

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BORU VE KANALLARDA ISI TAŞINIM
KATSAYISININ ARTTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh.Bekir SARI
503961020**

100 922¹⁰⁰⁹²²

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05 Ekim 2000

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Kasım 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Alpin Kemal DAĞSÖZ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Salim ÖZÇELEBİ

Doç.Dr.Cem PARMAKSIZOĞLU

EKİM 2000

ÖNSÖZ

“Boru ve kanallarda ısı taşınım katsayısının arttırılması” konusunda yapmış olduğum bu çalışmada bana yardımcı olan Sayın Danışmanım Prof. Dr. Alpin Kemal Dağsöz, teknik destek veren Makine Mühendisi Sayın Güven Yıldırım ve deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Türk Demirdöküm Fabrikaları A.Ş. İnegöl Tesisleri Isı Labarotuvanı personeline sağlamış oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

Ekim 2000

Bekir Sarı



İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi

1 BORU VE KANALLARDA ISI TAŞINIM KATSAYISININ ARTTIRILMASI

1.1	Giriş	1
1.2	Akış Karıştırıcıları –Türbülatorler –	3
1.3	Giriş Etkisi	8

2 ISI TAŞINIMI

2.1	Tanım	11
2.2	Hidrodinamik Ve Isıl Sınır Tabakalar	12
2.3	Dairesel Kesitli Boru İçinde Türbülanslı Akışta Isı Taşınımı	15
2.3.1	Hidrodinamik Ve Isıl Bakımdan Tam Gelişmiş Akım Hali	16
2.3.2	Hidrodinamik Bakımdan Gelişmiş, Isıl Bakımdan Gelişmemiş Akım Hali	20
2.3.3	Hidrodinamik Ve Isıl Bakımdan Tam Gelişmemiş Akım Hali	21
2.3.4	Dairesel Kesitli Olmayan Kanallarda Türbülanslı Akışta Isı Taşınımı	21
2.3.5	Silindir Ve Küreye Zorlanmış Dik Akışta Isı Taşınımı	22
2.3.5.1	Silindire Dik Akış	23
2.3.5.2	Kürede Zorlanmış Akış	24
2.3.5.3	Boru Demetine Dik Akış	25
2.3.5.4	Kanatlı Borulara Dik Akış	27
2.3.5.5	Kanatlı Borularda Kanat Tespitlerinin Isı Geçişine Etkisi	28
2.3.5.5.1	Tanım	28
2.3.5.5.2	Kanatlı Borularda Kanat - Boru Boşluğun Sıcaklık Değişimine Etkisi	28
2.3.6	Yapay Pürüzlü Boruların Kullanma Yerlerinden Örnekler	34

3 ÇELİK KAZANDA ISI TAŞINIM KATSAYISININ ARTTIRILMASI

3.1	Deneyin Amacı	41
3.2	Deney Ekipmanları	41
3.2.1	Çelik Kazanların Mukavemet Ve Termodinamik Hesaplamaları	42
3.2.1.1	CK 60 Tip Çelik Kazan	42
3.2.1.1.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı	42
3.2.1.1.2	Ön Ayna Et Kalınlığı:	44
3.2.1.1.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	45
3.2.1.1.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı	46
3.2.1.1.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı	47
3.2.1.1.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	48
3.2.1.1.7	Isı Yüğü	48
3.2.1.2	CK 80 Tip Çelik Kazan	48
3.2.1.2.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı	49
3.2.1.2.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	50
3.2.1.2.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	52

