



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİRDEN FAZLA DELİKLİ DAİRESEL
KESİTLİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISIL
PERFORMANS PARAMETRELERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Emre YARDIMCI

**Aralık-2024
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİRDEN FAZLA DELİKLİ DAİRESEL KESİTLİ
TÜRBÜLATÖRLERİN ISIL PERFORMANS
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre YARDIMCI

Danışman
Doç. Dr. Adem YILMAZ

Diğer Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZEN

Aralık-2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre YARDIMCI tarafından hazırlanan “Birden Fazla Delikli Dairesel Kesitli Türbülatorlerin Delik Çaplarının Değiştirilerek Isıl Performans Parametrelerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 28/11/2024 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Adem YILMAZ

.....

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Abdülkadir KOÇER

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÖZEN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

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 beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza

EMRE YARDIMCI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİRDEN FAZLA DELİKLİ DAİRESEL KESİTLİ TÜRBÜLATÖRLERİN ISIL PERFORMANS PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre YARDIMCI

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Otomotiv Ana bilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Adem YILMAZ

2024, 94 Sayfa

Dairesel kesitli türbülatorler, endüstriyel ısı değıştiriciler ve boru sistemlerinde sıklıkla kullanılan önemli bileşenlerdir. Bu tür türbülatorler, akışkanın hareketi sırasında türbülans oluşturarak ısı transferini artırmaya ve akış direncini değıştirmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Dairesel kesitli türbülatorler, genellikle boru içine yerleştirilen ve akışkanın akış yönünde veya karşı yönde hareket eden kanatçıklardan oluşur.

Bu çalışmada, dairesele kesitli türbülatorlerin tanımı, işlevi, tasarımı, uygulamaları ve performansı hakkında detaylı bir bilgilendirme sunulacaktır. Dairesel kesitli türbülatorlerin temel amacı, boru içindeki akışkanın akış özelliklerini değıştirerek ısı transferini artırmak ve enerji verimliliğini artırmaktır. Bu tür türbülatorler, borunun iç yüzeyine monte edilir ve akışkanın hareketi sırasında türbülans oluşturarak ısı transferini artırır. Bu türbülatorler genellikle metal veya plastik malzemelerden imal edilir ve çeşitli geometrik yapılarla tasarlanabilir. Dairesel kesitli türbülatorlerin tasarımı, ısı transferi performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Türbülator kanatçıklarının boyutu, şekli, aralığı ve eğimi gibi faktörler, akışkanın akışını ve türbülans oluşturma kapasitesini belirler. Optimum tasarlanmış bir türbülator, boru içindeki akışkanın türbülans seviyesini artırırken, aynı zamanda akış direncini minimize ederek enerji verimliliğini artırır. Dairesel kesitli türbülatorlerin uygulama alanları oldukça geniştir. Bunlar endüstriyel ısı değıştiriciler, kazanlar, boru hatları, buhar jeneratörleri, soğutma sistemleri ve havalandırma sistemleri gibi birçok farklı uygulamada kullanılır. Özellikle yüksek ısı transferi gerektiren endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilirler. Dairesel kesitli türbülatorlerin performansı, ısı transferi ve basınç kaybı gibi önemli parametrelerle değerlendirilir. İyi bir türbülator tasarımı, yüksek ısı transferi sağlarken, akış direncini minimize eder ve enerji verimliliğini artırır. Bu nedenle, türbülatorlerin performansını değerlendirmek için deneysel ve sayısal analizler sıklıkla kullanılır. Dairesel kesitli türbülatorlerin performansı üzerine yapılan araştırmaların birçoğu, farklı türbülator tasarımlarının ısı transferi ve basınç kaybı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmalar, türbülator tasarımının ısı transferi performansı üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olur ve daha etkili türbülator tasarımlarının geliştirilmesine olanak tanır. Sonuç olarak, dairesele kesitli türbülatorler, endüstriyel ısı değıştiriciler ve boru sistemlerinde kullanılan önemli bir bileşendir. İyi tasarlanmış ve optimal bir şekilde kullanılan türbülatorler, enerji verimliliğini artırabilir ve işletme maliyetlerini azaltabilir. Bu nedenle, türbülatorlerin tasarımı ve performansı üzerine yapılan araştırmaların önemi oldukça büyüktür ve gelecekte de bu alandaki çalışmaların devam etmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, dairesele kesitli türbülatorler, enerji verimliliği, endüstriyel uygulamalar, performans değerlendirmesi, tasarım faktörleri

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE PARAMETERS OF MULTI-HOLE CIRCULAR SECTION TURBULATORS

Emre YARDIMCI

Batman University Graduate Education Institute

Automotive Department of Science

Advisor: Doç. Dr. Adem YILMAZ

2024, 94 Pages

Circular-sectioned turbulators are important components commonly used in industrial heat exchangers and piping systems. These types of turbulators are designed to increase heat transfer and alter flow resistance by creating turbulence during the movement of the fluid. Circular-sectioned turbulators typically consist of fins placed inside a pipe, which can either be oriented in the direction of flow or opposite to it.

This study aims to provide detailed information about the definition, function, design, applications, and performance of circular-sectioned turbulators. The primary purpose of circular-sectioned turbulators is to enhance heat transfer and improve energy efficiency by modifying the flow characteristics of the fluid inside the pipe. These turbulators are mounted on the inner surface of the pipe and increase heat transfer by generating turbulence during fluid movement. They are usually made of metal or plastic materials and can be designed with various geometric structures. The design of circular-sectioned turbulators significantly influences heat transfer performance. Factors such as the size, shape, spacing, and angle of the turbulator fins determine the flow of the fluid and its capacity to create turbulence. A well-designed turbulator increases turbulence levels in the pipe while minimizing flow resistance, thus enhancing energy efficiency. Circular-sectioned turbulators have a wide range of applications, including industrial heat exchangers, boilers, piping systems, steam generators, cooling systems, and ventilation systems. They are particularly preferred in industrial applications requiring high heat transfer rates. The performance of circular-sectioned turbulators is evaluated based on important parameters such as heat transfer and pressure loss. A good turbulator design provides high heat transfer rates while minimizing flow resistance, thereby improving energy efficiency. Therefore, experimental and numerical analyses are commonly used to evaluate turbulator performance. Many studies have examined the effects of different turbulator designs on heat transfer and pressure loss. These studies help us understand the impact of turbulator design on heat transfer performance and facilitate the development of more effective turbulator designs. In conclusion, circular-sectioned turbulators are significant components used in industrial heat exchangers and piping systems. Well-designed and properly utilized turbulators can enhance energy efficiency and reduce operating costs. Therefore, research on turbulator design and performance is of great importance, and continued research in this field is expected in the future.

Keywords: Heat transfer, circular-sectioned turbulators, energy efficiency, industrial applications, performance evaluation, design factors

ÖNSÖZ

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

Bana tez yazımında her daim destek veren değerli eşim Sinem'e ve dostum Suat İNCİ'ye en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Emre YARDIMCI
BATMAN-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.1. Araştırmanın Genel Amaçları	2
1.2. Çalışmanın Önemi ve Gerekçesi.....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3.GENEL BİLGİLER.....	28
3.1. Isı	28
3.2. Isı Değiştiriciler	29
3.3. Isı Transferi İyileştirme Teknikleri.....	31
3.4. Isı İletim Şekilleri	34
3.4.1. Kondüksiyon(İletkenlik).....	35
3.4.2. Konveksiyon(Taşınım)	35
3.4.3 Radyasyon(Işınım).....	36
3.5. Isı Değiştirici Şekilleri ve Sınıflandırılması	36
3.5.1. Borulu ısı değiştiriciler (Eşanjörler)	36
3.5.2. Plakalı(Levhalı) ısı değiştiriciler	40
3.5.3. Kanatlı ısı değiştiriciler.....	41
3.6. Türbülator	43
3.6.1. Türbülatorlerin ısı transferi ve akışkan davranışları üzerindeki etkileri.....	43
3.6.2. Dairesel kesitli türbülatorlerin tasarım ve performans kriterleri	47
3.6.3. Dairesel kesitli türbülatorlerin avantajları	48
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
4.1. Yöntem.....	49
4.2. Deney Düzenekinin Tanıtımı	50
4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler	52
4.3.1. Fan motoru	52
4.3.2. Kazan	53
4.3.3. Anemometre.....	54
4.3.4. Çelik çubuklar.....	54
4.3.5. Termokupl-Veri kayıt programı- Veri dönüştürücü	55
4.3.6. Isı eşanjörü.....	58
4.3.7. Galvaniz levhalar	59
4.3.8. Deneyde kullanılacak türbülator şekilleri ve dizilimi	60

5.HESAPLAMA YÖNTEMİ	65
5.1. Reynold Sayısının Tanımı	65
5.2. Nusselt Sayısının Tanımı:	66
5.3. Sürtünme Katsayısı Hesabı	69
5.3.1. Laminer akış için sürtünme katsayısı:	69
5.3.2. Türbülanslı akış için sürtünme katsayısı:	69
5.3.3. Basınç farkını hesaplamak	69
5.4. Belirsizlik Hesabı.....	70
5.4.1. Tek ölçüm belirsizliği (Tekrar Edilebilirlik)	70
5.4.2. Ortalama ve standart sapma ile belirsizlik hesabı.....	70
5.4.3. Ortalama belirsizliği (Standart Hata)	71
5.4.4. Göreli belirsizlik	72
6.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	73
6.1. Türbülatorlerin Deneysel Performans Grafikleri	73
6.2. Türbülatorlerin Diziliş Şekillerine Göre Performans Değerleri	74
6.2.1 Deney düzeneğinde yapılan değişiklikler	75
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

K	: Kelvin
°	: Derece
°C	: Santigrat derece
CO ₂	: Karbondioksit
%	: Yüzde
α	: Açık
K _w	: Kilovat
AC	: Alternatif akım
W	: Watt
D	: Çap
L	: Uzunluk
Δt	: Sıcaklık farkı
ΔP	: Basınç Farkı
DC	: Doğru akım
s	: Saniye

Kısaltmalar

MATLAB	: Matrix laboratory (Matris Laboratuvarı)
m/sn	: Metre/saniye
m	: Metre
Nu	: Nusselt
Re	: Reynold
l/h	: Litre/saat
mm	: Milimetre
T _b	: Baca gazı çıkış sıcaklığı
T _o	: Ortam sıcaklığı
T _{çığ}	: Çiğlenme sıcaklığı
P	: Adım mesafesi
S _y	: Kanatçık arası mesafe
Kcal	: Kilokalori
PEC	: Performans değerlendirme kriteri
P/D	: Boru çapına göre helisel telin periyodu
SiO ₂	: Silisyumdioksit
CFD	: Hesaplama akışkanlar dinamiği
HAD	: Isı analiz dinamiği
k- ϵ	: Türbülans modeli
l/dk	: Litre/dakika
RANS	: Reynolds-Averaged Navier-Stokes
HR	: Hatve oranları
PR	: Periyot uzunlukları
TEF	: Isı iyileşme faktörü
PTC	: Parabolik güneş kolektörleri
HVAC	: Heating Ventilation and Air Conditioning(Isıl havalandırma ve iklimlendirme)

HX	: Isı değiştiriciler
d/dk	: Devir/dakika
S1	: Sürekli alışma
IP55	: Koruma sınıfı
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayar sayısal kontrol)
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar destekli tasarım)
Kg	: kilogram



ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ

Şekiller Dizini

Şekil 2.1 Dairesel Türbülator	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.2 Çubuk Kanatlı Türbülatorler	5
Şekil 2.3. Konik Türbülator	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.4. Konik Türbülator Sıcaklık Analizi	6
Şekil 2.5. Helisel Türbülator Yerleştirilmiş Düz Boru	7
Şekil 2.6. (a) Türbülatorlü borunun genel görünümü, (b) Boş Boruya Ait Grid Yapısı, (c) $b=0.1$ m ve $\theta = 45^\circ$ Değerlerindeki Türbülator Ait Grid Yapısı	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.7. (a) Boş Boru, $b = 0.1$ m Kanatçık Açıklığında (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$, (d) $\theta=60^\circ$ Açılı Türbülatorler Yerleştirilmiş Borudaki Sıcaklık Dağılımları	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.8. Hız Dağılımı	9
Şekil 2.9. Türbülator	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.10. Türbülator	10
Şekil 2.11. Türbülator ve Boruya Ait Geometrik Detaylar a. Türbülator Ait İzometrik ve Yan Görünüm b. Türbülatorün Boru İçerisindeki Kanat Açısına Ait Görünümler c. Türbülatorün Boru İçerisindeki Yan Görünümüne Boru Girişi	11
Şekil 2.12. Çubuk Kanatlı Türbülator	12
Şekil 2.13. Kıvrımlı Türbülator	13
Şekil 2.14. Dalgalı Türbülator	13
Şekil 2.15. Bakır Türbülator	14
Şekil 2.16. Farklı Kanatçık Açılarındaki Türbülator	15
Şekil 2.17. Farklı Türbülator Örnekleri	15
Şekil 2.18. Kanatçıklı Türbülator	16
Şekil 2.19. Levha Tipi Türbülator	17
Şekil 2.20. Farklı Malzemelerden Üretilmiş Türbülator Kanatçıkları	18
Şekil 2.21. Farklı Kanatçık Açılına Sahip Türbülatorler	19
Şekil 2.22. Deneyde Kullanılan Türbülator Tasarımı	21
Şekil 3.1. Isı Değiştirici Örneği	29
Şekil 3.2. Çukurlu Boru	32
Şekil 3.3. Eşmerkezli Borulu Isı Eşanjörü	32
Şekil 3.4. Helisel Olarak Bükülmüş Bantların Geometrik Detayları	33
Şekil 3.5. Çeşitli Açıda Bükülmüş Bantlar	34
Şekil 3.6. Isı Transfer Biçimleri	35
Şekil 3.7. Çift Borulu Isı Eşanjörü	38
Şekil 3.8. Gövde Borulu Isı Değiştirgeci	38
Şekil 3.9. Spiral Borulu Isı Değiştiricisi	39
Şekil 3.10. Kanatlı Boru Isı Değiştirgeci	40
Şekil 3.11. Levhalı Isı Değiştirici	41
Şekil 3.12. Plakalar Üzerindeki Balıksırtı Tasarım	41
Şekil 3.13. Plakalı Kanatlı Isı Değiştiriciler	42
Şekil 3.14. V Şekilli Delta Kanatlı Türbülatorler	45
Şekil 3.15. SLT ve TRT Tip Türbülatorler	46
Şekil 3.16. Girdap Şekilli Türbülator	46

Şekil 3.17. Daresel Kesitli Türbülator	48
Şekil 4.1. Deney Düzenegi	51
Şekil 4.2. Fan Motoru	52
Şekil 4.3. Kazan	53
Şekil 4.4. Anemometre	54
Şekil 4.5. Çelik Çubuklar.....	55
Şekil 4.6. ATmega2560 Mikrodenetleyici Veri Dönüştürücü	56
Şekil 4.7. Sensörlerin Mikrodenetleyiciye Bağlantısı	57
Şekil 4.8. Sıcaklık Zaman Program Verileri.....	58
Şekil 4.9. Isı Eşanjörü	58
Şekil 4.10. Galvaniz Levhalar.....	60
Şekil 4.11. CNC Kanatçık Tasarımı	61
Şekil 4.12. Türbülator Tasarım Şekilleri	62
Şekil 4.13. Türbülator Kanatçık Teknik Resim	63
Şekil 4.14. Türbülator Kanat Dizilimi	63
Şekil 4.15. Türbülator Kanatçık Yerleşim Mesafeleri.....	64
Şekil 6.1. Sıcaklık Farkı-Hız Grafiği.....	74
Şekil 6.2. Kanatçık Tasarımı.....	75
Şekil 6.3. Bükülü Kanatçık Tasarımı.....	75
Şekil 6.4. Türbülator Diziliş	76
Şekil 6.5 Türbülator Diziliş	77
Şekil 6.6 Tasarlanan Türbülator Şekilleri	77
Şekil 6.7. Bükülü Kanatçık Türbülator Yerleşim Şekilleri.....	78
Şekil 6.8. Sıcaklık Farkı-Hız Grafiği.....	78
Şekil 6.9. Reynold-Hız Değerleri	81
Şekil 6.10. Nusselt-Hız Değerleri	82
Şekil 6.11. Nusselt-Reynold Grafiği.....	83
Şekil 6.12. fsürtünme-Reynold Grafiği.....	84

Tablolar Dizini

Tablo2.1. Parametreler	8
Tablo2.2 .Sıcaklık Parametreleri	10
Tablo2.3. Verim Parametreleri	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Tablo2.4. Isı Transferi Artış Oranı	13
Tablo 2.5 Kullanılan Türbülator Parametreleri	21
Tablo5.1. Hava Sıcaklığına Göre Çeşitli Parametreler.....	68
Tablo6.1. Reynold-Hız Değerleri	79
Tablo 6.2. Nusselt-Hız Değerleri.....	80



1.GİRİŞ

Dairesel türbülatorler, birçok endüstriyel uygulama için kritik öneme sahip olan karmaşık akışkan sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir akış iyileştirme cihazıdır. Bu tür türbülatorler, boru hatları, ısı değiştiricileri, kazanlar ve diğer birçok sistemde akışkanların transferi ve karışımı için kullanılmaktadır. Özellikle ısı parametrelerinin optimize edilmesi, enerji verimliliği ve sistem performansı açısından hayati bir öneme sahiptir. Günümüzde, endüstriyel uygulamalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle, akışkan sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi süreçlerinde ısı parametrelerinin doğru bir şekilde yönetilmesi kritik bir hale gelmiştir. Dairesel türbülatorler, bu bağlamda, akışkanların ısı iletimini artırarak veya azaltarak sistem performansını optimize etmek için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. Dairesel türbülatorlerin ısı parametrelerinin araştırılması, geniş bir multidisipliner yaklaşım gerektirir. Bu araştırmalar, akışkan mekaniği, ısı transferi, malzeme bilimi ve mühendislik prensiplerini içerebilir. İdeal bir türbülator tasarımının belirlenmesi, akışkanın özelliklerine, işletme koşullarına ve uygulamanın gereksinimlerine uygun olarak dikkatlice optimize edilmiş ısı parametrelerinin kombinasyonunu gerektirir. Dairesel türbülatorlerin ısı parametrelerini araştırmak için kullanılan yöntemler arasında deneysel çalışmalar, sayısal simülasyonlar ve analitik modelleme bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar, gerçek dünya koşullarında türbülator performansını değerlendirmek için önemli bir araç sağlarken, sayısal simülasyonlar kompleks akış ve ısı transferi fenomenlerini anlamak için değerli birer araçtır. Analitik modelleme ise genellikle daha basit sistemler için kullanılan ve teorik anlayışı geliştirmeye odaklanan bir yaklaşımdır.

Bu tezin amacı, dairesele türbülatorlerin ısı parametrelerinin araştırılmasıyla ilgili mevcut literatürü derinlemesine incelemek ve farklı yöntemlerin avantajlarını ve sınırlamalarını tartışmaktır. Ayrıca, gelecekteki araştırma yönlerini ve endüstriyel uygulamalardaki potansiyel etkilerini vurgulayarak, bu alandaki mevcut bilgi boşluklarını tanımlamayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, dairesele türbülatorlerin ısı parametrelerinin araştırılması, enerji verimliliği, sistem performansı ve sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahip olan bir alandır. Bu tez çalışmasında, düz bir boru içerisine yerleştirilen birden fazla delikli dairesele türbülatorlerin ısı verimlilikleri incelenmiştir. Bu alandaki mevcut bilgiyi

derinleştirerek ve gelecekteki araştırmalara rehberlik ederek, endüstriyel uygulamalarda daha etkili ve verimli akışkan sistemleri sağlama potansiyelini artırmayı hedeflemektedir.

1.1. Araştırmanın Genel Amaçları

Dairesel türbülátörlerin ısı parametrelerinin araştırılmasıyla ilgili bir araştırmanın amacı, genellikle şunları içerebilir:

Isıl Performansın İyileştirilmesi: Dairesel türbülátörlerin akışkan üzerindeki etkilerini değerlendirerek, türbülátörlerin ısı performansını artırmak için uygun tasarım parametrelerini belirlemek. Bu, akışkanın türbülátörler arasındaki hareketi sırasında ısı iletimin artırılması veya azaltılması yoluyla gerçekteştirilebilir.

Enerji Verimliliğinin Artırılması: Dairesel türbülátörlerin kullanımının enerji verimliliği üzerindeki etkilerini araştırarak, sistemlerin daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için türbülátörlerin optimal konfigürasyonlarını ve işletme koşullarını belirlemek.**Isı Transferi Mekanizmalarının Anlaşılması:** Dairesel türbülátörlerin içindeki akışkanın ısı davranışını inceleyerek, akışkanın türbülátörler arasında nasıl davrandığını ve ısının nasıl transfer edildiğini anlamak.

Türbülátör Tasarımının Optimizasyonu: Farklı türbülátör tasarım parametrelerinin (örneğin, çap, yükseklik, kanat şekli, aralık vb.) ısı performans üzerindeki etkilerini değerlendirerek, en iyi tasarımı belirlemek.

Endüstriyel Uygulamalara Uyarlama: Elde edilen bulguları, endüstriyel uygulamalara uygun şekilde yorumlayarak, türbülátörlerin pratik uygulamalarda nasıl kullanılabileceğini ve endüstriyel sistemlerin ısı verimliliğini artırabileceğini belirlemek. Bu amaçlar, dairesele türbülátörlerin ısı parametrelerinin araştırılmasına yönelik genel hedefleri temsil etmektedir. Gerçek bir deneyin amacı, belirli bir araştırma sorusuna yanıt olarak belirlenir ve genellikle belirli bir araştırma hipotezini test etmeye odaklanır.

1.2 .Çalışmanın Önemi ve Gerekeğesi

Yenilikçi Tasarım Geliştirme: Deneyler, dairesele türbülátörlerin geleneksel tasarımlarından farklı olarak yenilikçi tasarım önerilerinin değerlendirilmesine olanak tanır. Bu tür deneyler, farklı geometrik yapıların ve malzemelerin ısı performansını inceleyerek, daha etkili ve verimli türbülátör tasarımlarının geliştirilmesine yol açabilir.

Çevresel Etkilerin Azaltılması: Dairesel türbülatorlerin ısı parametrelerinin deneysel olarak araştırılması, daha çevre dostu ve sürdürülebilir tasarımların geliştirilmesine olanak tanır. Bu deneyler, enerji tüketimini azaltarak ve emisyonları düşürerek çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayabilir.

Farklı Akışkanların İncelenmesi: Deneyler, farklı akışkanların (örneğin, su, hava, buhar) ısı davranışlarını dairesel türbülatorlerle etkileşim içinde inceleyebilir. Bu, dairesel türbülatorlerin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğu alanlarda, farklı akışkanların performansını daha iyi anlamamıza olanak tanır.

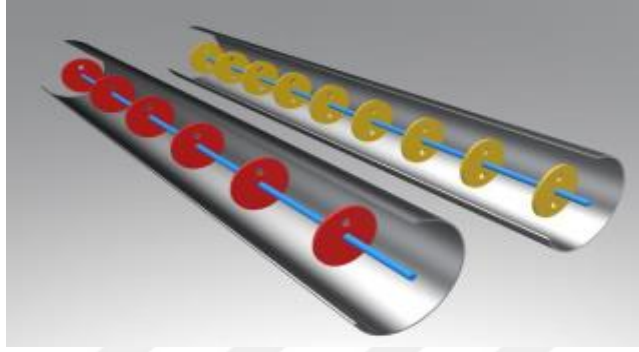
Mikro ve Nano Ölçekte Araştırma: Günümüzde, mikro ve nano ölçekte yapılmış türbülatorlerin ısı davranışları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Deneyler, bu küçük ölçekli türbülatorlerin ısı transfer özelliklerini anlamak ve geliştirmek için kullanılabilir.

Geleceğe Yönelik Teknoloji Geliştirme: Deneyler, dairesel türbülatorlerin gelecekteki teknolojik gelişimine yol gösterebilir. Örneğin, nanoteknoloji veya biyomimikri gibi ileri teknolojilerin dairesel türbülator tasarımlarına entegre edilmesiyle daha etkili ve yenilikçi türbülator sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olabilir.

Bu bakış açıları, dairesel türbülatorlerin ısı parametrelerinin deneysel olarak araştırılmasının farklı yönlerini vurgulamaktadır ve bu tür araştırmaların geniş bir uygulama alanına sahip olabileceğini göstermektedir

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

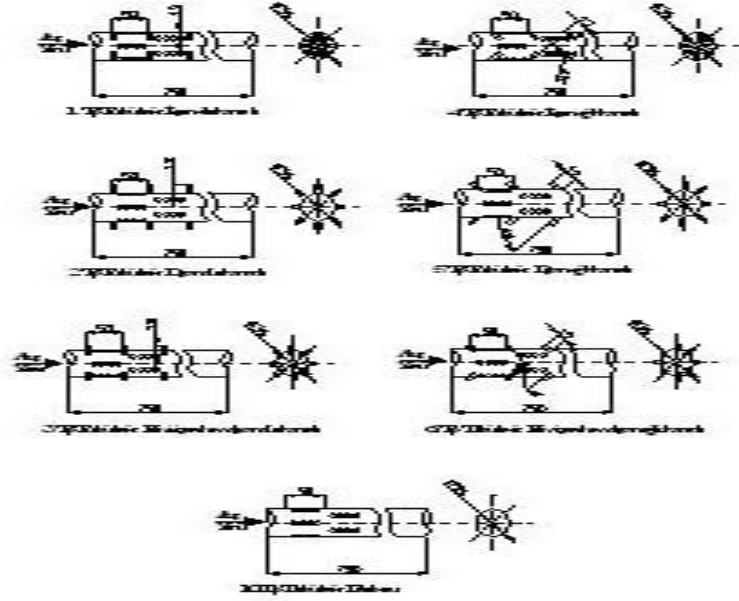
Emre Turgut (2020), Çalışmasında Şekil 2,1’de görüldüğü gibi iç içe geçmiş iki borudan meydana gelen ortak eksen içeren ısı değiştirgecinin iç borusuna konulmak üzere hazırlanmış dairesel kesitli türbülatorlerin ısı transferi ve basınç kaybı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Türbülator şekli aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dairesel türbülator (Turgut, 2020)

Sonuç olarak Reynold sayısındaki artış ile paralel olarak ısı transferi değerleri %460, sürtünme katsayısı değerleri %478 artış göstermiştir. Isıl performans Reynold sayısındaki artma ile ters orantılı şekilde düşüş göstermiştir.

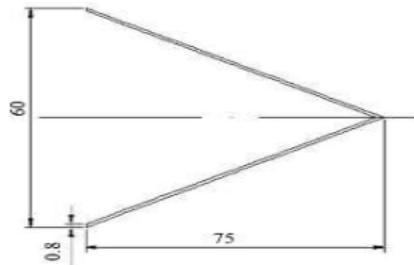
Aydın Durmuş ve arkadaşları (2003), Bu çalışmasında Şekil 2.2’de görüldüğü gibi iki borulu ve ortak eksenli sabit sıcaklıktaki ısı değiştirici kullanılarak farklı kanat açısı ve yapısındaki çubuk türbülatorler imal edilmiş ve ısı transferi araştırılmıştır.



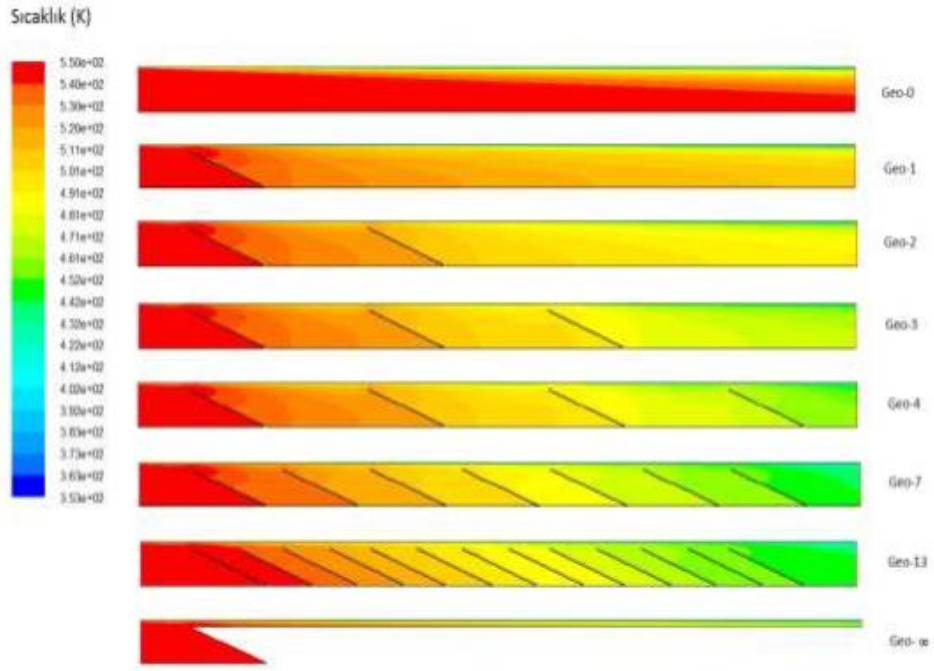
Şekil 2.2. Çubuk kanatlı türbülátörler (Durmuş, 2003)

Sonuç olarak basınç kayıpları kanat açısı ve yapısında bağılı olarak artış göstermiştir. Çubuk kanatlı türbülátörlerin, kanat yapısı ve açısıyla ilişkili olarak, ısı transferini artırdığı Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu tür türbülátörlerin, kanat açısı ve hızına bağılı olarak ısı transferini artırdığı, ancak bununla birlikte basınç düşümünde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Matlab programında, hız ve kanat açısına göre yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen en uygun hız ($u=7.59\text{m/sn}$) ve kanat açısı ($\theta=45^\circ$) ile maksimum ısı transferi ve minimum basınç düşümü elde edilmiştir.

Bilal Sungur ve arkadaşları (2018), Bu çalışmalarında Şekil 2.3'de görüldüğü gibi ısıtma kazanlarının verimlerinin arttırmaya yönelik araştırmalar yapmışlardır. Duman borulu kazanların borularına konik geometriye sahip türbülátörler yerleştirerek ısı transferine olan etkileri araştırılmıştır. Konik türbülátör şekli aşağıda belirtilmiştir.



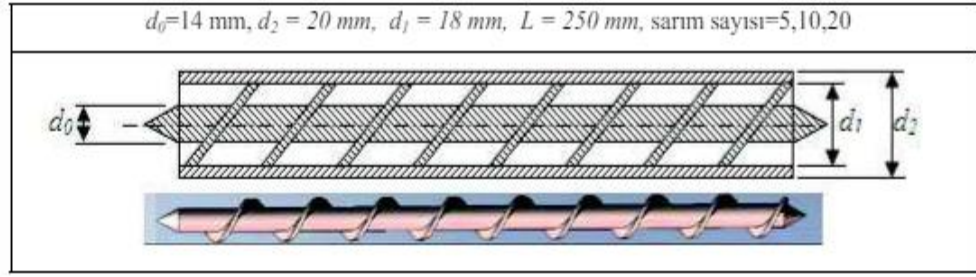
Şekil 2.3. Konik türbülátör (Sungur, 2018)



Şekil 2.4. Konik türbülator sıcaklık analizi (Sungur, 2018)

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, en az ısı transferi türbülatorsüz durumda gerçekleşmiştir. Türbülator sayısı arttıkça çıkış sıcaklıkları bir süre düşer, sonra sabitlenir. Sonsuz türbülator kullanıldığında sıcaklık dağılımı, dört türbülator kullanıldığında elde edilen dağılıma benzer hale gelir ve çıkış sıcaklıkları yakın değerlerde sabitlenir. Borulardaki akım fonksiyonu konturları da Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Türbülatorler kullanıldığında, türbülatorlerin önünde ve arkasında girdaplar oluşur. Türbülator sayısı arttıkça girdaplar da artar, ancak özellikle Geo-4, Geo-7 ve Geo-13 gibi belirli türbülatorlerde girdapların boyutunun ve etkisinin azaldığı gözlemlenir. Bu durum, ısı transferi açısından olumsuz bir etki yapar. Türbülator sayısı sonsuz olduğunda, akış doğrudan boru duvarına yakın bir bölgeden ilerler. Sonuç olarak türbülator kullanımının ısı transferini arttırdığı fakat basınç kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir.

