

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

**HELİSEL İÇ BORULU DİKEY ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜMÜ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ZEDELİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

HAZİRAN 2020

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

**HELİSEL İÇ BORULU DİKEY ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜMÜ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aykut ZEDELİ
(13617180405)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

HAZİRAN 2020

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaőan danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA'ya, çalıőmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen hepsi bir birinden değerli arkadaşlarım Eren SAAT, Mesut YILDIZ, Cüneyt KOÇAK, Murat KOCAER, Ali TORUN, Yavuz ÇETİN ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deney setinin hazırlanmasında ve deney esnasında bana yardımcı olan mesai arkadaşlarım Serbay Ali BUDAK, Fikret ALTUNBAŐ ve Muhammet TAHMAZ'a

Deney alıőmasını FYL-2019-1924 numaralı proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne

Teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Helisel İç Borulu Dikey Isı Değıştiricilerde Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Aykut ZEDELİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Deney Düzenine Tanıtılması.....	15
3.1.1 Dış boru.....	18
3.1.2 Helisel iç boru	19
3.1.3 Flanşlar.....	20
3.1.4 Isıya dayanıklı sıvı conta.....	20
3.1.5 Debi ölçer (Rotametre).....	21
3.1.6 Pompalar	22
3.1.7 Isıl çiftler (Termokupl).....	23
3.1.8 Manometre	24
3.1.9 Rezistanslar	25
3.1.10 Su tankları	25
3.1.11 Sayısal kontrol cihazı	26
3.1.12 Su boruları.....	26
3.1.13 Su vanaları.....	27
3.2 Deney Ölçümleri	27
3.2.1 Sıcaklık ölçümü.....	27
3.2.2 Debi ölçümü.....	28
3.2.3 Basınç düşümü ölçümü	29
3.3 Deneyin Yapılışı.....	30
3.4 Deneysel Verilerin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller	32
3.4.1 İç boru hesaplarında kullanılan formüller	32
3.4.2 İç - dış boru arasındaki halka kesit için kullanılan formüller	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1 Deneysel Elde Edilen Sonuçlar	36
4.1.1 Düz iç bakır boru değerleri	36
4.1.2 İki helisel bakır iç boru değerleri.....	39
4.1.3 Üç helisel bakır iç boru değerleri.....	42
4.1.4 Dört helisel bakır iç boru değerleri.....	45
4.1.5 Beş helisel bakır iç boru değerleri	48
4.1.6 Farklı kapasite oranlarında farklı iç bakır boruların ısı transferi miktarları, basınç düşüm değerleri ve Reynold Sayıları	51
4.1.7 Farklı kapasite oranlarında farklı iç bakır boruların ısı transferi miktarları, basınç düşüm değerlerinin birbiriyle karşılaştırılması	58
4.1.8 Reynolds Sayısı – Nuselt Sayısı değişim grafikleri	59
4.1.9 Basınç Düşümü – Reynolds Sayısı değişim grafikleri.....	79
4.1.10 Deney Sonuçlarının Teorik Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103

6. KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	107



ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 4.1 : C=1 için düz bakır iç boru deney verileri.....	37
Çizelge 4.2 : C=0,75 için düz bakır iç boru deney verileri.....	37
Çizelge 4.3 : C=0,5 için düz bakır iç boru deney verileri.....	38
Çizelge 4.4 : C=0,25 için düz bakır iç boru deney verileri.....	39
Çizelge 4.5 : C=1 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.....	40
Çizelge 4.6 : C=0,75 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.....	40
Çizelge 4.7 : C=0,5 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.....	41
Çizelge 4.8 : C=0,25 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.....	42
Çizelge 4.9 : C=1 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.....	43
Çizelge 4.10 : C=0,75 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.....	43
Çizelge 4.11 : C=0,5 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.....	44
Çizelge 4.12 : C=0,25 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.....	45
Çizelge 4.13 : C=1 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.....	46
Çizelge 4.14 : C=0,75 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.....	46
Çizelge 4.15 : C=0,5 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.....	47
Çizelge 4.16 : C=0,25 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.....	48
Çizelge 4.17 : C=1 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.....	49
Çizelge 4.18 : C=0,75 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.....	49
Çizelge 4.19 : C=0,5 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.....	50
Çizelge 4.20 : C=0,25 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.....	51
Çizelge 4.21 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama ısı transferi miktarları (J/s).....	52
Çizelge 4.22 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama ısı transferi miktarları (J/s).....	53
Çizelge 4.23 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama basınç değişim miktarları (kPa).....	54
Çizelge 4.24 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama basınç değişim miktarları (kPa).....	55
Çizelge 4.25 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds Sayısı.....	56
Çizelge 4.26 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds Sayısı.....	57
Çizelge 4.27 : Beş helisli iç bakır borunun diğer bakır iç borulara göre ortalama ısı transferi miktarı değişim değeri yüzdelerinin karşılaştırılması.....	58
Çizelge 4.28 : Beş helisli iç bakır borunun diğer bakır iç borulara göre ortalama basınç değişim miktarı değeri ve yüzdelerinin karşılaştırılması.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Deney seti hidrolik akım şeması.....	15
Şekil 3.2 : Deney seti genel görünüş-1	16
Şekil 3.3 : Deney seti genel görünüş-2	17
Şekil 3.4 : Dış boru	18
Şekil 3.5 : Helisel iç bakır boru- 1	19
Şekil 3.6 : Helisel iç bakır boru- 2	19
Şekil 3.7 : Flanşlar	20
Şekil 3.8 : Isıya dayanıklı sıvı conta ve flanştaki sıvı conta	20
Şekil 3.9 : Debi ölçer (Rotametre)	21
Şekil 3.10 : Pompalar.....	22
Şekil 3.11 : Termokupl şematik resim	23
Şekil 3.12 : Deney setinde kullanılan termokupl	24
Şekil 3.13 : Manometre.....	24
Şekil 3.14 : Rezistans.....	25
Şekil 3.15 : Su tankları.....	25
Şekil 3.16 : Sayısal kontrol cihazları	26
Şekil 3.17 : Su boruları	26
Şekil 3.18 : Su vanası (Kelebek tip)	27
Şekil 4.1 : Düz boruda soğuk su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.....	59
Şekil 4.2 : Düz boruda sıcak su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.	60
Şekil 4.3 : Düz boruda soğuk su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.....	60
Şekil 4.4 : Düz boruda sıcak su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.	61
Şekil 4.5 : Düz boruda soğuk su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.....	61
Şekil 4.6 : Düz boruda sıcak su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.	62
Şekil 4.7 : Düz boruda soğuk su $C=1$ için Re-Nu değişimi.....	62
Şekil 4.8 : Düz boruda sıcak su $C=1$ için Re-Nu değişimi.	63
Şekil 4.9 : 2 helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.....	63
Şekil 4.10 : 2 helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.	64
Şekil 4.11 : 2 helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.....	64
Şekil 4.12 : 2 helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.	65
Şekil 4.13 : 2 helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.....	65
Şekil 4.14 : 2 helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.	66
Şekil 4.15 : 2 helisli boruda soğuk su $C=1$ için Re-Nu değişimi.....	66
Şekil 4.16 : 2 helisli boruda sıcak su $C=1$ için Re-Nu değişimi.	67
Şekil 4.17 : 3 helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.....	67
Şekil 4.18 : 3 helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.	68
Şekil 4.19 : 3 helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.....	68
Şekil 4.20 : 3 helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.	69
Şekil 4.21 : 3 helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.....	69
Şekil 4.22 : 3 helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.	70
Şekil 4.23 : 3 helisli boruda soğuk su $C=1$ için Re-Nu değişimi.....	70
Şekil 4.24 : 3 helisli boruda sıcak su $C=1$ için Re-Nu değişimi.	71
Şekil 4.25 : 4 helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.....	71
Şekil 4.26 : 4 helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için Re-Nu değişimi.	72
Şekil 4.27 : 4 helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.....	72
Şekil 4.28 : 4 helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için Re-Nu değişimi.	73
Şekil 4.29 : 4 helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.....	73
Şekil 4.30 : 4 helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için Re-Nu değişimi.	74

Şekil 4.31 : 4 helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-Nu$ değişimi.....	74
Şekil 4.32 : 4 helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-Nu$ değişimi.....	75
Şekil 4.33 : 5 helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-Nu$ değişimi.....	75
Şekil 4.34 : 5 helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-Nu$ değişimi.....	76
Şekil 4.35 : 5 helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-Nu$ değişimi.....	76
Şekil 4.36 : 5 helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-Nu$ değişimi.....	77
Şekil 4.37 : 5 helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-Nu$ değişimi.....	77
Şekil 4.38 : 5 helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-Nu$ değişimi.....	78
Şekil 4.39 : 5 helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-Nu$ değişimi.....	78
Şekil 4.40 : 5 helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-Nu$ değişimi.....	79
Şekil 4.41 : Düz boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	79
Şekil 4.42 : Düz boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	80
Şekil 4.43 : Düz boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	80
Şekil 4.44 : Düz boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	81
Şekil 4.45 : Düz boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	81
Şekil 4.46 : Düz boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	82
Şekil 4.47 : Düz boruda sıcak su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	82
Şekil 4.48 : Düz boruda soğuk su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	83
Şekil 4.49 : İki helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	83
Şekil 4.50 : İki helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	84
Şekil 4.51 : İki helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	84
Şekil 4.52 : İki helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	85
Şekil 4.53 : İki helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	85
Şekil 4.54 : İki helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	86
Şekil 4.55 : İki helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	86
Şekil 4.56 : İki helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	87
Şekil 4.57 : Üç helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	87
Şekil 4.58 : Üç helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	88
Şekil 4.59 : Üç helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	88
Şekil 4.60 : Üç helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	89
Şekil 4.61 : Üç helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	89
Şekil 4.62 : Üç helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	90
Şekil 4.63 : Üç helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	90
Şekil 4.64 : Üç helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	91
Şekil 4.65 : Dört helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	91
Şekil 4.66 : Dört helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	92
Şekil 4.67 : Dört helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	92
Şekil 4.68 : Dört helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	93
Şekil 4.69 : Dört helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	93
Şekil 4.70 : Dört helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	94
Şekil 4.71 : Dört helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	94
Şekil 4.72 : Dört helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	95
Şekil 4.73 : Beş helisli boruda sıcak su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	95
Şekil 4.74 : Beş helisli boruda soğuk su $C=0,25$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	96
Şekil 4.75 : Beş helisli boruda sıcak su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	96
Şekil 4.76 : Beş helisli boruda soğuk su $C=0,5$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	97
Şekil 4.77 : Beş helisli boruda sıcak su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	97
Şekil 4.78 : Beş helisli boruda soğuk su $C=0,75$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	98
Şekil 4.79 : Beş helisli boruda sıcak su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	98
Şekil 4.80 : Beş helisli boruda soğuk su $C=1$ için $Re-\Delta P$ değişimi.....	99

Şekil 4.81 : Düz boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.	100
Şekil 4.82 : 3 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.	101
Şekil 4.83 : 5 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.	101



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Kesit alanı
A_s	: Yüzey alanı
C	: Hacime bağlı kapasite oranı
C_{max}	: Maksimum kapasite oranı
C_p	: Soğuk suyun özgül ısısı
C_p_h	: Sıcak suyun özgül ısısı
d_{dış}	: İç boru dış çapı
d_{iç}	: İç boru dış çapı
d_{eş}	: İç boru eşdeğer çap
D_{eş}	: Dış boru eşdeğer çap
D_{dış}	: Dış boru dış çapı
D_{iç}	: Dış boru iç çapı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Isı taşınım katsayısı
k	: Isı iletim katsayısı
L	: Dış boru uzunluğu
m_h	: Sıcak suyun kütleli debisi
m_c	: Soğuk suyun kütleli debisi
Nu	: Nusselt Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
T_{hg}	: Sıcak suyun giriş sıcaklığı
T_{hc}	: Soğuk suyun giriş sıcaklığı
T_{cg}	: Soğuk suyun giriş sıcaklığı
T_{cc}	: Soğuk suyun çıkış sıcaklığı
T_{sg}	: Yüzey giriş sıcaklığı
T_{sc}	: Yüzey çıkış sıcaklığı
Q_h	: Sıcak suyun aktardığı ısı miktarı
Q_c	: Soğuk suyun aldığı ısı miktarı
Q_g	: Transfer edilen gerçek ısı miktarı
Q_{max}	: Transfer edilebilecek maksimum ısı miktarı
Re	: Reynold sayısı
U	: Islak çevre

- \dot{V} : Hacimsel debi
 ΔH : Manometrede okunan basınç farkı yüksekliği
 ΔT_{\log} : Logaritmik sıcaklık farkı
 ΔP : Basınç farkı
 ΔP_{atm} : Atmosfere bağlı basınç farkı
 α : Isıl yayılım katsayısı
 μ : Dinamik viskozite
 ν : Kinematik viskozite
 ρ : Akışkanın yoğunluğu
 mV : Mili volt



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HELİSEL İÇ BORULU DİKEY ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜMÜ ANALİZİ

Aykut ZEDELİ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Ana Bilim Dalı

107 + xii sayfa

2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

Bu çalışmada helis sayısı farklı olan helisel iç borulu ısı değiştiricisinin dik konumlandırılmasıyla ısı transferinin artırılması deneysel olarak ele alınmıştır. Dik konumlandırılan ısı değiştiricisindeki ısı transferi miktarını ve basınç düşümünü analiz etmek için deney seti kurulmuştur. Isı transferleri ve basınç düşümü farklı kapasite oranlarında, farklı debilerde analiz edilmiştir. Helis sayısı farklı olan her boru için yapılan deneylerde akış türbülanslıdır. Hem helisel iç boru için hem de helisel iç boru ile dış boru arasındaki annular aralıklar için hesaplamalar yapılmıştır. Bütün deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Nusselt sayısı, basınç düşümü miktarı, ısı değiştiricinin etkinlik değeri bulunmuş ve Reynolds sayısına göre grafikleri çizilmiştir. Ayrıca her tip boru için deneye dayalı formüller elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda en iyi ısı transferinin 5 helisli iç bakır boruda olduğu saptanmıştır. Beş helisli bakır boruda düz bakır boruya göre ısı transferi %80,6 basınç düşümü de %140,38 oranında artmıştır. Helisel iç borulu ısı değiştiricilerinde ısı transferi miktarı düz boruya oranla daha iyi olmakta fakat heliselliğin etkisiyle basınç düşümlerinde artışlar olmaktadır. Meydan gelen basınç düşümü yüksek düzeydedir ancak sağlanan ısı transferi yüksek miktardadır.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, dikey ısı değiştiricileri, helisel borular içinden akış

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN VERTICAL HEAT EXCHANGERS WITH HELICAL INNER PIPE

Aykut ZEDELİ

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy

107 + xii pages

2020

Supervisor: Assist Prof. Dr. Tarkan KOCA

In this study, increasing the heat transfer by the vertical positioning of the helical inner tube heat exchanger which has different helix number has been discussed experimentally. An experimental set was installed to analyze the amount of heat transfer and pressure drop in the vertically positioned heat exchanger. Heat transfers and pressure drop were analyzed at different capacity rates and different flow rates. The flow rate is turbulent for each tube with different helix number. Calculations were made both for helical inner tube and annular spacing between helical inner tube and outer tube. All experimental results were compared with each other to obtain the best results. According to the results, Nusselt number, pressure drop amount, efficiency value of heat exchanger were found and graphed according to Reynolds number. Experimental formulas were also obtained for each type of pipe.

According to results of experiments, in five helical copper pipes, heat transfer increased %80,6 , pressure drop increased 140,38% compared to straight copper pipe. Increased pressure drops occur under the influence of helically. Heat transfer is better in helical pipes compared to straight pipes, but pressure drop also increases with the effects of rotation and helices. The pressure drop is high but the heat transfer provided is high.

Keywords: Heat transfer, vertical heat exchangers, flow through helical pipes

1. GİRİŞ

Erke olarak tanımlandırılan enerji; bir sistemin, kendisi dışında etkinlik üretme kabiliyeti, değişikliklere neden olabilme yeteneği veya sistemde bulunan mevcut iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Her bilim alanı enerji tanımını kendine göre yapsa da enerji; “Her hangi bir hareketi yapan ya da yapmaya hazır olan kabiliyete” verilen genel bir isimdir. Enerjinin varlığı cisimler üzerine olan etkileri ile algılanabilir. Diğer bir söylemle, enerji bir sistemin iş ve ısı verebilme yeteneğidir. Enerji, günümüz dünyasında insanların yaşamlarını devam ettirebilmesi için, yaşam konfor standartlarını üst seviyede konumlandırması açısından çok önemli bir konuma sahiptir. Sınırsız insan ihtiyaçlarının karşılanması için kaynak yaratmadaki çözüm sürecinde enerji büyük öneme sahiptir. Bu maksatla enerji, değişik miktar ve yöntemlerle sürekli üretilmekte ve tüketilmektedir; üretimde girdi olarak, tüketimde ise bir maliyet unsuru olarak yer alır. Bu yönüyle ekonomide önemli bir hamle oyuncusu haline gelen enerji ülkelerin gelişmişlik düzeyinin göstergesi ve kalkınmayı doğrudan etkileyen bir faktör olarak kabul edilmektedir. Enerji ile büyüme arasındaki ilişki hakkında iki zıt görüş mevcuttur. Birinci görüş; emek ve sermaye faktörlerinin enerji olmadan bir şey yapamayacağından dolayı enerji varlığının büyümenin temeli olduğudur. Bu iddiaya göre, enerji tüketimi ekonomik büyümenin en önemli faktörüdür. Diğer görüşe göre ise, enerji büyümede etkisizdir. Enerjinin büyüme üzerindeki etkisizliğinin ana nedeni enerji maliyetinin GSYİH(Gayri safi yurtiçi hasıla) içindeki payının çok az olması ve dolayısıyla çıktı artısına önemli bir katkıda bulunmamasıdır. Ayrıca, enerjinin büyüme üzerindeki etkisinin ekonomik yapıya ve ülkenin içinde bulunduğu gelişim aşamasına da bağlı olduğu öne sürülmektedir. Nüfus yoğunluğu artan dünyanın ve her geçen gün gelişen sanayinin enerji talebi kısıtlı kaynaklarla sağlanamamaktadır. Enerji arzı ve tüketimi arasındaki makas gün geçtikçe açılmaktadır. 21. Yüzyıl dünyasında gelişme ve stratejik güçlenme açısından en önemli unsur enerji olmuştur. 1950’li ve 1960’lı yıllardan itibaren hızla artmaya başlayan enerji tüketimi ve aynı hızda artmayan enerji arzı ilerleyen yıllarda yaşanacak enerji krizinin temelini oluşturmuştur. Yaşanması kaçınılmaz olan bu enerji krizinin önlenmesi adına enerjinin verimli kullanılabilmesi adına bilim adamları önemli araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda başlayan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, imalat sektöründeki makineleşme, robot kullanımı beraberinde büyük enerji

ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmaların temel noktası enerjiden en verimli şekilde yararlanmaktır. Dolayısıyla yapılan çalışmalarda verimliliği ön planda tutmak adına enerji dönüşüm hesapları önemli yer tutmaktadır. Enerjinin yeterli, devamlı, konforlu, ucuz, sürekli, güvenilir ve temiz olarak insanlara ulaştırılması günümüz dünyasında ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli değişkenlerden birisidir. Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde olan ülkemizde sanayi sektörünün yanı sıra insanların günlük yaşamlarında artışı sağlamak için enerjiye duydukları ihtiyaç sürekli artış göstermektedir. Enerjiye talep trendi artış gösterirken enerji kaynakları da ona paralel olarak tükenmektedir. Güvenli ve sürdürülebilir enerji arzı dengesinin sağlanabilmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. İnsanlığa uzun süreler hizmet edemeyeceği öngörülen konvansiyonel enerji kaynaklarının dışında çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretmek büyük derecede önem kazanmıştır. Mevcut kaynakların akılcı ve bilimsel gerçekler ışığında kullanılması kaçınılmaz bir duruma gelmiştir. Sanayinin, üretimin, ulaştırmanın, toplumsal yaşantının devamlılığının sağlanmasında enerjinin verimli, tasarruflu, çevre dostu olacak şekilde kullanılması gerekliliği kendiliğinden ortaya çıkmakla beraber önem derecesi yüksektir. Bugün dünya üzerinde kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğunun konvansiyonel kaynaklardan sağlanıyor olması ve bu rezervlerinin sınırlı olması da enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Türkiye' nin gelişmiş ülkelere kıyasla yüksek olan enerji kullanım yoğunluğunun optimize edilmesi ve enerji verimliliği alanında iyileştirmeler gerçekleştirilmesi daimi ve güvenli kalkınma açısından son derece büyük önem arz etmektedir.

Enerjiyi geri kazanma yöntemlerinin iyileştirilmesi ve enerji tasarrufu büyük önem taşımaktadır. Enerjinin tasarruflu kullanılması toplumsal olarak yapılacak topyekûn bir hareket sonucunda gerçekleşebilecek bir eylemdir. Enerjinin tasarruflu kullanılması kesinlikle enerji arzının kısıtlanması ve azaltılması değildir. Aksine enerji tasarrufuyla birlikte yıllar içinde enerji üretim kapasitesinin dışa bağımlılığı ortadan kaldıracak şekilde temiz enerji kaynaklarına yönelerek enerji üretiminin artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınma için temel girdilerden birisi durumundadır. Artan nüfus yoğunluğu, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak enerji tüketimi kaçınılmaz bir şekilde artış yönünde eğilim göstermektedir. İktisadi hayatın en aktif paydaşlarından sanayi sektörünün ülkemiz için özellikle imalat sektörünün itici lokomotif gücü olan devamlı enerji arzının sağlanabilmesi şüphesiz yapılacak enerji tasarrufuyla paralel geliştirecektir.

Ülkemiz, dünya ülkeleri arasında gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alıp enerji tüketimi gelişmiş ülkelere oranla düşük seviyededir. Gelişimini sürdürmekte olan ülkemizin enerji tüketimi sürekli artış eğilimindedir. Ülkemiz fosil türevli enerji kaynakları açısından zengin durumda değildir. Ülkemizin kalkınmasının önündeki önemli yollardan biri enerji tasarrufu ve enerji verimliliği bilincinin idrak edilerek uygulamaya geçmesidir.

Belirtilen nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek enerji üretim ve dönüşüm verimlerinin artırılması çok önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların en temel amacı enerjiden maksimum düzeyde faydalanmaktır. Isı transferi miktarının artırılarak enerjiden tasarruf edilmesi elzem hal almıştır. Mühendislik uygulamalarının en önemli ve en çok karşılaşılan işlemlerinden birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimi temelinde yapılan uygulamalardır. Isı değiştiriciler, fiziksel olarak birbirinden ayrı konumlandırılmış, en az iki akışkan arasında ısı aktarımı sağlamak suretiyle ısı transferi gerçekleştirmek için tasarlanmış cihazlardır. Isı transferi artırma konusunda başta ısı değiştiricileri uygulamaları olmak üzere son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Sanayinin ve ulaşım araçlarının hemen hemen her dalında kullanılan ısı değiştiricilerin boyutlarının minimize edilmesi, ekonomik olması ve enerji tasarrufunun en üst seviyede olması önem kazanmıştır. Isı değiştiricileri pratik uygulamalarda termik santrallerde, kimya sanayiinde, ısıtma, iklimlendirme, elektronik cihazlarda, soğutma tesisatlarında, taşıtlarda, alternatif enerji kaynaklarının kullanımında, ısı depolama sistemleri gibi birçok yerde kullanılmaktadır. Özellikle atık enerjilerin ısı değiştiricileri yardımıyla faydalı ve kullanılabilir duruma getirilmesi ısı değiştiricilerin kullanım alanını oldukça genişletmektedir.

Isı değiştiricileri farklı tiplerde olup; ısı geçiş şekillerine, konstrüksiyon özelliğine, akış düzenlemesine, akışkan sayısına ve akışkanların faz değişimlerine göre çeşitli şekilde kategorize edilebilir. Ayrıca ısı değiştiricileri; reküperatif, rejeneratif ve karışımli olarak ta sınıflandırılabilirler. Reküperatif ısı değiştiricilerinde ısı değişimi sürekli ve akışkanlar belirlenen bölmelerden geçerlerken ısı transferi gerçekleşir. Aynı yönlü paralel akım, zıt yönlü paralel akım, çapraz akım ve karışım akım olarak dört farklı tipte imal edilebilirler. Rejeneratörlerde ise ısı alışverişi dolaylı olur yani rejeneratörlerin içinden geçen yüksek sıcaklıktaki gazlar duvarları ısıtır ve bu gaz kesilerek soğuk gaz ters yönden rejeneratörden geçirilerek ısı transferi gerçekleşir. Karışımli tip ısı değiştiricilerinde ise her iki akışkan karıştırılarak ısı transferi gerçekleştirilir. Ancak karışımli ısı değiştiricilerinde yoğunlukları farklı sıvılar kullanılmalıdır ve düşük yoğunluklu sıvı aşağıdan yukarıya, yüksek yoğunluklu

sıvı ise yukarıdan aşağıya yer değiştirerek ısı transferi sağlanmalıdır. Isı değiştirici kullanımında bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Atık gaz kullanılan sistemlerde kullanılacak ısı değiştiricinin etkinliği yüksek olmalıdır. Özellikle yüksek sıcaklığa sahip atık gazlar yardımıyla elde edilen kızgın buharın kullanılacağı sistemlerde buna dikkat edilmelidir.

Isı transferinin artırılması uygulamalarında akımın türbülanslı olması veya ısı transfer yüzeyinin artırılması maliyet açısından dikkate alınmalıdır. Isı transferindeki artış ile toplam maliyet arasındaki ilişki dikkatle incelenip fayda maliyet analizi sonrası verimliliğin en uygun düzeyde kalıp kalmadığına özen gösterilmelidir. Isı transfer miktarını artırmak için ergonomik tasarımdan uzaklaşıp yüksek maliyetli çözümler üretmek mühendislik yaklaşımına aykırı bir durum oluşturmaktadır. Bu masrafları ısı değiştiricinin imalatı için kullanılan malzemeler ve kullanım sırasında bakım ve işletme masrafı ve enerji masrafı olarak üç kısımda inceleyebiliriz. Yani atık gazları kullanırken oluşabilecek diğer masraflar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bir ısı değiştiricisinde en önemli amaç sıcak suyun çıkış sıcaklık değeri ile soğuk suyun çıkış sıcaklık değerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Yapılan bütün çalışmalarda bu hedefe ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu sıcaklıkları birbirine yaklaştırmaya çalıştıkça basınç düşümleri de meydana gelmektedir. Basınç düşümlerinin artması sisteme işletme masrafı olarak yansımakta ve maliyeti artırmaktadır. Özellikle ısı değiştirici imalatlarında buna çok dikkat etmek gerekir. Bunun için maliyet analizi yapmak da gerekir. Isı değiştiricilerinde türbülanslı akımda ısı transferi daha fazla olmaktadır. Laminer akıma oranla ısı transfer miktarının fazla olmasının nedeni laminer akımda akış; katmanlar halinde, türbülanslı akımda ise partiküller halinde olmaktadır. Türbülans yüzeyi arttıkça ısı geçişi de oldukça fazla olmaktadır. Isı geçiş katsayısının artırılması ısı değiştiricilerin boyutlarının küçültülmesini sağlayacaktır. Isı değiştiricilerin boyutlarının küçültülmesi üretim masraflarını azaltmakla beraber ergonomi açısından da önemlidir. Isı transferini iyileştirme teknikleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Isı transfer edilen akışkana dışarıdan ilave bir enerji vermek suretiyle ısı transferi miktarı artırılıyorsa bu yöntem aktif, dışarıdan ilave bir enerji verilmeden ısı transferi miktarındaki iyileşmeyi sağlayan yönteme de pasif yöntem denir. Aktif yöntemler, sistemde ilave enerjinin kullanıldığı yöntemlerdir. Mesela, yüzeyin döndürülmesi, cidardan açılan küçük deliklerden akışın emilmesi, akım ortamına ilave akışkanın eklenmesi, akışta titreşim yaratılması, mekanik yardımcılarının kullanılması, akışın mekanik araçlar yardımıyla karıştırılması, yüzey titreşiminin oluşturulması ve elektrostatik alanların oluşturulması birer aktif yöntemdir. Pasif yöntem ise ilave enerjinin kullanılmadığı yöntemdir. Bu yönteme yüzey pürüzlüğünün fazlalaştırılması, akış alanına ilave elemanların

eklenmesi, ısı geçiş yüzey alanının büyütülmesi, yüzeyin işlenerek kaplanması, yüzeyin değiştirilmesi gibi yöntemler örnek olarak verilebilir. Bu işlemlerdeki amaç ısı transfer yüzeyinin artırılması ile transfer edilecek ısı miktarını artırmaktır. Yüzeyleri; kanat, pervane gibi değişik şekillerde büyütürerek ısı transferini artırmak bütün ısı değiştiricilerinde kullanılır.

Isı transfer yüzey alanını artırma dışında akış türünü değiştirmek veya ikincil akışlar üretmek de pasif yöntemlerdendir. Bunları oluşturmak için boru içine yerleştirilen ek parçalar, helisel şekillendirilmiş borular, akış girişine yerleştirilen girdap üreticileri, bükülmüş bant parçaları, vidalı tip döndürme parçaları, yüzey gerilim aletleri, kaynama ve yoğunlaşma da sıvı akışını yönlendirmek için açılmış yüzeyler veya yönlendirici kanatlar kullanılır. Isı transferini iyileştirme yöntemlerinin kullanılması ısı transferi miktarını artırırken basınç düşümü de yaşanmaktadır. Basınç düşümlerinin olması işletme ve bakım maliyetlerini artıracığından ekonomik kıstaslar dikkate alınmalıdır. Yüksek performans göstergesine sahip, verimli ısı sistemleri tasarlanırken tasarım, işletim ve bakım çıktılarının en az seviyede olması istenir. Bütün ısı değiştirgeçlerinde, ısı transferi miktarı ile basınç düşümü arasında ekonomik ve fiziksel bir ilişki vardır. Sabit ısı kapasitesi şartı için üretilmek istenen ısı değiştiricide akışkanların hızlarının artırılması ısı taşınım katsayısını artırır ve daha küçük ısı geçiş yüzeyli ısı değiştirici tasarımına olanak sağlar. Bu sayede daha az malzeme ve imalat maliyeti ile aynı kapasitede daha ergonomik ısı değiştirici tasarımı gerçekleştirilebilir.

Isı transferi araştırmalarının önemli alanlarından birisi de borulardaki akış olayının incelenmesidir. Akış tipinin dış veya iç akış oluşuna, akış tipinin laminar veya türbülanslı olmasına, akışın akım yönünde gelişmekte veya tam gelişmiş olmasına ve sistemdeki ısı sınır tabaka şartlarına bağlı olarak ısı sistemlerindeki akım ve ısı geçiş karakteristiklerinin değişimlerini belirlemek mümkündür. Bu akım ve ısı geçiş karakteristikleri, kullanılan iyileştirme tekniğine göre, tasarım, işletme ve bakım parametrelerine bağlı olarak ayrıca belirlenir. Isı geçiş yüzey alanını artırmak için yapılan çalışmalarda, yüzeyde kanallar açılmakta, eğrisel yüzeyler oluşturulmakta, pürüz elemanları ve kanatçıklar kullanılmakta olup, daha etkili sonuçlar elde edebilmek için birden fazla iyileştirme tekniğinin kullanıldığı çalışmalar da yapılmıştır. Özellikle çok fazla kullanılan türbülans artırıcı mekanizmalar, ısı transfer alanını artırmaları, akışa rahatça yerleşip sınır tabakayı parçalayıp tekrar oluşmasını sağlamaları, akım yolunu uzatmaları ile dönmeli ve ikincil akış oluşturmaları nedeniyle ısı transferini artırmaktadırlar. Endüstriyel tip kazanlarda ve kalorifer kazanlarında ısı transferinin, dolayısıyla kazan veriminin artırılması için türbülantör (türbülans üretici) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Örneğin, spiral kanatçık kullanımıyla bir taraftan akış

dalgalandırılırken diğer taraftan da kanatçıkların spiral olmasından dolayı akışkanın temas edeceği yüzey alanını artırmak suretiyle ısı geçiş yüzey alanı artırılıp, kanatçıkların geometrilerine ve dizayn değişkenlerine göre akım alanı içerisindeki türbülans yoğunluğunun da artırılması söz konusudur. Akış ortamına bükülmüş şeritler, pervaneler, kanatçıklar, sarımlı teller yerleştirilerek oluşturulan dönmeli akışlar ısı transferini oldukça artırmaktadır. İki çeşit dönmeli akış mevcuttur. Bunlar boru boyunca dönmeli akış ve sadece boru girişinde olan dönmeli akıştır. Boru boyunca dönmeli akışta ısı transferi miktarı yüksek olup, basınç kayıpları da artmaktadır. Çünkü akışkan sürekli dönme etkisinde olup pompalama gücü oluşmaktadır. Sadece boru girişindeki dönmeli harekette ise ısı transferi biraz artmakta ancak basınç düşümleri ısı transferine oranla çok fazla değildir. Çünkü akışkana sadece girişte dönme etkisi verilip boru içerisinde serbest bırakılmaktadır.

Bu çalışmada dışı silindirik gövdeli ve iç bakır borusu farklı helis sayılarından oluşan ısı değiştiricisi tasarlanmış, imalatı yapılmış ve kullanılmıştır. İç içe borulu ve iç borusu bakır helisel ısı değiştiricisinde dış boru dikey konumlandırılmıştır. Düz ve farklı helis sayısındaki borular kullanılarak ısı transferi miktarı artırılmaya çalışılmıştır. İç boru içerisinde sıcak su, dış borudan ise soğuk su geçirilerek deneyler yapılmıştır. Düz ve farklı sayıdaki helisel borularda ısı transferi ve basınç düşümleri tespit edilmiştir. Beş çeşit bakır iç boru kullanılmıştır. Bunlar düz boru, iki helisli bakır boru, üç helisli bakır boru, dört helisli bakır boru ve beş helisli bakır borulardır. Dış boru sabit ve dikey konumlandırılıp; düz bakır boru ve farklı helis sayısındaki bakır iç borular kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan deney çalışmasında sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (\dot{V}_h / \dot{V}_c) kapasite oranı olarak kabul edilmiş ve 4 (dört) farklı kapasite oranı için deney çalışmaları yapılmıştır. Bütün bu deneyler her boru için dört kapasite oranı ile yapılmıştır. Kapasite oranları; 1, 0,75, 0,50 ve 0,25 olarak alınmıştır.

