



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI

**Mak. Müh. Yavuz Top
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ**

Ocak, 2010

İSTANBUL

Bu alışma 12/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı Makine Mühendisliğı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Danışman Adı : Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı : Prof.Dr.Rıza GÜVEN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı : Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı : Doç.Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı : Y.Doç.Dr. Murad KUCUR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Murad KUCUR'e ve desteklerinden ötürü aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak, 2010

Yavuz TOP

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	3
2.1.1. Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama	3
2.1.1.1. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasın Olduğu Isı Değiştiricileri	3
2.1.1.2. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasın Olmadığı Isı Değiştiricileri	3
2.1.2. Isı Geçişi Yüzeyinin Isı Geçişi Hacmine Oranına Göre Sınıflama	3
2.1.3. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama	4
2.1.4. Isı Geçişi Mekanizmasına Göre Sınıflama	4
2.1.4.1. İki Tarafta Tek Fazlı Akış	4
2.1.4.2. Bir Tarafta Tek Fazlı Diğer Tarafta Çift Fazlı Akış	4
2.1.4.3. İki Tarafta da Çift Fazlı Akış	4
2.1.4.4. Taşınım ve Işınım Beraber Isı Geçişi	4
2.1.5. Konstrüksiyona Göre Sınıflama	5
2.1.5.1. Borulu Isı Değiştiricileri	5
2.1.5.2. Levhalı Isı Değiştiricileri	7
2.1.5.3. Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri	9
2.1.5.4. Rejeneratif Isı Değiştiricileri	10

2.1.5.5. Karıştırmalı Kaplarda Isı Değişimleri.....	11
2.1.6. Akıma Göre Sınıflama.....	11
2.1.6.1. Tek Geçişli Isı Değiştiricileri	11
2.1.6.2. Çok Geçişli Isı Değiştiricileri.....	12
2.2. GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİ.....	13
2.2.1. Gövde Borulu Isı Değiştirici Elemanları.....	20
2.2.1.1. Gövde.....	20
2.2.1.2. Borular veya Boru Demeti	21
2.2.1.3. Boru Aynası.....	22
2.2.1.4. Arka Kafa.....	23
2.2.1.5. Şaşırtma Levhaları.....	23
2.2.1.6. Bölücü Perdeler.....	24
2.2.1.7. Ön Kafa.....	24
2.2.1.8. Bağlantı Ağzları	24
2.2.1.9. Contalar.....	25
2.2.1.10. Flanşlar.....	25
2.2.1.11. Ayaklar.....	25
2.2.3. Tema Standartları	27
2.2.4. Gövde Borulu Isı Değiştirici Hesapları.....	27
2.2.3.1. Isıl Hesaplar.....	27
2.2.3.2. Basınç Kayıp Hesapları	32
2.2.3.3. Güç Kayıp Hesapları	34
2.2.3.4. Maliyet Hesapları.....	34
2.3. TEORİK ÇALIŞMALARDAN.....	35
3. MALZEME VE YÖNTEM	39
3.1. MICROSOFT VISUAL BASIC PROGRAMI.....	39
3.1.1. Program Arayüzü	42
3.1.2. Program Kodları	45
3.2. YÖNTEM	46
4. BULGULAR	51
4.1. OPTİMİZASYON UYGULAMASI	51
4.2.1. Isıl Hesaplar	52
4.2.2. Basınç Kayıp Hesapları	56
4.2.3. Güç Kayıp Hesapları	57

4.2.4. Maliyet Hesapları	57
4.2. OPTİMİZASYON UYGULAMASINDA ELDE EDİLEN BULGULAR	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	71
KAYNAKLAR	73
EKLER	75
EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları	75
EK B.1. Gövdede Boyutsuz Isıl Çarpanın Reynolds Sayısıyla Değişimi	100
EK B.2. Gövdede Boyutsuz Basınç Çarpanın Reynolds Sayısıyla Değişimi	101
EK B.3. Moody Diyagramı	102
EK C. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerde Sıcaklık Düzeltme Çarpanı	103
ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Gövde boru tipi ısı değiştiricisi.....	6
Şekil 1.2	: Üçgen ve kare düzenlemeler.....	7
Şekil 1.3	: Contalı levhalı ısı değiştiricileri.....	8
Şekil 1.4	: Borulu kanatlı ısı değiştiricileri	10
Şekil 1.5	: Paralel akımlı ısı değiştirici ve sıcaklık farkı	11
Şekil 1.6	: Ters akımlı ısı değiştirici ve sıcaklık farkı	12
Şekil 2.1	: Gövde borulu ısı değiştirici	14
Şekil 2.2	: Tipik gövde borulu ısı değiştirici konstrüksiyonları	17
Şekil 2.3	: Boruların aynaya eşkenar üçgen şeklinde yerleşimi	23
Şekil 2.4	: Boruların aynaya kare şeklinde yerleşimi	23
Şekil 3.1	: Visual basic karşılama ekranı	40
Şekil 3.2	: Visual basic çalışma arayüzü	41
Şekil 3.3	: Program arayüzü	43
Şekil 3.4	: Program veri giriş ekranı	43
Şekil 3.5	: Akışkan seçimi ve sıcaklık giriş ekranı.....	44
Şekil 3.6	: Hesaplama sonuçları ekranı.....	44
Şekil 3.7	: Q,A,L ve basınç düşümleri sonuçları ekranı	45
Şekil 3.8	: Visual basic kod yazım ekranı.....	45
Şekil 3.9	: Şaşırtma levhası kesmesi.....	47
Şekil 3.10	: Şaşırtma levhası aralığı	48
Şekil 3.11	: Boru demetinin üçgen ve kare düzenlemeleri	49
Şekil 4.1	: $V_b=0.6$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	59
Şekil 4.2	: $V_b=0.7$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	59
Şekil 4.3	: $V_b=0.8$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	60
Şekil 4.4	: $V_b=0.9$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	60
Şekil 4.5	: $V_b=1.0$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	61
Şekil 4.6	: $V_b=1.2$ m/s için levhalar arası aralık ve gövde basınç kaybı değişimi..	61
Şekil 4.7	: Farklı levha kesmelerinde alan ve levhalar arası mesafenin değişimi ..	62
Şekil 4.8	: %15 levha kesmesinde farklı boru içi hızlarda gövde basınç kaybı	63
Şekil 4.9	: %25 levha kesmesinde farklı boru içi hızlarda gövde basınç kaybı	64
Şekil 4.10	: %35 levha kesmesinde farklı boru içi hızlarda gövde basınç kaybı	64
Şekil 4.11	: %45 levha kesmesinde farklı boru içi hızlarda gövde basınç kaybı	65
Şekil 4.12	: Isı taşınım katsayısının boru diziliş ve levha kesmesine göre değişimi	66
Şekil 4.13	: Basınç düşümünün boru diziliş ve levha kesmesine göre değişimi	66
Şekil 4.14	: Basınç düşümünün boru diziliş ve levha aralığına göre değişimi	67
Şekil 4.15	: Isı taşınım katsayısının boru diziliş ve levha aralığına göre değişimi ..	68
Şekil 4.16	: Isı transfer yüzeyinin akış şekline levha aralığına göre değişimi.....	68
Şekil 4.17	: Isı transfer yüzeyinin boru içi hız ve levha kesme oranıyla değişimi...	69
Şekil 4.18	: Toplam maliyetin levha kesme oranı ve perdeler arası mesafeye göre değişimi.....	70

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Tema tarafından hazırlanan standart gövde tipleri ve kafalar	16
Tablo 2.2	: Gövde çapları ve bu çaplara karşılık gelen gövde et kalınlıkları	20
Tablo 2.3	: Isı değıştircilerde kullanılan kaynaklı çelik borular	21
Tablo 2.4	: Isı değıştircilerde kullanılan bakır ve bakır alaşımlı borular.....	22
Tablo 2.5	: Kafa içinde akışı bölen levha kalınlıkları.....	24
Tablo 2.6	: Isı değıştircilerinde kullanılan malzeme ve ilgili standartlar	25
Tablo 2.7	: Gövde borulu ısı değıştircisi gövde, perde, destek çubukları, levhaları ve bağlantı çubukları geometrik ölçüleri	26
Tablo 2.8	: Denklem 2.8'deki katsayılar.....	28
Tablo 2.9	: Bazı akışkanların kirlilik faktörleri.....	31
Tablo 2.10	: Çeşitli malzemelerin mutlak ortalama pürüzlülük yükseklikleri.....	33

SEMBOL LİSTESİ

A	: ısı değıştiricisi ısı transfer yüzeyi
As	: gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesidi
B	: malzeme birim fiyatı
C₁	: ekonomik dönüşüm faktörü katsayısı
c_p	: özgül ısı
d_e	: eşdeğer çap
d_i	: boru iç çapı
d_d	: boru dış çapı
D_i	: boru demeti iç çapı
D_d	: boru demeti dış çapı
D_g	: gövde çapı
e	: yıllık enflasyon
E	: kayıp basınç enerjisi
F	: düzeltme katsayısı
h	: ısı taşınım katsayısı
H	: elektrik birim fiyatı
i	: izafi faiz oranı
Jk	: kerne göre boyutsuz ısı çarpanı
Jf	: kerne göre boyutsuz basınç çarpanı
ks	: sürtünme katsayısı
K	: toplam ısı geçiş katsayısı
L	: boru uzunluğu
L_p	: perdeler arası mesafe
m	: akışkan debisi
n_t	: toplam boru sayısı
n₁	: bir geçişdeki boru sayısı
n_b	: boru geçiş sayısı
Nu	: nusselt sayısı
P	: boru eksenleri arası mesafe
Pr	: prandtl sayısı
Q	: ısı miktarı
Rf	: kirlilik faktörü
Re	: reynolds sayısı
s	: ısı değıştiricisi işletme süresi
r	: ısı değıştiricisi yıllık faydalanma süresi
t	: boru merkezleri arası mesafe
T	: sıcaklık
V	: hız
Y	: boru malzemesine göre sabit giderler
ΔT_m	: logaritmik sıcaklık farkı
ΔP	: basınç düşümü

ρ	: akışkan yoğunluğu
ε	: boyutsuz pürüzlülük
μ	: dinamik viskozite
λ	: ısı iletim katsayısı
η_m	: motor verimi
η_p	: pompa verimi
b	: boru
g	: gövde
c	: cidar

ÖZET

GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI

Mühendislik uygulamalarının en çok karşılaşılan işlemlerinden birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapıldığı cihazlara ısı değiştiricisi denilmekte olup uygulamada termik santraller, kimya endüstrileri, ısıtma, iklimlendirme, soğutma sistemleri gibi birçok yerde kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricileri tiplerinden birisi de gövde borulu ısı değiştiricileridir. Bu tip ısı değiştiricilerinde gövde tarafından bir akışkan ile borulardan diğer bir akışkan geçerek ısı değişimi işlemi sağlanır.

Bu çalışmanın amacı gövde borulu bir ısı değiştiricisinde bulunan şasırtma levhası kesmesi, şasırtma levhası aralığı, boru dizilişi, boru içi hız gibi parametrelerin ısı taşınım katsayısına ve basınç düşümüne etkisinin araştırılması ve böylelikle en uygun ısı değiştirici optimizasyonunun yapılmasıdır. Bu maksatla ısı değiştiricisinin boyutlandırılmasında etkili olan parametreler üzerinde incelemeler gerçekleştirilecektir.

Yukarıda amaçlanan hedefler doğrultusunda öncelikle ısı değiştiricilerinin tanımı, sınıflandırılmaları, çalışma şekilleri ve kullanım alanları belirtilmiştir. Bu kapsamda gövde borulu ısı değiştiricilerinin sanayi ve teknolojiye önemi vurgulanmıştır. Ayrıca, bu tip ısı değiştiricilerinin boyutlandırılmasına özgü parametrelerin belirlenmesindeki zorluklar vurgulanmıştır. Dolayısıyla optimum boyutların tespitindeki güçlükleri gidermeye yönelik, Visual basic bilgisayar programlama diliyle hem görsel hem de kullanım kolaylığı ile tüm seçeneklere ait parametreleri dikkate alarak çok hassas çözüm üreten bir program hazırlanmıştır. Amaç, bilgisayarda programlama yoluyla ısı değiştiricilerinin ısı hesaplarının yapılması ve ısı transfer yüzeyi ile boru adetlerinin belirlenmesi, böylelikle boyutlandırılması ve optimizasyonunun sağlanmasıdır.

Ayrıca hazırlanan programda, akışkanın fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak hassas bir şekilde hesaplanabileceği yazılımlar eklenmiştir. Bu özellikler gerekli olan yerlerde program tarafından kullanılmıştır. Su için sıcaklık değerlerine bağlı olarak yoğunluk, ısı iletim katsayısı, prandtl sayısı, özgül ısı ve dinamik viskozite gibi değerler bulunmuştur. Kullanılan tüm bağıntılar, ilgili literatürlerde verilen ampirik ifadelerdir.

Yapılan çalışma, bu alanda yapılacak deneysel ve teknolojik uygulamalar ile teorik çalışmalara çok önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gövde borulu ısı değiştiricileri, Şasırtma levhası kesmesi, Şasırtma levhası aralığı, Isı taşınım katsayısı, Basınç düşümü, Optimizasyon.

SUMMARY

SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS DESIGN

One of the most common processes of engineering applications is the heat exchange between two or more fluids at different temperatures. Devices where such heat exchange takes place are called “heat exchangers” and have many areas of application such as power plants, chemical industries, heating, ventilation and air conditioning systems. One of the most common type of heat exchanger is the shell and tube type. In these exchangers heat is transferred between two fluids; one flowing in the shell side and the other flowing in the tube side.

The scope of this work is to investigate the effects of some parameters such as baffle cut, baffle spacing, tube arrangement and inner tube velocities on overall heat transfer coefficient and on pressure drops and thus achieving the best heat exchanger optimisation. For this aim analyses are made on the parameters that are most effective on heat exchanger rating.

According to the above, the definition, classification, working principles and the areas of application of heat exchangers are studied first. In this context the importance of shell and tube heat exchangers for the industry and technology is specified. Furthermore the difficulties in defining some parameters used in rating of such heat exchangers are also specified. That’s why in order to eliminate the difficulties in designating the optimum dimensions a computer program in Visual Basic is user friendly designed taking into consideration the all parameters of choices and thus can make very sensitive calculations. The objective is to make heat transfer calculations, to obtain heat transfer surfaces and number of tubes thus rating and making optimizations by using computer programming.

Moreover by making some additions to the main program it is possible to make temperature dependant calculations of physical properties of the fluid. This speciality is utilized by the program where it is needed. Depending on the temperature values for water the data such as density, heat conduction coefficient, Prandtl number, specific heat and dynamic viscosity are obtained. All relations used herein are empirical expressions given in the literature.

This study is to provide important attributions to the experimental and technological applications and theoretical studies.

Key Words: Shell and Tube Heat Exchangers, Baffle cut, Baffle spacing, Heat transfer coefficient, Pressure drop, Optimization.

1. GİRİŞ

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi, birçok mühendislik uygulamasında önem taşır. Bu tür bir ısı geçişini gerçekleştirmek için kullanılan cihaz ısı değiştiricisi olarak adlandırılır ve hacim ısıtmasında, iklimlendirme tesislerinde, termik santrallerde, atık ısının geri kazanılmasında ve kimyasal işlemlerde uygulama alanı bulur. Kullanım yerlerinin özelliklerine göre muhtelif tipte ısı değiştiricileri imal edilir.

Isı değiştiricileri kimyasal ve proses endüstrilerinde buharlaştırma, yoğuşurma, sterilize etme, damıtma, pastörize etme, kısımlara ayırma ve kimyasal reaksiyon oranlarını kontrol etme gibi birçok işlemlerde kullanılmaktadır. Pratikte çok değişik tiplerde bulunabilen ısı değiştiricilerinin, kullanıldığı alana göre dizaynı ve optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Isı değiştiricilerinin optimizasyonunda ve dizaynında bir çok parametre etkilidir. Isı değiştiricinin konstrüksiyonu, ısı geçiş mekanizması, akışkanların akım durumları, ısı değiştiricilerinin tasarımında ve verimli bir şekilde kullanılmasında etkilidir.

Isı değiştiricisi uygulamalarında çok çeşitli konstrüksiyonlar kullanılmaktadır. Bunlar; borulu ısı değiştiricileri, levhalı ısı değiştiricileri, kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri, rejeneratif ısı değiştiricileridir. En yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricisi tiplerinden biride gövde borulu ısı değiştiricileridir. Bu tip ısı değiştiricilerinde gövde tarafından bir akışkan ile borulardan diğer bir akışkan geçerek ısı transferi işlemi sağlanır. Gövde borulu ısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanılmasının birçok sebebi vardır. Hacmine ve ağırlığına kıyasla oldukça büyük değerlerde ısı transferine olanak sağlarlar. Birçok özel uygulama için çok fazla değişik tipte çeşitleri vardır. Ayrıca contaları ve boruları çıkarılarak kolayca temizlenebilme imkanına sahiptirler.

Dünya nüfusunun hızla artması ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji tüketimi son yıllarda önemli derecede artış göstermektedir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı

olması ve enerjiye duyulan ihtiyacın sürekli artması, bilim adamlarını enerji konusunda verimlilik ve optimizasyonla ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Günümüzde üretilen enerjinin büyük bir kısmı sanayide, ticari ve evsel uygulamalı ısıtma ve soğutma sistemlerinde harcanmaktadır. Bu tip sistemlerde ısıнын transferi bir ısı değıştiricisi ve akışkanların hareketide sistemde kullanılan akışkanın özelliğine bağı olarak bir pompa veya kompresör vasıtasıyla sağlanır. Sistemin bir parçası olan ısı değıştiricisinin seçiminde mevcut sistemdeki basınç kayıplarının yanında, ısı değıştiricisinin kendi içerisindeki basınç kayıplarının tespiti ve buna göre ısı hesapların yapılması, enerji verimliliği açısından oldukça büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada özellikle gövde borulu eşanjörlerde hem boru içi hemde gövde tarafı basınç kayıplarını ve güç kayıplarını hesaplayabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Günün ekonomik parametrelerinin de hesaba katarak optimum ısı değıştiricisinin seçilmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Uygulamada çok fazla kullanım alanı bulunan gövde borulu ısı değıştiricilerinden optimum verim alabilmek için, imalatdan önce alternatif bilgisayar programlarından faydalanarak sistemin tasarımı ve simülasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla hazırlanan programla levha kesme oranı, perdeler arası mesafe, boru ve gövde akışkan hızları, boru düzenleme şekli (üçgen veya kare diziliş), akışkan kirlilik faktörleri, boru materyali, ısı geçiş şekli vb. parametreler dikkate alınmıştır. Isıl hesaplar ve basınç düşümü hesapları yapılarak, işletme giderleri ve kuruluş giderleri birlikte düşünülmüş ve optimum boyutlandırma yapılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada endüstride birçok uygulama alanı bulunan gövde borulu ısı değıştiricilerinin optimizasyonu yapılarak, boyutlandırılmasında etkili olan parametreler incelenecek ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik önemli katkılar sağlanacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Pratikte çok değişik tiplerde bulunabilen ısı değiştiricileri, ısı geçiş şekline, konstrüksiyon özelliklerine, akış düzenlemesine, akışkan sayısına veya faz değişimlerine göre, çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler (Genceli, 1983).

2.1.1 Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama

2.1.1.1 Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasın Olduğu Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değiştiricileri içinde farklı sıcaklıklardaki akışkanlar veya bir akışkan ile katı maddeler birbirleri ile doğrudan doğruya karıştırılır veya temasa geçirilir. Bu tip ısı değiştiricilerine soğutma kuleleri ve jet yoğulturucuları örnek verilebilir.

2.1.1.2. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasın Olmadığı Isı Değiştiricileri

Bu tiplerde ısı, önce sıcak akışkandan iki akışkanı ayıran bir yüzeye veya bir kütleye geçer. Daha sonra bu ısı bu yüzeyden veya kütleden soğuk akışkana iletilir. Bu ısı değiştiricileri doğrudan ısı geçişi olan ısı değiştiricileri, ısının depolandığı ısı değiştiricileri, akışkan yataklı ısı değiştiricileri olmak üzere üç grupta incelenebilir.

2.1.2. Isı Geçişi Yüzeyinin Isı Geçişi Hacmine Oranına Göre Sınıflama

Bu sınıflama kompakt olan ve kompakt olmayan olarak ikiye ayrılır. Yüzey alanı oranı (β) $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'den büyük ise kompakt, küçük olursa kompakt olmayan olarak sınıflandırılır.

$$\beta = \text{Isı geçişi yüzeyi (m}^2\text{)} / \text{Isı değiştirici hacmi (m}^3\text{)} \quad (1.1)$$

Kompakt ısı değiştiricileri ağırlıktan, hacimden kazanç sağladığı ve daha esnek bir projelendirmeye imkan sağladığı için kompakt olmayan ısı değiştiricilerine göre tercih edilirler. Buna karşılık akışkanlardan en az birinin gaz olması, yüzeyi kirleten, korozyif olan akışkanların, kullanılamaması ve akış esnasında oluşan aşırı yük kayıplarını yenebilmek için ilave vantilatör veya pompa gücüne gerek duyulması, kompakt ısı değiştiricilerinin belli başlı sakıncalarıdır.

2.1.3. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama

Pratikteki birçok uygulamada, ısı değiştiricilerinde genellikle iki akışkan arasındaki ısı geçişi göz önüne alınır. Buna karşılık az da olsa bazı kimyasal işlemlerde, soğutma tekniğinde, havanın ayrıştırılmasında, hidrojenin saflaştırılması ve sıvılaştırılması gibi olaylarda üç akışkanlı ısı değiştiricileri ile karşılaşılabilir.

Üç akışkanla çalışan ısı değiştiricilerini kullanan bir sisteme örnek olarak, evsel ve taşıt araçlarında küçük kapasiteli, ($NH_3 + su$) eriyikli absorpsiyonlu tesislerde, H_2 gibi üçüncü bir nötr gaz kullanılarak elde edilen ısı enerjisi ile çalışan pompasız soğutma marinası gösterilebilir.

Üç ve daha fazla akışkan ile çalışan ısı değiştiricilerinin teorik analizleri oldukça karmaşık olup tasarımları güçtür.

2.1.4. Isı Geçişi Mekanizmasına Göre Sınıflama

2.1.4.1. İki Tarafta da Tek Fazlı Akış

Isı değiştiricinin iki tarafındaki tek fazlı akışlardaki ısı taşınımı bir pompa veya vantilatör ile tahrik edilen zorlanmış ya da yoğunluk farkının doğurduğu doğal olarak olabilir. Oda ısıtıcıları, buhar kazanları ekonomizerleri, hava ısıtıcıları, taşıt radyatörleri ve hava soğutmalı ısı değiştiricileri önemli uygulamalardır.

2.1.4.2. Bir Tarafta Tek Fazlı, Diğer Tarafta Çift Fazlı Akış

Bu ısı değiştiricilerinin bir taraflarında zorlanmış veya tek fazlı akış varken, diğer taraflarında kaynamakta ve yoğunlaşmakta olan iki fazlı bir akış vardır. Bunlara örnek olarak termik santrallerin yoğunlaştırıcıları, soğutma sistemlerinin yoğunlaştırıcısı veya buharlaştırıcısı ile buhar kazanları gösterilebilir.

2.1.4.3. İki Tarafta da Çift Fazlı Akış

Bu tip ısı değiştiricilerinin bir taraflarında buharlaşma, diğer taraflarında yoğunlaşma işlemi vardır. Bunlar hidrokarbon distilasyonunda, yüksek basınçlı buhar kullanılarak alçak basınçlı buhar elde edilmesinde kullanılır. Bu tip ısı değiştiricilerine ait diğer iki örnek, su püskürtmeli yoğunlaştırıcılar ve su püskürtmeli buharlaştırıcılarıdır.

2.1.4.4. Taşınım ve Işınım Beraber Isı Geçişi

Özellikle bir tarafında yüksek sıcaklıkta gaz olan ısı değiştiricilerinde taşınım ve ışınlama ısı geçiş bir arada görülür. Yüksek sıcaklıkta çalışan dolgu maddeli

rejeneratörler, fosil yakacak yakan ısıtıcılar, buhar kazanları ve bunların kızdırıcıları ile piroliz ocakları bu tip ısı değiştiricilerine örnek olarak sayılabilir.

2.1.5. Konstrüksiyona Göre Sınıflama

Isı değiştiricileri genellikle konstrüksiyon özelliklerine göre karakterize edilir.

2.1.5.1. Borulu Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değiştiricileri eliptik, dikdörtgen ve genellikle de dairesel borulardan meydana gelmiştir. Akışkanlardan biri borunun içinde, diğer akışkan ise borunun dışında akar. Boruların çapları, sayıları, uzunlukları, merkezleri arası mesafe ve boru düzeni değişebilir. Bu tip ısı değiştiricileri yüksek basınçlarda rahatlıkla kullanılabilir ve dört grupta incelenir.

- Düz Borulu Isı Değiştiricileri

Pratikte çift borulu olanların yanı sıra, boru demetinden yapılmış çeşitlerine de rastlanır. Çift borulu olanlar, en basit ısı değiştirici tipidir. Sistem genellikle aynı eksenli iki borudan yapılır. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken, diğer akışkan dışarıdaki borudan akar. Akışkanların akış yönleri paralel veya ters akımlı olabilir. Isı değiştiricinin temizlenmesi kolay olduğundan, özellikle kirletici akışkanlar için uygun bir konstrüksiyondur. Boru çaplarının küçük olması durumunda, çok yüksek basınçlara çıkılabilir. Yatırım masraflarının artması nedeniyle, ısıtma yüzeyi 20m^2 değerinden daha büyük yapılamaz.

- Spiral Borulu Isı Değiştiricileri

Bir veya daha fazla borudan yapılmış spiral ile bu spiralin dışındaki bir depodan meydana gelir. Soğutma sistemlerinde kullanılan yan eksenel kondenser ve yan eksenel evaporatör olarak da tasarlanabilir. Spiral boruların ısı transfer katsayısı, düz borulardakine göre daha yüksektir. Isıl genleşmelerin oluşturduğu gerilme problemleri bu ısı değiştiricilerinde yoktur.

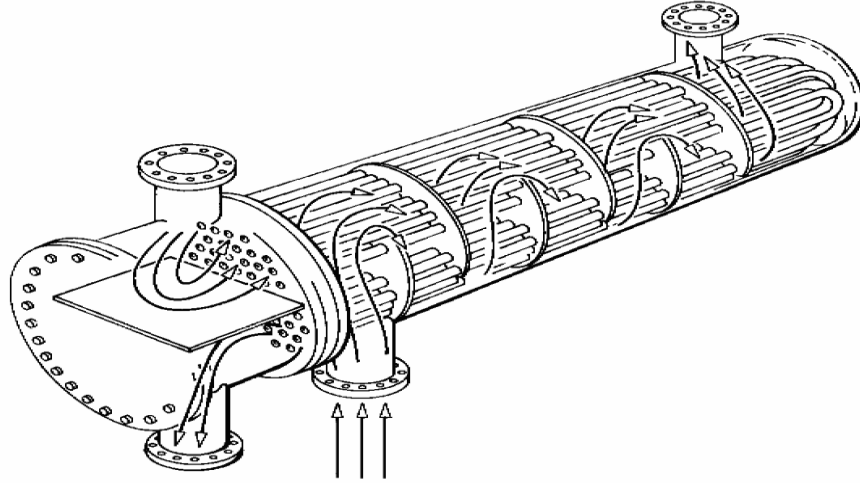
- Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricisi, silindirik bir gövde ile bunun içindeki birbirine paralel borulardan meydana gelir. Akışkanlardan biri boruların içinden, diğer akışkan ise gövde içinden akar. Ana elemanları borular (veya) boru demeti, gövde, boruların tespit edildiği ön ve arka aynalar ile gövde içindeki akışı yönlendiren perdelerdir. İşletme kolaylıkları ile geniş bir çalışma basıncı aralığı sebebiyle kullanım sahası yaygındır. Petrol

rafinelerinde, termik santrallerde, kimya endüstrisinde, nükleer santrallerde, güç santrallerinde ön ısıtıcı olarak kullanılır.

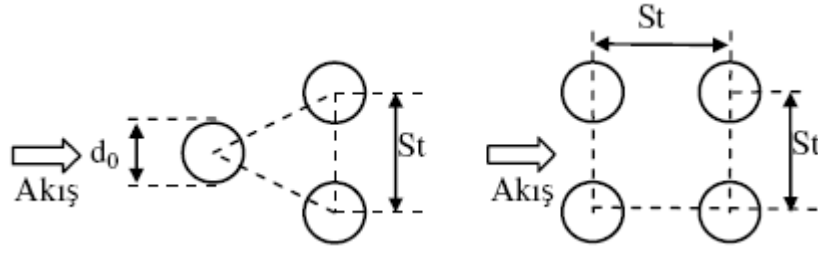
Gövde borulu ısı değiştiricilerinde kullanılan boru çapları 10mm ile 57mm arasında değişir. Genellikle daha kompakt ve ucuz ısı değiştirici projelendirilmesi sağladığından, küçük boru çapları (16mm ile 25mm) tercih edilir. Kirli akışkanların kullanılması gerektiği durumlarda ise temizleme kolaylığı sağladığından büyük çaplı borular kullanılır. Boru et kalınlığı, boru içindeki akışkanın basıncına ve korozyon payı düşünülerek seçilir. Isı değiştiricilerinde kullanılan çelik ve diğer borular için standart boru dış çapları ve et kalınlıkları TS1996'dan seçilerek kullanılır.

Gövde borulu ısı değiştiricilerinde kullanılan boru boyları, piyasada satılan boru boylarının kesirleri olacak şekilde seçilmesi, imalatda fire vermemesi açısından uygundur. Gövde çapının 5-10 katı olarak boru boylarının seçilmesi, pratik açıdan uygun sonuçlar vermektedir.



Şekil 1.1: Gövde boru tipi ısı değiştiricisi

Gövde borulu ısı değiştiricilerde boru demeti eşkenar üçgen, kare veya döndürülmüş üçgen ve kare şeklinde yapılabilir. Üçgen ve döndürülmüş kare düzenlemeleri, kare düzenlemeye göre daha büyük ısı geçiş katsayıları vermesine rağmen, bunlardaki basınç kayıpları biraz daha büyüktür. Her tip düzenlemede boru eksenleri arasındaki uzaklığın, boru dış çapının 1.25 katı seçilmesi önerilir. Bu çalışmada göz önüne alınan üçgen ve kare düzenlemeler Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2: Üçgen ve kare düzenlemeler

- Özel Gövde-Borulu Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricileri konstrüktif olarak klasik gövde borulu ısı değiştiricilere benzemesine rağmen, özel kullanımlar için imal edilirler. Korumalı gövde-borulu ve grafit gövdeli ısı değiştirici gibi modelleri vardır.

2.1.5.2. Levhalı Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değiştiricilerinde akış, oluklu kanatlar arasına sıkıştırılmış olan yassı ince metal levhalarla ayrılmıştır. Bu yüzey düz veya dalgalı olabilir. Borulu tip gibi yüksek basınç ve sıcaklıkta kullanılamazlar. İnce film, contalı levhalı, spiral borulu, lamelli ısı değiştiricileri olmak üzere dört grupta incelenir.

- İnce Film Isı Değiştiricileri

Çok yüksek viskoziteli ve sıcaklığa duyarlı maddelerin ısıtılmasında ve soğutulmasında ince film ısı değiştiricileri önemli uygulama alanı bulur. Değiştirici içinde sıcağa duyarlı maddelerin kısa kalış süresi ve büyük ısı taşınım katsayılarına sahip olmaları nedeniyle, pratikte çoğu zaman bu ısı değiştiricileri buharlaştırıcı olarak kullanılır.

- Contalı Levhalı Isı Değiştiricileri

Akışkanları ayıran oluklu ya da dalgalı şeklindeki ince levhalardan bir paket yapılarak elde edilir. Metal levhalar arasında contalar vardır. İstenildiği kadar levha ilave edilerek yüzey artırılabilir. Levhalar arası boşluklardan akışkanlar akar. Isı transferi bütün levha yüzeyi boyunca olur. Kolaylıkla temizlenebildikleri için besin, içki, süt, makyaj ve kâğıt endüstrilerinde geniş olarak kullanılırlar. Levha kalınlığı genellikle 0.5-1.2 mm, levhalar arasındaki boşluk ise 5-6 mm değerindedir. Levha malzemesi olarak karbonlu çelik, alüminyum, bakır ve bakır alaşımları, paslanmaz çelik, nikel ve molibden alaşımları kullanılabilir.



Şekil 1.3: Contalı levhalı ısı değıştircileri

- Spiral Borulu Isı Değıştircileri

İki uzun paralel levhanın spiral şeklinde sarılması ile elde edilir; İki levha arasına konulan sapmalar ile düzgün bir boşluk sağlanabilir. Levhaların iki tarafı contalı bir kapak ile kapatılır. Akışkanlar birbirine ters veya paralel akacak şekilde düzenlenebilir. Temizlenmesi kolay olduğundan bu ısı değıştircisi tortu yapabilecek akışkanlar için çok uygundur. Bu yüzden özellikle kâğıt endüstrisinde, sülfat ve sülfite fabrikalarında bu ısı değıştircisi tercih edilir. Oldukça kompakt olmalarının yanında özel imalatları nedeniyle pahalıdırlar. Maksimum yüzey 150 m^2 , maksimum işletme basıncı 10 bar ve maksimum işletme sıcaklığı 500°C ile sınırlıdır.

- Lamelli Isı Değıştircileri

Lamelli ısı değıştircisi gövde içine yassılaştırılmış borulardan yapılmış bir demetin yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu borulara lamel adı verilir ve genellikle nokta veya elektrik dikiş kaynağı ile birbirine tutturulur. Gövde içinde ayrıca perdeler bulunmaz. Akışkanlar birbirine göre ters veya paralel akabilir. Hidrolik çap küçük olduğundan büyük ısı taşınım katsayıları elde edilebilir. Teflon conta kullanıldığında maksimum 200°C , asbest conta kullanıldığında 500°C sıcaklık değerlerine ve 20 bar basınca kadar çıkılabilir. Bu ısı değıştircileri kâğıt, besin ve kimya endüstrilerinde uygulama alanı bulmaktadır.

2.1.5.3. Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri

Ana ısı transfer yüzeyinde (boru veya levha) kanatların veya diğer ilave çıkıntıların ısı transfer yüzeyini artırmak amacıyla kullanıldığı ısı değiştiricileridir. Gaz tarafındaki ısı transfer katsayısı, sıvı tarafındakinden daha düşük olduğu için kanatlı ısı transfer yüzeyleri genelde gaz tarafında kullanılırlar. İki grupta incelenebilirler.

