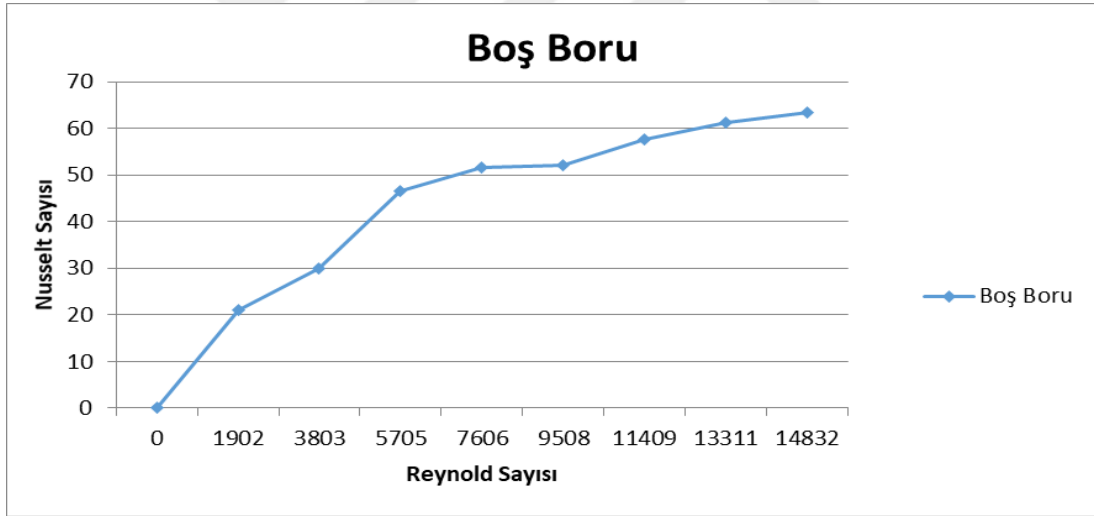


Şekil 5.2. Deney sisteminde kullanılan türbülatorlerin verim oranlarının grafiksel gösterimi

Tabloda, farklı hız değerlerine sahip dört farklı türbülator tipi (galvaniz levha, galvaniz spiral levha, paslanmaz çelik levha, paslanmaz spiral levha) için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Deneylerde, hız değerleri 0,5 m/s ile başlayarak artmaktadır. Tabloda her bir türbülator tipi için sıcaklık dağılımının etkisi gözlenmektedir. Galvaniz

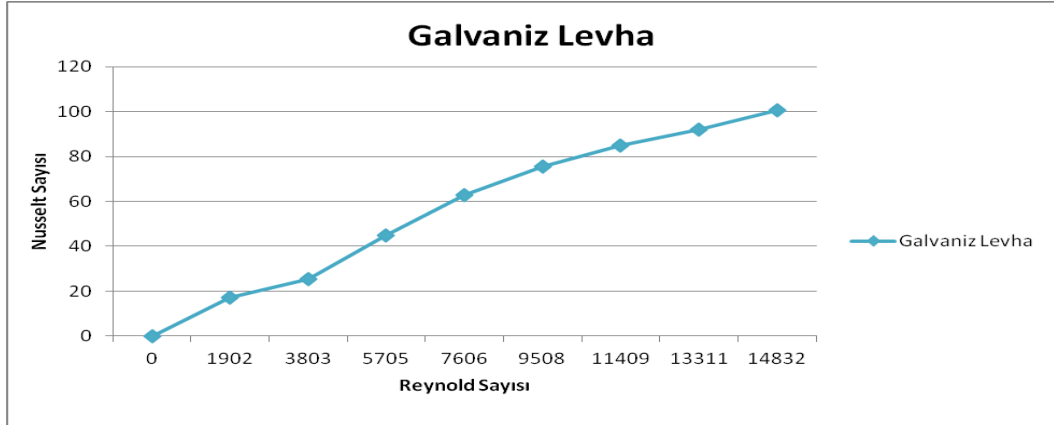
levha ve paslanmaz çelik levha türbülatorlerin performansı benzerdir ve düşük hızlarda (0,5 m/s ve 1 m/s) etkili bir ısı transferi sağlamaktadır. Ancak hız arttıkça paslanmaz çelik levha türbülatorün performansı daha iyi hale gelirken, galvaniz levha türbülatorün etkinliği azalmaktadır.