Yapılan bu deneylerde helis sayısı arttıkça ısı transferinde artışlar gözlenmiştir. Bununla birlikte ısı transferindeki artış miktarına oranla basınç düşümleri çok fazla olmamıştır.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2019-1924 numaralı proje ile desteklenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada, dış boru sabit alınıp, içteki boru beş farklı helis sayısında alınarak deneyler yapılmıştır. İçteki boru önce düz boru alınarak ısı transferi miktarı ve basınç düşümü ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca bu işlemlerin hepsi diğer iç borular içinde uygulanmıştır. Düz boru dışında iki helisli, üç helisli, dört helisli ve beş helisli iç borular ile deneyler yapılmıştır. Isı geçişi, sanayide çok fazla alanda kullanıma sahip olduğundan dolayı, bu konuda akademik olarak da oldukça çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı da ısı geçişinin daha iyi olabilmesi için farklı sınır şartlarında yapılmış olmasıdır. Türbülatorler ve dönmeli akışlar literatürde geniş yer bulmaktadır.

Migay V. K ve Golubev L. K. (1970) , yaptıkları deneysel çalışmada boru içerisinde dönmeli akış üreticileri bulunduğu ve giriş akışının türbülanslı olması durumunda ısı transferini ve sürtünme kayıplarını araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre dönmeli akışlarda ısı transferi miktarının fazla olduğu fakat sürtünme katsayısının ısı transferi miktarından daha fazla arttığı gözlemlenmiştir [1].

Arıcı E. ve Ayhan T. (1986) , yaptıkları çalışmada içten yapay dirençli borularda akış ve ısı transferinin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Direnç olarak helisel yay seçilmiştir ve kullandıkları yöntem sınır tabakanın sürekli yenilenmesi yöntemidir. Deneyler türbülanslı akışta yapılmış ve değişik helisel yaylar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ısı transfer katsayısı % 60–400 oranında artmış ancak basınç kaybı ise 20 kat civarında artmıştır [2].

Kelkar K. M. ve Patankar S. V. (1987) , akışı iki boyutlu ve akışkan özelliklerini sabit olarak ele aldığı çalışmada kanatçıklı kanallarda ısı transferini incelemiştir. Bu çalışmada, yüzeylerine kanatçıklar yerleştirilmiş birbirine paralel iki levha kullanılmış ve akış simüle edilerek dijital ortamda çözümlenmiştir. Levha yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulmuş ve yapılan çalışmada belirli bir mesafeden sonra, akış ve sıcaklık alanlarının periyodik olarak tekrar ettiği tespit edilmiştir. Reynolds sayısı, Prandtl sayısı, kanatçık iletkenliği vb. değiştirilerek farklı geometrik tasarım hesaplamalarıyla incelenmiştir. Levha yüzeylerindeki kanatçıklar; akışkanın daha fazla yüzey ile temasını ve akışkanın karışarak hareket etmesini sağlamasından dolayı ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Basınç düşümündeki artışın ısı transferinin gelişmesine katkısı olduğu gözlemlenmiştir [3].

Karabay H., Ayhan T. (1988) , yaptıkları deneylerde silindirik borular içerisine yerleştirdikleri konik halka yüzey elamanlarının ısı transferine etkilerini araştırmışlar ve ısı transferinin % 80 civarında arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada basınç düşümlerinin de fazlalaştığı gözlemlenmiştir [4].

Cheng C. H. , ve Huang W. H. (1991) , üzerine kanatçıklar yerleştirilen iki paralel levha içinde akış ve ısı transferi iki boyutlu zorlanmış akış şartlarında incelemişlerdir. Çalışmada, Reynolds sayısı, kanatçık geometrisi değiştirilerek incelemeler yapılmış, problem nümerik olarak çözülmüş ve kanatçıkların geometrileri büyüdükçe ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir [5].

Hwang J. J. ve Liou T. M. (1995) , düşük yükseklik/ genişlik oranlı kanalda iç yüzeyleri oluklarla pürüzlendirilmiş kanalda ısı transferi ve sürtünmeyi deneysel olarak incelemişlerdir. Tam gelişmiş kanal akışı için ortalama Nusselt sayısı, sürtünme katsayısı, ısı transferi miktarı için ölçümler yapmışlardır. Sıcaklık ölçümleri termometre ve termokupullar ile yapılmıştır. İncelemeler, Reynolds sayısının 5×10^3 ile $5,4 \times 10^7$ değerleri arasında yapılmıştır. Türbülanslı akışta yerel Nusselt sayısı dağılımının türbülans kinetik enerjisine bağlı olduğu, kanatçıkların bulunduğu kanallardaki ısı transferinin bloksuz kanallara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısının Reynolds sayısı azaldıkça azaldığı, Nusselt sayısının ise kanal girişinde artış gösterdiğini, kanal içinde bir miktar azaldığını ve akışın kanal içinde ilerlerken sabit kaldığı tespit edilmiştir [6].

Molki M., Faghri M. ve O. Özbay (1995) , yüzeyinde dikdörtgen kesitli bloklar bulunan bir kanalda giriş bölgesinde laminer, gelişmekte olan akışta, konveksiyonla olan ısı transferini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kanalın alt yüzeyine bakır bloklar yerleştirilerek, bunları elektrik enerjisi kullanarak alttan film tabakası şeklindeki ısıtıcılarla ısıtmış; elektrik giriş gücü, sıcaklık, basınç, akış hızı gibi çeşitli parametrelerin ölçülmesi sonucu Nusselt sayısı için korelasyonlar elde etmişlerdir. Burada, kanalın giriş bölgesinde Nusselt sayısının yüksek olduğu, ani bir düşüşten sonra yaklaşık sabit kaldığı ve ayrıca ısı transferinin Reynolds sayısı, blok ve kanalın geometrik özelliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir [7].

Biçer Y., Yıldız C., ve Pehlivan D. (1996), bu çalışmalarında da, iç içe borulu ısı değiştirgeçlerinde ısı transferinin artırılması için içteki boruyu helisel bir boru seçmiş ve içteki boruyu döndürerek ısı transferine ve basınca etkisi incelemişlerdir. Sonuçta ise Nu sayısı için ampirik denklemler üretmişlerdir [8].

Tanda G. (1997) , dikey kanallarda doğal konveksiyonla ısı transferini kanatçiksız ve bir yüzeyine kanatçıklar yerleştirerek deneysel olarak incelemiştir. Her iki çalışmada da yapılan deney koşulları altında, kanatçık yerleştirilmiş kanallarda, ısı transfer performansının azaldığı gözlemlenmiştir [9].

Biçer Y., Yıldız C., ve Pehlivan D. (1997), bu çalışmalarında, iç içe borulu ısı değiştirgeçlerinde ısı transferinin artırılması için içteki boruyu yay şeklinde helisel boruya dönüştürerek ısı transferine ve basınca etkisi incelemiştir. Sonuçta ise Nu sayısının yaklaşık %30 arttığı belirlenmiştir [10].

Li H. ve Kottke V. (1998) , boruların şaşırtma levhalarını tamamen doldurduğu tipteki gövde-boru ısı değiştiricileri gövde tarafı basınç düşümü ve yerel ısı transferini farklı şaşırtma levhası boşlukları için araştırmışlardır. Tam gelişmiş bir şaşırtma levhası bölmesindeki her bir boru yüzeyi üzerinde yerel ısı transfer katsayılarının dağılımlarına kütle transfer ölçümlerinin ortalaması ile karar verilmiş ve modellenmiştir [11].

Çulcu B. (1998) , yaptığı yüksek lisans çalışmasında boru içerisine parçalı konik halka yüzeyli türbülötörler yerleştirmiş ve ısı transferinin arttığını ancak basınç düşümlerinin de arttığını belirlemiştir [12].

Kavak E., Biçer Y., Yıldız C. (1998) , yaptıkları çalışmada, iç içe borulu ısı değiştiricilerinde iç borunun giriş bölümüne dairesel delikli tip dönel akış üreticisi (swirling elamanı) yerleştirerek, bu elamanların ısı transferine ve basınç düşümüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarında ısı transferinin iyileştiğini ve az miktarda basınç düşümünün olduğunu gözlemlemiştir [13].

Biçer Y., Yıldız C. (2000), yaptıkları çalışmada, iç içe borulu ısı değiştiricilerinde iç borunun içerisine rüzgârgülü şeklinde pervaneler takılarak, bu pervanelerin ısı transferi miktarına ve basınç düşümüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarında ısı transferinin iyileştiği ve basınç düşümlerinin Reynolds sayısına ve pervane sayılarına bağlı olarak boş borunun yaklaşık üç katına kadar arttığı belirlenmiştir [14].

Lozza G. ve Merlo U. (2001) , çeşitli kanatçık düzenlemeleri kullanarak, hava soğutmalı kondenselerdeki ve sıvılı soğutuculardaki ısı transferini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada değişik tipteki kanat geometrisinde olan 15 adet aynı tür boru kullanmışlardır. Kullandıkları farklı tip kanatçık geometrilerinin ısı transferi miktarı üzerinde etkili olduğunu gözlemlemiştir [15].

Alam I. , Ghoshdastidar P.S. (2002) , yaptıkları çalışmada içerisine kanatçık yerleştirilmiş bir borudaki ısı transferini incelemiştirlerdir. Akış düzgün ve laminar olup sabit ısı akısı uygulanmıştır ve ayrıca sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Isı iletim katsayısının ve viskozitesinin sıcaklıkla değişimi dikkate alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda önemli ölçüde ısı transferi iyileştirmesi olduğu belirlenmiştir [16].

Yakut K. ve Şahin B. (2004) , dairesel kesitli helisel yay kullanımının boru içerisindeki akışta ısı geçiş miktarı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştirlerdir. Sonuç olarak helisel tel sargıların ısı transferi miktarı üzerinde Reynolds sayısının 13000' e kadar avantajlı olduğu belirlenmiştir [17].

Demartini L. C., Vielmo H. A. ve Möller S. V. (2004) , içerisine çapraz konumlandırılmış kanatçıkları bulunan dikdörtgen kesitli kanalda türbülanslı akışta ısı transferi miktarını nümerik olarak incelemiştirlerdir. Nümerik çalışma sayısal ileri akışkanlar dinamiği programı olan ANSYS FLUENT ile yapılmıştır. Yapılan çalışmada, kanallar içinde çapraz konumlandırılan kanatçıkların ısı transferini artırdığı tespit edilmiştir [18].

Ho C.D., Yeh C.W., Hsieh, S.M (2005), çoklu geçişli ters akış prensibine göre çalışan güneş enerjili hava ısıtıcıların performanslarını geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Absorban plaka ve yalıtım levhası yatay ve dikey olarak yerleştirilerek açık kanallar dört kanala ayrılmıştır. Çalışma sayısal olarak yapılmış ve eklenen plakaların ısı transferini artırdığı tespit edilmiştir [19].

Dağdelen Ö. (2005) , yaptığı yüksek lisans çalışmasında dairesel bir kanalda ısı transferini deneysel ve sayısal incelemiş ve havadaki nem miktarının artırılmasının ısı transferini artırdığını belirlemiştir [20].

Koca T. (2007) , helisel iç borulu ısı değiştiricisinde 5 farklı tipteki helisel iç boruya dönme hareketi vererek süreçte ısı transferi miktarı değişimi ve basınç düşümü üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonunda ısı transferi miktarının devir arttıkça arttığını fakat bununla birlikte basınç düşümü de yaşandığını gözlemlemiştir [21].

Dal A. R. (2007) , yaptığı bu çalışmada; düz plakalı borulu ısı değiştiricisi kanatçık ve borularında yapılan değişiklikler ile ısı transferi ve basınç düşümünün etkisi üzerine araştırma yapmıştır. Gerçek bir ısı değiştiricisinde, arasından yanmış gazların geçtiği iki yarım kanatçık ve borudan oluşan bir model seçilmiştir. Yanmış gazın sıcaklık dağılımı, hız dağılımı ve basınç düşümü değerleri incelenmiştir. Elde edilen modellerde kanatçık açılarının dikey

eksene göre değişimi, kanatçıklar arasındaki mesafenin optimum tespiti ve kanatçık ortasındaki borunun y eksenini boyunca değişiminin ısı transferine etkisi değişik model üzerinde incelenmiştir. Sayısal hesaplar sonunda, ısı transferinin kanatçıkların eksenle yapmış olduğu $\theta = 30^\circ$ eğik açıda, kanatlar arasındaki ara mesafede (2,75 - 3 mm) ve boru ekseninin $c_1 = 16$ mm değerlerinde maksimum ısı transferi bulunmuştur. Üç farklı model için ortalama Nusselt sayıları sayısal olarak bulunarak, Reynolds ve Prandtl boyutsuz sayıları cinsinden korelasyon eşitlikleri verilmiştir. Ayrıca basınç düşümünden dolayı gerekli olan ilave enerji miktarının, kazanılan ısı transferi miktarına göre çok az değerde kaldığı tespit edilmiştir [22].

Yıldız Ş. (2007) , iç içe borulu ısı değiştirgeçlerinde yaylı türbülatorlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkisi üzerine yaptığı bu çalışmada; dış yüzeyi buhar ile ısıtılan, sabit cidar sıcaklığına sahip iç içe borulu bir ısı değiştiricisi içinde ısı transferini artırmak için farklı çapta yaylar kullanmıştır. Kullanılan yayların dizim sayısı ve dizilim tasarımının değişimine göre incelenmiştir. Boru içerisinden geçen akışkan hava olup, deneyler $2500 \leq Re \leq 12000$ aralığında, 22 farklı debide yapılmıştır. Çalışmada ısı transferi, basınç kaybı ve ekserji analizi türbülatorlü (yaylar boru içinde) ve türbülatorlüsüz (boş boru) durumlar için hesaplanmış, karşılaştırmalar yapılmış ve deneysel bağıntılar elde edilmiştir. Yay çapının artmasıyla birlikte ısı transferinin arttığı buna bağlı olarak basınç kayıplarında da artış görüldüğü gözlenmiştir. Yayların sayısının artırılmasının da ısı transferi ve basınç kaybı üzerinde artış yaptığı gözlenmiştir. Artan ısı transferiyle birlikte basınç kayıpları da artış göstermiştir [23].

Behçet R. , İlkılıç C. , Aydın H. (2009) yaptıkları çalışmada boru içi akışlarda ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla ısı değiştiricinin giriş kısmına dönmeli hava akışını gerçekleştirmek için pervane tipi bir türbülator yerleştirerek türbülatorün ısı transferi ve basınç kaybı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelenmişlerdir. Türbülatorlü boru ile boş boru değerleri karşılaştırıldığında; ortalama olarak ısı transferindeki 4.25 kat artışa karşılık basınç kayıplarında da 5.15 kat civarında artış olmuştur. Ayrıca sistemin ekserji analizi yapılarak iyileştirme tekniğinin termodinamik açıdan avantajlı olup olmadığını incelemek için boyutsuz ekserji kaybının Reynolds sayısına bağlı değişimi çizilmiştir. Yaklaşık aynı Reynolds sayılarında boş boru ile türbülatorlü borudaki ekserji kaybı mukayese edildiğinde boş borudaki ekserji kaybının türbülatorlü boruya nazaran 3 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. Böylece iyileştirme tekniğinin termodinamik açıdan da avantajlı olduğu gözlemlenmiştir [24].

Deveci İ. (2009) , U borulu gövde-boru tipi bir ısı değiştirgecinin deneysel olarak incelenmesi üzerine yaptığı çalışmada, bir ısı değiştirgeci tasarlamış ve deney seti kurarak farklı akış debileri ve farklı sıcak ve soğuk akım giriş sıcaklıklarında deneyler yapmıştır. Bell-Delaware ve Kern Metod' ları ve deney verileri kullanılarak bu ısı değiştirgecinin ısı performansını değerlendirmek için gerekli analizler yapılmış ve analiz sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Deney düzeneğine yerleştirilmiş olunan U- borulu gövde-boru tipi ısı değiştirgecine ait ısı performans artış değerlerinin %14-22 aralığında olduğu grlmştr. Yapılan analizlere göre gövde ve boru tarafına ait teorik ve deneysel çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın en fazla %2 olduğu gözlemlenmiştir [25].

Baysal E. (2009), eş merkezli borulu ısı değiştiricilerinde helisel türbülatörlerin etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelediği çalışmasında eş merkezli borulu ısı değiştiriciye yerleştirilmiş farklı adımlardaki helisel türbülatörlerin Reynolds sayısının 3000 – 14000 aralığı için ısı transfer performansı ve sürtünme karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Isı değiştiricide sırasıyla sıcak akışkan olarak hava ve soğuk akışkan olarak su, iç borudan ve dış borudan geçirilmiştir. Helisel türbülatör kullanılarak $p = 20, 40, 60, 80$ mm adım mesafeleri için boş boruya göre sırasıyla % 291, % 241, % 218 ve % 199 oranında ısı transfer iyileştirmesi sağlanmıştır. Boru içine yerleştirilen türbülatörlerin her biri, türbülatörsüz ısı değiştiriciye oranla Nusselt sayısını ve sürtünme faktörü değerlerini yükseltmiştir. Basınç düşüşü değerlerinin türbülatörlü ısı değiştiricilerde ısı transferindeki iyileşme ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir oranda olduğu gözlemlenmiştir [26].

Güneş S. (2009) , çeşitli i elemanlar yerleştirilmiş bir boruda ısı geçişinin incelenmesini yaptığı çalışmada, boru içerisine yerleştirilen helisel sarılmış tellerin ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkisini Reynolds sayısının 3514-27188 aralığında deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışmada eşkenar üçgen kesitli helisel tel boru içerisine cidardan ayrıık olarak yerleştirilmiştir. Deneyler, cidardan iki farklı ayrııklık durumu, üç farklı hatve oranı ve tel kesitindeki eşkenar üçgenin üç farklı kenar uzunluğu için, 6 farklı helisel tel grubu ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 18 farklı telin sağladığı ısı transferindeki artış, basınç düşümü ve neticede sağlanan net iyileşme belirlenmiştir. Dikkate alınan parametrelerden; tel kesitindeki eşkenar üçgenin üç farklı kenar uzunluğu, cidardan ayrııklık durumu ve hatve oranının ısı transferi artışı üzerinde en etkili parametre olduğu grlmştr. Borular içerisine, ısı değiştiricisinin çalışma şartlarına göre düşük Reynolds sayılarında helisel sarılmış üçgen kesitli teller cidardan ayrıık olarak küçük hatve oranlarında yerleştirilerek; ısı transferi iyileştirmesi sağlamanın mümkün olduğu gözlemlenmiştir [27].

Mülayim A. (2010) , kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde kullanılan kolektörlerdeki basınç kaybının incelenmesi çalışması yapmıştır. Bu alışmada, T seklindeki boru bağlantılarındaki ve kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde kullanılan kolektörlerdeki üç boyutlu, türbülanslı ve daimi akış için basınç kayıpları sayısal olarak Ansys Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı ile incelenmiştir. T boru bağlantılarındaki basınç kayıplarının incelendiği ilk çalışmada, farklı türbülans modelleri ile gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları literatürdeki deneysel veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçta Rans türbülans modellerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Deneysel olarak basınç kayıplarının incelendiği iki farklı tipte kolektördeki akış, sayısal olarak da incelenerek sayısal çözüm sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta, sayısal çözümde meydana gelen basınç kayıpları, deneysel sonuçlardan elde edilen basınç kayıplarının köse bağlantılı kolektörlerde ortalama % 12 altında, kurtağzı bağlantılı kolektörlerde ise ortalama % 21 altında kaldığı gözlemlenmiştir. Sayısal özüm sonuçlarında incelenen her iki tip giriş kolektöründeki akış dağıtım oranları incelenmiş ve sonuçta T branşman (kurtağzı) bağlantılı kolektörlerde meydana gelen basınç kaybı ve kötü dağıtım oranının 90° köse bağlantılı kolektörlere göre daha az olduğu gözlemlenmiştir [28].

Bazarbashi M. (2013) , dalgalı kanatçıklı ısı değiştiricinin yanıt yüzey metodu ile çok amaçlı optimizasyonu isimli çalışmasında yatay dikdörtgen bir kanal içerisine düz ve şaşırtmalı düzende yerleştirdiği S tipi kanatların taşınımla ısı transferi ve basınç düşümü karakteristikleri yanıt yüzey metoduyla (YYM) tahmin etmiştir. Yanıt yüzey metoduyla Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için matematiksel modeller kurulmuştur. Modellerin kurulmasında merkezi kompozit tasarım (MKT) kullanılmıştır. Analizler sonucunda düz ve şaşırtmalı yerleşim düzenleri için ayrı ayrı elde edilen modellerin Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü tahminlerinin literatür ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, yanıt yüzey metodu Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün tahmininde kullanılabilen alternatif bir istatistiksel yöntemdir [29].

Çallı Ö. (2014) , yatay ve dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompalarının enerji ve ekserji analizleri yönünden karşılaştırılması üzerine çalışma yapmış ve çalışmasında ölkemizde ısıtma alanında yaygınlaşmaya başlamış olan toprak kaynaklı ısı pompalarının enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompasında topraktan ısı transferini sağlayan toprak ısı değiştiricisi sisteminin yatay ya da dikey olmasının yarattığı farklılıklar incelenmiştir. Çalışma sonucunda ısı değiştiricisinin yatay ya da dikey olması ekserjetik yönden fazla bir farklılık göstermemektedir. Bunun sebebi basınç değişiminin

suyun entalpisine fazla bir etkisi olmaması ve böylelikle pompanın gücünün çok değişmemesi sebebindendir. Analizlerde dikey ısı değiştiricisinin yataya kıyasla daha kısa bir boruyla aynı içi karşılayabildiği görölmüştür. Bunun sebebi dikey ısı değiştiricilerde toprak ısı direncinin daha az olmasıdır. Bu değerin daha az olmasının sebebi ise dikey ısı değiştiricilerin yataya kıyasla daha derine gömölüyor olmaları ve bu yüzden dış hava şartlarından yataydaki kadar etkilenmemelerinin olabileceği değerlendirilmiştir [30].

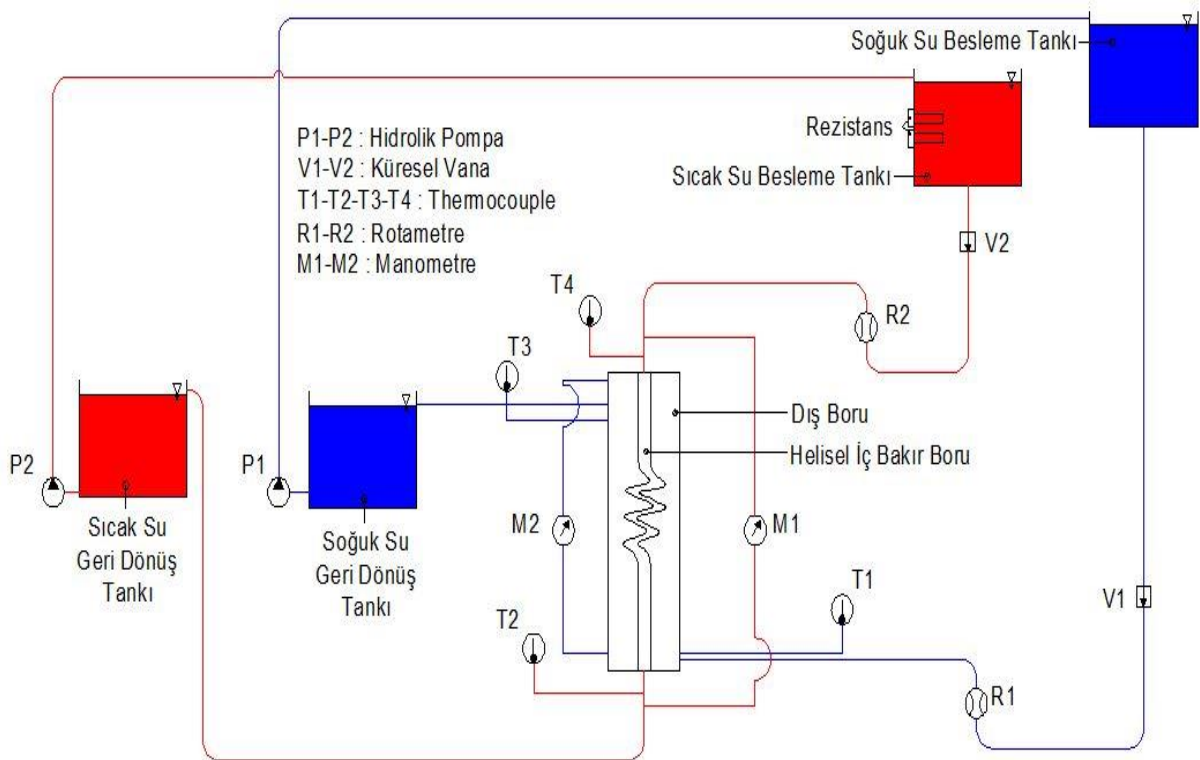


3. MATERYAL VE YÖNTEM

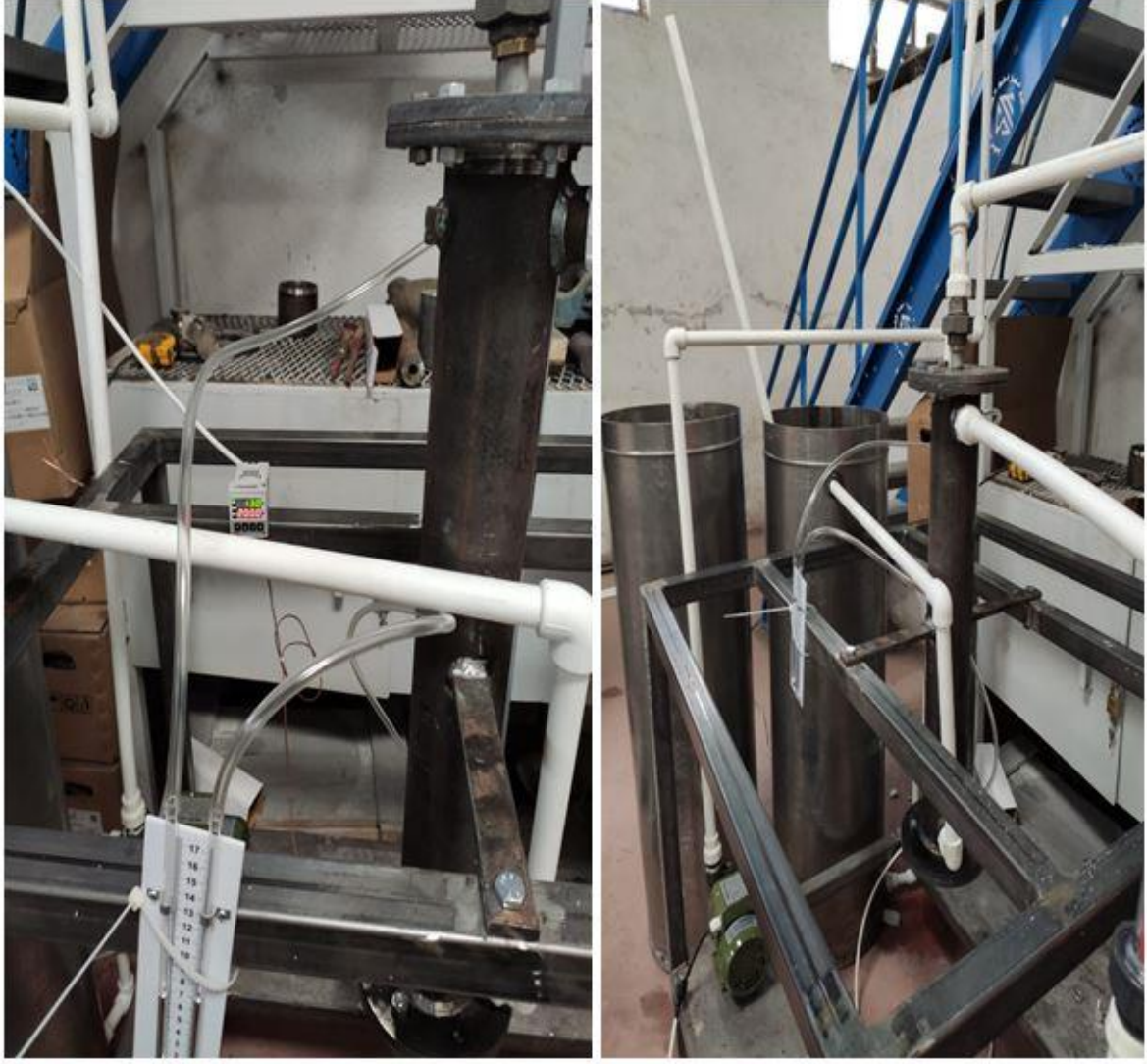
İmalatı yapılan deney setinde helisel iç borulu dikey ısı değıştiricilerinde ısı transferi ve basınç düşümü analizi yapılması için kullanılan deney düzeneği bileşenleri tanıtımı, yapılan deney ölçümleri, deneyin yapılış yöntemi ve deneysel verilerin hesaplanmasında kullanılan formüller bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

İmalatı yapılan deney düzeneği iç içe iki borudan oluşmaktadır. Dıştaki çelik boru düz ve sabit olup içteki boru ise beş farklı tipte seçilmiş olup biri düz diğer borular adım sayıları farklı olan helisel tip bakır borulardır. Deney setinin şematik hidrolik akım şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Hazırlanan deney seti genel görünüşü ise Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’ te gösterilmiştir. Deney setinde kullanılan elemanlar hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1 : Deney seti hidrolik akım şeması



Şekil 3.2 : Deney seti genel görünüş-1



Şekil 3.3 : Deney seti genel görünüş-2

3.1.1 Dış boru

Düz ve sabit boru olup P235GH-TC2 / St 35- 8III çelik malzemeden imal edilmiştir. Boyu 650 mm olup dış çapı 80 mm iç çapı ise 66 mm'dir. Pürüzlülüğü oldukça düşük olup iki ucu flanşlarla tespit edilmiştir.

İç borunun rahatça takılıp sökülebilmesi için boruya kaynaklı flanşlar haricinde oynar flanş olarak isimlendirilen hareketli flanşlar tercih edilmiştir. Şekil 3.2'de deney setinde kullanılan dış boru görülmektedir. Dış borunun her iki alnına 180 mm dış çapında flanş aynası kaynakla sabitlenmiştir. Dış borunun her iki ucundan 100 mm'lik mesafede soğuk suyun giriş ve çıkışı için 19 mm'lik su borusuna bağlantıyı sağlamak için iki noktada bağlantı elemanı vardır. Dış boruya alttan giren soğuk su bir miktar ısı alarak üstten dışarı çıkarak geri dönüş tankına dökülmektedir.



Şekil 3.4 : Dış boru

3.1.2 Helisel iç boru

Helisel iç boru ısı transferi miktarını artırabilmek adına C 12 200 / SF-Cu / Cu-DHP bakır malzemedен imal edilmiştir. Helisel boru boyu 700 mm, dış çapı Ø19 mm olup iç çapı ise Ø16 mm ölçülerindedir. Yapılan çalışmada beş farklı helisel bakır iç boru denenmiş olup bunlar düz boru, iki helisli, üç helisli, dört helisli ve beş helisli borulardır. Helis adımı her boruda 7,5 mm olarak imal edilmiştir. Bakır helisel iç borularda helis çapı 54 mm olarak imalat yapılmıştır. Yapılan deney çalışmasında helis sayısı değişken olurken helis adımı sabit tutulmuştur.

Helisel bakır boruların imalat süreci oldukça zor olup yapılan çalışmalar sonucunda AFS 30-35 döküm kumu atmosfere açık ortamda ısıtıldıktan sonra düz bakır boru içine doldurulması ve akabinde bükme işleminin başlamasıyla en sağlıklı sonucun elde edildiği gözlenmiş ve büküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıtılan döküm kumu düz bakır boruya doldurulduktan sonra büküm işlemi için tasarlanan robotta düşük devirde ısıtma işlemiyle eş zamanlı büküm işlemi gerçekleştirilmiş ve istenilen özellikte serpantinler imal edilmiştir.

Helisel iç bakır boruların birleştirilmesinde ön tavlı kaynak işlemi gerçekleştirilmiş ve çap değişimini engellemek adına kaynak bölgeleri dövme işlemine tabi tutulmuştur. Bağlantı noktalarında akışın bozulmaması adına düzeltme işlemi uygulanarak bu bölgelerde oluşması muhtemel basınç düşümlerinin de önüne geçilmiştir.



Şekil 3.5 : Helisel iç bakır boru- 1



Şekil 3.6 : Helisel iç bakır boru- 2

3.1.3 Flanşlar

Dış boruya dış çapı 180 mm, iç çapı 81 mm, kalınlığı 15 mm ve 6 adet 30°'lik eş Ø11 mm delikleri olan flanş aynası kaynakla sabitlenmiştir. Deney setinde kullanılan flanşın dış çapı 180 mm, iç çapı 19,2 mm, kalınlığı ise 10 mm ve flanş aynasına montaj edilebilmesi için flanş aynasıyla eş eksenli aynı ölçülerde 6 adet delik bulunmaktadır. Flanş ile flanş aynası arasında sızdırmazlığı sağlamak için nitril o-ring kullanılmıştır ve bu yüzden flanş aynası üzerinde dairesel o- ring kanalı açılmıştır.



Şekil 3.7 : Flanşlar

3.1.4 Isıya dayanıklı sıvı conta

Dünyada ısıtma sistemlerinde sızdırmazlık uygulamalarının büyük bir bölümünde sıvı conta kullanılmaktadır. Deney çalışmasında ısıya dayanıklı sıvı conta kullanılmıştır. Isıya dayanıklı sıvı conta flanş aynası üzerindeki kanallara yerleştirilmiş olup akışkan sızdırmazlığını sağlamak maksadıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.8 : Isıya dayanıklı sıvı conta ve flanştaki sıvı conta

3.1.5 Debi ölçer (Rotametre)

Debi ölçerler içinden debisi ölçülecek olan akışkanın geçtiği, düşey konik bir silindir ve silindir içinde hareket edebilen bir şamandıradan oluşmaktadır. Plastik gövdeli debi ölçer (rotametre) yüksek dayanıklılık korozyon direncine sahiptir. Konik silindirin aşağı tarafından üst kısma doğru sıvı akışı başladığında şamandıra, su direnci tarafından yukarı doğru hareket ettirilir. Fakat yukarı doğru çıktıkça, şamandıra ile silindir arasındaki geçiş kesiti artacağından sıvının hızı ve buna bağlı olarak uyguladığı direnç azalır. Sonunda şamandıra belli bir konumda dengede kalır. Sıvının debisi ne kadar fazla ise şamandıra o kadar yukarı çıkar. Sonuç olarak şamandıranın yükselme miktarı sıvının debisinin bir ölçütü olarak kullanılır. Yapılan deney çalışmasında sıcak ve soğuk su girişinde debi ölçümü için en az 2500 l/h ölçüm şartını sağlayan 2 adet debi ölçer kullanılmıştır. Debi ölçer dikey bağlantılı tipte olup en az 4 bar basınç ve en az 55 °C sıcaklık için çalışma şartını sağlamıştır. Debi ölçer önüne yerleştirilen vanalar yardımıyla su girişleri ayarlanarak sisteme giren sıcak ve soğuk suya ait veriler kontrol edilmiştir.



