

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

**HELİSEL KANATLI BORU DEMETLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ
DÜŞÜMÜNÜN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

Murat GÖRELİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ.Gökhan AKSOY

2022

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

**HELİSEL KANATLI BORU DEMETLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ
DÜŞÜMÜNÜN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

**Murat GÖRELİ
(36193618074)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ.Gökhan AKSOY

Aralık, 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasında bilgi, tecrübe, destek ve önerilerini hiç esirgemeyen ve beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. İ. Gökhan AKSOY'a,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca her türlü manevi desteğini esirgemeyen sevgili anneme,

Eğitim boyunca bilgi, yardım ve manevi desteklerini esirgemeyen pek kıymetli arkadaşlarım olan Makine Yüksek Mühendisi F.Yavuz ŞAHİN'e ve Makine Mühendisi Yağız ÇOTUR'a

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Helisel Kanatlı Boru Demetlerinde Isı Transferi ve Basınç Düşümünün Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Murat GÖRELİ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	iii
ONUR SÖZÜ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam	3
1.3 Literatür Taraması	3
2. KURAMSAL TEMELLER	13
2.1 Isı Değiştiricileri	13
2.2 Yapısal Özelliklerine Göre Isı Değiştiricileri	14
2.2.1 Borulu ısı değiştiricisi	14
2.2.1.1 Düz borulu ısı değiştiricisi	14
2.2.1.2 Spiral borulu ısı değiştiricileri	15
2.2.1.3 Gövde borulu ısı değiştiricisi	15
2.2.2 Levhalı ısı değiştiricileri	16
2.2.2.1 Contalı levhalı ısı değiştiricileri	16
2.2.2.2 Spiral levhalı ısı değiştiricileri	17
2.2.2.3 Lamelli ısı değiştiricileri	17
2.2.3 Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri	18
2.2.3.1 Levhalı kanatlı ısı değiştiricileri	18
2.2.3.2 Borulu kanatlı ısı değiştiricileri	18
2.2.4 Rejeneratif ısı değiştiricileri	20
2.2.4.1 Sabit dolgu maddeli rejeneratörler	20
2.2.4.2 Döner dolgu maddeli rejeneratörler	21
3. MATERYAL YÖNTEM.....	22
3.1 Kullanılan Hesaplama Yöntemleri	22
3.2 Havanın Termofiziksel Özellikleri	27
3.3 Üç Boyutlu Helisel Kanatlı Boru Demeti Geometrisi	28
3.4 Sayısal Modelleme.....	29
3.5 Türbülans Model.....	29
3.6 Sınır Şartları.....	29
3.7 Sayısal Model Ağ Yapısı	30
3.8 Doğrulama Çalışması.....	32
3.9 Değişken Geometrik Parametreler	33
3.10 Kanat Adımının Etkisi (f_p)	34
3.11 Kanat Yüksekliğinin Etkisi (h)	35
3.12 Kanat Kalınlığının Etkisi (f_t)	37
3.13 Boru Çapının Etkisi (d_o)	38
3.14 Helisel Kanatlı Boru Demeti Geometrisi için Sayısal Analiz Sonuçları	40
3.14.1 Helisel kanatlı boru demeti için ısı performans analizi	40
3.14.2 Helisel kanatlı boru demeti için akış analizi	42
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 : Havanın Termofiziksel Özellikleri [58].....	28
Çizelge 3.2 : Belirlenen Geometrik Parametreler	34



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Isı değıştircilerinin özelliklerine göre sınıflandırılması [52].	13
Şekil 2.2 : Çift borulu ısı değıştircide farklı akış düzeni ve sıcaklık profilleri (a) Paralel akış düzeni (b) Zıt akış düzeni (c) Paralel akış sıcaklık değışimi (d) Zıt akış sıcaklık değışimi (e) Yoğuşturucu ve (f) Buharlaştıracı sıcaklık değışimi [53]	15
Şekil 2.3 : Spiral borulu ısı değıştircisinin boru [54]	15
Şekil 2.4 : Gövde borulu ısı değıştircileri (a) Bir gövde ve iki borulu geçişli (b) İki gövde ve dört boru geçişli [53]	16
Şekil 2.5 : Contalı levhalı ısı değıştircisinin yandan görünüşü [55]	16
Şekil 2.6 : Spiral levhalı ısı değıştircisi (a) Bir kanalda spiral, diğerinde eksenel akış (b) Yoğuşturucu olarak kullanılan spiral levhalı ısı değıştircisi [56]...	17
Şekil 2.7 : Lamelli ısı değıştircisi (a) Boyuna kesit (b) Enine kesit [56]	17
Şekil 2.8 : Levhalı kanatlı ısı değıştircisi [56]	18
Şekil 2.9 : Boru dışına konulan bazı kanat şekilleri [56]	19
Şekil 2.10 : Boru içine yerleştirilen kanat tipleri [56]	20
Şekil 2.11 : Sabit dolgulu rejeneratörün şematik gösterimi [56]	20
Şekil 2.12 : Döner dolgulu ısı değıştircisi [56]	21
Şekil 3.1 : Helisel kanatlı borunun geometrik ifadeleri	22
Şekil 3.2 : Helisel boru demetinin üstten görünümü	23
Şekil 3.3 : Helisel kanadın profil alanı [48]	25
Şekil 3.4 : Dikdörtgen kesitli dairesel kanat profili [57]	25
Şekil 3.5 : Helisel ve dairesel kanatlı boru	28
Şekil 3.6 : Helisel kanatlı boru demeti	28
Şekil 3.7 : Boru demetinde hava giriş ve çıkış tanımı	29
Şekil 3.8 : Modelinin simetri durumu (a) Üstten görünüş (b) Yandan görünüş (c) Tek kanat formu (d) HAD modeli	30
Şekil 3.9 : Ağ çarpıklığı ile ağ kalitesi için kabul edilebilir değerler [60]	31
Şekil 3.10 : Ağ çarpıklığı ile ağ kalitesi için Ansys-Fluent programında oluşturulan mesh yapısı grafiğı	31
Şekil 3.11 : Helisel kanatlı boru demetinde Nu sayısı için yapılan doğrulama çalışması	32
Şekil 3.12 : Helisel kanatlı boru demetinde sürtünme faktörü için yapılan doğrulama çalışması	33
Şekil 3.13 : Helisel kanatlı boru geometrisi için belirlenen geometrik parametreler	33
Şekil 3.14 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat adımının ısı performansına etkisi	35
Şekil 3.15 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat adımının sürtünme faktörüne olan etkisi	35
Şekil 3.16 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin ısı performansına etkisi	36
Şekil 3.17 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin sürtünme faktörüne olan etkisi	36
Şekil 3.18 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin ısı performansına etkisi	37
Şekil 3.19 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat kalınlığının sürtünme faktörüne olan etkisi	38
Şekil 3.20 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde boru dış çapının ısı performansına etkisi	39

Şekil 3.21 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde boru dış çapının sürtünme faktörüne olan etkisi	39
Şekil 3.22 : Helisel kanatlı boru demeti kontrol hacmindeki akış boyunca sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 3.23 : Helisel kanat üzerindeki sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 3.24 : Helisel kanatlı boru demeti için akış boyunca hız dağılımı.....	42
Şekil 3.25 : Helisel kanatlı boru demeti için akış boyunca kanatlardaki basınç dağılımı.....	42



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Alan, m^2
A_b	: Boru asal yüzey alanı, m^2
A_D	: Akışa çapraz borular arası akış kesit alanı, m^2
A_f	: Toplam kanat yüzey alanı, m^2
A_{min}	: Minimum akışa dik kesit alanı, m^2
A_o	: Toplam ısı transfer yüzey alanı, m^2
A_T	: Akışa dik borular arası akış kesit alanı, m^2
A_{top}	: Toplam ısı transfer yüzey alanı, m^2
c_p	: Havanın özgül ısısı, J/kgK
d_c	: Boru dış çapı, m
d_f	: Kanat dış çapı, m
d_o	: Boru dış çapı, m
f	: Sürtünme katsayısı
f_p	: Kanat adımı, m
f_t	: Sürtünme katsayısı
h	: Kanat yüksekliği, m
h_o	: Isı taşınım katsayısı, W/m^2K
k	: Isı iletim katsayısı, W/mK
$\dot{m}$	: Kütleli debi, kg/s
Nu	: Nusselt sayısı
N_L	: Akışa paralel boru sıra sayısı
N_T	: Akışa dik boru sıra sayısı
P	: Basınç, Pa
ΔP	: Basınç düşümü, Pa
u_{max}	: Havanın boru demeti içerisindeki maksimum hızı, m/s
Re	: Reynolds sayısı
ρ	: Yoğunluk kg/m^3
S_T	: Akışkana dik borular arası mesafe, mm
S_L	: Akışkana paralel borular arası mesafe, mm
$\dot{Q}_{top}$	: Toplam ısı transfer hızı, W
ΔT_{LMTD}	: Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, K
T_w	: Boru yüzey sıcaklığı, K
T_{c1}	: Akışkan giriş sıcaklığı, K
T_{c2}	: Akışkan çıkış sıcaklığı, K

U	: Toplam ısı geçiş katsayısı, W/m ² K
μ	: Dinamik viskozite, kg/ms
η_o	: Toplam yüzey verimi
η_f	: Kanat verimi
<i>HAD</i>	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı
<i>CFD</i>	: Computational Fluid Dynamics
<i>RNG</i>	: Re-Normalization Group
<i>SST</i>	: Shear Stress Transport



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HELİSEL KANATLI BORU DEMETLERİNDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜMÜNÜN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

MURAT GÖRELİ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

51+XII sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. İ.Gökhan AKSOY

Bu çalışmada Ansys-Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı kullanarak helisel kanatlı borulu bir ısı değiştiricisinin sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analizde boru dış yüzeyi sabit sıcaklık olarak tanımlanmış, borunun kanatcıklı olan dış tarafı dikkate alınarak akışkan olarak dış ortam havası seçilmiştir. Sayısal çalışmalarda kanat yüksekliği, boru çapı, kanat kalınlığı ve kanat adımı gibi parametrelerde değişiklik yapılarak 5000-20000 Re sayısı aralığında hesaplanan giriş hızlarıyla, elde edilen çıkış sıcaklıkları ve basınç düşümüne göre Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Ayrıca, aynı sınır şartları ve değişken parametreler kullanarak dairesel kanatlı boru demetleri için de sayısal hesaplar yapılmış, elde edilen sonuçlar helisel kanatlı boru demetleri ile karşılaştırılmıştır. Helisel kanatlı boru demetlerinde, değişken parametrelerden boru çapı ve kanat adımının artması ısı transferini artırırken, kanat yüksekliğinin ve kanat kalınlığının artması ise ısı transferini azalttığı görülmüştür. Kanat kalınlığı ve kanat adımının artması sürtünme etkisini artırırken, boru çapı ve kanat yüksekliğinin artması ise sürtünme etkisinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre ısı performansın daha iyi olduğu görülmüş fakat basınç düşümünün daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sayısal analizin doğrulaması literatürdeki helisel kanatlı boru demetlerinde yapılan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmış ve sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Helisel kanat, ısı değiştiricisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN HELICAL FINNED TUBE BUNDLES WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Murat GÖRELİ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

51+XII sayfa

2022

Supervisor: Prof. Dr. İ.Gökhan AKSOY

In this study, numerical analysis of a helical finned tube heat exchanger was performed in the Ansys-Fluent computational fluid dynamics (CFD) package program. In the numerical analysis, a constant wall temperature was defined on the outer surface of the pipe and surrounding air was used as a fluid considering the outside of the pipe with fins. In the analysis, Nusselt number and friction factor were calculated according to the obtained outlet temperatures and pressure drop, with the inlet velocities calculated in the range of 5000-20000 Re number by changing parameters such as fin height, pipe diameter, fin thickness and blade pitch in numerical studies. In addition, numerical calculations were made for circular finned tube bundles using the same boundary conditions and variable parameters, and the results were compared with helical finned tube bundles. In the helical finned tube bundles, it has been seen that increasing the pipe diameter, fin pitch increases the heat transfer, besides increasing the fin height and fin thickness decreases the heat transfer. It has been also observed that increasing the fin thickness and fin pitch increases the friction factor, besides increasing the pipe diameter and fin height decreases friction factor. In addition, it was seen that the thermal performance of the helical finned tube bundle was better than the circular finned tube bundle, but it was determined that the pressure drop was higher. The verification of numerical results was performed by compared the experimental results in the literature and a good agreement was observed between results.

Keywords: Helical fin, heat exchanger, computational fluid dynamics

1. GİRİŞ

Dünyadaki canlıların yaşamını sürdürebilmeleri ve gelecek nesillere yaşanılır bir dünya bırakmak için enerji en temel ihtiyaç olup bunun daha verimli kullanılması ve çevresel faktörleri dikkate alarak gerekli çalışmaların yapılmasına bağlıdır. Dünyadaki nüfus artışının fazla olması ve enerji kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı enerjide verimlilik çalışmaları bir o kadar önem kazanmaktadır.

Dünyadaki enerji kaynakların en büyük kısmı fosil yakıtlar olduğunu bilmekteyiz. Endüstriyel alandaki gelişmeler ve nüfusun etkisiyle enerjide maksimum verim elde etme, daha az enerji ile çok fazla iş yapabilme ve farklı enerji kaynakları arayışını ile ilgili çalışmalar ortaya çıkmaktadır. Farklı enerji kaynakları olan rüzgâr, güneş ve dalga enerjisi halen verimlilik konusunda çalışmalar yapmaktadır.

Enerji, korunabilir bir büyüklük olup şekil değiştirilmesiyle farklı alanlarda kullanılmasıyla fayda sağlanabilmektedir. Termik santraller, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme tesisleri gibi birçok sektör enerjiyi yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Enerjinin yoğun olarak kullanıldığı yerlerde verimlilik büyük önem arz etmektedir. Buralarda kullanılan ısı değiştirici tipleri sayesinde enerji konusunda büyük tasarruflar elde etmektedir. Isı değiştiricileri mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez bir yapıdır. Çünkü ısı değiştiricileri sayesinde minimum kayıp ile enerji bir akışkandan diğer akışkana aktarımı söz konusudur. Minimum kayıpların oluşabilmesi için çeşitli konfigürasyonlar oluşturularak verim artışı sağlanmaktadır.

Isı değiştiricileri endüstriyel alanda en önemli yere sahip olup kondenser ve evaporatör gibi değişik şekillerde kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri termodinamik, akışkanlar mekaniği ve malzeme yapısı gibi bilim dallarını içerisinde barındıran uygulama alanıdır. Tasarım ve optimizasyonunda belirli parametreler etki etmektedir. Bunlar ısı verim, basınç düşümleri, sıcaklık ve debi gibi birçok parametreler tasarımda büyük rol alırlar.

Endüstriyel alanda kullanılan ısı değiştiricileri birçok farklı tipleri bulunmaktadır. Bunların arasında en çok kullanılan akışkanların birbirine karışmadan ısı geçişinin sağladığı kanatlı borulu ısı değiştiricileridir. Kullanım koşullarına göre farklı kanat

tiplerine sahip olan bu ısı değiştiricileri verimlilik ve farklı kanat tipleri konusunda halen çalışmalar devam etmektedir.

1.1 Amaç

Kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde kanat ve borudaki geometri değişimi ısıl performası ile basınç dūřumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu alışmada SolidWorks programında helisel kanatlı borulu ısı değiştiricisinin simetri modeli oluşturularak kanat uzunluğu, kanat yüksekliği, kanat kalınlığı ve boru çapında yapılan sayısal değişkenlerle farklı Reynolds sayıları kullanılarak elde edilen hız değerleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programıyla sayısal özümlemesi yapılmıştır. Analiz sonucunda kanat uzunluğu, kanat kalınlığı, kanat yüksekliği ve boru çapının değişmesiyle oluşan ısıl performans ve basınç dūřümüne etkileri incelenmiştir. Analizler Ansys-Fluent paket programıyla yapılmıştır.

Tez çalışmasında izlenen yol sırasıyla;

- Sayısal analiz için değişken parametrelere bağlı olarak SolidWorks programında kanatçıklı boru demetlerinin katı modeli çizilmiş, sonradan simetri koşuluna bağlı olarak katı model oluşturulmuştur.
- Katı model Ansys-Fluent paket programına aktarılmıştır.
- Katı model için ideal mesh yapısı oluşturulmuştur.
- Daha sonra, simetri yüzeyler ile akışkan giriş-çıkış yüzeylerin isim tanımları yapılmıştır.
- Analiz için türbölans modeli seçilmiş, malzeme tanımı yapılmıştır.
- Sayısal özümleme için hava giriş sıcaklığı, duvar yüzey sıcaklığı ve kanat için gerekli sınır şartları girilmiş, ayrıca Re sayısına göre hesaplanan hava giriş hızı tanımlanmıştır.
- Analiz sonucunda oluşturulan geometrilere göre paket programdan çıkış sıcaklığı ve basınç dūřümü okunarak ısıl performansı ve sürtünme faktörü incelenmiştir.

1.2 Kapsam

Tez kapsamında yapılan sayısal analizlerde helisel kanatlı boru demetinin farklı kanat kalınlığı, kanat uzunluğu, kanat yüksekliği ve boru çapı dikkate alınarak ısı performansı ve sürtünme faktörü incelenmiştir. Ayrıca aynı sınır şartları ve geometrik parametreler kullanılarak dairesel kanatlı boru demeti için de sayısal analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar helisel kanatlı boru demeti ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın,

- İlk bölümde literatür araştırması yapılarak bu konu ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.
- İkinci bölümde kuramsal temeller ele alınmıştır.
- Üçüncü bölümde tezde kullanılan sayısal çalışmalar hakkında bilgi verilmiş, HAD için uygun model oluşturulup sınır şartları belirlenerek çözümleme yapılmıştır.
- Dördüncü bölümde sonuçlar değerlendirip karşılaştırmalar yapılmış ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.
- En son bölümde ise tez çalışmasında yararlanılan kaynaklar verilmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Yapılan tez çalışmasında dört farklı değişken parametre dikkate alınarak sayısal çalışma yapılmıştır. Bu değişken parametreler kanat uzunluğu, kanat kalınlığı, kanat yüksekliği ve boru çapıdır. Çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde kanatlı boru demetlerinin yaygın olarak kullanılmasından dolayı akademik açıdan oldukça fazla çalışma vardır. Bu çalışmaların çoğu ısı transfer etkisini arttırmak amacıyla yapılmış olup, genel olarak farklı kanat tipleri ve farklı sınır şartları kullanılmıştır.

