

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE
MODELLENEN ISI DEĞİŞTİRİCİNİN TASARIM
DUYARLILIK ANALİZİ İLE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Cenk ALAYBEYOĞLU

Anabilim Dalı: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: KATI CİSİMLERİN MEKANİĞİ

EKİM 2007

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
MODELLENEN ISI DEĞİŞTİRİCİNİN TASARIM
DUYARLILIK ANALİZİ İLE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Cenk ALAYBEYOĞLU
503031506**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Eylül 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Ekim 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ata MUĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Ekrem TÜFEKÇİ (İTÜ)
Yrd.Doç.Dr. Vedat DOĞAN (İTÜ)**

EKİM 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında bilgisi ile beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Ata MUĞAN' a, yüksek lisans yapmam için beni yüreklendiren eski departman müdürüm Yük.Mak.Müh. Halil TULGAR' a, klima sistemleri hakkında yetersiz kaldığım noktaları aydınlatan Yük.Mak.Müh. Metin TUZTAŞ' a, çalışma arkadaşım Mak.Müh. Emrah YILMAZ' a ve dostum Gürkan GÜR' e teşekkür ederim.

Ekim 2007

Cenk ALAYBEYOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Isı Transferi	2
2.1.1. Isı İletimi	3
2.1.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon)	4
2.1.3. Isıl Işıma	5
2.2. Klimanın Genel Çalışma Prensibi	6
2.3. Isı Değiştirici	7
2.3.1. Tanımı ve Çalışma Prensibi	7
2.3.2. Sınıflandırılması	9
2.3.2.1. Faz Değişimine Göre	9
2.3.2.2. Sıcak ve Soğuk Akışkanın Karışmasına Göre	9
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi	12
2.4.1. Bir Boyutlu Sınır-Değer Problemleri	12
2.4.1.1. Varyasyon Formun Oluşturulması	12
2.4.1.2. Galerkin Yakınsama Metodu	14
2.4.1.3. Matris Eşitliğinin Oluşturulması	16
2.4.2. Çok Boyutlu Sınır-Değer Problemleri	18
2.4.2.1. Isı Transferi	18
2.4.2.2. Elastostatik	22
3. SİSTEM GİRDİLERİ	26
4. SİSTEM ÇIKTILARI	29

4.1. Özdeğerin Bulunması	30
4.1.1. Boru Katılık Matrisinin Bulunması	30
4.1.2. Dirsek Katılık Matrisinin Bulunması	32
4.1.3. Kanat Katılık Matrisinin Bulunması	41
4.1.4. Sınır Koşullarının Tanımlanması	42
4.1.5. Sistemin Global Katılık Matrisinin Bulunması	42
4.2. Isı Geçiş Miktarının Bulunması	43
4.2.1. Kanatlı Yüzeyler için Isı Geçiş Katsayısı Hesabı	43
4.2.1.1. Kanat Verim Hesabı	47
4.2.2. Çıplak Yüzeyler için Isı Geçiş Katsayısı Hesabı	48
4.2.3. Toplam Isı Geçişinin Bulunması	49
4.3. Malzeme Maliyetinin Bulunması	51
5. ANALİZ	52
5.1. En Yüksek ve En Düşük Girdilere Karşılık Çıktıların İncelenmesi	52
5.2. Girdilerdeki Küçük Artışlara Karşılık Çıktı Değerlerinin İncelenmesi	54
5.2.1. Boru Çapı	54
5.2.2. Boru Et Kalınlığı	56
5.2.3. Kanat Sayısı (FPI)	58
5.2.4. Kanat Kalınlığı	60
5.2.5. Kanat Genişliği	62
5.2.6. Çıktı Değerlerinde Değişimin Karşılaştırılması	64
5.3. Optimal Şartları Sağlayan Girdilerin Bulunması	65
6. SONUÇ	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	70

KISALTMALAR

FPI : Bir inç'teki kanat sayısı (Fin Per Inch)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Sistem Girdileri ve Değerleri	27
Tablo 3.2 Boru Çapına Bağlı Sistem Girdileri ve Değerleri.....	27
Tablo 5.1 Sistem Girdi Kombinasyonlarına Göre Çıktı Değerleri.....	53
Tablo 5.2 Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).....	54
Tablo 5.3 Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).....	55
Tablo 5.4 Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu)...	56
Tablo 5.5 Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al)....	57
Tablo 5.6 Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).	58
Tablo 5.7 Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al)..	59
Tablo 5.8 Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).....	60
Tablo 5.9 Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).....	61
Tablo 5.10 Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).....	62
Tablo 5.11 Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).....	63
Tablo 5.12 Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (cu)..	64
Tablo 5.13 Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (al)...	64
Tablo 5.14 Optimum Girdi Kombinasyonu (cu).....	66
Tablo 5.15 Optimum Girdi Kombinasyonu (al).....	66

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Sistemin Girdi ve Çıktıları.....	1
Şekil 2.1	Soğutma Çevrimi	6
Şekil 3.1	Sistemin Girdilerinin Tanımlanması.....	26
Şekil 4.1	Sistem Eleman ve Düğüm Noktaları.....	29
Şekil 4.2	Boru Elemanı için Koordinat Sistemi.....	30
Şekil 4.3	Dirsek Elemanı için Koordinat Sistemi.....	32
Şekil 4.4	Kanat Elemanı için Koordinat Sistemi.....	41
Şekil 4.5	Yoğunlaştırıcı Boru - Kanat Elemanı.....	43
Şekil 4.6	Yoğunlaştırıcı boru - kanat kesiti.....	44
Şekil 4.7	Kanadın Geometrik Özellikleri.....	44
Şekil 4.8	Kanathlı Yüzey için Isıl Devre.....	46
Şekil 4.9	Çıplak Yüzey için Isıl Devre.....	48
Şekil 4.10	Sistem Giriş-Çıkış Sıcaklıkları.....	50
Şekil 5.1	Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).....	55
Şekil 5.2	Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).....	56
Şekil 5.3	Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu)...	57
Şekil 5.4	Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al)....	58
Şekil 5.5	Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).	59
Şekil 5.6	Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al)..	60
Şekil 5.7	Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).....	61
Şekil 5.8	Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).....	62
Şekil 5.9	Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (cu).	63
Şekil 5.10	Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (al)..	64

SEMBOL LİSTESİ

A_{bm}	: Ortalama boru çapındaki ısı geçiş alanı
A_{co}	: Boru gömleği ısı geçiş alanı
A_f	: Kanat yüzey alanı
A_{fy}	: Kanat levhasının yüzey alanı
A_i	: Boru iç yüzey alanı
b	: Eğilme etkisi (bending effect)
d_i	: Boru iç çapı
d_m	: Ortalama boru çapı
d_o	: Boru dış çapı
d_y	: y eksenine göre kesme etki katsayısı
d_z	: z eksenine göre kesme etki katsayısı
E	: Elastisite modülü
e	: Zar etkisi (membrane effect)
G	: Kayma modülü
h_d	: Dış ortam taşınım katsayısı
h_i	: İç ortam taşınım katsayısı
I_s	: Burulma atalet momenti
I_y	: y-eksenine göre atalet momenti
I_z	: z-eksenine göre atalet momenti
J	: Polar atalet momenti
k_b	: Boru ısı iletim katsayısı
k_k	: Kanat ısı iletim katsayısı
L	: Yoğunlaştırıcının toplam uzunluğu
L_b	: Yoğunlaştırıcının toplam boru uzunluğu
L_{co}	: Boru gömleği boyu
L_d	: Toplam dirsek boru boyu
L_f	: Yoğunlaştırıcının kanatlı bölümünün uzunluğu
m	: Kanat parametresi
n_c	: Toplam akışa dik boru sayısı
n_f	: Toplam kanat sayısı
R	: Dirsek yarıçapı
R_b	: Boru ısı direnci
R_c	: Temas ısı direnci
R_{co}	: Boru gömleği ısı direnci
R_f	: Kanat ısı direnci
R_h	: Üretim hurda faktörü
R_i	: Boru iç yüzeyi ısı direnci
r_e	: Eşdeğer kanat yarıçapı
S_t	: Akışa dik iki boru arasındaki mesafe
s_k	: 1 cm' deki kanat sayısı
T_{a2}	: Akışkanın çıkış sıcaklığı
T_{a1}	: Akışkanın giriş sıcaklığı

T_{h2}	: Havanın çıkış sıcaklığı
T_{h1}	: Havanın giriş sıcaklığı
t	: Burulma etkisi (torsional effect)
t_b	: Boru et kalınlığı
t_k	: Kanat kalınlığı
w_k	: Kanat genişliği
α	: Dirsek açısı
κ_y	: y eksenine göre kesme faktörü (shear factor)
κ_z	: z eksenine göre kesme faktörü (shear factor)
η_f	: Kanat verimi
ν	: Poisson katsayısı
Φ	: Kanat geometri parametresi
ΔT_b	: Birim uzunluktaki sıcaklık değişimi

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENEN ISI DEĞİŞTİRİCİNİN TASARIM DUYARLILIK ANALİZİ İLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada ısı değiştirici dışında kalan tüm klima komponentler kapsam dışı tutularak ve sadece ısı değiştiricinin ısı transferine, malzeme maliyetine ve çalışma frekansına etki eden faktörler kullanılarak çıktıların optimal noktası bulunmaya çalışılmıştır.

Sistem girdileri olarak ısı değiştiricide kullanılan boruların çapı (d_o), et kalınlığı (t_b), malzemesi (m_{trl}) ile yüzey alanını arttırmak için kullanılan kanatların et kalınlığı (t_k), genişliği (w_k) ve sayısı (FPI) alınmıştır.

En küçük özdeğerin ve ısı taşınım miktarının bulunabilmesi için sistem yapısal ve ısısal olmak üzere sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Isı değiştiricinin yapısal modelinin $[K]$ katılık matrisi bulunmuş ve özdeğerler hesaplanmıştır. Isı değiştirici üzerinden geçen ısı yükünü bulmak için her bir elemanın ısı geçiş direnci bulunarak toplam ısı direnci hesaplanmıştır. Malzeme maliyeti de toplam malzeme sarfının birim malzeme fiyatı ile çarpılması ile bulunmuştur.

Analiz üç ana adımda yapılmıştır. İlk aşamada sistem girdilerinin en yüksek ve en düşük değerleri ile bölüm çıktıları hesaplanmış ve her bir çıktının ideal değerinin farklı girdi kombinasyonlarda bulunduğu tespit edilmiştir. İkinci aşamada sistem girdilerinin çıktıların üzerinde nasıl etkisi olduğunu ya da başka bir deyişle çıktıların değişiminin girdilerin değişimine ne kadar duyarlı olduğunu anlamak için Duyarlılık Analizinden (Sensitivity Analysis) yararlanılmıştır. Sırayla her bir girdi, diğerleri sabit kalmak şartıyla, %10 arttırılarak çıktılar incelenmiştir. Çıktılar normalize edilerek değişim oranları karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise çıktılar arasında bir

eşitlik kurularak çıktıların optimal noktasına karşılık gelen girdiler bulunmuştur. Bu analizler çıktılarının hesaplanması için Matlab 'da sonlu eleman programı yazılmıştır.

Analiz sonucuna göre en belirgin farklılık boru malzemesinde ortaya çıkmıştır. Klimalarda kullanılan ısı değiştiricilerde alüminyum boru kullanılmasına çok yakın bir zamanda başlanılmış ve henüz yaygınlaşmamıştır. Fiyat ve özgül ağırlık olarak bakır borululara göre çok avantajlı olan alüminyum borulu ısı değiştiricilerin üretiminde bazı dezavantajlar vardır. Özellikle boru genişletme operasyonunda oluşan havşa yırtıkları ile kaynak operasyonunda meydana gelen kaynak noktalarındaki kaçaklar yaklaşık %10 civarında üretim hurdasına sebep olmaktadır. Üretim kalitesinin iyileştirilmesi bu dezavantaj zamanla ortadan kalkacaktır. Bu nedenle üretim hurda faktörü (R_h) iyileştirmelere paralel olarak tekrar ele alınmalı ve malzeme maliyeti yeniden hesaplanıp optimal nokta bulunmalıdır.

Bu çalışmada üretim verimliliği dikkate alınmamıştır. Üretimi bakır borulu ısı değiştiricilerine göre daha zor olan alüminyum ısı değiştiricilerin üretimde oluşabilecek verimsizlikler malzeme maliyetine ilave edilmelidir.

OPTIMIZATION OF HEAT EXCHANGER, WHICH IS MODELLED WITH FINITE ELEMENT METHOD BY USING SENSITIVITY ANALYSIS

SUMMARY

All of the air conditioning unit components except heat exchanger are not taken in scope of this study. Only using heat exchanger's parameters that have effects on heat transfer, material cost and working frequency, optimum parameters are tried to find out.

Heat exchanger pipe diameter (d_o), wall thickness (t_b), material (mtrl) and fin thickness, (t_k), width (w_k), quantity (FPI) are taken as system inputs.

To find the eigenvalues and heat transfer, structural and thermal models are formed by using Finite Element Method. The stiffness matrix $[K]$ of structural system is calculated and eigenvalues are obtained. By summing all element heat thermal resistances, total heat resistance is calculated. To obtain the total amount of material cost, unit price of material is multiplied by total weight of the material.

The analysis is completed in three main steps. In the first step, by using the largest and the smallest inputs, outputs are calculated. When the results are examined, it is seen that optimum values of each output has different input combinations. In the second step, to see the effects of inputs on the outputs or how sensitive outputs in response to inputs, Sensitivity Analysis is used. After each input are increased 10 percent while other inputs are constant, the results and variations after normalization are compared. Finally in the last step, optimum result of input combination is determined. Finite element program was written to calculate the outputs in Matlab.

According to the analysis results the major difference come out in the pipe material. Among the air conditioning unit, using aluminum pipes has recently started but still it

is not common and widespread. Although aluminum piped heat exchangers have an advantage compared to copper piped heat exchangers in terms of price and specific weight, there are disadvantages in producing them. Especially in the process of expanding the pipes causing flare defects and consequently the brazing defects at brazing station totally result in a loss of % 10 out of the production quantity. Increasing the process and quality will eliminate this disadvantage in time. Due to this, Production Scrap Factor (R_h) should be reviewed regarding the improvements and after calculating the material cost again the optimum point should be found out. In this study, productivity is not considered. Losses arising in production of Aluminum piped heat exchangers, that is more difficult to produce comparing the copper piped heat exchangers, should be added to material cost.

1. GİRİŞ

Klimalarda kullanılan buharlaştırıcı (evaporatör) ve yoğunlaştırıcı (kondanser) birer ısı değiştiricidirler. Bu ısı değiştiricilerin klimanın soğutma ve ısıtma performansı ile birim maliyetine etkisi çok büyüktür. Bunların dışında ısı değiştiricilerin klima şasesine iyi bir şekilde sabitlenmesi ses problemi ve titreşim nedeniyle oluşabilecek kaynak noktalarının zamanla kopması bakımından da ayrı bir öneme sahiptir. Bir ısı değiştiricisi tasarlarken bu faktörler göz önünde tutulmalıdır.

Isı değiştiricilerin görevi, soğutucu akışkan ile ısı transferi yaparak akışkana ısı vermesi ya da akışkandan ısı almasıdır. Isı transferini arttırmak için ısı değiştiricinin akışkan ile olan temas alanını artırılır. Alanın büyümesi ise beraberinde kullanılan malzemenin artmasına dolayısıyla da birim malzeme maliyetinin yükselmesine neden olur. Isı transferinin artmasını sağlarken malzeme maliyetini azaltmaya çalışmak çok parametrelili optimizasyon problemidir.

Bu çalışmada ısı değiştirici dışında kalan tüm komponentler kapsam dışı tutulacak ve sadece ısı değiştiricinin ısı transferine ve malzeme maliyetine etki eden faktörleri göz önüne alınarak çıktıların optimal noktası bulunmaya çalışılacaktır. Şekil 1.1'de girdiler ve çıktılar tanımlanmıştır.



Şekil 1.1 : Sistemin Girdi ve Çıktıları.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Isı Transferi

İki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkı olduğu zaman enerji transfer edilmektedir. Yalnız sıcaklık farkından dolayı bir sisteme transfer edilen bu enerjiye, termodinamikte ısı enerjisi denilmektedir. Diğer taraftan termodinamiğin ikinci kanuna göre ısı, sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru akmaktadır. İki sistem, bir cismin muhtelif parçaları olabilir. Enerjinin muhtelif şekilleri ve bunların birbirlerine dönüşümleri ile uğraşan termodinamik biliminde, ısı ve iş, geçici enerji şekilleri olarak tarif edilir; çünkü bunlar, iki sistem arasında veya bir sistem ile çevresi arasında yalnız enerji alışverişi olduğu zaman mevcuttur. Isı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ancak doğurduğu tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir [1].

Termodinamikte ısı ve iş, bir işlem esnasında sistemin sınırından akan enerji olarak tarif edilirler. Termodinamik daima denge durumundaki sistemlerle meşgul olur; bir sistemi belirli bir denge durumundan başka bir denge durumuna getirmek için lazım olan enerji miktarı termodinamik kanunlarından bulunur; termodinamik bakımından, bir işlem esnasında bir sisteme transfer edilen ısı miktarı, sistemin iç enerji değişimi ile sistem tarafından yapılan işin toplamına eşittir. Fakat termodinamik, bu ısı enerjisinin nasıl transfer edildiği, yani ısı akımının fiziki mekanizması hakkında hiçbir bilgi vermediği gibi, bu miktar ısı transfer etmek için lazım olan zamanla da ilgilenmez. Termodinamik analizinde bu türlü malumatın elde edilemeyeşinin başlıca sebebi, zamanın bir değişken olarak bulunmamasındandır.

Belirli bir sıcaklık farkından dolayı birim zamanda transfer edilen ısı miktarının hesabı, mühendislik bakımından esas problemdir. Genel olarak, belirli sıcaklık sınırları arasında çalışan ve belirli bir ısı miktarını, verilmiş bir zaman zarfında

transfer edebilen bir ısıl sistemin boyutlarının, fiyatının ve yapılabilirlik etüdünün hazırlanması ısı transferi analizi ile mümkündür.

Mümkün olan en yüksek verimi gerçekleştirecek şekilde, modern güç santrallerini meydana getiren buhar kazanları veya nükleer reaktörler, türbinler, yoğuşturucular, pompalar, kompresörler, ısı değiştiriciler gibi bileşenlerin tasarımı ve imalatı ısı transferi bilgisine ihtiyaç gösterir.

Fiziki bilimlerin diğer dallarında olduğu gibi ısı transferi problemleri, genel doğa kanunlarından hareket edilerek bunlara bazı tarif veya özel kanunlar ilave ederek formüle edilir. Isı transferi analizlerinin hareket noktası dört doğa kanunu şunlardır.

1. Termodinamiğin birinci kanunu
2. Termodinamiğin ikinci kanunu
3. Kütlenin korunumu kanunu
4. Newton' un ikinci hareket kanunu

Bu kanunların uygulanması, etüt edilen ortamın tabiatına bağlı değildir.