Şekil 3.9 : Debi ölçer (Rotametre)

3.1.6 Pompalar

Yapılan deney çalışmasında 2(iki) adet santrifüj tipte 0,37 kW / 0,5 Hp pompa kullanılmıştır. Pompaların kullanım amacı kapalı çevrimdeki sıcak ve soğuk dönüş sularının toplandığı tanktaki suyun yüksekteki tanklara ulaşmasını sağlamaktır. Pompalar dakikada 50 litre su basma kapasitesinde olup maksimum su basma yüksekliği 35 metre maksimum su emme derinliği ise 8 metredir. Pompaların hızı 2850 devir/ dakika'dır. Pompaların su basma taraf çıkışlarına pompa ömürlerini uzatmak adına çek valfler yerleştirilmiştir. Çek valfler pompanın besleme tankına giden hatta kalan suyun pompa çarkına dolup pompa çark ömrünü kısaltmaması adına kullanılmıştır.

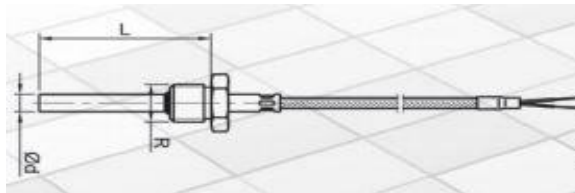


Şekil 3.10 : Pompalar

3.1.7 Isıl çiftler (Termokupl)

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına oranlıdır. Dolayısı ile soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Bu nedenle termokupl mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C’de tutulması ile elde edilmişlerdir. Örneğin 400 °C’ye karşılık gelen mV değeri termokuplun sıcak noktası 400°C’de, soğuk nokta 0°C’ de iken uç noktada ölçülen mV değeridir.

Termokupllar (ısıl çift) endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Termokupl aslında iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen genelde prosese çıplak olarak daldırılmazlar. Çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolatör yardımıyla izole edilirler. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının, sıcaklık limitlerinin önemi büyüktür. Gerek eleman tellerinin gerekse koruyucu tüplerin cinsleri termokuplların ömürlerine direkt etki etmektedir. Dış boruda ve helisel iç boruda sıcaklığın ölçüleceği noktalar delinmiş ve bu noktalardan manşonlar vasıtasıyla sabitlenerek ölçümler yapılmıştır. Yapılan deney çalışmasında DIN 43710 ve IEC 60584 standartlarına uygun EMF değeri üreten mineral izoleli termokupllar kullanılmıştır. Boru içerisinde yüzeye temasını engellemek içinde özel muhafazaya alınmıştır. Termokuplların ölçüm alma yerleri ölçüm yapılacak noktaya diğer uçları da sayısal kontrol cihazına bağlanmıştır. Ayrıca hem boru içlerinde hem de yüzeylerde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Sisteme bağlanan noktalarda sızdırmazlığı sağlamak için özel yapıştırıcı ile açılan delikler kapatılmıştır.



Şekil 3.11 : Termokupl şematik resim



Şekil 3.12 : Deney setinde kullanılan termokupl

3.1.8 Manometre

Yapılan deney çalışmasında civalı U tipi manometreler kullanılmıştır. Sıcak su girişinde ve çıkışında, soğuk su giriş ve çıkışında olmak üzere iki adet civalı u tip manometre yerleştirilmiştir. İki koldaki seviye farkı ölçekli cetvel yardımıyla hassas olarak ölçülerek basınç farkı hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 : Manometre

3.1.9 Rezistanslar

Yapılan deney çalışmasında sıcak su temini için sıcak su besleme tankında 2 (iki) adet 7500 Watt gücünde termostatlı boru tip kapaklı rezistans kullanılmıştır.



Şekil 3.14 : Rezistans

3.1.10 Su tankları

Yapılan deney çalışmasında ihtiyaç duyulan sıcak ve soğuk su için 4 adet su tankı kullanılmıştır. Su tanklarından iki tanesi soğuk suyun beslemesi ve geri dönüşü için diğer ikisi ise sıcak suyun sisteme beslemesi ve sistemden geri dönüşü için kullanılmıştır. 180 litre hacmindeki su tankları 3 mm'lik sacların kıvrılması ve sonrasında birleşme noktalarından kaynaklanmasıyla imal edilmiştir. Su tanklarının içi korozyona karşı mukavim olması için elektrostatik toz boya ile boyanmıştır. Su tanklarının üst kısmı açık hava basıncı dolayısıyla açık bırakılmıştır. Sisteme sıcak su besleyen tankta sıcak su temini için tank tabanından 200 mm ve 250 mm uzaklık mesafesinde 7500 Watt gücünde iki adet termostatlı rezistans kullanılmıştır. Gerekli debi ve düşüyü sağlamak için besleme tankları ısı değiştiriciden 8 metre yüksekte konumlandırılmıştır.



Şekil 3.15 : Su tankları

3.1.11 Sayısal kontrol cihazı

Yapılan deney çalışmasında 4 (dört) adet kullanılan Elimko markalı E-58 model sayısal kontrol cihazları açık – kapalı ve PID kontrol formlarında, 48x48 mm ebatlarında, gelişmiş yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak tasarımılanmış, IEC/TR 60668 normlarına uygun endüstriyel cihazlardır. Sayısal kontrol cihazı 16 girişe kadar değişik noktalarda alınan bilgilerin gösterimini ve bilgisayara bilgilerin aktarımını sağlar özelliğindedir. Sayısal kontrol cihazı ölçülen sıcaklıkları 0,1(onda bir) hassasiyetle gösterme özelliğine sahiptir.



Şekil 3.16 : Sayısal kontrol cihazları

3.1.12 Su boruları

Deney setinde ısı değiştiriciye besleme tanklarından taşınacak suların iletim hattında kullanılan su boruları 25 mm çapında ve ısı yalıtımlıdır. Su boruları PPRC(polypropylene random copolymer) özellikte olup 25 atm basınca dayanıklı ve +5 °C ile +90 °C arasında çalışma özelliğine sahiptir. İletim hattında suyun ısını kaybetmemesi adına kullanılan bütün su boruları ısı yalıtımlıdır.



Şekil 3.17 : Su boruları

3.1.13 Su vanaları

Debi ölçerlerin önüne kelebek vanalar konularak debi ölçerden geçip sisteme girecek suyun kontrolü ve debi ayarları su vanaları üzerindeki kontrolle sağlanmıştır. Sızdırmazlık, tamamen sıkı kapama, kolay yerleştirme, uzun ömür ve ekonomik olması nedeniyle kelebek vanalar tercih edilmiştir.



Şekil 3.18 : Su vanası (Kelebek tip)

3.2 Deneysel Ölçümleri

Yapılan deney çalışmasında sıcak ve soğuk suyun ısı değiştiricisine giriş ve çıkış sıcaklıkları, debileri ve basınç düşümleri ölçülmüştür.

3.2.1 Sıcaklık ölçümü

Deneyin en önemli ölçümlerinden biri olan sıcaklık ölçümü ısı çiftleri (termokupl) yardımıyla yapılmıştır. Deney setinde sıcaklık ölçümü yapabilmek için ölçüm yapılacak dış boru giriş- çıkışı ile helisel iç boru giriş-çıkışına 1/4" rekorlu ısı çiftleri yerleştirmek için manşon montajı yapılarak ısı çiftleri manşonlara sıkılmıştır.

Dış boruda soğuk suyun giriş yaptığı noktaya ve soğuk suyun ısınarak çıkış yaptığı noktaya manşonlar kaynak edilip bu noktalara 1/4" rekorlu ısı çiftleri takılmıştır. Isıl çiftlerin manşonla sabitlenmesinden dolayı su kaçağı riski ortadan kaldırılmış olup manşon boyu ayarlanarak ısı çiftinin boru içinde yüzeye temas etmeden sadece akışkanın sıcaklığını ölçmesi sağlanmıştır. Isıl çiftin duyarlı yüzey çapının altı katı kadar uzunluğunun akışkan içinde kalmasıyla sağlıklı ölçümler alınmıştır. Yani ısı çiftinin sadece ölçüm yapılacak su ile teması sağlanmıştır. Manşon çevreleri sızdırmazlığı sağlamak için özel yapıştırıcı ile doldurulmuştur.

Helisel iç boruda sıcaklık ölçümü yapabilmek adına 1/4" rekorlu ısı çiftleri sabitlemek için yine uygun iki noktaya manşon kaynak edilmiştir. Helisel içi boruyla dış boru arasında

kalan mesafede kaynak edilecek manşonun montaj- de montaj işlemleri esnasında zorluk çıkarabileceği ön görülerek helisel iç boruya takılan ısı çiftler için dış boruda sabit olan flanşların hemen önü ve arkası seçilmiştir. Deneysel çalışmada ölçümün doğru yapılabilmesi için ısı çiftinin duyarlı yüzeyinin akışkan içinde kalan kısmının uzunluğu, duyarlı yüzey çapının 5 katı olması sağlanmış ve sağlıklı sonuçlar böylelikle alınmıştır. Dış boruda olduğu gibi helisel iç boruda da manşon kaynatılan yerlerde sızdırmazlığı sağlamak amacıyla özel yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu işlemler sayesinde sıcak su giriş ve çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Deneysel çalışması esnasında dış boru yüzeyinde de birçok farklı noktadan lazer termometre ile ölçümler yapılarak sıcaklık değişim değerleri gözlenmiştir.

Isıl çiftler yardımıyla ölçülen sıcaklık değerleri sayısal tarayıcı ile okunmuş ve dijital ortamda kayıt altına alınmıştır. Zaman aralıklarını seçerek yapılan bütün ölçümler dijital ortamda kayıt altına alınmıştır.

Isıl çiftler bakır- konstantan olarak seçilmiştir. Isıl çiftlerin ölçmüş olduğu ve sayısal tarayıcıdan okunan sıcaklık değerleri termometreler ile ayrıca kontrol edilmiştir. Ayrıca dış boruya ısı yalıtımı yapılmış ve dışarı ısı kaçmamasına dikkat edilmiştir. Ancak ısı kaybı cidardan olmakta ve bunun kontrolü iki şekilde yapılabilmektedir. İç borudaki suyun verdiği ısı miktarı ile dış borudaki soğuk suyun aldığı ısı arasındaki fark dışarıya kaybolan kayıp ısıyı vermektedir. İkinci yöntemle ise dış borunun yüzeyinde farklı noktalarda ölçülen sıcaklıklar ile çevre sıcaklığı arasındaki fark kayıp ısı olarak hesaplanabilir. Ama bu deneydeki en önemli amaç farklı helis sayısındaki helisel iç boruların farklı debilerde ısı transferine katkısını hesaplamaktır.

Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkan hatalar deneylerde kullanılan ölçü aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında sistemde çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar; ısı çiftlerinden kaynaklanan hata, dijital termometreden kaynaklanan hata, bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hata, çevre sıcaklığından kaynaklanan hata olarak sınıflandırılmıştır. Sıcaklık ölçümünde toplam hata 0,42°C olarak göz önünde bulundurulmuştur.

3.2.2 Debi ölçümü

Debi ölçerler, akışkanın akışında akış hattına düşey olarak yerleştirilmiş bir konik cam tüp ve içinde serbest hareket edebilen cam tüpün tabanı ile aynı büyüklükte bir ağırlıktan (yüzer eleman-şamandıra) meydana gelir. Akışkan, konik cam tüpün dar kesitli kısmından girip bu tüp içerisinde yukarıya doğru tüp duvarı ile ağırlık arasındaki dairesel boşluktan akar

ve ağırlık ya da yüzer elemanı akış miktarına bağlı olarak yukarı doğru hareket ettirir. Ağırlık akış gösterici elemandır ve akış hızı arttıkça yukarı çıkmaya devam eder. Tüpün çapı camın en üst noktasında, en alt noktasından daha büyük olduğundan ağırlık alt ve üst yüzeyler arasındaki basınç farkından dolayı dengelendiği noktada kalır. Cam tüp içinde akış miktarını gösteren seviye bölüntüleri vardır. Akış hızı doğrudan camın üzerindeki ölçekten okunur.

Yapılan deney çalışmasında ısı transferi miktarını ve basınç düşümünü etkileyen önemli faktörlerden biri ısı değiştiricisinden geçen akışkanların debileridir. Debi ölçümü debi ölçerler aracılığıyla yapılmıştır. Soğuk suyun debisi besleme tankından dış boruya gelen iletim hattında dış boruya girişin hemen önüne yerleştirilen debi ölçer vasıtasıyla yapılmıştır. Debi ölçerin hemen önüne yerleştirilen kelebek tip vana ile de debi değişimi kontrol edilmiştir. Sıcak suyun debisi de soğuk suda olduğu gibi yine ısı değiştiricisine girişten önce yerleştirilen debi ölçer ile sağlanmıştır.

Kullanılan debi ölçerin ölçüm çizgisi bir saatte debi ölçerden kaç litre su geçtiğini göstermektedir. 250 l/h – 2500 l/h aralığında ölçüm yapabilen debi ölçerler aşağıdan yukarıya doğru daralan tipte olup plastik tüplü şamandıralıdır. Debi ölçümünde ortaya çıkan hatalar, deneyler sırasında kullanılan hassas debi ölçerler ve okuyucuya bağlı olarak değişmektedir. Deney çalışmasında kullanılan debi ölçerlerin kalibrasyonu sağlanmış olup ölçü aleti olup hata oranı en alt seviyede tutulmuştur. Deneyler sırasında debi ölçümünden kaynaklanan hatalar 4,8 l/h olarak göz önünde bulundurulmuştur.

3.2.3 Basınç düşümü ölçümü

Helisel iç boru ve dış borunun giriş ve çıkışına basınç ölçümü için aparatlar yerleştirilip bunların arasına U tipi civalı manometreler konulmuştur. Basınç düşüm miktarları bu manometreler yardımıyla tespit edilmiştir. Basınç ölçümü için yerleştirilen aparatların yerleştirileceği noktalar seçilirken dikkat edilmiş bu noktalar arasında basınç düşümünü tetikleyecek mekanik bir noktanın olmamasına dikkat edilmiştir. Su giriş ve çıkışındaki basınç düşüm miktarları civalı U tip manometreler üzerindeki hassas bölüntülü cetvelden okunmuştur.

Yapılan deney çalışmasında kullanılan her farklı helisel iç boru için basınç düşüm miktarları civalı U tip manometrelerden okunmuş ve kayıt altına alınmıştır. Basınç düşümü ölçümünde ölçü aletinden kaynaklanan hata sapma oranı önemsenebilecek miktardadır.

Deney setinde dış boru dik konumlandırılmış ve karşıt akış sağlanarak deneyler yapılmıştır. İçerisinden sıcak suyun geçtiği helisel boruya sıcak su; zemin kotuna göre daha yüksek seviyeden girip daha düşük seviyeden çıktığı için giriş ve çıkış değerleri arasında basınç düşümü değil basınç artışı yaşanmaktadır. Çizelgelerde basınç düşüm değerlerinde yer alan negatif (-) işaretli değerler basınç artışını göstermektedir.

3.3 Deneyin Yapılışı

Yapılan deney çalışması 4(dört) farklı helisel iç bakır boru kullanılarak yapılmış olup her bir helisel iç bakır boru için aynı dış boru kullanılmıştır. Helisel iç borulardan farklı olarak düz bakır boru ile de deney yapılmıştır. Aşağıda anlatılacak olan deney çalışması; helis sayısı farklı olan her bir helisel bakır boru için yapılmıştır.

Yapılan deney çalışmasında sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (\dot{V}_h / \dot{V}_c) kapasite oranı olarak kabul edilmiş ve 4 (dört) farklı kapasite oranı için deney çalışmaları yapılmıştır. Kapasite oranları 0,25; 0,5; 0,75 ve 1 olarak seçilmiştir. Yapılan deney çalışmalarında sıcak ve soğuk akış tipi türbülanslı tiptedir.

İlk olarak düz bakır boru sisteme bağlanıp deneyler bu düz bakır boru için yapılmıştır. Gerekli düşü miktarını sağlamak için deney düzeneğinden 8 metre yüksekte konumlandırılan su tanklarına su dolumu yapılmış ve sıcak su temini için sıcak su besleme tankında mevcut olan termostatlı rezistanslar çalıştırılarak suyun istenilen sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Her bir helisel iç bakır boru için yapılan deneylerde sıcak su giriş sıcaklık değerinin birbirine yakın olmasına (± 2 °C) deney sonunda kıyaslama yapılabilmesi adına dikkat edilmiştir. İlk deney yapılmadan önce sistem çalıştırılmış ve akışkan hareketi sağlanmıştır. Besleme tankından gelip ısı değiştiriciden geçen akışkanların geri dönüş tanklarına dolmasına müteakip pompalar vasıtasıyla besleme tanklarına basılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu proses her farklı tip iç boru deneyi başlamadan önce sistem 15 dakika süreyle ölçüm yapılmadan çalıştırılmıştır. Her deney sonunda sıcak suyun istenilen sıcaklığa gelmesi için bir süre bekleme yapılmış ve termostatlı rezistanslar ile istenilen sıcaklık değerleri sağlanmıştır. Yapılan deney çalışmasında ilk olarak debi sıcak ve soğuk su için eşit alınıp kapasite oranının 1(bir) olması sağlanmış ve bu değer için deney yapılmıştır. Debi değeri hem soğuk hem de sıcak su için kelebek vanalar yardımıyla kontrol edilerek 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olarak seçilmiş ve bu değerlerde deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Beş farklı debi değerinde yapılan deneylerin tümünde akış türbülanslıdır.

Akışkan hacimsel debilerinin eşit (Kapasite Oranı =1) seçilerek yapıldığı deneylerin ardından kapasite oranını 0,75'e ayarlayarak deneylere düz iç bakır boru ile devam edilmiştir. Kapasite oranını 0,75'e ayarlamak için sıcak ve soğuk suyun debileri üzerinde yine kelebek vanalardan kumanda etmek suretiyle debi ayarlaması yapılmıştır. Soğuk su debisi 1000 l/h iken sıcak suyun debisi 750 l/h, soğuk su debisi 1100 l/h iken sıcak suyun debisi 825 l/h, soğuk su debisi 1200 l/h iken sıcak suyun debisi 900 l/h, soğuk su debisi 1300 l/h iken sıcak suyun debisi 975 l/h, soğuk su debisi 1400 l/h iken sıcak suyun debisi 1050 l/h olarak ayarlanmış ve bu değerler için deney çalışmalarında ölçümler yapılmıştır.

Kapasite oranını 0,5'e ayarlamak için sıcak ve soğuk suyun debileri üzerinde yine kelebek vanalardan kumanda etmek suretiyle debi ayarlaması yapılmıştır. Soğuk su debisi 1000 l/h iken sıcak suyun debisi 500 l/h, soğuk su debisi 1100 l/h iken sıcak suyun debisi 550 l/h, soğuk su debisi 1200 l/h iken sıcak suyun debisi 600 l/h, soğuk su debisi 1300 l/h iken sıcak suyun debisi 650 l/h, soğuk su debisi 1400 l/h iken sıcak suyun debisi 700 l/h, soğuk su debisi 1500 l/h iken sıcak suyun debisi 750 l/h olarak ayarlanmış ve bu değerler için deney çalışmalarında ölçümler yapılmıştır.

Son olarak kapasite oranını 0,25'e ayarlamak için sıcak ve soğuk suyun debileri üzerinde yine kelebek vanalardan kumanda etmek suretiyle debi ayarlaması yapılmıştır. Soğuk su debisi 1000 l/h iken sıcak suyun debisi 250 l/h, soğuk su debisi 1100 l/h iken sıcak suyun debisi 275 l/h, soğuk su debisi 1200 l/h iken sıcak suyun debisi 300 l/h, soğuk su debisi 1300 l/h iken sıcak suyun debisi 325 l/h, soğuk su debisi 1400 l/h iken sıcak suyun debisi 350 l/h olarak ayarlanmış ve bu değerler için deney çalışmalarında ölçümler yapılmıştır.

Düz boru için dört farklı kapasite oranında yapılan bu deneylerde her kapasite oranı için beş farklı sıcak ve soğuk su debi değerleri seçimi yapılmıştır. Yapılan deneyler boyunca akışın türbülanslı olması sağlanmıştır. Yapılan bu işlemler boyunca sıcak su giriş ve çıkış sıcaklıkları ile soğuk su giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Dış boru yüzey sıcaklıkları da birçok noktadan lazer termometre aracılığıyla tespit edilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Ayrıca sıcak suyun giriş ve çıkış basınç düşümü ile soğuk suyun giriş ve çıkış basınç düşüm değerleri civalı tip U manometreler ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Buraya kadar anlatılan tüm deney çalışmaları düz iç bakır boru için yapılmış olup, düz iç bakır boruyla yapılan deneylerin tümü farklı helis sayısındaki diğer tüm helisel iç bakır borularla da yapılmıştır. Helis sayısı esas alınarak 2(iki) helisel bakır iç borudan başlanarak deneyler tamamlanmıştır. Yapılan deney çalışmasında tüm bakır boru tipleri ve akışkanların

farklı debileriyle sağlanan kapasite oranları için gerçekleştirilen toplam deney sayısı 100 (yüz) adettir. Yapılan 100 adet deney sonucunda toplam; 100 adet sıcak su giriş sıcaklığı, 100 adet sıcak su çıkış sıcaklığı, 100 adet soğuk su giriş sıcaklığı, 100 adet soğuk su çıkış sıcaklığı, 100 adet sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değeri, 100 adet soğuk su basınç düşümü değeri olmak üzere toplam 600 adet veri ölçülmüş olup bu veriler ilgili formüllerde ve analizlerde kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.

3.4 Deneysel Verilerin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller

Yapılan deney çalışmasının hesaplamalarında iç bakır boru ve dış bakır boru ile dış silindirik gövde arasında kalan halka kesit alan için ayrı formüller kullanılıp aşağıda farklı başlıklar altında listelenmiştir.

3.4.1 İç boru hesaplarında kullanılan formüller

Deney çalışmasında yer alan helisel iç bakır boru hesaplarında kullanılan formüller aşağıda listelenmiştir.

❖ Kesit Alanı

$$A = \frac{\pi \cdot d_{iç}^2}{4} \quad (m^2) \quad (3.1)$$

❖ Soğutma Yüzey Alanı

$$A = \pi \cdot d_{iç} \cdot L \quad (m^2) \quad (3.2)$$

❖ İç Boru Akışkan (Sıcak Su) Hızı

$$V_h = \frac{\dot{m}_h}{\rho \cdot A} \quad (m/s) \quad (3.3)$$

❖ Eşdeğer Çap

$$d_{iç} = d_{eş} \quad (m) \quad (3.4)$$

❖ Sıcak Suyun Birim Zamanda Verdiği Isı

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h \cdot C_{P_h} \cdot (T_{hg} - T_{hc}) \quad (W) \quad (3.5)$$

❖ **Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı**

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{hg}-T_{sg})-(T_{hç}-T_{sç})}{\ln\left(\frac{T_{hg}-T_{sg}}{T_{hç}-T_{sç}}\right)} \quad (\text{K}) \quad (3.6)$$

❖ **Isı Taşınım Katsayısı**

$$h = \frac{\dot{Q}_h}{A_s \cdot \Delta T_{\log}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3.7)$$

❖ **Nusselt Sayısı**

$$Nu = \frac{h \cdot d_{eş}}{k} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.8)$$

❖ **Reynolds Sayısı**

$$Re_h = \frac{\rho \cdot V_h \cdot d_{eş}}{\mu_h} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.9)$$

❖ **Basınç Düşümü**

$$\Delta P_h = \rho_{civa} \cdot g \cdot \Delta H \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.10)$$

❖ **Etkinlik Değeri**

$$\text{Etkinlik} = \frac{\dot{Q}_{\text{gerçek}}}{\dot{Q}_{\text{max}}} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.11)$$

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_h \cdot C_{P_h} \cdot (T_{hg} - T_{hç}) \quad (\text{W}) \quad (3.12)$$

$$\dot{Q}_{\text{max}} = \dot{m}_c \cdot C_{P_c} \cdot (T_{hg} - T_{cç}) \quad (\text{W}) \quad (3.13)$$

3.4.2 İç - dış boru arasındaki halka kesit için kullanılan formüller

Deney çalışmasında kullanılan iç bakır boru ile dış silindirik gövde arasında kalan halka kesit alanı hesaplarında kullanılan formüller aşağıda listelenmiştir.

❖ **Kesit Alanı**

$$A = \frac{\pi \cdot (D_{iç}^2 - d_{dış}^2)}{4} \quad (\text{m}^2) \quad (3.14)$$

❖ **Isıtma Yüzey Alanı**

$$A_{\text{yüzey}} = \pi \cdot d_{iç} \cdot L \quad (\text{m}^2) \quad (3.15)$$

❖ Soğuk Su Hızı

$$V_h = \frac{\dot{m}_c}{\rho \cdot A} \quad (\text{m/s}) \quad (3.16)$$

❖ Eşdeğer Çap

$$D_{eş} = \frac{4 \cdot A}{U} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{iç}^2 - d_{dış}^2}{4} \right)}{\pi \cdot (D_{iç} + d_{dış})} = \frac{(D_{iç}^2 - d_{dış}^2)}{(D_{iç} + d_{dış})} \quad (\text{m}) \quad (3.17)$$

❖ Soğuk Suyun Birim Zamanda Aldığı Isı

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot C_{Pc} \cdot (T_{cç} - T_{cg}) \quad (\text{W}) \quad (3.18)$$

❖ Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{sg} - T_{cç}) - (T_{sç} - T_{cg})}{\ln \left(\frac{T_{sg} - T_{cç}}{T_{sç} - T_{cg}} \right)} \quad (\text{K}) \quad (3.19)$$

❖ Isı Taşım Katsayısı

$$h = \frac{\dot{Q}_c}{A_s \cdot \Delta T_{\log}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3.20)$$

❖ Nusselt Sayısı

$$Nu_c = \frac{h \cdot d_{eş}}{k} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.21)$$

❖ Reynolds Sayısı

$$Re_c = \frac{\rho \cdot V_c \cdot D_{eş}}{\mu_c} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.22)$$

❖ Basınç Düşümü

$$\Delta P_c = \rho_{civa} \cdot g \cdot \Delta H \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.23)$$

❖ Isıl Kazanç Oranı

$$\text{Isıl Kazanç Oranı} = \frac{\dot{Q}_n - \dot{Q}}{(\Delta P_n - \Delta P) \cdot \dot{V}} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (3.24)$$

* Isıl kazanç oranını belirlemek için net ısıl kazanç ve ek basınç düşümü miktarı belirlenmiştir. Buna göre net ısı kazancının ek basınç düşümüne oranı boyutsuzdur.

** Sıcak su ve soğuk su ile ilgili işlemlerde kinematik viskozite, dinamik viskozite, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve Prandtl sayısı, sıcak su için $(T_{hg}+T_{hc})/2$ değerine göre, soğuk su için de $(T_{cg}+T_{cc})/2$ değerine göre tablodan enterpolasyon yöntemi kullanılarak değerler okunmuştur.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerde amaç; iki borulu tipte ısı değiştiricisinde, farklı debilerde, farklı kapasite oranlarında, dik konumlandırılmış dış borunun, helis sayısı farklı iç borularda ısı transferi miktarı ve basınç düşümü değerleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu deneyler nihayetinde ısı transferi miktarı ve basınç düşümü açısından en ideal sistemin bulunmasına katkıda bulunulmak amaçlanmıştır.

Deney sonuçlarını analiz etmek için dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bu deneyler sonucunda, her tip iç bakır boru için farklı kapasite oranlarında ayrı ayrı sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak da bu değerlendirmeler ışığında en iyi helis sayısındaki iç bakır boru elde edilmek istenmiştir. Analizler yapılırken her bir helisel iç bakır boru için referans değeri olarak düz iç bakır borunun ısı transferi ve basınç düşümü değerleri esas alınmıştır. Bütün helisel iç bakır borular ısı transferini belirli oranlarda yükseltmiştir. Bu oranlar aşağıda tablolar halinde detaylı olarak verilecektir. Deneylerin hepsi türbölanslı akımda ($Re > 4000$) gerçekleştirilmiştir.

4.1 Deneylerde Elde Edilen Sonuçlar

4.1.1 Düz iç bakır boru değerleri

Düz bakır iç boru için yapılan deneylerde, sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (C) 0,25; 0,50; 0,75; 1 olmak üzere dört farklı oran kullanılmıştır. 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olmak üzere 5 (beş) farklı soğuk su hacimsel debisine karşılık gelen sıcak su hacimsel debisinde düz boru için ölçümler yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde sıcak ve soğuk su için Reynolds sayısı 4000'den büyük ve türbölanslı akış sağlanmıştır.

Çizelge 4.1'de düz bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide $C=1$ 'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görölmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.1 : C=1 için düz bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=1	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	72,44 - 62,63	8,34 - 15,15	-2,802	4,403	10861,044	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	72,52 - 62,68	8,38 - 15,22	-2,668	4,670	12507,808	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	72,57 - 62,76	8,48 - 15,29	-2,401	4,936	13676,029	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	73,64 - 62,78	8,52 - 15,33	-2,001	4,936	14958,238	0,151
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	73,89 - 62,84	8,63 - 15,38	-1,868	5,070	16481,511	0,153

Çizelge 4.2’de düz bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,75’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.2 : C=0,75 için düz bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	72,38 - 62,59	8,32 - 15,14	-3,335	4,403	8363,547	0,112
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	72,48 - 62,64	8,36 - 15,18	-3,069	4,670	9246,494	0,113
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	72,58 - 62,69	8,42 - 15,22	-2,935	4,936	10138,053	0,113
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	72,74 - 62,71	8,49 - 15,26	-2,935	4,936	11138,203	0,115
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	72,82 - 62,78	8,58 - 15,28	-2,668	5,070	12006,151	0,115

Çizelge 4.3'te düz bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,5'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.3 : C=0,5 için düz bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	72,32 – 62,53	8,31 – 15,14	-3,736	4,403	5575,856	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	72,42 – 62,59	8,35 – 15,18	-3,736	4,670	6158,269	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	72,51 – 62,63	8,41 – 15,23	-3,602	4,936	6752,060	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	72,69 – 62,74	8,43 – 15,27	-3,469	4,936	7366,452	0,076
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	72,77 – 62,78	8,52 – 15,28	-3,335	5,070	7964,428	0,076

Çizelge 4.4'te düz bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,25'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.4 : C=0,25 için düz bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,25	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	72,3 – 62,51	8,3 – 15,13	-4,536	4,403	2787,955	0,037
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	72,4 – 62,55	8,34 – 15,16	-4,269	4,670	3085,443	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	72,49 – 62,61	8,39 – 15,2	-4,269	4,936	3376,062	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	72,66 – 62,68	8,41 – 15,24	-4,136	4,936	3694,383	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	72,74 – 62,71	8,49 – 15,25	-4,002	5,070	3998,216	0,038

4.1.2 İki helisli bakır iç boru değerleri

İki helisli bakır iç boru için yapılan deneylerde, sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (C) 0,25; 0,50; 0,75; 1 olmak üzere dört farklı oran kullanılmıştır. 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olmak üzere 5 (beş) farklı soğuk su hacimsel debisine karşılık gelen sıcak su hacimsel debisinde düz boru için ölçümler yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde sıcak ve soğuk su için Reynolds sayısı 4000'den büyük ve türbülanslı akış sağlanmıştır.

Çizelge 4.5'te iki helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=1'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.5 : C=1 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=1	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	72,48 – 62,65	8,35 – 15,17	-2,935	4,670	10883,032	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	72,54 – 62,71	8,39 – 15,25	-2,535	4,803	12494,978	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	72,59 – 62,76	8,49 – 15,32	-2,268	5,070	13703,846	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	72,66- 62,82	8,53 – 15,37	-1,468	5,203	14928,179	0,150
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	72,92- 62,87	8,64 – 15,41	-0,800	5,337	16481,277	0,153

Çizelge 4.6’da iki helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,75’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.6 : C=0,75 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	72,47 – 62,64	8,34 – 15,18	-3,202	4,803	8397,441	0,113
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	72,53 – 62,7	8,38 – 15,26	-2,802	4,803	9236,879	0,112
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	72,57 – 62,72	8,47 – 15,34	-2,535	5,070	10096,858	0,113
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	72,64- 62,78	8,52 – 15,39	-2,135	5,337	10949,368	0,113
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	72,88- 62,84	8,62 – 15,44	-1,468	5,470	12005,640	0,115

Çizelge 4.7’de iki helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,5’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.7 : C=0,5 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,5	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	72,46 – 62,62	8,34 – 15,17	-3,469	4,936	5603,963	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	72,51 – 62,67	8,38 – 15,22	-3,069	5,203	6164,184	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	72,54 – 62,71	8,47 – 15,31	-2,802	5,203	6717,349	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	72,62 – 62,74	8,52 – 15,34	-2,535	5,470	7314,143	0,075
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	72,84 – 62,8	8,62 – 15,4	-1,601	5,737	8003,760	0,077

Çizelge 4.8’de iki helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,25’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.8 : C=0,25 için iki helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,25	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	72,42 – 62,58	8,34 – 15,14	-4,269	5,070	2802,061	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	72,49 – 62,59	8,38 – 15,19	-3,736	5,203	3100,944	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	72,52 – 62,65	8,47 – 15,28	-3,202	5,337	3372,597	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	72,61 – 62,67	8,52 – 15,31	-2,268	5,470	3679,454	0,038
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	72,8 – 62,81	8,62 – 15,35	-1,468	5,870	3982,120	0,038

4.1.3 Üç helisli bakır iç boru değerleri

Üç helisli bakır iç boru için yapılan deneylerde, sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (C) 0,25; 0,50; 0,75; 1 olmak üzere dört farklı oran kullanılmıştır. 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olmak üzere 5 (beş) farklı soğuk su hacimsel debisine karşılık gelen sıcak su hacimsel debisinde düz boru için ölçümler yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde sıcak ve soğuk su için Reynolds sayısı 4000'den büyük ve türbülanslı akış sağlanmıştır.