Lozza ve Merlo [1], farklı kanat formları kullanarak hava ve sıvı soğutucularda ısı transferini incelemişlerdir. 15 farklı kanat yapısına sahip kanatçıklı boru kullanmışlardır. Kullanılan kanat tipleri farklı ısı transferleri ve basınç kaybında iyileştirme oranları gözlemlenmiştir.

Kelkar ve Patankar [2], sabit özellikli akış için iki boyutlu kanatlı geçişlerdeki sıvı akışı ve ısı transferi incelenmiştir. Yapılan çalışmada paralel iki levhanın yüzeyine kanatçıklar yerleştirilmiştir. Paralel iki levha sabit bir sıcaklıkta tutulmuştur. Belirli bir

mesafeden sonra sıcaklık ve akış periyodik şekilde tekrarlandığı gözlemlenmiştir. Yerleştirilen kanatçıklar türbülansı ve ısı transferini arttırdığı görülmüştür.

Tanda [3], kanatçıksız ve bir yüzey, kanatçıklı kanallarda ısı transfer verilerini belirlemek için deneyler yapmıştır. Yapılan deney sonucunda kanatçıklı kanalda ısı transfer potansiyelinin kanatçıksız kanala göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Cheng ve Huang [4], enine kanat dizili paralel plakalı kanallarda kararsız akışlar sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada Reynolds sayısı ve kanat geometrisi değiştirilerek hesaplamalar yapılmıştır. Böylece kanat geometrisi arttıkça ısı transferinin arttığı görülmüştür.

Demartini vd. [5], tarafından yapılan çalışmada içerisinde çapraz kanatlar bulunan dikdörtgen kesitli bir kanal içindeki türbülanslı hava akışının deneysel ve sayısal analizini yapmışlardır. Çalışmada Fluent yazılımı kullanılmıştır. Deney sonucunda kanatlı kanalda ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir.

Karabay ve Ayhan [6], yapmış olduğu çalışmada silindirik bir borunun içine yerleştirilmiş koniksel halka yüzey elemanlarının ısı transfer etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, ısı transferi artarken buna bağlı olarak basınç düşümünün de arttığını belirlemişlerdir.

Çulcu [7], boru içerisine yerleştirilen türbülatorlerin ısı transferine ve basınç kayıplarına olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmalarında, konik halka yüzeyli türbülatorler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ısı transferinin arttığını fakat buna bağlı olarak basınç kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir.

Biçer vd. [8], iç içe borulu ısı değiştiricilerin iç kısımda ki boru içerisine yerleştirilen kıvrılmış metalin ısı transferine ve basınç kaybına olan etkileri incelenmiştir. Yapılan işlem sonucunda içinde kıvrılmış metalin basınç düşümünü %130 arttığı fakat ısı transferin %100 arttığı görülmüştür.

Dağdelen [9], iklimlendirme cihazına silindirik bir kanal bağlanarak havadaki nem miktarının ısı transferine etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sayısal analiz için Reynolds sayısı 7500 ile 25000 arasında hız ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Sonuç olarak nem miktarının artmasıyla ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir.

Koca [10], yaptığı çalışmada helis sayısı farklı olan helisel borularda ısı transferini arttırmak için helisel boruların döndürülmesi deneysel olarak çalışmasını yapmıştır.

Yapılan deney sonucunda en iyi ısı transferini boru 300 dev/dak dönerken beş helisel boruda elde etmiştir. Dönen helisel boruda ısı transferinin ve basınç kaybının arttığı gözlemlenmiştir.

Behçet vd. [11], yapmış oldukları çalışmada pervane tipi türbülator kullanarak boru içi akışlarda ısı transferinin iyileştirilmesi ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Türbülatorlu boru ile boş boru karşılaştırıldığında ısı transferin türbülatorlu sistemde ortalama olarak 4.25 kat arttığı ve basınç kaybında 5.15 kat artış olduğu görülmüştür. Böylece iyileştirme termodinamik açıdan avantajlı olduğu görülmüştür.

Yıldız [12], yapmış olduğu çalışmada ısı transferini arttırmak için ısı değiştirici içerisinde farklı çaplarda yaylar kullanmıştır. Borunun dış yüzeyi buharla ısıtılarak sabit boru yüzey sıcaklığı sağlanmıştır. Yapılan çalışmada yaylar dizim sayısı ve dizim şekline göre incelenmiştir. Çalışma sonucunda yay çapını ve sayısının artırılması ısı transferini arttırdığı fakat buna bağlı olarak basınç kaybında artış olmuştur.

Güneş [13], yapmış olduğu çalışmada boru içerisine yerleştirilen helisel sarılmış tellerin ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelemiştir. İlk önce boruda deneyler yapıp daha sonra içerisine helisel sarılmış telin boru içerisine yerleştirilerek deney yapılmıştır. Bu çalışmada literatürdekilerden farklı olarak eşkenar üçgen kesitli helisel boru içerisine ayrı olarak yerleştirmiştir. Deneyde 18 farklı helisel tel kullanılmıştır. Deney sonucunda teller sonucu basınç kaybı ve ısı transferinde artış gözlenmiştir. Helisel tellerin boru içerisine yerleştirilmesi ile akışa karşı bir direnç olduğundan ekstra pompalama gücünde artışlar meydana gelmiştir.

Mülayim [14], yaptığı çalışmada kanatlı boru tipi ısı değiştiricisinde kullanılan kollektörlerdeki daimi ve türbülanslı akış koşullarında basınç kaybı nümerik olarak incelemiştir. T şeklindeki boru bağlantısındaki basınç kaybı literatürdeki bir deneysel çalışma ile kıyaslanarak sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çözüm sonuçları referans alınan makale ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra su basınç kayıp hesaplamaları için iki tip kollektör kullanmıştır. Bu kollektörlerden biri T branşman bağlantılı kollektörler diğeri dik köşe bağlantılı kollektörlerdir. Yapılan çalışma sonucunda sayısal çözümünde çıkan basınç kayıp sonuçlarının deneysel sonuçlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi farklı mesh yapısı ve türbülans modelinden dolayı meydana geldiği saptanmıştır.

Bazarbashi [15], yaptığı çalışmada dikdörtgen kesitli bir yatay kanal içerisine şaşırtmalı ve düz olarak yerleştirilen S tipi kanatların basınç düşümü ve taşınım ile ısı transferi analiz edilmiştir. Bu çalışma için yanıt yüzey metodu uygulanmıştır. Model için merkezi kompozit tasarım kullanılmıştır. Analiz sonucunda Nu sayısı ile sürtünme faktörü tahminlerinin literatürle uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır.

Eide [16], yapmış olduğu çalışmada kanatlı borulu ısı değiştiricisinin deneysel sonuçlarıyla Ansys-Fluent paket programıyla yapılan sayısal çalışmanın, basınç düşümü ve ısı transferi karşılaştırılması yapılmıştır.

Mon [17], çapraz akışlı dairesel kanatlı boru demetinin basınç düşümü ile ısı transferini sayısal olarak çalışma yapmıştır. Çalışma 5000 ile 70000 Reynolds sayısı aralığında gerçekleşmiştir. Ayrıca farklı geometrik parametrelerin ısı transferine ve basınç düşümüne olan etkisinin karşılaştırılmasını yapmıştır.

Yücel vd. [18], yapmış olduğu çalışmada birçok ısıtıcı elemanı eşit mesafede yalıtılmış yüzeye yerleştirilerek laminer akışta ısı transferini sayısal olarak incelemişler. Kanalin diğer yüzeyi sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Bu çalışmada Rayleigh sayısı, Reynolds sayısı, kanal eğim açıları ve Nusselt sayısının değişimi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Rayleigh sayısı artıp Reynolds sayısı arttıkça ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir.

Webb ve Ramadhyani [19], yaptıkları çalışmada paralel plakalı bir kanal içerisine karşılıklı ve çapraz olarak yerleştirilmiş kanatların akış ve ısı transferine olan etkisi analiz etmişlerdir. Deney farklı Reynolds sayılarında, farklı kanat geometrilerinde ve Prandtl sayılarında tam gelişmiş akım koşullarında yapılmıştır. Çalışmaları sonucu, su ve flurokarbon gibi yüksek Pr sayısına sahip akışkanlarda önemli miktarda ısı transferinde artış olduğu elde etmişlerdir. Ayrıca, kanal duvarlarındaki ısı taşınımının ısı transferini arttırma yönünde büyük bir etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Bozkula [20], kanatlı turbo fin boru sisteminin geliştirilmesi ile ilgili yapmış olduğu çalışmada, kanat yapısı kısa olan boruyla dıştan ve içten kanatlı farklı boruların sıcaklık farkına, basınç farkına ve ısı transferine olan etkisini incelemiştir. SolidWorks Flow Simulation programı kullanılarak yapılan analiz sonucunda uzun kanatlı içi boş borunun, kısa kanatlı içi boş boruya göre %6 daha verimli olduğu Reynolds sayısı 1630 değerinde bu verimin %48'lere kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca içten düz kanatlı boru ile içten türbülantörlü boruyu kıyaslandığında ısı geçişinin içten türbülantörlü boruda %1 daha fazla oldu görülmüştür.

Yakut [21], genel olarak ısı değiştiricilerinin boyutlandırma parametrelerini hesaplayarak tasarım için bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çalışmanın deneysel düzeneği kurulmuştur. Paralel akışlı ve zıt akışlı gövde borulu ısı değiştiricilerinin bilgisayar programı ile karşılaştırılıp, zıt akışın daha iyi ısı transferi sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca hazırlanan bilgisayar programında akışkanın fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak hesaplanacak yazılımlar eklenmiş olup literatüre katkı sağlanmıştır.

Haydaraslan ve Selver [22], ısı değiştirici üzerindeki desenin ısı transferine etkisi sayısal modelleme yöntemiyle incelenmişlerdir. Çalışmada Ansys-Fluent programı kullanılarak simulasyonu yapılmıştır. Yapılmış olan çalışmada iki farklı desen tasarlanmıştır. Birinci tasarım ısı değiştiricisinin yüzeyleri düz, ikicisiyse sadece alt ve st yüzeyleri diyagonal desenlidir. Çalışma sonucunda akışkan çıkış sıcaklığı desenli tasarımda çıkış sıcaklığı ve debiler düşük çıkmıştır. Ayrıca ısı transferi desenli tasarımın düz olana göre daha fazla olduğu grlmştir.

Boran vd. [23], tarafından içi içe borulu bir ısı değiştiricisi tasarlayarak deneysel olarak ısı transferinin artışı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada i içe borulu eşanjörden i borusunda sıcak hava, dış taraftaki boruda ise zıt yönlü su akışı olmaktadır. Boru içindeki sıcak hava sabit tutularak fan vasıtasıyla zorlanmış akış sağlanmaktadır. Böylece boru içindeki sıcak hava türbülans etkisini arttırarak ısı transferinde artış olduğu gözlenmiştir.

Kırtepe ve zbalta [24], yapmış olduğu çalışmada kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde belirsizlik analizi yapmışlardır. L ayaklı spiral kanatlı borulu ısı değiştiricilerin hava tarafındaki performansları deneysel olarak incelenmiştir. Boru tarafında su diğer tarafta ise atmosferdeki hava kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda hata ve belirsizlikler içermekte olup deney sonucunda hata ile belirsizliklerin ölçüm cihazın özellikleri ile kalibrasyonu gibi etkenlerden kaynaklandığını belirsizlik analizi ile açıklamıştır.

Buyruk ve Karabulut [25], yapmış oldukları çalışmada plaka kanatçıklı ısı değiştiricilerde kanat açısının ısı transferine etkisi sayısal olarak çalışma yapmışlardır. Çalışmada sayısal hesaplar üç boyutlu Navier-Stoker ve enerji denkleminin Fluent programı kullanılmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Deneyde 30° ile 60° kanatçık açılı sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak soğuk akışkan ters akış durumuna göre 30° kanatçık açılı kanalın çıkışında düz kanala göre %9 arttırıldığı grlmştir.

Kotcioğlu ve Bölükbaşı [26], çalışmada düşey dikdörtgen kesitli bir kanalda farklı kanatçıklı yüzeylerde ısı transferinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyde kanatçıklar, düzlem yüzey, silindirik ve hava akış yönüne $\theta=60^\circ$ ’lik açı ile daralan ve genişleyen kanatçıklar şeklindedir. Deney çalışmalarının sonucunda kanatçıklara ait Nusselt sayısında ki değişim incelenmiştir. Sonuç olarak daralan ve genişleyen kanatçıklarda sınır tabakanın da periyodik olarak yenilenmesinden dolayı ısı transfer katsayısının iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Durmuş [27], çalışmada salyangoz girişli dönmeli akış üreticisinin ısı eşanjör performansına etkisi incelenmiştir. Deneyde eş merkezli çift boru arasında dairesel kanal boyunca sıcak su, iç boruda ise hava akmaktadır. Dönen ve dönmeyen akış durumları karşılaştırılmıştır. Girdaplı akış durumunun Nusselt sayısı girdaplı olmayan duruma göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Böylece deneyde ısı transfer artışı gözlemlenmiştir.

Hang ve Hsieh [28], ısı transferi ile sürtünme faktörünü kanallara yerleştirilen kanatlar ile inceleme yapmıştır. Tam gelişmiş akış şartı sağlanarak kare ve dikdörtgen kesitli kanallarda kanal uzunluğu ile hidrolik çap değiştirilerek ısı transfer katsayısıyla sürtünme faktörünü incelenmişlerdir.. Sonuç olarak yüzeye yerleştirilen kanatlar sayesinde ısı transferin arttığı gözlemlenmiştir.

Armaly vd. [29], çalışmada kademeli kanallar termal ve hidrodinamik açıdan deneysel ve teorik olarak karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışma üç farklı şekilde yapılmıştır. Bunlar laminar bölge, geçiş bölgesi ve türbülans bölgesidir. Akışkan için hava tercih edilmiştir.. Sonuç olarak deneysel ile teorik çalışmanın birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Wang vd. [30], yaptıkları çalışmada sıralı ve kademeli bölmeler sahip kanallarda kararsız akışkan akışı ve enerji denklemi sayısal çözümü incelenmiştir. Çalışma 500’e yakın Reynolds sayısı aralığında yapılmıştır. Sonuç olarak akış kararsız halde ısı transferinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Junghan vd. [31], yapmış olduğu çalışmada boru içerisine yerleştirilen türbülatorün ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ekstra maliyet oluşturmadan ısı transferin arttığı gözlemlenmiştir.

Çakmak [32], boru girişindeki türbülans üreticisi bulunan ısı değiştiricilerinde ısı transferi ve basınç düşümünü incelemiştir. Çalışmada iç borunun giriş bölgesine değişik çap ve sayıda düzgün ve üçgen sıralı enjektör yerleştirerek sıcak havada hareket

sağlanmıştır. Deney çalışması farklı Reynolds sayısında zıt ve paralel akış için yapılmıştır. Deney sonucuna göre enjektörlü ısı değiştiricilerin enjektörsüze göre ısı transferinde %190 iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Kayataş [33], çalışmada iç içe borulu ısı değiştiricisinde yerleştirilen kanatçık tiplerinin ısı transferine olan etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan kare, üçgen, ters üçgen kanatçığın girdaplı akışın ve kanatçıksız ısı değiştiricisinin aynı yönlü ve zıt yönlü akış uygulayarak modelleme yapılmıştır. Modellemede CFD programı olan sonlu farklar metodu ile Fluent kullanılmıştır. Bu çalışmada beş farklı model geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda maksimum ısı transferi kare kanatçık kullanıldığında görülmüştür. Girdaplı akış kullanıldığında ise ısı transferinde iyileşme söz konusu olduğu görülmüştür.

Demir [34], yatay bir plaka üzerine yerleştirilmiş kare ve dairesel kesitli iğne kanatların ısı transferi ve sürtünme karakteristikleri incelenmiştir. Reynolds sayısının 13500 ile 42000 aralığında ortalama Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için korelasyonlar geliştirilmiştir. Deneyde Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Deney sonucunda kare kesitli kanallarda ısı transferinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Sürtünme faktörü için ise kare kesitli kanalda daha belirgin olmuştur.

Ömeroğlu [35], yaptığı çalışmada farklı tip geometriye sahip ısı değiştiricilerin akış ve ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada borulu silindirik, altıgen ve kare kanatlı geometriye sahip çapraz akışlı ısı değiştiricileri incelenmiştir. Kanatçıklar ısı değiştiricisinde alt ve üst plakaya paralel olarak yerleştirilmiştir. Sıcak akışkan olarak hava, soğuk akışkan için ise su tercih edilmiştir. Deney sonucunda altıgen kanatlı ısı değiştiricisinin daha yüksek performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yıldız [36], yapmış olduğu çalışmada bütün ısı değiştiricilerinde kullanılmak üzere genişletilmiş ısıl yüzeyli ve kendinden kanatlı slot formda helisel boru imalatı yapmıştır. Amacı daha küçük hacimli, uzun ömürlü ve tüm ısı değiştiricilerinde kullanılmak üzere helis boru tasarlamak istemiştir.

Karataş [37], yapmış olduğu tez çalışmasında gövde-boru tipi ısı değiştiricisini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile ısı taşınım katsayısı ve akış özellikleri incelenmiştir. Çalışmada tek gövde-boru geçişi kullanılmıştır. Farklı akış hızları, türbülans modelleri, şaşırtma levha modelleri kullanılarak basınç düşümleri ve ısı taşınım katsayıları Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla analizler yapılmıştır. Gövde-boru tipi

ısı değiştiricisi Kern, Bell-Delaware yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda sayısal sonuçları Kern analitik yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [37].

Perçin [38], yapmış olduğu çalışmada hekzagonal bor nitrür nanoparçacıklarıyla hazırlanmış nano akışkanın ısı değiştiricisinde ısıl performansı ve basınç dışımına etkisi incelenmiştir. Deney farklı debi ve Reynolds sayılarında paralel ve zıt akış şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda akışkanın soğuk akışkan olarak tercih edilmesi paralel akışta saf suya göre ısı transferindeki artış zıt akışa göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Yıldırım [39], yapmış olduğu çalışmada belli bir kanatlı borulu ısı değiştiricisinde yüksek ısı transferi elde etmek için devreleme tasarım çalışması yapılmıştır. Sayısal özümlemeler yaparak devrelemenin ısı transferi açısından önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Karagöz [40], farklı kanal yapısına sahip ısı değiştiricilerin ısıl performansını incelemiştir. Çalışmada deney düzeneği kullanarak farklı iki tip akışkanın ısıl verimi ve iki fazlı basınç dışuşları incelenmiştir. Deneyde R134a ile R1600a soğutucu akışkan kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanların analizleri karşılaştırılmıştır.