Galvaniz spiral levha ve paslanmaz spiral levha türbülatorler ise genel olarak daha yüksek hızlarda daha iyi bir performans sergilemektedir. Özellikle 2,5 m/s ve üzeri hızlarda ısı transferinde belirgin bir artış gözlenmektedir. Sonuç olarak, tablodaki verilere dayanarak, türbülator tipinin ve hızın ısı transferi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Galvaniz spiral levha ve paslanmaz spiral levha türbülatorler, daha yüksek hızlarda daha iyi bir performans sergileyerek ısı transferinde verimlilik sağlamaktadır. Bu sonuçlar, türbülator seçiminde ve ısı değiştirici sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken faktörlerin olduğunu göstermektedir. Şekil 5.3.' de yer alan grafikte boş boruya ait deney sonucu yer almaktadır.



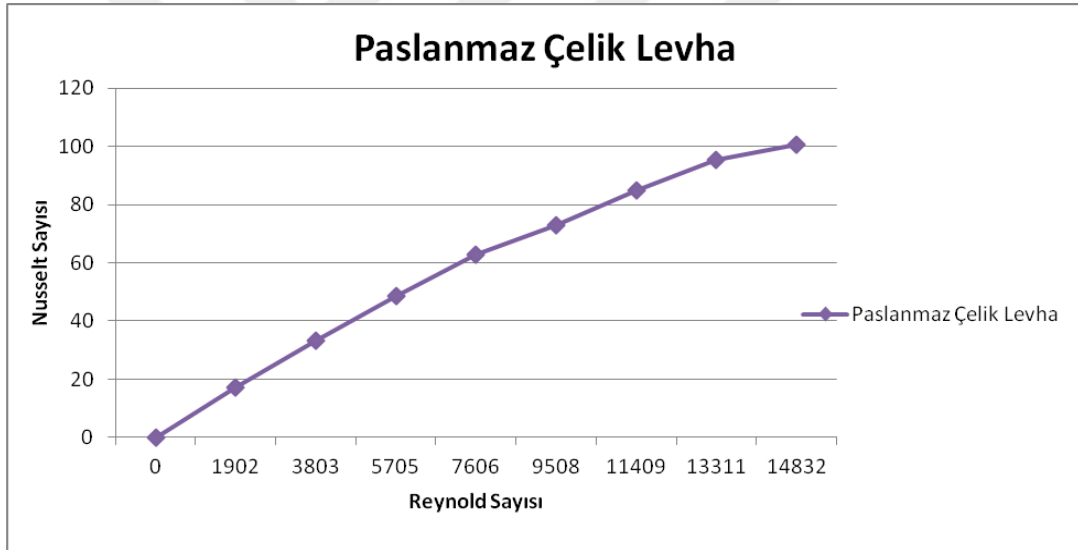
Şekil 5.3. Deney sistemi boş boru Nusselt Sayısı-Reynolds Sayısı grafiği

Reynolds sayısı 5705' e kadar Nusselt Sayısında hızlı bir yükseliş gözlenmektedir. Daha sonra hıza bağlı olarak Nusselt Sayısında artış hızının yavaşladığı gözlenmiştir. Şekil 5.4'de yer alan grafikte Galvaniz Levhaya ait deney sonucu yer almaktadır.



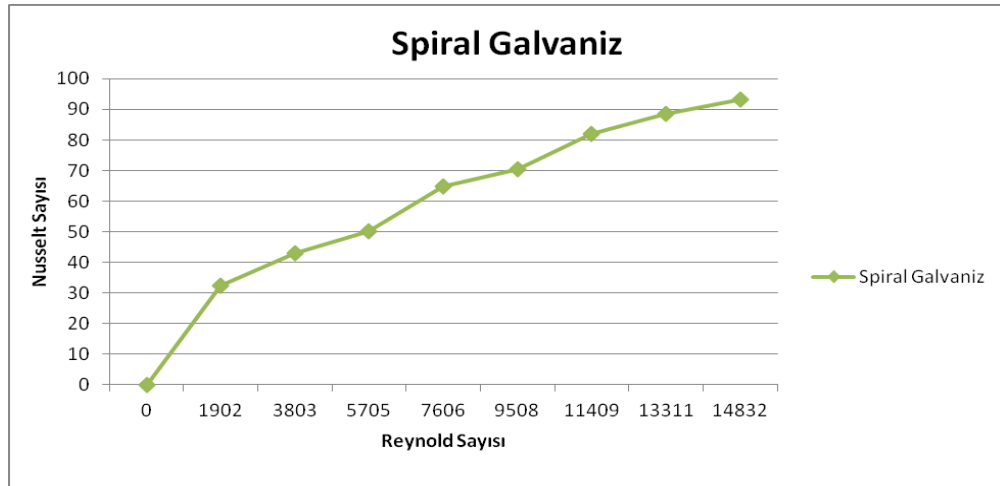
Şekil 5.4. Deney sistemi galvaniz levha boru Nusselt Sayısı-Reynolds Sayısı grafiği