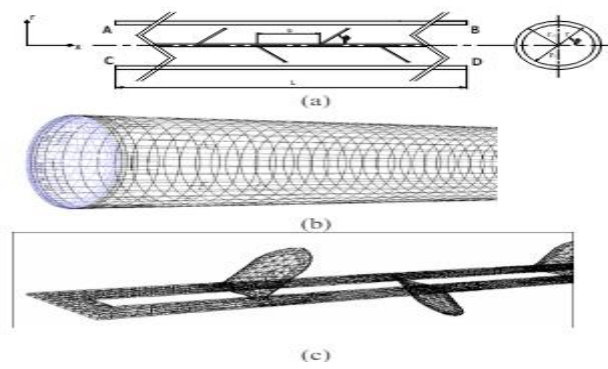
Nihal Uğurlubilek ve arkadaşları (2011), çalışmalarında Şekil 2.5'de görüldüğü gibi bakır boru içerisine yerleştirilen türbülatorün ısı geçişine olan etkisini sayısal olarak araştırmışlardır.



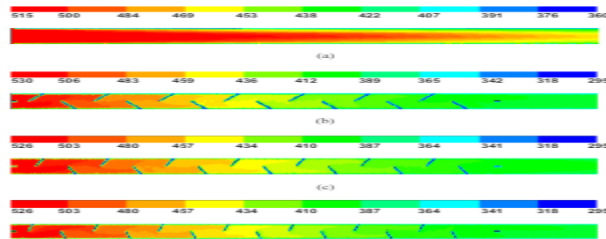
Şekil 2.5. Helisel türbülötör yerleştirilmiş düz boru (Uğurlubilek, 2011)

Sonuç olarak helisel türbülötörlü boruların laminar akışta düz boruya göre ısı geçişini arttırdığı, türbülanslı akışta ise termodinamik açıdan verimli olmadığını gözlemlemişlerdir.

Nafiz Kahraman ve arkadaşları (2008), Bu çalışmalarında Şekil 2.6’da görüldüğü gibi farklı kanatçık açıklıklarında ve farklı kanatçık açılarında boru içerisine yerleştirilen türbülötörlerin ısı geçişindeki verimliliklerini araştırmışlardır.



Şekil 2.6. (a) Türbülötörlü borunun genel görünümü, (b) Boş Boruya Ait Grid Yapısı, (c) b=0.1 m ve $\theta = 45^\circ$ Değerlerindeki Türbülötöre Ait Grid Yapısı (Kahraman, 2008)



Şekil 2.7. (a) Boş Boru, b = 0.1 m Kanatçık açıklığında (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$, (d) $\theta=60^\circ$ Açılı türbülötörler yerleştirilmiş borudaki sıcaklık dağılımları ($^\circ\text{K}$) (Kahraman, 2008)

Reynolds sayısı yükseldikçe, Nusselt sayısı da artar ve sürtünme miktarı azalır. Yön değiştirici kanat sayısı arttıkça, Nusselt sayısı artar, ancak aynı zamanda sürtünme miktarı da artar. Engel sayısı arttıkça, geri dönüş bölgelerinin sayısı artar. Özellikle 18000

Reynolds sayısından sonra, ısısal/hidrolik performans düşer. Sonuç olarak tüm durumlarda boru içerisine türbülator kullanıldığı zaman Nu sayısının arttığı gözlemlenmiş ve türbülator kanat açıklığı ve kanat açısının ısı transferini etkilediği görülmüştür.

Eşref Baysal ve arkadaşları (2021), Bu çalışmalarında zıt akışlı iç içe geçmiş borulardan oluşan ısı değiştirgecinde türbülator kullanmışlardır. İki boru arasından 50 l/h sabit hacimli debide ve 298,14 K sıcaklıktaki su, içteki borudan 350 K sıcaklığında hava geçirmişlerdir. İç tarafa yerleştirilen türbülatorler farklı adımlarda sayısal olarak incelenmiştir.

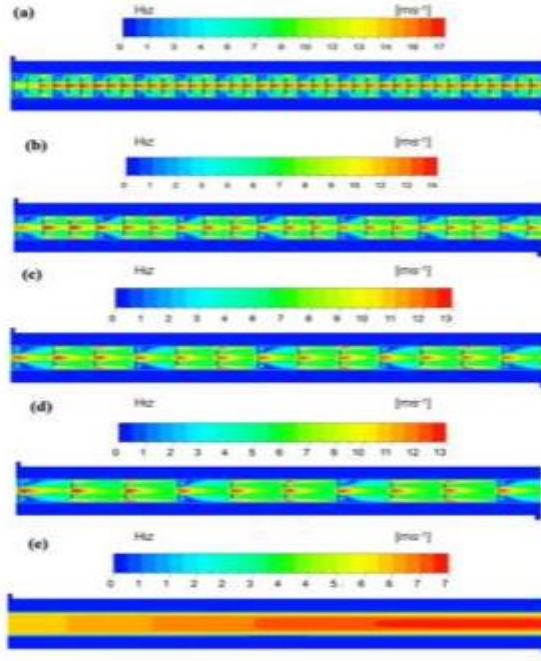
Tablo 2.1 Parametreler (Baysal, 2021)

Isı Değiştiricinin Boyu(L_{boru})	1000 mm
Dış Boru İç Çapı (D_{di})	110,3 mm
Dış Boru İç Çapı (D_{dd})	114,3 mm
İç Boru Dış Çapı (D_{id})	54 mm
İç Boru Dış Çapı (D_{ii})	52 mm
Su Giriş Boru Uzunluğu	20 mm
Su Giriş Boru Çapı	13,5 mm
Türbülator Dış Çap (D_{td})	50 mm

Tablo 2.1 Parametreler (Baysal, 2021)

Türbülator Et Kalınlığı (t_t)	1 mm
Türbülator Kanatçık Adımları (P)	25mm-50 mm-75mm-100mm
Türbülator Kanatçık Orta Dış Çap (D_{kd})	30 mm
Türbülator Kanatçık Orta İç Çap (D_{ki})	20 mm
Türbülator Kanatçık Kanadı Açısı (β)	30 Derece
Ortalama Hava Giriş Sıcaklığı (T_{Hg})	350 K
Ortalama Su Giriş Sıcaklığı (T_{sg})	298.14 K
Su Giriş Debisi	500 l/h

Bu verilere Tablo 2.1’de görüldüğü üzere basınç kaybı en düşük 100 mm adımlı ve en yüksek 25 mm adımlı türbülator için gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Türbülatorlerde adım mesafesi azaldığında basınç düşüşlerinin arttığı ve basınç düşüşlerinin artmasının Reynold sayısının artmasıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Türbülatorün adım mesafesi azaldıkça, türbülanslı akış artar ve boru tipi ısı değiştiricisinde daha fazla girdap oluşur. Hız değerleri ise Şekil 2.8’de görüldüğü gibi boru içindeki akışta en yüksek değerlere kanatçıkların orta bölgelerinde ulaşır. Yapılan analize göre, adım mesafesine bağlı olarak en yüksek hız değeri 25 mm adım mesafesine sahip türbülatorde ölçülürken, en düşük hız değeri 100 mm adım mesafesine sahip türbülatorde ölçülür.



Şekil 2.8. Hız dağılımı (Baysal, 2021)

Türbülötör şekli Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Türbülötör (Baysal, 2021)

Berna Çeri ve arkadaşları (2022), Bu çalışmalarında gazla çalışan kazanlarda farklı açılı kanatçıklara sahip türbülötörleri Şekil2.10’da görüldüğü üzere eklemiş ve kanatçık açılarının ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak baca gazı en düşük sıcaklık değerine sahip olması 25° kanat açısına sahip türbülötör kullanımında meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.10. Türbülator (Çeri, 2022)

15°-20°-25° açılı kanatçıklarla deney yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’deki gibidir.

Tablo 2.2. Sıcaklık parametreleri (Çeri, 2022)

Türbülator Kanatçık Açısı	3.Geçiş Borusundaki Gazın Giriş Sıcaklığı(°C)
15°	379 °C
20°	355 °C
25°	348 °C

Tablo 2.3. Verim parametreleri (Çeri, 2022)

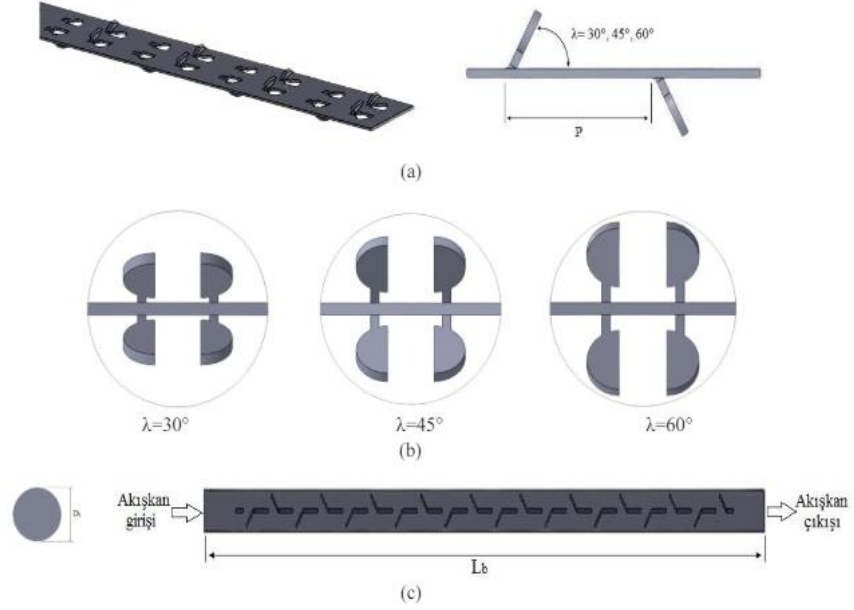
Kanatçık Açısı	Tb(°C)	CO ₂ (%)	Verim (%)	To(°C)	Tçiğ (°C)
15°	100,5 °C	%10,4	%96,6	25,8 °C	57 °C
20°	83,6 °C	%10,45	%97,1	23,9 °C	56,3 °C
25°	77,9 °C	%10,57	%97,6	20,9 °C	55 °C

Tb= Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı

To= Ortam Sıcaklığı

Tçiğ=Çiğlenme Sıcaklığı

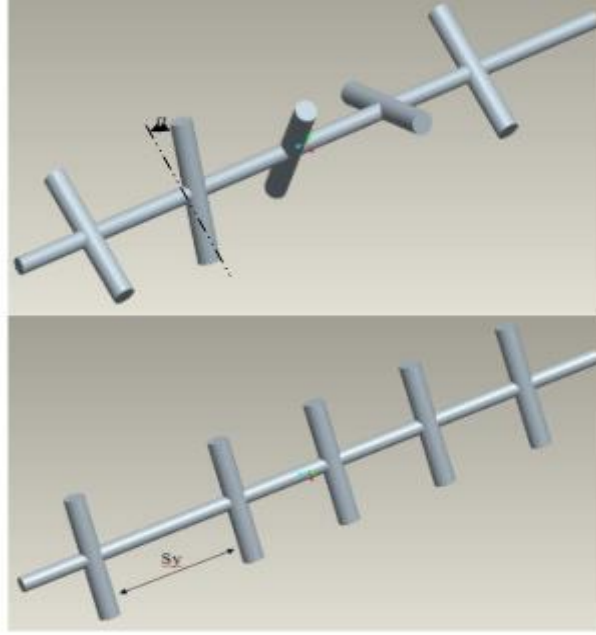
Murat Teköz ve arkadaşları (2023), Çalışmalarında boru içine konumlandırılmış iki tarafı kanatçıklı bant tipi türbülatorün ısı transferi ve sürtünme üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Türbülator şekli Şekil 2.11’de görüldüğü üzere aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.11. Türbülötör ve boruya ait geometrik detaylar a. Türbülötöre ait izometrik ve yan görünüm b. Türbülötörün boru içerisindeki kanat açısına ait görünüm c. Türbülötörün boru içerisindeki yan görünümüne boru girişi (Teköz, 2023)

Çift taraflı kanatçıklı bant tipi türbülötörler, üç farklı kanatçık açısında ($\lambda=30^\circ$, 45° , 60°) ve iki farklı kanatçık adım mesafesinde ($P=10\text{ mm}$, 20 mm) tasarlanmıştır. boş boru ve $P=10\text{ mm}$ kanatçık adım mesafesine sahip türbülötörlerin kullanıldığı borularda Nusselt sayısının Reynolds sayısına ve kanatçık açısına bağlı olarak nasıl değiştiği verilmiştir. Tüm Reynolds sayılarında, türbülötörlü borulardaki Nusselt sayısı değerlerinin boş borudaki Nusselt sayısından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kanatçıklı türbülötör kullanılan borulardan elde edilen Nusselt sayısında, 30° , 45° ve 60° kanatçık açıları için boş boruya göre sırasıyla %30.64-37.88, %46.44-52.96 ve %57.55-67.09 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Türbülötörlü borular arasında karşılaştırıldığında, en yüksek Nusselt sayısı, 60° kanatçık açısına sahip türbülötör kullanılan borularda elde edilmiştir. Bu borulardaki Nusselt sayısı, 30° ve 45° kanatçık açısına sahip modellerin kullanıldığı borulardaki Nusselt sayısından sırasıyla %20.59-21.17 ve %7.58-9.23 oranlarında daha yüksektir. Sonuç olarak türbülötörün kanatçıklar arası mesafe ve kanatçık açısının ısı transferi ve sürtünme üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Şendoğan Karagöz ve arkadaşları (2019), Çalışmalarında Şekil 2.12'deki gibi boru içerisine türbülans oluşturan kanatçıklar yerleştirip boş boru ile kıyaslama yapmışlardır.



Şekil 2.12 Çubuk kanatlı türbülator (Karagöz, 2019)

Bu çalışmada, boru içine türbülans oluşturmak amacıyla kanatçıklar yerleştirilerek boş bir boruyla karşılaştırılmıştır. Üç farklı kanatçık arası mesafede ($S_y=101, 216, 340$) ve üç farklı kanatçık açısına ($\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) sahip toplam dokuz farklı türbülator, üç farklı Reynolds sayısında (Re) test edilmiştir. Bu türbülatorlerin ısı transfer performansı ve sürtünme karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. En yüksek hız değerinde Nusselt sayısındaki en büyük artış, $S_y=101\text{mm}$ kanatçık arası mesafede ve $\alpha=90^\circ$ kanatçık açısında gözlemlenmiştir. Kanatçık arası mesafenin artmasıyla Nusselt sayısında bir azalma olduğu belirlenmiştir. S_y mesafesi en küçük olan türbülator, bütün Reynolds sayılarında en yüksek Nusselt sayısına sahiptir. Nusselt sayısı açısından sıralama yapıldığında; $S_y(10) > S_y(5) > S_y(3)$ olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak kanatçık arası mesafenin ve kanatçık açılarının Nu sayısına etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Mustafa Özbey (1997), Bu çalışmada, helisel sarımlı teller olarak adlandırılan türbülatorlerin boru içindeki akım alanı ve ısı transferine olan etkilerini belirlemektedir. Bu amaçla, bir boru hattı ve besleme ünitesinden oluşan kontrollü hava akımı sağlayan bir deneysel düzenek tasarlanmış ve üretilmiştir. Farklı tel çapları, uzunluk, helis açısı, adım ve sarım sayısına sahip türbülatorler üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, test borusuna yerleştirilen türbülatorlerin akım alanı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ortalama akım parametreleri basınç sondaları

kullanılarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmanın sonuçları, boş bir boruda yapılan akım ve ısı transferi ölçümleri ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Türbülatorlerin ısı ve hidrodinamik performansı, akım parametreleri ve türbülator karakteristik boyutları arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

Fahri Karahan (2010) Bu çalışmada, 125.000 kcal/h kapasiteli katı yakıtlı kazanda, 8 farklı tipte şerit türbülator kullanarak ısı transferinin artırılması araştırılmıştır. Aynı zamanda türbülatorlerin neden olduğu basınç kayıpları da ölçülmüştür. Kazandaki duman borularının tamamına türbülatorler yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak türbülator kullanılmadan önce deneyler yapılmıştır. İkinci adımda ise duman borularına farklı tiplerde türbülatorler Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te görüldüğü üzere, yerleştirilerek her bir tip için ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi hesaplanmıştır.



Şekil 2.13. Kıvrımlı türbülator (Karahan, 2010)



Şekil 2.14. Dalgalı türbülator (Karahan, 2010)

Tablo 2.4. Isı transferi artış oranı (Karahan, 2010)

Türbülator Tipleri	Türbülatorlü Deneyin Türbülatorsüz Deneye Göre Artış Oranı
Sık dalgalı tam boy türbülator	%63-%65
Sık dalgalı yarım boy türbülator	%24-%26
Seyrek kıvrımlı yarım boy türbülator	%22-%24
Seyrek dalgalı tam boy türbülator	%44-%46
Sık kıvrımlı tam boy türbülator	%82-%84
Sık kıvrımlı yarım boy türbülator	%41-%43
Seyrek dalgalı yarım boy türbülator	%15-%17
Seyrek kıvrımlı tam boy türbülator	%53-%55

Ancak bu işlemin basınç kayıplarında artışa neden olduğu görülmüştür. Deneylerde fan debisi damper yardımıyla değiştirilerek, Reynolds sayısı 18000 ile 28000 arasındaki değerlerde hesaplamalar yapılmıştır. Türbülatoörlü deneysel çalışmalarda, türbülatoörsüz deneylere göre Tablo 2.4'te görüldüğü üzere ısı transferinde en az %15, en fazla %82 oranında artış sağlanmıştır. Ancak aynı oranda basınç kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir. Net ısı kazancı ile ek basınç kaybı oranı dikkate alındığında, tam boy ve yarım boy türbülatoörlerde sık kıvrımlı türbülatoörlerin en iyi sonucu verdiği görülmektedir. En iyi ısı transferinin olduğu sık kıvrımlı tam boy türbülatoörlere ve diğer türbülatoörlere, ısıl kazanç yanında basınç kaybındaki düşüşlerin az miktarda olduğu görülmektedir.

Helin Yıldız (2023), Yapılan çalışmada, bakır boru içerisinde ısı transferini arttırmak amacıyla Şekil 2.15'te görüldüğü gibi boru içerisinde mil kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Bakır türbülatoör (Yıldız, 2023)

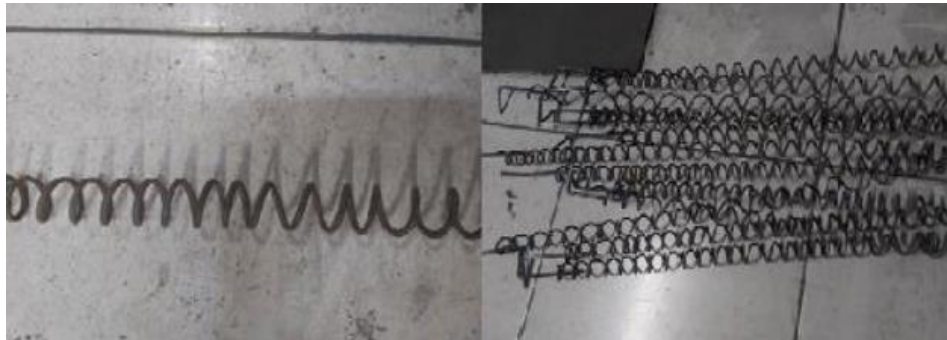
Bakır ve ısı borusu tabakalarından yapılan türbülatoörlere sayesinde ısı transferinin artırılması hedeflenmiştir. Deneylerde 16 farklı hava akış hızında sistemin giriş-çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve grafiklerle görselleştirilmiştir. Bu farklı hava hızlarında ölçülen

sonuçlara göre, paralel akışlı türbülatorlü ısı borusunun sıcaklık farkının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Türbülator kullanımı sıcaklık farkını etkilemiştir. Zıt akışlı türbülatorlü düz boru kullanıldığında hava hızı 3,1 m/s'den sonra sıcaklık farkında azalmalar görülmüştür. Türbülatorsüz boru için değerlere bakıldığında, hava hızının en üst değerinde 1,7 m/s olduğu durumda sıcaklık farkında artışlar gözlenmiştir. Türbülatorsüz boş boru ile karşılaştırıldığında, zıt akışlı türbülatorlü ısı borusu kullanıldığında 0,8 m/s hızında %129 oranında, paralel akışlı türbülatorlü ısı borusu kullanıldığında aynı hızda %62 oranında sıcaklık farkı artışı olduğu hesaplanmıştır. Hava hızı 4,0 m/s olduğunda, zıt akışlı türbülatorlü ısı borusunda sıcaklık farkındaki verim %170 oranında artmıştır. Deney sonuçlarına göre, bakırdan imal edilen türbülatorlerin ısı verimleri, Reynolds sayısı, basınç ve ısı transfer değerleri çizilmiştir.

Berna Akmeşe (2023), Enerji talebinin sürekli artması ve enerji kaynaklarının azalması, enerji verimliliğine yönelik araştırmaların önemini artırmaktadır. Isı transferinde enerji kayıplarını en aza indirme çabaları, türbülator kullanımı gibi yöntemlerle desteklenmektedir. Bu çalışmada, doğalgaz yakıtlı kazanlarda kullanılmak üzere Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'te görüldüğü üzere 5 farklı türbülator tasarlanmış ve test edilmiştir.



Şekil 2.16. Farklı kanatçık açılarındaki türbülator örnekleri (Akmeşe, 2023)



Şekil 2.17. Farklı türbülator örnekleri (Akmeşe, 2023)

2 farklı Reynolds sayısı üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve Solidworks Flow Simulation analizi, türbülator tasarımı ve Reynolds sayısının ısı performans üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, kanatçık açısı 25° olan türbülatorün, özellikle yüksek Reynolds sayısında (31700) daha fazla ısı transferi sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, enerji verimliliği açısından türbülator tasarımının ve Reynolds sayısının önemini vurgulamaktadır, enerji tasarrufu sağlayan bu tür tekniklerin enerji sektöründe daha fazla kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Mehmet Eşref Demir (2023), Bu çalışmada, ısı değıştircilerinde kullanılan türbülatorlerin önemi ve etkisi üzerine bir değerdendirme yapılmıştır. Türbülatorler, akışkanlara türbülans kazandırarak yüzey temasını artırarak ısı transferini artırmak için kullanılır. Özellikle yüksek verimlilik gerektiren alanlarda tercih edilirler. Akışkanlar arasında etkili bir ısı transferi sağlamak için maksimum temas yüzeyine sahip olunması gerekmektedir. Bu nedenle, bu tür sistemlerin kullanımı, enerji verimliliğini artırırken maliyetleri de azaltabilir. Bu çalışmada, ısı transferinin artırılması amacıyla eş merkezli dış ve iç borudan oluşan bir ısı değıştircisi kullanılmıştır. Şekil aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Kanatçıklı türbülator (Demir, 2023)

İç boru içine farklı türbülatorler yerleştirilerek, ısı transferi performansı incelenmiştir. Deneylerde, dış boruya 98°C sıcaklığında buhar, iç boruya ise oda sıcaklığında belirli hızlarda hava akışı uygulanmıştır. Deneylerde türbülatorsüz durum ile karşılaştırıldığında, Şekil 2.18'de görüldüğü gibi Tip-A (çubuk) ve Tip-B (kanat) silindirik türbülatorlerin kullanımıyla maksimum sıcaklık farklarında önemli artışlar elde edilmiştir. Türbülator Tip-B'nin, diğerine göre daha yüksek sıcaklık farklarına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, türbülator kullanımının ortalama sıcaklıkları artırdığı ve Nusselt sayısını ve hm ısı taşınım katsayısını artırdığı görülmüştür. Sonuç olarak, Tip-B türbülatorünün Tip-A'ya göre daha iyi ısı transfer performansı gösterdiği ve türbülator

kullanımının genel olarak ısı transferini artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, ısı değiştiricilerin verimliliğini artırmak için türbülator kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Amir Göloğlu (2023), Bu çalışmada, ısı transfer verimini artırmak için bakır borular içine farklı malzemelerden yapılmış levha ve spiral sac yerleştirilmiştir. Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Levha tipi türbülator (Göloğlu, 2023)

Buhar ve hava akışkanları kullanılarak yapılan deneylerde, ısıtılan su boru aracılığıyla buhar olarak türbülatora gönderilmiştir. Deney sisteminde hava akış hızını değiştirmek için bir fan kullanılmıştır. Türbülatorlü ve türbülatorsüz borular için deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre, galvaniz levha ve spiral levha kullanıldığında en yüksek verimler sırasıyla %23 ve %27 olarak belirlenmiştir. Paslanmaz çelik levha ve spiral levha kullanıldığında ise en yüksek verimler sırasıyla %22 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, farklı türbülator materyallerinin ve tasarımlarının ısı transfer verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmekte ve enerji verimliliğini artırmak için potansiyel yöntemleri araştırmaktadır.

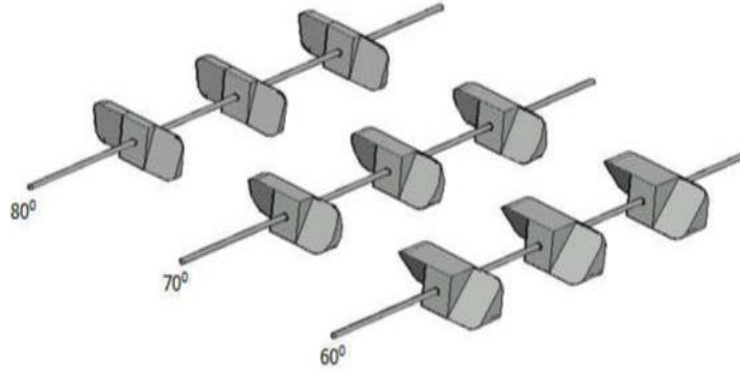
Mehmet Demiray (2022), Bu tez çalışmasında, düz bir bakır boru içinde ısı transferini artırmak amacıyla farklı malzemelerden yapılmış türbülatorlerin etkisi incelenmiştir. Bu türbülatorler, bakır, alüminyum ve çelik sac tabakalardan imal edilmiştir ve Şekil 2.20' de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Farklı malzemelerden üretilmiş türbülator kanatçıkları (Demiray, 2022)

Sistemde buhar ve hava akışkanları kullanılmış ve su, depoda ısıtılarak borular aracılığıyla buhar olarak türbülatorre iletilmiştir. Hava akış hızını artırmak için bir fan kullanılmıştır. Deney sonuçları, türbülatorlü ve türbülatorsüz durumlar arasında karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Başlangıçtan ortaya ve sondan ortaya kadar farklı aralıklarda yapılan deneylerde, türbülatorlerin ısı transferini artırdığı ve bu artışın farklı bölgelerde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle orta bölgelerde daha yüksek ısı transfer artışları tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak, bakır, alüminyum ve çelik sac tabakalarından yapılmış türbülatorlerin ısı verimleri, basınç kayıpları ve sürtünme faktörleri hesaplanmış ve grafiklerle görselleştirilmiştir. Örneğin, başlangıç bölgesinde bakır levha için %111, alüminyum levha için %112, çelik levha için %128,8 ısı transfer artışı elde edilmiştir. Ortalama sıcaklık farkları ve Nusselt sayıları da hesaplanarak analiz edilmiştir. Bu çalışma, farklı malzemelerden yapılmış türbülatorlerin ısı transfer verimine olan etkisini ayrıntılı bir şekilde incelemekte ve bu etkinin pratik uygulamalara nasıl yansiyabileceğini sayısal verilerle desteklenerek sunmaktadır.

İlker Fırat (2022), Bu tez çalışmasının amacı, dairesel şekilli bir boru içine yerleştirilen üç farklı açı ve sayıdaki kanatçıklı türbülatorlerin sabit ve hareketli durumlarının ısı transferi ve sürtünme faktörü açısından incelenmesidir. Şekil 2.21’de aşağıda gösterilmiştir.

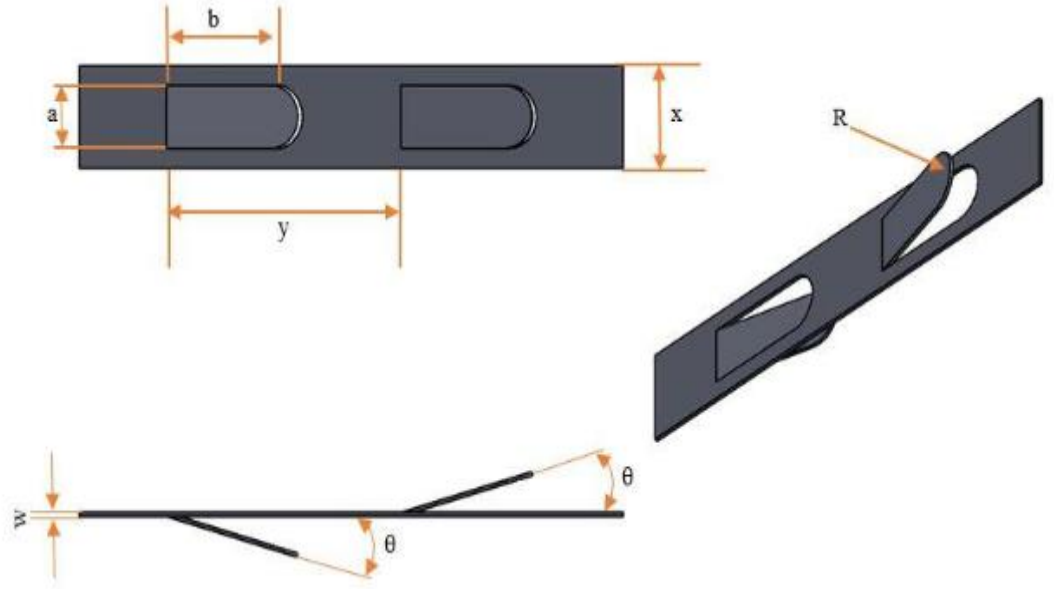


Şekil 2.21. Farklı kanatçık açılarına sahip türbülatorler (Fırat, 2022)

Bu türbülatorlerin en iyi termal performansa sahip olanının deneysel ve sayısal analizi, Ansys-Fluent 19.0 programı kullanılarak belirlenmiştir. Yöntem olarak, sürtünme faktörüne rağmen destekli boş boruya göre, ısı transferinin artırılması, türbülanslı akış koşullarında sabit veya hareketli türbülatorler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde su kullanılmış ve farklı Reynolds sayılarında gerçekleştirilmiştir. Deney borusu paslanmaz çelikten imal edilmiş ve çevreye olan ısı kayıplarını minimize etmek için yalıtılmıştır. Veriler, giriş ve çıkış akışkan sıcaklıkları, yüzey sıcaklıkları ve basınç düşüşü gibi parametrelerin ölçümüyle elde edilmiştir. Ayrıca Ansys-Fluent 19.0 programı kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Bulgulara göre, tüm türbülator modellerinin Nusselt (Nu) sayılarının destekli boş boruda elde edilen Nu sayılarından daha yüksek olduğu ve sürtünme faktörlerinin de daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kanatçık açısı ve türbülator sayısının artmasıyla Nu sayısı ve sürtünme faktörünün arttığı gözlemlenmiştir. Sabit türbülatorler, hareketli türbülatorlere göre daha fazla ısı transferi ve sürtünme meydana getirmiştir. Sonuç olarak, en uygun türbülator modelinin 80° kanatçık açılı 3 adet sabit türbülator olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, dairesel borularda türbülatorlerin termal performansını değerlendirerek, ısı transferini artırmak için pratik yöntemler sunmaktadır.