3.2.1.2.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:	53
3.2.1.2.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı	54
3.2.1.2.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	54
3.2.1.2.7	Isı Yüğü	55
3.2.1.3	CK 100 Tip Çelik Kazan	55
3.2.1.3.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:	55
3.2.1.3.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	57
3.2.1.3.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	58
3.2.1.3.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı	59
3.2.1.3.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı	60
3.2.1.3.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	61
3.2.1.3.7	Isı Yüğü	61
3.2.1.4	CK 130 Tip Çelik Kazan	61
3.2.1.4.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı	61
3.2.1.4.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	63
3.2.1.4.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	64
3.2.1.4.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı	65
3.2.1.4.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı	66
3.2.1.4.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	67
3.2.1.4.7	Isı Yüğü	67
3.2.1.5	CK 160 Tip Çelik Kazan	67
3.2.1.5.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:	68
3.2.1.5.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	69
3.2.1.5.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	71
3.2.1.5.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:	72
3.2.1.5.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı:	73
3.2.1.5.6	Toplam Isıtma Yüzeyi:	73
3.2.1.5.7	Isı Yüğü:	74
3.2.1.6	CK 200 Tip Çelik Kazan	74
3.2.1.6.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:	74
3.2.1.6.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	76
3.2.1.6.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	77
3.2.1.6.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı	78
3.2.1.6.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı	79
3.2.1.6.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	80
3.2.1.6.7	Isı Yüğü	80
3.2.1.7	CK 360 Tip Çelik Kazan	80
3.2.1.7.1	Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:	80
3.2.1.7.2	Ön Ayna Et Kalınlığı	82
3.2.1.7.3	Arka Ayna Et Kalınlığı	83
3.2.1.7.4	Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:	84
3.2.1.7.5	Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı:	85
3.2.1.7.6	Toplam Isıtma Yüzeyi	86
3.2.1.7.7	Isı Yüğü	86
3.3	Deneyin Yapılışı Ve Test Sonuçları	86
3.3.1	CK 60 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	87
3.3.2	CK 80 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	91
3.3.3	CK 100 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	95
3.3.4	CK 130 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	101
3.3.5	CK 160 Tip İçin Yapılan Deneyler	104
3.3.6	CK 200 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	107
3.3.7	CK 360 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler	110
4	SONUÇLAR	113
	KAYNAKLAR	114
	EKLER	115

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1-1 : Spiral şeklinde eksenî etrafında kıvrılmış akış karıştırıcıları halindeki ısı taşınım katsayıları ile direnç katsayıları	5
Tablo 3-1 : CK 60 Tip çelik kazan deney sonuçları	88
Tablo 3-2 : CK 60 Tip çelik kazan deney sonuçları	89
Tablo 3-3 : CK 60 Tip çelik kazan deney sonuçları	90
Tablo 3-4 : CK 80 Tip çelik kazan deney sonuçları	92
Tablo 3-5 : CK 80 Tip çelik kazan deney sonuçları	93
Tablo 3-6 : CK 80 Tip çelik kazan deney sonuçları	94
Tablo 3-7 : CK 100 Tip çelik kazan deney sonuçları	96
Tablo 3-8 : CK 100 Tip çelik kazan deney sonuçları	97
Tablo 3-9 : CK 100 Tip çelik kazan deney sonuçları	98
Tablo 3-10 : CK 100 Tip çelik kazan deney sonuçları	99
Tablo 3-11 : CK 100 Tip çelik kazan deney sonuçları	100
Tablo 3-12 : CK 130 Tip çelik kazan deney sonuçları	102
Tablo 3-13 : CK 130 Tip çelik kazan deney sonuçları	103
Tablo 3-14 : CK 160 Tip çelik kazan deney sonuçları	105
Tablo 3-15 : CK 160 Tip çelik kazan deney sonuçları	106
Tablo 3-16 : CK 200 Tip çelik kazan deney sonuçları	108
Tablo 3-17 : CK 200 Tip çelik kazan deney sonuçları	109
Tablo 3-18 : CK 360 Tip çelik kazan deney sonuçları	111
Tablo 3-19 : CK 360 Tip çelik kazan deney sonuçları	112