Atici [41], yapmış olduğu çalışmada düz kanatlı borulu ısı değiştiricisinin ısıl performansa etkisi incelenmiş, soğutma kapasitesi hesaplanarak matematiksel model kurulması amaçlanmıştır. Yapılan alışma sonucunda ısıl kapasitenin artması için kanatlı boru kullanarak artacağı gözlemlenmiştir.

Küükge [42], yapmış olduğu çalışmada farklı hatve değerlerine sahip U tipi ısı değiştiricilerin ısıl performansı incelenmiştir. Çalışma Ansys-Fluent paket programı yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı ısıl verimin yüksek olması için doğru hatve çapı belirlemektir.

İpek [43], yapmış olduğu çalışmada ısı değiştiricilerinde kullanılan malzemenin ASHBY yaklaşımı ile kullanılabilecek en doğru malzemeyi belirlemektir. Bu yaklaşımda üç farklı ısı değiştiricisinin malzemesi seçilmiştir.

orak [44], kanatlı boru tipi ısı değiştiricisinin sayısal olarak ısıl performansı ve uygun kanat geometrisi incelemesi yapmıştır. Çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Türbölans modeli $k-\epsilon$ olarak seçilmiştir. Çalışma kanatlı ve kanatsız sistem üzerinden analiz yapılmıştır. Kanatlı yapının ısıl performansı kanatsız yapıya göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Yiğit [45], iç içe borulu yay tipi türbülantörlü ısı değiştiricisinin sayısal analizlerde kullanılan türbülans modelin etkisi incelenmiştir. Soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır. Çalışma Reynolds sayısı 3000 ile 18000 aralığında yapılmıştır. Program olarak Ansys-Fluent kullanılmış olup programda farklı türbülans modelleri denenmiştir. Türbülans modellerinde deneysel sonuçlara en yakın olan Standard-Standard wall function olduğu ortaya çıkmıştır.

Kırtepe [46], L ayaklı spiral kanatlı bir ısı değiştiricisinin ısıl performansını deneysel olarak incelemiş, ısı taşınım katsayısını bulmak için P-NTU yöntemi kullanmıştır. Reynolds sayısındaki değişime göre hava tarafının Nusselt sayısını, ısı taşınım katsayısını, Colburn ve sürtünme faktörüne olan etkileri incelenmiştir. Deneysel verilere göre Colburn ve sürtünme faktörünü verecek bağıntı elde etmiştir. Deneysel sonuçlar bu bağıntılar ile karşılaştırılmıştır.

Pongsoi vd. [47], 4000-13000 Re sayıları aralığında spiral kanatlı borulu ısı bir ısı değiştiricisinde kanat adımının ve kanat malzemesinin hava tarafı ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada havanın giriş sıcaklığı sabit alınıp boru içinde akan suyun kütleel debisi değiştirilmiştir. Deney sonucunda kanat adımının ve kanat malzemesinin Colburn ve sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemişlerdir.

Pongsoi vd. [48], L ayaklı spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisinin hava tarafının performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada akışkan hareket tipine göre üçe ayırmışlardır. Akışkan paralel çapraz akış, karşıt çapraz akış ve çok geçişli çapraz akıştır. Isı değiştiricisinin ısı taşınım katsayısı için ϵ -NTU yöntemi kullanılmıştır. Deneyde Re sayısının artması Colburn ve sürtünme faktörünün azaldığı görölmüştür.

Pongsoi vd. [49], 3000-13000 Re sayılarında spiral dalgalı kanatlı borulu ısı değiştiricisi deneysel olarak incelemişlerdir. Boru içerisinde akan suyun sıcaklığı ve debisi sabit tutulmuştur. Hava tarafının ısı taşınım katsayısı hesaplaması için ϵ -NTU yöntemi kullanılmıştır. Kanat malzemesi bakır ile alüminyum olarak iki farklı tipte sečilmiřtir. Deney sonucunda Re sayısının artması ile Colburn ve sürtünme faktörü azalmıştır. Daha sonra Briggs ve Young tarafından dairesel kanat için önerilen bağıntı karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada Colburn faktörü için büyük benzerlik olduğu görölmüştür. Kanat malzemesinin değişimi Colburn ve sürtünme faktörüne önemli bir etkisi olmadığı görölmüştür.

Pongsoi vd. [50], çapraz akışlı spiral kanatlı ısı değiştiricisinin kanat hatvesinin etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada boru çapı, kanat kalınlığı, boru sıra sayısı, kanat çapı ve hava giriş sıcaklığı sabit olup kanat hatvesi değiştirilerek deneysel inceleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda hava hızının artması, hava tarafına olan ısı geçişini ve basınç dūřumünün arttığı görülmüştür. Deęiřken kanat hatvesine bağlı olarak yapılan çalışmada kanat hatvesinin 4,2 mm'e kadar kanat hatvesinin artmasıyla ısı değiştiricisinin performansının arttığı fakat 4,2 mm'den yukarı olan kanat hatvesinin ısı değiştiricisinin performansını azalttığı görülmüştür [50].

Pongsoi vd. [51], L ayaklı spiral kanatlı borulu ısı değiştiricisinin kanat hatvesindeki değişiminin ısı transferine ve sürtünme faktörüne olan etkisini incelemiştir. Çalışmada suyun sıcaklığı ve debisi sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına bakıldığında havanın giriş hızı arttıa hava tarafı ısı taşınım katsayısı, ortalama ısı geçişi ve basınç dūřumu artmıştır. alışmalar 4000 ile 15000 Re sayısı, suyun sıcaklığı 55 ile 70 °C ve debi 0,2 ile 0,233 kg/s arasında değiştirilerek yapılmıştır.

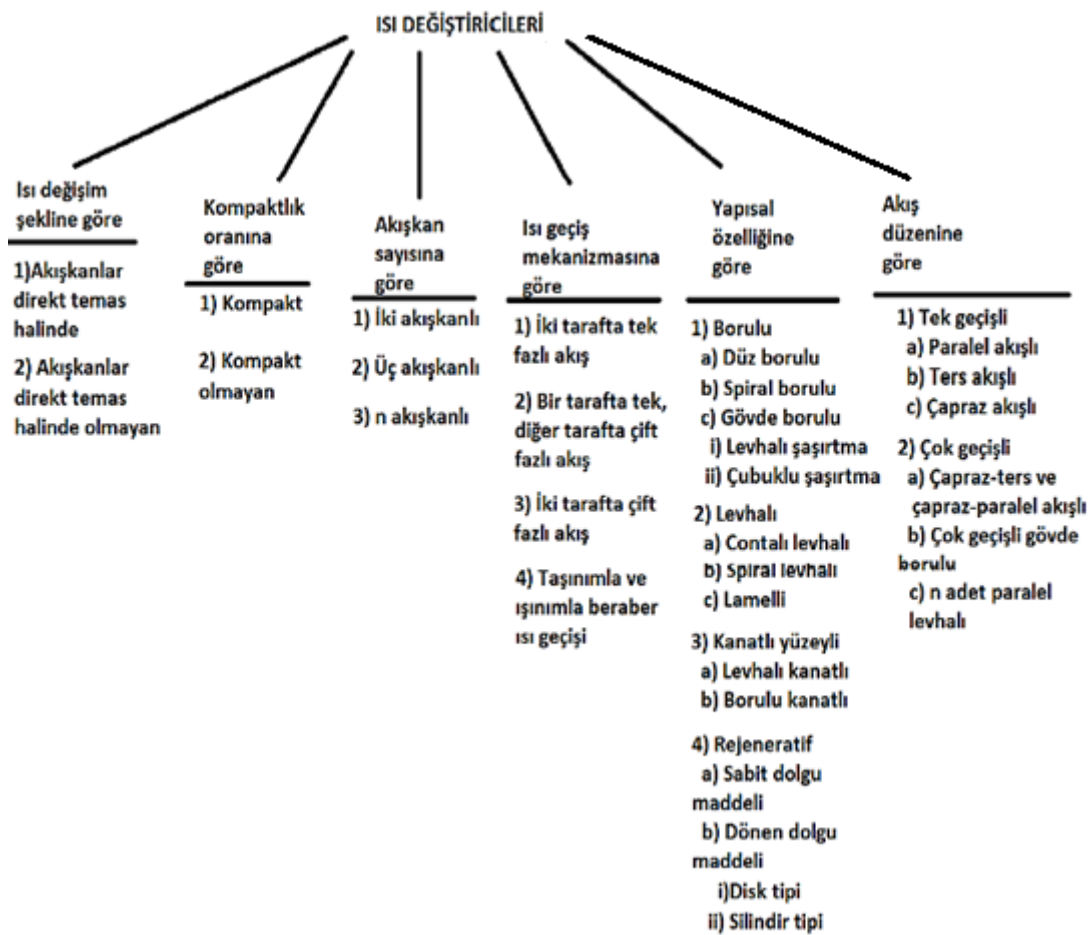
Bu tez çalışmasında helisel kanatlı boru demetlerinden oluşan bir çapraz akışlı ısı değiştiricisinin Ansys-Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı kullanarak sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analizde boru demetinin dış yüzeyi sabit sıcaklık olarak tanımlanmış ve sadece boru demetinin kanatçıklı olan dış tarafı dikkate alınmıştır. Akışkan olarak dış ortam havası seçilmiştir. Yapılan sayısal hesaplamalarda, kanat yüksekliği, boru çapı, kanat kalınlığı ve kanat adımı gibi geometrik parametrelerde değişiklik yapılarak Re sayısına bağlı olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Ansys-Fluent gibi paket programlar deneysel çalışmalara göre bir çok değişken parametreyi dikkate alarak problemin daha kısa bir zamanda analiz edilmesini sağlayarak zamandan tasarruf yapılmasını sağlar.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Isı Değiştiricileri

Katı bir cidar boyunca birbirinden ayrılmış farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasında ısı transferini gerçekleştiren sistemlere ısı değiştiricisi denmektedir. Isı değiştiricileri ısıtma-soğutma sistemlerinde, atık olan ısıнын geri kazanımında, kimyasal işlem vb. gibi birçok sistemde kullanılmaktadır.

Isı değiştiricisi tasarlanırken en önemli kriter maliyet, hacimsel olarak boyut ve ısı geçişi konusunda maksimum verimdir. Bu kriterler dikkat alınarak birçok tipte farklı ısı değiştiricileri tasarlanmıştır.



Şekil 2.1 : Isı değiştiricilerinin özelliklerine göre sınıflandırılması [52].

Yukarıda da görüldüğü gibi birçok tipte ısı değiştiricisi sınıflandırılması yapılmıştır. Tezin çalışma kapsamına bağlı olarak ısı değiştirici tiplerinin yapısal özelliklerine göre kısa açıklaması aşağıda verilmiştir.

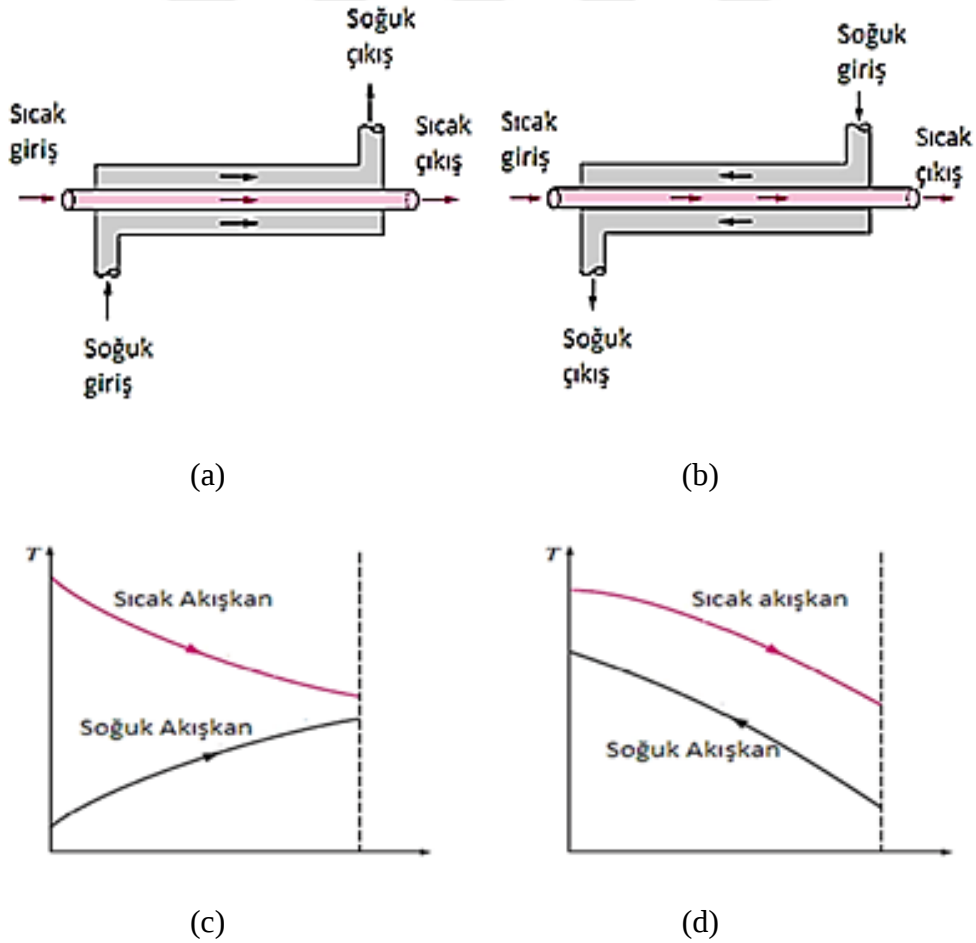
2.2 Yapısal Özelliklerine Göre Isı Değiştiricileri

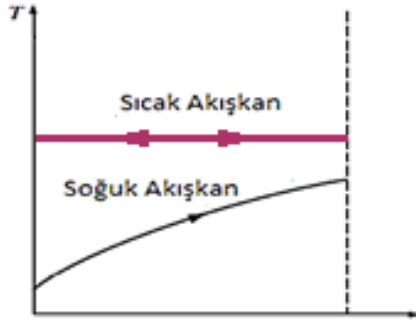
2.2.1 Borulu ısı değiştiricisi

Bu tip ısı değiştiricileri yüksek basınçlara dayanabildiğinden kullanımlı oldukça yaygındır. Boru çapı, boru boyu ve düzenlemenin kolayca değişmesinden dolayı tasarımda kolaylık sağlamaktadır.

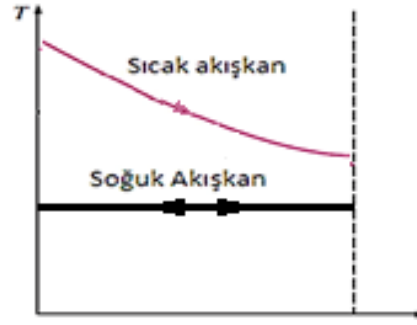
2.2.1.1 Düz borulu ısı değiştiricisi

Düz borulu ısı değiştiricileri genellikle eş eksenli olup iç içe borulu ısı değiştiricileridir. İçteki borunun iç kısmından akışkan akarken iç borunun dış kısmında diğer akışkan geçmektedir. Bu akışkanlar birbirine paralel veya zıt olabilmektedir. Aynı yönde olan akış tipine paralel akışlı ısı değiştiricileri, zıt yönde akış gerçekleşiyor ise zıt akışlı ısı değiştiricileri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.2’de paralel ve zıt akışlı ısı değiştiricilerinin şematik resimleri verilerek, sıcak ve soğuk akışkanın ısı değiştirici boyunca sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.





(e)



(f)

Şekil 2.2 : Çift borulu ısı değiştiricide farklı akış düzeni ve sıcaklık profilleri (a) Paralel akış düzeni (b) Zıt akış düzeni (c) Paralel akış sıcaklık değişimi (d) Zıt akış sıcaklık değişimi (e) Yoğuşturucu ve (f) Buharlaştırıcı sıcaklık değişimi [53]

2.2.1.2 Spiral borulu ısı değiştiricileri

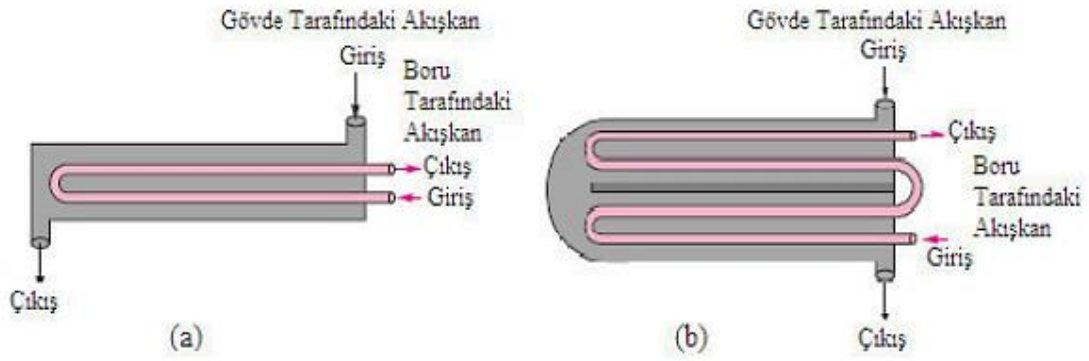
Bu tip ısı değiştiricileri gövde içerisine spiral şekilde kıvrılmış boruların yerleştirilmesinden oluşan ısıtma soğutma sistemidir. Düz boruya göre ısı geçiş katsayısı yüksektir. Bu tip ısı değiştiricilerin bakımı oldukça zor olduğundan daha çok kirlilik faktörü bulunmayan akışkanlarda tercih edilmektedir.



Şekil 2.3 : Spiral borulu ısı değiştiricisinin boru [54]

2.2.1.3 Gövde borulu ısı değiştiricisi

Bu tip ısı değiştiricileri gövde ve gövde içerisine yerleştirilmiş boru demetlerinden meydana gelmektedir. Gövdenin içinden akışkan geçerken boruların içinden diğer akışkan geçmektedir. Endüstriyel alanda çok kullanılmaktadır. Gövde içerisine şaşırtma levhaları kullanarak türbülans etkisi oluşturup ısı transfer katsayısı arttırılmaktadır.