Taha Tuna Göksu (2022), Bu çalışma, Şekil 2.22’de görüldüğü üzere farklı türdeki türbülans oluşturuç elemanların boru içindeki ısı transferi ve basınç düşümü üzerindeki etkisini incelemektedir. İnceleme, sayısal ve deneysel olmak üzere üç aşamalı bir süreçte gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, farklı adımlardaki eşkenar üçgen kesitli helisel tellerin boru içine yerleştirilmesi incelenmiştir. Bu incelemede, helisel tellerin parametreleri (p/D

oranı, kesit uzunluğu ve boru cidarı arasındaki mesafe) çeşitlendirilmiş ve DNA geometrisinden ilham alınarak tasarlanmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar, literatürdeki deneysel verilerle doğrulanmıştır. Performans değerlendirme kriteri (PEC) hesaplanarak, en yüksek PEC değeri düşük Reynolds sayılarında ve belirli parametrelerde elde edilmiştir. İkinci aşamada, kare kesitteki helisel tellerin ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Farklı duvar-tel arası mesafeleri ve kenar uzunlukları çeşitlendirilerek analiz edilmiştir. Hem üçgen kesitli hem de kare kesitli helisel teller için en yüksek PEC değeri belirli parametrelerde elde edilmiştir. Üçüncü aşamada, eğimli kanat tipindeki türbülatorlerin deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. 12 farklı modifikasyon içeren türbülatorler üretilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Türbülatorler arasındaki farklılıklar kanat açısı, kanat yönü ve kanatların konumlandırılmasıyla Tablo2.5'te görüldüğü üzere belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, en yüksek PEC değerinin belirli bir türbülator konfigürasyonunda elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, kontrol devresi kullanılarak sonuçların daha doğru ve güvenilir olduğu sağlanmıştır. Gian Paolo Beretta ve arkadaşları, bu çalışmalarında ısı etkileşiminin tanımını ve bunun ısı etkileşimi üzerindeki etkilerini göstermişlerdir. Isı ve iş, termodinamikteki temel kavramlardır ve enerji ile entropi dengesinin anlaşılmasında önemli rol oynarlar. Sonuç olarak bu kavramlar, sistemlerin performansını iyileştirmek ve entropi üretimini azaltmak için pratik araçlar sağlar. Termodinamiğin yasaları, bu kavramların doğru anlaşılmasını ve uygulanmasını gerektirir, böylece enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi daha etkin ve verimli hale getirilebildiği ortaya çıkmıştır. Deneyde kullanılan türbülator şekilleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.22. Deneyde kullanılan türblatör tasarımı (Göksu, 2022)

Tablo 2.5. Kullanılan türbülator parametreleri (Göksu, 2022)

Parametreler	Değer
Boru boyu (mm)	3000
Türbülator test bölgesi(test bölmesi mm)	1500
Boru çapı, D (")	2
Oval çap, R (mm)	15
Kanat açısı	15° ve 30°
İki kanat arası mesafe, y (mm)	130
Kanat genişliği, b (mm)	60
Lama kalınlığı, w (mm)	2
Lama eni, x (mm)	49
Kanat eni, a (mm)	30

Tuğçe Karataş ve arkadaşları (2021), Çalışmada, gövde içindeki boruların yüzey sıcaklığı sabit kabul edilerek, sadece gövde tarafı akış analizi gerçekleştirilmiş ve ısı taşınım katsayısı ile akış özellikleri incelenmiştir. Farklı akış hızları, türbülans modelleri, şaşırtma levha sayıları ve şaşırtma levha kesme oranları kullanılarak gövde tarafı basınç düşüşleri ve ısı taşınım katsayıları için ANSYS Fluent programında HAD analizleri yapılmıştır. Tek parçalı şaşırtma levhaları için elde edilen sayısal sonuçlar, Kern analitik yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal ve analitik verilerin karşılaştırılması sonucunda, şaşırtma levhası kesme oranının artmasıyla birlikte levhalar arası mesafenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, ısı taşınım katsayısının ve basınç düşüşlerinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, türbülans modellerinin karşılaştırılması

yapılmış ve k-ε türbülans modelinin diğer analizlerde daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Eda Feyza Akyürek ve arkadaşları (2020), Bu çalışmada, çift borulu ısı değiştirici, gövde borulu ısı değiştirici ve plakalı ısı değiştirici için kapsamlı bir termodinamik analiz gerçekleştirildi. Bu üç farklı ısı değiştirici tipinin performansları deneysel olarak test edilerek karşılaştırıldı. Deneyler sırasında, test bölgesindeki soğuk su debisi sabit tutulurken sıcak su debisi değiştirilerek çeşitli akış koşulları simüle edildi. Örneğin, sıcak su debisi farklı zamanlarda 0,8 L/dk, 1,6 L/dk ve 2,4 L/dk değerlerine ayarlandı. Ayrıca, sıcak su besleme sıcaklıkları 50°C, 60°C ve 70°C olarak belirlendi ve deneyler hem karşıt akışlı hem de paralel akışlı olarak yapıldı. Deney sonuçlarına göre, sıcaklık ve debinin artmasıyla ısı değiştiriciden alınan gücün arttığı gözlemlendi. Özellikle, gövde borulu ısı değiştiricinin birim alandan elde edilen ısı transferi miktarının en yüksek olduğu ve en iyi performansı gösterdiği belirlendi. Diğer yandan, çift borulu ısı değiştiricinin performansının en düşük olduğu tespit edildi.

Ender Özden (2007), Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile gövde-boru tipi ısı değiştiricilerinin ayrıntılı tasarımı araştırılmıştır ve kabuk tarafındaki akış fenomenine odaklanmıştır. Başlangıçta, sadece kabuk tarafının modellenmesiyle başlayarak, ısı transferi ve akış özellikleri üzerine bir dizi CFD simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar, çeşitli türbülans modellerinin denenmesi ve farklı ağ yoğunluklarını kullanarak ikinci dereceden ayrıklaştırma şemalarıyla gerçekleştirilmiştir. CFD analizleri sonucunda, kabuk tarafındaki basınç düşüşü ve ısı transfer katsayısına dair tahminler elde edilmiş ve bu sonuçlar korelasyona dayalı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. En uygun modelleme yaklaşımının belirlenmesinin ardından, sonuçların akış hızı, saptırma plakası aralığı ve bölme kesim yüksekliği gibi faktörlere duyarlılığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevcut deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Genel olarak, CFD simülasyonlarından elde edilen akış ve sıcaklık profilleri, ısı eşanjörü tasarımının geliştirilmesinde önemli bilgiler sunabilir. Korelasyona dayalı yaklaşımlar, tasarım zayıflıklarını belirlemede etkili olabilirken, CFD simülasyonları aynı zamanda bu zayıflıkların kökenini ve konumunu da tespit edebilir.

Edanur Karaca ve arkadaşları (2022), bu çalışmalarında, eş merkezli iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde zıt ve paralel yönlü akışlar incelenmiştir. Bu akışların içerisinde, sıcak akışkanın kütleli debisi sabit tutulmuş, ancak soğuk akışkanın kütleli debisinin artışının ısı transferine olan etkisi ve iç borunun iç yüzeyine yerleştirilen dairesel engellerin ısı transferine olan etkileri araştırılmıştır. Reynolds sayısı 808 ile 1935 arasında

değişmektedir. Sayısal çalışmalarda, enerji denklemleri Simple algoritması kullanılarak çözülmüş ve ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. İç içe borulu ısı değiştiricisinde zıt ve paralel yönlü akışlar için analiz edilen sınır şartlarına bağlı olarak, etkinlik değerinin yaklaşık olarak 0,41 ila 0,48 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İç boruda dairesel engellerin kullanılmasıyla ise ısı transferinin %44,17 oranında iyileştirilebileceği belirlenmiştir.

S.Vignesh ve arkadaşları (2017), bu çalışmalarında, suyun işletme akışkanı olarak kullanıldığı iç içe geçmiş borulu bir ısı değiştiricisinin deneysel ve CFD analizi sunulmaktadır. Isı transfer teknikleri, sistem genel performansını olumsuz etkilemeden ısı transfer hızını artırmak için kullanılan çeşitli yöntemler olarak bilinmektedir. Geçtiğimiz on yıl boyunca, pasif ısı transfer tekniklerine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarında, iç içe geçmiş borulu ısı değiştiricisinin iç borusunun düz boru yerine küresel şekilli çukurlu boru ile değiştirilmesini incelemektedir. Çukurlu borun ısı transfer hızı, ısı transfer katsayısı ve etkinlik üzerindeki etkileri, farklı akış hızları için düz boru ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ve CFD sonuçları, suyun küresel şekilli çukurlu boruda kullanılmasının, düz boruya kıyasla ısı transfer hızını, genel ısı transfer katsayısını ve etkinliği artırdığını göstermektedir.

Corcoles-Tendero ve arkadaşları (2018), çalışmalarında, helisel bobinli bir boruda akışkanlar için yapılan sayısal simülasyonların sonuçlarını sunuyor. Pratik katkı olarak, sayısal simülasyonlar deneysel olarak ölçülen akışkanların reolojik özelliklerini kullanıyor. Her iki non-Newtonian akışkan için de, helisel kısımda ısı transfer hızı düz kısma göre daha yüksek çıkmıştır. Örneğin, meyve suyu için, bobindeki ısı transfer katsayısı düz kısma göre %73 ve %126 daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, ısı transferinde helisel bobinlerin etkinliğini ve akışkanların davranışını anlamamıza katkıda bulunur.

Ph. d. Gökhan Gürlek ve arkadaşları (2013), Bu makalelerinde, önceki çalışmalarda incelenen farklı modifiye edilmiş kıvrık bantlar, ısı transfer artışı açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Aynı kıvrık oranları ve aynı Reynolds sayısı değerleri gibi aynı koşullar altında, ısı transferi, sürtünme faktörü ve termal-hidrolik performans faktörü karakteristikleri ayrı ayrı incelenmiştir. En iyi ısı transferi ve sürtünme faktörü sonuçlarını veren kıvrık bant belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından bulunan türetilmiş ampirik korelasyonlar, kıvrık bantlar arasında karşılaştırma yapmak için kullanılmıştır.

Gökhan Göktürkler (2002), bu çalışmalarında, yerbilimleri disiplini içerisindeki uygulamaların temelini oluşturan iki boyutlu kararlı-hal kondüktif ısı transferi

problemlerini ele almışlardır. Problemler, sonlu farklar yöntemi ve relaksasyon (succesive overrelaxation) tekniği ile çözülmüştür. Modellemelerde, ısı üreten kaynakların yer içerisinde üstel olarak azaldığı varsayımı yapılmıştır. Örnekler, varsayımsal bir kabuk modelindeki ısı transferi ile graben türü bir yapıdaki ısı transferi problemlerini içermektedir. Bu çalışma, sayısal modellemenin yerbilimlerindeki problemlerin çözümünde ve yer altındaki fiziksel olayların gelişimini anlama sürecinde önemli bir araç olarak ortaya çıktığını vurgulamaktadır.

Seda Dilki (2020), bu çalışmalarında, farklı hacimsel debilere sahip sıcak ve soğuk akışkanların kullanıldığı çeşitli ısı eşanjörü konfigürasyonları incelenmiştir. Bu konfigürasyonlar arasında eş merkezli, iç içe borulu, paralel ve zıt akışlı eşanjörler yer almaktadır. Yapılan sayısal analizler sonucunda, zıt akışlı bir eşanjörde belirgin bir şekilde yüksek basınç düşümü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, nanoakışkanların içerdiği katı cisim konsantrasyonunun artmasıyla Nusselt sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ısı transferi sistemlerinin performansını değerlendirmek için önemli bir referans sağlamaktadır. Özellikle, zıt akışlı bir eşanjörün, paralel akışa göre daha iyi performans gösterdiği sonucu, tasarım ve optimizasyon süreçlerinde dikkate alınabilir bir öneri sunmaktadır. Bu çalışma, ısı transferi alanındaki araştırmalara yeni bir bakış açısı getirmekte ve gelecekteki çalışmalara yol gösterici olabilecek önemli bulguları ortaya koymaktadır.

Murat Durmaz (2007), bu çalışmasında, aynı geometrik yapıya sahip iki kanatlı yüzeyli ısı değiştiriciden oluşan Atık Isı Geri Kazanımı Sistemi'nin bilgisayar destekli ısı hesaplarını incelemiştir. İlk olarak, ısı değiştiricilerin tanımları, sınıflandırılmaları ve çalışma prensipleri belirtiliyor. İncelenen sistem, farklı hava giriş sıcaklıklarındaki iki kanatlı yüzeyli ısı değiştiricisinin bir pompa yardımıyla sirküle edilen akışkanla birleştirilmesinden oluşmuştur. Isı transferi, sirküle edilen sıcak akışkanın soğuması ile gerçekleşmiştir. Bu sayede, aynı geometrik yapıya sahip iki ısı değiştirici, biri ısıtma için kullanılırken diğeri soğutma için kullanılabilir. Isı değiştiricilerin analizi sırasında genellikle türleri, boyutları, akışkan debileri ve giriş sıcaklıkları dikkate alınıp çıkış sıcaklıkları ile ısı transferi hesaplanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen program, ısı hesapları gerçekleştirerek, deneme yanılma yapmadan hızlı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Mehmet Kan (2021), bu araştırmasında, spiral bir ısı eşanjöründe farklı Al_2O_3 su nanoakışkan karışımlarının ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nanoakışkanların içerdiği nanopartikül miktarı ve sıcaklık değişimine bağlı olarak termal davranışları

gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %3 hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkan karışımının en etkili olduğu görülmüştür. Bu karışım, suya kıyasla %47 daha iyi bir ısı transferi sağlamıştır ve toplam ısı transfer katsayısını %24 artırmıştır.

Ahmet Ümit Tepe (2021), çalışmasında kanatlı-borulu ısı değiştiricisinde çukurlu/çıkıntılı kanatların ısı transfer performansı ve akış karakteristiklerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Farklı tasarım parametrelerini belirlemek için kanat üzerine farklı ovallik oranlarına sahip çukurlar yerleştirilmiştir. Yapılan analizler, çukurların/çıkıntılıların düz yüzeye göre ısı transferini %26,63'e kadar artırdığını göstermiştir. Ayrıca, ısı transferinde en etkili tasarımın dairesel çukurlu/çıkıntılı kanatlar olduğu belirlenmiştir.

Vahit Çorumlu ve arkadaşları (2023), bu çalışmalarında plaka kanatlı ısı dağıtıcı ile düz ısı dağıtıcı arasında zorlanmış konveksiyon altında termal ve hidrolik performanslar deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Deneyler, farklı ısıtma güçleri ve hava akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, plaka kanatlı ısı dağıtıcının daha iyi termal ve hidrolik performans sergilediğini göstermektedir. Bu çalışma, gelecekte plaka kanatlı ısı dağıtıcı modelinin optimize edilmesi için kanat kalınlığı ve yüksekliğinin yanı sıra yüzey alanını artıracak ancak kütleyi azaltacak modifikasyonların incelenebileceği bir perspektif sunmaktadır.

Hacire Deviren (2019), bu çalışmasında, yeni tasarlanan türbülatorlerin kullanım alanlarındaki sayısı ve düzenlemesinin verimliliğe etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, sabit yüzey sıcaklığına sahip bir ısı değiştiriciye farklı sayı ve düzenlemelerde yeni tasarlanan türbülatorler yerleştirilmiştir. Isı değiştiricisinin farklı noktalarından giriş-çıkış sıcaklıkları, basınç, debi ve hız ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak, türbülator sayısının artmasıyla ısı verim, basınç kaybı ve sürtünme faktöründe artışlar olduğu belirlenmiştir.

Oktay Sarı (2019), Bu çalışmasında, farklı boyutlardaki türbülatorlerin boru içindeki ısı transferi ve akış dinamikleri üzerindeki etkilerinin sayısal olarak analiz edildiğidir. Hava akışkan olarak kullanılmış ve türbülatorlerin oluşturduğu vorteksler ile ısı transferinin artırılması hedeflenmiştir. Türbülatorlerin geometrisi, akış yönünde periyodik olarak tekrarlanan ve 1 mm kalınlığında sac metalden yapılmış asimetrik bir tasarıma sahiptir. ANSYS Fluent 19.2 kullanılarak RANS ve enerji denklemleri çözülmüş, Realizable k-ε ve Menter-Lechner modelleri türbülanslı akışı modellemek için kullanılmıştır. Isıtılan yüzeye uygulanan sabit ısı akışı 1000 W/m²'dir. Türbülatorlerin farklı hatve oranları (HR) ve periyot uzunlukları (PR) ile akış ve ısı transferi üzerindeki

etkileri, 5000-28000 Reynolds sayısı (Re) aralığında incelenmiştir. Sonuçlar, Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün arttığını, ancak ısıl iyileşme faktörünün (TEF) azaldığını göstermiştir. En yüksek TEF değeri 1,16, $Re = 5000$, $HR = 0,63$ ve $PR = 1,4$ 'te elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, türbülator tasarımının ısı transferini iyileştirmede önemli bir rol oynayabileceğini ve enerji sistemlerinin verimliliğini artırabileceğini göstermektedir.

Berna Çeri ve arkadaşları (2022), çalışmasında, bir kazanda yapılan deneylerde, farklı açılara sahip kanatçıkların ısı transferi ve baca gazı sıcaklığına etkisi araştırılmış. Üç farklı açıda (15° , 20° , 25°) kanatçıklar test edilmiş. En iyi sonuç, %97,6 verimle 25° açılı kanatçıkla elde edilmiş. Bu sonuçlar, kazanın daha verimli çalışmasını sağlamak için kanatçık tasarımının önemini gösteriyor. Solidworks programıyla yapılan bilgisayar analizleri de deney sonuçlarını doğrulamış. Bu çalışma, kazan tasarımında küçük değişikliklerin bile büyük farklar yaratabileceğini ortaya koymaktadır.

Mehmet Gürdal ve arkadaşları (2021), Bu çalışmalarında, ısı transferini artırmak için kullanılan nanofluidler, türbülatorlar ve manyetik alanların etkilerini incelemiştir. Araştırma, bu yöntemlerin ısı transferini nasıl iyileştirdiğini ve olası dezavantajlarını irdelemiştir. Sonuçta, özellikle belirli nanofluidler ve güçlü manyetik alanlar kullanıldığında, ısı transferinde büyük artışlar olduğunu gösteriyor. Özellikle, yüksek konsantrasyonlu nanoparçacıklar ve güçlü manyetik alanlar kullanıldığında, ısı transferinde büyük iyileşmeler olduğu bulunmuştur.

Ibtisam A. Hasan ve arkadaşları (2022), çalışmalarında, düzgün bir ısı akışı altında bir tüpte ısı transferine yeni tip vorteks jeneratörü eklerinin etkisini test etmek için yapılan bilimsel bir deneydir. Deneyde, 45 mm iç çapında ve 1350 mm uzunluğunda bir bakır tüp kullanılmış ve bu tüpe, disk merkezi etrafında eşit açısal dağılımla on hilal deliği olan katı bir disk enjektör (girdap jeneratörü) yerleştirilmiştir. Akışın 45° sapmasıyla aksiyel akış yönünde dönen bir girdap akışı oluşturulmuş. Her bir hilal delik için akış yönlendiriciler, aksiyel yöne doğru 45° açılarla konumlandırılmıştır. Reynolds sayıları 6000 ile 13500 arasında değiştiği için, akışkan akışı türbülanslı bir sistem olarak kabul edilmiştir. Hava, güç akışkanı olarak kullanılmış ve Prandtl sayısı yaklaşık 0,71 olarak sabitlenmiştir. Isı değiştiricinin termo-hidrolik performansı analiz edilmiş, ortalama ısı transferi Nusselt sayısı hesaplanmış ve tartışılmıştır. Deney sonuçları, Reynolds sayısı ve girdap jeneratörü sayısı arttıkça Nusselt sayısının da arttığını göstermiştir. Dört vorteks jeneratörü kullanıldığında, ısı transferindeki maksimum artış, düz tüpe göre yaklaşık 4.3 kat daha fazla olmuş ve sürtünme faktörü, 5 vorteks jeneratörü ekleri ile yaklaşık 1,28

olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, yerel petrol endüstrilerinde ısı değiştirici geliştirmenin umut verici olduğunu göstermektedir.

Ş.Ulaş Atmaca (2003), bu çalışmada, ısıtılan bir borunun cidarları direnç olarak kullanılmış ve sabit yüzey ısı akışı sınır şartında türbülanslı hava akışında, girişe yerleştirilen çeşitli açılardaki dirseklerin ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları, Nusselt sayısının ve onun eksenel ve çevresel dağılımının, dirsek açısına ve Reynolds sayısına bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, düz girişli boru değerlerine kıyasla bu değerlerin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, boru tasarımında dirsek açılarının optimizasyonunun, ısı transfer verimliliğini artırabileceğini göstermektedir.

Prachya Samruaisin ve arkadaşları (2019), çalışmanın amacı, V-Yakalı Delta-Kanat Turbülatorlerin ısı transferi üzerindeki etkisini anlamaktır. Sonuç olarak, bu turbülatorlerin kullanımı, ısı transferini önemli ölçüde arttırmaktadır. Özellikle, kanat sayısı ve pitch oranı düşük olduğunda ısı transferi daha da yüksek olmaktadır. Bu bulgular, ısı değiştirici sistemlerin verimliliğini artırabileceğini göstermektedir.

Emre Turgut (2019), Bu çalışmada, ısı değiştiricilerdeki turbülatorlerin ve nanosıvıların kullanımının etkinliğini ölçmektedir. Yatay konumlu ve eş merkezli bir ısı değiştiricisinin iç borusuna yerleştirilen dairesel kesitli turbülatorlerin ekserji kaybı ve etkinlik üzerine olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak, bu yöntemlerin ısı transferini artırdığı ve enerji verimliliğini iyileştirdiği bulunmuştur.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Isı

Isı, biyolojik sistemler için hayati önem taşır. Vücudumuzun sıcaklığını düzenler, metabolizmayı etkiler ve canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi için gereklidir. Isı, teknolojik gelişmelerde de kritik bir rol oynar. Isı enerjisi, elektrik üretiminden arabaların çalışmasına kadar birçok alanda kullanılır. Isı, evrende var olan temel bir enerji türüdür ve hayatımızın birçok yönünü etkiler. Günlük yaşamımızda sıcak bir çay içerken, güneşin ışınlarına maruz kaldığımızda veya bir sobanın yanında ısındığımızda, aslında ısı enerjisiyle etkileşimde bulunuyoruz.

Isı, bir nesne veya sistemler arasında sıcaklık farkından kaynaklanan bir enerji türüdür. Bu, atomlar veya moleküller gibi parçacıkların rastgele hareketi sonucunda oluşur. Isı, üç temel mekanizma aracılığıyla aktarılabilir: iletkenlik, konveksiyon ve radyasyon.

İletkenlik: Isının parçacıklar arasındaki doğrudan temas yoluyla aktarılmasıdır. Daha yüksek enerjiye sahip parçacıkların daha düşük enerjiye sahip parçacıklarla çarpışması sonucunda, ısı daha sıcak olan nesneden daha soğuk olana aktarılır.

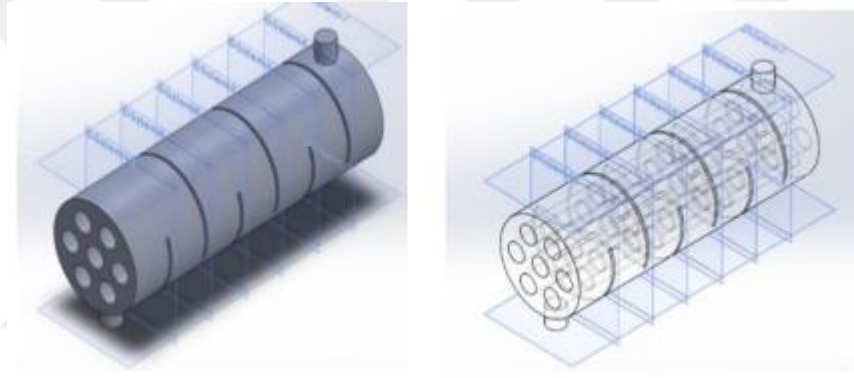
Konveksiyon: Isının bir akışkanın (örneğin hava veya su) hareketiyle aktarılmasıdır. Sıcak parçacıklar yükselirken soğuk parçacıklar batış yapar, böylece akışkan içinde ısı dolaşımı oluşur.

Radyasyon: Isının elektromanyetik dalgalar aracılığıyla aktarılmasıdır. İletkenlik ve konveksiyonun aksine, radyasyon ısıyı aktarmak için bir ortam gerektirmez. Bunun yerine boş uzayda bile gerçekleşebilir (Yakut, 2022).

Isı, termodinamikte enerji ve entropi değişiminin bir sonucu olarak ortaya çıkan bir olgudur. Isı, bir sistemin iç enerjisini değiştiren işlemde farklıdır ve termodinamiğin temel yasalarına tabidir. Isı, bir sistem ve çevresi arasında sıcaklık farkı olduğunda gerçekleşir ve sistemlerin son durumlarına bağlı olarak enerji ve entropi aktarır. Isı, enerji ve entropi arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerle anlaşılabilir. Isı, çok farklı sıcaklıklara sahip olan sistemler arasında bile akabilir. Isı, bir sistemin denge durumlarının özelliklerini belirleyen bir faktördür (Beretta, 2015).

3.2. Isı Değiştiriciler

Isı değiştiriciler, sıkı tasarımları, yüksek ısı transfer verimlilikleri ve bakım kolaylıklarıyla dikkat çekerler. Örnek olarak Şekil 3,1'de gösterilmiştir. HVAC sistemlerinde, soğutma sistemlerinde ve gıda işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu değiştiriciler, yüksek ısı transfer oranları, düşük basınç düşüşleri ve kolay temizlenebilme avantajları sunarlar. Alanın sınırlı olduğu ve yüksek ısı transfer verimliliğinin gerektiği uygulamalar için idealdirler. Araştırmacılar, plakalı ısı değiştiricilerin farklı akışkanlar ve konfigürasyonlarla performansını inceleyerek verimliliğini artırmayı ve entropi oluşumunu azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu özelliklerinden dolayı ısı değiştiriciler, sıkı tasarımları ve yüksek ısı transfer verimlilikleri nedeniyle çeşitli endüstrilerde geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Huawish, 2023).



Şekil 3.1. Isı değiştirici örneği (Karataş, 2021)

Isı değiştiriciler, bir akışkanın sıcaklığını diğer bir akışkana aktaran önemli cihazlardır. Bu cihazlar, genellikle endüstriyel uygulamalarda, ısıtma-soğutma sistemlerinde, güç ünitelerinde ve kimyasal tesislerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Isı değiştiriciler, enerji verimliliğini artırmak, prosesleri optimize etmek ve enerji maliyetlerini azaltmak için kritik bir role sahiptirler. Isı değiştiricilerin tasarımı, bir dizi faktörü dikkate alarak yapılır. Bu faktörler arasında akışkanların özellikleri (viskozite, yoğunluk vb.), sıcaklık farkları, basınç düşüşleri ve akış hızları gibi önemli parametreler bulunur. Verimli bir ısı değiştirici tasarımı, sistemindeki enerji kayıplarını minimize eder ve proses verimliliğini artırır. Özellikle endüstriyel tesislerde, ısı değiştiricilerin doğru şekilde tasarlanması ve işletilmesi, tesisin genel verimliliği ve karlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, mühendisler ve araştırmacılar, sürekli olarak yeni teknolojiler geliştirerek, daha verimli ve ekonomik ısı değiştirici sistemleri oluşturmak

için çalışmaktadırlar. Bu çabalar, enerji tüketimini azaltma ve çevresel etkileri minimize etme konusundaki küresel çabalarla uyumlu bir şekilde ilerlemektedir (Ünlü, 2022).

Isı değiştiriciler, ısıyı bir akışkandan diğerine aktaran cihazlardır. Isı değiştiricilerin tasarımı, enerji verimliliği, performans ve güvenlik açısından çok önemlidir. Isı değiştiricilerin tasarım sürecinde, akış olgularının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Akış olguları, akışkanın hızı, basıncı, sıcaklığı, yoğunluğu, viskozitesi, türbülansı ve ısı transferi gibi özelliklerini ifade eder. Bu özellikler, ısı değiştiricinin tasarım parametrelerini, boyutlarını, malzemesini, şeklini ve yerleşimini etkiler. Bu nedenle, akış olgularının doğru bir şekilde belirlenmesi ve optimize edilmesi, ısı değiştiricinin etkinliğini ve güvenilirliğini artırmak için gereklidir. Akış olgularının detaylı bir şekilde incelenmesi için, genellikle iki temel yöntem kullanılır: deneysel testler ve hesaplamalı teknikler. Deneysel testler, gerçek ısı değiştirici modelleri üzerinde akışkanın özelliklerini ölçmek için kullanılır. Bu yöntem, akış olgularının gerçekçi bir şekilde gözlemlenmesini sağlar. Ancak, deneysel testlerin bazı dezavantajları vardır. Örneğin, deneysel testler genellikle pahalı, zaman alıcı ve karmaşıktır. Ayrıca, deneysel testlerde, akışın iç kısımlarında gerçekleşen olguları görselleştirmek ve ölçmek zor olabilir. Bu nedenle, deneysel testlerin yanı sıra, hesaplamalı teknikler de akış olgularının incelenmesinde kullanılır. Hesaplamalı teknikler, akış olgularının sayısal olarak modellenmesini ve simülasyonunu sağlar. Hesaplamalı tekniklerin en yaygın kullanılanı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) teknikleridir. CFD, akışkanın hareketini ve ısı transferini, akışkanın hareket denklemlerini çözerek belirler. CFD, farklı tasarım parametrelerinin akış olguları üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılabilir. Bu sayede, tasarım sürecinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilirken, aynı zamanda tasarımın optimize edilmesine olanak tanır. CFD, gövde-boru tipi ısı değiştiriciler gibi karmaşık geometrili ve akışlı ısı değiştiricilerde, akış olgularının detaylı bir şekilde incelenmesinde önemli bir rol oynar. Sonuç olarak, ısı değiştiricilerin tasarım sürecinde akış olgularının detaylı bir şekilde incelenmesi ve optimize edilmesi önemlidir. Bu süreçte, deneysel testler ve CFD gibi hesaplamalı teknikler, maliyet etkin araştırma araçları olarak kullanılabilir. Bu şekilde, daha verimli ve optimize edilmiş ısı değiştirici sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olabilir (Özden, 2007).

3.3. Isı Transferi İyileştirme Teknikleri

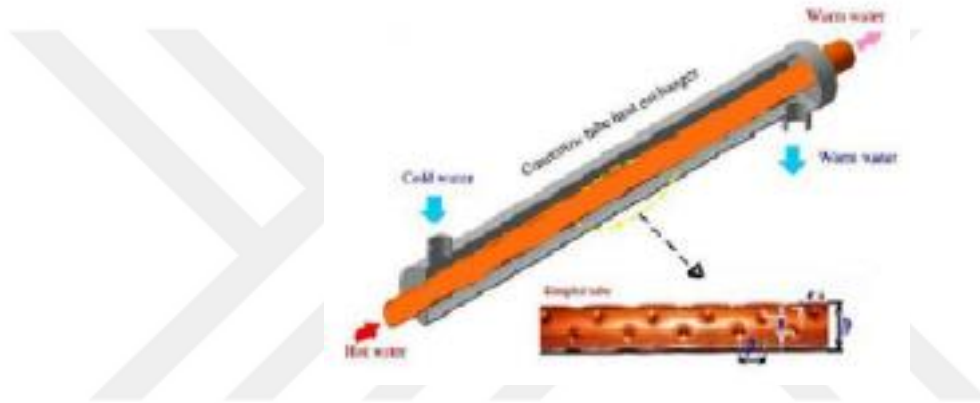
Isı değıştirciler, ısı enerjisini bir yerden başka bir yere taşımak veya değıştirmek için kullanılan cihazlardır. Birçok alanda, özellikle enerji üretimi, gıda işleme, ısıtma ve soğutma gibi alanlarda çok önemlidirler. Isı değıştircilerin çeşitli boyutları ve tipleri vardır, ama hepsinin ortak bir özelliğı, iki akışkan arasında ısı transferi sağlayan iletken bir yapı olmasıdır. Bu yapı genellikle plaka veya tüp şeklindedir. Çift borulu ısı değıştirici, iki eş merkezli borudan oluşan bir ısı değıştirici türüdür. Bu ısı değıştiricide, iç borudan sıcak bir akışkan, dış borudan soğuk bir akışkan akar. Böylece, sıcak akışkan soğur, soğuk akışkan ısınır. Çift borulu ısı değıştirciler, gıda endüstrisinde süt, meyve suyu, bira gibi ürünlerin pastörizasyonu için kullanılır. Ayrıca, petrol rafinerileri, buhar güç santralleri, ısıtma ve soğutma sistemleri gibi diğer sektörlerde de yaygındır. Isı değıştirciler, enerji verimliliğı açısından çok değerli cihazlardır. Çünkü ısı enerjisini kaybetmeden veya azaltmadan başka bir forma dönüştürürler. Bu sayede, enerji tasarrufu ve etkin kullanımı sağlarlar. Günümüzde, enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerji ihtiyacının artması nedeniyle, ısı değıştircilerin performansını artırmak için yeni teknolojiler ve tasarımlar geliştirilmektedir. Isı değıştircilerin ısı transferini iyileştirmek için, akışkanların hızını, sıcaklığını, basıncını, yoğunluğunu, viskozitesini, türbülansını, akış yönünü, ısı değıştirici geometrisini, malzemesini, yüzey alanını, temizliğini ve bakımını etkileyen faktörler dikkate alınmalıdır (Karaca, 2022).