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1-1 : Boru içindeki akışlarda pürüzlülüğün tercih edilip, edilmediği iki durum.....	1
Şekil 1-2 : Dar kesitli kanallarda pimler kullanılarak ısı taşınım katsayısı ile yüzeyin arttırılması	2
Şekil 1-3 : Boru içine sokulup çıkartılabilen spiral.....	3
Şekil 1-4 : Çelik şeritlerin eksenine etrafında ve bükümlü olarak kıvrılmaları ile yapılan akış karıştırıcıları.....	4
Şekil 1-5 : Çıplak boru ile çeşitli hatvelerdeki spiral şeklinde eksenine etrafında kıvrılmış akış karıştırıcıları için girişte 700 °C olan sıcaklığın boru boyunca değişimi.....	6
Şekil 1-6 : Aynı akış karıştırıcısı halinde boru boyunca basınç değişimi.....	6
Şekil 1-7 : Akış karıştırıcılarının uygulama örnekleri.....	7
Şekil 1-8 : Şeritlerin zikzak olarak kıvrılması ve presle kanatlar yapılması.....	8
Şekil 1-9 : Giriş bölgesinde ısı taşınım katsayısının değişimleri.....	9
Şekil 1-10 : Grass tarafından yapılan çalışmalara göre çeşitli giriş şekilleri ve akım çizgileri.....	10
Şekil 2-1 : Taşınım ile ısı geçişi.....	12
Şekil 2-2 : Hidrodinamik sınır tabaka da laminar , türbülanslı akışlar.....	13
Şekil 2-3 : Hız dağılımının boru boyunca değişimi.....	14
Şekil 2-4 : Hidrodinamik ve ısıl sınır tabakaları.....	14
Şekil 2-5 : Boru içinde türbülanslı akışın gelişimi.....	15
Şekil 2-6 : Isınma veya soğumanın hız dağılımına etkisi.....	20
Şekil 2-7 : Silindir ve kürede dik akış ayrılma noktasının belirlenmesi.....	22
Şekil 2-8 : Boru demetinin çeşitli şekillerde düzenlenmeleri.....	25
Şekil 2-9 : Isı tekniğinde çeşitli kanatlı boru örnekleri.....	29
Şekil 2-10 : Isı tekniğinde çeşitli kanatlı boru örnekleri.....	30
Şekil 2-11 : Çeşitli kanatlı boru uygulamaları.....	31
Şekil 2-12 : Lazer ışını ile düzeltilmiş kanatlı boru	31
Şekil 2-13 : Kanat dip kalınlığındaki boşluğa göre sıcaklık değişimleri.....	32

Şekil 2-14 : Kanat dip kalınlığındaki boşluğa göre sıcaklık değişimleri.....	32
Şekil 2-15 : Kanatın boru yüzeyine tesbitinde arada boşluk bulunup. bulunmamasına göre sıcaklık değişimi.....	33
Şekil 2-16 : Schmöle firmasının ürünü yapay pürüzlü ve kanatlı borular.....	37
Şekil 2-17 : Hava soğutması veya ısıtmasında değişim.....	38
Şekil 2-18 : Dış tarafta yoğuşma olması halinde değişim.....	38
Şekil 2-19 : Dış tarafta buharlaşma olması halinde değişim.....	39
Şekil 2-20 : Boru içinde buharlaşma olması halinde değişim.....	39
Şekil 2-21 : Helisel şekilli yapay pürüzlü borularda belirleyici boyutlar.....	40



SEMBOL LİSTESİ

σ_r	: Dış gövde malzemesinin metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti
Δp	: Basınç düşmesi
λ	: Şerit genişliği
β	: Zikzak açısı
A	: Isı taşınımının yapıldığı yüzey
b	: Kanat kalınlığı
c_p	: Özgül ısı
$\dot{Q}$	: Islak çevre
d	: Boru çapı
d_h	: Hidrolik çap
d_i	: Çap
d_k	: Kanatlı borunun kök çapı
e	: Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir katsayı
h	: Isı taşınım katsayısı
H	: Yükseklik
k	: Isı iletim katsayısı
L_a	: Laminer akışta boru giriş uzunluğu
L_{hid}	: Hidrodinamik giriş uzunluğu
Nu, Nu_∞	: Nusselt sayısı
p	: Tasarım basıncı
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Cidardan akışkana taşınım ile geçen ısı miktarı
r	: Yarıçap
Re	: Reynolds sayısı
Re_k	: Kritik Reynolds sayısı
S	: Akış kesit alanı
s	: Dış gövde levhası et kalınlığı
s	: Kanatlar arası açıklığı
St	: Stanton sayısı
t	: Hatve büyüklüğü