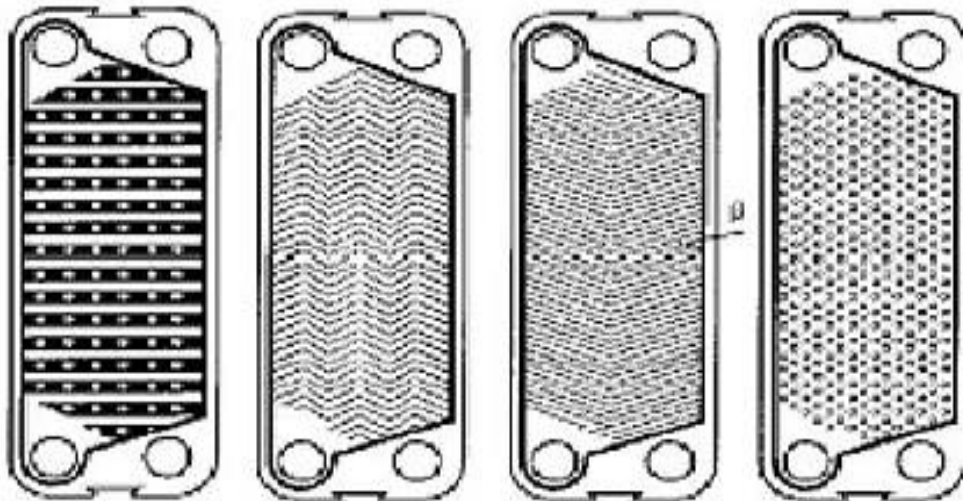
Şekil 2.4 : Gövde borulu ısı değiştiricileri (a) Bir gövde ve iki borulu geçişli (b) İki gövde ve dört boru geçişli [53]

2.2.2 Levhali ısı değiştiricileri

Düz ya da dalgalı olarak metal levhadan imal edilen ısı değiştiricilerdir. Bu tip ısı değiştiriciler    gruba ayrılırlar. Bunlar contalı levhali, spiral levhali ve lamellidir.

2.2.2.1 Contalı levhali ısı değiştiricileri

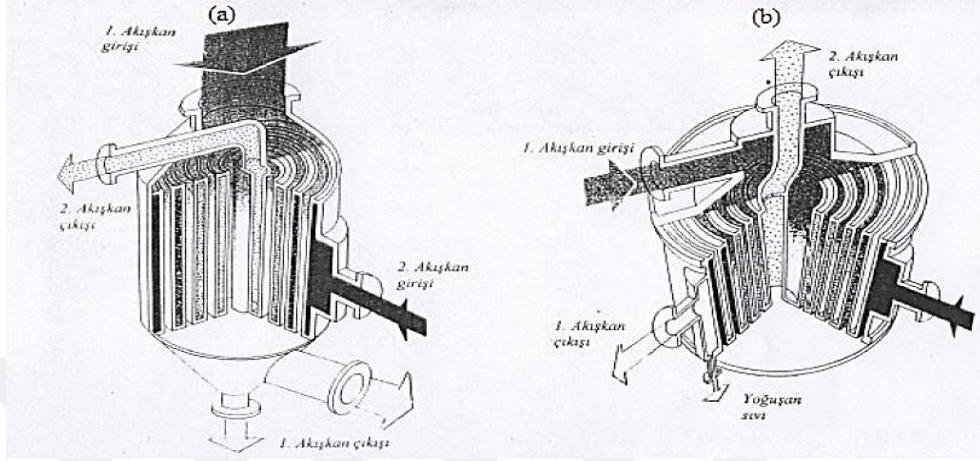
Levhalar sayesinde akışkanların birbirine karışmadan ısı geçişinin sağladığı ısı değiştirici sistemidir. Levhalarda bulunan conta sayesinde akışkanların birbirine karışması engellenmektedir. Bakımı kolay olup yeni levhalarda eklenerek ısı transfer hızı arttırılmaktadır.



Şekil 2.5 : Contalı levhali ısı değiştiricisinin yandan görünüşü [55]

2.2.2.2 Spiral levhalı ısı değıştircileri

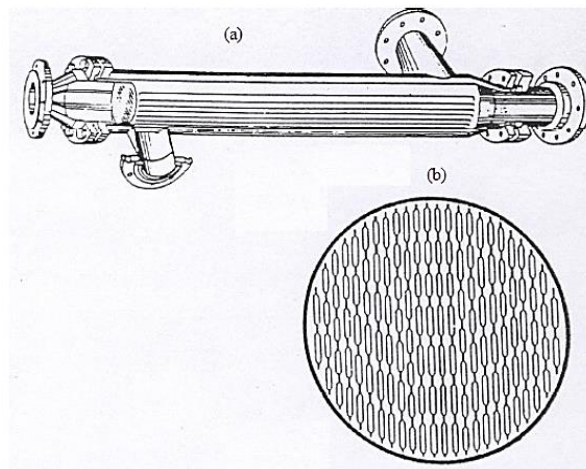
İki paralel levhanın spiral şekilde sarılarak levhalar arasına saplamalar konulup düzgün bir boşluk oluşturularak levhanın iki tarafı contalı kapakların kapatılması ile meydana gelmektedir. Bu tip ısı değıştircisinde basınç kaybı azdır.



Şekil 2.6 : Spiral levhalı ısı değıştircisi (a) Bir kanalda spiral, diğesinde aksel akış (b) Yoğuşturucu olarak kullanılan spiral levhalı ısı değıştircisi [56]

2.2.2.3 Lamelli ısı değıştircileri

Gövde içine yassılatılmış borulardan oluşup boru demetinin konulması ile oluşan ısı değıştircisidir. Yassılatılmış boruya lamel adı verilmektedir. Yassılatılmış lamelli borulardan akışkanlardan biri akar iken, diğeri akışkan lameller arasından akmaktadır. En büyük avantajı hidrolik çapının küçük olmasından dolayı ısı taşınım katsayısı büyük olmaktadır.



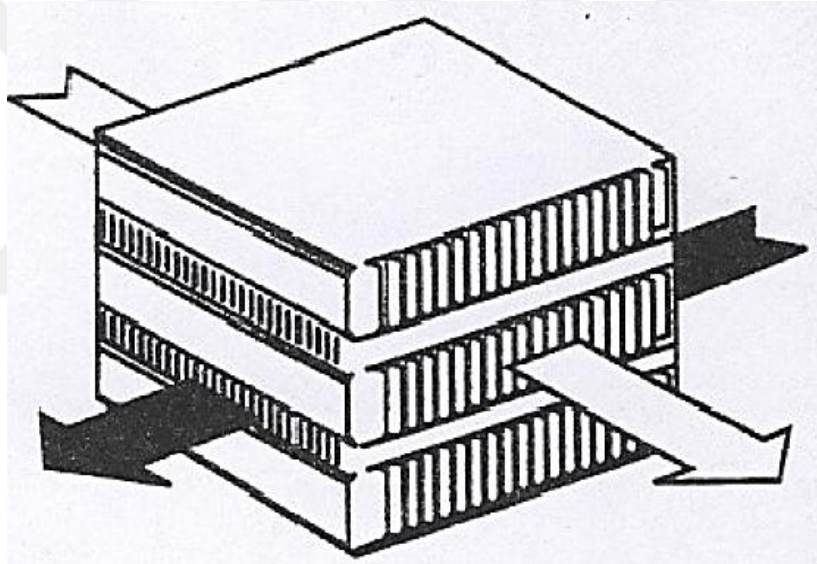
Şekil 2.7 : Lamelli ısı değıştircisi (a) Boyuna kesit (b) Enine kesit [56]

2.2.3 Kanatlı yüzeyli ısı değıştircileri

Bu tip ısı değıştircilerinde ısı transfer hızını arttırmak için kanatlı yüzeyler kullanılmaktadır. Kanatlı yüzeyler genellikle gaz tarafında kullanılır. Gaz akışkanların sıvı akışkanlara göre ısı taşınım katsayıları merteye olarak daha düşük olduğu için kanatlar ısı transfer yüzey alanını arttırılarak taşınım ile olan ısı transfer miktarını arttırmaktadır. Kanat yüzeyli ısı değıştircileri iki tiplidir. Bunlar levhalı kanatlı ve borulu kanatlı ısı değıştircileridir.

2.2.3.1 Levhalı kanatlı ısı değıştircileri

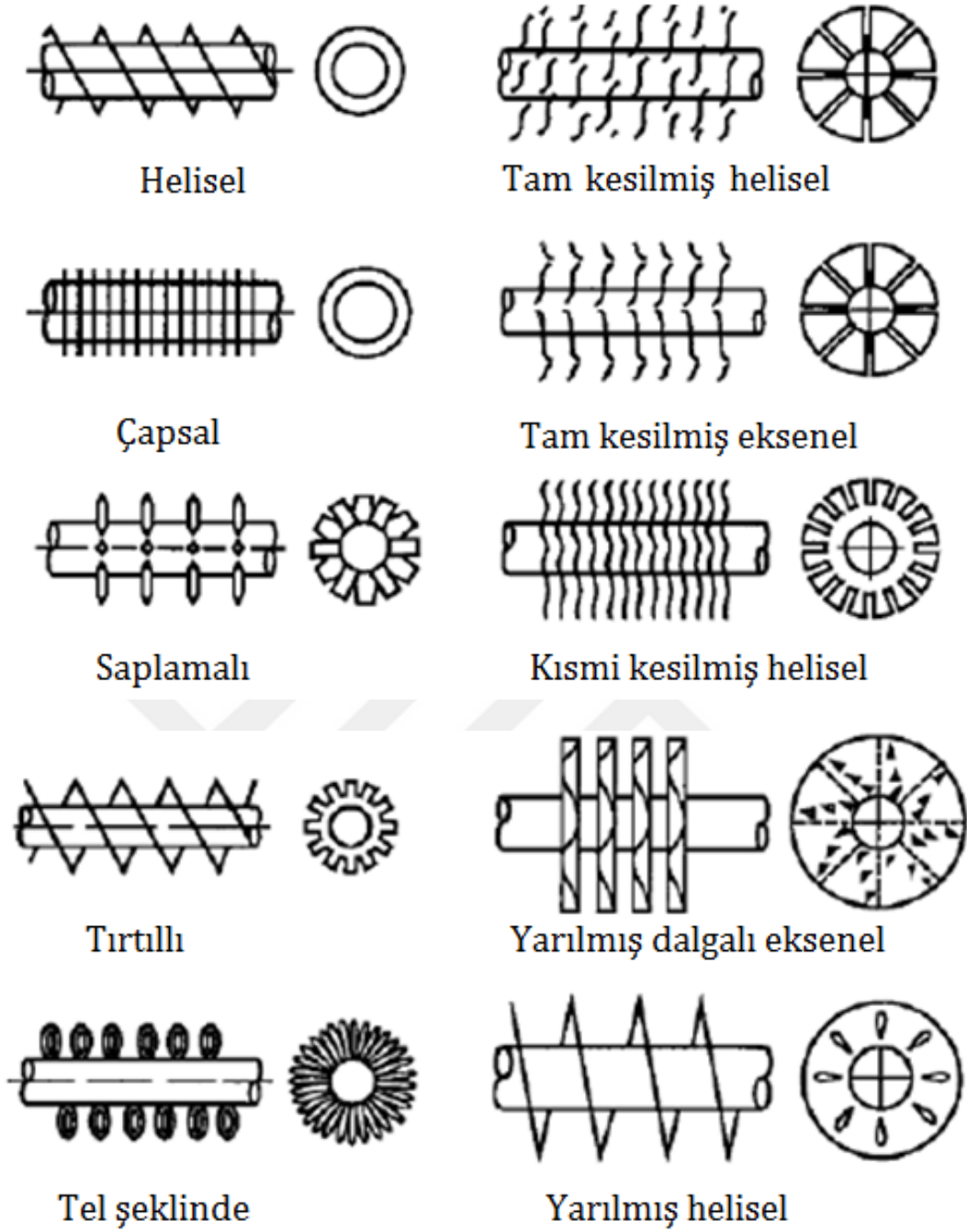
Paralel levhalar arasına yerleştirilen kanatlı ısı değıştircileridir. Her iki akışkan gaz olduğu durumlarda levhalar arasına kanat yerleştirilebilmektedir. Yüksek basınçlarda çalışabilmektedir.



Şekil 2.8 : Levhalı kanatlı ısı değıştircisi [56]

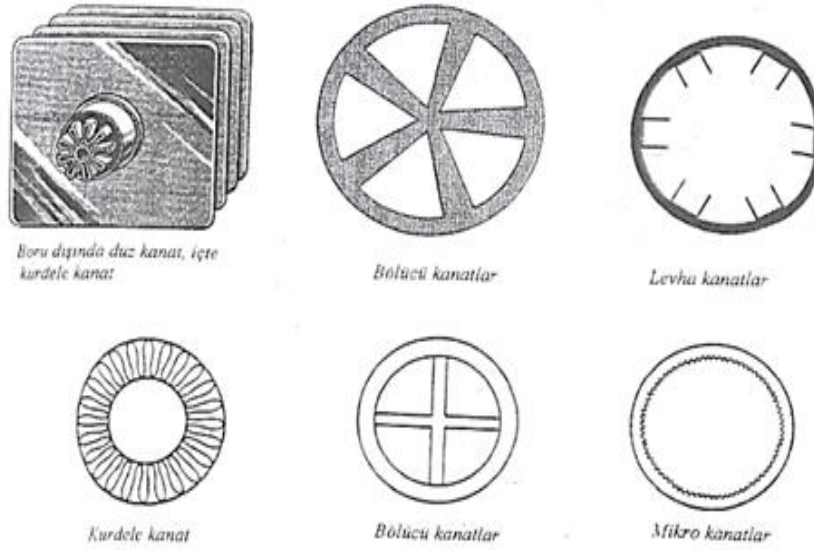
2.2.3.2 Borulu kanatlı ısı değıştircileri

Bu tip ısı değıştirciler boru etrafında ısı transfer miktarını arttırmak amacıyla kanat dediğimiz sacın sarılmasıyla oluşan ısı değıştircisidir. Kanat geometrisi oldukça çeşitliliği fazladır. Bunlardan en çok bilinen dairesel kanatlı ve helisel kanatlı borulu ısı değıştircileridir.



Şekil 2.9 : Boru dışına konulan bazı kanat şekilleri [56]

Eğer boru içinde geçen akışkanın ısı transfer hızı düşük olduğu durumlarda boru içerisine kanat yerleştirmek mümkündür. Böylelikle ısı transfer miktarı hem de türbülans etkisini artırılmış olur.



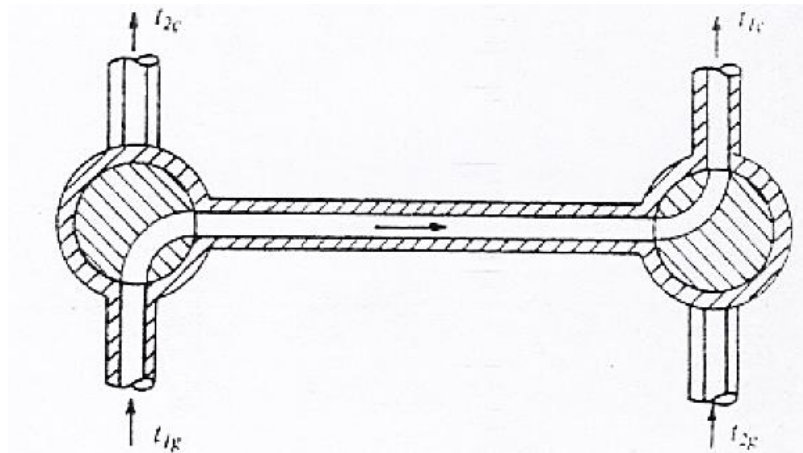
Şekil 2.10 : Boru içine yerleştirilen kanat tipleri [56]

2.2.4 Rejeneratif ısı değıştircileri

Bu tip ısı değıştircilerinde ısı depolanarak diğetine aktarılması ile oluşur. Sıcak akışkan belirli bir süre boyunca bir yüzey üzerinden geçirilerek yüzey ya da dolgu malzemesi ısıtılır. Daha sonra ısınan bu yüzey veya dolgu malzemesinden soğuk akışkan geçirilerek akışkanın ısınması sağlanır.

2.2.4.1 Sabit dolgu maddeli rejeneratörler

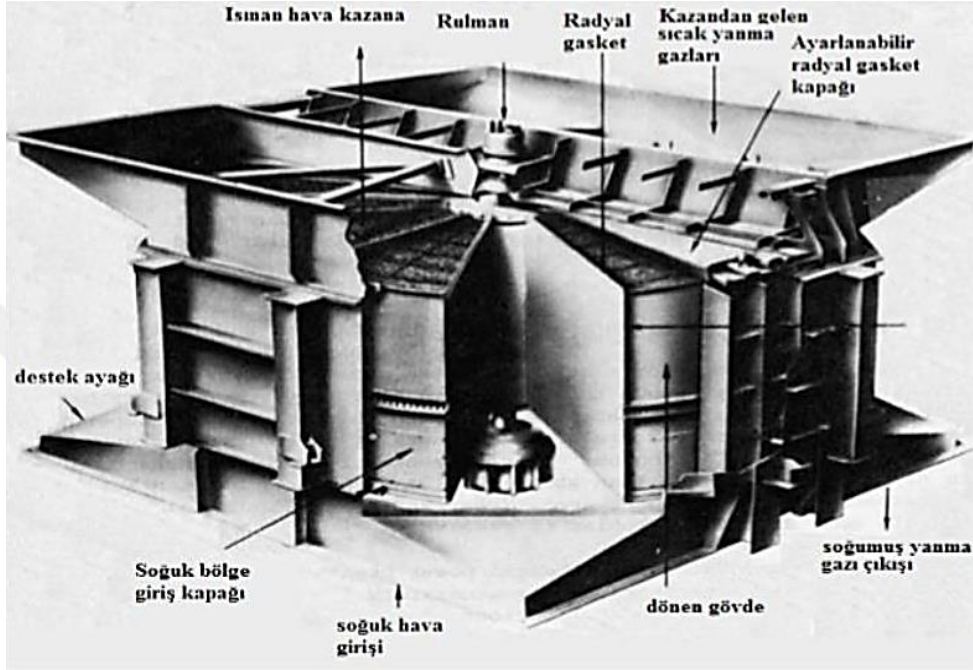
Isı değıştircisinin çalışma prensibi ısı dolgu maddesinden depolanıp daha sonra soğuk akışkan dolgu maddesinden geçirilerek ısı dolgu maddesinden soğuk akışkana aktarılır.



Şekil 2.11 : Sabit dolgulu rejeneratörün şematik gösterimi [56]

2.2.4.2 Döner dolgu maddeli rejeneratörler

Bu tip ısı değıştircileri sabit dolgulu olan tipe göre daha çok tercih edilmektedir. Sürekli bir çalışma prensibi bulunmaktadır. Bu tip ısı değıştircileri buhar kazanları, gaz türbinleri ve iklimlendirme tesisinde kullanılmaktadır. Bu ısı değıştircisi kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar disk ve silindir tip rejeneratörlerdir.