- Levhalı Kanatlı Isı Değiştiricileri

Genelde düşük sıcaklık tesislerinde ve akışkanlar arası sıcaklık farkının (1°C 'den 5°C 'ye kadar) düşük olduğu yerlerde kullanılırlar. Sahip oldukları akışa göre çeşitli şekillerde (paralel, ters veya çapraz akış) düzenlenebilirler. Birim hacmin ısı transfer alanına olan oranı $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ civarında olduğundan oldukça kompakt yapıya sahip oldukları söylenebilir. Levhalar boyunca ve levhadan levhaya iyi bir akış dağılımı sağlamak için bu ısı değiştiricilerinin girişine özel sistemler konur. Levhalar $0.5\text{-}1.0 \text{ mm}$ ve kanatlar $0.15\text{-}0.75 \text{ mm}$ kalınlığındadır. Kanatlar, paralel levhalar halindeki yüzeyler arasına mekanik olarak preslenerek, lehimlenerek veya kaynak ile tutturulur. Kanat tipleri düz kanat, düz-delikli kanat, testere dişli kanat, dalgalı kanattır. Levhalı-kanatlı ısı değiştiricilerinin uygulama yeri bulunduğu alanlar gaz ve buhar türbinleri, otomobil, kamyon, uçak motorları, soğutma sistemleri, ısı pompaları, soğutma makineleri, klima tesisleri, elektronik devrelerin soğutulması, nükleer santraller ve kimya endüstrisidir. Dört grupta incelenir.

- Borulu Kanatlı Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricileri bir tarafında gaz, diğer tarafında sıvı bulunduğu durumlarda kullanılırlar. Gaz tarafındaki ısı transfer katsayısı, sıvı tarafındakinden daha düşük olduğu için genellikle kanatlar gaz tarafında kullanılırlar. Borulu-kanatlı ısı değiştiricisi, kanatların boru dizilerinin dış tarafına sabitleştirildiği bir yapıdır. Bu kanatlar boru eksenine dik, eksene paralel, çaprazlama veya helisel şekillerde olabilir. Boru eksenine paralel olarak yerleştirilen kanatlar çoğunlukla çift borulu veya perdesiz gövde borulu ısı değiştiricilerinde kullanılırlar. Boru içinde kanatların kullanıldığı yerler soğutma sistemlerindeki kondenserler ve evaporatörlerdir. Kanatlar boru cidarına döküm, kaynak, lehim veya sıkı geçme tekniği ile tutturulabilirler. Bu tiplerin uygulama yerleri olarak güç santralleri, pervaneli soğutma grupları, taşıtlar, klima cihazları ve soğutma tesisatlarıdır.



Şekil 1.4: Borulu kanatlı ısı değıştircileri

2.1.5.4. *Rejeneratif Isı Değıştircileri*

Bu tip ısı değıştircilerinde ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda depo edilir, daha sonra sıcak akışkana verilir. Isı geçişı dolaylı olur. Isının depolandığı alanlara matris adı verilir. Kompaktlık değeri oldukça yüksek olup ilk yatırım masrafları azdır. Buna karşılık sadece gaz akışkanlarda kullanılabilirler ve akışkanlar arasında belirli bir miktar kaçak her zaman vardır.

- Sabit Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Bu ısı değıştircisinde gaz akış yönü sabit dolgu maddesine ve sabit dolgu maddesinden başka yöne saptırılır. Sürekli bir çalışma sağlamak için aynı tipten en az iki rejeneratöre gerek vardır. Birçok yerde üç veya dört rejeneratör aynı anda kullanılır. Yüksek fırınlarda, cam fabrikalarında ve düşük sıcaklık işletmelerinde havanın ayrılmasında kullanılırlar.

- Döner Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Bunlar disk ve silindir (kasnak) tipi olmak üzere iki grupta toplanabilir. Disk tipi rejeneratörlerde, ısı transfer yüzeyi disk şeklindedir ve akış eksenel yöndedir. Kasnak tipinde ise dolgu maddesi içi boş silindir şeklinde olup, akış radyal yöndedir. Gaz türbinleri ve taşıtlarda kullanılabilirler.

- Paket Yataklı Maddeli Rejeneratörler

Paket yataklı rejeneratörlerin konstrüksiyonları çok basit olmalarına rağmen basınç kayıpları fazladır.

2.1.5.5. Karıştırılmalı Kaplarda Isı Değişimleri

Karıştırılmalı kaplar, özellikle aralıklı çalışan ısıtma ve soğutma işlemlerinde çok kullanılan cihazlardır. Karıştırıcı kaplar içindeki akışkanlar, ya dış yüzeyinden ceket tipi ya da kap içine yerleştirilen serpantinler yardımıyla ısıtılabilir veya soğutabilirler.

2.1.6. Akıma Göre Sınıflama

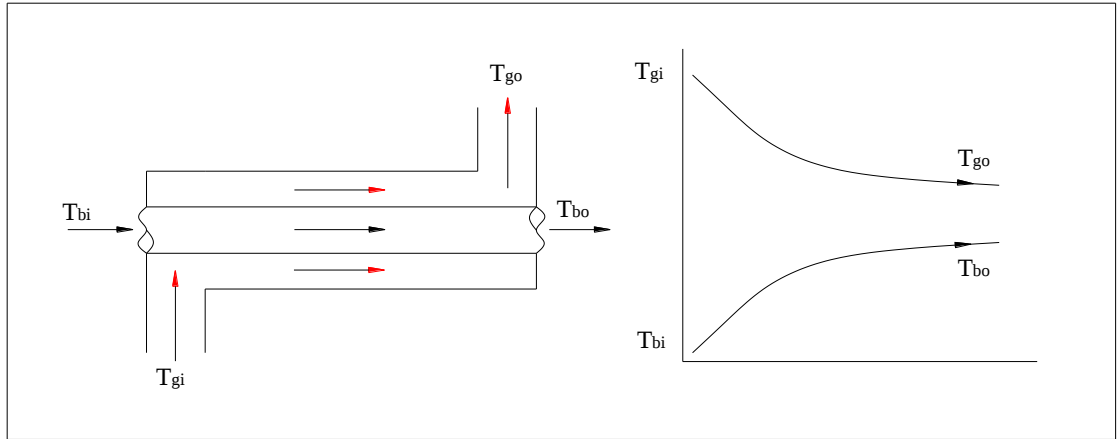
Isı değiştiricilerinde akışkanın değişik şekillerde düzenlenmesi ortalama logaritmik sıcaklık farkına, etkenliğe ve ısıl gerilmelere çok etki eder. Akış şekline göre sınıflandırma tek geçişli ve çok geçişli olarak iki grupta toplanabilir. Tek geçişli halde iki akışkan ısı değiştiricisinde birbiri ile yalnızca bir kere geçişirken, çok geçişli halde birbirleri ile birkaç kere geçişir.

2.1.6.1. Tek Geçişli Isı Değiştiricileri

Tek geçişli halde iki akışkan ısı değiştiricisi boyunca birbirleri ile yalnız bir kere geçişir. Üç başlıkta incelenebilir.

- Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri

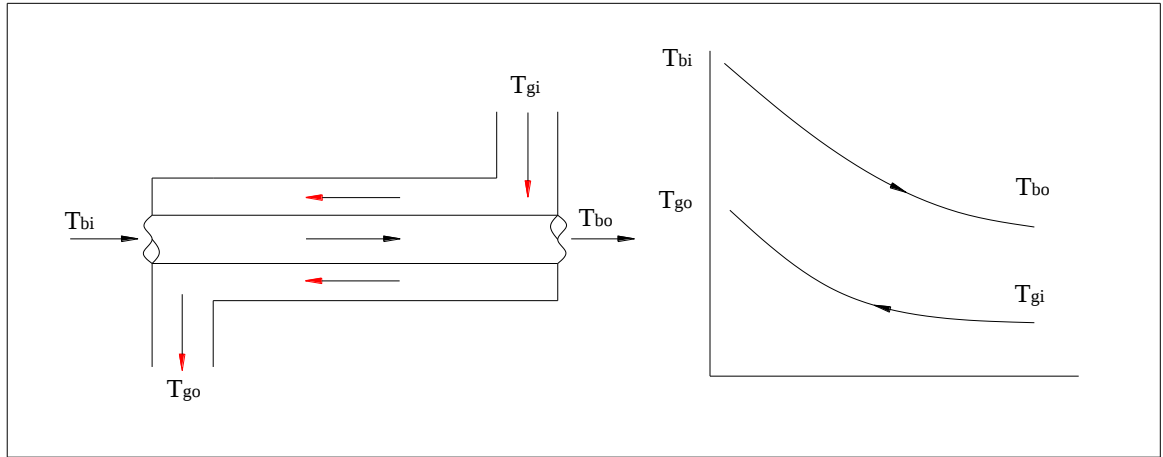
Bu akış şeklinde akışkanlar ısı değiştiricisinin bir ucundan girip aynı doğrultuda akarlar ve ısı değiştiricisinin diğer ucundan çıkarlar (Şekil 1.5). Genellikle birinci akışkan küçük çaplı borular içinden akarken, ikinci akışkan iki boru arasındaki dairesel halkadan akar. Isıl gerilmelerin istenmediği durumlarda tercih edilir.



Şekil 1.5: Paralel akımlı ısı değiştirici ve sıcaklık dağılımı

- Ters Akımlı Isı Değiştiricileri

Bu tipte akışkanlar ısı değiştiricisinde birbirlerine göre ters olarak akar (Şekil 1.13). Ters akışlı ısı değiştiricilerinde ortalama logaritmik sıcaklık farkı, diğer bütün akış düzenlemelerinden daha büyüktür. Diğer ısı değiştiricilerine göre daha kompakt bir yapıya sahip olmalarına karşın, pratikteki imalat güçlükleri ve ısıl gerilmeler nedeniyle birçok uygulamada ters akışlı ısı değiştiricileri tercih edilmeyebilir.



Şekil 1.6: Ters akımlı ısı değiştirici ve sıcaklık dağılımı

- Çapraz Akımlı Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricisinde akışkanlardan biri ısı transferi yüzeyi boyunca ve diğer akışkanın akış yoluna dik olacak şekilde akar. Konstrüksiyona göre, kanatlar veya şaşırtma levhaları yardımıyla, akışkanlar ısı değiştiricisi içinde ilerlerken kendisi ile karışabilir veya karışmayabilir. Isı geçişi bakımından çapraz akışlı ısı değiştiricilerinin etkinliği paralel akışlı ve ters akışlı ısı değiştiricilerinin etkinliklerinin arasındadır. İmalat kolaylığı nedeniyle pratikte kompakt ısı değiştiricilerinin büyük çoğunluğu çapraz akışlı olarak yapılır.

2.1.6.2. Çok Geçişli Isı Değiştiricileri

Isı değiştiricisi içinde değişik şekillerde ard arda seri halde düzenlenerek çok geçişli tipler elde edilebilir. Çok geçişli ısı değiştiricilerinin en büyük üstünlüğü ısı değiştiricisi etkinliğini artırmaktır. Çok geçişli ısı değiştiricileri kanatlı yüzeylerde, gövde-boru tiplerinde ve levhalı tiplerde değişik düzenlemelerde imal edilebilir.

- Çapraz Ters ve Çapraz Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri

Çapraz ters, genellikle kanatlı yüzeyli ısı değiştiricilerinde tercih edilir. İki veya daha fazla sayıda çapraz geçiş arka arkaya ters akışlı olarak seri halde bağlanır. Isı değiştiricisi etkenliği, her bir geçişteki akışkanların karışıp karışmadığına ve geçiş sayısına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda sıcaklığın fazla olduğu geçişlerde sığağa dayanıklı pahalı malzeme, diğer yerlerde ise ucuz malzeme kullanılarak imalat masrafları azaltılabilir.

Çapraz paralel, bir önceki düzenlemeye çok benzer, sadece akışkanların birbirlerine göre genel akışı paraleldir. Geçiş sayısı artırılarak, sistemin etkenliği tek geçişli paralel akışlı ısı değiştiricisi etkenliğine yaklaştırılabilir.

- Çok Geçişli Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

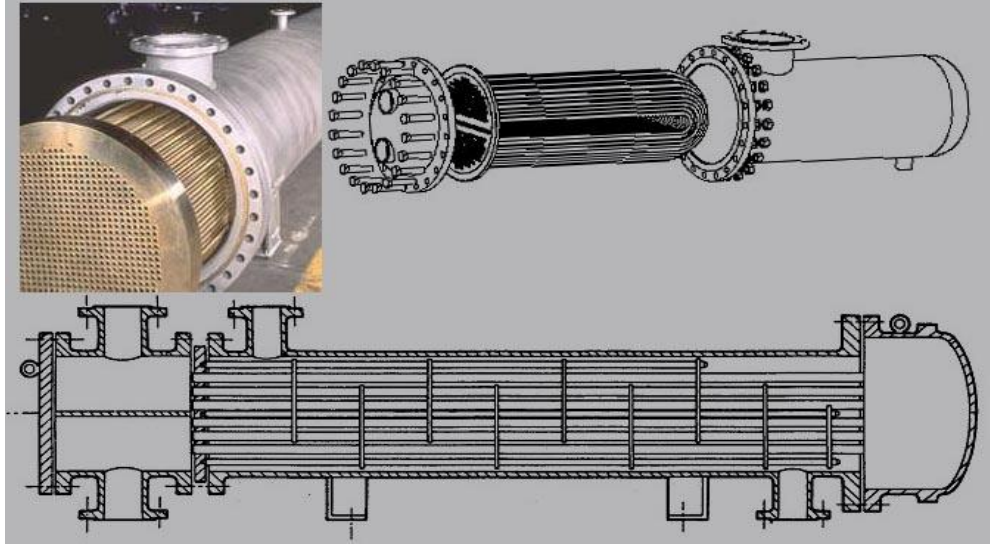
Bu düzenleme, gövde borulu ısı değiştiricilerinde en çok kullanılan tiptir. Sistemde borular bir uçlarından tespit edildiğinden ısı gerilmeler çok azdır. Gövde tarafındaki akışkan karıştığından, herhangi bir kesitteki gövde akışkanının sıcaklığı sabittir. Bir gövde içinde tek sayıda boru geçiş düzenlemelerinin etkenliği, çift sayıdaki düzenlemelere karşı biraz daha iyi olmasına rağmen, imalat güçlükleri ve ısı gerilmeler nedeniyle fazla tercih edilmez.

- n Adet Paralel Levha Geçişli Isı Değiştiricileri

Levha tipi ısı değiştiricilerinde, levhaların çeşitli şekillerde düzenlenmesi ile çok geçişli akışlar elde edilebilir. Levha tipi ısı değiştiricilerinde conta yeri değiştirilerek bu düzenlemeler kolayca elde edilebilir.

2.2. GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİ

Gövde borulu ısı değiştiriciler endüstride en çok kullanılan tip olup, karakteristiklerinin büyük bir kısmı iyi bilinmektedir. İşletme kolaylıkları ve geniş bir çalışma basıncı aralığı sebebiyle kullanım sahaları yaygındır. Kovan veya manto denilen dış ana gövdenin içine boru demetini teşkil eden çok sayıdaki küçük çaplı borular belirli geometride dizilmişlerdir.



Şekil 2.1: Gövde borulu ısı değiştirici

Isıtma yüzeyi, birbirinden belirli aralıklarda yerleştirilmiş çok sayıda borudan müteşekkildir (Şekil 2.1). Akışkanlardan biri borulardan, diğeri ise boruların etrafında akar. Boruların uçları iki kapak saçındaki deliklere bağlanmış ve kapak saçları kıvrılmış veya kaynaklanmıştır. Borular dış taraflarından genellikle ara perdeler vasıtasıyla yerlerinde tutulur. Sacın çevresi her iki uçtan gövdeye kaynatılmıştır. Uç kapakları gövdeye ön ve arkadan flanşla tespit edilmiştir. Bu tipler hemen hemen her boyutta imal edilebilirler. Gezer boru sacı, gezer baş flanşı ile bu flanşın destek bileziği arasına sıkıştırılmıştır. Gövde flanşlarını açıp kafa flanşlarını çıkardıktan sonra boru demeti dışarıya alınabilir.

Normal gövde boru tipi ısı değiştirgecinin çok sayıda imalatı kolaylıkla yapılabilir. Çünkü her zaman bulunabilen standart malzemelerden yapılır ve imalat tekniği gayet iyi bilinmektedir. Bundan dolayı belirli bir uygulamada kullanılan diğeri ısı değiştirgeci tiplerine nazaran daha büyük ve ağır olmalarına rağmen genellikle karbonlu çelik ve bakır alaşımlarından ucuz elde edilirler. Ayrıca yüksek işletme basıncına göre tasarımları uygundur.

Tamir ve bakımı, diğeri ısı değiştirgeci tiplerine nazaran oldukça kolaydır. Borulardan biri çalışmaz hale geldiğinde kör tapa ile iptal edilebilir veya değiştirilir. Bu tip ısı değiştirgeçlerinin boru kısmı elle temizlenebilir, çok büyük olmamak kaydıyla, boru demeti dışarıya alınabilen ısı değiştirgeçleri de gövde tarafından temizlenebilir. Bununla birlikte bu işlemler nispeten zaman alır ve bilhassa tesisin durma süresi maliyeti

bakımından ucuz bir işlem değildir. Eğer borulardan biri tamamen tıkanmışsa boru veya gövde tarafından kimyasal metotlarla temizleme pek uygun bir yol değildir.

Borulu ısı değiştiricisi imalatçıları birliği TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association), bu tip ısı değiştiricilerinin konstrüksiyonları için bir standardizasyon yapmış olup, bunlara ait başlıca özellikler Tablo 2.1' de verilmiştir. Şekil 2.2'de ise bu standarda göre üretilmiş ve pratikte çok kullanılan bazı tipik gövde, boru ve kafa düzenlemeleri görülmektedir. Bu düzenlemelerde özellikle sabit boru demetli ısı değiştiricileri, basınç ve sıcaklık farkından dolayı meydana gelebilecek uzamaları karşılayacak biçimde yapılmalıdır. Bu tip ısı değiştiricilerinin gövde ve borularında kullanılan akışkanlar için önerilen standart anma basınçları genel olarak 2.5, 6, 10, 16, 25, 40 bar değerlerindedir.

E gövde tipi ısı değiştiricileri basit ve ucuz konstrüksiyonlardır. Bu tipte akışkan gövdeye bir yandan girip, diğer yandan çıkmaktadır. Borular gövde içinde bir veya birkaç şaşırtma elemanı ile desteklenebilir. E tipi gövde genellikle tek fazlı akışlar için tercih edilir. Isı değiştiricinin etkenliğini daha da artırabilmek için gövde içine konulan boyuna şaşırtma levhası yardımıyla elde edilen F tipi gövdeler kullanılabilir.

Gövde içinde akışı bölmek için, değişik uygulama yerlerinde G,H ve J tipleri kullanılır. G tipinde, gövde içindeki yatay bir şaşırtma elemanı akışı ikiye ayırır. Akışkanın gövdeye giriş ve çıkış ağzları, gövde ortasında birbirlerine göre 180° olarak yerleştirilir. G tipi ile E tipinin gövde içindeki basınç kayıpları aynıdır. Fakat G tipi gövde, E tipinden daha büyük bir ortalama logaritmik sıcaklık farkı sağladığından ısı değiştirici etkenliği daha iyidir. G tipi gövdeler çoğunlukla tek fazlı akışlarda kullanılabildiği gibi, yatay buharlaştırıcı olarak da kullanılabilir. H tipi gövdeler G tipi gövdelere çok benzerler, sadece gövdeye giriş ağzları ile akışı ayıran şaşırtma elemanları ikişer tanedir. J tipi gövdelerde ise bir giriş, iki çıkış veya iki giriş, bir çıkış ağzları vardır.

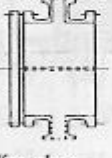
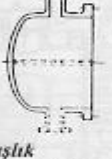
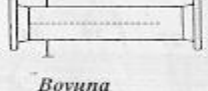
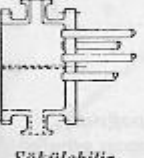
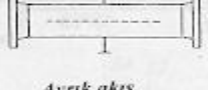
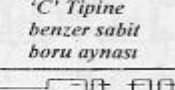
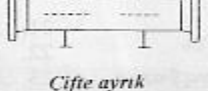
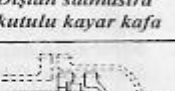
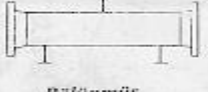
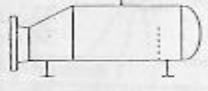
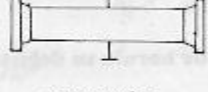
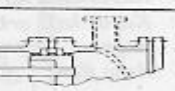
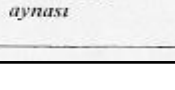
J tipi gövdelerde, gövde tarafı basınç kaybı, E tipi gövdelerin 1/8 değeri kadardır. Bu nedenle, bu gövdeler genellikle küçük basınç kayıplarının istendiği yerlerde, örneğin vakumlu yoğusturucu tesislerinde kullanılır. Yoğusturulacak buhar, gövdeye iki yerden girip, yoğuşan sıvı ise bir yerden çıkar.

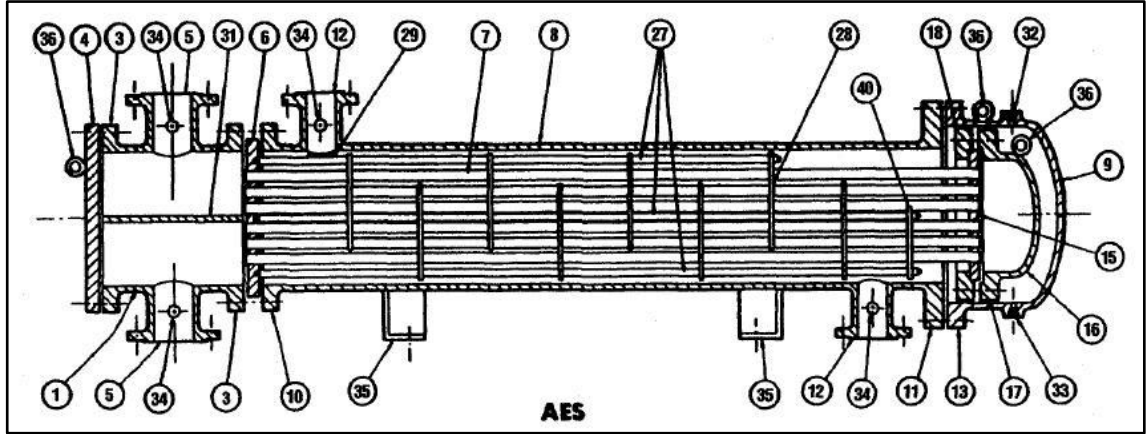
K tipi gövdeler ise buharlaştırıcı olarak kullanılır. Boru demeti gövdenin alt kısmındadır ve gövdenin hacimce yaklaşık %60 kadarını kaplar. Bunlar çoğunlukla havuz tipi kaynatıcılar olarak uygulama alanı bulurlar. Buharlaştırılmak istenen sıvı, boruları

tamamen kaplar, buhar ise boruların bulunmadığı üst kısımda toplanır. Düşey bir levha savak rolü oynar, gereğinden fazla akışkan buradan taşarak dışarı atılır.

X tipi gövdeler çapraz akımlı düzenlemeleri sağlar. Gövde içinde şaşırtma elemanları yoktur. Boruların titreşim dolayısıyla zorlanmamaları için borular arasına destekler konulabilir. Bu tip gövde, gövde tarafında küçük basınç kaybının istendiği yerlerde kullanılabilir. Özellikle kanatlı borular ile gazların soğutulmasında uygulama alanı bulur.

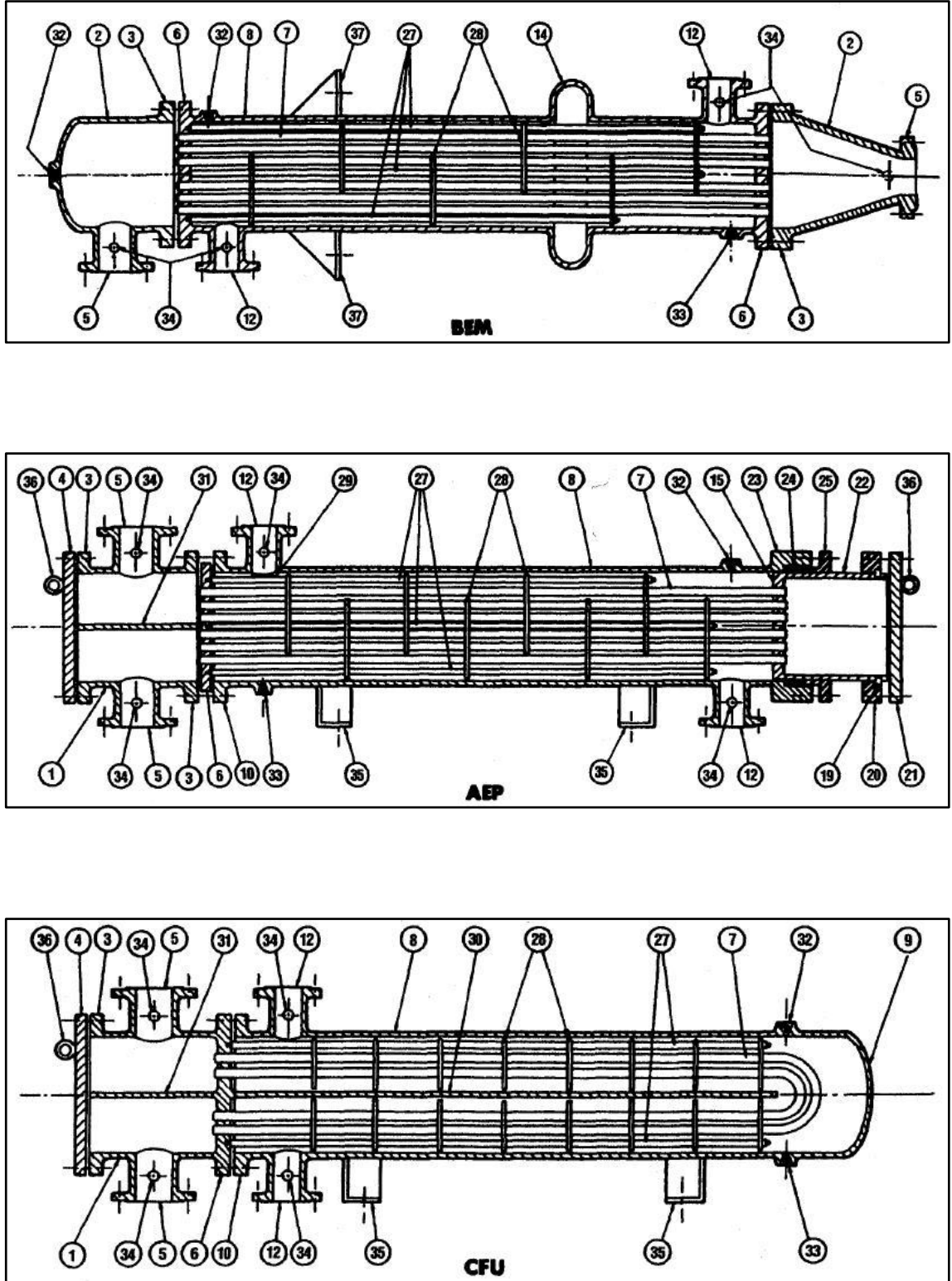
Tablo 2.1 : TEMA tarafından hazırlanan standart gövde tipleri ve kafalar.

	ÖN TARAF		GÖVDE TİPLERİ		ARKA TARAF
A	 Kanal ve sökülebilir kapak	E	 Bir gövde geçiş	L	 'A' Tipine benzer sabit boru aynası
B	 Başlık İntegral kapak	F	 Boyuna şaşırtmalı iki gövde geçiş	M	 'B' Tipine benzer sabit boru aynası
C	 Sökülebilir boru demeti. Boru aynalı İntegral kanal	G	 Ayrık akış	N	 'C' Tipine benzer sabit boru aynası
N	 Sabit boru demeti. Boru aynalı İntegral kanal	H	 Çifte ayrık akış	P	 Dıştan salmasta kutulu kayar kafa
D	 Yüksek basıncılı özel kapak	J	 Bölünmüş akış	S	 Dıştan sızdırmazlık halkalı kayar kafa
		K	 Semaver tipi buharlaştırıcı	T	 Çekmeli kayar kafa
		X	 Çapraz akış	U	 U-Boru demeti
				W	 Halkalı paket kayar boru aynası

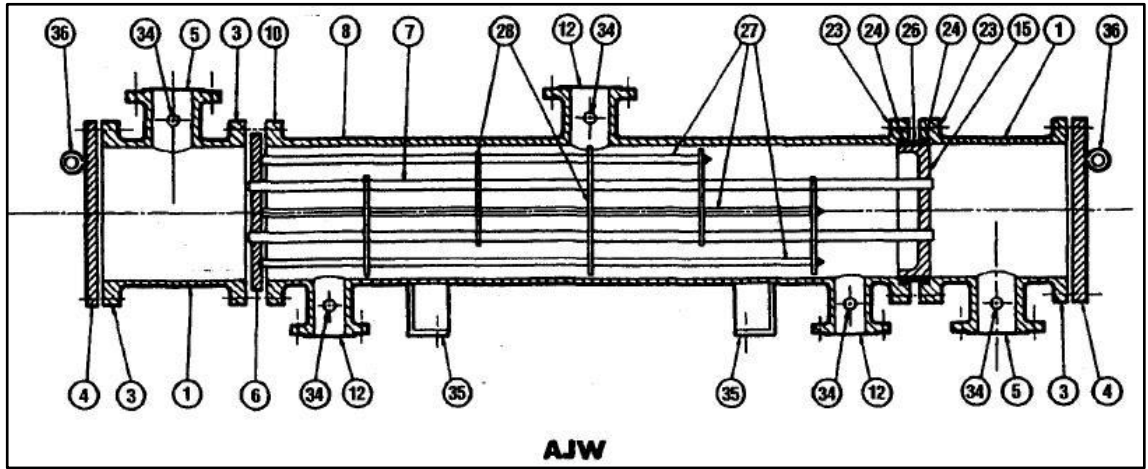
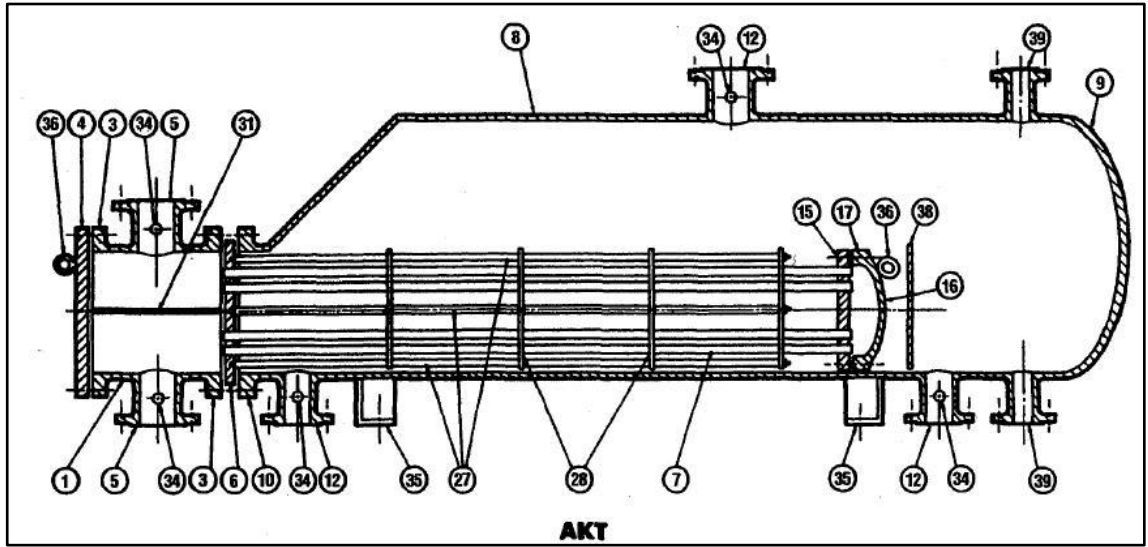


- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Sabit kafa-kanal | 21. Kayar kafa kapağı |
| 2. Sabit kafa-başlık | 22. Kayar boru aynası gömleği |
| 3. Sabit kafa, flanşlı-kanal veya başlık | 23. Salmastra kutusu flanşı |
| 4. Kanal kapağı | 24. Salmastra |
| 5. Sabit kafa girişi | 25. Salmastra baskı halkası |
| 6. Sabit boru aynası | 26. Fener halkası |
| 7. Borular | 27. Bağlama çubukları ve boşluklar |
| 8. Gövde | 28. Şaşırtma veya destek levhaları |
| 9. Gövde kapağı | 29. Giriş şaşırtma levhası |
| 10. Gövde flanşı-sabit ön taraf | 30. Boyuna şaşırtma levhası |
| 11. Gövde flanşı-arka taraf | 31. Bölme |
| 12. Gövde girişi | 32. Havalık bağlantısı |
| 13. Gövde kapağı flanşı | 33. Boşaltma bağlantısı |
| 14. Genleşme bağlantısı | 34. Ölçme aleti bağlantısı |
| 15. Kayar boru aynası | 35. Destek |
| 16. Kayar kafa kapağı | 36. Kaldırma halkası |
| 17. Kayar kafa flanşı | 37. Destek |
| 18. Kayar kafa arka tertibatı | 38. Savak |
| 19. Segman | 39. Sıvı seviyesi bağlantısı |
| 20. Arka flanş | |

Şekil 2.2: Tipik gövde borulu ısı değıştirci konstüksiyonları (TEMA, 2007)



Şekil 2.2: Tipik gövde borulu ısı değıştirici konstrüksiyonları (Devam)



Şekil 2.2: Tipik gövde borulu ısı değiştirici konstrüksiyonları (Devam)

2.2.1. Gövde Borulu Isı Değiştirici Elemanları

2.2.1.1. Gövde

Boru demetini çevreleyen silindirik kovandır. Gövde, levhalar silindir şeklinde kıvrılıp kaynakla birleştirilmek suretiyle dökülerek veya elik borulardan yapılır. Standart gövde çapları ile bu çaplara karşılık gelen gövde et kalınlıkları Tablo 2.2’ de verilmiştir. Gerek gövdenin gereksede boruların çap ve sayılarının tespitinde, bunlar içinde akan akışkan hızları önemli olmaktadır. Hızın büyük olması ısı geçiş katsayısını artırarak, daha kompakt ısı değiştiricisi konstrüksiyonuna imkan sağlarken, basınç kayıplarının ve bunun sonucu pompa veya vantilatör gücünün büyümesine neden olur. Diğer taraftan büyük hızlar cidarlarda kirlenmeyi de önler, fakat titreşim, kavitasyon ve erozyon oluşturabilir.