Bunlardan ilk ikisi termodinamiğin esas temelleridir. Birçok ısı iletimi (kondüksiyon) problemleri için birinci ve ikinci kanun yeterli gelmektedir. Fakat ısı taşınımı (konveksiyon) problemlerinde bu kanunlardan 1-3-4 bilhassa önemlidir. Çünkü, ısı konveksiyonunda akışkanlar mekaniği prensipleri uygulanır.

Isı transferinde bir problemin çözümü yukarıda bahsedilen dört doğa kanununa ilaveten üç özel kanun yardımı ile mümkündür.

2.1.1. Isı İletimi

Isı iletimi, bir ortam (katı, sıvı, gaz) içerisinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan doğruya fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin fark edilebilir bir yer değiştirmesi olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu meydana gelen ısı yayımı işlemidir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre, ısı yüksek sıcaklıkta bulunan bir bölgeden düşük sıcaklıktaki bir bölgeye akar. Kinetik teoriye göre bir maddenin sıcaklığı, bu maddeyi meydana getiren

moleküllerin veya atomların ortalama kinetik enerjileri ile orantılıdır. Kinetik enerjinin fazla olması, iç enerjinin fazla olması demektir. Bir bölgede moleküllerin ortalama kinetik enerjisi, sıcaklık farkından dolayı bitişik bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinden fazla ise, enerjileri fazla olan moleküller bu enerjilerini komşu olan moleküllere iletirler. Bu enerji transferi; akışkanlarda moleküllerin elastik çarpışmaları, metallerde ise serbest elektronların yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklık bölgelerine yayılımı ile olur.

Kalınlığı L , yüzey alanı A olan levha üzerinde farklı T_1 ve T_2 sıcaklık değerlerinde yapılan deneyler, eğer $T_1 - T_2$ sıcaklık farkı levha özelliklerini değiştirecek büyüklükte değil ise, birim zamanda iletilen ısı miktarı

$$Q = \frac{\lambda \times A \times (T_1 - T_2)}{L} \quad (2.1)$$

ifadesi ile hesaplanabileceğini göstermiştir.

λ : Malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı

2.1.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon)

Isı taşınımı, akışkan hareketi ile enerji taşınımı işlemidir. Ortam bir sıvı veya gaz ise, akışkan hareketi ile ısı enerjisi bir bölgeden diğer bir bölgeye sıcaklık farkından dolayı transfer edilecektir. Isı transferinin en önemli konusu ısı taşınımıdır. Isı değiştiricilerde akışkanlar, katı cisimler (yüzeyler) ile birbirlerinden ayrılmış olduklarından, ısı taşınımı bir yüzey ile akışkan arasındaki enerji taşınımında en önemli ısı transferi mekanizmasıdır. Yüzey sıcaklığı T_w ile temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m ise yüzey ile akışkan arasında birim zamanda ısı transferi;

$$Q_n = \alpha \times A \times (T_w - T_m) \quad (2.2)$$

ifadesi ile hesaplanır. Bu ifade 1701 senesinde Newton tarafından verilmiş olup, literatürde Newton'un Soğuma Kanunu diye adlandırılır.

α : yüzey ısı transferi katsayısı

2.1.3. Isıl Işıma

Bir cismi meydana getiren elemanter taneciklerin ısı hareketi, elektromagnetik ışıma şeklinde enerji neşretmelerine sebep olur. Sıcaklığın artması, taneciklerin hareketini ve dolayısı ile ışıma şiddetini arttırır. Bu şekilde maddenin sıcaklığı neticesi neşredilen ısı ışıma, aslında radyo dalgaları, ışık, x-ışınları ile aynı tipte olup, yalnız dalga boyları farklıdır. Bazı cisimler bu yapılan ışıma enerjisini soğurur, bazıları yansıtır, bazıları da içlerinden serbestçe geçmelerine müsaade ederler. Bu dalgalar yalnız mükemmel bir boşluktan serbestçe geçerler. Yapılan bu enerji dalgaları soğurgan başka bir ortama tesadüf ettiklerinde enerjilerini bu ortama transfer ederek, bu ortamın ısı hareketlerini artırırlar. Böylece ısı enerjisi, neşredilen sistemden, ışımayı soğuran sisteme transfer edilmiş olur. Sistemlerden birinin sıcaklığı azalırken diğerinin sıcaklığı artar. Bütün cisimler sürekli olarak ısı ışıma neşreder. Neşretme şiddeti, yüzey sıcaklığına ve yüzeyin tabiatına bağlıdır. Böylece yüksek sıcaklıktaki bir sistemden alçak sıcaklıktaki bir sisteme, bu iki sistem uzayda birbirleriyle temas durumu olmaksızın meydana gelen ısı akımı işlemine ışıma ile ısı transferi denir.

İdeal bir radyatörden (kara cisim) toplam ısı ışımayı veren eşitlik 1879 yılında Stefan tarafından ampirik olarak verilmiş ve 1884 de Boltzman tarafından termodinamiğin birinci kanunundan hareket edilerek teorik olarak elde edilmiştir:

$$Q_r = A \times \sigma \times T^4 \quad (2.3)$$

Bu ifade Stefan-Boltzman ısı ışıma kanunu adını alır.

Q_r : saatte ışıma yolu ile A yüzeyinden yayılan ısı

T : yüzeyin mutlak sıcaklığı

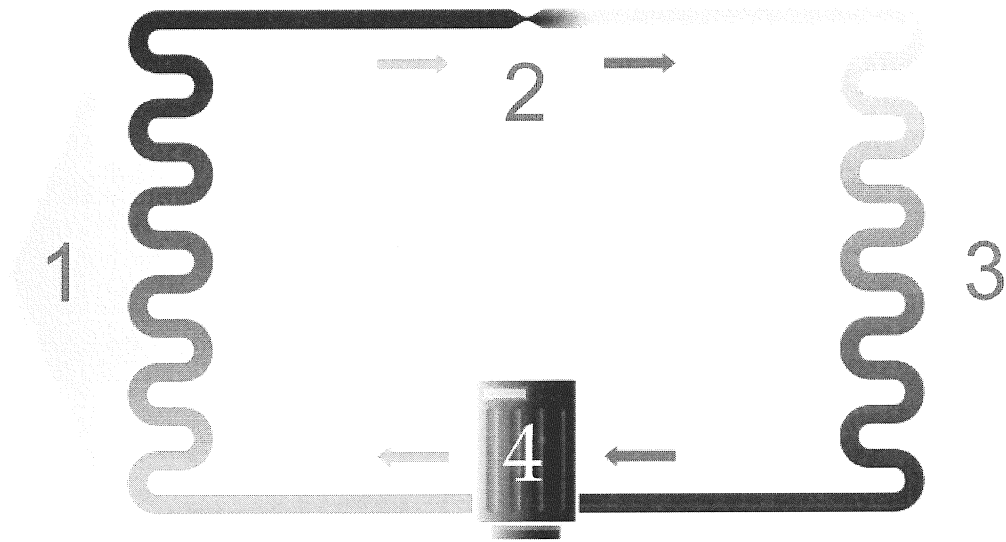
σ : Stefan-Boltzman sabiti

2.2. Klimanın Genel Çalışma Prensibi

Klima, soğutma çevrimi kullanılarak bir ortamdan ısı çekmek (yani o ortamın sıcaklığını azaltmak), fazla nemini alıp ortama taze hava sağlamak için tasarlanmış sistem veya mekanizmadır.

Klimanın çalışma yöntemi, belirli bir basınç altında bulunan sıvı haldeki akışkanın istenilen sıcaklıkta buharlaştırılması ve buhar halden tekrar sıvı hale döndürülmesidir. Çalışma prensibini termodinamiğin ikinci kanunu açıklar.

Soğutma çevrimi Şekil 2.1’ de gösterilen sistemde çevrim malzemesi olarak kullanılan gaz bir kompresör aracılığıyla emilip sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Sıkıştırma sırasında açığa çıkan ısı bir fan vasıtası ile atmosferik çevreye (dış ortama) atılır . Bu sıvı daha sonra genleşme valfi tarafından üzerindeki basıncın düşürülmesi ile bulunduğu ortamdan ısı çekerek gaz haline dönüşür. Bu esnada bulunduğu ortamdan ısı çektiği için ortam sıcaklığını da düşürmüş olur. Soğutma akışkanı kompresör tarafından emilerek çevrim aynı şekilde tekrarlanır.



Şekil 2.1 : Soğutma Çevrimi.

- 1- Yoğuşturucu (Kondanser)
- 2- Genişleme Vanası (Kısılma Vanası olarak da rastlanabilir)

3- Buharlaştırıcı (Evaporatör)

4- Kompresör

Kompresör gazın hacminin indirgenmesi yolu ile gazın basıncını arttıran mekanik bir alettir. Buharlaştırıcıdaki ısı ile yüklü soğutucu akışkanı buradan uzaklaştırır, böylece arkadan gelen ısı yüklenmemiş akışkana yer temin ederek akışın sürekliliğini sağlar ve buhar haldeki soğutucu akışkanın basıncını kondanserdeki yoğuşma sıcaklığının karşılığı olan seviyeye çıkarır.

Buharlaştırıcı (evaporatör) sıvı haldeki soğutucu akışkanın buharlaştığı ve bu sırada bulunduğu ortamdan ısıyı aldığı cihazdır. Buharlaştırıcıya sıvı-buhar karışımı şeklinde giren soğutucu akışkanın büyük bir kısmı sıvı haldedir.

Yoğunlaştırıcı (kondanser) soğutma sisteminde soğutucu akışkanın buharlaştıracıdan aldığı ısı ile kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilave olunan ısının sistemden alınması sağlar. Böylece, soğutucu akışkan sıvı hale gelerek basınçlandırılır ve tekrar genişletilerek buharlaştıracıdan ısı alacak duruma getirilir.

Yukarıda genel olarak bilgi verilen klima sisteminde, soğutucu akışkan ile bulunduğu çevre arasında ısı transferini sağlayan ısı değiştiriciler (yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı) bu çalışmanın konusu olacaktır. Isı değiştiricilerin soğutma kapasitesine etkisi olan başlıca parametreleri çalışmanın girdileri olacak ve bu girdilerin çeşitli varyasyonlarında ısı geçişi, sistemin özdeğeri ve malzeme maliyetleri hesaplanacak ve optimize edilmeye çalışılacaktır.

2.3. Isı Değiştirici

2.3.1. Tanımı ve Çalışma Prensipleri

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıktaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı alışverişini sağlayan tesisatlardır. Isı değiştiricilerine akışkanlar, birbirleri ile karıştırılmadan ısı geçişi yapılan bir yüzeyle birbirlerinden ayrılır. Sanayinin hemen hemen bütün dallarında yaygın olarak kullanılırlar; özellikle ısıtma ve soğutma tesisleri, kuvvet makineleri ile santralleri, kimya tesisleri ve ısı işleme tekniğinde çok önemli yer tutmaktadırlar. Su ile soğutmalı motorlardaki radyatörler, soğutma

tesislerindeki yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcılar, termik kuvvet santrallerinde ve kimya tesislerindeki yoğunlaştırıcı birer örnek olarak verilebilir.

Isı değiştiricileri, tesisin termik verimini arttırması, çevrimin tamamlanması gibi yönlerden başka imal edilen ürünün kalitesi yönünden de önemlidir. Örneğin ısı işlem tekniğinde çoğu kez belirli bir sıcaklığa getirilen bir madde ya egzoterm reaksiyonlar sonucunda ısı açığa çıkarır veya endoterm reaksiyonlar sonunda ısıya ihtiyaç gösterir. Sıcaklık birinci halde artar, ikinci halde ise azalır. Sıcaklığın yükselmesi reaksiyona katılan maddede de parçalanmalara, ayrışmalara sebep olabilir. Düşük sıcaklıklarda ise reaksiyon iktisadi olmayacak şekilde yavaşlar. Bu gibi tesislerde sıcaklığın belirli bir değerde tutulması gerekir. Bu sebeple ısı değiştiricilerinin önemi kolayca anlaşılır.

Isı değiştiricisi içinde yoğuşma ve buharlaşma gibi bir faz değişimi varsa, bu tiplere “Gizli Isı Değiştiricileri”, faz değişiminin olmadığı diğer tiplere ise “Duyulur Isı Değiştiricileri “ adı verilir.

Buhar kazanları, nükleer enerji santralleri ısının kendi içlerinde üretildiği birer ısı değiştiricisi olmasına rağmen, kapsadıkları konular ve özel önlemleri nedeniyle ayrı incelenen sistemlerdir.

Konstrüktif olarak, regeneratif ısı değiştiricinin dışındaki bütün ısı değiştiricilerinde hareketli bir makine parçası yoktur. Pratikte değişik uygulama yerlerinde çok farklı ısı değiştiricisi tipine rastlanabilir. Isı değiştiricileri konstrüksiyonlarına, akış şekillerine, akışkan sayısına, ısı transferi mekanizmasına göre değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Isı değiştiricilerinde şekil ve akım türü ne olursa olsun farklı sıcaklıklarda akışkanlar bulunur. Sıcak akışkan ısı vererek soğurken soğuk akışkan bu ısıyı alarak sıcaklığı yükselir. Aralarında ısı alışverişi bulunan akışkanların ısı değiştirici giriş ve çıkış sıcaklıkları bu yüzden farklı olmaktadır.

2.3.2. Sınıflandırılması

2.3.2.1. Faz Değişimine Göre

- a. Gizli Isı Değiştiricileri : Isı değiştirici içinde yoğuşma ve buharlaşma gibi bir faz değiştirme işlemi varsa bu tiplere verilen addır.
- b. Duyulur Isı Değiştiricileri: Isı değiştirici içinde faz değişimi işlemi yok ise verilen addır.

2.3.2.2. Sıcak ve Soğuk Akışkanların Karışmasına Göre.

- a. Karışımli Isı Değiştiricileri: Her iki akışkan değiştirici içinde karışarak ısı alışverişi gerçekleşir.
- b. Regeneratörler : Regeneratörler, metal ve refraktörlerin kullanıldığı bir ısı transfer ortamına sahip döner elemanlı ısı değiştiricileridir. Sıcak ve soğuk akışkanlar aynı kanallardan ardışık olarak geçmektedir. Ortam belli bir zaman süresince sıcak atık gazlarla ısıtılır. Isı enerjisi kanal duvarına aktarılmakta ve depolanmaktadır.

Ön ısıtılacak soğuk hava daha sonraki belirli zaman boyunca ortamdan geçerek bu ortamın ısınısını alır. Depolama ve boşaltma biçiminde oluşan bu aktarım periyodik olarak devam etmektedir. Ortam değişken olarak atık gazlarla ısıtılmış ve yanma havasıyla soğutulmuş olur.

Regeneratif tip ısı değiştiricileri ikiye ayrılabilir:

- b.1. Sabit Matrisli Regeneratif Isı Değiştiricileri: Yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Örneğin; cam eritme fırınlarında yüksek sıcaklıklı fırınlarda.
- b.2. Döner Matrisli Regeneratif Isı Değiştiricileri: Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Örneğin; buhar kazanları. Düşük sıcaklıktaki atık ısı değiştiricilerinin kullanımı genelde ekonomik olmamaktadır. Bunun sebebi atık ve taze akışkanlar arasındaki sıcaklık farkının küçük olması, atık akışkanın tasarım ve işletim yönünden sınırlama getiren özelliklerdir. Döner tip ısı değiştiricileri sıcaklık farklarının düşük olduğu, akışkanlar arasında nem transferinin istendiği durumlarda uygun olmakta bu da sistemin ilk yatırım maliyetlerinin düşük olmasını sağlamaktadır.

c. Yüzeyli Isı Değiştiricileri: Birbirinden bir sınır yüzeyiyle ayrılmış iki akışkanın aynı anda farklı iki bölgeden geçerken aralarında ısı alışverişinin olduğu ısı değiştiricileridir. Bu ısı değiştiricilerinde sıcak akışkan, bir giriş sıcaklığından bir çıkış sıcaklığına kadar soğurken, ısıtılmak istenen soğuk akışkan bir giriş sıcaklığından bir çıkış sıcaklığına kadar ısınır. Yüzeyli ısı değiştiricilerinde ısı değişimi sürekli olarakdır. Sıcak ve soğuk akışkanlar öngörülen bölmelerden süratle geçerken sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transfer edilir. Yüzey ısı değiştiricileri ısıtma yüzeyine göre Borulu ve Levhalı olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Yüzeyli ısı değiştiricilerinin akış şekline göre sınıflandırılması:

c.1. Tek Geçişli Isı Değiştiricileri:

Bu tipler, paralel, ters ve çapraz akımlı olmak üzere üç grupta toplanabilirler.

c.1.1. Paralel Akımlı Isı Değiştirici: Bu akım şeklinde akışkanlar, ısı değiştiricinin bir ucundan girip, aynı doğrultuda akarlar ve ısı değiştiricinin diğer ucundan çıkarlar. Bu tip ısı değiştiricilerde soğuk ve sıcak akışkan aynı kesitten girerler.

c.1.2. Ters Akımlı Isı Değiştiricileri: Bu tip ısı değiştiricilerinde akışkanlardan biri boru içinden akar. Diğer boruların dışından ters yönde akar. Ters akımlı ısı değiştiricilerinde ortalama logaritmik sıcaklık farkı diğer bütün düzenlemelerden daha büyüktür. Diğer tiplere göre daha kompakt ısı değiştiricileri olmasına rağmen pratikteki imalat güçlükleri, ısı transfer yüzeyindeki ısı gerilmeleri ve korozyon tehlikesi nedeniyle bir çok uygulamada ters akımlı ısı değiştirici tercih edilmeyebilir.

c.1.3. Çapraz Akımlı Isı Değiştiricileri: Bu tip akışkanlar değiştirici içinde birbirine dik olarak akarlar. Akışkanlar değiştirici içerisinde ilerlerken kendisi ile karışabilir veya karışmayabilir. Akışkan değiştirici içerisinde bireysel kanallar (veya borular) içinde akıyor ise ve bitişik kanal içindeki akışkan ile karışmıyor ise bu akış şekline "karışmayan" adı verilir.

Isı geçişinin etkinliği yönünden ısı değiştiricileri mukayese edildiğinde en iyi sonucun ters akımlı ısı değiştiricinde sağlandığı görülür. Çapraz akışlı ısı değiştiricinde, paralel akımlı ısı değiştiricisine nazaran daha iyi ısı geçişi elde

edilmekle beraber , ters akımlı ısı değıştiricileriyle mukayese edildiğinde çapraz akımlı ısı değıştirici ikinci planda kalmaktadır.

c.2. Çok Geçişli Isı Değıştiricileri : Bundan önce incelenen paralel, ters, çapraz olarak adlandırılan üç tek geçişli işlemler, değıştirici içerisinde değışik şekillerde art arda seri halde düzenlenerek çok geçişli değıştirici tipleri elde edilebilir. Çok geçişli ısı değıştiricilerinin en büyük üstünlüğü değıştirici etkinliğini arttırmaktır. İki akışkanın birbirine göre akışı prensip olarak ters şekilde düzenlenmiş ise, bu değıştiricilerin etkinlikleri tek geçişli ters akımlı değıştiricilerin etkinliğine yaklaşırlar. Değıştiriciteki geçiş sayısı kadar fazla ise, bu yaklaşım o kadar iyidir. Çok geçişli ısı değıştiricileri, kanatlı yüzeyli, kovan-borulu, levhalı tip olarak değışik düzenlemelerde imal edilirler.

c.2.1. Çapraz Ters Akımlı Isı Değıştiricileri: Bu tip değıştiriciler genellikle kanatlı yüzeyli ısı değıştiricilerinde tercih edilir. İki veya daha fazla sayıda çapraz geçiş arka arkaya ters akımlı olarak seri halde bağlanır. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda, sıcaklığın fazla olduğu geçişlerde sıcağa dayanıklı pahalı malzeme, diğer yüzeylerde ise ucuz malzeme kullanılarak imalat masrafları azaltılabilir.

c.2.2. Çapraz Paralel Akımlı Isı Değıştiricileri: Bu düzenleme, bir önceki düzenlemeye çok benzer, sadece akışkanların birbirlerine göre genel akışı paraleldir.

c.2.3. Kovan Akışkanının Karıştığı, Paralel-Ters Akımlı Düzenleme: Bu düzenleme, kovan-borulu ısı değıştiricilerinde en çok kullanılan tiptir. En basit olarak bir kovan iki geçişli olarak yapılabilir. Sistemde borular bir uçlarından tespit edildiğinden ısı gerilmeler çok azdır. Kovan tarafındaki akışkan karıştığından, herhangi bir kesitteki kovan akışkanının sıcaklığı sabittir.

c.2.4. Kovan Akışkanı Karışmış, Bölünmüş Akımlı Düzenleme: Bu düzenlemede kovan içinden akan akışkan, kovan ortasından girer, eşit olarak iki kısma ayrılır ve kovanın iki ucundan çıkar.

c.2.5. Kovan Akışkanı Karışmış, Ayrık Akımlı Düzenleme: Bu düzenleme boyunca şaşırtma levhalarının kullanılması ve tek bir çıkış ağzı olması nedeniyle bölünmüş akım düzenlenmesinden farklıdır.

c.2.6. n-Paralel Levha Geçişli Düzenleme: Levha tipi değiştiricilerde levhaların çeşitli şekillerde düzenlenmesiyle çok geçişli akımlar elde edilebilir. Levha tipi değiştiricilerde levhalar arasına konulan contanın yeri değiştirilerek yeni tip düzenlemeler kolayca elde edilebilir.

2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislerin karşılaştığı karmaşık ve zor fiziksel problemleri kabul edilebilir bir yaklaşımla çözebilen sayısal bir çözüm yöntemidir [2].

Sistemin temel denklemlerinin kurulması ve sınır şartları altında çözülmesi için kullanılan genel çözüm yöntemleri genellikle iki grupta toplanabilir.

- a. Analitik çözüm yöntemleri
- b. Sayısal (nümerik) çözüm yöntemleri

Mühendisleri ilgilendiren birçok problemi analitik yöntemlerle çözmek mümkün değildir. Analitik çözümler, ancak basitleştirilmiş bazı özel haller için elde edilebilir. Bu nedenle geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır şartları karmaşık olan problemleri çözebilmek için kabul edilebilir sonuçlar veren sayısal yöntemler kullanılması zorunludur. Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemler içerisinde önemi gittikçe artan ve mühendisler tarafından her gün daha yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

2.4.1. Bir Boyutlu Sınır-Değer Problemleri

2.4.1.1. Varyasyonel Formun Oluşturulması

Sınır değer problemlerinin çözümünde uygulanan, sonlu elemanlar yönteminin başlıca aşamaları sırasıyla;

- i. Problemin varyasyonel formunun oluşturulması
- ii. Sonlu elemanlar fonksiyonlarının kullanılmasıyla ilk aşamada oluşturulan formun yaklaşık çözümünün elde edilmesi

Bu aşamaları, gerilme altındaki bir ipin düşey yer değiştirmesini veya bir çubuğun boyuna yer değiştirmesini birim uzunlukta gözlemlemek istendiğinde; ipe uygulanan gerilmenin büyüklüğü veya çubuğun elastisite modülü gibi fiziksel parametrelerinin ihmal edilmesi halinde aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir.

$l : [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ 'ye düzgün ve skaler değerli olmak üzere;

$$u_{,xx} + l = 0 \quad (2.4)$$

Sonlu elemanlar yöntemi sınır şartlarından yola çıkarak eleman içerisinde bulunması istenen nicelikleri hesaplar. Ele alınan problem için sınır şartları g ve h sabit değerli olmak üzere;

$$u(1) = g \quad \text{Dirichlet sınır şartı} \quad (2.5)$$

$$-u_{,x}(0) = h \quad \text{Neuman sınır şartı} \quad (2.6)$$

Eşitlik (2.4)' de tanımlanan u bilinmeyeninin, sınır şartları yardımıyla bulunmasına problemin standart formu denir. Standart form kullanılarak yakınsama, sonlu aralıklar yönteminde kullanılır. Sonlu elemanlar yönetiminde ise varyasyonel formu kullanılır.

Varyasyonel formun oluşturulmasında öncelikle iki tip fonksiyonun tanımlanması gerekir. Birincisi $u(1) = g$ şartını sağlayan deneme çözümlerinin oluşturduğu kümedir ve türevinin karesi integre edilebilir olmalıdır.

$$\int_0^1 (u_{,x})^2 dx < \infty \quad (2.7)$$

(2.7) eşitsizliğini sağlayan fonksiyonlara H^1 -fonksiyonları denir. Deneme çözüm kümesi δ ile ifade edilirse;

$$\delta = \{u \mid u \in H^1, u(1) = g\} \quad (2.8)$$

İkinci tip fonksiyon, ağırlık fonksiyonları olarak adlandırılır. Deneme çözümleri kümesine çok benzer olmakla beraber, g -sınır şartının sağlandığı her x değerinde sıfır değerini alır. Ağırlık fonksiyonları v ile ifade edilirse;

$$\delta = \{w \mid w \in H^1, w(1) = 0\} \quad (2.9)$$

Her $w \in v$ için $u \in \delta$ 'nın bulunmasına problemin varyasyonel formu denir.

$$\int_0^1 w_{,x} u_{,x} dx = \int_0^1 w l dx + w(0)h \quad (2.10)$$

Şeklinde oluşturulan varyasyonel form;

$$a(w, u) = \int_0^1 w_{,x} u_{,x} dx \quad (2.11)$$

$$(w, l) = \int_0^1 w l dx \quad (2.12)$$

notasyonları kullanılarak;

$$a(w, u) = (w, l) + w(0)h \quad (2.13)$$

haline dönüştürülür.

2.4.1.2. Galerkin Yakınsama Metodu

Galerkin yakınsama metodu, varyasyonel formülasyonları temel alan sınır-değer problemlerinde gerçek çözüme yakınsamak için kullanılır. Öncelikle δ ve v 'nın sonlu boyutsal tahminleri oluşturulur. Bu fonksiyon kümeleri sırasıyla δ^h ve v^h ile ifade edilir. Bu ifadelerdeki “h” sonlu elemanlara ayrılan geometrik şeklin bir elemanının karakteristik uzunluk ölçüsünü temsil eder.

$$\delta^h \subset \delta \quad u \in \delta^h \Rightarrow u^h \in \delta \quad (2.14)$$

$$\mathcal{G}^h \subset \mathcal{G} \quad w \in \mathcal{G}^h \Rightarrow w^h \in \mathcal{G} \quad (2.15)$$

$u^h \in \delta^h$ ve $w^h \in \mathcal{G}^h$ olduğundan;

$$u(1) = g \quad \text{Dirichlet sınır şartı} \quad (2.16)$$

$$-u_{,x}(0) = h \quad \text{Neuman sınır şartı} \quad (2.17)$$

Her $v^h \in \mathcal{G}^h$ için;

$$u^h = v^h + g^h \quad (2.18)$$

Bağıntısı kurularak $u^h \in \delta^h$ fonksiyonu oluşturulur. g^h sınır şartını sağlayan bir fonksiyondur.

$$g(1) = g \quad (2.19)$$

Problemin varyasyonel formunda;

$$a(w^h, u^h) = (w^h, l) + w^h(0)h \quad (2.20)$$

(2.18) eşitliği yerine konursa,

$$a(w^h, u^h) = (w^h, l) + w^h(0)h - a(w^h, g^h) \quad (2.21)$$

elde edilir. Böylelikle eşitliğin sol tarafında bilinmeyenler, sağ tarafında ise bilinenler toplanmış olur.

l düzgün ve skaler değerli fonksiyon, g ve sabit değerli, her $w^h \in \mathcal{G}^h$ için $v^h \in \mathcal{G}^h$ olmak üzere (2.21) eşitliğinden $u^h = v^h + g^h$ bulunmasına problemin Galerkin formu denir.

2.4.1.3. Matris Eşitliğinin Oluşturulması

$\mathcal{G}, N_A : \Omega \rightarrow R$ ifadesi ile verilen fonksiyonların tüm doğrusal kombinasyonlarını kapsasın. N_A şekil fonksiyonları olarak isimlendirilir. c_A keyfi sabitler olmak üzere;

$$w^h = \sum_{A=1}^n c_A N_A \quad (2.22)$$

benzer yoldan;

$$v^h = \sum_{A=1}^n d_A N_A \quad (2.23)$$

$N_{n+1} : \Omega \rightarrow R, N_{n+1}(1) = 1$ özelliğine sahip şekil fonksiyonu olmak üzere;

$$g^h = g N_{n+1} \quad (2.24)$$

elde edilen w^h, v^h ve g^h Galerkin formuna yerleştirilse;

$$a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, \sum_{B=1}^n c_B N_B\right) = \left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, l\right) + \left(\sum_{A=1}^n c_A N_A(0)\right)h - a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, g N_{n+1}\right) \quad (2.25)$$

bulunur. Eşitliğin her iki yanında da bulunan c_A 'lar sadeleştirilirse;

$$\sum_{B=1}^n a(N_A, N_B) d_B = (N_A, l) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})g \quad (2.26)$$

elde edilir.

$$K_{AB} = a(N_A, N_B) \quad (2.27)$$

$$F_A = (N_A, l) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})g \quad (2.28)$$

olmak üzere eşitlik;

$$\sum_{B=1}^n K_{AB} d_B = F_A \quad A = 1, 2, \dots, n \quad (2.29)$$

halini alır. Bu eşitlikte

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdot & \cdot & K_{1N} \\ K_{21} & K_{22} & \cdot & \cdot & K_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ K_{N1} & K_{N2} & \cdot & \cdot & K_{NN} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

$$F = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N \end{Bmatrix} \quad (2.31)$$

$$d = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_N \end{Bmatrix} \quad (2.32)$$

olmak üzere problem artık; K : katsayılar matrisi, F : kuvvet vektörü olan eşitlik takımında bilinmeyen d 'lerin bulunmasına dönüşmüştür.

$$d = K^{-1} F \quad (2.33)$$

Buradan bulunan d vektörü (2.18) eşitliğinde yerine konulursa;

$$u^h(x) = \sum d_A N_A(x) + g N_{n+1}(x) \quad (2.34)$$

elde edilir.

2.4.2. Çok Boyut Sınır-Değer Problemleri

Gözönünde tutulan problemin boyut sayısı n_{sd} ve $R^{n_{sd}}$ üzerinde alınan herhangi bir nokta x ile gösterilir. x noktası $R^{n_{sd}}$ 'in orijinden geçen konum vektörü ile Γ 'nın normalinin birim vektörü ise n ile tanımlanır. x ve n yerine aşağıdaki gösterimler kullanılacaktır. $1 \leq i \leq n_{sd}$, x_i ve n_i sırasıyla x ve n 'nin kartezyen elemanları olmak üzere $n_{sd} = 2$ için;

$$x = \{x_i\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} \quad (2.35)$$

$$n = \{n_i\} = \begin{Bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \end{Bmatrix} \quad (2.36)$$

2.4.2.1. Isı Transferi

q_i : ısı akış vektörü

u : sıcaklık

l : birim ısı başına ısı eldesi

$\kappa = [\kappa_{ij}]$: ısı iletim katsayısı matrisi

olmak üzere genelleştirilmiş Fourier kanunundan sıcaklık gradyanı;

$$q_i = -\kappa_{ij} u_{,j} \quad (2.37)$$

denklemleriyle ifade edilir.

$l : \Omega \rightarrow R, g : \Gamma_g \rightarrow R, h : \Gamma_h \rightarrow R$ olmak üzere;

$$q_{i,i} = l \text{ ısı eşitliği} \quad (2.38)$$

$$u = g \quad \text{Dirichlet sınır şartı} \quad (2.39)$$

$$-q_i n_i = h \quad \text{Neuman sınır şartı} \quad (2.40)$$

denklem kümesinde $u \in \delta$ 'nın bulunmasına problemin standart formu denir. Bu problemde g sınır sıcaklığı, h ise ısı akışıdır.

$l : \Omega \rightarrow R, g : \Gamma_g \rightarrow R, h : \Gamma_h \rightarrow R$ olmak üzere; her $w \in \mathcal{G}$ için

$$\int_{\Omega} w_{,i} q_i d\Omega = \int_{\Omega} w l d\Omega + \int_{\Gamma_h} w h d\Gamma \quad (2.41)$$

$u \in \delta$ 'nın bulunmasına ise problemin varyasyonel formu denir.

$$a(w, u) = \int_{\Omega} w_{,i} \kappa_{ij} u_{,j} d\Omega \quad (2.42)$$

$$(w, l) = \int_{\Omega} w l d\Omega \quad (2.43)$$

$$(w, h)_{\Gamma} = \int_{\Gamma_h} w h d\Gamma \quad (2.44)$$

notasyonları yardımıyla varyasyonel form

$$a(w, u) = (w, l) + (w, h)_{\Gamma} \quad (2.45)$$

halini alır.

Teoride, vektör ve tensör büyüklüklerinin de işin içine girmesiyle terimler üzerinde işlemler ve gösterimler zorlaşacaktır. Galerkin formuna sokarken, indisler büyük sayılar gerektireceği ve çeşitleneceğinden ifadeler daha karmaşık hale gelecektir. Bu nedenle indeksiz notasyon kullanılacaktır.

∇ : gradyan operatörü olmak üzere $n_{sd} = 2$ için;

$$\nabla u = \{u_{,i}\} = \begin{Bmatrix} u_{,1} \\ u_{,2} \end{Bmatrix} \quad (2.46)$$

$$\nabla w = \{w_{,i}\} = \begin{Bmatrix} w_{,1} \\ w_{,2} \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

şeklinde gösterilir, iki boyutlu uzayda iletim matrisinin genel ifadesi

$$\kappa = [\kappa_{ij}] = \begin{bmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

izotropik durumlarda ise

$$\kappa = [\delta_{ij}] = \kappa \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

şeklindedir. İndeksiz notasyonla

$$w_{,i} \kappa_{ij} u_{,j} = (\nabla w)^T \kappa (\nabla u) \quad (2.50)$$

dönüşümü elde edilir ve (2.41) eşitliğinde yerine konulursa;

$$a(w, u) = \int_{\Omega} (\nabla w)^T \kappa (\nabla u) \quad (2.51)$$

haline gelir.

$l : \Omega \rightarrow R, g : \Gamma_g \rightarrow R, h : \Gamma_h \rightarrow R$ olmak üzere; her $w^h \in \mathcal{G}^h$ için

$$a(w^h, v^h) = (w^h, l) + (w^h, h)_{\Gamma} - a(w^h, g^h) \quad (2.52)$$

eşitliğinde $u^h = v^h + g^h \in \delta$ bulunmasına problemin Galerkin formu denir.

Ana bölge (Ω), eleman bölgelerine (Ω^e) bölünerek incelenir. İki boyutlu eleman bölgeleri basitçe üçgen ve dörtgenler olabilir. Düğüm noktaları bölge üzerinde herhangi bir yerde bulunabilirler. Ama genellikle eleman köşelerinde, iç elemanların sınırlarında ve bazen de iç bölgelerde bulunurlar.

Genel düğüm kümesi, $\eta = \{1, 2, \dots, \eta_{np}\}$, (η_{np} toplam düğüm sayısı) şeklinde gösterilir. Γ_g üzerinde düğümler g -düğümü diye adlandırılır. Bunların oluşturduğu küme η_g 'dir ve $\eta_g \subset \eta$. η evrenselinde η_g 'nin tümleyeni $\eta - \eta_g$ ile gösterilir. $\eta - \eta_g$ kümesinin eleman sayısı kadar (n_{eq}) eşitlik vardır. n_{eq} katılık matrisinin boyutlarını belirler.

c_A sabit ve N_A , A düğümünün şekil fonksiyonu olmak üzere

$$w^h(x) = \sum_{A \in \eta - \eta_g} N_A(x) c_A \quad (2.53)$$

benzer şekilde, d_A , A düğümünün bilinmeyen (bu problemde sıcaklık) olmak üzere

$$v^h(x) = \sum_{A \in \eta - \eta_g} N_A(x) d_A \quad (2.54)$$

ve $g_A = g(x_A)$ olmak üzere

$$g^h(x) = \sum_{A \in \eta_g} N_A(x) g_A \quad (2.55)$$

(2.53), (2.54), (2.55) eşitlikleri (2.52) eşitliğine konulursa $A \in \eta - \eta_g$ olmak üzere;

$$\sum_{B \in \eta - \eta_g} a(N_A, N_B) d_B = (N_A, l) + (N_A, h)_\Gamma - \sum_{B \in \eta_g} a(N_A, N_B) g_B \quad (2.56)$$

elde edilir.

2.4.2.2. Elastostatik

σ_{ij} : gerilme

u_i : yer değiştirme faktörü

l_i : birim hacme uygulanan kuvvet

ε_{ij} : birim uzama

c_{ijkl} : elastisite modülü olmak üzere

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} = \frac{u_{i,j} + u_{j,i}}{2} \quad (2.57)$$

ve Hooke kanunundan

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \times \varepsilon_{kl} \quad (2.58)$$

Elastostatik probleminde bilinmeyenler her düğüm için bir vektör ile ifade edilir. Bu nedenle, problemin sınır şartları uzayın her boyutunda tanımlanır. Örneğin, $n_{sd} = 2$ için $l_i : \Omega \rightarrow R, g_i : \Gamma_{g_i} \rightarrow R, h_i : \Gamma_{h_i} \rightarrow R$ olmak üzere

$$\sigma_{ij,i} + l = 0 \quad (2.59)$$

$$u_i = g_i \quad \text{Dirichlet sınır şartı} \quad (2.60)$$

$$\sigma_{ij} n_j = h_i \quad \text{Neuman sınır şartı} \quad (2.61)$$

denklem kümesinde u_i 'nin bulunmasına problemin standart formu denir. Burada g_i yer değiştirme vektörü, h_i yersel gerilme vektörüdür.