Çizelge 4.9'da üç helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=1'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.9 : C=1 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=1	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	72,58 – 62,17	8,35 – 15,29	-2,802	4,670	11525,328	0,159
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	72,66 – 62,19	8,41 – 15,39	-2,401	4,803	13309,053	0,160
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	72,79 – 62,21	8,44 – 15,47	-2,268	5,070	14777,656	0,161
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	72,84 – 62,24	8,51 – 15,52	-1,468	5,203	16081,093	0,161
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	72,97 – 62,31	8,59 – 15,64	-0,934	5,337	17481,964	0,162

Çizelge 4.10’da üç helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,75’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.10 : C=0,75 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	72,56 – 62,15	8,35 – 15,27	-3,869	5,203	8893,757	0,119
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	72,63 – 62,17	8,41 – 15,32	-2,935	5,203	9830,122	0,120
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	72,75 – 62,19	8,44 – 15,41	-2,535	5,470	10825,676	0,121
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	72,81 – 62,21	8,51 – 15,46	-0,934	5,470	11772,017	0,121
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	72,93 – 62,24	8,59 – 15,58	-0,133	5,603	12784,773	0,122

Çizelge 4.11’de üç helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,5’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.11 : C=0,5 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,5	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	72,53 – 62,12	8,34 – 15,25	-4,136	5,203	5929,256	0,079
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	72,6 – 62,11	8,4 – 15,31	-3,069	5,337	6572,303	0,080
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	72,71 – 62,10	8,42 – 15,4	-2,535	5,603	7251,461	0,081
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	72,78 – 62,09	8,49 – 15,47	-1,468	5,603	7914,982	0,081
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	72,89 – 62,08	8,56 – 15,55	0,027	5,737	8619,225	0,082

Çizelge 4.12’de üç helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,25’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.12 : C=0,25 için üç helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,25	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	72,51 – 62,10	8,34 – 15,23	-4,536	5,470	2964,656	0,040
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	72,58 – 62,09	8,4 – 15,3	-3,469	5,470	3286,183	0,040
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	72,68 – 62,08	8,42 – 15,37	-2,935	5,603	3622,382	0,040
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	72,74 – 62,06	8,49 – 15,45	-2,268	5,737	3953,864	0,041
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	72,82 – 62,04	8,56 – 15,52	0,080	6,004	4297,775	0,041

4.1.4 Dört helisli bakır iç boru değerleri

Dört helisli bakır iç boru için yapılan deneylerde, sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (C) 0,25; 0,50; 0,75; 1 olmak üzere dört farklı oran kullanılmıştır. 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olmak üzere 5 (beş) farklı soğuk su hacimsel debisine karşılık gelen sıcak su hacimsel debisinde dört helisli iç bakır boru için ölçümler yapılmıştır.

Çizelge 4.13’de dört helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=1’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.13 : C=1 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=1	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	72,56 – 60,14	8,34 – 15,62	-2,668	5,203	13755,753	0,189
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	72,61 – 60,17	8,4 – 15,69	-1,868	5,337	15818,252	0,190
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	72,69 – 60,38	8,42 – 15,72	-1,201	5,603	17167,182	0,188
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	72,81 – 60,42	8,47 – 15,82	-0,267	5,737	18802,543	0,189
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	72,92 – 60,54	8,56 – 15,94	0,400	5,870	20309,515	0,188

Çizelge 4.14'te dört helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=0,75'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.14 : C=0,75 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	72,58 – 60,20	8,34 – 15,6	-3,602	5,470	10581,624	0,142
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	72,63 – 60,27	8,4 – 15,57	-2,401	5,737	11620,982	0,141
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	72,71 – 60,32	8,45 – 15,53	-1,468	5,870	12707,425	0,142
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	72,84 – 60,41	8,53 – 15,49	-0,534	6,137	13810,102	0,142
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	72,96 – 60,57	8,59 – 15,59	0,800	6,137	14823,577	0,141

Çizelge 4.15'te dört helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide $C=0,5$ 'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.15 : $C=0,5$ için dört helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı $C=0,5$	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	72,55 – 60,11	8,34 – 15,51	-4,136	5,603	7088,807	0,095
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	72,61 – 60,16	8,4 – 15,47	-2,935	5,737	7803,955	0,095
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	72,68 – 60,27	8,47 – 15,44	-2,268	6,004	8485,492	0,095
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	72,80 – 60,36	8,57 – 15,39	-1,067	6,404	9214,839	0,095
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	72,91 – 60,48	8,62 – 15,36	1,201	6,537	9914,664	0,095

Çizelge 4.16'da dört helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide $C=0,25$ 'in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.16 : C=0,25 için dört helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,25	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	72,52 – 60,13	8,34 – 15,5	-4,670	5,737	3530,174	0,047
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	72,6 – 60,19	8,41 – 15,45	-3,469	5,737	3889,460	0,047
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	72,65 – 60,29	8,44 – 15,41	-2,535	6,137	4225,652	0,047
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	72,78 – 60,38	8,58 – 15,34	-1,468	6,537	4592,366	0,047
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	72,87 – 60,51	8,64 – 15,31	1,734	6,938	4929,415	0,047

4.1.5 Beş helisli bakır iç boru değerleri

Beş helisli bakır iç boru için yapılan deneylerde, sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisine oranı (C) 0,25; 0,50; 0,75; 1 olmak üzere dört farklı oran kullanılmıştır. 1000 l/h, 1100 l/h, 1200 l/h, 1300 l/h ve 1400 l/h olmak üzere 5 (beş) farklı soğuk su hacimsel debisine karşılık gelen sıcak su hacimsel debisinde beş helisli iç bakır boru için ölçümler yapılmıştır.

Çizelge 4.17’de beş helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C=1’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.17 : C=1 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=1	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	72,59 – 54,81	8,32 – 15,96	-2,935	5,870	19720,599	0,271
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	72,64 – 54,89	8,39 – 15,89	-1,468	5,870	22603,326	0,271
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	72,71 – 54,98	8,44 – 15,88	-0,534	6,137	24761,876	0,271
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	72,84 – 55,07	8,46 – 15,87	1,067	6,271	27006,140	0,271
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	72,93 – 55,11	8,65 – 15,77	1,868	6,271	29277,009	0,272

Çizelge 4.18’de beş helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide C= 0,75’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.18 : C=0,75 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,75	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	72,57 – 54,95	8,32 – 15,94	-2,935	6,137	15079,153	0,202
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	72,61 – 54,99	8,39 – 15,87	-0,934	6,271	16586,756	0,202
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	72,68 – 55,06	8,44 – 15,81	0,534	6,537	18093,960	0,202
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	72,81 – 55,14	8,49 – 15,78	1,201	6,537	19656,263	0,202
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	72,89 – 55,19	8,65 – 15,71	2,268	6,804	21204,223	0,203

Çizelge 4.19’da beş helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide $C = 0,5$ ’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.19 : $C=0,5$ için beş helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı $C=0,5$	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	72,57 – 54,99	8,32 – 15,88	-2,935	6,137	10018,537	0,134
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	72,60 – 55,04	8,42 – 15,79	-0,934	6,271	11020,183	0,134
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	72,64 – 55,15	8,44 – 15,77	0,534	6,537	11973,642	0,134
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	72,8 – 55,21	8,56 – 15,74	1,201	6,537	13045,056	0,134
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	72,87 – 55,27	8,69 – 15,65	2,268	6,804	14056,045	0,134

Çizelge 4.20’de beş helisli bakır iç borunun kullanıldığı deneylerde 5 farklı hacimsel debide $C = 0,25$ ’in sağlandığı durumdaki sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve sıcak su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları, soğuk su giriş-çıkış basınç düşümü değerleri, ısı transferi miktarı ve etkinlik değerleri görülmektedir. Hacimsel debi birimi l/h olarak ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 4.20 : C=0,25 için beş helisli bakır iç boru deney verileri.

Kapasite Oranı C=0,25	Sıcak Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Sıcaklıkları (°C)	Sıcak Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Soğuk Su Giriş – Çıkış Basınç Düşümü (kPa)	Isı Transferi Miktarı (J/s)	Etkinlik Değeri
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	72,51 – 55,09	8,32 – 15,91	-3,736	6,938	4969,237	0,067
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	72,57 – 55,18	8,42 – 15,87	-2,001	7,204	5456,567	0,066
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	72,61 – 55,29	8,51 – 15,81	1,201	7,605	5928,434	0,066
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	72,72 – 55,41	8,57 – 15,79	3,602	7,872	6418,429	0,066
$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	72,81 – 55,56	8,66 – 15,72	5,203	8,272	6887,805	0,066

4.1.6 Farklı kapasite oranlarında farklı iç bakır boruların ısı transferi miktarları, basınç düşüm değerleri ve Reynold Sayıları

Her tip bakır iç boru değerleri için yukarıdaki çizelgeler ayrı ayrı oluşturulmuştur. Çizelge 4.21’de sıcak su için farklı kapasite oranlarında farklı hacimsel debi miktarlarında gerçekleşen ısı transferi miktarları her tip boru için değişimlerin daha net gözükmesi adına aynı tabloda düzenlenmiştir.

Çizelge 4.22’de soğuk su için farklı kapasite oranlarında farklı hacimsel debi miktarlarında gerçekleşen ısı transferi miktarları her tip boru için değişimlerin daha net gözükmesi adına aynı tabloda düzenlenmiştir.

Çizelge 4.23’te sıcak su için farklı kapasite oranlarında farklı hacimsel debi miktarlarında gerçekleşen basınç değişim miktarları her tip boru için değişimlerin daha net gözükmesi adına aynı tabloda düzenlenmiştir.

Çizelge 4.24’te soğuk su için farklı kapasite oranlarında farklı hacimsel debi miktarlarında gerçekleşen basınç değişim miktarları her tip boru için değişimlerin daha net gözükmesi adına aynı tabloda düzenlenmiştir.

Çizelge 4.21 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama ısı transferi miktarları (J/s).

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	2787,955	2802,061	2964,656	3530,174	4969,237
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	3085,443	3100,944	3286,183	3889,460	5456,567
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	3376,062	3372,597	3622,382	4225,652	5928,434
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	3694,383	3679,454	3953,864	4592,366	6418,429
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	3998,216	3982,120	4297,775	4929,415	6887,805
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	5575,856	5603,963	5929,256	7088,807	10018,537
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	6158,269	6164,184	6572,303	7803,955	11020,183
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	6752,060	6717,349	7251,461	8485,492	11973,642
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	7366,452	7314,143	7914,982	9214,839	13045,056
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	7964,428	8003,760	8619,225	9914,664	14056,045
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	8363,547	8397,441	8893,757	10581,624	15079,153
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	9246,494	9236,879	9830,122	11620,982	16586,756
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	10138,053	10096,858	10825,676	12707,425	18093,960
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	11138,203	10949,368	11772,017	13810,102	19656,263
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	12006,151	12005,640	12784,773	14823,577	21204,223
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	10861,044	10883,032	11525,328	13755,753	19720,599
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	12507,808	12494,978	13309,053	15818,252	22603,326
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	13676,029	13703,846	14777,656	17167,182	24761,876
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	14958,238	14928,179	16081,093	18802,543	27006,140
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	16481,511	16481,277	17481,964	20309,515	29277,009

Çizelge 4.22 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama ısı transferi miktarları (J/s).

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	7948,323	7913,266	8017,891	8331,595	8831,150
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	8730,234	8717,155	8832,239	9011,115	9535,083
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	9509,710	9509,276	9704,768	9732,562	10192,241
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	10332,301	10271,461	10528,290	10225,753	10920,591
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	11013,053	10963,178	11337,796	10865,685	11499,908
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	7948,286	7948,178	8041,128	8343,194	8796,325
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	8742,956	8755,796	8845,241	9023,750	9432,779
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	9523,588	9551,211	9746,615	9732,385	10192,428
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	10347,334	10316,702	10558,495	10316,514	10860,287
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	11012,801	11044,728	11386,562	10979,668	11337,123
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	7936,649	7959,815	8052,728	8447,766	8866,016
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	8730,155	8807,000	8845,201	9177,345	9573,435
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	9495,659	9593,059	9732,562	9885,890	10290,163
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	10241,207	10392,243	10513,067	10528,194	11026,620
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	10914,955	11109,838	11386,406	11158,709	11499,961
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	7703,076	7714,317	7849,838	8233,811	8640,347
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	8882,991	8909,127	9064,186	9466,362	9738,611
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	9699,550	9727,948	10012,579	10396,703	10595,512
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	10555,200	10601,796	10864,745	11391,033	11483,916
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	11310,077	11343,485	11812,154	12364,273	11928,893

Çizelge 4.23 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama basınç değişim miktarları (kPa).

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	-4,536	-4,269	-4,536	-4,670	-3,736
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	-4,269	-3,736	-3,469	-3,469	-2,001
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	-4,269	-3,202	-2,935	-2,535	1,201
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	-4,136	-2,268	-2,268	-1,468	3,602
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	-4,002	-1,468	0,080	1,734	5,203
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	-3,736	-3,469	-4,136	-4,136	-2,668
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	-3,736	-3,069	-3,069	-2,935	-1,201
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	-3,602	-2,802	-2,535	-2,268	1,067
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	-3,469	-2,535	-1,468	-1,067	1,868
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	-3,335	-1,601	0,027	1,201	2,802
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	-3,335	-3,202	-3,869	-3,602	-2,935
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	-3,069	-2,802	-2,935	-2,401	-0,934
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	-2,935	-2,535	-2,535	-1,468	0,534
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	-2,935	-2,135	-0,934	-0,534	1,201
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	-2,668	-1,468	-0,133	0,800	2,268
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	-2,802	-2,935	-2,802	-2,668	-3,202
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	-2,668	-2,535	-2,401	-1,868	-1,468
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	-2,401	-2,268	-2,268	-1,201	-0,534
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	-2,001	-1,468	-1,468	-0,267	1,067
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	-1,868	-0,800	-0,934	0,400	1,868

Çizelge 4.24 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde ortalama basınç değişim miktarları (kPa).

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	4,403	5,070	5,470	5,737	6,938
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	4,670	5,203	5,470	5,737	7,204
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	4,936	5,337	5,603	6,137	7,605
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	4,936	5,470	5,737	6,537	7,872
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	5,070	5,870	6,004	6,938	8,272
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	4,403	4,936	5,203	5,603	6,804
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	4,670	5,203	5,337	5,737	7,204
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	4,936	5,203	5,603	6,004	7,338
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	4,936	5,470	5,603	6,404	7,605
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	5,070	5,737	5,737	6,537	7,872
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	4,403	4,803	5,203	5,470	6,137
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	4,670	4,803	5,203	5,737	6,271
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	4,936	5,070	5,470	5,870	6,537
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	4,936	5,337	5,470	6,137	6,537
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	5,070	5,470	5,603	6,137	6,804
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	4,403	4,670	4,670	5,203	5,870
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	4,670	4,803	4,803	5,337	5,870
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	4,936	5,070	5,070	5,603	6,137
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	4,936	5,203	5,203	5,737	6,271
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	5,070	5,337	5,337	5,870	6,271

Çizelge 4.25 : Sıcak su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds Sayısı.

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	11886,490	11907,211	11916,884	11908,930	11959,848
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	13074,596	13097,311	13108,573	13099,823	13155,288
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	14262,520	14287,976	14299,583	14289,447	14350,544
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	15450,880	15478,090	15491,215	15479,226	15545,412
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	16637,931	16667,132	16682,353	16668,850	16740,025
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	23779,280	23816,878	23843,411	23817,719	23933,565
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	26155,968	26197,634	26227,752	26199,491	26326,299
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	28532,600	28577,205	28610,399	28578,894	28718,241
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	30909,768	30958,639	30994,598	30960,469	31109,772
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	33284,484	33337,110	33377,414	33337,700	33501,445
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	35657,779	35725,529	35774,414	35864,479	35900,348
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	39221,465	39296,452	39351,855	39450,927	39489,449
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	42785,532	42867,586	42926,244	43034,063	43077,361
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	46350,169	46439,885	46502,329	46617,198	46663,720
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	49911,426	50005,664	50077,355	50198,974	50253,237
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	48999,978	46178,332	46307,256	46335,083	39775,460
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	56256,900	53017,682	53167,590	53196,074	45666,501
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	61698,923	58146,702	58447,928	58341,662	50083,471
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	67140,956	63277,294	63452,451	63486,072	54499,056
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	72578,366	68398,968	68590,335	68628,713	58915,460

Çizelge 4.26 : Soğuk su için farklı kapasite oranlarında, farklı hacimsel debi değerlerinde Reynolds Sayısı.

Kapasite Oranı	Hacimsel Debi Değerleri	Düz Boru	İki Helisli Boru	Üç Helisli Boru	Dört Helisli Boru	Beş Helisli Boru
C=0,25	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{250}{1000}$	4014,720	4017,924	4020,331	4030,803	4047,043
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{275}{1100}$	4348,834	4355,016	4357,671	4364,772	4381,748
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{300}{1200}$	4685,361	4695,025	4695,025	4697,933	4721,354
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{325}{1300}$	5020,610	5027,943	5035,302	5035,302	5056,467
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{350}{1400}$	5352,964	5375,601	5376,739	5369,921	5393,871
C=0,5	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{500}{1000}$	4015,520	4017,924	4021,134	4031,611	4045,412
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{550}{1100}$	4350,598	4349,716	4353,248	4368,333	4379,953
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{600}{1200}$	4687,290	4694,056	4695,994	4701,817	4717,431
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{650}{1300}$	5022,702	5031,094	5036,355	5035,302	5052,217
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{700}{1400}$	5358,603	5373,328	5379,016	5371,056	5391,580
C=0,75	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{750}{1000}$	4015,520	4017,924	4021,938	4034,848	4047,859
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{825}{1100}$	4350,598	4349,716	4354,131	4368,333	4382,645
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{900}{1200}$	4687,290	4695,025	4697,933	4703,762	4717,431
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{975}{1300}$	5027,943	5033,197	5037,409	5037,409	5053,279
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1050}{1400}$	5360,862	5374,464	5382,436	5374,464	5392,725
C=1	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1000}{1000}$	4295,302	4325,022	4329,705	4342,260	4354,913
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1100}{1100}$	4827,897	4902,803	4919,883	4928,029	4937,122
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1200}{1200}$	5227,309	5274,925	5279,872	5288,806	5200,780
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1300}{1300}$	5626,744	5634,477	5646,337	5660,437	5662,614
	$\frac{\dot{V}_h}{\dot{V}_c} = \frac{1400}{1400}$	6026,138	6108,020	6218,567	6335,067	6430,341

4.1.7 Farklı kapasite oranlarında farklı iç bakır boruların ısı transferi miktarları, basınç düşüm değerlerinin birbiriyle karşılaştırılması

Farklı kapasite oranlarında düz bakır borunun ve helisel iç bakır boruların ısı transferi miktarlarının ve basınç değişim değerlerinin birbiriyle karşılaştırılması aşağıdaki çizelgelerde yapılarak deney sonuçlarının daha iyi analiz edilmesi amaçlanmıştır. Beş helisli bakır iç boru baz alınarak diğer bakır iç borularla kıyaslaması; ısı transferi yönünden Çizelge 4.27’de, basınç değişim değerlerine göre kıyaslaması Çizelge 4.28’te verilmiştir.

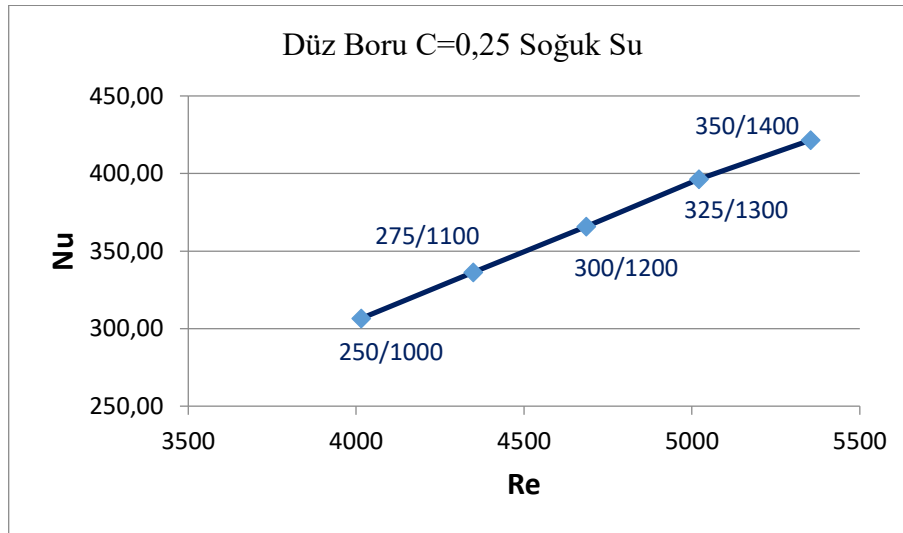
Çizelge 4.27 : Beş helisli iç bakır borunun diğer bakır iç borulara göre ortalama ısı transferi miktarı değişim değeri yüzdelерinin karşılaştırılması.

Kapasite Oranı	Düz Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		İki Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		Üç Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		Dört Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi	
C=0,25	2529	%74	2545	%75	2308	%63,6	1699	%40,07
C=0,5	5219	%76	5162	%77	4782	%66,01	3521	%41,4
C=0,75	7917	%77,56	7617	%76,7	7303	%67,48	5416	%42,61
C=1	10967	%80,6	10675	%80,1	10038	%68,04	7503	%44,09

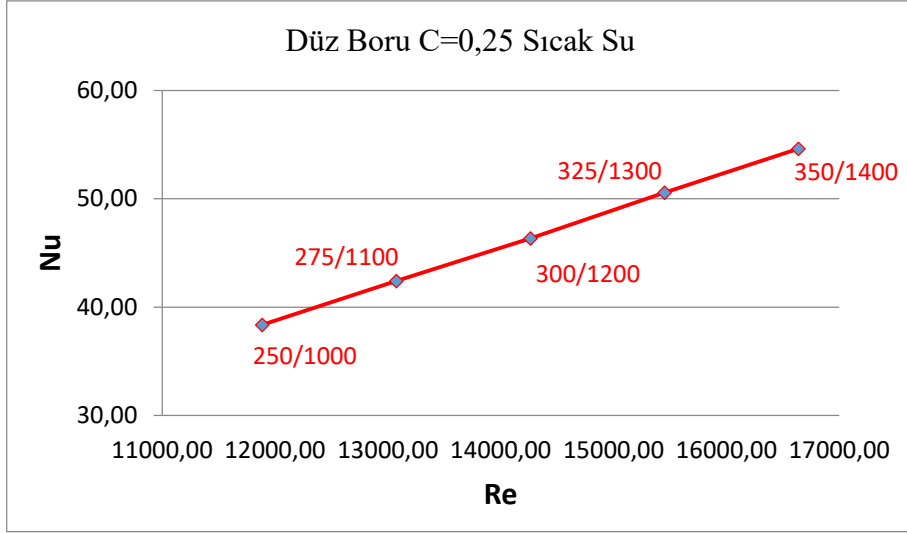
Çizelge 4.28 : Beş helisli iç bakır borunun diğer bakır iç borulara göre ortalama basınç değişim miktarı değeri ve yüzdelerinin karşılaştırılması.

Kapasite Oranı	Düz Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		İki Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		Üç Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi		Dört Helisli Boruya Oranla Değişim ve Yüzdesi	
C=0,25	5,08	% 119,81	3,82	% 128,18	3,46	% 132,06	2,92	% 140,38
C=0,5	3,94	% 110,36	3,06	% 113,75	2,6	% 116,59	2,21	% 120,1
C=0,75	3	% 100,67	2,44	% 100,82	2,1	% 100,96	1,46	% 101,38
C=1	1,89	% 80,76	1,56	% 77,61	1,52	% 77,15	0,67	% 59,82

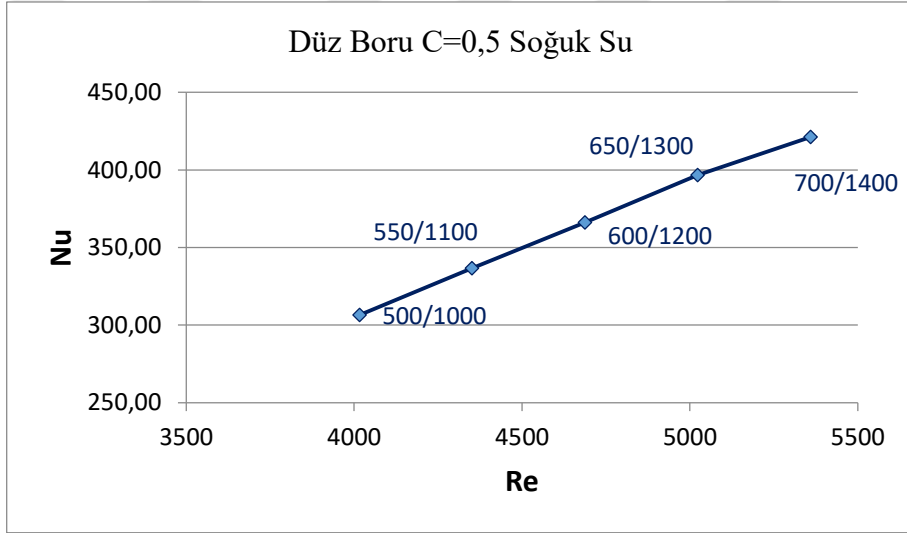
4.1.8 Reynolds Sayısı – Nuselt Sayısı değişim grafikleri



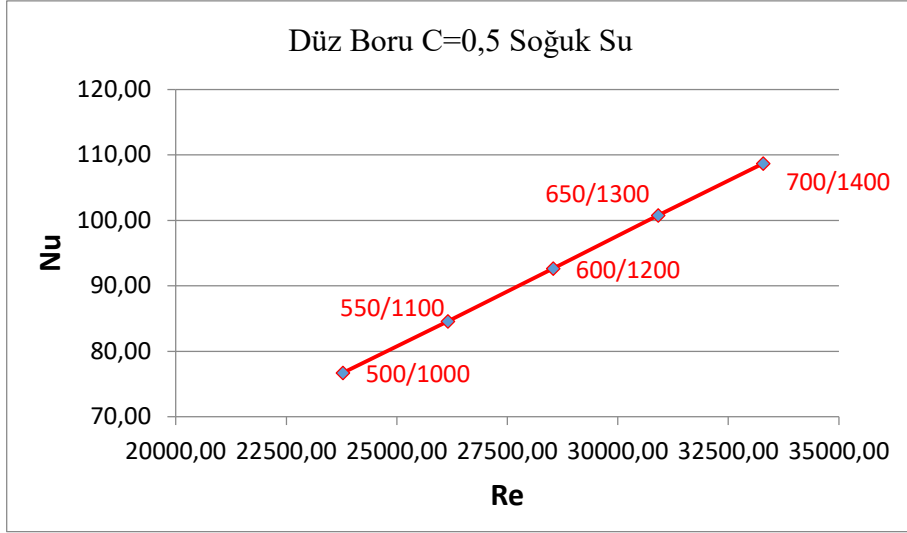
Şekil 4.1 : Düz boruda soğuk su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



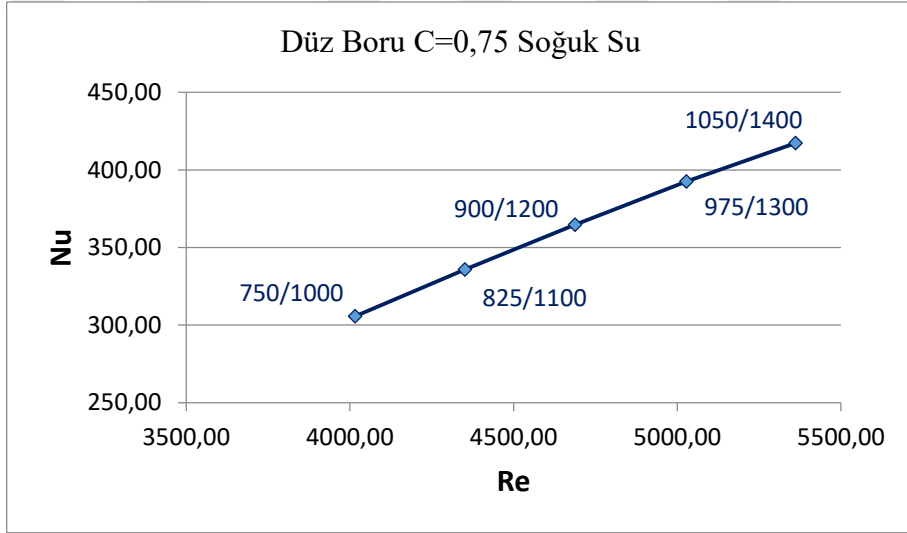
Şekil 4.2 : Düz boruda sıcak su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



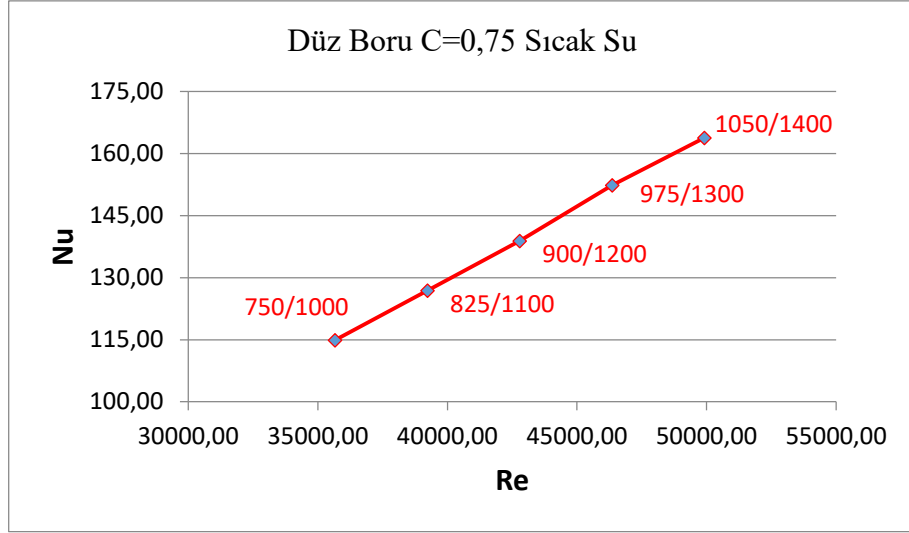
Şekil 4.3 : Düz boruda soğuk su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



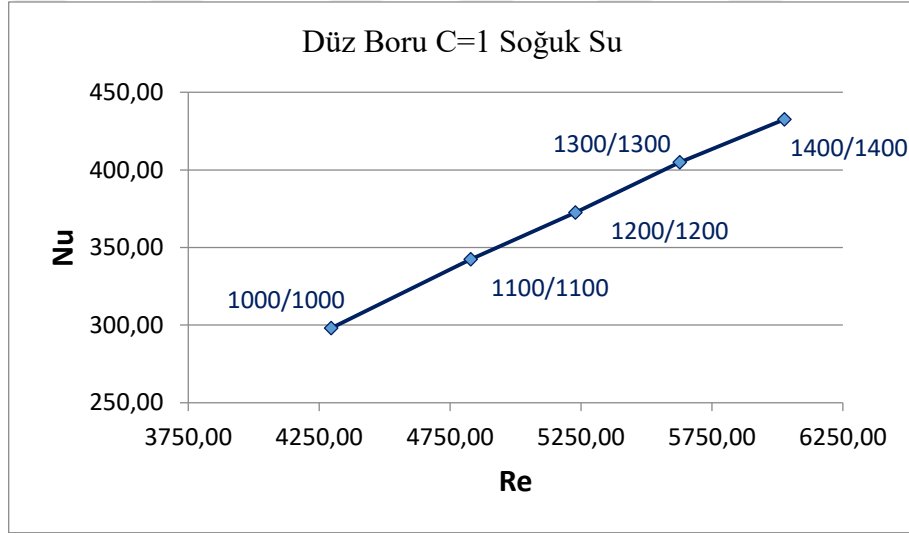
Şekil 4.4 : Düz boruda sıcak su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



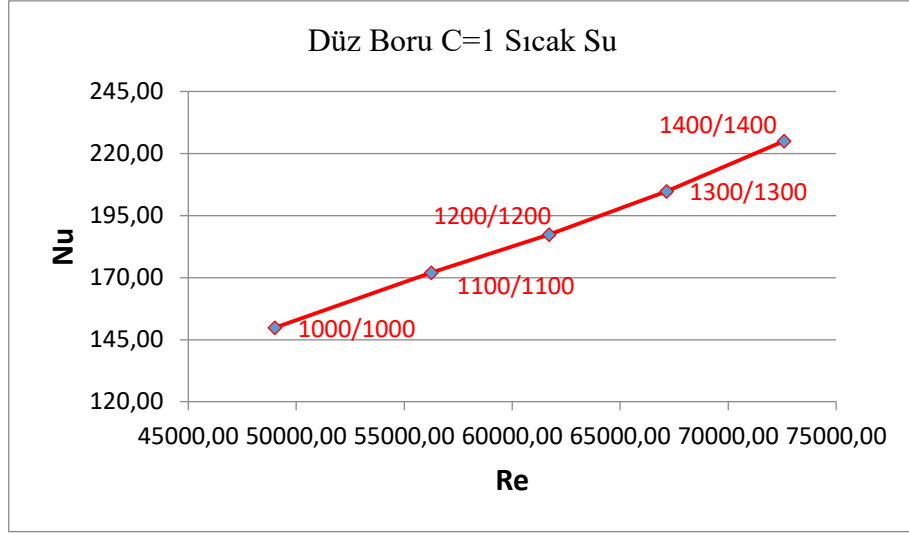
Şekil 4.5 : Düz boruda soğuk su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



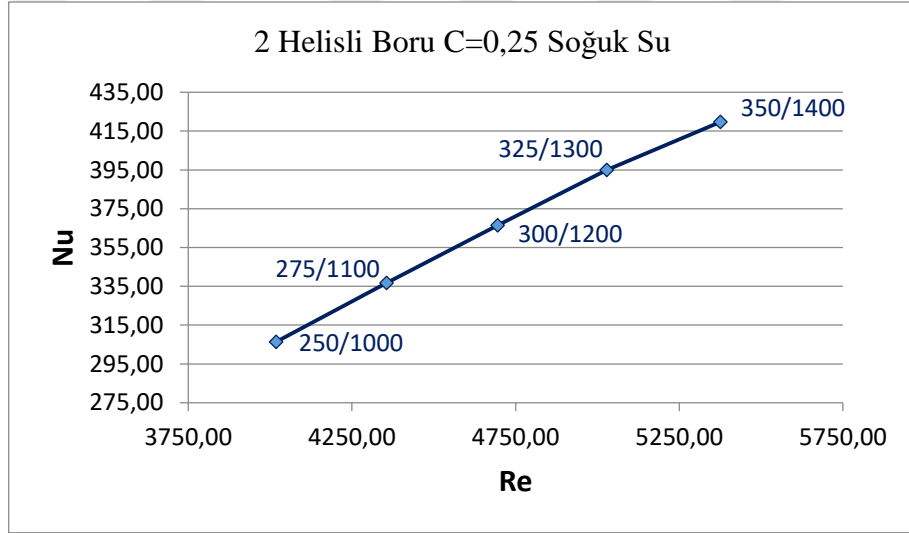
Şekil 4.6 : Düz boruda sıcak su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



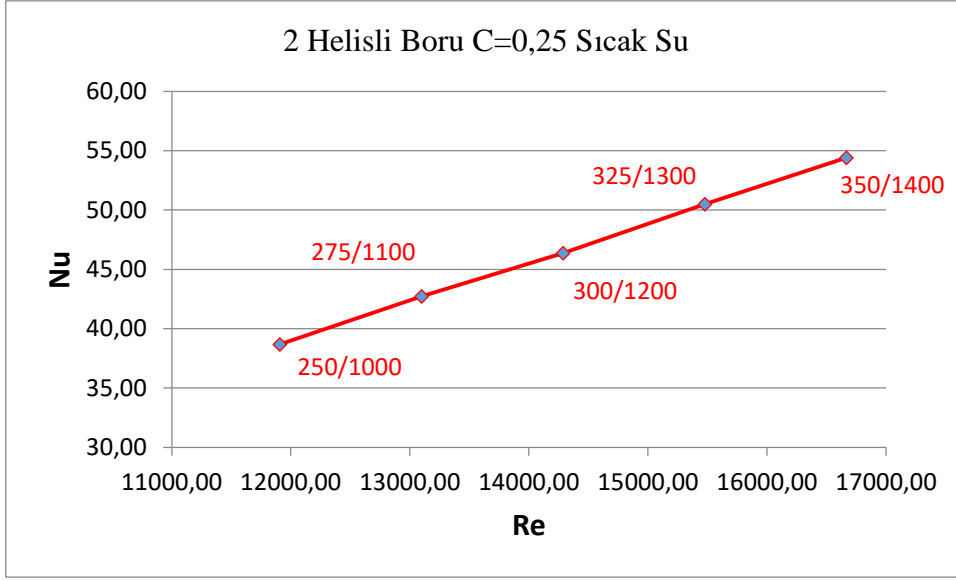
Şekil 4.7 : Düz boruda soğuk su C=1 için Re-Nu değişimi.