Isı değiştirici gövdesi, dökme demirden, elik levhaların silindirik kıvrılarak kaynak edilmesiyle veya elik borulardan imal edilebilirler. Dökme demir gövdeler 10 bar basınç ve 200 °C sıcaklıktan yukarı değerlerde kullanılmamalıdır.

Tablo 2.2 : Gövde çapları ve bu çaplara karşılık gelen gövde et kalınlıkları (TS 1996)

Gövde Anma apı (mm)	Gövde Dış apı (mm)	Gövde Et Kalınlıkları (mm)		
		Dökme Demir	Kütle ve Kalite eliği	Paslanmaz elik
150	168	10	5	3
200	219	10	6	3
250	273	10	6	3
300	324	13	6	3
350	355	13	6	3
400	406	13	6	3
500	508	13	8	3
600	600	16	8	5
700	700	16	10	5
800	800	16	10	6
900	900	19	10	6
1000	1000	19	10	6
1100	1100	22	11	6
1200	1200	22	11	6

2.2.1.2. Borular veya Boru Demeti

Boru demeti içerisinde sıcak veya soğuk akışkan geçen, uçları boru aynasına takılmış borular topluluğudur. Isı değiştirgeçlerinde muhtelif çaplarda borular kullanılabilmeyle beraber genellikle 57 mm değeri üst, 10 mm değeri alt sınır olarak kabul edilmektedir. Birçok durumda, daha kompakt ve ucuz ısı değiştirici projelendirmesi sağladığından, küçük boru çapları (16mm – 25mm) tercih edilir. Buna karşılık, özellikle kirli akışkanların kullanıldığı durumlarda temizleme kolaylığı sağlaması bakımından büyük çaplı borular kullanılır. Boru et kalınlığı, boru içindeki akışkanın basıncı ve korozyon payı düşünülerek seçilir. Isı değiştiricilerinde kullanılan çelik ve diğer malzemelerden imal edilmiş boruların çapları ve et kalınlıkları uygun standartlardan kullanılabilir. Çelik ve bakır borular için standart boru dış çapları ve et kalınlıkları Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ de verilmiştir. Eğer borular kıvrılmamış ve uçları ayrı ayrı iki aynaya takılmış ise "I-Tipi Boru Demeti", borular U şeklinde kıvrılarak uçları yalnız bir aynaya takılmışsa "U-Tipi Boru Demeti" olarak adlandırılır. Isı değiştirgecinde boru demetindeki boruların anma uzunlukları, toleranslarıyla birlikte 500, 750, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000 veya 8000 mm olmalıdır.

Tablo 2.3 : Isı değiştiricilerde kullanılan kaynaklı çelik borular (TS 416)

Dış çap			Normal et kalınlığı, mm	Birim kütlesi kg/m	Uygun boru vidası
Esas sıra, mm	Parmak	İlave sıra, mm			
10,2	13/32		1,6	0,344	R6
13,5	-		1,8	0,522	R8
16	5/8		1,8	0,632	
17,2	11/16		1,8	0,688	R10
20	25/32		2	0,89	
21,3	27/32		2	0,962	R15
25	1		2	1,13	
26,9	1 1/6		2	1,24	R20
30	1 3/16		2	1,39	
31,8	1 1/4		2	1,48	
33,7	1 11/32		2	1,57	R25
-	1 3/8	35	2	1,63	
38	1 1/2		2	1,79	
42,4	1 11/16		2	2,01	R32
44,5	1 3/4		2	2,11	
48,3	1 29/32		2,3	2,63	R40
51	2		2,3	2,78	
-	2 1/8	54	2,3	2,95	
57	2 1/4		2,3	3,13	

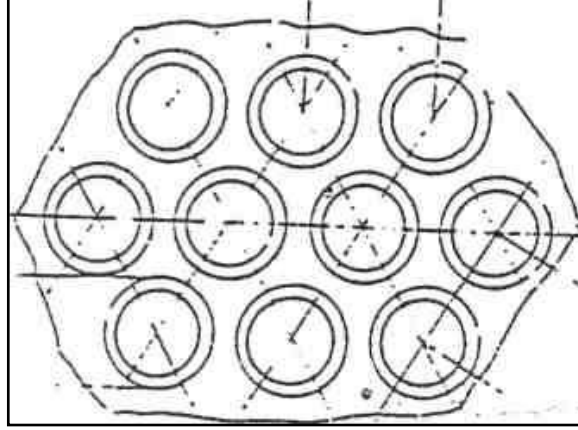
Tablo 2.4 : Isı değiştiricilerde kullanılan bakır ve bakır alaşımlı borular (TS 416)

Dış ap (mm)		Et kalınlığı,mm (tolerans %10)				
		0,75	1,00	1,25	1,50	2,00
d	Tolerans	Birim uzunluk için, kg/m				
0	0	0,152	0,196	0,236	-	-
10	-0,2	0,194	0,252	0,306	-	-
11		0,215	0,280	0,341	-	-
12	0	0,236	0,308	0,376	-	-
14	-0,2	0,278	0,363	0,446	-	-
15		0,299	0,391	0,481	-	-
16	0	0,32	0,419	0,516	0,608	-
18	-0,2	-	0,475	0,585	0,692	-
19	0	-	0,503	0,620	0,734	0,951
20	-0,2	-	0,531	0,635	0,776	1,007
22		-	0,587	0,725	0,860	1,118
23	0	-	0,615	0,760	0,902	1,174
24	-0,2	-	0,643	0,795	0,944	1,230
25		-	0,671	0,830	0,986	1,286
28		-	0,755	0,935	1,111	1,454
30	0	-	0,811	1,005	1,195	1,566
32	-0,2	-	0,867	1,075	1,279	1,678
35		-	0,951	1,180	1,405	1,845

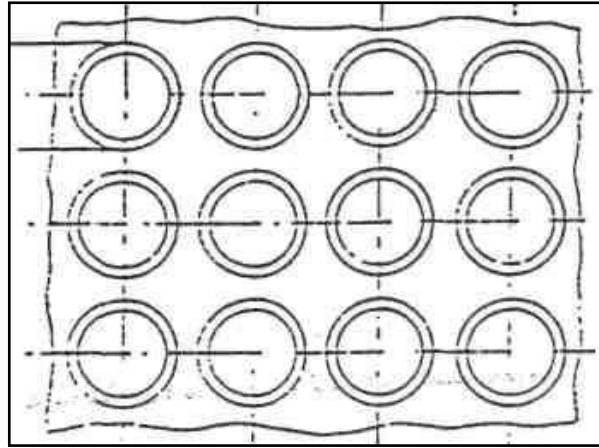
2.2.1.3. Boru Aynası

Boruların makineto yada kaynakla eşkenar üçgen veya kare diziliş şeklinde sabitlendiği ısı değiştiricisi elemanıdır. Boruların aynaya yerleştirilmesi; eğer gövde tarafındaki ortamın kireçlenme etkisi çok değilse şekil 2.3' da görüldüğü gibi bir eşkenar üçgen oluşturacak şekilde veya şekil 2.4' de görüldüğü gibi kare şeklinde olabilir. Borular aynaya, eksenleri arasında belirli bir mesafe bırakılarak yerleştirilir. Borular aynaya makineto veya kaynakla birleştirilmektedir. Borunun makineto edilen kısmının uzunluğu, boru aynası kalınlığının %90'nını geçmemelidir. Makineto edilen kısım ile makineto edilmeyen kısım arasında keskin bir geçiş olmamalıdır. Boruların ağızlarına yaklaşık olarak 2 mm yarıçaplı havşa açılmalıdır. Boru uçlarının aynadan taşan kısmı, makineto işleminden sonra 5 mm'den çok olmamalıdır. Sızdırmazlığın önemli olduğu durumlarda, borular aynaya kaynak işlemi ile tespit edilir. Kaynaklı boru tespitinin, ısı değiştirici imalat masrafları yanı sıra borular arasındaki mesafenin de artarak gövde

çapının büyümesine neden olacağı gözden uzak tutulmamalıdır. Boru aynaları da genellikle gövde malzemesinden imal edilmektedir.



Şekil 2.3: Boruların aynaya eşkenar üçgen şeklinde yerleşimi



Şekil 2.4: Boruların aynaya kare şeklinde yerleşimi

2.2.1.4. Arka Kafa

Dış çapları gövde dış çapına eşittir. Gövde ve arka kafa için aynı malzeme kullanıldığında kafanın et kalınlığı, en az gövde et kalınlığına eşit olmalıdır. Tablo 2.1’de standart kafa tipleri görülmektedir.

2.2.1.5. Şaşırtma Levhaları

Gövde içindeki akışkan hareketlerini yönlendirmek, akışı türbülanslı yapıp ölü bölgeleri azaltmak ve borulara destek sağlamak amacıyla gövde içinde kullanılan elemanlardır. Bunlar levhalı ve çubuklu olmak üzere iki grupta toplanabilir. Yatay yerleştirilen ısı

değiştirgeçlerinde, enine perdeler gövde içindeki akışın yönünü değiştirecek tarzda yerleştirilirler. Akış yönü yukarıdan aşağıya değiştirildiğinde, perdeler ısı değiştirgecinin tam olarak boşaltılabilmesine imkân vermelidir. Enine perdeler ile gövde arasında belirli bir boşluk bırakılmalıdır. Şaşırtma levhaları arasındaki mesafe en az gövde anma çapının %20'si kadar, en fazla gövde çapı kadar olmalıdır. Bu mesafenin gövde çapının 0,3 ila 0,5 arasında seçilmesi, ısı geçişi ve basınç kayıpları açısından uygun olduğu kabul edilir. Şaşırtma elemanları akış kesitini %15 ila %45 arasında keser. Ancak 50 mm'den daha az mesafe istenmez. Perde kalınlıkları genellikle 3-10 mm arasında değişir. Gövde çapına göre, şaşırtma levhası çapı, tolerans miktarları ve kalınlıkları Tablo 2.6'da verilmiştir.

2.2.1.6. Bölücü Perdeler

Gövde borulu ısı değiştiricilerde kafa kısmının içinde akışı bölücü levhaların cidardaki sızdırmazlığının sağlanması için sıklıkla kullanılan tasarımlardır. Salmastra genişliği 8-10 mm değerindedir. Kafa içinde akışı bölücü levha kalınlıkları Tablo 2.5'den alınabilir.

Tablo 2.5 : Kafa içinde akışı bölen levha kalınlıkları (TS1996).

Kafa Çapı, mm	Karbon çeliği, mm	Alaşımlı çelik, mm
< 600	8	6
600 - 1400	12	10
>1400	16	14

2.2.1.7. Ön Kafa

Döküm veya kaynakla imal edilen boru içerisinden geçecek akışkanın giriş ve çıkış bağlantıları bulunan tasarımlardır. Tek veya çok parçalı olabilirler. Çok parçalı olması halinde bağlantılar, civata ile yapılır. Ön kafaların dış çapları, gövde dış çapına eşit alınır. Kalınlıkları ise, gövde kalınlığından ve basınca göre hesaplanmış kalınlık değerlerinden büyük seçilir. Tablo 2.1'de standart kafa tipleri görülmektedir.

2.2.1.8. Bağlantı Ağzıları

Isı değiştirgecinin taşınması ve montajı sırasında ani zorlanmalara dayanabilecek sağlamlıkta olmalıdır. Ayrıca bağlantı ağzıları ısı yükünü de kaldırabilmelidir. Bağlantı ağzıları, gövde, ön ve arka kafalar ile kaynaklı veya tek parça halinde yapılır. Kaynaklı bağlantılar, dövme yoluyla veya çelik saçları kaynak etmek suretiyle yapılmalıdır. Isı

değiştirgecinin en alçak ve en yüksek noktalarına konulan boşaltma ve havalık bağlantıları için en az 20 mm nominal çaplı borular kullanılır.

2.2.1.9. Contalar

Geçirmezliği sağlamak amacıyla sıkıştırılmış iki yüzey arasına yerleştirilen ince parçalardır. Gövde borulu ısı değiştiricilerde, 160 N/cm^2 'den büyük basınçlarda, metal kılıflı veya yumuşak metalden imal edilmiş contalar kullanılır. Daha düşük basınç değerleri için sıkıştırılmış asbest, doğal veya sentetik kauçuk veya benzeri özelliklerde malzeme kullanılır.

2.2.1.10. Flanşlar

Tesisattaki elemanların birbirine sızdırmaz bir şekilde bağlanmasını sağlayan ve standart olarak üretilen bir konstrüksiyon elemanıdır. Isı değiştirgeçlerinde gövde, ön ve arka kafalardaki bağlantı flanşları TS 816, bağlantı ağızlarındaki flanşlar ise, TS 810, TS 811, TS 812, TS 813, TS 814, TS 815, TS 816, TS 817 veya TS 818' e uygun olmalıdır.

2.2.1.11. Ayaklar

Isı değiştirgecinin gövdesinde, gerilmeleri ve sehimleri önleyecek ayaklar bulunur. Bu ayaklar da gövde malzemesinden imal edilebilir.

Tablo 2.6' de ısı değiştirgeci yapımında kullanılan malzeme ve ilgili standartlar özetlenmiştir.

Tablo 2.6 : Isı değiştirilerinde kullanılan malzeme ve ilgili standartlar

Parçanın Adı	Yapıldığı Malzeme ve İlgili Standart
Ayna, Gövde, Ön kafa, Arka kafa, Yüzer kafa, Ayaklar	Çelik Levha: Çekme dayanımı en az 37 kgf/mm^2 Dökme Demir: TS 519, TS 526, TS 551, TS 552
Gövde, Borular, Ön kafa, Arka kafa, Bağlantı ağızları	TS 302, TS 436, TS 381, TS 416, TS 380, TS 443, TS 417
Perdeler, Boru destekleri, Bağlantı ağızları	Çelik Levha: Çekme dayanımı en az 37 kgf/mm^2
Flanşlar	TS 810, TS 811, TS 812, TS 813, TS 814, TS 815, TS 816, TS 817, TS 818
Civatalar	TS 1021
Bağlantı çubukları	Çelik Çubuk: Çekme dayanımı en az 37 kgf/mm^2

Tablo 2.7 : Gövde borulu ısı değıştircisi gövde, perde, destek çubukları, levhaları ve bağlantı çubukları geometrik ölçüleri (TS1996)

Gövde anma çapı, mm	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Gövde dış çapı, mm	168	219	273	324	355	406	508	600	700	800	900	1000	1100	1200

Gövdelerin et kalınlıkları, mm

Dökme demir	10	10	10	13	13	13	13	16	16	16	19	19	22	22
Karbonlu çelik	5	6	6	6	6	6	8	8	10	10	10	10	11	11
Paslanmaz çelik	3	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6

Levhalaran yapılan gövdelerin çap toleransları, mm

Değişebilir boru demeti	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±4	±4	±5	±5	±3	±6	±6
Sabit boru demeti	-	-	-	-	-	-	-	+6 -3	+6 -3	+7 -4	+7 -4	+8 -5	+8 -5	+8 -6

Enine perde ve destek levhalarının kalınlıkları, mm

Levhalar arasındaki uzaklık														
150 mm	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3	3	4	4	4	6	6
151-300 mm	3	3	3	3	3	3	4	4	4	6	6	6	6	6
301-450 mm	4	4	4	4	4	4	6	6	6	8	8	8	10	10
451-600 mm	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	12	12
601-750 mm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	16	16
750 mm'den çok	10	10	10	10	10	10	12	12	12	16	16	16	16	16

Bölücü perde kalınlıkları, mm

Karbon çeliği	10	10
Alaşımli çelik	10	13

Enine perdeler ile gövde arasında bırakılacak aralıklar, mm

Buhar için	3	4	4	4	4	4	6	7	9	9	9	9	11	11
Sıvı için	2	2	2	2	2	2	3	4	5	5	5	5	6	6

Enine perde ve destek levhaları çap toleransları, mm

Perde veya destek levha çapı, mm	Diç - 3 mm	Diç - 4 mm	Diç - 5 mm	Diç - 5,5mm
Tolerans, mm	+0 / -1	+0 / -1	+0 / -1	+0 / -1,5

Bağlantı çubuklarının sayısı ve çapları

Çubuk çapı, mm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	13	13	13	13	13
Çubuk sayısı	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8	8

2.2.3. T.E.M.A Standartları

Isı değıştircileri belirli standart şekillerde imal edilmektedir. Bu standartlar T.E.M.A (Tubular Exchangers Manufacturers Association) tarafından belirlenmiş olup TSE tarafından da kabul görmüştür.

2.2.4. Gövde Borulu Isı Değıştirici Hesapları

2.2.4.1. Isıl Hesaplar

- Boru ve gövde tarafı akışkanlar için ortalama sıcaklıklar, T_b (°C) ve T_g (°C)

T_{bi} : boru tarafı akışkan giriş sıcaklığı (°C)

T_{gi} : gövde tarafı akışkan giriş sıcaklığı (°C)

T_{bo} : boru tarafı akışkan çıkış sıcaklığı (°C)

T_{go} : gövde tarafı akışkan çıkış sıcaklığı (°C)

$$T_b = \frac{(T_{bi} + T_{bo})}{2} \quad (2.1)$$

$$T_g = \frac{(T_{gi} + T_{go})}{2} \quad (2.2)$$

- Isıl güç, Q (W)

m_b : boru tarafı akışkan debisi (kg/s)

m_g : gövde tarafı akışkan debisi (kg/s)

c_{pb} : boru tarafı akışkan özgül ısı (W/kg °C)

c_{pg} : gövde tarafı akışkan özgül ısı (W/kg °C)

$$Q = m_b \cdot c_{pb} \cdot (T_{bi} - T_{bo}) = m_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{go} - T_{gi}) \quad (2.3)$$

- Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, ΔT_m (°C)

$$\Delta T_m = \frac{(T_{bi} - T_{gi}) - (T_{bo} - T_{go})}{\ln \left(\frac{T_{bi} - T_{gi}}{T_{bo} - T_{go}} \right)} \quad (\text{Paralel Akım}) \quad (2.4)$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{bo} - T_{gi}) - (T_{bi} - T_{go})}{\ln \left(\frac{T_{bo} - T_{gi}}{T_{bi} - T_{go}} \right)} \quad (\text{Ters Akım}) \quad (2.5)$$

- Bir geçişteki boru sayısı, n_1 (adet)

V_b : boru tarafı akışkan hızı (m/s)

ρ_b : boru tarafı akışkan yoğunluğu (kg/m³)

ρ_g : gövde tarafı akışkan yoğunluğu (kg/m³)

d_i : boru iç çapı (mm)

$$n_1 = \frac{m_b}{V_b \cdot \rho_b \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_i^2}{4} \right)} \quad (2.6)$$

- Toplam boru sayısı, n_t (adet)

n_b : boru geçiş sayısı

$$n_t = n_1 \cdot n_b \quad (2.7)$$

- Boru demeti çapı, D_i (mm)

d_d : boru dış çapı (mm)

C, n : Tablo 2.7 den ilgili katsayı

t : boru merkezleri arası mesafe (mm)

$$D_i = d_d \cdot \left(\frac{n_t}{C} \right)^{1/n} \quad (2.8)$$

Tablo 2.8 : Denklem 2.8' deki katsayılar (Genceli, 1983)

Boruların üçgen düzenlenişi, $t = 1.25 d_d$

Geçiş sayısı	1	2	4	6	8
C	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
n	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Boruların kare düzenlenişi, $t = 1.25 d_d$

Geçiş sayısı	1	2	4	6	8
C	0,215	0,156	0,158	0,0402	0,0331
n	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

- Boru tarafındaki akışkan hızı, V_b (m/s)

$$V_b = \frac{m_b}{\rho_b \cdot n_1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_i^2}{4}\right)} \quad (2.9)$$

- Boru tarafındaki Reynolds sayısı, Re_b

μ_b : boru içindeki akışkana ait dinamik viskozite

$$Re_b = \frac{V_b \cdot \rho_b \cdot d_i}{\mu_b} \quad (2.10)$$

- Boru tarafındaki akışkana ait Prandtl sayısı, Pr_b

λ_b : boru içindeki akışkana ait ısı iletim katsayısı

$$Pr_b = \frac{\mu_b \cdot c_{pb}}{\lambda_b} \quad (2.11)$$

- Boru tarafındaki akışkana ait Nusselt sayısı, Nu_b

Hidrodinamik ve ısıl bakımdan tam gelişmiş türbülanslı akış hali için ($Re_b > 2300$);

$$Nu_b = 0.023 \cdot Re_b^{0.8} \cdot Pr_b^{0.3} \quad \text{Akışkan soğuyorsa} \quad (2.12)$$

$$Nu_b = 0.023 \cdot Re_b^{0.8} \cdot Pr_b^{0.4} \quad \text{Akışkan ısıniyorsa} \quad (2.13)$$

Hidrodinamik ve ısıl bakımdan tam gelişmemiş laminar akış hali için ($Re_b < 2300$);

$$Nu_b = 1.86 \left(\frac{d}{L} \cdot Re_b \cdot Pr_b \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_c} \right)^{0.14} \quad (2.14)$$

- Boru tarafındaki ısı taşınım katsayısı, h_b ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

$$h_b = \frac{Nu_b \cdot \lambda_b}{d_i} \quad (2.15)$$

- Eşdeğer çap, d_e (mm)

$$d_e = \frac{1.27}{d_d} \cdot (t^2 - 0.785 \cdot d_d^2) \quad (\text{Kare diziliş}) \quad (2.16)$$

$$d_e = \frac{1,10}{d_d} \cdot (t^2 - 0,917 \cdot d_d^2) \quad (\text{Üçgen diziliş}) \quad (2.17)$$

- Gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesidi, A_s (m²)

L_p : Şaşırtma levhaları arasındaki uzaklık (mm)

D_i : Gövde iç çapı (mm)

$$A_s = \frac{(t - d_d) \cdot L_p \cdot D_i}{t} \quad (2.18)$$

- Gövde tarafındaki akışkan hızı, V_g (m/s)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g \cdot A_s} \quad (2.19)$$

- Gövde tarafındaki Reynolds sayısı, Re_g

$$Re_g = \frac{V_g \cdot \rho_g \cdot d_e}{\mu_g} \quad (2.20)$$

- Gövde tarafındaki Prandtl sayısı, Pr_g

$$Pr_g = \frac{\mu_g \cdot c_{pg}}{\lambda_g} \quad (2.21)$$

- Gövde tarafındaki Nusselt sayısı, Nu_g (Kern'e göre)

J_K : Kern yönteminde boyutsuz ısıl çarpanı (Ek B.1'den seçilir)

Hazırlanan programda J_K değeri, Ek B.1 belirli aralıklarda lineer denklemler haline getirilerek veri tabanına işlenmiştir.

μ_g : Ortalama akışkan sıcaklığında gövde tarafındaki dinamik viskozite (Pa.s)

μ_c : Cidar sıcaklığında gövde tarafındaki dinamik viskozite (Pa.s)

$$Nu_g = J_K \cdot Re_g \cdot Pr_g^{1/3} \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{0.14} \quad (2.22)$$

- Gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısı, h_g (W/m².°C)

$$h_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_e} \quad (2.23)$$

- Kirlilik faktörü, $R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$

Isı değiştirici tasarımı yapılırken, toplam ısı geçiş katsayısının hesabında R_f kirlilik faktörü daima göz önüne alınmalıdır. Bu faktörün teorik olarak elde edilmesi güçtür. Genelde deneylerden elde edilen bulgular kullanılır. Tablo 2.9'da ısı değiştirici tasarımında kullanılan çeşitli akışkanların, belirli çalışma periyodu sonunda oluşturdukları kirlilik faktörleri verilmiştir.

Tablo 2.9 : Bazı akışkanların kirlilik faktörleri, $R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$

Isıtıcı ortam sıcaklığı Su sıcaklığı	115°C'ye kadar 50°C'den az		115-205°C arası 50°C'den çok	
Su hızı (m/s)	1'den az	1'den çok	1'den az	1'den çok
Deniz suyu	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
Arıtılmış su	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Kazan besleme suyu	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002
Motor soğutması	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
şehir veya kuyu suyu	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Büyük göl suyu	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
İşlem yapılmış soğutma kulesi suyu	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
İşlem yapılmamış soğutma kulesi suyu	0,0006	0,0006	0,0010	0,0008
Kazan blöf suyu	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Kaba su	0,0004	0,0002	0,0006	0,0004
Küçük nehir suyu	0,0004	0,0002	0,0006	0,0004
Büyük nehir suyu	0,0006	0,0004	0,0008	0,0006
Çamurlu su	0,0006	0,0004	0,0008	0,0006
Sert su	0,0006	0,0006	0,0010	0,0010
Temiz sirkülasyon yağı	0,0002			
Makine veya transformatör yağı	0,0002			
Bitkisel yağlar	0,0006			
Soğutma yağı	0,0008			
Fuel oil	0,0010			
Organik buharlar	0,0001			
Su buharı (yağ yok)	0,0001			
Alkol buharları	0,0001			
Su buharı (yağ var)	0,0002			
Soğutucu akışkan buharları	0,0004			
Hava	0,0004			
Yüksek fırın gazı	0,0002			
Diesel egzoz gazı	0,0002			
Organik sıvılar	0,0020			
Soğutucu akışkan sıvısı	0,0002			
Soğutucu akışkan, salamura	0,0002			

- Toplam ısı geçiş katsayısı, $K (W/m^2 \cdot ^\circ C)$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_b} \cdot \frac{d_d}{d_i} + R_{f_b} \cdot \frac{d_d}{d_i} + \frac{d_d}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{d_d}{d_i}\right) + R_{f_g} + \frac{1}{h_g}} \quad (2.24)$$

- Isı değiştiricisi yüzeyi, A (m²)

F : Isı değiştiricileri için sıcaklık düzeltme çarpanı (Ek C'den seçilebilir)

Hazırlanan programda 1 gövde 2 boru geçiş hali için F düzeltme katsayısı;

$$R = \frac{(T_{bi} - T_{bo})}{(T_{go} - T_{gi})} \quad (\text{Kapasite oranı})$$

$$P = \frac{(T_{go} - T_{gi})}{(T_{bi} - T_{gi})} \quad (\text{Etkenlik})$$

$$F(P, R) = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R - 1} \cdot \frac{\ln\left(\frac{1 - P}{1 - P \cdot R}\right)}{\ln\left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}\right]} \quad (2.25)$$

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_m \cdot F} \quad (2.26)$$

- Isı değiştiricisi boru boyu, L (m)

$$L = \frac{A}{n_t \cdot \pi \cdot d_i} \quad (2.27)$$

2.2.3.2. Basınç Kayıp Hesapları

Çeşitli malzemeler için boru iç yüzeyinin mutlak ortalama pürüzlülük yüksekliği (e) değerleri Tablo 2.10'da verilmiştir. Moody diyagramından boyutsuz pürüzlülük ($\epsilon = e / d_i$) değeri hesaplanarak, reynolds sayısıyla karşılaştırılır ve sürtünme katsayısı (k_s) elde edilir. Hazırlanan programda çeşitli araştırmacıların geliştirmiş olduğu bağıntılar kullanılmıştır. Boru içinde laminer akış halinde ($Re < 2300$), k_s sürtünme katsayısı boru iç yüzey pürüzlülüğünden bağımsız olup;

$$k_s = \frac{64}{Re} \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (2.28)$$

Türbölanslı akış halinde ise;

$$3 \cdot 10^3 < Re < 2 \cdot 10^4 \quad \text{için} \quad k_s = \frac{0.184}{Re^{0.25}} \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (2.29)$$

$$2 \cdot 10^4 < Re < 2 \cdot 10^6 \quad \text{için} \quad k_s = \frac{0.184}{Re^{0.2}} \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (2.30)$$

$$Re > 10^6 \quad \text{için} \quad \frac{1}{\sqrt{k_s}} = -0.8 + 2 \log_{10}(Re \sqrt{k_s}) \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (2.31)$$

Tam türbülanslı bölgede k_s sürtünme katsayısı Reynolds sayısından bağımsız olup, sadece izafi pürüzlülüğün (e / d_i) bir fonksiyonudur.

$$\frac{1}{\sqrt{k_s}} = 2 \log_{10} \left(\frac{d_i}{e_i} \right) + 1.14 \quad \text{olarak hesaplanır} \quad (\text{Prandtl Von Karman}) \quad (2.32)$$

Tablo 2.10 : Çeşitli malzemelerin mutlak ortalama pürüzlülük yükseklikleri (Özçelik, 2007)

Malzeme adı	Açıklama	Ortalama pürüzlülük yükseklikleri, mm (e)
Cam, kurşun, bakır ve pirinç çekme boru		0 - 0,0015
Çelik çekme boru	Yeni Kullanılmış, temizlenmiş Orta derecede paslanmış Kuvvetli kabuk bağlanmış	0,04 0,15 - 0,2 0,4 3
Galvanizli çelik sac Galvaniz çelik boru	Düz Normal galvanizli	0,07 0,15
Dikişli çelik boru	Yeni Yeni, bitümlenmiş Kullanılmış, temizlenmiş Çok paslanmış Hafif kabuk bağlamış Kuvvetli kabuk bağlamış	0,95 0,05 0,15 - 0,2 0,40 1,0 - 1,5 2 - 4
Döküm boru	Yeni Yeni, bitümlenmiş Paslanmış Kabuk bağlamış	0,26 0,10 - 0,15 1 - 1,5 1,5 - 4
Beton boru	Düzgün Pürüzlü	0,3 1,2 - 3
Asbest boru	Eternit	0,05 - 0,1
Tahta	Rendelenmiş Rendelenmemiş	0,2 0,7
Tuğla duvar	Normal örülmüş	1,3

- Boru tarafındaki basınç kaybı, Δp_b (Pa)

k_s : Sürtünme katsayısı

n_g : Geçiş sayısı

$$\Delta p_b = n_g \cdot \left(k_s \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_c} \right)^{-0.14} + 2.5 \right) \cdot \frac{\rho_b \cdot V_b^2}{2} \quad (2.33)$$

- Gövde tarafındaki basınç kaybı, Δp_g (Pa)

J_f : Kern yönteminde boyutsuz basınç çarpanı (Ek B.2'den seçilir)

Hazırlanan programda J_f değeri, Ek B.2 belirli aralıklarda lineer denklemler haline getirilerek veri tabanına işlenmiştir.

$$\Delta p_g = 8 \cdot J_f \cdot \frac{D_G}{d_e} \cdot \frac{L}{L_p} \cdot \frac{\rho_g \cdot V_g^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{-0.14} \quad (2.34)$$

2.2.3.3. Güç Kayıp Hesapları

η_p : Pompa verimi

Δp_b : Boru tarafı basınç kaybı (Pa)

Δp_g : Gövde tarafı basınç kaybı (Pa)

- Boru tarafındaki güç kaybı, E_b (W)

$$E_b = \frac{\Delta p_b \cdot m_b}{\rho_b \cdot \eta_p} \quad (2.35)$$

- Gövde tarafındaki güç kaybı, E_g (W)

$$E_g = \frac{\Delta p_g \cdot m_g}{\rho_g \cdot \eta_p} \quad (2.36)$$

2.2.3.4. Maliyet Hesapları

Y : Boru malzemesine göre sabit giderler (TL)

B : Boru malzemesi birim fiyatı (TL/m²)

A : Isı değiştiricisi ısı transfer yüzeyi (m²)

C₁ : Ekonomik dönüşüm faktörü

H : Elektrik birim fiyatı (TL/Kwh)

r : Isı değiştiricisi yıllık faydalanma (Saat/YIL)

η_m : Elektrik motoru verimi (%)

e : Yıllık enflasyon oranı (%)

i : İzaî faiz oranı (%)

s : İşletme süresi (Yıl)

$$C_1 = \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^s - 1}{1 - \left(\frac{1+e}{1+i}\right)} \quad (\text{Çeteci, 1999}) \quad (2.37)$$

$$\text{Yatırım gideri} = Y + A \cdot B \quad (2.38)$$

$$\text{İşletme gideri} = \frac{(E_b + E_g) \cdot H \cdot C_1 \cdot r}{\eta_m \cdot 1000} \quad (2.39)$$

$$\text{Toplam giderler} = \text{Yatırım gideri} + \text{İşletme gideri} \quad (2.40)$$

2.3. TEORİK ÇALIŞMALARDAN

Gövde borulu ısı degistiricileri ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle optimizasyon uygulamalarının ağırlık kazandığı görülmektedir. Enerji uygulamalarının ve enerji tasarrufunun gittikçe önem kazandığı dünyada, sadece ilk yatırım maliyetlerine göre yapılan çalışmaların büyük miktarlarda enerji kaybına neden olduğu görülmektedir. Bu nedenle ısı değıştiricilerinde optimizasyon gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu konuda dikkat çeken bazı çalışmaları şu şekilde sıralayabiliriz.

Li ve Kottke (1998a), yapmış oldukları çalışmada gövde borulu bir ısı degistiricisindeki, gövde ve boru tarafındaki ısı transferini belirlemek için kütle transferi ölçüm metodu kullanmışlardır. Çalışmalarında şaşırtma levhası kesmesi ve aralığı değerlerini parametre olarak kullanmışlardır. Li ve Kottke (1998b) yapmış oldukları diğeri bir çalışmada, yine gövde borulu bir ısı degistiricisinde farklı şaşırtma levhası aralıkları için ısı transferi ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Farklı tür tortulaşmanın ısı değışicisi üzerine olan etkileri konusunda Lia ve Kottke, (1999), gövde borulu ısı eşanjörlerinde disk ve halka biçimindeki tortu oluşumlarında lokal kabuk yüzeylerinde ısı ve kütle

transferini analiz etmişlerdir. Ayrıca eşanjördeki boru ve üniteler için ortalama ısı transfer katsayılarını da geliştirmişlerdir.

Isı değişicilerinin matematiksel modelinin kurularak sayısal metotla incelenmesi konusunda Liu vd., (1999), bir gövde borulu tip ısı eşanjöründe ısıl gerilmelerin sayısal simülasyonunu incelemişlerdir. Farklı sıcaklıklar için ısıl gerilim analizlerinin hesaplanmasında sonlu elemanlar metodu (FEM) yaklaşımı kullanılarak oluşturulan bilgisayar programı yardımıyla çözüm yapılmıştır.

Aicherş vd.,(1999), ise düşey gövde borulu tip ısı eşanjörlerinde Rayleigh-Benard konveksiyonu olayını incelemişlerdir. Çalışmada performans ve performansı etkileyen ve artıran faktörler tanımlanmıştır.

Lona, (2000) ise, ısı eşanjörleri ve ısı eşanjör ağları için bir eğitim yazılımı geliştirmişlerdir. Öncelikle gövde borulu ısı eşanjörlerinin sanayideki yeri ve önemi vurgulanmış, Pinch analizi kullanılarak eğitim seti geliştirilmiştir.