$l_i : \Omega \rightarrow R, g_i : \Gamma_{g_i} \rightarrow R, h_i : \Gamma_{h_i} \rightarrow R$ olmak üzere; her $w_i \in \mathcal{G}_i$ için,

$$\int_{\Omega} w_{(i,j)} \sigma_{ij} d\Omega = \int_{\Omega} l_i d\Omega + \sum_{i=1}^{n_{sd}} \left(\int_{\Gamma_{h_i}} w_i h_i d\Gamma \right) \quad (2.62)$$

$u_i \in \delta_i$ 'nin bulunmasına problemin varyasyonel formu denir. Varyasyonel form, (2.58)'de yerine konması ve

$$a(w, u) = \int_{\Omega} w_{(i,j)} c_{ijkl} u_{(k,l)} d\Omega \quad (2.63)$$

$$(w, l) = \int_{\Omega} w_i l_i d\Omega \quad (2.64)$$

$$(w, h)_{\Gamma} = \sum_{i=1}^{n_{sd}} \left(\int_{\Gamma_{h_i}} w_i h_i d\Gamma \right) \quad (2.65)$$

notasyonlarının kullanılmasıyla

$$a(w, u) = (w, l) + (w, h)_{\Gamma} \quad (2.66)$$

halini alır.

Bir önceki bölümde değinilen zorluklar nedeniyle indeksiz notasyonu bu bölümde de kullanılacaktır. $n_{sd} = 2$ için

$$\varepsilon(u) = \{\varepsilon_1(u)\} = \begin{Bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,2} \\ u_{1,2} + u_{2,1} \end{Bmatrix} \quad (2.67)$$

$$\varepsilon(w) = \{\varepsilon_1(w)\} = \begin{Bmatrix} w_{1,1} \\ w_{2,2} \\ w_{1,2} + w_{2,1} \end{Bmatrix} \quad (2.68)$$

$$D = (D_{IJ}) = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{33} & D_{33} \end{bmatrix} \quad (2.69)$$

(2.67), (2.68) ve (2.69) eşitliklerinin yardımıyla

$$w_{(i,j)} c_{ijkl} u_{(k,l)} = \varepsilon(w)^T D \varepsilon(u) \quad (2.70)$$

elde edilir ve (2.63) eşitliği

$$a(w, u) = \int_{\Omega} \varepsilon(w)^T D \varepsilon(u) d\Omega \quad (2.71)$$

haline dönüşür.

Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) kullanarak Lamé parametrelerine geçilirse

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad (2.72)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.73)$$

elde edilir. Buradan elastisite modülü

$$D = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \quad (2.74)$$

şeklinde ifade edilir.

$l : \Omega \rightarrow R, g : \Gamma_{g_i} \rightarrow R, h : \Gamma_h \rightarrow R$ olmak üzere; her $w^h \in \mathcal{G}^h$ için,

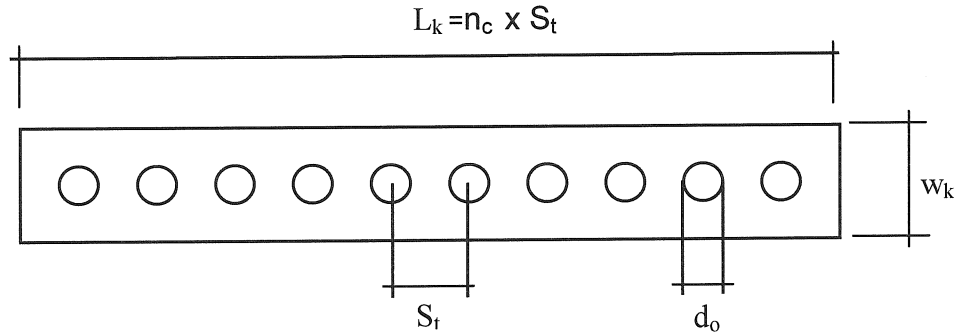
$$a(w^h, v^h) = (w^h, l) + (w^h, h)_{\Gamma} - a(w^h, g^h) \quad (2.75)$$

eşitliğinde $u^h = v^h + g^h \in \delta$ bulunmasına problemin Galerkin formu denir.

3. SİSTEM GİRDİLERİ

Sistem girdileri olarak ısı değıştircide kullanılan boruların çapı (d_o), et kalınlığı (t_b), malzemesi ($mtrl$) ile yüzey alanını arttırmak için kullanılan kanatların et kalınlığı (t_k), genişliği (w_k) ve sayısı (FPI) alınmıştır. Şekil 3.1’de tanımlanan girdilerin problemde ele alınan en yüksek ve en düşük değeri Tablo 3.1’de özetlenmiştir. Tanımlanan sistem girdilerinin en yüksek, en düşük ve bu değeri aralığndaki değışimleri Bölüm 4’de belirtilen sistem çıktılarının üzerindeki etkisi incelenecektir.

Tabloda verilen boru çapı 7mm ve 9,52 mm standart boru çapları olup, bunlar arasındaki değeri özel imalata girer. Bu çalışmada bu durum dikkate alınmayacaktır.



Şekil 3.1 : Sistemin Girdilerinin Tanımlanması

n_c : toplam akışa dik boru sayısı

S_t : akışa dik iki boru arasındaki mesafe

w_k : kanat genişliği

d_o : boru dış apı

Bunlara ilaveten akışa dik boru sayısı ve ara mesafesi de dikkate alınacaktır. Bu girdi değeri ile kanat genişliği mevcut üretimdeki ısı değıştircide boru çapına bağılı olarak değışmektedir. Mevcut durum Tablo 3.2’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 : Sistem Girdileri ve Değerleri.

Sistem Girdisi	Sembol	Birim	Değeri
Boru Malzemesi	mtrl	-	bakır (cu)
			alüminyum (al)
Boru Çapı	d _o	mm	7
			9,52
Boru Et Kalınlığı	t _b	mm	(cu) 0,27
			(al) 0,95
			(cu) 0,37
			(al) 1,05
Kanat Sayısı	FPI	-	16
			21
Kanat Kalınlığı	t _k	mm	0,095
			0,105
Kanat Genişliği	w _k	mm	12,7
			19

Tablo 3.2 : Boru Çapına Bağlı Sistem Girdileri ve Değeri.

Girdi	Birimi	Bakır Boru Çapı	
		7 mm	9,52 mm
n _c : akışa dik boru sayısı	Adet	24	20
w _t : kanat genişliği	mm	12,7	19,0
S _t : akışa dik iki boru arasındaki mesafe	mm	21,0	25,4

Standart olmayan boru çapına (d_o) karşılık gelen değeri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanacaktır.

$$w_t = \frac{(d - 9,52) \times (19 - 12,7)}{(9,52 - 7)} + 19 \quad (3.1)$$

$$n_c = \frac{L_k}{\frac{(d - 9,52) \times (25,4 - 21)}{(9,52 - 7)} + 25,4} \quad (3.2)$$

Akışa dik boru sayısı çift tamsayı olması gerektiğinden (3.2) eşitliğinden bulunan değeri en yakın ve en küçük çift tamsayıya yuvarlanır.

Akışa dik boru sayısı bulunduğundan sonra (3.3) eşitliğinden akışa dik borular arasındaki mesafe bulunur.

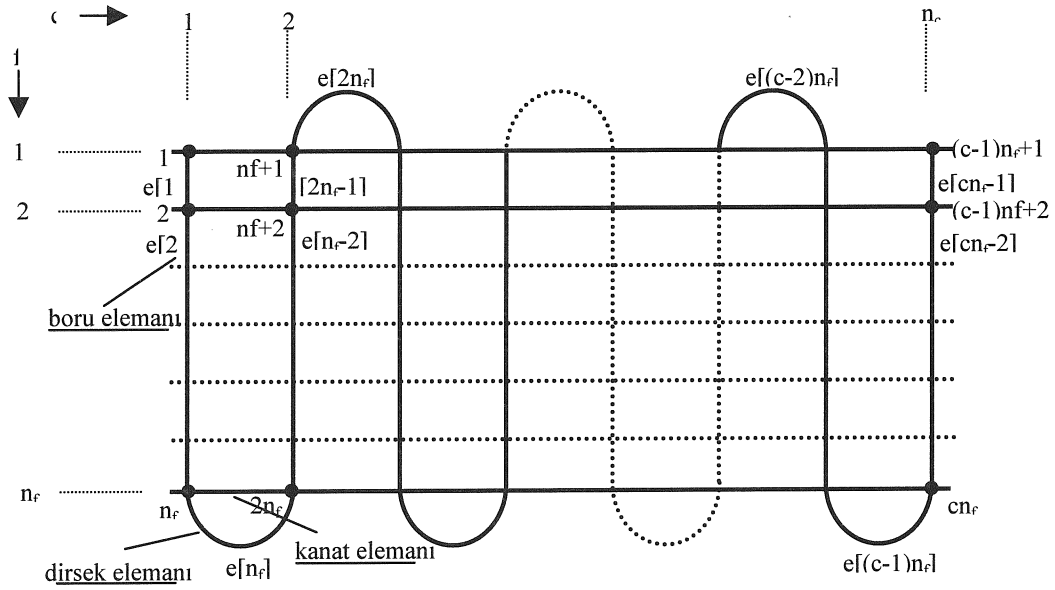
$$S_t = \frac{L_k}{n_c} \quad (3.3)$$

Bu bölümde anlatılan sistem girdileri, ısı değıştiricinin malzeme maliyetinin, toplam ısı geçişinin ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek bulunan özdeğinin bulunmasında kullanılacak ve değışik kombinasyonlardaki etkileri incelenecektir.

4. SİSTEM ÇIKTILARI

Bu bölümde ısı değiştiricinin çıktıları olan üzerinden geçen ısı miktarı (Y1), malzeme maliyeti (Y2) ve en küçük özdeğeri (Y3) bulunacaktır.

Özdeğerlerin ve ısı miktarının bulunabilmesi için sistem yapısal ve ısısal olmak üzere modellenecektir. Modelleme yapılırken sistem elemanlara bölünmüştür. Elemanlar ve bu elemanlara ait düğüm noktalarının yerleşimi Şekil 4.1’ de verilmiştir. X eksenini akış yönünde ve z eksenini ise sayfa düzlemine dik olarak alınmıştır.



Şekil 4.1 : Sistem Eleman ve Düğüm Noktaları.

Sistem genel olarak boru, dirsek ve kanat elemanı olmak üzere üç farklı eleman tipinden oluşmaktadır. Boru ve dirsek elemanlarının eleman numaraları ve düğüm noktaları şekil üzerinde tanımlanmıştır. Kanat düğüm numaraları (4.1) ve eleman numarası ise (4.2) ile tanımlanabilir.

$$(n_c - 1) \times n_f + f \quad (4.1)$$

$$n_f \times n_c + (f - 1) \times n_c + c - 1 \quad (4.2)$$

n_f : toplam kanat sayısı

n_c : toplam akışa dik boru sayısı

f : kanat sırası

c : akışa dik boru sırası

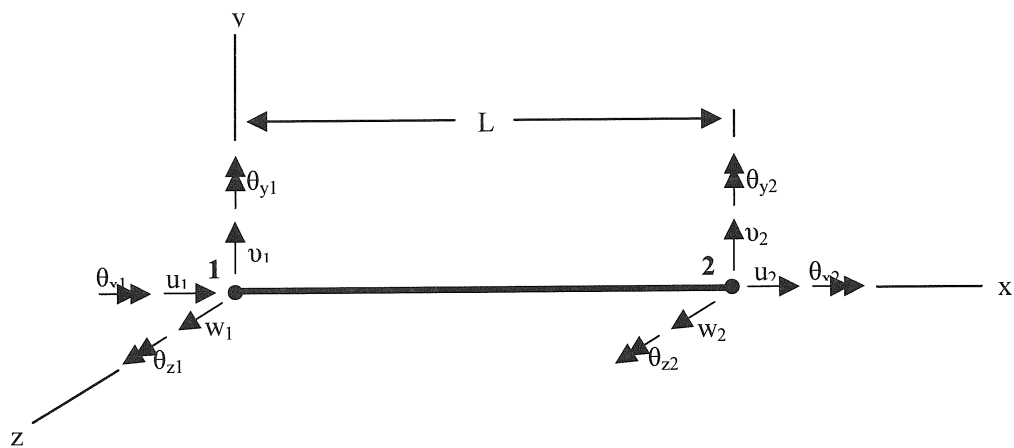
Eleman numaralandırmasında “c” elamanın sahip olduğu en küçük c sayısı olarak alınmıştır.

4.1. Özdeğerin Bulunması

Isı değiştirici sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal modeli oluşturularak [K] katılık matrisi bulunacaktır. Hesaplanan [K] matrisinin en küçük özdeğeri Matlab 'ın “eigs” fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme yapılırken boru, dirsek ve kanatlar 3 farklı eleman ile tanımlanmıştır.

4.1.1. Boru Katılık Matrisinin Bulunması

Borular 3 boyutlu ve her düğümü 6 serbestlik derecesine sahip 2 düğümlü kiriş (beam) elemanı ile tanımlanmıştır. Eleman koordinat sistemi Şekil 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Boru Elemanı için Koordinat Sistemi.

Tanımlanan koordinat sisteminde boru elemanı için katılık matrisi (4.3)' de verilmiştir [3].

$$k^e = \rho AL \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Matris elemanlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin formülleri ve açıklamaları aşağıda tanımlanmıştır.

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (4.4)$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi \times (d_o^4 - d_i^4)}{64} \quad (4.5)$$

$$J = \frac{\pi \times (d_o^4 - d_i^4)}{32} \quad (4.6)$$

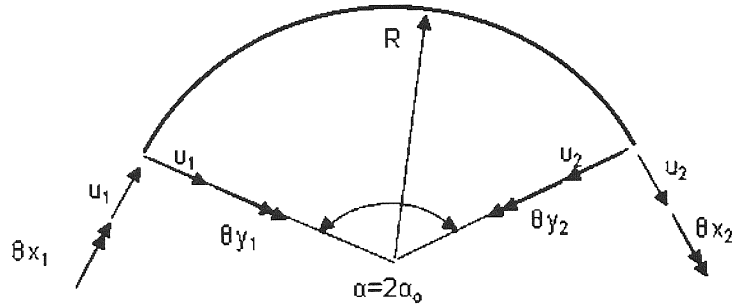
$$A = \frac{\pi \times (d_o^2 - d_i^2)}{4} \quad (4.7)$$

E : Elastisite modülü

- G : Kayma modülü
- ν : Poisson katsayısı
- I_y : y-ekseninde atalet momenti
- I_z : z-ekseninde atalet momenti
- J : Polar atalet momenti
- A : Kesit alanı
- d_o : Boru dış çapı
- d_i : Boru iç çapı

4.1.2. Dirsek Katılık Matrisinin Bulunması

Dirsekler (180 derece) 3 boyutlu ve her düğümü 6 serbestlik derecesine sahip 2 düğümlü ark kiriş (arch beam) elemanı ile tanımlanmıştır. Eleman koordinat sistemi Şekil 4.3 'de verilmiştir. Z eksenı sayfa düzlemine diktir.



Şekil 4.3 : Dirsek Elemanı için Koordinat Sistemi.

Tanımlanan koordinat sisteminde boru elemanı için katılık matrisi (4.8) verilmiştir [4].

$$k^e = \frac{EI_z}{R^3} \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & k_{1,3} & k_{1,4} & k_{1,5} & k_{1,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{2,1} & k_{2,2} & k_{2,3} & k_{2,4} & k_{2,5} & k_{2,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{3,1} & k_{3,2} & k_{3,3} & k_{3,4} & k_{3,5} & k_{3,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{4,1} & k_{4,2} & k_{4,3} & k_{4,4} & k_{4,5} & k_{4,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{5,1} & k_{5,2} & k_{5,3} & k_{5,4} & k_{5,5} & k_{5,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{6,1} & k_{6,2} & k_{6,3} & k_{6,4} & k_{6,5} & k_{6,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{7,7} & k_{7,8} & k_{7,9} & k_{7,10} & k_{7,11} & k_{7,12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{8,7} & k_{8,8} & k_{8,9} & k_{8,10} & k_{8,11} & k_{8,12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{9,7} & k_{9,8} & k_{9,9} & k_{9,10} & k_{9,11} & k_{9,12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{10,7} & k_{10,8} & k_{10,9} & k_{10,10} & k_{10,11} & k_{10,12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{11,7} & k_{11,8} & k_{11,9} & k_{11,10} & k_{11,11} & k_{11,12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{12,7} & k_{12,8} & k_{12,9} & k_{12,10} & k_{12,11} & k_{12,12} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Matrisi oluşturan elemanlar aşağıda tanımlanmıştır.