Şekil 2.12 : Döner dolgulu ısı değıştircisi [56]

3. MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada helisel kanatlı boru demetlerinde geometrik değişken parametrelerin ısı performans ve sürtünme faktörüne olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca, aynı değişken parametreler kullanılarak dairesel kanatlı boru demetleride incelenerek, helisel kanatlı boru demetleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sayısal çözümler hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan Ansys-Fluent programı ile yapılmıştır. Ansys-Fluent programı, mühendislik hesaplamalarında sıklıkla kullanılan çok güçlü bir yazılımdır. Günümüzde bu tür yazılımlar daha kısa bir sürede, deneysel çalışmalara göre bir çok değişken parametrenin etkisini dikkate alarak daha hızlı sürede problemi analiz edilmesini olanak sağlar.

3.1 Kullanılan Hesaplama Yöntemleri

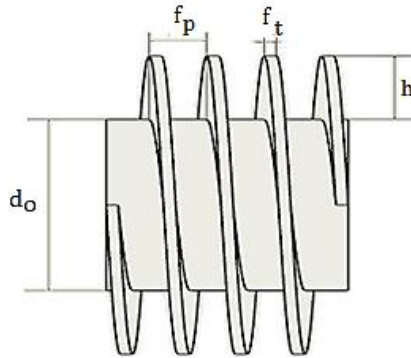
Helisel kanatlı boru demetleri ile dairesel kanatlı boru demetleri için Reynolds sayısı denklem 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır. Maksimum hız için kanatlar ve boru arasında kalan akışa dik minimum kesit alanı kullanılmaktadır. Akış bölgesindeki bu alanlar denklem 3.2 ve 3.3' de ifade edilmiştir.

$$Re = \frac{\rho u_{max} d_o}{\mu} \quad (3.1)$$

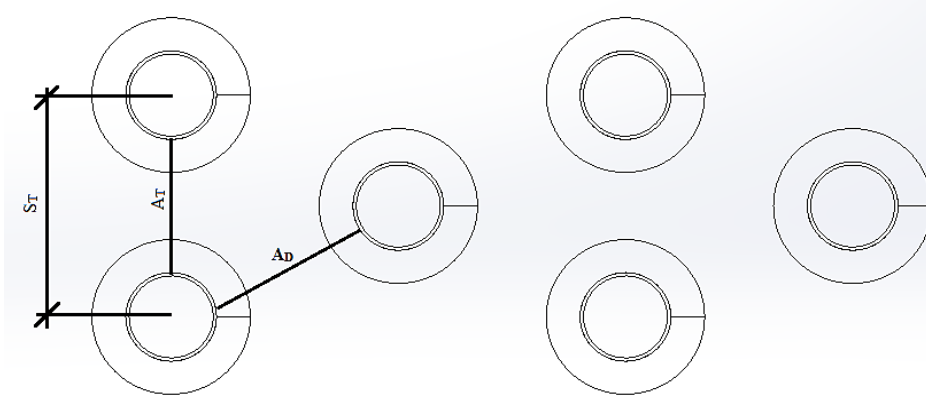
$$A_T = (S_T - d_o)L - 2hf_t \quad (3.2)$$

$$A_D = (S_D - d_o)L - 2hf_t \quad (3.3)$$

Burada Şekil 3.1 ve 3.2'den de görüldüğü gibi L boru uzunluğu, S_T akışa dik iki boru arası mesafe, S_D iki boru arası çapraz mesafe, h kanat yüksekliği, d_o boru dış çapı ve f_t kanat kalınlığıdır. Burada $A_T < A_D$ olduğundan minimum alan A_T 'de oluşmaktadır.



Şekil 3.1 : Helisel kanatlı borunun geometrik ifadeleri



Şekil 3.2 : Helisel boru demetinin üstten görünümü

Çalışmada çapraz akışlı ısı değiştiricisinde kanat ve boru dış yüzeyindeki hava akışı esas alınmıştır. Boru yüzey sıcaklığı sabit alındığından, boru içindeki akış dikkate alınmamıştır. Çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde hava tarafındaki akıştan dolayı sürtünmelerde dikkate alınarak ısı transferi incelenmiştir. Hesaplamalar sonucu hava tarafı Nu sayısı ve sürtünme faktörü bulunarak, literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmalar yapılmıştır. Hava tarafı akışa göre kullanılan denklemler sırasıyla aşağıda verilmiştir. Hava tarafı akışa ait toplam ısı transferi termodinamiğin 1. kanunu dikkate alınarak denklem 3.4 bağıntısı ile ifade edilmiştir.

$$Q_{top} = \dot{m}c_p(T_{c2} - T_{c1}) \quad (3.4)$$

Burada, $\dot{m}$ akışkanın kütleli debisi, c_p akışkanın özgül ısısı, T_{c1} ve T_{c2} sırasıyla akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır. Ayrıca, ısı transfer denklemi,

$$\dot{Q}_{top} = UA_o\Delta T_{LMTD} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada, ΔT_{LMTD} logaritmik ortalama sıcaklık farkı, U toplam ısı geçiş katsayısı ve A_o kanatlı borunun toplam ısı transfer yüzey alanını ifade etmektedir.

ΔT_{LMTD} aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_w - T_{c1}) - (T_w - T_{c2})}{\ln\left(\frac{T_w - T_{c1}}{T_w - T_{c2}}\right)} \quad (3.6)$$

Burada, T_w boru dış yüzeyi için kabul edilen sabit sıcaklığı belirtmektedir.

Toplam ısı geçiş katsayısı (U) denklem 3.7’de verildiği gibi ifade edilmiştir.

$$\frac{1}{UA_o} = \frac{1}{h_i A_i} + R_t + \frac{1}{\eta_o h_o A_o} \quad (3.7)$$

Sayısal analizde sadece hava tarafı dikkate alınacağından ve boru yüzey sıcaklığı sabit olduğundan boru et kalınlığı ihmal edilmiştir. Bu durumda denklem 3.7’deki boru içi taşıyım ve boru iletim dirençleri göz ardı edilerek, toplam ısı geçiş katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\eta_o h_o} \quad (3.8)$$

Burada η_o toplam yüzey verimi, h_o ise ısı taşıyım katsayısıdır. Nu sayısı için gerekli olan ısı transfer katsayısını bulmak için denklem 3.9’da verilen bağıntıda toplam yüzey verimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_o} (1 - \eta_f) \quad (3.9)$$

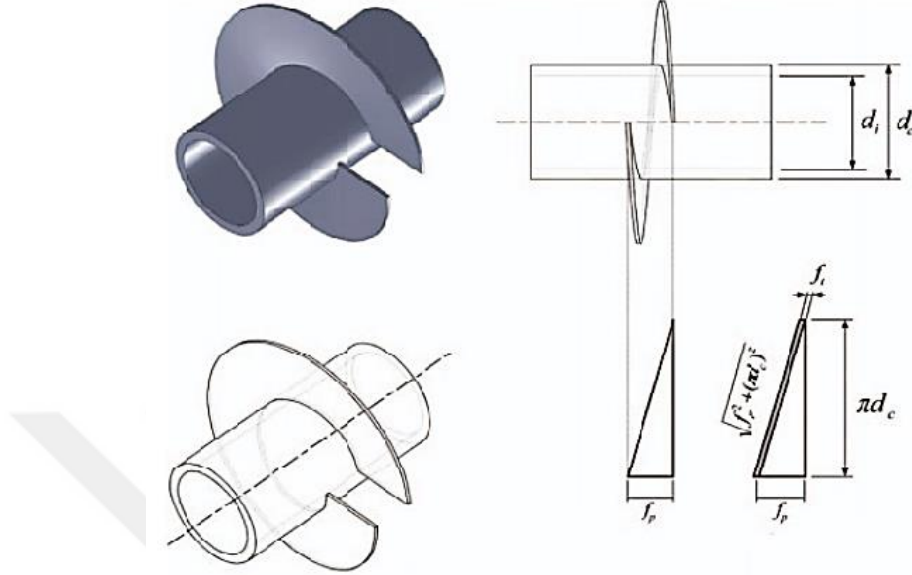
Burada A_f toplam kanat yüzey alanı, A_o toplam ısı transfer yüzey alanı, η_f kanat verimidir. Toplam ısı transfer yüzey alanını denklem 3.10’da ifade edilmiştir.

$$A_o = A_b + A_f \quad (3.10)$$

Toplam kanat yüzey alanının hesabı denklem 3.11’de verilmiştir [48].

$$A_f = N_T N_L \left(\frac{L}{f_p} \right) [0.5\pi d_f^2 - 0.5\pi d_c^2 + \pi d_f f_t] \quad (3.11)$$

Burada N_T boru demetine çapraz yöndeki boru sayısı N_L boru demetine aksenal yöndeki boru sayısı, d_f kanat dış çapı ve f_t ise kanat kalınlığıdır.

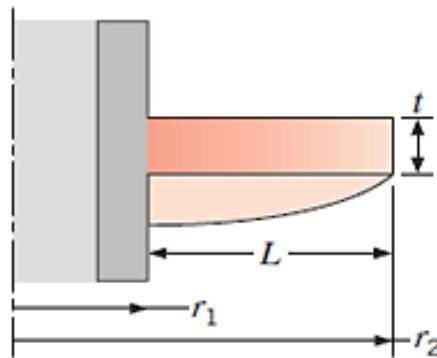


Şekil 3.3 : Helisel kanadın profil alanı [48]

Boru asal yüzey alanını (A_b) hesaplamak için denklem 3.12’de verilen denklem kullanılmaktadır [48].

$$A_b = N_T N_L [\pi d_c L - \left(\sqrt{f_p^2 + (\pi d_c)^2} \right) \times f_t \left(\frac{L}{f_p} \right)] \quad (3.12)$$

Denklem 3.9’ da verilen toplam kanat yüzey verimi hesabı için gerekli olan kanat verimi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Şekil 3.4’te dikdörtgen kesitli dairesel kanat profili verilmiştir.



Şekil 3.4 : Dikdörtgen kesitli dairesel kanat profili [57]

Şekil 3.4'te gösterilen dikdörtgen kesitli dairesel kanat için kanat verimi denklem 3.13'de verilmiştir [58].

$$\eta_f = C_2 \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_{2c}) - I_1(mr_1)K_1(mr_{2c})}{I_0(mr_1)K_1(mr_{2c}) - K_0(mr_1)I_1(mr_{2c})} \quad (3.13)$$

Burada verilenlere göre;

$$\text{Düzeltilmiş kanat dış yarıçapı:} \quad r_{2c} = r_2 + (t/2)$$

C_2 ile m katsayıları sırayla:

$$c_2 = \frac{2r_1/m}{(r_{2c}^2 - r_1^2)} \text{ ve } m = (2h/kt)^{1/2}$$

Burada belirtilen k ısı iletim katsayısı, h ise ısı taşınım katsayısı, r_1 boru dış yarı çapı, r_2 boru merkezinden ölçülen kanat yarıçapı, I_0 ile K_0 modifiye edilmiş sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu ifadesi, I_1 ve K_1 ise modifiye edilmiş birinci dereceden Bessel fonksiyonlarıdır.

Nusselt sayısı Denklem 14'de ifade edilmiştir.

$$Nu = \frac{h_o d_o}{k_{hava}} \quad (3.14)$$

burada, k_{hava} havanın ısı iletim katsayısıdır.

Sürtünme faktörü ise Denklem 3.15'te verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır [50].

$$f = \frac{A_{min}\rho}{A_o} \left[\frac{2\Delta P}{G_c^2} \right] \text{ ve } G_c = \frac{\dot{m}}{A_{min}} \quad (3.15)$$

burada, A_{min} minimum akış alanı, A_o toplam yüzey alanı, G_c kütle akısı, ΔP basınç düşümü, $\dot{m}$ kütleli debi ve ρ havanın giriş ve çıkış sıcaklığının aritmetik ortalamasıyla elde edilen yoğunluk değeridir.

Sayısal analizlerde geometrik parametrelere bağılı olarak 5000 ile 20000 aralığındaki Re sayılarında ısı taşınım katsayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Sayısal analizlerde akışkanın giriş hızı, Re sayısından maksimum hız hesaplanarak kütlenin korunumu denkleminden hesaplanmıştır. Isı taşınım katsayısı hesabında ise, sayısal analiz sonucu elde edilen akışkanın çıkış sıcaklığı ve kütleli debisi kullanılmıştır. Akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları dikkate alınarak ortalama akışkan sıcaklığı hesaplanmış ve bu değere göre akışkanın termofiziksel özellikleri Çizelge 3.1’ den interpolasyon ile elde edilmiştir. Denklem 3.4, 3.5 ve 3.6’da verilen formüller kullanılarak, toplam ısı transferi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Kanat verimi (η_f) ısı taşınım katsayısı kabul edilerek, Denklem 3.9’dan toplam yüzey verimi (η_o) ve Denklem 3.8’den ise hava tarafı ısı taşınım katsayısı (h_o) hesaplanmıştır. Daha sonra bulunan h_o değeriyle, kabul edilen ısı taşınım katsayısı yakınsayana kadar Excel’de iteratif bir işlemle ısı taşınım değeri hesaplanarak son işlem için Denklem 3.14 kullanılarak Nu sayısı hesaplanmıştır. Sürtünme faktörü ise sayısal analizden bulunan basınç düşümü (ΔP) kullanılarak Denklem 3.15’de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

3.2 Havanın Termofiziksel Özellikleri

Sayısal analizde hava sisteme girdikten sonra kanat ve boru yüzeyi ile temas ederek taşınım yolu ile ısı transferi yaptıktan sonra sistemi terk etmektedir. Havanın termofiziksel özellikleri sıcaklığa bağılı olarak değişkenlik göstermektedir. Havanın yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozitesi gibi özellikler havanın giriş ve çıkış sıcaklığının ortalaması esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

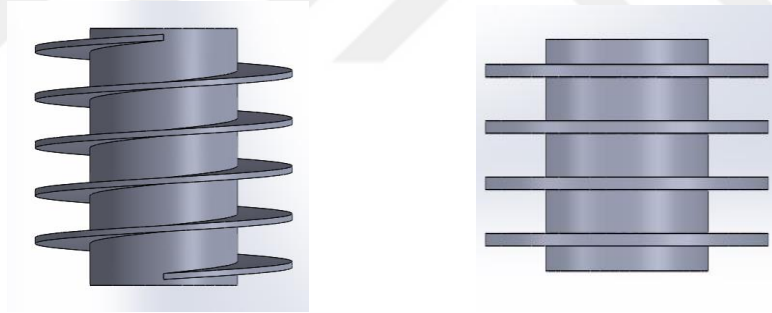
Ortalama sıcaklığa bağılı olarak Çizelge 3.1’de verilen akışkan özellikleri dikkate alınmıştır. Ara sıcaklık değerleri Excel’de interpolasyon yapılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1 : Havanın Termofiziksel Özellikleri [58]

T(°C)	ρ [kg/m ³]	c_p [kJ/kg.K]	k[W/m.K]	μ [kg/m.s]x10 ⁵
15	1.225	1007	0.02476	1.802
20	1.204	1007	0.02514	1.825
25	1.184	1007	0.02551	1.849
30	1.164	1007	0.02588	1.872
35	1.145	1007	0.02625	1.895

3.3 Üç Boyutlu Helisel Kanatlı Boru Demeti Geometrisi

Çapraz akışlı ısı değıştircisinde kullanılan helisel kanatlı boru ile dairesel kanatlı boru geometrisi Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Helisel ve dairesel kanatlı boru

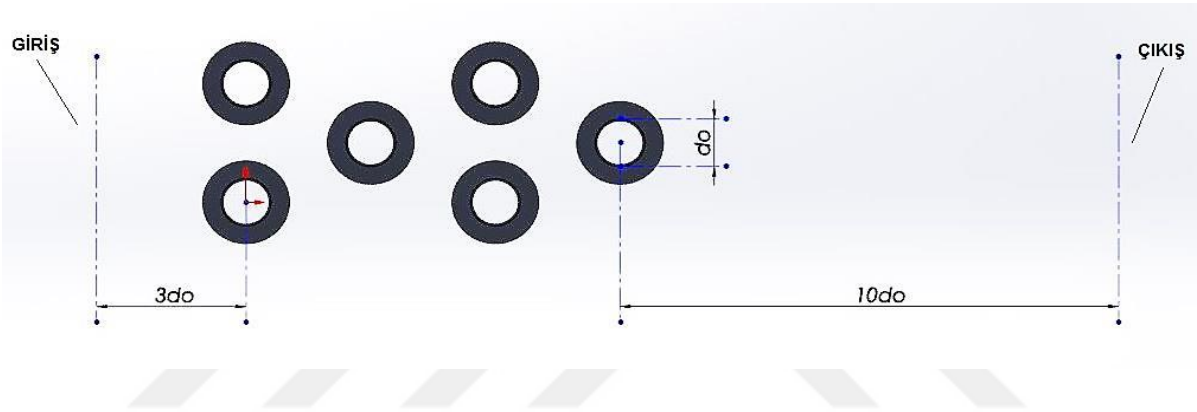
Tüm sayısal çalışmada Şekil 3.6’da gösterildiği gibi helisel ve dairesel kanatlı borular şaşırtmalı olarak boru demeti düzeninde sıralanmış ve akış yönünde boru sıra sayısı dört olarak modellenmiştir.



Şekil 3.6 : Helisel kanatlı boru demeti

3.4 Sayısal Modelleme

Sayısal çalışmada ısı değıştircisinde hava tarafı dikkate alınmıştır. Akışkan dışında kalan boru ve kanatlar için farklı sınır şartları tanımlanmıştır. Boru için sabit yüzey sıcaklığı, kanat için iletim-taşıyım sınır şartı (via System Coupling) tanımlanmıştır. Literatürde sabit yüzey sıcaklığı ile iletim-taşıyım sınır şartı dışında, tüm yüzeylerin sabit sıcaklık sınır şartı olarak alındığı çalışmalar bulunmaktadır. [16,59]. Kanat ve boru malzemesi çelik olarak seçilmiştir. Sayısal çalışmada oluşturulan katı modellerde Şekil 3.7’de gösterildiği gibi havanın girişı ilk borunun merkezinden $3d_o$, havanın çıkışı en sondaki borunun merkezinden $10d_o$ uzaklıkta tanımlama yapılmıştır.