Butterworth, (2002) ise, boru gövdeli ısı eşanjöründe tortu oluşumunun lokal sıcaklık ve hız değişimleri üzerine etkilerini tasarımıştır. Tortulaşmanın üniform yapıda gerçekleştiği kabulünü yaparak en iyi tasarım prosesinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Ko ve Anand (2003), her taraftan eşit olarak ısıtılan dikdörtgen bir kanal içerisine gözenekli şaşırtma levhaları koyarak ortalama ısı transferi katsayılarını incelemişlerdir. Tam gelişmiş akış ve ısı transferi için ısı transferi katsayıları ile basınç kayıpları her bir farklı gözenekli ortam için ve şaşırtma levhası kalınlığı için elde edilmiştir.

Isı değişicilerinde sıklıkla karşılaşılan bir problem olan gövde borulu ısı değiştiricilerinin titreşim analizi konusunda Pettigrew ve Taylor, (2003), iki ayrı çalışma yapmış olup birincisinde, akış titreşim sönümleme ve akış elastisitesi kararsızlığı incelenmiştir. İkinci çalışmalarında ise, titreşim tepkisi, yorulma dayanımı testi ve referans rehber hazırlanmasına çalışmışlardır.

Sayısal çözüme örnek olarak, Jin vd.,(2004), gövde borulu ısı eşanjöründeki gerilimlerin hesaplanmasında iki FEA (Finite Element Analysis-Sonlu Eleman Analizi) modellerinin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Soltan vd. (2004), gövde borulu kondanser tipi ısı degistiricisi tasarımında uygun şaşırtma levhası aralığını göz önüne alarak, en uygun aralığının tespiti için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Sonuç olarak en uygun şaşırtma levhası aralığının belirlenmesi için bir takım bağıntılar verilmiştir.

Isı değışicisinin imal edildiğı malzemelerin ısı değışicisindeki ısı transferi olayına ve dolayısıyla performansa etkileri konusunda ise, Ahn vd., (2005), gövde borulu düşey bir akışkanlaştırılmış yatak tipindeki ısı eşanjöründe momentum ve ısı transferini incelemiş ve alüminyum, cam, bakır ve çelik malzeme kullanımı halinde ısı transferindeki değışim tespit etmişlerdir.

Eryener (2006), yapmış olduğı çalışmada, gövde borulu bir ısı degistiricisinde en uygun şaşırtma levhası aralığının tespiti için termoeekonomik analiz yöntemini kullanmıştır.

Selbas vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada, gövde borulu ısı degistiricilerinin en uygun tasarımı için, şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhası aralığı gibi bazı parametreleri de içine alan genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır.

Özçelik (2007), gövde borulu ısı degistiricilerin tasarımında boru uzunluğu, boru dış çapı, eksenler arası mesafe, boru diziliş biçimi, şaşırtma levhası kesmesi, boru geçiş sayısı gibi çok sayıdaki parametreleri kullanarak genetik algoritma tabanlı bir program geliştirmiştir. Çalışmada, MINLP test probleminin sürekli değışkenleri ve farklı değierlerinin optimizasyonunu belirlemek amacıyla program geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Ravagnani ve Caballero (2007) çalışmalarında, ısı değıştirici ağırları için detaylı tasarım ekipmanlarını da içeren bir optimizasyon modeli kurmuşlardır. Gövde ve boru tarafı basınç düşmeleri mekanik açıdan ele alınmış ve bu değierleri etkileyen faktörler incelenmiştir.

Babu ve Munawar (2007), gövde borulu ısı eşanjörünün optimum tasarımı için diferansiyel denklem yöntemleri çalışmıştır. Gövde borulu ısı eşanjörü optimizasyonu için minimum ısı transfer alanını belirlemeye çalışarak, eşanjör maliyetini düşürecek hesaplamalar yapmışlardır.

Bu çalışmada, gövde borulu bir ısı degistiricisi içerisindeki şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisi incelenmiştir. Farklı şaşırtma levhası kesmesi ve levha aralıkları için ısı transferi katsayısı ve gövde tarafı basınç düşümü hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile şaşırtma levhalarının gövde borulu ısı değıştircileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizlerde ayrıca gövde borulu ısı değıştircisi içerisindeki boru demetinin, üçgen ve kare düzenlenmesi halinde ısı geçişide göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmada yüksek hassasiyette, pratik ve hızlı çözüm üretebilen bir program hazırlanarak literatüre sunulması hedeflenmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MICROSOFT VISUAL BASIC PROGRAMI

Yapılan çalışmada kullanılan bilgisayar programı birçok programlama diliyle yazılabilir. Bu çalışmada kullanılan program, Microsoft şirketinin yaptığı Visual basic 6.0'dır.

1963 yılında Darmouth College'de John G. Kemeny ve Thomas E. Kurtz tarafından Basic dili geliştirilmiştir. Daha sonralarda Microsoft tarafından PC'lerde kullanılmak üzere uyarlanmıştır. Microsoft Qbasic ve Microsoft-Dos Qbasic'de dahil olmak üzere çeşitli sürümleri bulunmaktadır. Microsoft ileriki yıllarda Basic dilini geliştirerek Windows ortamına uyarlamış ve geliştirilen bu yeni dile Visual Basic adını vermiştir. Programlamada kullanılan sürüm Microsoft Visual Basic'in 6.0 dır. Visual Basic, devamlı geliştiği bu süre sonunda; yüksek hızlı uygulamalar, OLE Serverlar, ActiveX kontrolleri ve daha bir çok projeyi geliştirebilecek hale gelmiştir. Visual Basic yapısal bir programlama dili olan Basic dilinden türetilmiş olmasına rağmen olaya bağlı bir programlama dilidir.

Visual Basic karmaşık mantıklara ve biçimlere sahip, Windows uyumlu uygulamaların tasarımlarını kolaylaştırıcı bir görsel dildir. Bu dilde program geliştirmenin ilk adımı, kullanıcının ekranda görmek istediklerini saptamak ve ekran tasarımını gerçekleştirmektir. Bu programda her şey nesne olarak tanımlanmıştır (form, yazı kutusu, komut düğmesi v.b.). Nesneler, kendilerine iliştilmiş olan olayları (farenin tıklanması, farenin çift tıklanması gibi) tanıyabilir ve yazılmış olan komutlara göre tepki verebilir. Olaylar gerçekleştiğinde işlemler yerine getirilir, ve pencereler güncelleştirilir. Sistem daha sonra yeni olayları bekler.

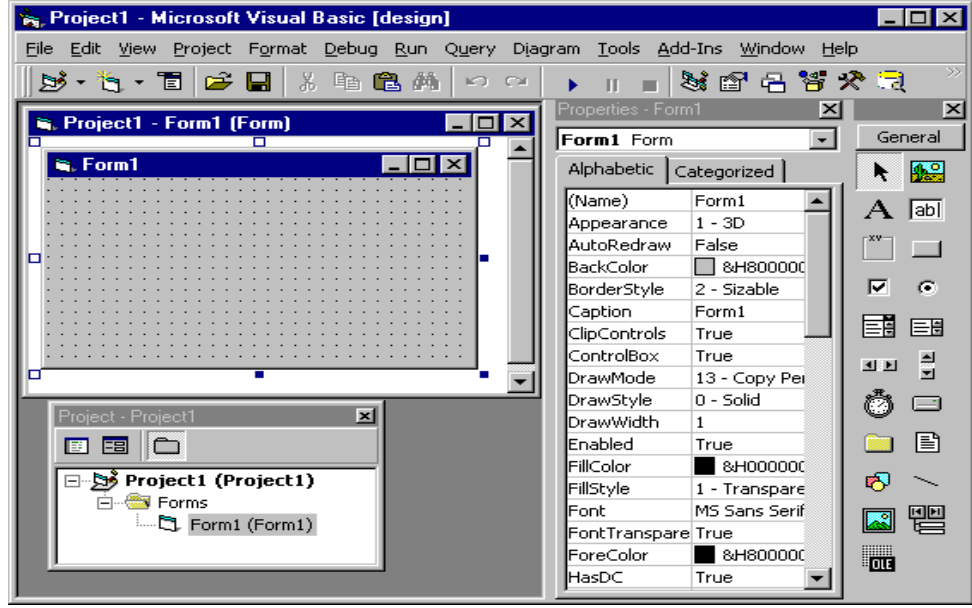


Şekil 3.1: Visual basic karşılama ekranı

Visual Basic'i çalıştırdığımızda karşımıza şekil 3.1'deki dialog penceresi gelir. Bu dialog penceresinde 3 adet sekme bulunur. New sekmesinde oluşturulmak istenilen yeni proje için alternatifler bulunmaktadır. Genellikle Standart.EXE seçeneği seçilerek yeni bir projeye başlanır. Eğer istenirse diğer seçeneklerde kullanılarak ActiveX denetimleri, Dll dosyaları, DHTML sayfalar oluşturulabilir. Existing sekmesi ile daha önceden oluşturulmuş projeler sürücü ve klasör seçimi yapılarak açılabilir. Recent sekmesi ise üzerinde çalışılan projelerin bir listesini verir ve bunlar arasından istenilen seçilerek çalıştırılabilir.

VB'nin Windows tabanlı olması kullanıcıya bir göz aşinalığı sağlamaktadır. Görsel bir dil oluşu ile de öğrenim süresi kısalmış ve Windows ortamları için önemli bir program geliştirme aracı haline gelmiştir. Örneğin VB uygulama geliştirme Form alanına bir Text alanı yerleştirildiğinde ve bunun üzerine gelerek çift tıklanıldığında bir olay (event) gerçekleşir. Burada gerçekleşen o olay alanına Text'in nasıl davranması gerektiği yazılabilir.

Visual Basic Microsoft tarafından geliştirilmiş modern bir programlama ortamıdır. Visual Basic'in bir programın yazılıp çalıştırılmasından öte, program geliştirmek için çok sayıda araca sahip olması; kullanıcı arabiriminin tasarlanması, hataların giderilmesi, veritabanı yaratmak, gibi gelişmiş özelliklere sahiptir.



Şekil 3.2: Visual basic çalışma arayüzü

Visual Basic ile farklı düzeylerde (konularda) programlar geliştirilebilir. Visual Basic ile küçük işlemler için program geliştirilebileceği gibi, profesyonel programlar, veritabanı uygulamaları ve hatta Internet uygulamaları bile geliştirmek mümkündür. Örneğin bir cari hesap, stok, satış, imalat vb uygulamaları, oyun programı vb.

Visual Basic'in sahip olduğu araçlar:

- Kullanıcı ara birimi geliştirmek için çok sayıda kontrol.
- Programı derleme ve hata bulmaya yönelik çok sayıda araç.
- Değişik veritabanlarına erişim.
- Diğer uygulamaların fonksiyonlarını kullanmayı sağlayan Active X™ teknolojisi.
- Uygulamanın EXE dosya olarak üretilebilmesi ve dağıtılması.
- Raporlama araçları.
- Veri yapısı araçları.

Visual Basic ile neler yapılabilir:

- Basit ve genel amaçlı uygulamalar.
- Şirketler için geliştirilen özel uygulamalar.
- Ticari programlar, satış sistemleri, veritabanı uygulamaları.
- Ticari amaçlı paket programlar.
- Web uygulamaları.

Bir Visual basic programı belli kısımlardan oluşur. Bunları en basit olarak şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kullanıcı arabirimi.
- Bilgi işleme (hesaplamalar)
- Bilgi saklama (veritabanı işlemleri).
- Raporlama işlemleri.

Kullanıcı arabirimi bir programın ekranını oluşturur. Diğer bir deyişle kullanıcıların bilgi girdiği etkileşimli ekranlardır. Bunlar form olarak nitelendirilirler. Bilgi işleme kısmı, programın yapacağı hesaplamaları ve işlemleri kapsar. Bu daha çok programın mantığı olarak adlandırılır. Veritabanı işlemleri, birçok uygulama için çok önemlidir. Yine aynı şekilde raporlama da bilgilerin yazıcıdan ya da ekrandan alınmasını sağlar. Visual Basic 6.0 ortamı özellikle program birimlerinin düzenlenmesi için çok sayıda bölüme sahiptir. Bu bölümler aracılığıyla programın tasarımı yapılır ve kod yazılır.

Visual Basic çalışma ortamı programın arabiriminin geliştirilmesi bakımından bir tasarım zamanı (design time) program geliştirme ortamıdır. Örneğin bir formun ya da bir kontrolün özellikleri, özellik tablosundan düzenlenebilir. Form ve diğer kontroller seçilerek özellikler (Properties) tablosundan renkleri vb. bütün özellikleri düzenlenebilir.

3.1.1. Program Arayüzü

Gövde borulu ısı değiştiriciler için hazırlanan programda tüm hesaplamalar tek bir butona bağlanmış ve tüm değişkenler aynı sayfa üzerinden kontrol edilebilecek şekilde hazırlanarak, kullanım kolaylığı sağlanması amaçlanmıştır. Programa ait arayüz şekil 3.3’de görülmektedir.

Parametrelerden ısı değiştirici levha kesme oranı, perdeler arası mesafe ve boru düzenleme şekli (üçgen veya kare diziliş) seçimi yapılabilmektedir. Böylece bu değişkenlerin ısı geçişine etkisi ayrıntılı olarak incelenecektir.

Şekil 3.5’de Akışkanların seçimi, sıcaklık ve debi giriş ekranı görülmektedir. Burada boru tarafı ve gövde tarafı akışkanları combolar vasıtasıyla seçilir ve sıcaklık, debi veri girişleri yapılır.

Tasarlanan Hız / Velocity
in tube (m/s) 0,8 in shell (m/s) 0,42208

Gövde Giriş
Su - Water
Tg g (C) 5
mg (kg/s) 10

Boru Giriş
Su - Water
Tb g (C) 90

Boru Çıkış
Tb ç (C) 70

Gövde Çıkış
Tg ç (C) 60

HESAPLA
Çıkış
Yazdır

Şekil 3.5: Akışkan seçimi ve sıcaklık giriş ekranı

Aynı ekranda sol üst köşede boru tarafı akışkan hızı girişi yapılmaktadır. Optimum boyutlandırmada çok önemli bir yeri olan akışkan hızı, basınç kaybı raporları ve maliyet analizi raporlarında, maliyete etkisi açıkça görülmektedir. Girilen boru içi hız değerine göre, gövde tarafı akışkan hızı hesaplanır ve aynı ekranda gösterilir.

Hesaplamalar / Calculations			
J (kern)	0,0056432	De (mm)	19,87
DTm (C)	45,267	F(P,R)	0,9
Re(b)	46361,7	Re(g)	10979,585
Nu(b)	157,65	Nu(g)	113,21
hb (W/m2.C)	5032,7	hg (W/m2.C)	3535,79
K (W/m2.C)	998,95	mb (kg/s)	27,37

Şekil 3.6: Hesaplama sonuçları ekranı

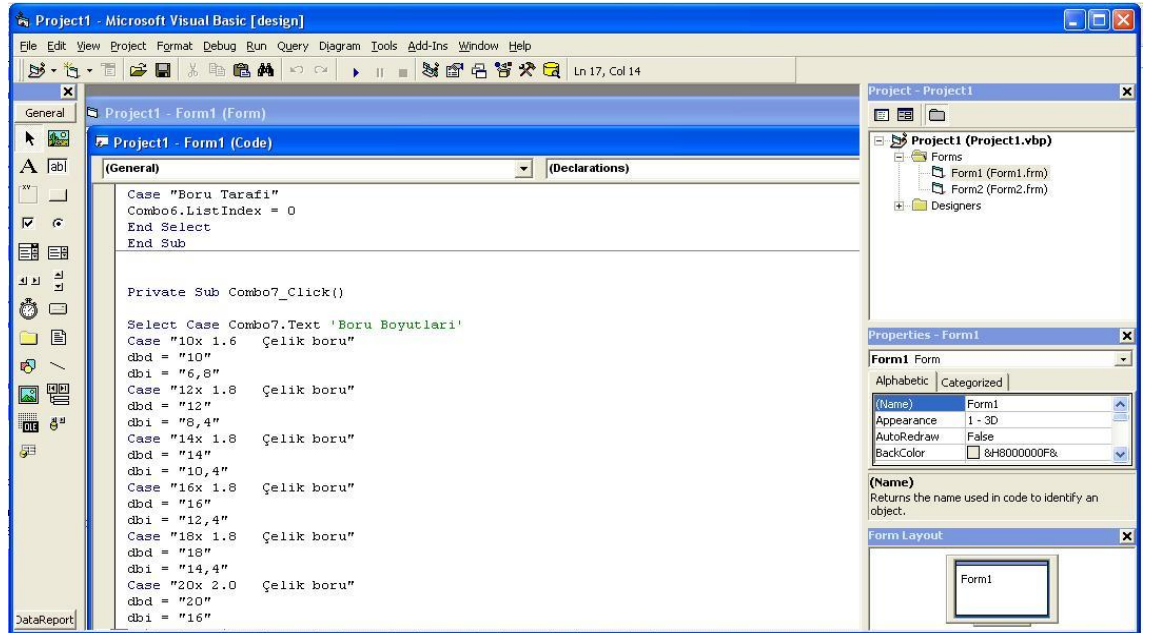
Şekil 3.6’da yapılan hesaplama sonuçlarının aktarıldığı alan görülmektedir. Burada ilgili akışkan özelliklerine bağlı olarak Kern’e göre boyutsuz çarpan, logaritmik sıcaklık farkı, reynolds sayıları, nusselt sayıları, ısı taşınım katsayıları ve toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanır.

Isıl Kapasite / Thermal Capacity			
Q (kW)	2297,928		
Boyutlar			
A (m²)	56,49		
L (mm)	3538		
Boru (ad)	203		
Basınç Düşümleri			
Pürüzlülük	0,007143		
f(b)	0,035526	DPb (kPa)	5,4635
Jfk	0,0486906	DPg (kPa)	14,4885

Şekil 3.7: Q, A, L ve basınç düşümleri sonuçları ekranı

Hesaplanan ısı geçiş katsayısı uyarınca gerekli olan ısı değiştirici ısı transfer yüzeyi, boru adedi ve boru boyu hesaplanır. Kullanılan boru tipine göre pürüzlülük yükseklikleri ve boyutsuz pürüzlülük hesaplanır. Ardından sürtünme katsayısı ve boru tarafı basınç kaybı hesaplanır. Levha kesmesi ve reynolds sayısına göre boyutsuz basınç çarpanı ve gövde tarafı basınç kaybı hesaplanır (Şekil 3.7).

3.1.2. Program Kodları



Şekil 3.8: Visual basic kod yazım ekranı

Microsoft Visual Studio programında mevcut bulunan programlama dillerinden Visual basic ile kod yazmak, hem daha avantajlı hem daha kolay hem de görseldir. Şekil 3.8’de visual basic 6.0 için tasarlanan kod yazım ekranı görülmektedir. Program kodları Ek.A’da verilmiştir.

3.2. YÖNTEM

Pratikte çok geniş uygulama alanı bulmaları ve özellikle şaşırtma levhalarına sahip gövde tarafındaki akışın karmaşıklığı nedeniyle, gövde borulu ısı değiştiricilerinin gövde tarafındaki ısı geçiş analizi ayrı bir kısım olarak göz önüne alınmıştır. Şaşırtma levhalı gövde borulu bir ısı değiştirici gövdesindeki esas akış, oldukça karmaşıktır. Buradaki akış, bazı bölgelerde boruların eksenine paralel, bazı bölgelerde ise boruların eksenine dik olarak gerçekleşir. Akışkanın bazı yerlerde kısa devre yapması ve bazı yerlerde ise kaçakların olması nedeniyle, bu şekilde ideal olarak verilen esas akış biçimi bir miktar bozulabilir.

Gövde tarafındaki karmaşık akım özelliği ve olaya etki eden parametrelerin fazlalığı, gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısının ve basınç düşmesinin kesin bir şekilde belirlenmesini güçleştirir. Literatürde Kern yöntemi olarak adlandırılan bu hesap şeklinde, ideal akış modeli için, korelasyon bağıntıları kullanılmaktadır. Bu yöntem, standart toleranslar ile imalatı yapılan gövde borulu ısı değiştiricilerinde ısı taşınım katsayısı için yeterli sonuçlar vermektedir. Gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısı (h_g);

$$Nu_g = J_K \cdot Re_g \cdot Pr_g^{1/3} \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{0.14} \quad (4.1)$$

$$h_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_e} \quad (4.2)$$

Uygulamada çok değişik alanlarda kullanılan ve çok farklı tipleri bulunan gövde borulu ısı değiştiricilerinde en uygun tasarım için değişen ekonomik koşullara göre tek tek

hesaplama zorunluluğu vardır. Değişken parametrelerin çokluğu nedeniyle hesaplamaların yapılması oldukça fazla vakit alacaktır. Bu yüzden Kern metodu kullanılarak, windows altında Microsoft Visual Basic 6.0' ile birlikte bir yazılım geliştirilmiştir. Bu sayede veri girişi yapılması ve sonuç çıktılarının alınması kolaylaştırılmıştır.

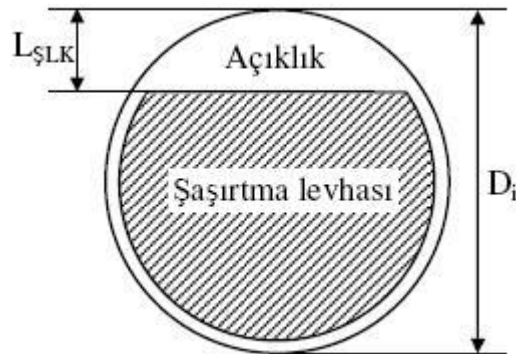
Gövde boru tipi ısı değiştiricisinde gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısı Kern Yöntemi'ne göre hesaplanmıştır. Optimum boyutlandırmaya etki eden ve bu çalışmada incelemesi yapılacak olan değişken parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Akışkan hızları, V_b - V_g (m/s)

Gerek gövdenin gerekse de boruların çap ve sayılarının tespitinde, bunlar içinde akan akışkan hızları önemli olmaktadır. Hızın büyük olması ısı geçiş katsayısını artırarak, daha kompakt ısı değiştiricisi konstrüksiyonuna imkan sağlarken, basınç kayıplarının ve bunun sonucu pompa veya vantilatör gücünün büyümesine sebep olur. Diğer taraftan büyük hızlar cidarda kirlenmeyi de önler. Ancak titreşim, kavitasyon, ve erozyon oluşturabilir.

Burada yapılan optimizasyon çalışmasında 0.6 - 0.7 - 0.8 - 0.9 - 1.0 - 1.2 m/s gibi farklı boru tarafı akışkan (su) hızlarında toplam ısı geçiş katsayısının değişimi incelenmiş ve basınç kayıplarına göre bir algoritma kurularak, çeşitli kombinasyonlar içerisinde en ideal ısı değiştiricisinin seçilmesi sağlanmıştır.

- Şaşırtma levhası kesme oranı, %



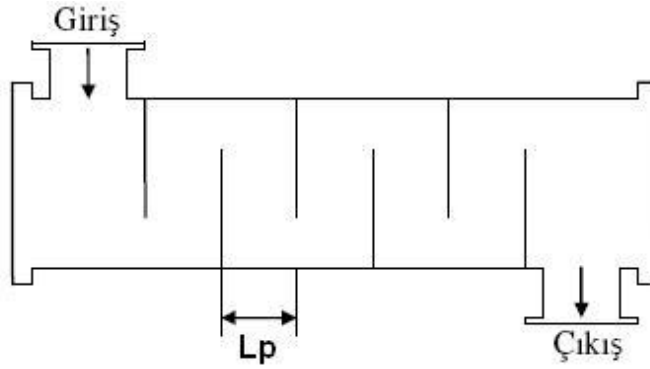
Şekil 3.9: Şaşırtma levhası kesmesi

Şaşırtma levhaları ilk olarak 1951 yılında Tinker tarafından tanımlanmıştır. Bu levhalar sayesinde toplam akış dağılmakta ve dolayısıyla ısı transfer katsayısıda artmaktadır. Buna karşın gövde tarafındaki basınç kayıplarıda artmakta ve sistemde kullanılan pompa üzerinde baskı oluşturmakta ve elektrik sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. Şaşırtma levhalarının kesme oranı %15 - %45 arasında alınabilmekle birlikte, burada yapılan optimizasyon çalışmasında %15 - %25 - %35 - %45 levha kesme durumları için ayrı ayrı hesaplamalar yapılacaktır. Bu oran levhanın kesme yüksekliğinin gövde iç çapına oranıdır.

$$\text{Şaşırtma levhası kesmesi, \%} = \left(\frac{L_{SLK}}{D_i} \right) \cdot 100 \quad (4.3)$$

- Şaşırtma levhası aralığı, L_p (mm)

Gövde borulu ısı değiştiricilerde şaşırtma levhaları arasındaki mesafenin seçilmesi oldukça önemlidir. Perdeler arasındaki mesafe, gövde çapının 0.2 – 1.0 katı arasında değişebilmesine rağmen, bu değerin 0.3 – 0.6 katı arası seçilmesi ısı geçişi ve basınç kayıpları açısından uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 3.10'da gövde borulu bir ısı değiştiricisinde perdeler arasındaki mesafe görülmektedir.



Şekil 3.10: Şaşırtma levhası aralığı (Perdeler arası mesafe)

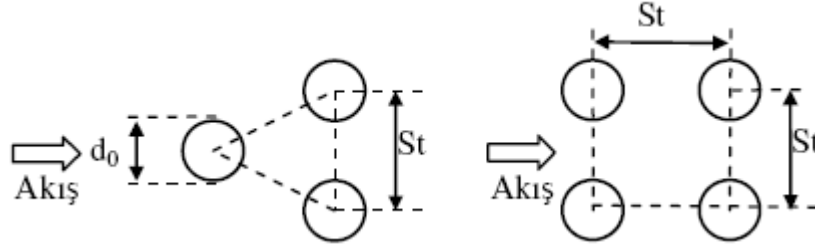
Gövde tarafındaki akışkanda herhangi bir faz değişimi yoksa gövdeler arasındaki mesafe gövde iç çapını geçmemelidir. Bunun nedeni perdeler arasındaki mesafe ne kadar fazla olursa, akışkan borulara paralel şekilde akacak ve bu nedenle ısı transferi azalacaktır. Perdeler arası mesafe azaldıkça ısı transferi artacak ve buna bağlı olarak basınç kayıpları artacaktır. Bu durum sistemin işletme masraflarında ve yatırım masraflarında artışa sebep olacaktır. Bu yüzden perdeler arasındaki mesafe

belirlenirken, ısı geçiři ile basınç dūřımı birlikte dūřunūlmeli ve sistem için en uygun çözüm elde edilmelidir.

Bu çalışmada perdeler arası mesafe değeri gövde i çapının $0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.6 - 0.7 - 0.8 - 1.0$ katı olarak tek tek hesaplanarak ısı hesaplarına, basınç kayıplarına ve maliyetlere etkisi araştırılacak ve optimum değerin seçilmesi sağlanacaktır.

- Boru demetinin aynaya yerleşimi

Gövde borulu ısı değiştiricileri içindeki boru demeti aynaya eşkenar üçgen, kare, döndürölmüş üçgen, döndürölmüş kare şeklinde yerleştirilebilir. Kare ve döndürölmüş düzenlemeler daha çok kirletici akışkanlar için kullanılmaktadır. Çünkü bu tip düzenlemelerin temizlenmesi daha kolaydır.



şekil 3.11: Boru demetinin üçgen ve kare düzenlemeleri

Bu çalışmada göz önüne alınan üçgen ve kare düzenlemeler şekil 3.11’de verilmiştir. Burada d_0 boru dış çapını, St ise boru eksenleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bugüne kadar yapılan uygulamalarda, çalışmalar boru ve gövde tarafında su kullanılması durumunda üçgen düzenlemenin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

- Akış düzenlemeleri

Isı değiştiricileri içindeki akışkanların akışlarının birbirine göre çeşitli şekilde düzenlemeleri ısı değiştiricisi etkenliğine, logaritmik sıcaklık farkına ve ısı gerilmelere çok etki eder. Prensip olarak bu akışlar paralel, ters ve çapraz olmak üzere üç esas şekilde gerçekleşir. Bu çalışmada paralel ve ters akış durumları dikkate alınacaktır. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda ters akış halinde optimum ısı değiştiricileri elde edildiği görölmüştür. Isıl gerilmelerin istenmediği durumlarda ise paralel akış düzenlemesi tercih edilmesi daha uygun olur. Bu çalışmada hem paralel hemde ters akış düzenleme durumları için ayrı ayrı hesaplamalar yapılacaktır.

Sonuç olarak yukarıda belirtilen haller için akışkanların farklı hız değerleri, farklı şaşırtma levhası kesme oranları, farklı şaşırtma levhası aralığı, boru demetinin yerleşimi ve akış düzenleme durumlarına göre hesaplamalar yapılacaktır. Hesaplamalar daha önce anlatılan program sayesinde hızlı ve hassas bir şekilde yapılacaktır.

Hesaplamalardan elde edilen veriler sayesinde, optimum ısı değiştiricisinin hangi değişken parametrelerde elde edildiği görülecek ve ısı değiştiricisinin boyutlandırılması yapılacaktır. Elde edilen bulgular, grafikler haline getirilerek yapılan hesaplamalardan bir takım sonuçlar elde edilmesi sağlanacaktır.

4. BULGULAR

4.1. OPTİMİZASYON UYGULAMASI

Bu çalışmada incelenen parametreler boru tarafı akışkan hızı (V_b), levha kesme oranı (%), perdeler arası mesafe (L_p), boru dizilişi ve akış düzenlemesidir. Optimum ısı değiştiricisi tasarımı için bu parametrelerin farklı değerleri için hesaplamalar tekrar edilir. Hesaplamaları hızlı bir şekilde yapabilmek için hazırlanan bilgisayar programı kullanılacaktır. Burada aşağıda belirtilen parametre değerlerine göre örnek bir hesaplama ayrıntılı olarak adım adım yapılacaktır. Elde edilen bulgular grafikler halinde incelenecektir.

Bu çalışmada yapılan tüm optimizasyon uygulamalarında, 1 gövde 2 boru geçişli bir ısı değiştiricisi, 25/21mm çelik paslanmaz boru ve akışkanlar su/su olarak seçilmiştir. Örnek bir hesaplama aşağıda verilen akışkanlara ait bilgiler ve inceleme yapılan parametrelere göre yapılacaktır. Diğer incelemesi yapılacak olan değişken parametreler işlemlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için hazırlanan program vasıtasıyla yapılacak ve sonuçlar grafikler halinde aktarılacaktır.

- İnceleme yapılan değişken parametreler;

Boru tarafı akışkan hızı (V_b) : 1.2 m/s

Levha Kesme oranı : %25

Boru demeti düzenlemesi : Üçgen diziliş

Perdeler arası mesafe (L_p) : $D_i \times 0.40$ (Gövde iç çapının %40'ı)

Akış düzenlemesi : Ters akım

- Sabit parametreler;

Gövde geçiş sayısı / Boru geçiş sayısı : 1 / 2

Boru dış (d_d) / iç çapları (d_i) : 25 / 21 mm çelik boru

Pompa verimi (η_p) : %80

Elektrik motoru verimi (η_m) : %85

Boru akışkanı giriş sıcaklığı (T_{bi}) : 90 °C

Boru akışkanı çıkış sıcaklığı (T_{bo}) : 70 °C

Gövde akışkanı giriş sıcaklığı (T_{gi}) : 5 °C

Gövde akışkanı çıkış sıcaklığı (T_{go}) : 60 °C

Gövde akışkanı debisi (m_g) : 10 kg/s

- Ekonomik faktörler;

Yıllık faiz oranı (i) : %10

Yıllık enflasyon oranı (e) : %14

İşletme süresi (s) : 10 yıl

Isı değiştirici yıllık çalışma süresi (r) : 3120 saat/yıl

Elektrik birim fiyatı (H) : 0.24 TL/kWh (EIA)

Boru malzemesi birim fiyatı (B) : 350 TL/m²

Isıtma ve soğutma sanayinde sıkça yapılan uygulamalarda gövdeden geçecek akışkanın giriş çıkış sıcaklıkları ve debisi önceden planlandığı için, yapılan optimizasyon çalışmasının sanayide sıkça kullanılan uygulamalara örnek teşkil etmesi açısından bu değerler sabit alınmıştır. Bu nedenle boru tarafı akışkan hızı değiştiğinde, gövde tarafı akışkan debisi sabit seçildiğinden gövde tarafı akışkan hızıda değişmiş olacaktır.

4.2.1. Isıl Hesaplar

- Boru ve gövde tarafı akışkanlar için ortalama sıcaklıklar, T_b (°C) ve T_g (°C)

$$T_b = \frac{(T_{bi} + T_{bo})}{2} = \frac{(90 + 70)}{2} = 80 \text{ °C}$$

$$T_g = \frac{(T_{gi} + T_{go})}{2} = \frac{(5 + 60)}{2} = 32.5 \text{ °C}$$

- Isıl güç, Q (W)

$$Q = m_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{go} - T_{gi}) = 10 \cdot 4178.05 \cdot (60 - 5) = 2297.928 \text{ kW}$$

- Logaritmik sıcaklık farkı, ΔT_m (°C)

$$\Delta T_m = \frac{(T_{bo} - T_{gi}) - (T_{bi} - T_{go})}{\ln \left(\frac{T_{bo} - T_{gi}}{T_{bi} - T_{go}} \right)} = \frac{(70 - 5) - (90 - 60)}{\ln \left(\frac{70 - 5}{90 - 60} \right)} = 45.267 \text{ °C}$$

- Bir geçişteki boru sayısı, n_1 (adet)

$$n_1 = \frac{m_b}{V_b \cdot \rho_b \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_i^2}{4}\right)} = \frac{27.3732}{1.2 \cdot 971.94 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.021^2}{4}\right)} = 68 \text{ adet}$$

- Toplam boru sayısı, n_t (adet)

$$n_t = n_1 \cdot n_b = 68 \cdot 2 = 136 \text{ adet}$$

- Boru demeti iç çapı, D_i (mm)

$$D_i = d_d \cdot \left(\frac{n_t}{C}\right)^{1/n} = 25 \cdot \left(\frac{136}{0.249}\right)^{1/2.207} = 435 \text{ mm}$$

- Boru içindeki Reynolds sayısı, Re_b

$$Re_b = \frac{V_b \cdot \rho_b \cdot d_i}{\mu_b} = \frac{1.2 \cdot 971.94 \cdot 0.021}{0.0003522} = 69542.56$$

- Boru içindeki Prandtl sayısı, Pr_b

$$Pr_b = \frac{\mu_b \cdot c_{pb}}{\lambda_b} = \frac{0.0003522 \cdot 4197.4}{0.6704} = 2.205$$

- Boru içindeki Nusselt sayısı, Nu_b

$$Nu_b = 0.023 \cdot Re_b^{0.8} \cdot Pr_b^{0.3} = 0.023 \cdot (69542.56)^{0.8} \cdot (2.21)^{0.3} = 218.05$$

- Boru içindeki ısı taşınım katsayısı, h_b ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$$h_b = \frac{Nu_b \cdot \lambda_b}{d_i} = \frac{218.05 \cdot 0.6704}{0.021} = 6961 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Eşdeğer çap, d_e (mm)

t : Boru merkezleri arası mesafe, mm

$$t = 1.28 \cdot d_d = 1.28 \cdot 25 = 32 \text{ mm}$$

$$d_e = \frac{1,10}{d_d} \cdot (t^2 - 0.917 \cdot d_d^2) = \frac{1,10}{d_d} \cdot (32^2 - 0.917 \cdot 25^2) = 19.84 \text{ mm}$$

- Gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesidi, A_s (m²)

$$A_s = \frac{(t - d_d) \cdot L_p \cdot D_i}{t} = \frac{(32 - 25) \cdot 0.174 \cdot 0.435}{32} = 0.0165 \text{ m}^2$$

- Gövde tarafındaki akışkan hızı, V_g (m/s)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g \cdot A_s} = \frac{10}{994.8 \cdot 0.018} = 0.60782 \text{ m/s}$$

- Gövde tarafındaki Reynolds sayısı, Re_g

$$Re_g = \frac{V_g \cdot \rho_g \cdot d_e}{\mu_g} = \frac{0.60782 \cdot 994.8 \cdot 0.01984}{0.0007621} = 15741.3$$

- Gövde tarafındaki Prandtl sayısı, Pr_g

$$Pr_g = \frac{\mu_g \cdot c_{pg}}{\lambda_g} = \frac{0.0007621 \cdot 4178.05}{0.6207} = 5.13$$

- Gövde tarafındaki Nusselt sayısı, Nu_g (Kern'e göre)

J_K : Boyutsuz ısıl çarpanı

$$Nu_g = J_K \cdot Re_g \cdot Pr_g^{1/3} \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{0.14} = 0.0048 \cdot 15784 \cdot (5.13)^{1/3} \left(\frac{0.0007621}{0.000498} \right)^{0.14}$$

$$Nu_g = 140.65$$

- Gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısı, h_g (W/m².°C)

$$h_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_e} = \frac{140.65 \cdot 0.6207}{0.01984} = 4400 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Toplam ısı geçiş katsayısı, K (W/m².°C)

$$Rf_b = 0.0002, Rf_g = 0.0002$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_b} \cdot \frac{d_d}{d_i} + Rf_b \cdot \frac{d_d}{d_i} + \frac{d_d}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{d_d}{d_i}\right) + Rf_g + \frac{1}{h_g}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{6961} \cdot \frac{0.025}{0.021} + 0.0002 \cdot \frac{0.025}{0.021} + \frac{0.025}{2 \cdot 50} \cdot \ln\left(\frac{0.025}{0.021}\right) + 0.0002 + \frac{1}{4400}}$$

$$K = 1136.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Isı değıştiricisi yüzeyi, A (m²)

$$R = \frac{(T_{bi} - T_{bo})}{(T_{go} - T_{gi})} = \frac{(90 - 70)}{(60 - 5)} = 0.3636 \quad \text{Kapasite oranı}$$

$$P = \frac{(T_{go} - T_{gi})}{(T_{bi} - T_{gi})} = \frac{(60 - 5)}{(90 - 5)} = 0.647 \quad \text{Etkenlik}$$

1 gövde 2 boru geçişli ısı değıştiricisi için F ;

$$F(P, R) = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R - 1} \cdot \frac{\ln\left(\frac{1 - P}{1 - P \cdot R}\right)}{\ln\left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}\right]} = 0.90$$

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_m \cdot F} = \frac{2297928}{1136.4 \cdot 45.267 \cdot 0.90} = 49.63 \text{ m}^2$$

- Isı değıştiricisi boru boyu, L (m)

$$L = \frac{A}{n_t \cdot \pi \cdot d_i} = \frac{49.63}{136 \cdot \pi \cdot 0.025} = 4.65 \text{ m}$$

4.2.2. Basınç Kayıp Hesapları

- Boru tarafındaki basınç düşümü, Δp_b (Pa)

k_s : Sürtünme katsayısı

$$\varepsilon = \frac{e}{d_i} = \frac{0.15}{21} = 0.00714 \quad \text{Boyutsuz pürüzlülük}$$

$$\frac{1}{\sqrt[2]{k_s}} = 2 \log \left(\frac{d_i}{e_i} \right) + 1.14 = 2 \log \left(\frac{21}{0.015} \right) + 1.14$$

$$k_s = 0.035$$

$$\Delta p_b = n_g \cdot \left(k_s \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_c} \right)^{-0.14} + 2.5 \right) \cdot \frac{\rho_b \cdot V_b^2}{2}$$

$$\Delta p_b = 2 \cdot \left(0.035 \cdot \frac{4.65}{0.021} \cdot \left(\frac{0.0003522}{0.0004980} \right)^{-0.14} + 2.5 \right) \cdot \frac{971.94 \cdot 1.2^2}{2}$$

$$\Delta p_b = 14931.5 \text{ Pa}$$

- Gövde tarafındaki basınç düşümü, Δp_g (Pa)

J_f : Boyutsuz basınç çarpanı

L_p : Perdeler arası mesafe

$$\Delta p_g = 8 \cdot J_f \cdot \frac{D_i}{d_e} \cdot \frac{L}{L_p} \cdot \frac{\rho_g \cdot V_g^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{-0.14}$$

$$\Delta p_g = 8 \cdot 0.0462 \cdot \frac{0.435}{0.01984} \cdot \frac{4.65}{0.174} \cdot \frac{994.8 \cdot 0.60782^2}{2} \cdot \left(\frac{0.0007621}{0.000498} \right)^{-0.14}$$

$$\Delta p_g = 37498.4 \text{ Pa}$$

4.2.3. Güç Kayıp Hesapları

- Boru tarafındaki güç kaybı, E_b (W)

$$E_b = \frac{\Delta p_b \cdot m_b}{\rho_b \cdot \eta_p} = \frac{14931.5 \cdot 27.3732}{971.94 \cdot 0.8} = 525.6 \text{ W}$$

- Gövde tarafındaki güç kaybı, E_g (W)

$$E_g = \frac{\Delta p_g \cdot m_g}{\rho_g \cdot \eta_p} = \frac{37498.4 \cdot 10}{994.8 \cdot 0.8} = 471.2 \text{ W}$$

4.2.4. Maliyet Hesapları

$$C_1 = \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^s - 1}{1 - \left(\frac{1+e}{1+i}\right)} = \frac{\left(\frac{1+0.14}{1+0.10}\right)^{10} - 1}{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.14}\right)} = 12.234$$

$$\text{Yatırım gideri} = Y + A \cdot B = 120 + 49.63 \cdot 350 = 17490 \text{ TL}$$

$$\text{İşletme gideri} = \frac{(E_b + E_g) \cdot H \cdot C_1 \cdot r}{\eta_m \cdot 1000} = \frac{(525.6 + 471.2) \cdot 0.24 \cdot 12.23 \cdot 3120}{0.85 \cdot 1000}$$

$$\text{İşletme gideri} = 10744 \text{ TL}$$

$$\text{Toplam giderler} = \text{Yatırım gideri} + \text{İşletme gideri} = 17490 + 10744 = 28234 \text{ TL}$$

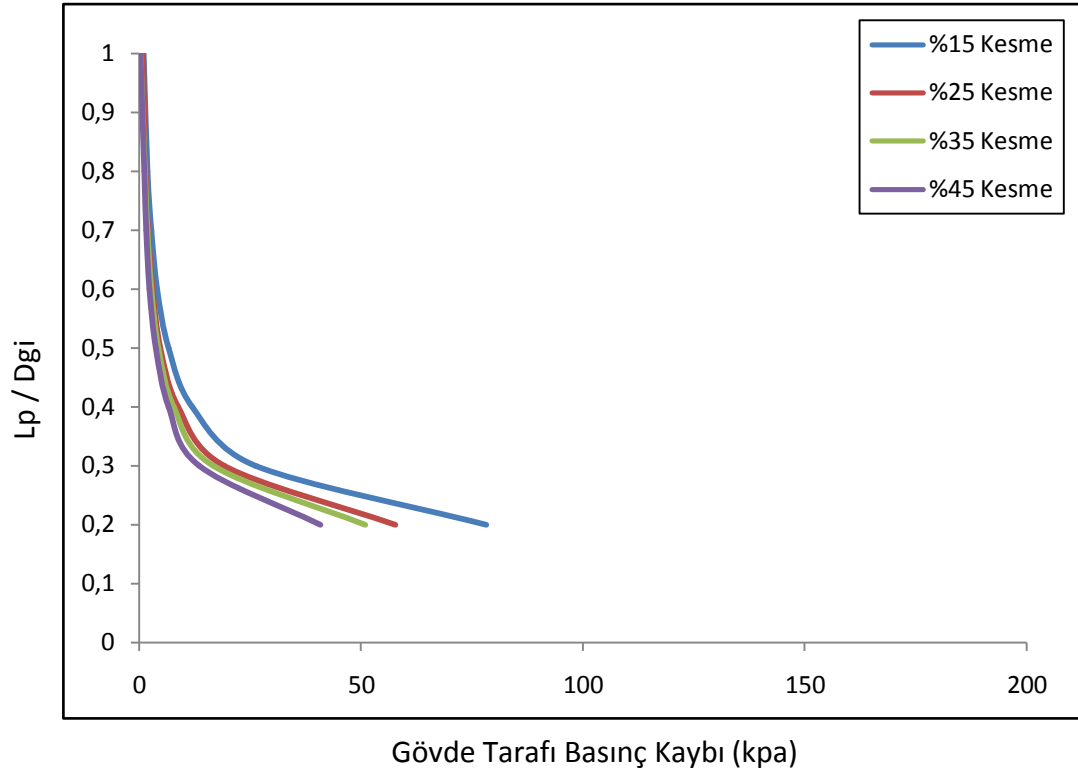
4.2 OPTİMİZASYON UYGULAMASINDA ELDE EDİLEN BULGULAR

Farklı akışkan hızlarında, farklı levha kesmelerinde, perdeler arası mesafe değişimlerinde ve boru demeti yerleşimlerine, akış şekillerine göre hesaplar ayrı ayrı yapılarak, en uygun gövde borulu ısı değiştirici seçimi yapılır. Program sayesinde bu işlemler kısa bir süre içerisinde yapılabilir.

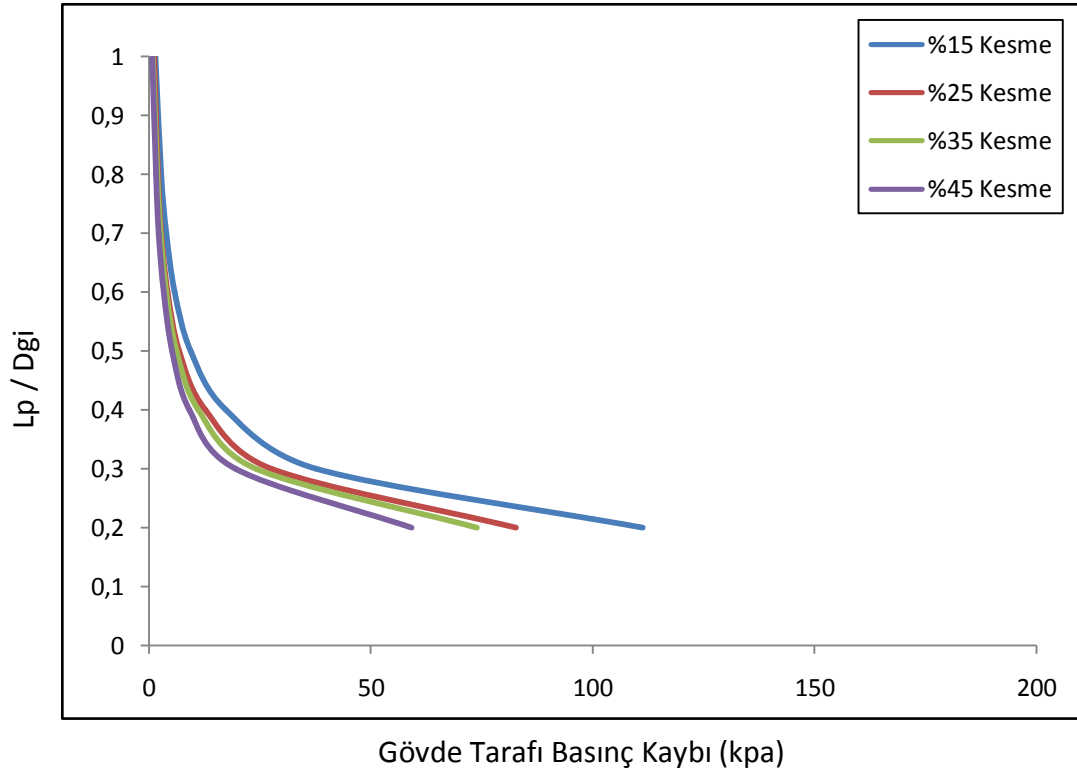
Bu çalışmada boru tarafı akışkan hızları 0.6 m/s, 0.7m/s, 0.8m/s, 0.9m/s, 1.0m/s, 1.2m/s aralığında incelenmiştir. Perdeler arası mesafe değişimi gövde iç çapının 0.2 – 1.0 katı arasında değişmektedir. Levha kesme oranı %15, %25, %35, %45 olarak değişmektedir. Boru dizilişleri üçgen veya kare diziliş olarak seçilecektir. Akışkanların akış şekli ise ters veya paralel akış olarak kabul edilecektir.

Optimizasyon yapılırken günün ekonomik koşulları dikkate alınmıştır. Yıllık faiz oranı, enflasyon oranı, elektrik enerjisi birim fiyatı, ısı değiştiricisinin işletme süresi ve yıllık tahmini çalışma süresi işletme giderlerine direkt olarak etki etmektedir. Ayrıca kullanılacak olan malzemenin özelliğide ilk yatırım giderlerini etkilediğinden, işletme ve yatırım giderlerini bir bütün olarak ele almak gerektiği ortaya çıkmaktadır. Örneğin aynı ısı değiştirici için yapılan optimizasyon çalışmasında 304 veya 316 kalite paslanmaz boru kullanılmasında farklı optimizasyon değerleri ortaya çıkmaktadır. Yine aynı şekilde ısı değiştiricisinin yıllık çalışma süresi ve işletme süresinde doğru belirlenmesi gereklidir. Yıllık çalışma süresinin normalden daha fazla hesaplanması, zamanla işletme giderlerini artırırken, daha az hesaplanması işletme giderlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır.

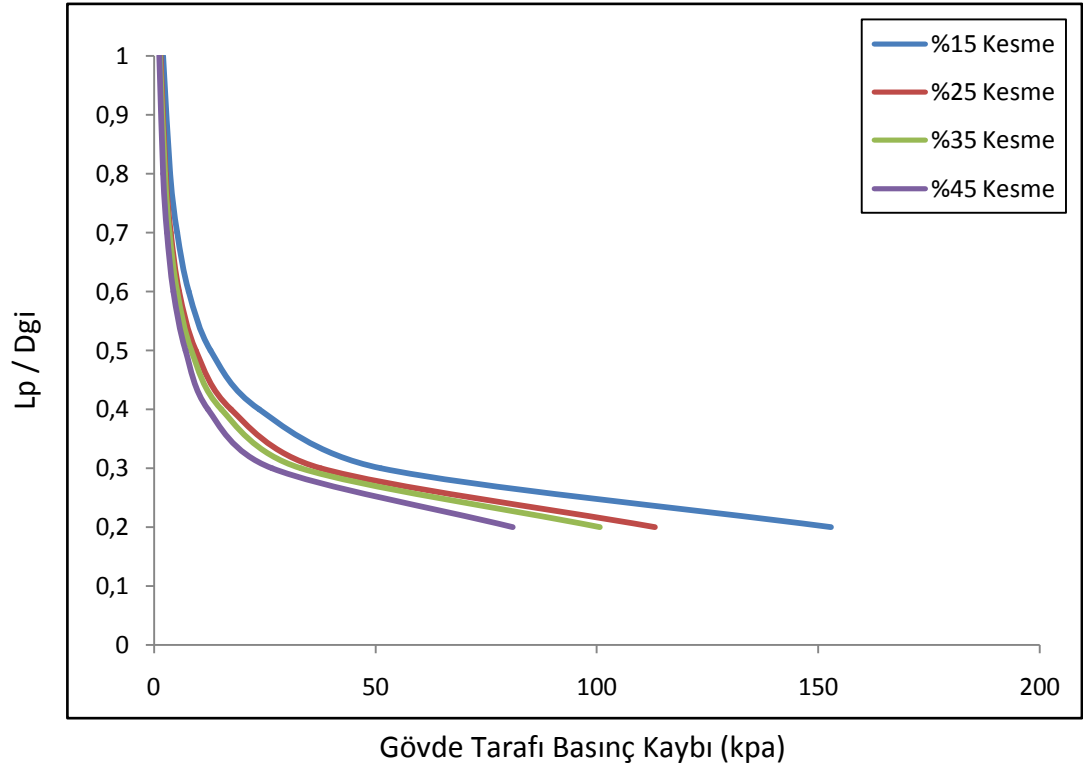
Boru tarafı akışkan hızları değiştirilerek yapılan hesaplamalarda, perdeler arası mesafenin değişimine göre gövde tarafı basınç kaybı değerleri programdan alınan veriler doğrultusunda grafik haline getirilerek incelenmiştir. Perdeler arası mesafe, gövde iç çapının 0.2 – 1.0 katı aralıkta değişimine göre incelenmiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6’da farklı su hızlarında bu değişim açıkça görülmektedir. Boru tarafı hız değeri arttıkça genel olarak basınç kayıpları artmaktadır. Boru tarafı akışkan hızı sabit alındığında ise levha kesmesi arttıkça gövde tarafındaki basınç kaybının azaldığı görülmektedir.



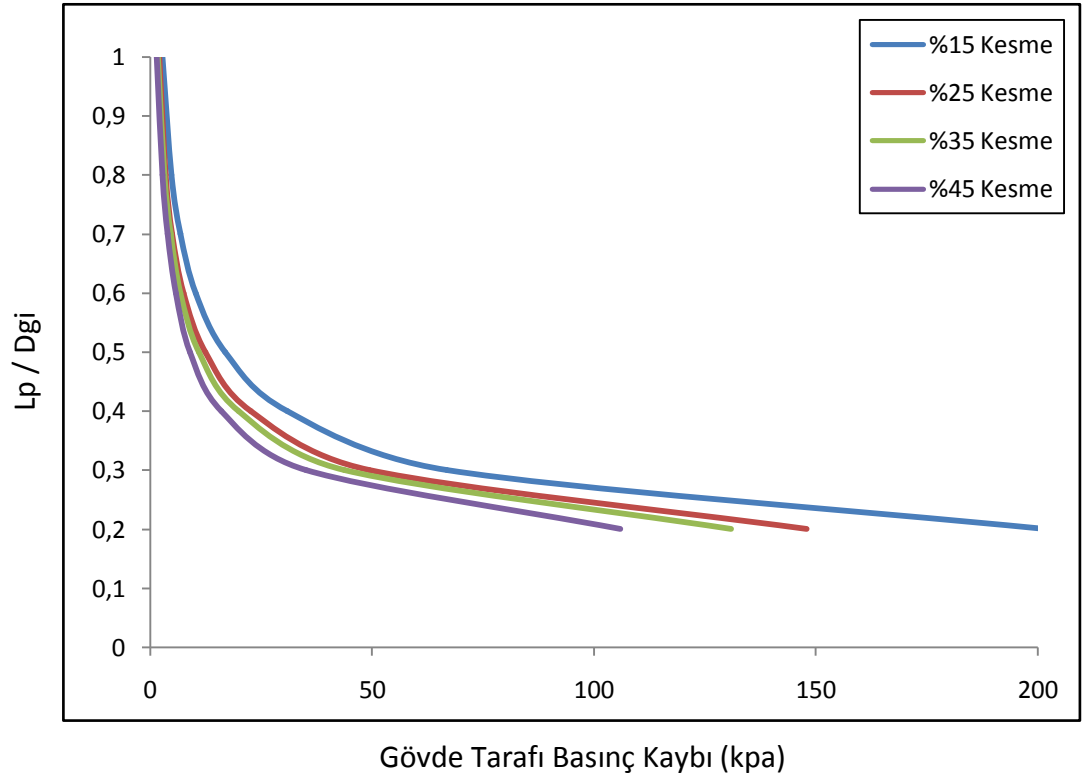
Şekil 4.1: $V_b = 0.6$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi



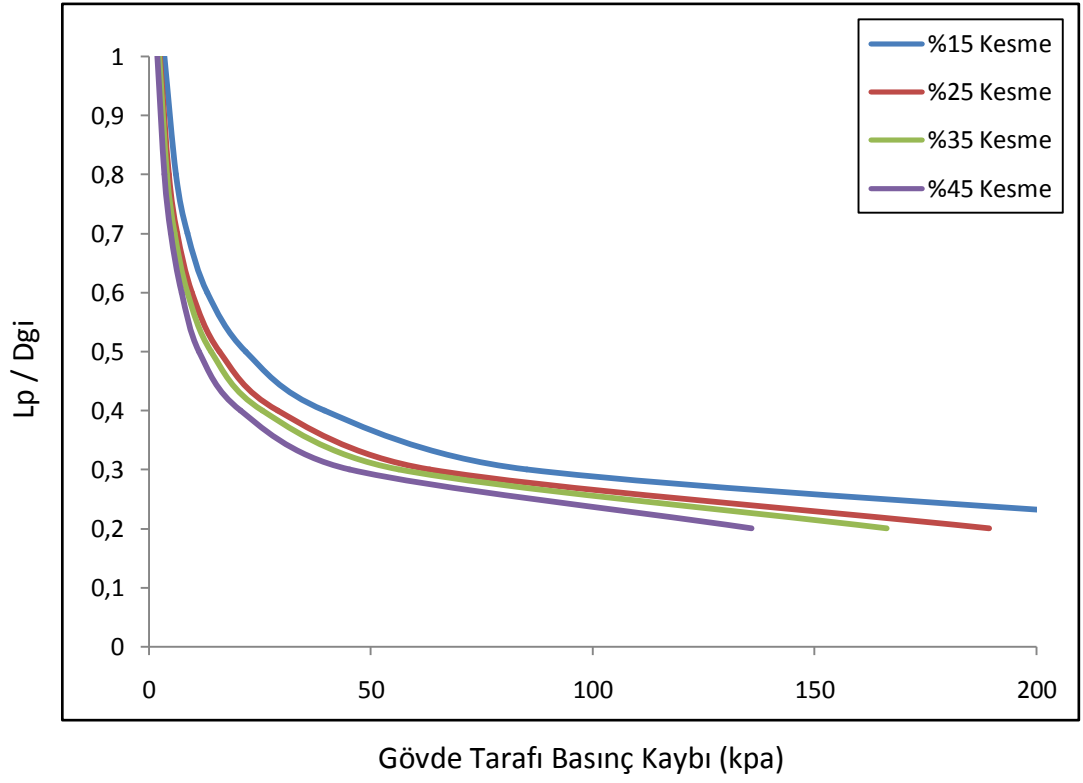
Şekil 4.2: $V_b = 0.7$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi



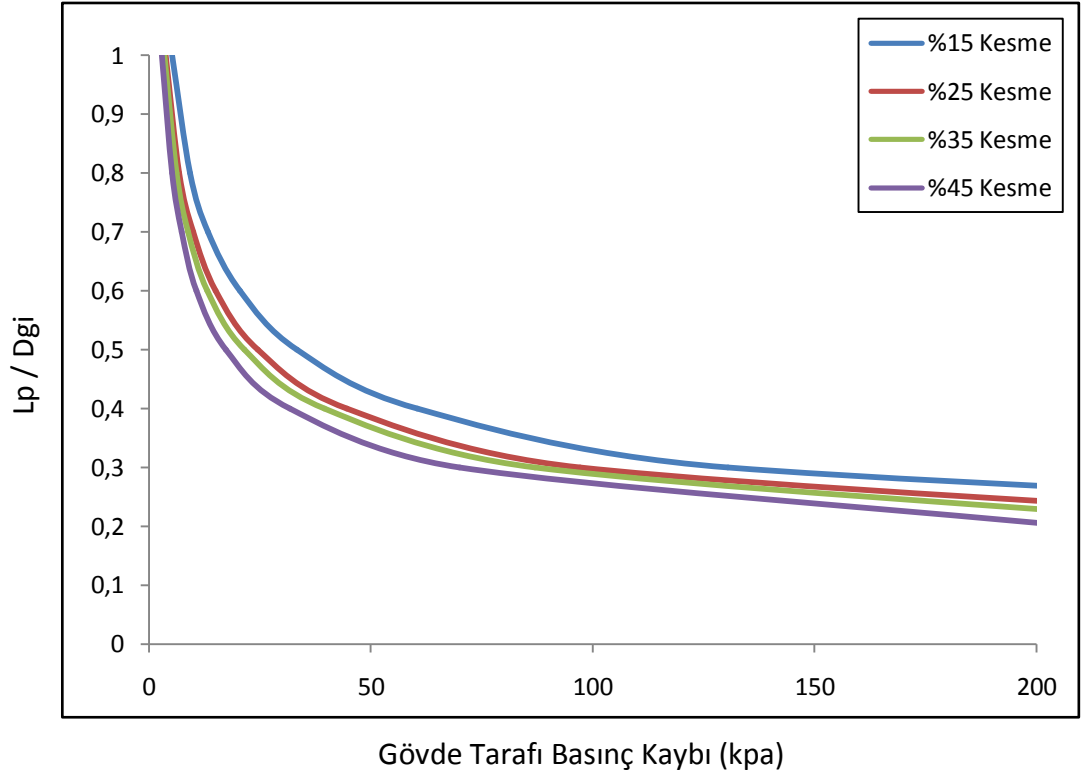
Şekil 4.3: $V_b=0.8$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi



Şekil 4.4: $V_b=0.9$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi



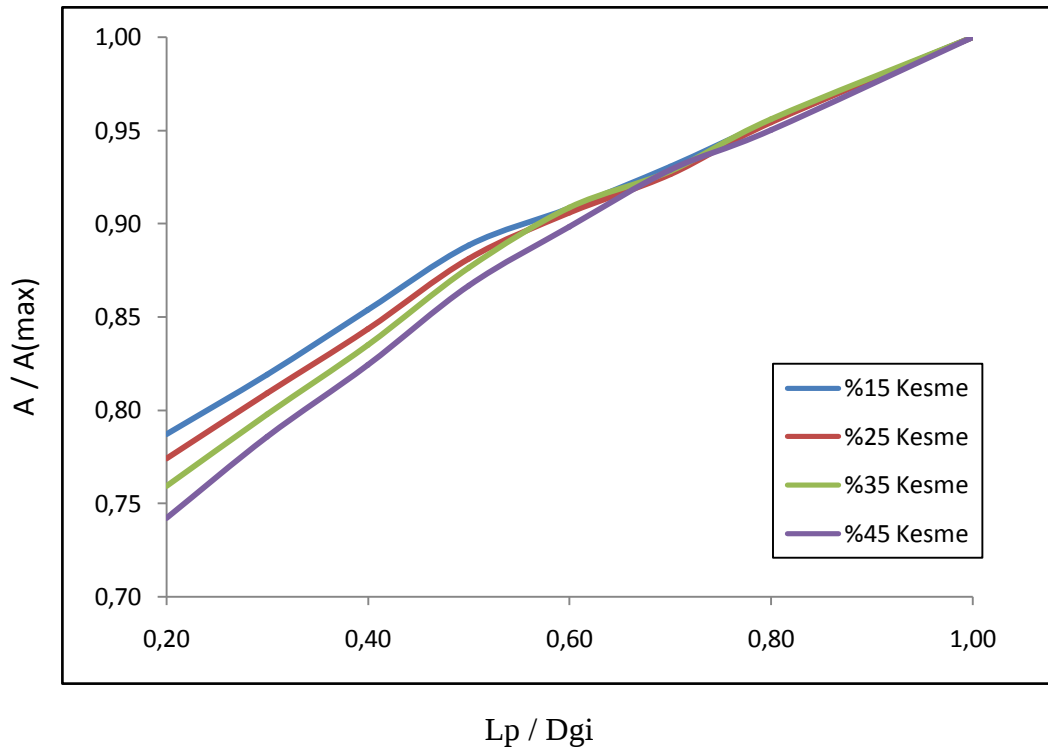
Şekil 4.5: $V_b=1.0$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi



Şekil 4.6: $V_b=1.2$ m/s için perdeler arası mesafe değişimine göre gövde basınç kaybı değişimi

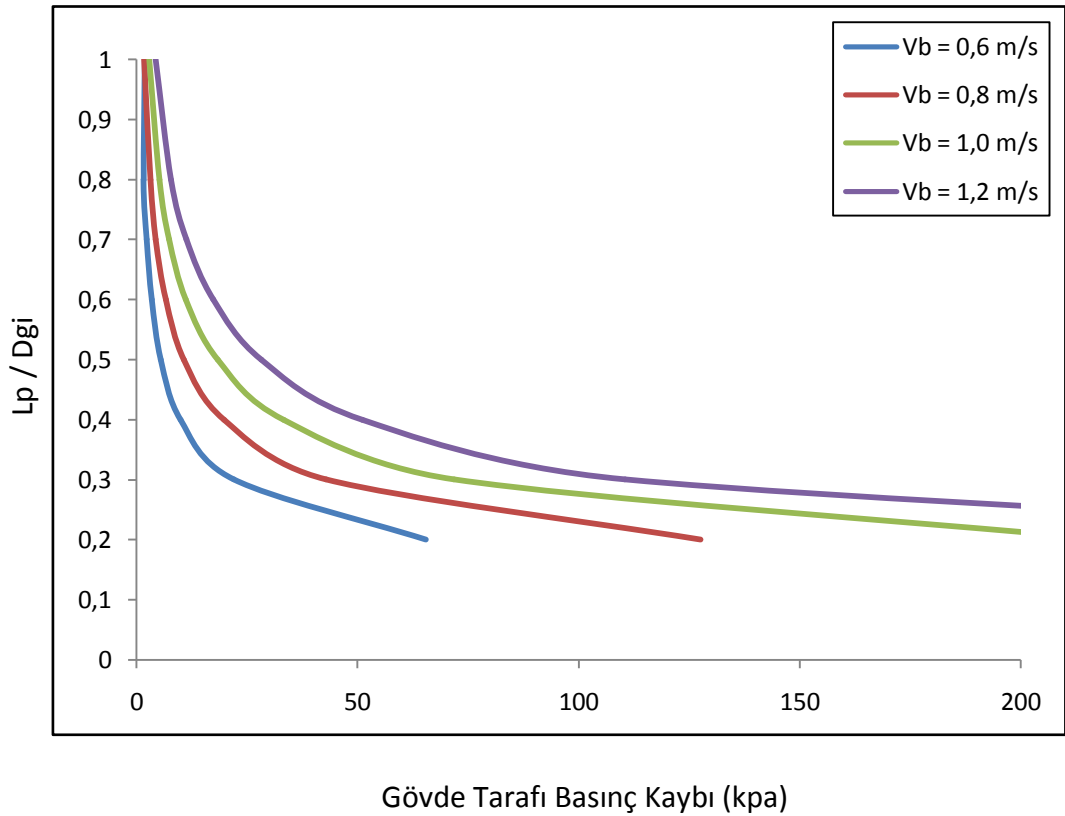
Program çıktılarından elde edilen verilerle, ihtiyaç duyulan ısı değiştiricisi yüzey alanının perdeler arası mesafeye göre değişimi Şekil 4.7’de incelenmiştir. Genel olarak levha kesme oranı azaldıkça ihtiyaç duyulan ısı transfer yüzeyinin azaldığı görülmektedir. Perdeler arası mesafe gövde iç çapının %20’si olduğu anda ısı transfer yüzeyi minimum, perdeler arası mesafe gövde iç çapının %100’ü kadar olduğunda ısı transfer yüzeyi maksimum olmaktadır. Bu değişimi $A / A_{\max}$ ve L_p / D_{gi} şeklinde incelemek mümkündür. Burada $A_{\max}$ ısı değiştiricisinin perdeler arası mesafesi (L_p), gövde iç çapı (D_i) kadar olması durumundaki ısı transfer yüzeyidir.

Şekil 4.7’de farklı levha kesme durumlarında ısı transfer yüzeyi oranı ve levhalar arası mesafe oranının değişimi görülmektedir. Levha kesmesi azaldıkça gerekli olan ısı değiştirici ısı transfer yüzeyi azalmakta iken, levha kesmesi arttıkça ihtiyaç duyulan ısı değiştirici ısı transfer yüzeyi artmaktadır. Perdeler arası mesafenin gövde iç çapının 0.6 – 1.0 katı arası seçilmesi halinde bu durumun önemini kaybettiği görülmektedir.