$$k_{1,1} = \frac{2\alpha_0^2 c_o^2}{D_1} + \frac{s_0^2}{D_2} \quad (4.9)$$

$$k_{1,2} = \frac{2\alpha_0 c_o s_0}{D_1} - \frac{c_o s_0}{D_2} \quad (4.10)$$

$$k_{1,3} = -\frac{2c_o(\alpha_0 c_o - s_0)}{D_1} - \frac{s_0^2}{D_2} \quad (4.11)$$

$$k_{1,4} = -\frac{2\alpha_0^2 c_o^2}{D_1} + \frac{s_0^2}{D_2} \quad (4.12)$$

$$k_{1,5} = \frac{2\alpha_0 c_o s_0}{D_1} + \frac{c_o s_0}{D_2} \quad (4.13)$$

$$k_{2,1} = k_{1,2} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.14)$$

$$k_{2,2} = \frac{2\alpha_0^2 s_o^2}{D_1} + \frac{c_0^2}{D_2} \quad (4.15)$$

$$k_{2,3} = -\frac{2s_o(\alpha_0 c_o - s_o)}{D_1} + \frac{c_0 s_o}{D_2} \quad (4.16)$$

$$k_{2,4} = -k_{1,5} \quad (4.17)$$

$$k_{2,5} = \frac{2\alpha_0 s_o^2}{D_1} - \frac{c_0^2}{D_2} \quad (4.18)$$

$$k_{2,6} = \frac{2s_o(\alpha_0 c_o - s_o)}{D_1} + \frac{s_o c_0}{D_2} \quad (4.19)$$

$$k_{3,1} = k_{1,3} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.20)$$

$$k_{3,2} = k_{2,3} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.21)$$

$$k_{3,3} = \frac{B_1 - 2(1 - c_o)(\alpha_0 c_o - \alpha_0 - 2s_o)}{D_1} + \frac{s_o^2}{D_2} \quad (4.22)$$

$$k_{3,4} = k_{1,6} \quad (4.23)$$

$$k_{3,5} = -k_{2,6} \quad (4.24)$$

$$k_{3,6} = -\frac{B_1 - 2(1 - c_o)(\alpha_0 c_o + \alpha_0 - 2s_o)}{D_1} + \frac{s_o^2}{D_2} \quad (4.25)$$

$$k_{4,1} = k_{1,4} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.26)$$

$$k_{4,2} = k_{2,4} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.27)$$

$$k_{4,3} = k_{3,4} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.28)$$

$$k_{4,4} = k_{1,1} \quad (4.29)$$

$$k_{4,5} = -k_{1,2} \quad (4.30)$$

$$k_{4,6} = k_{1,3} \quad (4.31)$$

$$k_{5,1} = k_{1,5} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.32)$$

$$k_{5,2} = k_{2,5} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.33)$$

$$k_{5,3} = k_{3,5} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.34)$$

$$k_{5,4} = k_{4,5} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.35)$$

$$k_{5,5} = k_{2,2} \quad (4.36)$$

$$k_{5,6} = -k_{2,3} \quad (4.37)$$

$$k_{6,1} = k_{1,6} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.38)$$

$$k_{6,2} = k_{2,6} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.39)$$

$$k_{6,3} = k_{3,6} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.40)$$

$$k_{6,4} = k_{4,6} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.41)$$

$$k_{6,5} = k_{5,6} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.42)$$

$$k_{6,6} = k_{3,3} \quad (4.43)$$

$$k_{7,7} = \frac{B_4}{D_3} \quad (4.44)$$

$$k_{7,8} = \frac{-c_o B_3 + (1 - c_o) B_4}{D_3} \quad (4.45)$$

$$k_{7,9} = \frac{-s_o (B_3 + B_4)}{D_3} \quad (4.46)$$

$$k_{7,10} = -k_{7,7} \quad (4.47)$$

$$k_{7,11} = -k_{7,8} \quad (4.48)$$

$$k_{7,12} = k_{7,9} \quad (4.49)$$

$$k_{8,7} = k_{7,8} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.50)$$

$$k_{8,8} = \frac{c_o^2 B_2 - 2c_o(1 - c_o)B_3 + (1 - c_o)^2 B_4}{D_3} + \frac{s_o^2}{D_4} \quad (4.51)$$

$$k_{8,9} = \frac{c_o s_o B_2 - s_o(1 - c_o)B_3 - s_o(1 - c_o)^2 B_4}{D_3} - \frac{c_o s_o}{D_4} \quad (4.52)$$

$$k_{8,10} = -k_{7,8} \quad (4.53)$$

$$k_{8,11} = -\frac{c_o^2 B_2 - 2c_o(1-c_o)B_3 + (1-c_o)^2 B_4}{D_3} + \frac{s_o^2}{D_4} \quad (4.54)$$

$$k_{8,12} = \frac{c_o s_o B_2 - s_o(1-2c_o)B_3 - s_o(1-c_o)^2 B_4}{D_3} + \frac{c_o s_o}{D_4} \quad (4.55)$$

$$k_{9,7} = k_{7,9} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.56)$$

$$k_{9,8} = k_{8,9} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.57)$$

$$k_{9,9} = \frac{s_o^2(B_2 + 2B_3 + B_4)}{D_3} + \frac{c_o^2}{D_4} \quad (4.58)$$

$$k_{9,10} = -k_{7,9} \quad (4.59)$$

$$k_{9,11} = -k_{8,12} \quad (4.60)$$

$$k_{9,12} = \frac{s_o^2(B_2 + 2B_3 + B_4)}{D_3} - \frac{c_o^2}{D_4} \quad (4.61)$$

$$k_{10,7} = k_{7,10} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.62)$$

$$k_{10,8} = k_{8,10} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.63)$$

$$k_{10,9} = k_{9,10} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.64)$$

$$k_{10,10} = k_{7,7} \quad (4.65)$$

$$k_{10,11} = k_{7,8} \quad (4.66)$$

$$k_{10,12} = -k_{7,9} \quad (4.67)$$

$$k_{11,7} = k_{7,11} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.68)$$

$$k_{11,8} = k_{8,11} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.69)$$

$$k_{11,9} = k_{9,11} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.70)$$

$$k_{11,10} = k_{10,11} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.71)$$

$$k_{11,11} = k_{8,8} \quad (4.72)$$

$$k_{11,12} = -k_{8,9} \quad (4.73)$$

$$k_{12,7} = k_{7,12} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.74)$$

$$k_{12,8} = k_{8,12} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.75)$$

$$k_{12,9} = k_{9,12} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.76)$$

$$k_{12,10} = k_{10,12} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.77)$$

$$k_{12,11} = k_{11,12} \quad (\text{simetri özelliği}) \quad (4.78)$$

$$k_{12,12} = k_{9,9} \quad (4.79)$$

Matris elemanlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin formülleri ve açıklamaları aşağıda tanımlanmıştır.

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (4.80)$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi \times (d_o^2 - d_i^2)}{64} \quad (4.81)$$

$$I_s = \frac{\pi \times (d_o^2 - d_i^2)}{32} \quad (4.82)$$

$$A = \frac{\pi \times (d_o^2 - d_i^2)}{4} \quad (4.83)$$

$$d_y = \frac{EI_y}{\kappa_y GA} \times \frac{1}{R^2} \quad (4.84)$$

$$d_z = \frac{EI_z}{\kappa_z GA} \times \frac{1}{R^2} \quad (4.85)$$

$$e = \frac{EI_z}{EA} \times \frac{1}{R^2} \quad (4.86)$$

$$t = \frac{EI_z}{GI_s} \quad (4.87)$$

$$b = \frac{EI_z}{EI_y} \quad (4.88)$$

$$B_1 = 3\alpha_0 - 4s_0 + c_0s_0 + e(\alpha_0 + c_0s_0) + d_y(\alpha_0 - c_0s_0) \quad (4.89)$$

$$B_2 = 2d_z \alpha_0 + t(3\alpha_0 - 4s_0 + c_0 s_0) + b(\alpha_0 - c_0 s_0) \quad (4.90)$$

$$B_3 = t(2s_0 - \alpha_0 + c_0 s_0) - b(\alpha_0 - c_0 s_0) \quad (4.91)$$

$$B_4 = t(\alpha_0 + c_0 s_0) + b(\alpha_0 - c_0 s_0) \quad (4.92)$$

$$D_1 = 2\alpha_0 B_1 - 4(\alpha_0 - s_0)^2 \quad (4.93)$$

$$D_2 = (1 + e)(\alpha_0 - c_0 s_0) + d_y(\alpha_0 + c_0 s_0) \quad (4.94)$$

$$D_3 = B_2 B_4 - B_3^2 \quad (4.95)$$

$$D_4 = t(\alpha_0 - c_0 s_0) + b(\alpha_0 + c_0 s_0) \quad (4.96)$$

$$c_0 = \cos(\alpha_0) \quad (4.97)$$

$$s_0 = \sin(\alpha_0) \quad (4.98)$$

E : Elastisite modülü

G : Kayma modülü

ν : Poisson katsayısı

I_y : y-eksenine göre atalet momenti

I_z : z-eksenine göre atalet momenti

I_s : Burulma atalet momenti

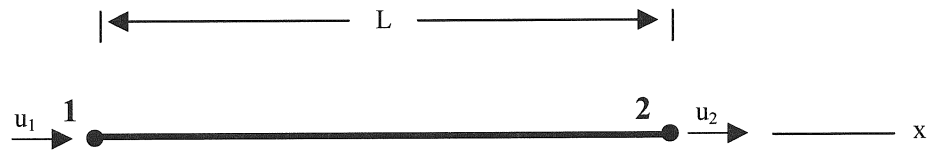
A : Kesit alanı

d_0 : Boru dış çapı

- d_i : Boru iç çapı
- R : Dirsek yarıçapı
- α : Dirsek açısı
- d_y : y eksenine göre kesme etki katsayısı
- d_z : z eksenine göre kesme etki katsayısı
- e : Zar etkisi (membrane effect)
- t : Burulma etkisi (torsional effect)
- b : Eğilme etkisi (bending effect)
- κ_y : y eksenine göre kesme faktörü (shear factor)
- κ_z : z eksenine göre kesme faktörü (shear factor)

4.1.3. Kanat Katılık Matrisinin Bulunması

Kanatlar 1 boyutlu ve her düğümü 1 serbestlik derecesine sahip 2 düğümlü kiriş (beam) elemanı ile tanımlanmıştır. Eleman koordinat sistemi Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Kanat Elemanı için Koordinat Sistemi.

$$k^e = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.99)$$

$$A = W_k \times t_k \quad (4.100)$$

E : Elastisite modülü

A : Kanat kesit alanı

W_k : Kanat genişliği

t_k : Kanat kalınlığı

4.1.4. Sınır Koşullarının Tanımlanması

Elemanları ve düğüm noktaları Şekil 4.1' de tanımlanan ısı değiştirici “1” inci, “(c-1) n_f+1 ” inci ve “ cn_f ” inci düğüm noktaları tüm serbestlik derecelerinden sınırlandırılmıştır (koşullandırılmıştır).

4.1.5. Sistemin Genel Katılık Matrisinin Bulunması

Eleman katılık matrisindeki değerlerin genel katılık matrisindeki yerleri Şekil 4.1' deki numaralama sistemini doğrultusunda ID, IEN ve LM matrisleri oluşturularak belirlenmiştir [5].

$$ID(A) = \begin{cases} P & \text{kosul_yok} \\ 0 & \text{kosul_var} \end{cases} \quad (4.101)$$

$$IEN(a, e) = A \quad (4.102)$$

$$LM(a, e) = ID(IEN(a, e)) \quad (4.103)$$

A : Genel düğüm numarası

P : Genel eşitlik numarası

a : Yerel düğüm numarası

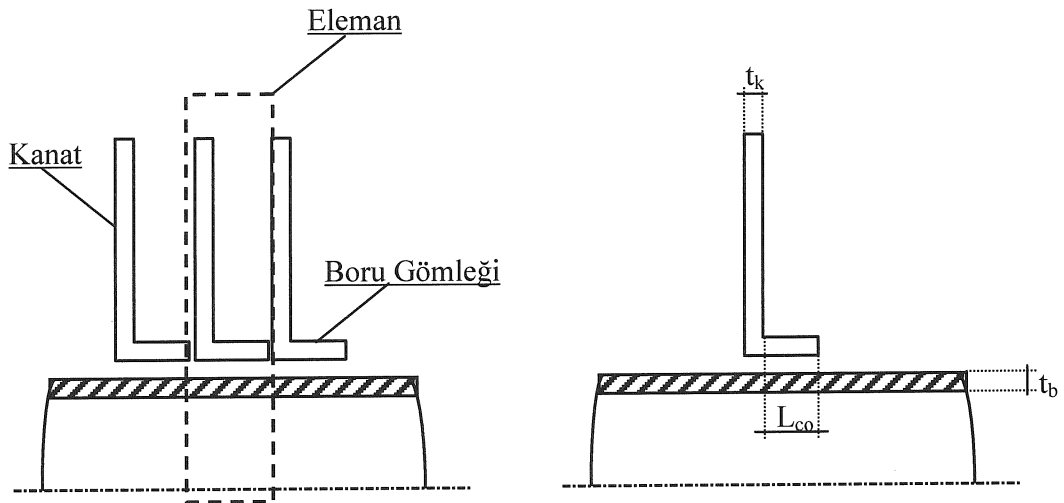
e : Eleman numarası

4.2. Isı Geçiş Miktarının Bulunması

Bu bölümde ısı değiştirici üzerinden geçen ısı yükünü bulmak için her bir elemanın ısı geçiş katsayısı bulunmuştur. Yapısal modellemenin aksine iki ana eleman tipi oluşturulmuştur. Bunlar boru ve kanat elemanlarının bileşiminden oluşan kanatlı yüzeyler ve sadece dirseklerden oluşan çıplak yüzeylerdir [6].

4.2.1. Kanatlı Yüzeyler için Isı Geçiş Katsayısı Hesabı

Bu bölümde, şekil 4.5' de gösterilen elemana ait toplam ısı geçiş katsayısının hesaplanması için kullanılan eşitlikler verilmiştir. Isı geçiş alanları ve bazı karakteristik büyüklüklerin hesaplanması şekil 4.6 ve şekil 4.7' da verilen geometrik büyüklükler kullanılarak, bir elemana ait toplam ısı geçiş katsayısı elde edilmiştir.



şekil 4.5 : Yoğunlaştırıcı boru - kanat kesiti.

Klimalarda kullanılan levha kanatlı borulu tip yoğunlaştırıcının geometrik büyüklüklerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

L : Yoğunlaştırıcının toplam uzunluğu

L_f : Yoğunlaştırıcının kanatlı bölümünün uzunluğu

L_b : Yoğunlaştırıcının toplam boru uzunluğu

S_t : Hava akışına dik yöndeki borular arası mesafe

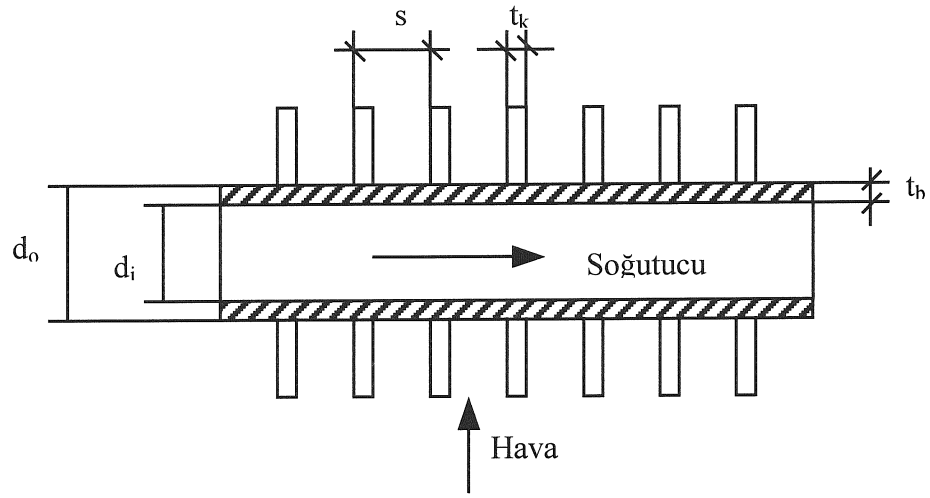
W_k : Kanat genişliği

A_{fy} : Kanat levhasının yüzey alanı

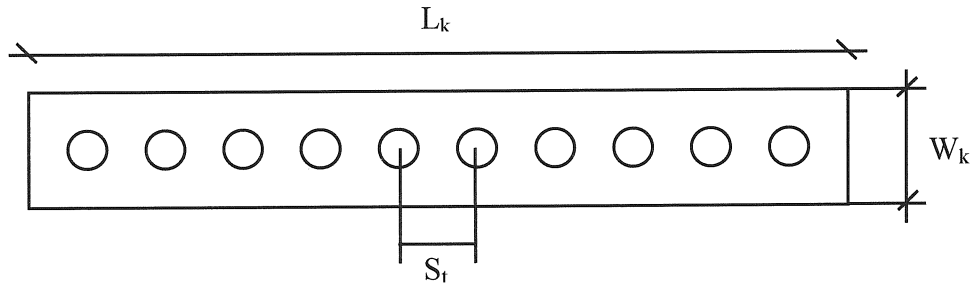
s_k : 1 cm' deki kanat sayısı

d_o : Boru dış çapı

d_i : Boru iç çapı



Şekil 4.6 : Yoğunlaştırıcı boru - kanat kesiti.



Şekil 4.7 : Kanadın geometrik özellikleri.

Boruların içinden geçen akışkan ile boru ve kanatların üzerinden geçen akışkan arasındaki ısı geçişi, boru ve kanatlar üzerinde gerçekleşir. Akışkan ile boru iç yüzeyi arasında taşınım yöntemi ile bir ısı geçişi gerçekleşir. Borunun iç ve dış yüzeyleri arasında iletim yoluyla bir ısı geçişi gerçekleşir. Boru dış yüzeyi ile hava arasındaki ısı geçişi, iki ayrı yüzey kullanılarak gerçekleşir. Levha şeklindeki kanatlar ısı değiştirici borularına, hem kanat dibi hem de boru gömleği ile temas eder.

Kanat ve boru gömleği yüzeyleri, boruların imalat aşaması sırasında şişirilmesi ile birbirlerine temas eder. Kanat ve boru gömleği yüzeyleri arasında, yüzeylerin birbirine iyi temas etmemesi nedeniyle hava bulunur. İki yüzey arasında kalan hava, ısı geçişine bir direnç oluşturur ve temas direnci olarak adlandırılır. Soğutucu akışkandan taşınım ve iletim yoluyla boru dış yüzeyine geçen ısı, boru gömleği ile cidar arasında kalan hava üzerinden geçer. Boru dış yüzeyinden kanat dibine ve boru gömleğine geçen ısının bir bölümü boru gömleği yüzeyleri üzerinden, bir bölümü de kanat yüzeyleri üzerinden, zorlanmış taşınım ile havaya geçmektedir.

Temas dirençleri, her iki metalin yüzey pürüzlülüğüne, kanatların boruya geçirilme yöntemine ve imalat sırasında uygulanan basınca bağlı olarak değişir. Hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle temas dirençleri göz önüne alınmamaktadır.

Isı geçişi ile elektrik arasında bir benzerlik vardır. Sıcaklık gerilmeye, ısı geçişi ise elektrik akımına karşılık gelir. Bu durumda, iki sıcaklık potansiyeli arasında ısı geçiş miktarı,

$$Q = \frac{T_h - T_a}{R} \quad (4.104)$$

olarak tanımlanır.

En genel halde ısı direnç,

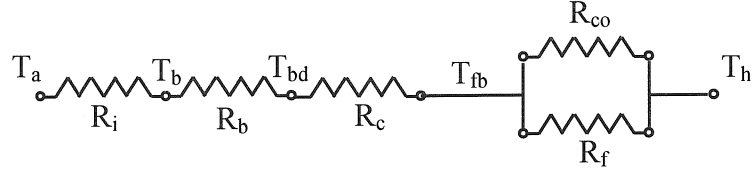
$$R = \frac{1}{h \times A} \quad (4.105)$$

olarak tanımlanır. Yukarıda verilen (4.105) eşitliğinde,

h : Isı taşınım katsayısı

A : Isı geçiş yüzeyi

olarak tanımlanır. Buna göre, levha kanatlı borulu tip ısı değiştiricilerinin ısı geçiş mekanizmasına en uygun ısı devre, Şekil 4.8' de verildiği gibidir.



Şek

il 4.8 : Kanatlı Yüzey için Isıl Devre.

İç ortam taşınım katsayısı (h_i) ve boru iç yüzey alanı (A_i) olmak üzere;

$$R_i = \frac{1}{h_i \times A_i} \quad (4.106)$$

$$A_i = \pi \times d_i \times s \quad (4.107)$$

Boru ısı iletim katsayısı (k_b), boru et kalınlığı (t_b) ve ortalama boru çapındaki ısı geçiş alanı A_{bm} olmak üzere;

$$R_b = \frac{t_b}{k_b \times A_{bm}} \quad (4.108)$$

$$A_{bm} = \pi \times d_m \times s \quad (4.109)$$

Dış ortam taşınım katsayısı (h_d), boru gömleği ısı geçiş alanı (A_{co}) olmak üzere;

$$R_{co} = \frac{1}{h_d \times A_{co}} \quad (4.110)$$

$$A_{co} = \pi \times d_o \times L_{co} \quad (4.111)$$

Dış ortam taşınım katsayısı (h_d), kanat verimi (η_f) ve kanat yüzey alanı (A_f) olmak üzere;

$$R_f = \frac{1}{h_d \times \eta_f \times A_f} \quad (4.112)$$

$$A_f = 2 \times (W_k + t_k) \times S_t \quad (4.113)$$

Boru dış çapı (d_o), kanat kalınlığı (t_k) ve kanat ile boru arasındaki boşluk (b) olmak üzere [6-7];

$$R_c = 3,913 \times 10^{-7} \times \left[\frac{d_o \times \left(\frac{b}{t_k} - 1 \right)^2}{t_k} \right]^{0,6422} \quad (4.114)$$

Toplam kanatlı yüzey direnci,

$$R_t = R_i + R_b + R_c + \frac{1}{\frac{1}{R_{co}} + \frac{1}{R_f}} \quad (4.115)$$

4.2.1.1. Kanat Verim Hesabı

Düz levha kanatların verimi (η_f)

$$\eta_f = \frac{\tanh(m r_e \Phi)}{m r_e \Phi} \quad (4.116)$$

eşitliği ile tanımlanır [7-8]. Yukarıda verilen (4.116) eşitliğinde,

m : Kanat parametresi

r_e : Eşdeğer kanat yarıçapı

Φ : Kanat geometri parametresi

olarak tanımlanır. (4.116) eşitliğinde verilen m , r_e ve Φ değerleri, (4.117), (4.118) ve (4.119) eşitlikleri kullanılarak hesaplanır.

$$m = \sqrt{\frac{2 \times h_d}{k_k \times t_k}} \quad (4.117)$$

$$r_e = 0.635 \times S_t \sqrt{\frac{W_k}{S_t}} - 0.3 \quad (4.118)$$

$$\Phi = \left(\frac{2r_e}{d_o} - 1 \right) \times \left(1 + 0.35 \ln \frac{2r_e}{d_o} \right) \quad (4.119)$$

Yukarıda verilen (4.117), (4.118) ve (4.119) eşitliklerinde,

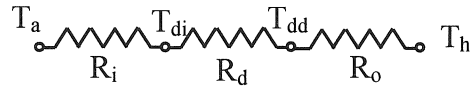
k_k : Kanat ısı iletim katsayısı

t_k : Kanat kalınlığı

olarak tanımlanır.

4.2.2 Çıplak Yüzeyler için Isı Geçiş Katsayısı Hesabı

Akışkan ile dirsek yüzeyi arasında taşınım yöntemi ile, dirseğin iç ve dış yüzeyleri arasında iletim yoluyla ile, dirsek dış yüzeyi ile hava arasında ise taşınım yoluyla ısı geçişi gerçekleşir. Buna göre dirsek için ısı geçiş mekanizmasına en uygun ısıl devre, Şekil 4.9' da verildiği gibidir.



Şekil 4.9 : Çıplak Yüzey için Isıl Devre.

İç ortam taşınım katsayısı (h_i) ve dirsek iç yüzey alanı (A_i) olmak üzere;

$$R_i = \frac{1}{h_i \times A_i} \quad (4.120)$$

$$A_i = \pi \times d_i \times L_d \quad (4.121)$$

$$L_d = \alpha \times R \quad (4.122)$$

Dirsek ısı iletim katsayısı (k_b), dirsek et kalınlığı (t_b) ve ortalama boru çapındaki ısı geçiş alanı (A_{dm}) olmak üzere;

$$R_d = \frac{t_b}{k_b \times A_{dm}} \quad (4.123)$$

$$A_{dm} = \pi \times d_m \times L_d \quad (4.124)$$

Dış ortam taşınım katsayısı (h_d), boru gömleği ısı geçiş alanı (A_{co}) olmak üzere;

$$R_o = \frac{1}{h_d \times A_o} \quad (4.125)$$

$$A_o = \pi \times d_o \times L_d \quad (4.126)$$

Toplam ıplak yüzey direnç,

$$R_t = R_i + R_d + R_o \quad (4.127)$$

4.4.3 Toplam ısı Geçişinin Bulunması

Toplam ısı geçişi 4.128 eşitliği ile hesaplanmıştır. Düğüm noktalarındaki sıcaklık farkı ΔT_i olmak üzere

$$\sum Q = \sum \frac{\Delta T_m}{R_t} \quad (4.128)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (4.129)$$

$$\Delta T_2 = T_{a2} - T_{h2} \quad (4.129)$$

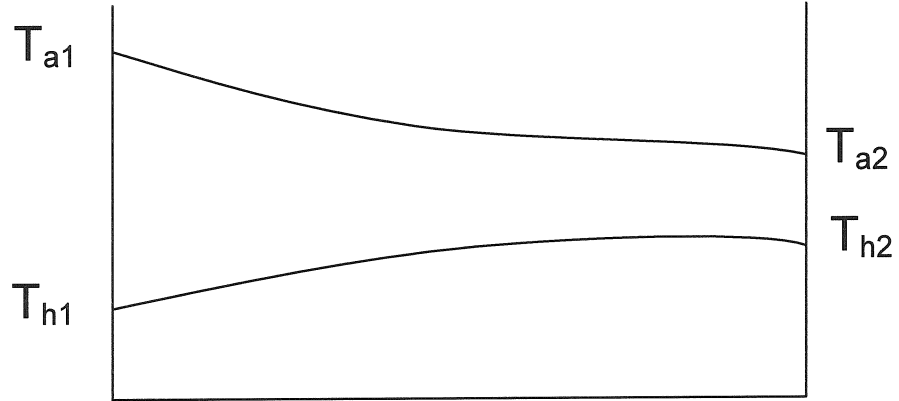
$$\Delta T_1 = T_{a1} - T_{h1} \quad (4.130)$$

T_{a2} : Akışkanın çıkış sıcaklığı

T_{a1} : Akışkanın giriş sıcaklığı

T_{h2} : Havanın çıkış sıcaklığı

T_{h1} : Havanın giriş sıcaklığı



Şekil 4.10 : Sistem Giriş-Çıkış Sıcaklıkları.

Akışkan sıcaklığının doğrusal olarak değiştiği kabul edilmiştir. Buna göre düğüm noktasında sıcaklık T_i ,

$$T_i = T_{giris} - l^e \times \Delta T_b \quad (4.131)$$

olarak bulunmuştur.

$$\Delta T_b = \frac{T_{giris} - T_{cikis}}{L_b} \quad (4.132)$$

$$L_b = n_c \times L_f + (2 \times n_c - 1) \times R \times \alpha \quad (4.133)$$

ΔT_b : Birim uzunluktaki sıcaklık değişimi

l^e : Elemanın uzunluğu

L_b : Isı değiştirici toplam boru uzunluğu

L_f : Yoğunlaştırıcının kanatlı bölümünün uzunluğu

n_c : Toplam akışa dik boru sayısı

R : Dirsek yarıçapı

α : Dirsek açısı

4.3. Malzeme Maliyetinin Bulunması

Isı değıştircinin malzeme maliyeti hesaplanırken boru ve kanatların malzeme maliyetleri dikkate alınmıştır.

$$Maliyet = R_h \times (M_b \times BM_b + M_k \times BM_k) \quad (4.134)$$

$$M_b = (n_c \times L_f + (2 \times n_c - 1) \times R \times \alpha) \times \pi \times \left(\frac{d_o^2 - d_i^2}{4} \right) \times \rho_b \quad (4.135)$$

$$M_k = n_c \times S_t \times W_t \times n_f \times \rho_k \times t_k \quad (4.136)$$

M_b : Toplam boru ağırlığı

M_k : Toplam kanat ağırlığı

BM_b : Boru birim malzeme maliyeti

BM_k : Boru birim malzeme maliyeti

R_h : Üretim hurda faktörü

Üretim hurda faktörü (R_h) ile üretim esnasında çıkan hurdaların maliyetlerinin malzeme maliyetine etkisi sağlanacaktır. Bakır ısı değıştircilerinde 1,0 alınırken üretimi daha zor olan alüminyum ısı değıştircilerinde ise 1,1 olarak alınacaktır.

5. ANALİZ

5.1. En Yüksek ve En Düşük Girdilere Karşılık Çıktıların İncelenmesi

Sistem girdilerinin en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 3.1’de özetlenmişti. Bu sınır değerlerinin kullanılmasıyla hesaplanan sistem çıktıları ısı geçiş değeri (Y1), malzeme maliyeti (Y2) ve en küçük özdeğer (Y3) Tablo 5.1’ de verilmiştir.

“0” nolu kombinasyon üretimde mevcut olan yoğunlaştırıcıya aittir ve nominal tasarım olarak alınmıştır.

Tablodaki % değerler nominal tasarımdan sapmayı göstermektedir ve hesaplaması Eşitlik 5.1’ de gösterilmiştir.

$$\% \delta_i = \frac{y_i - y_0}{y_0} \quad (5.1)$$

y_i : ‘i’ nolu kombinasyona ait çıktı değeri

y_0 : ‘0’ nolu kombinasyona ait çıktı değeri

Tablo üzerinde gri ile işaretlenmiş değerler her bir çıktının en iyi değerlerdir. Buna göre Y1 için en iyi değer 12nci kombinasyon, Y2 için en iyi değer 25nci kombinasyon ve Y3 için ise en iyi değer 45 ve 46 ncı kombinasyonlardır. Sonuç olarak bu tablo sınır değerlerdeki sistem çıktıları verirken en optimal kombinasyonu gösterememektedir.

Tablo 5.1 : Sistem Girdi Kombinasyonlarına Göre Çıktı Değerleri.

No	mtrl	tb	do	fpi	tk	wk	Y1		Y2		Y3	
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	%	YTL	%	-	%
0	cu	0,270	7,00	18	0,100	12,7	2827,54	0,0	13,03	0,0	0,00032	0,0
1	cu	0,270	7,00	16	0,095	12,7	2541,60	-10,1	11,71	-10,2	0,00036	12,8
2	cu	0,270	7,00	16	0,095	19,0	3308,25	17,0	13,52	3,7	0,00036	12,8
3	cu	0,270	7,00	16	0,105	12,7	2542,26	-10,1	12,09	-7,2	0,00036	12,8
4	cu	0,270	7,00	16	0,105	19,0	3308,77	17,0	14,09	8,1	0,00036	12,8
5	cu	0,270	7,00	21	0,095	12,7	3046,91	7,8	12,85	-1,4	0,00027	-14,2
6	cu	0,270	7,00	21	0,095	19,0	3891,76	37,6	15,23	16,8	0,00027	-14,2
7	cu	0,270	7,00	21	0,105	12,7	3047,65	7,8	13,35	2,5	0,00027	-14,2
8	cu	0,270	7,00	21	0,105	19,0	3892,32	37,7	15,98	22,6	0,00027	-14,2
9	cu	0,270	9,52	16	0,095	19,0	3488,43	23,4	14,77	13,3	0,00049	55,0
10	cu	0,270	9,52	16	0,105	19,0	3488,92	23,4	15,34	17,7	0,00049	55,0
11	cu	0,270	9,52	21	0,095	19,0	4135,28	46,3	16,47	26,4	0,00038	17,9
12	cu	0,270	9,52	21	0,105	19,0	4135,82	46,3	17,23	32,2	0,00038	17,9
13	cu	0,370	7,00	16	0,095	12,7	2519,85	-10,9	14,53	11,5	0,00049	52,3
14	cu	0,370	7,00	16	0,095	19,0	3271,43	15,7	16,34	25,4	0,00049	52,3
15	cu	0,370	7,00	16	0,105	12,7	2520,49	-10,9	14,91	14,4	0,00049	52,3
16	cu	0,370	7,00	16	0,105	19,0	3271,93	15,7	16,91	29,8	0,00049	52,3
17	cu	0,370	7,00	21	0,095	12,7	3015,64	6,7	15,67	20,3	0,00037	15,8
18	cu	0,370	7,00	21	0,095	19,0	3840,84	35,8	18,05	38,5	0,00037	15,8
19	cu	0,370	7,00	21	0,105	12,7	3016,37	6,7	16,17	24,1	0,00037	15,8
20	cu	0,370	7,00	21	0,105	19,0	3841,38	35,9	18,80	44,3	0,00037	15,8
21	cu	0,370	9,52	16	0,095	19,0	3463,00	22,5	18,07	38,7	0,00067	110,1
22	cu	0,370	9,52	16	0,105	19,0	3463,48	22,5	18,65	43,1	0,00067	110,1
23	cu	0,370	9,52	21	0,095	19,0	4099,54	45,0	19,78	51,8	0,00051	59,8
24	cu	0,370	9,52	21	0,105	19,0	4100,06	45,0	20,54	57,6	0,00051	59,8
25	al	0,950	7,00	16	0,095	12,7	2369,06	-16,2	8,25	-36,7	0,00066	108,1
26	al	0,950	7,00	16	0,095	19,0	3021,38	6,9	10,24	-21,4	0,00066	108,1
27	al	0,950	7,00	16	0,105	12,7	2369,64	-16,2	8,68	-33,4	0,00066	108,1
28	al	0,950	7,00	16	0,105	19,0	3021,82	6,9	10,88	-16,5	0,00066	108,1
29	al	0,950	7,00	21	0,095	12,7	2801,88	-0,9	9,51	-27,0	0,00050	58,2
30	al	0,950	7,00	21	0,095	19,0	3500,30	23,8	12,12	-7,0	0,00050	58,2
31	al	0,950	7,00	21	0,105	12,7	2802,50	-0,9	10,06	-22,8	0,00050	58,2
32	al	0,950	7,00	21	0,105	19,0	3500,75	23,8	12,95	-0,6	0,00050	58,2
33	al	0,950	9,52	16	0,095	19,0	3295,69	16,6	11,05	-15,2	0,00094	194,8
34	al	0,950	9,52	16	0,105	19,0	3296,12	16,6	11,68	-10,4	0,00094	194,8
35	al	0,950	9,52	21	0,095	19,0	3866,79	36,8	12,93	-0,8	0,00071	124,2
36	al	0,950	9,52	21	0,105	19,0	3867,26	36,8	13,76	5,6	0,00071	124,2
37	al	1,050	7,00	16	0,095	12,7	2338,50	-17,3	8,62	-33,8	0,00072	126,2
38	al	1,050	7,00	16	0,095	19,0	2971,77	5,1	10,61	-18,6	0,00072	126,2
39	al	1,050	7,00	16	0,105	12,7	2339,05	-17,3	9,04	-30,6	0,00072	126,2
40	al	1,050	7,00	16	0,105	19,0	2972,19	5,1	11,24	-13,7	0,00072	126,2
41	al	1,050	7,00	21	0,095	12,7	2759,15	-2,4	9,88	-24,2	0,00055	72,0
42	al	1,050	7,00	21	0,095	19,0	3433,79	21,4	12,49	-4,1	0,00055	72,0
43	al	1,050	7,00	21	0,105	12,7	2759,76	-2,4	10,43	-19,9	0,00055	72,0
44	al	1,050	7,00	21	0,105	19,0	3434,23	21,5	13,32	2,2	0,00055	72,0
45	al	1,050	9,52	16	0,095	19,0	3263,86	15,4	11,52	-11,6	0,00103	222,0
46	al	1,050	9,52	16	0,105	19,0	3264,29	15,4	12,15	-6,8	0,00103	222,0
47	al	1,050	9,52	21	0,095	19,0	3822,98	35,2	13,39	2,8	0,00078	144,9
48	al	1,050	9,52	21	0,105	19,0	3823,44	35,2	14,22	9,2	0,00078	144,9

5.2. Girdilerdeki Küçük Artışlara Karşılık Çıktı Değerlerinin İncelenmesi

Sistem girdilerin çıktılarının üzerinde nasıl etkisi olduğunu ya da başka bir deyişle çıktılarının değişiminin girdilerin değişimine ne kadar duyarlı olduğunu anlamak için Duyarlılık Analizinden (Sensitivity Analysis) yararlanılmıştır. Sırayla her bir girdi, diğerleri sabit kalmak şartıyla, %10 arttırılarak çıktılar incelenmiştir. Bu incelemeler boru malzemesi olan bakır ve alüminyum için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir çalışma için çizdirilen grafikler ilk değere göre normalize edilerek daha anlaşılır hale getirilmiştir.

5.2.1. Boru Çapı

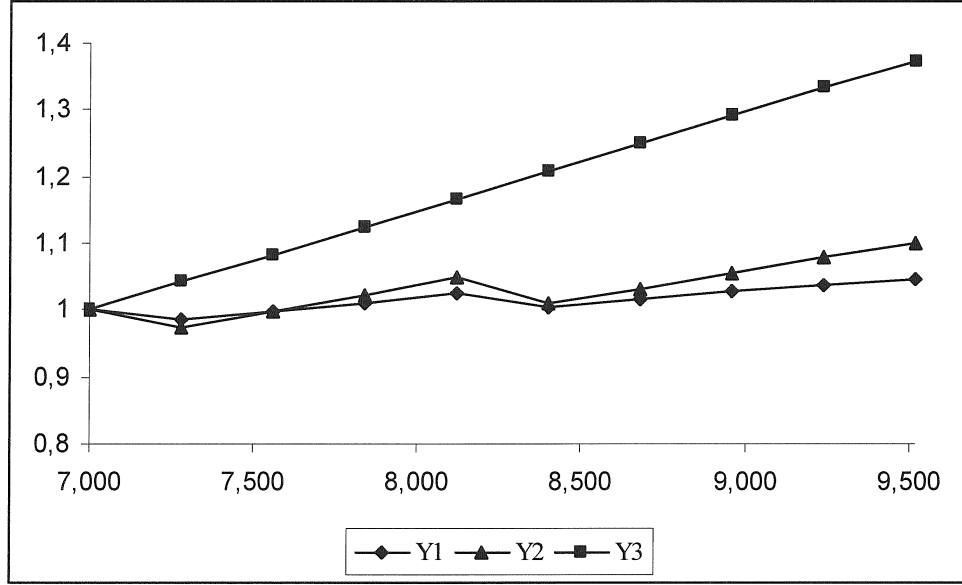
Tablo 5.2 'de malzemenin bakır seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.2 : Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	cu	7,000	0,270	18	0,1	12,7	2756,28	12,39	0,00032
2	cu	7,280	0,270	18	0,1	12,7	2716,28	12,05	0,00033
3	cu	7,560	0,270	18	0,1	12,7	2752,87	12,36	0,00035
4	cu	7,840	0,270	18	0,1	12,7	2787,82	12,67	0,00036
5	cu	8,120	0,270	18	0,1	12,7	2821,26	12,98	0,00037
6	cu	8,400	0,270	18	0,1	12,7	2768,92	12,51	0,00039
7	cu	8,680	0,270	18	0,1	12,7	2800,14	12,79	0,00040
8	cu	8,960	0,270	18	0,1	12,7	2830,16	13,07	0,00041
9	cu	9,240	0,270	18	0,1	12,7	2859,07	13,35	0,00042
10	cu	9,520	0,270	18	0,1	12,7	2886,93	13,64	0,00044

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Sonuç olarak boru çapının artışına bağlı olarak Y3 doğrusal bir artış gösterirken Y1 ve Y2 iki noktada düşey pik yaparak genelde artış göstermiştir. İki noktada değişkenlik yapmasının nedeni (3.2) eşitliği ile hesaplanan akışa dik boru sayısının (n_c) en yakın ve en küçük çift sayıya yuvarlanması nedeniyle boru sayısında azalma görülmesi ve buna bağlı olarak da ısı geçiş miktarı ile malzeme maliyetinin düşmesidir.