Reynolds sayısı ve Nusselt Sayısında doğrusal bir artış gözlenmiştir. Şekil 5.5’de yer alan grafikte Paslanmaz Çelik Levhaya ait deney sonucu yer almaktadır.



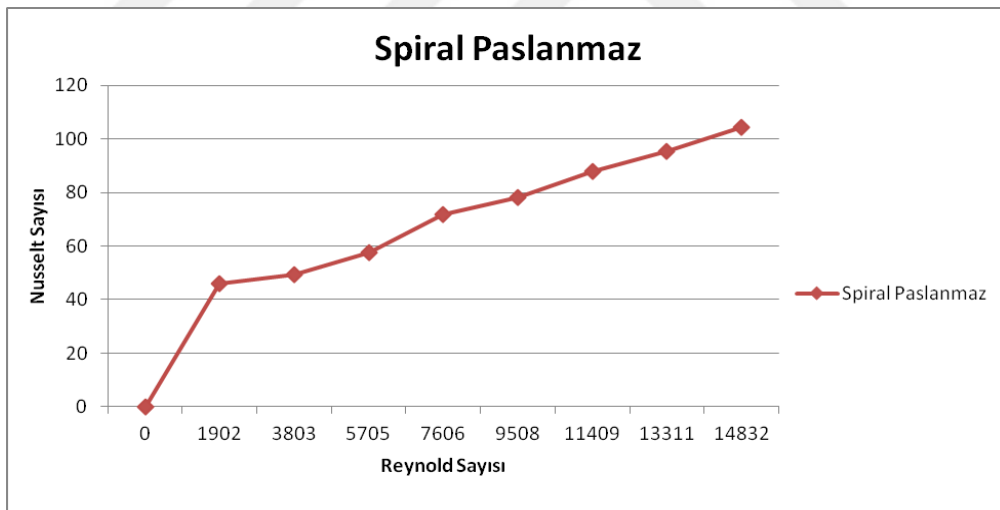
Şekil 5.5. Deney sistemi paslanmaz çelik levha boru Nusselt Sayısı-Reynolds Sayısı grafiği

Reynolds sayısı ve Nusselt Sayısında doğrusal bir artış gözlenmiştir. Şekil 5.6. de yer alan grafikte Spiral Galvaniz Levhaya ait deney sonucu yer almaktadır.



Şekil 5.6. Deney sistemi spiral galvaniz levha boru Nusselt Sayısı-Reynolds Sayısı grafiği

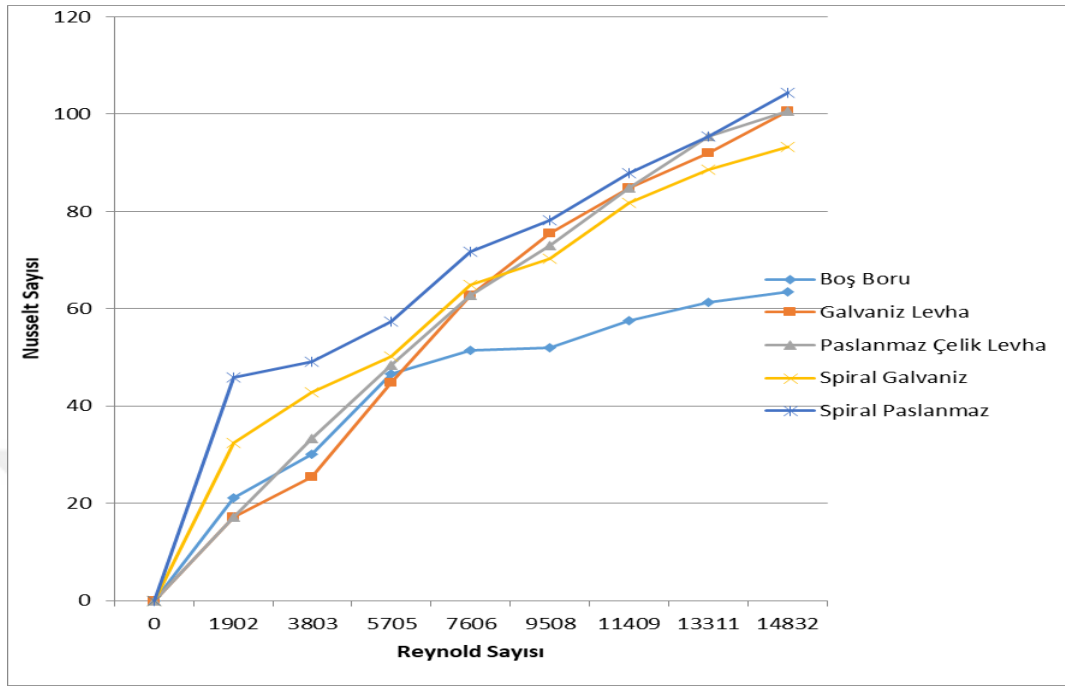
Reynolds sayısı 1902' ye kadar Nusselt Sayısında hızlı bir artış gözlenmiştir. Reynolds Sayısı 1902' den sonra ise Nusselt Sayısında artış doğrusal ve daha yavaş gerçekleşmiştir. Şekil 5.7'de yer alan grafikte Spiral Paslanmaz Çelik Levhaya ait deney sonucu yer almaktadır.