S. Vignesh ve V. Shantha Moorthy (2017), yaptıkları çalışmada su, çalışma akışkanı olarak kullanıldığında, farklı kütle akış hızlarının düz ve küresel çukurlu borularla donatılmış eşmerkezli borulu ısı değıştircilerin performansına etkileri hem deneysel hem de CFD analizleri ile incelenmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de örnek olarak gösterilmiştir. Isı transferi teknikleri, sistem performansını olumsuz etkilemeden ısı transfer oranını maksimize etmeyi amaçlayan çeşitli metodolojileri kapsar. Son on yıl içinde, ısı transferinin pasif yöntemleri üzerine bir dizi çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmalar, ısı transferini artırmak için çukurlu borular gibi yenilikçi tasarımların kullanımını araştırmıştır. Mevcut çalışma, eşmerkezli borulu ısı değıştircilerde iç boru olarak kullanılan düz borunun yerine çukurlu boruların getirilmesini önermektedir. Farklı akış hızları altında, çukurlu borunun ısı transfer hızına, ısı transfer katsayısına ve verimliliğine olan etkileri, düz boru ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Hem deneysel hem de CFD sonuçları, küresel çukurlu boruların kullanımının, düz borulara

göre ısı transfer hızını, genel ısı transfer katsayısını ve dolayısıyla sistemin verimliliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (S. Vignesh, V. Shantha Moorthy, 2017).



Şekil 3.2. Çukurlu boru (S. Vignesh, V. Shantha Moorthy, 2017)

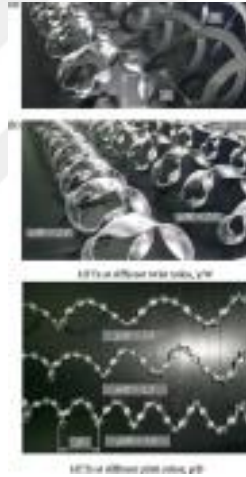


Şekil 3.3. Eşmerkezli borulu ısı eşanjörü (S. Vignesh, V. Shantha Moorthy, 2017)

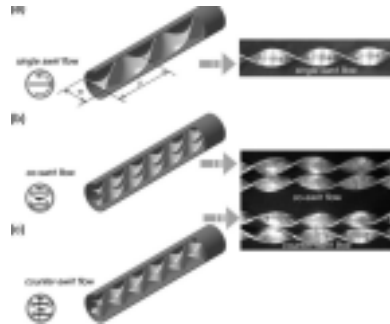
Çukurlu boruların eşmerkezli borulu ısı değiştiricilerde kullanımı, yüksek düzeyde ısı transferi sağlama potansiyeline sahiptir ve bu özellikleri sayesinde çeşitli endüstriyel uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu tür borular, iç yüzeylerindeki çukurlar aracılığıyla artan yüzey alanı ve türbülans seviyesi sayesinde, ısı transferini önemli ölçüde iyileştirebilir. Bu iyileştirme, ısı değiştiricilerin verimliliğini artırarak enerji tüketimini azaltabilir ve böylece maliyet etkinliğine katkıda bulunabilir ölçüde iyileştirebilir. Bu iyileştirme, ısı değiştiricilerin verimliliğini artırarak enerji tüketimini azaltabilir ve böylece maliyet etkinliğine katkıda bulunabilir. Isı transferini geliştirme teknikleri, ısı değiştiricilerin (HX'ler) tasarım ve işletiminde kritik bir rol oynar. Özellikle yüksek viskoziteli akışkanlar içeren mühendislik uygulamalarında, yağlar veya kimya ve gıda endüstrisindeki akışkanlar gibi, bu teknikler büyük ilgi görür. Bu tür akışkanlar genellikle düşük ısı transfer katsayıları ile ilişkilendirilen laminar akış rejimine sahip olma eğilimindedir. HX'lerin termal performansını artırmanın en temel yöntemlerinden biri, pürüzsüz ve düz bir tüpün geometrisini değiştirerek oluklu bir tüpe

dönüştürmektir. Yapılan çeşitli araştırmalar, bu tür çukur ve olukların akışta türbülansı teşvik ettiğini ve ısı transfer yüzeylerine yakın sınır katmanlarını karıştırarak ısı transfer katsayısını artırdığını göstermektedir. (Corcoles-Tendero, 2018).

Ph. d. Gökhan Gürlek, Profesör Doktor. Necdet Özbalt (2013), çalışmalarında ısı transferini arttırmak amacıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, girdap akışlı cihazlar ve özellikle çeşitli geometrilere sahip bükülmüş bantlar üzerine araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, ısı transferindeki artışı sağlamak için farklı modifiye edilmiş bükümlü bantların kullanımını incelemiştir. Mevcut çalışmalarında, önceki çalışmalarda ele alınan çeşitli bükümlü bantlar, ısı transferi artışı açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aynı büküm oranlarına ve Reynolds sayısı değerlerine sahip koşullar altında, ısı transferi, sürtünme faktörü ve termal-hidrolik performans faktörü gibi özellikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bükümlü bantların ısı transver verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4. Helisel olarak bükülmüş bantların geometrik detayları (Gürlek, 2013)



Şekil 3.5. Çeşitli açıda bükülmüş bantlar (Gürlek, 2013)

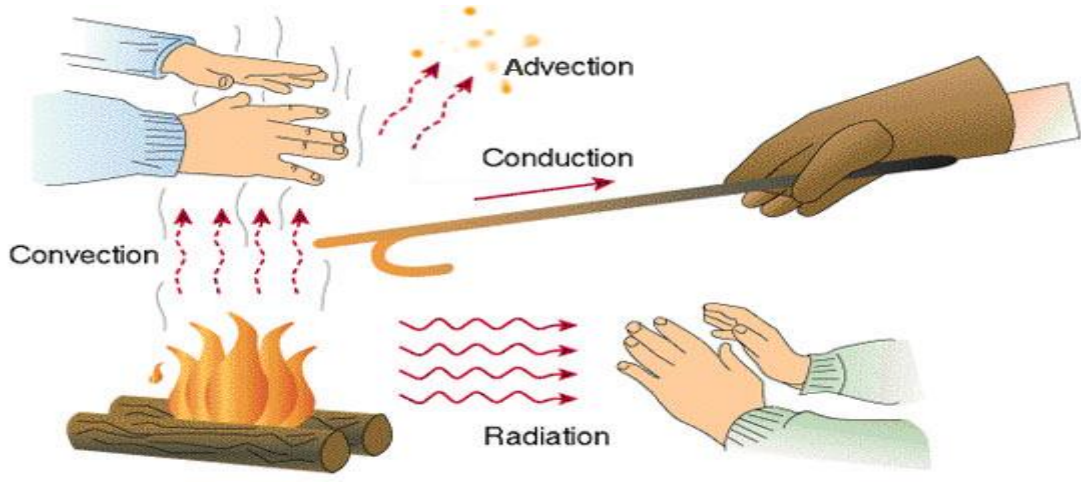
Enerji sistemlerinin kalbi, ısı transferinin verimliliğinde atar. Bu nedenle, türbülator kanatcık yapıları gibi yenilikçi çözümler, performans artışının anahtarı olarak kabul edilir. Bu minik, ancak etkili yapılar, akışkanın yolunu değiştirerek türbülans yaratır ve böylece ısı alışverişinin yüzey alanını genişletir. Sonuç olarak ısı transferi, dramatik bir şekilde iyileşir. Isı eşanjörlerinden soğutma sistemlerine, endüstriyel süreçlerden günlük kullanım ekipmanlarına kadar, türbülator kanatcıklarının rolü vazgeçilmezdir. Akışkanın hız profilini yeniden şekillendirerek sınır tabakasındaki ısı transferini canlandırır ve bu da enerji tüketimini düşürürken performansı zirveye taşır. Bu nedenle, türbülator kanatcıkları, daha verimli ve sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinde kilit bir rol oynar. Onların katkısıyla, enerji sistemleri daha sessiz, daha güçlü ve daha yeşil bir geleceğe doğru ilerler. İşte bu yüzden, türbülator kanatcıklarının ısı transferindeki etkinliği, sadece teknik bir detay değil, aynı zamanda bir devrim niteliğindedir. Sonuç olarak, türbülator kanatcık yapıları, sürdürülebilir ve verimli enerji sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir bileşen olarak kabul edilmekte ve bu alandaki araştırmalar, daha da etkili çözümler bulma yolunda devam etmektedir.

3.4. Isı İletim Şekilleri

Isı transferi, bir cisimden diğerine ısı enerjisinin doğal bir şekilde akışını ifade eden bir fiziksel olaydır. Isı transferi üç temel yolla gerçekleşir: iletim, konveksiyon ve radyasyon (Şekil 3.6). İletim, bir cismin içindeki moleküllerin birbirlerine çarparak ısıyı iletmeleriyle gerçekleşir. Konveksiyon ise ısısının sıvı veya gaz gibi bir akışkan aracılığıyla taşınmasıyla oluşur. Radyasyon ise elektromanyetik dalgalar aracılığıyla ısı enerjisinin yayılmasıdır. Bu üç yol, doğada ve endüstride ısı transferinin gerçekleşmesinde önemli rol oynar. Isı transferi konusu, fizik, mühendislik ve çevre bilimleri gibi birçok alanda önemli bir konudur. Özellikle ısı yalıtımı, enerji tasarrufu ve iklim değişikliği gibi konularla bağlantılıdır. Isı transferi üzerine yapılan araştırmalar, malzemelerin ısı iletkenliği, akışkanların ısı taşıma kapasitesi ve yüzeylerin radyasyon özellikleri gibi konuları kapsar (Demiray, 2022).

Isı transferi konusunda yapılan deneysel çalışmalar ve teorik analizler, endüstriyel süreçlerin verimliliğini artırmak, ısıtma ve soğutma sistemlerini optimize etmek ve yeni teknolojiler geliştirmek için önemli ipuçları sunar. Ayrıca, ısı transferi üzerine yapılan araştırmalar, uzay mühendisliği, tıp ve gıda endüstrisi gibi farklı alanlarda da uygulama alanı bulur. Isı transferi, enerjinin bir noktadan diğerine taşınması sürecidir ve fiziksel

olarak üç ana mekanizma ile gerçekleşir: Kondüksiyon, konveksiyon ve ışıınım (Çengel, 2011).



Şekil 3.6. Isı Transfer biçimleri (Vikipedi)

3.4.1. Kondüksiyon (İletkenlik)

Moleküller arası doğrudan enerji transferidir. Bu süreçte, yüksek sıcaklığa sahip moleküller, daha düşük enerjili komşu moleküllere kinetik enerji aktarır. Katılarda, bu genellikle serbest elektronların sürüklenmesi veya atomların kafes yapısının titreşimi yoluyla olur. Örneğin, bir metal çubuğun bir ucu ateşe tutulduğunda, ısı çubuk boyunca iletilir ve diğer uç da sıcak hale gelir (Yıldız, 2023).

3.4.2. Konveksiyon (Taşınım)

Sıvı veya gaz gibi akışkan bir ortamda, sıcaklık farklılıkları nedeniyle oluşan yoğunluk farklılıklarının yol açtığı kütsel hareket ile ısı transferidir. Sıcak suyun yükselip soğuk suyun alçalması gibi, akışkan içindeki ısı enerjisi bu hareketle taşınır. Bu tür transfer, hem iletimin hem de sıvı hareketinin etkilerini içerir. Sıvı ne kadar hızlı hareket ederse, konvektif ısı transferi o kadar büyük olur. Ancak sıvının toplu hareketi ortadan kalktığında, katı yüzeyler ve bitişik sıvılar arasındaki ısı transferi saf ilettime dönüşür. Bu, ısı enerjisinin moleküler titreşimler veya atomik çarpışmalar yoluyla aktarılması anlamına gelir (Göloğlu, 2023).

3.4.3. Radyasyon (Işınım)

Herhangi bir ortama ihtiyaç duymadan elektromanyetik dalgalar aracılığıyla ısı enerjisinin yayılmasıdır. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan ısı, ışıınım yoluyla taşınan bir örnektir. İletim ve konveksiyondan farklı olarak, ışıınımla ısı transferi bir ara ortam gerektirmez. Bu tür ısı transferi, ışık hızında gerçekleşir ve boşlukta yavaşlamaz. Güneşten gelen enerji, ışıınımla ısı transferi sayesinde yeryüzüne ulaşır. Isı transferi çalışmalarında, bir cismin sıcaklığından dolayı yaydığı radyasyon türü olan termal radyasyon ifade edilir. Tüm nesneler, mutlak sıfırın üzerindeki sıcaklıklarda termal radyasyon yayar (Çengel, 2011).

Bu mekanizmaların her biri, ısı transferinin karmaşık doğasını ve çeşitli ortamlarda nasıl farklılık gösterebileceğini ortaya koyar. Kondüksiyon, özellikle katılarda etkilidir çünkü moleküller arasındaki yakın temas, enerji transferini kolaylaştırır. Konveksiyon, sıvı ve gazlarda daha yaygındır çünkü bu ortamlar, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak hareket etme eğilimindedir. Işınım ise tüm ortamlarda gerçekleşebilir ve uzay boşluğu gibi maddenin olmadığı ortamlarda bile ısı transferi sağlayabilir. Her bir mekanizmanın etkinliği, ortamın özelliklerine, sıcaklık farklarına ve diğer fiziksel koşullara bağlı olarak değişir. Bu nedenle, mühendislikten astronomiye kadar birçok alanda ısı transferi mekanizmalarının anlaşılması ve uygulanması önemlidir (Göktürkler, 2002).

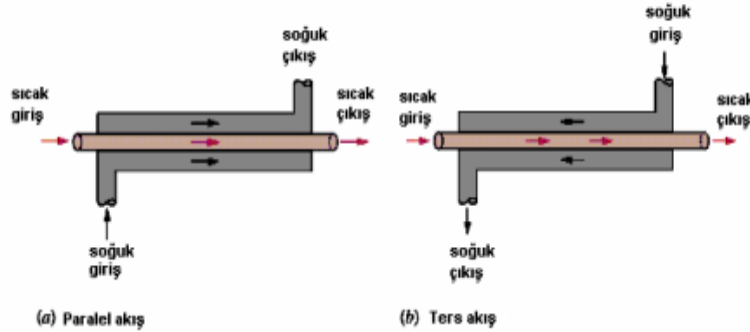
3.5. Isı Değiştirici Şekilleri ve Sınıflandırılması

3.5.1. Borulu ısı değiştiriciler (Eşanjörler)

Borulu ısı eşanjörleri, genellikle daire kesitli borulardan oluşurken, farklı tiplerdeki borular da kullanılmaktadır, örneğin eliptik, prizmatik veya burulmuş tipler mevcuttur. Bu eşanjörler, genellikle aralarında basınç farkı bulunan akışkanlar için tasarlanır ve sıvı-sıvı veya faz değişimi uygulamalarında kullanılırlar. Bu sistemlerin temel prensibi, bir akışkanın boru içinde akarken, diğer akışkanın borunun dışından geçmesine dayanır. Boru sayısı, uzunluğu ve aralığı gibi parametreler, ihtiyaca göre ayarlanabilir ve istenilen şekilde tasarlanabilir. Bu esneklik, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmalarının temel nedenlerinden biridir. Çift borulu, gövde borulu, spiral borulu, ve kanatlı boru gibi çeşitler bulunmakla birlikte, en yaygın kullanılanlar iç

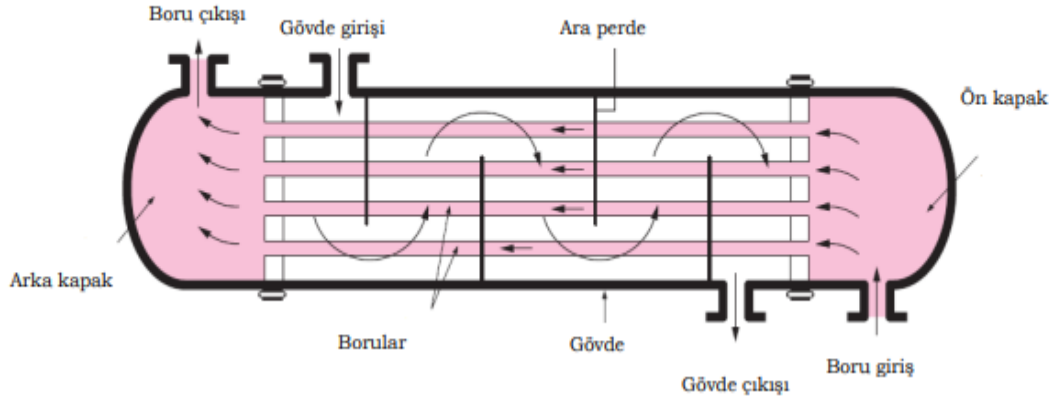
içe eş eksenli iki boru veya çift boru içinde sıcak ve soğuk akışkanın birbirine paralel veya zıt yönde hareket ettiği ısı eşanjörleridir. Bu çeşitlilik ve adaptasyon yeteneği, borulu ısı eşanjörlerini çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilen seçenek haline getirmektedir (Dilki, 2020).

Çift borulu ısı eşanjörleri Şekil 3.7 'de gösterilmiştir, en temel ısı eşanjörü biçimlerinden biridir ve genellikle farklı çaplardaki eş merkezli iki borudan oluşurlar. İçteki boru, kanatçıklı veya düz olabilir. Bu sistemde, bir akışkan içteki boruda dolaşırken, diğer akışkan dıştaki boru içinde hareket eder. İki akışkan da aynı yöne paralel hareket edebilir veya birbirlerine zıt yönde hareket edebilirler, bu da ısı transferi prensibinin esnekliğini sağlar. Genellikle, toplam ısı transfer alanının 50 m^2 veya daha az olduğu küçük kapasiteli uygulamalarda tercih edilirler. Çift borulu ısı eşanjörlerinin maliyetleri yüksek olabilir, ancak imalatları genellikle kolaydır. Bu nedenle, küçük kapasiteli sistemler için uygun bir seçenek olarak kabul edilirler (Yüncü, 1999).



Şekil 3.7.Çift borulu ısı eşanjörü (Durmaz ,2007)

Endüstriyel uygulamalarda en sık rastlanan ısı değiştiricisi tipi, genellikle gövde-borulu ısı değiştiricileridir ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen bu tip ısı değiştiriciler, bir gövde içerisine paralel olarak yerleştirilmiş çok sayıda borudan oluşur. Bu boruların içinden bir akışkan geçerken, diğer akışkan gövde etrafındaki boruların dışından akar ve bu süreçte ısı transferi gerçekleşir. Isı transferini artırmak ve borular arasında homojen bir akışkan dağılımı sağlamak için, genellikle gövde içine çapraz akışı teşvik edecek şekilde ara perdeler yerleştirilir. Bu perdeler, akışkanın yönlendirilmesine ve akışkanın türbülansa girmesine yardımcı olarak ısı transfer verimliliğini artırır. Gövde-borulu ısı değiştiricileri, çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır ve genellikle yüksek verimlilik ve güvenilirlik sağlar (Yüncü, 1999).



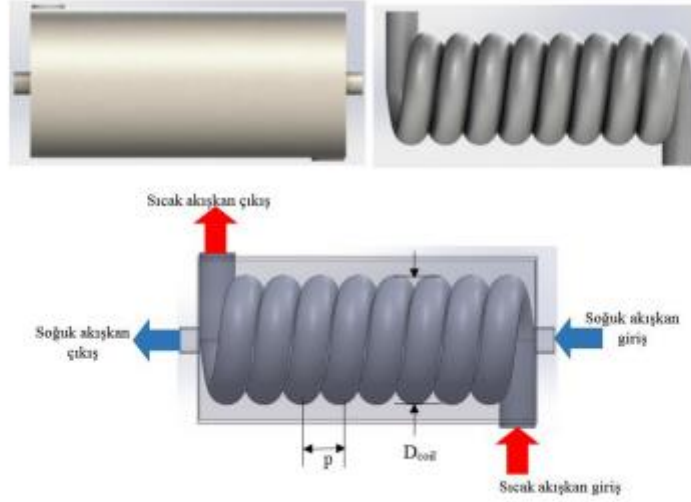
Şekil 3.8.Gövde borulu ısı değiştirgeci (Bursa Teknik Üniversitesi DBMMF Kimya Mühendisliği Bölümü)

Spiral ısı değiştirgeci, ısı transferini gerçekleştiren bir tür ısı değiştiricisidir ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Bu cihaz, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı enerjisiyi değiştirmek için kullanılır. Spiral ısı değiştirgeci, genellikle borusal veya plakalı ısı değiştiricileri gibi diğer tiplerle karşılaştırıldığında daha kompakt bir yapıya sahiptir. Spiral ısı değiştirgeci, bir spiral şeklinde sarılmış borulardan veya plakalardan oluşur. Akışkanlar bu spirallerin içinden veya dışından geçerken ısı transferi gerçekleşir. Spiral ısı değiştirgeci, havalandırma sistemleri, endüstriyel prosesler, enerji santralleri ve ısı geri kazanım uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.

Kompakt tasarım: Spiral yapı, daha fazla ısı transfer yüzeyini daha az alan kaplayacak şekilde sıkıştırır.

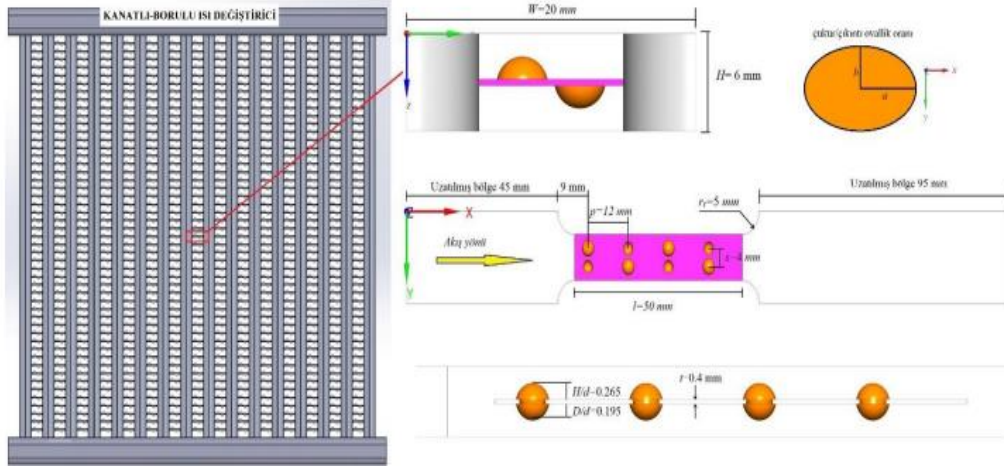
Etkili ısı transferi: Spiral yapı, akışkanların daha iyi karışmasını sağlar ve ısı transferini artırır.

Düşük basınç düşümü: Akışkanların düşük basınç kaybıyla hareket etmesini sağlar (Saidura , 2011).



Şekil 3.9.Spiral borulu ısı değıştircisi (Kan, 2021).

Şekil 3.10’da görülen kanatlı borulu ısı değıştircileri, otomobil endüstrisi, ısıtma-soğutma sistemleri, enerji üretim santralleri, ısı geri kazanımı gibi birçok endüstriyel alanın önemli tesisat elemanlarındanndır. Bu sistemler, sıcak akışkanın enerjisini etkin bir şekilde soğuk akışkana aktararak çalışır. Yüksek verimliliği, üretim maliyetlerinin düşmesiyle olduğu kadar daha kompakt tasarımıyla da uygulamalarda önemli avantajlar sunar. Bu nedenle, ısı değıştircilerin etkinliğini artırmaya yönelik çalışmalar büyük önem taşır. Kanatlı borulu ısı değıştircileri, yüzey üzerine yerleştirilen kanatlar sayesinde ısı transferini artırır. Özellikle düşük basınç kaybının önemli olduğu alanlarda, bu kanatlar sıcaklığı düşük tutarak verimliliği artırır. Genellikle üretim kolaylığı nedeniyle kanatların düz yapılırken, yapılan çalışmalar düz yüzey üzerine yerleştirilen engellerin ısı transferini önemli ölçüde artıracığını göstermektedir. Bu nedenle, kanatlı borulu ısı değıştircilerinin tasarımında ve üretiminde bu tür faktörlerin dikkate alınması önemlidir (Tepe, 2021).

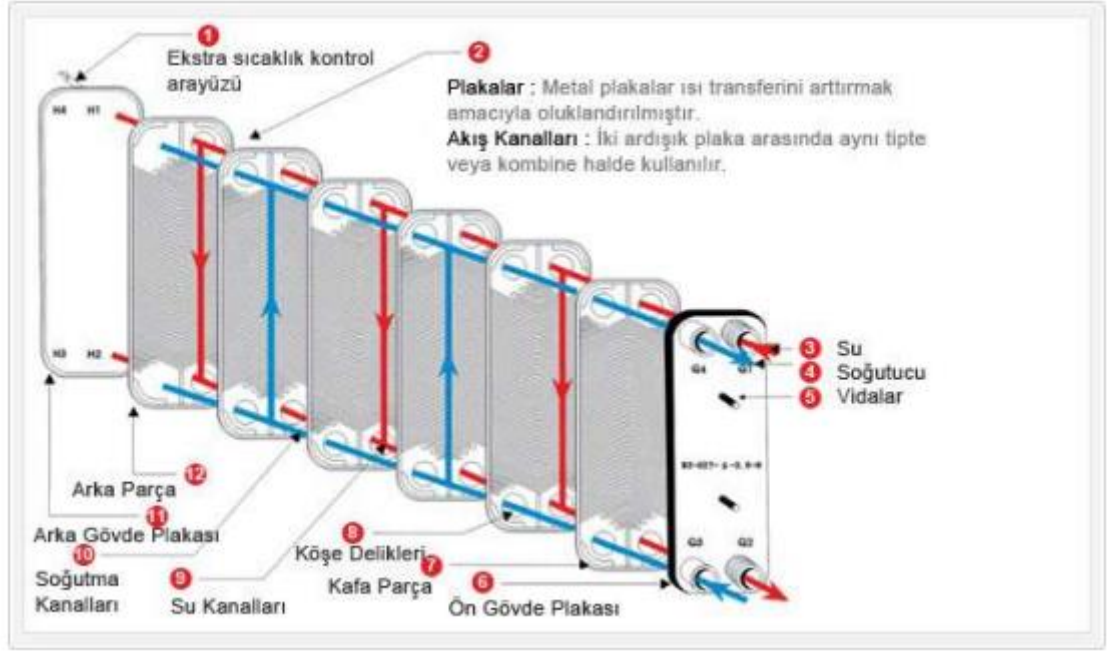


Şekil 3.10. Kanatlı boru ısı değiştirgeci (Tepe, 2021)

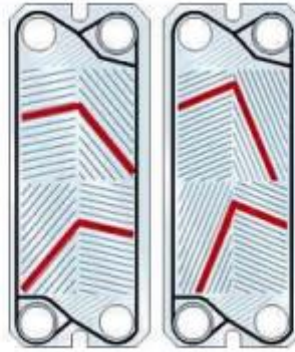
3.5.2. Plakalı (Levhalı) ısı değiştiriciler

Maliyet ve verimlilik odaklı çalışmalar, geleneksel borulu ısı değiştiricilerine alternatif olarak çeşitli yeni tipte ısı değiştiricilerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bu çeşitlilik içinde en çok tercih edilen ve başarılı bulunanı ise plakalı ısı değiştiricilerdir. Günümüzde, plakalı ısı değiştiriciler, süt ve gıda endüstrisinden kimyasal sanayiye kadar geniş bir alanda ısıtma ve soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plakalı ısı değiştiriciler, farklı sıcaklık seviyelerine veya çeşitli akışkan türlerine sahip olanların plakalar arasında karışmadan dolaşarak ısı transferi yapabilmesine imkan tanıyan ekipmanlardır. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 'de gösterilen bu özel tasarım, akışkanın hızının değişmesini sağlayarak daha etkin bir ısı transferi sağlar. Bu da daha küçük hacimlerde daha etkili bir ısı değişimini mümkün kılar. Plakalı ısı değiştiricilerde, ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyler genellikle ince metal plakalardan oluşur. Bu plakalar düz veya dalgalı olabilir. Ancak, borulu ısı değiştiricilerle kıyaslandığında, plakalı sistemlerin yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanıklılığı sınırlıdır. Plakalar genellikle alüminyum, zirkonyum, titanyum, nikel veya paslanmaz çelikten üretilir (T.C Milli Eğitim Bakanlığı Kimya Teknolojisi, 2013).



Şekil 3.11. Levhalı ısı değiştirici (MEGEP)



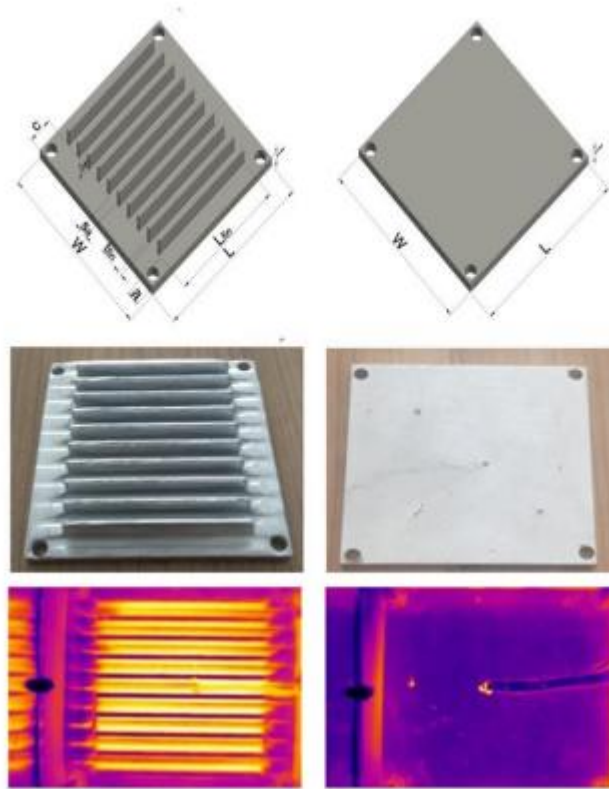
Şekil 3.12. Plakalar üzerindeki balıksırtı tasarım (MEGEP)

3.5.3. Kanatlı ısı değiştiriciler

Elektrik ve elektronik sektöründeki hızlı ilerleme, donanımların ısı ve elektriksel yüklerinde önemli bir artışa yol açmıştır. Bu durum, donanımların sıcaklık kontrolü üzerinde büyük bir baskı oluşturur. Özellikle, artan ısı yüklerinin kontrol altında tutulması ve donanımların güvenli bir sıcaklık aralığında çalışması, donanımın performansı ve ömrü açısından hayati öneme sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan elektronik bileşenlerin arıza oranlarının artması, hem maliyetleri hem de ürün güvenilirliğini

olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, termal yönetim stratejileri, endüstriyel tasarımın temelini oluşturur.

Isı dağıtıcılar, elektronik donanımların soğutulmasında etkili bir çözüm sunar. Bu sistemler, yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemelerden üretilmiş plakalar aracılığıyla ısıyı etkin bir şekilde dağıtır. Büyük yüzey alanı ve optimize edilmiş geometri, etkili bir soğutma sağlar. Tasarım sürecinde, malzeme seçimi, plaka yapısı ve akışkan özellikleri gibi faktörler dikkate alınır. Basitlik ve maliyet etkinliği, ısı dağıtıcıların tercih edilen tasarım prensiplerini oluşturur. Literatürde yüzey yapısıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalar, yüzey yapısı modifikasyonlarının ısı transfer alanını artırarak türbülans oluşturduğunu ve termal performansı iyileştirdiğini göstermektedir. Bu bağlamda, plaka kanat yapıları önemli bir role sahiptir. Şekil 3.13 'de görülen plaka kanatlı ısı dağıtıcılar, akışa paralel kanat yapısıyla düşük basınç kaybı ve kanat yüksekliğinin boyunca sürekli olması nedeniyle yüksek ısı transfer alanına sahiptir, bu da tercih edilmelerinin başlıca nedenlerinden biridir (Çorumlu, 2023).



Şekil 3.13. Plaka kanatlı ısı değiştiriciler (Çorumlu, 2023)

3.6. Türbülator

Isı değiştiricilerinde ısı transferini artırmak için kullanılan çeşitli yöntemler bulunur. Aktif ve pasif yöntemler, ısı transferini optimize etmek için farklı mekanizmalar kullanır. Aktif yöntemler, enerji ekleyerek akışkanın ve ortamın dinamiklerini değiştirirken, pasif yöntemler ek enerji gerektirmeden fiziksel değişikliklerle bu işlevi görürler. Türbülatorlerin kullanımı, özellikle pasif yöntemler arasında popüler bir seçenektir. Akışkanın türbülansını ve dolayısıyla ısı transferini artırmak için tasarlanmışlardır. Türbülatorler, boru içerisine yerleştirilerek akışkanın akım yolunu uzatır ve sınır tabakaların parçalanmasına yardımcı olur. Bu da ısı transfer yüzeyinin etkinliğini artırır ve sistem performansını iyileştirir (Deviren, 2019).

