

57820

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BORU AKIŞINDA SAPTIRILMIŞ YARIM SİLİNDİRİK YÜZEY
DİZİLERİNİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Mak. Müh. Betül AYHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Makina Yüksek Mühendisi"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye verildiği Tarih : 06.06.1996
Tezin Savunma Tarihi : 24.6.1996

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Teoman AYHAN



Jüri Üyesi : Yrd.Dç.Dr.M.Emin ARICI



Jüri Üyesi : Yrd.Dç.Dr.Alican DALOĞLU



Enstitü Müdürü : Prof.Dr.Fazlı ARSLAN



HAZİRAN 1996

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TRABZON BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ

ÖNSÖZ

Teknolojideki ısı aktarımındaki iyileşme verilen bir ısı yükü için ısı değiştirgeci hacminin azaltılması, düşük pompalama gücü, sıcak ve soğuk akışkanların arasındaki düşük sıcaklık farklarının elde edilmesi sebeplerinden dolayı istenir. Bu amaçla bir çok ısı transferi iyileştirme teknikleri geliştirilmiştir.

Ele alınan bu çalışmada, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Labaratuvarında geliştirilen saptırılmış yarım silindirik yüzey dizileri ile oluşan türbülatorün teknik literatürdeki yeri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma K.T.Ü. Araştırma Fonu'nun maddi yardımlarıyla gerçekteşirilmiştir.

Sunulan bu çalışmanın gerçekteşmesinde, katkıları bulunan Araştırma Fonu yöneticilerine, çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen sayın danışmanım Prof.Dr.Teoman AYHAN'a, Arş.Gör.Cevdet DEMİRTAŞ'a, Öğretim.Gör.Yusuf AZAK'a ve ayrıca Termodinamik labaratuvarı teknisyenlerine ve özellikle bana destek olan anneme ve kardeşlerime teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Trabzon, Haziran 1996

Betül AYHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XI
SEMBOL LİSTESİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Çalışması.....	1
1.2.1. Yivli Setli Yüzeyler.....	1
1.2.2. Pürüzlü Yüzeyler.....	1
1.2.3. Kanatçıklı Yüzeyler.....	2
1.2.4. Değiştirilebilen Türbülatorler.....	2
1.2.5. Dönmeli Akış Üreteçleri.....	2
1.2.6. Yüzey Gerilim Elemanları.....	2
1.2.7. Akışkanlar İçin Katkı Elemanları.....	2
1.2.8. Gazlar İçin Katkı Elemanları.....	2
1.2.9. Mekanik Karıştırıcılar.....	3
1.2.10. Yüzey Titreşimleri.....	3
1.2.11. Elektrostatik Alanlar.....	3
1.2.12. Akışkan Titreştiriciler.....	3
1.2.13. Püskürtme.....	3
1.2.14. Emme.....	3
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Isı Geçiş Deneyleri Tanıtımı.....	7
2.1.2. Ölçmeler.....	10
2.1.2.1. Sıcaklık Ölçümü.....	10

2.1.2.2. Statik Basınç Farkının Ölçümü.....	10
2.1.2.3. Hava Debisinin Ölçümü.....	10
2.1.2.4. Elektrik Gücünün Ölçümü.....	11
2.1.2.5. Açık Hava Basıncının ve Sıcaklığının Ölçümü.....	11
2.1.3. Deneylerin Yapılışı.....	11
2.1.3.1. Isı Kayıp Kalibrasyon Deneyleri.....	11
2.1.3.2. Isı Geçiş Deneyleri.....	11
2.1.3.3. Akış Deneyleri.....	12
2.2. Akış Gözleme Deneyleri.....	12
2.2.1. Deneylerin Yapılışı.....	12
2.3. Sıcak Su Kazanı Deneyleri.....	13
2.3.1. Deney Kazanı ve Özellikleri.....	17
2.3.2. Deney Tesisatının Diğer Elemanları.....	17
2.3.2.1. Yakıt Sistemi ve Elemanları.....	17
2.3.2.2. Baca ve Çekiş Sistemi.....	18
2.3.2.3. Kazan Suyu Sirkülasyon Sistemi.....	18
2.3.2.4. Ölçme ve Kontrol Sistemi.....	19
2.3.2.5. Türbülatorlerin Tanıtılması.....	20
2.3.3. Deneylerin Yapılışı.....	21
2.3.3.1. Ölçümler.....	23
2.4. Hesaplamalar.....	24
2.4.1. Isı Geçiş Deneyi Hesapları.....	24
2.4.2. Akış Deneyi İçin Basınç Kayıp Katsayısının Hesabı.....	27
2.4.3. Hata Analizi.....	27
2.4.4. Isı Geçiş ve Akış Deneyleri İçin Termodinamiğin İkinci Kanun Analizi.....	27
2.4.4.1. Ekonomiklik Analizi.....	30
2.4.5. Kazan Deneyi Hesapları.....	31
2.4.5.1. Kazan Verimi Hesabı.....	31
2.4.5.2. Kazan Yakıtı ve Özellikleri.....	31
2.4.5.3. Hava Fazlalık Katsayısı.....	32
2.4.5.4. Yanmaya İştirak Eden Hava ve Baca Gazı Miktarı.....	33
2.4.5.5. Termodinamiğin Birinci Kanununa Göre Kazan Verimi.....	33
2.4.5.6. Dolaylı yoldan Kazan Verimi ve Kayıplarının Hesabı.....	34
2.4.5.7. Yanma Kaybı.....	34
2.4.5.8. Artık Kayıplar.....	35
2.4.5.9. Baca Gazı Kayıpları.....	36

2.4.6. Kazan İçin Termodinamiğin İkinici Kanun Verimi Tanıtımı ve Hesabı.....	37
3. BULGULAR.....	39
4. İRDELEME.....	44
5. SONUÇLAR.....	53
6. ÖNERİLER.....	54
7. KAYNAKLAR.....	55
8. EKLER.....	57
Ek 1.....	57
Ek 2.....	62
Ek 3.....	74
9. ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÖZET

Bu çalışmada, saptırılmış yarım silindirik yüzey elemanlarının boru içersine yerleştirilerek sabit cidar ısı akısı şartında ve türbülanslı akışta ısı transferine ve akışa etkileri incelenmiştir. Akış alanının belirlenmesi için akış gözleme deneyleri yapılarak ısı transferindeki iyileşmenin nedenleri açıklandı. Tanıtılan bu türbülatorün diğer türbülatorlere göre üstünlüğünün araştırılması için Termodinamiğin ikinci kanun analizi yapılarak, türbülatorün literatürdeki yeri belirlenmiştir.

Tanıtılan türbülatorün pratikteki kullanılabilirliğini yerinde incelemek üzere 90/70' lik sıcak su kazanındaki uygulaması ele alınmıştır. Bu uygulamada kazanın Termodinamiğin birinci kanununa göre ve Termodinamiğin ikinci kanununa göre tanımlanan verimlerdeki iyileşmenin değerleri kazanın türbülatorsüz ve türbülatorlü olarak aynı çalışma şartlarında deneysel olarak belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tanıtılan bu türbülatorlerde basınç kaybı çok az olduğundan uygulamada kullanılmaları tavsiye edilmektedir. Ancak ısı transferindeki iyileşme diğer türbülator tiplerinin ısı transferi iyileştirme değerlerine göre düşük kalmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Saptırılmış silindirik yüzeyli türbülator, ısı transferi, akış, ısı transferi iyileştirmesi, kazan verimi.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF INTERRUPTED HALF CYLINDRICAL SURFACE-TYPE TURBULATORS ON HEAT TRANSFER FOR PIPE FLOW

In this study, interrupted half cylindrical surface-type elements have been inserted in cylindrical tubes and their effects on fluid flow and heat transfer, under the constant heat flux at the wall and turbulent flow conditions, experimentally have been investigated. In order to observe fluid flow pattern, flow visualization tests have been performed and reasons of augmented heat transfer have been explained. The performance comparison of heat transfer enhancement device between the presented one and others have been made by using the second law of Thermodynamics and its place in the technical literature has been defined.

Presented turbulators have been inserted in (90/70) smoke tube boiler to investigate the availability of these turbulators in practice. The increases of the first law and the second law of Thermodynamics efficiencies of the boiler experimentally have been estimated for the cases of with and without inserts in the same operating conditions, and the results are compared.

Due to the low pressure drop, presented turbulators is advisable for practical use. But, heat transfer enhancement in this device is being lower comparison with other heat transfer enhancement devices.

Key words : Interrupted half cylindrical surface-type turbulator, heat transfer, flow, enhancement of heat transfer, boiler efficiency.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Literatürde kullanılan bazı türbülatorlerden örnekler.....	5
Şekil 2. Ele alınan çalışmanın literatürdeki yerinin belirlenmesi.....	6
Şekil 3. Deney tesisatının kroki resmi.....	8
Şekil 4. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	9
Şekil 5. Tanıtılan türbülatorün boyutları ve yerleşim düzeni.....	12
Şekil 6. Akış gözleme deney düzeneği şeması.....	13
Şekil 7. Bir doğal gaz kazanında değiştirilebilen türbülatorler kullanılarak ısı transferini iyileştirme yönteminden bir örnek.....	14
Şekil 8. Kazan deney tesisatı.....	15
Şekil 9. Türbülatorlerin kazan içersindeki yerleşim düzenleri.....	16
Şekil 10. Deney kazanının dış görünüşü.....	17
Şekil 11. Baca gazı analiz cihazı.....	19
Şekil 12. Çalışmada tanıtılan türbülator geometrisi.....	20
Şekil 13. Türbülatorlerin duman borularının içine yerleştiriliş şekli.....	21
Şekil 14. Sıvı yakıt kazanlarından istenilen değerler.....	22
Şekil 15. Isı kayıp kalibrasyon grafiği.....	25
Şekil 16. Artık kaybın nominal kazan yüküne göre değişimi.....	35
Şekil 17. Yüzey ortalama sıcaklığına bağlı olarak $T_0=20^{\circ}\text{C}$ çevre sıcaklığında yatay yüzeylerde K_H , düşey yüzeylerde K_V , toplam ısı transfer katsayısı.....	36
Şekil 18. Baca gazı kayıp faktörü.....	37
Şekil 19. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi.....	39
Şekil 20. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	40
Şekil 21. Merkezde akış gözleme deneylerinin fotoğrafı.....	41
Şekil 22. Cidardaki akış gözleme deneylerinin fotoğrafı.....	41
Şekil 23. Helisel yayın şematik görünümü.....	44
Şekil 24. Laminer akışta helisel yaylı boruda $N-Re_0$ grafiği.....	45
Şekil 25. Türbülanslı akışta helisel yaylı boruda $N-Re_0$ gafiği.....	45
Şekil 26. Pervane tipli türbülatorün şematik görünümü.....	46

Şekil 27. Türbülanslı akışta Pervane konmuş boruda $N-Re_0$ grafiği.....	47
Şekil 28. Askı şeklinde yerleştirilmiş halka ve diskin şematik görünümü.....	48
Şekil 29. Diskler için boruda ($\Phi = \infty$) için $N-Re_0$ grafiği.....	49
Şekil 30. Diskler için boruda ($\Phi = 1$) için $N-Re_0$ grafiği.....	50
Şekil 31. Diskler için boruda ($\Phi = 0.1$) için $N-Re_0$ grafiği.....	51
Şekil 32. Diskler için boruda ($\Phi = 0$) için $N-Re_0$ grafiği.....	52



EK ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa no

Ek Şekil 1.....	57
Ek Şekil 2.....	62



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Birinci deney ölçüm değerleri, (a) Kazan ölçüm değerleri, (b) Baca gazı ölçüm değerleri.....	23
Tablo 2. İkinci deney ölçüm değerleri, (a) Kazan ölçüm değerleri, (b) Baca gazı ölçüm değerleri.....	24
Tablo 3. Yanma kayıpları.....	34
Tablo 4. Birinci deney sonuç değerleri, (a) Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri, (b) Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri.....	42
Tablo 5. İkinci deney sonuç değerleri, (a) Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri (b) Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri.....	42

SEMBOL LİSTESİ

L_D	[m]	: Deney borusu uzunluğu
L_T	[m]	: Hatve
L_{Ta}	[m]	: Türbülator çiftinin birinci elemanı uzunluğu
L_{Tb}	[m]	: Türbülator çiftinin ikinci elemanı uzunluğu
D	[m]	: Borunun iç çapı
D_{1a}	[m]	: Türbülator çiftinin dış çapı
D_{1b}	[m]	: Türbülator çiftinin iç çapı
t	[m]	: Türbülator ile boru arasındaki mesafe
q_A	[W/m ²]	: Akışkana geçen ısı
q_r	[W/m ²]	: Radyal ısı kaybı
q_t	[W/m ²]	: Deney elemanına uygulanan güç
$q_{uç}$	[W/m ²]	: Radyal ısı kaybı
T_{aort}	[°C]	: Havanın ortalama sıcaklığı
T_{wort}	[°C]	: Ortalama duvar sıcaklığı
T_{Lab}	[°C]	: Laboratuvar sıcaklığı
h	[W/m ² K]	: Ortalama ısı taşınım katsayısı
Nu		: Nusselt sayısı (boyutsuz)
k	[W/mK]	: Havanın ısı iletim katsayısı
A	[m ²]	: Boru yanal alanı
Q_A	[W/m ²]	: Toplam ısı iletim katsayısı
C_p	[kJ/kgK]	: Havanın özgül ısı
$T_ç$	[°C]	: Deney borusu çıkışında havanın sıcaklığı
T_g	[°C]	: Deney borusu girişinde havanın sıcaklığı
\dot{m}_a	[kg/s]	: Havanın kütleli debisi
f		: Basınç kayıp katsayısı
ρ	[kg/m ³]	: Havanın yoğunluğu
ΔP	[kPa]	: Basınç kaybı
T	[°C]	: Havanın herhangi bir uzaklıktaki ortalama sıcaklığı
U	[m/s]	: Boru içersinde ortalama hava hızı

s	[kJ/kgK]	: Entropi
x	[m]	: Eksenel boyut
N		: Verimlilik ifadesi
Re		: Reynolds sayısı (boyutsuz)
St		: Stanton sayısı (boyutsuz)
Φ_0		: Tersinmezlik dağılım oranı (boyutsuz)
D _h	[m]	: Hidrolik çap
A _c	[m ²]	: Boru kesit alanı
N _T	[kJ/kgK]	: Sıcaklık farkından doğan entropi üretim terimi
N _P	[kJ/kgK]	: Basınç kayıplarından doğan entropi üretim terimi
C		: Bağıl maliyet faktörü (boyutsuz)
N _c		: Efektif entropi üretim maliyeti
H _u	[kJ/kgK]	: Yakıtın alt ısıl değeri
CO ₂ max	[%]	: Baca gazındaki maksimum CO ₂ oranı
L _{min}	[Nm ³ /kg]	: Yanma için minimum hava miktarı
V _{min}	[Nm ³ /kg]	: Minimum baca gazı miktarı
L _u	[Nm ³ /kg]	: Fazla hava miktarı
L	[m ³ /h]	: Yanmaya iştirak eden hava miktarı
V _{hesap}	[m ³ /h]	: Hesaplanan baca gazı miktarı
V _{ölç}	[m ³ /h]	: Ölçülen baca gazı miktarı
λ		: Hava fazlalık katsayısı
\dot{m}	[kg/h]	: Sirkülasyon suyunun kütleli debisi
T _ç	[°C]	: Kazan suyu çıkış sıcaklığı
T _g	[°C]	: Kazan suyu giriş sıcaklığı
T _{cort}	[°C]	: Kazan yüzeyi ortalama sıcaklığı
T ₀	[°C]	: Ortam sıcaklığı
T _a	[°C]	: Baca gazı sıcaklığı
B _h	[kg/h]	: Yakıtın kütleli debisi
Q _x	[kJ/kg]	: Yüzey ısı
Q _{su}	[kJ/kg]	: Kazan suyu ısı
v _r	[%]	: Artık kayıp
v _f	[%]	: Yanma kaybı
v _a	[%]	: Baca gazı kaybı
a _{ort}	[kJ/m ² h°C]	: Ortalama yüzey ısı geçiş katsayısı
Z		: Baca gazı kayıp faktörü

F_x	[m ²]	: Kazan toplam dış yüzeyi
ΔE_{BG}	[kJ/kg]	: Baca gazı ekserjisi
ΔE_{su}	[kJ/kg]	: Suyun ekserjisi
ΔE_{Qx}	[kJ/kg]	: Yüzey ısı ekserjisi
$E_{kayıp}$	[kJ/kg]	: Kayıp ekserji
H	[kJ/kg]	: Entalpi
H_0	[kJ/kg]	: Referans ısının entalpis
s_0	[kJ/kg]	: Referans ısının entropisi
B	[kJ/kg]	: Kullanılabilirlik
E_H	[kJ/kg]	: Entalpinin ekserjisi
E_K	[kJ/kg]	: Kimyasal ekserji
P	[Pa]	: Basınç
η_I	[%]	: I. Kanun verimi
η_{II}	[%]	: II. Kanun verimi
η_D	[%]	: Dolaylı yoldan kazan verimi

1. GENEL BİLGİLER

1.1 GİRİŞ

Isı aktarımındaki iyileşme; verilen bir ısı yükü için ısı değiştirgeci hacminin azaltılması, düşük pompalama gücü, sıcak ve soğuk akışkanların arasındaki düşük sıcaklık farklarının elde edilmesi sebeplerinden dolayı istenir. Bu amaçla bir çok ısı aktarımı iyileştirme teknikleri geliştirilmiştir.

1.2. LİTERATÜR ÇALIşMASI

Isı transferi iyileştirme teknikleri Bergles [1], tarafından verilen bir sınıflandırmaya göre iki sınıfta incelenmektedir. Bunlar aktif (dış kuvvetlere ihtiyaç gösteren) ve pasif (dış kuvvetlere ihtiyaç göstermeyen) yöntemler olarak tanıtılırlar. Her iki sınıftaki ısı transferi iyileştirme etkinliği ısı transfer olayının tipine bağlıdır. Yani tek fazlı dogal konveksiyondan kabarcıklı kaynamadaki ısı transferindeki kaynamaya kadar olan ısı transferi olayları bu gruba girer.

Pasif yöntemle ısı transferini iyileştirmede kullanılan tekniklerden bazıları aşağıda tanıtılacaktır:

1.2.1. Yivli ve Setli Yüzeyler

Yivli ve setli yüzeyler çok ince çok küçük boyutlu olabilirler. Bu yüzeyler kaplanarak veya işlenerek sürekli veya süreksiz imal edilirler. Bu teknik genellikle kaynamada ve yoğuşmadaki ısı transferinde uygulanır. Yivin ve setin yüksekliği ısı transferindeki iyileşmeye çok büyük katkıda bulunur.

1.2.2. Pürüzlü Yüzeyler

Yüzey pürüzlülüğü kum tanelerinin oluşturduğu yüzey şekli olarak tanımlanır. Bu teknikde ısı transfer yüzeyini artırmak yerine, akışın türbülansının artırılması amaçlanmıştır. Bu teknik tek fazlı akışlar için öncelikle tavsiye edilen bir yöntem olmuştur.

1.2.3. Kanatcıklı Yüzeyler

Bu teknik genellikle ısı değiştirgeçlerinde kullanılmaktadır. Bu teknik halen geliştirilmektedir. İmalat teknolojilerindeki gelişmeler bu tekniğin uygulanmasını kolaylaştıracaktır (örneğin; içi kanatcıklı borularla imal edilen ısı eşanjörleri).

1.2.4. Değiştirilebilen Türbülátörler

Genellikle boru akışlarında ve zorlanmış akışlarda kullanılırlar. Bunlar doğrudan boru içersine takılabilir ve sökülebilirler.

1.2.5. Dönmeli Akış Üreteçleri

Çok değişik Şekilleri vardır. Daha ziyade boru akışlarında kullanılırlar. Amacı akış ortamında akışkana dönme hareketini vermek veya akış ortamında ikincil akışlara sebep olmaktır. Örneęin kanatcıklı türbülátörlerin boru içersine yerleştirilmesi veya akış borularına kıvrım verilmesi.

1.2.6. Yüzey Gerilim Elemanları

Yoğuşmada ve kaynamada ısı transferinde akışkana akış yönü vermek için kullanılan fitiller ve oyuklar bu teknik grubuna girer.

1.2.7. Akışkanlar İçin Katkı Elemanları

İlave elemanlar ya katı parçacıkları yada gaz habbecikleri olmaktadır. Bu teknik genellikle kaynamada ısı transferinde kullanılır.

1.2.8. Gazlar İçin Katkı Elemanları

Genellikle akışkan yataklardaki ısı transferini iyileştirmede uygulanılır.

Aktif yöntemle ısı transferini iyileştirmede kullanılan tekniklerden bazıları aşağıda tanıtılacaktır.

1.2.9. Mekanik Karıştırıcılar

Mekanik karıştırıcılar ile akışkana dönme hareketi verilerek ısı transferindeki iyileşme sağlanır.

1.2.10. Yüzey Titreşimi

Tek fazlı akışlarda ısı transferini iyileştirmek için alçak veya yüksek frekans titreşimlerinin uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.2.11. Elektrostatik Alanlar

Daha ziyade ısı transfer mekanizması için akışkanı karıştırmak için uygulanır. Elektromagnetik pompalama için veya zorlanmış ısı transferi için elektrik alanları ve magnetik alanları birleştirilerek uygulanır.

1.2.12. Akışkan Titreştiriciler

Akışkana verilen titreşim hareketi sayesinde ısı transferinin iyileştiği gözlenmektedir. Genellikle bu metod ısı değiştirgeçlerinde kullanılır. Titreşimin şiddeti yaklaşık olarak 1 Hz' den ses üstü frekanslarına kadar ulaşmaktadır.

1.2.13. Püskürtme

Genellikle gözenekli malzemelerden akışkan akışına gaz gönderilmesi olarak bilinir. Bu uygulama sadece tek fazlı akışkan akışında uygulanılır.

1.2.14. Emme

Genellikle kaynamada ısı transferinde ısıtılmış gözenekli malzeme yüzeyinden buharların emilmesidir. Bu metod film kaynamasındaki ısı transferi için önemlidir.

Tanıtılan ısı iyileştirme tekniklerinden bazı tiplerden örnekler şekil-1 de verilmiştir.

Yukarıda sınıflandırılan teknikler berabercede uygulanabilirler. Beraberce kullanma tekniği birleştirilmiş (compound) iyileştirme tekniği olarak adlandırılır.

Ele alınan çalışma pasif yöntemle ısı transferini iyileştirme tekniklerinden değiştirilebilen türbülator sınıfına girmektedir. Bu konu üzerinde yapılan araştırma çalışmaları literatürde geniş yer kapsamaktadır.

Değiştirilebilen türbülatorlerle ısı transferinin iyileştirilmesinde yapılan çalışmalar helisel yay elemanlarının kazan borularına uygulamaları günümüzde güncelliğini korumaktadır. Helisel yayların cidara temasları ve cidardan uzaklıklarının etkilerinin araştırılması üzerine yapılan çalışma Ayhan [2]' de ele alınmıştır. Bu çalışmada helis adımı ve tel çapının ısı transferine ve akışa etkileri incelenmiştir.

Rendemi tip türbülatorlerin ısı transferine ve akışa etkilerinin araştırılması ilk olarak Ayhan [3]' de ele alınmıştır. Basınç kayıplarının yanında ısı transferinin çok çok iyi olduğu gösterilmiştir. Buradaki ısı transferindeki iyileşme ısı taşınım katsayısının artması hem de radyasyonun etkisi olarak gösterilmiştir.

Bükülmüş metal şeritler yardımıyla boru akışlarında ısı transferini iyileştirmek üzere yapılan çalışmalar Junkhan [4], tarafından ele alınmıştır. Burada metal şerit genişliği, şerit metalin bükümleri ve diğer geometrik tasarımlar gözönüne alınarak ısı transferindeki iyileşme ve akış dirençleri ölçülmüştür.

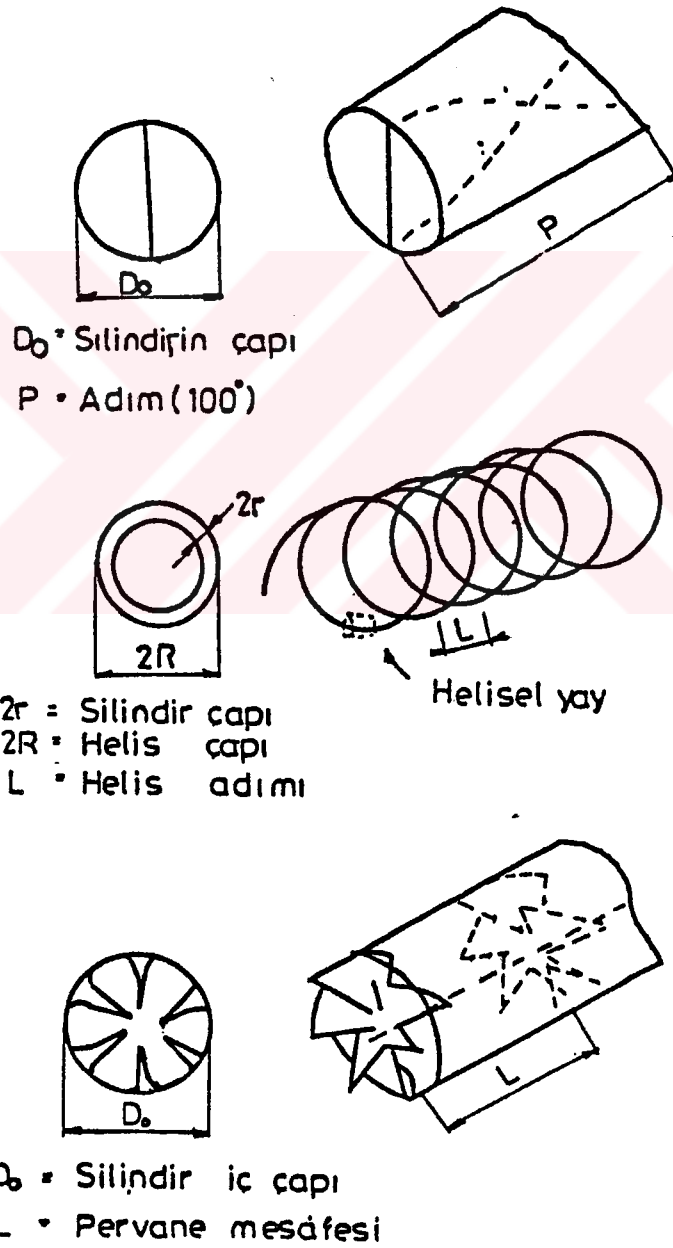
Konik halka yüzeyli türbülatorlerin ısı transferine ve akışa etkileri ilk defa Karabay [5], tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada belirli koniklik açılarında imal edilen konik halka yüzey grupları periyodik olarak boru içersine yerleştirilerek ısı transferine etkileri incelenmiştir. Daha sonraları Ayhan [6], tarafından konik halka yüzeylerinin değişik yapı ve yerleşim düzenlerinde imal edilerek boru akışlarına uygulamaları ele alınmıştır. Isı transferindeki iyileşmenin basınç kayıplarına göre daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Silindirik boru akışında ısı transferini iyileştirmek için uygulanan tipik bir metod Ziolkowska [7] tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada boru akışında akış doğrultusuna dik doğrultuda değişik çaplarda açılmış delikler bulunan diskler yerleştirilerek akış ve ısı transferi incelenmiştir.