Şekil 5.7. Deney sistemi spiral paslanmaz çelik levha boru Nusselt Sayısı-Reynolds Sayısı grafiği

Reynolds sayısı 1902' ye kadar Nusselt Sayısında hızlı bir artış gözlenmiştir. Reynolds Sayısı 1902' den sonra ise Nusselt Sayısında artış doğrusal ve daha yavaş gerçekleşmiştir.

5.2. Türbülötörlerin Reynolds Sayısı 1902-3803-5705-7606-9508-11409-13311 Değerleri ile Kıyaslandığı Nusselt Grafikleri



Şekil 5.8. Türbülötörlerin Reynolds Sayısı 1902-3803-5705-7606-9508-11409-13311 değerleri ile kıyaslandığı Nusselt grafikler

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada ısı transfer iyileştirmeyi amaç edinerek boru içerisine levha tipi türbülator yerleştirme yöntemi uygulanmıştır. Tez çalışmamızda boru içerisine çelik ve galvaniz malzemelerden imal edilen levha tipi türbülatorler yerleştirilmiştir. İki farklı malzemedan üretilen türbülatorler kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışmada dış borudan 98 ° C de buhar ve iç borudan fan yardımıyla belirlenen hızlarda hava akışı sağlanmıştır. Deney çalışmaları türbülatorlü ve türbülatorsüz olarak uygulanmıştır. Levha tipi türbülatorlerin ölçüleri 56 mm eninde 800 mm boyunda farklı tiplerde levhalar tasarlanmıştır. Yaptığımız çalışmalar sonucunda sistemdeki ısı geçişlerindeki değişim, basınç kayıpları, entropi üretimi ve ekserji analizleri yapılp deney çalışmaları yapılmış ve datalogger cihazı ile veriler elde edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan grafiksel analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda oluşan Reynolds-Nusselt sayısı tablosuna göre, Boş Boru, Galvaniz Levha, Paslanmaz Çelik Levha, Spiral Galvaniz ve Spiral Paslanmaz arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Boş Boru, Galvaniz Levha ve Paslanmaz Çelik Levha serileri için Reynolds sayılarının artmasıyla Nusselt sayıları da genellikle artmaktadır. Bu, akışkanın ısı transferine etkili bir Şekilde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak, Galvaniz Levha ve Paslanmaz Çelik Levha serileri arasında Nusselt sayılarının benzer olduğu görülmektedir. Bu durum, türbülator kullanımının ısı transferi performansı üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

Türbülator kullanımıyla, türbülatorsüz (boş) duruma göre daha yüksek giriş-çıkış sıcaklık farkları elde edildiği gözlenmiştir. Deney sisteminde kullanılan tüm türbülator çeşitlerinde, 1,5 m/s hızdan sonra verimde belirgin bir artış görülmektedir. Galvaniz Spiral Levhada, 2,5 m/s hızında en yüksek verim elde edilmiş olup bütün türbülator çeşitleri içinde en yüksek verim oranına sahiptir. Galvaniz levha ve Paslanmaz Çelik Levha ise 3,5 m/s hızında verim en üst düzeydedir. Paslanmaz Spiral Levha ise verimini 3,9 m/s hızında en üst seviyeye çıkarmıştır. Spiral Galvaniz ve Spiral Paslanmaz serilerinde ise Reynolds sayılarının artmasıyla Nusselt sayıları da artmaktadır. Bu serilerde Galvaniz Levha ve Paslanmaz Çelik Levha serilerinden başlangıç itibariyle (Reynolds 1902) daha yüksek, daha sonra (Reynolds 9508) ise birbirine yaklaşmakta olan Nusselt sayıları elde edilmektedir. En yüksek Nusselt Sayısını bütün levha