Isı transferini artırmak amacıyla kullanılan türbülatorler, yüzey alanını genişleterek akışta türbülans oluştururlar ve bu sayede akışkanın boru içinde daha uzun süre kalmasını sağlarlar. Ancak, türbülatorlerin akışa yerleştirilmesi, basınç kayıplarını artırır ve bunun sonucunda daha fazla fan veya pompa gücü gerektirir. Bu nedenle, türbülator tasarımında ısı transferindeki artışın yanı sıra işletme maliyetlerindeki bu artış da dikkate alınmalıdır. Bu durumun analiz edilmesi için, mühendislikte kullanılan sayısal yöntemler, bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte hızla gelişmiştir. Bu yöntemler, karmaşık ve tam olarak çözülemeyen denklemlerin çözümünde kullanılarak, türbülatorlerin etkilerini ve işletme maliyetlerini değerlendirmeye yardımcı olur (Sarı, 2019).

3.6.1. Türbülatorlerin ısı transferi ve akışkan davranışları üzerindeki etkileri

Türbülatorler, genellikle boru içindeki akışkanın (sıvı veya gaz) hızını artırmak veya akışkanın hareketini iyileştirmek amacıyla kullanılan cihazlardır. Bunlar, boru içindeki akışkanın düzgünlüğünü bozarak, akışkanın yüzey alanını artırır ve dolayısıyla akışkanın türbülansını artırır. Bu, akışkanın karışımını artırır ve ısı transferini veya karışımı artırarak birçok endüstriyel süreçte kullanımı yaygındır. Örneğin, ısı değiştiricilerde, kazanlarda ve borulu reaktörlerde kullanılırlar. Türbülatorler, enerji verimliliğini artırabilir ve işlemleri daha etkin hale getirebilir. Endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan ısı değiştiriciler, farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında ısı transferini sağlayan önemli cihazlardır. Bu cihazlar, genellikle bir akışkan borular içinde

dolaşırken diğer akışkan dışında dolaşır. Isı değıştircilerin verimliliğini artırmak için türbülatorler kullanılır (Çeri, 2021).

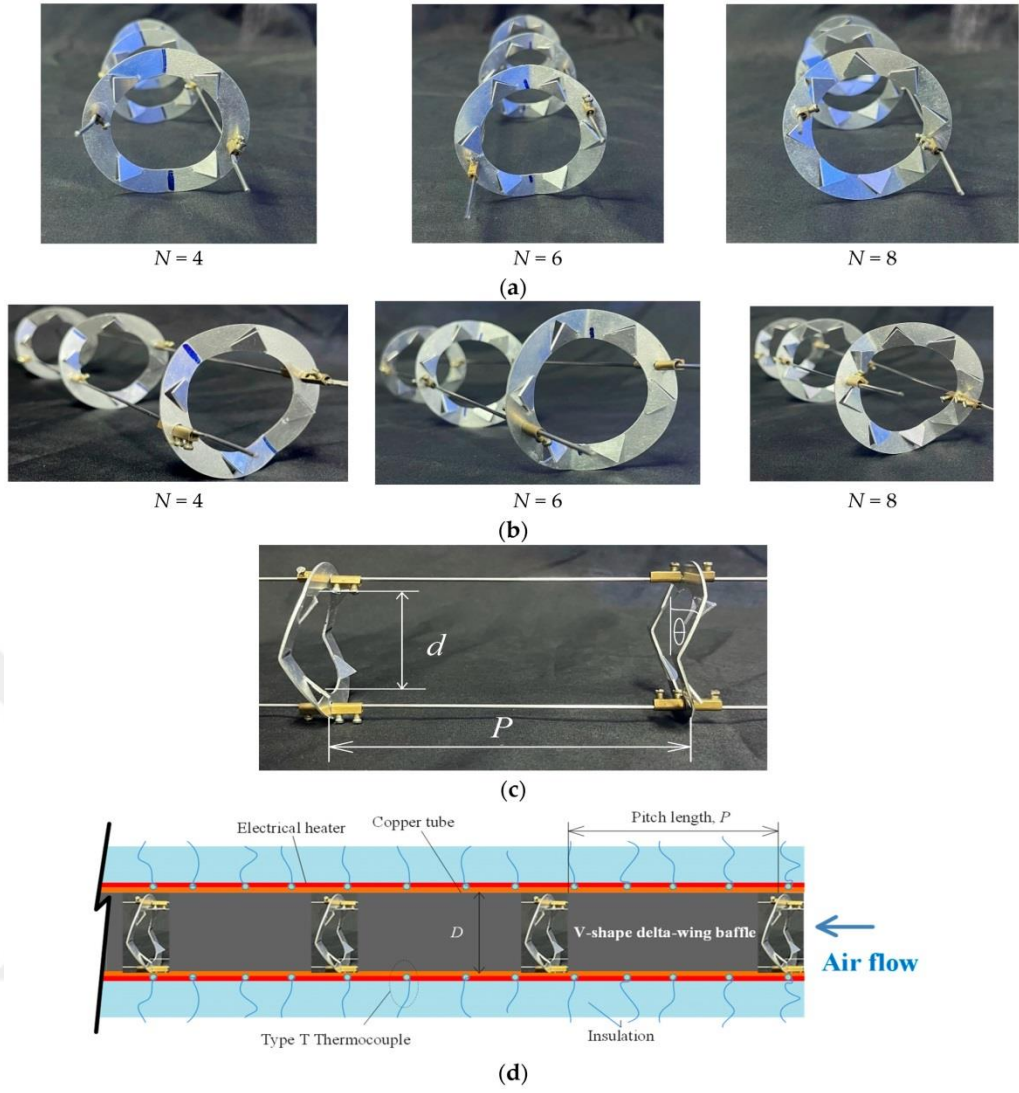
Özellikle kazanlarda, türbülatorler duman borularına yerleştirilir. Bu türbülatorler, duman gazlarına türbülans kazandırarak akış hızını artırır ve duman gazlarının yüzeyle temasını artırır. Bu, duman gazları ve kazanın ısı transfer yüzeyi arasındaki teması artırır, böylece ısı transferini optimize eder. Sonuç olarak, türbülatorler kazanın daha verimli çalışmasını sağlar, enerji maliyetlerini düşürür ve tesisin genel verimliliğini artırır. Duman gazlarında türbülans oluşturarak ısı transferini artırmak için kazanlardaki duman borularına türbülatorler eklenebilir (Çeri, 2022).

Türbülatorler, türbülansı artırarak ve farklı sıcaklıklarda sıvılar arasındaki teması iyileştirerek ısı transferini artırmak için ısı eşanjörlerinde kullanılan cihazlardır. Türbülatorler, termal sistemlerde ısı transferini daha da artırmak için nanoakışkanlar ve manyetik alanlar gibi diğer tekniklerle birlikte kullanılabilir (Gürdal, 2021).

Isı eşanjörlerinde türbülatorlerin kullanılması, konvektif ısı transferinin bir ölçüsü olan Nusselt sayısını önemli ölçüde artırabilir (Hasan, 2020), (Samruaisin, 2019).

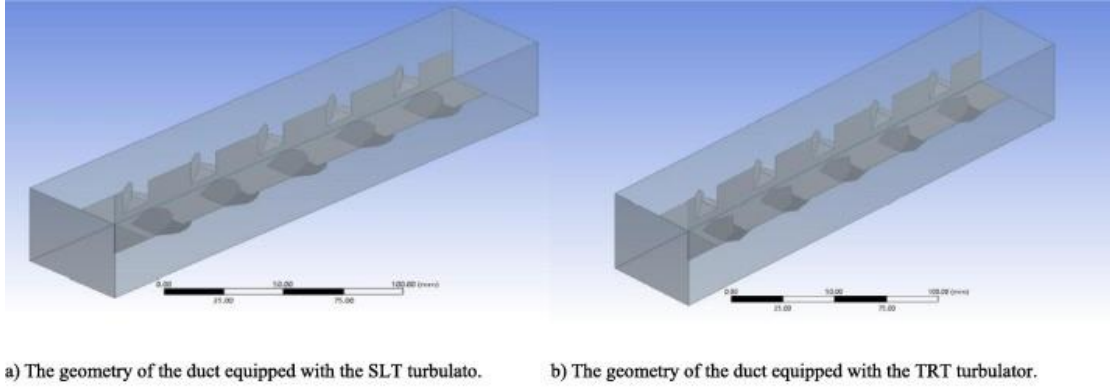
Kanat açısı ve şekli gibi türbülatorlerin geometrisi ısı transfer performansını etkileyebilir (Alizadeh, 2021).

Türbülatorlerin çeşitli uygulamalarda ısı transferini ve sıvı davranışını önemli ölçüde geliştirdiği bulunmuştur. Örneğin Şekil 3.14’de yuvarlak bir tüpte V şeklindeki delta kanatlı bölmelerin kullanılması, ters ve girdap akışlarının gelişimini teşvik ederek ısı transfer hızlarının artmasına neden olmuştur. Türbülatorler, ısı transfer verimliliğini artırmak için ısı eşanjörü tüplerinde kullanılan cihazlardır. V şeklindeki delta kanatlı bölmeler, ısı eşanjörü borularında türbülator görevi görmüştür. V şeklindeki delta kanatlı bölmeler, devirdaim/ters akış ve uzunlamasına girdap akışı oluşturarak sıvı karışımını teşvik etmiş ve ısı transfer hızlarını arttırmıştır. V şeklindeki kanatlı bölmeler, ters ve girdap akışlarının gelişimini teşvik ederek en yüksek ısı transfer hızlarını üretmiştir. V şeklindeki delta kanatlı bölmelerin kullanılması, Nusselt sayısında önemli gelişmelere yol açmış ve bu da gelişmiş ısı transfer verimliliğini ortaya koymuştur. V şeklindeki delta kanatlı bölmeler gibi türbülatorler, ısı eşanjörü uygulamalarında, özellikle düşük Reynolds sayılarında ($Re \leq 6000$) enerji tasarrufunu artırma potansiyeline sahiptir (Samruaisin, 2023).



Şekil 3.14. V Şekilli delta kanatlı türbülötörler (Samruaisin, 2023)

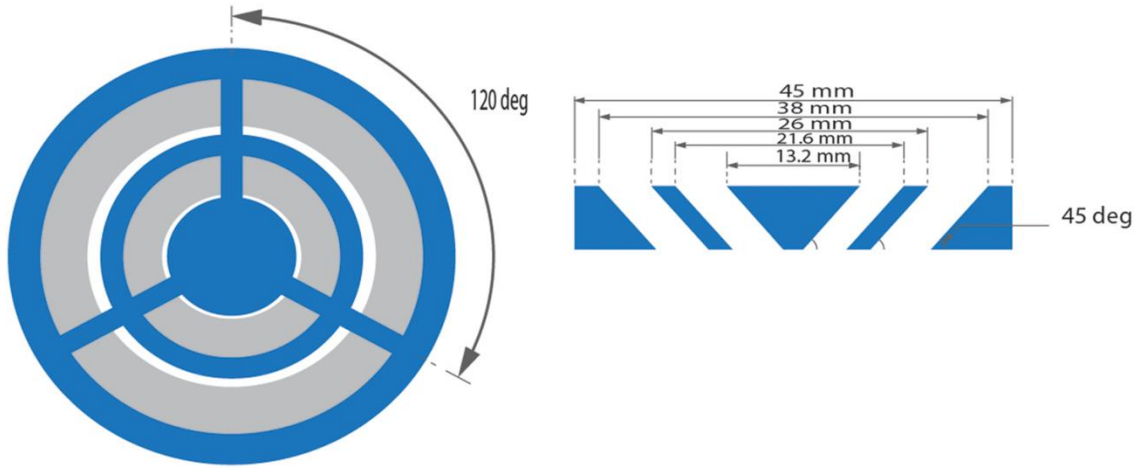
Benzer şekilde, türbülötörlerin ve benzersiz geometrilerin eşzamanlı kullanımı, yüksek ısı akısına sahip yüzeylerde türbülansı ve ısı transferini artırmıştır. Örneğin Şekil 3.15'te gösterilen SLT ve TRT türbülötörleri kullanılan bir sistemde SLT ve TRT türbülötörleri türbülanslı akış rejimlerinde sürtünme katsayısında önemli bir azalma gösterir. Bu türbülötörler, daha düşük basınç düşüşüne neden olan gelişmiş sıvı akış özellikleri sergiler. SLT ve TRT türbülötörlerinin spesifik geometrileri sürtünme katsayısındaki azalmaya katkıda bulunur. SLT ve TRT türbülötörlerinin kullanımı, kare kesitli kanallarda sürtünme nedeniyle enerji kayıplarını en aza indirmeye yardımcı olabilir (Alizadeh, 2023).



Şekil 3.15. SLT ve TRT tip türbülatorler (Alizadeh, 2023)

Şekil 3.16’da görülen dairesel tüplü bir ısı eşanjörüne yeni tipte türbülatorlerin sokulması da, akışı iç tüp yüzeyine doğru yönlendirerek ısı transferini artırmıştır. Isı eşanjörlerinde farklı tipte türbülatorlerin veya girdap türbülatorlerinin kullanılmasının temel nedenini, termal performansı artırmak olarak bilinir. Isı değıştircilerin tasarımında karşılaşılan zorluklar, maliyet, performans ve ısı transferi ile basınç düşüşünün dengelenmesi gibi faktörlerdir.

Daha önce kullanılan yöntemlerin yanı sıra, yeni bir türbülans oluşturuç parçanın şekli aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.16. Girdap şekilli türbülator (Maki, 2023)

Bu parça, üç eşit parçaya bölünmüş bir katı diskten oluşmuş ve her bir parçanın disk merkezi çevresinde iki yuvası bulunur. Yuvaların toplam alanı, disk alanının yarısına eşittir ve altı yarık, akışkanın akışını sıcak boru yüzeyine doğru saptırarak daha fazla

temas sağlamak için borunun iç yüzeyine doğru 45 derecelik bir açıyla kesilir. Kullanılan ek parçanın performansını diğer yaygın kullanılan türbülatorlerle karşılaştırırken, ek parça sayısının konveksiyon hızı ve basınç kaybı üzerindeki etkisini de ortaya konup irdelenmiştir. yeni tip türbülatorlerin kullanımının ısı eşanjörü performansını artırdığını göstermektedir. Türbülatorlerin eklenmesiyle, ısı transferi ve sürtünme faktörü üzerinde olumlu etkiler elde edilmiştir. Bu sonuçlar, endüstriyel uygulamalarda ısı eşanjörlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına yönelik önemli bir katkı sağlayabilir (Maki, 2023). Konik helisel dişli halka tipli türbülatorlerin kullanımı ısı transferini artırdığı görülmüş ve entropi oluşumunu azaltmıştır (Esmaeili, 2023). Bu bulgular, türbülatorlerin çeşitli sistemlerde ısı transferini ve akışkan davranışını artırmadaki etkinliğini göstermektedir.

3.6.2. Dairesel kesitli türbülatorlerin tasarım ve performans kriterleri

Şekil 3.17’de gösterilen dairese türbülatorlerin tasarımı ve performansı, bir dizi kritik kriteri içerir. Bunlar, türbülatorler arası mesafe, delik çapı, delik sayısı ve Reynolds sayısı gibi faktörlerdir. Her biri, ısı transferi ve basınç kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve optimum performans için dengelenmelidir. Türbülatorler arası mesafe, ısı transferi ve basınç kaybı arasında bir denge sağlar. Mesafe azaldıkça, ısı transferi artar ancak basınç kaybı da artar. Tam tersi durumda, mesafe arttıkça, ısı transferi azalır ancak basınç kaybı da azalır. Optimum mesafe, hem etkili ısı transferi sağlayacak hem de enerji kaybını minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Delik çapı, türbülatorün içinden akışkanın geçişini sağlar. Delik çapı arttıkça, ısı transferi artar ancak basınç kaybı da artar. Delik çapı azaldıkça, ısı transferi azalır ancak basınç kaybı da azalır. Dolayısıyla, optimum delik çapı, en iyi ısı transferini sağlayacak ve aynı zamanda enerji kaybını minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Delik sayısı, türbülator üzerinde bulunan deliklerin miktarını belirler. Delik sayısı arttıkça, ısı transferi artar ancak basınç kaybı da artar. Delik sayısı azaldıkça, ısı transferi azalır ancak basınç kaybı da azalır. Optimum delik sayısı, istenen ısı transferini sağlayacak ve aynı zamanda enerji kaybını minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Reynolds sayısı, akışkanın akış rejimini belirler. Reynolds sayısı arttıkça, türbülans artar ve bu da ısı transferini artırır. Ancak, Reynolds sayısı arttıkça, basınç kaybı da artar. Dolayısıyla, optimum Reynolds sayısı, istenen ısı transferini artıracak ancak basınç kaybını minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Türbülatorlerin performansını değerlendirmek için, ısı transferi, basınç

kaybı ve termal performans katsayısı gibi parametreler kullanılır. Isı transferi, akışkanlar arasında gerçekleşen ısı değişim miktarını gösterir. Basınç kaybı, akışkanın türbülatorlerden geçerken karşılaştığı direnç nedeniyle oluşan enerji kaybını gösterir. Termal performans katsayısı, ısı transferinin artış oranının basınç kaybının artış oranına bölünmesiyle elde edilir. Termal performans katsayısı ne kadar yüksekse, türbülatorün performansı o kadar iyidir(Turgut , 2020).



Şekil 3.17.Dairesel kesitli türbülator (<https://www.teknikbelgeler.com/2016/makale.php?id=17>)

3.6.3. Dairesel kesitli türbülatorlerin avantajları

Dairesel kesitli türbülatorler, ısı değıştiricilerde kullanılan bir tasarım ögesidir ve bazı avantajları vardır. İşte bu türbülatorlerin bazı avantajları:

Isı Transferi Artışı: Dairesel kesitli türbülatorler, akışkanın içinde dönen veya dairesel hareketler yapmasını sağlar. Bu, ısı transferini artırır ve daha etkili bir ısı değışimi sağlar.

Basınç Kaybının Azalması: Dairesel kesitli türbülatorler, akışkanın hızını artırarak basınç kaybını azaltabilir. Bu, enerji verimliliğini artırır ve sistemde daha düşük enerji tüketimi sağlar.

Akışkanın Karışımı: Dairesel kesitli türbülatorler, akışkanın homojen bir şekilde karışmasını sağlar. Bu, ısı transferini daha da artırır ve sıcaklık dağılımını iyileştirir.

Dirençli Kirlenmeye Karşı Dayanıklılık: Dairesel kesitli türbülatorler, iç yüzeylerinde biriken tortu ve kire karşı daha dayanıklıdır. Bu, uzun süreli kullanımda avantaj sağlar.

Düşük Maliyet: Dairesel kesitli türbülatorler, basit bir geometriye sahiptir ve üretim maliyetleri düşüktür. Bu, ısı değıştirici tasarımında maliyet etkin bir seçenek olmalarını sağlar (Turgut, 20

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Deney sistemi, bilimsel araştırmalarda kullanılan bir yapıdır. Bu sistem, belirli şartlar altında deneylerin gerçekleştirildiği bir ortamı ifade eder. Deney sistemi, bilimsel yöntemlerle hipotezleri test etmek, neden-sonuç ilişkilerini anlamak ve veri toplamak amacıyla kullanılır. Deney sistemi bileşenleri, deneyin amacına ve alanına bağlı olarak değişebilir. İşte deney sistemimizin bileşenleri:

1.Levha Tipi Türbülátörler: Akışkanların karıştırılması veya hızlandırılması için kullanılan bileşenlerdir. Levha tipi türbülátörler, akışkanın yüzey alanını artırarak ısı transferini optimize eder.

2.elik Borular: Isı transferi deneylerinde sıkça kullanılan boru malzemesidir. Borular, ısıyı iletmek veya soğutmak amacıyla kullanılır.

3.Kazan: Isı enerjisinin üretildiği veya aktarıldığı bir sistemdir. Genellikle suyun buharlaştırılması veya ısıtılması amacıyla kullanılır.

4.Galvaniz elik Sac: Malzeme özelliklerini incelemek için kullanılır. Paslanmaz elik sac, dayanıklılığı ve korozyon direnci nedeniyle tercih edilir.

5.Radyal Fan: Hava akımını sağlamak veya soğutma işlemlerinde kullanılan bir bileşendir.

6.Datalogger: Veri toplama ve kaydetme cihazıdır. Deney sonuçlarını kaydetmek ve analiz etmek için kullanılır.

7.Isı Kaynağı: Deneylerde belirli bir sıcaklıkta ısı sağlamak için kullanılır. Isı kaynağı, deneyin amacına göre farklı şekillerde olabilir.

4.1. Yöntem

Isı değiştiriciler, bir akışkanın (genellikle sıvı veya gaz) içindeki ısıyı başka bir akışkana aktaran cihazlardır. Bu cihazlar, bir sistemden diğerine ısı transferini sağlamak amacıyla kullanılır. Isı değiştiriciler, birçok endüstriyel, ticari ve ev kullanımı alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, ısıtma, soğutma, klima, buhar üretimi ve kimyasal işlemler gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler. Isı değiştiricilerin temel amacı, bir akışkanın sıcaklığını değiştirerek ısı transferini sağlamaktır. Bu, genellikle bir akışkanın bir boru, plaka veya başka bir yüzey boyunca akması ve bu sırada bir başka akışkanın temas ettiği veya etmediği bir şekilde gerçekleşir. Isı değiştiriciler, enerji verimliliğini artırabilir, sistemlerin performansını iyileştirebilir ve sıcaklık kontrolünü

sağlayabilirler. Bu nedenle, endüstriyel işlemlerden ev ısıtma sistemlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler.

Levha tipi türbülatorler genellikle plakalı ısı değıştiricilerde kullanılır. Bunlar, plakalar arasına yerleştirilen ve akışkanın akışını etkileyen özel şekillendirilmiş levhacıklardır. Levhaların üzerindeki yüzeylerdeki oluklar, akışkanın türbülans oluşturmasına ve dolayısıyla ısı transferinin artmasına yardımcı olur.

Bu tür türbülatorlerin birkaç avantajı vardır:

Isı Transferini Artırma: Türbülans oluşturarak, akışkanın temas ettiği yüzey alanını artırır ve böylece ısı transferini artırır.

Enerji Verimliliğini Artırma: Daha etkili ısı transferi, enerji verimliliğini artırır ve sistemlerin daha az enerji tüketmesine yardımcı olur.

Direnç Azaltma: Akışkanın akışı üzerindeki etkileri nedeniyle, levha tipi türbülatorler genellikle akış direncini azaltır.

Kirlenmeyi Azaltma: Bazı durumlarda, türbülatorler akışkanın yüzeyde birikmesini önleyebilir ve kirlenmeyi azaltabilir.

Bu çalışmada, ısı transferini artırmak amacıyla levha tipi türbülatorlerin kullanımıyla ilgili bilgi elde edilmiştir. Deney sistemi içerisinde, iç içe geçmiş iki düz bakır borudan oluşan bir ısı değıştirici kullanılmıştır. İç boru, 1000 mm uzunluğunda, 60 mm iç çapına ve 65 mm dış çapına sahiptir. Dış boru ise, 101 mm dış çapa, 1,0 mm et kalınlığına ve 800 mm uzunluğa sahiptir. Isı kaybını önlemek için dış boru, cam elyaf yünü ile sarılmıştır. İç borudan bir fan yardımıyla hava geçirilirken, iki boru arasındaki alandan buhar kazanından gelen su buharı geçmektedir. Yoğuşma sonucu oluşan su buharını tahliye etmek için dış borunun alt kısmına bir tahliye vanası yerleştirilmiştir. Bu düzenleme, sistemin etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için yoğuşma nedeniyle oluşan su buharının kontrollü bir şekilde tahliye edilmesini sağlar. Yapılan çalışmalar sonucunda, sistemdeki ısı transferindeki değışimler, basınç kayıpları, entropi üretimi ve ekserji analizleri gerçekteştirilmiş ve veriler datalogger cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılmış ve değeriendirilmiştir.

4.2. Deney Düzeneiğinin Tanıtımı

Bu deney çalışması, Batman Üniversitesi Teknoloji Fakóltesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulmuş olan türbülatorlü ısı değıştiricisi deney

The diagram illustrates a steam boiler system with the following labeled components:

- Bilgisayar**: A laptop on a stand, connected to the system.
- Teknik Resim Görünümü**: A box indicating the technical drawing view.
- Termokupl**: A temperature probe inserted into the boiler.
- Bakır Boru**: A copper pipe connecting the boiler to the fan.
- Fan**: A blue fan unit mounted on a stand.
- Kazan**: The main boiler unit, a brown cylindrical vessel.
- Buhar Girişi**: The steam inlet pipe.
- Galvanizli Boru**: A galvanized steel pipe.
- Akış Ölçer**: A flow meter installed on the pipe.
- Dijital Sıcaklık Ölçer**: A digital temperature meter connected to the laptop.

Deneyde, boru duvarı boyunca homojen bir sıcaklık elde etmek için yaklaşık 3 saat boyunca sisteme buhar verildi. Boru yüzeyindeki sıcaklık değeri istenilen seviyeye geldikten sonra fan devreye alındı. Fan hızı, istenilen Reynolds sayısına uygun olarak ayarlandı ve debimetrenin hacimsel akışı kontrol edildi. Hava akışı, iç borudan geçirilerek boru duvarlarındaki sıcaklık değişimleri dikkatle izlendi. Ayrıca, borunun giriş ve çıkış sıcaklıkları termokupllar yardımıyla ölçüldü. Boru giriş ve çıkışındaki basınç farkları dijital manometre ile belirlendi. Kazandaki su seviyesi saat başı kontrol edilip, herhangi bir düşüş yaşandığında su takviye edilerek sistem sıcaklığı tekrar dengeye getirildi. İç kısımdaki bakır borunun sıcaklık şartı, borunun dış cidarı boyunca devamlı temas halinde kalan su buharıyla 98°C olarak sabitlendi.

4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler

4.3.1. Fan motoru

Fan motorları Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, havayı veya başka bir gazı hareket ettirmek için kullanılan elektrik motorlarıdır. Genellikle fan kanatlarına bağlı olan motorlar, dönerken hava akımını oluştururlar. Fan motorları, endüstriyel tesislerde, klima sistemlerinde, soğutma sistemlerinde, havalandırma sistemlerinde ve benzeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Fan motorları genellikle doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) motorları olabilir. AC fan motorları, ev tipi fanlarda ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılırken, DC fan motorları genellikle taşınabilir cihazlarda ve elektronik soğutma sistemlerinde tercih edilir.



Şekil 4.2.Fan motoru

Fan motorlarının hızı, genellikle bir kontrol paneli veya hız kontrol cihazı aracılığıyla ayarlanabilir. Bu, kullanıcıların fanın hızını değiştirerek hava akışını istedikleri şekilde düzenlemesine olanak tanır. Deney düzeneğinde kullanılan AGM2E 90 S 4a fan modeli, GAMAK tarafından üretilen 3 fazlı asenkron motorlardan biridir. İşte bu motorun teknik özellikleri:

- Güç: 1,1 kW
- Hız: 1500 d/dk
- Gerilim: 230/400 V
- Frekans: 50 Hz
- Kutup Sayısı: 4
- Çalışma Şekli: S1 (sürekli çalışma)
- Koruma Sınıfı: IP55
- Motor Verimi: %81,4

Türlülatörlerin farklı konumlarında 6 farklı fan hızında deney verileri alınmış. İşte bu fan hızları: 0,5-1-1,5-2-2,5-3 m/sn. Bu veriler, türlülatörlerin farklı hızlarda nasıl performans gösterdiğini anlamak için önemlidir.

4.3.2. Kazan

Buhar kazanı, genellikle suyu ısıtarak buhar haline getiren ve bu buharı enerji üretimi veya işlemlerde kullanmak için kullanılan bir termal enerji üretim cihazıdır. Şekil 4.3 'te deney düzeneğinde kullanılan buhar kazanları, endüstriyel tesislerde, enerji santrallerinde, ısıtma sistemlerinde ve proses tesislerinde yaygın olarak kullanılır. Sistemde 20 lt kazan kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Kazan

4.3.3. Anemometre

Anemometre, rüzgâr hızını ve bazen rüzgâr yönünü ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bu cihazlar genellikle meteoroloji istasyonlarında, endüstriyel tesislerde, denizcilikte, havacılıkta ve çeşitli bilimsel araştırmalarda kullanılır. Anemometreler, rüzgâr enerjisi tesislerinin verimliliğini ölçmek, hava tahminlerinde kullanılmak, endüstriyel tesislerde güvenlik ve performansı izlemek gibi birçok uygulamada önemli bir rol oynarlar. Şekil 4.4'te deneyde kullanılan anemometre görülmektedir.



Şekil 4.4. Anemometre

Model numarası kestrel 2000, ölçüm parametreleri; hava hızı, sıcaklık, hissedilen sıcaklık maksimum hava hızı 40m/s, en iyi hava hızı doğruluğu ± 3 %, hava hızı çözünürlüğü 0.1m/s, prob tipi döner palet, sıcaklık ölçüm çözünürlüğü 0,1°C, maksimum sıcaklık ölçüm hassasiyeti ± 1 °c, güç kaynağı pilipil türü cr2032, pil ömrü 300 saat, ağırlık 65g, yükseklik 18mm, uzunluk 122mm, derinlik 42mm, minimum çalışma sıcaklığı - 10°C, maksimum çalışma sıcaklığı +55°C

4.3.4. Çelik çubuklar

Çelik çubuklar, endüstriyel ısı transferinde önemli bir rol oynarlar. Yüksek ısı iletkenliğine sahip olan çelik, ısıyı hızla iletebilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde, çelik çubuklar endüstriyel uygulamalarda ısı transferinin hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlarlar. Ayrıca, çelik çubuklar dayanıklı ve uzun ömürlü bir

malzeme olduğu için yoğun kullanıma ve yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Bu özellikleri sayesinde, çelik çubuklar uzun süreli ve güvenilir bir şekilde ısı transferi işlemlerinde kullanılabilirler. Çelik çubuklar, birçok endüstriyel alanda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Isı değişim ekipmanları, ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri ve diğer birçok uygulamada çelik çubuklar önemli bir bileşen olarak kullanılır. Farklı boyutlarda ve şekillerde üretilebilen çelik çubuklar, esnek tasarım seçenekleri sunarlar. Bu da onları farklı endüstriyel uygulamalara uygun hale getirir ve özelleştirilmiş çözümler sunar. Şekil 4.5'te türbülator kanatçıkları yerleştirilmiş çelik çubuklar görülmektedir.



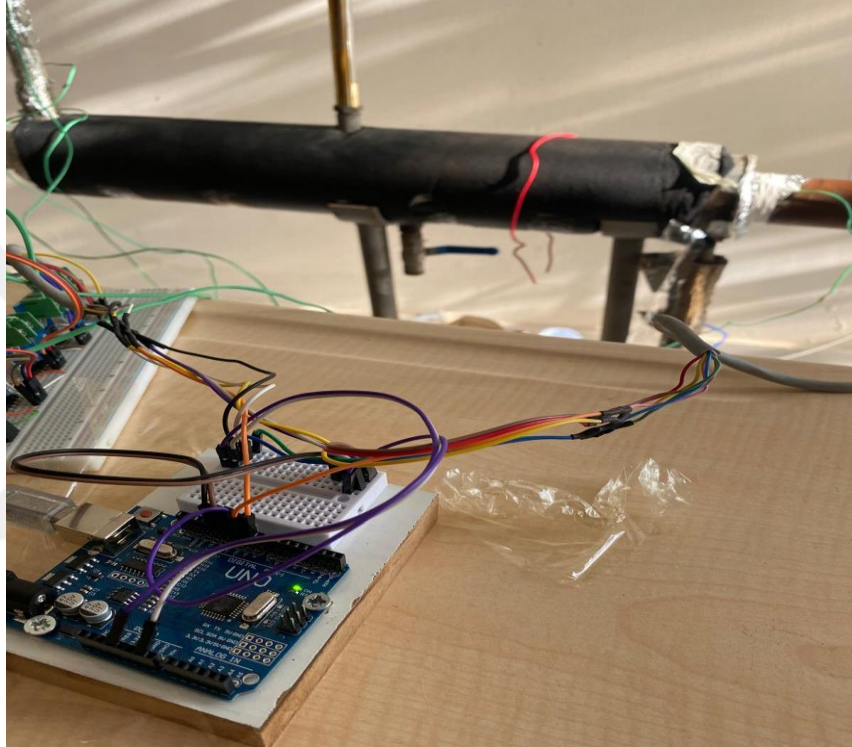
Şekil 4.5. Çelik çubuklar

Sonuç olarak, çelik çubuklar endüstriyel ısı transferi için önemli bir bileşen olarak kabul edilirler. Yüksek ısı iletim özellikleri, dayanıklılık, uzun ömür ve esnek tasarım seçenekleri sayesinde, çelik çubuklar birçok endüstriyel uygulamada tercih edilen bir seçenektir. Isı transferi süreçlerinin verimliliğini artırmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için çelik çubuklar sıklıkla kullanılır.