T_f	: Isıl sınır tabaka sıcaklığı
T_m	: Karışım sıcaklığı
T_o, T_∞	: Akışkan ve cidar sıcaklıkları
T_r	: Referans sıcaklığı
u	: Akışkan hızı
u_m	: Ortalama akışkan hızı
x_k	: Kritik uzunluk
z	: Boylamasına kaynak dikişinin verimi
δ	: Kalınlık
$\varepsilon_H, \varepsilon_M$	: Türbülanslı ısı geçişine ait eddy yayılım katsayısı
θ_y, θ_∞	: Yüzey ve ortam sıcaklığı
λ_s	: Boru cidarındaki sürtünme katsayısı
μ_o, μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi
ρ	: Yoğunluk
τ_o, τ	: Kayma gerilmesi
ν	: Kinematik viskozite
y	: Eksenler arası mesafe

BORU VE KANALLARDA ISI TAŞINIM KATSAYISININ ARTTIRILMASI

Bu çalışmada çelik kazanlarda ısı taşınım katsayısının artırılması ile kazan ısı veriminin artırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle değişik tip türbülatorler denenerek ve mevcut türbülatorler üzerinde dizayn girdileri değiştirilerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Çelik kazanlarda ısı taşınımını arttırmak, dolayısıyla kazan ısı verimini arttırmak için kullanılacak parametrelerden biri olan kanallar içinde türbülanslı bir akış meydana getirmek amacıyla değişik formlarda ve mevcut türbülatorlerin parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

Bu çalışma sonucunda yapılan çeşitli modifikasyonların kazan ısı verimi, erişilen baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan türbülatorlerin boyu ve hatve açısı ısı taşınım katsayısının artması veya azalması açısından çok önemlidir. Türbülatorler sıcak baca gazlarının akışına engel teşkil etmemelidir. Türbülanslı bir akış sağlayarak sıcak baca gazlarının temas süresini arttırıcı etki yaratmalıdır. Kazan dizayn parametrelerine göre en uygun sonuçları veren türbülatorler seçilmiştir.

Bu çalışma sonucunda baca gazları ile kullanılmadan dışarı atılan enerjinin suya verilmesi sağlanmıştır.

Isıtma sektöründe karşılaşılan en büyük problem ısı kaynaklarının bilinçsizce kullanılmasından doğan enerji israfıdır. Isıtma amaçlı kullanılan cihazlarda yapılan bu deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak modifiye edilmiş yeni cihazlarla ısı kaynaklar tasarım girdilerini mümkün olduğu en iyi şekilde kullanılmıştır.

Kazan içinde kullanılan türbülatorler ile sıcak gazların su ile temas ettiği süre arttırılmıştır. Meydana getirilen türbülans ısı taşınım katsayısını arttırıcı yönde etki etmiştir. Bunun sonucu olarak da suya geçen ısı miktarı artmıştır.

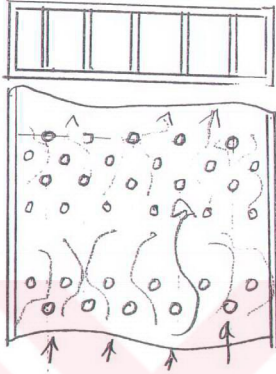
INCREASING THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT AT PIPES AND CHANNELS

SUMMARY

In this study, increasing of thermal efficiency of steel boiler by increasing heat transfer coefficient is targetted. For this reason various tests were carried out using different kinds of turbulators and making desing input changes on the present turbulators. In order to have a turbulent flow at channels which are one of the parameters in order to insrease the heat transfer and therefore increase boiler thermal efficiency, various tests were carried out at different forms and changing the parameters of present turbulators.

At the end of the study comparison of boiler thermal efficiency, chimney gas temperature and burning efficiency was done for each modification.

Turbulators giving the best results according to the boiler design parameters were selected. As a result of this work the energy given away without using with chimney gases is given to water .In heating the sector the greatest problem is wastage of energy due to inefficient usage of energy sources. Using these results recevied through the experiments done with heating equipment , some equipment were modified to use the heat sources most efficiency .Using the turbulators the duration of contact of hot gases and water is increased .The received turbulence increased the heat transfer coefficient .As a result of this the heat transferred to water increased . The size and angle of turbulators are very important from the point of increase or decrease of heat transfer coefficient . The turbulators must not prevent the flow of hot chimney gases.An effect must be created to increase the duration of contact of hot chimney gases using a turbulent flow.