tiplerinde Reynolds Sayısı 14832de elde edilmiştir. Spiral yapıdaki türbülatorler, akışkanın hareketini daha etkili bir şekilde bozarak ısı transferini artırmaktadır.

Sonuç olarak, Galvaniz Levha, Paslanmaz Çelik Levha, Spiral Galvaniz ve Spiral Paslanmaz arasında Nusselt sayıları açısından farklılıklar olduğu görülmektedir. Malzeme seçimi ve türbülator tasarımı gibi faktörler, ısı transferi performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bilgiler, ısı değiştiricilerin optimize edilmesi ve performanslarının karşılaştırılması için önemli bir referans sağlamaktadır. Spiral formdaki türbülatorlerin kullanımı referans alınarak, farklı malzemelerden üretilen türbülatorlerin geliştirilmesi ve çeşitli alanlarda kullanılması mümkündür. Bu gelişmiş türbülatorler, ısı transferi, akışkan dinamiği ve enerji verimliliği gibi önemli faktörleri artırabilir. Bu şekilde, türbülatorlerin özellikleri ve performansı farklı malzemelerin kullanımıyla optimize edilebilir. Bu potansiyel, ısı değiştirici sistemlerinden enerji üretimine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde değerli katkılar sağlayabilir. Araştırmalar ve deneysel çalışmalar, farklı malzemelerin kullanıldığı türbülatorlerin performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için önemli bir temel oluşturabilir. Bu çalışmalar, yeni türbülator tasarımlarının geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesi için yol gösterici nitelikte olabilir. Sonuç olarak, spiral türbülatorlerin başarısı, farklı malzemelerden üretilen türbülatorlerin potansiyelini ortaya koymaktadır ve bu da daha geniş bir uygulama alanına açılan yeni fırsatlar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdı, H., 2014, Yatay borularda türbülatorlerin ısı transferine olan etkisinin deneysel ve teorisel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum
- Argunhan Z., Yıldız C., 2006, Dairesel Kesitli Bir Borunun Girişine Yerleştirilen Delikli Sabit Kanatçıklı Dönme Üreticinin Isı Geçişi Ve Basınç Düşüşüne Etkileri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt Sayı Sayfa : 2006 : 12 : 2 : 217-223, Denizli
- Baykara, Ş., 2019, Isı değıştiricilerinde konik Şekli türbülatorlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Baysal, E., 2009, Eşmerkezli borulu ısı değıştiricilerinde helisel türbülatorlerin etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi , Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Behçet R., İlkılıç C., Aydın H., 2009, Isı Değıştiricisine Yerleştirilen Pervane Tipi Türbülatorün Isı Transferi Üzerindeki Etkisi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- Bozkula, G., 2016, Kendinden Kanatlı (Finli) Ve Türbülatorlü Turbo Fin Boru Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay
- Budak, N., 2011, Konsantirk Tip Bir Isı Değıştiricisinde Isı Transferinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Çengel, Y.A., 2002, Heat Transfer A Practical Approach, McGraw-Hill Science, USA, 896.
- Çeri, B. & Koca, T., 2022, Farklı Açılı Kanatçıklara Sahip Türbülatorlerin Gaz Yakıtlı Kazanda Kullanımının Isı Transferine Etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 161-167.
- Çıtlak A., Demirpolat A.B., Daş M., 2019, Katı Yakıtlı Bir Kazanda Isı Transferi İyileştirmeleri ve Basınç Farkının Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 31(2), 371-380, 2019
- Demiray, M., 2022, Farklı Malzemelerden Üretilen Türbülatorlerin Isı Kazancına Etkisinin Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Batman
- Deviren, H., 2019, Yeni geliştirilen türbülatorlerin ısı değıştiricilerinde ısı verim ve basınç kaybı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması, yüksek lisans tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman

- Ertan, U., 2019, Isı değiştiricilerinde yeni geliştirilen türbülatörlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman
- Erzincanlı, S., 2019, Borularda dalgalı türbülatörlerin ısı transferi performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Termodinamik Bilim Dalı*, Erzurum
- Farah, A. E., 2022, Borularda Akış Yönünde Dikdörtgen Kesitli Kanatçıklar Açılan Burulmuş şerit Elemanların Türbülanslı Akışta Isı Transferine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya
- Fırat İ. , Karagöz ř., Yıldırım O., Sönmez F., 2021, 10° Ve 20° Açılı Kanatçıklara Sahip Türbülatörlerin Isı Transferine Ve Sürtünme Faktörüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 08-10 Eylül 2021*, Gaziantep
- Fırat, İ., 2022, Sabit Ve Hareketli Türbülatörlerin Isı Transferine Etkisinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Erzurum
- Kahraman N., Sekmen U., Çeper B., Akansu S. O., 2008, Boru İçi Akışlarda Türbülatörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 2, 51-59, 2008
- Karagöz, ř., 2019, Yatay Borularda Türbülatörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması, *Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Erzurum
- Karahan, F., 2010, Duman borulu kazanlarda yeni geliştirilen türbülatörler kullanarak ısı transferi ve basınç kaybının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Koca T. & Budak S. A., 2020, Kanatçıklı i borulu dikey ısı değiştiricilerinde ısı transferi ve basınç düşümü analizi, *İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Malatya
- Kurtbaş İ., Gülçimen F. Ve Durmuş A., 2002, Akım Ortamına Yerleştirilen Kesik Konik Türbülatörlerin Sabit Yüzey Sıcaklığına Sahip Bir Tpde Isı Transferi Ve Ekserji Kaybına Etkisi, *DE Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4 Sayı: 3 sh. 175-184 Ekim 2002*
- Nacak, H. R., 2018, Borularda Trapez Formundaki şerit Elemanların Türbülanslı Isı Transferine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya
- Sarı, O., 2019, Boru İçerisine Yerleştirilen Yeni Tip türbülatörün ısı transferine etkisinin sayısal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yozgat Bozok niversitesi fen bilimleri enstitüsü*, Yozgat

- Sarı, Y., 2017, Magnezyumoksit İçeren Nanoakışkan İle Saf Suyun Plaka Tip Isı Değiştiricideki Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Sekmen, U., 2006, Boru İçi Akışlarda Türbülatorlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri
- Sungur, B. ve Topaloğlu, B., 2018, Boru İçine Yerleştirilen Konik Türbülator Sayısının Nümerik Optimizasyonu, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 13(3): 208-218, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0151
- Turgut, E., 2005, Pervane Tipli Türbülatorlerde Kanat Çapının Isı Değiştiricisi Performansına Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları; *Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi*, Elazığ
- Turgut, E., 2019, Dairesel Kesitli Türbülans Üreticilerinin Isıl Performansının Araştırılması, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 11:2 (2020) : 481-490, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 11:2 (2020) : 481-490
- Yaka, F. Y., 2017, Boru İçerisinde Kullanılan Aparatlar İle Isı Geçişinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya
- Yamaner, Z., 2006, Duman borulu kazanlarda duman boruları konstrüksiyonunun kazan verimine ve ocak yüküne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Yardımcı, U., 2018, Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Yarım Çember Şekilli Türbülatorlerin Isı Transferi ve Basınç Kaybına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Yemenici, O., 2010, Bloklü Yüzeylerde Akış ve Isı Transferi Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa
- Yıldız, Ş., 2007, İç İçe Borulu Isı Değiştiricilerinde Yaylı Türbülatorlerin Isı Transferi Ve Basınç Kaybına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ
- Yıldız, M. E., & Yılmaz, A. 2022. Investigation of the efficiency of air heated solar collectors with different geometries by experimental method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 236(7), 1389-1402.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Amir GÖLOĞLU
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Türközü Oğuzhan Endüstri Meslek Lisesi / Ankara	1998
Üniversite	: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği / Ankara	2003
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi / Batman	2023

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005	Gönka Klima A.Ş	Şantiye Şefi
2008	Aydem Tesisat	Şantiye Şefi
2010	Meb, Mehmet Akif Ersoy Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi / Gaziantep	Öğretmen
2013	Meb, Malabadi Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi / Batman	Öğretmen
2018	Meb, Battalgazi Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi / Ankara	Öğretmen
2023	Meb, Battalgazi Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi / Ankara	Uzman Öğretmen

UZMANLIK ALANI

Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme