



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GENETİK ALGORİTMA İLE GÖVDE BORULU ISI
DEĞİŞTİRİCİSİ OPTİMAL TASARIMI**

**Mak. Müh. Serdar ÇOLAK
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yard. Doç. Dr. Ümit KURŞUN**

Haziran, 2012

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GENETİK ALGORİTMA İLE GÖVDE BORULU ISI
DEĞİŞTİRİCİSİ OPTİMAL TASARIMI**

**Mak.Müh. Serdar ÇOLAK
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

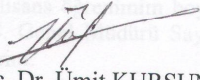
**Danışman
Yard. Doç. Dr. Ümit KURŞUN**

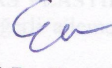
Haziran, 2012


İSTANBUL


Bu çalışma 26/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

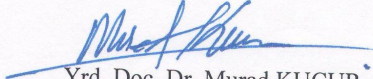
Tez Jürisi


Yard. Doç. Dr. Ümit KURŞUN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Yard. Doç. Dr. Olcay KURŞUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Recep BURKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Yrd. 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 Yard.Doç.Dr. Ümit KURŞUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen HAS PLASTİK SAN. ve TİC. AŞ. Genel Müdürü Sayın Ayhan Haspaylan'a ve çok değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2012

Serdar ÇOLAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1.1. Isı Geçişi Yüzeyinin Isı Geçişi Hacmine Oranına Göre Sınıflama.....	3
2.1.2. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama.....	4
2.1.3. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflama.....	4
2.1.3.1. İki Tarafda da Tek Fazlı Akış.....	4
2.1.3.2. Bir Tarafda Tek Fazlı, Diğer Tarafda Çift Fazlı Akış	4
2.1.3.3. İki Tarafda da Çift Fazlı Akış	5
2.1.3.4. Taşınım ve Işınım Beraber Isı Geçişi.....	5
2.1.4. Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama.....	5
2.1.4.1. Doğrudan Temasın Olduğu Isı Değiştiricileri	5
2.1.4.2. Doğrudan Temasın Olmadığı Isı Değiştiricileri	5
2.1.5. Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflama	5
2.1.5.1. Borulu Isı Değiştiricileri.....	5
2.1.5.2. Levhalı Isı Değiştiricileri.....	7
2.1.5.4. Rejeneratif Isı Değiştiricileri	11
2.1.5.5. Karıştırmalı Kaplarda Isı Değişimi	12
2.1.6. Akıma Göre Sınıflama	12
2.1.6.1. Tek Geçişli Isı Değiştiricileri.....	12
2.1.6.2. Çok Geçişli Isı Değiştiricileri	13
2.2. GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ.....	14

2.2.1. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Elemanları	21
2.2.1.1. Gövde	21
2.2.1.2. Borular veya Boru Demeti	21
2.2.1.3. Şaşırtma Elemanları	23
2.2.1.4. Boru Aynası	23
2.2.1.5. Arka Kafa	23
2.2.1.6. Ön Kafa	23
2.2.1.7. Bölücü Perdeler	25
2.2.1.8. Bağlantı Ağzları	25
2.2.1.9. Contalar	25
2.2.1.10. Flanşlar	25
2.2.1.11. Ayaklar	25
2.2.2. Gövde Borulu Isı Değiştirici Hesapları	25
2.3. GENETİK ALGORİTMA	36
2.3.1. Genetik Algoritmanın Tarihçesi	37
2.3.2. Genetik Algoritmaların İşleme Yordamı	38
2.3.2.1. Kodlama	39
2.3.2.2. Uygunluk Fonksiyonu	40
2.3.3. Genetik Algoritma ile İlgili Tanımlar	40
2.3.4. Genetik Algoritma Kullanım Alanları	41
2.3.5. Genetik Algoritma Operatörleri	41
2.3.5.1. Seçim	41
2.3.5.2. Çaprazlama	43
2.3.5.3. Mutasyon	47
2.3.6. Genetik Algoritma Durdurma Kriterleri	48
2.3.7. Genetik Algoritma Parametreleri	49
2.3.7.1. Popülasyon Büyüklüğü (N)	49
2.3.7.2. Çaprazlama Oranı (P_c)	49
2.3.7.3. Mutasyon Oranı (P_m)	49
2.3.8. Genetik Algoritmalar İle Diğer Optimizasyon Yöntemleri Arasındaki Farklar	50
2.4. TEORİK ÇALIŞMALARDAN	50
3. MALZEME VE YÖNTEM	54
3.1. FORTRAN	54
3.2. YÖNTEM	55
4. BULGULAR	64
4.1. ISI DEĞİŞTİRCİSİ HESAPLAMA ÖRNEĞİ	64

4.2. ELDE EDİLEN BULGULAR.....	75
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	:Kompakt ısı değiştirici gövdeleri. (a) Kanatlı boru (yassı borular, sürekli levha kanatlar). (b) Kanatlı boru (dairesele borular, sürekli levha kanatlar). (c) Kanatlı boru (dairesele borular, dairesele kanatlar). (d) Levha-kanat (tek geçiş). (e) Levha-kanat (çok geçiş).....3
Şekil 2.2	:Çift boru prensip şeması.....6
Şekil 2.3	:Spiral borulu ısı değiştiricileri.....6
Şekil 2.4	:Gövde borulu ısı değiştiricisi.....7
Şekil 2.5	:Contalı levhalı ısı değiştiricileri..... 8
Şekil 2.6	:Spiral levhalı ısı değiştiricisi.....9
Şekil 2.7	:Lamelli ısı değiştiricisi.....9
Şekil 2.8	:Levhalı kanatlı ısı değiştirici prensibi.....10
Şekil 2.9	:Borulu kanatlı ısı değiştirici (a)Oval kesit, (b)Dairesel kesit.....11
Şekil 2.10	:Paralel ve ters akış düzenlemesi.....13
Şekil 2.11	:Çapraz akışlı ısı değiştiricileri.....13
Şekil 2.12	:Gövde borulu ısı değiştirici.....15
Şekil 2.13	:Tipik gövde borulu ısı değiştirici konstrüksiyonları.....17
Şekil 2.14	:Boru demeti düzenlemeleri.....22
Şekil 2.15	:Levha ve çubuk tipi şaşırtma elemanları.....23
Şekil 2.16	:Genetik algoritma akış diyagramı.....38
Şekil 2.17	:Sekizli kodlama.....39
Şekil 2.18	:Bir gezgin satıcı probleminin herhangi bir çözümlünün sıralı kodlama ile gösterimi.....39
Şekil 2.19	:Rulet tekerleği seçme operatörü.....42
Şekil 2.20	:Tek noktalı çaprazlama.....44
Şekil 2.21	:İki noktalı çaprazlama.....44
Şekil 2.22	:Çok noktalı çaprazlama.....44
Şekil 2.23	:Düzgün çaprazlama.....45
Şekil 2.24	:PMX çaprazlama.....45
Şekil 2.25	:OX çaprazlama.....46
Şekil 2.26	:CX çaprazlama.....46
Şekil 2.27	:Ağaç çaprazlama.....47
Şekil 2.28	:(a)Basit mutasyon, (b)Değişim mutasyonu, (c)Ters çevirme mutasyonu.....48
Şekil 3.1	:Program arayüzü.....54
Şekil 3.2	:Şaşırtma levhası kesmesi.....56
Şekil 3.3	:Gövde borulu ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası aralığı.....57
Şekil 3.4	:Genetik algorithmada kullanılan bireylere örnek.....57
Şekil 3.5	:10 bireyden oluşan popülasyonun kromozomlarının kodlanmış hali....58
Şekil 3.6	:10 bireyden oluşan popülasyonun kromozomlarının çözümlenmiş hali59
Şekil 3.7	:Çaprazlama işleminin uygulanması.....60
Şekil 3.8	:Mutasyon işleminin uygulanması.....62

Şekil 3.9	:10 bireylik yeni popülasyon.....	62
Şekil 4.1	:İterasyon sayısı ile popülasyondaki bireylerin uygunluklarının ortalamasının değişimi.....	79
Şekil 4.2	:İterasyon sayısı ile popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip bireyin değişimi.....	79
Şekil 4.3	:İterasyon sayısı ile maliyetlerin değişimi.....	80
Şekil 4.4	:Gövde tarafı akışkan hızıyla maliyetlerin değişimi.....	82

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	:TEMA tarafından hazırlanan standart gövde tipleri, ön ve arka kafalar.....	16
Tablo 2.2	:Gövde çapları ve bu çaplara karşılık gelen gövde et kalınlıkları (TS 1996).....	21
Tablo 2.3	:Bakır boruların dış çap ve et kalınlıkları (TS 1996).....	22
Tablo 2.4	:Çelik boruların dış çap ve et kalınlıkları (TS 1996).....	22
Tablo 2.5	:Gövde borulu ısı değiştiricisi, gövde, perde, destek çubukları, levhaları ve bağlantı çubukları geometrik ölçüleri.....	24
Tablo 2.6	:C ve n katsayıları.....	28
Tablo 2.7	:Boyutsuz ısı çarpanının hesaplanmasında kullanılan p ve q katsayıları...	30
Tablo 2.8	:Bazı akışkanların kirlilik faktörleri, R_f ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).....	32
Tablo 2.9	:Çeşitli malzemelerin mutlak ortalama pürüzlülük yükseklikleri (e_y)....	34
Tablo 2.10	:Boyutsuz ısı çarpanının hesaplanmasında kullanılan p ve q katsayıları...	35
Tablo 2.11	:Genetik algoritma ile ilgili tanımlar.....	40
Tablo 4.1	:Tüm kombinasyonların hesaplanması.....	76
Tablo 4.2	:Genetik algoritma uygulamasındaki her bir iterasyon sonucunda elde edilen bireyler, ortalamalar ve en iyi bireyler.....	77
Tablo 4.3	:Toplam yıllık maliyeti 3850 TL'nin, boru ve gövde tarafı basınç düşümü 100 kPa'ın altındaki ısı değiştiricisi özellikleri.....	81
Tablo 4.4	:Isı değiştirici hesaplarının Top(2010)'un çalışmasıyla karşılaştırılması.....	83

SEMBOL LİSTESİ

A	:ısı değiştiricisi ısı geçiş yzeyi
A_s	:gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesiti
C	:boru dizilişi ve geçiş sayısına bağlı katsayı
C₁	:ekonomik dönüşüm faktörü
C₂	:ekonomik dönüşüm faktörü
D_g	:gövde iç çapı
d_e	:eşeğer çap
d_{in}	:boru iç çapı
d_{out}	:boru dış çapı
e	:enflasyon oranı
E	:güç kaybı
e_p	:boyutsuz pürüzlülük değeri
e_y	:ortalama pürüzlülük yüksekliği
F	:sıcaklık düzeltme arpanı
FD	:alan başına ısı değiştiricisi birim maliyeti
FE	:elektrik maliyeti
h	:ısı taşınım katsayısı
H	:yıllık operasyon periyodu
i	:faiz oranı
IG	:işletme gideri
J_{FK}	:kern yöntemine göre boyutsuz basınç arpanı
J_K	:kern yöntemine göre boyutsuz ısııl çarpan
k_s	:sürtünme katsayısı
K	:toplam ısı geçiş katsayısı
L	:boru uzunluğu
L_p	:şaşırtma levhaları arası mesafe
L_{şLK}	:şaşırtma levhası kesme yüksekliği
m	:akışkan debisi
n	:boru dizilişi ve geçiş sayısına bağlı katsayı
n₁	:bir geçişteki boru sayısı
n_b	:boru geçiş sayısı
N	:popülasyon büyüklüğü
N_t	:toplam boru sayısı
Nu	:nusselt sayısı
p	:boyutsuz ısııl ve basınç çarpanın hesaplanmasında kullanılan katsayı
P	:etkenlik
P_c	:çaprazlama oranı
P_m	:mutasyon oranı
Pr	:prandtl sayısı
q	:boyutsuz ısııl ve basınç çarpanın hesaplanmasında kullanılan katsayı

Q	:ısı miktarı
R	:kapasite oranı
R_f	:kirlilik faktörü
Re	:reynolds sayısı
s	:işletme süresi
t	:boru merkezleri arası mesafe
T	:sıcaklık
TopG	:toplam gider
x	:boyutsuz ısı ve basınç çarpanının hesaplanmasında kullanılan değer
V	:hız
YG	:yatırım gideri
ΔP	:basınç düşümü
ΔT_m	:logaritmik ortalama sıcaklık farkı
c_p	:özgül ısı
λ	:ısı iletim katsayısı
β	:yüzey alanı yoğunluğu, kompaktlık
μ	:dinamik viskozite
η_p	:pompa verimi
ρ	:akışkan yoğunluğu

Alt indisler

b	:boru
g	:gövde
c	:cidar

ÖZET

GENETİK ALGORİTMA İLE GÖVDE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİ OPTİMAL TASARIMI

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı geçişini sağlayan cihazlardır. Isı değiştiricileri ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemleri, kimya endüstrisi, taşıtlar, termik santraller ve neredeyse tüm üretim alanlarında kullanılmaktadır. Kullanıldığı yere göre çeşitli tiplerde bulunabilen ısı değiştiricilerinin dizaynı ve optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Endüstride en yaygın kullanılan ısı değiştiricilerinden biri gövde borulu ısı değiştiricileridir.

Bu tezin amacı, gövde borulu ısı değiştiricilerinin ilk yatırım maliyeti ile enerji tüketim maliyetini içeren toplam maliyet fonksiyonunu minimize etmek için bir rastsal arama metodu olan genetik algoritma metodunun uygulanmasıdır.

Belirlenen amaç doğrultusunda, sıcak akışkanın akış yeri, boru geçiş sayısı, boru diziliş şekli, boru dış çapı, gövde dış çapı, şaşırtma levhası kesme oranı ve şaşırtma levhaları arası mesafe dizayn değişkenleri olarak seçilmiş ve optimizasyon, basınç düşümü ile ekonomik koşullar dikkate alınarak yapılmıştır.

Bir veri grubu içerisinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniği olan genetik algoritma yöntemini uygulamak üzere FORTRAN programlama diliyle arayüze sahip bir yazılım geliştirilmiştir.

Tezde, ısı değiştiricilerinin kısaca tanım, tip ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Gövde borulu ısı değiştiricileri özellikleri ve hesaplamaları ayrıntılı olarak incelenmiştir, tarihçesi, işleme yordamı, özellikleri, kullanım alanları, operatörleri ve parametreleri anlatılmıştır.

Genetik algoritma uygulaması ile gövde borulu ısı değiştiricileri için tasarım esnekliği sağlayabilecek benzer kalitede çoklu çözümler hızlı bir şekilde elde edilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, Gövde borulu ısı değiştiricileri, Optimizasyon

SUMMARY

OPTIMAL DESIGN OF SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER USING GENETIC ALGORITHM

Heat exchangers are devices that allow heat transfer between two or more fluids. Heat exchangers are used in heating, cooling, air-conditioning, chemical industry, vehicles, thermal reactors and almost all production areas. The design and optimization of heat exchangers that may have various types depending on their usage area, carry a great importance. One of the most widely used heat exchangers in industry, is shell and tube heat exchangers.

The aim of this study is to apply a random search method, genetic algorithm, to minimize the total cost function that includes the initial investment and the energy consumption costs.

For the specified purpose, hot fluid allocation, number of tube passes, tube layout, tube outer diameter, shell outer diameter, baffle cut and baffle spacing are selected as the design variables and optimization of shell and tube heat exchanger is achieved taking into account the pressure drop and economic conditions.

In order to apply, genetic algorithm, a search technique based on parameter coding, which is used for finding a specific data within a data group, a software with a graphical user interface is developed using FORTRAN.

In this thesis, definition, types and specifications of heat exchangers are briefly mentioned. Specifications and calculations of shell and tube heat exchangers are discussed in detail. The algorithm, history, processing routine, specifications, areas of use, operators and parameters of genetic algorithm are explained.

With the application of genetic algorithm, quantitatively similar multiple solutions that would provide design flexibility are obtained for shell and tube heat exchangers and the results are analyzed.

Key Words: Genetic Algorithm, Shell and tube heat exchangers, Optimization

1. GİRİŞ

Isı değiştiricileri, iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı geçişini sağlayan cihazlardır. Isı değiştiricileri ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemleri, kimya endüstrisi, taşıtlar, termik santraller ve neredeyse tüm üretim alanlarında kullanılmaktadır.

Çeşitli tiplerde bulunabilen ısı değiştiricilerinin kullanıldığı yere göre dizaynı ve optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Isı değiştiricilerinin dizaynında ve optimizasyonunda ısı değiştiricisinin konstrüksiyonu, ısı geçiş mekanizması ve akışkanların akım durumları gibi çeşitli parametrelerin etkisi mevcuttur.

Uygulamada en yaygın kullanılan ısı değiştiricilerinden biri gövde borulu ısı değiştiricileridir. Adından da anlaşıldığı gibi bir gövde içine yerleştirilen borulardan oluşan gövde borulu ısı değiştiricilerinde, akışkanlardan biri boruların içinden diğeri gövde içinden, boruların dışından akar ve bu iki farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasında ısı geçişi gerçekleşir. Gövde borulu ısı değiştiricileri, çeşitli uygulamalar için çok çeşitli tipleri bulunduğundan, hacmine ve ağırlığına oranla büyük miktarlarda ısı geçişi sağladığından, bakım ve tamirleri kolay olduğundan, piyasadan çok kolay şekilde bulunabildiklerinden tercih edilirler.

Teknolojinin hızla gelişmesi ve dünya nüfusunun artması sonucu enerji tüketimide giderek artmaktadır. Enerjinin önemli bir bölümü de ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. İnsanlığın enerjiye olan ihtiyacının sürekli artması, enerji konusunda verimlilik ve optimizasyon çalışmalarının da artmasına yol açmıştır.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde, klasik arama yöntemlerine göre önemli üstünlükleri olan ve yaygın olarak kullanılan bir yöntem genetik algoritma yöntemidir. Doğal ve genetik metaforlardan ortaya çıkan arama ve optimizasyon algoritmalarıdır. özüm uzayının geniş ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar

vermektedir. Genetik algoritmalar ile karmaşık problemler hızlı ve optimale yakın olarak çözülebilmektedir.

Bu çalışmada, endüstride oldukça geniş uygulama alanı bulan gövde borulu ısı değiştiricilerinin optimal tasarımı ele alınmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma kullanılarak gövde borulu ısı değiştiricisinin ilk yatırım maliyeti ile sistemin enerji tüketim maliyetini içeren toplam maliyet fonksiyonu minimize edilmiştir. Belirlenen basınç düşümü sınırlamaları kapsamında bu minimum maliyeti sağlayan ısı değiştiricisinde sıcak akışkanın akış yeri, boru demeti düzenleme şekli, boru geçiş sayısı, boru dış çapı, gövde dış çapı, şaşırtma levhası kesme oranı ve şaşırtma levhaları arası mesafe parametrelerinin değerleri farklı kombinasyonlar arasından seçilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada genetik algoritma yöntemi ile gövde borulu ısı değiştiricisi optimizasyonu yapılmış, dizayn değişkenleri belirlenmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

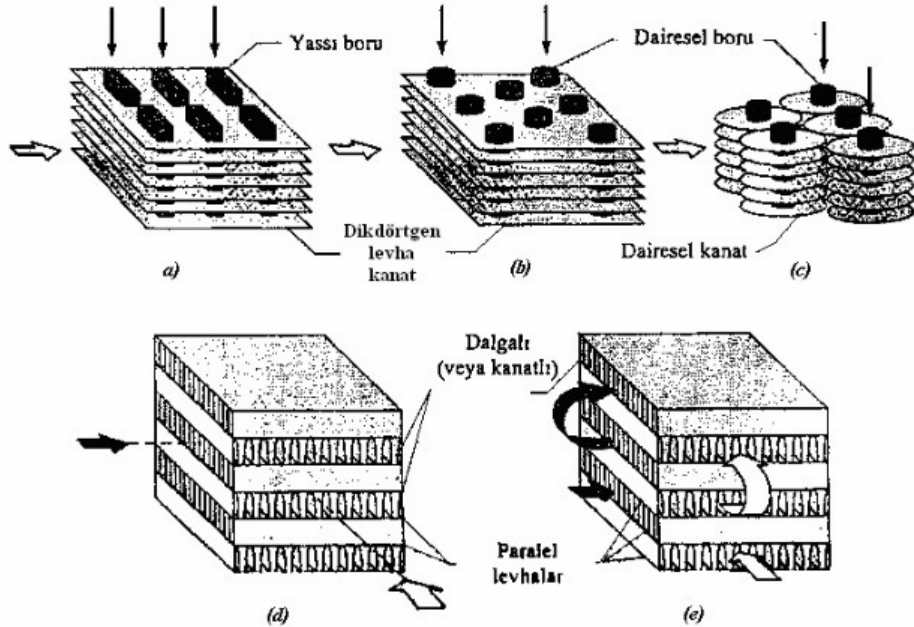
Isı değiştiricileri ısı geçişi yzeyinin ısı geçişi hacmine oranına, akışkan sayısına, ısı geçişi mekanizmasına, ısı değişim şekline, konstrüksiyon özelliklerine ve akıma göre sınıflandırılabilirler.

2.1.1. Isı Geçişi Yzeyinin Isı Geçişi Hacmine Oranına Göre Sınıflama

Yzey alanı yoğunluğuna (β) göre ısı değiştiricileri kompakt ve kompakt olmayan şeklinde ikiye ayrılır.

$$\beta = \text{Isı geçişi yzeyi (m}^2\text{)} / \text{Isı değiştirici hacmi (m}^3\text{)} \quad (2.1)$$

Yzey alanı yoğunluğu $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'ten büyük olan ısı değiştiricileri kompakt, $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ veya daha küçük olan ısı değiştiricileri ise kompakt olmayan ısı değiştiricileri olarak tanımlanır.



Şekil 2.1: Kompakt ısı değiştirici gövdeleri. (a) Kanatlı boru (yassı borular, sürekli levha kanatlar). (b) Kanatlı boru (daireysel borular, sürekli levha kanatlar). (c) Kanatlı boru (daireysel borular, daireysel kanatlar). (d) Levha-kanat (tek geçişi). (e) Levha-kanat (çok geçişi). (Incropera,2001)

Kompakt ısı değiştiricileri ağırlıktan, hacimden kazanç sağladığı ve daha esnek bir projelendirmeye olanak sağladığı için kompakt olmayan ısı değiştiricilerine göre tercih edilir. Buna karşılık akışkanların en az birinin gaz olması, yüzeyi kirleten, korozif 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 (Genceli,2005).

2.1.2. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama

Isı değiştiricileri uygulamada çoğunlukla iki akışkanlıdır. Ancak ısı değiştiricileri iki, üç ve çok akışkanlı olarak sınıflandırılır.  akışkanlı ısı değiştiricileri bazı kimyasal işlemlerde, soğutma tekniğinde, havanın ayrıştırılmasında, hidrojenenin saflaştırılması ve sıvılaştırılması gibi olaylarda kullanılırlar.

 ve daha fazla akışkan ile çalışan ısı değiştiricilerinin teorik analizleri oldukça karmaşık olup tasarımları da gctr (Genceli,2005).

2.1.3. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflama

Bu sınıflama ısı değişimindeki akışkanların hangi fazda olduğuna göre yapılır. Akışkanlar tek fazda (sıvı veya gaz) olabildiği gibi çift fazda (kaynamakta) da olabilirler(Tekin,2006).

2.1.3.1. İki Tarafda da Tek Fazlı Akış

İki tarafında da tek fazlı akış bulunan ısı değiştiricisinde ısı taşınımı doğal veya zorlanmış olabilir. Akışkanlar ısı değiştiricisine girdikleri fazda ısı değiştiricisinden çıkarlar. rnek olarak taşıt radyatörleri, oda ısıtıcıları, kompresör i soğutucuları, buhar kazanları ekonomizörleri, hava soğutmalı ısı değiştiricileri, rejenaratrler ve hava ısıtıcıları verilebilir. Son yıllarda mikro ve nano ölçeklerde tek fazlı ısı değiştiricileri de geliştirilmeye çalışılmaktadır (Kursun ve Kapat, 2007).

2.1.3.2. Bir Tarafda Tek Fazlı, Diğer Tarafda ift Fazlı Akış

Bu tip ısı değiştiricilerinin bir tarafında tek fazlı akış varken, diğer tarafında kaynamakta veya yoğuşmakta olan iki fazlı akış vardır. Termik santrallerin yoğuşturucuları, soğutma sistemlerinin yoğuşturucusu veya buharlaştırıcısı ve buhar kazanları örnek verilebilir.

2.1.3.3. İki Tarafda da Çift Fazlı Akış

Bir tarafında buharlaşma, diğer tarafında yoğuşma olan ısı değiştiricileri yüksek basınçlı buhar kullanarak alçak basınçlı buhar elde edilmesinde, hidrokarbonların distilasyonun da kullanılırlar. Su püskürtmeli yoğuşturucular ve buharlaştırıcılar örnek verilebilir.

2.1.3.4. Taşınım ve Işınım Beraber Isı Geçişi

Özellikle bir tarafında yüksek sıcaklıkta gaz olan ısı değiştiricilerinde taşınım ve ışınım ısı geçişi bir arada görülür. Yüksek sıcaklıkta çalışan dolgu maddeli rejenaratörler, fosil yakacak yakan ısıtıcılar, buhar kazanları ve buhar kızdırıcıları bu tip ısı değiştiricilerine örnek olarak verilebilir(Genceli,2005)

2.1.4. Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama

Isı değişim şekline göre ısı değiştiricileri doğrudan temaslı olan ve doğrudan temaslı olmayan ısı değiştiricileri olarak ikiye ayrılır.

2.1.4.1. Doğrudan Temasın Olduğu Isı Değiştiricileri

Farklı sıcaklıklardaki akışkanlar veya bir akışkan ile katı maddeler birbirleriyle doğrudan karıştırılır veya temasa geçirilir. Farklı sıcaklıklardaki akışkanların temas ettirildiği sistemlerde, genellikle akışkanlardan birisi gaz, diğeride buharlaşma basıncı küçük olan sıvıdır. Isı transferinden sonra akışkanlar birbirinden kendiliğinden ayrılır. Uygulamada çok kullanılan, damlalar veya ıslak dolgu maddeleri üzerindeki suyun atmosferik hava ile soğutulduğu soğutma kuleleri, bu ısı değiştiricilerine iyi bir örnektir.

2.1.4.2. Doğrudan Temasın Olmadığı Isı Değiştiricileri

Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricilerinde ısı önce sıcak akışkandan akışkanları ayıran bir yüzeye veya kütleye, sonra yüzeyden veya kütleden soğuk akışkana geçer. Doğrudan ısı geçişi olan ısı değiştiricileri, ısının depolandığı ısı değiştiricileri ve akışkan yataklı ısı değiştiricileri olarak üç kısımda incelenebilir.

2.1.5. Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflama

Isı değiştiricilerinin konstrüksiyona göre sınıflaması borulu, levhalı, kanatlı ve rejeneratif olmak üzere dört ana başlık altında yapılabilir.

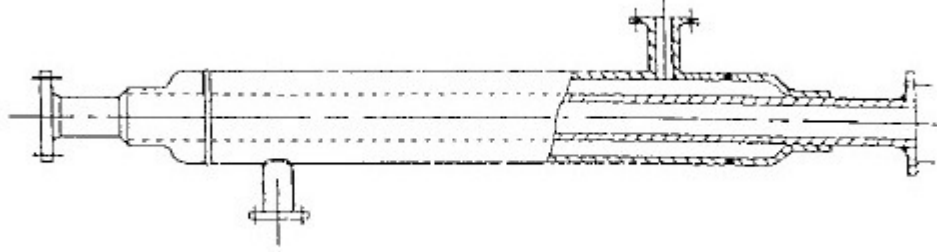
2.1.5.1. Borulu Isı Değiştiricileri

Uygulamada boruların genellikle dairesel olmasıyla beraber bazı özel uygulamalarda eliptik ve dikdörtgen kesitli borularda kullanılır. Bu tür ısı değiştiricilerinde boru sayısı,

boyu, çapı ve düzenlemesinin değiştirilmesi kolay olduğundan projelendirmede avantaj sağlar. Dairesel borular yüksek basınçlara dayanabildikleri için yüksek basınçlarda rahatlıkla kullanılabilirler.

a) Düz Borulu Isı Değiştiricileri

Çift borulu olabildiği gibi boru demetinden de oluşturulabilirler. Eş eksenli borularda bir akışkan içteki borudan akarken, diğer akışkan iki boru arasındaki boşluktan akar.

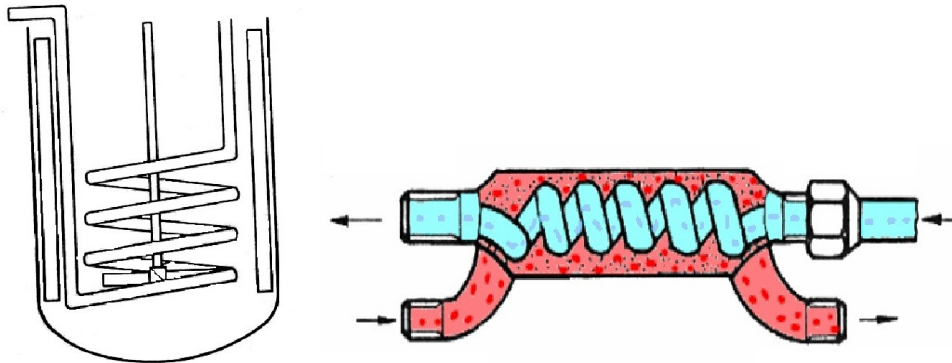


Şekil 2.2: Çift boru prensip şeması (Genceli, 2005)

Akışkanlar paralel veya ters akımlı olabildiği gibi istenildiğinde paralel veya seri şekilde bağlanabilirler. Düz borulu ısı değiştiricilerinin teorik analizleri basittir, temizlenmesi kolaydır, değiştirici içinde ölü bölgeler yoktur, küçük boru çapları ile yüksek basınçlarda kullanılabilirler ancak β kompaktlık değeri küçüktür ve çok yer kaplarlar.

b) Spiral Borulu Isı Değiştiricileri

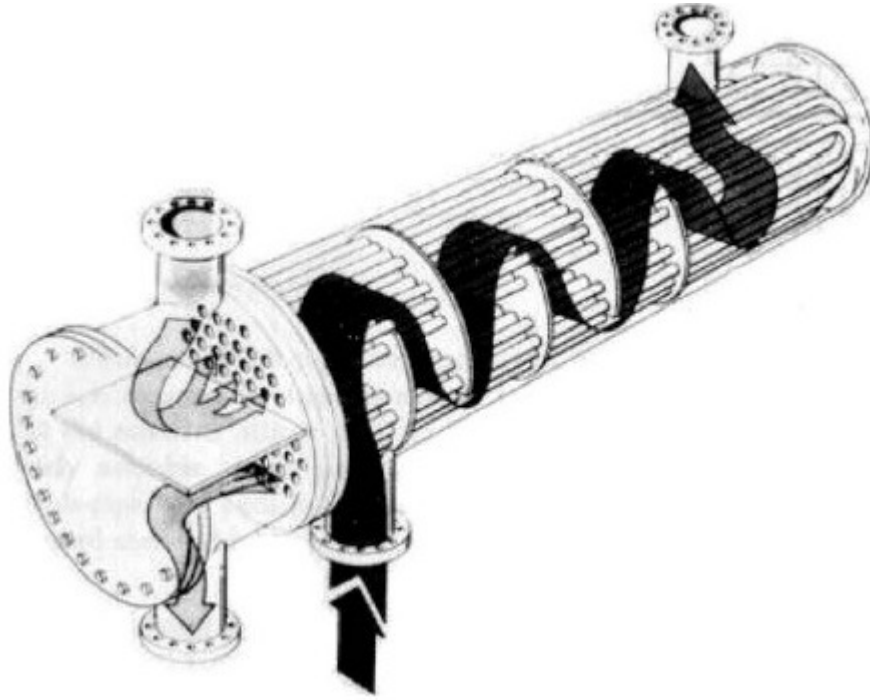
Bir depo içine yerleştirilmiş bir veya daha fazla borudan oluşurlar. Basit ve ucuz şekilde üretilen spiral borulu ısı değiştiricilerinde ısıl genişlemenin oluşturduğu gerilme problemi yoktur. Isı geçişi katsayısı düz borulara göre daha yüksektir. Depo ve spiralın dışı kolay temizlenebilirken spiralın içini temizlemek zordur. Depo tarafındaki akışkan hızı ve debi küçük olduğundan ısıl kapasite bu tarafta küçüktür.



Şekil 2.3: Spiral borulu ısı değiştiricileri (Genceli,2005),(MEGEP,2008)

c) Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

Endüstride en yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipidir. Gövde borulu ısı değiştirici, boru eksenini gövdenin eksenine paralel olacak şekilde silindirik bir gövde içine yerleştirilen birbirine paralel borulardan yapılır. Akışkanlardan birisi boruların içinden, diğer akışkan ise gövde tarafından borulara paralel veya çapraz akar. Borular, gövde, boruların tespit edildiği n ve arka aynalar, akışı yönlendiren perdeler temel elemanlarıdır.



şekil 2.4: Gövde borulu ısı değiştiricisi (Selbaş, 2005)

d)zel Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

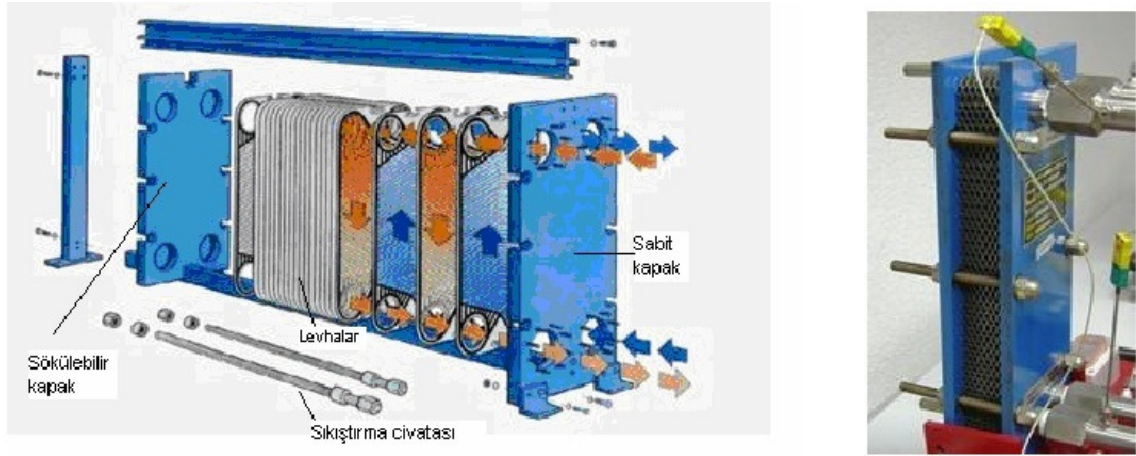
Özel gövde borulu ısı değiştiricileri konstrüktif olarak klasik gövde borulu ısı değiştiricilere benzemesine rağmen, özel kullanımlar için imal edilirler. Kaçakların nlenmesi istenen yerlerde kullanılmak üzere kaçağı anında tespit eden dedektörlerle donatılan korumalı gövde borulu ısı değiştiricileri ve özellikle korozif ortamlarda kullanılmak üzere üretilen grafit gövdeli ısı değiştiricileri bu sınıfa girer.

2.1.5.2. Levhalı Isı Değiştiricileri

Levhalı başka bir deyişle plakalı ısı değiştiricileri genellikle düz veya dalgalı biçimdeki ince metal plakalardan imal edilir. Borulu ısı değiştiricilerine göre yüksek basıncı ve sıcaklıklarda kullanılamazlar. Contalı levhalı, spiral levhalı, lamelli ve ince film ısı değiştiricileri olmak üzere dört başlık altında incelenir.

a) Contalı Levhalı Isı Değişiricileri

İnce metal levhalardan bir paket yapılarak elde edilir. Metal levhalar arasında contalar vardır. İstenildiği kadar levha eklenerek yüzey artırılabilir. Levhalar arası boşluklardan akışkanlar akar. Isı transferi bütün levha yüzeyi boyunca olur. Kolaylıkla temizlenebildikleri için besin, içki, süt, makyaj ve kağıt 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.(Yakut,2007)



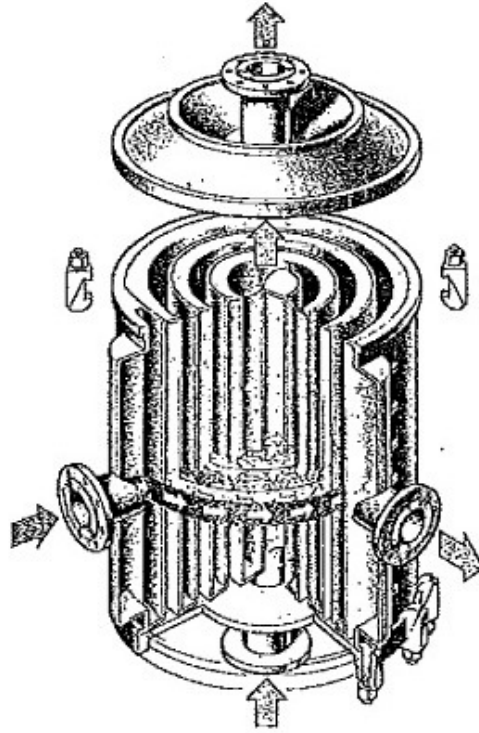
Şekil 2.5: Contalı levhalı ısı değişiricileri (Durmaz,2007)

b) Spiral Levhalı Isı Değişiricileri

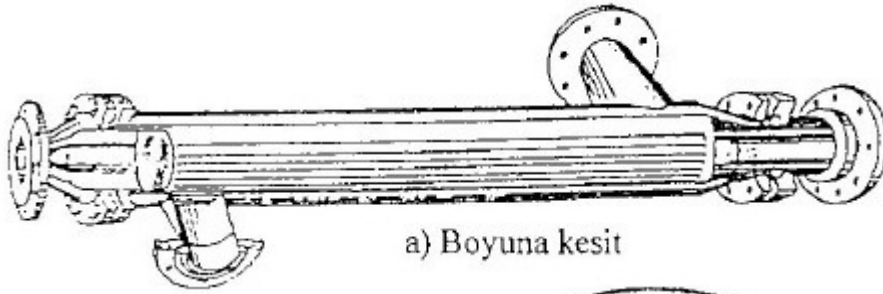
İnce uzun iki metal levhanın spiral şeklinde sarılmasıyla elde edilirler. Düzgün bir aralık sağlamak için levhalar arasına saplamalar yerleştirilir. Levhaların iki tarafı contalı kapaklar ile kapatılır. Levhalar arasındaki akışkanlar paralel veya ters akabilir. Kolay temizlenebildikleri için kirletici ve viskoz akışkanlar için uygundur. Isı değişiricileri üzerinde küçük değişiklikler yapılarak çeşitli akış düzenlemeleri elde edilebilir. Kağıt fabrikalarında, sülfat ve sülfid fabrikalarında tercih edilmektedirler.

c) Lamelli Isı Değişiricileri

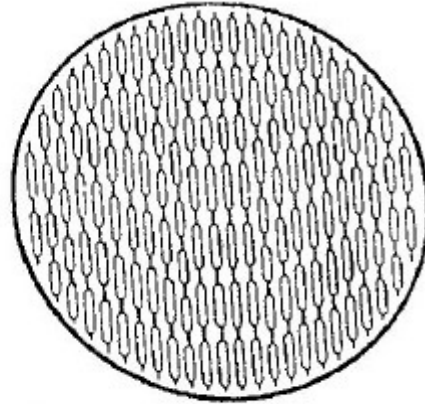
Lamel adı verilen yassılaştırılmış borulardan oluşturulan boru demetinin bir gövde içine yerleştirilmesi ile imal edilirler. Birinci akışkan lamel adı verilen boruların içinden akarken, diğeri içinde şaşırtma levhası olmayan gövde içinden, boruların arasından akar. Akışın tek geçişli olduğu ve akışkanların birbirlerine göre paralel veya ters aktığı bu tip ısı değişiricileri ile teflon conta kullanılarak maksimum 200 °C, asbest conta kullanılarak 500 °C sıcaklık değerlerine ve 30 bar basınca çıkılabilir.



Şekil 2.6: Spiral levhalı ısı değiştiricisi (Genceli,2005)



a) Boyuna kesit



b) Enine kesit

Şekil 2.7: Lamelli ısı değiştiricisi (Genceli,2005)

d) İnce Film Isı Değiştiricileri

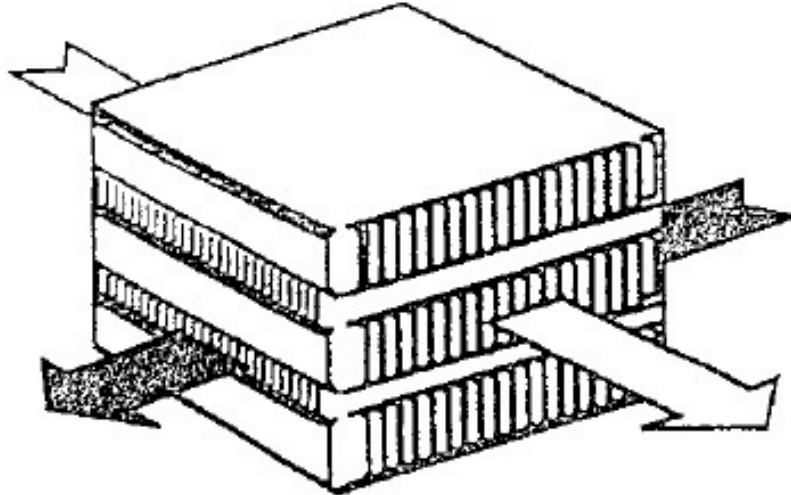
Çok yüksek viskoziteli ve sıcaklığa duyarlı maddelerin ısıtılmasında ve soğutulmasında ince film ısı değiştiricileri önemli uygulama alanı bulur. Değiştirici içinde sıcağa duyarlı maddelerin kısa kalış süresi ve büyük ısı taşınım katsayısına sahip olmaları nedeniyle, pratikte çoğu zaman bu ısı değiştiricileri buharlaştırıcı olarak kullanılırlar. (Genceli,2005)

2.1.5.3. Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri

Isı transferi yüzeyini, kompaktlığı arttırmak için boru veya levha kanatların kullanıldığı ısı değiştiricileridir. Kanatlar genellikle gaz bazen de sıvı olan ısı taşınım katsayısı küçük akışkan tarafına konulur. Böylelikle ısı transferi artmasına karşın, yüzeylere eklenen çıkıntılar nedeniyle oluşan ilave basınç kayıpları gözden kaçırılmamalı. Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri, levhalı kanatlı ve borulu kanatlı olarak iki gruba ayrılır.

a) Levhalı Kanatlı Isı Değiştiricileri

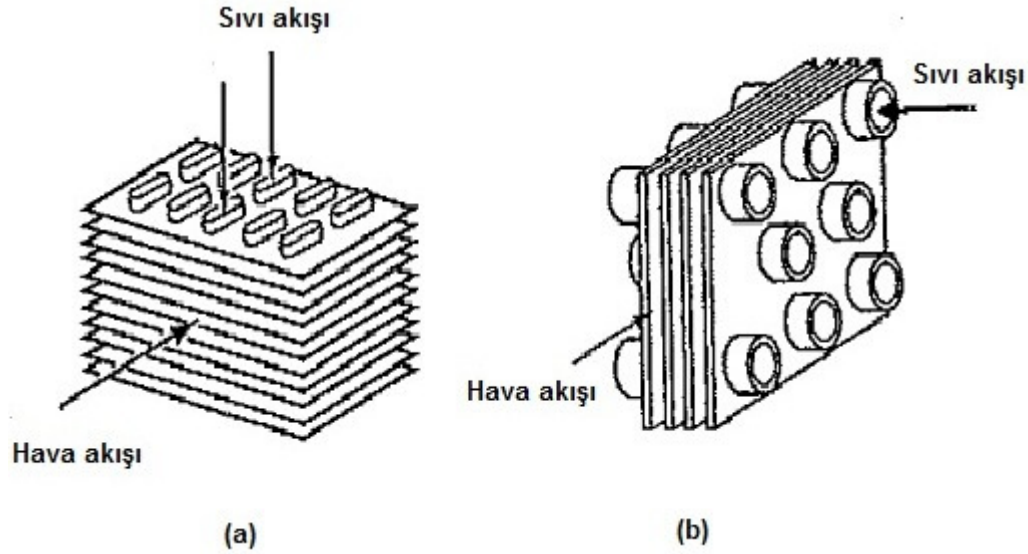
Kompaktlığı ortalama $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olan araç motor soğutma sistemlerinde, soğutma ve iklimlendirme tesislerinde ve elektronik sistemlerin soğutma devrelerinde uygulanan ısı değiştiricileridir. Kanatlar, paralel levhalar arasına tespit edilir. Levhalar 0.5-1 mm, kanatlar ise 0.15-0.75 mm kalınlığındadır. Düz, düz-delikli, taralı veya zikzak tipindeki kanatlar, akışkanlardan ikisi de gaz ise iki tarafa da, biri gaz diğeri sıvı ise gaz akışkanın olduğu tarafa yerleştirilir.



şekil 2.8: Levhalı kanatlı ısı değiştirici prensibi (Genceli,2005)

b) Borulu Kanatlı Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricilerinin bir tarafında gaz, diğer tarafında sıvı bulunur. Genellikle sıvı akışkan tarafındaki basınç yüksek olduğundan sıvı akışkan boru içinden akıtılırken gaz akışkan boru dışından akıtılır ve kanatlar gaz tarafına konulur. Eğer boru içindeki akışkanın ısı taşınım katsayısı küçük ise boru içine de kanat eklenebilir. Kanatlar tek tek borular üzerine veya boru demeti üzerine tespit edilir. Kompaktlık $3300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine kadar ulaşabilir.



Şekil 2.9: Borulu kanatlı ısı değiştiricisi (a)Oval kesit, (b)Dairesel kesit. (Kakaç, 2002)

2.1.5.4. Rejeneratif Isı Değiştiricileri

Isı geçişinin dolaylı şekilde olduğu, yani ısının önce sıcak akışkandan döner veya sabit bir dolgu maddesine geçerek depolanıp, daha sonra bu dolgu maddesinden soğuk akışkana geçtiği ısı değiştiricileridir. Isının depolandığı elemanlara dolgu maddesi veya matris denir. Kompaktlıkları çok büyük değerlere çıkabildiği gibi ilk yatırım masrafı da diğer ısı değiştiricilerine göre daha azdır. Sadece gaz akışkanlarda kullanılabilen bu ısı değiştiricilerinde sıcak ve soğuk akışkanlar arasında her zaman bir miktar kaçak olduğundan birbirini etikileyen akışkanlarla kullanılmazlar. Sabit dolgu maddeli, döner dolgu maddeli ve paket yataklı olarak incelenir.

a) Sabit Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Sabit dolgu maddeli rejeneratörlere periyodik çalışan ısı değiştiricileri de denmektedir. Akış yönü sabit dolgu maddesine ve bu dolgu maddesinden başka yöne saptırılır. Sistemin çalışmasının daimi olması için aynı tipten en az iki rejeneratöre ihtiyaç vardır. Endüstride genellikle üç veya dört rejeneratör aynı anda kullanılır.

b) Döner Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Genellikle gaz türbinlerinde, buhar kazanlarında ve iklimlendirme tesisatlarında kullanılan döner dolgu maddeli rejeneratörler, disk ve silindir tipi olarak ikiye ayrılır. Akışkanların birbirine karışmasını engellemek için alınan tüm önlemlere rağmen dolgu maddelerinin boşluklarında gaz kaldığından akışkanların karışması kesin olarak önlenemez. Bu tip rejeneratörlerin en büyük sakıncası gaz kaçaklarıdır.

c) Paket Yataklı Rejeneratörler

Devamlı çalışan dolgu maddeli rejeneratörlerdendirler ve konstrüksiyonları basit, basınç kayıpları fazladır. Küresel, silindirik veya başka şekilli tanecikler sıcak akışkan ile ısıtılır ve ısınan tanecikler ile soğuk akışkan ısıtılır.

2.1.5.5. Karıştırmalı Kaplarda Isı Değişimi

Karıştırmalı kaplar, özellikle aralıklı çalışan ısıtma ve soğutma işlemlerinde çok kullanılan cihazlardır. Bu cihazlar genellikle sıvıların ısıtılması veya soğutulması, eriyik ve karışımların karıştırma ve sıcaklık dengelemesi, sıvı karışımlarında ve süspansiyonlarda kütle geçişini artırmak ve reaksiyonları hızlandırmak, fermantasyon işleminde gazlar ile sıvıların ve süspansiyonların karışımı işlemleri için uygulanabilir. Karıştırıcı kaplar içindeki akışkanlar, ya dış yüzeyinden ceket tipi, ya da kap içine yerleştirilen serpantinler yardımıyla ısıtılır veya soğutulur (Genceli,2005).

2.1.6. Akıma Göre Sınıflama

Akıma göre sınıflama tek geçişli ısı değiştiricileri ve çok geçişli ısı değiştiricileri olmak üzere iki grupta yapılır.

2.1.6.1. Tek Geçişli Isı Değiştiricileri

Isı değiştirici boyunca iki akışkanın yalnız bir kere karşılaştığı ve akışın paralel, ters veya çapraz olabildiği gruptur.

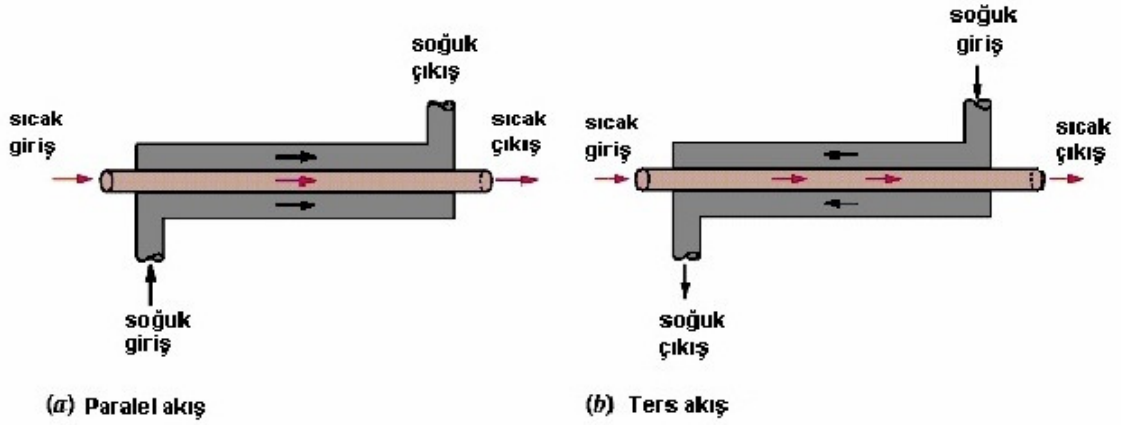
a) Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri

Şekil 2.10 (a)'da görüldüğü gibi sıcak ve soğuk akışkan ısı değiştiricisine aynı uçtan girerler, aynı yönde akarlar ve yine diğer uçtan çıkarlar. Akışkanlardan biri küçük boru içinden akarken diğeri iki boru arasındaki boşluktan akar.

b) Ters Akımlı Isı Değiştiricileri

Ters akımlı ısı değiştiricilerinde sıcak ve soğuk akışkanlar şekil 2.10 (b)'de görüldüğü gibi ısı değiştiricisinin birbirlerine göre ters uçlarından girerler, ters doğrultuda akıp

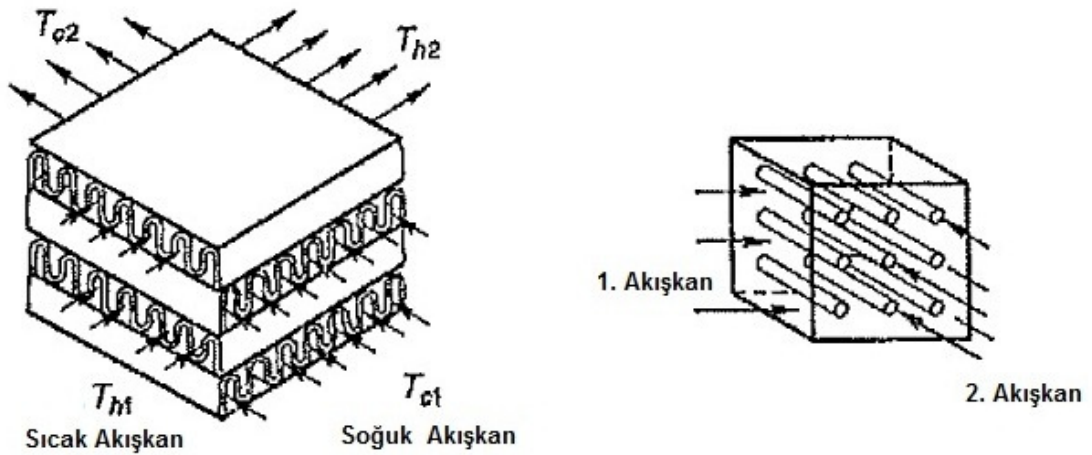
yine ters uçlardan çıkarlar. Bu düzenlemede ortalama logaritmik sıcaklık farkı ve etkenlik diğer akış düzenlemelerine göre daha büyük olduğundan uygulamada tercih edilirler. Ancak üretimlerinin zor olması ve ısıl gerilmeler olumsuz yanlarıdır.



Şekil 2.10: Paralel ve ters akış düzenlemesi (Durmaz,2007)

c) Çapraz Akımlı Isı Değiştiriciler

Akışkanların birbirine dik olarak aktığı bu ısı değiştiricilerinin ısıl etkenliği paralel akışlılardan iyi, ters akışlılardan kötüdür. Üretimleri kolay olduğundan uygulamada kompakt ısı değiştiricilerinin çoğunluğunda çapraz akım kullanılır. Akışkanların sıcaklık dağılımları iki boyutludur.



Şekil 2.11: Çapraz akışlı ısı değiştiricileri (Kakaç, 2002)

2.1.6.2. Çok Geçişli Isı Değiştiricileri

Çok geçişli ısı değiştiricileri paralel, ters veya çapraz geçiş durumlarının değiştirici içinde değişik şekillerde art arda seri halde düzenlenmesiyle elde edilirler. Avantajı, ısıl

etkenliğin ve ortalama logaritmik sıcaklık farkın tek geçişli ters akımlı ısı değiştiricilerine yaklaşmasıdır.

a) apraz-Ters ve apraz-Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri

Genellikle kanatlı yüzeyli ısı değiştiricilerinde tercih edilen bu dzenlemerde geçiş sayısı artırılarak sistemin etkenliği, tek geçişli paralel veya ters akımlı düzenlemelere yaklaştırılır. İmalat masraflarını azaltmak ısı gerilmeler ve malzemeler açısından sıcaklığın fazla olmadığı durumlarda ucuz malzemeler kullanılır.

b) ok Geçişli Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değiştiricilerinde borular bir uçlarından tespit edildiğinden ısı gerilmeler çok azdır. Gövde borulu ısı değiştiricilerinde birden fazla çift sayıda boru geçişi görülebilir. Tek sayıda boru geçişi dzenlemerlinin etkenliği biraz daha iyi olsada üretimleri güç olduğundan ve ısı gerilmeler nedeniyle tercih edilmezler.

c) n Adet Paralel Levha Geçişli Isı Değiştiricileri

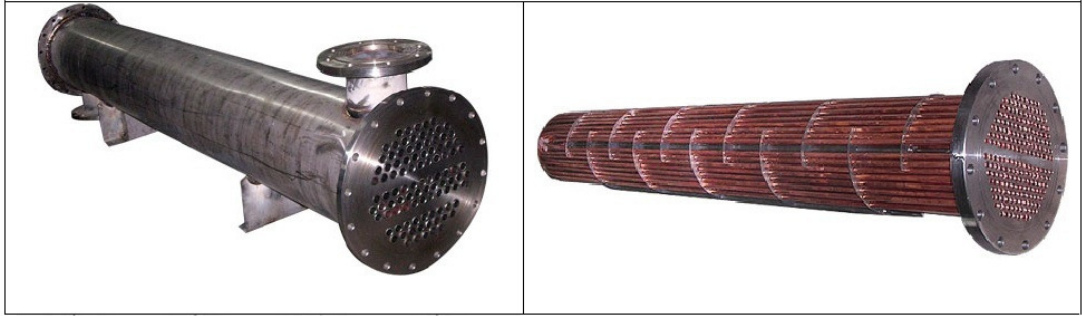
Levha tipi ısı değiştiricilerinde, levhaların çeşitli şekillerde düzenlenmesi ile çok geçişli akımlar elde edilebilir. Levha tipi ısı değiştiricilerinde conta yeri değiştirilerek bu düzenlemeler kolayca elde edilebilir (Genceli,2005).

2.2. GÖVDE BORULU ISI DEğİŞTİRİCİLERİ

Boruların bir gövde içerisine paralel şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulan, işletme kolaylıkları ve geniş çalışma basıncı aralığı nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricileridir. Özellikle enerji, gıda ve kimya sanayilerinde kullanım alanı bulan gövde borulu ısı değiştiricilerinde, farklı giriş sıcaklıklarındaki iki akışkandan biri boruların içinden, diğeri ise gövde ile borular arasından akar. Boru duvarlarından olan ısı geçişi, akışkan sıcaklıklarına bağlı olarak gövde tarafına doğru ya da tam tersi şekilde, iki yönde de sağlanabilir. Hacmine ve ağırlığına kıyasla oldukça büyük değerlerde ısı geçişi sağlarlar.

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

uygundur. Tamir ve bakımı, diğer ısı değiştirici tiplerine nazaran oldukça kolaydır(Top,2010).



şekil 2.12: Gövde borulu ısı değiştirici

Borulu ısı değiştiricisi imalatçıları birliği TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) bu ısı değiştiricileri için bir standart getirmiştir. TEMA tarafından hazırlanan standarda göre başlıca n kafa, arka kafa ve gövdeler Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

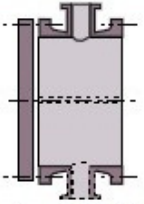
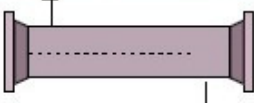
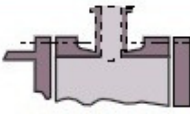
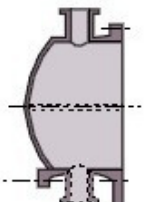

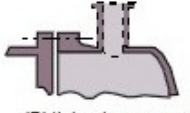
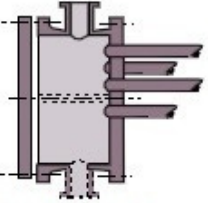
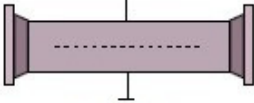
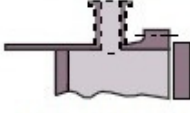
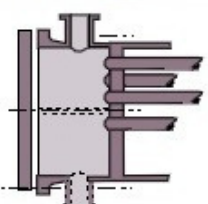
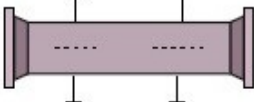
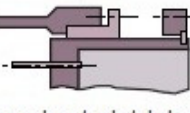
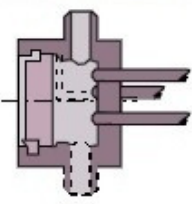
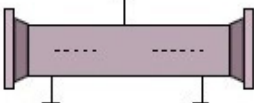
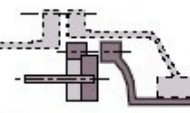
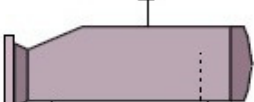
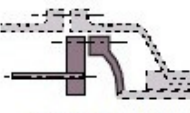
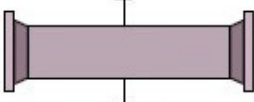
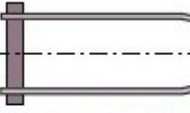

E tipi gövdeler, akışkanın bir uçtan girip diğer uçtan çıktığı, ucuz ve basit oldukları için uygulamada sıklıkla kullanılan gövdelerdir. Genellikle tek fazlı akışlar için kullanılan E tipi gövdelerde borular şaşırtma elemanları ile desteklenebilir. Isıl etkenliği ve ortalama logaritmik sıcaklık farkını artırmak için ters akım düzenlemesi yapılır. Gövde içinde boyuna perde bulunan F tipi gövde ile ısı etkenlik daha da artırılır.

Buharlaştırıcı olarak kullanılan K tipi gövdelerde, buharlaştırılacak sıvı boruları kaplarken, buhar ise borusuz üst kısımda toplanır. Alt kısımda bulunan boru demeti gövde hacminin yaklaşık %60’ı kadar yer kaplar.

G,H ve J gövde tipleri, akışı bölmek için kullanılırlar. G tipinde akışkan giriş çıkış ağızları, gövde ortasında birbirlerine göre 180° karşılıklı yerleştirilir ve akış yatay bir şaşırtma elemanı ile ikiye ayrılır. G tipi gövdenin ısı etkenliği E tipi gövdeden daha iyi iken, basınç kayıpları iki tipte de aynıdır. Genelde tek fazlı akışlarda kullanılan G tipi gövdeler, yatay buharlaştırıcı olarak da kullanılır. H tipi gövdelerde akışkanların giriş ve çıkış ağızları, şaşırtma elemanları ikişer adettir. J tipi gövdelerde ise bir giriş iki çıkış ya da iki giriş, bir çıkış ağzı bulunur. J tipi gövdeler genellikle küçük basınç kayıplarının istendiği yerlerde kullanılır.

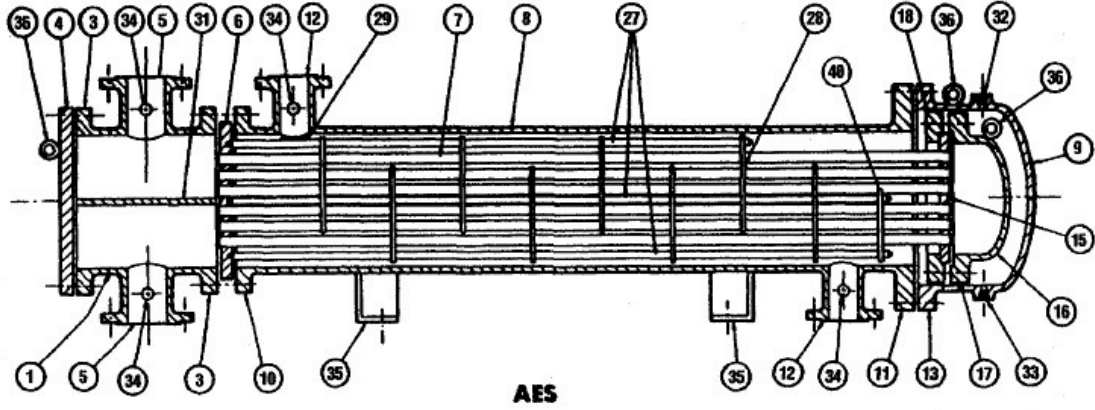
X tipi gövdeler ile şaşırtma elemanı olmadan çapraz akımlı düzenlemeler yapılır. Titreşim etkisi borular arasına destekler konularak azaltılır. Genellikle kanatlı borular ile gazların soğutulmasında kullanılırlar.

Tablo 2.1: TEMA tarafından hazırlanan standart gövde tipleri, ön ve arka kafalar (Mukherjee,1998)

	ÖN TARAF	GÖVDE TİPLERİ	ARKA TARAF
A	 Kanal ve sökülebilir kapak	E  Bir gövde geçiş	L  'A' tipine benzer sabit boru aynası
B	 Başlık (integral Kapak)	F  Boyuna şaşırtmalı iki gövde geçiş	M  'B' tipine benzer sabit boru aynası
C	 Sökülebilir boru demeti. Boru aynalı integral kanal	G  Ayrık akış	N  'C' tipine benzer sabit boru aynası
N	 Sabit boru demeti. Boru aynalı integral kanal.	H  Çifte ayrık akış	P  Dıştan salmastra kutulu kayar kafa
D	 Yüksek basınçlı 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

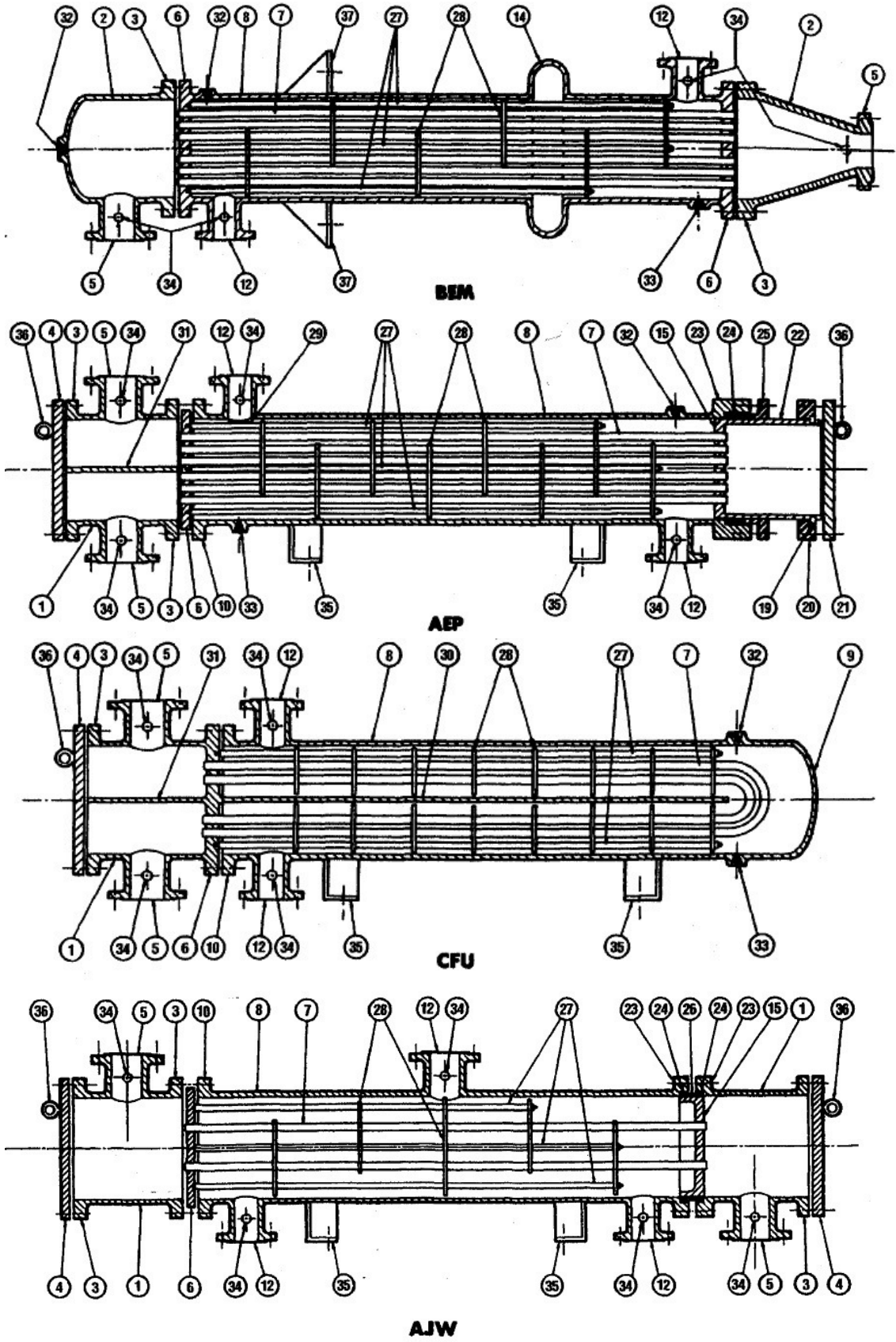
TEMA standardına göre üretilmiş uygulamada çok karşılaşılan bazı gövde, boru ve kafa düzenlemeleri Şekil 2.12'de görülmektedir. Sabit boru demetli ısı değiştiricileri, basınç

ve sıcaklık farkından dolayı meydana gelebilecek uzamaları karşılayacak biçimde yapılmalıdır. Gövde ve borularda kullanılan akışkanlar için önerilen standart anma basınçları genel olarak 2.5, 6, 10, 16, 25 ve 40 bar değerlerindedir.

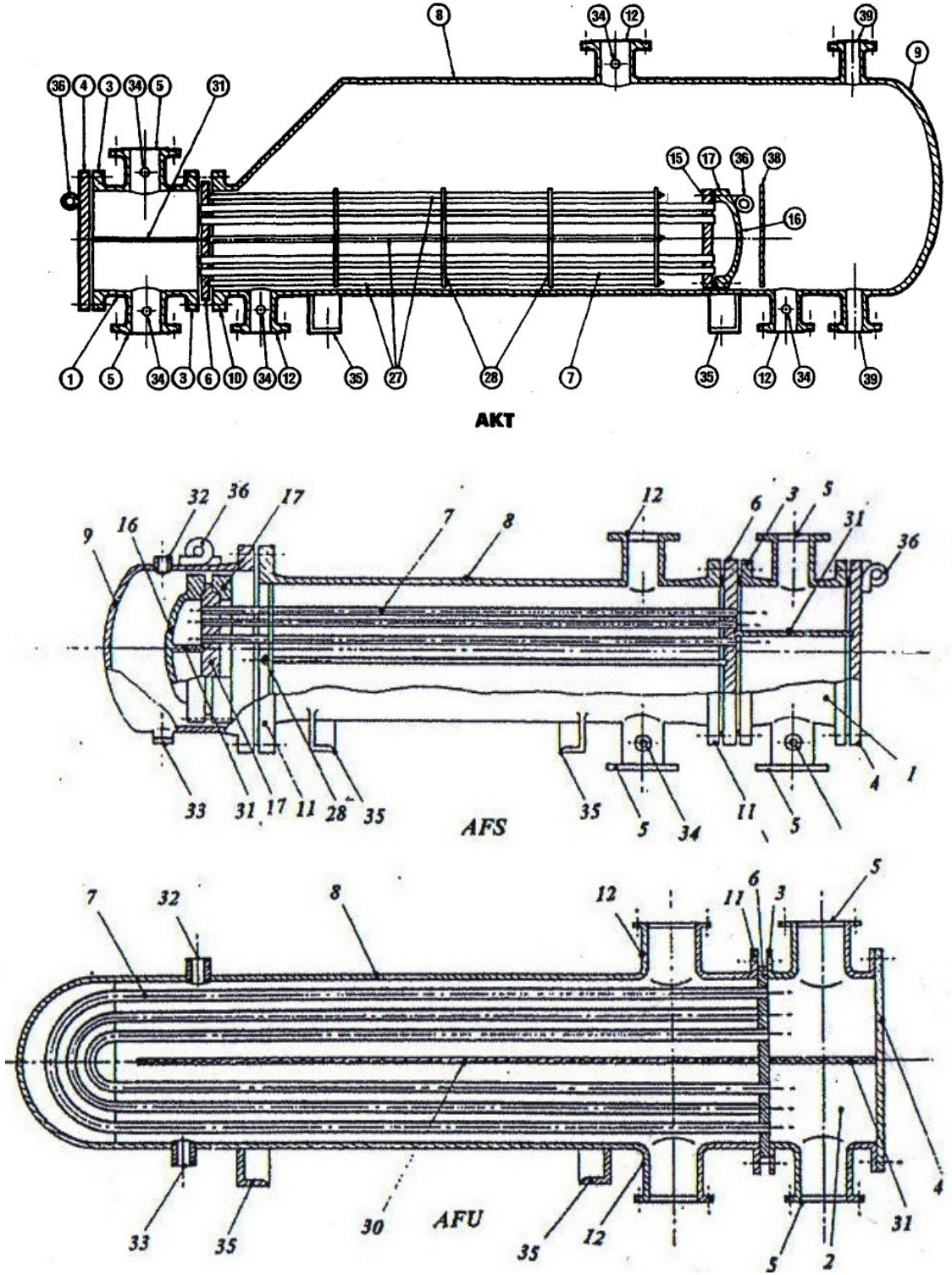


- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Sabit kafa-kanal | 2. Sabit kafa-başlık |
| 3. Sabit kafa, flanşlı kanal veya başlık | 4. Kanal kapağı |
| 5. Sabit kafa girişi | 6. Sabit boru aynası |
| 7. Borular | 8. Gövde |
| 9. Gövde kapağı | 10. Gövde flanş-sabit ön taraf |
| 11. Gövde flanşı-arka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

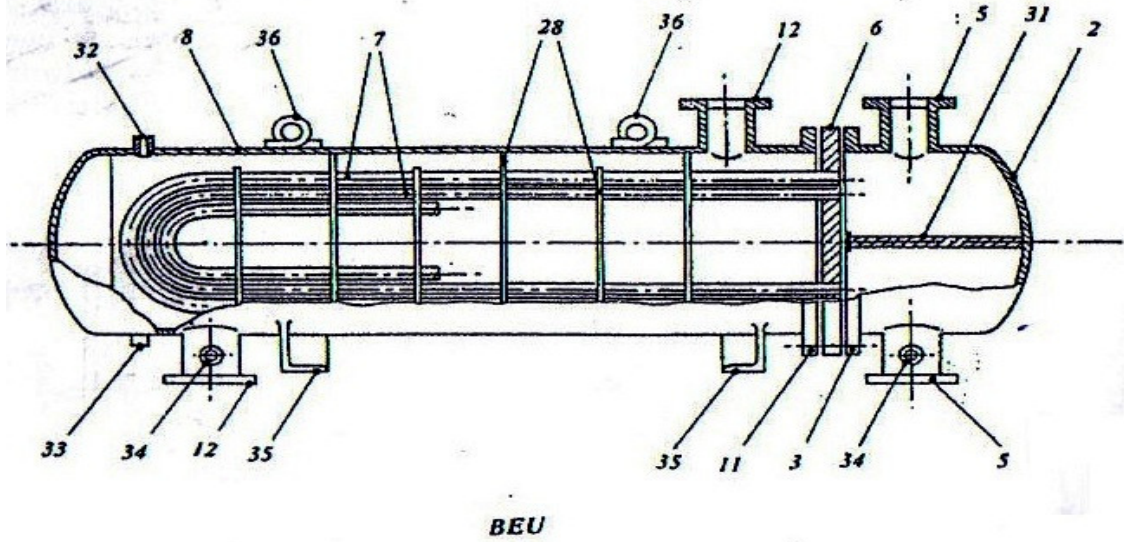
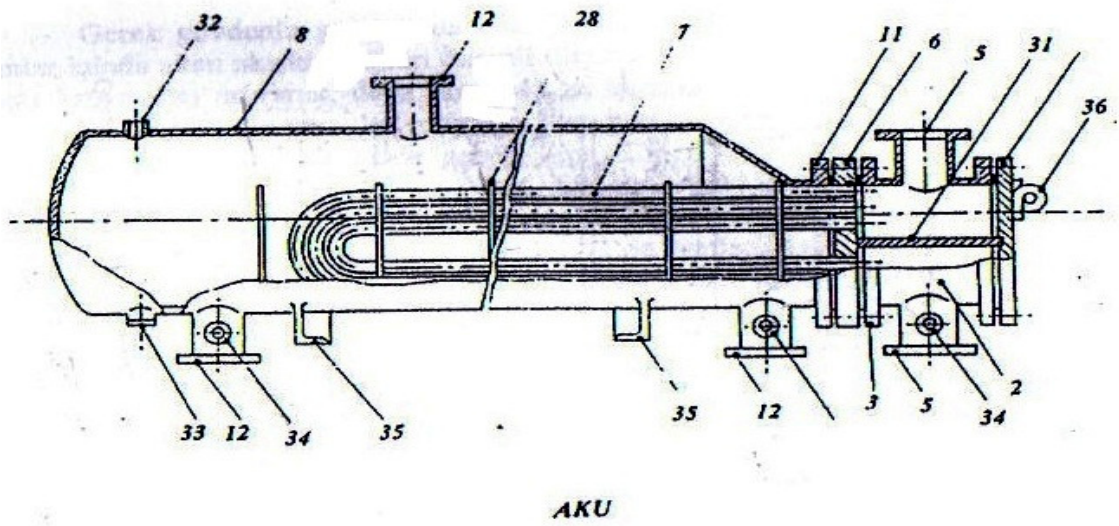
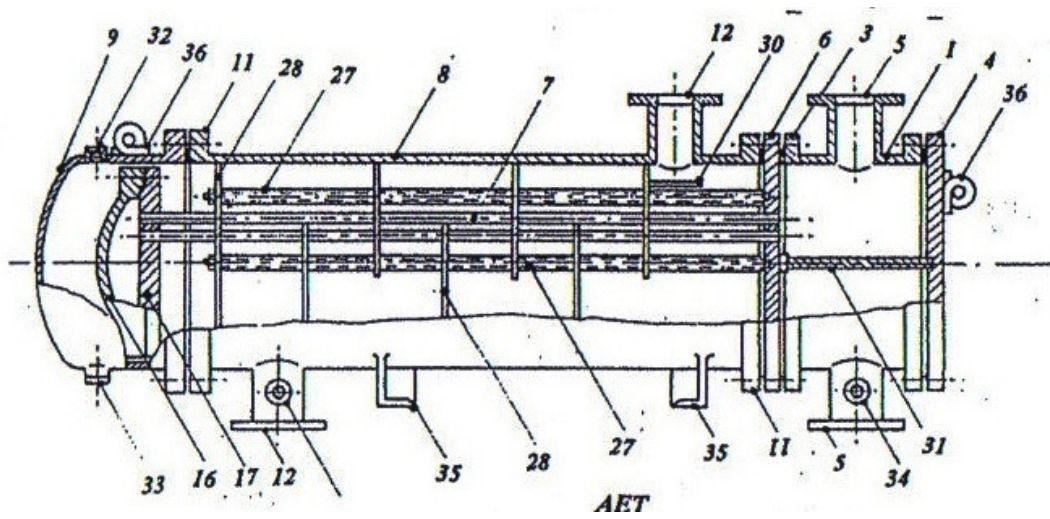
Şekil 2.13: Tipik gövde borulu ısı değiştirici konstrüksiyonları (Genceli,2005)



Şekil 2.13: Tipik gövde borulu ısı değıştirci konstrüksiyonları (Devam)



Şekil 2.13: Tipik gövde borulu ısı değıştirci konstrüksiyonları (Devam)



2.13: Tipik gövde borulu ısı değıştirci konstrüksiyonları (Devam)

2.2.1. Gövde Borulu Isı Değiştiricisi Elemanları

2.2.1.1. Gövde

İçine boru demetinin yerleştirildiği silindirik yapıdır. Bir gövde çelik borulardan veya çelik levhaların silindirik şekilde kıvrılarak kaynak edilmesiyle imal edilir. Dökme demir gövdeler 10 bar basınç ve 200 °C sıcaklıktan büyük değerlerde kullanılmamalıdır. Tablo 2.2’ de gövde çapları ve bu çaplara karşılık gelen gövde et kalınlıkları belirtilmiştir.

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

Gövde Anma Çapı (mm)	Gövde Dış Çapı (mm)	Gövde Et Kalınlıkları (mm)		
		Dökme Demir	Kütle ve Kalite Çeliği	Paslanmaz Çelik
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

Gövde borulu ısı değiştiricilerinin en önemli elemanlarından biri de borulardır. Bakır, çelik, düşük alaşım çeliği ve alüminyum v.b. malzemelerden yapılan boruların çapları 10 ile 57 mm arasında değişir. Küçük boru çapları daha kompakt ve ucuz ısı değiştirici projelendirmesi sağlarken büyük çaplı borularda temizlenme kolaylığı sağlarlar. Boru boyları genellikle piyasada satılan boru boylarının kesirleri olarak seçilir ve imalat esnasındaki fire oranı azaltılır. Borular karşılıklı aynalara takılmış ise I tipi boru demeti, U şeklinde kıvrılarak bir aynaya monte edilmiş ise U tipi boru demeti adını alırlar. Boru et kalınlığı korozyon payı ve akışkan basıncına göre seçilir.

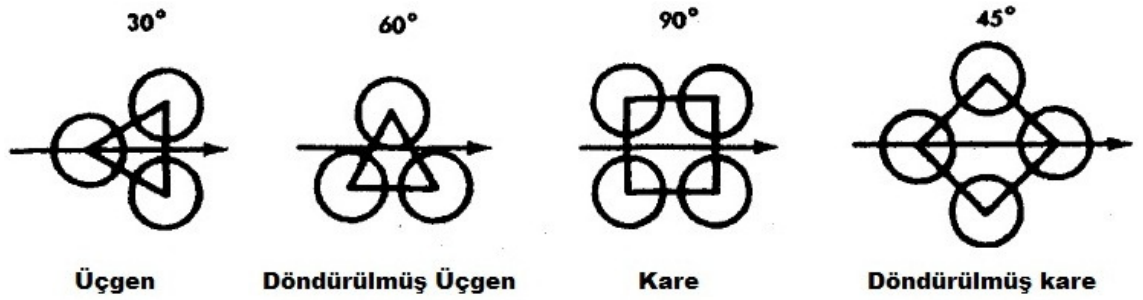
Tablo 2.3: Bakır boruların dış çap ve et kalınlıkları (TS 1996)

Boru Dış Çapı	10	12	14	15	16	18	19	20	23	25	28	32	40
Et Kalınlığı (min)	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0

Tablo 2.4: Çelik boruların dış çap ve et kalınlıkları (TS 1996)

Boru Dış Çapı	10	12	14	16	18	20	22	25	30	38	44.5	57
Et Kalınlığı (min)	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	2	2	2	2.6	3.2	3.2	3.6

Boru demeti, uçları aynaya tutturulmuş borular grubudur. Boru demeti kare, üçgen, döndürülmüş kare veya döndürülmüş üçgen şekillerinde olabilir. Şekil 2.14' de bu düzenlemeler verilmiştir.

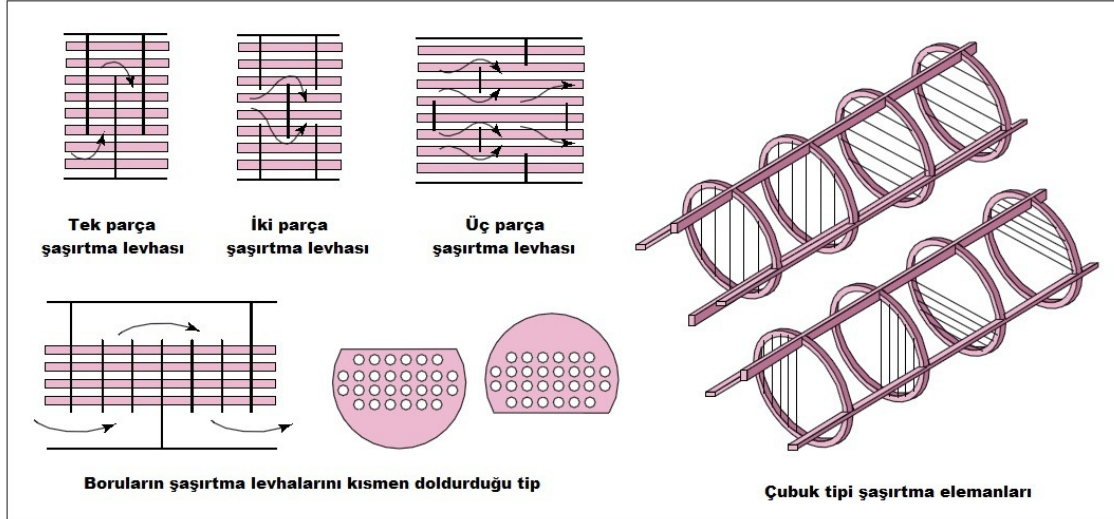


Şekil 2.14: Boru demeti düzenlemeleri

Üçgen ve döndürülmüş kare düzenlemeleri, kare düzenlemeye göre daha büyük ısı geçiş katsayıları vermesine karşılık, bunlardaki basınç kayıpları biraz daha büyüktür. Kare ve döndürülmüş düzenlemeler, özellikle kirletici akışkanlar için uygundur. Çünkü bu tip düzenlenmiş boru demeti, ısı değiştirici dışarısına çıkarıldığında kolayca temizlenebilir. Her tip düzenlemede boru eksenleri arasındaki uzaklığın boru dış çapının 1,25 katı seçilmesi önerilir. (Genceli, 2005)

2.2.1.3. Şaşırtma Elemanları

Şaşırtma elemanlarının çeşitli görevleri vardır. Bu elemanlar akışı türbülanslı hale getirip ölü bölgeleri azaltırlar, borulara destek olup titreşim ve eğilmeyi engellerler ve gövde tarafındaki akışkan hareketlerine yön verirler. Şaşırtma elemanları levhali ve çubuklu olmak üzere iki çeşittir. Şaşırtma elemanlarını seçerken ısı geçişindeki ve basınç kayıplarındaki artışa, titreşim ve gürültüye dikkat edilmelidir.



Şekil 2.15: Levha ve çubuk tipi şaşırtma elemanları (Mukherjee,1998)

Şaşırtma levhaları arasındaki mesafe, gövde çapının 0,2 ile 1 katı arasında değişebilir. Isı geçişi ve basınç kayıpları bakımından bu değer 0,3 ile 0,5 arası seçilmesi uygundur. Şaşırtma levhaları akış kesitinin %15 ile %45'ini kaplarlar.

2.2.1.4. Boru Aynası

Boruların sabitlenmesi için kullanılan elemandır. Borular ile ayna makineti veya kaynak işlemi ile tespit edilirler. Kaynak işlemi sızdırmazlığın önemli olduğu durumlarda kullanılır.

2.2.1.5. Arka Kafa

Dış çapları gövde dış çapına eşit olan arka kafaların malzemesi gövde ile aynı ise kafanın et kalınlığı, en az gövde et kalınlığına eşit olmalıdır.

2.2.1.6. Ön Kafa

Ön kafaların dış çapları da gövde çapına eşit alınır. Döküm veya kaynaklı, tek veya çok parçalı olabilirler. Kalınlıkları gövde kalınlığından ve basınca göre hesaplanan kalınlık değerlerinden büyük seçilir.

Tablo 2.5: Gövde borulu ısı değiştiricisi, gövde, perde, destek çubukları, levhaları ve bağlantı çubukları geometrik ölçüleri (TS 1996)

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

Levhalar dan 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	+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	10	12	12	12	16	16	16	16

Bölücü perde kalınlıkları, mm

Karbon çeliği	10	10
Alaşım lı 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	$D_k - 3 \text{ mm}$	$D_iç - 4 \text{ mm}$	$D_iç - 5 \text{ mm}$	$D_iç - 5,5 \text{ mm}$
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

2.2.1.7. Bölücü Perdeler

Kafa içindeki akışı bölücü levhaların cidardaki sızdırmazlığının sağlanması için kullanılan elemanlardır. Malzeme karbon çeliği ve kafa çapı 600 mm'den küçük ise akışı bölen levha kalınlığı 8 mm, kafa çapı 600-1400 mm arası ise 12 mm, kafa çapı 1400'den büyük ise 16 mm; malzeme alaşımlı çelik ve kafa çapı 600 mm'den küçük ise akışı bölen levha kalınlığı 6 mm, kafa çapı 600-1400 mm arası ise 10 mm, kafa çapı 1400'den büyük ise 14 mm alınır.

2.2.1.8. Bağlantı Ağzları

Gövde, ön ve arka kafa ile kaynaklı veya tek parça olarak imal edilirler. Isı yükünü kaldırabilmeli ve ani zorlanmalara dayanmalıdır. Boşaltma ve havalık bağlantılarında kullanılan borular minimum 20 mm nominal çaplı olmalı.

2.2.1.9. Contalar

Sızdırmazlığı sağlamak için iki yüzey arasında kullanılan elemanlardır. 160 N/cm²'den büyük basınçlar için yumuşak metalden imal edilmiş contalar veya metal kılıflı contalar, daha düşük basınçlarda ise doğal veya sentetik kauçuk, sıkıştırılmış asbest gibi contalar kullanılır.

2.2.1.10. Flanşlar

Isı değiştiricideki gövde ve kafalarda kullanılan flanşlar TS 816'ya, bağlantı ağzlarındaki flanşlar 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 değiştiricileri gerilmeleri ve eğilmeleri önleyecek ayaklar ile imal edilirler. Ayakların oturma yerlerindeki cıvata delikleri, ısı değiştiricisinin genişlemesine imkan vermeyecek şekilde açılmalıdır.

2.2.2. Gövde Borulu Isı Değiştirici Hesapları

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

Gövde borulu ısı değiştiricisi tasarımında kullanılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

- Boru ve gövde tarafı akışkanlar ve cidar için ortalama sıcaklıklar,
 $T_b, T_g, T_{orticidar}$ (°C)

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

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

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

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

$$T_b = \frac{T_{bi} + T_{bo}}{2} \quad (2.2)$$

$$T_g = \frac{T_{gi} + T_{go}}{2} \quad (2.3)$$

$$T_{ortcidar} = \frac{T_b + T_g}{2} \quad (2.4)$$

➤ Dinamik viskozite değerleri için kullanılan bağıntı, (kg/m.s)

$$\mu = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot T^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + 0.9795876934 \cdot T^2 - 55.4567974 \cdot T + 1791.74424) \quad (2.5)$$

➤ Akışkan yoğunluğu için kullanılan bağıntı, (kg/m³)

$$\rho = 0.000015451 \cdot T^3 - 0.0059003 \cdot T^2 - 0.019075 \cdot T + 1002.3052 \quad (2.6)$$

➤ Özgül ısı için kullanılan bağıntı, (W/kg.°C)

$$c_p = 0.0000003216145833 \cdot T^4 - 0.000798668982 \cdot T^3 + 0.0780295139 \cdot T^2 - 3.0481614 \cdot T + 4217.7377 \quad (2.7)$$

➤ Isı iletim katsayısı için kullanılan bağıntı, (W/m. °C)

$$\lambda = 0.00000018923611 \cdot T^3 - 6.5104167 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 - 2.671875 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.0027103175 \cdot T + 0.5520119 \quad (2.8)$$

➤ 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 ısısı, (W/kg.°C)

c_{pg} : Gövde tarafı akışkan özgül ısısı, (W/kg.°C)

$$Q = m_b \cdot c_{pb} \cdot (T_{bi} - T_{bo}) = m_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{go} - T_{gi}) \quad (2.9)$$

➤ Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, (°C)

$$\Delta T_m = \frac{(T_{bi} - T_{gi}) - (T_{bo} - T_{go})}{\ln\left(\frac{T_{bi} - T_{gi}}{T_{bo} - T_{go}}\right)} \quad (\text{Paralel Akım}) \quad (2.10)$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{bo} - T_{gi}) - (T_{bi} - T_{go})}{\ln\left(\frac{T_{bo} - T_{gi}}{T_{bi} - T_{go}}\right)} \quad (\text{Ters Akım}) \quad (2.11)$$

➤ Bir geçişteki boru sayısı, (adet)

N_t : Toplam boru sayısı

n_b : Boru geçiş sayısı

n_1 : Bir geçişteki boru sayısı

D_g : Gövde iç çapı, (mm)

d_{out} : Boru dış çapı, (mm)

t : Boru merkezleri arası mesafe, (mm)

C ve n : Boru dizilişi ve geçiş sayısına bağlı katsayılar. (Tablo 2.6)

$$N_t = C \cdot (D_g / d_{out})^n \quad (2.12)$$

Tablo 2.6: C ve n katsayıları

Üçgen diziliş, $t = 1.25 \cdot d_{out}$

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

Kare diziliş, $t = 1.25 \cdot d_{out}$

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

$$n_1 = \frac{N_t}{n_b} \quad (2.13)$$

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

ρ_b : Boru içindeki akışkanın yoğunluğu, (kg/m³)

d_{in} : Boru iç çapı, (mm)

$$V_b = \frac{m_b}{\rho_b \cdot n_1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{in}}{2}\right)^2} \quad (2.14)$$

➤ Boru tarafındaki Reynolds sayısı

μ_b : Ortalama akışkan sıcaklığında boru tarafındaki dinamik viskozite, (kg/m.s)

$$Re_b = \frac{V_b \cdot \rho_b \cdot d_{in}}{\mu_b} \quad (2.15)$$

➤ Boru tarafındaki Prandtl sayısı

λ_b : Boru tarafındaki akışkana ait ısı iletim katsayısı, (W/m. °C)

$$\text{Pr}_b = \frac{\mu_b \cdot c_{pb}}{\lambda_b} \quad (2.16)$$

➤ Boru tarafındaki akışkana ait Nusselt sayısı

$$\text{Nu}_b = 0.023 \cdot \text{Re}_b^{0.8} \cdot \text{Pr}_b^{0.3} \quad (T_{bi} > T_{bo}, \text{akışkan soğuyor}) \quad (2.17)$$

$$\text{Nu}_b = 0.023 \cdot \text{Re}_b^{0.8} \cdot \text{Pr}_b^{0.4} \quad (T_{bo} > T_{bi}, \text{akışkan ısınıyor}) \quad (2.18)$$

➤ Boru tarafındaki ısı taşınım katsayısı, (W/m². °C)

$$h_b = \frac{\text{Nu}_b \cdot \lambda_b}{d_{in}} \quad (2.19)$$

➤ Eşdeğer çap, (mm)

$$d_e = \frac{1.10}{d_{out}} \cdot (t^2 - 0.917 \cdot d_{out}^2) \quad (\text{Üçgen diziliş}) \quad (2.20)$$

$$d_e = \frac{1.27}{d_{out}} \cdot (t^2 - 0.785 \cdot d_{out}^2) \quad (\text{Kare diziliş}) \quad (2.21)$$

➤ Gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesiti, (m²)

L_p : Şaşırtma levhaları arasındaki uzaklık, (mm)

$$A_s = \frac{(t - d_{out}) \cdot L_p \cdot D_g}{t} \quad (2.22)$$

➤ Gövde tarafındaki akışkan hızı, (m/s)

ρ_g : Gövde tarafındaki akışkanın yoğunluğu, (kg/m³)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g \cdot A_s} \quad (2.23)$$

➤ Gövde tarafındaki Reynolds sayısı

μ_g : Ortalama akışkan sıcaklığında gövde tarafındaki dinamik viskozite, (kg/m.s)

$$\text{Re}_g = \frac{V_g \cdot \rho_g \cdot d_e}{\mu_g} \quad (2.24)$$

➤ Gövde tarafındaki Prandtl sayısı

λ_g : Gövde tarafındaki akışkana ait ısı iletim katsayısı, (W/m. °C)

$$\text{Pr}_g = \frac{\mu_g \cdot c_{pg}}{\lambda_g} \quad (2.25)$$

➤ Kern yöntemine göre gövde tarafındaki Nusselt sayısı,

μ_c : Cidar sıcaklığında gövde tarafındaki dinamik viskozite, (kg/m.s)

J_K : Kern yöntemine göre boyutsuz ısıl çarpan. Ek 1'den seçilir. Programlamada ise aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

Tablo 2.7: Boyutsuz ısıl çarpanın hesaplanmasında kullanılan p ve q katsayıları
(Kızılkın,2007)

Katsayılar	Şaşırtma Levhası Kesme Oranları			
	0.15	0.25	0.35	0.45
p1	0.002012	- 0.5152	- 4.017	- 0.001467
p2	- 0.5346	17.8	137	- 0.4254
p3	5.351	- 731.6	- 3161	- 2.138
p4	- 17.75	4331	11860	- 0.6995
p5	13.69	- 5957	- 22730	- 0.7722
p6	19.93	- 6109	7954	0.6979
q1	- 11.09	1037	3092	1.336
q2	42.83	- 7684	- 11160	1.516
q3	- 57.21	15370	18700	0.8636

$$x = \ln(\text{Re}_g) \quad (2.26)$$

$$J_K = \exp\left(\frac{p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x + p6}{x^3 + q1 \cdot x^2 + q2 \cdot x + q3}\right) \quad (2.27)$$

$$Nu_g = J_K \cdot \text{Re}_g \cdot \text{Pr}_g^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c}\right)^{0.14} \quad (2.28)$$

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

$$h_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_e} \quad (2.29)$$

➤ Kirlilik faktörü, (m².°C/W)

Bazı ısı değiştiricilerinin kısa zaman aralıkları ile temizlenmesi gerekirken bazıları daha uzun aralıklarla temizlenebilir. Kirlilik faktörü (Rf) için genellikle deneysel veriler kullanılır. Tablo 2.8’de çeşitli akışkanların belirli çalışma periyodu sonunda oluşturdukları kirlilik faktörleri verilmiştir.

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_b} \cdot \frac{d_{out}}{d_{in}} + Rf_b \cdot \frac{d_{out}}{d_{in}} + \frac{d_{out}}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{d_{out}}{d_{in}}\right) + Rf_g + \frac{1}{h_g}} \quad (2.30)$$

➤ Isı değiştiricisi yüzeyi, (m²)

F: Sıcaklık düzeltme arpanı Ek 4’ten seçilir. Programlamada bir gövde iki ve ikinin katları kadar boru geçişi için geçerli olan Denklem 2.31, 2.32 ve 2.33 kullanılmıştır.

$$\text{Kapasite oranı} = R = \frac{T_{bi} - T_{bo}}{T_{go} - T_{gi}} \quad (2.31)$$

$$\text{Etkenlik} = P = \frac{T_{go} - T_{gi}}{T_{bi} - T_{gi}} \quad (2.32)$$

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R - 1} \cdot \frac{\ln\left(\frac{1 - P}{1 - P \cdot R}\right)}{\ln\left[\frac{2 - P \cdot (R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P \cdot (R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}\right]} \quad (2.33)$$

$$A = \frac{Q}{K \cdot F \cdot \Delta T_m} \quad (2.34)$$

➤ Isı değiştiricisi boru boyu, (m)

$$L = \frac{A}{N_t \cdot \pi \cdot d_{out}} \quad (2.35)$$

Tablo 2.8: Bazı akışkanların kirlilik faktörleri, Rf (m².°C/W) (Genceli,2005)

Isıtıcı ortam sıcaklığı Su sıcaklığı	115 °C değerine kadar 50 °C değerinden az		115 ile 205 °C arası 50 °C değerinden çok	
	1'den az	1'den çok	1'den az	1'den çok
Su hızı (m/s)				
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
Soğutma kuleleri suyu				
İşlem yapılmış	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004
İşlem yapılmamış	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
Nehir suyu				
En az	0.0004	0.0002	0.0006	0.0004
Büyük nehir	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

Tablo 2.8: Bazı akışkanların kirlilik faktörleri, R_f ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) (Devam)

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
Dizel egzoz gazı	0.0002
Organik sıvılar	0.0020
Soğutucu akışkan sıvısı	0.0002
Soğutucu akışkan, salamura	0.0002

➤ Boru tarafındaki basınç kaybı, (Pa)

Boru tarafındaki basınç kaybı (ΔP_b) hesaplanırken gerekli olan sürtünme katsayısı (k_s) Ek 2 Moody diyagramından, boyutsuz pürüzlülük değeri (ey/d_{in}) ve Reynolds sayısı ile elde edilir.

Programlama bölümünde sürtünme katsayısının hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$Re_b < 2300$ ise

$$k_s = \frac{64}{Re_b} \quad (2.36)$$

$Re_b > 2300$ ise

$$ep = \frac{ey}{d_{in}} \quad (2.37)$$

Tablo 2.9: Çeşitli malzemelerin mutlak ortalama pürüzlülük yükseklikleri (ey) (Genceli,2005)

Malzeme adı	Açıklama	Ortalama pürüzlülük yükseklikleri, mm (ey)
Cam, kurşun, bakır ve pirinç çekme boru		0 – 0.0015
Çelik çekme boru	Yeni Kullanılmış, temizlenmiş Orta derecede paslanmış Kuvvetli kabuk bağlamış	0.04 (0.02 – 0.1) 0.15 – 0.2 0.40'a kadar 3.0'e kadar
Galvanizli çelik sac Galvaniz çelik boru	Düz Normal galvanizli	0.07 0.15
Dikişli çelik boru	Yeni Yeni, bitümlenmiş Kullanılmış, temizlenmiş Muntazam paslanmış Hafif kabuk bağlamış Kuvvetli kabuk bağlamış	0.95 0.05 0.15 – 0.20 0.40'a kadar 1 – 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	Düzensiz Pürüzlü	0.3 (0.8'e kadar) 1.2 (3'e kadar)
Asbest boru	Eternit	0.05 – 0.1
Tahta	Rendelenmiş Rendelenmemiş	0.2 0.7
Tuğla duvar	Normal Örtülmüş	1.3

$$k_s = \frac{1}{\left[-2 \cdot \left(\ln \left(ep \cdot 0.269796303 - \left(\frac{5.0452}{Re_b} \right) \cdot \frac{\ln \left(0.35389461 \cdot ep^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re_b^{0.8981}} \right)}{\ln(10)} \right) \right) \right]^2} \quad (2.38)$$

$Re_b < 2300$ ise $m=0.25$

$Re_b > 2300$ ise $m=0.14$

$$\Delta P_b = n_b \cdot \left(k_s \cdot \frac{L}{d_{in}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_c} \right)^{-m} + 2.5 \right) \cdot \frac{\rho_b \cdot V_b^2}{2} \quad (2.39)$$

➤ Gövde tarafındaki basınç kaybı, (Pa)

J_{FK} : Kern yöntemine göre boyutsuz basınç çarpanı Ek 3'den seçilir. Programlamada ise Tablo 2.10'daki veriler, Denklem 2.26 ve 2.27 ile kullanılmıştır.

$$\Delta P_g = 8 \cdot J_{FK} \cdot \frac{D_g}{d_e} \cdot \frac{L}{L_p} \cdot \frac{\rho_g \cdot V_g^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c} \right)^{-0.14} \quad (2.40)$$

➤ Boru tarafındaki güç kaybı, (W)

η_p : Pompa verimi

$$E_b = \frac{\Delta P_b \cdot m_b}{\rho_b \cdot \eta_p} \quad (2.41)$$

➤ Gövde tarafındaki güç kaybı, (W)

$$E_g = \frac{\Delta P_g \cdot m_g}{\rho_g \cdot \eta_p} \quad (2.42)$$

Tablo 2.10: Boyutsuz basınç çarpanının hesaplanmasında kullanılan p ve q katsayıları (Kızılkın,2007)

Katsayılar	Şaşırtma Levhası Kesme Oranları			
	0.15	0.25	0.35	0.45
p1	- 0.139	- 0.1292	- 0.0831	- 0.0004412
p2	7.218	6.332	3.829	- 0.0702
p3	- 168	- 136.3	- 81.15	- 3.7
p4	1623	1257	723	54.42
p5	- 7244	- 5232	- 2851	- 254.3
p6	11730	7703	3938	369.4
q1	82.04	45.12	23.24	- 7.901
q2	- 947.8	- 604.9	- 341.6	5.685
q3	3172	2071	1136	67.68

➤ Maliyet Hesapları

C1 : Ekonomik Dönüşüm Faktörü

C2 : Ekonomik Dönüşüm Faktörü

i : Faiz oranı

e : Enflasyon oranı

s : İşletme süresi (Yıl)

FD : Alan başına ısı değiştiricisi birim maliyeti (TL/m²)

FE : Elektrik maliyeti (TL/kWh)

H : Yıllık operasyon periyodu (sn./yıl)

$$C1 = \frac{i \cdot (1+i)^s}{(1+i)^s - 1} \quad (2.43)$$

$$C2 = \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^s - 1}{1 - \left(\frac{1+i}{1+e}\right)} \quad (2.44)$$

$$\text{Yatırım Gideri} = YG = A \cdot FD \cdot C1 \quad (2.45)$$

$$\text{İşletme Gideri} = IG = \frac{(E_b + E_g) \cdot H \cdot FE \cdot C1 \cdot C2}{3600 \cdot 1000} \quad (2.46)$$

$$\text{Toplam Gider} = TopG = YG + IG \quad (2.47)$$

2.3. GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritma (GA), rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir ve bir veri grubu içinde özel bir veriyi bulmak için kullanılır. (Goldberg, 1989)

Genetik algoritmalar bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için seçme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde başlangıçta problemin gelişigüzel birden fazla çözümünden başlanır. Gelişi

güzel üretilen çözümlerden iyi olanlar bir sonraki nesle aktarılırken kötü olanlar elenir. Nasıl ki doğada zaman içerisinde bazı bireyler yok olurken bazı bireyler varlığını sürdürmenin yanında bir de nesil üretirken, genetik algoritmada da buna benzer olarak başlangıç çözümler kümesi bazı işlemlere tabi tutulur. Bu işlemler sonucunda iyi olan çözümler bir sonraki nesle aktarılırken kötü çözümler elenir. Elenen çözümler yerine iyi çözümlerin kopyaları bir sonraki nesle aktarılır. Her nesil yeni bir nesil olarak adlandırılır. Problemin özünü tanımlayan ve çözümlerin iyi mi kötü mü olduğuna karar verilmesini sağlayan ölçüte uygunluk fonksiyonu ya da amaç fonksiyonu denir. Bundan dolayı her problemin kendine has bir uygunluk fonksiyonu vardır. Her nesilde, her çözümün uygunluk değeri hesaplanır, kalacak olan bireyler seçilir ve elenecek olan bireyler çözümler kümesinden silinirler. Silinen bireyler yerine uygunluk değeri nispeten daha iyi olan çözümlerin kopyaları eklenir. Burada elde edilen çözümlerin her birine birey veya kromozom adı verilir. Uygunluk değerine dayanarak bir sonraki nesilde hangi kromozomların var olacağına ve hangilerinin eleneceğine karar veren yöntem seçme işlemi denir. Bu operatör dışında genetik algoritmalarda çaprazlama ve mutasyon adında iki tane daha farklı operatör vardır. Bu üç operatöre genetik operatörler adı verilir. Genetik algoritma ile problem çözülürken problem için birden fazla gelişigüzel çözüm oluşturulur ve bunların herbiri topluluk içindeki birer kromozomu temsil ederler. Kromozomlardan en az birinin çözüme dönüşmesi veya kabul edilebilir bir hata ile çözüme ulaşması için genetik operatörler her nesilde kromozomlara uygulanırlar bu işleme genetik algoritmanın süreci denir.(Parlak,2007)

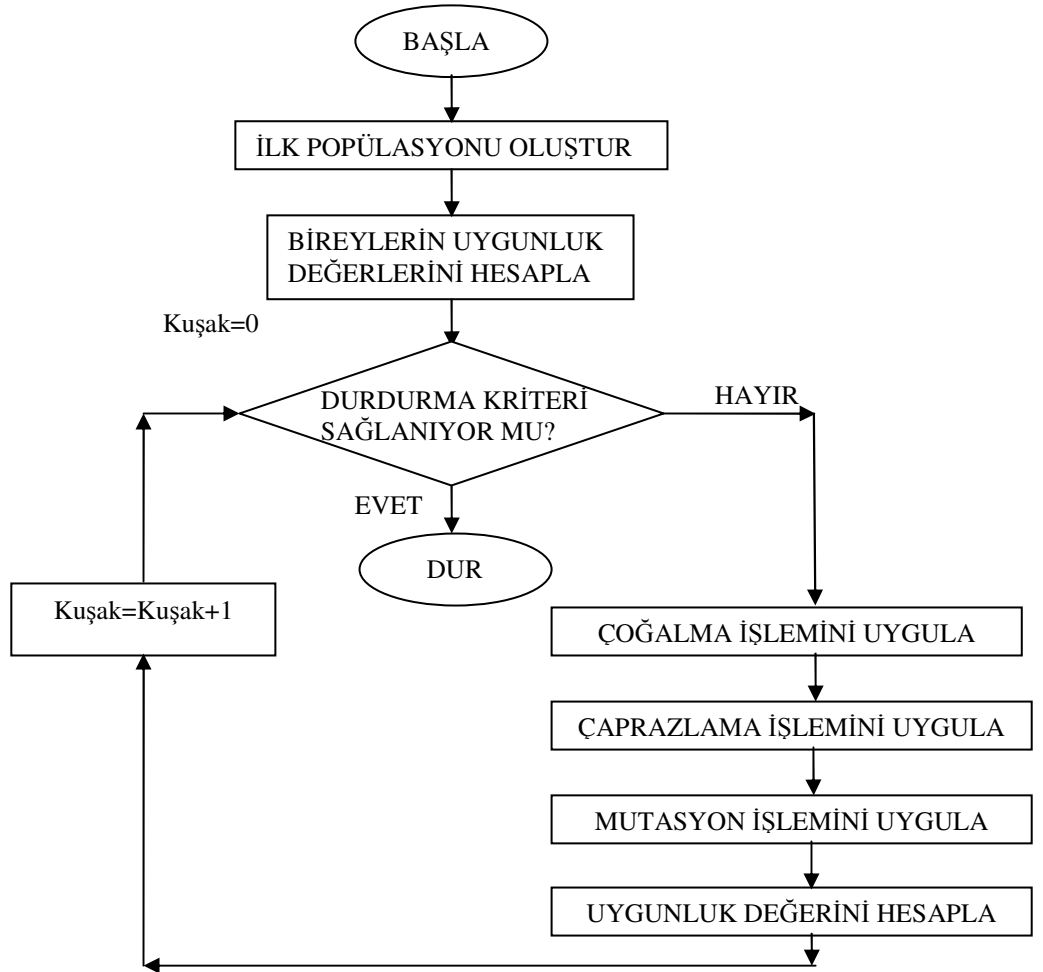
2.3.1. Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland, GA konusunda ilk çalışmaları yapan kısıdır. Makine öğrenmesi (Machine Learning) konusunda çalışmalar yapan Holland, evrim kuramından etkilenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüştür. GA, ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almaktadır. Sadece bir tane mekanik yapının öğrenme yeteneğinin geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, değişim vb. genetik süreçlerden geçirilerek, başarılı yeni bireylerin olduğu görülmüştür. Holland'ın çalışmalarının sonuçlarını açıkladığı kitabının 1975'de yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar olarak yerleşmiştir. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak

doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989’da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlıncaya kadar, GA’ların pek pratik yararı olmayan araştırma konusu olduğu düşünülmekteydi. Oysa Goldberg’in gaz borusu hatlarının denetimi üzerine yaptığı çalışma ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmamış, GA’ların pratik kullanımının da olabilirliğini kanıtlamıştır. (Tosun, 2006)

2.3.2. Genetik Algoritmaların İşleme Yordamı

Genetik algoritmaların ilk adımı, başlangıç popülasyonunun oluşturulması ve uygunluk değerlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra diğer genetik operatörler uygulanır. Her kuşak için uygunluk değeri hesaplanır. Bu durum durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Şekil 2.16’da genetik algoritmanın akış diyagramı verilmiştir. Genetik algoritma adımları şöyle açıklanabilir (Taşkın,Emel2009):



Şekil 2.16: Genetik algoritma akış diyagramı (Emel ve Taşkın,2009)

2.3.2.1. Kodlama

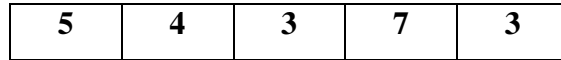
Genetik algoritma uygulamasında ilk adım kodlamadır. Farklı problemler için farklı kodlama tiplerinin uygulanması gerekebilir.

a) İkili Kodlama

Çözümleri kodlamak için 0 ve 1 değerlerinin kullanıldığı ikili kodlama en yaygın kullanılan kodlama türüdür. Dizideki her bit, çözümün belirli bir karakteristiğini temsil eder ve tüm dizi bir çözümü temsil eder. Örneğin $y=x^2$ fonksiyonunu 0 ile 31 aralığında minimum yapan değeri bulmak istediğimizde ikili kodlamayı kullanabiliriz. x 'in 0 ve 1'lerden oluşan 2 tabanındaki gösterimi kullanılacağından x , 5 bit uzunluğunda bir kodla temsil edilir. Örnek olarak 0 için 00000, 12 için 01100, 25 için 11001 ve 31 için 11111 karşılık gelir. İki kodlamadaki sorun 0111 ile 1000 ardışık sayılar değildir.

b) Sekizli kodlama

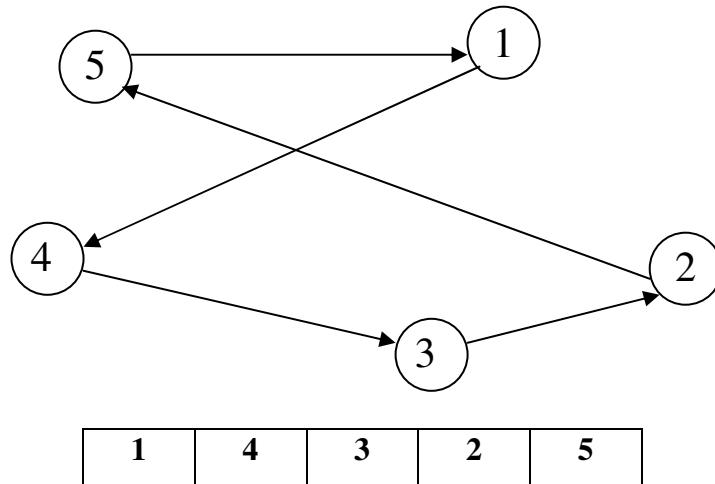
Kromozomdaki genler 1'den 8'e kadar olan sayılar kullanılarak oluşturulur. Bir gendeki her bir sayı farklı bir özelliği temsil eder.



Şekil 2.17: Sekizli kodlama

c) Sıralı Kodlama

Genellikle birleşti optimizasyon problemlerinde kullanılır. Bu problemlerde dizinin uyum değeri, gen değerlerine ve genlerin sırasına bağlıdır. Şekil 2.18'de bir gezgin satıcı probleminin herhangi bir çözümü için yapılan sıralı kodlama gösterilmektedir.



Şekil 2.18: Bir gezgin satıcı probleminin herhangi bir çözümünün sıralı kodlama ile gösterimi

c) Değer Kodlama

Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemler için değer kodlaması kullanılır. İki kodlamanın kullanılmasının zor olduğu bu problemlerde kullanılan değer kodlamasında bir dizi değerler dizisinden oluşur. Örneğin;

A dizisi 2.589 5.862 1.984 3.776 6.471

B dizisi ABJDANSDSGDGSKJKDSSFAD

d) Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama genetik programlamada kullanılır. Her dizi nesnelere oluşan bir ağaç olarak ifade edilir. Bu nesnelere fonksiyonlar veya programlama dillerinde geçen komutlar olabilir.

2.3.2.2. Uygunluk Fonksiyonu

Problemin her bir çözümünün ne kadar iyi olduğunu belirlemek için bir uygunluk fonksiyonu belirlenmelidir. Bu fonksiyon çözümün kalitesini değerlendirir. Bu nedenle bireyin uygunluğunu gösteren bir değer üretir. Fonksiyonda yüksek değerler alan bireylerin sonraki nesillere aktarılması olasılığı daha yüksektir.

2.3.3. Genetik Algoritma ile İlgili Tanımlar

Tablo 2.11: Genetik algoritma ile ilgili tanımlar

Terim	GA Karşılığı	Tanım
Gen	Karakter özelliği	Bit olarak da tanımlanır. Bireyin karakterini dolayısıyla da değerini belirleyen öğedir.
Kromozom	Birey	Dizi olarak da tanımlanır. Genlerin birleşerek oluşturduğu dizidir. Kromozomlar belli bir kodlama sistemiyle oluşturulurlar. Aday çözümleri gösterirler
Genotip	Bireyin gen yapısı	Kromozomların içindeki belirli gen gruplarına denir.
Fenotip	Deşifre edilmiş yapı	Alternatif çözüm kümesidir. Genotipin deşifre edilerek asıl değer belirlenmiş halidir.
Allel	Özellik değeri	Genler kaç değişik değer alabiliyor ise bu değerlerin kümesidir.
Lokus	Karakterin yeri	Genin kromozomdaki pozisyonudur.
Popülasyon	Aday çözümler topluluğu	Kromozomların bir araya gelerek oluşturduğu çözüm topluluğudur. Genellikle algoritma boyunca sabit tutulur. Bu sayı çoğunlukla 10 ile 100 arasında değişir.

2.3.4. Genetik Algoritma Kullanım Alanları

- Gezin satıcı problemi: Bir çok noktayı en kısa mesafede katetmek için geçilmesi gereken yolun hesaplanmasıdır. Çeşitli problemler gezgin satıcı problemi gibi modellenenir. Uçakların, otobüslerin rotalarının bulunması gibi.
- Tesis yerleşim problemi: Bir tesiste kullanılacak teçhizat ve kaynakların, belirli koşullara göre en iyi performansı sağlayacak şekilde yerleştirilmesi tekniğidir.
- Çizelgeleme problemi: İşlem süresi ve teslim tarihi belli olan işlerin çizelgelenmesidir.
- Montaj hattı dengeleme problemi: İşletmelerde üretim planlaması ve maliyet hesaplamaları için genetik algoritmaların kullanılmasıdır.
- Hücresele üretim problemi: Parçalar belirlendikten sonra her parçanın ayrı bir üretim hücresinde imal edilerek hücreler arası taşımaları minimuma indirmektir.
- Optimizasyon: Genellikle çok değişkenli fonksiyonların optimize edilmesinde genetik algoritmalar kullanılmaktadır.

2.3.5. Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritmalar, çözüm topluluğuna adım adım genetik operatörler uygulanarak ve uygun topluluktan arama yoluyla yeni nesiller üreterek en iyi çözümlere ulaşılmasını sağlar. Pratik problemlere iyi sonuçlar veren basit genetik algoritmaların çoğu üç ana operatörden oluşur (Parlak,2007);

- Seçim (selection)
- Çaprazlama (crossover)
- Mutasyon (mutation)

2.3.5.1. Seçim

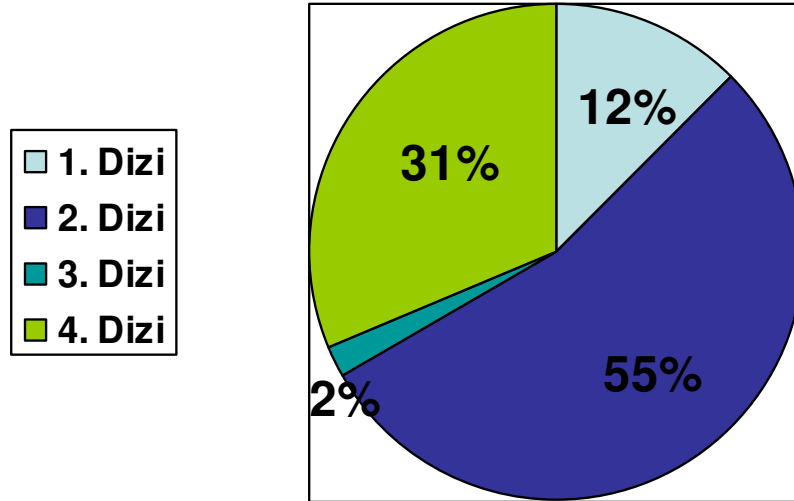
Genetik algoritmanın kullanımında, popülasyon içerisindeki gelecek nesli oluşturacak olan bireylerin nasıl seçileceği kararı, kodlamadan sonraki aşamadır. Seçmenin amacı, popülasyondaki daha iyi bireyleri çok daha iyi özelliklere sahip çocuklara dönüştürmektir. Seçme prosedürü, çoğalmak üzere seçilmiş olan bireylerin kaç kez belirleneceği anlamına da gelmektedir. Bir popülasyon içerisindeki bireylerden üstün özelliklere sahip olanların seçilmesiyle, çözüm kalitesinin nesilden nesile aktarılması kötü bireylerin üreme şansını düşüreceğinden iyiye gidiş hızlanır. Bu süreç bir döngü halinde istenen kriterler sağlanıncaya kadar devam ettirilir. (Başkal,2008)

En yaygın kullanılan seçim yöntemleri; rulet tekerleği, turnuva yöntemi, sabit durum yöntemi ve sıralama yöntemidir.

a) Rulet Tekerleği Yöntemi

Bu yöntem en basit seçim yöntemi olarak bilinmektedir. Her dizi uyum değeri ile orantılı bir olasılık değeri ile seçilmektedir. Rulet tekerleğinin yüzeyi dizilerin uyum değeriyle orantılı olarak işaretlenir. Rulet tekerleği N defa döndürülür ve her seferde bir dizi eşleme havuzuna atılır. Daha iyi diziler tekerleğin daha büyük bir bölümünü kaplarlar. Bu nedenele seçilme olasılıkları daha yüksektir.

Şekil 2.19'da örnek bir rulet tekerleği gösterilmiştir. Görüldüğü gibi diziler uygunluklarına göre tekerlek üzerinde belirtilmiştir. Buradan 2. dizinin seçilme olasılığının en yüksek, 3. dizinin ise en düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 2.19: Rulet tekerleği seçme operatörü

b) Turnuva Yöntemi

İki dizi rastsal olarak turnuvaya katılırlar ve uyum değerine göre daha iyi olan turnuvayı kazanır. Her dizi iki sefer turnuvaya girer ve en iyi dizi iki turnuvayı da kazanır. En kötü dizi iki turnuvayı da kaybedeceğinden seçilme şansı olmaz. Bu şekilde popülasyonun ortalama uygunluk değeri giderek artar.

c) Sabit Durum Yöntemi

Sınırlı sayıda dizinin konumunu değiştirmeyi içerir. Bir dizi birkaç kuşak hayatta kalabilir. Sabit durum yöntemi, seçim yöntemi ve yer değiştirme yöntemlerinin

birleşiminden oluşur. Seçim yöntemi hangi dizilerin çoğalma işlemine tabi tutulacağına karar verirken, yer değiştirme yöntemi de yer değiştirecek dizileri saptar.

d) Sıralama Yöntemi

Sıralama yönteminde, popülasyondaki tüm diziler uygunluk değerlerine göre artan bir şekilde sıralanır. Her diziye 1 sayısından N sayısına kadar bir sıra atanır. Daha sonra da tüm diziler için doğrusal bir uyum fonksiyonu belirlenir. Böylece çoğalma işlemi sonunda en iyi diziler iki kopya elde ederken en kötü diziler kopya elde edememiş olur. Sıralama yönteminin diğer sözü edilen yöntemlere göre bir takım üstünlükleri mevcuttur. Örneğin, ölçeklemeye gerek duyulmamaktadır. Böylece ölçeklemeden kaynaklanması olası sorunlar da bertaraf edilmiş olmaktadır. Ayrıca arama hızı bu yöntemde çok daha fazladır. (Taşkın,Emel,2009)

e)Elitizm

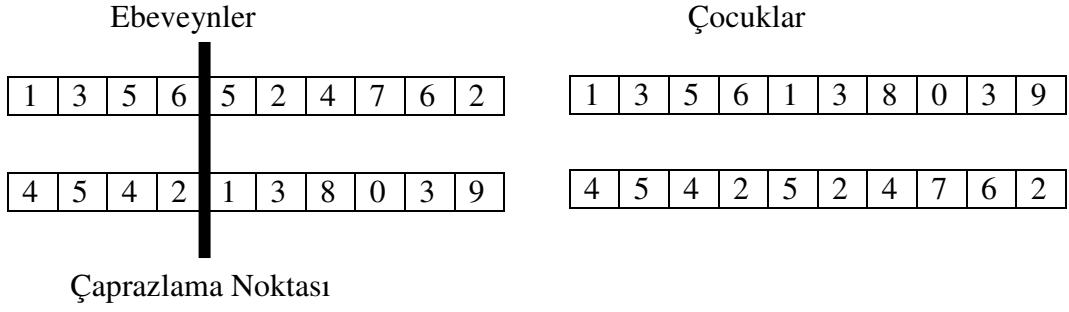
Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra mevcut topluluktaki en iyi uygunluk değerine sahip birey yeni topluluğa aktarılmayabilir. Bunu önlemek için bir önceki topluluğun en iyi bir veya daha çok bireyi, yeni oluşturulan topluluğa doğrudan aktarılır. Elitizm bulunan en iyi çözümü sakladığından genetik algoritmanın başarımını hızlı bir şekilde artırır. Elitizimin kullanılmaması demek genetik algoritmanın rastgele aramaya dönüşmesi demektir, sonuca ulaşması zordur ya da ulaşılsa bile bir sonraki nesile aktarılmadığından çözüm elde edilemez.

2.3.5.2. Çaprazlama

Çaprazlama işleminde amaç iyi çözümlerin farklı bölümlerini birleştirerek daha iyi çözümler elde etmektir. Bu operatör genetik algoritmanın en önemli operatörüdür. Doğadakinine benzer şekilde anne ve babadan yeni bireyler elde etmeye yarayan süreçtir. Genellikle belirlenen bir oranla ebeveyn dizilere uygulanır. Popülasyondan rastsal olarak iki dizi seçilir ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulurlar. Çaprazlama yeri de rastsal olarak seçilir. Yeni elde edilen bireylerden ikisi de veya uygunluk seviyesi daha yüksek olan bireyler popülasyona aktarılır.

a) Tek Noktalı Çaprazlama

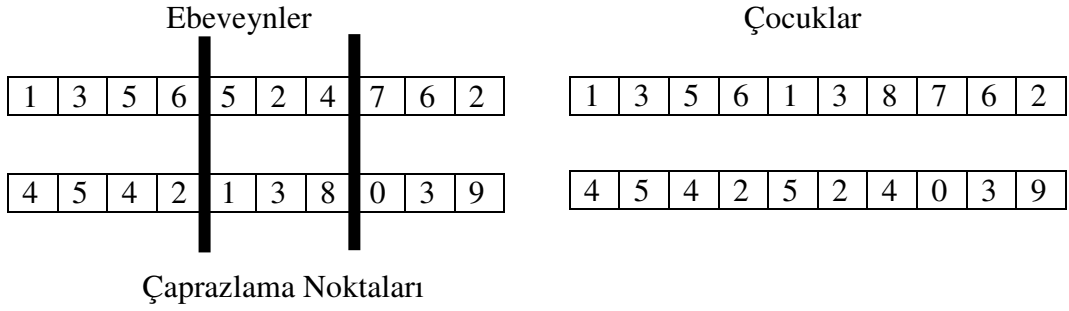
Genetik algoritmada kullanılan en basit çaprazlama tipidir. Rastgele seçilen bireylere yine rastgele seçilen bir noktadan yapılır. Kromozomu oluşturan gen yapısının bir eksiği kadar rastgele bir sayı üretilir ve bu sayı hangi gene isabet ediyorsa iki kromozom da bu noktalardan kesilir ve çaprazlanır.



Şekil 2.20: Tek noktalı çaprazlama

b) İki Noktalı Çaprazlama

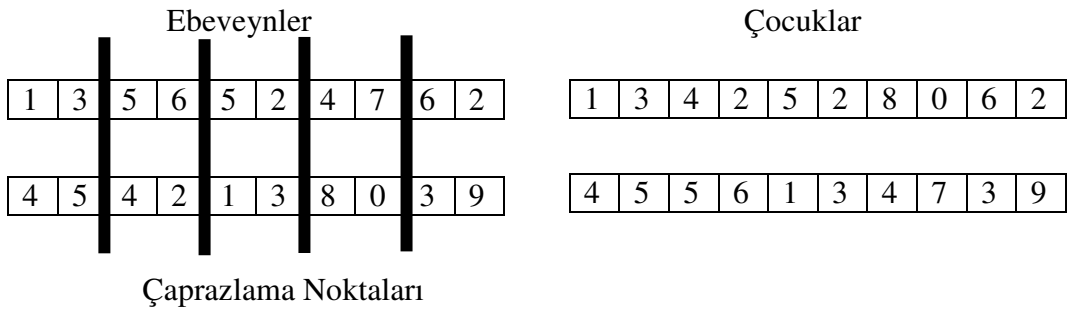
İki noktalı çaprazlama, rastgele seçilen iki çaprazlama noktası arasındaki genlerin yer değiştirmesidir. Kromozomlar üç kısma ayrılır. Baş ve son kısımlar aynı kalırken orta kısımlar yer değiştirir.



Şekil 2.21: İki noktalı çaprazlama

c) Çok Noktalı Çaprazlama

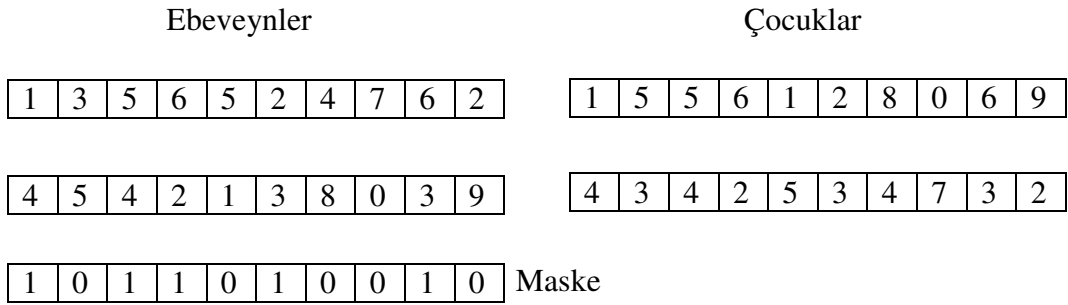
Çok noktalı çaprazlama yöntemi iki noktalı çaprazlamanın gelişmiş halidir. Kromozomlar daha fazla sayıda parçalara ayrılırlar ve parça araları sırayla yer değiştirilir.



Şekil 2.22: Çok noktalı çaprazlama

d) Düzgün (Uniform) Çaprazlama

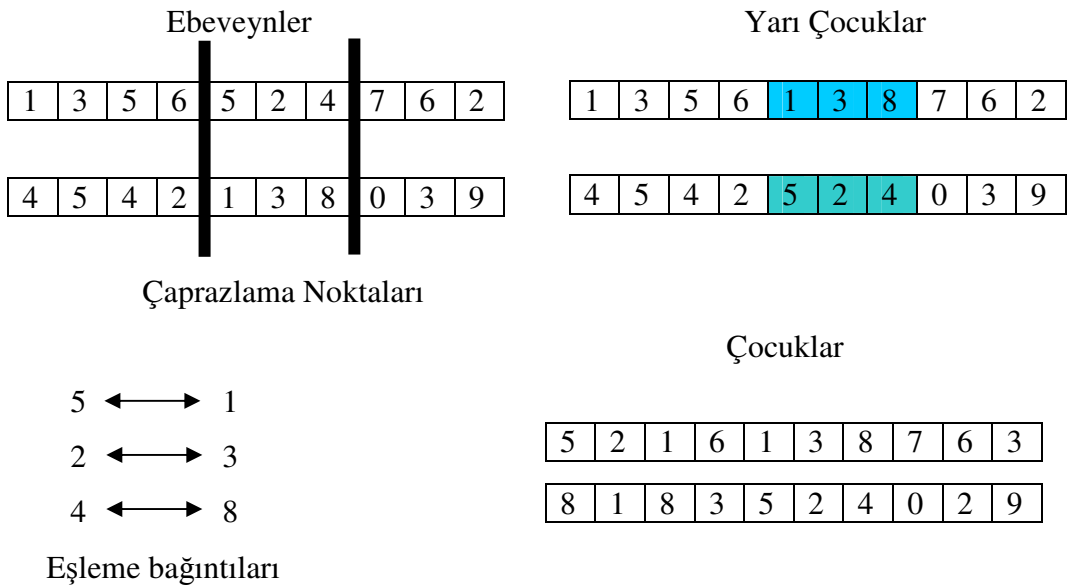
Bu yöntemde kromozomlar belirli noktalardan kesilerek çaprazlama yapılmaz. Hangi genlerin çaprazlamaya uğrayacağını belirten, kromozomların sahip olduğu gen sayısı kadar gene sahip olan bir maske rastsal olarak oluşturulur. 1. Çocuğun genleri maskede o genin değeri 1 ise 1. ebeveynden, 0 ise 2. ebeveynden gelir. 2. Çocuğun genleri ise tam tersi şekilde maskede o genin değeri 0 ise 1. ebeveynden, 1 ise 2. ebeveynden gelir. Böylelikle anne ve babanın tüm genleri çocuklara verilmiş olur.



Şekil 2.23: Düzgün çaprazlama

e) PMX (Partially Matched Crossover) Çaprazlama

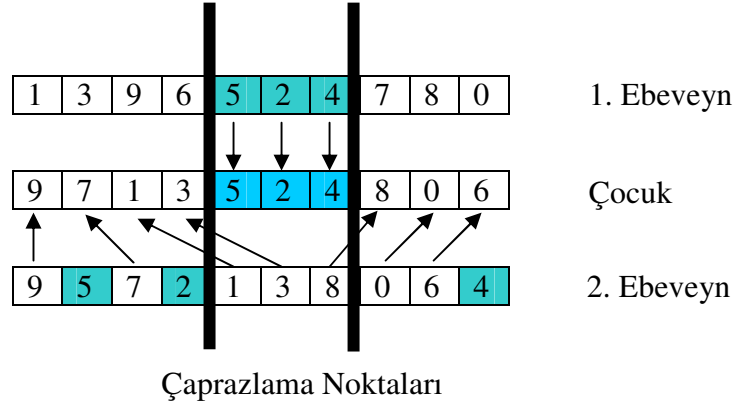
Genellikle gezgin satıcı ve araç rotalama problemleri gibi problemlerde kullanılan bu yöntem iki noktalı çaprazlamanın devamında başka değiştirme işlemleri yapılarak uygulanır. İkili çaprazlamadaki gibi iki çaprazlama noktası seçilir ve noktalar arası genler çaprazlanır. Çaprazlanan bu genler arası ilişki, baş ve sondaki değiştirilmeyen genlere de uygulanır.



Şekil 2.24: PMX çaprazlama

f) OX (Ordered Crossover) Çaprazlama

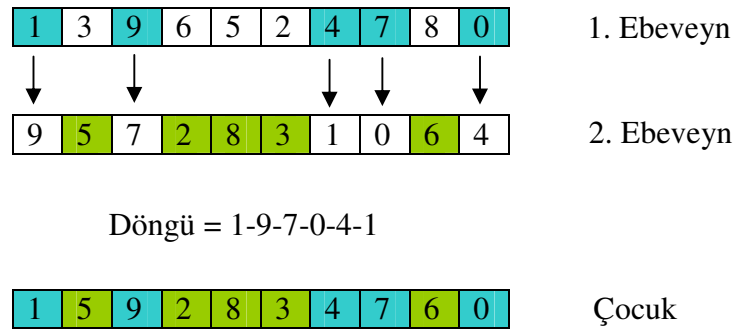
Sıralı çaprazlamada da iki çaprazlama noktası seçilir. 1. Ebeveynden çaprazlama noktaları arasındaki genler aynı pozisyonlara aktarılır. 1. Ebeveynden çocuğa aktarılan genler 2. ebeveynden silinir ve 2. ebeveynde kalan genler çocuğa aktarılır.



Şekil 2.25: OX çaprazlama

g) CX (Cycle Crossover) Çaprazlama

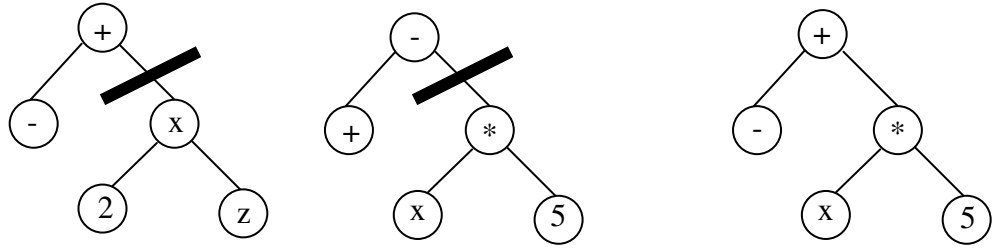
Bu yöntemde çaprazlama noktası seçilmez. 1. ebeveynin ilk geninden başlayarak ebeveynlerin genleri arasında bir döngü kurulur. Döngüdeki genler 1. ebeveynden alınır ve çocukta aynı pozisyonlara yerleştirilir. Bu genler 2. ebeveynden silinir ve 2. ebeveynde kalan genler sırasıyla yerleştirilir.



Şekil 2.26: CX çaprazlama

h) Ağaç Çaprazlama

1. Ebeveynin çaprazlama noktasından sonraki kısmına ikinci ebeveynin çaprazlama noktasından sonraki kısmı eklenerek uygulanır.



Şekil 2.27: Ağaç çaprazlama

2.3.5.3. Mutasyon

Çaprazlamadan sonra genetik algoritmada uygulanan operatör mutasyondur. Mutasyonun amacı genetik çeşitliliği sağlamak ve muhafaza etmektir. Genetik algoritma uygulanırken bir süre sonra popülasyondaki kromozomlar birbirini tekrar edebilir ve yeni kromozomlar üretilemeyebilir. Bu nedenle genetik çeşitliliği arttırmak için mutasyon işlemi uygulanır. Yerel optimuma yakınsamayı engelleyebilir. Uyum değeri yüksek bireyleri kaybetmemek amacıyla mutasyon oranı çok düşük tutulur. Çeşitli problem türlerinde uygulanabilen çeşitli mutasyon tipleri vardır.

a) Basit mutasyon

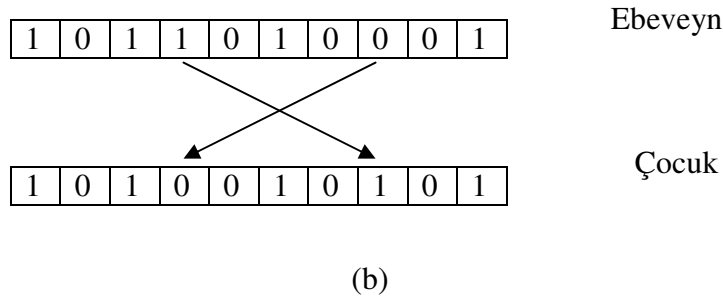
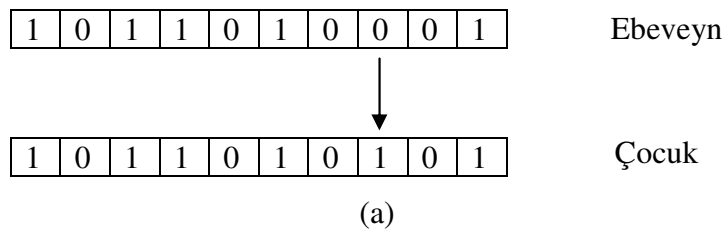
Kromozomdaki rastsal olarak seçilen bir bitin değerinin değiştirilmesidir.

b) Değişim mutasyonu

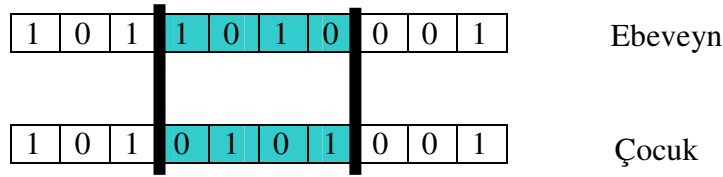
Rastsal olarak seçilen iki genin yer değiştirmesidir.

c) Ters çevirme mutasyonu

Rastsal olarak seçilen iki nokta arasında kalan genlerin ters çevrilmesidir.



Şekil 2.28: (a) Basit mutasyon, (b) Değişim mutasyonu, (c) Ters çevirme mutasyonu



(c)

Şekil 2.28 (devam): (a) Basit mutasyon, (b) Değişim mutasyonu, (c) Ters çevirme mutasyonu

2.3.6. Genetik Algoritma Durdurma Kriterleri

Genetik algoritmalar rastgele arama tekniği olduğundan, ne zaman sonlandırılacağı kararı, amaç fonksiyonu değeri hep aynı yerde dolaşmaya başladığında sonlandırmanın artık yapılabileceğini göstermektedir. Hem kabul edilebilir çözüme ulaşıldığında hem de popülasyonun kaç kez genetik süreçten geçileceği sayısına erişildiğinde algoritmanın çalışması durdurulmalıdır. (Başkal,2008)

Genetik algoritmanın sonlandırılması pratikte yaygın olarak önceden belirlenmiş nesil sayısı kadar ve popülasyondaki kromozomların en iyilerinin amaç fonksiyonundaki durumunu test ederek olmaktadır. Şayet bu kriterler kabuledilebilir çözümler ise genetik algoritma sonlandırılır, değilse yeni arama için genetik algoritma yeniden başlatılarak kabul edilen çözüme ulaşılır. (Başkal,2008)

Çeşitli durdurma kriterleri aşağıda verilmiştir(Taşkın,Emel,2009).

a) Hesaplama Zamanı Kriteri

Bu yöntemde önceden bir hesaplama zamanı veya döngü sayısı belirlenmekte ve genetik algoritma bu zaman dolduğunda veya belirlenen döngü sayısına ulaşıldığında durdurulmaktadır. Böyle bir yöntemin bir takım sakıncaları mevcuttur. Belirlenen döngü sayısı ile erken bir duruş olabilmektedir. Döngü devam ettirildiğinde iyileşmenin görülebileceği kuşaklar olabilir. Ters bir durum da söz konusu olabilir. Belirlenen döngü sayısı gereğinden fazla olabilir ve bu da hesaplama zamanını arttıracaktır.

b) Optimizasyon Hedefi Kriteri

Bu yöntem de bir önceki yönteme benzemektedir. Önceden ulaşılması istenen amaç fonksiyonu değeri bilinmektedir. Genetik algoritmada uyum değeri bu değere ulaştığında algoritma durdurulmaktadır.

c) Minimum İyileşme Kriteri

Bu yöntem, kuşaklar boyunca iyileşme miktarları alınarak iyileşmenin giderek azaldığı bir döngüde algoritmanın durdurulmasını içermektedir. Uyum fonksiyonunun çözüm sırasındaki seyri izlenerek algoritmanın ne zaman durdurulacağı tespit edilmektedir. Genetik algoritma problemlerinde genellikle eldeki en iyi çözüm önce hızlı sonra da yavaş yavaş artış göstermektedir. Değerdeki iyileşme hızının giderek azalması ve sifıra yaklaşması, artık daha fazla iyileşme beklenmemesi gerektiğini gösterebilir. Algoritma, çözüme harcanacak zaman ile çözümden beklenen kalite arasında bir denge kurularak durdurulur.

2.3.7. Genetik Algoritma Parametreleri

2.3.7.1. Popülasyon Büyüklüğü (N)

Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu parametre genetik algoritmaların hem etkinliğini hem de mutlak performansını etkiler. Seçilen değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılarak doğru sonuca ulaşılmasını engeller. Geniş bir topluluk ise daha detaylı bir araştırma gerçekleştirebilir, optimal olmayan çözümlere yaklaşılmasını engeller. Diğer yandan topluluğun büyük olması ise her bir kuşak için daha fazla değerlendirmeye ihtiyaç duyacağından daha yavaş ilerleyerek çözüme ulaşma zamanını arttırabilir. Sonuç olarak topluluk büyüklüğü, ele alınan probleme göre dengeli bir değer seçilmedir.(Parlak,2007)

2.3.7.2. Çaprazlama Oranı (P_c)

Çaprazlamanın amacı mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomları oluşturmaktır. Çaprazlama oranı, çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. GA'da her yeni yığında $P_c \cdot N$ adet diziye çaprazlama işlemi uygulanır. Büyük çaprazlama oranı, yığın değişikliğini hızlandırırken düşük oran aramanın yavaşlamasına neden olur. Çaprazlama oranının 0,75 ile 0,95 arasında alınmasının GA'nın performansını iyi yönde etkilediği görülmüştür. (Zeyveli,2005)

2.3.7.3. Mutasyon Oranı (P_m)

Mutasyonun amacı yığındaki genetik çeşitliliği korumaktır. Yeni yığınlardaki her dizinin her elemanı mutasyon oranına eşit bir olasılıkla rastgele olarak değişime uğratılır. Arama işleminin rastgele bir aramaya neden olmaması için mutasyon oranı

düşük tercih edilir. Mutasyon oranının genetik algoritmanın performansına etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada 0,001 ile 0,01 aralığındaki oranın GA'nın performansına olumlu etki yaptığı belirtilmiştir. (Zeyveli,2005)

2.3.8. Genetik Algoritmalar İle Diğer Optimizasyon Yöntemleri Arasındaki Farklar

- Genetik algoritmalar parametrelerin kendisi ile değil kodları ile çalışır. Parametreler kodlanabildiği sürece çözüm üretilebilir. (Parlak,2007)
- Genetik algoritma, tek nokta üzerine değil noktalar topluluğu ile araştırma yapmaktadır. Bu şekilde yerel optimum tuzağına düşme olasılığı daha zayıftır. (Parlak,2007)
- Genetik algoritma, amaç fonksiyonunun türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanır. (Parlak,2007)
- Genetik algoritma, gelişigüzel şekilde ebeveyn seçimini ve eski nesillerden çaprazlama yöntemini kullanır. Böylece etkin bir şekilde elde edilen bilgilere dayanarak yeni kombinasyonlar oluşturur ve uygunluk değeri daha iyi yeni kuşaklar geliştirir. (Parlak,2007)

2.4. TEORİK ÇALIŞMALARDAN

Son yıllarda gövde borulu ısı değiştiricilerinin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekici şekilde artmıştır. Isı değiştiricilerinin optimizasyonu, tasarımlarında çok sayıda parametre etkili olduğundan karmaşık ve zor bir problemidir. Ayrıca enerji tüketiminin de günümüzde büyük bir önem kazanması nedeniyle bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır. Isı değiştiricilerinin optimizasyonunda genetik algoritma gibi yöntemler de uygulanmıştır.

Top (2010), gövde borulu bir ısı değiştiricisi içindeki şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisini incelemiştir. Farklı şaşırtma levhası kesmesi ve levha aralıkları için ısı transferi katsayısı ve gövde tarafı basınç düşümünü hesaplayıp şaşırtma levhalarının gövde borulu ısı değiştiricileri üzerinde etkisini incelemiştir. Optimizasyon için bir bilgisayar programı yazmıştır.

Kızılkın (2007), gövde borulu bir ısı değiştiricide bulunan şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç dūřümüne etkisini incelemiştir. Farklı şaşırtma levhası kesmesi ve aralıklarında analizler yapmıştır.

Tekin (2006), basit bir gövde borulu ısı değiştiricisi imali yaptırmış ve bu ısı değiştiricisinin performans analizi için bir takım deneyler yapmıştır. Yapılan bu deneylerden elde ettiği verileri, yazmış olduğu bilgisayar programı ile karşılaştırmıştır.

Yakut (2007), ısı değiştiricilerinin boyutlandırma parametrelerini hesaplayarak, tasarımına olanak sağlayan bir bilgisayar programı geliştirmiştir.

Selbaş vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada çeşitli dizayn değişkenleri ile ekonomik yönü dikkate alarak gövde borulu ısı değiştiricisi optimum dizaynı için genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır.

Rajasekaran ve Kannadasan (2010), modifiye edilmiş genetik algoritma uygulaması ile gövde borulu ısı değiştiricisi optimizasyonu için bir model geliştirmiş ve test etmişlerdir.

Xu vd. (2009), entropi üretiminin minimizasyonu ile gövde borulu ısı değiştiricisi optimizasyonu için genetik algoritma kullanarak bir yaklaşım geliştirmişlerdir. alışmalarında Bell – Delaware metodunu kullanmışlardır. Dizayn değişkenlerinin entropi üretimi üzerine etkisi incelenmiştir.

Caputo vd. (2008), malzeme yatırım maliyetini ve akışkanları pompalamayla ilgili yıllık iskontolu enerji harcamalarının toplamını içeren toplam maliyeti minimize etmek için genetik algoritmayı kullanmışlardır. Üç farklı test durumu incelemişlerdir.

Diwekar vd. (1999), ısı değiştiricilerinin optimum dizaynı için genetik algoritmayı kullanmışlardır. Problemi ısı değiştiricileri üzerine yapılan daha önceki çalışmalardan tavlama benzetimi kullanarak türetmişlerdir. Problemin çözümünde tavlama benzetimi ve genetik algoritmanın performansını karşılaştırmışlardır.

Babu ve Mohiddin (1999), gövde borulu ısı değiştiricisi optimum dizaynı için genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır. 6 dizayn değişkeni ile toplam 4608 konfigürasyon 10 gibi çok küçük bir nesilde yakınsamıştır.

Gutierrez vd. (2008), gövde tarafı akış için Bell-Delaware metodunu kullanarak gövde borulu ısı değiştiricisi optimum dizaynı için genetik algoritma uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Geometrik ve operasyonel sınırlamaları dikkate almışlardır. Analiz ettikleri örnekler sonucunda ısı değiştiricilerinin optimum dizaynı için genetik algoritmanın önemli bir araç olduğuna karar vermişlerdir.

Serna ve Jimenez (2010), kesme levhali gövde borulu ısı değiştiricileri için bir algoritma sunmuşlardır. Algoritma, geometrik kısıtlamalar olmadan, dizayn özelliği olarak verilen maksimum izin verilebilir basınç düşümünün tam kullanımını sağlamaktadır. Gövde tarafı akış için Bell-Delaware metodunu kullanılmıştır.

Gülsün vd. (2009), bütün bölümlerin eşit alana sahip olduğu tesis yerleşimi problemini incelemiştir. İncelemesinde genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. Yerleşim en iyileyci adında bir yazılım geliştirerek literetür problemleriyle test etmiştir.

Emel ve Taşkın (2002), genetik algoritmayı ve uygulama alanlarını incelemişlerdir. Genetik algoritma kavramı, çalışma adımları, parametre seçimleri incelenmiş ve bir çözüm örneği verilmiştir. Genetik algoritmaların uygulama alanları belirtilmiştir.

Başkal (2008), bir dişli kutusunun düz, helis, konik ve sonsuz vida dişlileri ile mil çapı, rulman ve kutu gövdesinin tasarım optimizasyonlarını gerçekleştirmiştir. Amaç fonksiyonu olarak, dişli çark, mil ve rulman hacimlerinin minimizasyon fonksiyonlarını almış ve dişli hacmi sonuçlarını analitik yöntemle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Yaman (2007), kardan milinin tasarım optimizasyonunda genetik algoritmayı kullanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak mil çapı ve içi boş miller için et kalınlığı fonksiyonlarını almıştır. Genetik algoritmanın makine elemanlarının tasarım optimizasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaya (1999), genetik algoritma ve genetik programlamayı ele almış, operatörleri ve algoritma hazırlanışını açıklamıştır. Gezin satıcı problemini Türkiye'deki şehirler arası karayollarını baz alarak çözüm aramıştır.

Wang vd. (2007), boru tarafında su, gövde tarafında yağ akan üç farklı türdeki ısı değiştircileri için ısı transferini ve basınç düşümünü deneysel olarak ölçmüşler, korelasyon katsayılarını belirlemede genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Wang vd. (2009), iki tarafında da hava akan, çapraz oluklu lavhalı ısı değiştircilerinin farklı oluk yüksekliği, farklı oluk uzunluğu ve farklı döndürme açılarında ısı transferi ve basınç düşümü karakteristikleri deneysel olarak incelemişler ve ısı transferi düzenlemelerinin katsayılarını belirlemede genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Bolat vd. (2004), genetik algoritmanın tanımını ve çalışma prensibini ele almışlar, kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörlerini incelemişlerdir. Genetik algoritmanın uygulama alanlarını araştırmışlar ve bir örnek yapmışlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. FORTRAN

Bu tezde genetik algoritma uygulaması için FORTRAN programı kullanılmıştır. FORTRAN 1954 yılında, IBM’de çalışan John W. Backus ve ekibi tarafından IBM 704 ana bilgisayarını için geliştirilmiştir. Backus ve ekibi Kasım 1954’de “The IBM Mathematical FORMula TRANslating System: FORTRAN” isimli raporu yayınlamışlardır. Takip eden yıllarda Fortran II, Fortran III, Fortran IV, Fortran 66, Fortran 77, Fortran 90, Fortran 95, Fortran 2000, Fortran 2003, Fortran 2008 sürümleri geliştirilmiştir.

FORTRAN, sayısal hesaplamalarda güçlü ve yeterince esnek bir dildir. Tanımlayıcı adları küçük harf, büyük harf ayrımı yapmaz. Basit bir yapısı ve esnek kütüphane fonksiyonları olan yapısal bir dildir.

Gövde-Boru Isı Değiştiricisi

Sıcaklıklar (C)

Sıcak Akışkan Giriş	90.00	Sıcak Akışkan Çıkış	70.00	Soğuk Akışkan Giriş	5.00	Soğuk Akışkan Çıkış	60.00
---------------------	-------	---------------------	-------	---------------------	------	---------------------	-------

Sıcak akışkan debi (kg/s) 27.40 | Soğuk akışkan debi (kg/s) | 10.00 |

Pompa Verimi 0.80 | Çalışma ömrü (yıl) | 10.00 | Yıllık çalışma süresi (sn) | 0.1728E+08 |

Faiz oranı 0.10 | Enflasyon oranı | 0.14 | Elektrik birim maliyeti (TL) | 0.24 | Isı değiştiricisi birim maliyeti (TL) | 350.00 |

Varsayılanlar

Çalıştır

Temizle

Çık

Optimum Tasarım

Tekrar / Üye :	9 / 12	Sıcak / Soğuk Taraf	Boru / Gövde	Yüzey Alanı	57.944
Toplam Maliyet :	3740.638	Boru Dış Çapı :	18.000	Boru Boyu	1.985
Yatırım Gideri :	3300.545	Gövde Çapı :	600.000	Boru ve Gövde Basınç Farkı 1 atm'den küçük mü?	Evet
İşletme Gideri :	440.092	Boru Dizilişi :	Üçgen		
		Boru Geçiş Sayısı :	2.000		
		Şaş. Levha Kesme Oranı :	0.150		
		Şaş. Levha Aralığı :	0.600		

Şekil 3.1: Program arayüzü

Şekil 3.1’de FORTRAN’da yazılan genetik algoritma programı için COMPACT VISUAL FORTRAN’da yapılan program arayüzü gösterilmiştir. Sıcak ve soğuk akışkan giriş çıkış sıcaklıkları, sıcak ve soğuk akışkan debileri, pompa verimi, çalışma ömrü, yıllık çalışma süresi, faiz oranı, enflasyon oranı, elektrik birim maliyeti ve ısı değiştiricisi birim maliyeti değerleri varsayılan değerler olarak girilebildiği gibi, kutulara kullanıcı tarafından da girilebilmektedir. Çalıştır butonu ile program çalıştırılmakta ve elde edilen değerler optimum tasarım kısmına ve sonuç dosyasına yazdırılmaktadır.

3.2. YÖNTEM

Çalışmanın başlıca amacı, en yaygın kullanılan ısı değiştirici tipi olan gövde borulu ısı değiştiricilerinin optimum tasarımıdır. Bu çalışmada gövde borulu ısı değiştiricileri optimum tasarımı için genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri olarak akışkanların sıcak akışkanın akış yeri, boru dış çapı, gövde dış çapı, boru düzenlemesi, boru geçiş sayısı, şaşırtma levhaları arası mesafe ve şaşırtma levhası kesme oranı alınmıştır. Uygulama sadece bir gövdeli ısı değiştiricileri için yapılmıştır.

Bir tasarım konfigürasyonu için ısı transferi alanı LMTD yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca gövde tarafındaki ısı taşınım katsayısının ve basınç düşmesinin belirlenmesinde Kern yöntemi kullanılmıştır. Kern yönteminin standart toleranslar ile imalatı yapılan gövde borulu ısı değiştiricilerinde ısı taşınım katsayısı için yeterli sonuçlar verdiği bilinmektedir.

Genetik algoritma metodunda kodlama yöntemi olarak sekizli kodlama, seçim yöntemi olarak turnuva, çaprazlama yöntemi olarak tek noktalı çaprazlama ve mutasyon kullanılmıştır. Ayrıca yeni popülasyon oluşturulmasında elitizm yöntemi de uygulanmıştır. Popülasyonda bir birey yedi adet genden oluşmaktadır. Bunlar daha önce belirtildiği gibi sıcak akışkanın akış yeri, boru dış çapı, gövde dış çapı, boru düzenlemesi, boru geçiş sayısı, şaşırtma levhaları arası mesafe ve şaşırtma levhası kesme oranıdır.

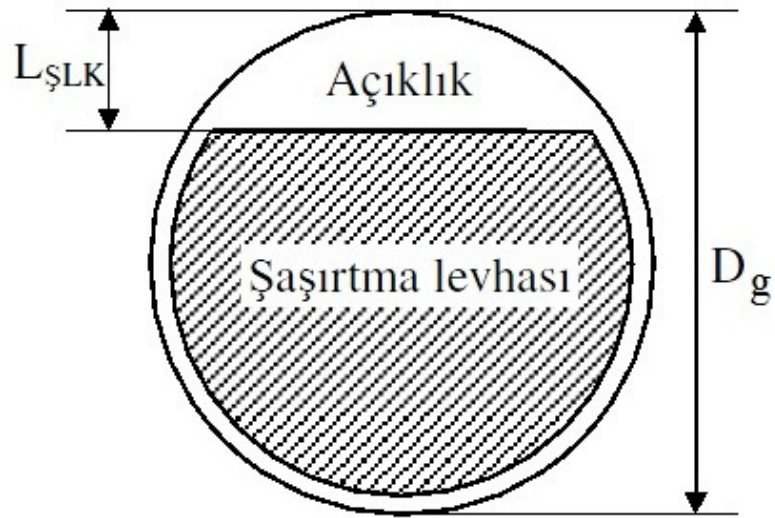
Sıcak akışkanın akış yeri, bu akışkanın boru tarafından mı yoksa gövde tarafından mı akacağını gösterir.

Isı değiştiricisinde kullanılacak olan boruların dış çapının ölçüsü için TS 1996'dan 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 ve 25 mm değerleri olmak üzere sekiz adet seçenek alınmıştır. Aynı şekilde gövde dış çapı için de TS 1996'dan 168, 219, 273, 324, 355, 406, 508 ve 600 mm değerleri alınmıştır.

Boru demetinin düzenleniş şekli olarak şekil 2.14'te ayrıntılı olarak gösterilen seçeneklerden üçgen ve kare düzenleme tipleri alınmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda boru ve gövde tarafında su kullanılması durumunda üçgen düzenlemenin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

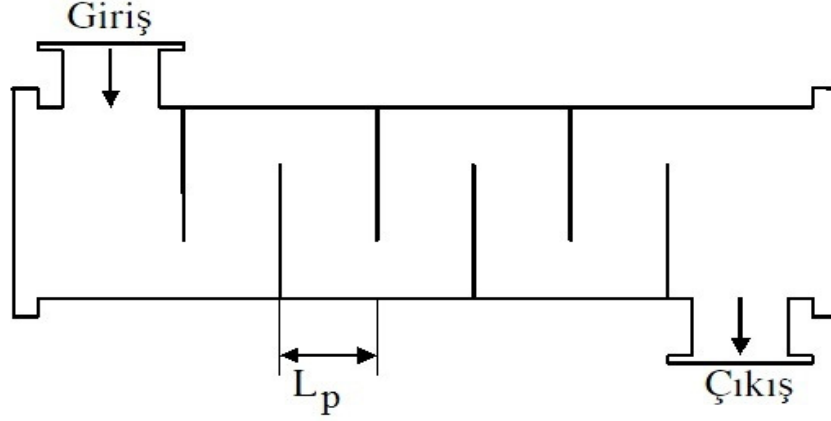
Gövde içindeki boruların geçiş sayısı olarak 2, 4, 6 ve 8 geçiş seçenekleri kullanılmıştır.

şaşırtma levhaları ilk olarak 1951 yılında Tinker tarafından tanımlanmıştır. Bu levhalar sayesinde toplam akış dağılmakta ve dolayısıyla ısı transfer katsayısı da artmaktadır. Bu oran levhanın kesme yüksekliğinin gövde i çapına oranıdır (Kızılkın,2007). şaşırtma levhaları kesme oranı bu çalışmada % 0.15, % 0.25, % 0.35 ve % 0.45 alınmıştır.



şekil 3.2. şaşırtma levhası kesmesi (Kızılkın,2007)

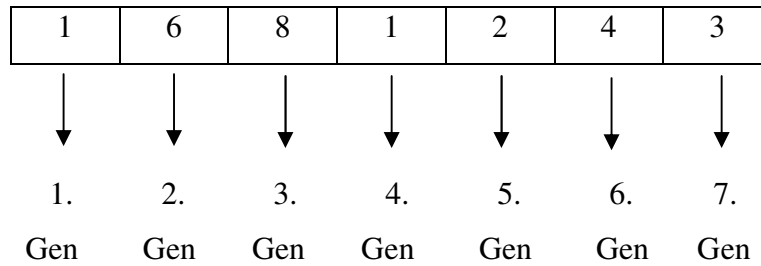
Şaşırtma levhaları arasındaki mesafenin seçilmesi de çok önemlidir. Bu mesafe, gövde iç çapının 0.2 ile 1 katı arasında değişebilmektedir. Bu çalışmada şaşırtma levhaları arası mesafe için gövde iç çapının 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 katı seçenekleri kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Gövde borulu ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası aralığı (Kızıllıkan,2007)

Gövde tarafı akışkanda herhangi bir faz değişimi yoksa perdeler arası mesafe gövde iç çapını aşmamalıdır. Bunun nedeni, levhalar arasındaki mesafe ne kadar fazla olursa, akışkan borulara paralel şekilde akacak ve bu nedenle ısı transferi azalacaktır.(Kızıllıkan,2007)

Bahsedilen bu yedi adet parametre genetik algorithmada bir bireyin genlerini oluşturan özelliklerdir.



Şekil 3.4: Genetik algorithmada kullanılan bireylere örnek

1. Genin aldığı değerler: Sıcak akışkanın akış yeri; boru ve gövde = 2 seçenek
2. Genin aldığı değerler: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 ve 25 mm boru dış çap = 8 seçenek
3. Genin aldığı değerler: 168, 219, 273, 324, 355, 406, 508 ve 600 mm gövde dış çapı = 8 seçenek

4. Genin aldığı değerler: Üçgen ve kare boru düzenlemesi = 2 seçenek
5. Genin aldığı değerler: 2, 4, 6 ve 8 boru geçiş sayısı = 4 seçenek
6. Genin aldığı değerler: % 15, % 25, % 35 ve % 45 şaşırtma levhası kesme oranları = 4 seçenek
7. Genin aldığı değerler: Gövde iç çapının 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 katı şaşırtma levhaları arası mesafe = 4 seçenek

Sonuç olarak $2 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 16384$ adet kombinasyon mevcuttur. Genetik algoritma ile bu 16384 adet kombinasyon içerisinde basınç sınırlamalarını dikkate alarak ekonomik açıdan en iyi ısı değiştirici maliyeti belirlenecek ve bu ısı değiştiricisini sağlayan bireyin kromozomundaki genler ile ısı değiştiricisinin hangi özelliklerle üretilmesi gerektiği belirlenecektir.

Genetik Algoritma uygulamasında 16384 adet kombinasyondan rastgele N adet birey seçilir. Bireylerin genleri Şekil 3.4'te görüldüğü gibi kodlanmış sayılardan oluşur. Bu N adet bireye %80 oranında çaprazlama işlemi, % 0.1 oranında mutasyon işlemi ve elitizm uygulanır. Çaprazlama işlemi için uygunluk değerleri yüksek olan bireyler seçilir. Örneğin N=10 ve rastgele seçilen bireyler Şekil 3.5'teki gibi olsun.

1. Gen	2. Gen	3. Gen	4. Gen	5. Gen	6. Gen	7. Gen
1	5	8	1	1	3	3
1	4	7	2	1	2	4
2	3	6	1	2	4	1
1	2	8	1	1	2	2
1	1	4	1	4	2	3
1	6	3	2	2	4	1
2	1	1	1	2	2	2
1	2	4	1	2	1	4
2	3	8	2	3	1	3
1	1	1	1	1	1	1

Şekil 3.5: 10 bireyden oluşan popülasyonun kromozomlarının kodlanmış hali

Kodlanmış özellikler çözümlenerek hesaplama için gerçek değerler elde edilir.

1. Gen	2. Gen	3. Gen	4. Gen	5. Gen	6. Gen	7. Gen
Boru	18	600	Üçgen	2	0.35	0.8
Boru	16	508	Kare	2	0.25	1.0
Gövde	14	406	Üçgen	4	0.45	0.4
Boru	12	600	Üçgen	2	0.25	0.6
Boru	10	324	Üçgen	8	0.25	0.8
Boru	20	273	Kare	4	0.45	0.4
Gövde	10	168	Üçgen	4	0.25	0.6
Boru	12	324	Üçgen	4	0.15	1.0
Gövde	14	600	Kare	6	0.15	0.8
Boru	10	168	Üçgen	2	0.15	0.4

Şekil 3.6: 10 bireyden oluşan popülasyonun kromozomlarının çözümlenmiş hali

Öncelikle bu on bireyin uygunluk değeri bölüm 4.1’de gösterildiği gibi yapılarak hesaplanır. Uygunluk fonksiyonumuz toplam maliyet fonksiyonudur. Hesaplamalar sonucunda;

1. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 4125.7 TL
2. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 4938.3 TL
3. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 48645.0 TL
4. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 3872.6 TL
5. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 3853537.3 TL
6. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 790548.2 TL
7. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 5514053.0 TL
8. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 234507.5 TL
9. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 4875.0 TL
10. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 3212975.8 TL

Çaprazlama oranı 0.8 olduğu için 8 yeni birey çaprazlama ile oluşturulacak, 2 birey ise elitizmle doğrudan yeni nesile aktarılacak.

1. ve 4. bireylerin uygunluk fonksiyonu değerleri yani toplam maliyetler minimum olduğundan bu iki birey elitizmle doğrudan bir sonraki nesle aktarılır. 10 bireyden oluşan başlangıç popülasyonundan rastgele seçilen iki birey turnuvaya sokulur ve uygunluk değerine göre daha iyi olan birey çaprazlama işlemi için seçilir.

Rastgele Seçilen Bireyler	Uygunluk Değerlerinin Karşılaştırılması	Seçilen Birey
1 - 6	$1 < 6$	1
8 - 3	$3 < 8$	3
10 - 9	$9 < 10$	9
1 - 2	$1 < 2$	1
6 - 8	$8 < 6$	8

Seçilen bu 5 birey rastgele eşlenir ve yine rastgele seçilen bir noktadan çaprazlama işlemine tabi tutulurlar.

1	5	8	1	1	3	3	1. Ebeveyn = 1 Nolu Birey
2	3	6	1	2	4	1	2. Ebeveyn = 3 Nolu Birey

Çaprazlama Noktası

1	5	8	1	2	4	1	1. Çocuk
2	3	6	1	1	3	3	2. Çocuk

2	3	8	2	3	1	3	1. Ebeveyn = 9 Nolu Birey
1	2	4	1	2	1	4	2. Ebeveyn = 8 Nolu Birey

Çaprazlama Noktası

Şekil 3.7 : Çaprazlama işleminin uygulanması

2	3	4	1	2	1	4
1	2	8	2	3	1	3

1. Çocuk
2. Çocuk

2	3	6	1	2	4	1
2	3	8	2	3	1	3

1. Ebeveyn = 3 Nolu Birey
2. Ebeveyn = 9 Nolu Birey

Çaprazlama Noktası

2	3	6	2	3	1	3
2	3	8	1	2	4	1

1. Çocuk
2. Çocuk

1	5	8	1	1	3	3
1	2	4	1	2	1	4

1. Ebeveyn = 1 Nolu Birey
2. Ebeveyn = 8 Nolu Birey

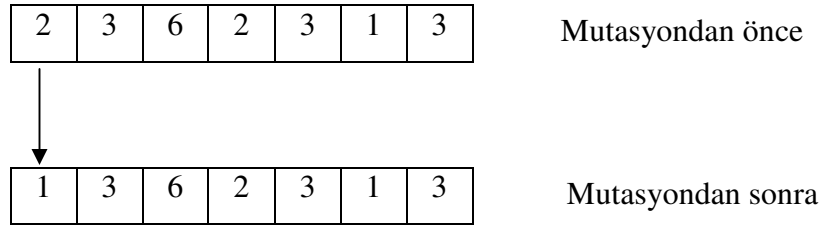
Çaprazlama Noktası

1	5	8	1	1	1	4
1	2	4	1	2	3	3

1. Çocuk
2. Çocuk

Şekil 3.7 (devam) : Çaprazlama işleminin uygulanması

Çaprazlama işleminden sonra belirlenen oranda mutasyon uygulanır. Örneğin çaprazlama ile elde edilen çocuklardan birinin mutasyona uğraması Şekil 3.8'deki gibidir. Çocuğun 1. geni 2 iken mutasyon sonucu 1 olmuştur.



Şekil 3.8: Mutasyon işleminin uygulanması

Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra elde edilen yeni popülasyon Şekil 3.9'deki gibidir.

1. Gen	2. Gen	3. Gen	4. Gen	5. Gen	6. Gen	7. Gen
1	5	8	1	1	3	3
1	2	8	1	1	2	2
1	5	8	1	2	4	1
2	3	6	1	1	3	3
2	3	4	1	2	1	4
1	2	8	2	3	1	3
1	3	6	2	3	1	3
2	3	8	1	2	4	1
1	5	8	1	1	1	4
1	2	4	1	2	3	3

Şekil 3.9: 10 bireylik yeni popülasyon

Yeni bireylerin uygunluk değerleri aşağıdaki gibidir;

1. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 4125.7 TL
2. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 3872.6 TL
3. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 6007.1 TL
4. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 12052.0 TL
5. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 32107.2 TL
6. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 26550.0 TL
7. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 482456.8 TL
8. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 7901.9 TL

9. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 3922.7 TL
10. birey için uygunluk fonksiyonu değeri TopG= 241467.1 TL

Uygunluk fonksiyonları ortlaması başlangıç popülasyonunda 1367207.8 TL iken yeni popülasyonda ortalama 82046.3 TL olmuştur. Buradan popülasyndaki iyiye gidiş görülmektedir.

4. BULGULAR

4.1. ISI DEĞİŞTİRCİSİ HESAPLAMA ÖRNEĞİ

Genetik algoritma uygulamasında sıcak akışkanın akış yeri, boru dış çapı, gövde dış çapı, boru diziliş şekli, boru geçiş sayısı, şaşırtma levhaları arası mesafe ve şaşırtma levhası kesme oranı optimizasyon değişkenleri olarak alınmıştır. Boru ve gövde tarafındaki akışkan sıcaklıkları ve debiler, enflasyon ve faiz oranları, yıllık operasyon periyodu, toplam işletme süresi, elektrik maliyeti ve birim alan başına ısı değiştirici maliyeti değerleri değiştirilebilir.

Bir gövdeli ısı değiştirici hesaplamalarına bir örnek aşağıda yapılmıştır.

- Genetik algoritmadaki 7 adet optimizasyon değişkeni için birer tane değer seçelim;

Sıcak akışkan akış yeri : Boru

Boru demeti düzenlemesi : Üçgen

Boru dış çapı (d_{out}) : 25 mm

Gövde dış çapı (D_g) : 600 mm

Boru geçiş sayısı (n_b) : 2

Şaşırtma levhaları arası mesafe (L_p): Gövde iç çapı x 0.40

Şaşırtma levhası kesme oranı : % 15

- Diğer parametreler;

Boru ve gövde tarafı akışkanlar : su

Boru malzemesi : Çelik

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

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

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

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

Boru tarafı akışkan debisi (m_b): 27.4 kg/s

Gövde tarafı akışkan debisi (m_g): 10 kg/s

Boru merkezleri arası mesafe (t) : $1.25 \cdot d_{out}$

Pompa verimi (η_p) : % 80

Faiz oranı (i) : % 10

Enflasyon oranı (e) : % 14

İşletme süresi (s) : 10 yıl

Alan başına ısı değiştiricisi birim maliyeti (FD): 350 TL/m²

Elektrik maliyeti (FE): 0.24 TL/kWh

Yıllık operasyon periyodu (H): 17280000 saniye/yıl

➤ Boru ve gövde tarafı akışkanlar ve cidar için ortalama sıcaklıklar,
 $T_b, T_g, T_{ortcidar}$ (°C)

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

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

$$T_{ortcidar} = \frac{T_b + T_g}{2} = \frac{80 + 32.5}{2} = 56.25 \text{ °C}$$

➤ Dinamik viskozite değerleri, (kg/m.s)

$$\mu_b = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot T_b^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot T_b^3 + 0.9795876934 \cdot T_b^2 - 55.4567974 \cdot T_b + 1791.74424)$$

$$\mu_b = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot 80^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot 80^3 + 0.9795876934 \cdot 8^2 - 55.4567974 \cdot T + 1791.74424)$$

$$\mu_b = 0.0003529 \text{ kg/m.s}$$

$$\mu_g = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot T_g^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot T_g^3 + 0.9795876934 \cdot T_g^2 - 55.4567974 \cdot T_g + 1791.74424)$$

$$\mu_g = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot (32.5)^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot (32.5)^3 + 0.9795876934 \cdot (32.5)^2 - 55.4567974 \cdot (32.5) + 1791.74424)$$

$$\mu_g = 0.0007533 \text{ kg/m.s}$$

$$\mu_c = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot T_{ortcidar}^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot T_{ortcidar}^3 + 0.9795876934 \cdot T_{ortcidar}^2 - 55.4567974 \cdot T_{ortcidar} + 1791.74424)$$

$$\mu_c = 0.000001 \cdot (0.0000315387 \cdot 16146 \cdot (56.25)^4 - 8.9130554281 \cdot 99999 \cdot 10^{-3} \cdot (56.25)^3 + 0.9795876934 \cdot (56.25)^2 - 55.4567974 \cdot (56.25) + 1791.74424)$$

$$\mu_c = 0.00050119 \text{ kg/m.s}$$

➤ Akışkan yoğunlukları, (kg/m³)

$$\rho_b = 0.000015451 \cdot T_b^3 - 0.0059003 \cdot T_b^2 - 0.019075 \cdot T_b + 1002.3052$$

$$\rho_b = 0.000015451 \cdot 80^3 - 0.0059003 \cdot 80^2 - 0.019075 \cdot 80 + 1002.3052$$

$$\rho_b = 970.9282 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_g = 0.000015451 \cdot T_g^3 - 0.0059003 \cdot T_g^2 - 0.019075 \cdot T_g + 1002.3052$$

$$\rho_g = 0.000015451 \cdot (32.5)^3 - 0.0059003 \cdot (32.5)^2 - 0.019075 \cdot 32.5 + 1002.3052$$

$$\rho_g = 995.9835 \text{ kg/m}^3$$

➤ Özgül ısılar, (W/kg.°C)

$$c_{pb} = 0.0000003216145833 \cdot T_b^4 - 0.000798668982 \cdot T_b^3 + \\ 0.0780295139 \cdot T_b^2 - 3.0481614 \cdot T_b + 4217.7377$$

$$c_{pb} = 0.0000003216145833 \cdot 80^4 - 0.000798668982 \cdot 80^3 + \\ 0.0780295139 \cdot 80^2 - 3.0481614 \cdot 80 + 4217.7377$$

$$c_{pb} = 4196.1 \text{ W/kg.}^\circ\text{C}$$

$$c_{pg} = 0.0000003216145833 \cdot T_g^4 - 0.000798668982 \cdot T_g^3 + \\ 0.0780295139 \cdot T_g^2 - 3.0481614 \cdot T_g + 4217.7377$$

$$c_{pg} = 0.0000003216145833 \cdot (32.5)^4 - 0.000798668982 \cdot (32.5)^3 + \\ 0.0780295139 \cdot (32.5)^2 - 3.0481614 \cdot (32.5) + 4217.7377$$

$$c_{pg} = 4177.3 \text{ W/kg.}^\circ\text{C}$$

➤ Isı iletim katsayıları, (W/m. °C)

$$\lambda_b = 0.00000018923611 \cdot T_b^3 - 6.5104167 \cdot 10^{-10} \cdot T_b^4 - \\ 2.671875 \cdot 10^{-5} \cdot T_b^2 + 0.0027103175 \cdot T_b + 0.5520119$$

$$\lambda_b = 0.00000018923611 \cdot 80^3 - 6.5104167 \cdot 10^{-10} \cdot 80^4 - \\ 2.671875 \cdot 10^{-5} \cdot 80^2 + 0.0027103175 \cdot 80 + 0.5520119$$

$$\lambda_b = 0.6681 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_g = 0.00000018923611 \cdot T_g^3 - 6.5104167 \cdot 10^{-10} \cdot T_g^4 - \\ 2.671875 \cdot 10^{-5} \cdot T_g^2 + 0.0027103175 \cdot T_g + 0.5520119$$

$$\lambda_g = 0.00000018923611 \cdot (32.5)^3 - 6.5104167 \cdot 10^{-10} \cdot (32.5)^4 - 2.671875 \cdot 10^{-5} \cdot (32.5)^2 + 0.0027103175 \cdot (32.5) + 0.5520119$$

$$\lambda_g = 0.6176 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$$

➤ Isıl güç, Q (W)

$$Q = m_b \cdot c_{pb} \cdot (T_{bi} - T_{bo}) = 27.4 \cdot 4196.1 \cdot (90 - 70) = 2299463 \text{ W}$$

➤ Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, ($^\circ\text{C}$)

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

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

➤ Bir geçişteki boru sayısı, (adet)

N_t : Toplam boru sayısı

n_1 : Bir geçişteki boru sayısı

D_g : Gövde iç çapı, (mm)

Tablo 2.6'dan üçgen diziliş ve 2 geçiş sayısı için $C=0.249$ ve $n=2.207$ alınır

$$N_t = C \cdot (D_g / d_{out})^n = 0.249 \cdot (573 / 25)^{2.207} = 250.1457$$

$N_t = 250$ alınır.

$$n_1 = N_t / n_b = 250 / 2 = 125$$

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

$d_{out}=25$ için Tablo 2.4'ten $d_{in} = 21$ mm bulunur.

$$V_b = \frac{m_b}{\rho_b \cdot n_1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{in}}{2}\right)^2} = \frac{27.4}{970.9282 \cdot 125 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.021}{2}\right)^2} = 0.6518 \text{ m/s}$$

➤ Boru tarafındaki Reynolds sayısı

$$Re_b = \frac{V_b \cdot \rho_b \cdot d_{in}}{\mu_b} = \frac{0.6518 \cdot 970.9282 \cdot 0.021}{0.0003529} = 37659$$

➤ Boru tarafındaki Prandtl sayısı

$$Pr_b = \frac{\mu_b \cdot c_{pb}}{\lambda_b} = \frac{0.0003529 \cdot 4196.1}{0.6681} = 2.2166$$

➤ Boru tarafındaki akışkana ait Nusselt sayısı

$T_{bi} > T_{bo}$,akışkan soğuyor

$$Nu_b = 0.023 \cdot Re_b^{0.8} \cdot Pr_b^{0.3} = 0.023 \cdot (37659)^{0.8} \cdot (2.2166)^{0.3} = 133.7$$

➤ Boru tarafındaki ısı taşınım katsayısı, (W/m². °C)

$$h_b = \frac{Nu_b \cdot \lambda_b}{d_{in}} = \frac{133.7 \cdot 0.6681}{0.021} = 4253.57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

➤ Üçgen diziliş için eşdeğer çap, (mm)

$$d_e = \frac{1.10}{d_{out}} \cdot (t^2 - 0.917 \cdot d_{out}^2) = \frac{1.10}{25} \cdot ((1.25 \cdot 25)^2 - 0.917 \cdot 25^2) = 17.7513 \text{ mm}$$

➤ Gövde ekvatorundaki serbest geçiş kesiti, (m²)

$$L_p = 0.40 \cdot D_g = 0.40 \cdot 573 = 229.2 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{(t - d_{out}) \cdot L_p \cdot D_g}{t} = \frac{((1.25 \cdot 0.025) - 0.025) \cdot 0.2292 \cdot 0.573}{1.25 \cdot 0.025}$$

$$A_s = 0.0263 \text{ m}^2$$

➤ Gövde tarafındaki akışkan hızı, (m/s)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g \cdot A_s} = \frac{10}{995.9835 \cdot 0.0263} = 0.3823 \text{ m/s}$$

➤ Gövde tarafındaki Reynolds sayısı

$$\text{Re}_g = \frac{V_g \cdot \rho_g \cdot d_e}{\mu_g} = \frac{0.3823 \cdot 995.9835 \cdot (17.7513/1000)}{0.0007533} = 8971$$

➤ Gövde tarafındaki Prandtl sayısı

$$\text{Pr}_g = \frac{\mu_g \cdot c_{pg}}{\lambda_g} = \frac{0.00075331 \cdot 4177.3}{0.6176} = 5.095$$

➤ Kern yöntemine göre gövde tarafındaki Nusselt sayısı,

J_K : Kern yöntemine göre boyutsuz ısı çarpan. Katsayılar Tablo 2.7'den alınır.

$$x = \ln(\text{Re}_g) = \ln(8971) = 9.1$$

$$J_K = \exp\left(\frac{p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x + p6}{x^3 + q1 \cdot x^2 + q2 \cdot x + q3}\right)$$

$$= \exp\left(\frac{0.002012 \cdot (9.1)^5 - 0.5346 \cdot (9.1)^4 + 5.351 \cdot (9.1)^3 - 17.75 \cdot (9.1)^2 + 13.69 \cdot 9.1 + 19.93}{(9.1)^3 - 11.09 \cdot (9.1)^2 + 42.83 \cdot 9.1 - 57.21}\right)$$

$$J_K = 0.0069$$

$$Nu_g = J_K \cdot Re_g \cdot Pr_g^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c}\right)^{0.14} = 0.0069 \cdot 8971 \cdot (5.095)^{1/3} \cdot \left(\frac{0.0007533}{0.00050119}\right)^{0.14}$$

$$Nu_g = 113.49$$

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

$$h_g = \frac{Nu_g \cdot \lambda_g}{d_e} = \frac{113.49 \cdot 0.6176}{(17.7513/1000)} = 3948.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

➤ Kirlilik faktörü, (m².°C/W)

Tablo 2.8'den kirlilik faktörleri $Rf_b = 0.0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ve $Rf_g = 0.0002 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ alınır.

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

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{4253.57} \cdot \frac{25}{21} + 0.0002 \cdot \frac{25}{21} + \frac{0.025}{2 \cdot 50} \cdot \ln\left(\frac{25}{21}\right) + 0.0002 + \frac{1}{3948.74}}$$

$$K = 985.41 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$$

➤ Isı değiştiricisi yüzeyi, (m²)

ncelikle bir gvde iki boru geişi iin düzeltme katsayısı hesaplanır.

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

$$\text{Etkenlik} = P = \frac{T_{go} - T_{gi}}{T_{bi} - T_{gi}} = \frac{60 - 5}{90 - 5} = 0.6471$$

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

$$F = \frac{\sqrt{(0.3636)^2 + 1}}{0.3636 - 1} \cdot \frac{\ln\left(\frac{1 - 0.6471}{1 - 0.6471 \cdot 0.3636}\right)}{\ln\left[\frac{2 - 0.6471 \cdot (0.3636 + 1 - \sqrt{(0.3636)^2 + 1})}{2 - 0.6471 \cdot (0.3636 + 1 + \sqrt{(0.3636)^2 + 1})}\right]}$$

$$F = 0.8996$$

$$A = \frac{Q}{K \cdot F \cdot \Delta T_m} = \frac{2299463}{985.41 \cdot 0.8996 \cdot 45.267} = 57.3 \quad \text{m}^2$$

➤ Isı değiştiricisi boru boyu, (m)

$$L = \frac{A}{N_t \cdot \pi \cdot d_{out}} = \frac{57.3}{250 \cdot \pi \cdot 0.025} = 2.92 \quad \text{m}$$

➤ Boru tarafındaki basınç kaybı, (Pa)

Çelik için Tablo 2.9'dan ortalama pürüzlülük yüksekliği (ey) 0.15 alınır, boyutsuz pürüzlülük değeri (ey/d_{in}) ve Reynolds sayısı kullanılarak sürtünme katsayısı (k_s) hesaplanır.

$$Re_b = 37659$$

$$Re_b > 2300$$

$$ep = \frac{ey}{d_{in}} = \frac{0.15}{21} = 0.007143$$

$$k_s = \frac{1}{\left[-2 \cdot \frac{\ln \left(ep \cdot 0.269796303 - \left(\frac{5.0452}{Re_b} \right) \cdot \frac{\ln \left(0.35389461 \cdot ep^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re_b^{0.8981}} \right)}{\ln(10)} \right)}{\ln(10)} \right]^2}$$

$$k_s = 1 / \left(-2 \left(\ln(0.007143 \cdot 0.269796303 - (5.0452/37659) \cdot (\ln(0.35389461 \cdot 0.007143^{1.1098} + 5.8506/37659^{0.8981}) / \ln(10))) / \ln(10) \right) \right)^2$$

$$k_s = 0.0359$$

$Re_b > 2300$ olduğundan $m=0.14$ alınır

$$\Delta P_b = n_b \cdot \left(k_s \cdot \frac{L}{d_{in}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_c} \right)^{-m} + 2.5 \right) \cdot \frac{\rho_b \cdot V_b^2}{2}$$

$$\Delta P_b = 2 \cdot \left(0.0359 \cdot \frac{2920}{21} \cdot \left(\frac{0.0003529}{0.00050119} \right)^{-0.14} + 2.5 \right) \cdot \frac{970.9282 \cdot 0.6518^2}{2}$$

$$\Delta P_b = 3194 \text{ Pa}$$

➤ Gövde tarafındaki basınç kaybı, (Pa)

J_{FK} : Kern yöntemine göre boyutsuz basınç çarpanı. Katsayılar Tablo 2.10'dan alınır.

$$x = \ln(\text{Re}_g) = \ln(8971) = 9.1$$

$$J_{FK} = \exp\left(\frac{p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x + p6}{x^3 + q1 \cdot x^2 + q2 \cdot x + q3}\right)$$

$$= \exp\left(\frac{-0.139 \cdot (9.1)^5 + 7.218 \cdot (9.1)^4 - 168 \cdot (9.1)^3 + 1623 \cdot (9.1)^2 - 7244 \cdot 9.1 + 11730}{(9.1)^3 + 82.04 \cdot (9.1)^2 - 947.8 \cdot 9.1 + 3172}\right)$$

$$J_{FK} = 0.0701$$

$$\Delta P_g = 8 \cdot J_{FK} \cdot \frac{D_g}{d_e} \cdot \frac{L}{L_p} \cdot \frac{\rho_g \cdot V_g^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_c}\right)^{-0.14}$$

$$\Delta P_g = 8 \cdot 0.0701 \cdot \frac{573}{17.7513} \cdot \frac{2920}{229.2} \cdot \frac{995.9835 \cdot (0.3823)^2}{2} \cdot \left(\frac{0.0007533}{0.00050119}\right)^{-0.14}$$

$$\Delta P_g = 15855 \text{ Pa}$$

➤ Boru tarafındaki güç kaybı, (W)

$$E_b = \frac{\Delta P_b \cdot m_b}{\rho_b \cdot \eta_p} = \frac{3194 \cdot 27.4}{970.9282 \cdot 0.80} = 112.67 \text{ W}$$

➤ Gövde tarafındaki güç kaybı, (W)

$$E_g = \frac{\Delta P_g \cdot m_g}{\rho_g \cdot \eta_p} = \frac{15855 \cdot 10}{995.9835 \cdot 0.8} = 199 \text{ W}$$

➤ Maliyet Hesapları

$$C1 = \frac{i \cdot (1+i)^s}{(1+i)^s - 1} = \frac{0.10 \cdot (1+0.10)^{10}}{(1+0.10)^{10} - 1} = 0.1627$$

$$C2 = \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^s - 1}{1 - \left(\frac{1+i}{1+e}\right)} = \frac{\left(\frac{1+0.14}{1+0.10}\right)^{10} - 1}{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.14}\right)} = 12.2349$$

$$\text{Yatırım Gideri} = YG = A \cdot FD \cdot C1 = 57.3 \cdot 350 \cdot 0.1627 = 3263 \text{ TL}$$

$$\text{İşletme Gideri} = IG = \frac{(E_b + E_g) \cdot H \cdot FE \cdot C1 \cdot C2}{3600 \cdot 1000}$$

$$IG = \frac{(E_b + E_g) \cdot H \cdot FE \cdot C1 \cdot C2}{3600 \cdot 1000} = \frac{(112.67 + 199) \cdot 17280000 \cdot 0.24 \cdot 0.1627 \cdot 12.2349}{3600 \cdot 1000}$$

$$IG = 715 \text{ TL}$$

$$YG = 3263 \text{ TL}$$

$$\text{Toplam Gider} = \text{Top}G = YG + IG = 3263 + 715 = 3978 \text{ TL}$$

4.2. ELDE EDİLEN BULGULAR

Bu çalışmada sıcak ve soğuk akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, sıcak ve soğuk akışkan debileri, pompa verimi, ısı değiştiricisi çalışma ömrü, ısı değiştiricisi yıllık çalışma süresi ve elektrik birim maliyeti, ısı değiştiricisi birim maliyeti, faiz oranı, enflasyon oranı gibi ekonomik değerler kullanıcı tarafından belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler kullanılarak üretilmesi gereken ısı değiştiricisinin özelliklerinden sıcak akışkanın akış yeri, boru dış çapı, gövde dış çapı, boru diziliş şekli, boru geçiş sayısı, şaşırtma levhası kesme oranı ve şaşırtma levhaları arası mesafe parametreleri en iyi maliyeti verecek ve basınç düşümü 100 kPa'dan düşük olacak şekilde genetik algoritma yöntemi ile tespit edilmiştir.

Genetik Algoritma uygulamasından önce Bölüm 3.2’de belirtilen 16384 adet farklı kombinasyon FORTRAN programlama diliyle yazılan ısı değiştiricisi hesaplarının yapıldığı program ile hesaplanmış ve gerçek minimum maliyet 3728.9 TL, boru tarafı basınç düşümü 4087 Pa, gövde tarafı basınç düşümü 4895 Pa ve dizayn değişkenleri sıcak akışkan akış yeri boru tarafı, boru diziliş şekli üçgen, boru geçiş sayısı 2, şaşırtma levhası kesme oranı 0.15, şaşırtma levhaları arası mesafe gövde çapının 0.6 katı, boru dış çapı 16 mm ve gövde dış çapı 600 mm olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: Tüm kombinasyonların hesaplanması

Şaşırtma Levhası Kesme Oranı	Sıcak Akışkan Akış Yeri	Boru Diziliş Şekli	Boru Geçiş Sayısı	Şaşırtma Levhaları Arası Mesafe	Boru Dış Çapı (mm)	Gövde Dış Çapı (mm)	Toplam Yıllık Maliyet (TL)
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	168.	3212975.8
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	219.	541371.8
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	273.	113385.0
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	324.	39250.5
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	355.	24543.6
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	406.	13120.9
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	508.	5068.9
0.15	Boru	Ucgen	2.	0.4	10.	168.	3212975.8
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	168.	107795472.0
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	219.	11956021.0
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	273.	1699301.6
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	324.	436722.9
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	355.	233694.1
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	406.	96283.0
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	508.	17454.0
0.45	Govde	Kare	8.	1.0	25.	600.	7776.7

FORTRAN programında yazılan genetik algoritma uygulamasında ise 20 bireylik popülasyon ile 9 iterasyon sonucunda toplam maliyet % 0.3’lük hata ile 3740.6 TL,

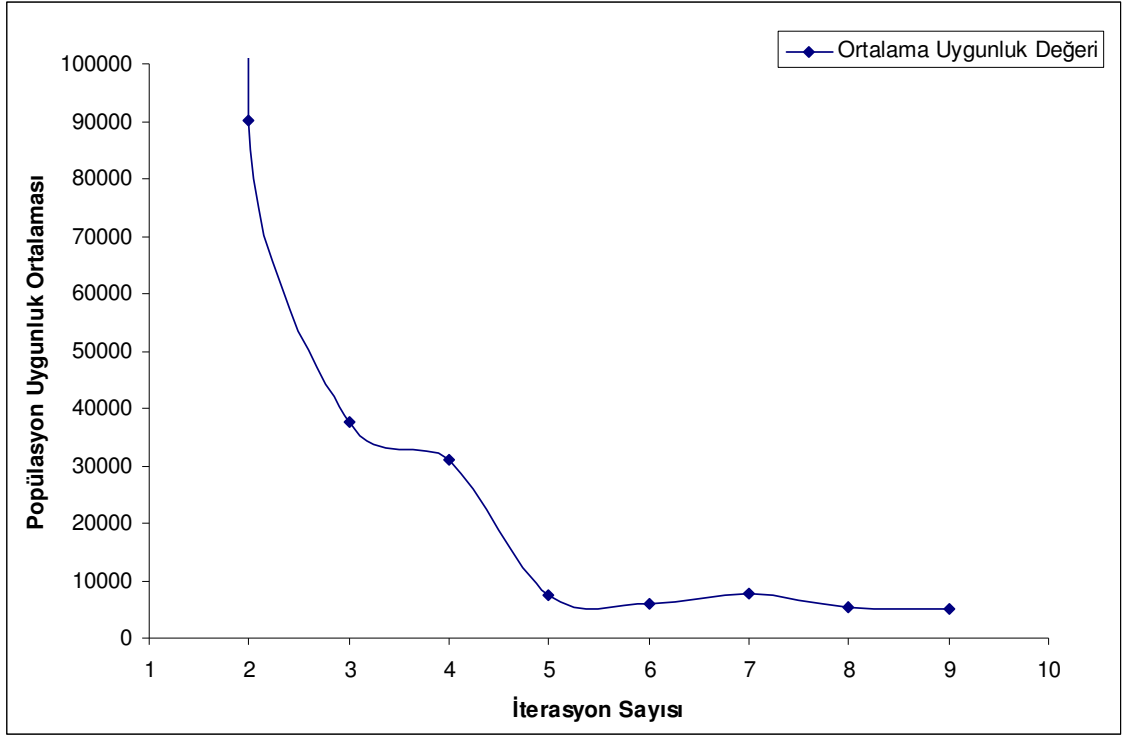
boru tarafı basıç düşümü 3664 Pa, gövde tarafı basınç düşümü 4988 Pa ve dizayn değişkenleri sıcak akışkan akış yeri boru tarafı, boru dizliş şekli üçgen, boru geçiş sayısı 2, şaşırtma levhası kesme oranı 0.15, şaşırtma levhaları arası mesafe gövde çapının 0.6 katı, boru dış çapı 18 mm ve gövde dış çapı 600 mm olarak bulunmuştur. Tablo 4.2’de genetik algoritma uygulamasında her bir iterasyonda elde edilen popülasyondaki tüm bireyler, en iyi bireyler ve bireylerin ortalaması verilmiştir.

Tablo 4.2: Genetik algoritma uygulamasındaki her bir iterasyon sonucunda elde edilen bireyler, ortalamalar ve en iyi bireyler

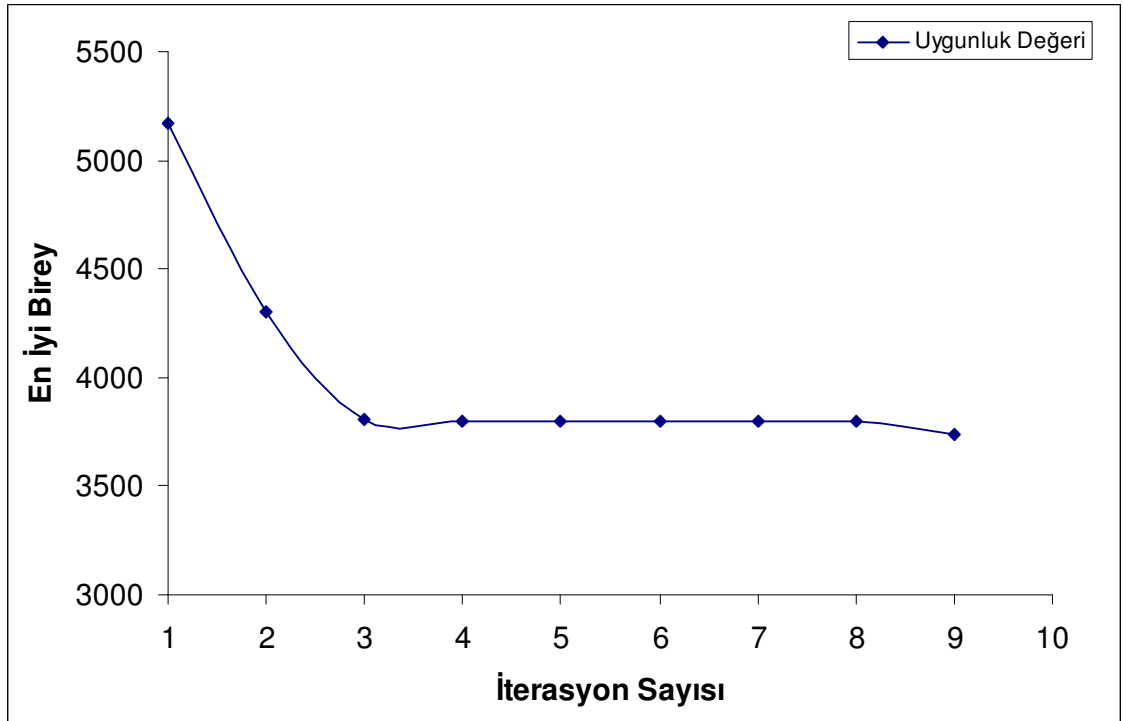
Birey Sayısı	1. İterasyon	2. İterasyon	3. İterasyon	4. İterasyon	5. İterasyon
1	1963484.	9190.2	126322.0	96432.1	11095.6
2	268869.3	6091.7	10225.0	3916.0	4907.3
3	5168.1	10509.3	34703.0	5906.2	5492.7
4	1220180.	985488.3	5426.6	10225.0	4818.6
5	5376.0	11359.0	47653.4	6745.1	4232.6
6	41632.0	94109.0	15743.3	242435.1	5414.4
7	306714.9	188920.6	194504.8	78332.0	4499.8
8	1968004.	6795.6	10420.4	3799.0	11355.3
9	15330.5	41983.2	147201.9	11095.6	17622.4
10	1913241.	194504.8	25866.0	3820.2	6558.9
11	17714.4	48490.3	15231.7	16028.6	5168.1
12	1.36E+08	4305.5	11029.8	6558.9	17480.0
13	14199.0	15544.9	58359.7	4907.3	3816.3
14	649421.4	108118.1	3804.3	42272.8	16214.8
15	248196.3	11059.7	14473.4	39961.3	6071.6
16	41296.0	27956.9	10414.1	32775.3	6251.4
17	1657332.	5168.1	4305.5	3804.3	3799.0
18	5041556.	5376.0	5168.1	4305.5	3804.3
19	54860.0	14199.0	5376.0	5168.1	3820.2
20	147201.9	15330.5	6091.7	5376.0	3916.0
En İyi	5168.1	4305.5	3804.3	3799.0	3799.0
Ortalama	7609016.8	90225.0	37616.0	31193.2	7317.0

Tablo 4.2: Genetik algoritma uygulamasındaki her bir iterasyon sonucunda elde edilen bireyler, ortalamalar ve en iyi bireyler (devam)

Birey Sayısı	6. İterasyon	7. İterasyon	8. İterasyon	9. İterasyon
1	5658.0	6836.7	6346.8	4907.3
2	7004.1	6251.4	6268.5	6297.8
3	11355.3	4818.6	6660.7	5863.1
4	3916.0	35299.0	6477.5	3916.0
5	11480.8	7085.9	5553.6	6071.6
6	4328.3	5863.1	3916.0	3938.6
7	4286.6	15795.6	6445.2	5702.2
8	5113.2	7212.3	7085.9	4534.9
9	4907.3	6146.5	6027.9	6262.5
10	4232.6	15590.8	5614.7	5553.6
11	5226.3	3916.0	6146.5	4818.6
12	4832.9	6027.9	4818.6	3740.6
13	6251.4	6346.8	6943.4	5846.8
14	16028.6	4534.9	5863.1	6027.9
15	6043.1	5553.6	3938.6	5871.4
16	4054.6	4041.3	6262.5	6445.2
17	3799.0	3799.0	3799.0	3799.0
18	3804.3	3804.3	3804.3	3804.3
19	3816.3	3816.3	3816.3	3816.3
20	3820.2	3820.2	3820.2	3820.2
En İyi	3799.0	3799.0	3799.0	3740.6
Ortalama	5998.0	7828.0	5480.5	5051.9



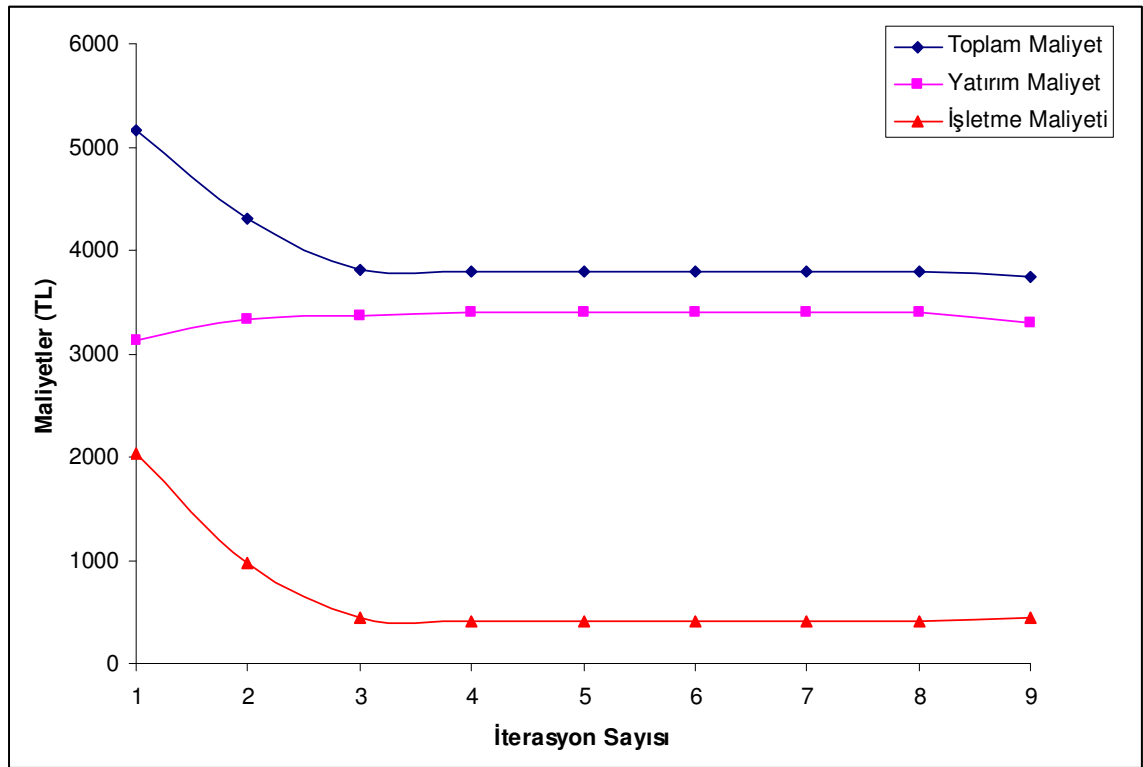
Şekil 4.1: İterasyon sayısı ile popülasyondaki bireylerin uygunluklarının ortalamasının değişimi



Şekil 4.2: İterasyon sayısı ile popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip bireyin değişimi

İterasyon sayısı arttıkça popülasyondaki tüm bireylerin uygunluklarının ortalaması azalmaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 5. iterasyondan sonra popülasyonların uygunluklarının ortalamasında büyük bir değişiklik olmamaktadır. Bu noktadan sonra iterasyon sayısını arttırmak önemli bir yarar sağlamayacaktır ve işlem süresini uzatacaktır.