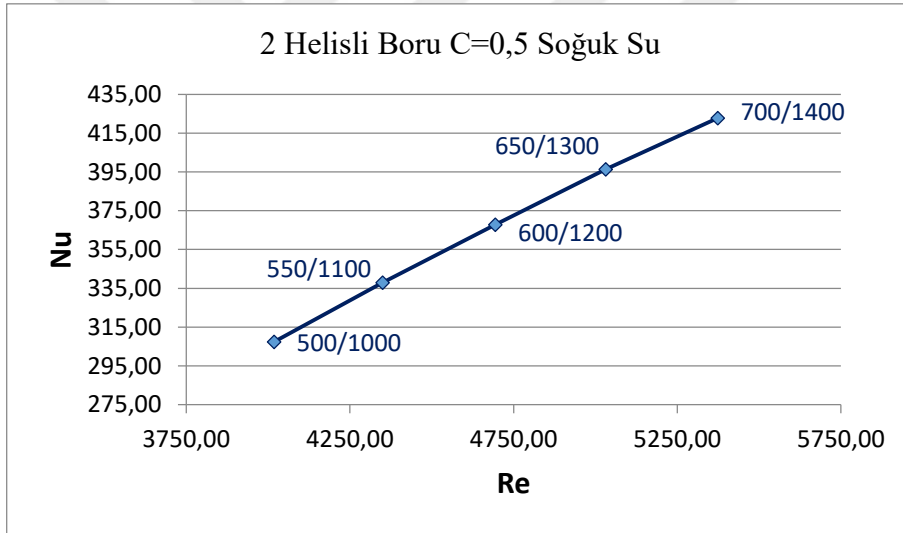
Şekil 4.8 : Düz boruda sıcak su C=1 için Re-Nu değişimi.



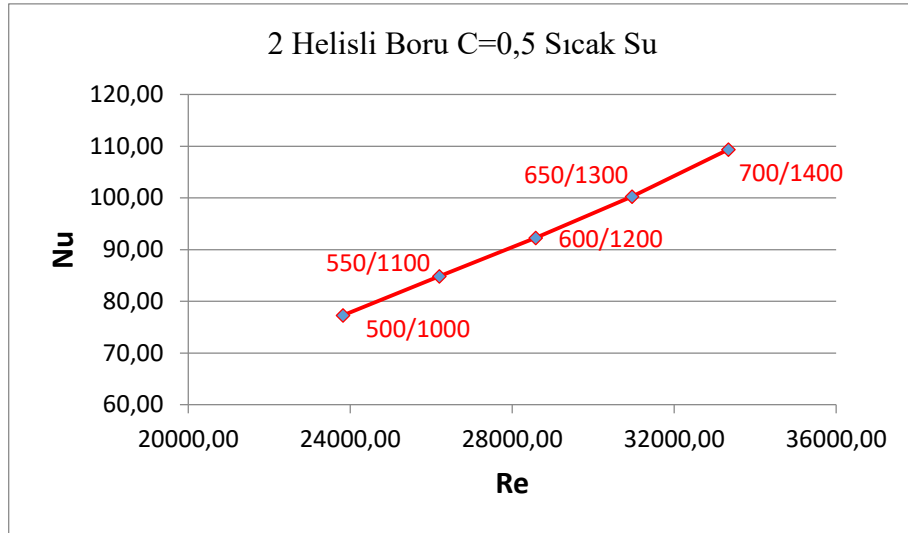
Şekil 4.9 : 2 helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



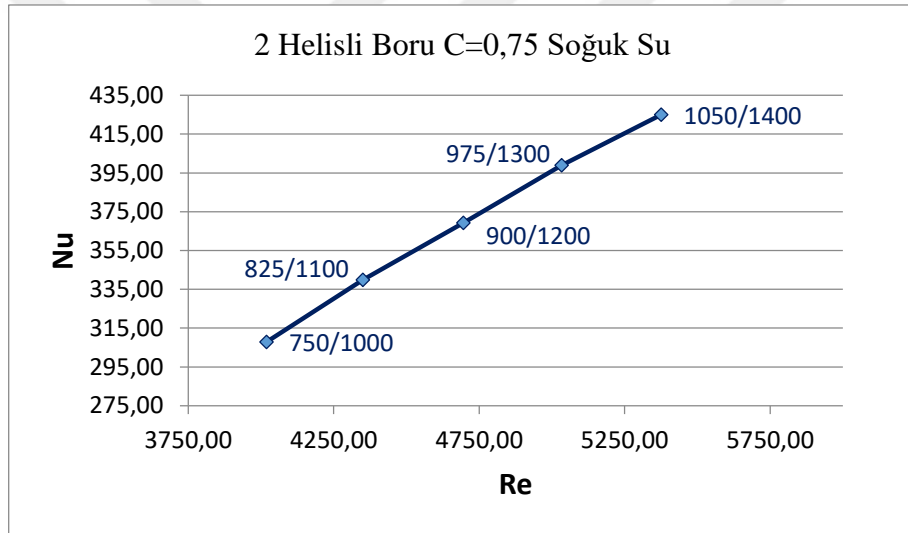
Şekil 4.10 : 2 helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



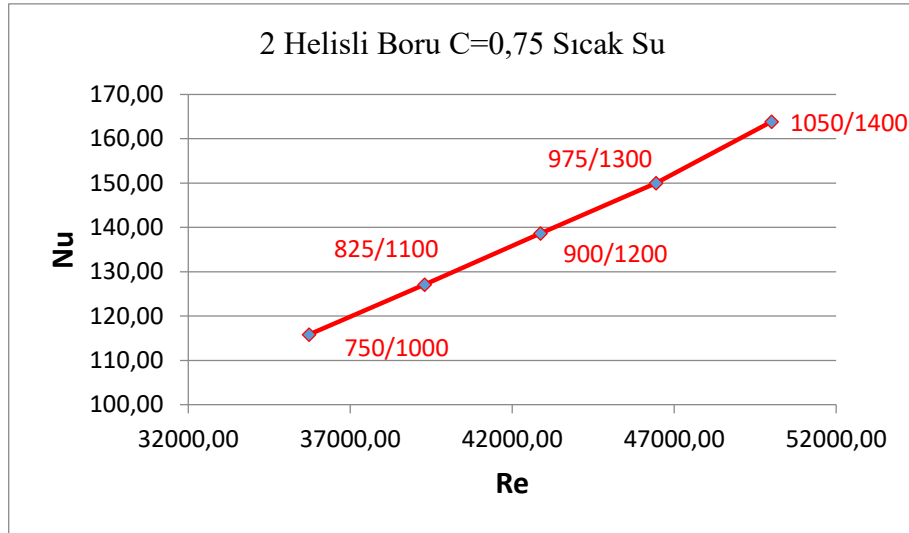
Şekil 4.11 : 2 helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



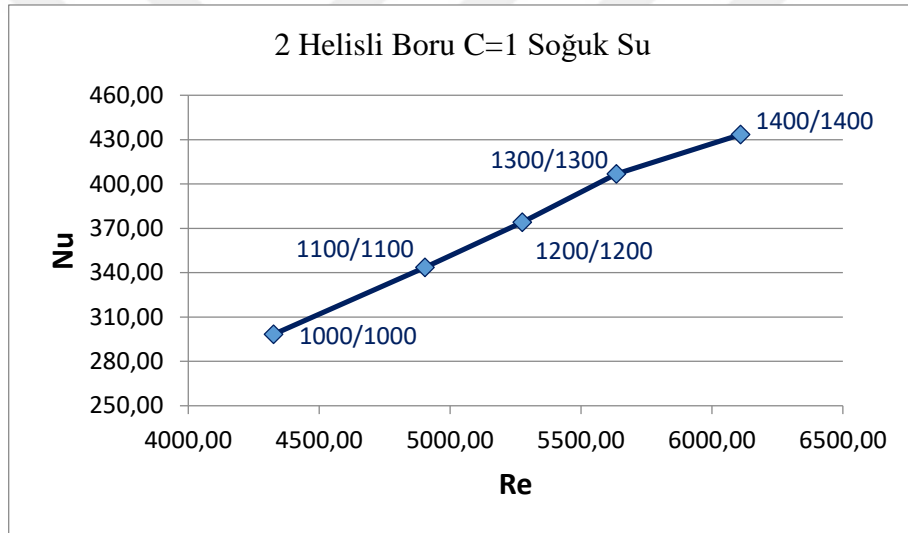
Şekil 4.12 : 2 helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



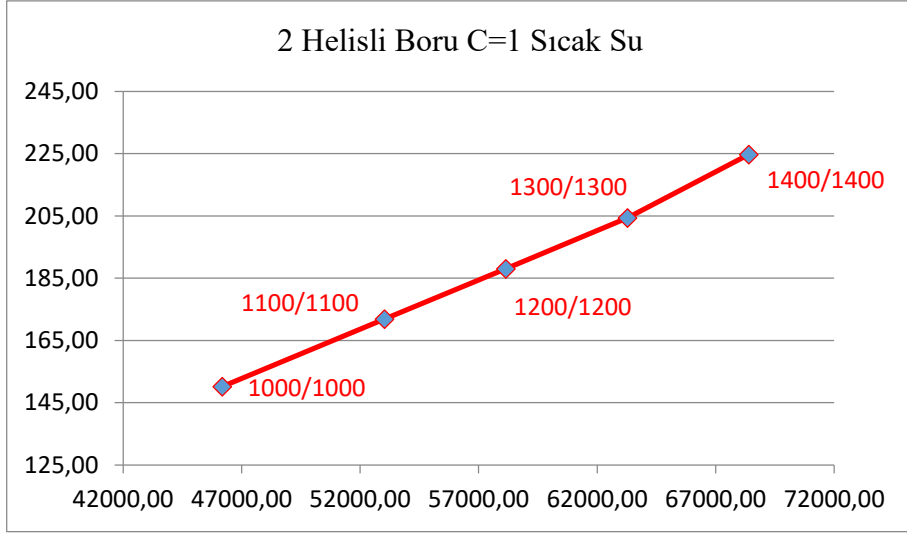
Şekil 4.13 : 2 helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



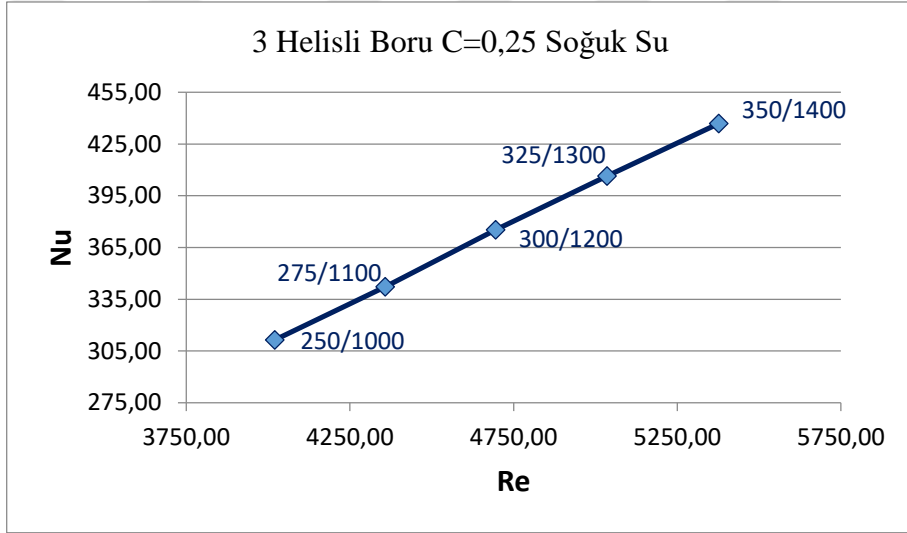
Şekil 4.14 : 2 helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



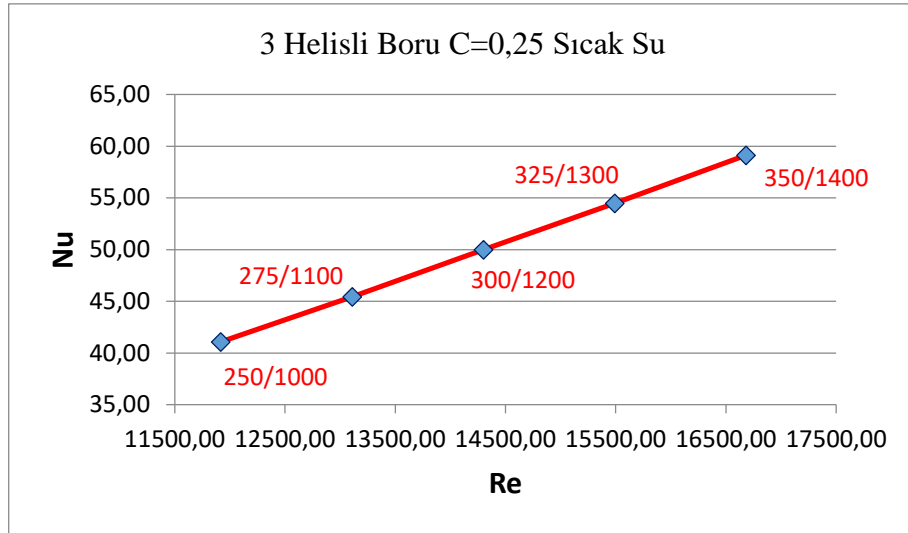
Şekil 4.15 : 2 helisli boruda soğuk su C=1 için Re-Nu değişimi.



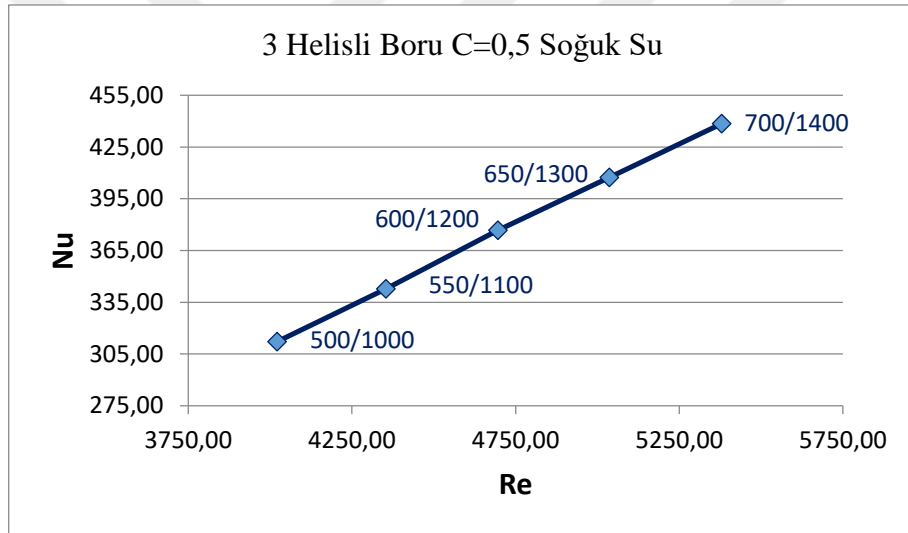
Şekil 4.16 : 2 helisli boruda sıcak su C=1 için Re-Nu değişimi.



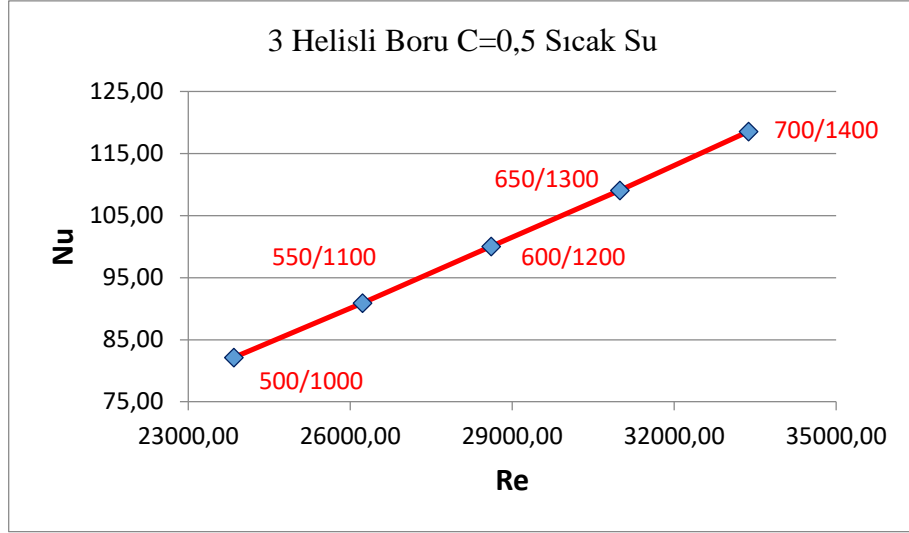
Şekil 4.17 : 3 helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



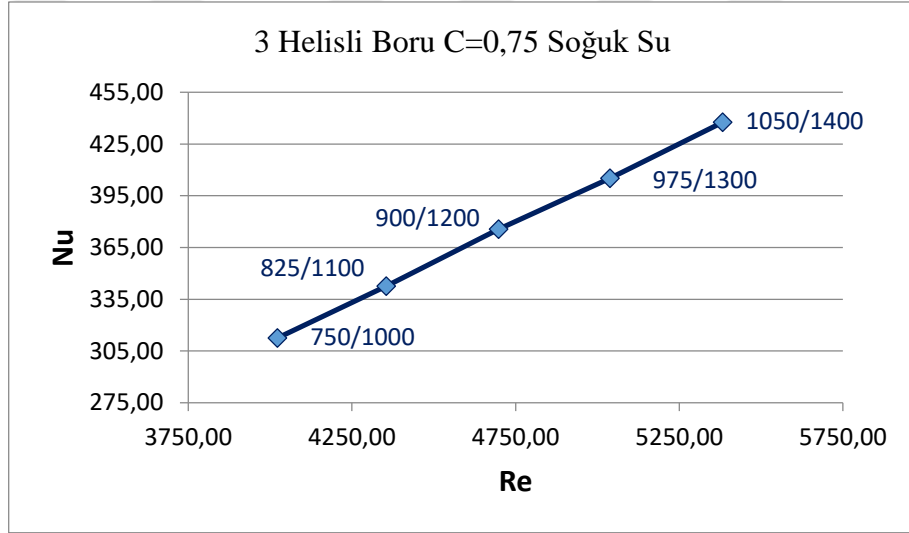
Şekil 4.18 : 3 helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



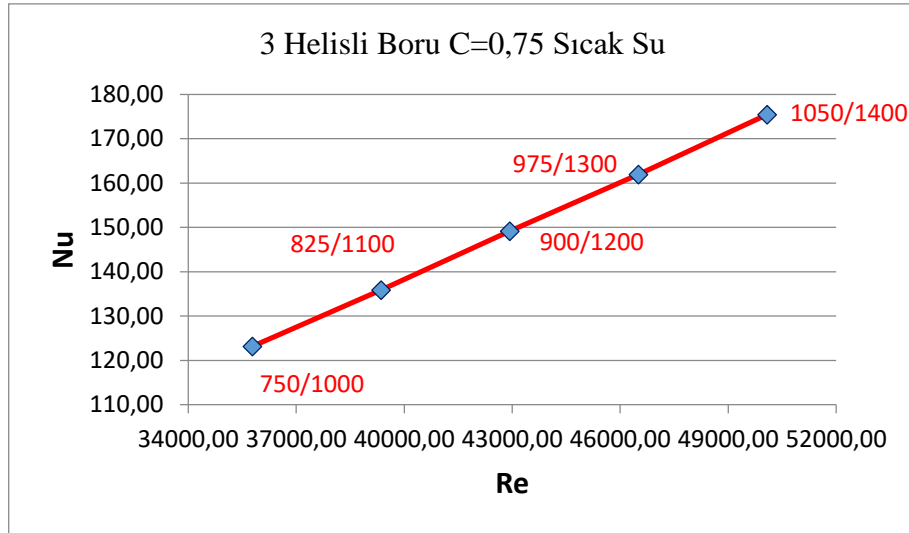
Şekil 4.19 : 3 helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



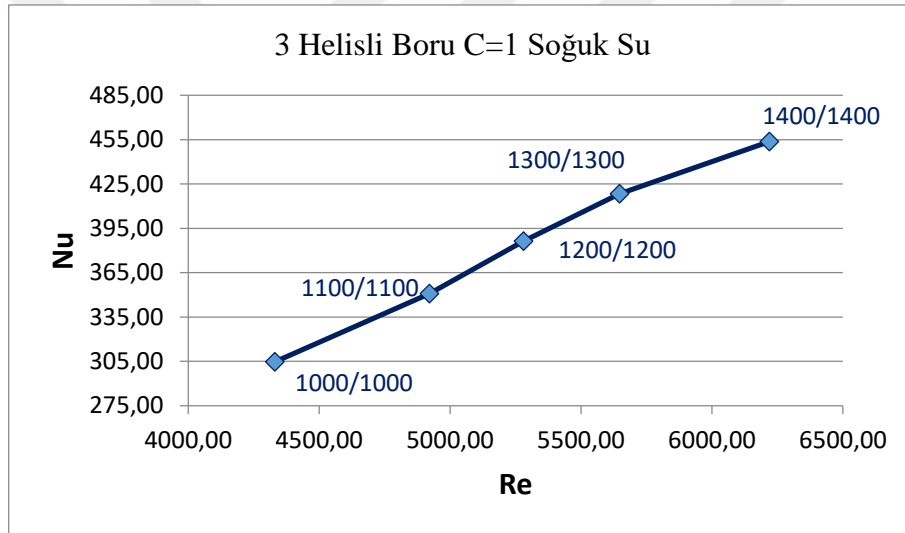
Şekil 4.20 : 3 helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



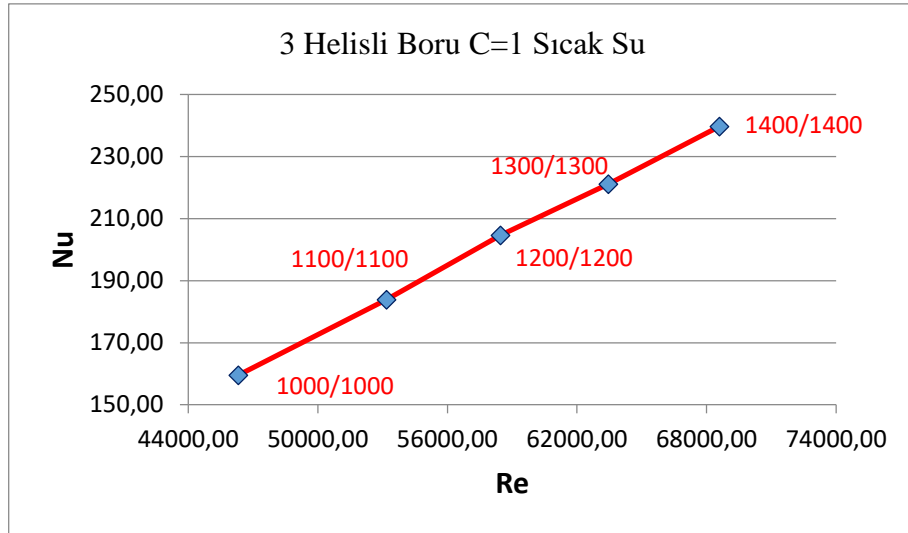
Şekil 4.21 : 3 helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



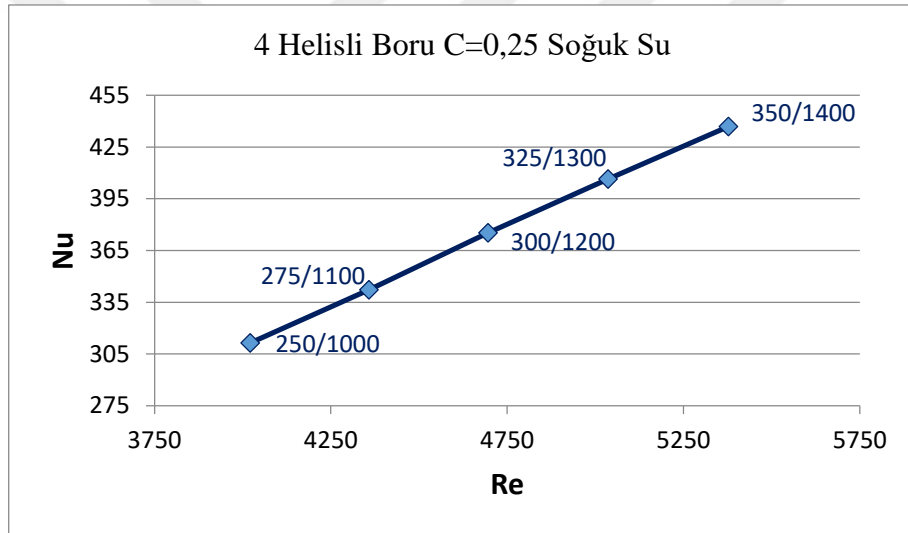
Şekil 4.22 : 3 helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



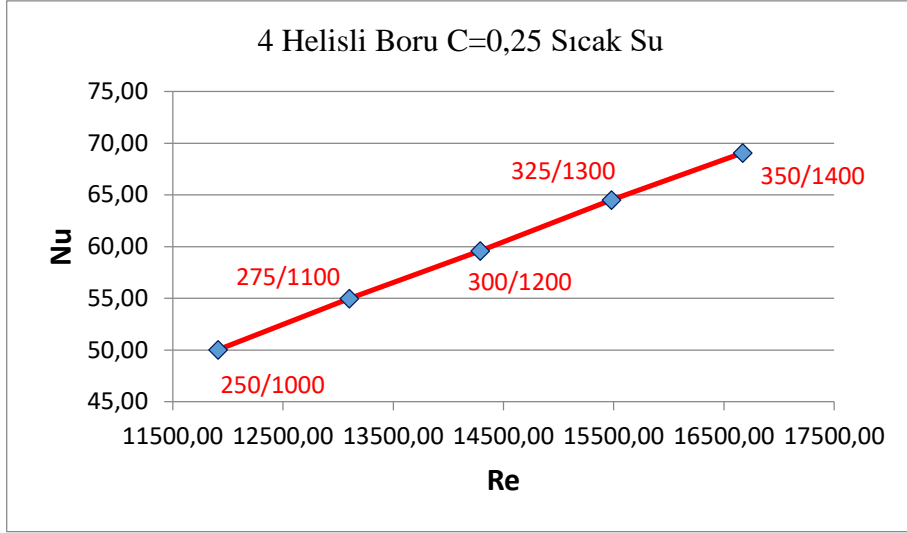
Şekil 4.23 : 3 helisli boruda soğuk su C=1 için Re-Nu değişimi.



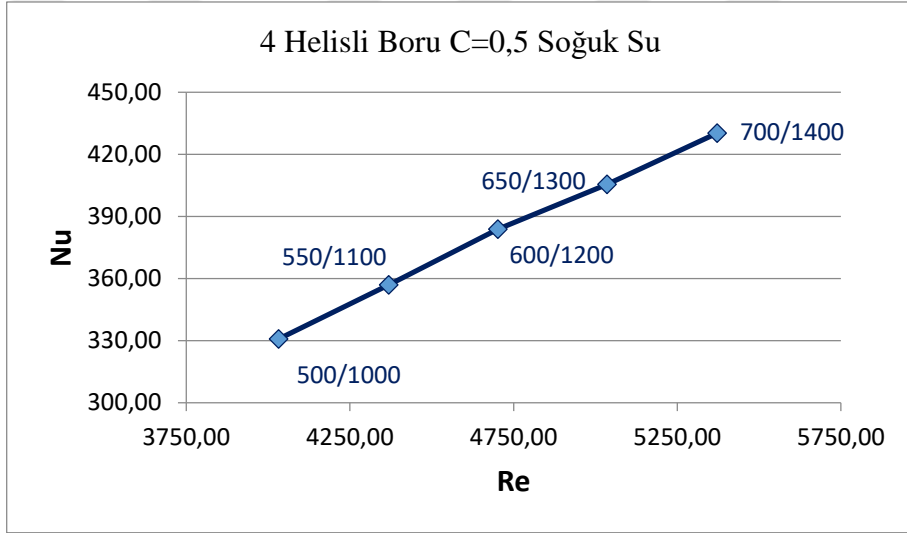
Şekil 4.24 : 3 helisli boruda sıcak su C=1 için Re-Nu değişimi.