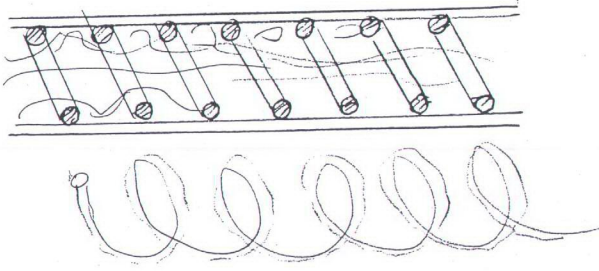
Şekil 1-2 Dar kesitli kanallarda pimler kullanılarak ısı taşınım katsayısı ile yüzeyin artırılması

Isı taşınım katsayısının artmasında pim çapı ile pimlerin kare veya üçgen dizilişlerinin seçimi kanal kesitine ve akışkan hızına da bağlı olarak çok önemlidir. Yukarıda açıklanan pürüz ve pimler dikkat edilirse kanallara sabit olarak tutturulmuşlardır.

Kazanlar ile bileşik ısı cihazları –kombiler- gibi ısı üreticilerinde duman borularında ısı taşınım katsayısının artırılmasında ve düşük sıcaklık kazanlarında duman ısının daha çok verilerek sıcaklığının düşürülmesinde ise duman borularına sokulup çıkartılabilen karıştırıcılar –türbülötörler- kullanılmaktadır.

Şekil 1-3’de boru içine sokulup çıkartılabilen bir spiral örneği görülmektedir. Spiralın çapı ile hatvesinin boru çapı ile akışkan hızına bağlı olarak seçimleri çok önemlidir.

Isı taşınım katsayısının artması sağlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus basınç düşmesinin az olmasının sağlanmasıdır.



Şekil 1-3 Boru içine sokulup çıkartılabilen spiral

1.2 Akış Karıştırıcıları –Türlütörler –

Akış karıştırıcıları türlütör veya geciktirici –retarder- olarak da adlandırılırlar.

Uygulamada çeşitli tipte akış karıştırıcıları kullanılmaktadır.

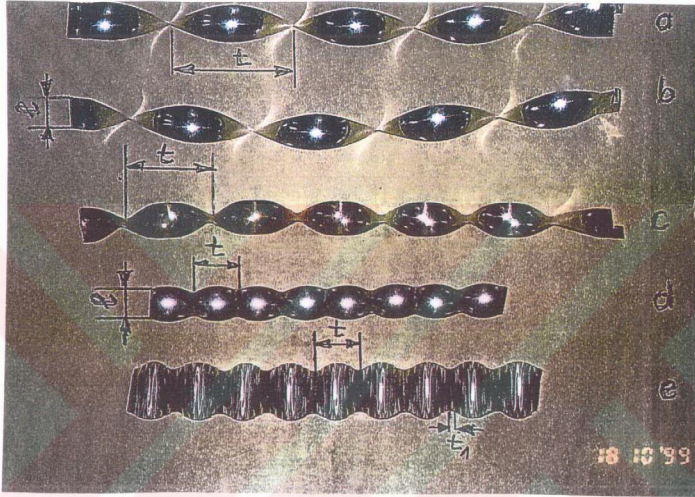
Akış karıştırıcıları genellikle, kanal kesitinin uygun boyutlarda olmak üzere sıcaklığa dayanıklı kaliteli çelik şeritlerden çeşitli geometrik şekillerde yapılırlar.

Çelik şeritlere:

- i. Spiral şekilde ekseni etrafında kıvrılması,
- ii. Büklümlü olarak kıvrılması,
- iii. Zikzak olarak kıvrılması,
- iv. Presle kanatlar –çıkıntılar- yapılması,

gibi çeşitli şekiller verilerek yapılırlar. Şekil 1-4’de çelik şeritlerin ekseni veya büklümlü olarak kıvrılmış hallerine ait örnekler görölüyor. a, b, c örnekleri ekseni etrafında kıvrılmış, d örneği büklümlü olarak kıvrılmış, e örneği ise önceden küçük olarak büklümlendirilmiş şeridin büklümlü olarak kıvrılmış halleri gösteriyor.