Şekil 3.7 : Boru demetinde hava giriş ve çıkış tanımı

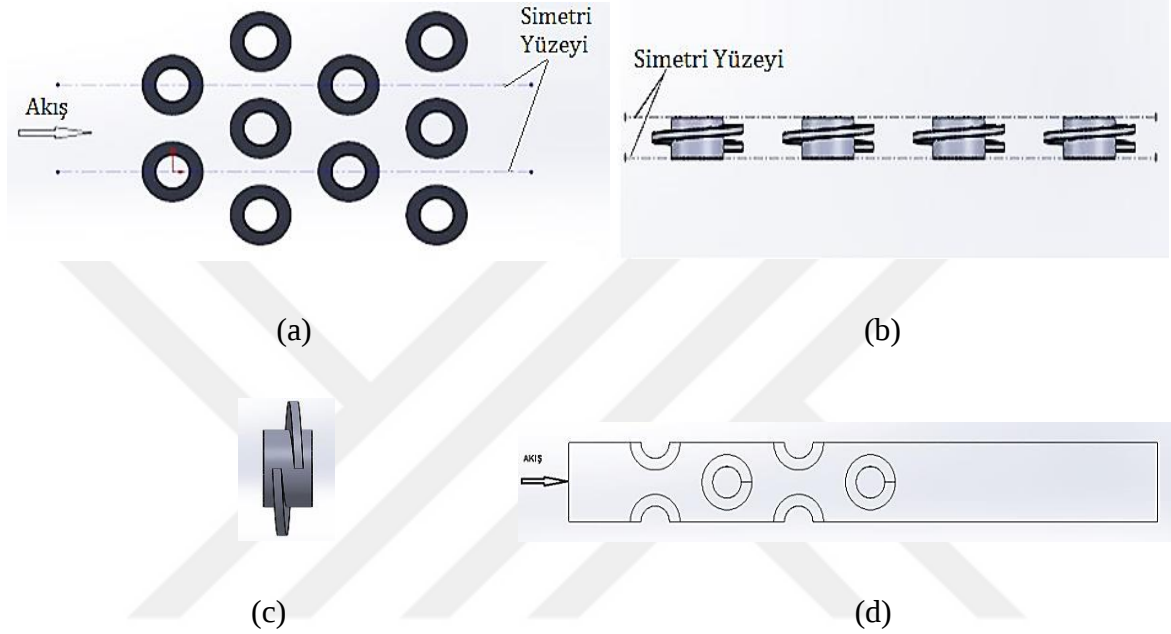
3.5 Türbülans Model

Sayısal çalışmalarda bu tip ısı değıştircileri için genel olarak iki tür türbülans modeli kullanıldığı görülmüştür. Bunlar RNG (Renormalization Group) $k-\epsilon$ türbülans modeli ile SST (Shear Stress Transport) $k-\epsilon$ türbülans modelleridir. Uygun türbülans modelini belirlemek için doğrulama çalışmasında iki türbülans model denemiş olup RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli doğrulama çalışmasında daha iyi olduğu görülmüş ve bundan sonraki tüm sayısal çalışmalarda bu türbülans modeli kullanılmıştır.

3.6 Sınır Şartları

Sayısal çalışmada sınır şartları oldukça önemlidir. Ansys-Fluent paket programında hız giriş (velocity-inlet) ve basınç çıkışı (pressure-outlet) sınır koşulları tanımlanmıştır. Giriş hızı Reynolds sayısına bağlı olarak değışkenlik göstermekte olup hava dışarı atıldığından efektif basınç 0 Pa sabit atmosfer basıncı kabul edilmiştir. Boru yüzeyi sabit

sıcaklık olarak 373 K olarak tanımlanmıştır. Kanatlarda iletim-taşıyım sınır şartı (via System Coupling) seçilmiştir. Hava giriş sıcaklığı sabit sıcaklık olarak 293 K tanımlanmıştır. Bununla birlikte sayısal analizin süresini kısaltmak için katı modelin simetrisi alınmış ve simetri yüzeyinde simetri sınır şartı uygulanarak çözümleme yapılmıştır. Analiz için simetri koşuluna bağlı olarak oluşturulan HAD modeli Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Modelinin simetri durumu (a) Üstten görünüş (b) Yandan görünüş (c) Tek kanat formu (d) HAD modeli

3.7 Sayısal Model Ağ Yapısı

Sayısal çalışmalarda ağ yapısı çözüm doğruluğu için önemli yer tutmaktadır. Ağ yapısı özellikle çözüm süresinde ve sonuçların hassasiyetinde önemli yere sahiptir. Ansys programında mesh metrics sekmesinde mesh kalitesini gösteren bir çok parametreler bulunmaktadır. Mesh yapısında en önemli kriter, çarpıklık ve ağ kalitesi değeri Şekil 3.9’da gösterilen değerler dikkate alınarak mesh kalitesi istenilen seviyeye ulaştırılmıştır.

Skewness mesh metrics spectrum:

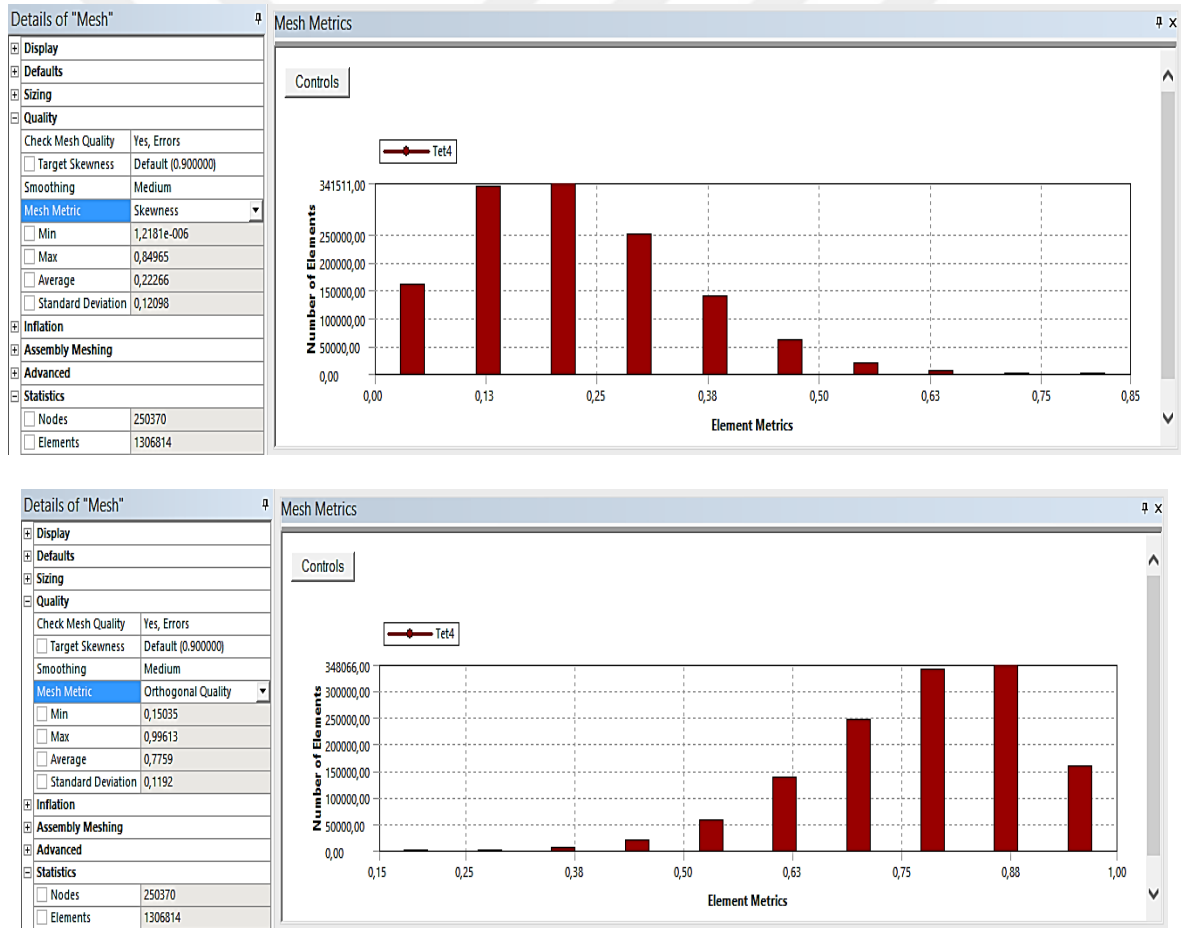
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Şekil 3.9 : Ağ çarpıklığı ile ağ kalitesi için kabul edilebilir değerler [60]

Şekil 3.9'daki değerler göz önüne alınarak oluşturulan mesh yapısı grafikleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

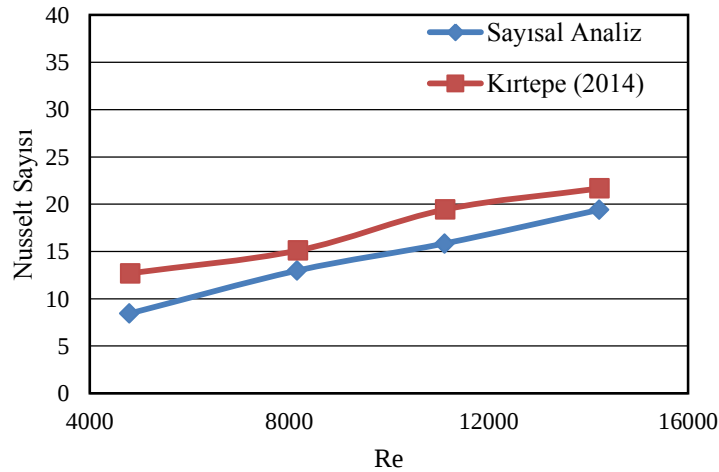


Şekil 3.10 : Ağ çarpıklığı ile ağ kalitesi için Ansys-Fluent programında oluşturulan mesh yapısı grafiği

3.8 Doğrulama Çalışması

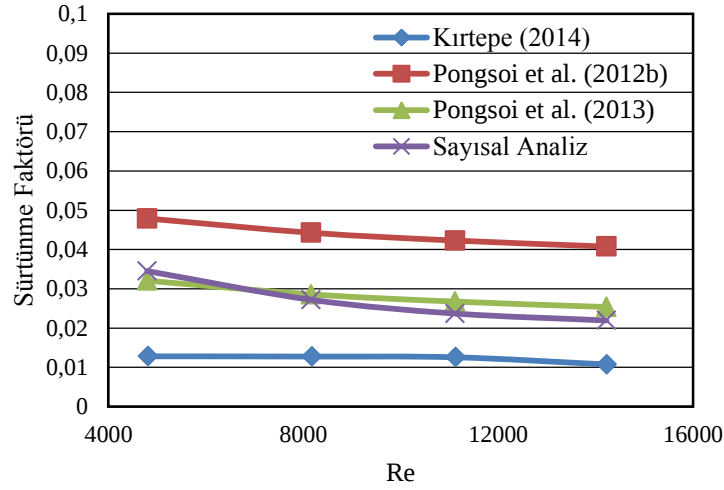
Sayısal çalışmalarda belli bir temele dayanabilmesi için literatürdeki bazı çalışmalar ile doğrulama yapılması oldukça önemlidir. Doğrulama çalışması aynı konu üzerinde literatürde yapılan çalışmalar esas alınarak yapılmalıdır. Sayısal çalışmada RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılara helisel kanatlı boru demetleri için literatürde yapılan deneysel çalışmalarla ısı performansı ile sürtünme faktörü için ayrı ayrı doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 3.11’de sayısal çalışmanın doğruluğu için Nusselt sayısı karşılaştırılarak doğrulama çalışması gösterilmiştir. Reynolds sayısının ortalama 14200 değerinde gerçekleştirilen sayısal analizde hesaplanan Nusselt sayısı deneysel sonuca (Kırtepe, 2014) %10’ luk bir hata miktarı ile yakınsama yaptığı görülmüştür.



Şekil 3.11 : Helisel kanatlı boru demetinde Nu sayısı için yapılan doğrulama çalışması

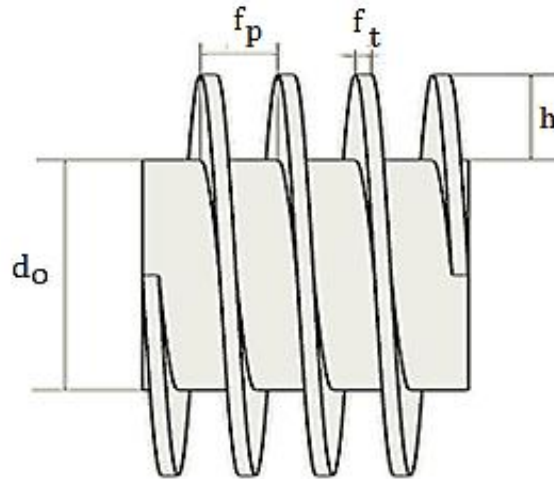
Şekil 3.12’de sürtünme faktörünün doğruluğu için yapılan çalışmalar gösterilmiştir. Sürtünme katsayısı ise deneysel çalışmaya [51] göre olan %13’ lük bir hata miktarı ile yakınsama yapmış olup ayrıca diğer deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların arasında olduğu görülmüştür. Buna göre ısı performans ve sürtünme faktörü açısından yapılan çalışmalarda seçilen RNG k- ϵ türbülans modeli doğrulama çalışmasında iyi bir yakınsama gösterdiğinden yapılacak olan tüm sayısal çalışmalarda RNG k- ϵ türbülans modeli ile analizler gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.12 : Helisel kanatlı boru demetinde sürtünme faktörü için yapılan doğrulama çalışması

3.9 Değişken Geometrik Parametreler

Sayısal analiz için helisel kanatlı boru geometrisindeki değişken parametreler Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Dört farklı geometrik parametrelere oluşan bu değişkenler boru dış çapı (d_o), kanat yüksekliği (h), kanat kalınlığı (f_t) ve kanat adımı (f_p) olarak belirlenmiştir. Bu değişken parametrelere göre geometrik modeller oluşturulup buna göre ısı performans ile sürtünme faktörü incelenmiştir. Geometrik parametrelerin değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Helisel kanatlı boru geometrisi için belirlenen geometrik parametreler

Belirlenen bu geometrik parametreler önceden belirlenen türbülans modeli ile ağ yapısı göz önüne alınarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler oluşturulurken

imal edilebilme durumu göz önüne alarak değerler seçilmiştir. Her bir parametre incelenirken dört farklı Reynolds sayısı için analizler gerçekleştirilmiştir.

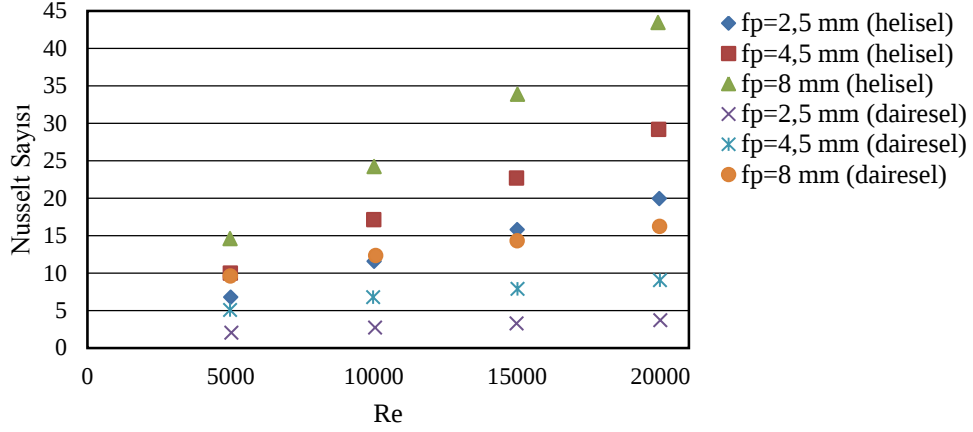
Çizelge 3.2 : Belirlenen Geometrik Parametreler

f_p (mm)	h (mm)	f_t (mm)	d_o (mm)
2,5	5	0,4	21,0
4,5	10	1,0	26,9
8,0	16	1,2	34,0

Değişken parametrelerin ısı performans ve basınç düşümü üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla dört farklı Reynolds sayısında analizler yapılarak, elde edilen sonuçlar grafikler yardımı ile gösterilmiştir. Reynolds sayısına göre oluşturulan bu grafikler incelenerek yorumlar yapılmıştır. Ayrıca tüm geometrik parametre için sayısal çalışmalarda $S_T = S_L$ olarak belirlenmiş 67,25 mm olarak alınmıştır.

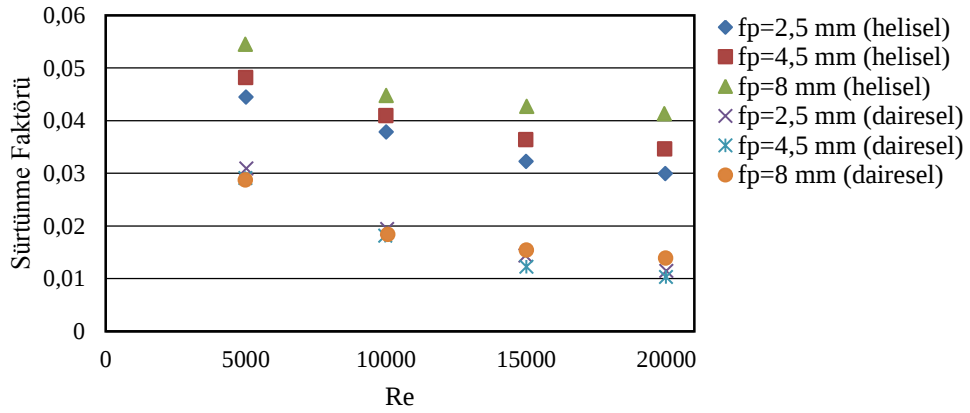
3.10 Kanat Adımının Etkisi (f_p)

Boru boyunca kanatlar arası mesafe, kanat adımını ifade etmektedir. Kanatlar arası mesafe hem basınç düşümünü hem de ısı performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Kanat adımının etkisini incelemek için Çizelge 3.2’de f_p dışındaki diğer parametreler sabit ($h=10$ mm, $f_t=1$ mm, $d_o=26,9$ mm) alınarak üç farklı kanat adımı değerleri $f_p = 2,5$ mm, 4,5 mm ve 8 mm için üç boyutlu olarak modellenip sayısal analizleri yapılmıştır. Ayrıca aynı sınır şartları ve geometrik parametreler kullanılarak helisel kanatlı boru demeti ile dairesel kanatlı boru demeti arasında karşılaştırma yapılmıştır. Analiz sonucunda ısı performansının etkisi Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Karşılaştırma sonucunda helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre ısı performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre 5000 Re sayısında kanat adımının 8 mm olduğu durumda ısı performansının %52 arttığı görülmüştür.