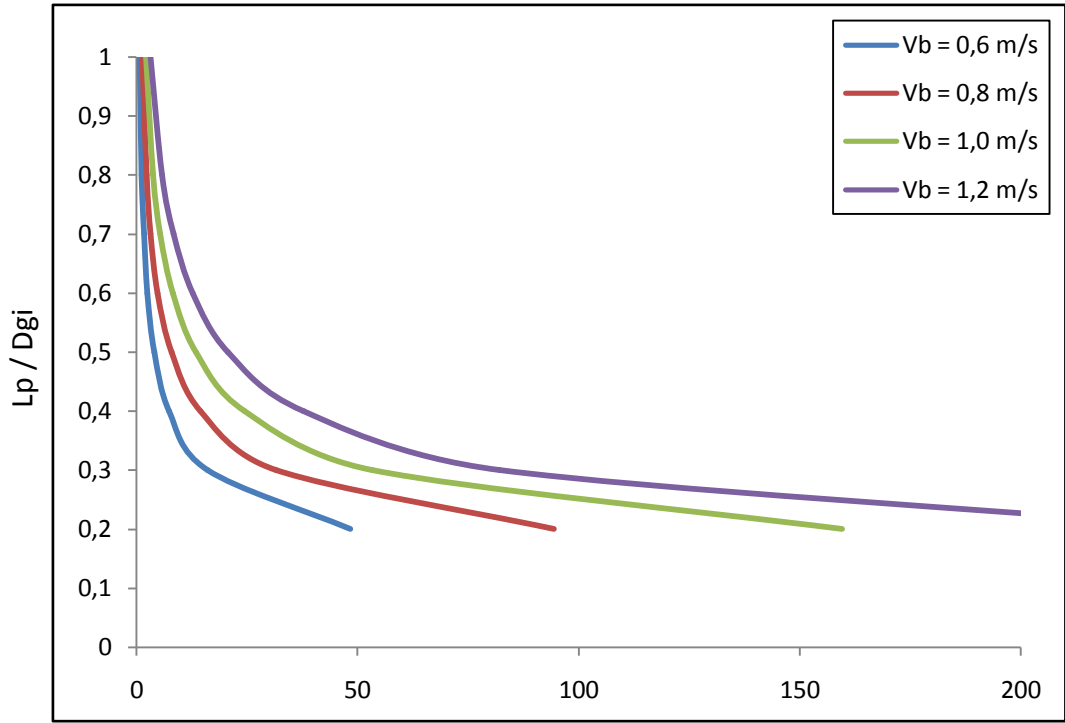


Şekil 4.7: Farklı levha kesmelerinde ısı transfer yüzeyi ve perdeler arası mesafenin değişimi

Üçgen boru düzenleme halinde Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de farklı levha kesme hallerinde ayrı ayrı boru tarafı su hız değişimlerine göre, gövde tarafındaki basınç kaybı değişimleri görülmektedir. Buradan levha kesme oranı arttıkça gövde tarafı basınç kaybının arttığı ve aynı şekilde boru tarafı hız arttıkça gövde tarafı basınç kaybının arttığı gözlemlenmektedir. Boru tarafında su hızı parametresinin artışı şekil 4.17’de görüldüğü gibi gerekli olan ısı transfer yüzeyinin azalmasını sağlamakla birlikte, basınç kayıplarında artmasına neden olmaktadır. Optimum ısı değiştirici boyutlandırılmasında bu parametreler göz önünde bulundurularak, maliyetlere yansması dikkate alınacaktır. Bu şekilde boru tarafı akışkanı hangi hız değerindeyken optimum ısı değiştiricisinin tasarlanabileceği görülebilecektir.

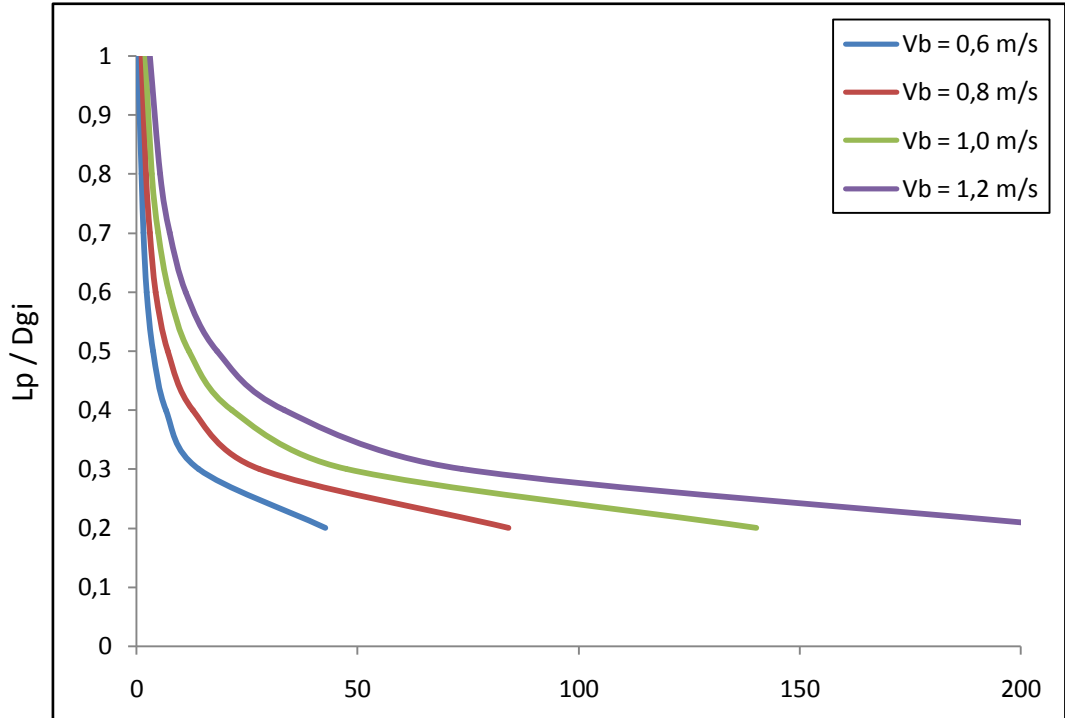


Şekil 4.8: %15 levha kesmesinde boru tarafı farklı su hızlarında, gövde basınç kaybı değişimi



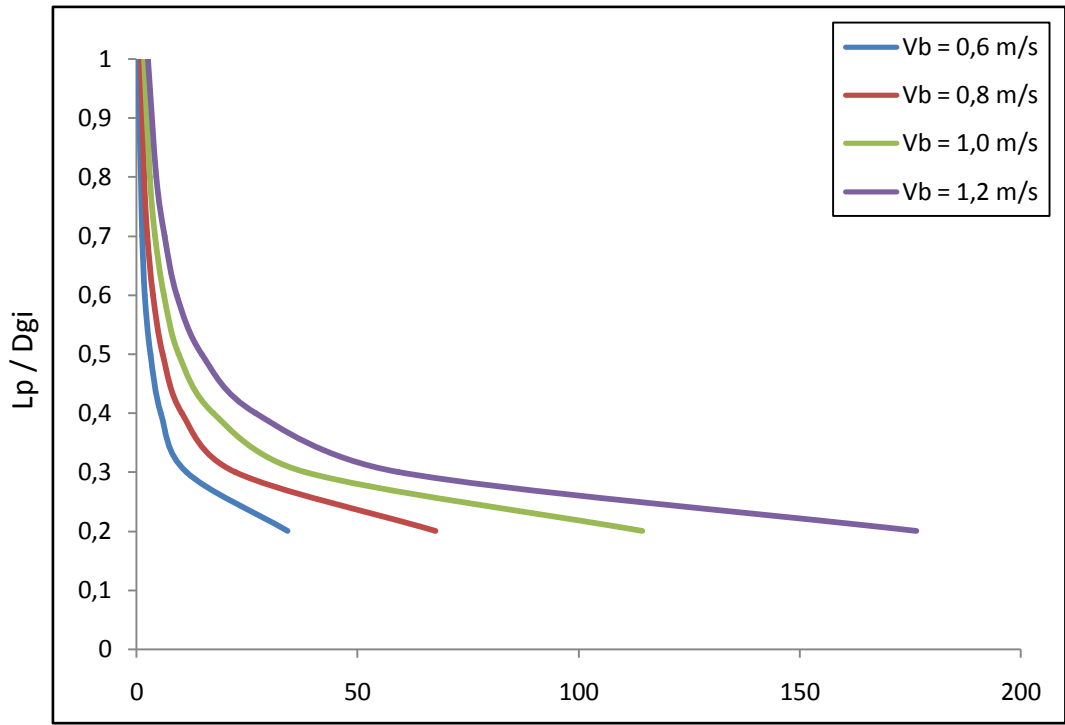
Gövde Tarafı Basınç Kaybı (kpa)

Şekil 4.9: %25 levha kesmesinde boru tarafı farklı su hızlarında, gövde basınç kaybı değişimi



Gövde Tarafı Basınç Kaybı (kpa)

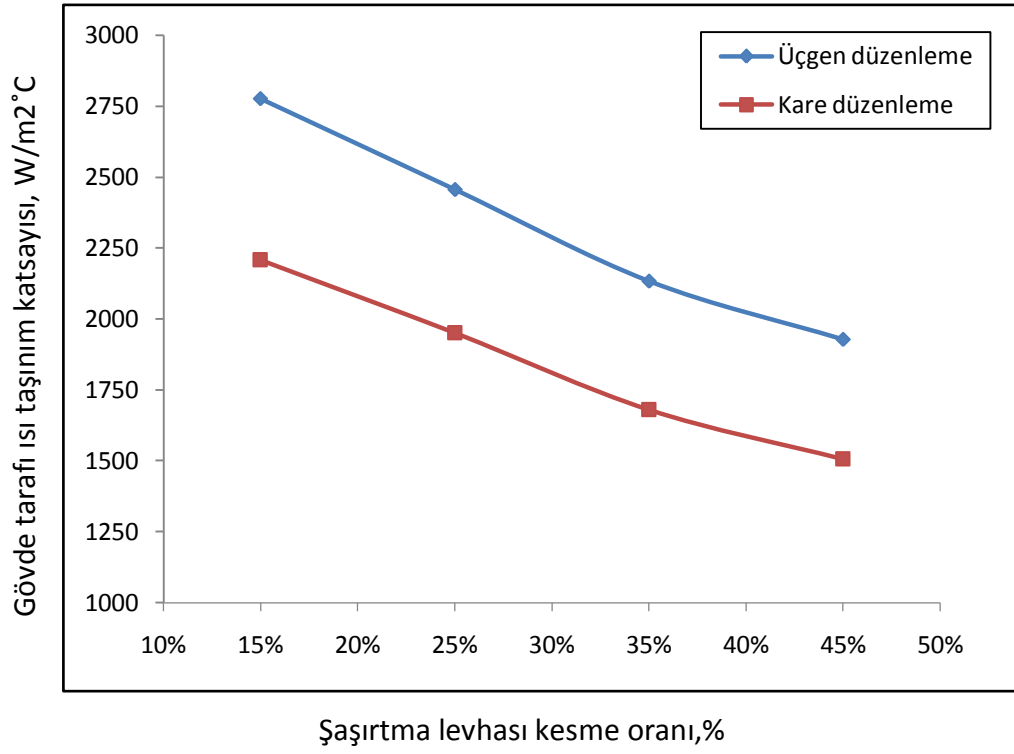
Şekil 4.10: %35 levha kesmesinde boru tarafı farklı su hızlarında, gövde basınç kaybı değişimi



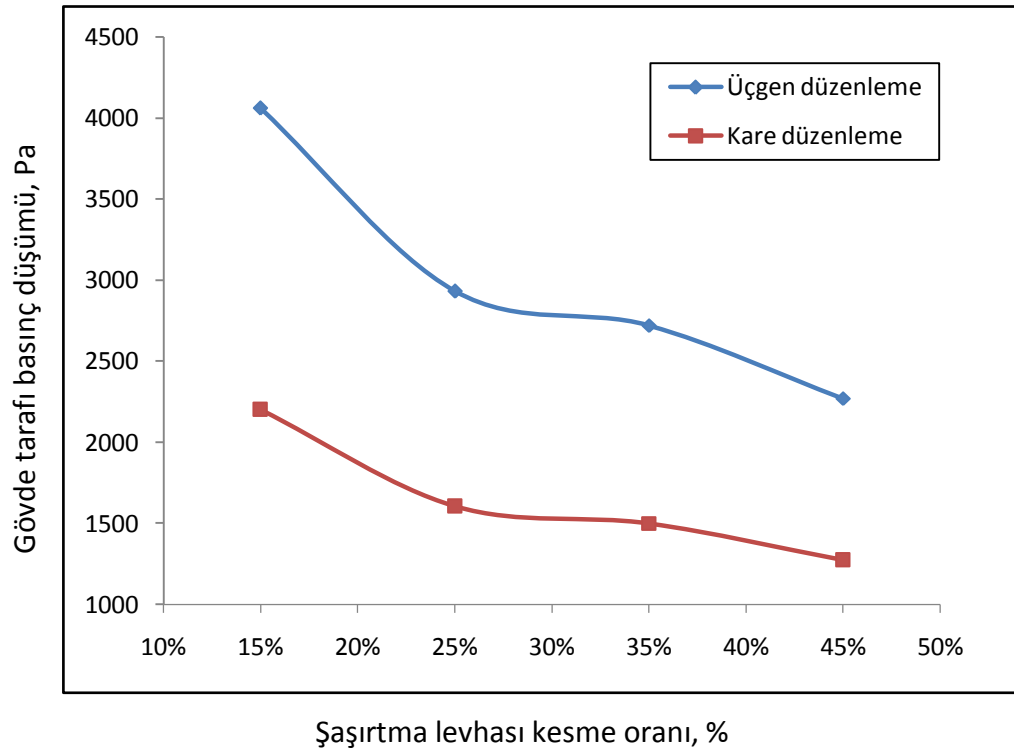
Gövde Tarafı Basınç Kaybı (kpa)

Şekil 4.11:%45 levha kesmesinde boru tarafı farklı su hızlarında, gövde basınç kaybı değişimi

Şekil 4.12'den görüldüğü gibi, şaşırtma levhası kesmesinin artmasıyla gövde tarafı ısı taşınım katsayısı hem üçgen düzenleme hem de kare düzenleme için azalmaktadır. Benzer durumda Şekil 4.13'de gövde borulu ısı değiştiricisindeki şaşırtma levhası kesmesinin artmasıyla basınç düşümü her iki düzenleme için de azalmaktadır. Isı taşınım katsayısının azalması istenmeyen bir durum olmasına rağmen basınç düşümünün azalması istenen bir durumdur. Ayrıca şaşırtma levhası kesmesinin azalmasıyla, kare düzenleme durumunda ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü en büyük değerleri almaktadır. Isı taşınım katsayısının etkisinin basınç düşümüne göre daha önemli olduğu durumlarda üçgen düzenleme, basınç düşümünün etkisinin daha önemli olduğu durumlarda ise kare düzenleme seçilmesi daha uygun sonuçlar verecektir.



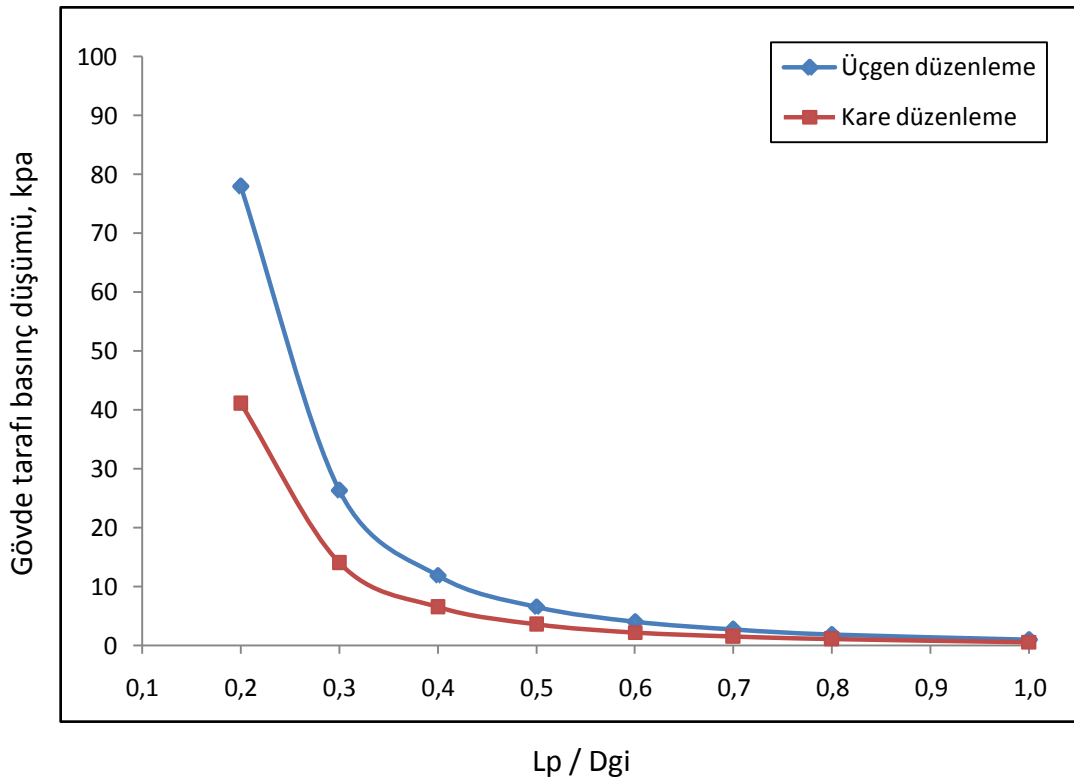
Şekil 4.12: Isı taşınım katsayısının boru diziliş ve levha kesmesine göre değişimi



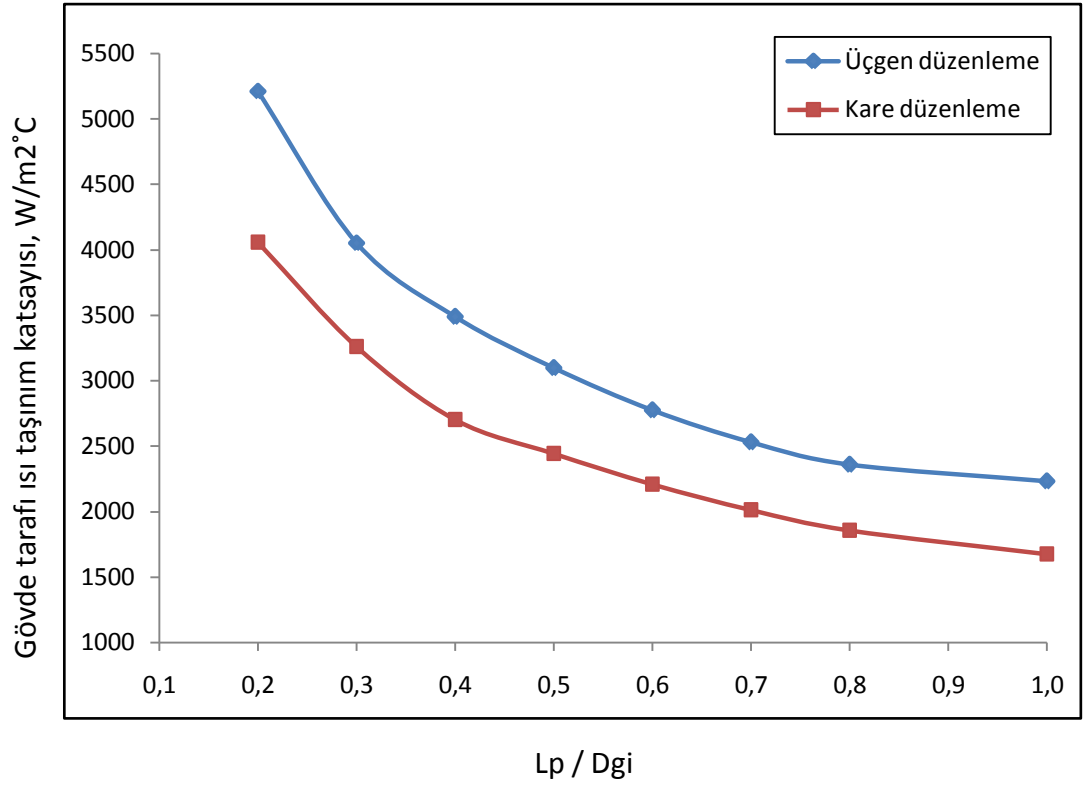
Şekil 4.13: Basınç düşümünün boru diziliş ve levha kesmesine göre değişimi

Gövde tarafı ısı taşınım katsayısının ve basınç düşümünün şaşırtma levhası aralığıyla değişimi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere şaşırtma levhası aralığı arttıkça hem ısı taşınım katsayısının ve hem de basınç düşümünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca şaşırtma levhası aralığı gövde iç çapının %20-50’si arasında olması durumunda gövde tarafındaki basınç düşümü hızla azalırken, levhalar arası mesafe gövde iç çapının %50’si ve daha fazla olmasından sonra biraz daha yataya yakın seyretmektedir. Şaşırtma levhası aralığının boru düzenlemeleri için göz önüne alınması halinde ise kare düzenlemede hem gövde tarafı ısı transfer katsayısı hemde gövde tarafı basınç düşümü değeri, üçgen düzenlemeye göre daha düşüktür. Şekil 4.14, şekil 4.15 ve şekil 4.16 %15 levha kesmesinde, 1.2 m/s boru tarafı su hızı sabit alınarak elde edilmiş grafiklerdir.

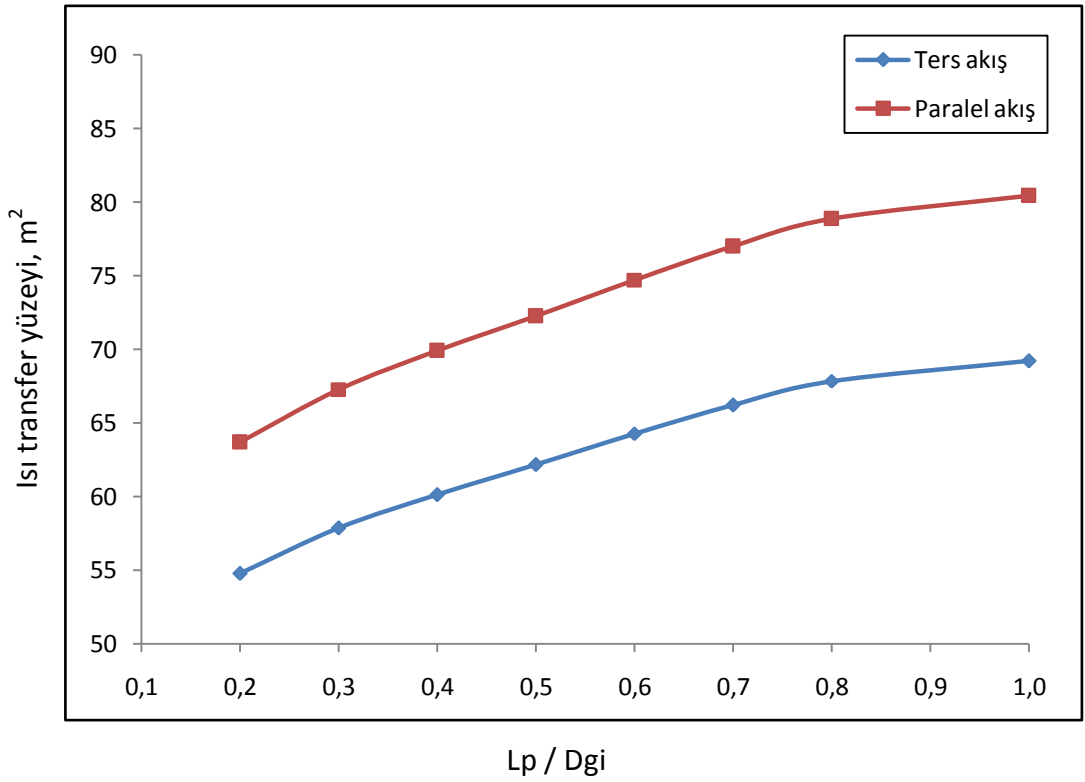
Şekil 4.15’de boru dizilişi ve perdeler arası mesafenin değişimine göre gövde tarafı ısı taşınım katsayısının değeri görülmektedir. Ters akış halinde ihtiyaç duyulan ısı değiştirici yüzeyi azalmaktadır.



Şekil 4.14: Basınç düşümünün boru diziliş ve levha aralığına göre değişimi



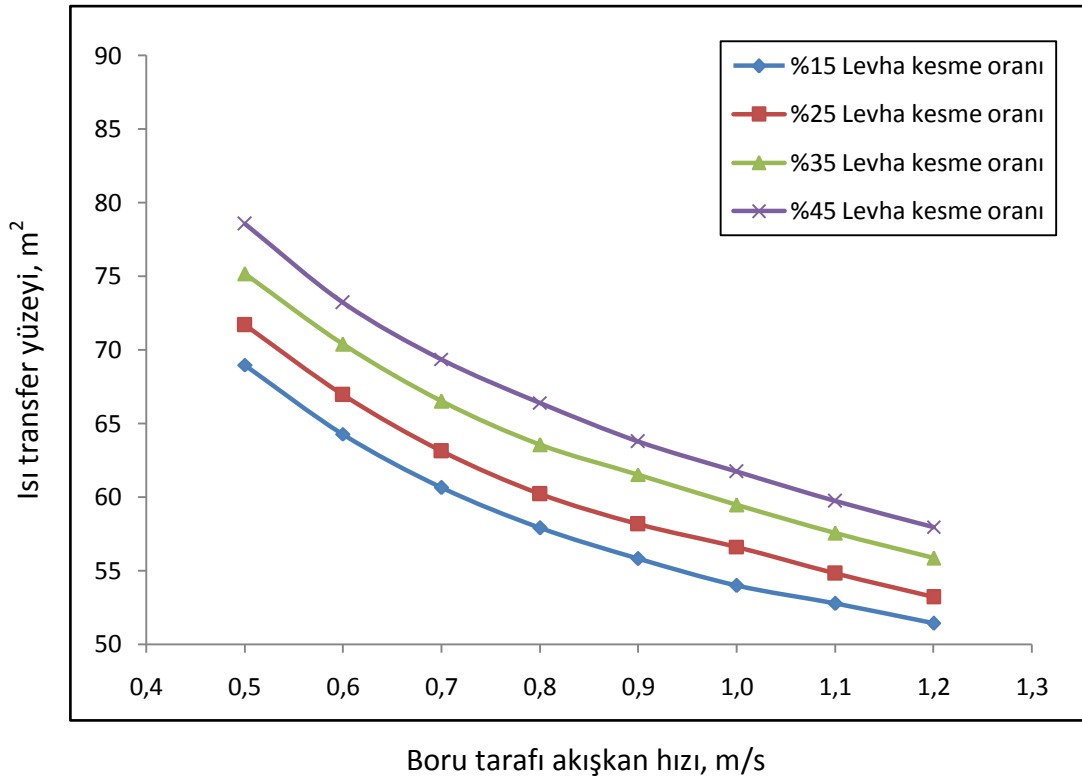
Şekil 4.15: Isı taşınım katsayısının boru diziliş ve levha aralığına göre değişimi



Şekil 4.16: Isı transfer yüzeyinin akış şekli ve levhalar arası mesafeye göre değişimi

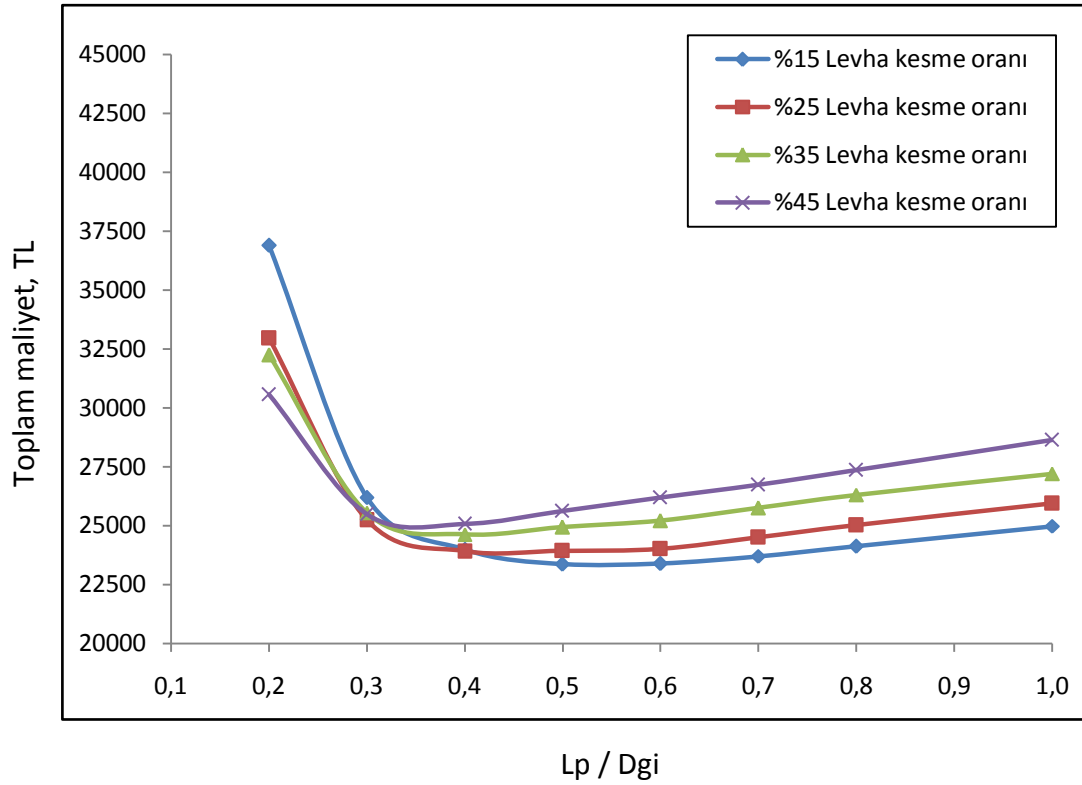
Şekil 4.16’de ısı transfer yüzeyinin levhalar arası mesafeye bağlı grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi ters akış halinde gerekli olan ısı transfer yüzeyi azalmaktadır. Levha kesme oranının azalması da, gerekli olan ısı transfer yüzeyini azaltmakla beraber basınç kayıplarını arttırdığı da bilinmektedir. Genel anlamda ters akış halinde daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Şekil 4.17’de ısı transfer yüzeyinin boru tarafındaki akışkan (su) hızına bağlı grafiği görülmektedir. Levha kesme oranından bağımsız olarak, hız arttıkça toplam ısı transfer katsayısının arttığı ve ısı transfer yüzeyinin azaldığı görülmektedir. Boru tarafı akışkan (su) hızı sabit alındığında, levha kesme oranının azalması ısı transferini arttırmakta ve dolayısıyla ısı transfer yüzeyinin azalmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.17: Isı transfer yüzeyinin boru tarafı su hızı ve levha kesme oranına göre değişimi

Şekil 4.18'deki grafik 0.8 m/s boru tarafı su hızı, üçgen boru dizilişi, ters akış hali, 1 gövde 2 boru geçişli bir ısı değiştiricisi için optimizasyon sonuçlarını ifade etmektedir. Bu sonuçlara göre %15 levha kesmesi, gövde iç çapının %50'si kadar perdeler arası mesafe, üçgen boru düzenlemesi, ters akış ve 0.8 m/s boru tarafı su hızı seçilmesi durumunda, yapılan optimizasyon uygulaması için optimum ısı değiştiricisi seçilmiş olur.



Şekil 4.18: Toplam maliyetin levha kesme oranı ve perdeler arası mesafeye göre değişimi

Yapılan bu çalışmada boru tarafı akışkan hızı, levha kesme oranı, perdeler arası mesafe, boru dizilişi gibi parametreler değiştirilerek optimum sonucun şekil 4.18'de olduğu gözlemlenmiştir. Farklı değişken parametrelerin tercih edilmesi durumunda, Şekil 4.18'de olduğu gibi farklı grafikler de elde edilebilir.

Bu çalışmada ısı değiştiricisinin optimizasyonunda mevcut faiz oranı, enflasyon oranı, işletme süresi, ısı değiştiricisinin yıllık çalışma süresi, boru malzemesi birim fiyatı, elektrik enerjisi birim fiyatı, pompa verimi, elektrik motoru verimi gibi parametreler sabit alınmıştır. Tüm bu parametrelerin optimizasyon çalışmaları sırasında gözönünde bulundurulması gereklidir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Uygulamada çok değişik alanlarda kullanılan ve çok farklı tipleri bulunan ısı değiştiricilerini en uygun tasarım için değişen ekonomik koşullara göre tek tek hesaplama zorunluluğu vardır. Bu çalışmada windows altında çalışan visual basic 6.0 programlama diliyle bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım içerisinde bir gövde borulu ısı değiştiricisinin karakteristiğini belirleyen tüm parametreler ele alınmıştır. Isı değiştirici geçiş şekli, boru çap ve diziliş şekli, levha kesme oranı, perdeler arası mesafe, kirlilik faktörü, boru tarafı akışkan hızı gibi parametreler bir bütün olarak ele alınmıştır. Tüm parametreler program arayüzünde kontrol edilebilmekte, veriler rapor halinde alınabilmektedir.

Paralel ve ters akışlı ısı değiştiricileri için elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. İlgili şekil ve tablolardan görüldüğü üzere, literatürlerde verildiği ve beklenildiği gibi ters akışlı gövde borulu ısı değiştiricilerinin daha yüksek ısı transfer etme özelliği nedeniyle aynı ısı transfer yüzeyinde transfer edilen ısı miktarı artmaktadır. Buna paralel olarak aynı miktar ısı transfer eden ısı değiştiricileri için ters akışlı ısı değiştiricilerinin boyutları küçülmektedir. Dolayısıyla ısı değiştirici performansının arttığı tespit edilmiştir. Bu anlamda maliyet ve performans karakteristikleri ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada gövde borulu bir ısı degistiricisinin performansını etkileyen parametrelerden biri olan şaşırtma levhasının etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhası aralığı parametrelerinin gövde tarafı ısı taşınım katsayısına ve gövde tarafı basınç düşümüne etkisi araştırılmıştır. Sonuçta şaşırtma levhası kesmesinin ve şaşırtma levhası aralığının artmasıyla hem ısı taşınım katsayısı, hem de basınç düşümünün azaldığı tespit edilmiştir. Bunlardan basınç düşümü arzu edilen bir durumdur. Çünkü basınç düşümünün azalması, sistemdeki pompanın elektrik sarfiyatını azaltacağından, sistemin işletme ve yatırım masraflarında bir azalmaya sebep olacaktır. Fakat ısı taşınım katsayısının azalması ise gerekli ısı transferinin sağlanması için ısı transfer yüzeyinin arttırılmasını gerektirdiğinden dolayı ilk yatırım maliyetini arttıracaktır. Perdeler arası mesafenin gövde iç çapının %30'u ile %60'ı arasında seçilmesi halinde, daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür. Bununla birlikte gövde borulu ısı değiştirici tasarımı yapılırken, sistem parametreleri, çalışma

şartları ve ekonomik faktörler birlikte göz önüne alınarak optimizasyon çalışması yapılmalıdır.

Yapılan optimizasyon çalışmasında enflasyon oranı, elektrik enerjisi birim fiyatı, ısı değiştirici işletme süresi ve yıllık çalışma süresinde meydana gelen artışların ısı değiştiricisinin işletme giderlerini artırdığı görülmüştür. Aynı şekilde malzeme birim fiyatı ve faiz oranlarında meydana gelen artışın ilk yatırım maliyetlerini artırdığı görülmüştür. Optimizasyon çalışmaları sonucunda, optimum ısı değiştiricileri elde etmek için işletme giderlerinde meydana gelen artışın aynı levha kesme oranlarında perdeler arası mesafeyi arttırdığı tespit edilirken, ilk yatırım maliyetlerinde meydana gelen artışın perdeler arası mesafeyi azalttığı görülmüştür. Çalışma sonucunda en uygun tasarım analizleri yapılırken şaşırtma levhasının önemi de bir kez daha açığa çıkmıştır.