Şekil 5.1 : Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu)

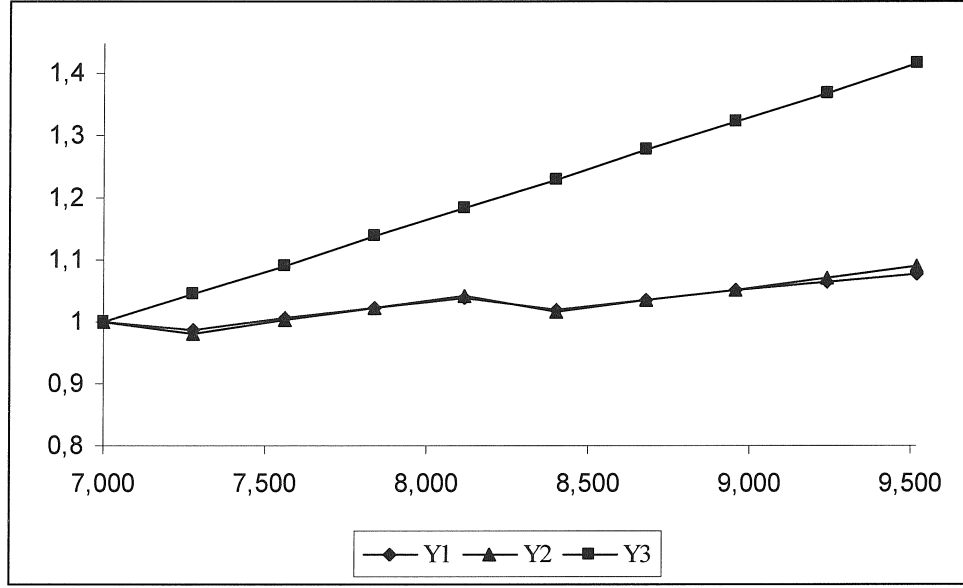
Tablo 5.3 'de malzemenin alüminyum seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.3 : Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

no	mtrl	do	tb	fpi	Tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	Mm	mm	Watt	YTL	-
1	al	7,000	0,950	18	0,1	12,7	2554,38	9,00	0,00059
2	al	7,280	0,950	18	0,1	12,7	2521,40	8,84	0,00062
3	al	7,560	0,950	18	0,1	12,7	2568,99	9,02	0,00064
4	al	7,840	0,950	18	0,1	12,7	2613,99	9,20	0,00067
5	al	8,120	0,950	18	0,1	12,7	2656,63	9,38	0,00070
6	al	8,400	0,950	18	0,1	12,7	2607,75	9,15	0,00072
7	al	8,680	0,950	18	0,1	12,7	2646,82	9,31	0,00075
8	al	8,960	0,950	18	0,1	12,7	2684,09	9,48	0,00078
9	al	9,240	0,950	18	0,1	12,7	2719,70	9,64	0,00081
10	al	9,520	0,950	18	0,1	12,7	2753,80	9,81	0,00083

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Sonuç olarak boru çapının artışına bağlı olarak Y3 doğrusal bir artış gösterirken Y1 ve Y2 iki noktada düşey pik yaparak genelde artış göstermiştir. İki noktada yapmasının nedeni (3.2) eşitliği ile hesaplanan akışa dik boru sayısının (n_c) en yakın ve en küçük çift sayıya yuvarlanması nedeniyle boru sayısında azalma görülmesi ve buna bağlı olarak da ısı geçiş miktarı ile malzeme maliyetinin düşmesidir.



Şekil 5.2 : Boru Çapının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

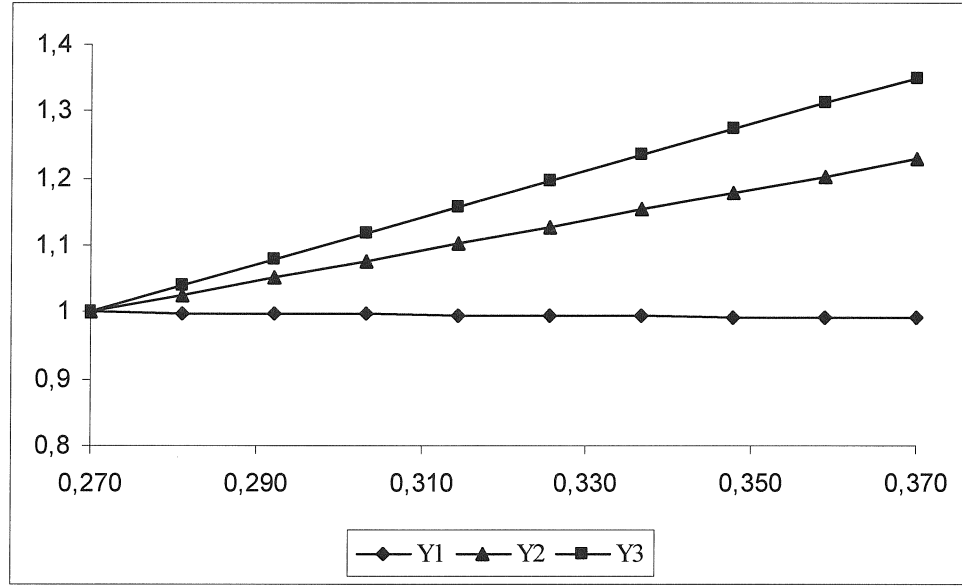
5.2.2. Boru Et Kalınlığı

Tablo 5.4 'de malzemenin bakır seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.4 : Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	1	7,00	0,270	18	0,1	12,7	2756,28	12,39	0,00032
2	1	7,00	0,281	18	0,1	12,7	2753,49	12,71	0,00033
3	1	7,00	0,292	18	0,1	12,7	2750,69	13,02	0,00034
4	1	7,00	0,303	18	0,1	12,7	2747,88	13,34	0,00036
5	1	7,00	0,314	18	0,1	12,7	2745,05	13,65	0,00037
6	1	7,00	0,326	18	0,1	12,7	2742,20	13,97	0,00038
7	1	7,00	0,337	18	0,1	12,7	2739,35	14,28	0,00039
8	1	7,00	0,348	18	0,1	12,7	2736,48	14,59	0,00041
9	1	7,00	0,359	18	0,1	12,7	2733,59	14,90	0,00042
10	1	7,00	0,370	18	0,1	12,7	2730,69	15,21	0,00043

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

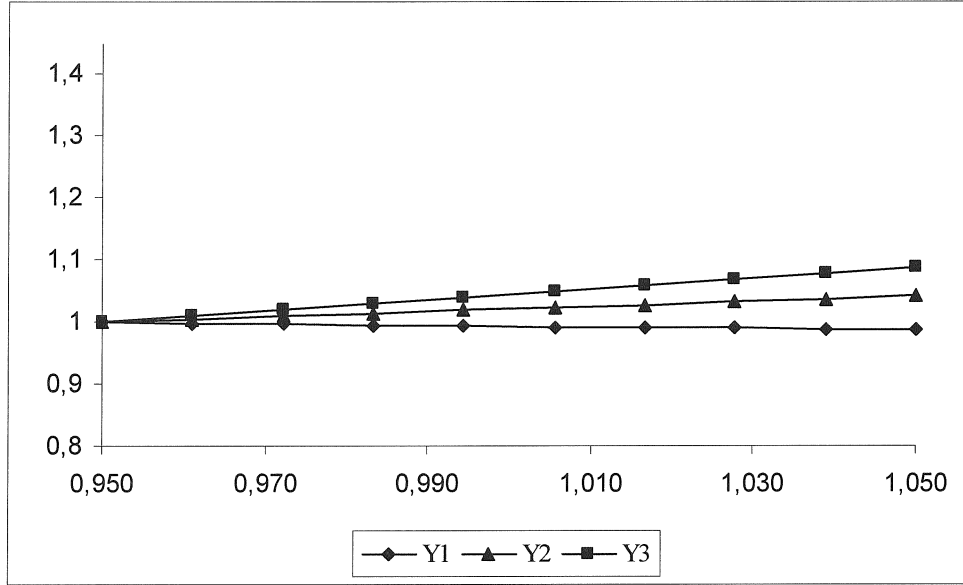
Sonuç olarak boru et kalınlığının artışına bağlı olarak Y2 ve Y3 doğrusal bir artış gösterirken Y1 doğrusal azalış göstermektedir.

Tablo 5.5 'de malzemenin alüminyum seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.5 : Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	2	7,00	0,950	18	0,1	12,7	2554,38	8,18	0,00059
2	2	7,00	0,961	18	0,1	12,7	2550,52	8,22	0,00059
3	2	7,00	0,972	18	0,1	12,7	2546,64	8,26	0,00060
4	2	7,00	0,983	18	0,1	12,7	2542,74	8,30	0,00061
5	2	7,00	0,994	18	0,1	12,7	2538,81	8,33	0,00061
6	2	7,00	1,006	18	0,1	12,7	2534,87	8,37	0,00062
7	2	7,00	1,017	18	0,1	12,7	2530,90	8,41	0,00062
8	2	7,00	1,028	18	0,1	12,7	2526,90	8,44	0,00063
9	2	7,00	1,039	18	0,1	12,7	2522,89	8,48	0,00063
10	2	7,00	1,050	18	0,1	12,7	2518,85	8,52	0,00064

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Boru Et Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

Sonuç olarak boru et kalınlığının artışına bağlı olarak Y2 ve Y3 doğrusal bir artış gösterirken Y1 doğrusal bir azalış göstermektedir.

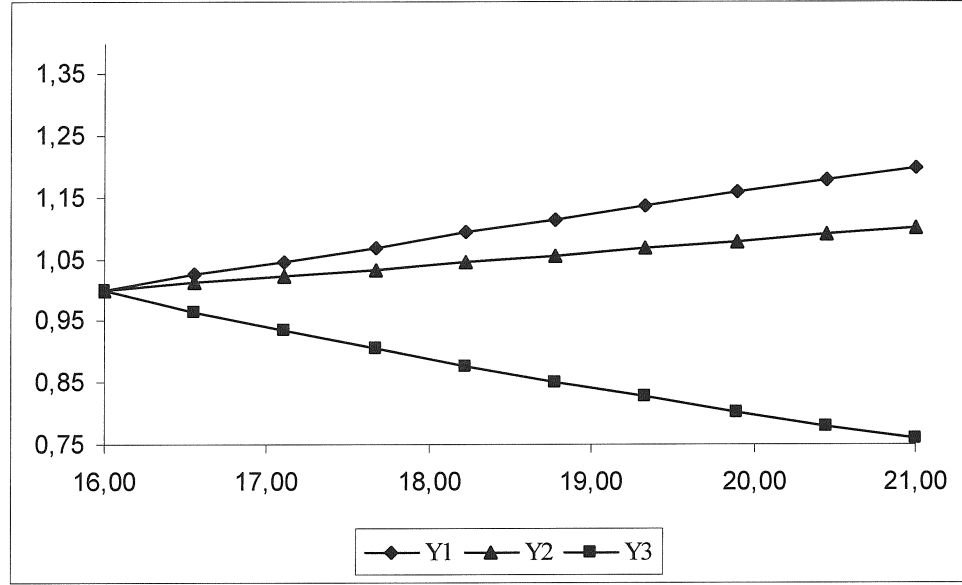
5.2.3. Kanat Sayısı (FPI)

Tablo 5.6 'de malzemenin bakır seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.6 : Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	1	7,000	0,270	16,00	0,1	12,7	2541,93	11,90	0,00036
2	1	7,000	0,270	16,56	0,1	12,7	2604,56	12,04	0,00035
3	1	7,000	0,270	17,11	0,1	12,7	2662,25	12,17	0,00034
4	1	7,000	0,270	17,67	0,1	12,7	2718,98	12,30	0,00033
5	1	7,000	0,270	18,22	0,1	12,7	2778,46	12,44	0,00031
6	1	7,000	0,270	18,78	0,1	12,7	2833,29	12,57	0,00031
7	1	7,000	0,270	19,33	0,1	12,7	2887,22	12,70	0,00030
8	1	7,000	0,270	19,89	0,1	12,7	2943,79	12,84	0,00029
9	1	7,000	0,270	20,44	0,1	12,7	2995,95	12,97	0,00028
10	1	7,000	0,270	21,00	0,1	12,7	3047,28	13,10	0,00027

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

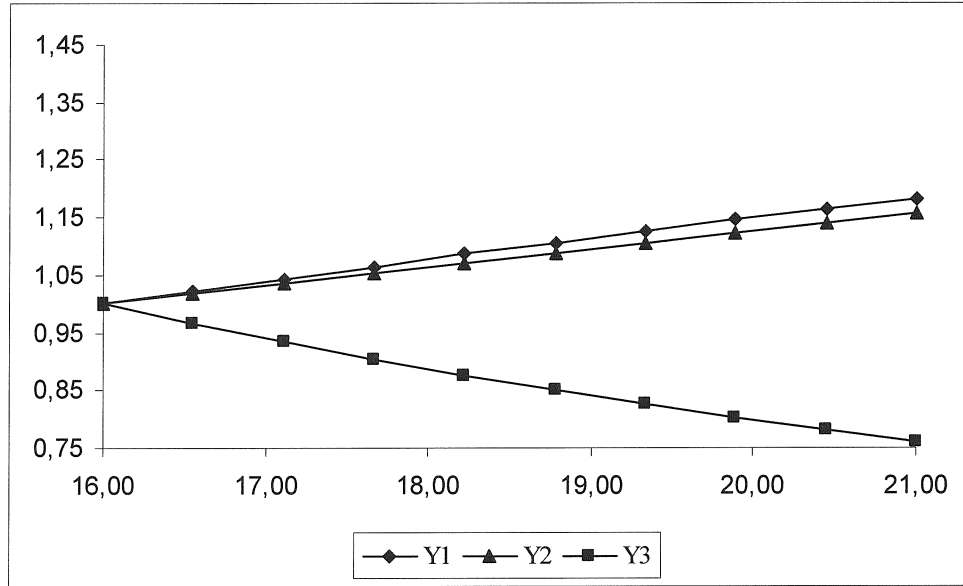
Sonuç olarak Kanat Sayısı (FPI) artışına bağlı olarak Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken Y3 doğrusal bir azalış göstermektedir.

Tablo 5.7 'de malzemenin alüminyum seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.7 : Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	2	7,00	0,950	16,00	0,1	12,7	2369,35	7,69	0,00066
2	2	7,00	0,950	16,56	0,1	12,7	2423,63	7,83	0,00064
3	2	7,00	0,950	17,11	0,1	12,7	2473,47	7,96	0,00062
4	2	7,00	0,950	17,67	0,1	12,7	2522,33	8,10	0,00060
5	2	7,00	0,950	18,22	0,1	12,7	2573,41	8,23	0,00058
6	2	7,00	0,950	18,78	0,1	12,7	2620,33	8,37	0,00056
7	2	7,00	0,950	19,33	0,1	12,7	2666,36	8,50	0,00055
8	2	7,00	0,950	19,89	0,1	12,7	2714,50	8,64	0,00053
9	2	7,00	0,950	20,44	0,1	12,7	2758,76	8,77	0,00052
10	2	7,00	0,950	21,00	0,1	12,7	2802,19	8,90	0,00050

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.6'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Kanat Sayısının (FPI) %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

Sonuç olarak kanat sayısının (FPI) artışına bağlı olarak normal eğimle Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken Y3 doğrusal bir azalış göstermektedir.

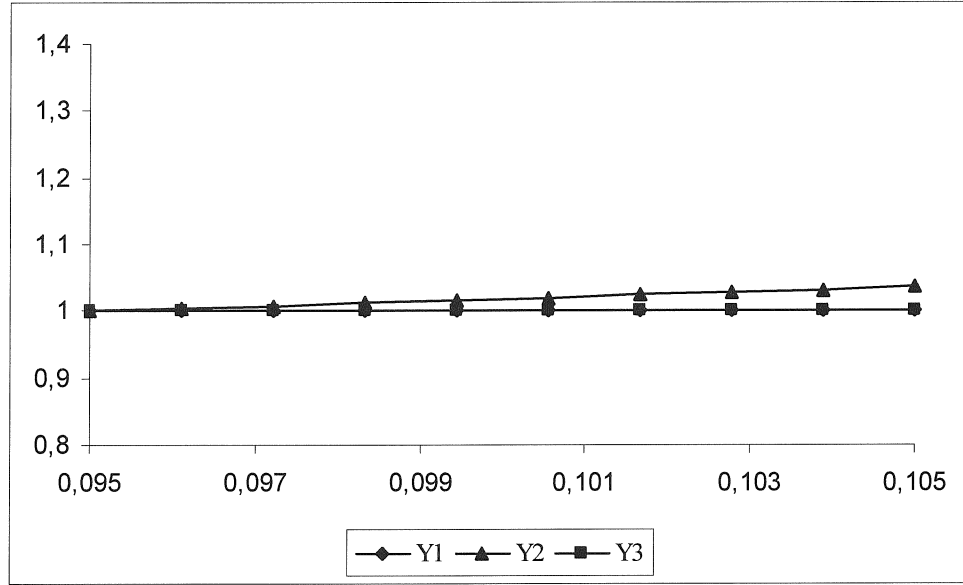
5.2.4. Kanat Kalınlığı

Tablo 5.8 'de malzemenin bakır seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.8 : Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	1	7,000	0,270	18	0,095	12,7	2755,93	12,17	0,00032
2	1	7,000	0,270	18	0,096	12,7	2756,01	12,22	0,00032
3	1	7,000	0,270	18	0,097	12,7	2756,09	12,27	0,00032
4	1	7,000	0,270	18	0,098	12,7	2756,17	12,32	0,00032
5	1	7,000	0,270	18	0,099	12,7	2756,24	12,36	0,00032
6	1	7,000	0,270	18	0,101	12,7	2756,32	12,41	0,00032
7	1	7,000	0,270	18	0,102	12,7	2756,40	12,46	0,00032
8	1	7,000	0,270	18	0,103	12,7	2756,47	12,51	0,00032
9	1	7,000	0,270	18	0,104	12,7	2756,55	12,56	0,00032
10	1	7,000	0,270	18	0,105	12,7	2756,63	12,60	0,00032

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

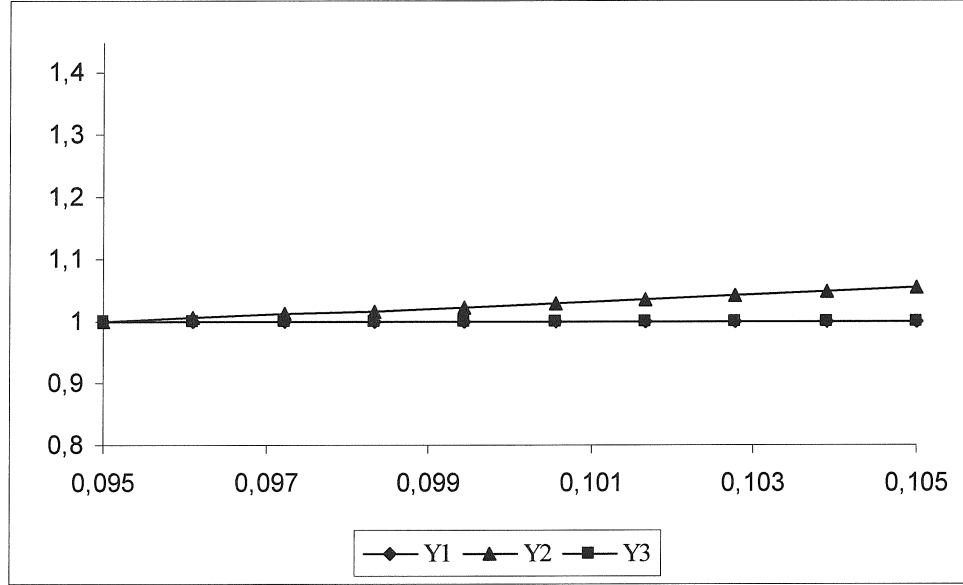
Sonuç olarak kanat kalınlığının artışına bağlı olarak Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken, Y3 sabit kalmıştır.