Şekil 3.14 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat adımının ısı performansına etkisi

Kanat adımının sürtünme faktörüne olan etkisi Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Kanat adımının artması sürtünme faktörünü arttırdığı görülmektedir. Böylece kanat adımının artması hem ısı performansı hem de sürtünme faktörünü artırmaktadır.

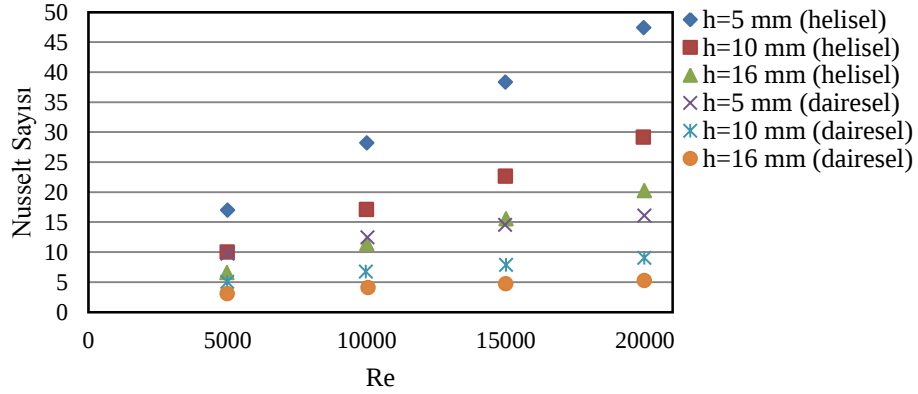


Şekil 3.15 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat adımının sürtünme faktörüne olan etkisi

3.11 Kanat Yüksekliğinin Etkisi (h)

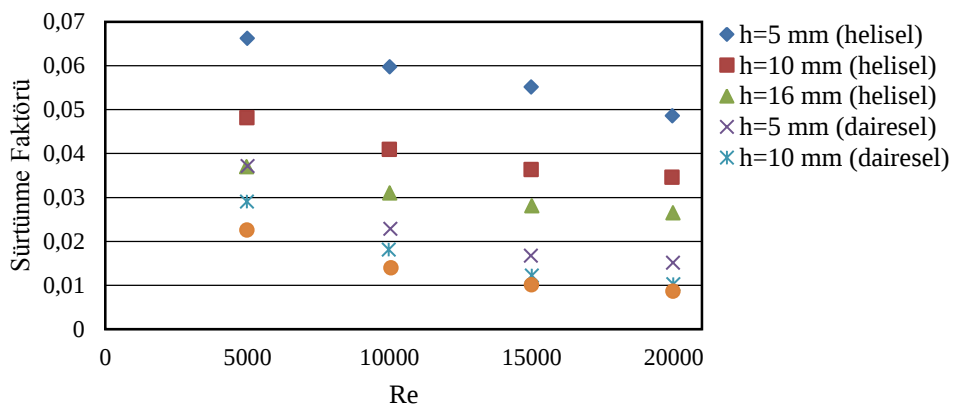
Kanat yüksekliğinin borunun dış yüzeyinden kanat ucuna kadar olan mesafedir. Kanat adımının ısı performansına ve sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemek için Çizelge 3.2'de h dışındaki diğer parametreler sabit ($f_p=4,5 \text{ mm}$, $f_t=1 \text{ mm}$, $d_o=26,9 \text{ mm}$) alınarak $h= 5 \text{ mm}$, 10 mm ve 16 mm kanat yükseliği değerleri için üç boyutlu olarak modellenip sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizde aynı sınır şartları ve geometrik

parametreler kullanılarak helisel ve dairesel kanatlı boru demetleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Analiz sonucunda ısıl performansın etkisi Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Karşılaştırma sonucunda helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre ısıl performansın daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre 5000 Re sayısında kanat yüksekliğinin 5 mm olduğu durumda ısıl performansın %75 arttığı görülmektedir.



Şekil 3.16 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin ısıl performansa etkisi

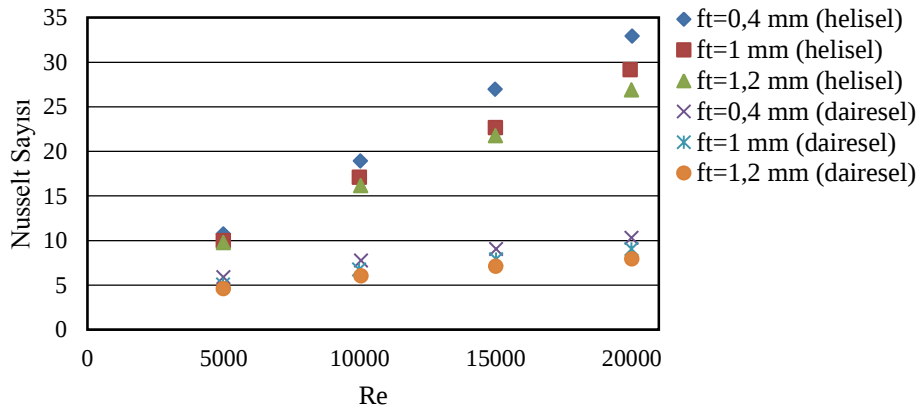
Sayısal analizde kanat yüksekliğinin artmasıyla ısıl performansın azaldığı görülmektedir. Kanat yüksekliğinin sürtünme faktörüne olan etkisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Buna göre kanat yüksekliğinin artması ile sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.17 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin sürtünme faktörüne olan etkisi

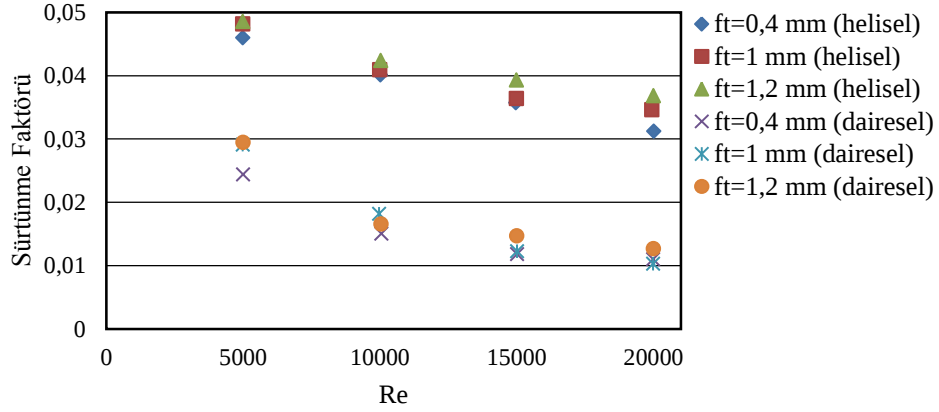
3.12 Kanat Kalınlığının Etkisi (f_t)

Kanat kalınlığının ısı performansa ve sürtünme faktörüne olan etkisini incelemek amacıyla üç farklı kalınlık değeri belirlenmiştir. Çizelge 3.2’de f_t değeri dışındaki diğer parametreler sabit ($f_p=4,5\text{ mm}$, $h=10\text{ mm}$, $d_o=26,9\text{ mm}$) alınarak $f_t=0,4\text{ mm}$, 1 mm ve $1,2\text{ mm}$ olmak üzere üç farklı kanat kalınlığı belirlenerek üç boyutlu olarak modellenip sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sayısal analizde aynı sınır şartları ve geometrik parametreler kullanılarak helisel ve dairesel kanatlı boru demetleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Analiz sonucunda ısı performansının etkisi Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Karşılaştırma sonucunda helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre ısı performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre 5000 Re sayısında kanat kalınlığının $0,4\text{ mm}$ olduğu durumda ısı performansının %82 arttığı görülmektedir.



Şekil 3.18 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat yüksekliğinin ısı performansına etkisi

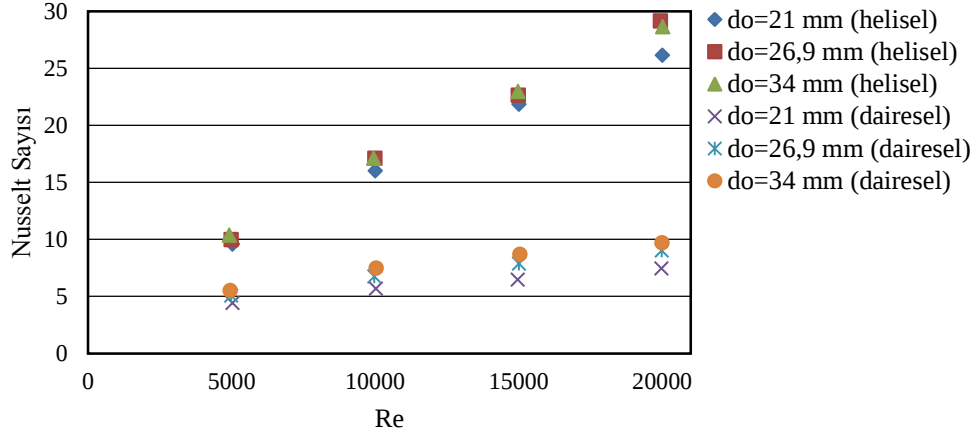
Sayısal analiz sonucunda grafikte görüldüğü gibi kanat kalınlığının artmasıyla ısı performansının azaldığı görülmüştür. Kanat kalınlığının sürtünme faktörüne olan etkisi Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kanat kalınlığının artmasıyla sürtünme faktörünün arttığı görülmektedir.



Şekil 3.19 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde kanat kalınlığının sürtünme faktörüne olan etkisi

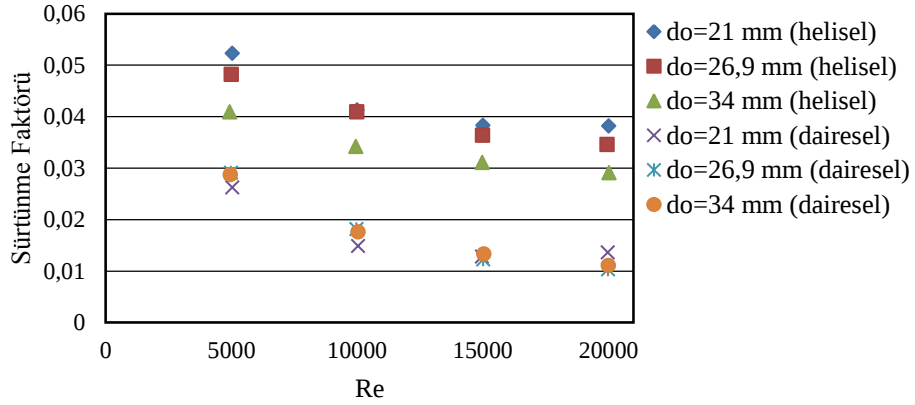
3.13 Boru Çapının Etkisi (d_o)

Boru çapının ısı performansına ve sürtünme faktörlerini inceleyebilmek için Çizelge 3.2’deki d_o dışındaki diğer parametreler sabit ($f_p=4,5$ mm, $f_t=1$ mm, $h=10$ mm) alınmak şartıyla $d_o= 21$ mm, 26,9 mm ve 34 mm dış çap değerleri için üç boyutlu olarak modellenip sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizde aynı sınır şartları ve geometrik parametreler kullanılarak helisel ve dairesel kanatlı boru demetleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Analiz sonucunda ısı performansının etkisi Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde boru dış çapının ısı transferi performansına etkisi

Sayısal analiz sonucunda grafikte görüldüğü gibi boru dış çapının artması ısı transferi performansında artışı görülmektedir. Ayrıca 5000 Re sayısında boru dış çapının 34 mm olduğu durumda helisel kanatlı boru demetinin dairesel kanatlı boru demetine göre ısı transferi performansının %88 artışı görülmüştür. Akış kaynaklı oluşan sürtünme faktörünün etkisinin sonuçları Şekil 3.21’de gösterilmektedir. Bu grafikte boru çapının artmasıyla sürtünme faktörünün azaldığı görülmektedir.



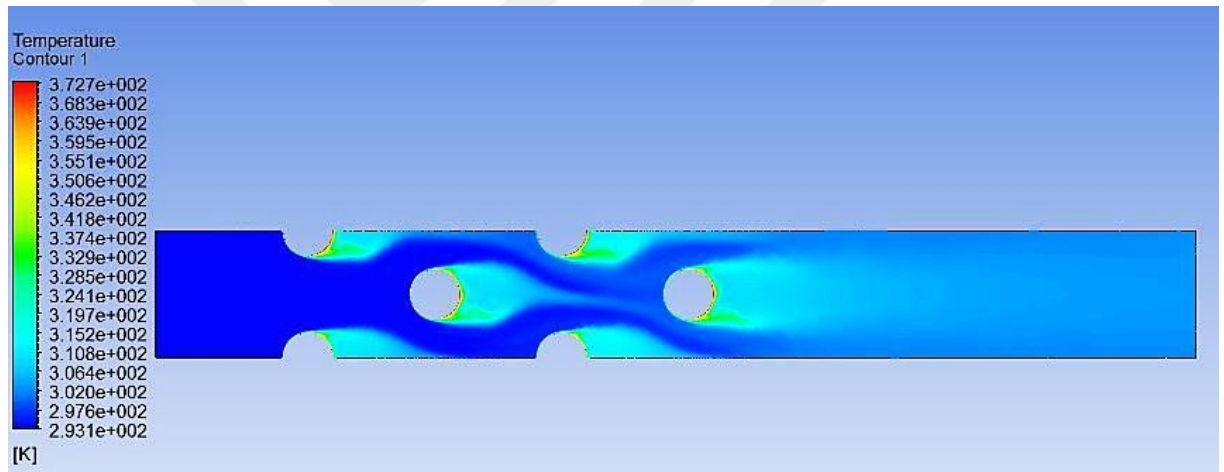
Şekil 3.21 : Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde boru dış çapının sürtünme faktörüne olan etkisi

3.14 Helisel Kanatlı Boru Demeti Geometrisi için Sayısal Analiz Sonuçları

Helisel kanatlı kanatlı boru demeti için yapılan sayısal analiz için belirlenen geometrik parametreler ısı performansına ve sürtünme faktörüne olan etkisi ortaya konulmuştur. Sayısal analizlerde elde edilen sonuçlar helisel ve dairesel kanatlı boru demetleri için ısı performans ve sürtünme faktörü açısından incelenerek sonuçlandırılmıştır.

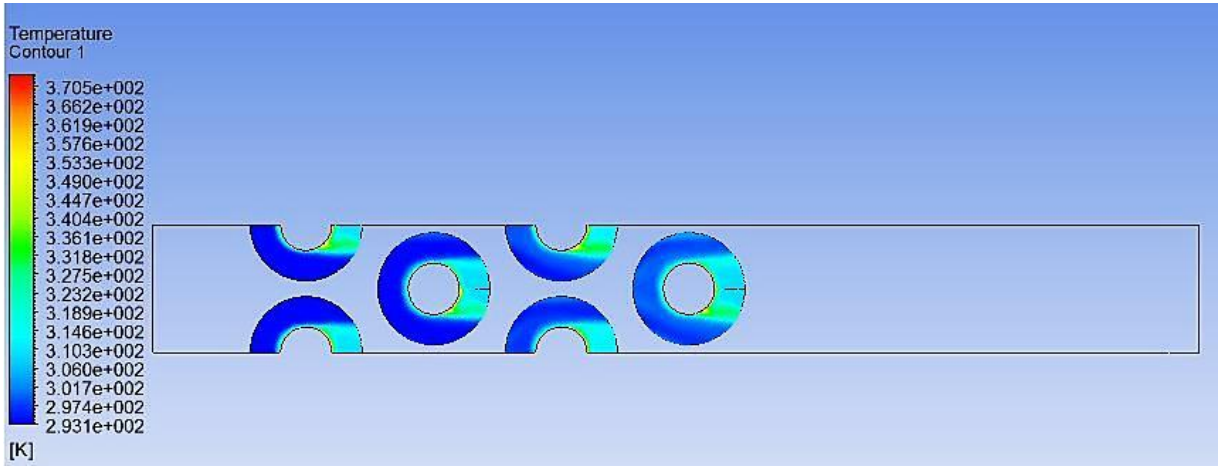
3.14.1 Helisel kanatlı boru demeti için ısı performans analizi

Helisel kanatlı boru demeti için yapılan sayısal çözümleme sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Boru demetine giren soğuk havanın helisel kanatlı boruyu dolaştıktan sonra sıcaklığın arttığı gözlemlenmiştir. Helisel kanatlı boru demetine giren soğuk havanın ısı değiştiricisine girişteki mavi renkteki havanın önce sarıya sonra ise yeşile doğru değiştiği görülmüştür.



Şekil 3.22 : Helisel kanatlı boru demeti kontrol hacmindeki akış boyunca sıcaklık dağılımı

Helisel kanat üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı ise Şekil 3.23’de verilmiştir.



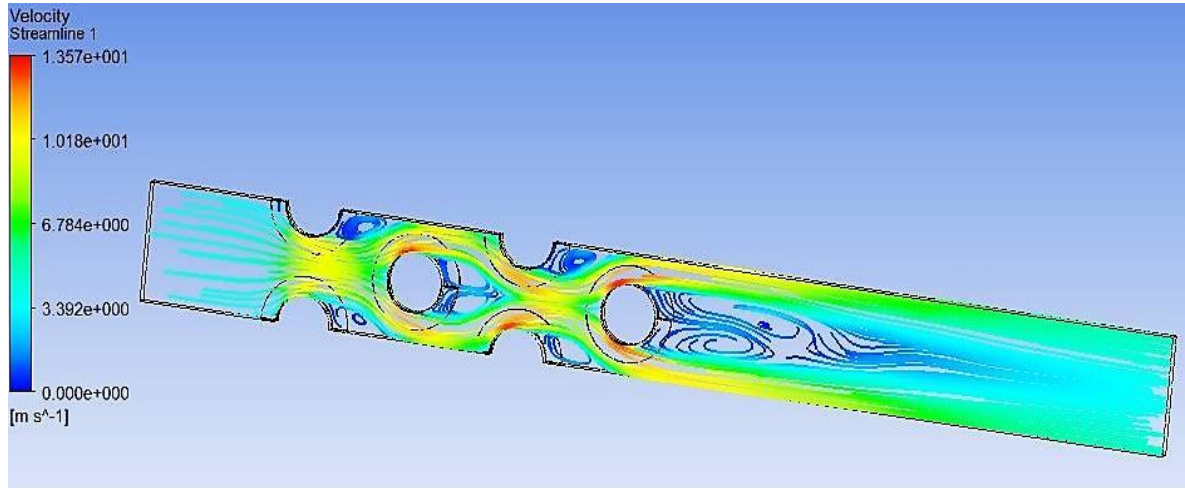
Şekil 3.23 : Helisel kanat üzerindeki sıcaklık dağılımı

Yapılan sayısal analiz sonucunda helisel kanatlı boru demeti için ısı performans açısından elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Helisel kanatlı boru demeti dairesel kanatlı boru demetine göre ısı performansın daha iyi olduğu görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat adımının artması ile ısı performansın artırdığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat adımının 2,5 mm’den 4,5 mm’ye ve 4,5 mm’den 8 mm’ye artması durumunda ısı performansı sırasıyla %32 ve %46 artış olduğu görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat yüksekliğinin artması ile ısı performansın azaldığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat yüksekliğinin 5 mm’den 10 mm’ye ve 10 mm’den 16 mm’ye artması durumunda ısı performansı sırasıyla %41 ve %34 azalttığı saptanmıştır.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat kalınlığının artması ile ısı performansın azaldığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat kalınlığının 0,4 mm’den 1 mm’ye ve 1 mm’den 1,2 mm’ye artması ısı performansı sırasıyla %7 ve %2 azaldığı görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde boru çapının artması ile ısı performansın artırdığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında boru çapının 21 mm’ den 26,9 mm’ ye ve 26,9 mm’ den 34 mm’ ye artması ısı performansı sırasıyla %4,11 ve %3,85 artış olduğu görülmüştür.