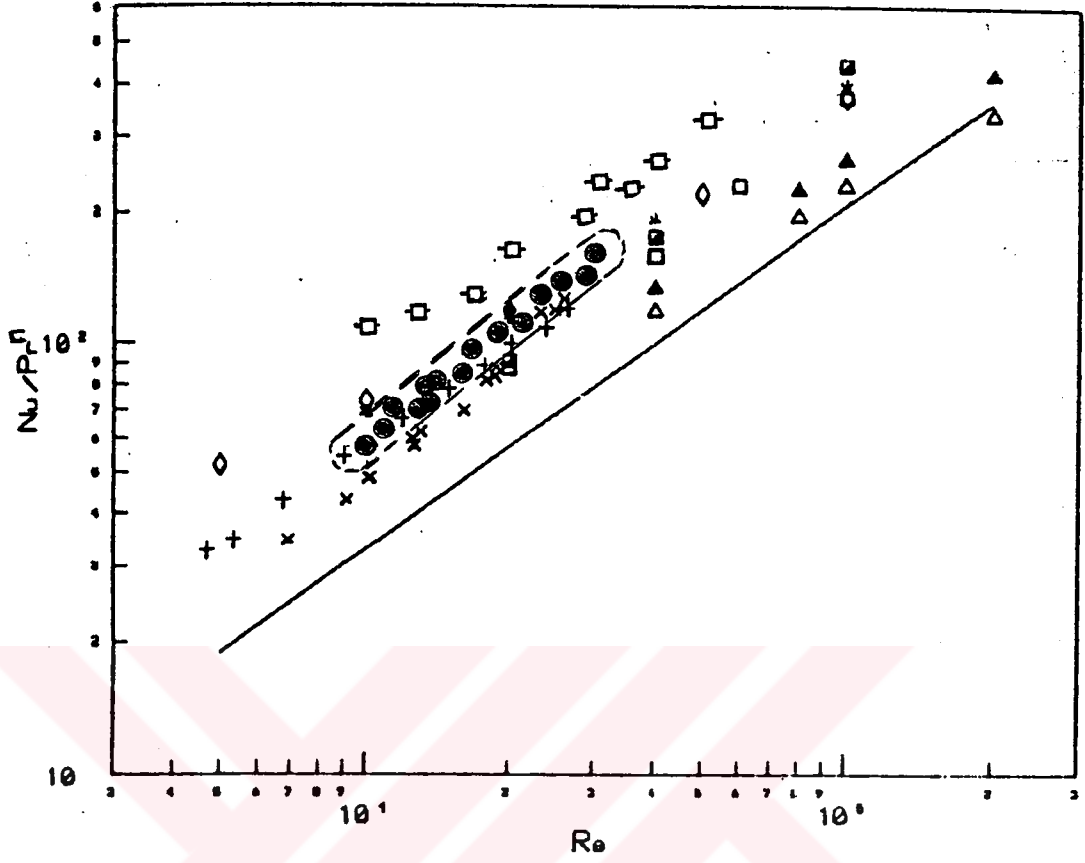
Kaydırılmış levha dizilerinde ısı transferinin ve akışın incelenmesi daha ziyade dikdörtgen kesitli kanal akışlarında incelenmiştir. Bu konu üzerinde yapılan bir araştırma Yılmaz [8] tarafından ele alınmıştır. Periyodik olarak birbirine göre

paralel ve konumları özdeş olan levha dizilerine göre, kaydırılmış levha dizilerinde ısı transferinin daha iyi olduğu belirtilmektedir.

Literatür sonuçları en genel halde şekil-2 de verilmiş olup ele alınan çalışmanın kapsadığı bölge belirtilmiştir. Literatürde verilen sonuçların ortak bir ifade ile karşılaştırılmasının zor olması nedeniyle referans bağıntı Dittus-Boelter [9] olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Literatürde kullanılan bazı türbülatorlerden örnekler



- ◇ : Smithberg-Landis (H/D=8.5)
- ✕ : Thorsen-Landis (H/D=3.15, soğutma)
- ▲ : Algifri-Bhardwaj-Rao (m=0.52)
- △ : Algifri-Bhardwaj-Rao (m=0.3)
- : Zaherzadeh-Jagadish (Kanat sayısı, N=8)
- ◻ : Zaherzadeh-Jagadish (Kanat genişliği, D/2)
- x : Bali T. (P.T.T.boru girişinde, soğutma)
- + : Bali T. (P.T.T. x=197.8mm de, soğutma)
- : Dittus-Boelter, $Nu=0.023Re^{0.8}Pr^n$ [30]
- n : Soğutma durumu için 0.3,
ısıtma durumu için 0.4
- ◻ : Azak
- : Bu çalışma

Şekil 2. Ele alınan çalışmanın literatürdeki yerinin belirlenmesi

Isı transferi iyileştirme tekniklerinin optimizasyonunu yapmak için Bejan [10] tanımladığı entropinin minimizasyonu yöntemi uygulanır. Bu yöntem Termodinamiğin İkinci Kanun Analizi olarak tanımlanır. Termodinamiğin İkinci Kanun Analizi tanımlanan iyileştirme tekniklerine uygulanarak ele alınan çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Akış gözleme deneyleri için yapılan çalışmalarda, Ravigururajan [11] tarafından önerilen yöntem seçilmiştir. Bu yöntem ile Demirtaş'ın [12] uyguladığı yöntem birbirine benzerlik göstermektedir. Yalnız Demirtaş'ın çalışmasında, boru çıkışı bir havuza bağlanmıştır.

Ele alınan çalışmanın pratikteki önemini belirleyebilmek için, Demirtaş [13] tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla, elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

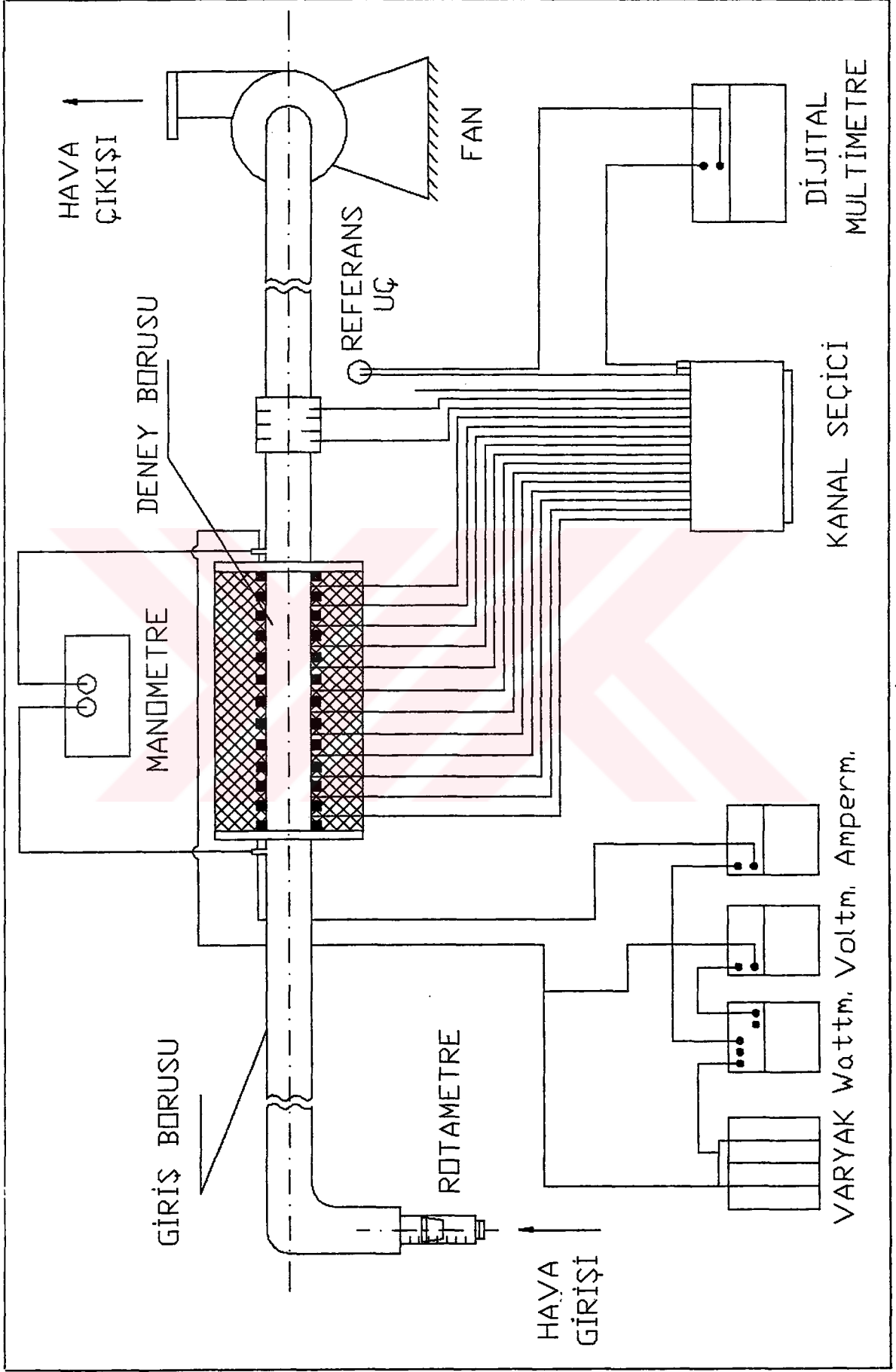
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

DeneySEL çalışmalar üç ayrı deney setinde farklı fiziksel olayları incelemek için ayrı ayrı ele alınmıştır.

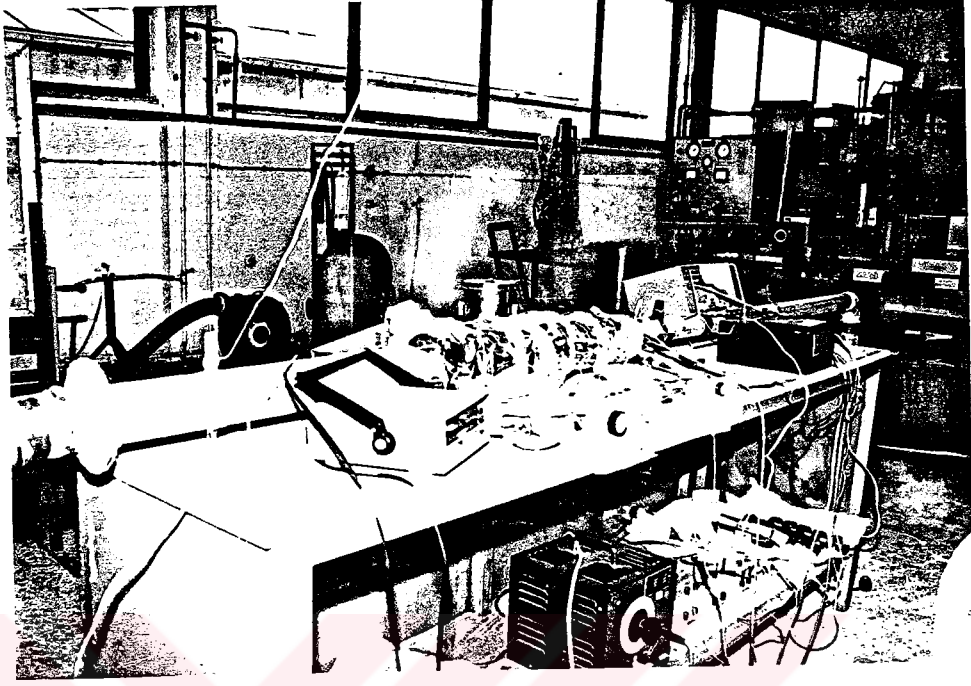
2.1.Isı Geçiş Deneyleri Tanıtımı

Deney tesisatının kroki resmi şekil-3 de ve fotoğraflarda şekil-4 de görülmektedir. Ortamdan emilen hava rotametreden geçtikten sonra, yaklaşık 2,5m uzunluğundaki bir borudan da akarak deney elemanına ulaşır. Deney elemanı çıkışından yaklaşık 1m uzaklıkta bulunan vana ile hava debisi ayarlanır. Vanadan geçen hava fanın vakum girişine gelir.

Deney elemanı iç çapı 0,055m, dış çapı 0,058m ve uzunluğu 0,30m olan galvaniz boru üzerine sarılan elektrik direnç tellerinden meydana gelmiştir. Elektrik telleriyle çelik boru arasındaki elektrik izolasyonunu sağlamak için elektrik direnç telleri üzerine cam boncuk dizilmiştir. Olası bir elektrik kaçağı için boru yüzeyi üzerine elektrik yalıtımını sağlayan yanmaz bant sarılmıştır. 11 adet termoeleman 3'er cm arayla boru dış yüzeyinden cidar içine 1mm'lik kanallar içersine yerleştirilmiştir. Termoelemanların elektrik ısıtıcılarıyla kısa devre yapmaması için termoelemanların etrafına yanmaz bant sarılmıştır. Elektrik direnç tellerinin meydana getirdiği elektromagnetik alandan termoelemanlarının



Şekil 3. Deneysel tesisatın kroki resmi



Şekil 4. Deney düzeneğinin fotoğrafı

etkilenmemesi için termoeleman telleri kıvrılarak üzerine topraklama kılıfı geçirilmiştir.

Elektrik direnç tellerinde elektrik enerjisinin ısıya dönüşen miktarını ölçmek için wattmetre, istenilen gücü ayarlayabilmek içinde varyak kullanılmıştır. Deney elemanının giriş ve çıkış arasındaki basınç kayıpları elektronik manometre ile ölçülmüştür.

Deney elemanından çevreye sızan ısı miktarını azaltmak için 2.5cm kalınlığında cam yünü sarıldıktan sonra, üzerine Alüminyum folye sarılmıştır.

Deney elemanından aksenal ısı kaybını azaltmak için deney elemanının giriş ve çıkış kesitleri ısı iletim katsayısı çok küçük olan pentaks malzemeden imal edilmiş flanşlar üzerine yerleştirilmiştir. Flanşlar ile deney borusu arasındaki hava sızdırmazlığını önlemek için kuvvetli yapıştırıcı sürülmüştür.

Deney elemanında meydana gelebilecek elektrik kaçağını önlemek için deney elemanı ve deney seti topraklanmıştır.

2.1.2. Ölçmeler

Bu kısımda deneylerde yapılan sıcaklık, debi, statik basınç farkı ve ısı yükü değerlerinin ölçüm şekilleri hakkında bilgi verilmektedir.

2.1.2.1. Sıcaklık Ölçümü

Sıcaklık değerleri termoelemanlar yardımı ile ölçülmüştür. Termoeleman çifti olarak bakır-konstantan telleri kullanılmıştır. İki telin uç kısımları yanyana getirildikten sonra nokta kaynağı yapılmış, verniklenmiş ve izolasyonu sağlanmıştır. Üretilen termoelemanlar sabit sıcaklık banyosunda 0^o-100^o C için kalibre edilmişlerdir. Termoelemanların kalibrasyon katsayısı ortalama 24,5^oC/mV olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde bu katsayı kullanılmıştır. Termoelemanlar sıcaklık ölçümü istenilen noktalara yerleştirildikten sonra, termoelemanların serbest kalan konstantan telleri su-buz karışımından meydana gelen referans kaynaktaki termoelemanın konstantan teli ile birleştirilir. Referans noktasında bulunan termoelemanın bakır ucu milivoltmetreye bağlanır. Sıcaklık ölçülmesi istenilen noktalara yerleştirilen termoelemanların bakır uçları ise kanal seçicilere bağlanır. Kanal seçicinin ortak ucu ise bir bakır tel vasıtasıyla milivoltmetreye bağlanarak sıcaklık ölçüm devresi tamamlanır. Referans noktasında kullanılan su ve buz karışımı için damıtık su kullanılmıştır. Deney setinde deney elemanına giren havanın sıcaklığı, deney elemanından çıkan havanın sıcaklığı, deney elemanının cidar sıcaklıkları ayrıca ortam sıcaklığı kalibre edilen termoelemanlarla ölçülmüştür.

2.1.2.2. Statik Basınç Farkının Ölçümü

Deney elemanındaki basınç kaybı elektronik manometre ile ölçülmüştür. Elektronik manometre daha önce kalibrasyonu bilinen bir manometreye göre kalibre edilmiştir.

2.1.2.3. Hava Debisinin Ölçümü

Hava debisi rotametre ile ölçülmüştür.

2.1.2.4. Elektrik Gücünün Ölçülmesi

Deney elemanı üzerine sarılan elektrik direnç tellerinde ısıya dönüşen elektrik enerjisini ölçmek için vatmetre (wattmeter) kullanılmıştır. Kullanılan vatmetre de daha önce kalibrasyonu bilinen diğer bir vatmetre ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir.

2.2.5. Açık Hava Basıncının ve Sıcaklığının Ölçümü

Labaratuarlarda bulunan bir barometre vasıtasıyla açık hava basıncı hassas termometre ile hava sıcaklığı ölçülmüştür.

2.1.3. Deneylerin Yapılışı

2.1.3.1. Isı Kayıp Kalibrasyon Deneyleri

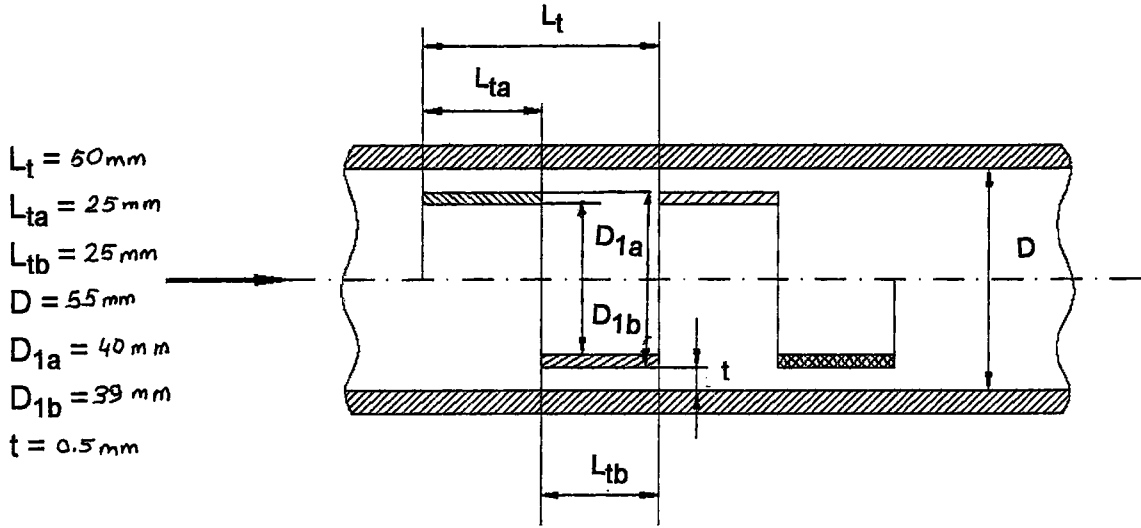
Deney elemanının termal davranışlarının belirlenebilmesi için deney elemanına verilen elektrik enerjisiyle deney elemanının çevreyle termik denge haline geçiş süresince duvar sıcaklıkları ölçülür. Değişik elektrik enerjisinde deney elemanının çevreyle termik dengeye ulaşma süresince duvar sıcaklıklarının değişimleri ölçülmektedir. Bu deneylere ısı kayıp kalibrasyon deneyi adı verilmektedir. Isı kayıp kalibrasyonu deney sonuçları radyal ısı kaybı ile ($T_{Wort} - T_{Lab}$) sıcaklık farkı için çizilerek belirlenmiştir. T_{Wort} duvar sıcaklığının ortalama değeridir. T_{Lab} ise labaratuar ortamı sıcaklığıdır.

2.1.3.2. Isı Geçiş Deneyleri

Deney setinden elde edilen ölçümlerin verdiği sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla literatürde verilen ampirik bağıntıların sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılması için boş boru deneyleri yapılmıştır. Boş boru deneylerinin yapılmasıyla deney setinin bir anlamda güvenilebilirlik kalibrasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmada önerilen türbülötörün geometrik boyutları ve yerleşim düzenleri şekil-5 de verilmiştir. Bu türbülötörler deney elemanı içersine yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Türbülötörlerin deney borusuna yerleştirilmesinde türbülötör kenarlarına bir kaç noktadan ince tutucular kaynak edilmiştir.

Deneylerde ilk önce hava akış debisi belirlenmekte sonra ısıtma için elektrik enerjisi ayarlanmaktadır.



Şekil 5. Tanıtılan türbülötörün boyutları ve yerleşim düzeni

2.1.3.3. Akış Deneyleri

Isı geçiş deneyleri yapılırken aynı zamanda deney elemanındaki statik basınç kaybıda ölçülmüştür.

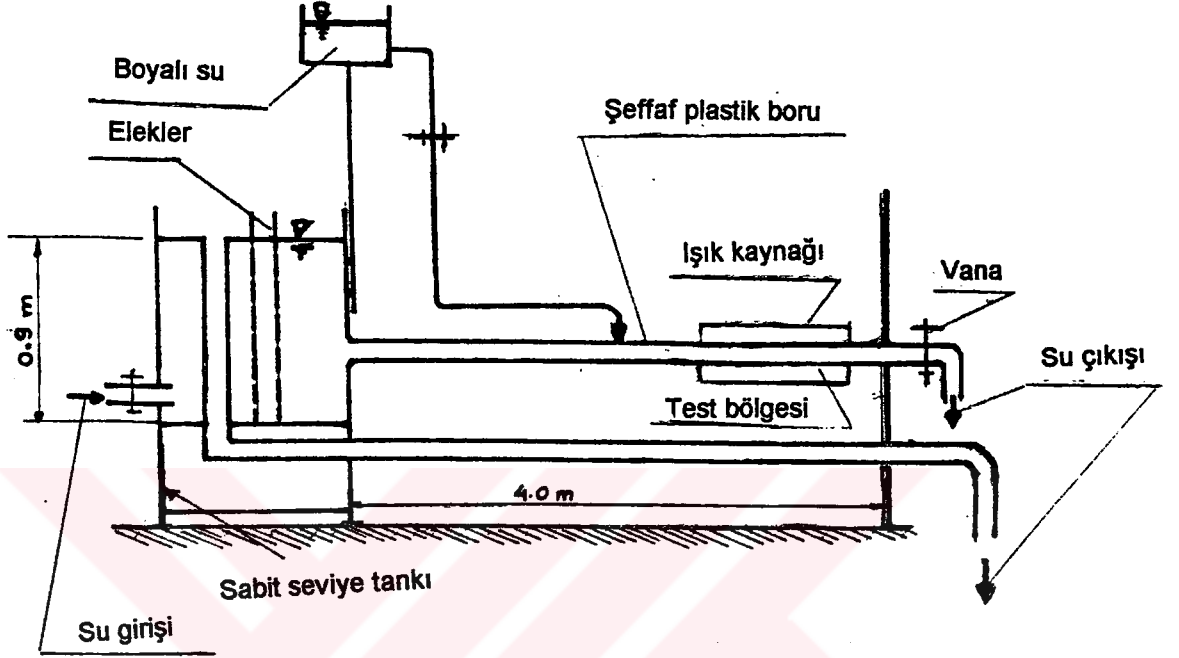
2.2. Akış Gözleme Deneyleri

Akış gözleme deneyleri için literatürde Ravigururajan'ın [11] tanımladığı deney seti esas alınmıştır. Akış gözleme deneyleri için kurulan deney setinin krokisi şekil- 6 da verilmiştir.

2.2.1. Deneylerin Yapılışı

Su seviyesi tesbit edilen su haznesinden gelen su şeffaf boruyu geçtikten sonra debi ayar vanasına ulaşarak çevreye verilir. Şeffaf boru içersine yerleştirilen bu çalışmada tanımlanan türbülötörlerin akış alanında oluşturduğu akış etkilerinin fotoğrafları çekilerek ısı transferindeki iyileşmeye neden olan akışkan hareketlerinin açıklanmasına ışık tutmuştur. Bu deneylerde akış laminerdir.

Türbülantörlü şeffaf boru içersindeki akım çizgilerinin belirlenmesi için akış alanı içersine boya ince bir enjektör yardımıyla verilmiştir. Enjektörün değişik pozisyonlarında akış alanı için değişik akım çizgileri elde edilmiştir.



Şekil 6. Akış gözleme deney düzeneği şeması

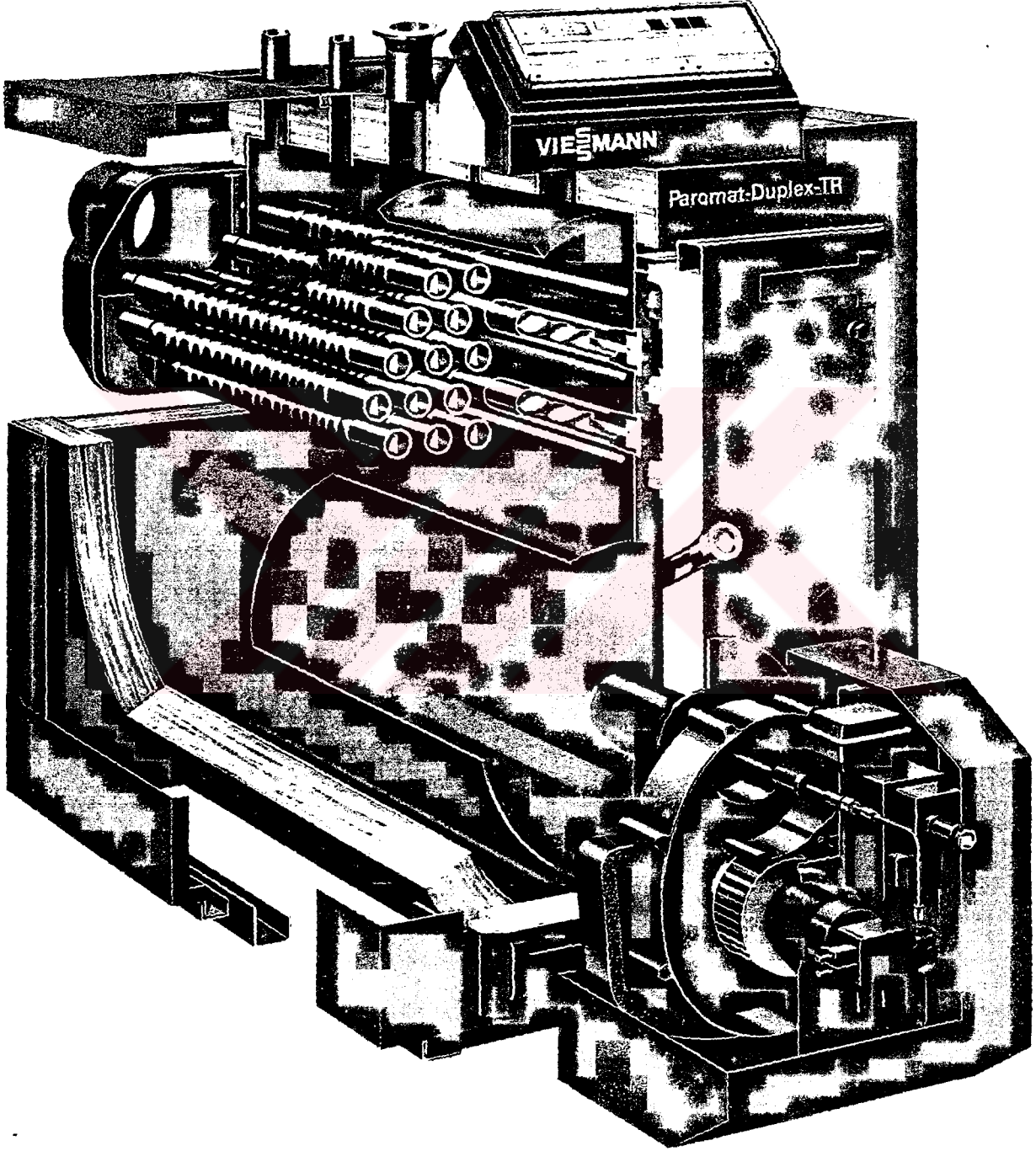
2.3. Sıcak Su Kazan Deneyi

Doğal gaz kazanlarında kullanılan bir türbülantörlü kazan uygulaması şekil-7 de verilmiştir.