4.3.5. Termokupl-Veri Kayıt Programı- Veri Dönüştürücü

Deneyde sıcaklık ölçümü için çapı 0.5 mm olan T tipi nikel-krom malzemeden yapılmış termokupllar kullanılmıştır. Bu termokupllardan ikisi, kızgın buharın geçtiği iki boru arasındaki alanın sıcaklıklarını belirlemek amacıyla dış borunun giriş ve çıkış

noktalarına yerleştirilmiştir. Diğer iki termokupl ise salyangoz tipi fan tarafından üflenen soğuk havanın geçtiği iç borunun giriş ve çıkışında açılan deliklerden geçirilerek bakır borunun içine konumlandırılmıştır. Böylece her iki akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları hassas bir şekilde ölçülmüştür. Termokupllardan alınan veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiş ve bu veriler kullanılarak çeşitli tablolar ve grafikler hazırlanmıştır. Deney düzenine ait bağlantılar Şekil 4.6’da görsel olarak sunulmuştur. Kullanılan termokupllar, -220°C ile 2.400°C arasında ölçüm yapabilme kapasitesine sahiptir ve $\pm 0,1$ gibi düşük bir hata payı ile yüksek doğruluk sağlamaktadır.

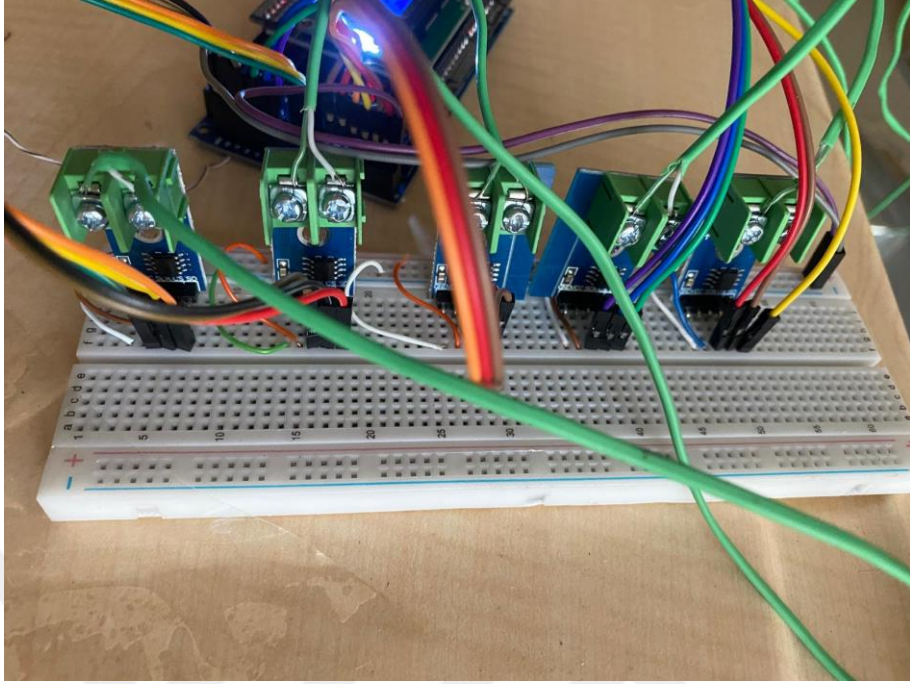


Şekil 4.6. ATmega2560 mikrodnetleyici veri dönüştürücü

Veri dönüştürücü: Deneyde kullanılan farklı türbülatorlerin oluşturduğu hava türbülansları, salyangoz tipi fan tarafından üretilen havanın giriş ve çıkış noktalarında basınç farklarının oluşmasına yol açmıştır. Konik tip türbülatorler, borunun içerisine yerleştirilmiş olup, bu basınç farklarını ölçmek için borunun giriş ve çıkış bölgelerine BMP280 tipi basınç sensörleri monte edilmiştir.

Veri programı: Deney sırasında elde edilen veriler, C# dilinde geliştirdiğimiz özel bir veri kayıt yazılımı ile kaydedilmiştir. Bu yazılım, deney koşullarının düzenlenmesi, verilerin kaydedilmesi ve grafiklerin oluşturulması gibi işlemleri gerçekleştirmektedir. Şekil 4.7' de deney setine ait veri kayıt programı örneği gösterilmektedir. Ayrıca, veriler

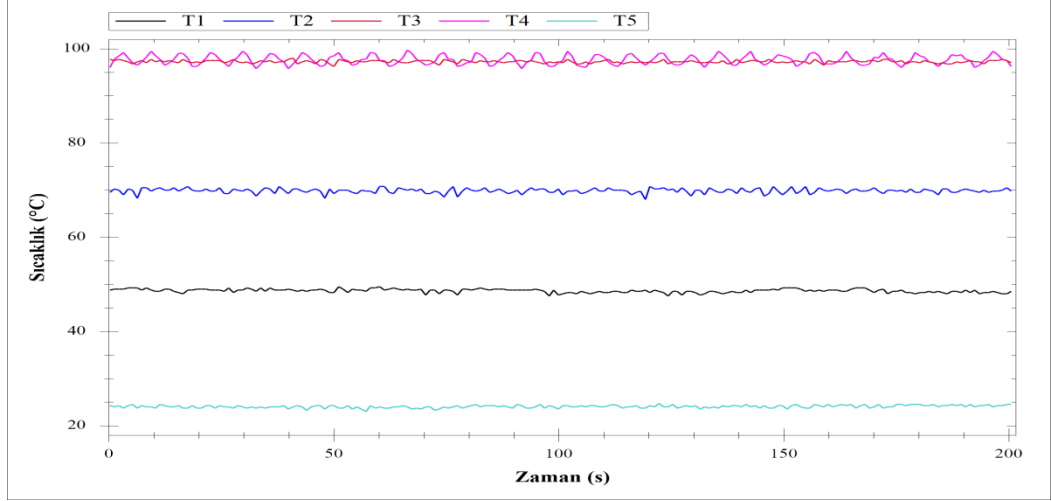
istenildiğinde yeniden grafiklendirme amacıyla bir txt. dosyası formatında da saklanmaktadır.



Şekil 4.7. Datalogger

ATmega2560 mikrodnetleyici kartı, sıcaklık verilerini COM port üzerinden seri iletişim ile aktaracak şekilde kodlanmıştır. Mikrodnetleyici programlaması için VSCode üzerinde PlatformIO kütüphanesi kullanılmıştır. C# ile geliştirdiğimiz yazılım, COM portundan alınan verileri işleyerek, grafikler ve kayıtlı veri tabloları oluşturmuştur. 200 saniye boyunca veriler elde edilmiştir.. Yazılım, veri kaydını operatör onayına bağlı olarak gerçekleştirmektedir. Operatör, deney sırasında ekran üzerinde gösterilen verilerin doğruluğunu kontrol ettikten sonra kayıt işlemini başlatabilmektedir. Kayıt işlemi, deney durdurulduktan sonra etkinleşmektedir.

Oluşturulan veriler, deney parametrelerini içeren bir klasör altında saklanmaktadır. Bu klasörde, 600 dpi çözünürlüğünde zaman-sıcaklık ve zaman-sıcaklık farkı grafiklerine yer verilmiştir. Ayrıca, deney sırasında alınan anlık veriler .txt formatında kaydedilmiştir ve gerektiğinde kolayca erişilebilir durumdadır.



Şekil 4.8. Sıcaklık-zaman program verileri

4.3.6. Isı eşanjörü

Şekil 4.9’da görülen iç içe geçmiş iki borudan oluşan ısı eşanjörü, birbirine paralel olarak yerleştirilmiş ve iç boru dış borunun içinden geçecek şekilde tasarlanmış bir eşanjör tipidir. Bu yapı, bir akışkanın diğerine ısı transferi yapmasını sağlar.



Şekil 4.9. Isı eşanjörü

İç içe geçmiş iki borulu ısı eşanjörlerinin temel özellikleri şunlardır:

Yapı: İki boru, genellikle birbirine çok yakın şekilde yerleştirilir. İç boru, genellikle ısı transferi için kullanılan akışkanın taşındığı borudur. Dış boru ise, ısı transferi yapılacak olan ikinci akışkanın taşındığı borudur.

Malzeme: İç ve dış borular genellikle metal (çoğunlukla çelik veya bakır) veya plastik malzemeden imal edilmiştir. Malzeme seçimi, uygulama gereksinimlerine ve akışkanların özelliklerine bağlı olarak yapılır.

Isı Transferi: İç borudan geçen sıcak veya soğuk akışkan, dış boru duvarları boyunca akar ve bu esnada dış borudan geçen ikinci akışkanla ısı transferi yapar. Bu sayede, bir akışkanın sıcaklığı artırılabilir veya azaltılabilir.

Uygulamalar: İç içe geçmiş iki borulu ısı eşanjörleri, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Isıtma, soğutma, iklimlendirme, kimyasal prosesler, gıda endüstrisi, petrokimya endüstrisi ve enerji üretimi gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılırlar.

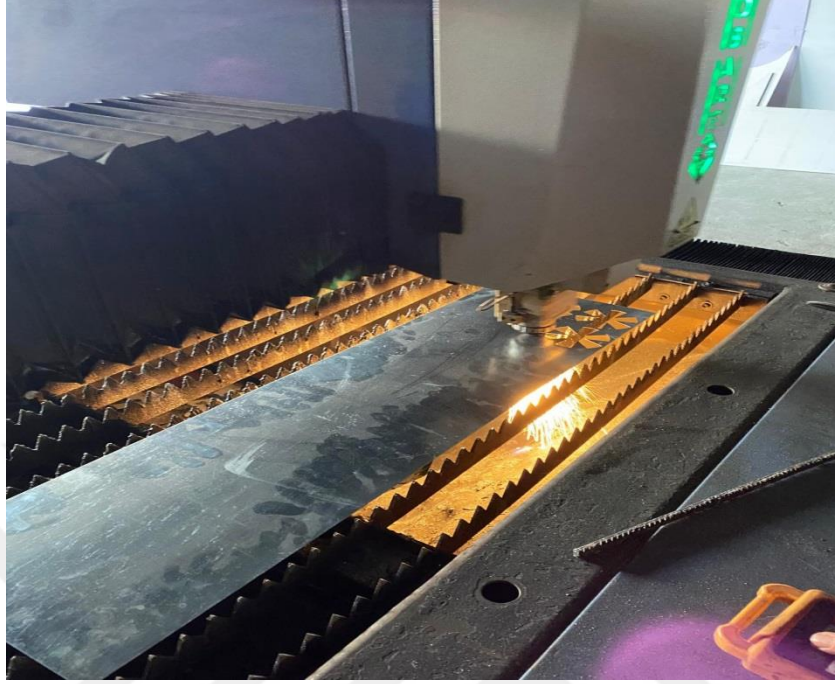
İç içe geçmiş iki borulu ısı eşanjörleri, verimli bir şekilde ısı transferi yapabilme, kompakt tasarımı, dayanıklılığı ve düşük bakım gereksinimi gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilirler. Deney sistemi içerisinde, iç içe geçmiş iki düz bakır borudan oluşan bir ısı değiştirici kullanılmıştır. İç boru, 1000 mm uzunluğunda, 60 mm iç çapına ve 65 mm dış çapına sahiptir. Dış boru ise, 101 mm dış çapa, 1,0 mm et kalınlığına ve 800 mm uzunluğa sahiptir. Isı kaybını önlemek için dış boru, cam elyaf yünü ile sarılmıştır. İç borudan bir fan yardımıyla hava geçirilirken, iki boru arasındaki alandan buhar kazanından gelen su buharı geçmektedir. Yoğuşma sonucu oluşan su buharını tahliye etmek için dış borunun alt kısmına bir tahliye vanası yerleştirilmiştir. Bu düzenleme, sistemin etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için yoğuşma nedeniyle oluşan su buharının kontrollü bir şekilde tahliye edilmesini sağlar.

4.3.7. Galvaniz levhalar

Galvaniz levhalar, çelik levhaların çinko kaplanması işlemi ile elde edilen malzemelerdir. Bu işlem, çelik levhaların korozyona karşı dayanıklılığını artırır ve ömrünü uzatır. Genellikle çelik levhalar, sıcak daldırma galvanizleme yöntemi ile çinko ile kaplanır. Bu işlem sırasında çelik levha, erimiş çinko banyosuna daldırılır ve ardından çıkarılarak soğutulur. Sonuç olarak, çelik yüzeyin çinko kaplanmış bir tabaka ile kaplanmış olur. Şekil 4.10'da CNC ile kanat şekli verilen galvaniz levha örneği gösterilmiştir

Galvaniz levhaların birçok avantajı vardır:

Korozyona Karşı Dayanıklılık: Çinko kaplama, çelik yüzeyi korozyona karşı korur ve levhanın ömrünü uzatır.



Şekil 4.10. Galvaniz levhalar

Estetik Görünüm: Parlak ve düzgün bir yüzeye sahip olan galvaniz levhalar, estetik açıdan da tercih edilir.

Maliyet-Etkinlik: Galvaniz levhalar, dayanıklılığı ve uzun ömrü nedeniyle maliyet-etkin bir seçenektir. Bakım gerektirmezler ve uzun süre dayanabilirler.

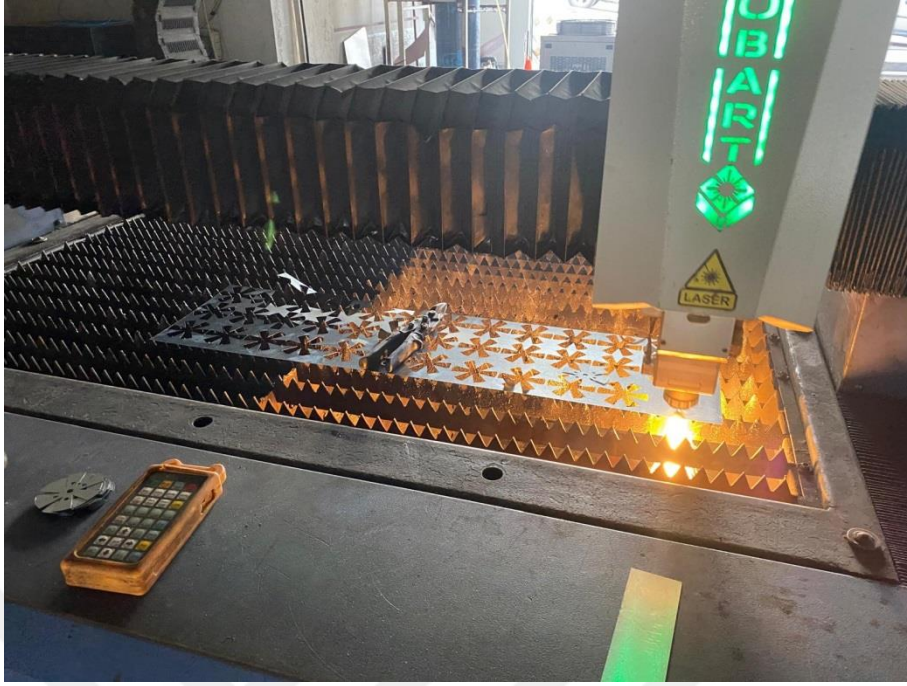
Çevre Dostu: Çinko kaplama, geri dönüştürülebilir bir malzemedir ve çevre dostu bir seçenektir.

Galvaniz levhaların birçok endüstriyel ve inşaat alanında yaygın olarak kullanımı vardır. Bunlar arasında çatı kaplama, duvar kaplama, çitler, boru hatları, su deposu, araç parçaları ve birçok endüstriyel ekipman bulunmaktadır.

4.3.8. Deneyde kullanılacak türbülötör şekilleri ve dizilimi

Türbülötör dizilimi, bir akışkanın bir boru veya kanal boyunca akışını iyileştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Türbülötörler, akışkanın türbülansını artırarak akışın kararlılığını ve hızını artırır. Bu, boru içindeki akışkanın daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlar ve taşıma kapasitesini artırır.

Türbülötör kanatçıklarının üretimi Şekil 4.11'deki gibi olmuştur.

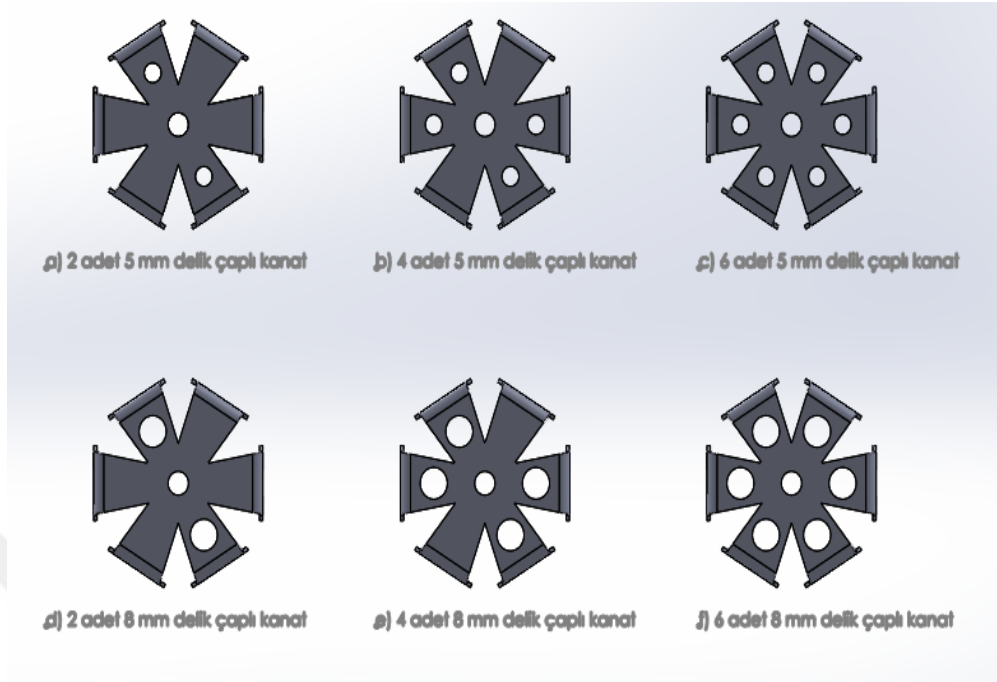


Şekil 4.11. CNC kanatçık tasarımı

Galvanizli levhaların deney setinde kullanılmak üzere CNC makinesi ile üretilmesi, en yüksek hassasiyetle gerçekleştirilen bir süreçtir. Bu süreçte, galvaniz kaplı çelik levhalar, CNC teknolojisinin sunduğu üstün kesme ve şekillendirme olanakları sayesinde, kusursuz bir geometri ve mükemmel yüzey kalitesi ile işlenir.

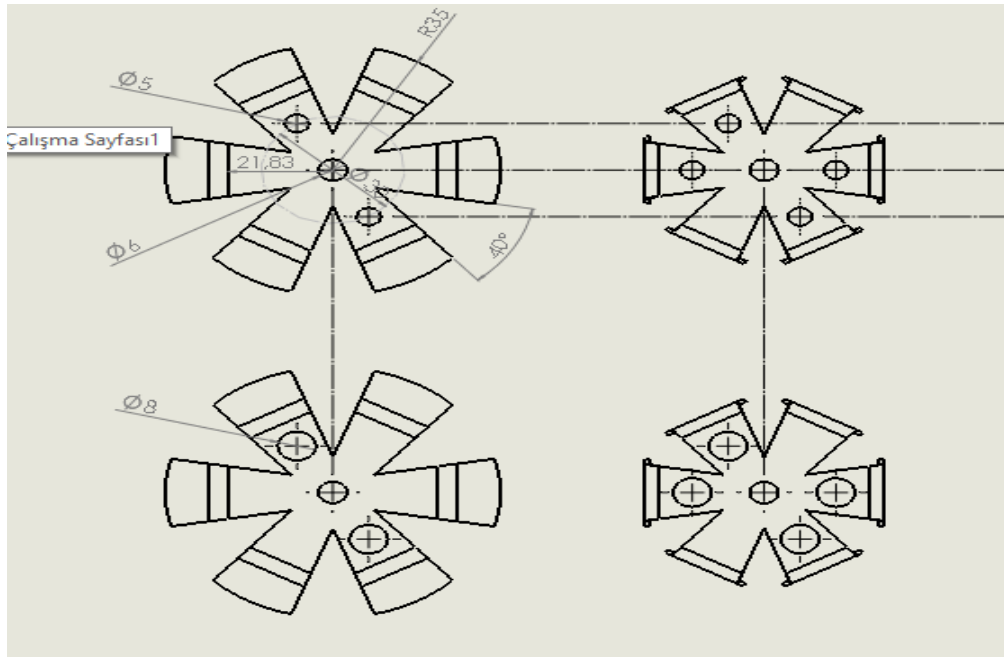
İlk olarak, levhaların CAD çizimleri detaylı bir şekilde hazırlanır. CNC makinesi bu dijital verileri kullanarak, levhaları istenen form ve ölçülerde keser ve işler. Bu noktada, CNC teknolojisinin sağladığı mikrometrik hassasiyet, üretim süreçlerinde insan hatalarını en aza indirirken, her levhanın tasarlanan spesifikasyonlara birebir uygun olmasını sağlar. Kesim işlemi, lazer, plazma ya da su jeti gibi ileri teknoloji yöntemlerle gerçekleştirilir, bu da levhaların kenarlarında pürüzsüz bir bitiş elde edilmesini temin eder. Galvanizli levhaların işlenmesi sırasında, malzemenin korozyona dayanıklı yapısı korunur ve CNC'nin soğutma sistemleri sayesinde yüzey deformasyonları engellenir. CNC'nin bilgisayar kontrollü hareket mekanizmaları, her detayı titizlikle işlerken, levhaların geometrik bütünlüğünü korur. Böylece, deney setlerinde kullanılacak bu levhalar, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve estetik görünüm açısından ideal bir yapı elemanı olarak öne çıkar. Bu titizlikle yürütülen üretim süreci, galvaniz kaplamanın çevresel etkilere dayanıklılığı ile birleştiğinde, hem uzun ömürlü hem de yüksek performanslı ürünlerin ortaya çıkmasını sağlar.

Şekil 4.12’de deneyde kullanılacak türbülátör şekilleri ve teknik çizimleri yer almıştır.



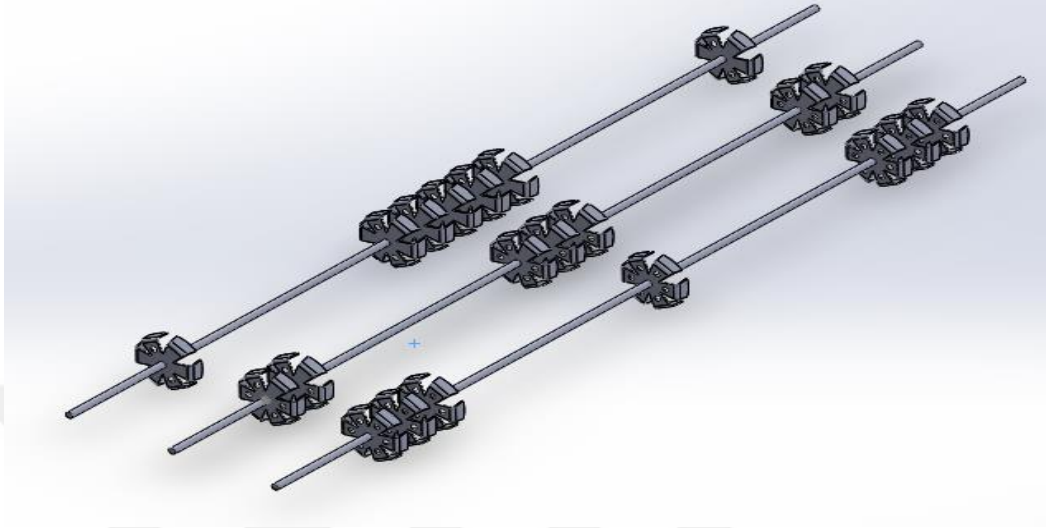
Şekil 4.12. Türbülátör tasarım şekilleri

Görüldüğü üzere 6 çeşit türbülátör kullanılmıştır. 6 kanatlı tasarlanan türbülátörlerde iki farklı çaptaki delik sistemi kullanılmıştır. 5 ve 8 mm olarak delik çapları uygun görülmüş ve delik sayıları 2,4 ve 6 olarak tasarlanmıştır.



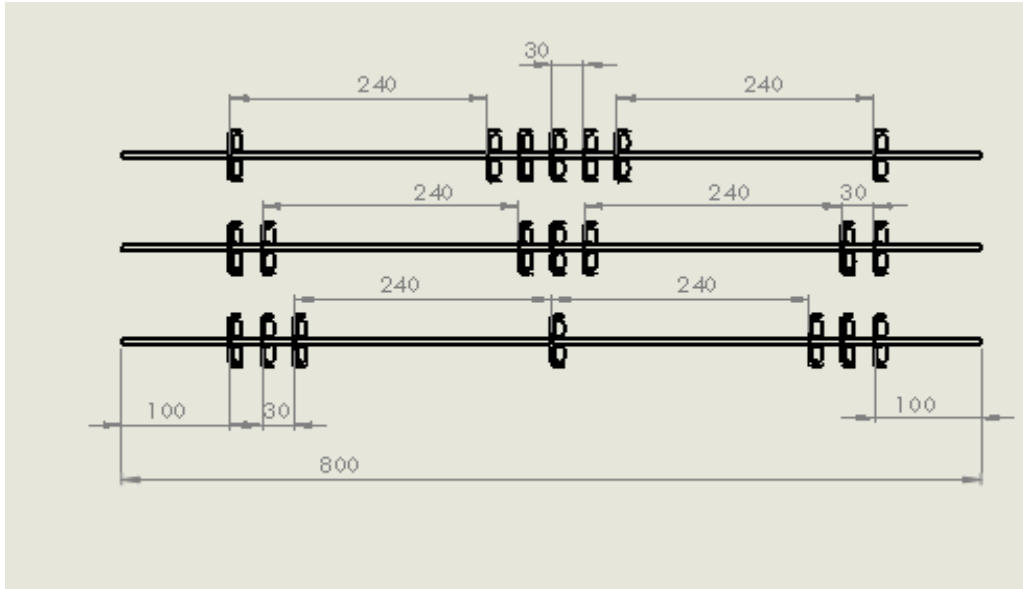
Şekil 4.13. Türbülátör kanatçık teknik resim

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere türbülator tasarım detayları yer almaktadır. Uçları bükülü olarak tasarlanan kanatların amacı temas yüzeyini artırarak ısı transferi verimliliğini yükseltmektir. Türbülator uçları bükülmeden önceki çap 70 mm’dir. Büküldükten sonraki çap ise 50 mm olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.14. Türbülator kanat dizilimi

Türbülator dizilimi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te görüldüğü gibi 3 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Amaç farklı dizilişlerdeki kanatçık yapılarının ısı transferi ve basınç değişimine gösterdiği reaksiyonu ortaya koymaktır.



Şekil 4.15. Türbülator kanatçık yerleşim mesafeleri

Türbülatorlerin farklı yerleşim şekilleri, akışkanın boru içindeki hareketini değiştirir. Örneğin, türbülatorlerin düzenli aralıklarla yerleştirilmesi, akışkanın daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Bu da ısı transferini artırır çünkü homojen bir akış, boru yüzeyi ile akışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltır. Ayrıca, türbülatorlerin çeşitli şekillerde yerleştirilmesi, akışkanın boru duvarlarına temasını artırarak ısı transferini artırabilir. Sonuç olarak, türbülatorlerin doğru yerleşim şekli seçilerek akışkanın hareketi optimize edilebilir ve ısı transferi verimliliği artırılabilir. Bu nedenle, türbülatorlerin doğru yerleşim şeklinin seçilmesi, birçok endüstriyel uygulamada önemlidir ve daha etkili ısı transferi sağlar.



5. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Türbülantörlerin etkin bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için Nusselt ve Reynolds sayıları gibi hesaplamaların dikkatlice yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalar, enerji verimliliği sağlamanın yanı sıra, proseslerin güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini de artırır.

5.1. Reynold Sayısının Tanımı

Reynolds sayısı (Re), bir akışın karakteristik boyu, akış hızı ve akışkanın viskozitesi arasındaki ilişkiyi ifade eden boyutsuz bir sayıdır. Bu sayı, bir akışın laminar mı yoksa türbülanslı mı olduğunu belirlemek için kullanılır. Laminar akış, düzenli ve tabaka tabaka akışı ifade ederken, türbülanslı akış ise rastgele ve karmaşık bir akışı ifade eder.

Reynold Sayısının Formülü:

Reynolds sayısı, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Re = \frac{(\text{Karakteristik Boy} * \text{Akış Hızı} * \text{yoğunluk})}{\text{Akışkanın Dinamik Viskozitesi}} \quad (5.1)$$

Kullanılan Değişkenler:

Re: Reynolds sayısı (boyutsuz)

Karakteristik Boy (L): Akışın özelliklerine bağlı olarak seçilen karakteristik bir boyut (genellikle boru çapı) (metre cinsinden).

Akış Hızı (V): Akışkanın hızı (metre/saniye cinsinden).

Akışkanın Dinamik Viskozitesi (μ): Akışkanın dinamik viskozitesi (kilogram/(metre saniye) veya Pa.s cinsinden).

Reynold Sayısının Yorumlanması:

Re < 2000: Akış laminar olarak kabul edilir.

2000 < Re < 4000: Akış, laminar ve türbülanslı arasında geçiş döneminde olabilir.

Re > 4000: Akış türbülanslıdır.

Örnek Hesaplama:

Bir boruda su akışını ele alalım:

Boru çapı (D): 0.1 metre

Akış hızı (V): 1 metre/saniye

Su dinamik viskozitesi (μ): 10^{-3} kg/(m.s)

Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{(1*0,1)}{10^{-3}} \quad (5.2)$$

$$= 1000$$

Bu değer, 2000'in altında olduğu için akış laminar olarak kabul edilir.

Akışın Türünün Belirlenmesi:

Reynolds sayısının belirli değer aralıklarındaki sonuçlarına göre:

$Re < 2000$: Laminar akış

$2000 < Re < 4000$: Geçiş dönemi

$Re > 4000$: Türbülanslı akış

Reynolds sayısı, akışkanın davranışını belirlemek için önemli bir araçtır ve birçok mühendislik ve akışkanlar mekaniği uygulamasında kullanılır.

5.2. Nusselt Sayısının Tanımı

Nusselt sayısı (Nu), bir akışkanın ısı taşınım hızını, akışkanın viskozitesi, yoğunluğu, akışkan hızı ve karakteristik boyu ile ilişkilendiren bir boyutsuz sayıdır.

Nusselt Sayısının Formülü

Nusselt sayısı, genellikle ısı transferi problemlerinde kullanılan akış rejimine ve geometriye bağlı birçok deneysel ve teorik korelasyonla hesaplanır. Bunlardan en yaygın olanı, basit geometriler ve belirli akış rejimleri için belirlenen Nusselt sayısı korelasyonlarıdır.

Genel bir formül olarak Nusselt sayısı şu şekilde ifade edilir:

$$Nu = \frac{h*L}{k} \quad (5.3)$$

$$hm = \frac{\frac{\rho.Vort.\pi.D^2.Cp.(Tç-Tg)}{4}}{\pi.D.L.\Delta Tm} \quad (5.4)$$

ρ : akışkanın yoğunluğu

Vort: Akışkanın ortalama geçiş hızı

Cp : Sabit basınç özgül ısısını

$Tç$: Akışkanın sistemden çıkış sıcaklığını (°C)

T_g: Akışkanın sisteme giriş sıcaklığını (°C)

L: Karakteristik uzunluğu (m)

D: Boru iç çapı (m)

ΔT_m: Logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır.

T_y: Boru yüzey sıcaklığı (°C)

Burada:

Nu: Nusselt sayısı (boyutsuz).

h: Isı transfer katsayısı (W/(m²·K)).

L: Karakteristik boy (genellikle yüzey uzunluğu) (m).

k: Akışkanın termal iletkenliği (W/(m·K)).

Kullanılan Değişkenler:

h: Isı transfer katsayısı, genellikle deneysel veya teorik olarak belirlenir. Birimleri W/(m²·K) cinsindendir.

L: Karakteristik boy, genellikle ısı transferi yüzeyinin uzunluğudur (metre cinsinden).

k: Akışkanın termal iletkenliği (metre cinsinden).

Nusselt Sayısının Yorumlanması

Nusselt sayısı, belirli bir akış rejimi ve geometri için belirlenen korelasyonlara göre hesaplanır. Yorumlamak için, Nusselt sayısının büyüklüğü, ısı transferinin karakterini belirler.

Zorlanmış konveksiyon için Dittus-Boelter bağıntısı

$$Nu = (0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}) \quad (5.5)$$

Prandtl sayısı (Pr), bir akışkanın viskozitesinin ısı iletkenliğe oranını ifade eden bir sayıdır. Prandtl sayısı, genellikle ısı transferi ve akışkan dinamiği problemlerinde kullanılır.

Formülü şu şekildedir: $Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k}$ (5.6)

μ= Dinamik viskozite (kg/m·s),

C_p=Sabit basınçtaki özgül ısı (J/kg·K),

k=Isıl iletkenlik (W/m·K).

Prandtl sayısı, akışkanın ısı iletimi ve momentum transferinin birbirine nasıl bağlı olduğunu gösterir. Prandtl sayısı küçükse (Pr < 1), akışkanın ısı iletkenliği daha yüksek, büyükse (Pr > 1), viskozitesi daha yüksek demektir. Genellikle hava ve su gibi akışkanlar için Prandtl sayısı yaklaşık 0,7 ile 7 arasında değişir.

Nu < 3: Isı transferi genellikle laminar akış rejimindedir.

$3 < Nu < 100$: Geçiş rejimi (laminar ve türbülans akış arasındaki geçiş).

$Nu > 100$: Isı transferi genellikle türbülans akış rejimindedir.

Örnek Hesaplama

Bir boru içindeki akışın ısı transferini ele alalım:

Boru çapı (D): 0.05 m

Boru uzunluğu (L): 2 m

Akışkanın termal iletkenliği (k): 0.6 W/(m·K)

Akış hızı (V): 2 m/s

Isı transfer katsayısı (h): 30 W/(m²·K)

Nusselt sayısı:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = \frac{30 \cdot 0,05}{0,6} = 2,5 \quad (5.7)$$

Bu değer $Nu < 3$ olduğundan, ısı transferi genellikle laminar akış rejimindedir.

Nusselt sayısını kullanarak ısı transfer katsayısını hesaplayabiliriz:

$$h = Nu \times k / D = 2,5 \times 0,6 / 0,05 = 30 \text{ W/(m}^2\text{·K)} \quad (5.8)$$

Tablo 5.1. Hava Sıcaklığına Göre Çeşitli Parametreler

Sıcaklık(°C)	Yoğunluk(kg/m ³)	Dinamik Viskozite(Pa.s)	Prandtl Sayısı	Termal iletkenlik(W/M.K)
0	1,293	1,78 x 10 ⁻⁵	0,71	0,0257
10	1,247	1,81 x 10 ⁻⁵	0,71	0,0259
20	1,204	1,81 x 10 ⁻⁵	0,71	0,0263
30	1,164	1,83 x 10 ⁻⁵	0,71	0,0267
40	1,125	1,85 x 10 ⁻⁵	0,71	0,0270
50	1,088	1,87 x 10 ⁻⁵	0,70	0,0273
60	1,053	1,87 x 10 ⁻⁵	0,70	0,0276
70	1,019	1,89 x 10 ⁻⁵	0,70	0,0279
80	0,987	1,91 x 10 ⁻⁵	0,70	0,0282
90	0,956	1,93 x 10 ⁻⁵	0,69	0,0285

Tablo 5.1’de, hava sıcaklığına göre yoğunluk, dinamik viskozite, Prandtl sayısı ve termal iletkenlik için bir tablo örneği bulunmaktadır. Bu değerler, genel olarak hava için ortalama kabul edilen verilere dayanmaktadır.

5.3. Sürtünme Katsayısı Hesabı

5.3.1. Laminer akış için sürtünme katsayısı: Laminer akış durumunda sürtünme katsayısı Moody diyagramından veya şu formülden hesaplanabilir.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5.9)$$

5.3.2. Türbülanslı akış için sürtünme katsayısı: Türbülanslı akış durumunda ise daha karmaşık formüller veya Moody diyagramı kullanılır. Türbülanslı akışlarda kullanılan yaygın formüllerden biri Colebrook denklemidir:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (5.10)$$

Burada:

ϵ : Boru yüzeyinin pürüzlülüğü (m),

D: Borunun iç çapı (m).

Bu denklem doğrusal olmayan bir denklemdir ve iteratif yöntemler (örneğin Newton-Raphson yöntemi) ile çözülmesi gerekir. Türbülanslı akışlarda borunun iç yüzeyinde kullanılan türbülatorler, boru pürüzlülüğünü artırır ve Colebrook denklemi veya Moody diyagramı ile bu pürüzlülük de hesaba katılabilir.

5.3.3. Basınç farkını hesaplamak

Sürtünme katsayısını bulduktan sonra, basınç farkı (ΔP) şu formül ile hesaplanır:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \quad (5.11)$$

Burada:

L: Boru uzunluğu (m),

D: Borunun iç çapı (m),

ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m³),

V: Ortalama akış hızı (m/s).

Bu formülde, f değeri sürtünme katsayısıdır ve laminar ya da türbülanslı akış durumuna göre farklı yöntemlerle hesaplanır.

Türbülatorlerin boru içindeki akışkanın hız ve yönünü değiştirdiği, dolayısıyla türbülansı artırdığı unutulmamalıdır. Türbülatorler kullanıldığında:

- Basınç kayıpları artar çünkü sürtünme katsayısı daha yüksek olur.
- Türbülatorlerin yarattığı ek pürüzlülük Colebrook denklemi veya doğrudan deneysel katsayılar kullanılarak hesaba katılabilir.

Türbülatorlerin etkisini içeren daha hassas analizler için deneysel verilere veya literatürden alınan özel katsayılarla ihtiyaç olabilir. Türbülatorlü borular için sürtünme katsayısı f doğrudan bu katsayılardan elde edilebilir veya deneysel ölçümler yapılabilir.

5.4. Belirsizlik Hesabı

Belirsizlik hesabı, ölçülen veya hesaplanan bir değerin ne kadar kesin olduğunu veya tahmin edilen değerin olası hata sınırlarını belirlemek için yapılır. Bu hesaplamalar, deneylerde elde edilen verilerin doğruluğunu değerlendirmek için önemlidir. İşte belirsizlik hesabının adımları ve temel prensipleri

5.4.1. Tek ölçüm belirsizliği (Tekrar Edilebilirlik)

Bir cihazla yapılan tek bir ölçümün belirsizliği, genellikle cihazın hata payı veya ölçüm hassasiyetine göre belirlenir. Örneğin, bir cetvelin hassasiyeti $\pm 0,5$ mm ise, bu değer ölçümün belirsizliğidir.

5.4.2. Ortalama ve standart sapma ile belirsizlik hesabı

Birden fazla ölçüm yapılmışsa, belirsizliği hesaplamak için ortalama ve standart sapma kullanılır.

Ortalama Hesaplama

Bir dizi ölçüm verisinin ortalaması $\bar{X}$, tüm ölçümlerin toplamının ölçüm sayısına bölünmesiyle hesaplanır:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (5.12)$$

Burada:

- X_i : Her bir ölçüm değeri,
- N : Toplam ölçüm sayısı.

Standart Sapma Hesaplama;

Standart sapma, ölçüm değerlerinin ortalamadan sapma miktarını belirler ve belirsizliği ölçmek için kullanılır. Standart sapma σ şöyle hesaplanır:

$$\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (5.13)$$

Burada $N-1$ ifadesi, düzeltme terimi olarak bilinir ve örneklem sayısının az olduğu durumlarda istatistiksel doğruluğu artırır.

5.4.3. Ortalama belirsizliği (Standart Hata)

Bir dizi ölçümün ortalamasının belirsizliği, **standart hata** olarak adlandırılır ve şöyle hesaplanır

$$\text{Standart Hata} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (5.14)$$

Bu değer, ölçüm grubunun genel belirsizliğini verir. Eğer hesaplanan veya ölçülen büyüklük, birden fazla bağımsız değişkene bağlıysa, birleşik belirsizlik, her bir bileşenin ayrı ayrı hesaplanması ve toplanması ile elde edilir.

Bir fonksiyon $R=f(A,B,C,\dots)$ olsun ve her bir değişkenin belirsizliği $u(A), u(B), u(C)$ olarak bilinsin. Fonksiyonun belirsizliği, kök toplam kare yöntemi ile hesaplanır:

$$u = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial R}{\partial A}\right) u(A)\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial R}{\partial B}\right) u(B)\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial R}{\partial C}\right) u(C)\right)^2 + \dots} \quad (5.15)$$

Burada:

- $\partial A/\partial R$: Değişkenlerden her birinin kısmi türevi,
- $u(A)$: Değişkenlerin belirsizliği.

Bu yöntem, hata yayılımı olarak bilinir ve çoklu değişkenlerin etkisini hesaba katar.

5.4.4. Görelî belirsizlik

Görelî belirsizlik, mutlak belirsizliğin ölçüm değerine oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir:

$$\text{Görelî Belirsizlik} = \frac{u(R)}{R} * 100\% \quad (5.16)$$

Bu, ölçümdeki belirsizliğin oransal etkisini gösterir.



6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

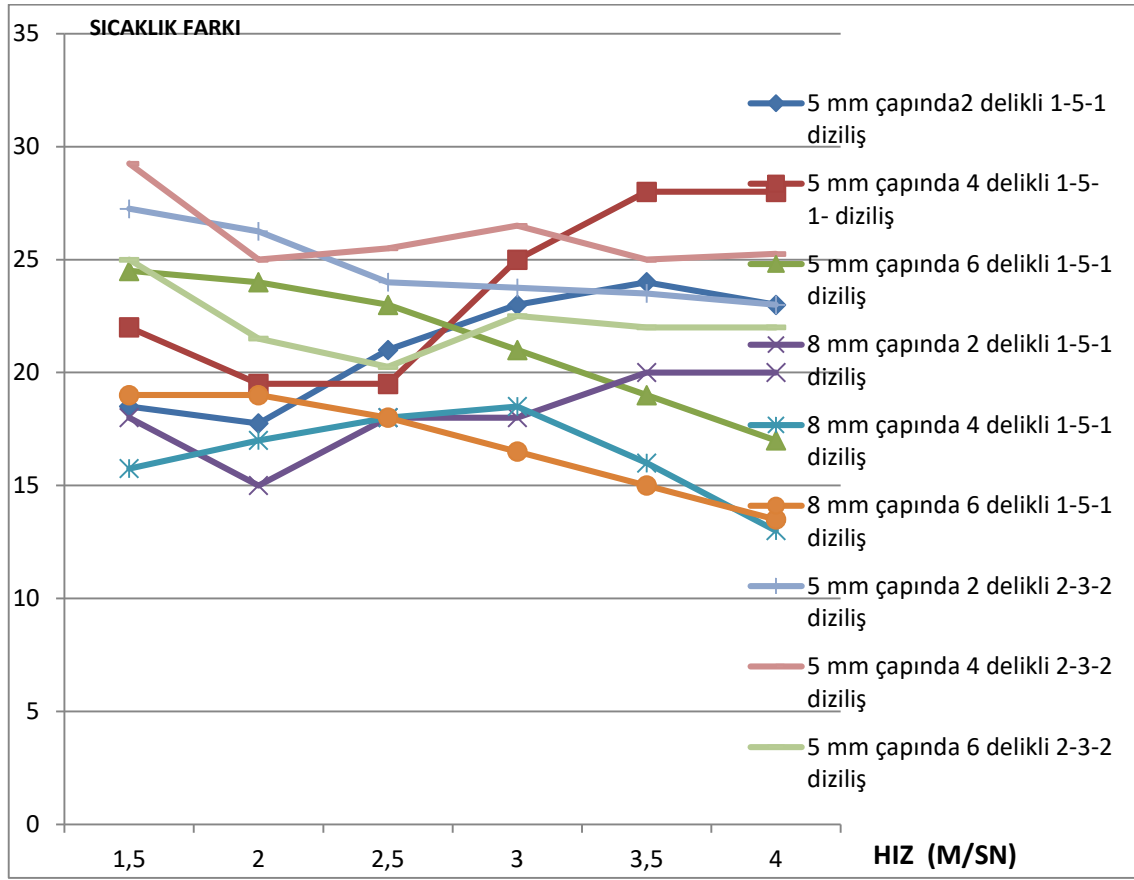
Deney setinde, galvaniz sac ve paslanmaz çelik malzemeden imal edilen türbülatorler kullanılarak, ısı transfer performansını optimize etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, 1000 mm uzunluğunda ve 60 mm çapında bir bakır boru içerisine özel olarak tasarlanan türbülatorler yerleştirilmiş, bu sayede akışkanın boru içindeki hareketi düzenlenerek ısı transferi etkinliği artırılmaya çalışılmıştır. Deney sürecinde, 98°C sıcaklığındaki buhar, türbülatorlerin içinden geçirilmiş ve buharın taşıdığı ısınnın boru iç yüzeyine daha etkili bir şekilde aktarılması sağlanmıştır. Aynı zamanda, deney düzeneği çevresine yerleştirilen bir fan yardımıyla dış ortam havası, kontrollü bir şekilde türbülatorlere yönlendirilmiştir. Fanın ürettiği hava akımı, türbülatorlerin yüzeyine çarparak sıcaklık farkını artırmış ve böylelikle ısı transferinin verimliliğinde önemli bir artış hedeflenmiştir. Bu dikkatlice planlanan deneylerde, türbülatorlerin geometrik tasarımının, malzeme seçiminin ve hava akımının etkisi titizlikle incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler detaylı hesaplamalarla analiz edilmiş, sonuçlar grafiksel olarak görselleştirilmiştir. Sonuçlar, kullanılan türbülatorlerin ısı transfer verimliliğini anlamlı bir şekilde artırdığını göstermektedir. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalarda enerji verimliliğinin iyileştirilmesi açısından önemli bulgular sunmuştur.

6.1. Türbülatorlerin Deneysel Performans Grafikleri

Deneylerde, türbülatorlerin performansını değerlendirmek amacıyla, farklı diziliş şekilleri ve delik çaplarına sahip çeşitli varyasyonlar denenmiştir. Bu varyasyonlar, ısı transfer verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymak için dikkatlice tasarlanmış ve uygulanmıştır. Farklı dizilimlerin ve delik çaplarının türbülans oluşturarak akışkan davranışını nasıl etkilediği, deney sonuçları ile ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, her bir varyasyonun ısı transfer performansını nasıl değiştirdiğini göstermek amacıyla grafiksel olarak sunulmuştur. Bu grafikler, türbülator dizilim şekilleri ve delik çaplarındaki değişimlerin ısı transferi üzerindeki etkilerini görsel olarak karşılaştırma imkânı sunarak, en uygun tasarımın seçimine rehberlik etmiştir.

6.2. Türbülötörlerin Diziliş Şekillerine Göre Performans Değerleri

Türbülötörlerin diziliş şekilleri, akışkanın boru içerisindeki hareketini ve dolayısıyla ısı transferini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Farklı dizilim şekilleri, akışkanın türbülans seviyesini artırarak boru yüzeyine daha yoğun bir şekilde temas etmesini sağlar. Bu nedenle, türbülötörlerin performansı, diziliş şekline bağlı olarak önemli ölçüde değişir ve her uygulamada optimum verimi sağlayacak dizilim dikkatlice seçilmelidir.



Şekil 6.1. Sıcaklık farkı-hız grafiği

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 6.1’de görüldüğü üzere, türbülötörlerin farklı şekillerinin iç borunun giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık farkları arasında belirgin bir düzensizlik gözlemlenmiştir. Bu düzensizlik, türbülötörlerin şekli, yerleşim düzeni, boru içindeki akışkanın hız ve yönü gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Türbülötörlerin amacı, akışkanın iç boru boyunca daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktır; ancak bazı deneylerde, türbülötörlerin tasarımı ve yerleşimi, beklenen sıcaklık farklarını sağlayamamış ve sıcaklık ölçümlerinde düzensizlikler meydana gelmiştir.

Yukarıda bahsedilen düzensizliklerin ve sıcaklık farklarındaki anormalliklerin ardından, deney düzeneğinde bir dizi değişiklik yapılmıştır. Bu değişikliklerin temel amacı, türbülatorlerin verimliliğini artırmak ve sıcaklık farklarındaki düzensizliği azaltmaktır. Yapılan değişiklikler, türbülatorlerin şekillerinin değiştirilmesi ve deney düzeneğinde iyileştirmeler yapılması ile başlamıştır.

6.2.1. Deney düzeneğinde yapılan değişiklikler



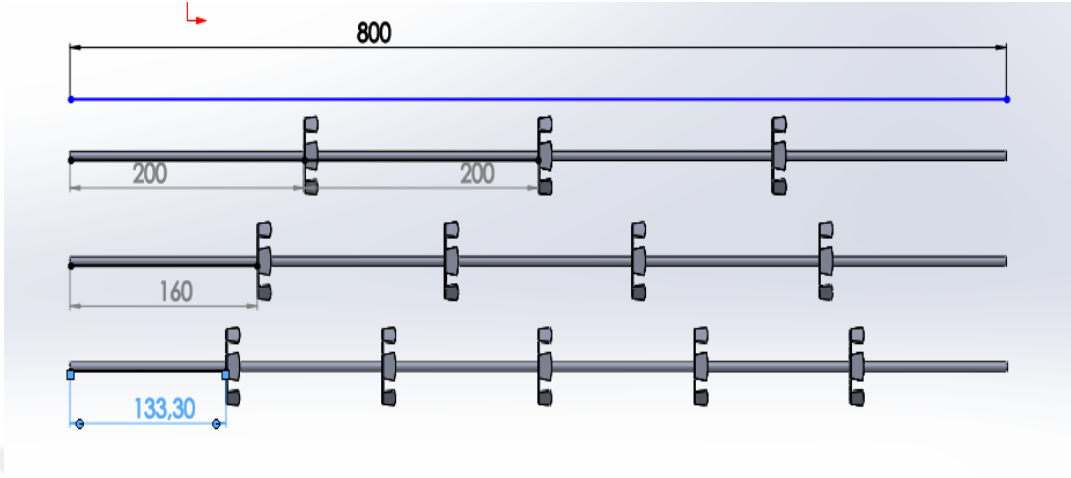
Şekil 6.2. Kanatçık tasarımı



Şekil 6.3. Bükülü kanatçık tasarımı

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görüldüğü gibi kanatçık delik çapı olarak 8 mm standart çap kullanılmıştır. İlk deney düzeneğinde kullanılan kanatçık ölçüleri bu deneyde aynen

geçerli olup, delik sayıları 6-4-2 olarak tasarlanmış ve 2 adet kanatçık uçları bükülü olarak şekillendirilmiştir. Buradaki amaç hava akışının daha düzgün bir biçimde türbülanslı olarak hareket etmesini sağlamaktır.



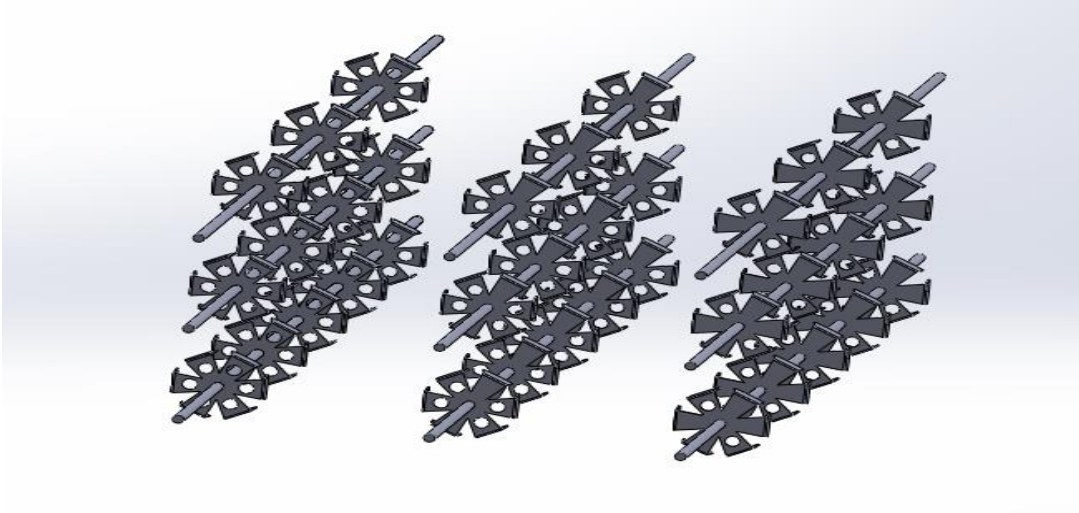
Şekil 6.4. Türbülator diziliş

Türbülator dizilişi, akışkanın iç boru boyunca türbülans oluşturacak şekilde yerleştirilen düzeneklerin düzenidir ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Türbülatorler, akışkanın hızını artırarak ve yönünü değiştirerek, ısı transferini iyileştirmek amacıyla kullanılır. Dizilişin amacı, akışkanın her bölgede eşit şekilde türbülans oluşturmalarını sağlamak ve böylece ısı transferinin verimliliğini artırmaktır. Türbülatorler genellikle belirli bir mesafe aralığında ve doğru açılarla yerleştirilerek, akışkanın verimli bir şekilde hareket etmesi sağlanır.

Görüldüğü üzere türbülator diziliş aralıkları farklılaştırılmıştır. Aralıklar 200 mm-160mm-133,3 mm eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Ayrıca sayıları 3-4-5 şeklinde revize edilmiştir.



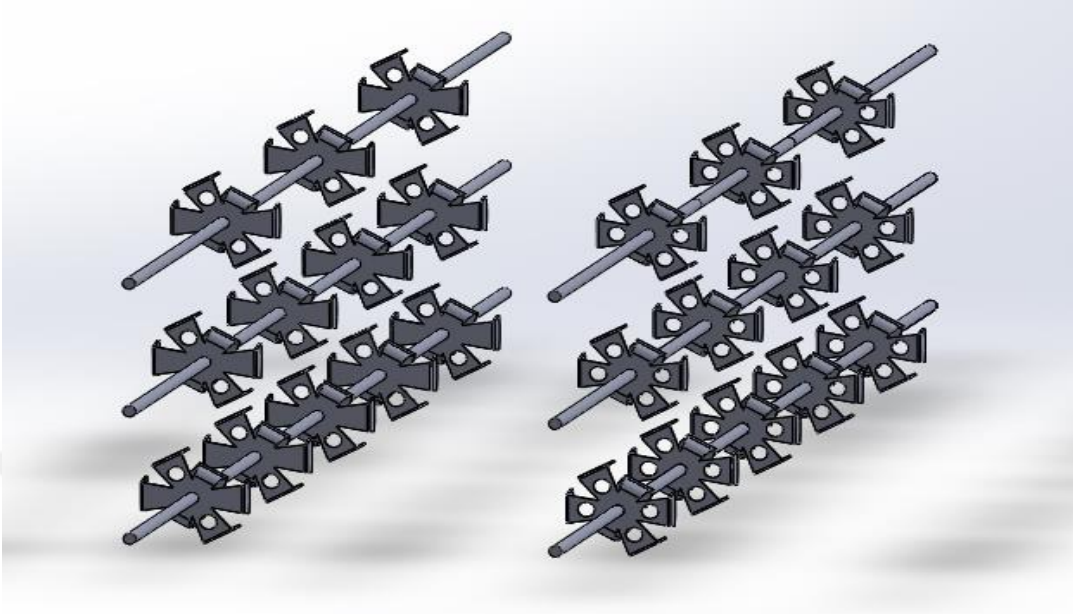
Şekil 6.5 Türbülator dizilim



Şekil 6.6. Tasarlanan türbülator şekilleri

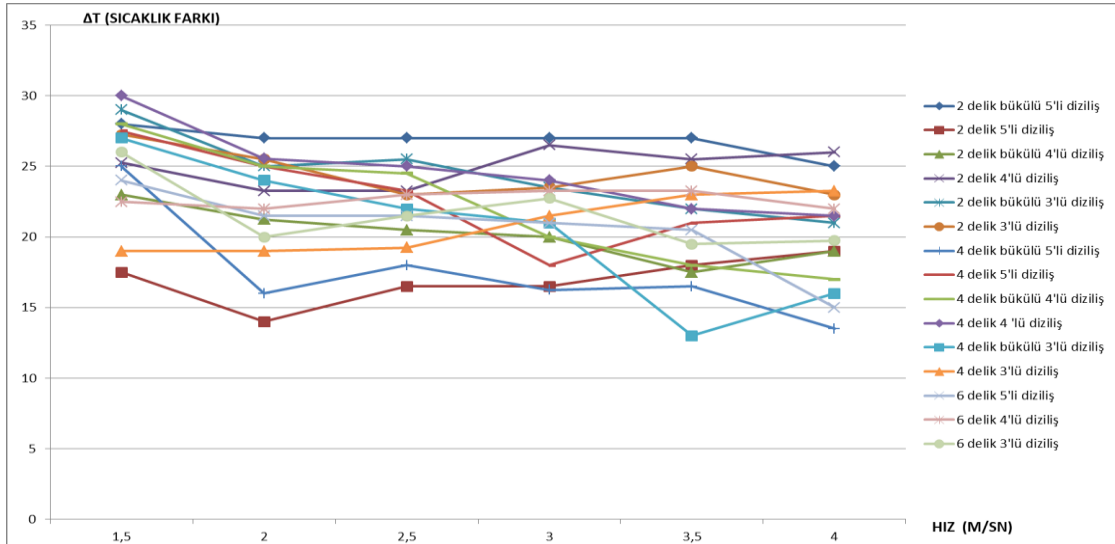
Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da deneyde kullanılan kanatçıkların dizimleri yer almaktadır. Doğru dizilim, akışın daha homojen hale gelmesini sağlayarak sıcaklık farklarını azaltır ve enerji transferini artırır. Ayrıca, akışı yönlendirme ve basınç kaybını minimize etme yeteneği, sistemin genel performansını ve enerji verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir. Yanlış dizilim ise akışkanın düzgün bir şekilde dağılmasını engelleyebilir, bu da verimsiz ısı transfer ve daha yüksek işletme maliyetlerine yol

açabilir. Kısacası, türbülator dizilimi, sistemin verimliliği ve performansı üzerinde doğrudan etki yapar.



Şekil 6.7. Bükülü kanatçık türbülator yerleşim şekilleri

Yapılan deneylerde Sıcaklık-hız, Reynold-hız, Nusselt-hız değerleri aşağıdaki Şekil6.8, Şekil6.9 ve Şekil6.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Sıcaklık farkı-hız grafiği

Sıcaklık Farkı-Hız grafiğine göre 1,5 m/sn hızlarda en yüksek Δt 4 delik 4'lü diziliş tip türbülátörde gerçekleşmektedir. 2-2,5-3-3,5 m/sn hızlarda en yüksek Δt 2 delik bükülü 5 'li diziliş tip türbülátörde gerçekleşmektedir. 4 m/s de ise 2 delik 4 lü diziliş tip türbülátör en yüksek Δt sağlamaktadır.

Tablo 6.1 Reynold-hız değerleri

	1,5(m/sn)	2(m/sn)	2,5(m/sn)	3(m/sn)	3,5(m/sn)	4(m/sn)
6 Delik 3' lü Diziliş	4611,57	6330,51	7953,19	9690,52	11472,05	13247,58
6 Delik 4'lü Diziliş	4611,57	6267,23	7953,19	9641,2	11472,05	13178,95
6 Delik 5'li Diziliş	4588,89	6235,98	7913,14	9592,31	11305,6	13247,58
4 Delik 3'lü Diziliş	4588,89	6205	7953,19	9592,31	11305,6	13110,92
4 Delik 4'lü Diziliş	4653,75	6298,73	7953,19	9641,2	11413,04	13178,95
4 Delik 5'li Diziliş	4676,99	6330,51	8034,43	9833,19	11531,58	13247,58
4 Delik Bükülü 3'lü Diziliş	4700,42	6330,51	7953,19	9690,52	11652,21	13316,81
4 Delik Bükülü 4'lü Diziliş	4653,75	6298,73	7993,59	9782,61	11531,58	13316,81
4 Delik Bükülü 5'li Diziliş	4747,88	6521,74	8152,17	9935,68	11591,63	13457,14
2 Delik 3'lü Diziliş	4544,08	6088,52	7834,03	9592,31	11413,04	13110,92
2 Delik 4'lü Diziliş	4544,08	6118,52	7834,03	9543,83	11248,07	12920,69
2 Delik 5'li Diziliş	4700,42	6362,55	8034,33	9833,19	11531,58	13247,58
2 Delik Bükülü 3'lü Diziliş	4588,89	6267,23	7913,14	9641,2	11305,6	13178,95
2 Delik Bükülü 4'lü Diziliş	4544	6118,52	7953,19	9641,2	11531,58	13247,58
2 Delik Bükülü 5'li Diziliş	4521,95	6088,52	7794,98	9495,76	11191,03	12920,69
Boş Boru	4566,39	6148,76	7756,25	9400,84	11022,78	12725,11

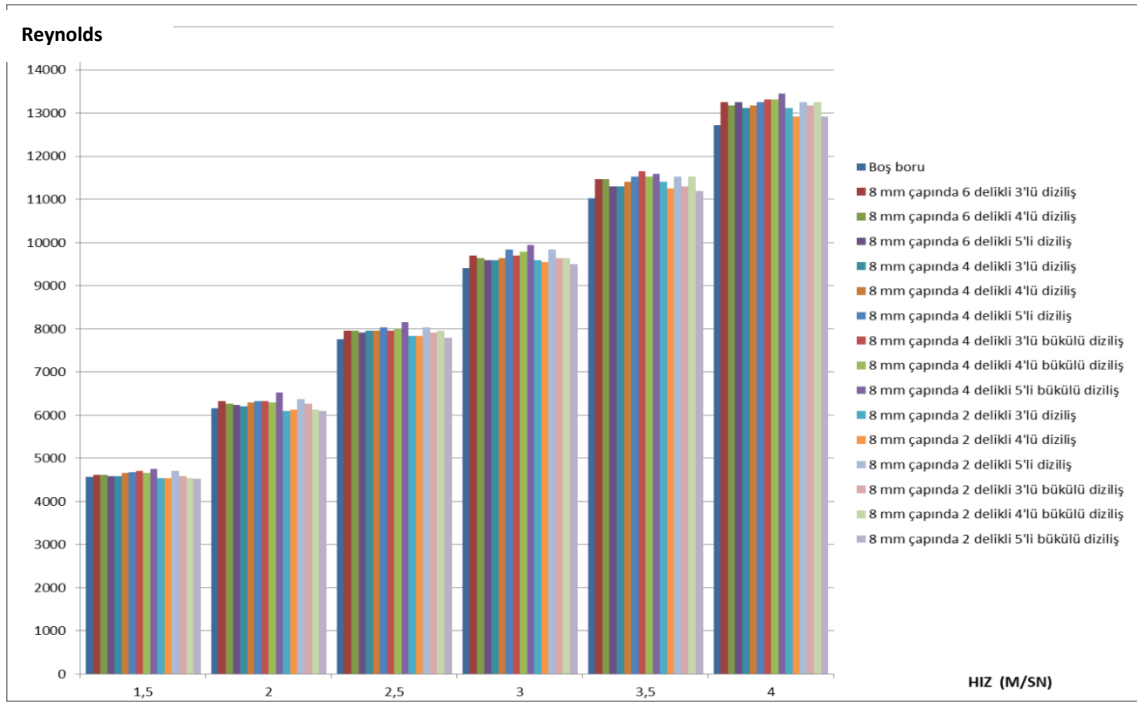
Tablo 6.1'de farklı çap ve delik dizilişlerine sahip türbülátörler için elde edilen Reynolds sayıları yer almaktadır. Hız arttıkça Reynolds sayısı da artmaktadır, bu da daha yüksek hızlarda laminar akımın turbulent akıma dönüşme olasılığının arttığını göstermektedir. Yapılan deneysel incelemelerde 1,5 m/sn hızlarda en yüksek reynold sayılarının "4 delik bükülü 5'li diziliş" türbülátör şekillerinde olduğu gözlemlenmiştir. 2 m/sn hızında en yüksek değerin "4 delik bükülü 5'li diziliş", 2,5 m/sn hızında "4 delik bükülü 5'li diziliş", 3 m/sn hızında "4 delik 5 'li diziliş", 3,5 m/sn hızında "4 delik bükülü 3'lü diziliş", 4 m/sn hızında ise 4 delik bükülü 5'li diziliş" olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.2. Nusselt-hız değerleri

	1,5(m/sn)	2(m/sn)	2,5(m/sn)	3(m/sn)	3,5(m/sn)	4(m/sn)
6 Delik 3' lü Diziliş	16,734	21,671	26,037	30,587	35,078	39,435
6 Delik 4'lü Diziliş	16,734	21,454	26,037	30,432	35,078	39,23
6 Delik 5'li Diziliş	16,651	21,347	25,906	30,279	34,602	39,43
4 Delik 3'lü Diziliş	16,65	21,24	26,037	30,279	34,602	39,033
4 Delik 4'lü Diziliş	16,874	21,562	26,03	30,432	34,899	39,233
4 Delik 5'li Diziliş	16,958	21,671	26,302	31,008	35,258	39,435
4 Delik Bükülü 3'lü Diziliş	17,044	21,671	26,037	30,587	35,622	39,638
4 Delik Bükülü 4'lü Diziliş	16,874	21,562	26,169	30,85	35,258	39,638
4 Delik Bükülü 5'li Diziliş	17,216	22,304	26,663	31,328	35,44	40,05
2 Delik 3'lü Diziliş	16,487	20,857	25,647	30,279	34,899	39,033
2 Delik 4'lü Diziliş	16,487	20,961	25,647	30,126	34,427	38,503
2 Delik 5'li Diziliş	17,044	21,781	26,302	31,008	35,258	39,435
2 Delik Bükülü 3'lü Diziliş	16,651	21,454	25,906	30,432	34,602	39,233
2 Delik Bükülü 4'lü Diziliş	16,487	20,961	26,037	30,432	35,258	39,435
2 Delik Bükülü 5'li Diziliş	16,406	20,857	25,519	29,975	34,253	38,503
Boş Boru	16,56	21,06	25,39	29,67	33,73	37,922

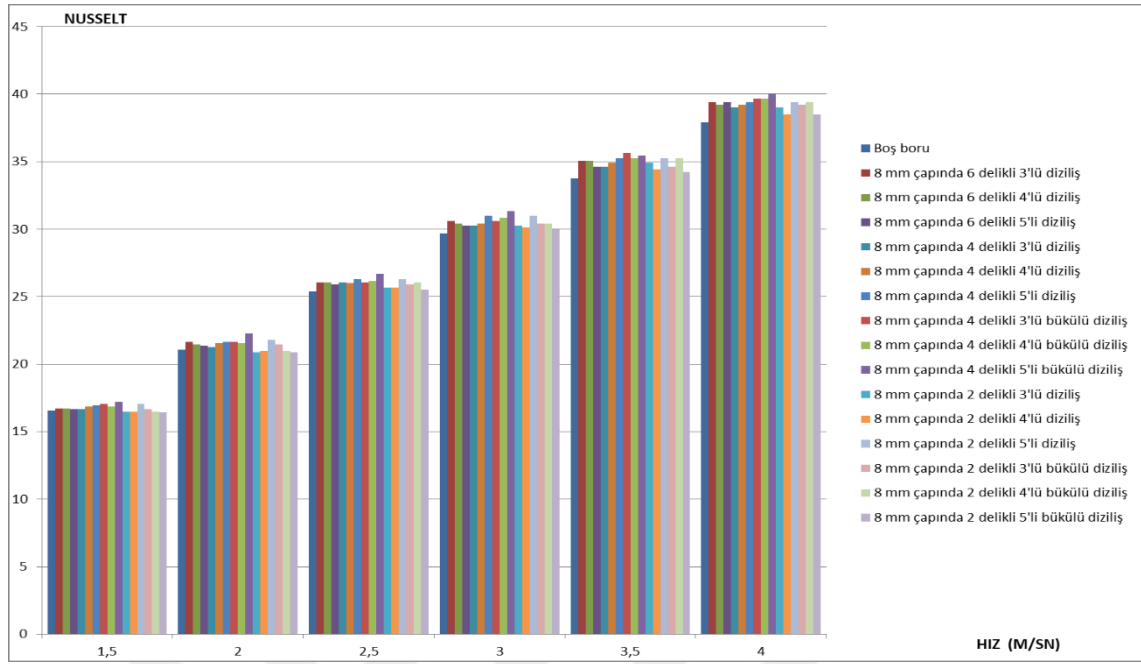
Tablo 6.2’de dikkat çeken nokta, belirli hızlarda farklı dizilişlerin Nusselt sayısı üzerindeki etkileridir. Örneğin, 1,5 m/sn, 2 m/sn, 2,5 m/sn ve 3 m/sn hızlarında "4 delikli bükülü 5'li diziliş" en yüksek Nusselt sayısı değerine sahipken, 3,5 m/sn’de "4 delikli bükülü 3'lü diziliş" öne çıkmaktadır. Ayrıca, 4 m/sn hızında yine "4 delikli bükülü 5'li diziliş" en yüksek değerleri göstermektedir. Bu verilerin analizi, dizilişlerin ve düzeneklerin ısı transferi verimliliğini önemli ölçüde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle "4 delikli bükülü 5'li diziliş" uygulamalarında, yüksek akış hızları ile elde edilen yüksek Nusselt sayıları, ısı transferinin etkin bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

Alınan veriler çerçevesinde Şekil 6,9'da görülen grafikler oluşturulmuştur.