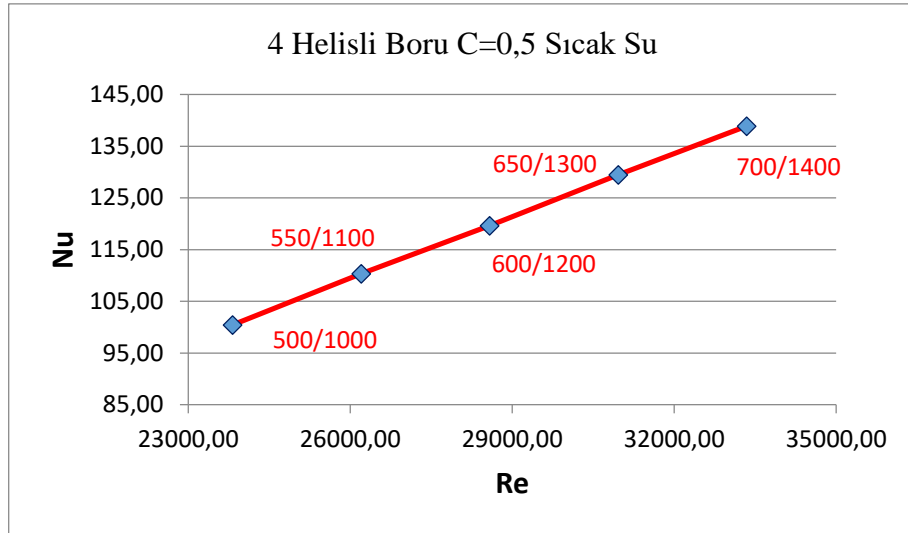
Şekil 4.25 : 4 helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



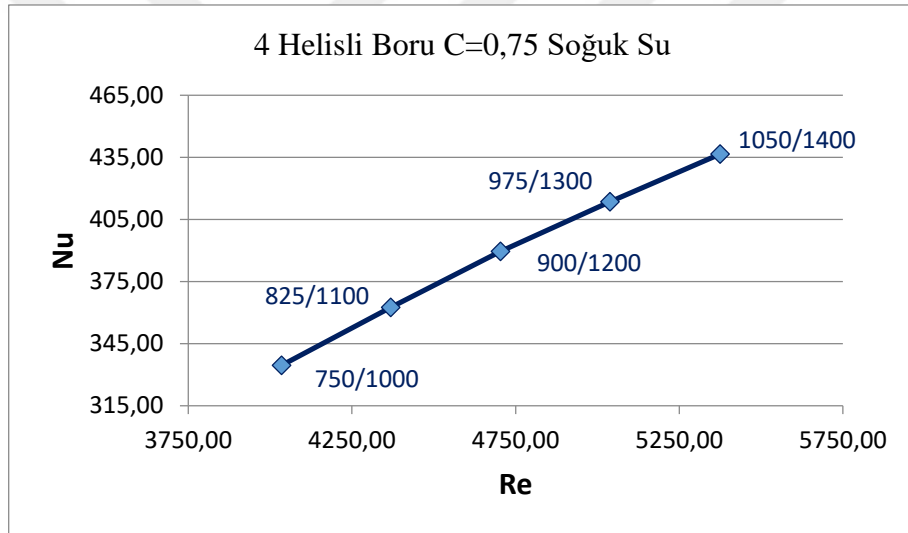
Şekil 4.26 : 4 helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



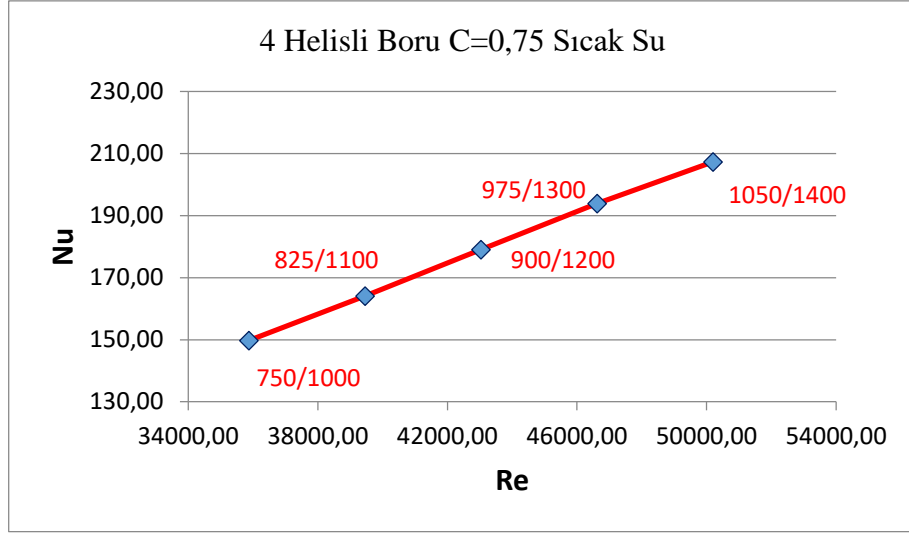
Şekil 4.27 : 4 helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



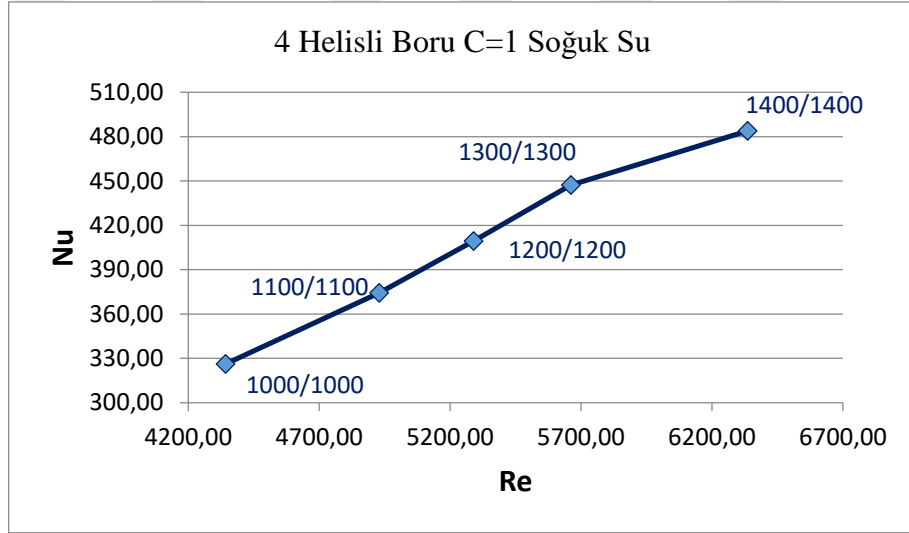
Şekil 4.28 : 4 helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



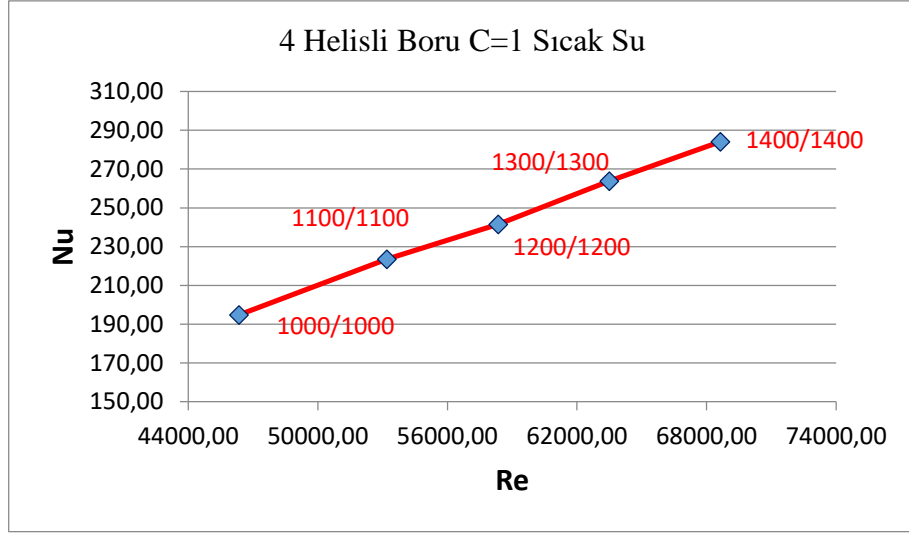
Şekil 4.29 : 4 helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



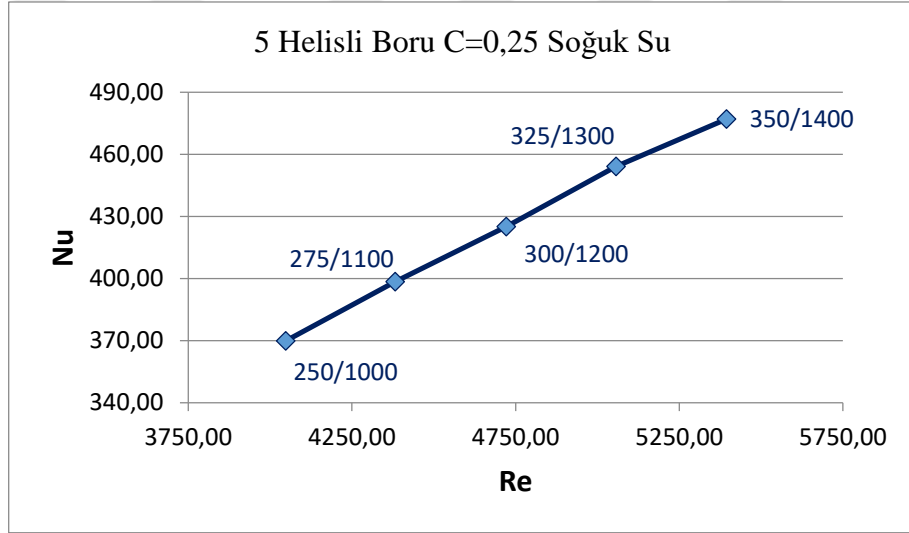
Şekil 4.30 : 4 helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



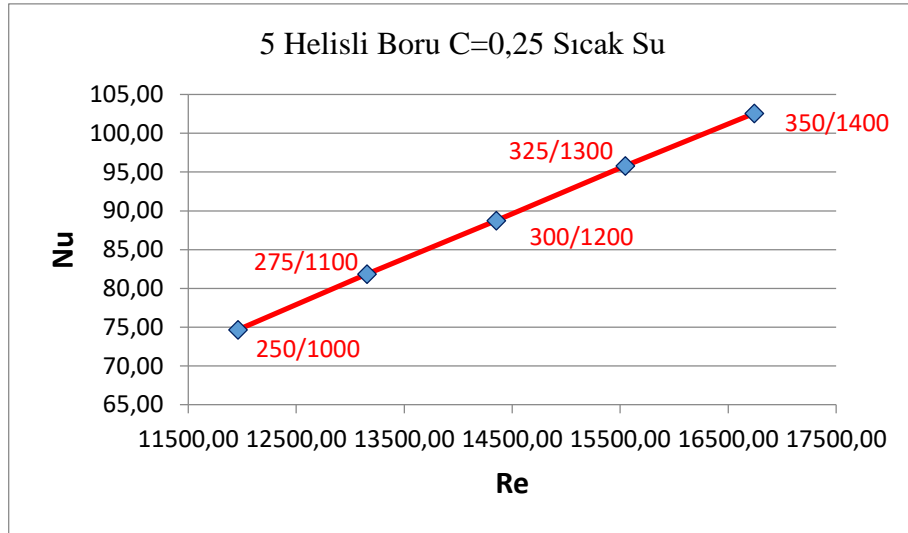
Şekil 4.31 : 4 helisli boruda soğuk su C=1 için Re-Nu değişimi.



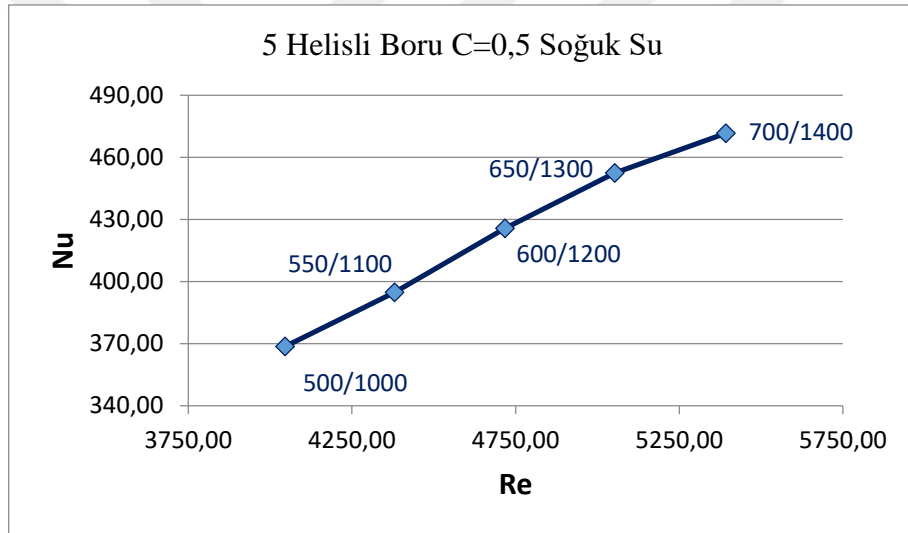
Şekil 4.32 : 4 helisli boruda sıcak su C=1 için Re-Nu değişimi.



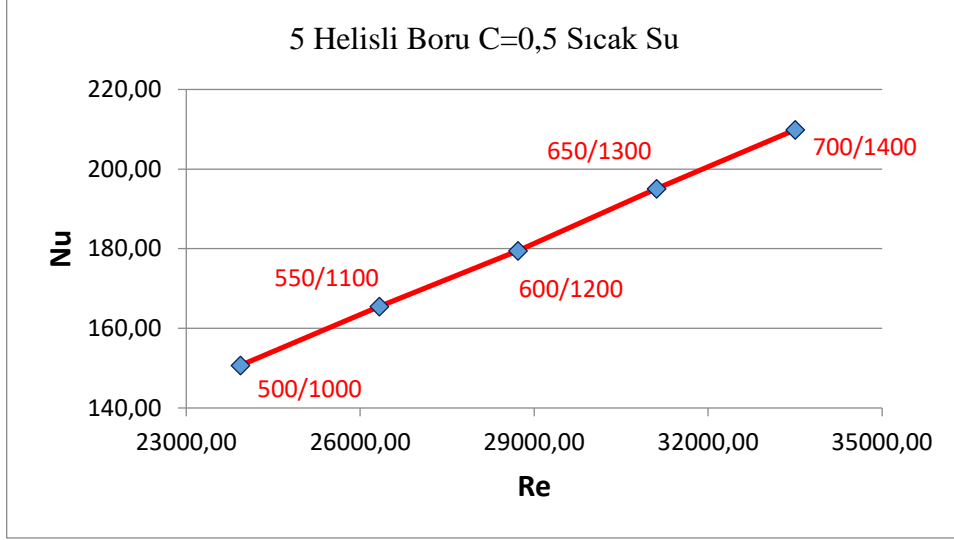
Şekil 4.33 : 5 helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



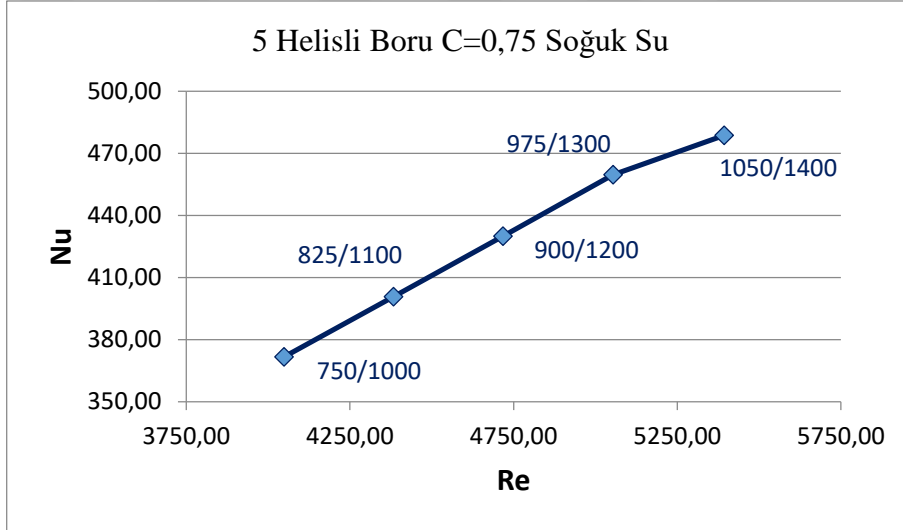
Şekil 4.34 : 5 helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re-Nu değişimi.



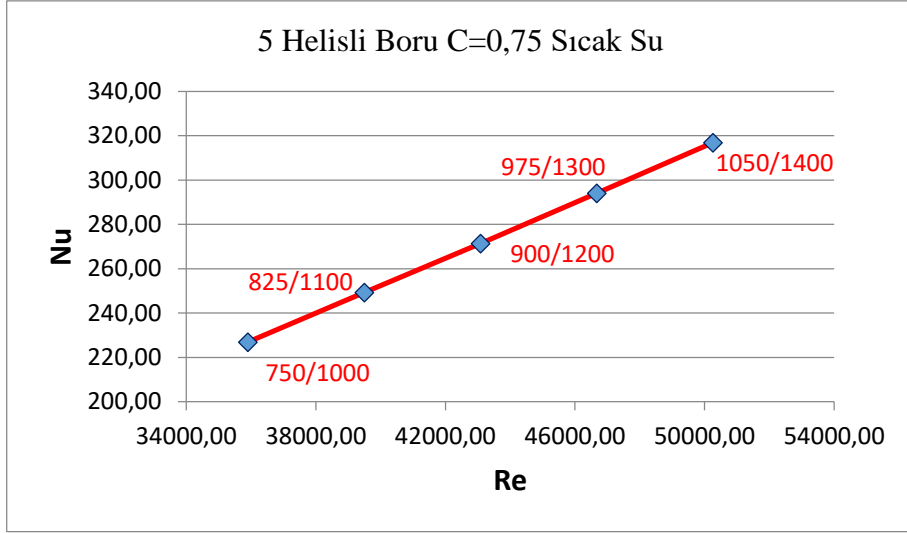
Şekil 4.35 : 5 helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



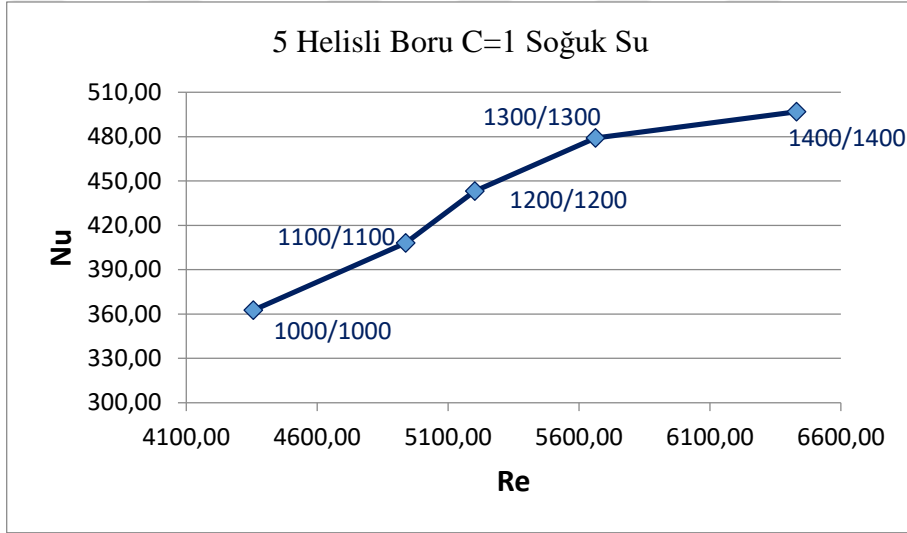
Şekil 4.36 : 5 helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re-Nu değişimi.



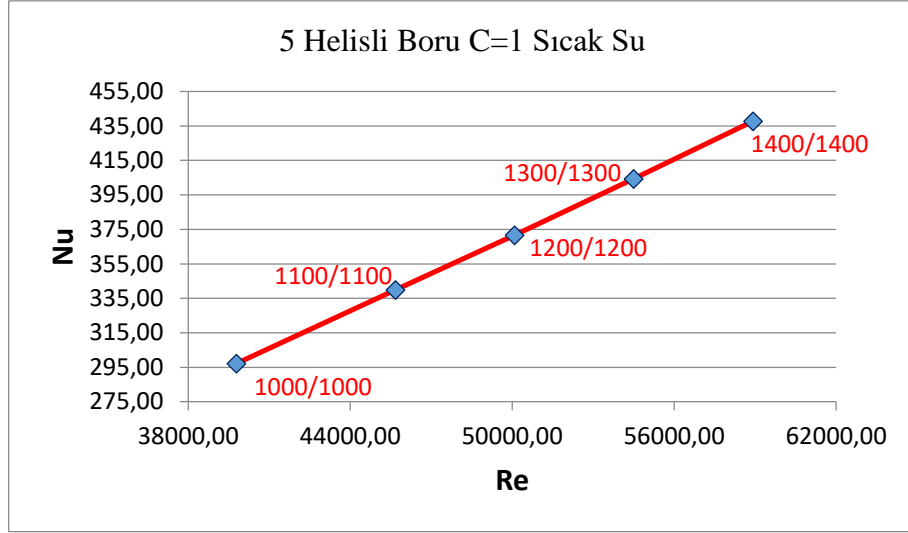
Şekil 4.37 : 5 helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re-Nu değişimi.



Şekil 4.38 : 5 helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re-Nu değişimi.

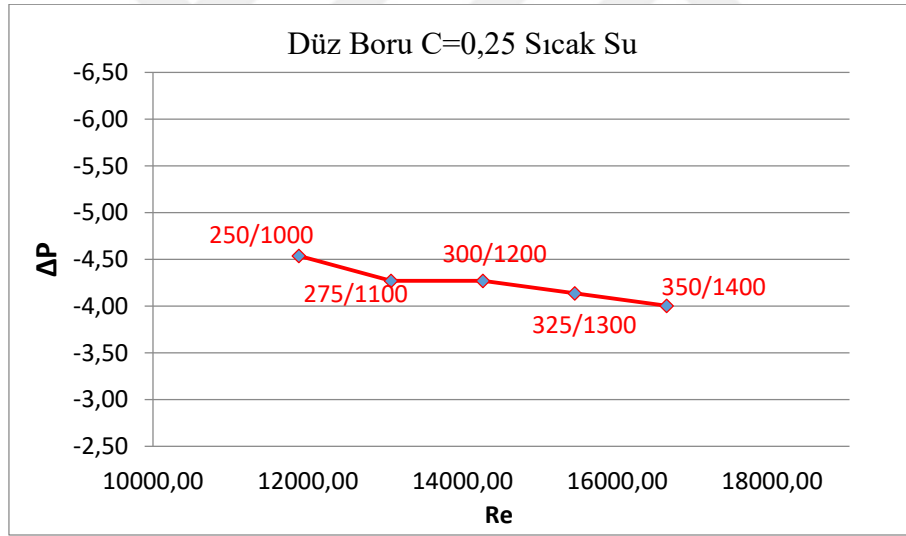


Şekil 4.39 : 5 helisli boruda soğuk su C=1 için Re-Nu değişimi.

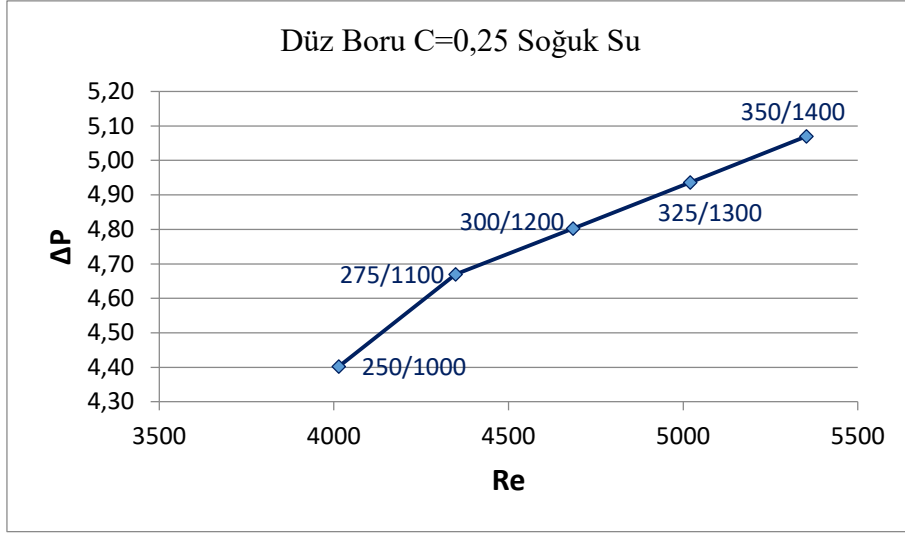


Şekil 4.40 : 5 helisli boruda sıcak su C=1 için Re-Nu değişimi.

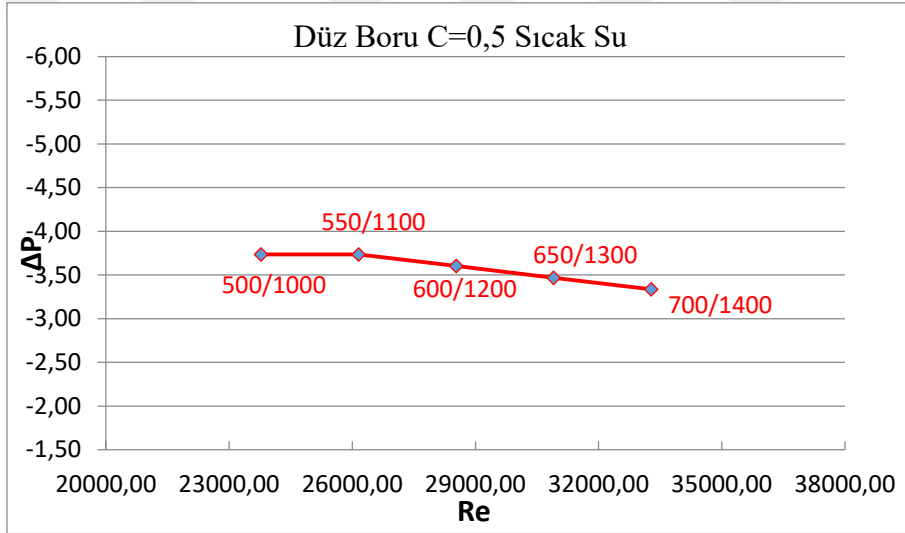
4.1.9 Basınç Düşümü – Reynolds Sayısı değişim grafikleri



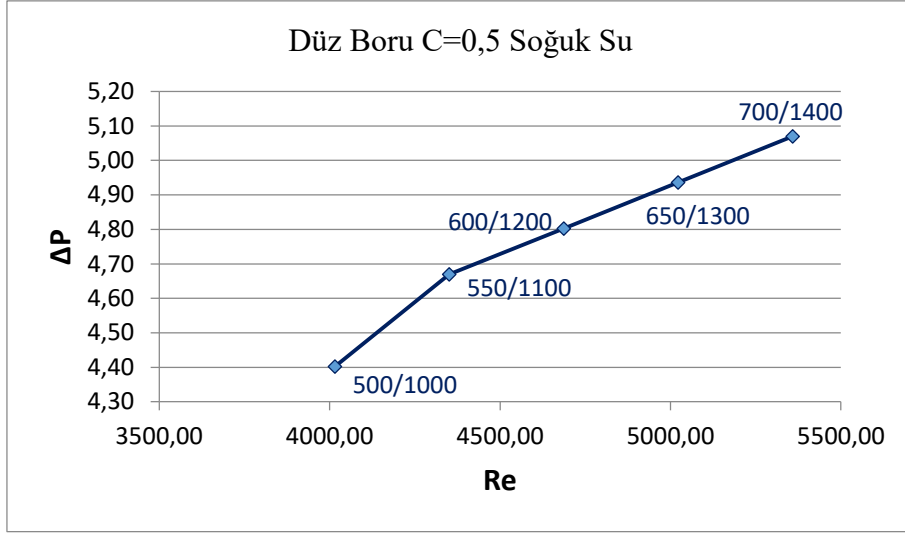
Şekil 4.41 : Düz boruda sıcak su C=0,25 için Re-ΔP değişimi.



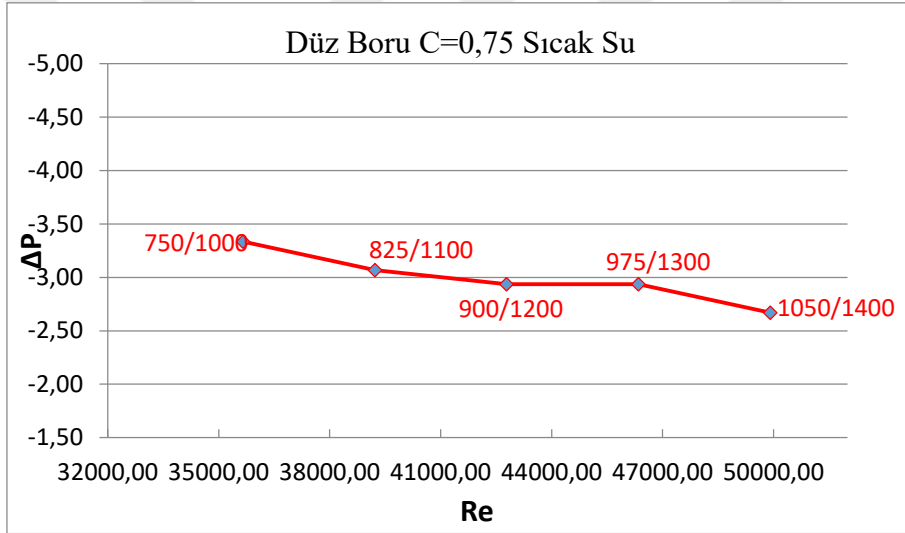
Şekil 4.42 : Düz boruda soğuk su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



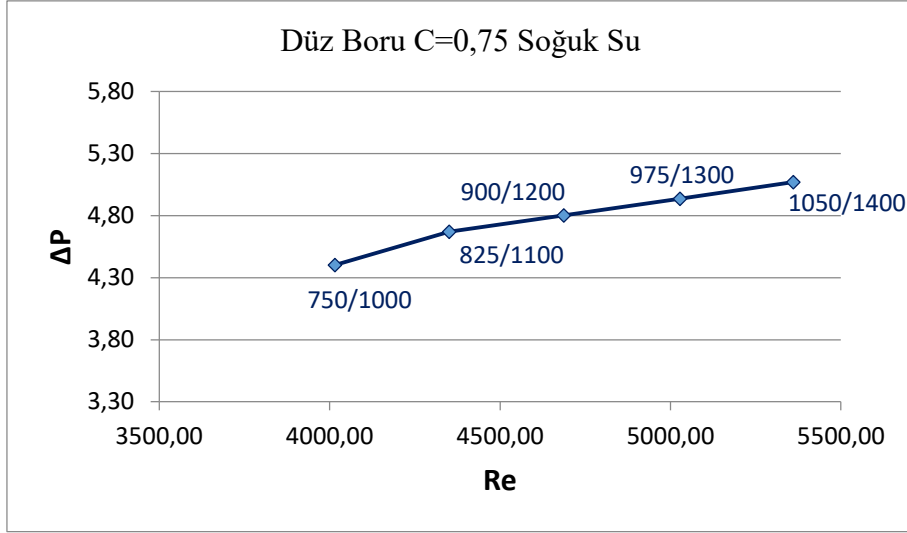
Şekil 4.43 : Düz boruda sıcak su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



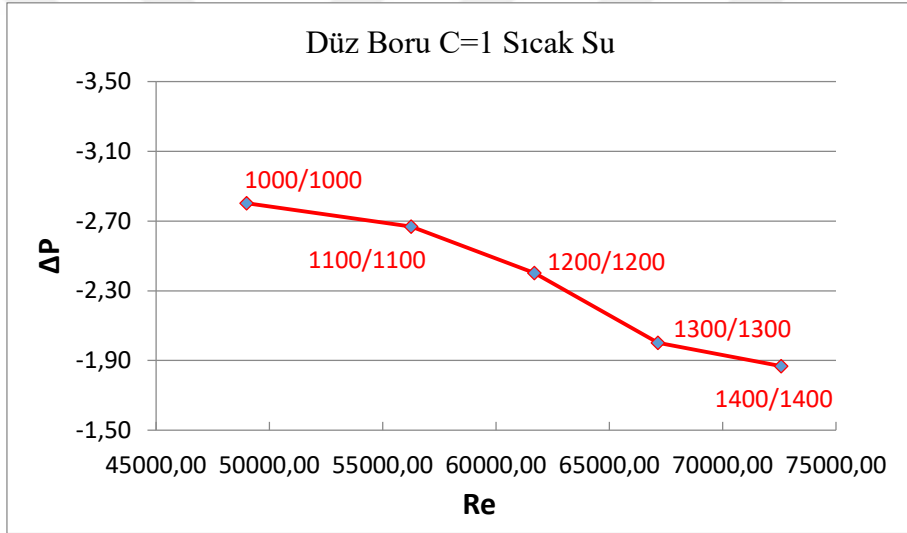
Şekil 4.44 : Düz boruda soğuk su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



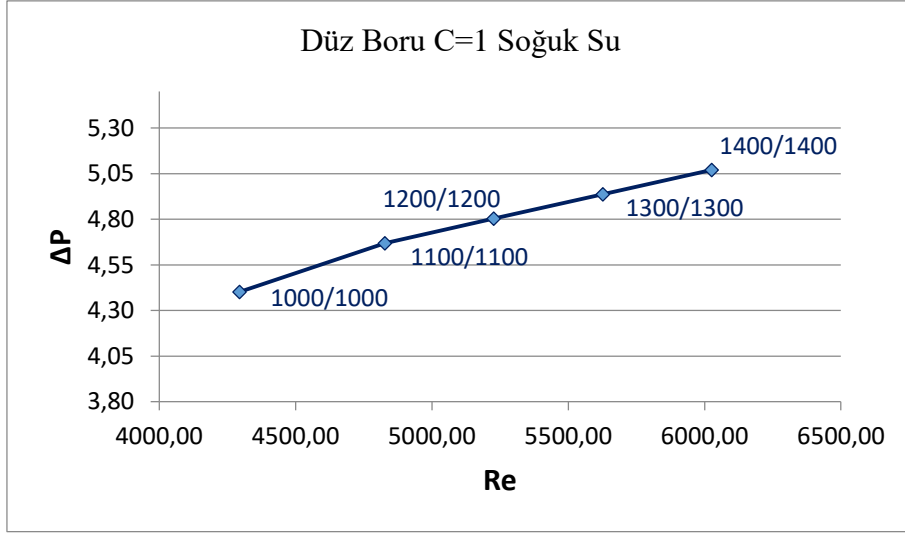
Şekil 4.45 : Düz boruda sıcak su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



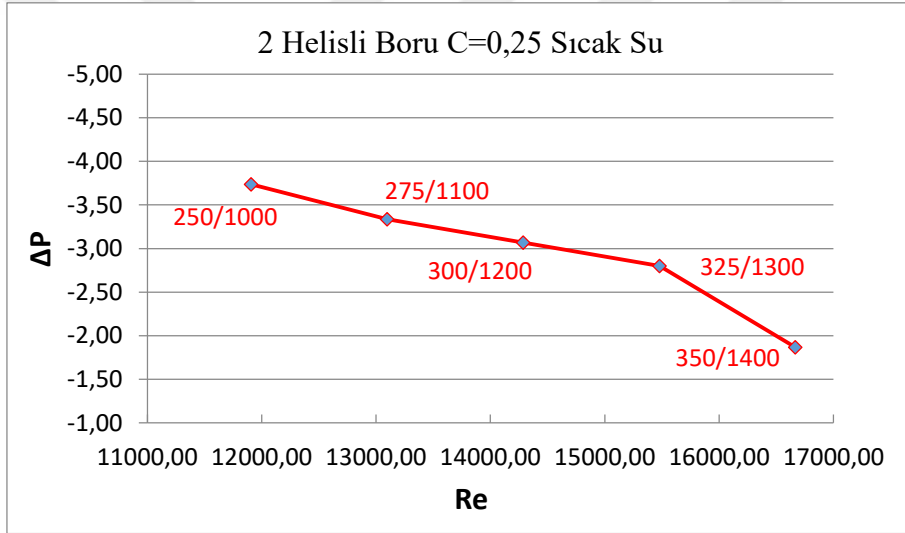
Şekil 4.46 : Düz boruda soğuk su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



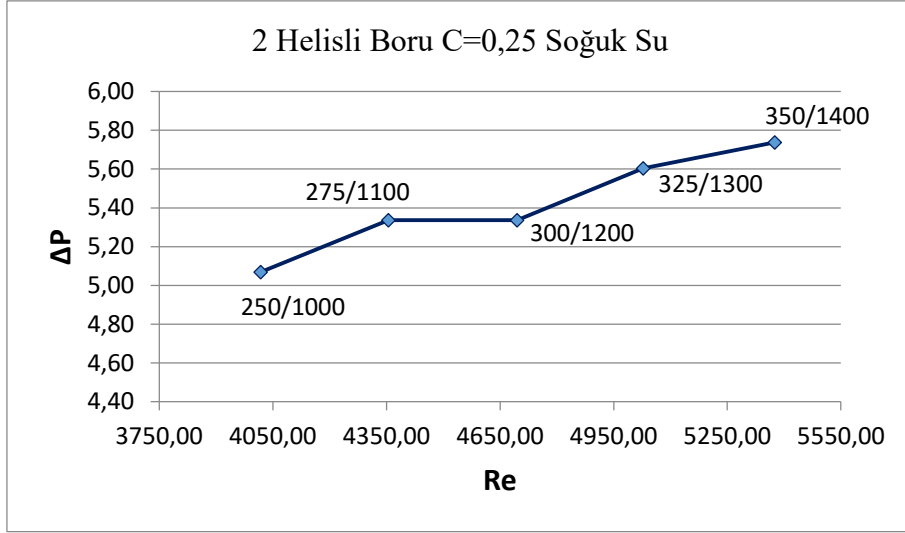
Şekil 4.47 : Düz boruda sıcak su C=1 için Re- ΔP değişimi.