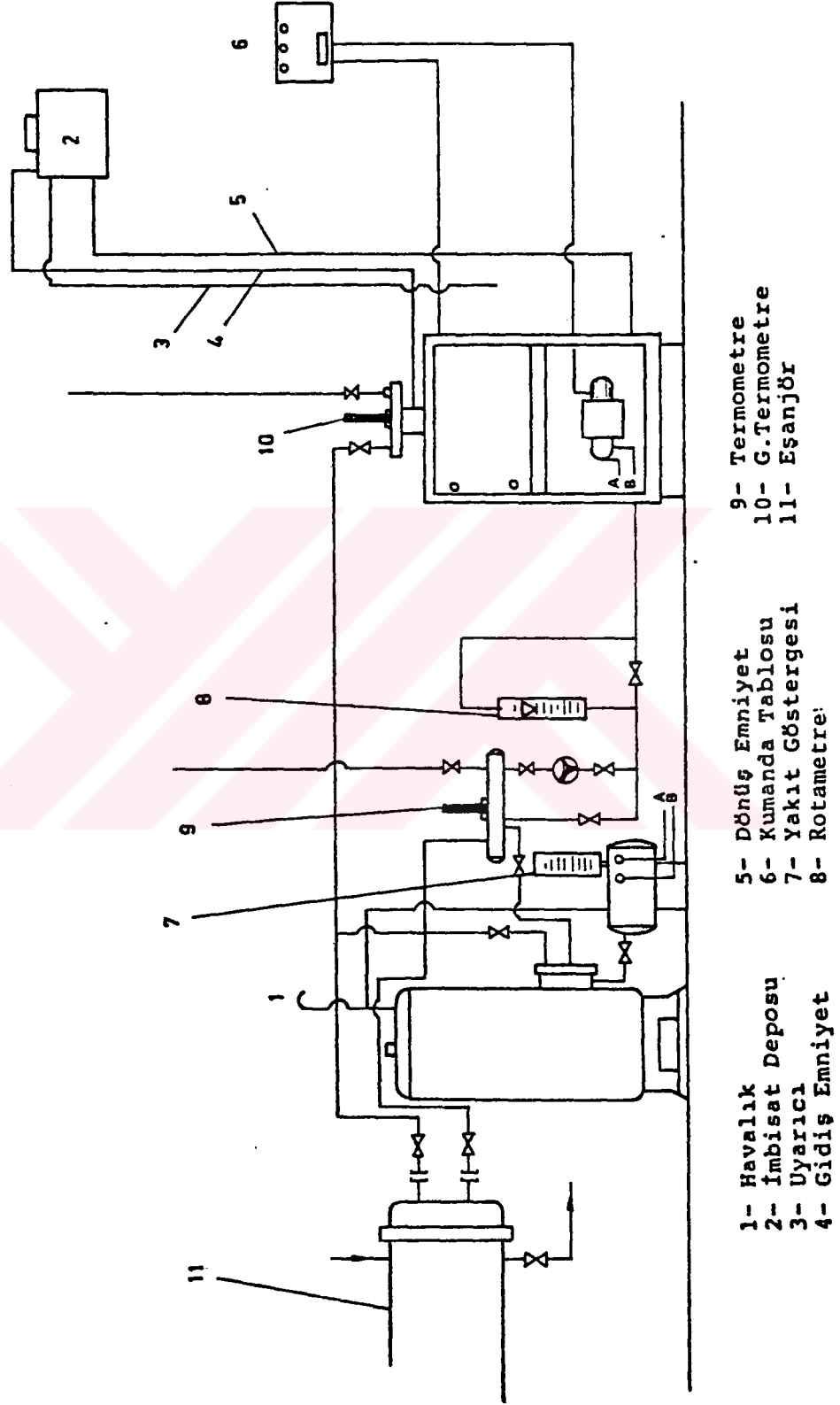
Bu çalışmada tanıtılan türbülantörlerin pratikteki yerini belirlemek amacıyla, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Labaratuvarında bulunan TS 1041'e uygun 90/70 lik sıcak su kazanına bu çalışmada tanıtılan türbülantörler yerleştirilmiştir. Deney tesisatı şekil-8 de türbülantörlerin kazanda yerleşim düzenleri şekil-9 da gösterilmiştir.

Kazanlarda işletme ve enerji ekonomisi yönünden iyileşme sağlayacak çözümlerin belirlenebilmesi ve sağlıklı uygulamaların yapılabilmesi için genelde kazan deneyinin yapılması gerekmektedir. Bu deneylerden başlıcaları kazan ısı verim deneyleri ve yanma deneyleri olmaktadır.

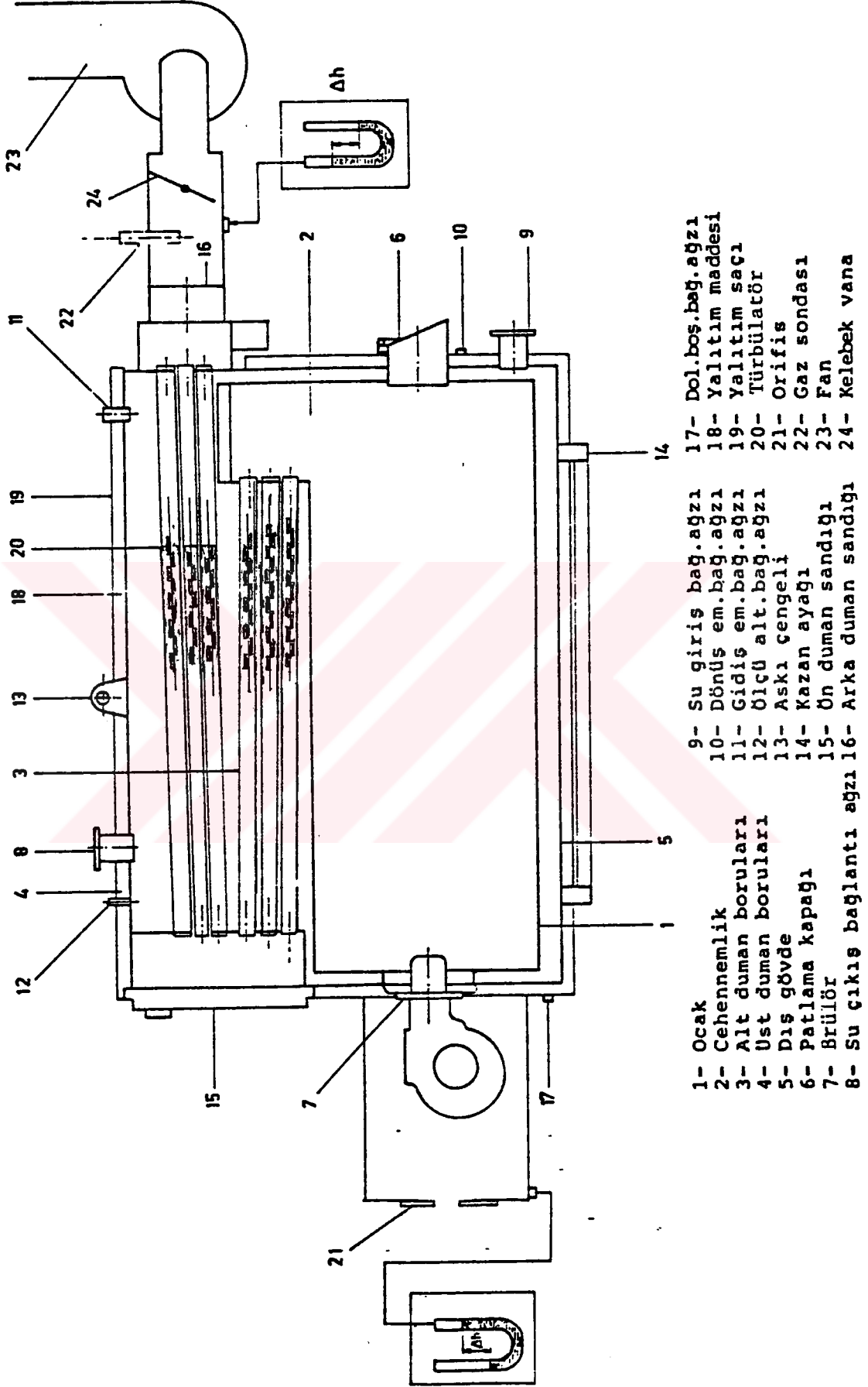
Bu deneyde, sunulan çalışmada tanıtılan türbülatorlerin kazan duman boruları içersine yerleştirilmesinin kazan verimine ve yanmaya olan etkilerinin araştırılması yapılmıştır.



Şekil 7. Bir doğal gaz kazanında değiştirilebilen türbülatorler kullanılarak ısı transferini iyileştirme yönteminden bir örnek



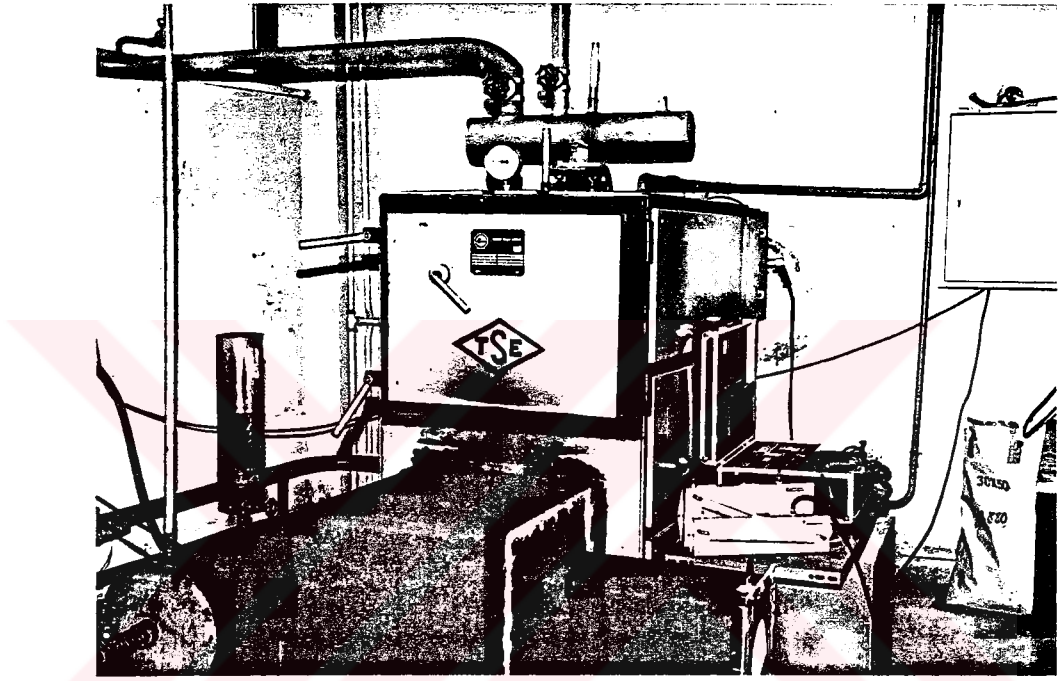
Şekil 8. Kazan deney tesisatı



Şekil 9. Türbülötörlerin kazan içersindeki yerleşim düzenleri

2.3.1. Deney Kazanı ve Özellikleri

Kullanılan kazan 209000 kJ/h kapasiteli, duman borulu, alçak basınçlı, sıcak sulu kalorifer kazanıdır. Kazan deney basıncı 5.9 bar, toplam kazan dış yüzeyi 7.5m² dir. Kazanın dış görünüşü şekil-10 da gösterilmiştir. Şekil-8 de şematik görünüşü verilen kazan, ocak, cehennemlik, alt ve üst duman boruları, dış gövde, patlama kapağı, ön ve arka duman sandığı gibi kısımlardan meydana gelmektedir.



Şekil 10. Deney kazanının dış görünüşü

2.3.2. Deney Tesisatındaki Diğer Elemanlar

2.3.2.1. Yakıt Sistemi ve Elemanları

Bu sistem, yakıtın depo edilmesi, sevk edilmesi ve bir ocakta yakılabilmesi için uygun yakıt hava karışımını sağladığı bir yakıt tankı, brülörün yakıt ihtiyacını karşılayan yakıt servis tankı ve yakıtın hava ile uygun bir şekilde karışımını sağlayarak yakıtı yakan bir brülörden oluşmaktadır. Brülör elektrik enerjisi ile tahrik edilen ve sıvı yakıt yakabilen bir yakıt yakma ünitesidir.

Yakıt sistemi üzerinde yanma havasını ayarlayabilmek için kazan yanma odası girişi yani ocak brülörü de içine alabilecek bir kanal içersine alınmıştır. Tüm sızdırmazlıklar sağlanarak, bu kanal sayesinde yanmaya iştirak eden bütün

havayı kontrol ederek yanmanın uygun bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Yanma havası debisinin ölçümü için kanal girişine kalibre edilmiş bir orifis konmuştur.

2.3.2.2.Baca ve Çekiş sistemi

Baca, yanma sonucu oluşan duman gazlarının dışarı atıldığı kanaldır. Baca çekişi ortalama baca çekişi sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki farkla gerçekleşmektedir. Bu durum doğal çekiş olarak adlandırılmaktadır. Kazan duman borularında türbülatorler yokken baca çekişinin doğal çekişle gerçekleştirilebilmesine rağmen türbülatorlerin kullanılması durumunda doğal çekiş yeterli olmadığından şekil-9 da -23- ile gösterilen fan, bacaya takılarak baca çekişi sağlanmıştır. Baca girişine takılan -24- nolu kelebek vana ile de baca gazının debisi ayarlanmaktadır. Bu kelebek vana sayesinde yanmaya iştirak eden hava miktarı da yanma kontrol altına alınmış olur.

2.3.2.3.Kazan Suyu Sirkülasyon Sistemi

Kazanda ısınan su sistemde bir sirkülasyon pompasıyla dolaşmaktadır. Kazanda zamanla eksilen suyu tamamlamak, kazanın emniyetini sağlamak için kazan seviyesinden yukarıda şekil-8 de -2- ile gösterilen bir imbisat deposu yerleştirilmiştir. Deponun dolu olmadığını anlamak için imbisat deposuna bir uyarıcı takılmıştır. Kazan suyu çıkışı ve girişi üzerinde gidiş ve dönüş kollektörleri, kazanda ısınarak çıkan suyun depolandığı ve dağıtımın yapıldığı yerdir. Dönüş kollektörü ise ısıtıcılarda ısınıp verip soğumuş olan suyun kazana dönmek üzere toplandığı yerdir. Sistemde dolaşan suyun debisini ayarlamak için kazan giriş ve çıkışına vanalar konulmuştur. Aynı şekilde sirkülasyon pompasının giriş ve çıkışına vanalar konulmuştur.

Kazanda ısınan ve ısıtıcılarda soğuyan suyu, gidiş ve dönüş kolonları taşımaktadır. Sirkülasyon suyunun debisini ölçmek amacıyla dönüş kollektörü ile kazan arasına bir rotametre yerleştirilmiştir. Sistemde bulunan ısı dönüştürücü, paralel akışlı U borulu olup, serpantin borularının boyu 3200mm, çapı 1/2" tir. Serpantinde bulunan boru sayısı 30 adettir. Kazanda suya aktarılan ısı, sisteme bağlı olan bu ısı dönüştürücüsünden veya binayı ısıtma amacıyla kurulu bulunan radyatörlerden çevreye atılmaktadır.

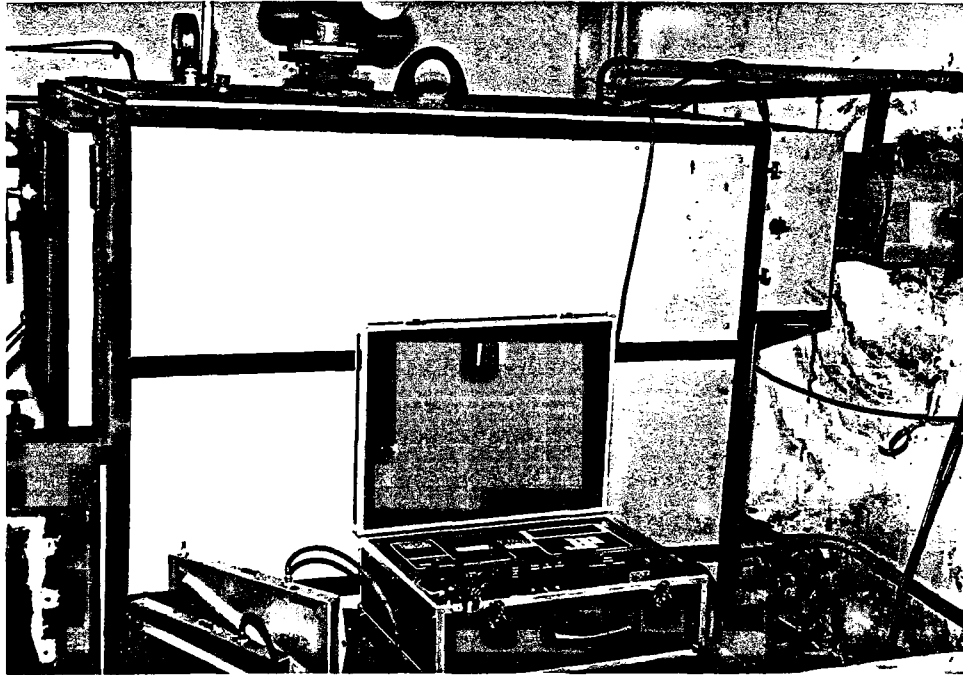
2.3.2.4. Ölçme ve Kontrol Sistemleri

Sistemde sıcaklık, debi baca çekişi, baca gazı analizi, yanma havası ve yakıt sarfiyatı, yanma ve kazan basıncı kontrol elemanları bulunmaktadır.

Kazan suyu sıcaklıklarının ölçülmesinde, derecelenmiş ve 1° duyarlıklı sıvılı termometreler kullanılmıştır. Ölçümler gidiş ve dönüş kollektörleri üzerinde yapılmıştır. Sirkülasyon suyunun debisinin ölçümünde dönüş kollektörü ile kazan arasına yerleştirilen m³/h kalibreli sıvı rotametrosu kullanılmıştır.

Kazan yakıt sarfiyatını belirlemek için, servis tankı üzerine yerleştirilen ve kg biriminde kalibre edilmiş bir yakıt debisi ölçerle yakıt miktarı ölçülmüştür. Baca gazı analiz ölçümleri ise baca girişi ile kazan arasına açılmış bulunan bir sonda deliğine yerleştirilen baca gazı analiz cihazıyla yapılmıştır şekil-11. Kazan çıkışına (baca girişi) yerleştirilmiş bir ölçme deliğine U manometresi yerleştirilerek baca çekişi belirlenmek istenmiştir.

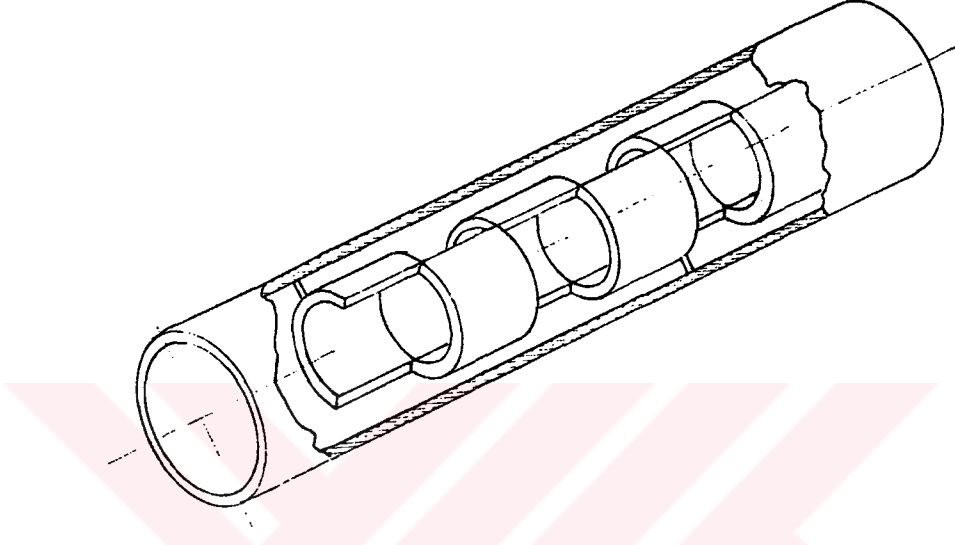
Kontrol sistemlerinde ise yanma havası kontrolü için ocağın girişine takılan hava kanalı ve bu kanal üzerinde kalibre edilmiş bir orifis kullanılmıştır. Yanma havası kontrolü için kanala takılmış bir U manometresi bulunmaktadır. Kazan suyu basıncının kontrolü için kazan üzerinde bir basınç göstergesi kullanılmıştır.



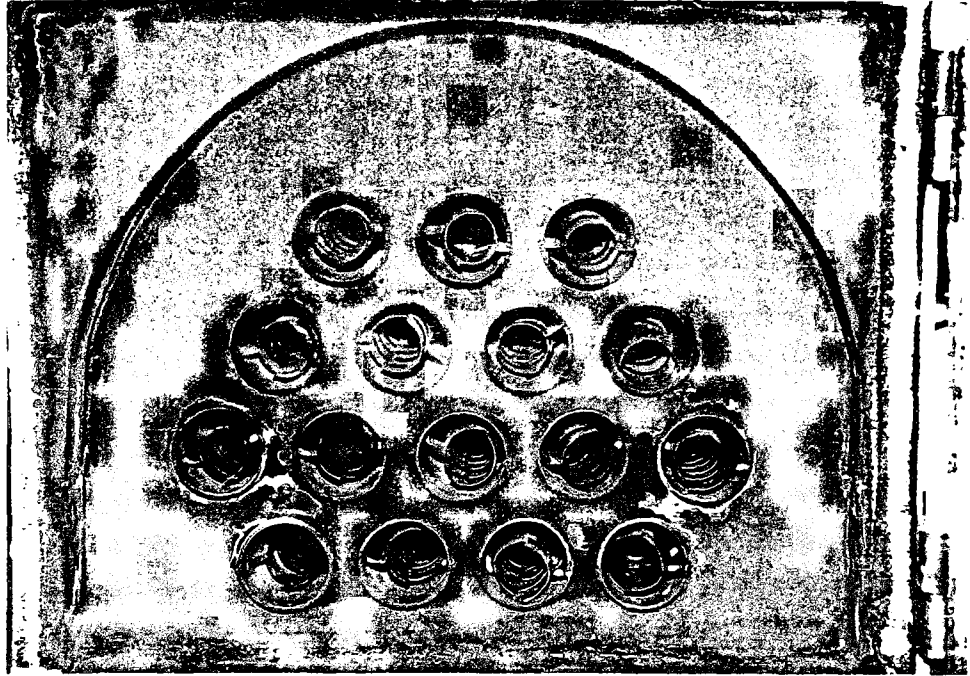
Şekil 11. Baca gazı analiz cihazı

2.3.2.5. Türbülatörlerin Tanıtılması

Bu çalışmada kullanılan saptırılmış yarım silindirik yüzeyli türbülatörler 0.5mm kalınlığında sacdan imal edilmişlerdir. Türbülatörlerin şekli ve kazan içersindeki görünümleri şekil-12 ile şekil-13 de verilmiştir.



şekil 12. Çalışmada tanıtılan türbülatör geometresi



şekil 13. Türbülatörlerin duman borularının içine yerleştiriliş şekli

2.3.3. Deneylerin Yapılışı

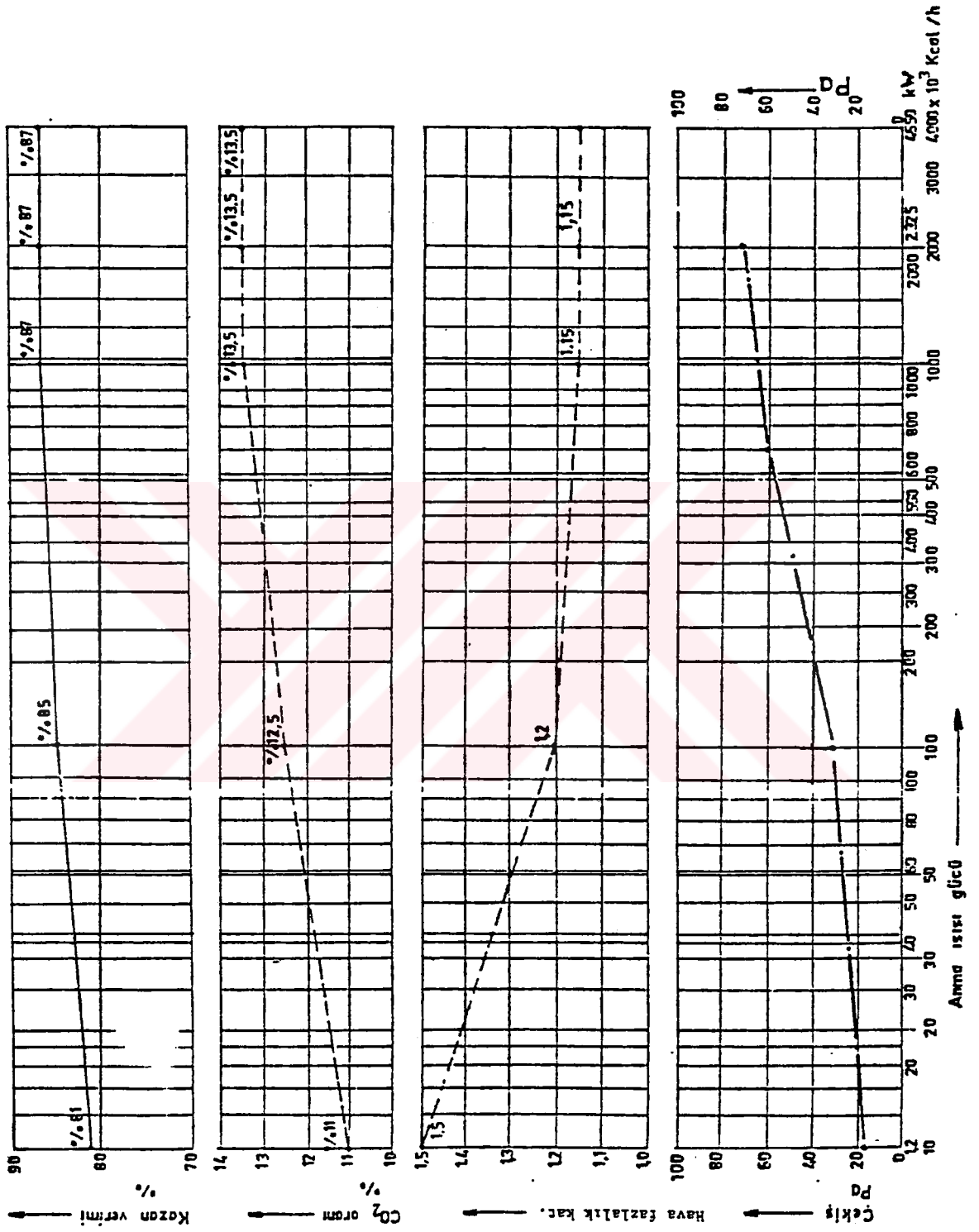
Deneylere başlamadan önce kazan bir süre çalıştırılarak sistemin kararlı hale (90/70) gelmesi sağlandı. Kazan anma ısı gücü verecek çıkış suyu sıcaklığındaki değişimin 10 dakikada bir %1' in altına inmesi halinde kararlı çalışma durumuna erişilmiş olur.

Sıvı yakıtlı kazanların anma ısı gücü deney süresi en az 60 dakikadır.