Bu tip akış karıştırıcılarında λ şerit genişliği ve t hatvesinin büyüklüğüne göre $-h-$ ısı taşınım katsayısı ile $-\Delta p-$ basınç düşmesi değişir.



Şekil 1-4 Çelik şeritlerin eksenî etrafında ve bükümlü olarak kıvrılmaları ile yapılan akış karıştırıcıları

Hollanda'da Van Dijk Heating B.V. firması tarafından imal edilen a tipi akış karıştırıcıları için verilen h ısı taşınım katsayıları ile λ_s sürtünme katsayıları Tablo 1-1'de görülmektedir.

	Re	h	W/m ² K	λ_s
Çıplak boru 48x3	8310	34	0.02	
Akış karıştırıcı $\lambda=40\text{mm}$, $t=168$	8600	70	0.11	
Akış karıştırıcı $\lambda=40\text{mm}$, $t=92$	8580	90	0.21	
Akış karıştırıcı $\lambda=40\text{mm}$, $t=86$	8070	91	0.24	

λ : şerit genişliği

t: hatve

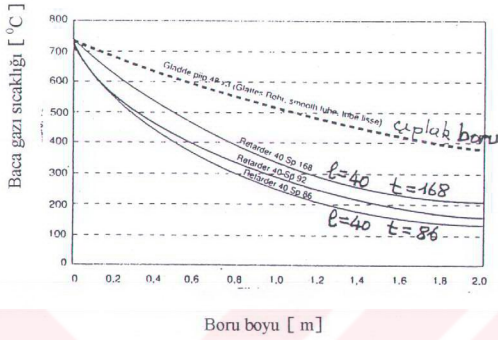
Tablo 1-1 Spiral şeklinde eksen etrafında kıvrılmış akış karıştırıcıları halindeki ısı taşınım katsayıları ile direnç katsayıları

Tabloya dikkat edilirse t hatvesi küçüldükçe ısı taşınım katsayısı ile direnç katsayısı artmaktadır. Diğer önemli nokta, hemen hemen aynı Reynolds sayısında ısı taşınım katsayısı çıplak boruya nazaran 2-3 misli artmasına karşılık direnç katsayısı 5-12 misli artmaktadır.

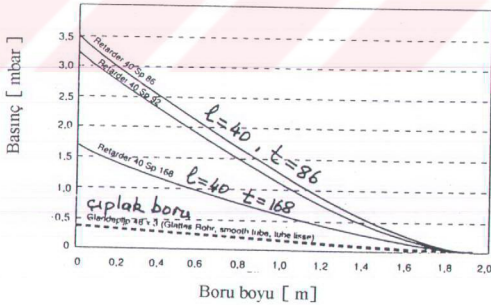
Şekil 1-5’de çıplak boru ile çeşitli hatvelerdeki spiral şekilde eksen etrafında kıvrılmış akış karıştırıcıları için girişte 700°C olan baca gazı sıcaklığının boru boyunca değişimi ve Şekil 1-6’da da mbar cinsinden basınç değişimleri verilmiştir. Bu değişimlerin bulunmasında, baca gazı geçen borunun dışındaki suyun sıcaklığı 70°C’de tutulmuş olup gerçekte düşük sıcaklık kazanına yaklaşım yapılmıştır.

Yukarıda verilen değerlere göre uygulamada çıplak boru içinde akış karıştırıcı kullanılmasıyla boru boyunun %35 ile 50 arasında kısaldığı anlaşılmaktadır. Unutulmaması gereken bir nokta akış karıştırıcı malzemesi olarak asil çelik kullanılmasıdır.