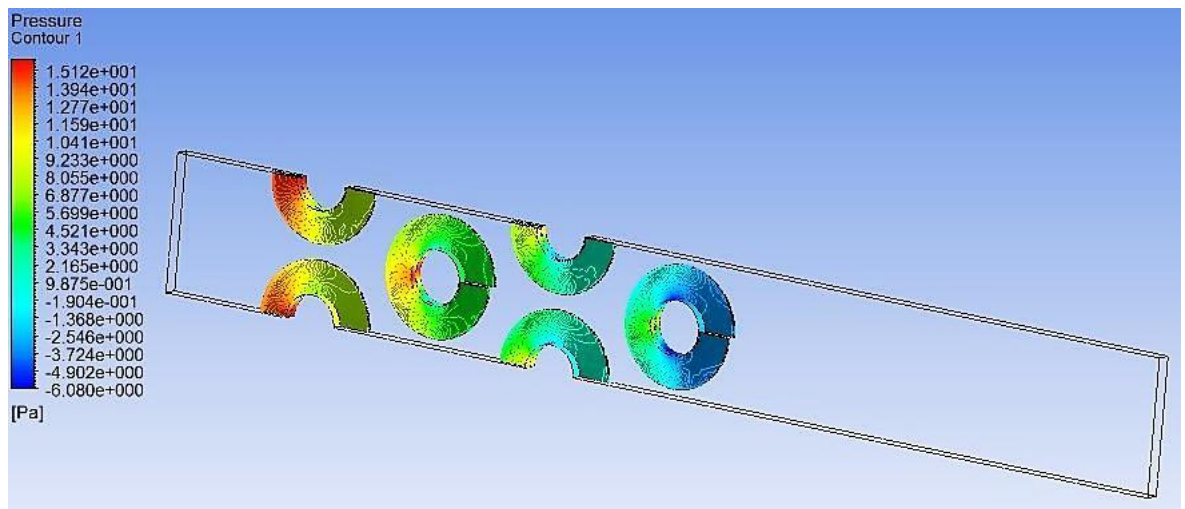
3.14.2 Helisel kanatlı boru demeti için akış analizi

Helisel kanatlı boru demeti için yapılan sayısal çözümleme sonucunda elde edilen hız dağılımı Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Grafiğe göre kanatlar arasına giren hava kesit alanı azalmasıyla hızın arttığı hız skalası girişteki renge göre açık maviden sarıya yaklaştığı görülmektedir. Mavi renkteki düşük hız değerinin artan türbülansın dolaylı geri dönüşe uğrayan akışkan partiküllerin oluşturduğu vorteksten kaynaklı olduğu görülmüştür.



Şekil 3.24 : Helisel kanatlı boru demeti için akış boyunca hız dağılımı

Akış boyunca meydana gelen basınç kontürleri Şekil 3.25'te verilmiştir. Havanın kanatlara çarptığı ön yüzeyde basıncın arttığı görülmüştür. Ayrıca görüldüğü gibi vorteksten dolayı oluşan geri dönüşlerde mavi renkte belirtilen yerlerde ters basınç meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 3.25 : Helisel kanatlı boru demeti için akış boyunca kanatlardaki basınç dağılımı

Sayısal alışmalar sonucunda helisel kanatlı boru demeti için akış sürtünmesi açısından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sayısal analiz sonucunda helisel kanatlı boru demeti dairesel kanatlı boru demetine göre basınç düşümünün daha fazla olduğu görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat adımının artması ile sürtünme faktörünü arttırdığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat adımının 2,5 mm'den 4,5 mm'ye ve 4,5 mm'den 8 mm'ye artması durumunda sürtünme faktörünü sırasıyla %8 ve %13 artış olduğu görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat yüksekliğinin artması ile sürtünme faktörünü azalttığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat yüksekliğinin 5 mm'den 10 mm'ye ve 10 mm'den 16 mm'ye artması durumunda sürtünme faktörünü sırasıyla %37 ve %30 azaltarak akışı iyileştirdiği saptanmıştır.
- Helisel kanatlı boru demetinde kanat kalınlığının artması ile sürtünme faktörünün arttığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında kanat kalınlığının 0,4 mm'den 1 mm'ye ve 1 mm'den 1,2 mm'ye artması sürtünme faktörünü sırasıyla %5 ve %1 artış olduğu görülmüştür.
- Helisel kanatlı boru demetinde boru çapının artması ile sürtünme faktörünün azaldığı görülmüştür. 5000 Reynolds sayısında boru çapının 21 mm' den 26,9 mm' ye ve 26,9 mm' den 34 mm' ye artması sürtünme faktörünü sırasıyla %9 ve %18 azaltarak akışı iyileştirdiği saptanmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Helisel kanatlı boru demeti ile dairesel kanatlı boru demeti için dört farklı geometri ele alınarak yapılan sayısal analiz çalışmaları sonucunda ısı performans ve sürtünme faktörü açısından karşılaştırmalar yapıldığında genel olarak şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Helisel kanatlı boru demeti dairesel kanatlı boru demetine göre ısı performansın iyi olduğu görülmüş fakat basınç düşümü açısından dairesel kanatlı boru demetine göre fazla olduğu görülmüştür.
- Boru çapının artması ısı transferini artırırken sürtünmeyi azaltan bir etkiye sahip olmaktadır.
- Kanat yüksekliğinin artması ısı transferi ve sürtünme faktörünün azaltıcı yönde etkisi görülmüştür.
- Kanat adımının artması ısı transfer etkisini ve sürtünme faktörünün artmasına neden olmuştur.
- Kanat kalınlığındaki artış ısı transfer etkisini azaltmış, sürtünme etkisinin de artmasına neden olduğu görülmüştür.

Helisel kanatlı boru demeti için sonradan yapılan çalışmalar için öneri ise; kanatlar üzerinde delikler açılarak ısı transferi ve basınç düşümü açısından çalışma yapılabilir. Ayrıca kanat formunda değişik geometrideki kanatlar (dalgalı, kesikli vb.) tasarlanarak çalışmalar yapıp ve tüm bunlarla beraber değişik kanat geometrileri üzerine delikler delinerek ısı transferi ve akış analizleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Lozza, G., Merlo, U.** (2001). An Experimental Investigation of Heat Transfer and friction Losses of Interrupted and wavy Fins for Fin-And-Tube Heat Exchangers, *International Journal of Refrigeration*, 24 (5), 409-416.
- [2] **Kelkar, K. M., Patankar, S. V.** (1987). Natural prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins, *Journal of Heat Transfer*, 109 (1), 25-30.
- [3] **Tanda, G.** (1997). Natural convection heat transfer in vertical channels with and without transverse square fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40 (9), 2173-2185.
- [4] **Cheng C. H., Huang W. H.** (1991). Numerical prediction for laminar forced convection in parallel-plate channels with transverse fin arrays, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 34 (11), 2739-2749.
- [5] **Demartini, L. C., Vielmo, H. A., Möller, S. V.** (2004). Numerical and experimental analysis of the turbulent flow through a channel with baffle plates, *Journal of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, 26 (2), 153-159.
- [6] **Karabay, H., Ayhan, T.** (1988). Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Daralan Genişleyen Konik Yüzeylerin Isı Transferine Etkisi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 11, 39-43.
- [7] **Çulcu, B.** (1998). *Yeni Bir Tip Türbülatorün Isı Transferine ve Basınç Kayıplarına Olan Etkilerinin Araştırılması* (Yüksek Lisans tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [8] **Yıldız, C., Biçer, Y., Pehlivan D.** (1998). Effect of Twisted Strips on Heat Transfer and Pressure Drop in heat Exchangers, *Energy Conversion and Management*, 39 (3-4), 331-336.
- [9] **Dağdelen, Ö. H.** (2005). *Dairesel Bir Kanalda Isı Transferinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [10] **Koca, T.** (2007). *Dönel Helisel İç Borulu Isı Değiştiricilerinde Isı Transferi ve Basınç Kaybının Analizi* (Doktora tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [11] **Behçet, R., İlkılıç, C., Aydın, H.** (2009). Isı Değiştiricisine Yerleştirilen Pervane Tipi Türbülatorün Isı Transferi Üzerindeki Etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye : Mayıs 13-15.
- [12] **Yıldız, Ş.** (2007). *İç İç Borulu Isı Değiştiricilerinde Yaylı Türbülatorlerin Isı Transferi Ve Basınç Kaybına Etkisi* (Yüksek Lisans tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [13] **Güneş, S.** (2009). *Çeşitli İç Elemanlar Yerleştirilmiş Bir Boruda Isı Geçişinin İncelenmesi* (Doktora tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- [14] **Mülayim, A.** (2010). *Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerinde Kullanılan Kolektörlerdeki Basınç Kaybının İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Bazarbashi, M.** (2013). *Dalgalı Kanatçıklı Isı Değiştiricinin Yanıt Yüzey Metodu İle Çok Amaçlı Optimizasyonu* (Yüksek Lisans tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [16] **Eide, E. L.** (2015). Numerical investigation of thermal-hydraulics performance of fin-tube waste heat recovery units (Master's thesis, NTNU).
- [17] **Mon, M. S.** (2003). Numerical investigation of air-side heat transfer and pressure drop in circular finned-tube heat exchangers.
- [18] **Yücel, C., Hasnaoui, M., Robillard, L., Bilgen, E.** (1993). Mixed convection heat transfer in open ended inclined channels with discrete isothermal heating, *Numerical Heat Transfer*, 24-A (1), 109-126.
- [19] **Webb, B. W., Ramadhyani, S.** (1985). Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28 (9), 1679-1687.
- [20] **Bozkula, G.** (2016). *Kendinden Kanatlı (Finli) Vetürlü Turbo Fin Boru Sisteminin Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [21] **Yakut, G.** (2017). *Gövde Borulu Isı Değiştiricisinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [22] **Haydaraslan, R., Selver, R.** (2018). Isı Değiştiricideki Yüzey Deseninin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 345-354.
- [23] **Boran, K., Daştan, F., Şahin, H. M., Aktaş, M.** (2014). Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 17 (4), 183-191.
- [24] **Kırtepe, E., Özbalt, N.** (2018). Kanatlı-borulu ısı değiştiricilerde belirsizlik analizi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 161-175.
- [25] **Buyruk, E., Karabulut, K.** (2017). Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi, *ÇÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (1), 49-62.
- [26] **Kotcioğlu, İ., Bölükbaşı, A.** (2003). Düşey Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda Farklı Kanatçıklı Yüzeylerde Isı Transferinin İncelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 89-102.
- [27] **Durmuş, A.** (1994). *Salyangoz Girişli Dönmeli Akış Üreticisinin Isı Değiştiricisi Performansına Etkisi* (Yüksek Lisans tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [28] **Hang, Y. J., Hsieh, S. S.** (1993). Heat Transfer And Friction Factor Measurements In Ducts With Staggered And In-Line Ribs, *Journal of Heat Transfer*, 115 (1), 58-65.

- [29] Armaly, B. F., Durst, F., Pereira, J. C. F., Schönung, B. (1983). Experimental and theoretical investigations of backward-facing step flow, *Journal Fluid Mechanics*, 127, 473-496.
- [30] Wang, G., Stone K., Vanka, S. P. (1996). Unsteady heat transfer in baffled channels, *Journal of Heat Transfer*, 118 (3), 585-591.
- [31] Junghan, G. H., Bergles, A. E., Nirmalan, V., Ravigururajen, T. (1985). Investigation of turbulators for fire tube boilers, *Journal of Heat Transfer*, 107 (2), 354-360.
- [32] Çakmak, G. (2000). *Boru Girişinde Enjektörlü Türbülans Üretici Bulunan Isı Değiştirgeçlerinde Isı Transferinin ve Basınç Düşüşünün İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [33] Kayataş, N. (2003). *İç İç Borulu Isı Değiştiricisinde Isı Transferinin İyileştirilmesinin Nümerik Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [34] Demir, A. (2006). *Kanatlı Bir Isı Değiştiricisi İçin Optimum Dizayn Parametrelerinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [35] Ömeroğlu, G. (2007). *Farklı Tipte Kanatçıkların Çapraz Akışlı Isı Değiştiricisinde Deneyisel Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [36] Yıldız, H. (2010). *Isı Değiştiricilerinde Kullanmak İçin Genişletilmiş Yüzeyli Oval (Slot) Formunda Helis Boru İmalatı* (Yüksek Lisans tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [37] Karataş, T. (2019). *Gövde - Boru Tipi Isı Değiştiricilerinde HAD Uygulaması ile Akış ve Isıl Analiz* (Yüksek Lisans tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [38] Perçin, S. (2019). *İç İç Borulu Isı Değiştiricisinde Su-hBN Nanoakışkanları Kullanılarak Isıl Performansa ve Basınç Düşümüne Etkilerinin Deneyisel İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [39] Yıldırım, A. (2018). *Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerinde Devrelemenin Isı Transferi Ve Basınç Düşümüne Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi ve Optimizasyonu* (Yüksek Lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Karagöz, S. (2009). *Farklı Kanal Geometrisine Sahip Isı Değiştiricilerinde Isıl Performansın İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Atici, Ö. A. (2018). *Kapalı Bir Kabin İçerisinde Düz Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerin Isıl Performanslarının Deneyisel ve Teorik Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] Küçükgenç, O. (2016). *Farklı Hatve Çaplı U Tipi Isı Değiştiricilerin Isıl Verimliliklerinin Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [43] **İpek, M. Y.** (2015). *Isı Değiştiricilerinde Ashby Yaklaşımı İle Malzeme Seçimi* (Yüksek Lisans tezi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [44] **Çorak, A.** (2010). *Kanatçıklı Isı Değiştiricilerinin Isıl Performanslarının Sayısal Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [45] **Yiğit, M.** (2010). *İç İç Borulu Yay Tipi Türbülantörlü Bir Isı Değiştiricisinde Türbülans Modelinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [46] **Kırtepe, E.** (2014). *Kanatlı Dairesel Borularda Isı Transfer Etkinliğinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 133s.
- [47] **Pongsoi, P., Pikulkajorn, S., Wang, C.C. and Wongwises, S.** (2011). Effect of fin pitches on the air-side performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchangers with a multipass parallel and counter cross-flow configuration, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54:2234-2240.
- [48] **Pongsoi, P., Pikulkajorn, S. and Wongwises, S.** (2012a). Experimental study on the air-side performance of a multipass parallel and counter cross-flow L-footed spiral fin-and-tube heat exchanger, *Heat transfer engineering*, 33(15):1251-1263.
- [49] **Pongsoi, P., Pikulkajorn, S., Wang, C.C. and Wongwises, S.** (2012b). Effect of number of tube rows on the air-side performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchanger with a multipass parallel and counter cross-flow configuration, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55:1403-1411.
- [50] **Pongsoi, P., Pikulkajorn, S. and Wongwises, S.** (2012c). Effect of fin pitches on the optimum heat transfer performance of crimped spiral fin-and-tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55:6555-6566.
- [51] **Pongsoi, P., Promopattum, P., Pikulkajorn, S. and Wongwises, S.** (2013). Effect of fin pitches on the air-side performance of L-footed spiral fin-and-tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56:75-82.
- [52] **Kaçar, E.N. ve Erbay, L.B.** (2013). *Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış*, Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 644, 14-43.
- [53] **Çengel, Y.A.** (2011). *Isı ve Kütle Transferi*, (Çev. V. Tanyıldızı, İ. Dağtekin), İzmir Güven Kitapevi, İzmir, 879s.
- [54] **Ulu, Y.** (2011) *Gövde Borulu Bir Isı Değiştiricisinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [55] **Genceli, O.F.** (2010) *Isı Değiştiricileri*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 424s.
- [56] **Genceli, O. F.** (1999) *Isı Değiştiricileri*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 424s.
- [57] **Çengel, Y. A. ve Ghajar, A. J.** (2017). *Isı ve Kütle Transferi*. Palme Yayınevi.
- [58] **Çengel, Y. ve Ghajar, A.J.** (2015) *Isı ve Kütle Transferi, Esaslar ve Uygulamalar*, Vedat Tanyıldızı, İhsan Dağtekin (Çev.). Ankara: Palme Yayıncılık.

- [59] **Tagn, E.** (2022). *Dairesel kanatlı boru demetlerinde farklı kanat profillerinin ısı ve akış analizi*, İnönü Üniversitesi, (Doktora tezi), Malatya.
- [60] **Fluent,** (2006). Fluent User's Guide. Lebanon, NH: Fluent Incorporated.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Murat GÖRELİ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans** : 2014, Atatürk Üniversitesi, Erzurum M.Y.O.,
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü
- **Lisans** : 2019, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2022, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2016-2017 Malatya’da Mobilya sektöründe imalat mühendisi
- 2019-2021 Konya’da eşanjör üreten firmada imalat ve yalın üretim mühendisi
- 2021-2022 Malatya’da fırın ekipmanları üreten firmada imalat ve yalın üretim mühendisi olarak çalıştım.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Görelİ, M. Aksoy, İ.G. (2022).** Helisel kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde hava tarafı ısı transferi ve basınç düşümünün sayısal analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. Yayın kabul edildi, basım aşamasında.
- **Görelİ, M. Aksoy, İ.G. (2022).** Helisel ve dairesel kanatlı boru demetlerinde geometrik parametrelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi. ICEANS 2022, 2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, October 15-18, 2022, Konya, Turkey.(pp. 88-93).