Tablo 5.9 'de malzemenin alüminyum seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.9 : Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

no	mtrl	do	Tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	Mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	2	7,00	0,950	18	0,095	12,7	2554,08	7,97	0,00059
2	2	7,00	0,950	18	0,096	12,7	2554,15	8,01	0,00059
3	2	7,00	0,950	18	0,097	12,7	2554,21	8,06	0,00059
4	2	7,00	0,950	18	0,098	12,7	2554,28	8,11	0,00059
5	2	7,00	0,950	18	0,099	12,7	2554,35	8,16	0,00059
6	2	7,00	0,950	18	0,101	12,7	2554,41	8,21	0,00059
7	2	7,00	0,950	18	0,102	12,7	2554,48	8,25	0,00059
8	2	7,00	0,950	18	0,103	12,7	2554,54	8,30	0,00059
9	2	7,00	0,950	18	0,104	12,7	2554,61	8,35	0,00059
10	2	7,00	0,950	18	0,105	12,7	2554,68	8,40	0,00059

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Kanat Kalınlığının %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

Sonuç olarak kanat kalınlığının artışına bağlı olarak Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken, Y3 sabit kalmıştır.

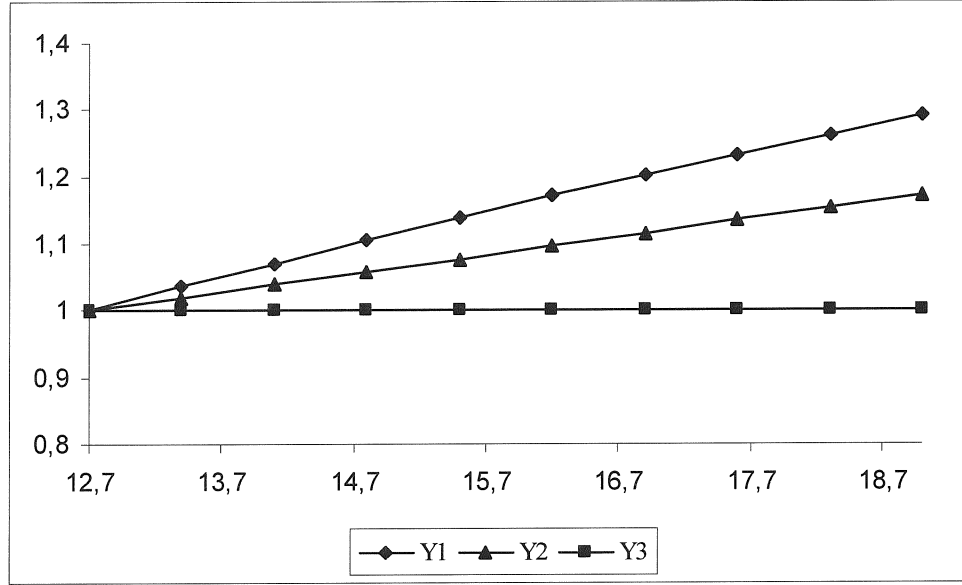
5.2.5. Kanat Genişliği

Tablo 5.10 'de malzemenin bakır seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.10 : Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

no	mtrl	do	Tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	1	7,000	0,270	18	0,1	12,7	2756,28	12,39	0,00032
2	1	7,000	0,270	18	0,1	13,400	2856,10	12,63	0,00032
3	1	7,000	0,270	18	0,1	14,100	2953,00	12,86	0,00032
4	1	7,000	0,270	18	0,1	14,800	3047,11	13,10	0,00032
5	1	7,000	0,270	18	0,1	15,500	3138,55	13,34	0,00032
6	1	7,000	0,270	18	0,1	16,200	3227,44	13,58	0,00032
7	1	7,000	0,270	18	0,1	16,900	3313,87	13,82	0,00032
8	1	7,000	0,270	18	0,1	17,600	3397,94	14,06	0,00032
9	1	7,000	0,270	18	0,1	18,300	3479,76	14,30	0,00032
10	1	7,000	0,270	18	0,1	19	3559,41	14,53	0,00032

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.9'de gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (cu).

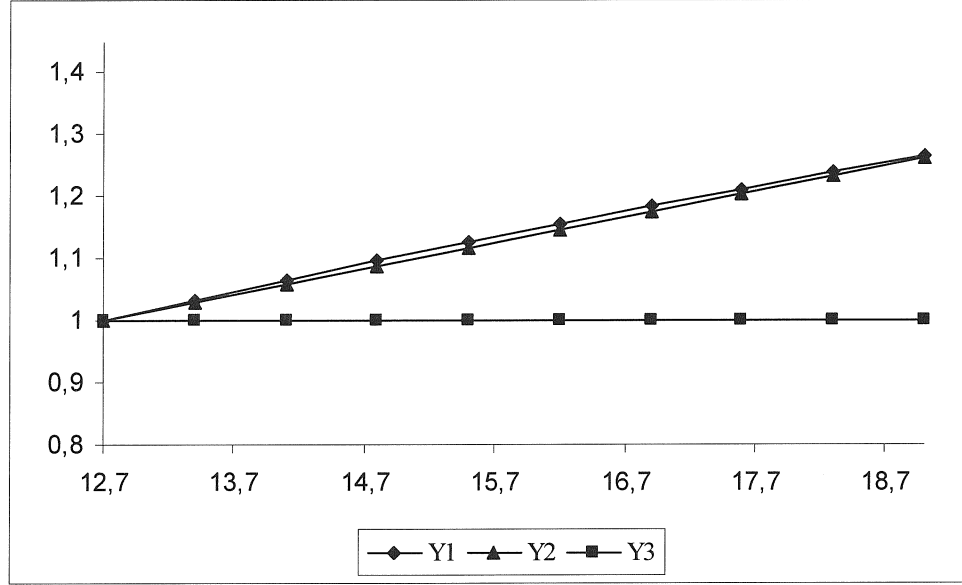
Sonuç olarak kanat kalınlığının artışına bağlı olarak Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken, Y3 sabit kalmıştır.

Tablo 5.11 'de malzemenin alüminyum seçildiği durumdaki girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar özetlenmiştir.

Tablo 5.11 : Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y1	Y2	Y3
	-	mm	mm	-	mm	mm	Watt	YTL	-
1	2	7,00	0,950	18	0,1	12,7	2554,38	8,18	0,00059
2	2	7,00	0,950	18	0,1	13,400	2639,84	8,42	0,00059
3	2	7,00	0,950	18	0,1	14,100	2722,37	8,66	0,00059
4	2	7,00	0,950	18	0,1	14,800	2802,11	8,90	0,00059
5	2	7,00	0,950	18	0,1	15,500	2879,22	9,14	0,00059
6	2	7,00	0,950	18	0,1	16,200	2953,80	9,38	0,00059
7	2	7,00	0,950	18	0,1	16,900	3026,00	9,61	0,00059
8	2	7,00	0,950	18	0,1	17,600	3095,92	9,85	0,00059
9	2	7,00	0,950	18	0,1	18,300	3163,66	10,09	0,00059
10	2	7,00	0,950	18	0,1	19	3229,32	10,33	0,00059

İlk çıktı değerlerine göre normalize edilen Y1, Y2 ve Y3 'ün grafiği Şekil 5.10'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Kanat Genişliğinin %10 Artışına Karşılık Gelen Çıktı Değerleri (al).

Sonuç olarak kanat kalınlığının artışına bağlı olarak Y1 ve Y2 doğrusal bir artış gösterirken, Y3 sabit kalmıştır.

5.2.6 Çıktı Değerlerindeki Değişimin Karşılaştırılması

Yukarıda her bir girdinin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişkenlikleri bakır ve alüminyum boru ısı değiştiriciler için ayrı ayrı incelenmiştir. Bakır boru için Tablo 5.12' de, alüminyum boru için ise Tablo 5.13' de değişim oranları özetlenmiştir.

Tablo 5.12 : Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (cu).

Çıktı	do	tb	fpi	tk	wk
	%	%	%	%	%
Y1(+)	4,7	-0,9	19,9	0,0	29,1
Y2(-)	10,1	22,8	10,1	3,6	17,3
Y3(+)	37,4	35,0	-24,0	0,0	0,0

Tablo 5.13 : Girdilerin %10'luk artışına bağlı olarak çıktıların değişim oranları (al).

Çıktı	do	tb	fpi	tk	wk
	%	%	%	%	%
Y1(+)	7,8	-1,4	18,3	0,0	26,4
Y2(-)	9,0	4,1	15,6	5,4	26,2
Y3(+)	41,7	8,7	-24,0	0,0	0,0

5.3. Optimal Şartları Sağlayan Girdilerin Bulunması

Yukarıda özetlenen işlem çok parametrelili bir optimizasyon işlemidir. Optimal şartları bulabilmek için çıktılar arasında, (5.2) gibi bir denklem yazılmalı ve denklem sonucu maksimize ya da minimize edilmelidir.

$$Y = A \times Y1 + B \times Y2 + C \times Y3 \quad (5.2)$$

Denklemini oluşturabilmek için öncelikle A, B ve C katsayılarının tayin edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada diğer iki çıktıya göre önemi daha az olan özdeğer çıktısı (Y3) göz ardı edilecek ve C sıfır olarak alınmıştır. Eşitlik (5.3)'de A ve B katsayılarını bulabilmek için Tablo 5.1'deki nominal kombinasyondaki Y1 (2827,54) ve Y2 (13,03) değerleri alınmış ve Y değeri sıfır olarak kabul edilmiştir. Eşitlik neticesinde B/A oranı -216,9878 bulunmuş ve A=1 kabul edilerek B=-216,9878 olarak hesaplanmıştır.

$$A \times Y1 + B \times Y2 = 0 \quad (5.3)$$

Buna göre aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Y = Y1 - 216,9878 \times Y2 \quad (5.4)$$

Y1 değerini maksimum, Y2 değerini minimum yapan değer Y değerini maksimum yapacağından optimal girdileri bulabilmek için Y 'yi maksimize edilmeye çalışılacaktır. Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'de sırasıyla bakır boru ve alüminyum boru için optimal girdi kombinasyonları verilmiştir. Tablolarda ayrıca Y1 ve Y2 çıktılarının en iyi ve en kötü kombinasyonlarına da yer verilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen ısı değiştiricinin analizinde Matlab bilgisayar programı kodları kullanılmıştır.

Tablo 5.14 : Optimal Girdi Kombinasyonu (cu).

no	mtrl	do	tb	fpi	tk	wk	Y	Y1	Y2
	-	mm	mm	-	mm	mm	-	Watt	YTL
Y (en iyi)	cu	7,000	0,270	21	0,095	19,0	587,92	3.891,76	15,23
Y (en kötü)	cu	7,000	0,370	16	0,105	12,7	-715,29	2.520,49	14,91
Y1 (en iyi)	cu	9,520	0,270	21	0,105	19,0	397,54	4.135,82	17,23
Y1 (en kötü)	cu	7,000	0,370	16	0,095	12,7	-632,59	2.519,85	14,53
Y2 (en iyi)	cu	7,000	0,270	16	0,095	12,7	1,20	2.541,60	11,71
Y2 (en kötü)	cu	9,520	0,370	21	0,105	19,0	-356,21	4.100,06	20,54

Tablo 5.15 : Optimal Girdi Kombinasyonu (al).

no	mtrl	do	tb	fpi	Tk	wk	Y	Y1	Y2
	-	mm	mm	-	mm	mm	-	Watt	YTL
Y (en iyi)	al	9,520	0,950	21	0,095	19,0	1.061,38	3.866,79	12,93
Y (en kötü)	al	7,000	1,050	16	0,105	12,7	376,66	2.339,05	90,44
Y1 (en iyi)	al	9,520	0,950	21	0,105	19,0	881,77	3.867,26	13,76
Y1 (en kötü)	al	7,000	1,050	16	0,095	12,7	467,78	2.338,50	86,21
Y2 (en iyi)	al	7,000	0,950	16	0,095	12,7	578,36	2.369,06	82,53
Y2 (en kötü)	al	9,520	1,050	21	0,105	19,0	736,84	3.823,44	14,22

6. SONUÇ

Çalışmanın konusu olan ısı değıştiricilerin tasarım parametreleri olan boru çapı (d_o), boru et kalınlığı (t_b), boru malzemesi (mtrl) ile yüzey alanını arttırmak için kullanılan kanatların et kalınlığı (t_k), genişliği (w_k) ve sayılarının (FPI), ısı değıştirici üzerinden geçen toplam ısı miktarının (Y1), malzeme maliyetinin (Y2) ve sistem özdeğerinin (Y3) üzerindeki etkileri incelenmiştir ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 5.12 ve Tablo 5.13’de verildiğı gibi boru malzemesine bağı olmaksızın ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Boru çapının artması Y1, Y2 ve Y3’ü artırır.
- Boru et kalınlığının artması Y1’i azaltırken , Y2 ve Y3’ü artırır.
- Kanat sayısının artması Y3’ü azaltırken , Y1 ve Y2’yi artırır.
- Kanatlığının artması Y2’yi artırırken, Y1 ve Y3’e etki etmez.
- Kanat genişliğinin artması Y1 ve Y2’yi artırırken, Y3’e etki etmez.

Sistem çıktılarından Y1 ve Y3’ün artması istenirken Y2’nin ise azalması istenir. Buna göre ise;

- Y1’in artması için boru çapı, et kalınlığı ile kanat sayısı ile kanat genişliği arttırılmalıdır.
- Y2’nin azalması için tüm girdiler azaltılmalıdır.
- Y3’ün artması için boru çapı ve et kalınlığı arttırırken kanat sayısı azaltılmalıdır.

Sistem girdilerin seçilen aralıklarda en optimal noktası Tablo 5.14 ve Tablo 5.15’de verilmiştir. Buna göre; en optimal kombinasyon (Y=1061,38); boru malzemesi

alüminyum, boru çapı: 9,52mm, boru et kalınlığı 0,95mm, kanat sayısı 21 (FPI), kanat kalınlığı 0,095mm ve kanat genişliği 19mm olduğu noktadır.

Analiz sonuçlarında ortaya çıkan önemli bir noktada bulunan Y, Y1 ve Y2'nin en iyi ve en kötü noktaları hep girdilerin üst ya da alt limitlerinde bulunmuştur. Ara değerlerde rastlanmamıştır.

Girdiler arasında en belirgin farklılık boru malzemesinde ortaya çıkmıştır. Klimalarda kullanılan ısı değıştircilerde alüminyum boru kullanılmasına çok yakın bir zamanda başlanılmış ve henüz yaygınlaşmamıştır. Fiyat ve özgül ağırlık olarak bakır borululara göre çok avantajlı olan alüminyum borulu ısı değıştircilerin üretiminde bazı dezavantajlar vardır. Özellikle boru genişletme operasyonunda oluşan havşa yırtıkları ile kaynak operasyonunda meydana gelen kaynak noktalarındaki kaçaklar yaklaşık %10 civarında üretim hurdasına sebep olmaktadır. Üretim kalitesinin iyileştirilmesi bu dezavantaj zamanla ortadan kalkacaktır. Bu nedenle (4.133) eşitliğinde kullanılan üretim hurda faktörü (R_h) iyileştirmelere paralel olarak tekrar ele alınmalı ve malzeme maliyeti yeniden hesaplanıp optimal nokta bulunmalıdır.

Bu çalışmada üretim verimliliği dikkate alınmamıştır. Üretimi bakır borulu ısı değıştircilerine göre daha zor olan alüminyum ısı değıştircilerin üretimde oluşabilecek verimsizlikler malzeme maliyetine ilave edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kakaç, Sadık**, 1976. Isı Transferine Giriş : Isı İletimi, sayfa 1-32, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yayın No:52, Ankara.
- [2] **Hughes, T.J.R.**, 1987. The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [3] **Clark, J.V., Zhou, N., Bindel, D., Schenato, W.W., Demmel, and J., Pister, K.S.J.**, 2001. 3D MEMS Simulation Modelling Using Modified Nodal Analysis.
- [4] **Rakowski, J. and Litewka, P.**, 2000. Beam analogy in the Static Analysis of Shells of Revolution, *Computational Methods for Shell and Spatial Structures IASS-IACM 2000*, Chania, Crete, 4-7 June 2000
- [5] **Hughes, T.J.R.**, 1987. The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis, sayfa 92-97, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [6] **Tuztaş M.**, 1999. İklimlendirme Cihazı Isıl Simülasyon Programı İçin Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerin Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **McQuiston, F.C. and Parker, J.D.**, 1982. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, sayfa 476-483, John Wiley & Sons, New York.
- [8] **Kakaç, Sadık**, 1976. Isı Transferine Giriş : Isı İletimi, sayfa 119-123, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yayın No:52, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Isparta’da doğdu. İlk öğretimini Eskişehir Adalet İlkokulu’nda, orta öğretimini Eskişehir Anadolu Lisesi’nde, lise eğitimini ise İstanbul Atatürk Fen Lisesi’nde tamamladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği’nden mezun oldu. 2002-2004 yılları arasında Tekfen Mühendislik A.Ş.’ de petrol borulama hatları konusunda proje mühendisliği yaptı. 2004 yılında başladığı Arçelik-LG Klima San. ve Tic. A.Ş.’ de ısı değiştirici hatlarından sorumlu üretim mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.