Kazan ısınarak çıkan suyun ısı, bir ısı değiştirgecisi vasıtasıyla çevreye atılır. Eşanjöre giren ve çıkan suyun debisi şehir şebekesine bağlı bir vanayla ayarlanmaktadır. Kazan giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları arasındaki fark eşanjörün soğutma suyu debisi ayarlanarak belirlenmektedir. Isınan kazan suyunun debisi ise gidiş ve dönüş kollektörleri üzerinde bulunan vanalarla ayarlanmaktadır. Yanma havası ve baca gazı miktarları, baca girişinde bulunan kelebek vana ile kontrol edilmektedir.

Deneyler önce kazan duman borularında türbülötörler yerleştirilmeksizin yapıldı. Yapılan deneylerle kazanın verimi Termodinamiğin Birinci Kanununa göre tesbit edilerek TS 4040 da verilen kazan değerlerine uygun olup olmadığı araştırıldı, şekil-14. Daha sonra duman borularına bu çalışmada tanıtılan türbülötörler yerleştirildi, şekil-13.

Tüm deneyler kazan 90/70' lik rejim haline geldiğinde yapılmıştır. Deneylerde yakıt miktarı sabit tutularak kazan sirkülasyon suyunun debisi değiştirilerek sistem termik olarak dengelenmektedir. Kazan duman boruları içersinde türbülötörler yokken ve türbülötörler varken baca çekişi doğal olarak gerçekleştirilmiştir. Kazandan geçen yanma havasının ölçülmesi için kazan girişindeki brülör ve hava alma ağzi bir hacim içine alınarak hacimin bir yüzüne hava kanalı ve orifis yerleştirilmiştir. Orifis daha önce kalibre edilmiştir. Hava debisi baca girişindeki kelebek vana ile ayarlanmaktadır.



Şekil 14. Sıvı yakıt kazanlarından istenilen değerler

2.3.3.1. Ölçümler

Deneylerde ölçüm aralıkları 10 dakikada alınmıştır. Kazan giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları, giriş ve çıkış kollektörleri üzerine yerleştirilen 1^o C duyarlı sıvılı termometrelerle ölçülmektedir. Kazan çıkışına açılmış olan bir sonda prize yerleştirilen termoelemanla baca gazı sıcaklığı ölçülmektedir.

Kazan suyu basıncı, kazan üzerinde bulunan manometreden ölçülerek kontrol edildi. Böylelikle kazan basıncındaki değişiklik gözlenmektedir. Baca çekiş kayıpları kazan çıkışındaki bir U manometresiyle tesbit edilmektedir.

Kazan sirkülasyon suyunun debisi dönüş kollektörü üzerine yerleştirilen bir rotametre ile ölçülmektedir. Debi ayarı ise kollektör çıkışında bulunan bir vana ile ayarlanmaktadır. Yakıt miktarı ölçümü ise yakıt deposu üzerine yerleştirilmiş, kalibrasyonu yapılmış olan bir skala ile ölçülmektedir.

Baca gazlarının yapısı, bacaya takılan bir baca gazı analiz sondası ile CO₂, CO ve O₂ yüzde miktarları belirlenmektedir. Yanmaya iştirak eden hava miktarı ise kazan girişine yerleştirilen bir orifis ile ölçülmektedir. Deney düzeneğinde elde edilen ölçümler Tablo-1 ve Tablo-2 de verilmiştir.

Tablo 1. Birinci deney ölçüm değerleri, (a) Kazan ölçüm değerleri, (b) Baca gazı ölçüm değerleri

	m[kg/h]	T _c [°C]	T _g [°C]	B _h [Kg/h]	T _{port} [°C]
Bos	1906.71	88	66	4.85	34
12	2102.27	88.5	66.2	4.91	36
12	2248.94	86.4	65.1	4.935	40
12	2060	89	69	4.88	34
12	2170	87	67	4.91	37
Bu çalışma	2125	84	63	4.92	34

(a)

	T _{bg}	YCO ₂	YO ₂	YCO	YN ₂	P	V _{blc}	YSD ₂	YNO ₂
	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]	[%]
Bos	237.14	9.73	7.5	0.12	82.59	0.058	84.9		
12	113.6	9.43	8.6	0.09	81.88	0.137	86.5		
12	102	9.09	8.46	0.14	82.31	0.264	86.7		
12	125.4	8.1	9.9	0.0006	81.97	0.14	86.5	0.0016	0.0003
12	119.2	7.9	10.1	0.0009	81.97	0.23	87	0.0015	0.0026
Bu çalışma	178.4	9.3	8.2	0.023	82.5	0.06	87.5	0.0197	0.038

(b)

Tablo 2. İkinci deney sonuç değerleri, (a) Kazan ölçüm değerleri, (b) Baca gazı ölçüm değerleri

	m[kg/h]	T _c [°C]	T _g [°C]	B _n [Kg/h]	T _{c_{prt}} [°C]
Bos	1902.5	85	63	4.865	33.5
12	2021.6	88	68	4.975	38
12	2254	88.6	68.4	4.945	39
Bu çalışma	2125	85	64	4.825	34

(a)

	T _{bg}	YCO ₂	YCO ₂	YCO	YN ₂	P	V _{blç}	YSD ₂	YND ₂
	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Pa]	[m ³ /h]	[%]	[%]
Bos	234.7	9.95	7.3	0.12	82.7	0.065	84.9		
12	117.7	10.10	7.1	0.10	82.75	0.15	84.6		
12	102.5	10.17	7	0.12	82.7	0.258	84.8		
Bu çalışma	179.8	9.2	8.34	0.197	82.24	0.06	87.5	0.0219	0.0040

(b)

2.4. HESAPLAMALAR

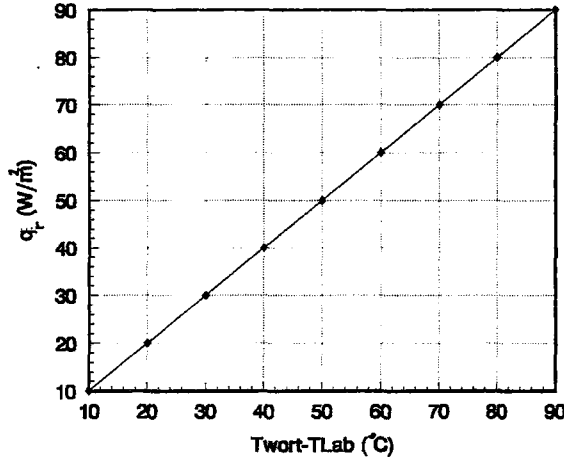
Deneyel çalışmalar doğrultusunda takip edilen anlatım şekline göre her bir deney için uygulanan hesaplamalar ayrı ayrı verilecektir.

2.4.1. Isı Geçiş Deneyi Hesapları

Isı geçiş deneylerinde enerji blançosu yapılarak akışkana aktarılan ısı miktarının doğru hesabı değişik hesaplama yöntemleriyle kontrol edilmiştir. Bu çalışmada enerji blançosunun kontrolü için deney elemanından çevreye sızan ısı miktarının değişik duvar şartlarında belirlenmesine çalışılmıştır.

Isı kayıp deneyleri akışkan borusu içersine, ısı yalıtım malzemesi konularak uygulanan elektrik enerjisiyle ısıtılan deney elemanının çevreyle termik dengeye geldiği, kararlı rejimdeki sıcaklık dağılımına göre deney elemanından sızan ısı kaybının hesabı yapılmış olur. Bu hesaplamada deney elemanına uygulanan ısı akısı nedeniyle boru cidarındaki sıcaklık dağılımları ölçülerek sıcaklık dağılımları için bir eğri uydurulur. Boru uçlarındaki sıcaklık gradyanları nedeniyle iletimle olan ısı kaybı toplam enerjiden çıkartılarak radyal ısı kaybı belirlenir. Dolayısıyla

ortalama duvar sıcaklığından laboratuvar sıcaklığı çıkartılarak radyal ısı kaybı grafiği elde edilir şekil-15.



Şekil 15. Isı kayıp kalibrasyon grafiği

Deneylerde Reynolds sayısı belirlendikten sonra deney setine toplam ısı akısı uygulanır. Rejim haline ulaşıldığında duvar sıcaklıkları okunarak ortalama duvar sıcaklıklarına karşılık gelen radyal ısı kayıp katsayısı bulunur.

Hazırlanan bilgisayar programında duvar sıcaklıklarına uydurulan eğri ve boru uçlarında sıcaklık gradyentini hesaplayan programlar Ek 1'de verilmiştir. Akışkana birim yüzeyden aktarılan ısı akısı

$$q_A = q_t - q_r - q_{uç} \quad (W/m^2) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır.

$$q_A = h(T_{W_{ort}} - T_{a_{ort}}) \quad (2)$$

$$h = \frac{q_A}{(T_{W_{ort}} - T_{a_{ort}})} \quad (3)$$

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

$$Nu = \frac{q_A \cdot D}{k(T_{w_{ort}} - T_{a_{ort}})} \quad (5)$$

Akışkana aktarılan toplam ısı akısı

$$Q_A = A \cdot q_A \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Burada A, boru yüzeyi yanal alanıdır.

$$A = \pi D L_D \quad (7)$$

Akışkana geçen ısı akısı enerji eşitliğinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_A = \dot{m}_a C_p (T_{a_g} - T_{a_g}) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Burada T_{a_g} ve T_{a_g} , boru girişinde ve çıkışındaki ortalama akışkan sıcaklığıdır.

Akışkana geçen ısı akısı için diğer bir hesap yöntemi ısı kayıp katsayısının lineer değişimi özelliğinden yararlanılarak yapılmaktadır.

Deney elemanı 50 adet hacim elemanına bölünerek her bir hacim elemanı için enerji eşitliği yazılarak akışkan ortalama sıcaklığı hesaplanır.

$$Q_A = m C_p (T_{a_g} - T_{a_g}) \quad (9)$$

$$T_{a_g} = \frac{q_A \cdot A}{\dot{m}_a \cdot C_p} + T_{a_g} \quad (10)$$

Herhangi bir kontrol hacmi için birbirini takip eden bu uygulama sonucu, deney borusu çıkışındaki akışkan ortalama sıcaklığı hesaplanır. Bu hesap değeri ölçülen ortalama sıcaklıkla karşılaştırılarak, ölçümler kontrol edilir.

Yukarda akışkana geçen ısı akısı miktarları birbirlerine göre karşılaştırılırlar. Referans değer olarak ısı kayıp katsayısına göre, akışkana geçen ısı akısı esas alınır. Hesaplama detaylı olarak Ek 2 de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı

$$Nu_m = \frac{q_A \cdot D}{k(T_{w_{out}} - T_{a_{out}})} \quad (11)$$

olarak hesaplanır. Burada

$$T_{a_{out}} = \frac{T_{a_s} + T_{a_e}}{2} \quad (12)$$

olarak alınmaktadır. Ayrıca yerel Nusselt sayısı

$$Nu = \frac{q_A \cdot D}{k(T_w - T)} \quad (13)$$

hesaplandıktan sonra, Nusselt sayısının boyutsuz uzunluğu (L_D/D) değişimi çizilerek, ortalama değeri hesaplanır. Hesaplama için yazılan program Ek 2' de dir.

2.4.2. Akış Deneyi İçin Basınç Kayıp Katsayısının Hesabı

Basınç kayıp katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{\rho U^2}{2}(L_D / D)} \quad (14)$$

2.4.3. Hata Analizi

Literatürde, deneysel çalışmaların güvenilirlik sınırlarını belirleyen hata hesapları çok önem taşımaktadır. Sunulan çalışmada ölçülen büyüklüklerle hesaplanan değerlerdeki hata miktarı hata fonksiyonu yardımıyla belirlenmiştir. Isı geçiş deneylerinde ölçülen büyüklüklerle hesaplanan Re Reynolds sayısı ve Nu Nusselt sayısı olduğundan bu iki değer hesaplanmasında ortaya çıkan hata miktarı Reynolds sayısı için $\pm 0,01$, Nusselt sayısı içinde $\pm 0,005$ olarak belirlenmiştir. Hata analizi için uygulanan hesap yöntemi Ek 3' de verilmiştir.

2.4.4. Isı Geçişi ve Akış Deneyleri İçin Termodinamiğin İkinci Kanun Analizi

Isı eşanjöründe oluşan entropi üretimi, sıcaklık ve sürtünme kayıplarından kaynaklanan ısı transferini iyileştirici tekniklerin değerlendirilmesi için Bejan [10]

tarafından kullanılmıştır. Bejan'ın tanımladığı bu yöntem entropinin minimizasyonu olarak bilinir. Standart şekilde dizayn edilmiş ve işletilmekte olan bir sistemin entropi üretim terimi ile ısı transferi iyileştirme tekniği uygulanmış aynı işletim şartlarındaki sistemin entropi üretim terimi ile karşılaştırılması yapılarak uygulanan ısı transferi iyileştirme tekniği hakkında somut kararlar verilebilmektedir.

Uzunluğu dx olan tek fazlı bir eşanjör için akışkan sıcaklığı T , duvar sıcaklığı $T + \Delta T$ ve birim uzunluktaki ısı akısı q ise net entropi değişimi aşağıdaki gibi yazılır.

$$ds = m ds - \frac{q \cdot dx}{T + \Delta T} \quad (15)$$

Termodinamiğin 1. Kanununun ve entalpi tanımından

$$dh = T \cdot ds + \frac{dP}{\rho} \quad (16)$$

ifadesi kullanılarak (1) denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{ds}{dx} = \frac{m}{\rho T} \left(- \frac{dP}{dx} \right) + \frac{\Delta T}{T^2} \left(\frac{q}{1 + (\Delta T / T)} \right) \quad (17)$$

ifadesi kullanılarak net entropi değişimi aşağıdaki gibi yazılır. Eğer $\Delta T \ll T$ ise son deklemler aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{ds}{dx} = \frac{m}{\rho T} \left(- \frac{dP}{dx} \right) + \frac{\Delta T \cdot q}{T^2} \quad (18)$$

(18) denklemi birim uzunlukta ve birim zamandaki entropi değişimi olup bu denklemin sağ tarafındaki ilk terim sürtünme nedeniyle ortaya çıkan basınç kayıplarındaki entropi üretim terimidir. Denklemdeki ikinci terim ise sonlu sıcaklık farkı nedeniyle ortaya çıkan entropi üretim terimini göstermektedir. Basınç kaybından ve sıcaklık farklarından oluşan entropi üretim terimleri aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilmektedir.

$$\left(\frac{ds}{dx} \right)_{\Delta P} = \frac{m}{\rho \cdot T} \left(- \frac{dP}{dx} \right) \quad (19)$$

$$\left(\frac{ds}{dx}\right)_{\Delta T} = \frac{\Delta T \cdot q}{T^2} \quad (20)$$

Isı eşanjörlerinde uygulanan ısı transferi iyileştirme tekniğinin değerlendirilmesinde kullanılan verimlilik ifadesi N , aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$N = \frac{(ds/dx)_a}{(ds/dx)_o} \quad (21)$$

$$N = \frac{\left[\frac{m}{\rho \cdot T} \left(-\frac{dP}{dx} \right) + \frac{\Delta T \cdot q}{T^2} \right]_a}{\left[\frac{m}{\rho \cdot T} \left(-\frac{dP}{dx} \right) + \frac{\Delta T \cdot q}{T^2} \right]_o} \quad (22)$$

Burada 0 indisi standart şartlarda dizayn edilmiş ve işletilmekte olan sistemin entropi değişim miktarını , a indisi ise ısı transferi tekniği uygulanmış aynı işletme şartlarındaki sistemin entropi değişim miktarını göstermektedir. Tanımlanan N verimlilik ifadesini basitleştirmek için ϕ_0 tersinmezlik dağılım oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\phi_0 = \frac{(ds_{\Delta P}/dx)_o}{(ds_{\Delta T}/dx)_o} = \left[\frac{m \cdot T}{\Delta T \cdot q \cdot \rho} \left(-\frac{dP}{dx} \right) \right]_o \quad (23)$$

Bu tanımla beraber Re, St, D, A ve f tanımları kullanarak N verimlilik ifadesi aşağıdaki gibi yazılır. Tanımlanan eşitlikte Re Reynolds sayısını, St Stanton sayısını, D_h hidrolik çapı, A_c akış kesit alanı ve f basınç kayıp katsayısını göstermektedir.

$$N = \frac{N_T + \phi_0 \cdot N_P}{1 + \phi_0} \quad (24)$$

$$N_T = \frac{St_o D_{h_a}}{St_a D_{h_o}} \quad (25)$$

$$N_P = \frac{f_a D_o}{f_o D_a} \left(A_{c_o} / A_{c_a} \right)^2 \quad (26)$$

N : İyileştirme tekniğinin verimliliği

N_T : Sıcaklık farklarından doğan entropi üretim terimi

N_P : Basınç kayıplarından doğan entropi üretim terimi

ϕ_0 : Tersinmezlik dağılım oranı (geometrik yapıya ve işletme şartlarına bağlıdır)

İyileştirme tekniği kullanılarak ısı transferinin artırıldığı durumda sistemin verimliliği (N) birden büyük ise (verilmiş bir ϕ_0 değeri için) daha çok entropi üretilir. Dolayısıyla daha çok ekserji anenerjiye dönüşür. Bu durumda iyileştirme tekniği tavsiye edilemez. N birden küçük olduğunda entropi üretimi azalmış olur. Yani verilen bir ϕ_0 değeri için ekserjiden anenerjiye dönüşen miktar azalır. Dolayısıyla uygulanan iyileştirme tekniği tavsiye edilir. A ve B iki ayrı ısı transferi iyileştirme tekniği ise sabit ϕ_0 işletim değeri için $N_A < N_B$ ise A tekniği B tekniğine tercih edilir. Bu metodun ekonomiklik analizine imkan vermesi nedeniyle son yıllarda ısı transferini iyileştirme metodlarının analizi için kullanılmasında geniş yer tutmaktadır

2.4.4.1. Ekonomiklik Analizi

C bağılı maliyet faktörü olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$C = \frac{(\Delta P) \text{ Basınç kaybından doğan tersinmezliklerin maliyeti}}{(\Delta T) \text{ Sıcaklık farkından doğan tersinmezliklerin maliyeti}} \quad (27)$$

Tersinmezlik dağılım faktörü tanımından yararlanarak, tersinmezlik dağılım maliyet faktörü

$$\phi_c = C \phi_0 \quad (28)$$

olarak tanımlanır. Verimlilik tanımına benzer olarak, maliyet verimliliği için

$$N_c = \frac{N_T + \phi_c N_P}{1 + \phi_c} \quad (29)$$

Burada N_c , efektif entropi üretim maliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Eşitlikte $C = 1$ ise N_c 'nin değeri N 'ne eşit olur. Yani pompalama maliyeti ile ısı aktarımını iyileştirme maliyeti birbirine eşittir. Bu durumda iyileştirme yapmaya gerek kalmaz.

A ve B iki ayrı ısı transferi iyileştirme tekniği ise aynı \emptyset_0 değeri için $N_{CA} < N_{CB}$ ise A tekniği B tekniğinden daha ekonomik olup tercih edilir.

2.4.5. Kazan Deneyi Hesapları

2.4.5.1. Kazan Verimi Hesabı

Kazan veriminin hesabının yapılabilmesi için hava fazlalık katsayısı ve yanmaya iştirak eden hava ve baca gazı miktarının hesaplanması gerekmektedir. Kazan veriminin hesabı için iki ayrı metod aşağıda tanıtılacaktır.

2.4.5.2. Kazan Yakıtı ve Özellikler

Deney kazanında yakıt olarak ön ısıtma gerektirmeyen ince bir yakma yağı (motorin) kullanılmıştır. Kullanılan yakıtın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Yakıtın alt ısı değeri, $H_u = 42636 \text{ kJ / kg}$

Kuru baca gazındaki maksimum Y_{CO_2} miktarı,

$Y_{CO_2max} = \%15.4$

Minimum hava ihtiyacı, $L_{min} = 11.04 \text{ m}^3 / \text{kg}_y$

Kuru baca gazı miktarı, $V_{min} = 11.73 \text{ m}^3 / \text{kg}_y$

Yakıtın kütleli (elemansel birleşimi)

$c = 0.85$

$h = 0.13$

$o = 0.017$

$s = 0.003$

olarak alınmıştır [14],[15],[16].

Yakıtın elemansel bileşimi belli olduktan sonra yukardaki L_{min} ve V_{min} değeri belirlenebilir. Bu belirleme sıvı yakıtlara göre yapılmıştır.

Bir kilogram yakıtın alt ısı değeri yakıtın elemansel analizine dayanarak aşağıdaki ampirik formüle göre yaklaşık bir şekilde elde edilebilir, [15].

$$H_u = 80100c + 29000\left(h - \frac{O}{8}\right) + 2500s - 600w \quad (30)$$

$$L_{\min} = \frac{0.85}{1000} H_u + 2 \quad (31)$$

$$V_{\min} = \frac{1.11}{1000} H_u \quad (32)$$

2.4.5.3. Hava Fazlalık Katsayısı

Hava fazlalık katsayısı gerçekte yakıtın yanması için kullanılan hava miktarının (L_n), teorik yanma için kullanılan hava miktarına (L_{\min}) oranı olarak tanımlanır, [15]

$$\lambda = \frac{\text{Verilen hava miktarı}}{\text{Lüzumlu teorik hava miktarı}} = \frac{L_n}{L_{\min}} \quad (33)$$

Yanma odasındaki basınç genellikle atmosfer basıncından küçüktür. Kazan kaplamasının sızdırgan olması yanlış miktarda havanın sağlanmasına yol açar buda kazan sonuna doğru hava fazlalık katsayısında bir artışa sebebiyet verir.

Hava fazlalık katsayısının tam olarak bulunabilmesi için hava oksijeninin fazla kısmının yanmaya bir katkısının olmadığı göz önüne alınması gerekir. Fazla olan oksijen yanmada baca gazı içinde kazanı terk ederken baca gazı analiz cihazı ile ölçülmektedir. Baca gazındaki azot miktarı yanma başındaki toplam azottur. Böylece tam yanma için hava fazlalık katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır. Burada kullanılan YO_2 , YCO , YCO_2 ve YN_2 baca gazındaki hacimsel oranlardır.

$$(\lambda - 1) = \frac{YO_2}{\frac{21}{79} YN_2 - YO_2} \quad (34)$$

Yanmanın tam olmadığı durumda YO_2 hacimsel oranında $0.5YCO$ kadar bir azalma meydana geleceğinden geri kalan kısım

$$YO_2 = YO_2 - 0.5YCO \quad (35)$$

kadar fazla oksijendir. Aynı zamanda ölçülen YCO_2 'in hacimsel oranı da YCO büyüklüğü kadar fazlalaşır.

$$Y\dot{CO}_2 = YCO_2 + YCO \quad (36)$$

Yanmadan dolayı azotun hacimsel oranıda aşağıdaki gibi değişmiş olur.

$$Y\dot{N}_2 = \%100 - Y\dot{CO}_2 - Y\dot{O}_2 \quad (37)$$

Sonuçta bu değerlerle, hava fazlalık katsayısı şu şekilde hesaplanır, [16].

$$(\lambda - 1) = \frac{Y\dot{O}_2}{\frac{21}{79} Y\dot{N}_2 - Y\dot{O}_2} \quad (38)$$

Hava fazlalık katsayısının hesaplanmasındaki amaç kazan verim deneylerinin aynı yanma şartlarında gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmektir. Hava fazlalık katsayısının hesabı aşağıda anlatılacaktır. Elde edilen değerler Bulgular başlığı altında Tablo 3. ve Tablo 4. de verilmiştir. Sonuçta bütün deneylerde aynı hava fazlalık katsayısının yaklaşık olarak hesaplandığı görülmektedir.

2.4.5.4. Yanmaya İştirak Eden Hava ve Baca Gazı Miktarı

Minimum hava miktarı	L_{min}	
Fazla hava miktarı	$L_u = (\lambda - 1) L_{min}$	
Toplam hava miktarı	$L = L_{min} + L_u$	(39)

Toplam baca gazı miktarı, saf baca gazı miktarı ile fazla hava miktarının toplamına eşittir.

$$V_{hesap} = V_{min} + L_u \quad (40)$$

2.4.5.5. Termodinamiğin Birinci Kanununa göre Kazan Verimi

Kazan verimi, ısıtıcı akışkanın birim saatte aldığı ısı miktarının verilen yanma ısısına oranıdır. Termodinamiğin birinci kanununa göre kazan verimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_1 = \frac{m C_p (T_{\phi} - T_g)}{B_h H_u} \quad (41)$$

2.4.5.6. Dolaylı Yoldan Kazan Verimi ve Kayıpların Hesabı

Yakıt hangi cins olursa olsun yakıtın yanması sonucu oluşan tüm ısıdan faydalanma imkanı yoktur. Bu nedenle çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Kayıplar gözönüne alınarak kazan verimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [16].

$$\eta_D = 100 - \sum \text{kayıplar} \quad (42)$$

Toplam kayıplar şu kısımlara ayrılmaktadır.

- a- Yanma kayıplar (V_f)
- b- Işıma ve konveksiyon kaybı (V_r)
- c- Ekzos kaybı (V_a)

Böylelikle verim şu şekli alır,

$$\eta_D = 100 - (V_f + V_r + V_a) \quad (43)$$

2.4.5.7. Yanma Kaybı

Yanma kaybı yakıtın yandığı yere ve yakıtın şekline bağlı olarak değişmektedir. Sıvı yakıtların yanmasında yanma kaybı çok küçük olup $V_f \leq 0.01$ değerindedir. Yanma kaybı pratik değerler için Tablo-2 den alınabilir.

Tablo 3. Yanma kayıpları.

Yakıt	Yanma	% Yanma kaybı
Sıvı yakıt	Tüm yakıtın yanması	0+1
İri taneli kömür	İnsan gücü ile ızgarada yak.	2+6
Küçük taneli kö.	İnsan gücü ile ızgarada yak.	3+5
	Yarım mekanik ızgarada yak.	2+4
	Tam otomatik ızgarada yak.	1+3

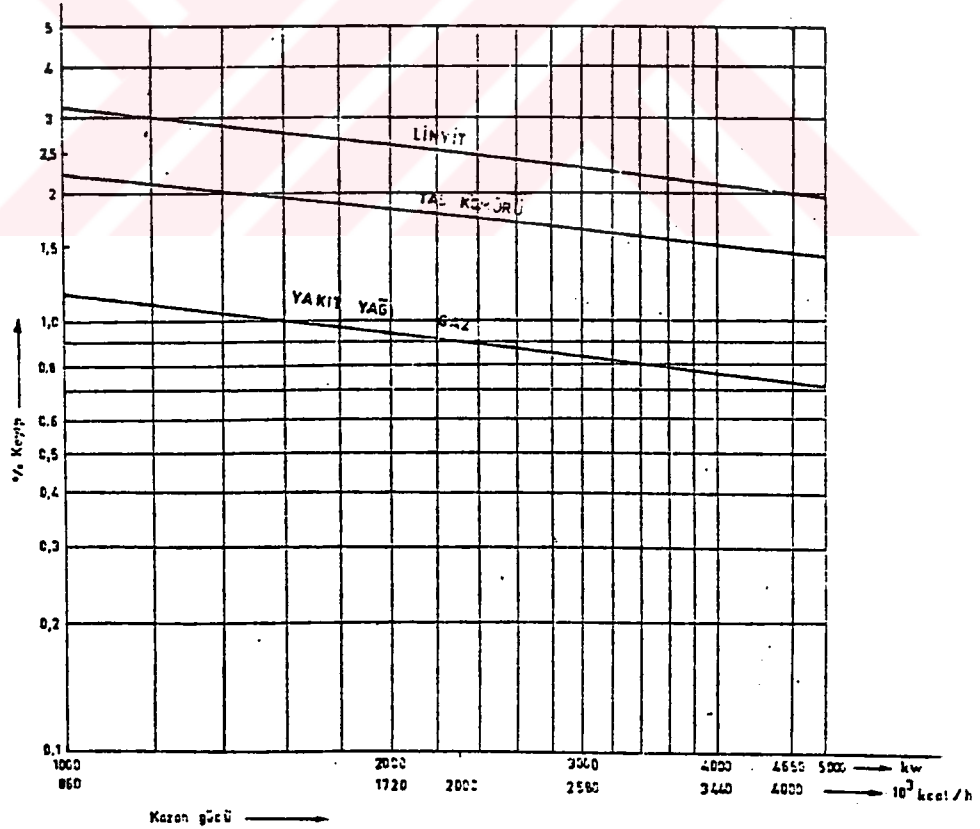
2.4.5.8. Artık Kayıplar

Artık kayıplar, kazandan ışıma ve konveksiyon yoluyla dış ortama iletilen ısı miktarı olarak tanımlanır. Bu değer kazan yapım şekli ile kazanın ısı izolasyonuna bağlıdır. Kazanın normal işletilmesi sonunda kazan dış yüzeylerinde tutulması gereken kısımların sıcaklığı, kazan dairesi sıcaklığından büyük olmamalıdır. Pratikte kullanılan çeşitli artık kayıp değerleri şekil-16 dan belirlenebilir.

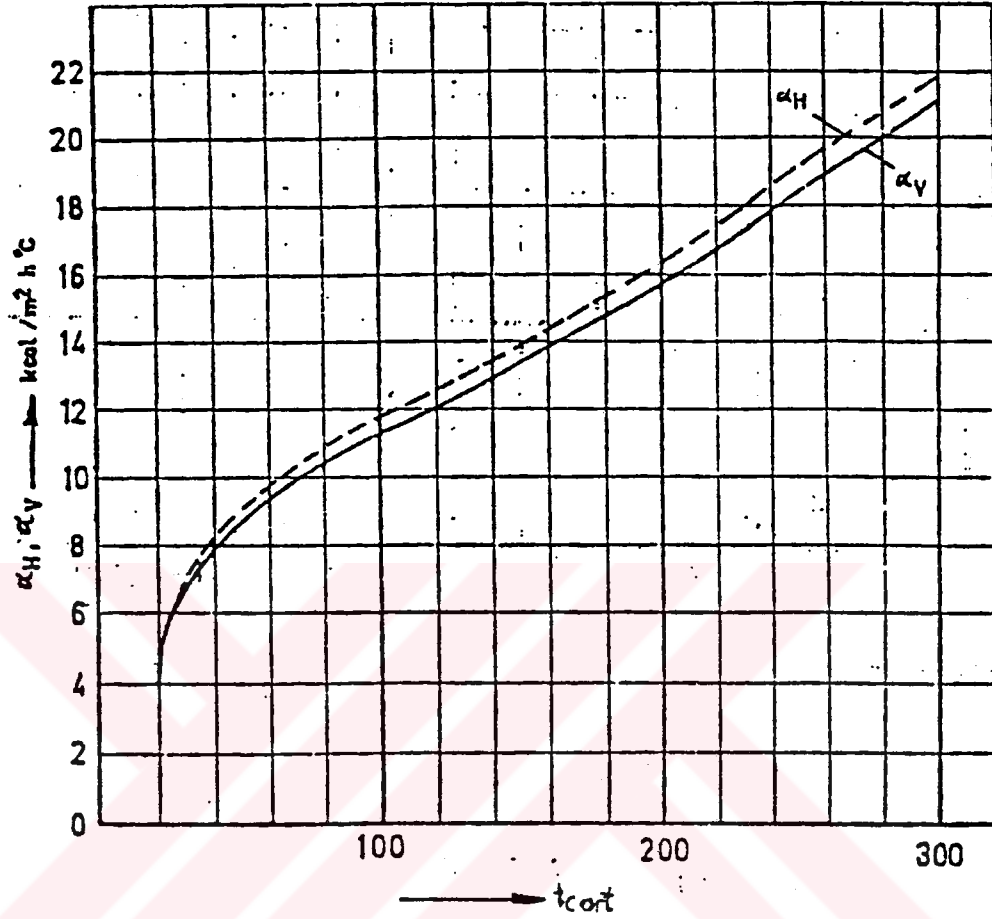
Artık kayıplar kazan ortalama yüzey sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_x = F_x a_{ort} (T_{cort} - T_o) \quad (44)$$

$$V_r = \frac{\sum Q_x}{Q_{su}} \quad (45)$$



Şekil 16. Artık kaybın nominal kazan yüküne göre değişimi



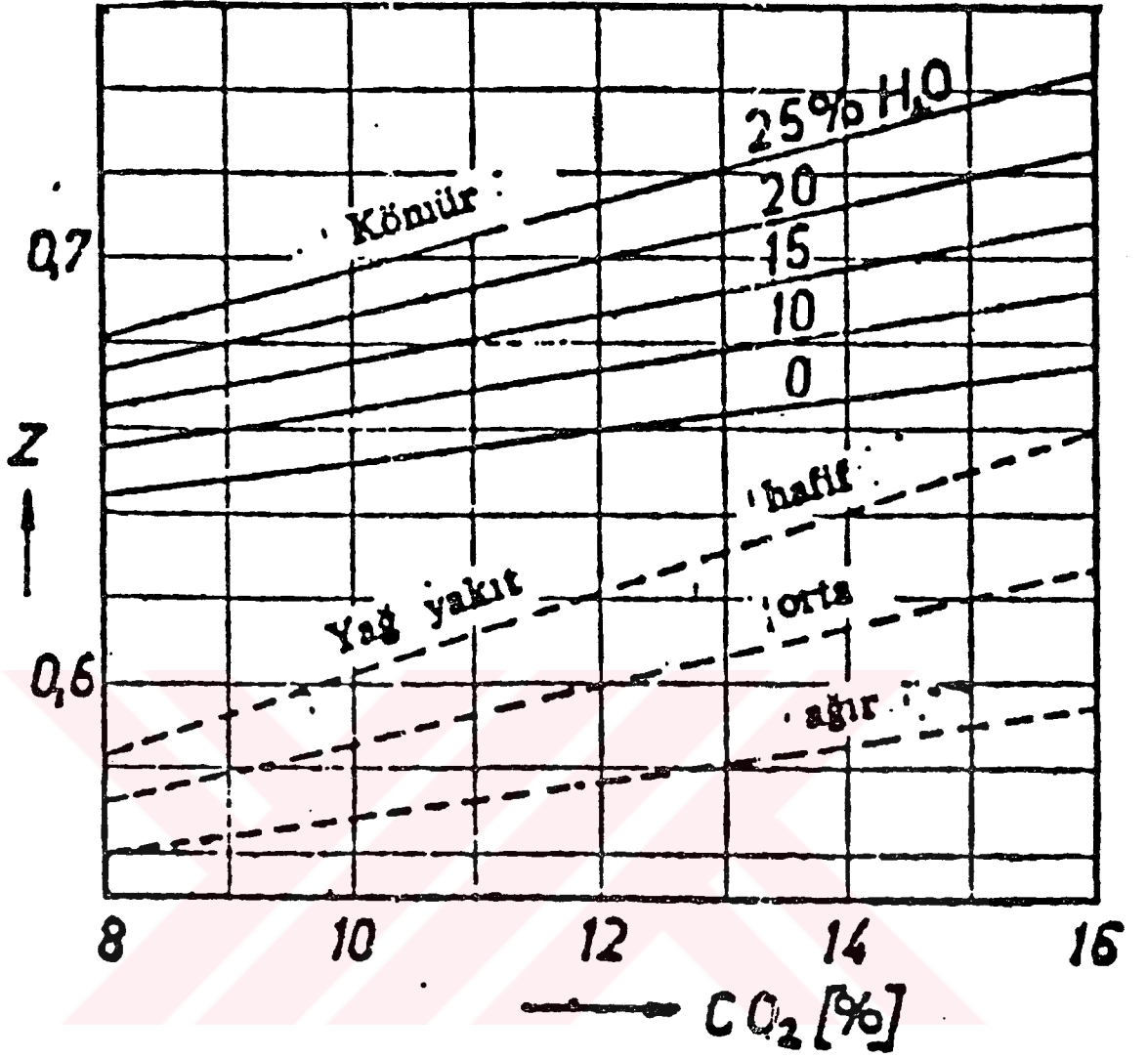
Şekil 17. Yüzey ortalama sıcaklığına bağlı olarak $T_0=20^{\circ}\text{C}$ çevre sıcaklığında yatay yüzeylerde K_H , düşey yüzeylerde K_V , toplam ısı transfer katsayısı

Kazanın kısımlarına ayrılmış yüzeylerindeki ortalama ısı geçiş katsayısı yüzey sıcaklığına bağlı olarak şekil-17 den alınmıştır.

2.4.5.9. Baca Gazı Kayıpları

Baca gazı kaybı (46) formülünden yararlanılarak yaklaşık olarak belirlenebilir. Buradaki Z kayıp faktörü şekil-18 den alınır. Bu faktör yakıt tipine, yakıt bileşenine ve karbondioksit miktarına bağlıdır.

$$V_a = Z \frac{T_a - T_o}{YCO_2} \quad (46)$$



Şekil 18. Baca gazı kayıp faktörü

2.4.6. Kazan İçin Termodinamiğin İkinci Kanun Verimi Tanıtımı ve Hesabı

Termodinamiğin İkinci Kanununa göre kazan verim ifadesi

$$\eta_{II} = \frac{\Delta E_{su}}{E_{yakt} - E_{sp}} \quad (47)$$

olarak tanımlanmıştır. Bu formüldeki değerlerin hesabında ekserji dengesi için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.

Baca gazının ekserji kaybı Szargut [17] tarafından

$$\Delta E_{BG} = m \left[C_p (T_{bg} - T_f) - T_f C_p \ln \frac{T_{bg}}{T_f} \right] \quad (48)$$

olarak verilmiştir. Yakıtın enerjisi

$$E_{yakıt} = Hu \left(1.374 + 0.0159 \frac{H}{C} + 0.0567 \frac{O}{C} \right) \quad (49)$$

olarak tanımlanmıştır. Buradaki H/C ve O/C oranları elementlerin atomik oranlarıdır.

Kazan yüzeyinden kaybolan ısının ekserjisi için Tenir [18] tarafından kullanılan eşitlik

$$\Delta E_Q = Q_x \left(1 - \frac{T_{bg}}{T_{kört}} \right) \quad (50)$$

olarak tavsiye edilmiştir. Kazan suyunun ekserjisi ise

$$\Delta E_{su} = (H - H_f) - T_f (S - S_f) \quad (51)$$

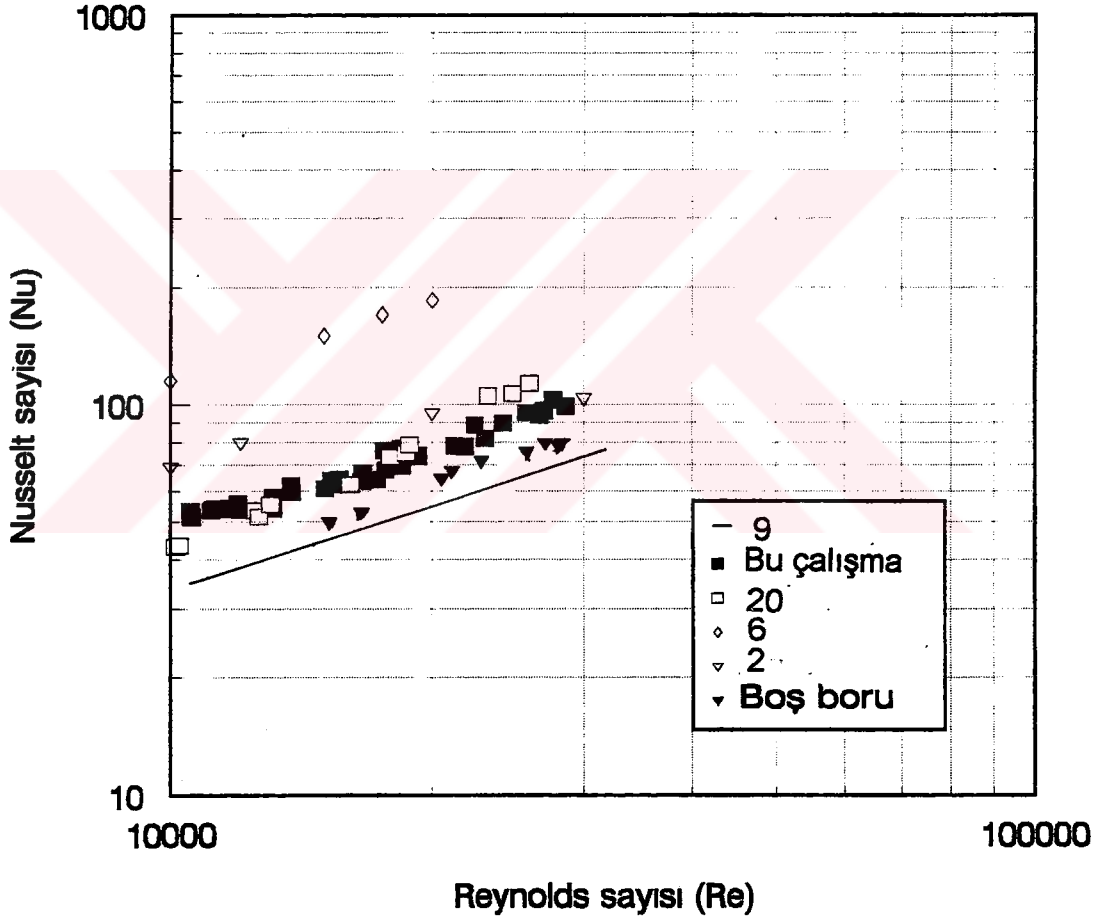
olarak hesaplanabilmektedir. Ekserji kaybı Tenir tarafından aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmiştir.

$$E_{kayıp} = E_g - E_f = E_{yakıt} + \Delta E_{su} - \Delta E_{BG=T_a} - \Delta E_{Q=T_f} \quad (52)$$

Deneydeki kazan suyu sirkülasyon pompasının ekserji değeride verim ifadesinde gözönüne alınmıştır. Hesaplamalardan elde edilen değerler Tablo-3 ve Tablo-4 de verilmiştir.

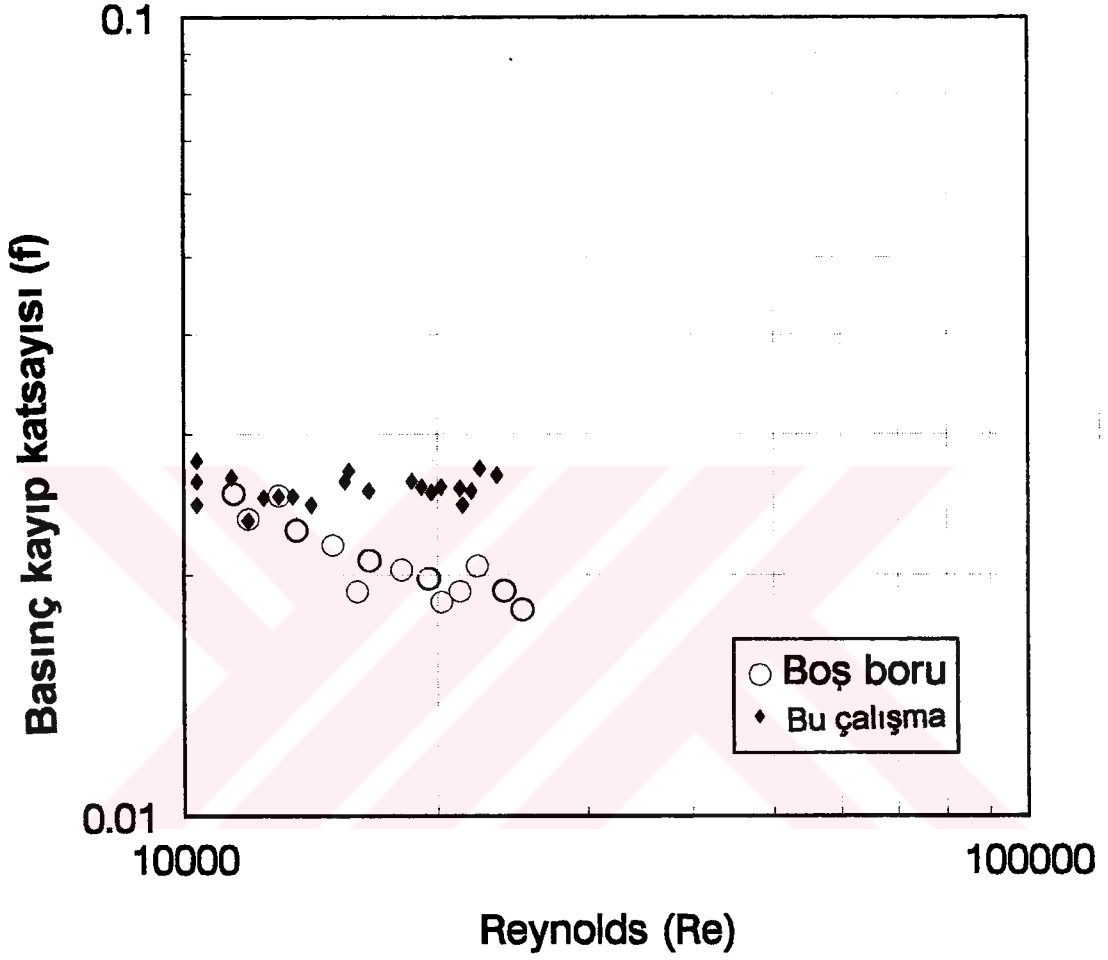
3. BULGULAR

Saptırılmış yarım silindirik yüzey dizileri içeren silindirik borularda ki ısı transferi deneylerinde, şekil-19 dan görüldüğü üzere boş boru deneylerine göre ısı transfer katsayısında artış izlenmiştir. Fakat bu tip türbülantörlerle elde edilen ısı transferindeki iyileşme, konik halka yüzeyli türbülantöre göre daha düşüktür.



Şekil 19. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi

Akış deneylerinde elde edilen değerler şekil-20de basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi olarak çizilerek boş boru sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 20. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Akış gözleme deneylerinde çekilen fotoğraflardan tipik örnekler şekil-21 ve şekil-22 de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi ısı transferindeki iyileşme cidara yakın iki yarım silindirik yüzey arasındaki boşluktaki karışımda izlenmektedir. Ayrıca yarım silindirik yüzey dizilerinin ısı ışıınım nedeniyle ısı transferinin iyileşmesine etkide bulunduğu görülmektedir. Ancak ısı ışıınım için yüzey sıcaklığı düşük olduğundan, ısı geçiş deneylerinin analizinde ısı ışıınım ihmal edilmiştir.



Şekil 21. Merkezde akış gözleme deneylerinin fotoğrafı



Şekil 22. Cidardaki akış gözleme deneylerinin fotoğrafı

Isı geçiş deneyleri ile akış deneyleri bulgularının Termodinamiğin İkinci Kanun analizi hesaplamaları, irdeme bölümünde literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak verilecektir.

Kazan deneylerinde elde edilen ölçümler sonucu, yapılan hesaplamalarla elde edilen bulgular Tablo-4 ve Tablo-5de verilmiştir.

Tablo 4. Birinci deney sonuç değerleri, (a) Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri, (b) Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri

	Yanma havası ve baca gazı			Isıl kayıplar		
	λ	L	V_{hesap}	V_f	V_r	V_a
		m^3/h	m^3/h	[%]	[%]	[%]
Bos	1.52	81.43	82.12	0.5	1.9	13.3
12	1.56	84.89	85.56	0.5	2.3	6
	1.55	84.44	85.11	0.5	2.8	5.4
12	1.88	98	100	0.5	2	9
12	1.91	103	106	0.5	2.5	6.2
Bu çalışma	1.64	87.5	90.4	0.2	2	9.9

(a)

	Q_s	ΔE_{BG}	E_Y	ΔE_a	ΔE_s	E_{kay}	Π_I	Π_D	Π_{II}
	kJ/kg_Y	kJ/kg_Y	kJ/kg_Y	kJ/kg_Y	kJ/kg_Y	kJ/kg_Y	[%]	[%]	[%]
Bos	36252	2303	47436	308	-11269	33556	85	84	24
12	39939	847.7	47436	398.1	-12667	33556	93	91	27
12	40602	728	47436	508	-12643	33558	95	92	27
12	37274	803.67	45570	429.6	-12598	31738	88	89	26.5
12	39024	765	45570	455	-12608	31744	92	91	27
Bu çalışma	36505	2046	45570	235	-11550	31739	85.7	87.6	25.2

(b)

Tablo 5. İkinci deney sonuç değerleri, (a) Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri, (b) Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri

	Yanma havası ve baca gazı			Isıl kayıplar		
	λ	L	V_{hesap}	V_f	V_r	V_a
		m^3/h	m^3/h	[%]	[%]	[%]
Bos	1.49	80.02	83.45	0.5	1.83	13.09
12	1.47	80.73	84.17	0.5	2.29	6.55
12	1.46	79.7	83.12	0.5	2.15	5.9
Bu çalışma	1.66	88	90	0.2	2	10.1

a

	Q_s	ΔE_{BG}	E_Y	ΔE_a	ΔE_s	E_{kay}	Π_I	Π_D	Π_{II}
	kJ/kg _Y	kJ/kg _Y	kJ/kg _Y	kJ/kg _Y	kJ/kg _Y	kJ/kg _Y	[%]	[%]	[%]
Bos	35135	2131	47436	299	-12053	32952	85	85	23
12	36509	856.3	47436	442.5	-13081	32326	90	91	26
12	41325	684	47436	481	-13699	32571	95	92	27
Bu çalışma	36505	2055	45570	230	-11570	31715	85.5	87	25.3

b

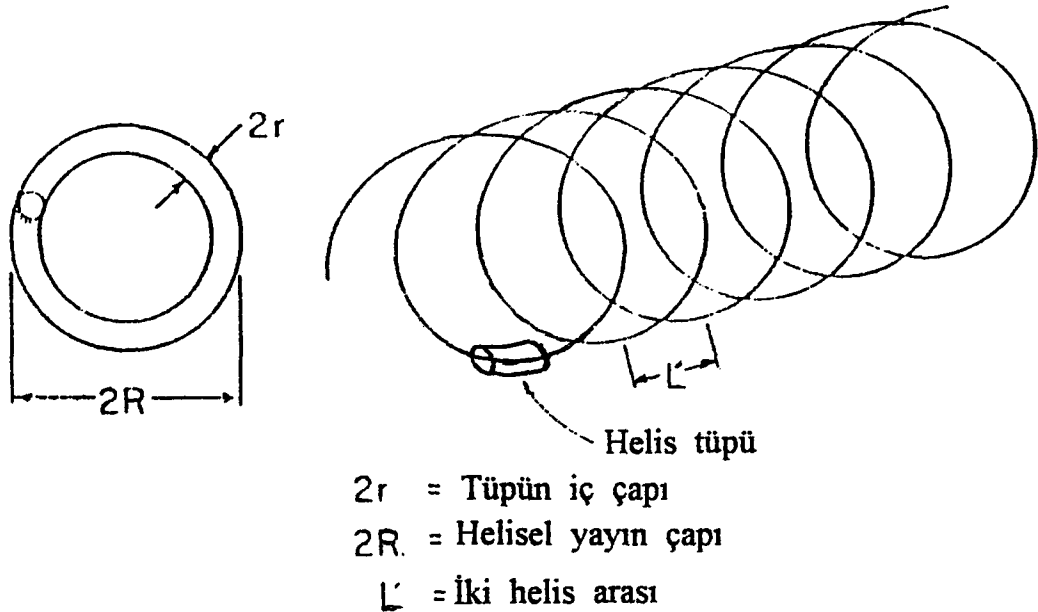
Isı transferi deneylerinde elde edilen bulgulara göre türetilen ısı taşınım katsayısına ait eşitlik $Nu = 0.014 Re^{0.637}$ şeklinde verilmiştir.



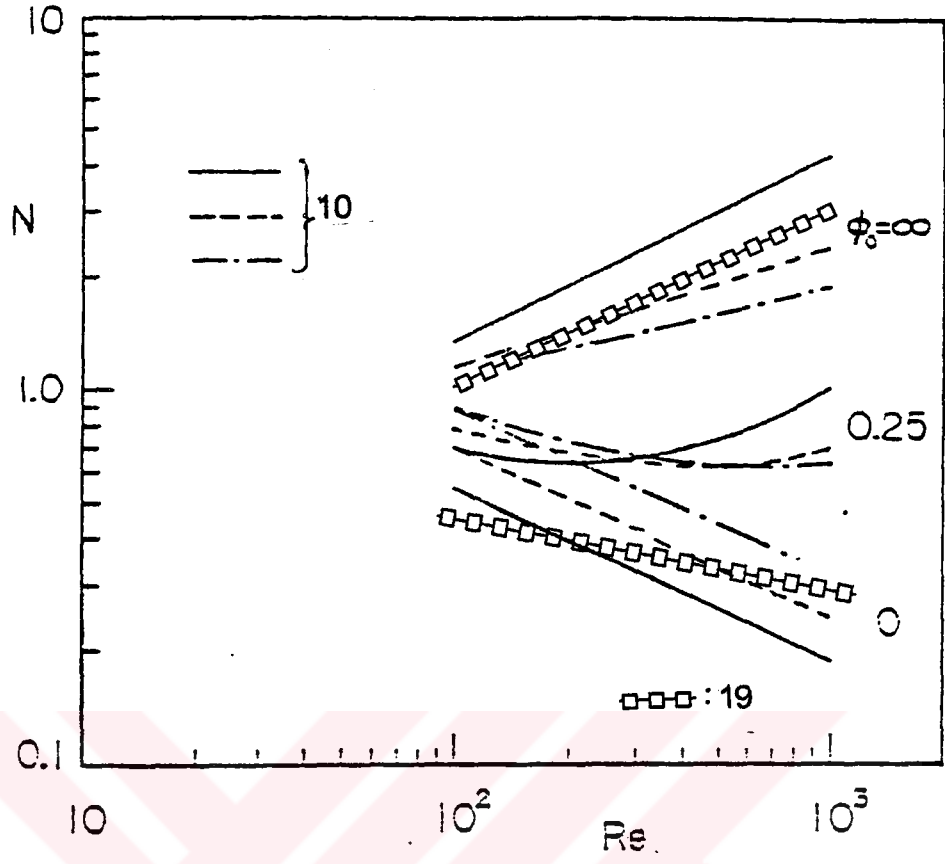
5. İRDELEME

Isı transferini iyileştirmek için tanıtılan türbülator tiplerinin türbülanslı boru akışlarındaki ısı transferine ve akışa etkilerinin sayısal değerleri şekil-19 ve şekil-20 de görülmektedir. Tanıtılan türbülatorler ısı transferini iyileştirmekte buna karşılık basınç kayıplarında da artışa neden olduğu görülmektedir. Yalnız bu tip türbülatorün diğer tip türbülatorlere göre ısı transferini daha az iyileştirdiği, dolayısıyla basınç kaybındaki artmanın diğer tip türbülatorlerden daha az olduğu tesbit edilmiştir. Bu sonucu, entropi üretim teriminin minimizasyonu tekniği kullanılarak da görmek mümkündür. Elde edilen bulgular helisel yaylı türbülatorler, pervane tipli türbülatorler ve düzlemsel halka tipli türbülatorler için şekil-23, şekil-24, şekil-25, şekil-26, şekil-27, şekil-28, şekil-29, şekil-30, şekil-31 ve şekil-32 de verilmiştir.