Şekil 4.2’de ise iterasyon sayısı ile popülasyonlardaki en iyi bireyin değişimi görülmektedir. En iyi bireyin uygunluk değeri yani toplam yıllık maliyet değeri 3. iterasyondan sonra önemli bir değişim göstermemektedir. Daha önce belirtildiği gibi iterasyon sayısını arttırmak işlem süresini uzatacaktır. Bu nedenle iterasyon sayısı 9’da bırakılmış ve optimum maliyet olarak % 0.3’lük hata ile 3740.6 TL bulunmuştur.



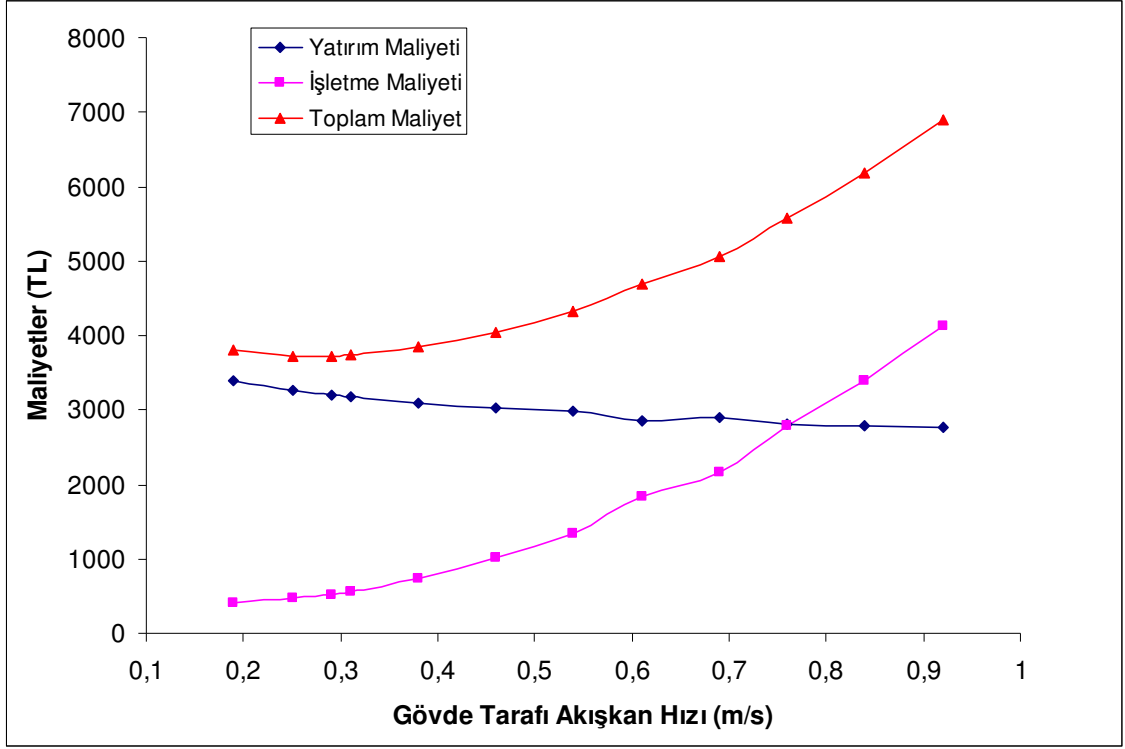
Şekil 4.3: İterasyon sayısı ile maliyetlerin değişimi

Şekil 4.3’te yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam maliyetin iterasyon sayısı ile değişimi görülmektedir. Yatırım maliyeti iterasyon sayısı ile önemli bir değişiklik göstermemektedir. Toplam maliyet ise işletme maliyetine bağlı olarak aynı yönde bir değişim göstermektedir.

Toplam yıllık maliyeti 3850 TL'nin, boru ve gövde tarafı basınç düşümü 100 kPa'nın altındaki ısı değiştiricisi özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere sıcak akışkanın akış yeri için boru tarafı, şaşırtma levhası kesme oranı için %15 - %25, boru diziliş şekli için üçgen diziliş, boru geçiş sayısı için 2, şaşırtma levhaları arası mesafe için gövde dış çapının 0.4- 0.6 katı ve 600 mm gövde dış çapı için 10 mm - 18 mm arası boru çapları toplam yıllık maliyet yönünden uygun ısı değiştiricisi tasarımına olanak sağlamaktadır.

Tablo 4.3: Toplam yıllık maliyeti 3850 TL'nin, boru ve gövde tarafı basınç düşümü 100 kPa'nın altındaki ısı değiştiricisi özellikleri

Şaşırtma Levhası Kesme Oranı %	Sıcak Akışkan Akış Yeri	Boru Diziliş Şekli	Boru Geçiş Sayısı	Şaşırtma Levhaları Arası Mesafe	Boru Dış Çapı (mm)	Gövde Dış Çapı (mm)	Toplam Maliyet (TL)
0.15	Boru	Üçgen	2	0.4	16	600	3840.5
0.15	Boru	Üçgen	2	0.4	18	600	3848.5
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	10	600	3773.6
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	12	600	3805.0
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	14	600	3740.4
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	16	600	3728.9
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	18	600	3740.6
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	20	600	3819.2
0.15	Boru	Üçgen	2	0.6	22	600	3841.0
0.15	Boru	Üçgen	2	0.8	10	600	3826.0
0.15	Boru	Üçgen	2	0.8	14	600	3805.0
0.15	Boru	Üçgen	2	0.8	16	600	3799.0
0.15	Boru	Üçgen	2	0.8	18	600	3816.3
0.25	Boru	Üçgen	2	0.4	14	600	3827.5
0.25	Boru	Üçgen	2	0.4	16	600	3814.4
0.25	Boru	Üçgen	2	0.4	18	600	3824.6
0.25	Boru	Üçgen	2	0.6	10	600	3835.4
0.25	Boru	Üçgen	2	0.6	14	600	3811.8
0.25	Boru	Üçgen	2	0.6	16	600	3804.3
0.25	Boru	Üçgen	2	0.6	18	600	3820.2



Şekil 4.4: Gövde tarafı akışkan hızıyla maliyetlerin değişimi

Sıcak akışkanın boru tarafından aktığı durumda, boru içi akışkan debisi sabit tutularak %15 şaşırtma levhası kesme oranında gövde tarafındaki akışkan hızı 0.19 m/s'den 0,92 m/s'ye arttırıldığında yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam maliyetin değişimi Şekil 4.4'ten görülmektedir. Gövde tarafı akışkan hızı yaklaşık olarak 0.77 m/s iken Yatırım maliyeti ile işletme maliyeti yaklaşık olarak 2800 TL civarında kesişmektedir. Fakat optimum maliyet gövde tarafı akışkan hızı 0.29 m/s iken, toplam maliyet eğrisinin minimum olduğu 3728.2 TL değeridir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çok yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tiplerinden biri olan gövde borulu ısı değiştiricilerinin tasarım optimizasyonu için bir rastsal arama metodu olan genetik algoritma yönteminin uygulaması yapılmıştır. Sıcak ve soğuk akışkan sıcaklıkları, sıcak ve soğuk akışkan debileri, pompa verimi, faiz oranı, enflasyon oranı, elektrik birim maliyeti, ısı değiştirici birim maliyeti, sistem ömrü ve yıllık çalışma süresi gibi tasarım verileri kullanılmıştır. Sıcak akışkanın akış yeri, boru diziliş şekli, boru geçiş sayısı, boru iç çapı, gövde iç çapı, şaşırtma levhası kesme oranı ve şaşırtma levhaları arası mesafeden oluşan tasarım değişkenleriyle elde edilebilen 16384 adet farklı kombinasyon arasından optimum maliyeti sağlayan değişkenler basınç düşümü sınırlamasıyla birlikte genetik algoritma yöntemi ile bulunmuştur.

Genetik algoritma, gelişgüzel şekilde ebeveyn seçimini ve eski nesillerden çaprazlama yöntemini kullanır. Böylece etkin bir şekilde elde edilen bilgilere dayanarak yeni kombinasyonlar oluşturur ve uygunluk değeri daha iyi yeni kuşaklar geliştirir. Yazılan genetik algoritma programından elde edilen veriler de bunu göstermiştir. İterasyon sayısı arttıka popülasyondaki bireylerin uygunlukları giderek iyileşmekte ve daha iyi bireyler oluşturulmaktadır. Genetik algoritma, tek nokta üzerine değil noktalar topluluğu ile araştırma yaptığından diğer optimizasyon yöntemlerine göre yerel optimum tuzağına düşme olasılığı daha zayıftır.

Yapılan optimizasyon çalışmasından elde edilen bilgilere göre sıcak akışkanın akış yeri için boru tarafının seçilmesi, şaşırtma levhası kesme oranı için %15 - %25, boru diziliş şekli için üçgen diziliş, boru geçiş sayısı için 2, şaşırtma levhaları arası mesafe için gövde dış çapının 0.4- 0.6 katı ve 600 mm gövde dış çapı için 10 mm - 18 mm arası boru çapları toplam yıllık maliyet yönünden uygun ısı değiştiricisi tasarımına olarak sağlamaktadır. şaşırtma levhası kesmesinin ve şaşırtma levhaları arası mesafenin düşük seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhaları arası mesafe arttığında ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü azalacaktır. Basınç düşümü azaldığında pompa elektrik sarfiyatı ve maliyetler azalacak fakat ısı taşınım katsayısı

azaldığında gerekli ısı transferinin sağlanması için ısı geçiş alanı ve yatırım maliyeti artacaktır.

Ayrıca çalışmada faiz oranı ve enflasyon oranı gibi ekonomik değerler de dikkate alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı zamana göre sabit alınan bu parametrelerde meydana gelebilecek değişiklikler optimizasyon sonucuna doğrudan etki eder.

Sonuç olarak gövde borulu ısı değiştiricilerinin tasarım optimizasyonu için genetik algoritma yönteminin uygulanmasına olanak sağlayan bir program geliştirilmiş ve bu program vasıtasıyla optimum tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Yazılan program ilgili literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AKOĞLU, K., 2006, *Konteynir Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ALTAY, A., 2007, *Genetik Algoritma ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ANDERSON, A., ve SIMPSON, A.R., 1996, *Genetic Algorithm Optimization Software in Fortran*, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Research Report No. R136
- BABU, B.V. ve MOHIDDIN, S.B., 1999, *Automated Design of Heat Exchangers Using Artificial Intelligence Based Optimization*, Proceedings of International Symposium & 52nd Annual Session of IIChe, 20-23 Aralık 1999, Panjab University, Chandigarh.
- BAĞIŞ, A., 1996, *Genetik Algoritma Kullanılarak Ders Programının Optimum Şekilde Düzenlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BAŞKAL, T., 2008, *Genetik Algoritma Yardımıyla Dişlilerde Optimum Modül Seçimi ve Dişlilerin Boyutlandırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BEJAN, A. ve KRAUS A.D., 2003, *Heat Transfer Handbook*, Jhon Wiley & Sons, New Jersey, 0-471-39015-1.
- BİNGÜL, Dr. A., 2011, *Temel Yönleriyle FORTRAN 90/95/2003*, [online], Gaziantep Üniversitesi, <http://www1.gantep.edu.tr/~bingul/f95/?ders=1>, [Ziyaret Tarihi: 02 Şubat 2012]
- CAPUTO, A.C., PELAGAGGE, P.M., SALINI, P., 2007, Heat Exchanger Design Based on Economic Optimisation, *Applied Thermal Engineering*, 28 (2008), 1151-1159.
- CHAMBERS, L., 2001, *Practical Handbook of Genetic Algorithms, Applications*, Chapman & Hall/CRC, USA, 1-58488-240-9.
- COLEY, D.A., 1999, *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*, World Scientific, Singapore, 981-02-3602-6.
- DELİKTAŞ, B., BİKÇE M., COŞKUN, H., TÜRKER, H.T., 2009, Betonarme Kirişlerin Optimum Tasarımında Genetik Algoritma Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi, *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (2), 125-132.
- DIWEKAR, U.M., TAYAL, M.C., FU, Y., 1999, *Optimal Design of Heat Exchangers: A Genetic Algorithm Framework*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38 (2), 456-467.

- DURMAZ, M., 2007, *Isı Geri Kazanım Isı Değiştiricilerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EMEL, G.G., ve TAŞKIN, Ç., 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 129-152.
- EMEL, G.G., ve TAŞKIN, Ç., 2009, *Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar*, Alfa Akademi, Bursa.
- GEN, M. ve CHENG, R., 2000, *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*, Jhon Wiley & Sons, Canada, 0-471-31531-1.
- GENCELİ, O.,F., 2005, *Isı Değiştiricileri*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 9789755112183
- GOLDBERG, D. E., 1989, *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley Longman Publishing, USA, 0201157675.
- GUTIERREZ, A.J., PONCE-ORTEGA, J.M., GONZALEZ, M.S., 2008, Use of Genetic Algorithms for The Optimal Design of Shell and Tube Heat Exchangers, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2009), 203-209
- GÜLSÜN, B., TUZKAYA, G., DUMAN, C., 2009, Genetik Algoritmalar ile Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10 (1), 73-87.
- HAUPT, R.L. ve HAUPT, S.E., 2004, *Practical Genetic Algorithms*, Jhon Wiley & Sons, New Jersey, 0-471-45565-2.
- INCROPERA, F.P., ve DEWITT, D.P.,2001, *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür, İstanbul, 975-04-0106-9.
- KAKAÇ, S. ve LIU, H., 2002, *Heat Exchangers; Selection, Rating and Thermal Design*, CRC,USA, 0-8493-0902-6.
- KAYA, M., 1999, *Genetik Algoritma ve Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KIZILKAN, Ö., 2007, Gövde Borulu Bir Isı Değiştiricisinde Şaşırtma Levhasının Isı Taşınım Katsayısına ve Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (3), 246-251.
- KURŞUN, U. ve KAPAT, J.S., 2007, Modeling of microscale gas flows in transition regime part I: Flow over backward facing steps, *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering*, 11, 15-30
- LEONG, K.C., TOH, K.C., LEONG, Y.C., 1998, Shell and Tube Heat Exchanger Design Software for Educational Applications, *Int. J. Engng. Ed.*, 14 (3), 217-224.

MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin güçlendirilmesi Projesi), 2008, *Kimya Teknolojisi, Borulu Isı Değiştiriciler*, Ankara.

MITCHELL, M., 1999, *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT, London, 0-262-13316-4 (HB), 0-262-63185-7 (PB).

MUKHERJEE, R., 1998, Effectively Design Shell and Tube Heat Exchangers, *Chemical Engineering Progress*, American Institute of Chemical Engineers.

PARLAK, M., 2007, *Genetik Algoritmaların Hesapsal ve Yapısal Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

PARMAKSIZOĞLU, C. ve ÇETECİ, Ö., 1999, *Isı Değiştiricisi Tasarımı*, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 4-7 Kasım 1999, İzmir.

RAJASEKARAN, S. ve KANNADASAN, Dr. T., 2010, Optimization of Shell and Tube Heat Exchangers Using Modified Genetic Algorithm, *International Journal of Control and Automation*, 3 (4) .

SELBAŞ, R., KIZILKAN, Ö., REPPICH, M., 2005, A New Design Approach for Shell and Tube Heat Exchangers Using Genetic Algorithms From Economic Point of View, *Chemical Engineering and Processing*, 45 (4) (2006), 268-275

SERNA, M., ve JIMENEZ, A., 2010, An Efficient Method for the Design of Shell and Tube Heat Exchangers, *Heat Transfer Engineering*, 25 (2), 5-16

SIVANANDAM, S.N. ve DEEPA, S.N., 2008, *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 978-3-540-73189-4.

TEKİN, S., 2006, *Gövde Boru Tipi Isı Değiştiricilerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TOSUN, E., 2006, *Frezeleme İşlemlerinde Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Kesme Koşullarının Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TURGUT, P., GÜMÜŞÇÜ, M., ARSLAN, A., Genetik Algoritmalar ve Çalışma Prensipleri, *GAP 4. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 6-8 Haziran 2002, Şanlıurfa, 1173-1179.

TSE, *Eşanjörler Isıtma Tesisleri İçin*, TS 1996- Nisan 1975, 2. Baskı Mayıs 1982

XU, M., CHENG, L., GUO, J., 2009, Optimization Design of Shell and Tube Heat Exchanger by Entropy Generation Minimization and Genetic Algorithm, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2009), 2954-2960 .

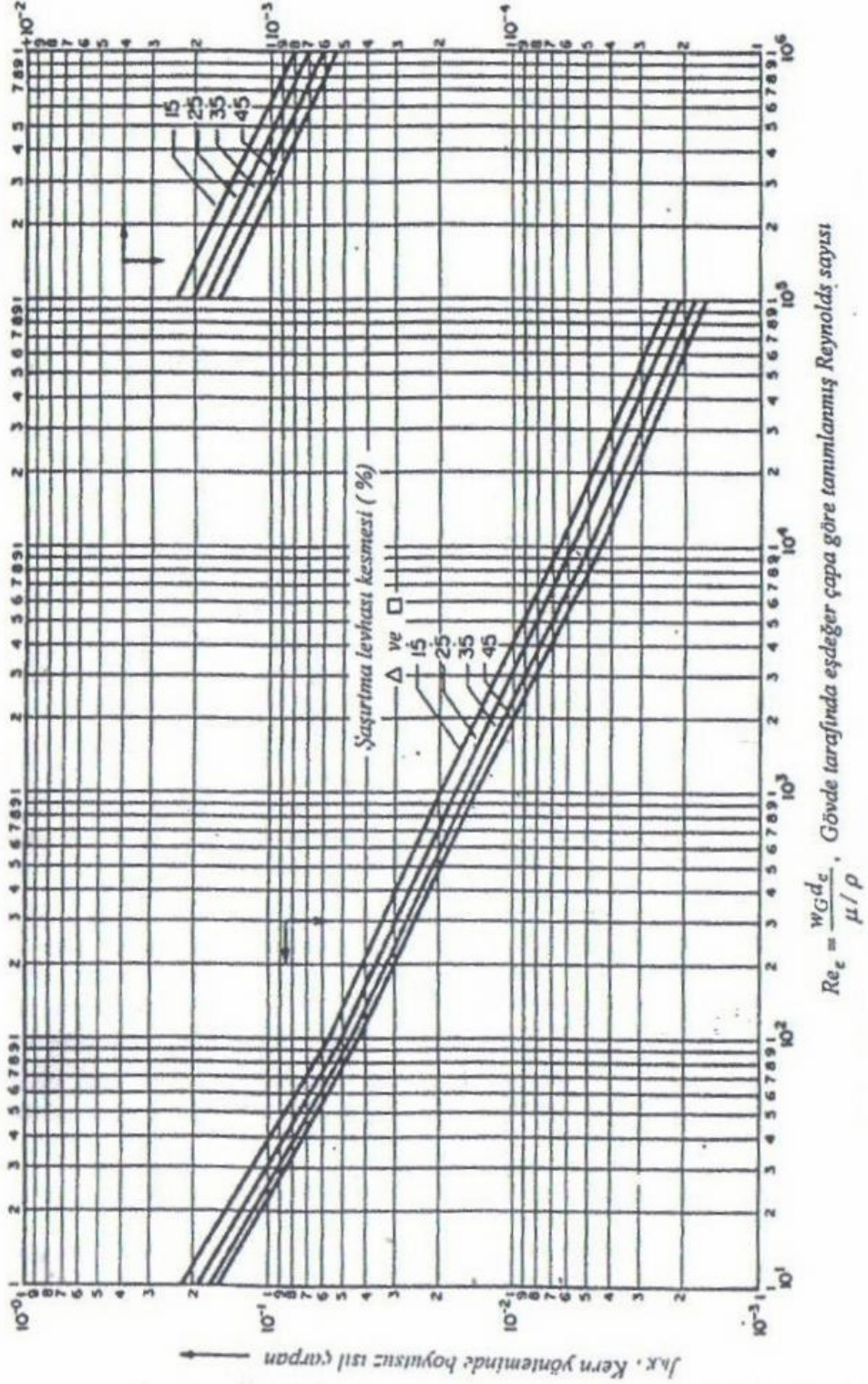
YAKUT, G., 2007, *Gövde Borulu Isı Değiştiricisinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

YAMAN, M., 2007, *Genetik Algoritma ile Kardan Mili Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

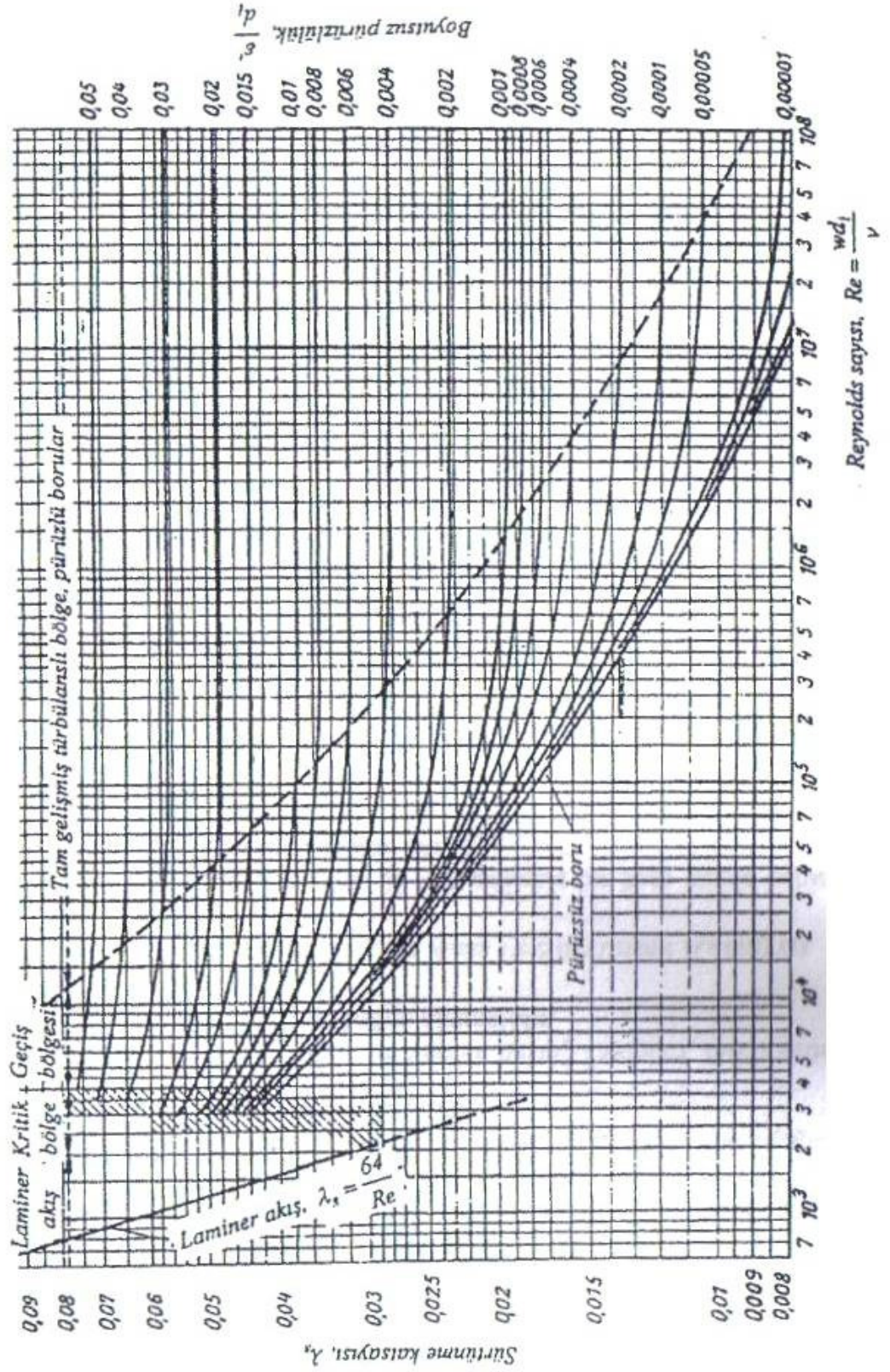
ZEYVELİ, M., 2005, *Genetik Algoritma ile Hız Kutusu Dişli Tasarımı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

EKLER

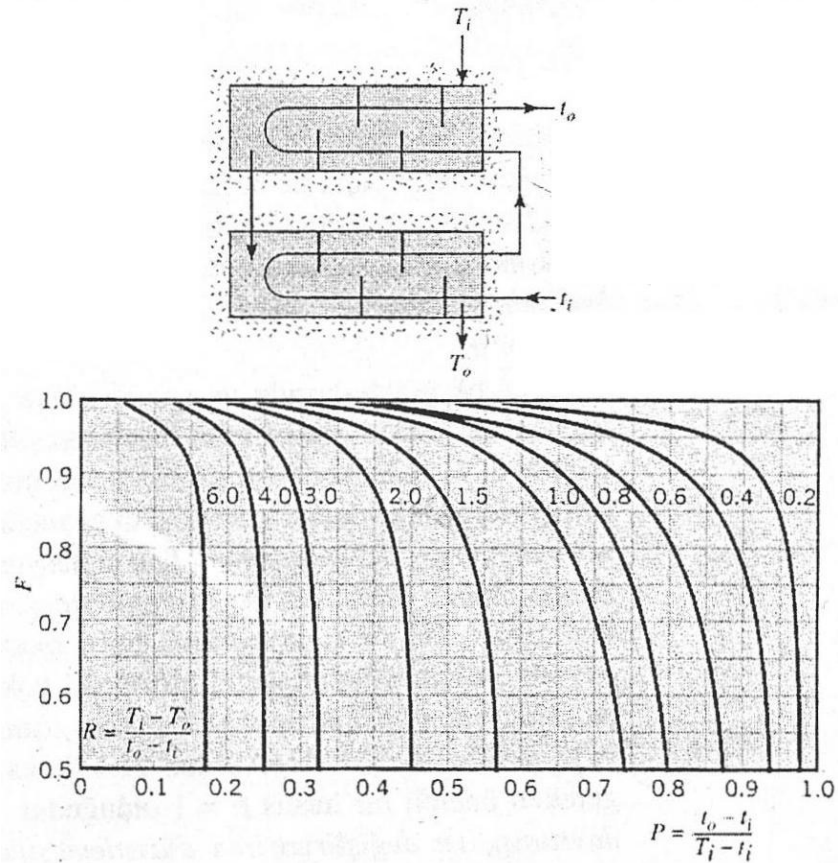
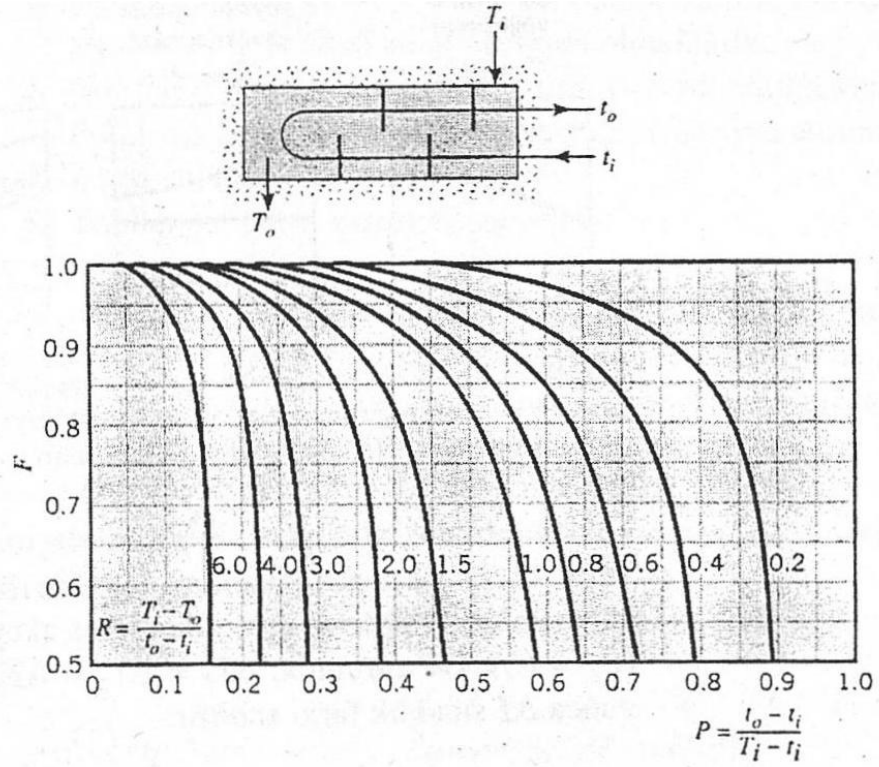
EK 1. Gövde Tarafında Boyutsuz Isıl Çarpanın Reynolds Sayısı İle Değişimi



EK 2. Moody Diyagramı



EK 4. Gövde Borulu Isı Değiştiricilerinde Sıcaklık Düzeltme arpanı



ÖZGEÇMİŞ

Serdar ÇOLAK 10/04/1984'te Kocaeli, Karamürsel'de doğdu. İlköğretimini Mehmetçik İlköğretim Okulu'nda, ortaöğretimini Süleyman Nazif Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. 2007 yılında bu bölümden 2.'lik derecesiyle mezun oldu. 2009 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir. İngilizce bilmektedir. 2007 yılından beri Has Plastik San. ve Tic. A.Ş.'de üretim mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.