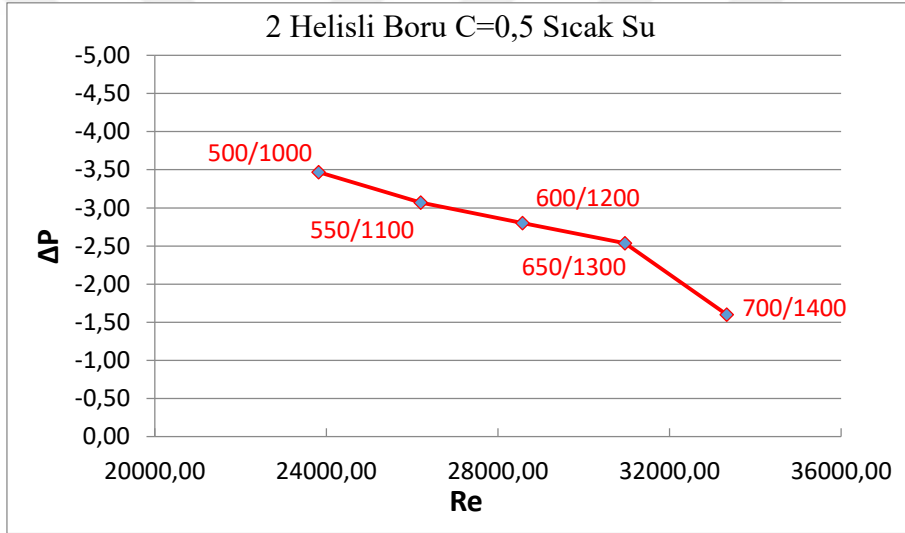
Şekil 4.48 : Düz boruda soğuk su C=1 için Re- ΔP değişimi.



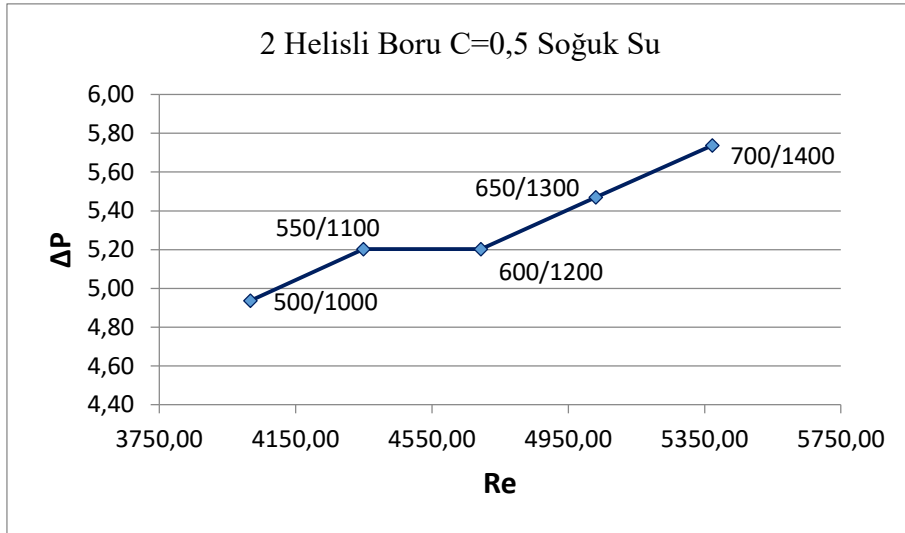
Şekil 4.49 : İki helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



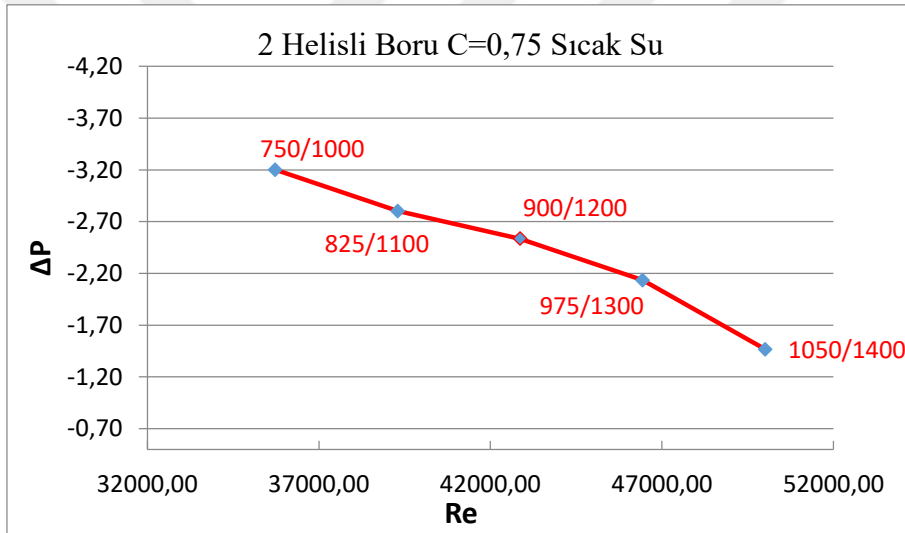
Şekil 4.50 : İki helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



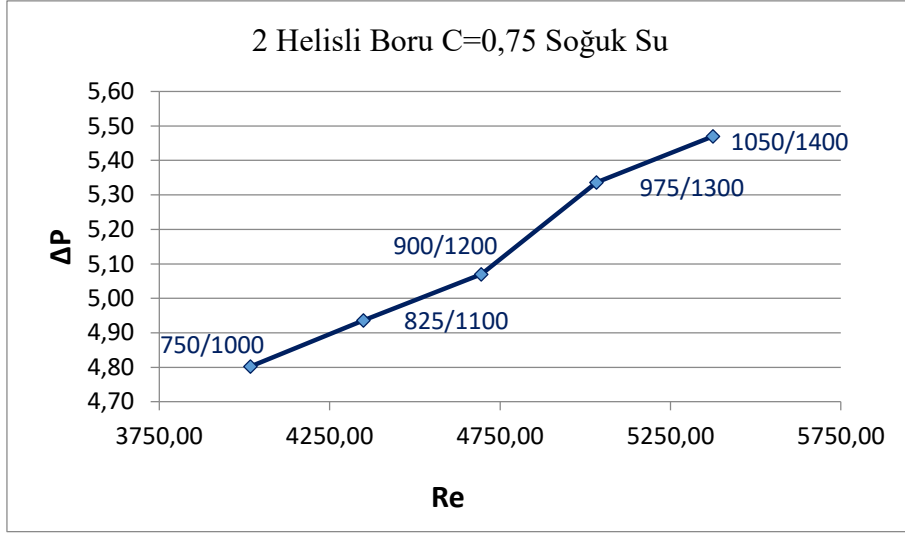
Şekil 4.51 : İki helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



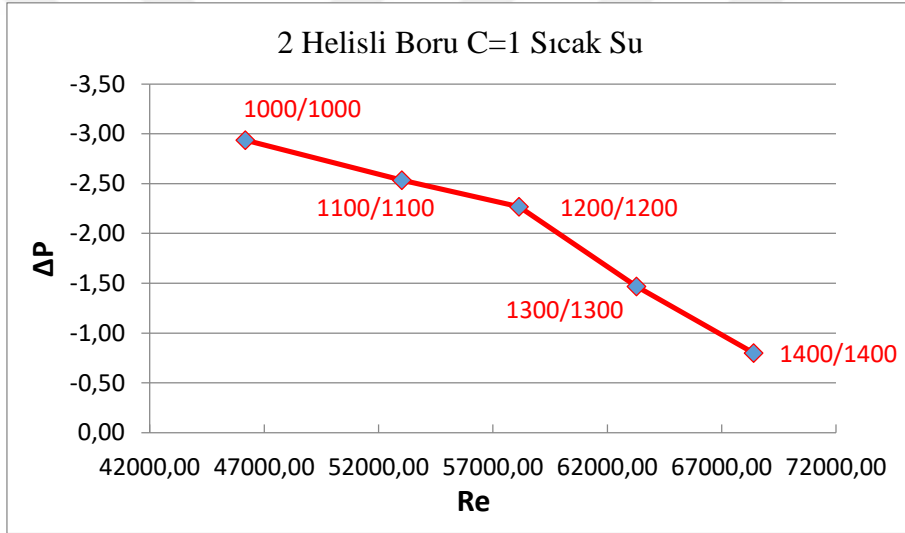
Şekil 4.52 : İki helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



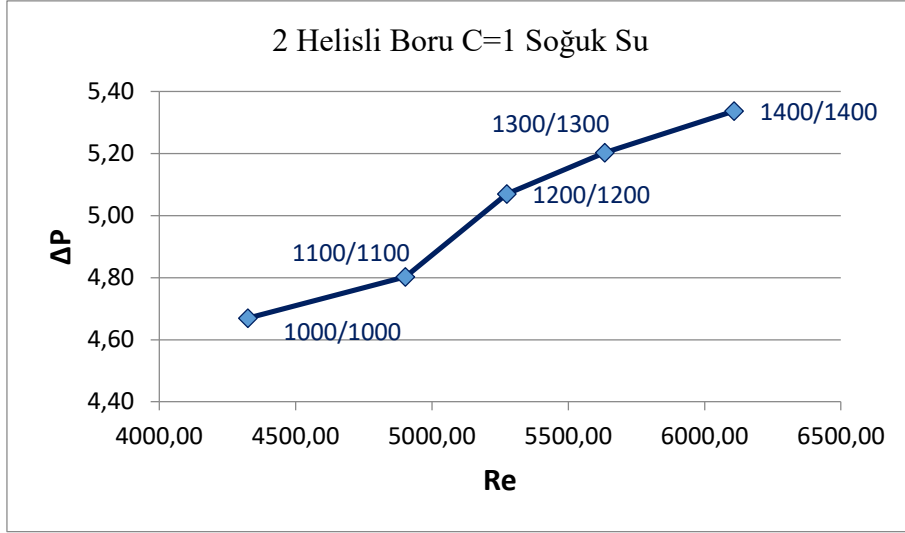
Şekil 4.53 : İki helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



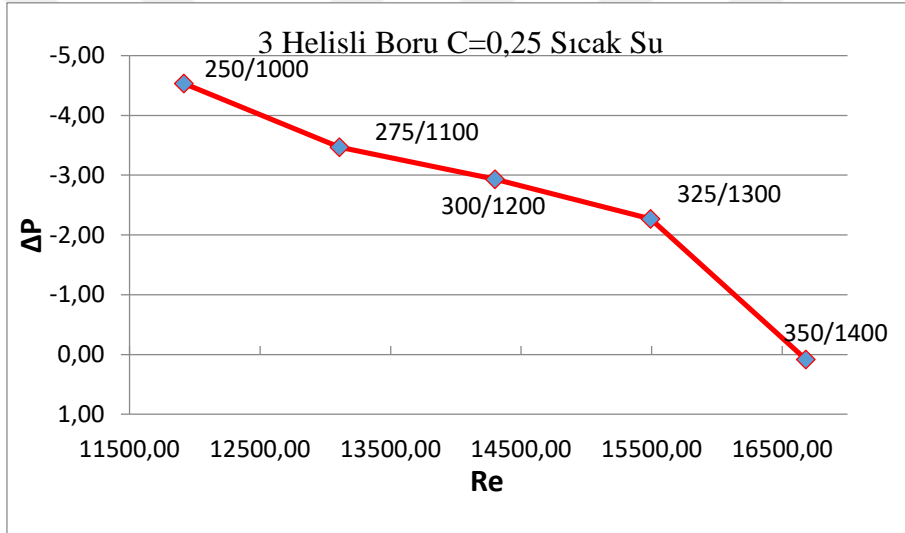
Şekil 4.54 : İki helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



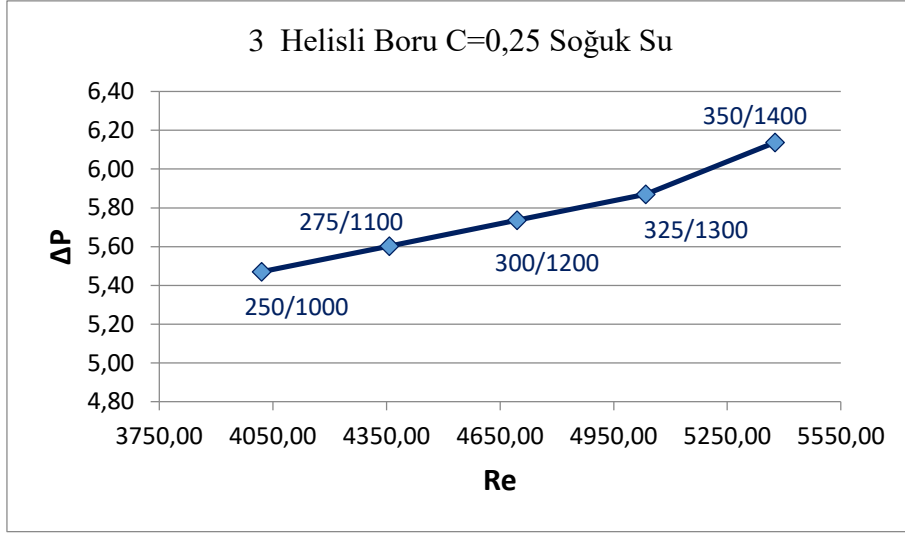
Şekil 4.55 : İki helisli boruda sıcak su C=1 için Re- ΔP değişimi.



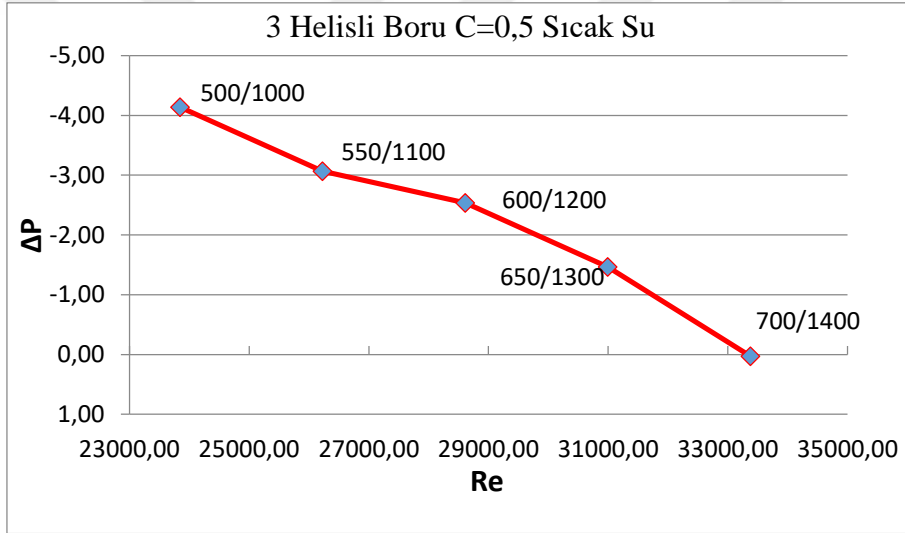
Şekil 4.56 : İki helisli boruda soğuk su C=1 için Re- ΔP değişimi.



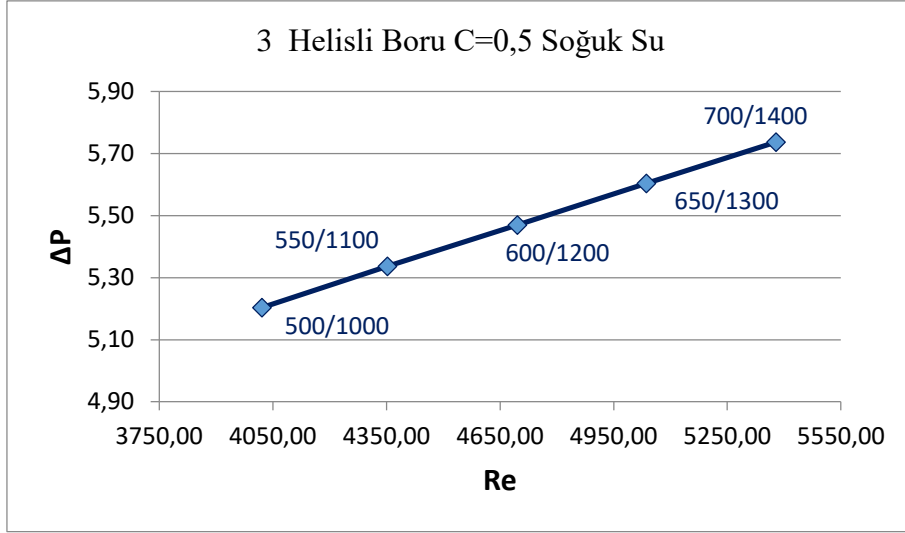
Şekil 4.57 : Üç helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



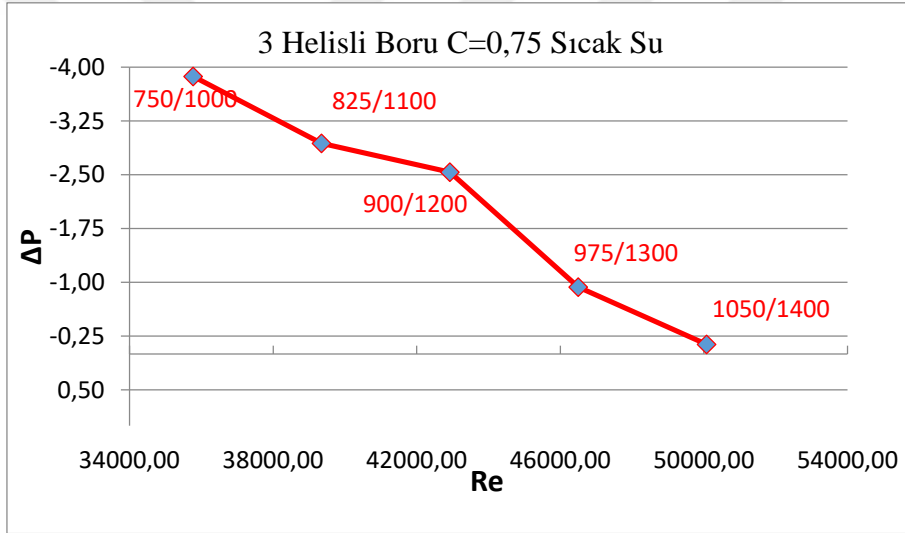
Şekil 4.58 : Üç helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



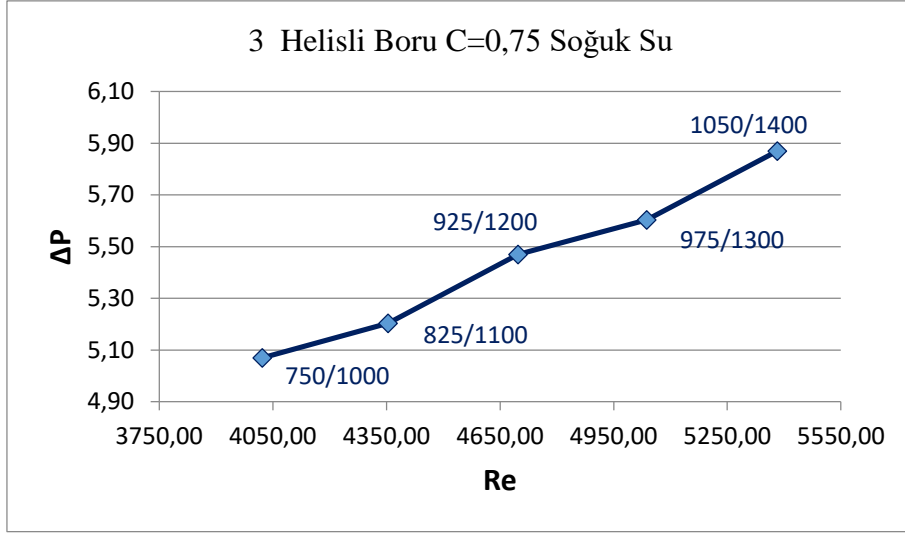
Şekil 4.59 : Üç helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



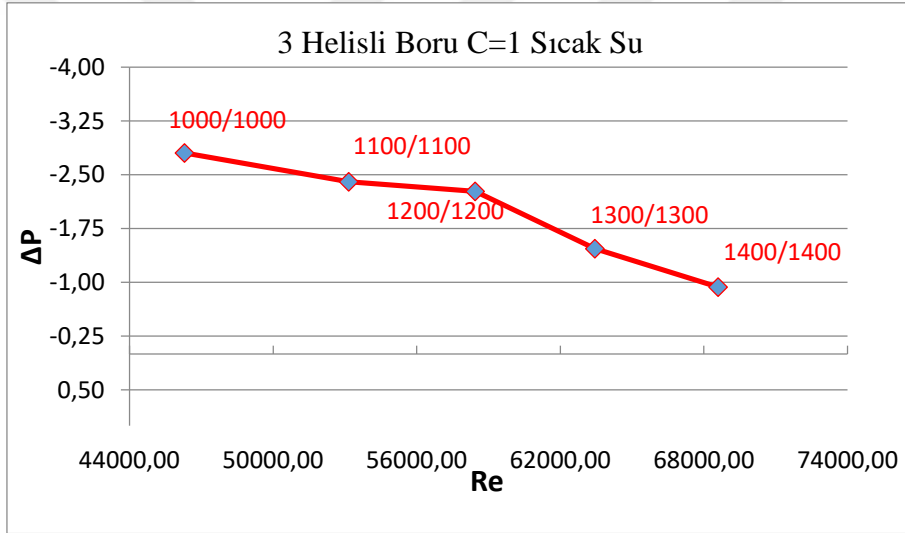
Şekil 4.60 : Üç helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



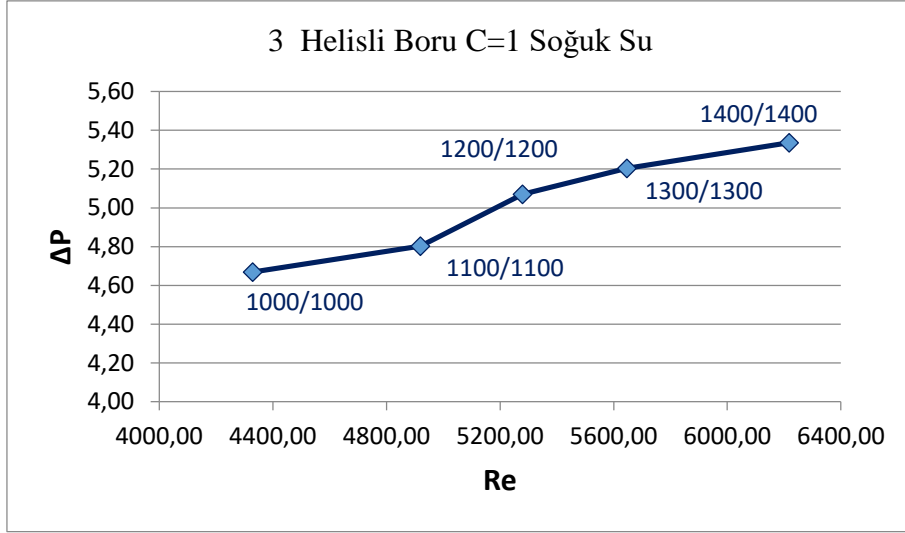
Şekil 4.61 : Üç helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



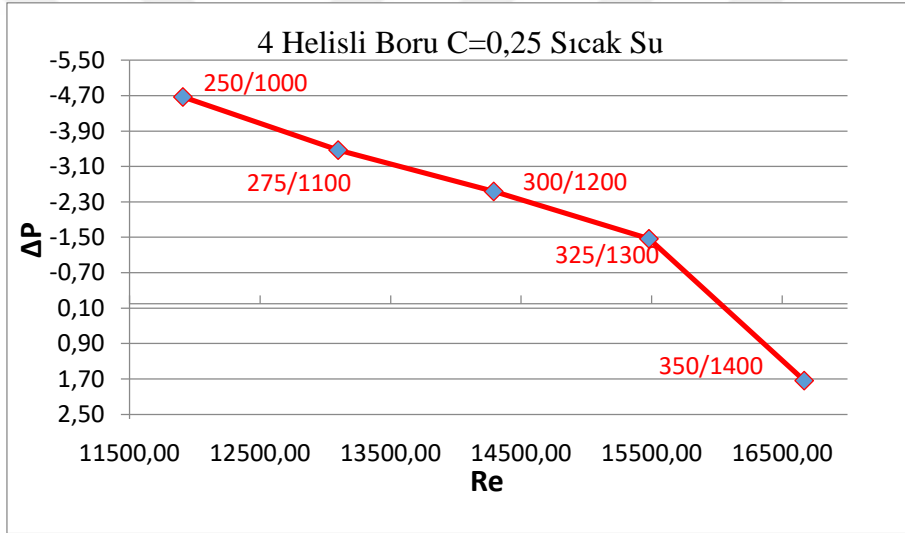
Şekil 4.62 : Üç helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re-ΔP değişimi.



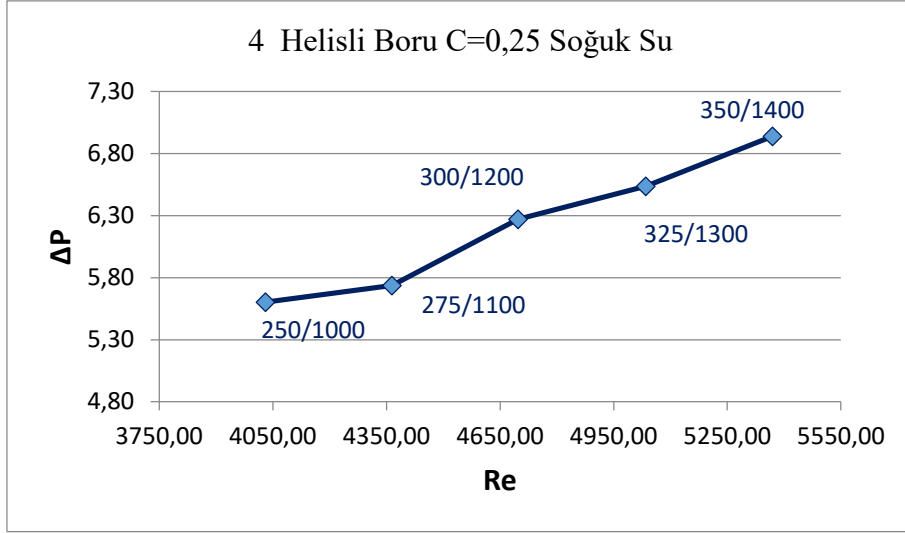
Şekil 4.63 : Üç helisli boruda sıcak su C=1 için Re-ΔP değişimi.



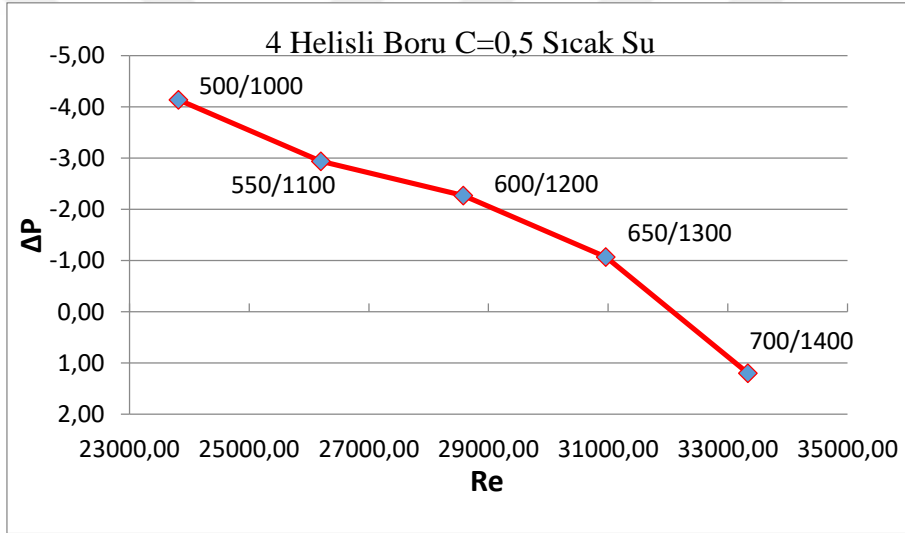
Şekil 4.64 : Üç helisli boruda soğuk su C=1 için Re- ΔP değişimi.



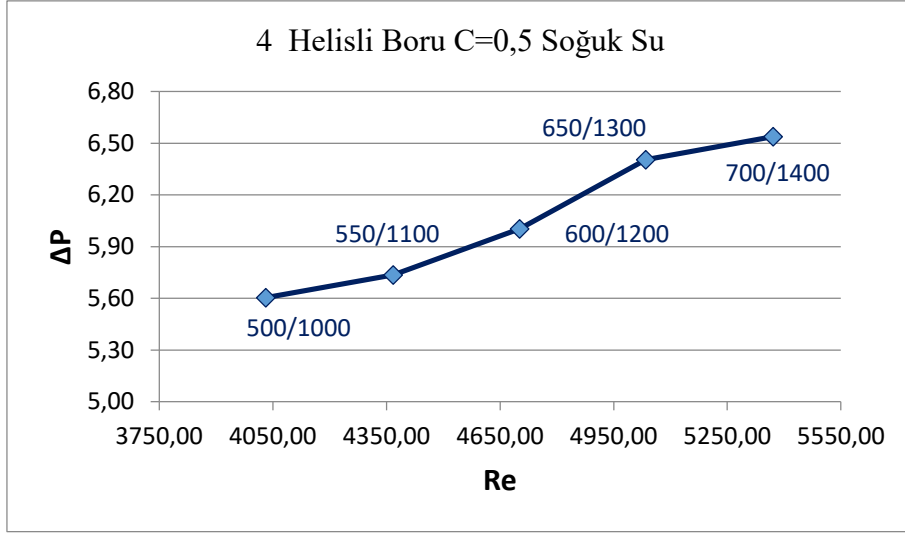
Şekil 4.65 : Dört helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



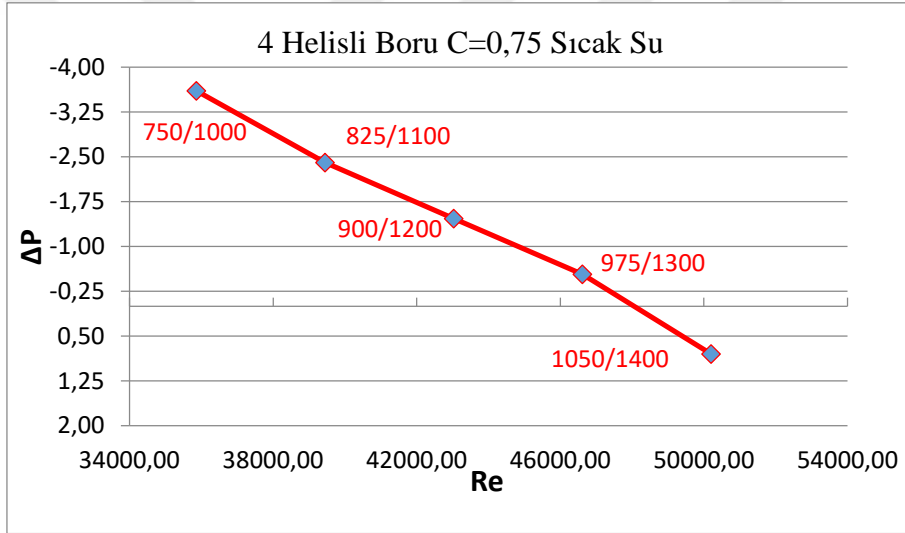
Şekil 4.66 : Dört helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



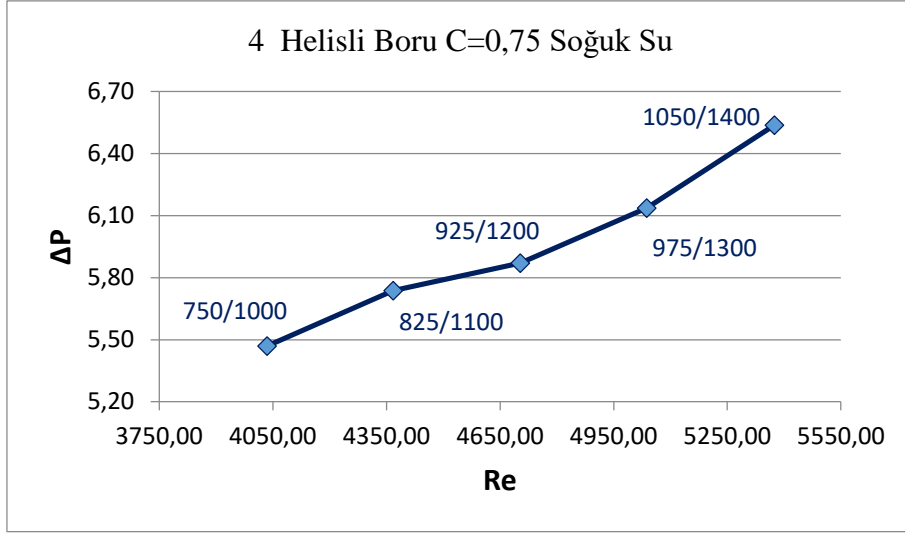
Şekil 4.67 : Dört helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



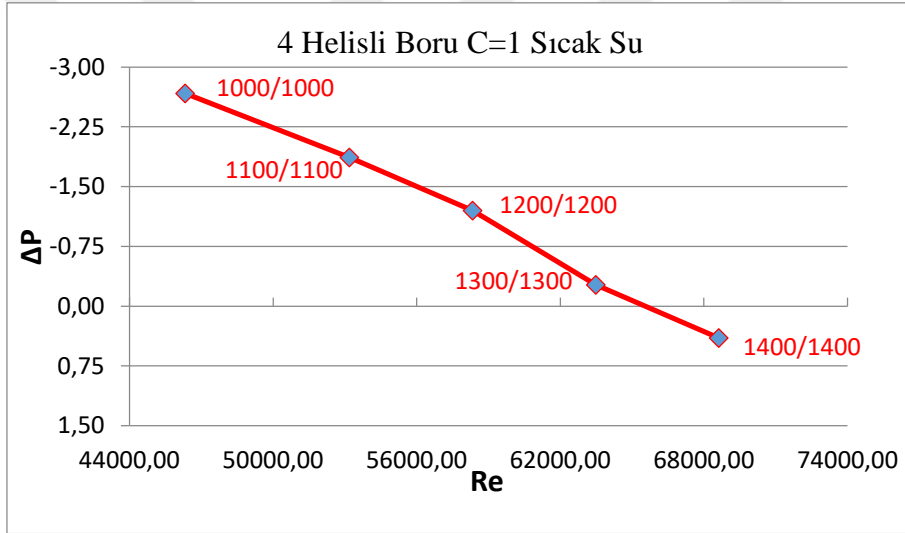
Şekil 4.68 : Dört helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re-ΔP değişimi.