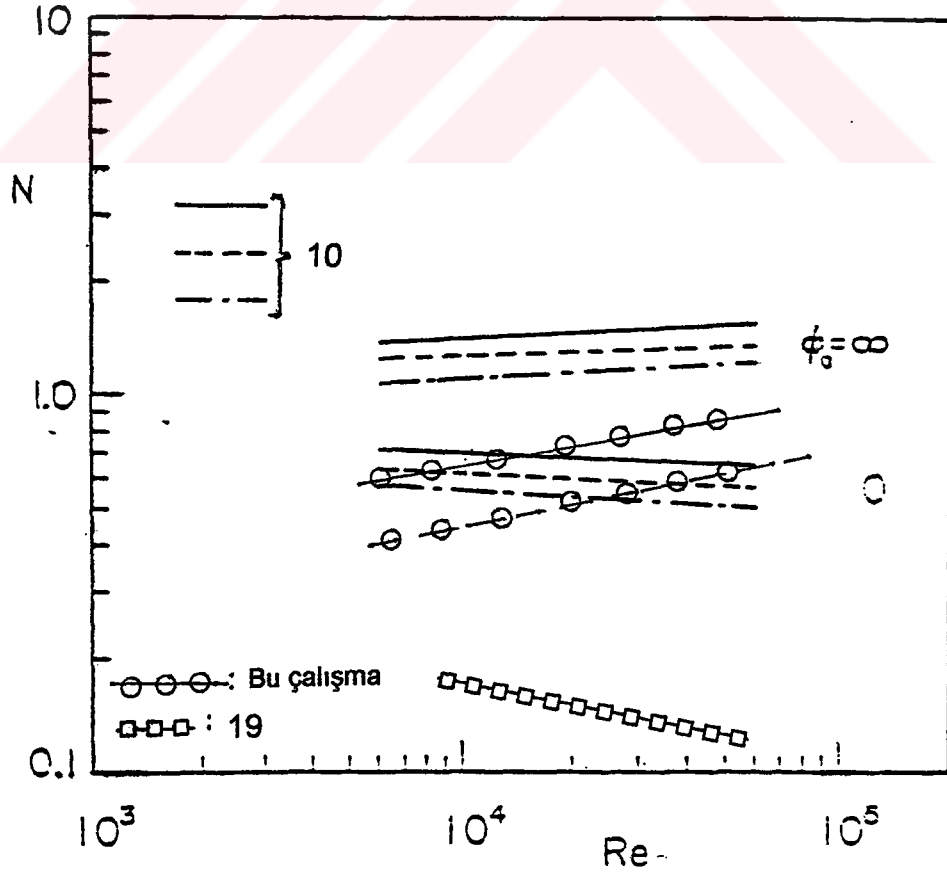
Kazan deneylerinden elde edilen ölçümlerle hesaplanan kazan verimleri diğer tip türbülatorlerin neden olduğu kazan verimleriyle karşılaştırıldığında tanıtılan türbülatorün kazan verimlerinde meydana getirdiği iyileşmenin yaklaşık aynı olduğu görülmüştür (Tablo-3, Tablo-4). Bunun nedeni kazan duman borularında, boru cidar sıcaklığının yüksek olması nedeniyle oluşan ısı ışınım etkisi olarak açıklanmaktadır.



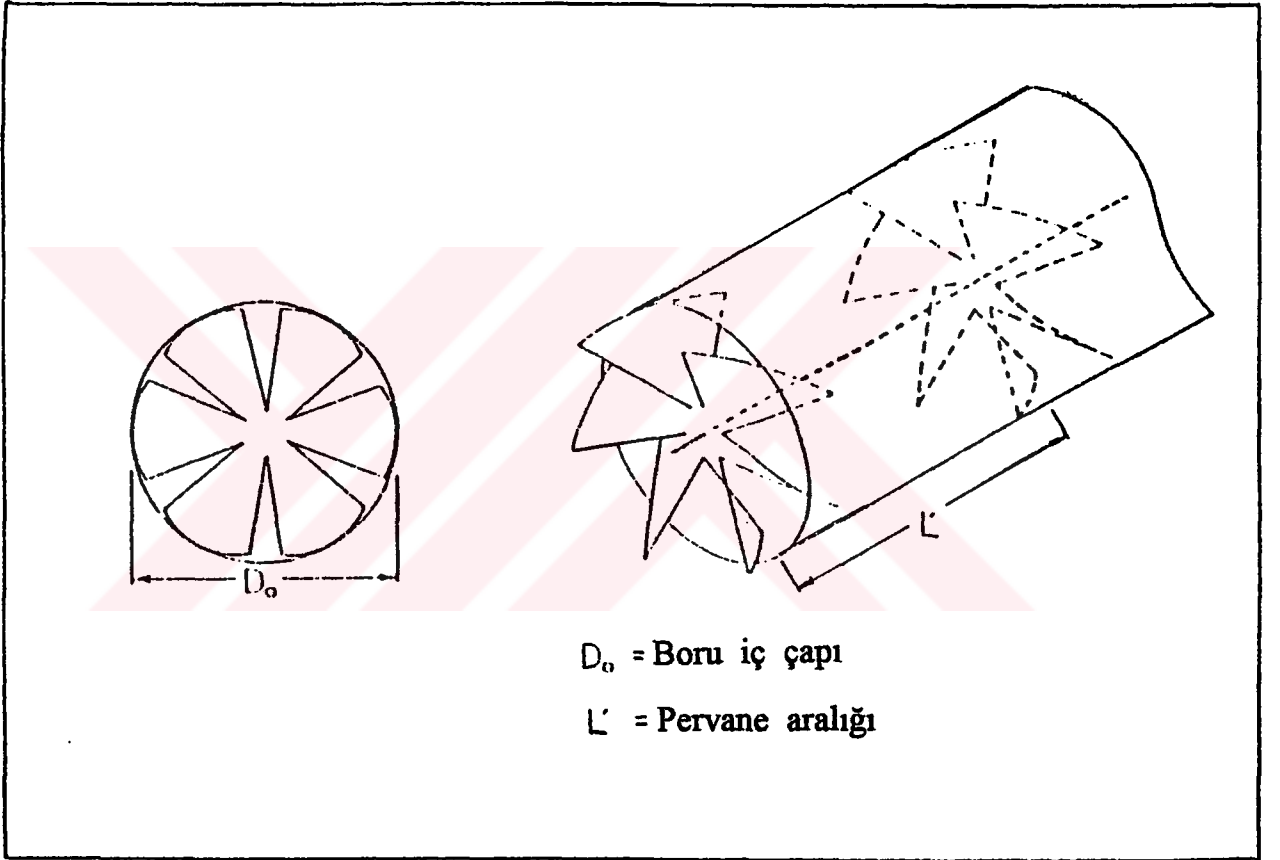
Şekil 23. Helisel yayın şematik görünümü



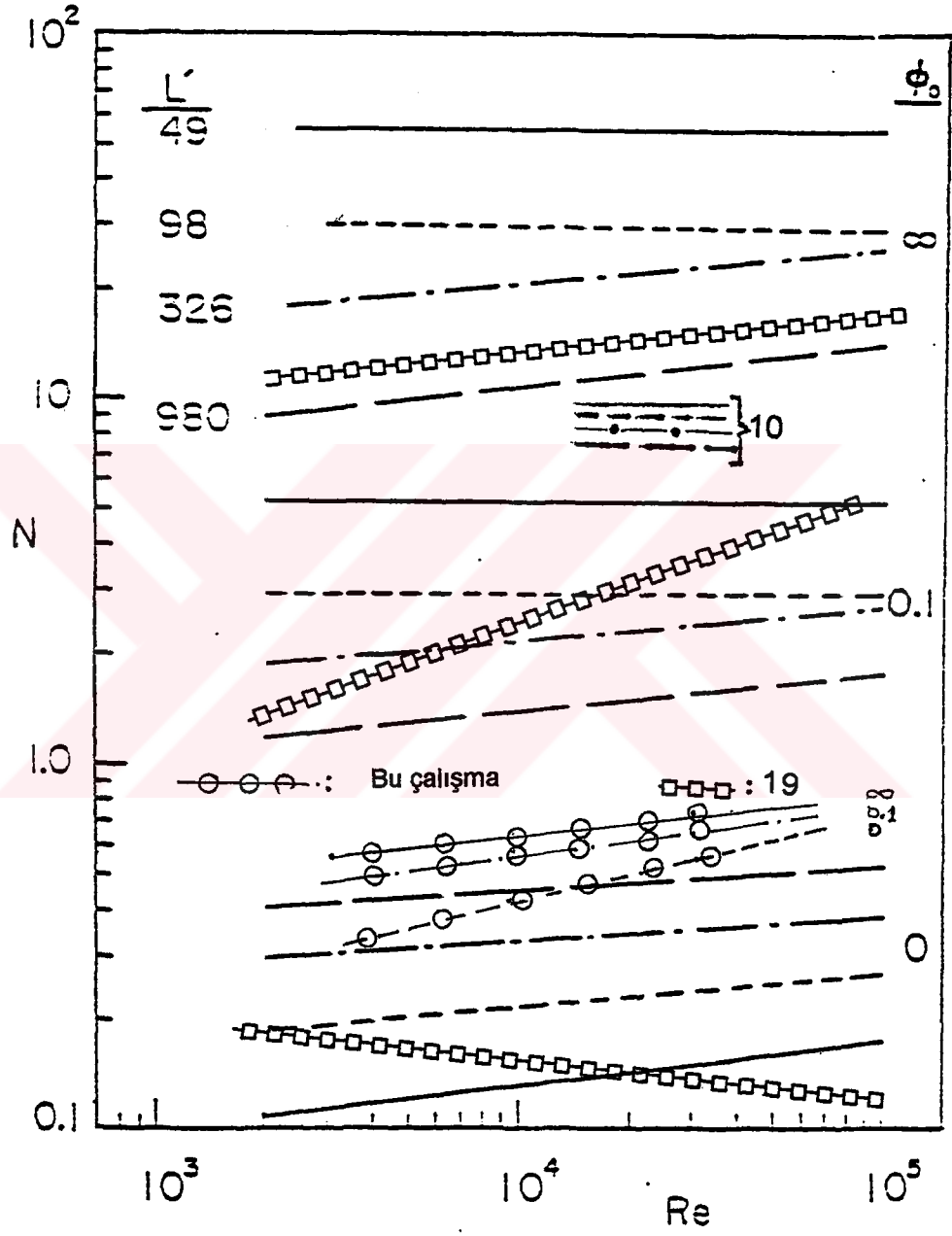
Şekil 24. Laminer akışta helisel yaylı boruda N-Re grafiği



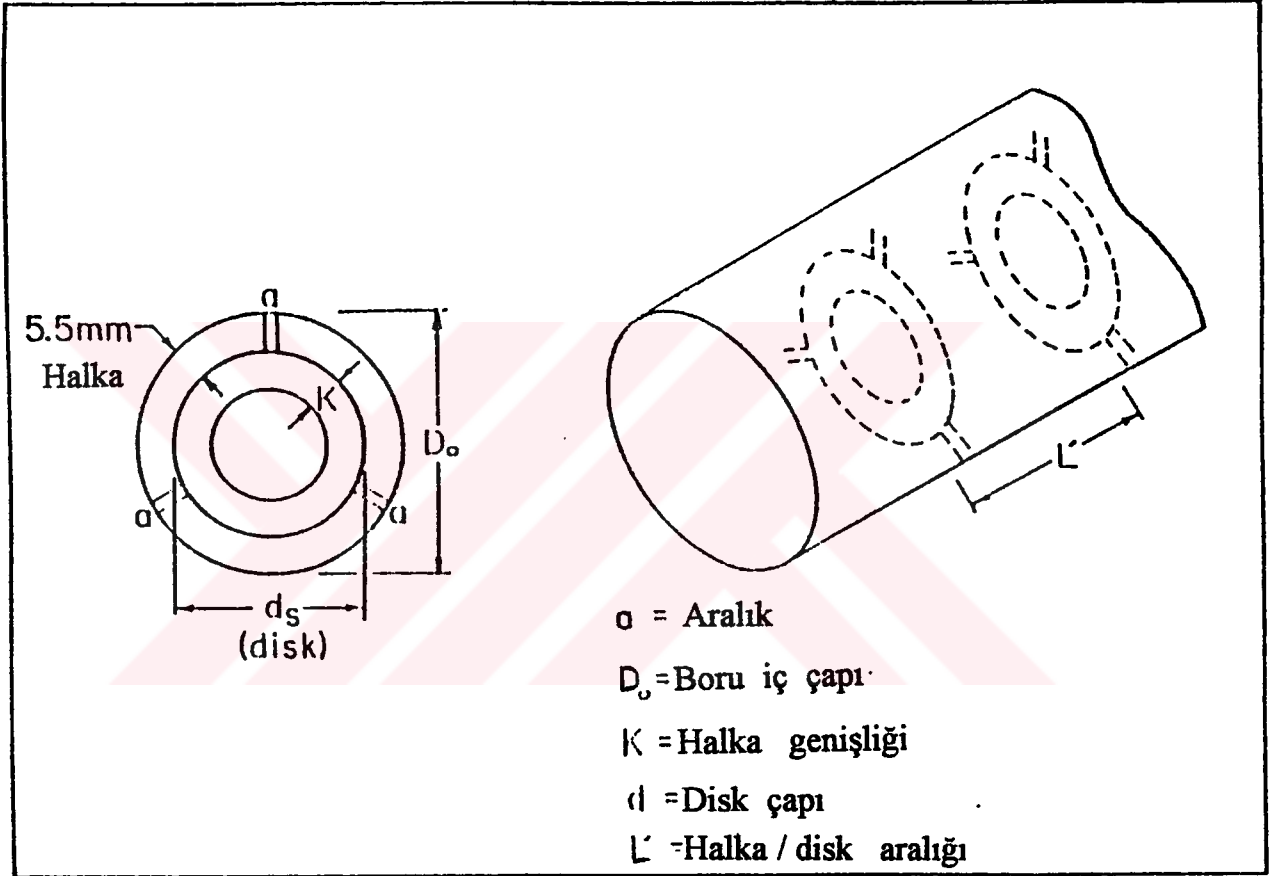
Şekil 25. Türbülanslı akışta helisel yaylı boruda N-Re grafiği



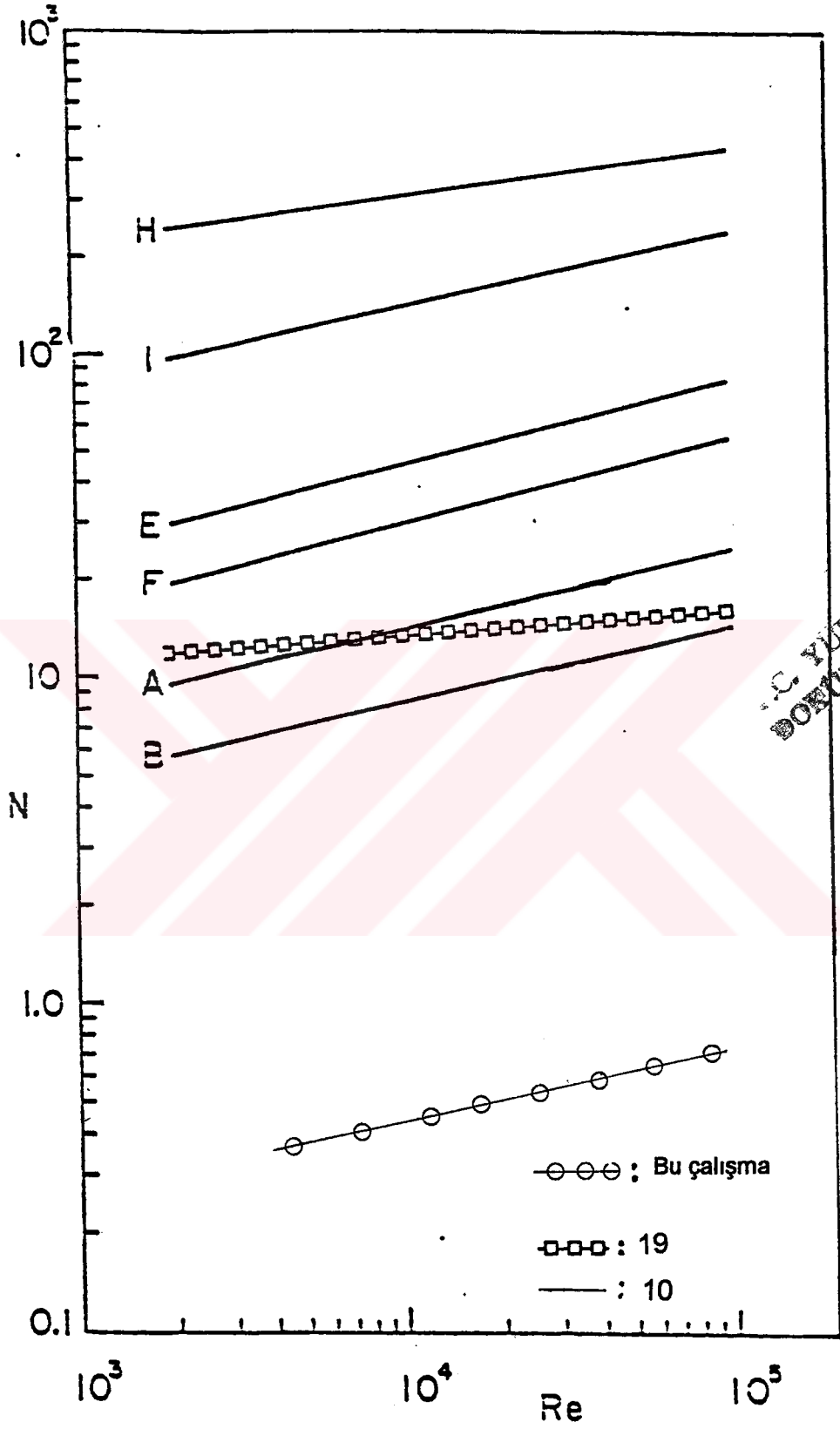
Şekil 26. Pervane tipli türbülatorün şematik görünümü.



Şekil 27. Türbülanslı akışta Pervane konmuş boruda N - Re grafiği.

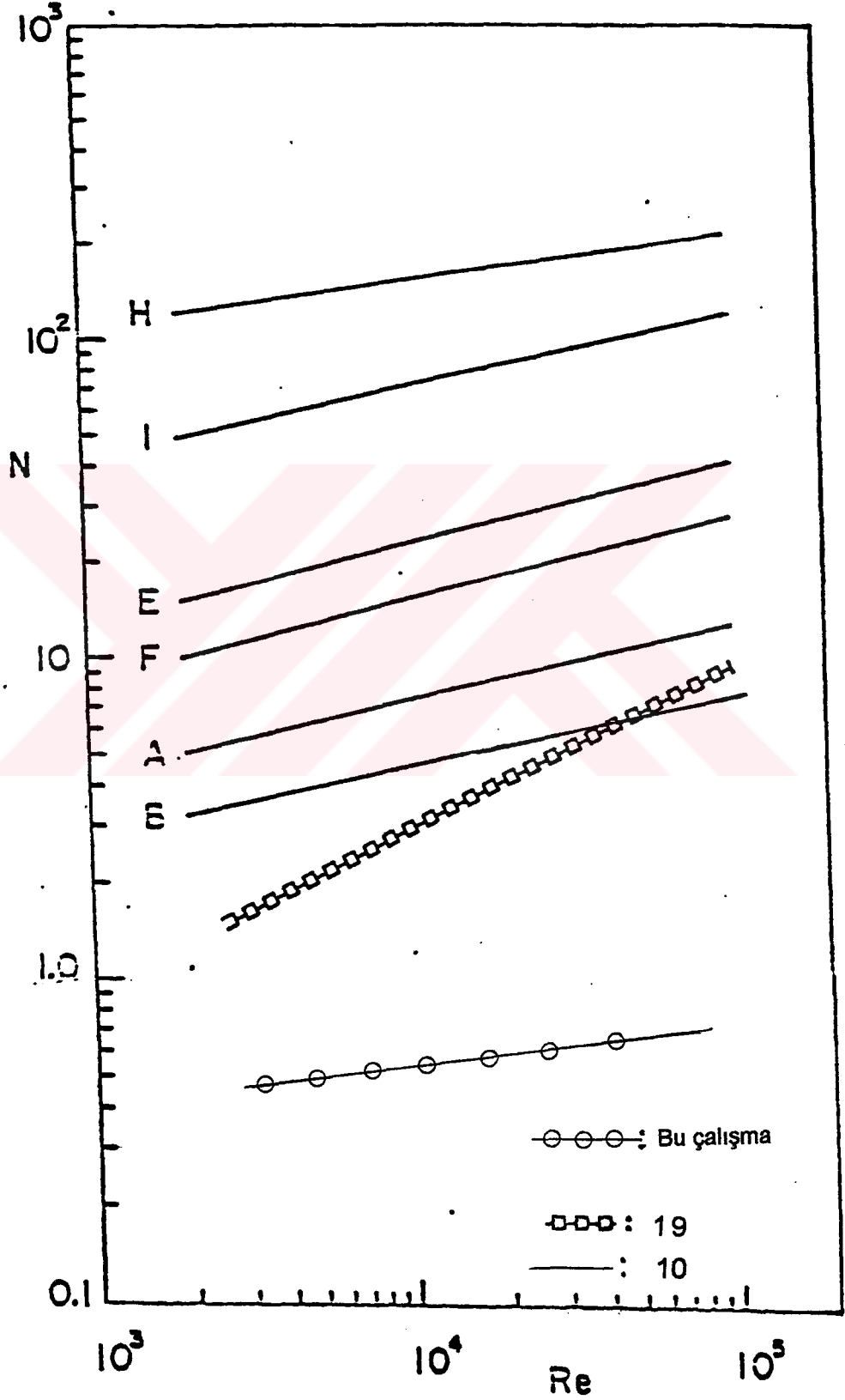


Şekil 28. Askı şeklinde yerleştirilmiş halka ve diskin şematik görünümü.

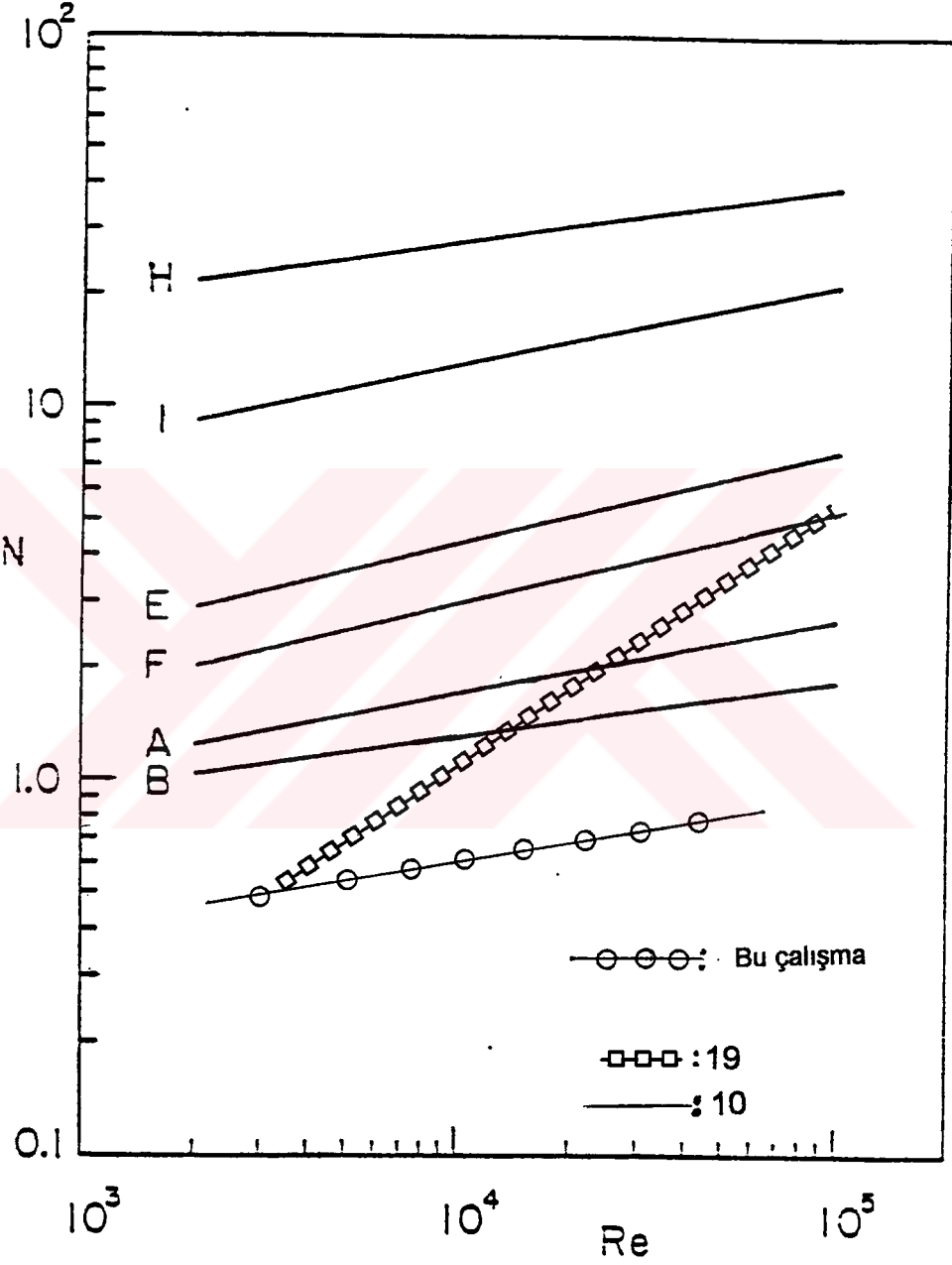


YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

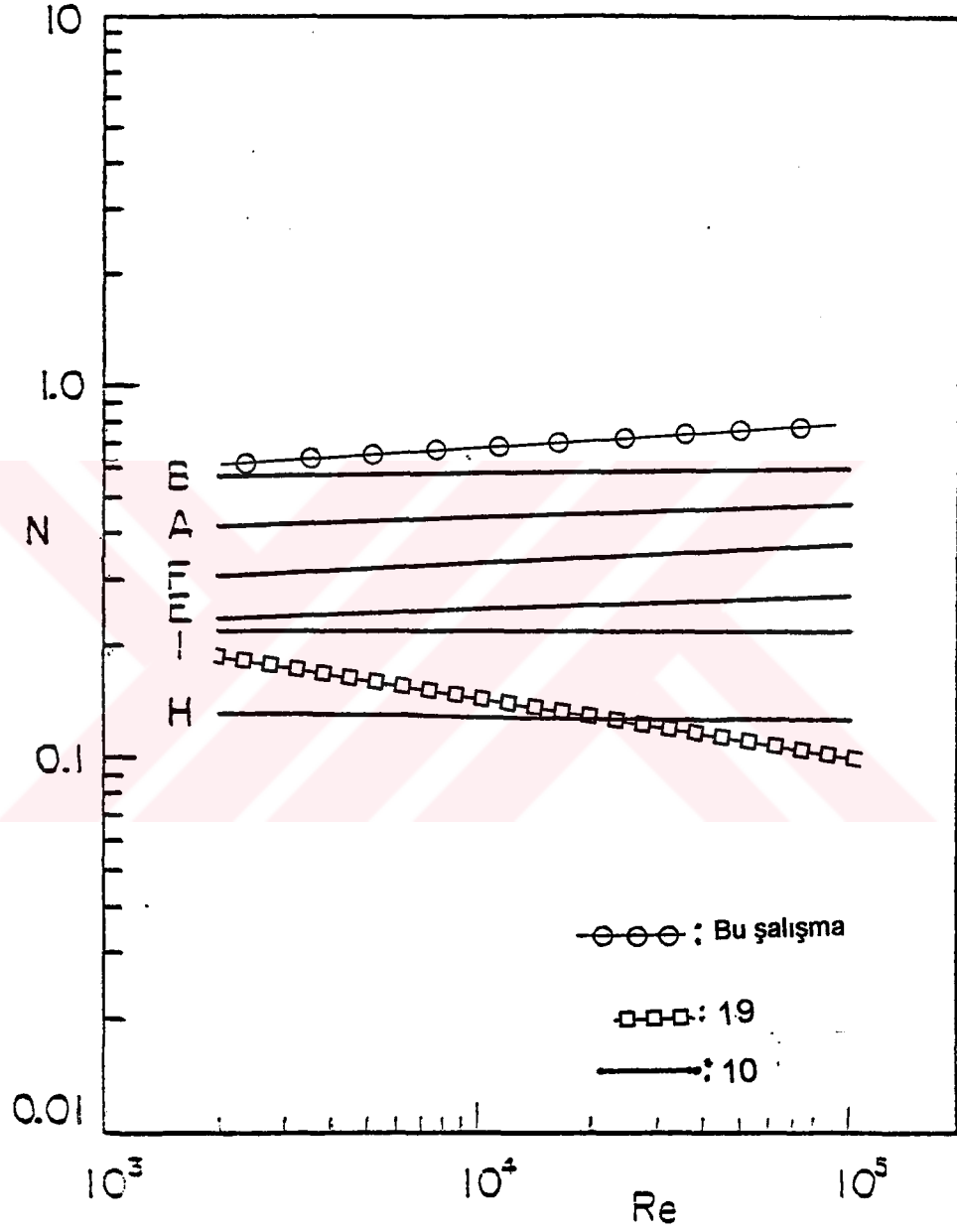
Şekil 29. Diskler için boruda ($\Phi = \infty$) için N - Re grafiği.