Faiz ve enflasyon oranı, ısı değiştiricisinin işletme ve yıllık çalışma süreleri, kullanılacak boru malzemesinin ve elektrik enerjisinin birim fiyatı gibi diğer parametrelerin de dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gereklidir. Tüm parametrelerle birlikte, ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetlerinin birlikte hesaplanması optimum ısı değiştiricisinin tasarlanmasını sağlayacaktır. Çalışmanın yapıldığı zamana göre sabit alınan bu parametrelerde meydana gelebilecek değişiklikler optimizasyon sonucuna dolaylı olarak etki eder. Bu da aynı ısı değiştiricisinin farklı zaman ve farklı parametre koşullarında, farklı optimizasyonlarının yapılabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Sonuç olarak yukarıda sunulan çalışma ile, gövde borulu ısı değiştiricilerinin projelendirilmesi ve kapasite tayinini yapmaya imkan veren bir program geliştirilmiş ve bu program kullanılarak optimizasyon parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Optimum boyutlandırma ve optimum boyutlandırmaya etki eden faktörlerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bilgisayar programı çok hassas hesaplama olanakları sunarak basit ve kullanışlı yapısı ile ilgili literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

AHN, S., W., BAE, S., T., LEE, B., C., BAE, M., W., KIM, W., C., 2005, *Fluid flow and heat transfer in fluidized bed vertical shell and tube type heat exchanger*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 32, 224–232.

AICHER, T., KIM, W., K., 1998, *Experimental Investigation Of The Influence Of The Cross Flow In The Nozzle Region On The Shell-Side Heat Transfer In Double-Pipe Heat Exchangers*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 25, 1, 43-58p.

BABU, B. V., MUNAWAR, S. A., 2000, *Differential evolution for the optimal design of heat exchangers*, Proceedings of the All India Seminar on Chemical Engineering Progress on Resource Development: A Vision 2010 and Beyond, IE (I), Orissa State Centre, Bhubaneswar.

BUTTERWORTH, D., 2002, *Design of shell-and-tube heat exchangers when the fouling depends on local temperature and velocity*, Applied Thermal Engineering, 22 2002 789–801.

ÇETECİ, Ö., M., 1999, *Bilgisayar yardımıyla ısı değiştiricisi tasarımı*, İTÜ., FBE., İstanbul.

ENGİN, T., 1995, *Sıvıdan sıvıya gövde borulu bir ısı değiştirgecinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu*, ZKÜ., FBE., Zonguldak.

ERYENER, D., 2006, *Thermoeconomic optimization of baffle spacing for shell and tube heat exchangers*, Energy Conversion and Management, 47, 1478–1489. exchangers, Chemical Engineering and Processing, 38, 579–584.

GENCELİ, O., F., 1983, *Isı Eşanjörleri Ders Notları*, İTÜ. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

JIN, W., ZENGLIANG, G., LIHUA, L., JINSONG, Z., 2004, *Comparison of two FEA models for calculating stresses in shell-and-tube heat exchanger*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 81, 6, 563 567.

KO, K. H., ANAND, N.K., 2003, *Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 46, 4191-4199.

LIA, H., KOTTKE, V., 1998a, *Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell and tube heat exchangers for staggered tube arrangement*, International Journal of heat and mass Transfer, 41, 2, 425-433.

- LIA, H., KOTTKE, V., 1998b, *Visualization and determination of local heat transfer coefficients in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement by mass transfer measurements*, Experimental Thermal and Fluid Science, 16, 342-348.
- LIU, M., -S., DONG, Q., -W., WANG, D., -B., LING, X., 1999, *Numerical simulation of thermal stress in tube-sheet of heat transfer equipment*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 76, 671-675.
- LONA, L., M., F., 2000, *Developing an educational software for heat exchangers and heat exchanger networks projects*, Computers and Chemical Engineering 24, 1247-1251.
- ÖZÇELİK, Y., 2007, *Exergetic optimization of shell and tube heat exchangers using a genetic based algorithm*, Applied Thermal Engineering, 27, 1849-1856.
- PETTIGREW, M., J., TAYLOR, C., E., 2003, *Vibration analysis of shell-and-tube heat exchangers: an overview—Part 1: flow, damping, fluidelastic instability*, Journal of Fluids and Structures, 18, 469-483.
- PETTIGREW, M., J., TAYLOR, C., E., 2003, *Vibration analysis of shell-and-tube heat exchangers: an overview—Part 2: vibration response, fretting-wear, guidelines*, Journal of Fluids and Structures, 18, 485-500.
- RAVAGNANI, M.A.S.S., CABALLERO, J.A., 2007, *Optimal heat exchanger network synthesis with the detailed heat transfer equipment design*, Computers and Chemical Engineering, 31, 1432-1448.
- SELBAŞ, R., KIZILKAN, Ö., Reppich, M., 2006, *A new design approach for shell and tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view*, Chemical Engineering and Processing, 45, 268-275.
- SOLTAN, K., B., SAFFAR-AVVAL, M., DAMANGIR E., 2004, *Minimizing capital and operating costs of shell and tube condensers using optimum baffle spacing*, Applied Thermal Engineering, 24, 2801-2810.
- THOME, J., R., 1998, *Heat transfer augmentation of shell-and-tube heat exchangers for the chemical processing industry*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 4, 3509-3521. *Tube heat exchanger in parallel or in series with a heat engine*, Solar Energy, 57, 1, 59-68.

EKLER

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları

```

Dim XMatrix(69, 5)
Dim YMatrix(69, 5)
Dim KMatrix(41, 6)
Dim AirMatrix(36, 5)
Dim Fu6Matrix(14, 5)
Dim EtiMatrix(7, 5)
Dim R134Matrix(18, 6)
Dim val1 As Double
Dim val3 As Double
Dim Tor
Dim dbi 'Boru i apı'
Dim dbd 'Boru dış apı'
Dim Q 'Isıl Kapasite'
Dim T1g 'Boru akışkanı giriş sıcaklığı'
Dim T1 'Boru akışkanı çıkış sıcaklığı'
Dim T2g 'Gövde akışkanı giriş sıcaklığı'
Dim T2 'Gövde akışkanı çıkış sıcaklığı'
Dim DTm 'Logaritmik sıcaklık farkı'
Dim Re1 'Boru akışkanı Reynolds Sayısı'
Dim Re2 'Gövde akışkanı Reynolds Sayısı'
Dim Nu1 'Boru akışkanı Nusselt Sayısı'
Dim Nu2 'Gövde akışkanı Nusselt Sayısı'
Dim V1 'Boru tarafı hız'
Dim V2 'Gövde tarafı hız'
Dim ro1 'Boru akışkanı zağırlık'
Dim ro2 'Gövde akışkanı zağırlık'

```

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Dim cp1 'Boru akışkanı zısıısı'

Dim cp2 'Gövde akışkanı zısıısı'

Dim k1 'Boru akışkanı isi iletim katsayısı'

Dim k2 'Gövde akışkanı isi iletim katsayısı'

Dim u1 'Boru akışkanı dinamik viskozitesi'

Dim u1o 'Boru akışkanı cidar ortalama sıcaklığına göre dinamik viskozitesi'

Dim u2 'Gövde akışkanı dinamik viskozitesi'

Dim u2o 'Gövde tarafı cidar ortalama sıcaklığına göre akışkanı dinamik viskozitesi'

Dim pr1 'Boru akışkanı prandtl sayısı'

Dim pr2 'Gövde akışkanı prandtl sayısı'

Dim h1 'Boru akışkanın bulunduğu tarafın ısı taşınım katsayısı'

Dim h2 'Gövde akışkanın bulunduğu tarafın ısı taşınım katsayısı'

Dim De 'Eşdeğer ap'

Dim m1 'Boru akışkanı debisi'

Dim m2 'Gövde akışkanı debisi'

Dim dgi 'Gövde i apı'

Dim dgd 'Gövde dış apı'

Dim t 'Boru eksenleri arasındaki uzaklık'

Dim e 'şaşırtma levhaları arasındaki uzaklık'

Dim ki 'Boru malzemesine göre ısı iletim katsayısı'

Dim Rf1 'Boru tarafındaki akışkanın kirlilik Faktörü $Rf1(m2/.CW)$ '

Dim Rf2 'Gövde tarafındaki akışkanın kirlilik Faktörü $Rf2(m2/.CW)$ '

Dim Rf 'Toplam kirlilik faktörü'

Dim K 'Boru dış yüzeyine göre tanımlanmış toplam geçiş katsayısı'

Dim c 'üçgen ve kare düzenleme için C sayısı'

Dim n 'üçgen ve kare düzenleme için n sayısı'

Dim nb 'Bir geişdeki Boru sayısı'

Dim nt 'Toplam boru sayısı'

Dim A 'Isıtma yüzeyi'

Dim L 'Boru boyu uzunluğu'

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Dim F 'Düzeltme katsayısı'

Dim ei 'Malzemelerin ortalama pürüzlülük yükseklikleri'

Dim ep 'Pürüzlülük Faktörü'

Dim ft 'Boru tarafı kirlilik faktörü'

Dim Dpt 'Boru tarafı basınç kaybı'

Dim Dpg 'Gövde tarafı basınç kaybı'

Dim Pv 'Pompa verimi'

Dim Mv 'Elektrik motoru verimi'

Dim Eb 'Boru tarafı güç kaybı'

Dim Eg 'Gövde tarafı güç kaybı'

Dim faiz 'Faiz oranı'

Dim enf 'Enflasyon oranı'

Dim sure 'Bir yıl içinde saat cinsinden kullanım süresi'

Dim i 'İzafi faiz'

Dim c2 'İlgili katsayı'

Dim c1 'İlgili katsayı'

Private Declare Sub InitCommonControls Lib "comctl32.dll" ()

Private Sub Form_Initialize()

InitCommonControls

End Sub

Private Sub Combo8_Click()

If Combo8.Text <> "Free input / Serbest Giris" Then

Select Case Combo8.Text

Case "Free input / Serbest Giris"

Case "168mm X 143.2mm"

dgd = "168"

dgi = "143,2"

Case "219mm X 191mm"

dgd = "219"

dgi = "191"

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "273mm X 247.7mm"

dgd = "273"

dgi = "247,7"

Case "324mm X 298mm"

dgd = "324"

dgi = "298"

Case "355mm X 325mm"

dgd = "355"

dgi = "325"

Case "406mm X 368.6mm"

dgd = "406"

dgi = "368,6"

Case "508mm X 481.5mm"

dgd = "508"

dgi = "481,5"

Case "600mm X 573mm"

dgd = "600"

dgi = "573"

Case "700mm X 666mm"

dgd = "700"

dgi = "666"

Case "800mm X 772mm"

dgd = "800"

dgi = "772"

Case "900mm X 866mm"

dgd = "900"

dgi = "866"

Case "1000mm X 966mm"

dgd = "1000"

dgi = "966"

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "1100mm X 1055mm"

dgd = "1100"

dgi = "1055"

Case "1200mm X 1160mm"

dgd = "1200"

dgi = "1160"

Case "1300mm X 1260mm"

dgd = "1300"

dgi = "1260"

Case "1400mm X 1360mm"

dgd = "1400"

dgi = "1360"

Case "1500mm X 1460mm"

dgd = "1500"

dgi = "1460"

End Select

Text28.Text = Math.Round(dgi, 0)

Text32.Text = Math.Round(dgd, 0)

$nt = c * (dgi / dbd) ^ n$ 'Yeni seçilen gövde çapına göre toplam boru sayısı'

Text39.Text = Math.Round(nt, 0)

nt = CDBl(Text39)

Select Case Combo1.Text 'Yeni seilen gvde çapına göre boru sayısı'

Case "1 Gvde 1 Boru Geişli"

nb = 1 * nt

Case "1 Gvde 2 Boru Geişli"

nb = nt / 2

Case "2 Gvde 4 Boru Geişli"

nb = nt / 4

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "3 Gvde 6 Boru Geişli"

nb = nt / 6

Case "4 Gvde 8 Boru Geişli"

nb = nt / 8

End Select

V1 = Math.Round(m1 * 4 / (nb * ro1 * 3.14 * (dbi / 1000) ^ 2), 4)

Text19.Text = Math.Round(V1, 4)

End If

End Sub

Private Sub Combo10_Click()

Select Case Combo10.Text 'Boru malzemesine göre kuruluş maliyeti'

Case "elik-321"

Text73 = 2700

Case "elik-316"

Text73 = 2100

Case "elik-304"

Text73 = 1200

Case "elik"

Text73 = 350

Case "Demir"

Text73 = 250

Case "Bakır"

Text73 = 300

Case "Alminyum"

Text73 = 150

End Select

Private Sub Combo3_Click() 'Boru akışkanı seimine göre yapılacaklar'

Select Case Combo3.Text

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

If (T1g - T1ç) / (T2g - T2ç) > 0 Then 'Su sıcaklık Kontrol'

MsgBox "Her iki akışkanında giriş(Tg), çıkış(Tç) sıcaklıklarını kontrol ediniz!", 48, "UYARI !"

Text1.SetFocus

Exit Sub

End If

Rf = (Rf1 * dbd / dbi) + Rf2 'Toplam kirlilik faktörü'

Text43.Text = Math.Round(Rf, 7)

Rf = CDb1(Text43)

Case "Kirlilik faktörü yok"

Rf1 = 0

Rf2 = 0

Rf = (Rf1 * dbd / dbi) + Rf2

Text43.Text = Math.Round(Rf, 7)

Case "Kirlilik faktörü giris"

Rf = CDb1(Text43)

End Select

cp1 = CalculateKMatrixValue(CDb1(Text17.Text), 1)

Text7.Text = Round(cp1, 9) 'Suyun cp1'

k1 = CalculateKMatrixValue(CDb1(Text17.Text), 2)

Text8.Text = Round(k1, 9) 'Suyun k1'

ro1 = CalculateKMatrixValue(CDb1(Text17.Text), 4)

Text15.Text = Round(ro1, 9) 'Suyun ro1'

u1 = CalculateKMatrixValue(CDb1(Text17.Text), 5)

Text9.Text = Round(u1, 9) 'Suyun ro1'

u1o = CalculateKMatrixValue(CDb1(Text46.Text), 5)

Text47.Text = Round(u1o, 9) 'Suyun ro1'

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```
If Text11 = "" Then
```

```
MsgBox "Gvde Tarafı Akışkanı Cp2 Değerini Giriniz.", 48, "Uyarı !"
```

```
Text11.SetFocus
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
If Text12 = "" Then
```

```
MsgBox "Gvde Tarafı Akışkanı k2 Değerini Giriniz.", 48, "Uyarı !"
```

```
Text12.SetFocus
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
If Text14 = "" Then
```

```
MsgBox "Gvde Tarafı Akışkanı ro2 Değerini Giriniz.", 48, "Uyarı !"
```

```
Text14.SetFocus
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
If Text13 = "" Then
```

```
MsgBox "Gvde Tarafı Akışkanı u2 Değerini Giriniz.", 48, "Uyarı !"
```

```
Text13.SetFocus
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
If Text42 = "" Then
```

```
MsgBox "Gvde Tarafı Akışkanı u2o Değerini Giriniz.", 48, "Uyarı !"
```

```
Text42.SetFocus
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
Select Case Combo9.Text 'Uçgen veya kare dizilişe göre eşdeğer çap hesabı'
```

```
Case "çęen Diziliş"
```

```
De = Math.Round((1.1 / dbd) * ((dbd * 1.28) ^ 2 - 0.917 * dbd ^ 2), 2)
```

```
Text29.Text = Math.Round(De, 2)
```

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "Kare Diziliş"

De = Math.Round((1.27 / dbd) * ((dbd * 1.28) ^ 2 - 0.785 * dbd ^ 2), 2)

Text29.Text = Math.Round(De)

End Select

Select Case Combo13.Text

Case "0.20 X Dgi"

e = 0.2 * dgi

Case "0.30 X Dgi"

e = 0.3 * dgi

Case "0.35 X Dgi"

e = 0.35 * dgi

Case "0.40 X Dgi"

e = 0.4 * dgi

Case "0.45 X Dgi"

e = 0.45 * dgi

Case "0.50 X Dgi"

e = 0.5 * dgi

Case "0.60 X Dgi"

e = 0.6 * dgi

Case "0.70 X Dgi"

e = 0.7 * dgi

Case "0.80 X Dgi"

e = 0.8 * dgi

Case "1.00 X Dgi"

e = dgi

End Select

Text31.Text = Math.Round(e, 0)

V2 = Math.Round((m2 * t) * 10 ^ 6 / (ro2 * (t - dbd) * e * dgi), 5) 'gvde tarafı akışkan hızı tayin edilir'

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Select Case Combo10.Text 'Boru malzemesine göre ortalama pürüzlülük yükseklikleri setirilir'

Case "elik-321"

ei = 0.135

Case "elik-316"

ei = 0.14

Case "elik-304"

ei = 0.145

Case "elik"

ei = 0.15

Case "Demir"

ei = 0.2

Case "Bakır"

ei = 0.0015

Case "Alüminyum"

ei = 0.015

End Select

Select Case Combo2.Text 'Paralel akış ve ters akış için DTM hesaplanması'

Case "Paralel Akış"

DTm = Abs(Math.Round((((T2g - T1g) - (T2 - T1)) / (Log((T2g - T1g) / (T2 - T1))), 3))

Text24.Text = DTm

F = 1

Text35.Text = F

Case "Ters Akis"

Select Case Combo1.Text

Case "1 Gövde 1 Boru Gecisli"

F = 1

Case "1 Gövde 2 Boru Gecisli"

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

$$F = (\text{Sqr}((R \wedge 2) + 1) / (R - 1)) * \text{Log}((1 - P) / (1 - P * R)) / \text{Log}((2 - P * (R + 1 - \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1))) / (2 - P * (R + 1 + \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1))))$$

Case "2 Gövde 4 Boru Gecisli"

$$F = (\text{Sqr}((R \wedge 2) + 1) / (R - 1)) * \text{Log}((1 - P) / (1 - P * R)) / \text{Log}((2 - P * (R + 1 - \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1))) / (2 - P * (R + 1 + \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1)))) * 1.012$$

Case "3 Gvde 6 Boru Gecisli"

$$F = (\text{Sqr}((R \wedge 2) + 1) / (R - 1)) * \text{Log}((1 - P) / (1 - P * R)) / \text{Log}((2 - P * (R + 1 - \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1))) / (2 - P * (R + 1 + \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1)))) * 1.022$$

Case "4 Gvde 8 Boru Gecisli"

$$F = (\text{Sqr}((R \wedge 2) + 1) / (R - 1)) * \text{Log}((1 - P) / (1 - P * R)) / \text{Log}((2 - P * (R + 1 - \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1))) / (2 - P * (R + 1 + \text{Sqr}((R \wedge 2) + 1)))) * 1.028$$

End Select

Text35.Text = Math.Round(F, 3)

F = CDBl(Text35)

DTm = Abs(Math.Round((((T1g - T2ç) - (T1ç - T2g)) / (Log((T1g - T2ç) / (T1ç - T2g))), 3))

Text24.Text = DTm

End Select

V1 = Text19.Text

Select Case Combo8.Text

Case "Free input / Serbest Giris"

nb = m1 * 4 / (V1 * ro1 * 3.14 * (dbi / 1000) ^ 2) 'Bir geisdeki boru sayısı'

End Select

Select Case Combo1.Text

Case "1 Gvde 1 Boru Gecisli"

nt = 1 * nb

Case "1 Gvde 2 Boru Gecisli"

nt = 2 * nb

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "2 Gövde 4 Boru Geçişli"

nt = 4 * nb

Case "3 Gövde 6 Boru Geçişli"

nt = 6 * nb

Case "4 Gövde 8 Boru Geçişli"

nt = 8 * nb

End Select

Text39.Text = Math.Round(nt, 0) 'toplam boru sayısı'

nt = CDbI(Text39)

Select Case Combo1.Text

Case "1 Gövde 1 Boru Gecisli"

c = 0.319

n = 2.142

Case "1 Gövde 2 Boru Gecisli"

c = 0.249

n = 2.207

Case "2 Gövde 4 Boru Gecisli"

c = 0.175

n = 2.285

Case "3 Gvde 6 Boru Gecisli"

c = 0.0743

n = 2.499

Case "4 Gvde 8 Boru Gecisli"

c = 0.0365

n = 2.675

End Select

Case "Kare Diziliş"

Select Case Combo1.Text

Case "1 Gvde 1 Boru Gecisli"

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

c = 0.215

n = 2.207

Case "1 Gvde 2 Boru Gecisli"

c = 0.156

n = 2.291

Case "2 Gvde 4 Boru Gecisli"

c = 0.158

n = 2.263

Case "3 Gvde 6 Boru Gecisli"

c = 0.0402

n = 2.617

Case "4 Gvde 8 Boru Gecisli"

c = 0.0331

n = 2.643

End Select

Select Case Combo8.Text

Case "Free input / Serbest Giris"

dgi = dbd * (nt / c) ^ (1 / n)

dgd = dgi + 25

End Select

Text28.Text = Math.Round(dgi, 0)

Text32.Text = Math.Round(dgd, 0)

Re1 = Math.Round(V1 * (dbi / 1000) / (u1 / ro1), 2)

Text26.Text = Math.Round(Re1, 2)

If Val(Text2) > Val(Text1) Then

Nu1 = Math.Round(0.023 * (Re1 ^ 0.8) * pr1 ^ 0.4, 2)

Else

Nu1 = Math.Round(0.023 * (Re1 ^ 0.8) * pr1 ^ 0.3, 2)

End If

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```
Text25.Text = Math.Round(Nu1, 2)
```

```
h1 = Math.Round(k1 * Nu1 / (dbi / 1000), 2)
```

```
Text27.Text = Math.Round(h1, 2)
```

```
h1 = CDb1(Text27)
```

```
Select Case Combo9.Text 'gen veya kare dizilişe göre eşdeğer ap'
```

```
Case "gen Diziliş"
```

```
De = Math.Round((1.1 / dbd) * ((dbd * 1.28) ^ 2 - 0.917 * dbd ^ 2), 2)
```

```
Text29.Text = Math.Round(De, 2)
```

```
Case "Kare Diziliş"
```

```
De = Math.Round((1.27 / dbd) * ((dbd * 1.28) ^ 2 - 0.785 * dbd ^ 2), 2)
```

```
Text29.Text = Math.Round(De)
```

```
End Select
```

```
Select Case Combo13.Text
```

```
Case "0.20 X Dgi"
```

```
e = 0.2 * dgi
```

```
Case "0.30 X Dgi"
```

```
e = 0.3 * dgi
```

```
Case "0.35 X Dgi"
```

```
e = 0.35 * dgi
```

```
Case "0.40 X Dgi"
```

```
e = 0.4 * dgi
```

```
Case "0.45 X Dgi"
```

```
e = 0.45 * dgi
```

```
Case "0.50 X Dgi"
```

```
e = 0.5 * dgi
```

```
Case "0.60 X Dgi"
```

```
e = 0.6 * dgi
```

```
Case "0.70 X Dgi"
```

```
e = 0.7 * dgi
```

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştircisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Case "0.80 X Dgi"

e = 0.8 * dgi

Case "1.00 X Dgi"

e = dgi

End Select

Text31.Text = Math.Round(e, 0)

V2 = Math.Round((m2 * t) * 10 ^ 6 / (ro2 * (t - dbd) * e * dgi), 5) 'gvde tarafı hız'

Text20.Text = Math.Round(V2, 5)

If Re1 < 2200 Then 'Boru tarafı için kirlilik faktörü'

ft = 64 / Re1

m = 0.25

Text45.Text = Math.Round(ft, 6)

End If

If Re1 > 2200 Then

ft = 1 / (-2 * (Log(ep * 0.269796303 - (5.0452 / Re1) * (Log(0.35389461 * ep ^ 1.1098
+ 5.8506 / (Re1 ^ 0.8981)) / Log(10))) / Log(10))) ^ 2

Text45.Text = Math.Round(ft, 6)

m = 0.14

End If

Re2 = Math.Round(Abs(V2 * (De / 1000) / (u2 / ro2)), 2)

Text30.Text = Math.Round(Re2, 3)

'Matrixi hesaplar Jk'yi bulur'

val1 = CalculateMatrixValue(CDbl(Text30.Text), Combo12.ListIndex + 1)

Text36.Text = val1

Nu2 = Math.Round(val1 * Re2 * pr2 ^ (1 / 3) * ((u2 / u2o) ^ 0.14), 2)

Text33.Text = Math.Round(Nu2, 2)

h2 = Math.Round(Nu2 * k2 / (De / 1000), 2)

Text34.Text = Math.Round(h2, 2)

h2 = CDbl(Text34)

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

$K = \text{Math.Round}(1 / ((\text{dbd} / (\text{dbi} * h1)) + \text{Log}(\text{dbd} / \text{dbi}) * \text{dbd} * 10^{-3} / (2 * ki) + Rf + 1 / h2), 2)$ 'Toplam ısı geiş katsayısı'

Text37.Text = Math.Round(K, 2)

$A = \text{Math.Round}(Q * 1000 / (K * DTm * F), 2)$ 'Isı geiş yüzeyi'

Text40 = Math.Round(A, 2)

$L = \text{Math.Round}(\text{CDBl}(\text{Text40}) * 1000 / (3.14 * \text{dbd} * nt * 10^{-3}), 0)$

Text41.Text = Math.Round(L, 0) 'Isı değiştiricisi boru boyu'

$ep = ei / dbi$

Text44.Text = Math.Round(ep, 6)

$Dpt = \text{Math.Round}((nt / nb) * (ft * (L / dbi) * (u1 / u1o)^{-m + 2.5}) * ro1 * V1^2 * 0.5, 4)$

Text48.Text = Math.Round(Dpt / 1000, 4)

val3 = CalculateYMatrixValue(CDBl(Text30.Text), Combo12.ListIndex + 1)

Text50.Text = val3 'Boyutsuz basınç arpanı'

$Dpg = \text{Math.Round}(8 * \text{CDBl}(\text{val3}) * (dgi / De) * (L / e) * ro2 * (V2^2) * 0.5 * (u2 / u2o)^{-0.14}, 4)$ 'Gvde tarafı basınç kaybı'

Text51.Text = Round(Dpg / 1000, 4)

If Text51 > 200 Then

MsgBox "Gvde Tarafı Basınç Kaybına Dikkat ediniz! DPg(pa)=" & Dpg, 48, "Dikkat!"

Text51.SetFocus

End If

$Eb = \text{Math.Round}(((Dpt * m1) / (ro1 * (Pv / 100))) / 1000, 8)$ 'Boru tarafı g kaybı'

Text67.Text = Round(Eb, 8)

$Eg = \text{Math.Round}(((Dpg * m2) / (ro2 * (Pv / 100))) / 1000, 8)$ 'Gövde tarafı güç kaybı'

Text68.Text = Round(Eg, 8)

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```
faiz = (Cdbl(Text69.Text) / 100)
```

```
enf = (Cdbl(Text70.Text) / 100)
```

```
sure = Cdbl(Text71.Text)
```

```
c1 = faiz * ((1 + faiz) ^ sure) / (((1 + faiz) ^ sure) - 1)
```

```
c2 = (((1 + enf) / (1 + faiz)) ^ sure - 1) / (1 - ((1 + faiz) / (1 + enf)))
```

```
Text75.Text = Round(mal * 1, 0) 'TL kuruluş gideri'
```

```
Text76.Text = Round((Eb + Eg) * Cdbl(Text72.Text) * Cdbl(Text74.Text) * 100 * c2 /  
Cdbl(Text66.Text), 0)
```

```
Text77.Text = Cdbl(Text75.Text) + Cdbl(Text76.Text) 'Toplam Gider'
```

```
Private Function CalculateMatrixValue(val1 As Double, val2 As Integer)
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim found As Boolean
```

```
i = -1
```

```
found = False
```

```
Do While (found = False) And (i < 69)
```

```
    i = i + 1
```

```
    If XMatrix(i, 0) > val1 Then
```

```
        found = True
```

```
    End If
```

```
Loop
```

```
If found = True Then
```

```
    X1 = XMatrix(i - 1, val2) - XMatrix(i, val2)
```

```
    Y1 = XMatrix(i, 0) - XMatrix(i - 1, 0)
```

```
    Y2 = val1 - XMatrix(i - 1, 0)
```

```
    Z1 = (Y2 / Y1) * X1
```

```
    CalculateMatrixValue = XMatrix(i - 1, val2) - Z1
```

```
Else
```

```
    CalculateMatrixValue = XMatrix(67, val2)
```

```
End If
```

```
End Function
```

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

XMatrix(0, 0) = 10 'Boyutsuz basınç çarpanı dataları'

XMatrix(0, 1) = $2.25 * 10^{-1}$

XMatrix(0, 2) = $1.9 * 10^{-1}$

XMatrix(0, 3) = $1.8 * 10^{-1}$

XMatrix(0, 4) = $1.7 * 10^{-1}$

XMatrix(1, 0) = 20

XMatrix(1, 1) = $1.65 * 10^{-1}$

XMatrix(1, 2) = $1.4 * 10^{-1}$

XMatrix(1, 3) = $1.25 * 10^{-1}$

XMatrix(1, 4) = $1.15 * 10^{-1}$

XMatrix(2, 0) = 30

XMatrix(2, 1) = $1.25 * 10^{-1}$

XMatrix(2, 2) = $1 * 10^{-1}$

XMatrix(2, 3) = $9 * 10^{-2}$

XMatrix(2, 4) = $8.5 * 10^{-2}$

XMatrix(3, 0) = 40

XMatrix(3, 1) = $1 * 10^{-1}$

XMatrix(3, 2) = $8.5 * 10^{-2}$

XMatrix(3, 3) = $8 * 10^{-2}$

XMatrix(3, 4) = $7.3 * 10^{-2}$

XMatrix(4, 0) = 50

XMatrix(4, 1) = $8.6 * 10^{-2}$

XMatrix(4, 2) = $7.5 * 10^{-2}$

XMatrix(4, 3) = $7 * 10^{-2}$

XMatrix(4, 4) = $6.4 * 10^{-2}$

XMatrix(5, 0) = 60

XMatrix(5, 1) = $7.8 * 10^{-2}$

XMatrix(5, 2) = $7 * 10^{-2}$

XMatrix(5, 3) = $6.2 * 10^{-2}$

XMatrix(5, 4) = $5.7 * 10^{-2}$

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

$$\text{XMatrix}(6, 0) = 70$$

$$\text{XMatrix}(6, 1) = 7 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(6, 2) = 6.2 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(6, 3) = 5.7 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(6, 4) = 5.3 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(7, 0) = 80$$

$$\text{XMatrix}(7, 1) = 6.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(7, 2) = 5.8 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(7, 3) = 5.2 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(7, 4) = 4.9 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(8, 0) = 90$$

$$\text{XMatrix}(8, 1) = 6 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(8, 2) = 5.4 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(8, 3) = 5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(8, 4) = 4.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(9, 0) = 100$$

$$\text{XMatrix}(9, 1) = 5.7 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(9, 2) = 5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(9, 3) = 4.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(9, 4) = 4.2 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(10, 0) = 200$$

$$\text{XMatrix}(10, 1) = 4 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(10, 2) = 3.6 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(10, 3) = 3.2 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(10, 4) = 3 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(11, 0) = 300$$

$$\text{XMatrix}(11, 1) = 3.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(11, 2) = 3 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(11, 3) = 2.7 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(11, 4) = 2.5 * 10^{-2}$$

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

Matrix(12, 0) = 400

XMatrix(12, 1) = $3 * 10^{-2}$

XMatrix(12, 2) = $2.6 * 10^{-2}$

XMatrix(12, 3) = $2.4 * 10^{-2}$

XMatrix(12, 4) = $2.2 * 10^{-2}$

XMatrix(13, 0) = 500

XMatrix(13, 1) = $2.7 * 10^{-2}$

XMatrix(13, 2) = $2.4 * 10^{-2}$

XMatrix(13, 3) = $2.1 * 10^{-2}$

XMatrix(13, 4) = $1.95 * 10^{-2}$

XMatrix(14, 0) = 600

XMatrix(14, 1) = $2.5 * 10^{-2}$

XMatrix(14, 2) = $2.2 * 10^{-2}$

XMatrix(14, 3) = $1.95 * 10^{-2}$

XMatrix(14, 4) = $1.8 * 10^{-2}$

XMatrix(15, 0) = 700

XMatrix(15, 1) = $2.3 * 10^{-2}$

XMatrix(15, 2) = $2 * 10^{-2}$

XMatrix(15, 3) = $1.85 * 10^{-2}$

XMatrix(15, 4) = $1.7 * 10^{-2}$

XMatrix(16, 0) = 800

XMatrix(16, 1) = $2.2 * 10^{-2}$

XMatrix(16, 2) = $1.9 * 10^{-2}$

XMatrix(16, 3) = $1.8 * 10^{-2}$

XMatrix(16, 4) = $1.65 * 10^{-2}$

XMatrix(17, 0) = 900

XMatrix(17, 1) = $2.1 * 10^{-2}$

XMatrix(17, 2) = $1.8 * 10^{-2}$

XMatrix(17, 3) = $1.7 * 10^{-2}$

XMatrix(17, 4) = $1.6 * 10^{-2}$

XMatrix(18, 0) = 1000

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

$$\text{XMatrix}(18, 1) = 2 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(18, 2) = 1.75 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(18, 3) = 1.6 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(18, 4) = 1.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(19, 0) = 2000$$

$$\text{XMatrix}(19, 1) = 1.5 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(19, 2) = 1.3 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(19, 3) = 1.15 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(19, 4) = 1 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(20, 0) = 3000$$

$$\text{XMatrix}(20, 1) = 1.25 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(20, 2) = 1.04 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(20, 3) = 9 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(20, 4) = 8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(21, 0) = 4000$$

$$\text{XMatrix}(21, 1) = 1 * 10^{-2}$$

$$\text{XMatrix}(21, 2) = 9 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(21, 3) = 8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(21, 4) = 7 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(22, 0) = 5000$$

$$\text{XMatrix}(22, 1) = 9 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(22, 2) = 8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(22, 3) = 7 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(22, 4) = 6.3 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(23, 0) = 6000$$

$$\text{XMatrix}(23, 1) = 8.4 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(23, 2) = 7.4 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(23, 3) = 6.4 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(23, 4) = 5.8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(24, 0) = 7000$$

$$\text{XMatrix}(24, 1) = 7.9 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(24, 2) = 7 * 10^{-3}$$

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

$$\text{XMatrix}(24, 3) = 6 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(24, 4) = 5.3 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(25, 0) = 8000$$

$$\text{XMatrix}(25, 1) = 7.4 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(25, 2) = 6.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(25, 3) = 5.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(25, 4) = 5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(26, 0) = 9000$$

$$\text{XMatrix}(26, 1) = 7 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(26, 2) = 6 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(26, 3) = 5.2 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(26, 4) = 4.7 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(27, 0) = 10000$$

$$\text{XMatrix}(27, 1) = 6.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(27, 2) = 5.8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(27, 3) = 5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(27, 4) = 4.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(28, 0) = 20000$$

$$\text{XMatrix}(28, 1) = 4.9 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(28, 2) = 4.2 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(28, 3) = 3.6 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(28, 4) = 3.2 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(29, 0) = 30000$$

$$\text{XMatrix}(29, 1) = 4 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(29, 2) = 3.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(29, 3) = 3 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(29, 4) = 2.8 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(30, 0) = 40000$$

$$\text{XMatrix}(30, 1) = 3.5 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(30, 2) = 3 * 10^{-3}$$

$$\text{XMatrix}(30, 3) = 2.65 * 10^{-3}$$

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```

XMatrix(30, 4) = 2.4 * 10 ^ -3
Matrix(31, 0) = 50000
XMatrix(31, 1) = 3.1 * 10 ^ -3
XMatrix(31, 2) = 2.8 * 10 ^ -3
XMatrix(31, 3) = 2.4 * 10 ^ -3
XMatrix(31, 4) = 2.2 * 10 ^ -3
XMatrix(32, 0) = 60000
XMatrix(32, 1) = 2.9 * 10 ^ -3
XMatrix(32, 2) = 2.6 * 10 ^ -3
XMatrix(32, 3) = 2.2 * 10 ^ -3
XMatrix(32, 4) = 2 * 10 ^ -3
XMatrix(33, 0) = 70000
XMatrix(33, 1) = 2.7 * 10 ^ -3
XMatrix(33, 2) = 2.5 * 10 ^ -3
XMatrix(33, 3) = 2.1 * 10 ^ -3
XMatrix(33, 4) = 1.9 * 10 ^ -3
XMatrix(34, 0) = 80000
XMatrix(34, 1) = 2.6 * 10 ^ -3
XMatrix(34, 2) = 2.35 * 10 ^ -3
XMatrix(34, 3) = 2 * 10 ^ -3
XMatrix(34, 4) = 1.77 * 10 ^ -3
XMatrix(35, 0) = 90000
XMatrix(35, 1) = 2.5 * 10 ^ -3
XMatrix(35, 2) = 2.15 * 10 ^ -3
XMatrix(35, 3) = 1.9 * 10 ^ -3
XMatrix(35, 4) = 1.72 * 10 ^ -3
XMatrix(36, 0) = 100000
XMatrix(36, 1) = 2.35 * 10 ^ -3
XMatrix(36, 2) = 2 * 10 ^ -3
XMatrix(36, 3) = 1.7 * 10 ^ -3
XMatrix(36, 4) = 1.6 * 10 ^ -3