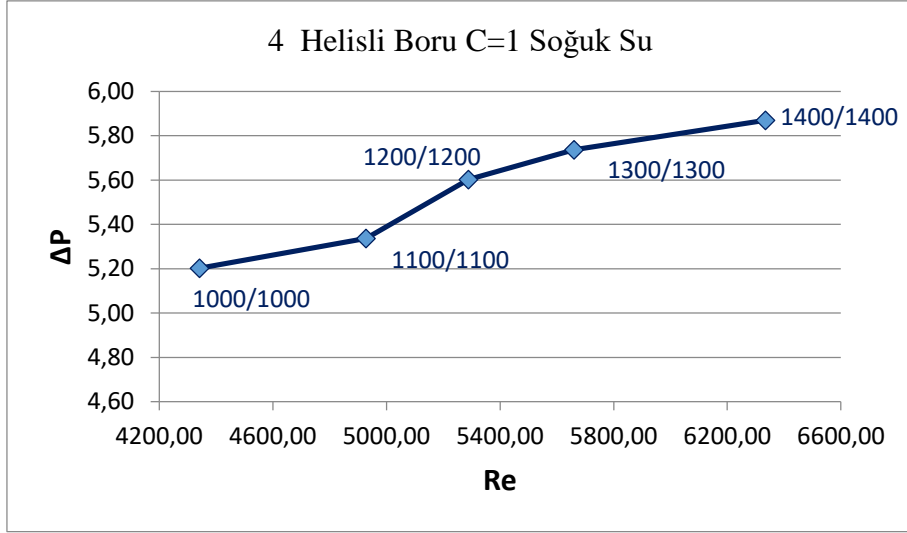
Şekil 4.69 : Dört helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re-ΔP değişimi.



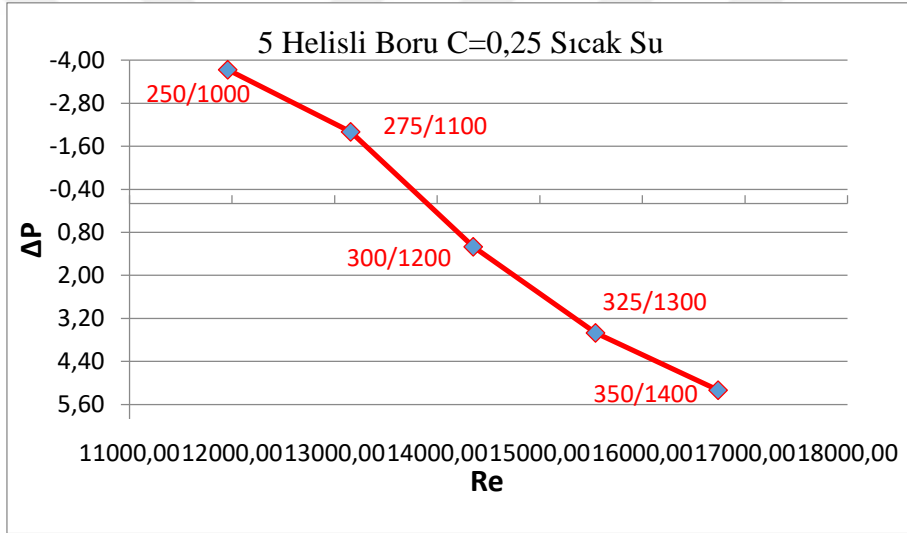
Şekil 4.70 : Dört helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



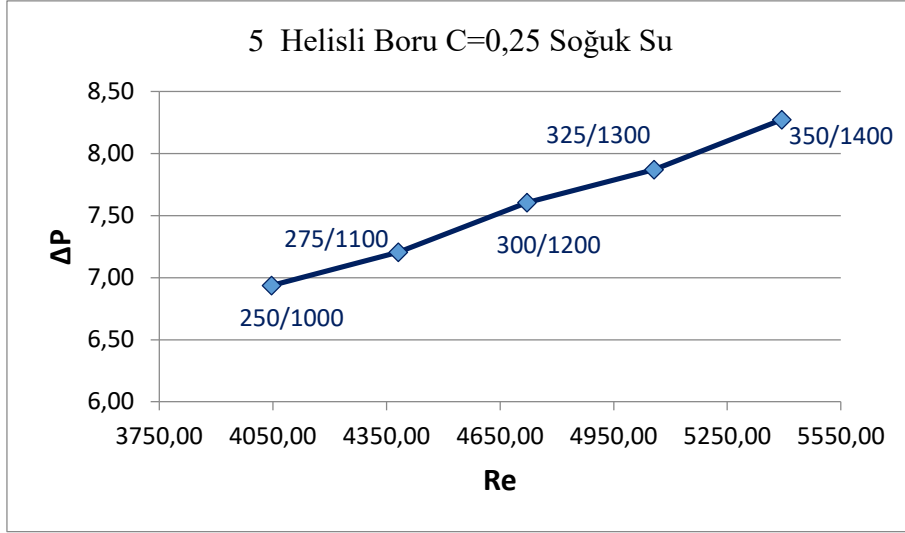
Şekil 4.71 : Dört helisli boruda sıcak su C=1 için Re- ΔP değişimi.



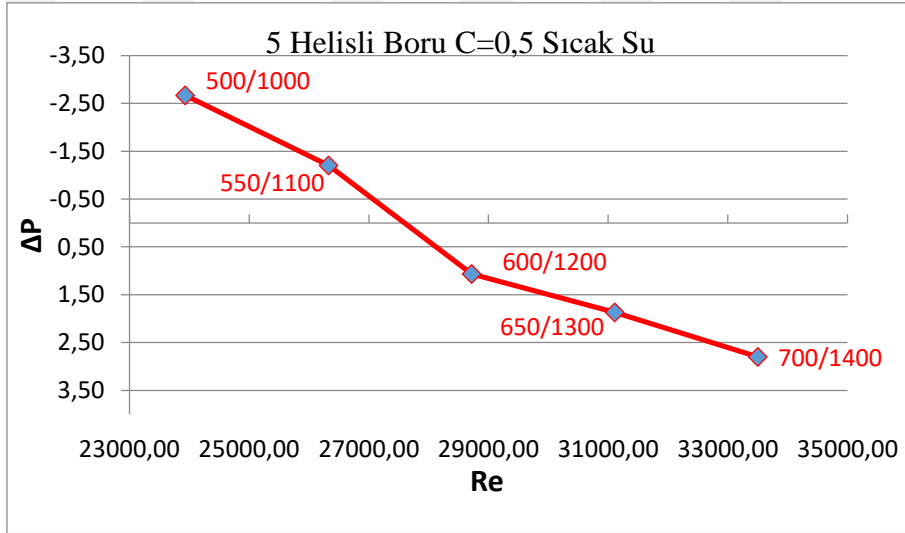
Şekil 4.72 : Dört helisli boruda soğuk su C=1 için Re- ΔP değişimi.



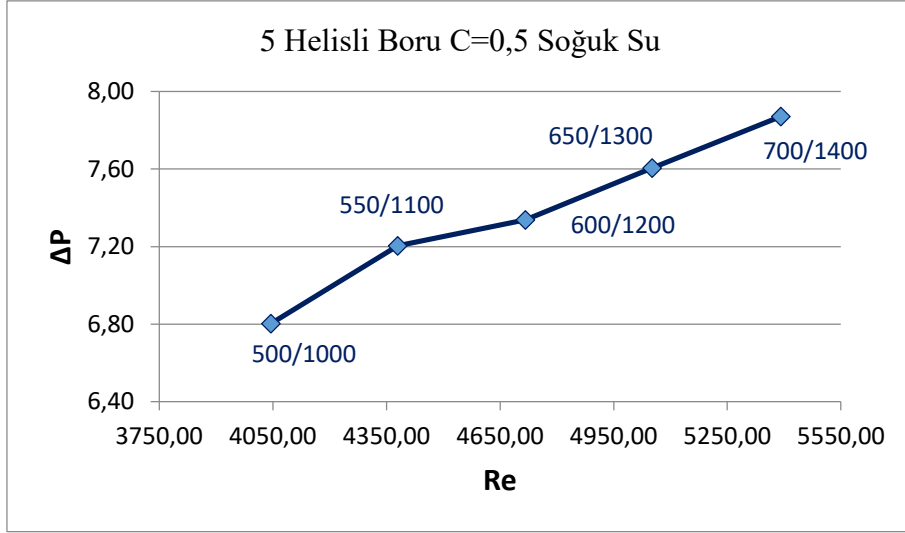
Şekil 4.73 : Beş helisli boruda sıcak su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



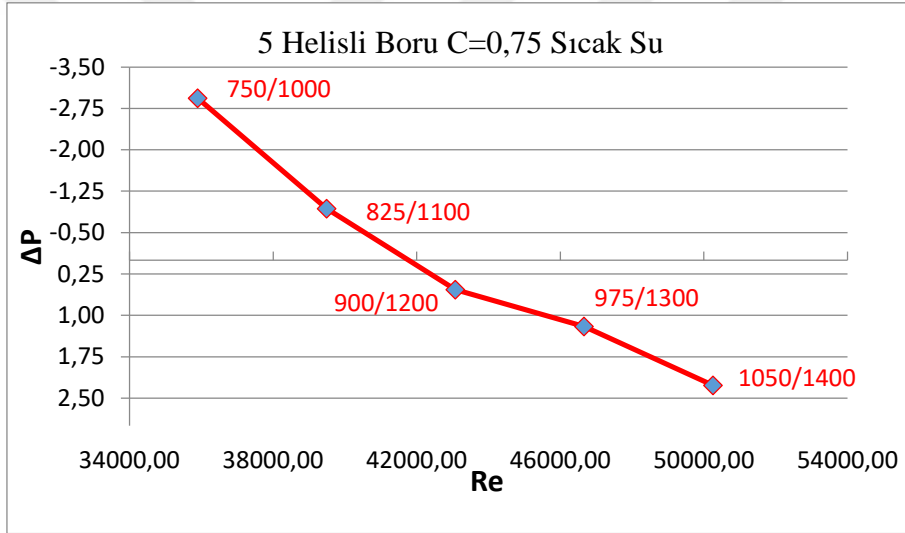
Şekil 4.74 : Beş helisli boruda soğuk su C=0,25 için Re- ΔP değişimi.



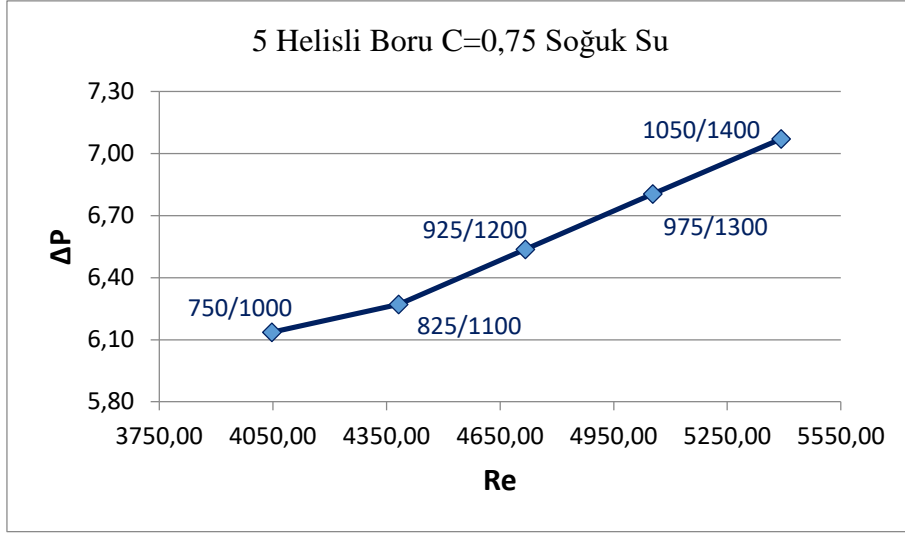
Şekil 4.75 : Beş helisli boruda sıcak su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



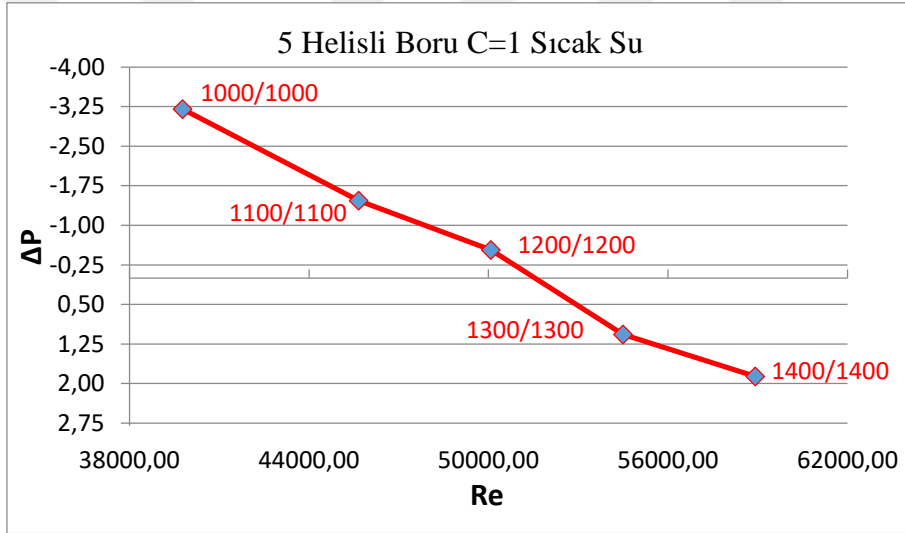
Şekil 4.76 : Beş helisli boruda soğuk su C=0,5 için Re- ΔP değişimi.



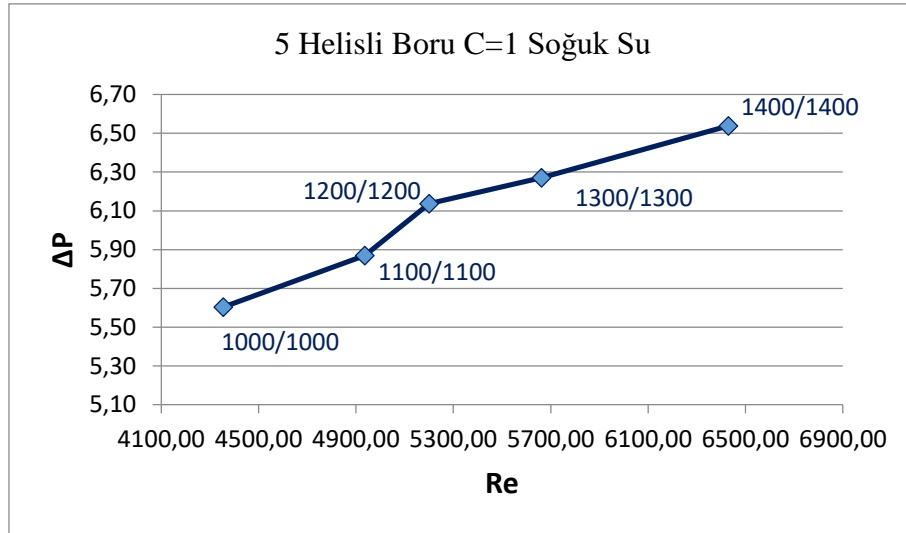
Şekil 4.77 : Beş helisli boruda sıcak su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



Şekil 4.78 : Beş helisli boruda soğuk su C=0,75 için Re- ΔP değişimi.



Şekil 4.79 : Beş helisli boruda sıcak su C=1 için Re- ΔP değişimi.



Şekil 4.80 : Beş helisli boruda soğuk su C=1 için Re-ΔP değişimi.

4.1.10 Deney Sonuçlarının Teorik Sonuçlarla Karşılaştırılması

Isı değiştiricilerinde ısı transferi miktarının hesaplanmasında sınır tabaka şartlarında, süreklilik denklemi, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin çözümlenmesi yapılmalıdır. Bu tip denklemler uygun sınır şartları belirlenerek çözülür. Literatürdeki Nusselt Sayısı deneysel ifadeleri aşağıda verilmiştir;

Gnielinski'ye göre;

Daha küçük Reynolds sayılarında geçerli olan bu bağıntı $0,5 < Pr < 2000$ ve $2300 < Re < 5 \times 10^6$ aralığında geçerlidir. Denklem (4.1)'de f ile gösterilen sürtünme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad (4.1)$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad (4.2)$$

Sieder ve Tate'ye göre;

Fiziksel özelliklerin değişimi göz önüne alınarak $0,7 < Pr < 16700$ aralığında $Re > 10000$ ve $L/D \geq 10$ için;

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14} \quad (4.3)$$

Burada μ_s yüzey sıcaklığında diğer fiziksel özellikleri ortalama akışkan sıcaklığında alınmalıdır. Bu bağıntı hem sabit yüzey sıcaklığı hem de sabit ısı akısı için kullanılabilir. Denklem (4.2) ve Denklem (4.3)'ün hesap sonuçlarında %25 kadar hata payı vardır. Daha karmaşık ama daha az hatalı bağıntı Petukhov tarafından oluşturulmuştur.

Petukhov'a göre;

$0,5 < Pr < 2000$ aralığında $10^4 < Re < 5 \times 10^6$ değerleri için geçerli olan bağıntıda f sürtünme katsayısını göstermekte olup Moody diyagramından bulunabileceği gibi pürüzsüz borular için Denklem (4.5)'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

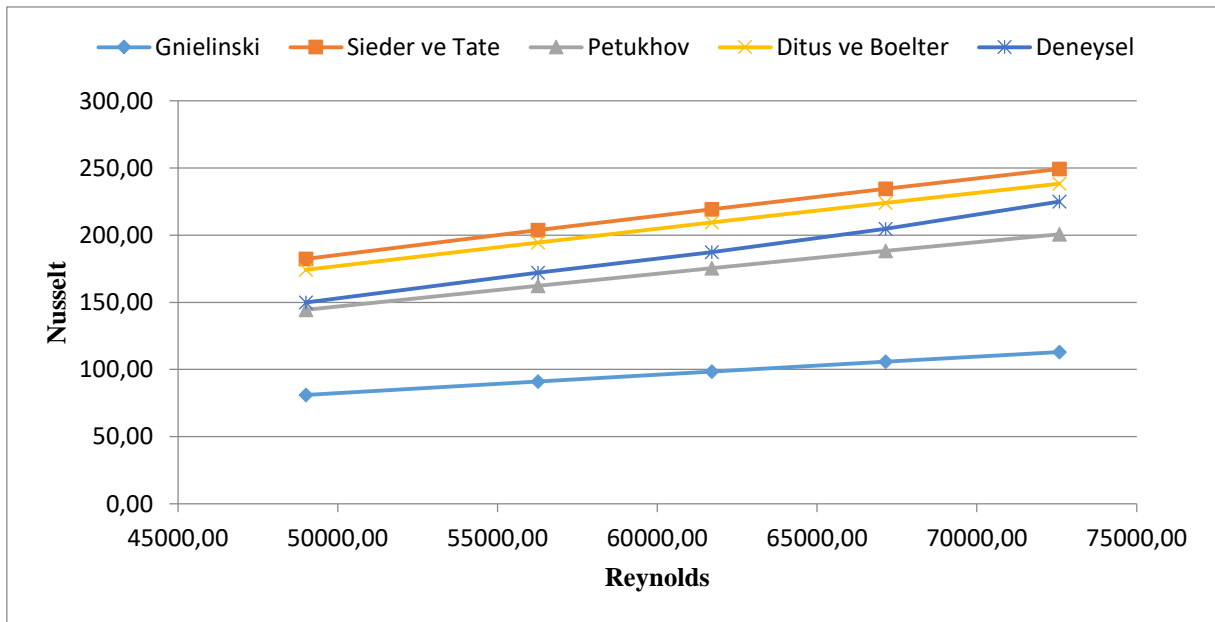
$$f = (1,82 \log_{10} Re - 1,64)^{-2} \quad (4.4)$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1,07 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad (4.5)$$

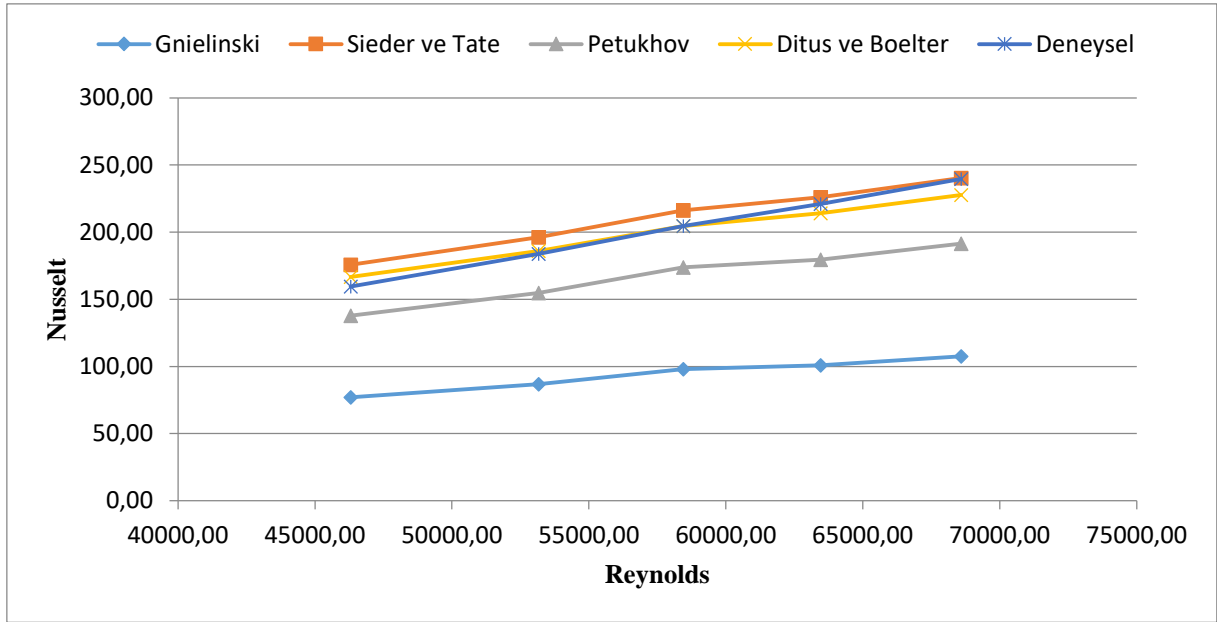
Ditus ve Boelter'e göre;

Ditus ve Boelter boru içinde tam gelişmiş türbülanslı akış halinde $Re > 10000$, $0,7 < Pr < 160$ aralığında $L/D \geq 10$ için Denklem (4.6)'da verilen bağıntıyı vermişlerdir. Boru içindeki akışkanın ısınması halinde $n=0,4$ soğuması halinde ise $n=0,3$ 'tür. Bu bağıntıda fiziksel özellikler ortalama akışkan sıcaklığındadır.

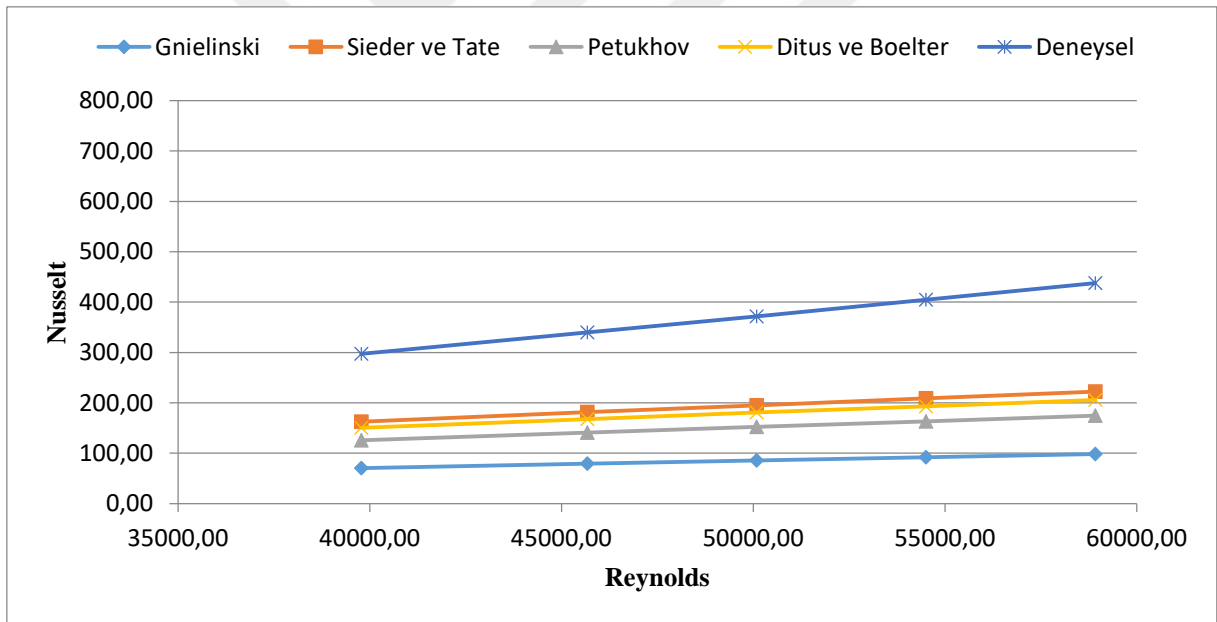
$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (4.6)$$



Şekil 4.81 : Düz boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.



Şekil 4.82 : 3 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.



Şekil 4.83 : 5 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi.

Şekil 4.81’ de düz boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi gösterilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının arasında yer alıp Petukhov ile Ditus ve Boelter’ in vermiş olduğu eşitliğe yakın seyir izlemiştir.

Şekil 4.82' de 3 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi gösterilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının arasında yer alıp Sieder ve Tate ile Ditus ve Boelter' in vermiş olduğu eşitliğe yakın seyir izlemiştir.

Şekil 4.83' de 5 helisli boru ile yapılan deneylerde elde edilen Reynolds sayılarının teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının değişimi gösterilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında deney sonuçlarına göre elde edilen Nusselt sayıları teorik olarak hesaplanan Nusselt sayılarının üzerinde yer alıp Sieder ve Tate ile Ditus ve Boelter' in vermiş olduğu eşitliğe paralel olarak seyir izlemiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu deney çalışması sonucunda elde edilen sonuçlara göre hazırlanan çizelgeler 4.bölümde verilmiştir. Bu sonuçların analiz edilmesiyle değerlendirilen sonuçlar ve sonuçlara yönelik öneriler maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

- Isı transferindeki artış miktarını en iyi sağlayan boru tipinin beş helisli iç bakır boru olduğu ancak diğer borulara oranla basınç düşümünde artışın daha fazla olduğu sonuçlardan gözlenmiştir. Beş helisli iç bakır borudaki ısı transferi artış miktarı düz iç bakır boruya oranla % 80,6 daha fazladır.
- Beş helisli iç bakır borudaki ısı transferi miktarı iki helisli iç bakır boruya göre % 80,1 daha fazladır.
- Beş helisli iç bakır borudaki ısı transferi miktarı üç helisli iç bakır boruya oranla % 68,04 daha fazladır.
- Beş helisli iç bakır borudaki ısı transferi miktarı dört helisli iç bakır boruya göre %44,09 daha fazladır.
- Yukarıda verilen değerler sıcak suyun hacimsel debisinin soğuk suyun hacimsel debisiyle aynı olduğu durum için geçerlidir.
- Kapasite oranı 0,5 seçildiğinde ise beş helisli iç bakır borunun ısı transferi miktarı düz iç bakır boruya göre %76; iki helisli iç bakır boruya göre %77; üç helisli iç bakır boruya göre %66,01 olup dört helisli iç bakır boruya göre % 41,4 daha fazladır.
- Helisel iç bakır boru tiplerinde meydana gelen basınç düşümleri helis sayısına bağlı olarak artmaktadır. Akışkanın helisel iç bakır boru içerisinde helislerden geçmesi sebebiyle yolunun uzaması ve akışkanın dönmesinin, giriş ve çıkış arasında basınç düşümü meydana gelmesine sebebiyet verdiği değerlendirilmiştir.
- Yapılan deney çalışmasında helisel iç bakır boruların helis sayısı arttıkça ısı transferi miktarı da artmaktadır. Isı transferi miktarı artarken bununla birlikte basınç düşümü değerlerinde de artış gözlenmektedir. Basınç düşümü açısından yeni sistemler yapılarak iyi sonuçlar alınabilir.
- Yapılacak ısı transferi artış miktarını yükseltmek için helisel iç bakır boruların helis sayısı ve helis adımları artırılabilir ve böylelikle daha fazla ısı transferi yüzey alanı elde edilerek daha düşük konstrüksiyon boyutlarında ısı transferi miktarı üst seviyelere çıkarılabilir.

- Yapılan deney çalışmasında dış boru dikey konumlandırılarak sistemde oluşması öngörülen basınç düşüm miktarının daha az seviyede olması düşünülmüştür. Dış borunun dikey konumlandırılmasıyla oluşan basınç düşüm miktarı literatürdeki dış borusu yatay konumlandırılmış ısı değıştiricilerle kıyaslandığında basınç düşüm miktarı açısından iyileştirme sağlamadığı görülmüştür, ancak dış borunun dikey konumlandırılarak karşıt akış oluşturulması ısı transfer miktarı açısından ciddi oranlarda iyileştirme sağlamıştır.



6. KAYNAKLAR

1. **Lozza ,G., Merlo,U.,** 2001,An Experimental Investigation of Heat Transfer and friction Losses of Interrupted and wavs Fins for Fin-And-Tube Heat Exchangers,International Journal of Refrigeration, 24,409-416
2. **Yakut,K., Şahin,B.,** 2004, The Effects of Vortex Characteristics on Performance of Coiled Wire Turbulators Used for Heat Transfer Augmentation, Applied Thermal Engineering,24,2427-2438
3. **Karabay, H., Ayhan, T.,** 1988, Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Daralan Genişleyen Konik Yüzeylerin Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt. 11, 39-43
4. **Chn, Chang, H. And Huang, W. H.,** 1991, Numerical prediction for laminar forced convection in paralel plate channels with traverse fin arrays., International Journal of Heat and Mass Transfer, 34: 2739-3749
5. **Hwang, J. J. And Liou M. T.,** 1995, Heat transfer and friction in a low-aspect-ratio rectangular channel with staggered perforated ribs on two opposite walls., Journal Of Heat Transfer, 117: 843-850
6. **Molki, M., Faghri, M. And Özbay O.,** 1996, A correlation for heat transfer and wake effect in the entrance region of an in line array of rectangular bloks simulating electronic components., Transaction of ASME, 117: 40-46
7. **Patankar, S. V., Liu, C. H. And Sparrow, E. M.,** 1997, Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area., Journal of Heat Transfer, 99: 180-186
8. **Tanda, G.,** 1997, Natural convection heat transfer in vertical channels with and without transverse square rins., International Journal Of Heat and Mass Transfer, 40: 2173-2185
9. **Li., H. And Kottke, V.,** 1998, Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell and tube heat exchangers for staggered tube arrangement. Int. J. Heat Mass Transfer. 41, 10, 1303-1311
10. **Çulcu, B.,** 1998, Yeni Bir Tip Türbülötörün Isı Transferine ve Basınç Kayıplarına Olan Etkilerinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ
11. **Kavak, E., Biçer, Y. ,Yıldız, C.,** 1998, Konsantrik ısı değiştirgeçlerinde üçgen sıralı dairesel delikli dönel akış üreticisinin ısı transferine ve basınç düşüşüne etkisi, Termodinamik Dergisi, sayı 67, 72-80
12. **Lozza,G.,Merlo,U.,** 2001,An Experimental Investigation of Heat Transfer and friction Losses of Interrupted and wavs Fins for Fin-And-Tube Heat Exchangers,International Journal of Refrigeration, 24,409-416

13. **Alam,I., Ghoshdastidar, P.S.,** 2002, A Study of Heat Transfer Effectiveness of Circular Tubes with Internal longitudinal Fins having Tapered Lateral Profiles, International Journal of Heat and Mass Transfer,45,1371-1376
14. **Yakut,K., Şahin,B.,** 2004, The Effects of Vortex Characteristics on Performance of Coiled Wire Turbulators Used for Heat Transfer Augmentation, Applied Thermal Engineering,24,2427-2438
15. **T. Koca,** 2007, Dönel Helisel İç Borularda Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ
16. **A. Rıza Dal,** (2007), Kombilerde Kullanılan Isı Değiştiricisi Farklı Kanatçık Geometrilerinin Kombi Verimine Etkisinin Sayısal Analizi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara
17. **Ş. Yıldız,** (2007), İç İçe Borulu Isı Değiştiricilerinde Yaylı Türbülötörlerin Isı Transferi Ve Basınç Kaybına Etkisi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ
18. **R. Behçet, C. İlkılıç, H. Aydın,** (2009), Isı Değiştiricisine Yerleştirilen Pervane Tipi Türbülötörün Isı Transferi Üzerindeki Etkisi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
19. **İ. Deveci,** (2009), U-Borulu Gövde-Boru Tipi Bir Isı Değiştirgecinin Deneysel Olarak incelenmesi, TOBB E.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara
20. **E. Baysal,** (2009), Eşmerkezli Borulu Isı Değiştiricilerinde Helisel Türbülötörlerin Etkilerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara
21. **S. Güneş,** (2009), Çeşitli İç Elemanlar Yerleştirilmiş Bir Boruda Isı Geçişinin İncelenmesi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kayseri
22. **O. GENCELİ,** 2010, Isı Değiştiricileri, Birsen Yayınevi

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aykut ZEDELİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.06.1990 / SEYHAN
E-posta : aykut.zedeli@euas.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 03.2014-09.2014, Makine Mühendisi, Türkey Tarım Makineleri, İZMİR
- 09.2014-12.2016, Makine Mühendisi, Hatsan Silah Sanayi, İZMİR
- 12.2016-07.2019, Makine Mühendisi, Elektrik Üretim A.Ş. , KAHRAMANMARAŞ
- 07.2019- , Makine Mühendisi, Elektrik Üretim A.Ş. , ANKARA