Şekil 30. Diskler için boruda ($\Phi = 1$) için $N-Re$ grafiği.



Şekil 31. Diskler için boruda ($\Phi = 0.1$) için N - Re grafiği.



Şekil 32. Diskler için boruda ($\Phi = 0$) için N - Re grafiği.

5. SONUÇLAR

Tanıtilan türbülatorle ısı transferinde elde edilen iyileşme verilen bir Reynolds sayısında boş boruya göre 1.6 kat arttırmakta, basınç kayıp katsayısında ise ortalama Reynolds sayısına göre değişme olmamaktadır.

Tanıtilan türbülatorün kazanlardaki uygulaması ise diğer tip türbülatorlere göre daha cazip olmaktadır. Çünkü bu uygulamada basınç kaybı küçük olduğundan kazanın baca çekişine etkisi çok az olmakta ve kazan verimini büyük ölçüde yaklaşık %10 arttırmaktadır.



6. ÖNERİLER

Tanıtilan türbülatorlerin teorik modellemesi yapılarak türbülanslı boru akışında hız ve sıcaklık alanlarının hesaplanması ve sunulan deneysel çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılması ve bu çalışmaya ısı ışı nım etkilerinde ilave edilerek incelenmesi başka bir araştı rıcı için ilginç bir konu olacaktır.



7. KAYNAKLAR

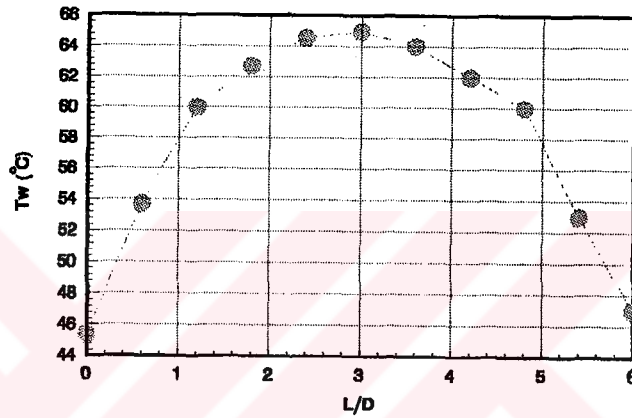
1. Bergles, A.E., Survey and Evaluation of Techniques to Augment Convective Heat and Mass Transfer, Progres in Heat and Mass Transfer, 1 (1969) 331-334.
2. Ayhan, T. ve Arıcı, M.E., Isı Eşanjörlerinde Boru İçersine Yerleştirilen Yapay Helisel Yay Elemanlarının Isı Eşanjörü Performanslarına Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 9 sayı 2 Temmuz, (1986) 9-15
3. Ayhan, T., Karabay, H., Genç, E. veTanyıldızı, Y., Turbulent Flow Heat Transfer and Fluid Friction In Helicel-Graterlike Turbulator Inserted Tubes, Industrial Applications Of Fluid Mechanics, FED-Vol 132, (1991) 67-72
4. Junkhan, G.H., Bergles, A.E., Nirmolan,V. ve Ravigururajan, T., Investigation of Turbulators for Fire Tube Boliers, ASME. J. Of Heat Transfer , 107 (1985) 354-360
5. Karabay,H. veAyhan,T., Silindirik Boru İçine Yerleştirilen Konik Yüzeylerin Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 11 sayı 4, Aralık (1988) 39-43
6. Ayhan,T., Karabay,H. ve Tanyıldızı,V., Silindirik Borular İçersine Yerleştirilen Konik HalkaYüzey Elemanlarının Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi Tekniği, cilt 14 sayı 2 Haziran (1991) 23-28
7. Ziolkowska, I. ve Dolata, M., Heat and Momentum Transfer in Gas Flowing Through Heated Tube Equipped With Turbulence Promofers, Int.J. Heat Mass Transfer, Vol 37 No13 (1994) PP 1839-1848
8. Yılmaz, T., Kaydırılmış Levha Dizilerinde Laminer Akışta Isı ve Kütle Transferi, K.T.Ü. Doçentlik Tezi ,Tabzon (1977)
9. Beyazıtöglu, Y. ve Özişik,N., Elements of Heat Transfer, McGraw-Hill Book co., Singapore, 1988
10. Bejan, A., Advanced Engineering Thermodynamic, Cornell University Press New York, 1971.

11. Ravigururajan, T.S. ve Bergles, A.E., Visualization of Flow Phenomena Near Enhanced Surface, Transactions of the ASME, Vol 116, February (1994) PP 54-58
12. Demirtaş, C., Silindirik Borular İçersine Konik Halka Yüzeyleli Türbülatoörlerde Akışın Gözlenmesi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Deneysel Çalışma 1993 Trabzon
13. Demirtaş, C., Ayhan, T., Ayhan, B. ve Azak, Y., Kazan Verimini İyileştirmede Konik Halka yüzeyleli Türbülatoörlerin Kullanılması, Metal-Makina, Ağustos 1995 ,sayfa 8-14
14. Eker , A., Kazanlar , Ankara, 1975.
15. Özge, A., Buhar Kazanları , Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1989
16. Telli, K., Yakıtlar ve Yanma, Akdeniz Üniversitesi, Yayın NO:17, Isparta, 1989.
17. Szargut, S., Morris, D.R., Stewart, F. R. , Exergy Analysis of Thermal, Chmical and Metalurgical Processes, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1988.
18. Tenir, G., Kincay, O., Fuel-Oil Yakan Gaz Borulu Kazanların Doğal Gaza Dönüşmesi Halinde Termodinamiğin İkinci Kanununa Göre Verimlilik Analizi, Uluslararası Enerji Tasarrufu Semineri, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı , İstanbul, 14-15 Ocak, 1992.
19. Azak, Y., Konik Halka Yüzeyleli Türbülatoörlerin Türbülanslı Boru Akışında Isı Transferinin İyileştirilmesi Yönünden Optimizasyonu, K.T.Ü. Fen Bilimleri Doktora Tezi, Trabzon, 1996.
20. Bali, T., Pervvane Tipli Türbülatoörün Akışa ve Isı Geçişine Etkilerinin Sayısal ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bil. E. Trabzon 1993

9. EKLER

EK 1

Isı kayıp kalibrasyonu için geliştirilen bilgisayar programı aşağıda verilmiştir. Bu programda boru cidarında ölçülen sıcaklık değerlerine eğri uydurularak tipik bir örnek ek şekil-1 de verilmiştir.



Ek şekil 1.

Sonra Simson kuralı uygulanarak eğri altında kalan alan hesaplanır ve ortalama duvar sıcaklığı belirlenir. Boru uçlarında iletimle kaybedilen ısı miktarını hesaplamak için bir boyutlu Fourier eşitliği

$$q_{uç} = k A \frac{dT}{dx}$$

kullanılarak uç kayıpları belirlenir.

Uçlardaki sıcaklık gradyenti için VPDER alt programı kullanılmıştır. Deney elemanı çevre ile termik dengeye geldiğinde deney elemanına uygulanan elektrik enerjisi okunur ve kararlı rejimde bu enerji Termodinamiğin Birinci Kanununa göre çevreye geçer. Deney elemanına uygulanan her bir elektrik gücü için toplam enerjinin $T_{ort} - T_{Lab}$ grafiği çizilir. Bulunan her bir değer için en küçük kareler yöntemiyle deney elemanının duvar sıcaklığına göre ısı kaybını veren ortalama değer SLINE alt programıyla hesaplanır. Elde edilen grafik şekil-15 de verilmiştir.

```

C      ISI KAYBININ HESABI
      DIMENSION THW(100),ZTH(100),Z(100),ALPHA(100),BETA(100),SIGSQ(100)
      I,ES(100),V3(100),V4(100),V5(100),TEMPW(100),TWFIT(100)
      OPEN(UNIT=5,FILE='EXP1.DAT',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=6,FILE='EXP1.OUT',STATUS='NEW')
C      GEOMETRIK BOYUTLARIN BELIRLENMESI
      DIAI=0.055
      DIAO=0.058
      AL=0.30
      ACONDW=64
      THERCAL=24.5
C      KONTROL VERILERINI GIRINIZ
      PI=3.14159
      NPTS=11
      NPOLYS=5
      JMAX=51
C      TERMOELAMANLARININ YERININ BELIRLENMESI
      ZTH(1)=1.
      DELZTH=AL/FLOAT(NPTS-1)
      DO 5 I=2,NPTS
5      ZTH(I)=ZTH(I-1)+DELZTH
C      DENEYLERIN DEGERLENDIRME HESAPLARI BURADA BASLAR
      READ(5,*)
      READ(5,*)
      READ(5,*)
C 1000 CONTINUE
      DO 999 IK=1,NRUN
      READ(5,*) NRUN,TAMB,WATTS,(THW(I),I=1,NPTS)
C      HER BIR DENEY ICIN VERI TABANINI OKUTULMASI
C      READ(5,*) TAMB,WATTS
C      READ(5,*) (THW(I),I=1,NPTS)
C      DUVAR SICAKLIKLARININ CELCIUSA CEVRILMESI
      DO 30 I=1,NPTS
30     TEMPW(I)=THERCAL*THW(I)
C      EGRI UYDURMA
      CALL VPFIT(NPOLYS,NPTS,TEMPW,ZTH,ALPHA,BETA,ES,SIGSQ,V3,V4,
IV5,3)
C      VERILERIN ISLEM GORME BASLANGICI
      DELZ=AL/FLOAT(JMAX-1)
      Z(1)=1.
      DO 35 I=2,JMAX
35     Z(I)=Z(I-1)+DELZ
C      DUVAR SICAKLIKLARININ HESABI
      DO 40 I=1,JMAX
40     CALL VPVAL(TWFIT(I),Z(I),NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
C      BORU UCLARINDA SICAKLIK GRADYENTLERI
      I=1
      CALL VPDER(D,DZ,Z(I),NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
      DTDZIN=D/Z(1)
      I=JMAX
      CALL VPDER(D,DZ,Z(I),NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
      DTDZOUT=D/Z(JMAX)
C      ORTALAMA DUVAR SICAKLIGININ HESABI
      SUM=0.
      DO 60 I=1,JMAX
      DELTA=(TWFIT(I)+TWFIT(I+1))/2.
      DELTA=DELTA*DELZ
60     SUM=SUM+DELTA
      TWMEAN=SUM/AL

```



```

TWDIFF=TWMEAN-TAMB
C   UCLARDAKI ISI KAYBI
AREAX=PI*(DIAO*DIAO-DIAI*DIAI)/4.
COEF=AREAX*ACONDW
QCONDIN=COEF*DTDZIN
QCONDOUT=-COEF*DTDZOUT
QCONDTOT=QCONDIN+QCONDOUT
C   RADYAL ISI KAYBININ HESABI
QRAD=WATTS-QCONDTOT
AREAS=PI*DIAI*AL
QRADF=QRAD/AREAS

WRITE(6,*)'*****'
WRITE(6,*)'          DENEY NO =',I
WRITE(6,*)'*****'
WRITE(6,*)'QRADYAN DEGERI WATTS   = ',QRAD
WRITE(6,*)'QRADYAN AKISI WATTS/M2 = ',QRADF
WRITE(6,*)'TWMEAN   CELCIUS      = ',TWMEAN
WRITE(6,*)'TWDIFF   CELCIUS      = ',TWDIFF
WRITE(6,*)'WATTS    WATTS        = ',WATTS
WRITE(6,*)'QCONDTOT WATTS        = ',QCONDTOT
999  CONTINUE
      STOP
      END

C.....
      SUBROUTINE VPFIT(NPOLYS,NPTS,V2,V1,ALPHA,BETA,ES,SIGSQ,V3,V4,V5)
C.....
C BU PROGRAM VERILEN NOKTALARDAN GECEN EGRININ DENKLEMİNİ BULUR
C.....
      DIMENSION V2(NPTS),V1(NPTS),ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),
1         SIGSQ(NPOLYS),ES(NPOLYS),V3(NPTS),V4(NPTS),V5(NPTS)
      S1=FLOAT(NPTS)
      S3=0.0E0
      BETA(1)=0.0E0
      DO 21 J =1,NPTS
      V3(J)=0.0E0
      V4(J)=1.0E0
      S3=V2(J)*V2(J)+S3
21  CONTINUE
      DO 2 I=1,NPOLYS
      S4=0.0E0
      S7=0.0E0
      DO 22 J=1,NPTS
      S4=V2(J)*V4(J)+S4
22  CONTINUE
      ES(I)=S4/S1
      S5=S3-ES(I)*ES(I)*S1
      NNPTS=NPTS-I-1
      SIGSQ(I)=S5/FLOAT(NNPTS)
      IF(I-NPOLYS) 111,2,2
111  ALPHA(I+1)=0.0E0
C..... ̈y-STENMEYEN ̇-İKİR-I AYARLAR
      DO 23 J=1,NPTS
      V5(J)=V1(J)*V4(J)
23  CONTINUE
      DO 24 J=1,NPTS
      ALPHA(I+1)=V5(J)*V4(J)+ALPHA(I+1)
24  CONTINUE
      ALPHA(I+1)=ALPHA(I+1)/S1

```

```

DO 25 J=1,NPTS
V5(J)=(V1(J)-ALPHA(I+1))*V4(J)-BETA(I)*V3(J)
S7=V5(J)*V5(J)+S7
25 CONTINUE
BETA(I+1)=S7/S1
DO 26 J=1,NPTS
V3(J)=V4(J)
V4(J)=V5(J)
26 CONTINUE
S1=S7
S3=S5
2 CONTINUE
RETURN
END
C.....
SUBROUTINE VPVAL(YFIT,X,NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
C.....
C BU PROGRAM VPFIT ILE BIRLIKTE CALISIR VE VPFIT ILE BULUNAN
C DENKLEMEN ISTENILEN NOKTALARIN DEGERINI BULUR
C.....
DIMENSION ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),ES(NPOLYS)
YFIT=0.0E0
U3=0.0E0
U4=1.0E0
DO 7 I=1,NPOLYS
YFIT=YFIT+ES(I)*U4
IF(I-NPOLYS)111,8,8
111 U5=(X-ALPHA(I+1))*U4-BETA(I)*U3
U3=U4
U4=U5
7 CONTINUE
8 RETURN
END
C.....
SUBROUTINE VPDER(D,D2,X,NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
C.....
C BU PROGRAM VPFIT ILE BIRLIKTE Ç-ALIR-IR, VPFIT ILE BULUNAN
C DENKLEMDE ISTENILEN NOKTALARIN 1. VE 2. DERECE TUREVLERINI ALIR
C.....
DIMENSION ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),ES(NPOLYS)
IF(NPOLYS-2) 1,2,3
1 D=0.0E0
D2=0.0E0
GO TO 5
2 D=ES(2)
D2=0.0E0
GO TO 5
3 CONTINUE
PL2=1.0E0
PL1=X-ALPHA(2)
DPL2=0.0E0
DPL1=1.0E0
D2PL2=0.0E0
D2PL1=0.0E0
D=ES(2)*X
D2=0.0E0
DO 4 L=3,NPOLYS
XL=X-ALPHA(L)
DPL=PL1+XL*DPL1-BETA(L-1)*DPL2
D2PL=2.0E0*DPL1+XL*D2PL1-BETA(L-1)*D2PL2

```

```
PL=XL*PL1-BETA(L-1)*PL2
PL2=PL1
PL1=PL
DPL2=DPL1
DPL1=DPL
D2PL2=D2PL1
D2PL1=D2PL
T=ES(L)*X
D=D+DPL*T
D2=D2+D2PL*T*X
4 CONTINUE
5 RETURN
END
```

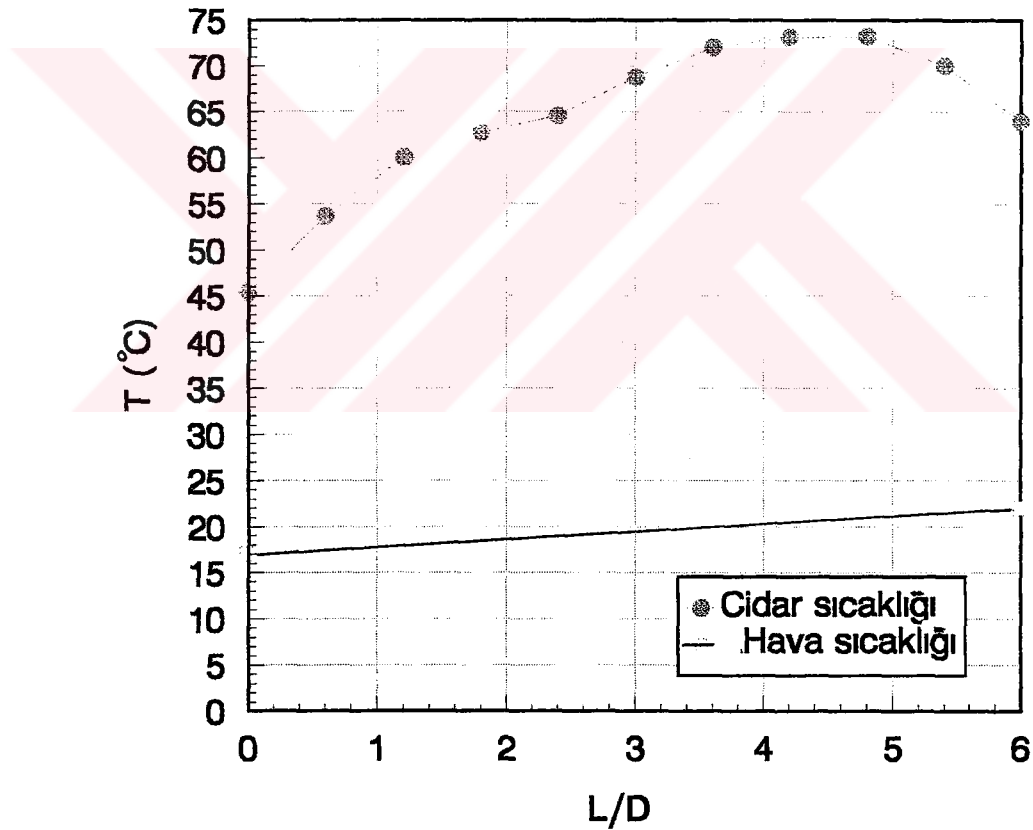


EK 2

Akış deneyleri için bölüm 3.1. de tanıtilan hesap yönteminin bilgisayar programında yazılımı aşağıda verilmiştir.

Programın verileri deney elemanına uygulanan ısı yükü, akışkanın kütleli debisi, akışkanın deney elemanına giriş ve çıkış sıcaklıkları, deney elemanının boru cidar sıcaklıkları ve ısı kayıp kalibrasyon katsayısı olmaktadır.

Sunulan verilerle akışkan sıcaklığı ve cidar sıcaklığı için eğri uydurularak elde edilen boru boyunca sıcaklık değişimi için tipik bir örnek ek şekil-2 de verilmiştir.



Ek şekil 2.

Tanıtilan bu verilerle deney elemanı için yerel Nusselt sayısı, ortalama Nusselt sayısı ve basınç kayıp katsayısı hesaplanabilmektedir.

```

C*****
C BU PROa-RAM, BORULARDA TÛ-RBÛ-LANSLI AKIŞ-TA YEREL VE ORTALAMA
C NUSSELT SAYILARINI, TEORÿ-K VE DENEYSEL OLARAK HESAPLAR
C*****
C2345678
      DIMENSION THF(2),ZTH(11),Z(51),ALPHA(10),BETA(10),SIGSQ(10)
C      1      ,ES(10),V3(50),V4(50),V5(50),TEMPW(11),TEMPF(11)
      1      ,ES(10),V3(50),V4(50),V5(50),TEMPW(11)
      2      ,TWFIT(51),THW(11)
      DIMENSION AMU(100),CONFL(100),BETAF(100),DENF(100),ANUS(100)
      1      ,REYN(100),PR(100)
      DIMENSION QRAD(100),QCOND(100),TFV(100),SPHTF(100),XWTM(100)
      1      ,XFWT(100),QFLUID(100),XNDT(100)
C      DIMENSION ZS(51)
      DIMENSION ALPH(10),BBETA(10),EES(10),SSIGSQ(10),VV3(50),VV4(50)
C      DIMENSION VV5(50),ZZ(101),TNUS(101),ZF(101),APS3(3),ORD3(3)
      DIMENSION VV5(50),ZZ(101),TNUS(101)
      DIMENSION ANUSS(20)
      DIMENSION ZXZ(51)
      DIMENSION TW(51),TF(51),TFVL(51),TFL(51)
C
      LOGICAL UCG,KARE
C      CHARACTER *4AKOD
      OPEN(UNIT=5,FILE='EXP.DAT',STATUS='OLD')
C
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B23',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B22',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B21',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B13',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B12',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B11',STATUS='OLD')
C      OPEN(UNIT=5,FILE='DAT.B00',STATUS='OLD')
C
      OPEN(UNIT=6,FILE='EXP.OUT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=6,FILE='EXP.OUT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=6,FILE='EXP.OUT',STATUS='NEW')
C
      OPEN(UNIT=8,FILE='OUT.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='OUT.DAT',STATUS='NEW')
C
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B23.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B22.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B21.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B13.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B12.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B11.DAT',STATUS='NEW')
CC      OPEN(UNIT=8,FILE='B00.DAT',STATUS='NEW')
C
      PI=3.14159EO
      NPOLYS=4
      MPTS=2
      Z(1)=1.EO
      ZTH(1)=1.EO
      ZZ(1)=1.EO
C
CC
C.....Sÿ-Lÿ-NDÿ-R.
      DATA UCG,KARE/.TRUE.,.TRUE./
      DATA THERCA,ACONDW/24.50EO,63.00EO/
      DATA DIAI,DIAO,AL/0.0550EO,0.0580EO,0.300EO/
C

```

```

C      DATA A,B/0.0EO,0.0EO/
C      DATA A,B/0.00517EO,0.00075EO/
C      DATA A,B/0.00267EO,0.00075EO/
C      DATA A,B/0.00187EO,0.00075EO/
C      DATA A,B/0.00548EO,0.00075EO/
C      DATA A,B/0.00281EO,0.00075EO/
C
C      DATA A,B/0.00195EO,0.00075EO/
C
C      DATA A,B/0.0EO,0.0EO/
CC
C.....Hÿ-DROLÿ-K Ç-AP.
C      DIAIH=DIAI
C      DIAIH=0.01795EO
C      DIAIH=0.01992EO
C      DIAIH=0.02063EO
C      DIAIH=0.01778EO
C      DIAIH=0.01982EO
C      DIAIH=0.02055EO
C      DIAIH=DIAI
C
C      .....
CC
C      DATA NPTS,JMAX,JJMX/11,2*51/
C      DATA AKOD/'B23'/
C      DIAIMM=DIAI*1000
C
C      IF(.NOT.KARE) GO TO 9555
C      IF(.NOT.UCG) GO TO 9556
CC
C.....Sÿ-NDÿ-Rÿ-K
C      DIAI=DIAI
C      AREAX=PI*(DIAO*DIAO-DIAI*DIAI)/4.E0
CC
C      EFPEKTÿ-F AKIR- ALANI
C      AREAEF=PI*(DIAI*DIAI/4.E0-A*B)
C      LV=5
C      III=1
C      JJJ=2
C      KKK=3
C      LLL=4
C      GO TO 9559
CC
C.....KARE
C      9555 AREAX=((DIAO*DIAO)-(DIAI*DIAI))
C      DIAI=DIAI
C      LV=10
C      III=101
C      JJJ=201
C      KKK=301
C      LLL=401
C      GO TO 9559
CC
C.....Û-Ç-GEN
C      9556 AREAX=(SQRT(3.E0)/4.E0)*((DIAO*DIAO)-(DIAO*DIAO))
C      DIAI=(SQRT(3.E0)/3.E0)*DIAI
C      LV=15
C      III=501
C      JJJ=601
C      KKK=701
C      LLL=801

```

```

9559 CONTINUE
C
    ALMM=AL*1000
    DIAOMM=DIAO*1000
    JMMAX=JMAX-1
    JJMMX=JJJMX-1

C   FLOAT DENEMESI

C     AZAK=JMMAX
C     AZAKF=FLOAT(JMMAX)
C     PRINT*,'AZAK = ',AZAK
C     PRINT*,'AZAKF = ',AZAKF
C     PRINT*,'BEKLIYORUM
C     READ*,AAA

    DELZ=AL/FLOAT(JMMAX)
    NSPTS=NPTS-1
    DELZTH=AL/FLOAT(NSPTS)
    DDELZ=AL/FLOAT(JJMMX)

C
    DO 5 J=2,NPTS
  5  ZTH(J)=ZTH(J-1)+DELZTH
    DO 20 J=2,JMAX
  20 Z(J)=Z(J-1)+DELZ
    DO 600 JK=2,JJJMX
  600 ZZ(JK)=ZZ(JK-1)+DDELZ
    DO 602 J=1,JMAX
  602 ZXZ(J)=(Z(J)-1.E0)*1000.E0

C
CC   CALL YAZNO (LV)
    WRITE(6,10)
    WRITE(6,11) ALMM
    WRITE(6,12) DIAIMM
    WRITE(6,13) DIAOMM
    WRITE(6,14) DIAIH
C   WRITE(6,15) AKOD
    read(5,*)
    read(5,*)

777 CONTINUE
    READ(5,*,END=999)NRUN,WATTS,ALOSS,TAMB,PAMB,VOLAIR,DELTAP,
    1(THW(J),J=1,NPTS),(THF(J),J=1,MPTS)

C   WRITE(6,*)NRUN,WATTS,ALOSS,TAMB,PAMB,VOLAIR,DELTAP,
C   1(THW(J),J=1,NPTS),(THF(J),J=1,MPTS),"BEKLIYORUM"
C   READ*,AZAK
C   GO TO 999
cq   READ(5,*,END=999)NRUN
cq   READ(5,*)WATTS,ALOSS,TAMB,PAMB,VOLAIR,DELTAP
CC
C.....DUVAR SICAKLIKLERINI OKU
cq   READ(5,*)(THW(J),J=1,NPTS).
cq   READ(5,*)(THF(J),J=1,MPTS)
C.....
    N=2
    VLAIR=VOLAIR
    PPAMB=PAMB
    IF(N-1)570,570,573