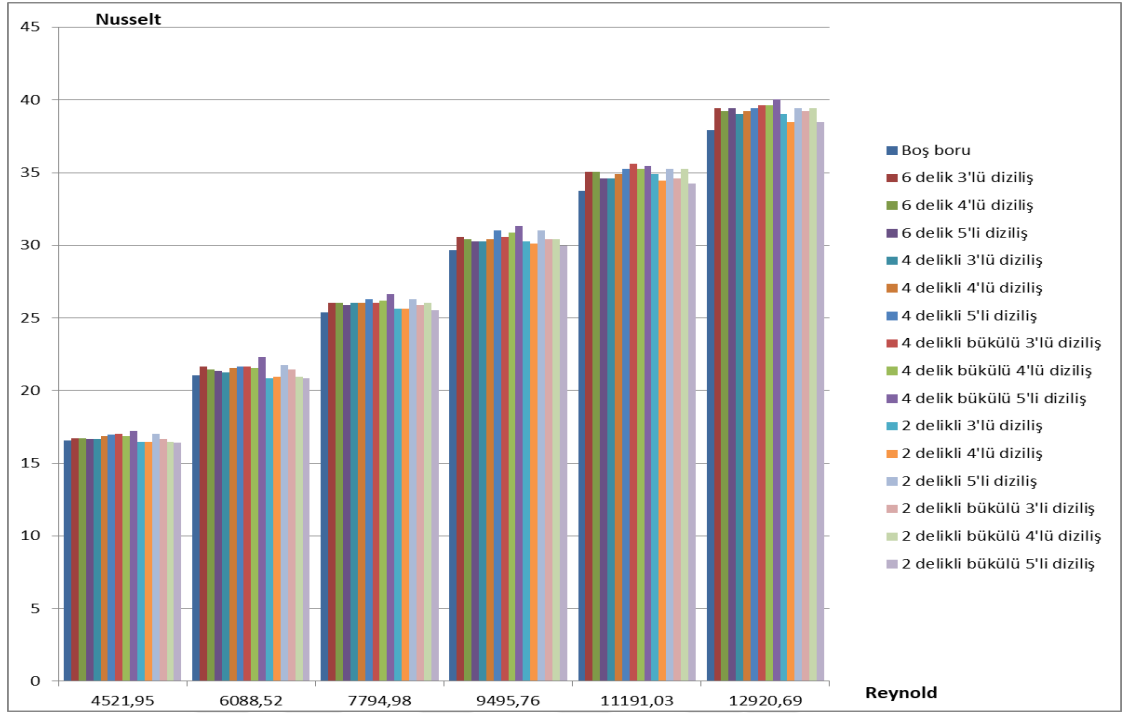
Şekil 6.9. Reynolds-hız değerleri

Şekil 6.9'da Reynolds sayısının (y-ekseni) hız (x-ekseni) ile ilişkisini göstermektedir. Grafikten elde edilen verilere göre, belirli hızlarda farklı türbülör dizilimlerinin Nusselt sayısı üzerindeki etkileri dikkat çekicidir. Örneğin, 1,5 m/sn, 2 m/sn, 2,5 m/sn ve 3 m/sn hızlarında "4 delikli bükülü 5'li diziliş" en yüksek Nusselt sayısı değerlerini sergilemektedir. Ancak, 3,5 m/sn hızında "4 delikli bükülü 3'lü diziliş" öne çıkarken, 4 m/sn hızında yeniden "4 delikli bükülü 5'li diziliş" en yüksek Nusselt sayısına ulaşmaktadır. Bu grafik analizi, türbülör dizilimlerinin ısı transferi verimliliği üzerinde önemli bir etki yarattığını göstermektedir. Özellikle "4 delikli bükülü 5'li diziliş" uygulamalarında yüksek akış hızlarıyla elde edilen yüksek Nusselt sayıları, ısı transferinin etkin bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Görüldüğü üzere, akış hızı ile doğru dizilimlerin kombinasyonu, ısı transfer performansını önemli ölçüde artırmakta ve sistemin verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 6.10. Nusselt-hız değerleri

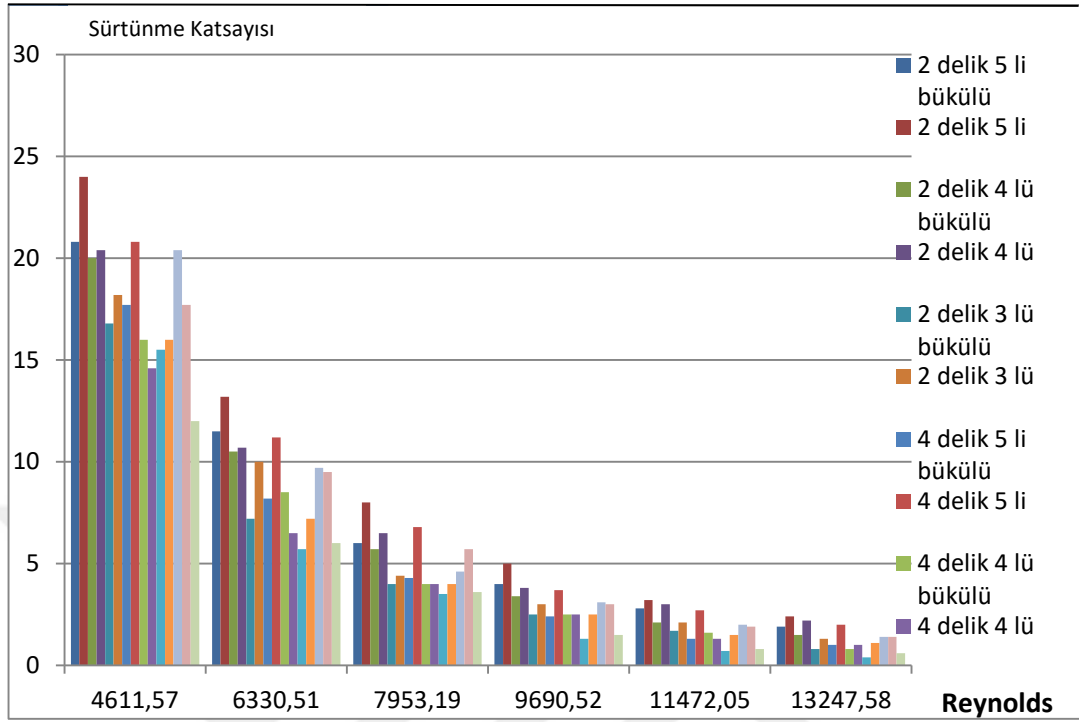
Nusselt sayısı, bir yüzeyden akışkanın sıcaklığına geçen ısı miktarını belirler. Yüksek Nusselt sayıları, daha etkili ısı transferini gösterir. Şekil 6.10'a göre yapılan yorumlara göre, hızın artmasıyla Nusselt sayısının da arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, sıcaklık transferinde akış hızının önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Hız arttıkça, akışkanın yüzeye olan etkileşimi de artar ve bu da ısı transferini hızlandırır.



Şekil 6.11. Nusselt-Reynolds grafiği

Şekil 6.11’de verilere dayanan gözlemlerimiz, Nusselt-Reynolds grafiğinde 4 m/sn hariç tüm hızlarda "4 delikli bükülü 5'li dizilişin" ısı transfer verimliliğinin diğer türbülatorlere göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, söz konusu düzeneklerin akışkan ile yüzey arasındaki etkileşimi artırarak ısı transferini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermektedir. Hız arttıkça, akışın dinamik özellikleri değişir ve bu da ısı transferine etkisini doğrudan yansıtır. "4 delikli bükülü 5'li diziliş", tasarımı itibarıyla akışın daha homojen hale gelmesini sağlamak ve buradaki vorteks ^{Reynolds} sayesinde akışkanın yüzeyle daha güçlü bir etkileşim içinde olmasına olanak tanımaktadır. Bu da, ısı transferinin daha etkin bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olur. Özellikle 1,5 m/sn, 2 m/sn ve 2,5 m/sn hızlarında, "4 delikli bükülü 5'li diziliş"in sağladığı yüksek Nusselt sayısı değerleri, bu dizilişin verimliliğini kanıtlar nitelikte. Bu tür tubulasyonlar, akışkanın hareketli yapısını verimli bir şekilde yönlendirmekte ve ısı transferini hızlandırarak sistemlerin performansını artırmaktadır. Sonuç olarak, "4 delikli bükülü 5'li diziliş", akış hızı arttıkça gösterdiği üstün verimlilik ile dikkate değer bir çözüm sunmaktadır. Bu bulgular, endüstriyel sistemlerin tasarımında enerji verimliliğini ve performansını artırmak için ilham verici bir yol haritası çizmektedir. Verimliliğin artması,

hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 6.12. Sürtünme Katsayısı-Reynolds grafiği

Sürtünme katsayısı, akışkanın türbülantör üzerinden geçişi sırasında meydana gelen enerji kaybını belirlemede yardımcı olur. Yüksek sürtünme katsayıları, akışkanın hareketi sırasında daha fazla enerji kaybına yol açar. Bu, türbülantörlerde sağlanan ısı transferinin etkinliğini olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla, sistem tasarımında sürtünme katsayısını minimize etmek, enerji verimliliğini artırmak açısından önemlidir. Şekil 6.12’de görüldüğü gibi tüm hızlarda 2 delik 5’li diziliş en yüksek sürtünme katsayısı oranına sahipken, yüksek hızlarda en düşük sürtünme katsayısına 4 delikli bükülü 3’lü diziliş tip türbülantör sahiptir. Türbülantörlerde ısı transferinin etkinliği, yüzeyin türbülantlı akışla hızlı bir şekilde etkileşime girmesi ile artar. Sürtünme katsayısının uygun şekilde optimize edilmesi, türbülantlı akışın sağlanmasına ve böylelikle daha yüksek Nusselt sayıları elde edilmesine olanak tanır. Bu da ısı transfer verimliliğini artırır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı türbülator dizilişlerinin ısı transfer verimliliği üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen veriler, akış hızı ile Nusselt sayısı arasındaki ilişkiyi net bir biçimde ortaya koymakta, türbülator tasarımının ısı transferindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Özellikle, 4 delikli bükülü 5'li dizilişin farklı hızlarda gösterdiği performans, bu dizilişin akışkanın yüzeyle etkileşimini artırarak ısı transferini geliştirdiğini göstermektedir.

Isı Transfer Verimliliği

Çalışmada belirlenen en yüksek sıcaklık farkı (Δt) değerleri, hız arttıkça artan Nusselt sayıları ile ilişkili olarak, 1,5 m/sn'den 4 m/sn'ye kadar olan hız aralığında gözlemlenmiştir. Bu aralıkta, 4 delikli bükülü 5'li diziliş ve 2 delikli bükülü 3'lü diziliş gibi farklı dizilişler, belirli hızlarda önemli ölçüde farklı ısı transfer verimliliği sergilemiştir. Özellikle 2,5 m/sn, 3 m/sn hızlarında 4 delikli bükülü 5'li diziliş yüksek Nusselt sayıları ile dikkat çekmekte, bu durum akışkanın daha homojen hale gelmesi ve vorteks oluşumlarının etkisiyle açıklanmaktadır.

Dinamik Özellikler

Akış hızlarının arttıkça, akışın dinamik özelliklerinde meydana gelen değişimler, sürtünme katsayılarının da etkisiyle ısı transferinin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Grafikte görüldüğü üzere, 2 delik 5'li diziliş en yüksek sürtünme katsayısına sahipken, 2 delikli bükülü 3'lü diziliş düşük sürtünme katsayısıyla yüksek verimlilik sağlamaktadır. Bu durum, türbülatorlerdeki tasarım değişikliklerinin ısı transferi üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

Çalışma sonuçları, türbülatorlerin tasarımında alınacak önlemlerle ısı transferinin etkinliğini artırmanın, enerji verimliliği açısından önemli bir katkı sağlayacağını göstermektedir. Daha etkin türbülator tasarımları, endüstriyel süreçlerde enerji tasarrufu

ve maliyet azaltımı sağlarken, çevresel sürdürülebilirliğe de olumlu katkılarda bulunacaktır.

Öneriler

Gelişmiş Tasarım Yaklaşımları: Türbülator tasarımında kullanılan geometrik unsurların ve akışkanların özelliklerinin optimize edilmesi üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Yeni tasarımlar, vorteks oluşumunu ve akışkanın yüzey ile etkileşimini artırarak ısı transfer verimliliğini yükseltebilir.

Modelleme ve Simülasyon: Bilgisayar destekli simülasyonların kullanımı, farklı türbülator dizilişlerinin performansını tahmin etmek ve analiz etmek için önemli bir araç olarak kullanılabilir. CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) teknikleri, akışın daha detaylı incelenmesine olanak tanıyarak, en uygun tasarımı belirlemek adına yol gösterebilir.

Malzeme Gelişimi

Türbülatorlerde kullanılan malzemelerin termal ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, ısı transferinin etkinliğini artırmada kritik rol oynamaktadır. Yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni malzemelerin araştırılması, türbülatorlerin performansını artırabilir.

Endüstriyel Uygulamalar ve Yanlış Anlaşılmalar

Elde edilen sonuçların endüstriyel sistemlerde uygulanması için, diğer mühendislik disiplinleri ile işbirliği yapılarak kapsamlı analizler gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, enerji yönetimi ve sürdürülebilirlik alanında mühendislerin türbülatorlerin tasarımındaki rolü hakkında daha fazla bilgi sahibi olmaları sağlanmalıdır.

Test Prosedürleri ve Standartlar

Türbülatorlerin verimliliğini değerlendirmek için standart test prosedürlerinin geliştirilmesi, sonuçların karşılaştırılabilirliğini artıracaktır. Bu bağlamda, farklı hız ve akış koşullarında yapılan deneylerin tutarlılığı sağlanmalıdır.

Verimlilik Araştırmaları

İleri düzey ısı transfer araştırmalarına öncülük eden projeler, çeşitli endüstriyel uygulamalar için özgün çözümler geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Entegre sistemlerin optimizasyonu ve performans geliştirme projelerine yönelim, enerji verimliliğini artıracak ve sürdürülebilirliği destekleyecektir.

Sonuç olarak, bu çalışma, ısı transfer verimliliğini artırmak amacıyla türbülator tasarımı üzerine yapılacak araştırmalar için kapsamlı bir bilgi temeli sunmakta ve endüstriyel uygulamaların enerji optimizasyonu açısından zengin bir yol haritası çizmektedir. Bu tür yenilikçi tasarım ve araştırmalar, hem ekonomik fayda sağlamakta hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Sürtünme katsayısını azaltarak Reynolds ve Nusselt sayılarını artırmak için izleyebileceğiniz birkaç strateji ve öneri aşağıda sıralanmıştır.

1. Akış Geometrisinin İyileştirilmesi

Aero Dinamik Tasarımlar: Akışkanın yüzeyler üzerindeki etkileşimini minimize etmek için aerodinamik, pürüzsüz ve optimal şekiller kullanın. Bu, akışkanın türbülansını azaltacak ve sürtünme katsayısını düşürecektir.

Dönüş Açılarının Optimize Edilmesi: Tesisatın dönüşlerin açısını ve yönünü optimize ederek, akışın daha düzgün ve laminar kalmasını sağlamak.

2. Yüzey Pürüzlülüğünün Azaltılması

Pürüzsüz Yüzeyler: Yüzeylerin daha pürüzsüz olmasını sağlamak, akışın kaymasına izin vererek sürtünmeyi azaltabilir. Yüzey kaplamaları veya özel materyaller kullanarak bu sağlanabilir.

Kaplama ve İyileştirme: Isı iletimi ve akışkan etkileşimini artıracak özel kaplamalar uygulamak.

3. Akışkan Özelliklerinin Değıştirilmesi

Daha Düşük Viskoziteli Akışkanlar: Düşük viskoziteli akışkanlar kullanarak, akışın türbülansını azaltabilir ve dolayısıyla sürtünme katsayısını düşürebilirsiniz.

Katkı Maddeleri Kullanımı: Nanopartikül veya diğer katkı maddeleri ekleyerek akışkanın özelliklerini iyileştirmek.

4. Akış Hızının Artırılması

Sistemde Hızlı Akış: Akışkanın hızını artırmak, Reynolds sayısını dolayısıyla konvektif ısı transferini artırabilir. Bu, türbülansın artmasına ve dolayısıyla Nusselt sayısının yükselmesine neden olabilir.

5. Isı Transfer Yüzeylerinin Geliştirilmesi

Yüzey Üzerine Kanatçıklar Ekleme: Yüzey alanını artırmak için kanatçıklar veya mikro yapılar eklemek, ısı transferini artırabilir. Güncellenmiş yüzey tasarımı, sürtünmeyi azaltmaya da yardımcı olabilir.

Sıcaklık Farkının İyileştirilmesi: Isı transfer yüzeylerinde sıcaklık farkını artırmak, konvektif ısı transferi üzerindeki etkiyi artırır.

6. Akış Yönetim Çözümleri

Vorteks Jeneratörleri: Akışta vorteks oluşturarak, karışmayı artırmak ve ısı transferini artırmak.

Akışkan Dinamiklerini Optimize Etme: Hız ve yönlendirme ile akış yönlendirme elemanlarını kullanarak sürtünmeyi ve türbülansı optimize etmek.

7. Düşük Sıcaklık Farkları Talebinin Azaltılması

Sıcaklık Dalgalanmalarının Yönetimi: Akışkan ve ısı kaynakları arasındaki sıcaklık farkını azaltmak, ısı transferinin etkinliğini artırarak daha az sürtünme ile sonuçlanabilir.

8. Mekanik Karıştırma

Daha İyi Karıştırma: Mekanik karıştırma kullanarak akışın homojenliğini artırmak, sıcaklık farklılıklarını minimize ederek daha etkin ısı transferi sağlar.

Bu stratejiler, sürtünme katsayısını azaltmak ve dolayısıyla Reynolds ve Nusselt sayılarını artırmak için kullanılabilir. Her bir önerinin maliyetleri, uygulanabilirliği ve etkileri projenizin veya sisteminizin spesifik gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir.



KAYNAKLAR

- Akmeşe, B. (2023). *Gaz yakıtlı bir kazanda farklı tipteki türbülatorlerin termal performans etkisi* (Yüksek lisans tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Akyürek, E. F., Geliş, K., & Yoladı, M. (2020). Gövde borulu ısı değiştiricilerinde farklı tip şaşırtma levhalarının ısı ve akış analizi. *Makine Mühendisliği Araştırma Makalesi*, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 1202–1212
- Alizadeh, A., Abed, A. M., Zekri, H. J., Smaism, G. F., Jalili, B., Paşa, P. ve Ganji, D. D. (2021). Numerical investigation of the effect of the turbulator geometry (disturber) on heat transfer in a channel with a square section, *Alexandria Engineering Journal*, 69, 383-402. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.01.123>.
- As'ad, A., Azher, M. A., Zekri, H. J. ve Smaism, G. F. (2023). Numerical investigation of the effect of the turbulator geometry (disturber) on heat transfer in a channel with a square section, *İskenderiye Mühendislik Dergisi*, 69, 383-402.
- Atmaca, Ş. U. (2003). Borularda türbülanslı akışta dirseklerin ısı transferine etkileri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Baysal, E., Solmaz, Ö., & Ökten, M. (2021). İç içe borulu ısı değiştiricide zıt akışta türbülator kullanımının basınç değişimine etkisinin sayısal olarak incelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 817–826.
- Beretta, G. P. ve Elias, P. G. (2015). Isı nedir?, *Enerji Kaynakları Teknolojisi Dergisi - ASME'nin (Amerikan Makine Mühendisleri Derneği) İşlemleri*, 137(2).
- Bursa Teknik Üniversitesi DBMMF Kimya Mühendisliği Bölümü T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Kimya Teknolojisi. (2013). Isı değiştiriciler.
- Corcoles-Tendero, F., Belmonte, A., E. Molina ve J. A. Almendros – İbanez (2018). Dalgalı bir boruda ısı transfer sürecinin sayısal simülasyonu, *Uluslararası Isı Bilimleri Dergisi*, 126, 125-136. https://tr.wikipedia.org/wiki/ısı%40b1_transferi
- Çengel, Y. A. (2011). Isı ve kütle transferi pratik bir yaklaşım, Çeviri Editörü Vedat Tanyıldızı, 3. Baskı, Güven Bilimsel Kitabı.
- Çeri, B. ve Koca, T. (2022). Farklı açılı kanatçıklara sahip türbülatorlerin gaz yakıtlı kazanda kullanımının ısı transferine etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 35, 161-167, Nisan 2022.
- Çeri, B., & Koca, T. (2022). Farklı açılı kanatçıklara sahip türbülatorlerin gaz yakıtlı kazanda kullanımının ısı transferine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 35, 161–167.

- Çorumlu, V., & Abuşka, M. (2023). Plaka kanatlı ısı dağıtıcı termal performansının deneysel olarak zorlanmış konveksiyonda incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, 11(4), 951–965.
- Dairesel Kesitli Türbülator. <https://www.teknikbelgeler.com/2016/makale.php?id=17>
- Demir, M. E. (2023). *Silindir tipi türbülatorların ısı transferi performansının analizi* (Yüksek lisans tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı.
- Demiray, M. (2022). *Farklı malzemelerden üretilen türbülatorların ısı kazancına etkisinin deneysel analizi* (Yüksek lisans tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi
- Deviren, H. (2019). Yeni geliştirilen türbülatorların ısı değiştiricilerinde ısı verim ve basınç kaybı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması (Yüksek lisans tezi). Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı.
- Dilki, S. (2020). Borulu ısı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanların ısı transfer karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Durmaz, M. (2007). Isı geri kazanım ısı değiştiricilerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Durmuş, A., & Akbulut, A. (2003). Sabit yüzey sıcaklığına sahip bir boru içerisine yerleştirilen çubuk kanatlı türbülatorlerde optimum parametrelerin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi T.E.F. Makine Bölümü*, 23119.
- Esmaili, Z., Akbarzadeh, S., Rashidi, S. ve Valipour, M. S. (2023). Effects of hybrid nanofluids and turbulator on efficiency improvement of parabolic trough solar collectors, *Sınır Elemanlarıyla Mühendislik Analizi*, 148, 114-125.
- Fırat, İ. (2022). *Sabit ve hareketli türbülatorların ısı transferine etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi* (Doktora tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atatürk Üniversitesi
- Göksu, T. (2022). Boru içerisine yerleştirilen farklı tip türbülatorların ısı performans karakteristiklerinin sayısal ve deneysel incelenmesi (Doktora tezi). *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*
- Göktürkler, G. (2002). Yerbilimlerinde ısı transferi modellemesi: Kararlı-hal kondüktif ısı iletimi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 67–80.
- Göloğlu, A. (2023). *Levha tipi türbülatorların ısı transferi ve akış karakteristiğinin deneysel olarak incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi

- Gürdal, M., Arslan, K., Gedik, E. ve Minea, A. A. (2021). Nanoakışkan kullanmanın, manyetik alan uygulamanın ve türbülatorlerin kanallara yerleştirilmesinin konvektif ısı transferi üzerindeki etkileri, *Applied Thermal Engineering*, 200, 117655, 1-15.
- Gürlek, G., & Özbalt, N. (2013). Investigation of heat transfer augmentation in a tube with different modified twisted tape inserts under the same conditions. *Journal of Naval Science and Engineering*, 9(2), 50–65.
- Hasan, I. A. ve Wafa, M. (2023). Effect of the arrangement of a new-type of turbulator inserts on heat pipe exchanger performances, *Elektromekanik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Üniversitesi, Bağdat, Akışkanlar Dinamiği ve Malzeme İşleme*, 19(10), 2749-2759.
- Hasan, I. A., Maki, W. ve Enaya, Y. A. (2022). Thermo-hydraulic performance evaluation of heat exchanger tube with vortex generator inserts, *Thermal Science*, 26(2B), 1545-1555. <https://doi.org/10.3390/en16135237>
- Huwaish, A. M. (2023). Nanoakışkanlar kullanarak farklı tip ısı değiştiricileri için entropi üretiminin minimizasyonu, *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Kahraman, N., Sekmen, U., Çeper, B., & Akansu, S. O. (2008). Boru içi akışlarda türbülatorlerin ısı transferine olan etkisinin sayısal incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2), 51–59
- Kan, M. (2021). Spiral ısı eşanjöründe farklı su-Al₂O₃ nanoakışkan karışımlarının termal davranışlarının karşılaştırılması. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 844–854.
- Karaca, E., & Altun, Ö. (2022). Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin sayısal analizi. *ESOGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 96–105. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- Karagöz, Ş., Çiltaş, S., Yıldırım, O., & Erdoğan, S. (2019). Yatay borularda türbülatorlerin ısı transferine olan etkisinin deneysel araştırılması. *Journal of Science and Technology*, 12(1), 306-316. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karahan, F. (2010). *Duman borulu kazanlarda yeni geliştirilen türbülatorler kullanarak ısı transferi ve basınç kaybının araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı
- Karataş, T., & Aksoy, İ. G. (2021). Gövde borulu ısı değiştiricilerinde farklı tip şaşırtma levhalarının ısı ve akış analizi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 973–986. İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- Özbey, M. (1997). *Effect of turbulators on flow development and heat transfer in pipe flows* (Master's thesis). University of Gaziantep, Mechanical Engineering.

- Özden, E. (2007). Detailed design of shell-and-tube heat exchangers using CFD (Yüksek lisans tezi). *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*
- Saidura, R., Leong, K. Y. ve Mohammad, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 15, 1646-1668.
- Samruaisin, P., Chinaruk, T., Chuwattanakul, V., Maruyama, N., Hirota, M. ve Eiamsa-ard, S. (2023). Enhanced heat transfer of a heat exchanger tube installed with V-shaped delta-wing baffle turbulators, *Enerjiler Dergisi*, 16(13), 5237.
- Samruaisin, P., Maza, R., Thianpong, C., Chuwattanakul, V., Maruyama, N., Hirota, M. ve Eiamsa-ard, E. (2023). Enhanced heat transfer of a heat exchanger tube installed with V-shaped delta-wing baffle turbulators, *Energies*, 16, 5237. <https://doi.org/10.3390/en16135237>
- Sánchez, D., Almendros-Ibáñez, J. A., Molina, A., Bozzoli, F., Cattani, L., & Córcoles, J. I. (2018). Numerical simulation of the heat transfer process of a coiled tube for viscous fluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36, 102186. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102186>
- Sarı, O. (2019). Boru içerisine yerleştirilen yeni tip türbülâtörün ısı transferine etkisinin sayısal incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Sungur, B., & Topaloğlu, B. (2018). Boru içine yerleştirilen konik türbülâtör sayısının nümerik optimizasyonu. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 13(3), 208-218
- Teköz, M., & Aksoy, İ. G. (2022). Kanatçıklı bant tipi türbülâtörlerin ısı transferi ve sürtünme faktörü üzerindeki etkisinin nümerik analizi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 140-153
- Tepe, A. Ü. (2021). Kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde çukurlu/çıkıntılı kanat ile ısı transfer performansının arttırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 401–414.
- Turgut, E. (2019). Dairesel kesitli türbülans üreticilerinin etkinlik ve ekserji analizi, *Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü*, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(2), 453-461.
- Turgut, E. (2020). Dairesel kesitli türbülans üreticilerinin ısı performansının araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 481-490.
- Uğurlubilek, N., & Uralcan, İ. Y. (2011). Helisel türbülâtörün ısı geçişine etkisinin sayısal incelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 72-83

- Ünlü, A. (2022). Analysis of the backpressure-surface area in smoke tube heat exchangers, *Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University*, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronic Engineering, Master of Science.
- Vignesh, S., Shanta Moorthy, V., & Nallakumarasamy, G. (2017). Experimental and CFD analysis of concentric dimple tube heat exchanger. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, 5(7), India.
- Yakut, A. K., Selbaş, R. ve Yakut, M. Z. (2022). Mühendislikte ısı transferi, *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yayınları*, Yayın No: 008, ISBN 975-605-81136-8-8.
- Yıldız, H. (2023). *Isı borusu kullanılan türbülantörlerin ısı transferlerine olan etkisinin deneysel analizi* (Yüksek lisans tezi). Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı.
- Yüncü, H. ve Kakaç, S. (1999). Temel ısı transferi, Türkiye Bilim Yayıncılık.