```

EK A. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```

XMatrix(37, 0) = 200000
XMatrix(37, 1) = 1.7 * 10 ^ -3
XMatrix(37, 2) = 1.5 * 10 ^ -3
XMatrix(37, 3) = 1.3 * 10 ^ -3
XMatrix(37, 4) = 1.2 * 10 ^ -3
XMatrix(38, 0) = 300000
XMatrix(38, 1) = 1.5 * 10 ^ -3
XMatrix(38, 2) = 1.3 * 10 ^ -3
XMatrix(38, 3) = 1.1 * 10 ^ -3
XMatrix(38, 4) = 9.5 * 10 ^ -4
XMatrix(39, 0) = 400000
XMatrix(39, 1) = 1.3 * 10 ^ -3
XMatrix(39, 2) = 1.1 * 10 ^ -3
XMatrix(39, 3) = 9.5 * 10 ^ -4
XMatrix(39, 4) = 8.4 * 10 ^ -4
XMatrix(40, 0) = 500000
XMatrix(40, 1) = 1.2 * 10 ^ -3
XMatrix(40, 2) = 9.7 * 10 ^ -4
XMatrix(40, 3) = 8.5 * 10 ^ -4
XMatrix(10, 4) = 7.5 * 10 ^ -4
XMatrix(41, 0) = 600000
XMatrix(41, 1) = 1 * 10 ^ -3
XMatrix(41, 2) = 9 * 10 ^ -4
XMatrix(41, 3) = 8 * 10 ^ -4
XMatrix(41, 4) = 7 * 10 ^ -4
XMatrix(42, 0) = 700000
XMatrix(42, 1) = 9.5 * 10 ^ -4
XMatrix(42, 2) = 8.2 * 10 ^ -4
XMatrix(42, 3) = 7.2 * 10 ^ -4
XMatrix(42, 4) = 6.3 * 10 ^ -4

```

EK A. Gvde Borulu Isı Değiştiricisi Tasarımına Ait Program Kodları (Devam)

```
Private Function CalculateYMatrixValue(val3 As Double, val4 As Integer)
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim found As Boolean
```

```
i = -1
```

```
found = False
```

```
Do While (found = False) And (i < 69)
```

```
    i = i + 1
```

```
    If YMatrix(i, 0) > val3 Then
```

```
        found = True
```

```
    End If
```

```
Loop
```

```
If found = True Then
```

```
    A1 = YMatrix(i - 1, val4) - YMatrix(i, val4)
```

```
    B1 = YMatrix(i, 0) - YMatrix(i - 1, 0)
```

```
    B2 = val3 - YMatrix(i - 1, 0)
```

```
    Z1 = (B2 / B1) * A1
```

```
    CalculateYMatrixValue = YMatrix(i - 1, val4) - Z1
```

```
Else
```

```
    CalculateYMatrixValue = YMatrix(67, val4)
```

```
End If
```

```
End Function
```

```
Private Function CalculateKMatrixValue(val5 As Double, val6 As Integer)
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim found As Boolean
```

```
i = -1
```

```
found = False
```

```
Do While (found = False) And (i < 42)
```

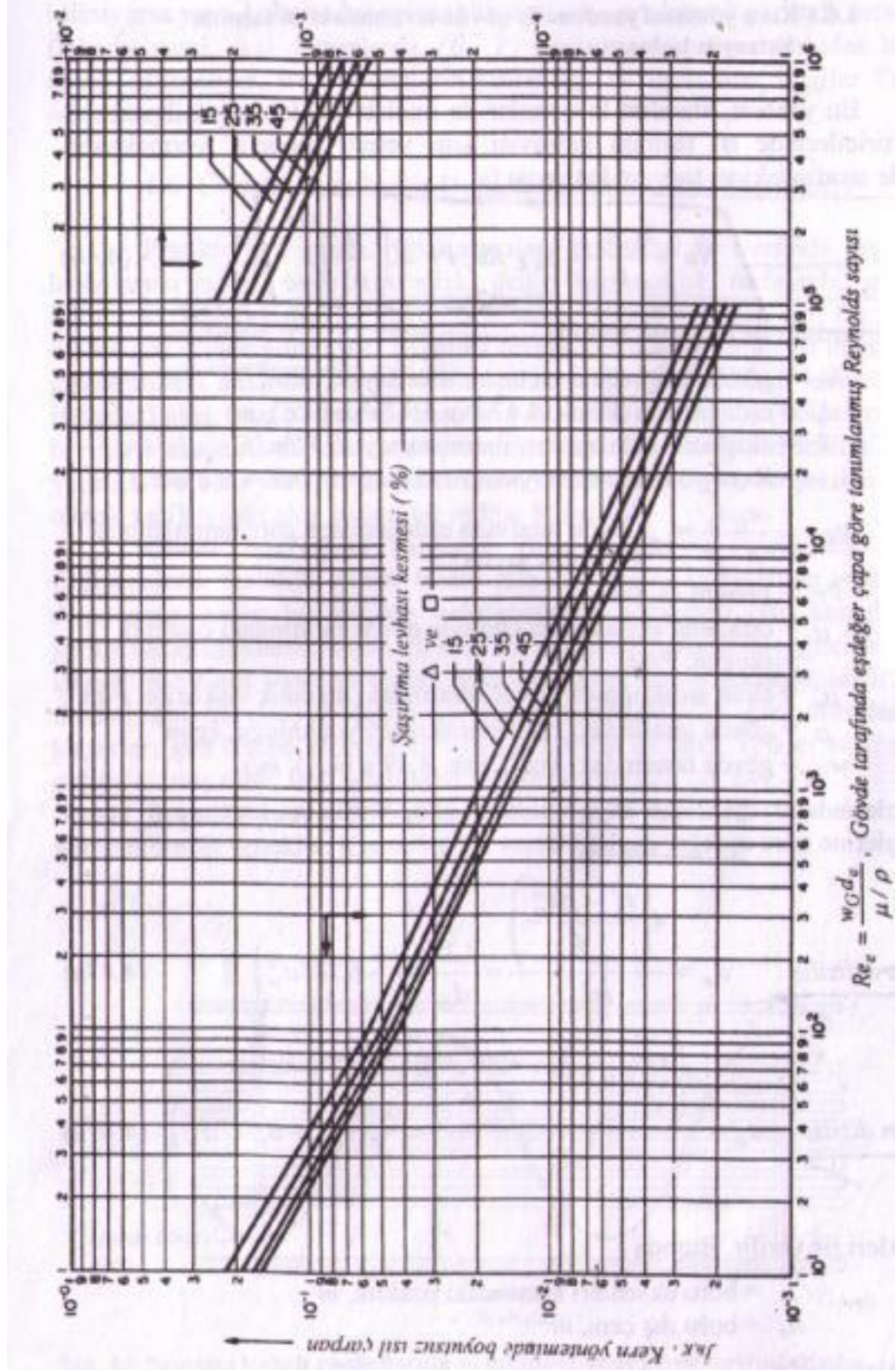
```
    i = i + 1
```

```
    If KMatrix(i, 0) > val5 Then
```

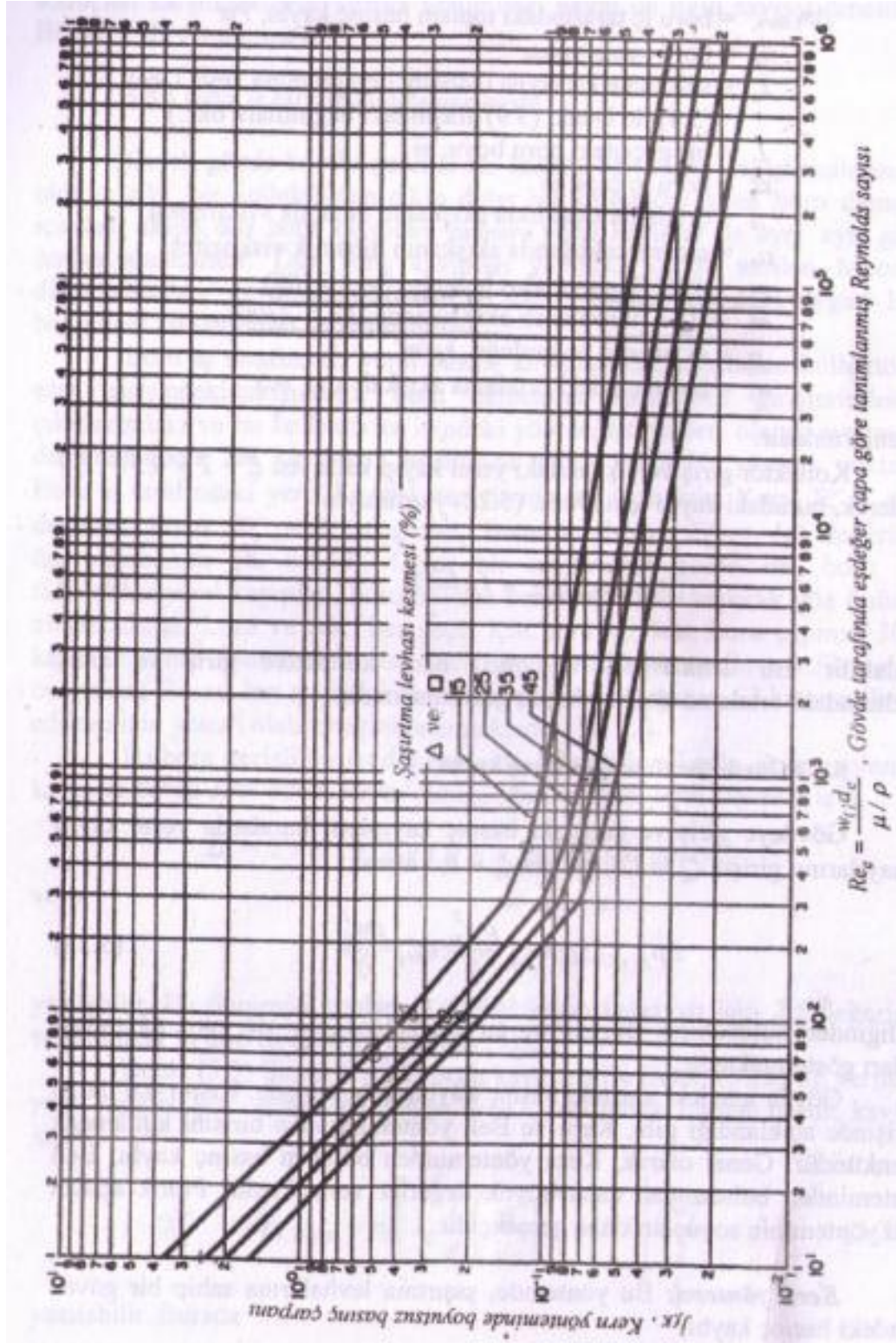
```
        found = True
```

```
    End If
```

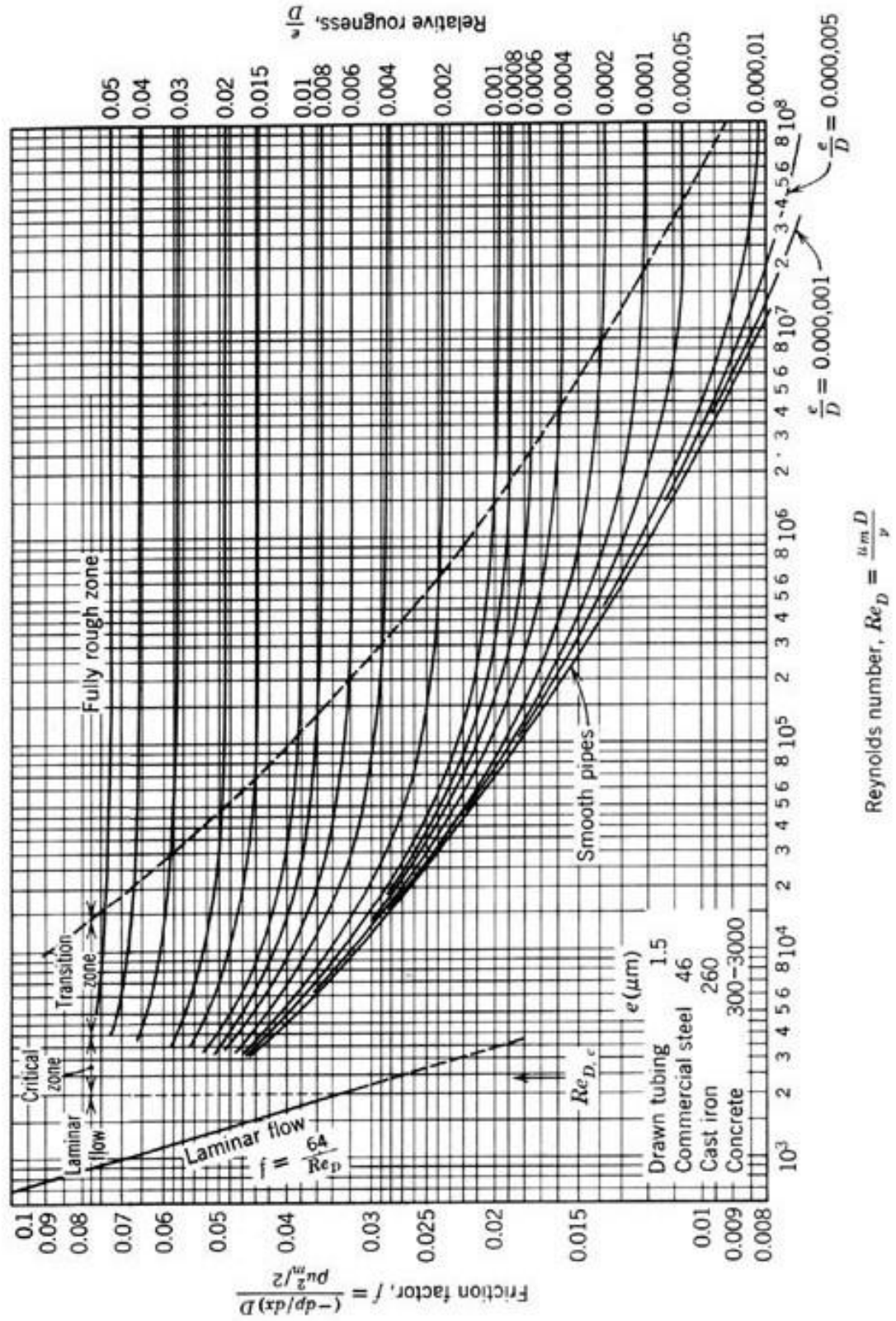
EK B.1. Gövdede Boyutsuz Isıl Çarpanın Reynolds Sayısı İle Değişimi



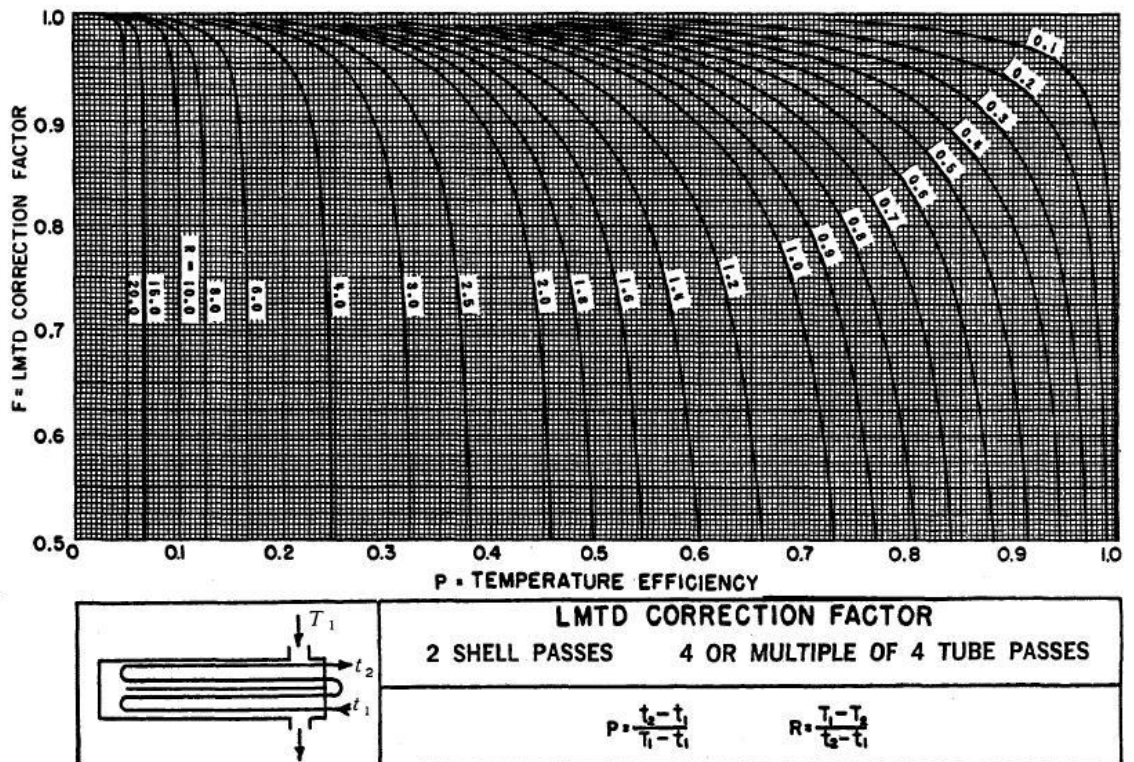
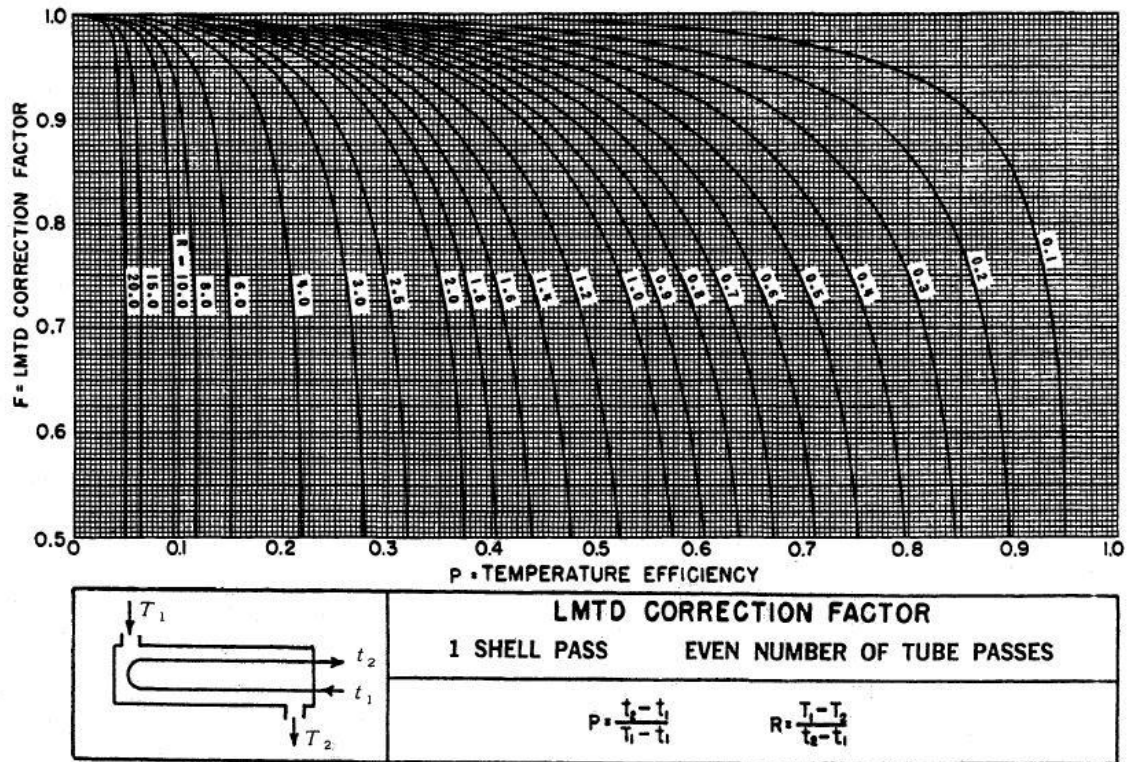
EK B.2. Gövdede Boyutsuz Basınç Çarpanının Reynolds Sayısı ile Değişimi



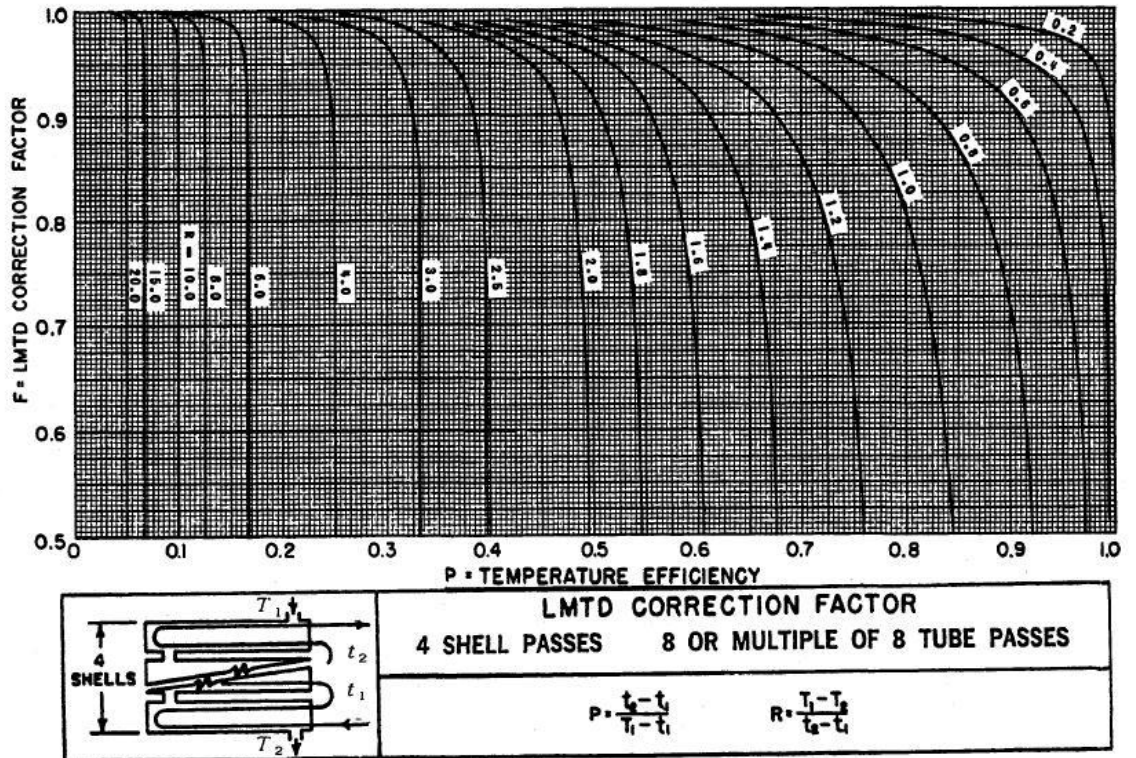
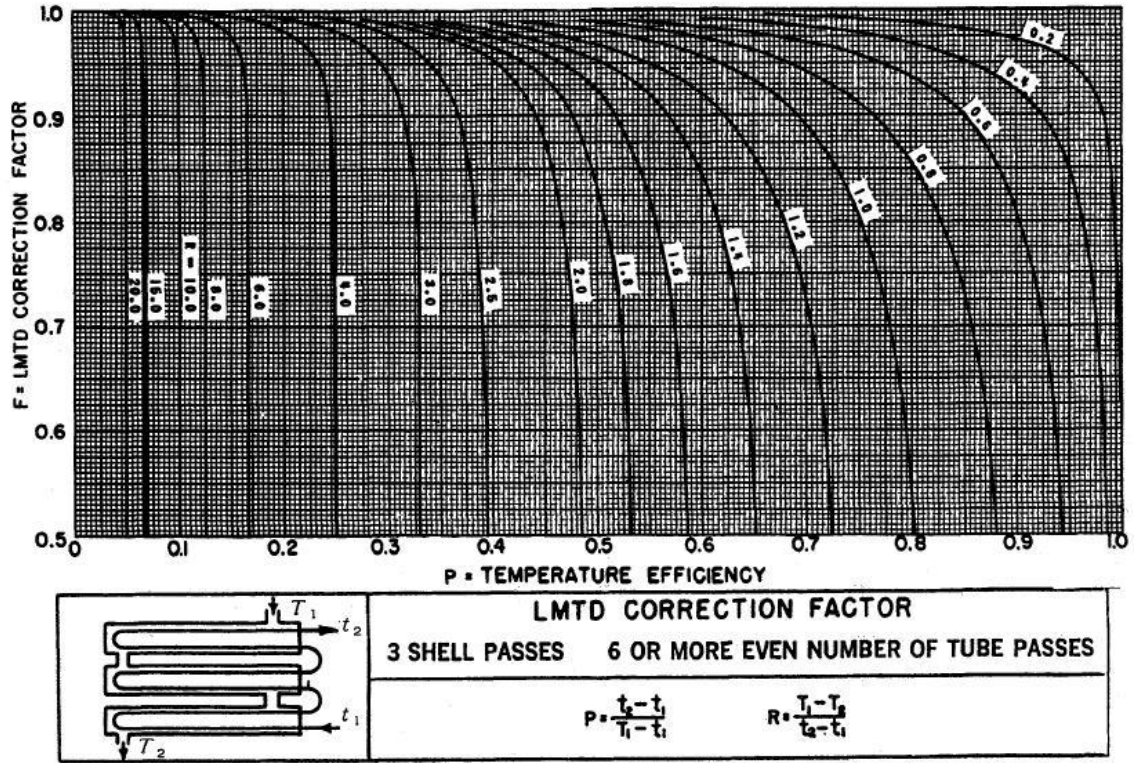
EK B.3. Moody Diyagramı



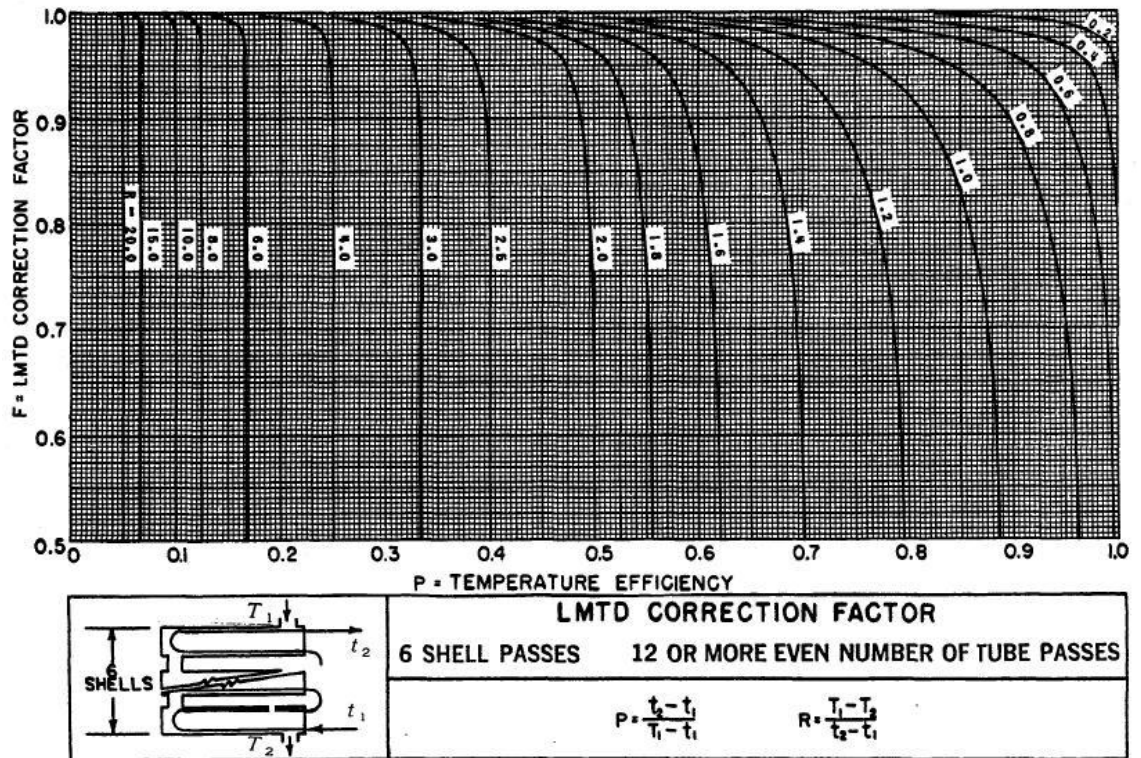
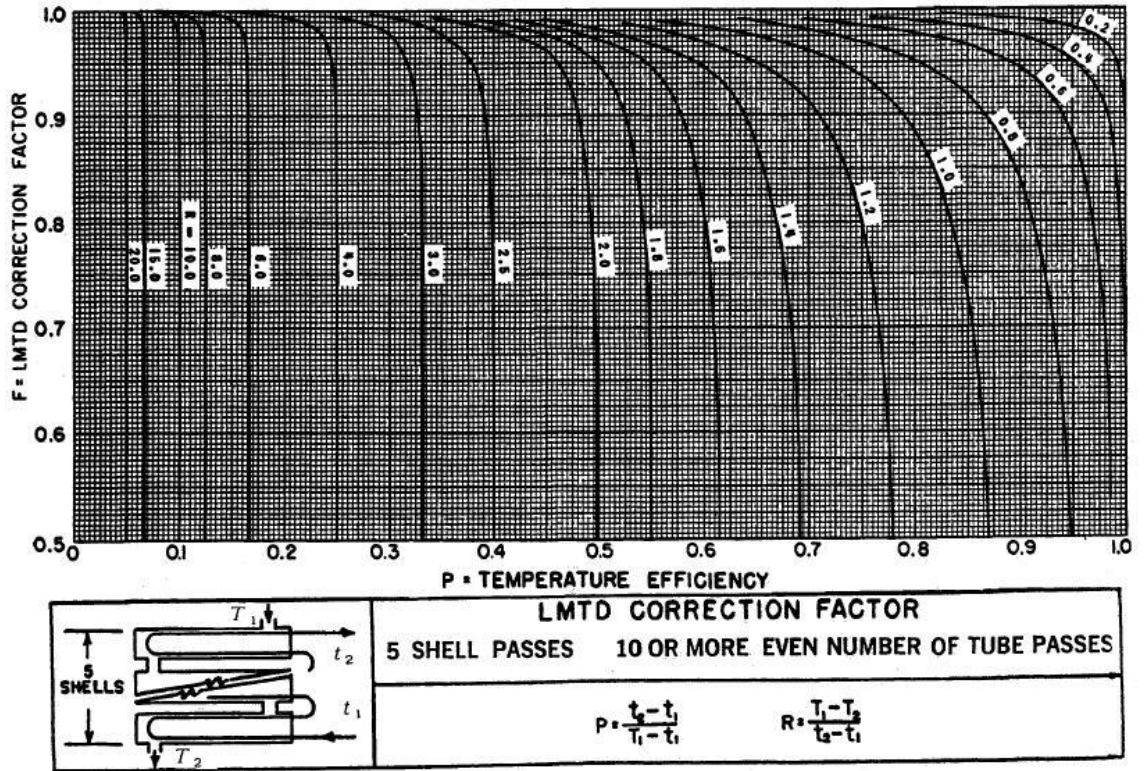
EK C. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerde Sıcaklık Düzeltme arpanı



EK C. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerde Sıcaklık Düzeltme arpanı (Devam)



EK C. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerde Sıcaklık Düzeltme Çarpanı (Devam)



ÖZGEÇMİŞ

Yavuz TOP 13/06/1981’de İstanbul ili Bahçelievler ilçesinde doğdu. İlköğretimini Bağlar ilköğretim okulunda, Ortaöğretimini Zeytinburnu Anadolu Teknik Lisesi Elektrik bölümü’nde tamamladı. 2000 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi. 2004’te bu bölümden mezun oldu. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir. İngilizce bilmektedir. 2006 yılından beri İstanbul Konuk Isı firmasındaki görevini yürütmektedir.