```

```

570 PAMB=760.E0
    TAMB=26.50E0
C.....
C 573 VOLAIR=VOLAIR*(760.E0/PAMB)*((TAMB+273.E0)/288.E0)/60000.E0
573     VOLAIR=(0.001/60)*VOLAIR
        PAMB=133.416E0*PAMB
        DEN=PAMB/(287.E0*(TAMB+273.E0))
        AMASS=VOLAIR*DEN
C.....VOLT DEGERÿ-Nÿ- CELCIVS R-EKLÿ-NE Ç-EVÿ-R
    DO 18 J=1,NPTS
    18 TEMPW(J)=THERCA*THW(J)
        TFIN=THERCA*THF(1)
        IF(N-1)573,574,575
    574 TFIN=TAMB
    575 TFOUT=THERCA*THF(MPTS)
        AMUNOM=1.7176E-5+4.9284E-8*TFIN-3.8624E-11*TFIN*TFIN
        REYNOM=4.0E0*AMASS/(PI*DIAIH*AMUNOM)
C.....
        REYNOM=(AMASS*DIAIH)/(AREAEF*AMUNOM)
        VISKOS=AMUNOM/DEN
        VELOC=VISKOS*REYNOM/DIAIH
        GO TO (571,622), N
    622 CONTINUE
C.....
C     BULUNAN NOKTALARA EGRÿ- UYDURULMASI
C.....
C.....DENKLEMÿ-N KATSAYILARINI VE DENKLEMÿ- BULMA
    CALL VPFIT(NPOLYS,NPTS,TEMPW,ZTH,ALPHA,BETA,ES,SIGSQ,V3,V4,V5)
    DO 21 J=1,JMAX
    21 CALL VPVAL(TWFIT(J),Z(J),NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
        J=1
        CALL VPDER(D,D2,Z(J),NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
        DTD2G=D/Z(1)
        J=JMAX
        APTAL=Z(J)
        CALL VPDER(D,D2,APTAL,NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)
        Z(J)=APTAL
        DTD2C=D/Z(JMAX)
C.....BORU BOYUNCA AKIR-KANA YAPILAN ISI TRANSFERÿ-Nÿ-N TESPÿ-Tÿ-
    QGEN=WATTS/(PI*DIAI*AL)
    CONCF=AREAX*ACONDW/(PI*DIAI)
C.....Gÿ-Rÿ-R- KISMI
    QRAD(1)=ALOSS*(TWFIT(1)+0.25E0*(TWFIT(2)-TWFIT(1))-TAMB)
    QCOND(1)=2.E0*CONCF*((TWFIT(2)-TWFIT(1))/DELZ-DTD2G)/DELZ
    QFLUID(1)=QGEN-QRAD(1)+QCOND(1)
C.....CIKIR- KISMI
    QRAD(JMAX)=ALOSS*(TWFIT(JMAX)+0.25E0*(TWFIT(JMAX-1)-TWFIT(JMAX))
    1         -TAMB)
    QCOND(JMAX)=2.E0*CONCF*((TWFIT(JMAX)-TWFIT(JMAX-1))/DELZ+DTD2C)/
    1         DELZ
    QFLUID(JMAX)=QGEN-QRAD(JMAX)+QCOND(JMAX)
C.....ÿ-Ç-ERDEKÿ- NOKTALAR
    DO 45 J=2,JMAX
    QRAD(J)=ALOSS*(TWFIT(J)-TAMB)
    QCOND(J)=CONCF*(TWFIT(J+1)-2.E0*TWFIT(J)+TWFIT(J-1))/(DELZ*DELZ)
    45 QFLUID(J)=QGEN-QRAD(J)+QCOND(J)
        BB=0.5E0*PI*DIAI*DELZ/AMASS
        TFV(1)=TFIN
        DO 50 J=2,JMAX
        SPHT=1.0061E3+1.9599E-2*TFV(J-1)+3.9245E-4*TFV(J-1)*TFV(J-1)

```



```

50 TFV(J)=TFV(J-1)+BB*(QFLUID(J-1)+QFLUID(J))/SPHT
C.....ENERGY BALANSININ KONTROL EDY-LMESY-
SUMQ=0.E0
DO 54 J=1,JMMAX
DELQ=(QRAD(J)+QRAD(J+1))/2.E0
DELQ=DELQ*DELZ
54 SUMQ=SUMQ+DELQ
QRADWV=SUMQ*PI*DIAI
SUMQ=0.E0
DO 6 J=1,JMMAX
DELTA=(TWFIT(J)+TWFIT(J+1))/2.E0
DELTA=DELTA*DELZ
6 SUMQ=SUMQ+DELTA
TWMEAN=SUMQ/AL
QRADWM=ALOSS*(TWMEAN-TAMB)*PI*DIAI*AL
CC=AREAX*ACONDW
QCONWI=CC*DTD2G
QCONWO=-CC*DTD2C
QCONDW=QCONWI+QCONWO
C.....SOGUTUCUYA YAPILAN ISI TRANSFERY-NY-N HESABI
T=(TFV(1)+TFV(JMAX))/2.E0
SPHT=1.0061E3+1.9599E-2*T+3.9245E-4*T*T
QFWATV=AMASS*SPHT*(TFV(JMAX)-TFV(1))
QFWATM=WATTS-QCONDW-QRADWM
T=(TFIN+TFOUT)/2.E0
SPHT=1.0061E3+1.9599E-2*T+3.9245E-4*T*T
QFWTEX=AMASS*SPHT*(TFOUT-TFIN)
QLSTTM=QRADWM+QCONDW
QLSTTV=QRADWV+QCONDW
PERV=100.E0*(QFWATV-QFWTEX)/QFWTEX
PERM=100.E0*(QFWATM-QFWTEX)/QFWTEX
PBAR=PAMB*0.00001E0
WRITE(6,61)NRUN
WRITE(6,302)
WRITE(6,305)REYNOM
WRITE(6,306)WATTS
WRITE(6,307)
WRITE(6,308)PBAR
WRITE(6,309)TAMB
WRITE(6,312)
WRITE(6,313)TFIN
WRITE(6,314)TFOUT
WRITE(6,310)
WRITE(6,311)
XZCT=AL*100.E0
ZCT=-XZCT
DO 145 J=1,NPTS
ZACT=(ZTH(J)-1.E0)*10000.E0
XWTM(J)=ZACT/10.E0
XFWT(J)=ZACT/10.E0
XNDT(J)=ZACT/10.E0
ZCT=XZCT+ZCT
145 WRITE(6,146)J,ZCT,THW(J),TEMPW(J)
WRITE(6,25)WATTS,ALOSS,TAMB,PPAMB,VLAIR
WRITE(6,315)
WRITE(6,317)WATTS
WRITE(6,318)
WRITE(6,319)QFWATM
WRITE(6,320)QFWATV
WRITE(6,321)QFWTEX

```

```

WRITE(6,322)
WRITE(6,323)QCONWI
WRITE(6,324)QCONWO
WRITE(6,326)
WRITE(6,319)QLSTTM
WRITE(6,320)QLSTTV
WRITE(6,325)
WRITE(6,319)QRADWM
WRITE(6,320)QRADWV
C.....AKIŞ-KAN Ö-ZELLİ-KLERİ-Nİ-N BELİ-RLENMESİ-
DO 300 J=1,JMAX
AMU(J)=1.7176E-5+4.9284E-8*TFV(J)-3.8624E-11*TFV(J)*TFV(J)
SPHTF(J)=1.0061E3+1.9599E-2*TFV(J)+3.9245E-4*TFV(J)*TFV(J)
CONFL(J)=2.4158E-2+7.9196E-5*TFV(J)-3.2855E-8*TFV(J)*TFV(J)
DENF(J)=PAMB/(287.E0*(TFV(J)+273.E0))
BETAF(J)=1.E0/(TFV(J)+273.E0)
300 CONTINUE
TFVL(1)=TFIN
DO 301 J=2,JMAX
SPHT=1.0061E3+1.9599E-2*TFVL(J-1)+3.9245E-4*TFVL(J-1)*TFVL(J-1)
ANUM=QFLUID(J-1)*DIAIH/(CONFL(J-1)*(TWFIT(J-1)-TFVL(J-1)))
CONFLY=2.4158E-2+7.9196E-5*TFVL(J-1)-3.2855E-8*TFVL(J-1)*TFVL(J-1)
HTC=ANUM*CONFLY/DIAIH
TFVL(J)=HTC*(TWMEAN-TFVL(J-1))*PI*DIAI*DELZ/(AMASS*SPHT)+TFVL(J-1)
301 CONTINUE
C.....ORTALAMA LOGARİ-TMİ-K SICAKLIK FARKININ HESABI
TBUYUK=TWMEAN-TFVL(1)
TKUCUK=TWMEAN-TFVL(JMAX)

C      PRINT*,TBUYUK,TKUCUK
C      PRINT*,ALOG(ABS(TBUYUK/TKUCUK)), " "
C      READ*,RRTTYOP

TFMLOG=(TBUYUK-TKUCUK)/ALOG(ABS(TBUYUK/TKUCUK))
C.....
WRITE(6,331)
C.....YEREL BOYUTSUZ SAYILARIN HESABI
DO 332 J=1,JMAX,5
TW(J)=(TWFIT(J)-TAMB)/(TWMEAN-TAMB)
TF(J)=(TFV(J)-TAMB)/(TWMEAN-TAMB)
TFL(J)=(TFVL(J)-TAMB)/(TWMEAN-TAMB)
ZL=(Z(J)-1.E0)/AL
REYN(J)=4.E0*AMASS/(PI*DIAIH*AMU(J))
ANUS(J)=QFLUID(J)*DIAIH/(CONFL(J)*(TWFIT(J)-TFV(J)))
PR(J)=AMU(J)*SPHTF(J)/CONFL(J)
WRITE(6,333) ZL,TWFIT(J),TFV(J),TFVL(J),TW(J),TF(J),TFL(J),ANUS(J)
1      ,REYN(J)
332 CONTINUE
WRITE(6,327)
WRITE(6,329)PERM
WRITE(6,330)PERV
C.....
T=0.5E0*(TFVL(JMAX)+TFVL(1))
SPHT=1.0061E3+1.9599E-2*T+3.9245E-4*T*T
QFMTVL=AMASS*SPHT*(TFVL(JMAX)-TFVL(1))
PERVL=100.E0*(QFMTVL-QFWTEX)/QFWTEX
WRITE(6,3300)PERVL
C.....
C.....ORTALAMA BOYUTSUZ SAYILARIN HESABI
TFMEAN=0.5E0*(TFV(1)+TFV(JMAX))

```

```

AMUM=1.7176E-5+4.9284E-8*TFMEAN-3.8624E-11*TFMEAN*TFMEAN
SPHTM=1.0061E3+1.9599E-2*TFMEAN+3.9245E-4*TFMEAN*TFMEAN
CONFLM=2.4158E-2+7.9196E-5*TFMEAN-3.2855E-8*TFMEAN*TFMEAN
DENFM=PAMB/(287.E0*(TFMEAN+273.E0))
REYNM=4.E0*AMASS/(PI*DIAIH*AMUM)
REYNM=(AMASS*DIAIH)/(AREA*AMUM)
ANUMM=QFWATV/(CONFLM*AL*PI*(TWMEAN-TFMEAN))
ANUMML=QFWATV/(CONFLM*AL*PI*TFMLOG)
HTCM=ANUMM*CONFLM/DIAIH
PRM=AMUM*SPHTM/CONFLM
DEVNU=0.023E0*(PRM**0.4E0)*(REYNOM**0.8E0)
COF=DIAI/AL
CEVNU=DEVNU*(1.0E0+(COF**0.7E0))
EKO=(HTCM*TFMLOG*PI*DIAI*AL)/(VOLAIR*DELTAP)
FRIC=2.E0*DIAIH/AL*DELTAP/(DENFM*VELOC*VELOC)
ANUPR=ANUMML/(PRM**0.4)
DEVNUP=DEVNU/(PRM**0.4)
RATCNU=ANUMM/CEVNU
WRITE(6,334)REYNM
WRITE(6,335)ANUMM
WRITE(6,3350)ANUMML
WRITE(6,336)PRM
WRITE(6,337)HTCM
WRITE(6,339)DEVNU
WRITE(6,340)CEVNU
WRITE(6,344)TWMEAN
WRITE(6,348)EKO
WRITE(6,349)DENFM
WRITE(6,3777)FRIC

```

```

C.....
C          HAFIZA PLANLANMASI
C.....

```

```

      MMK=1
      MMI=1
4500 CONTINUE
      ANUSS(MMI)=ANUS(MMK)
      MMK=MMK+5
      MMI=MMI+1
      IF(MMI-NPTS)4500,4500,4501
4501 CONTINUE

```

```

C.....
C          BULUNAN NOKTALARA EYRÿ- UYDURMA
C.....

```

```

      CALL VPFIT(NPOLYS,NPTS,ANUSS,ZTH,ALPH,BBETA,EES,SSIGSQ,VV3,VV4,
1          VV5)
      DO 601 I=1,JJMX
601 CALL VPVAL(TNUS(I),ZZ(I),NPOLYS,ALPH,BBETA,EES)
      WRITE(8,888)REYNM,ANUPR,DEVNUP,EKO,FRIC
888 FORMAT(3X,F10.2,4X,F6.2,4X,F6.2,4X,F10.4,4X,F8.5)

```

```

C.....
C          ELDE EDÿ-LEN DEGERLERDEN ISTENÿ-LEN GRAFÿ-KLERÿ-N Ç-ÿ-Zÿ-Mÿ-
C.....
C.....

```

```

      III=III+2+2-3
      JJJ=JJJ+2+2-3
      KKK=KKK+4-3
      GO TO 777
571 WRITE(6,572)REYNOM,VELOC
999 CONTINUE
443 CONTINUE

```

```

CLOSE(5)
CLOSE(6)
CLOSE(8)
C.....
C          FORMAT LY-STESY-
C.....
10 FORMAT(10X,'TEST ALETININ GEOMETRIK OLCULERI',/)
11 FORMAT(15X,'BORU UZULUGU=',F10.2,' MM.')
```

12	13	14	15	23	24	25	572	110	61	146	302	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	329	330	3300	331	333	334	335	3350	336	337	339	340
FORMAT(/19X,'AKISA DIK BOYUTLAR',/,15X,'IC CAP= ',F10.2,' MM-')	FORMAT(15X,'DIS CAP=',F10.2,' MM.')	FORMAT(15X,'HIDROLIK CAP=',F10.5,' M.')	FORMAT(15X,'KODU : ',A4)	FORMAT(/,40X,'DENEY NO=',I2,/,20X,'NO',5X,'Z (MM)',5X,'THW (M.V 1OLT)',5X,'TEMPW (C)',/)	FORMAT(24X,I3,5X,F8.3,9X,F8.2)	FORMAT(/,20X,'GUC= ',F5.2,' WATT',/,20X,' ISI KAYIP KATSAYISI = 1 ',F6.3,/,20X,'CEVRE SICAKLIGI = ',F5.2,'C',/,20X,'ATMOSFER BASI 2NCI = ',F7.2,' MM HG',/,20X,'HAVA DEBISI = ',F9.3,'LITRE/MIN',/)	FORMAT(/,8X,'REYNOM=',F8.2,5X,'VELOC=',F8.4)	FORMAT(16X,'ISI KAYIP KATSAYISI =',F5.2)	FORMAT(/,4X,31(1H=),'DENEY NO:', I3,1X,31(1H=),/)	FORMAT(16X,I6,5X,F10.2,2X,F9.3,7X,F9.3)	FORMAT(/16X,'BELIRLENEN DEGERLER')	FORMAT(20X,'REYNOLDS SAYISI=',F8.2)	FORMAT(20X,'GUC SETI=',F6.2)	FORMAT(16X,'CEVRE SARTLARI=')	FORMAT(20X,'BASINC=',F5.3,' (BAR)')	FORMAT(20X,'SICAKLIK=',F5.2,' (C)')	FORMAT(/20X,'OLCULEN DUVAR SICAKLIKLARI=',/)	FORMAT(20X,'NO=',5X,'Z (MM)',5X,'THW (M.VOLT)',5X,'TEMPW (C)')	FORMAT(16X,'OLCULEN SOGUTUCU SICAKLIKLARI')	FORMAT(20X,'SOGUTUCU GIRIS SICAKLIGI=',F5.2,' (C)')	FORMAT(20X,'SOGUTUCU CKIS SICAKLIGI=',F5.2,' (C)')	FORMAT(/,16X,'TUREVI ALINMIS DATA (BILGI) :')	FORMAT(20X,'TOPLAM ENERJI KAYBI=',F5.2,' WATT')	FORMAT(16X,'SOGUTUCUYA YAPILAN ISI TRANSFERI')	FORMAT(20X,'ORTALAMA ISI KAYBINA GORE=',F10.2,' WATT')	FORMAT(20X,'DEGISKEN ISI KAYBINA GORE=',F10.2,' WATT')	FORMAT(20X,'OLCULMUS AKISKAN SICAKLIKLARINA GORE=',E10.2,' WATT')	FORMAT(16X,'SON KONDUKSIYON KAYIPLARI')	FORMAT(20X,'GIRISTE KONDUKSIYON KAYIPLARI=',F10.2,' WATT')	FORMAT(20X,'CIKISTA KONDUKSIYON KAYIPLARI=',F10.2,' WATT')	FORMAT(16X,'RADYAL ISI KAYBI')	FORMAT(16X,'TOPLAM ISI KAYBI')	FORMAT(/16X,'SOGUTUCUYA YAPILAN ISI TRANSFERINDE, OLCULEN DEGERLERL 1E',/,16X,'HESAPLANANLAR ARASINDAKI UYUSMAZLIK',/)	FORMAT(20X,'A ORTALAMA ISI KAYBINA GORE=',F6.2,' (%)')	FORMAT(20X,'A DEGISKEN ISI KAYBINA GORE=',F6.2,' (%)')	FORMAT(20X,'A LOG. SICAKLIK FARKINA GORE=',F6.2,' (%)')	FORMAT(/,3X,' Z/L TWFIT TFV TFVL TTW TTF TT 1FL NU REYN',/)	FORMAT(1X,9F8.2)	FORMAT(/,16X,'ORTALAMA REYNOLDS SAYISI=',F8.2)	FORMAT(16X,'ORTALAMA NUSSELT SAYISI=',F6.2)	FORMAT(16X,'LOG. ORT. SIC. FARK. GOR',/,16X,'ORTALAMA NUSSELT SAYISI 1=',F6.2)	FORMAT(16X,'ORTALAMA PRANDTL SAYISI=',F5.2)	FORMAT(16X,'ORTALAMA ISI TRANSFERI SAYISI=',E12.5)	FORMAT(16X,'DITTUS VE BOELTERE GORE NU=',E12.5)	FORMAT(16X,'KISA KANALLAR ICIN NUSSELT=',E12.5)

```

344 FORMAT(18X,'ORTALAMA DUVAR SICAKLIGI=',F6.2,' (C)')
346 FORMAT(18X,'ORTALAMA VISKOSITE=',E10.4)
347 FORMAT(18X,'SPHTM=',E10.4)
348 FORMAT(18X,'ORTALAMA EKONOMIKLIK KIRITERI=',E10.4)
349 FORMAT(18X,'YOGUNLUK=',E10.4)
3777 FORMAT(18X,'BASINC KAYIP KATSAYISI=',E10.4)
556 FORMAT(E10.0)
16 FORMAT(11F5.2)
17 FORMAT(2F5.2)
111 FORMAT(I5)
555 FORMAT(64F10.3)
STOP
END

```

```

C.....
C                                  ALT PROGRAMLAR
C.....

```

```

SUBROUTINE YAZNO(LV)
C.....
IF(LV-10) 10,20,30
10 WRITE(6,11)
11 FORMAT(////////////////////,18X,'SILINDIRIK BORULAR ICIN YAPILAN
1DENEY NETICELERI',//)
GO TO 70
20 WRITE(6,22)
22 FORMAT('O',//,18X,'KARE BORULAR ICIN YAPILAN DENEY NETICELERI
1',///)
GO TO 70
30 WRITE(6,33)
33 FORMAT('O',//,18X,'UCGEN BORULAR ICIN YAPILAN DENEY NETICELERI
1',///)
70 CONTINUE
1 RETURN
END

```

```

C.....
SUBROUTINE VPFIT(NPOLYS,NPTS,V2,V1,ALPHA,BETA,ES,SIGSQ,V3,V4,V5)
C.....

```

```

C BU PROGRAM VERILEN NOKTALARDAN GECEN EGRININ DENKLEMINE BULUR
C.....

```

```

DIMENSION V2(NPTS),V1(NPTS),ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),
1 SIGSQ(NPOLYS),ES(NPOLYS),V3(NPTS),V4(NPTS),V5(NPTS)
S1=FLOAT(NPTS)
S3=0.E0
BETA(1)=0.0E0
DO 21 J =1,NPTS
V3(J)=0.0E0
V4(J)=1.0E0
S3=V2(J)*V2(J)+S3
21 CONTINUE
DO 2 I=1,NPOLYS
S4=0.0E0
S7=0.0E0
DO 22 J=1,NPTS
S4=V2(J)*V4(J)+S4
22 CONTINUE
ES(I)=S4/S1
S5=S3-ES(I)*ES(I)*S1
NNPTS=NPTS-I-1
SIGSQ(I)=S5/FLOAT(NNPTS)
IF(I-NPOLYS) 111,2,2
111 ALPHA(I+1)=0.0E0

```

C.....Y-STENMEYEN Ç-İKİR-I AYARLAR

```

DO 23 J=1,NPTS
V5(J)=V1(J)*V4(J)
23 CONTINUE
DO 24 J=1,NPTS
ALPHA(I+1)=V5(J)*V4(J)+ALPHA(I+1)
24 CONTINUE
ALPHA(I+1)=ALPHA(I+1)/S1
DO 25 J=1,NPTS
V5(J)=(V1(J)-ALPHA(I+1))*V4(J)-BETA(I)*V3(J)
S7=V5(J)*V5(J)+S7
25 CONTINUE
BETA(I+1)=S7/S1
DO 26 J=1,NPTS
V3(J)=V4(J)
V4(J)=V5(J)
26 CONTINUE
S1=S7
S3=S5
2 CONTINUE
RETURN
END

```

C.....

SUBROUTINE VPVAL(YFIT,X,NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)

C.....

C BU PROGRAM VPFIT İLE BİRLİKTE ÇALIŞIR VE VPFIT İLE BULUNAN
C DENKLEMEN İSTENİLEN NOKTALARIN DEĞERİNİ BULUR

C.....

```

DIMENSION ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),ES(NPOLYS)
YFIT=0.0E0
U3=0.0E0
U4=1.0E0
DO 7 I=1,NPOLYS
YFIT=YFIT+ES(I)*U4
IF(I-NPOLYS)111,8,8
111 U5=(X-ALPHA(I+1))*U4-BETA(I)*U3
U3=U4
U4=U5
7 CONTINUE
8 RETURN
END

```

C.....

SUBROUTINE VPDER(D,D2,X,NPOLYS,ALPHA,BETA,ES)

C.....

C BU PROGRAM VPFIT İLE BİRLİKTE ÇALIŞIR, VPFIT İLE BULUNAN
C DENKLEMDE İSTENİLEN NOKTALARIN 1. VE 2. DERECE TÜREVLERİNİ ALIR

C.....

```

DIMENSION ALPHA(NPOLYS),BETA(NPOLYS),ES(NPOLYS)
IF(NPOLYS-2) 1,2,3
1 D=0.0E0
D2=0.0E0
GO TO 5
2 D=ES(2)
D2=0.0E0
GO TO 5
3 CONTINUE
PL2=1.0E0
PL1=X-ALPHA(2)
DPL2=0.0E0
DPL1=1.0E0

```

```
D2PL2=0.0E0
D2PL1=0.0E0
D=ES(2)*X
D2=0.0E0
DO 4 L=3,NPOLYS
  XL=X-ALPHA(L)
  DPL=PL1+XL*DPL1-BETA(L-1)*DPL2
  D2PL=2.0E0*DPL1+XL*D2PL1-BETA(L-1)*D2PL2
  PL=XL*PL1-BETA(L-1)*PL2
  PL2=PL1
  PL1=PL
  DPL2=DPL1
  DPL1=DPL
  D2PL2=D2PL1
  D2PL1=D2PL
  T=ES(L)*X
  D=D+DPL*T
  D2=D2+D2PL*T*X
4 CONTINUE
5 RETURN
```



EK 3

Literatürde tanımlanan hata fonksiyonu

$$U_f = \sqrt{\left(U_{x_1} \frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 + \left(U_{x_2} \frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(U_{x_n} \frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2}$$

şekindedir

$$X = \frac{A \cdot B^m}{C^n \cdot E} \text{ olsun}$$

$$\frac{\partial X}{\partial A} = \frac{B^m}{C^n}$$

$$\frac{\partial X}{\partial B} = \frac{m \cdot A \cdot B^{m-1}}{C^n \cdot E}$$

$$\frac{\partial X}{\partial C} = -\frac{n \cdot A \cdot B^m}{C^{n+1}}$$

$$\frac{\partial X}{\partial E} = -\frac{A \cdot B^m}{C^n \cdot E^2}$$

$$U_x \leq \left| \frac{B^m}{C^n \cdot E} U_A \right| + \left| \frac{m \cdot A \cdot B^{m-1}}{C^n \cdot E} U_B \right| + \left| \frac{n \cdot A \cdot B^m}{C^{n+1} \cdot E} U_C \right| + \left| \frac{A \cdot B^m}{C^n \cdot E^2} U_E \right|$$

$$\frac{U_x}{X} = \left| \frac{U_A}{A} \right| + \left| \frac{m \cdot U_B}{B} \right| + \left| \frac{n \cdot U_C}{C} \right| + \left| \frac{U_E}{E} \right|$$

$$\frac{U_x}{X} = \sqrt{\left(\frac{U_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{m U_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{n U_C}{C}\right)^2 + \left(\frac{U_E}{E}\right)^2}$$

Yaptığımız deneyde Nu sayısında ve Re sayısında yaptığımız hataların analizi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{q \cdot D}{k \cdot \Delta T}$$

$$\frac{U_A}{A} = \frac{U_q}{q} = 0.01$$

$$\frac{U_B}{B} = \frac{U_D}{D} = 0.001$$

$$\frac{U_k}{k} = \frac{U_k}{k} = 0.001$$

$$\frac{U_E}{E} = \frac{U_T}{T} = 0.001$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial q} = \frac{D}{k \cdot \Delta T}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial D} = \frac{q}{k \cdot \Delta T}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial k} = -\frac{q \cdot D}{k^2 \cdot \Delta T}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial T} = -\frac{q \cdot D}{k \cdot \Delta T^2}$$

Bu ifadeler yazılsın

$$\frac{U_{Nu}}{U} = \sqrt{\left(\frac{U_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{U_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{U_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2}$$

$$\frac{U_{Nu}}{Nu} = \sqrt{[(0.01)^2 + (0.001)^2 + (0.001)^2 + (0.001)^2]}$$

$$\frac{U_{Nu}}{Nu} = \pm \%0.01$$

Reynolds sayısı için

$$Re = \frac{4m}{\Pi D \mu}$$

$$\frac{U_{\dot{m}}}{\dot{m}} = \% 1$$

$$\frac{U_{\mu}}{\mu} = \% 0.001$$

$$\frac{U_D}{D} = \% 0.001$$

$$\frac{\partial \text{Re}}{\partial \dot{m}} = \frac{4}{\pi D \mu}$$

$$\frac{\partial \text{Re}}{\partial D} = -\frac{4 \dot{m}}{\pi D^2 \mu}$$

$$\frac{\partial \text{Re}}{\partial \mu} = -\frac{4 \dot{m}}{\pi D \mu^2}$$

$$\frac{U_{\text{Re}}}{\text{Re}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\mu}}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{U_{\dot{m}}}{\dot{m}}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\text{Re}}}{\text{Re}} = \sqrt{(0.001)^2 + (1)^2 + (0.001)^2}$$

$$\frac{U_{\text{Re}}}{\text{Re}} = \pm \% 1$$

9. ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ,orta ve yüksek öğrenimini aynı ilde yaptı. 1974'den 1980 yılına kadar İngiltere'de Davigdor First School'da okudu. 1989 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. 1994 yılında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 1994 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans programını kazandı.1996 Ocak ayında K.T.Ü. Ordu Meslek Yüksekokulu'na Öğretim Görevlisi olarak atandı.