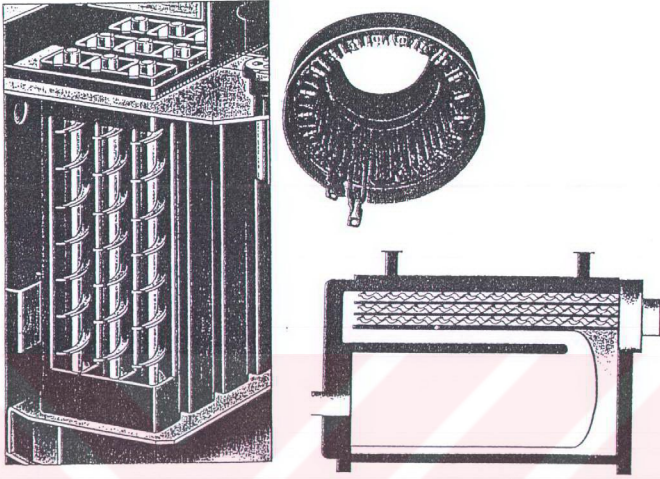
Şekil 1-7’de ise akış karıştırıcılarının kullanıldığı çeşitli uygulama örnekleri görülmektedir.



Şekil 1-5 Çıplak boru ile çeşitli hatvelerdeki spiral şeklinde eksenî etrafında kıvrılmış akış karıştırıcıları için girişte 700°C olan sıcaklığın boru boyunca değişimi [8]



Şekil 1-6 Aynı akış karıştırıcısı halinde boru boyunca basınç değişimi [8]



Şekil 1-7 Akış karıştırıcılarının uygulama örnekleri [8]

Şekil 1-8'de çelik şeritlerin zikzak kıvrılması ile presle kanatlar yapılması görülmektedir.

Zikzak halde ısı taşınım katsayısı ile basınç düşmesi $-d$ - boru çapına, $-\beta$ -zikzak açısına, $-H$ - yüksekliğine, $-t_1$ - ile $-t_2$ - hatveleri ile zikzak sayısına yani karıştırıcı uzunluğuna göre değişir.

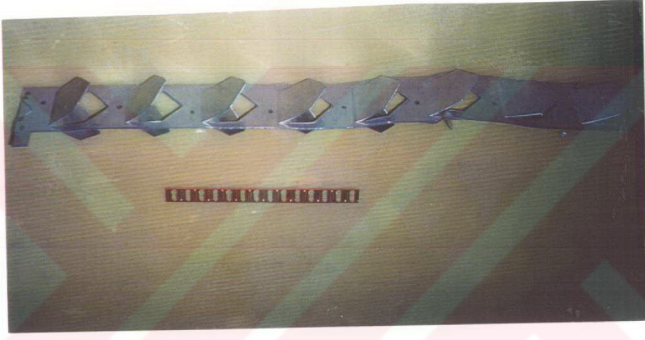
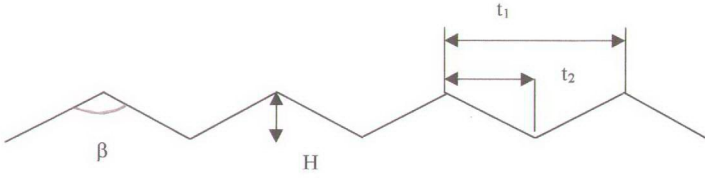
Bu konuda yapılan çalışma ve yayın bulunamamıştır.

Çelik şerit presle kanatlar yapılmış bir örnek Şekil 1-8'de b halinde görülmektedir.

Wolf firması tarafından uygulanan bu tip karıştırıcıya ait değerlerde bulunamamıştır.

Kanat formları ile açıklıkları, kanatlar arasındaki mesafe, boru çapı ve şerit uzunluğuna bağlı olarak ısı taşınım katsayısı ile basınç düşmesi değişecektir.

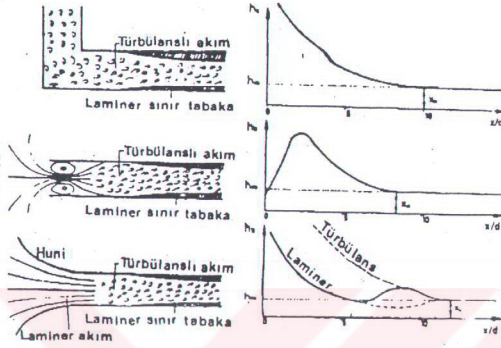
Aynı şeklin c halinde ise Demirdöküm cihazlarında kullanılan bir presle ile delinmiş ve kısa kanatlar meydana getirilmiş bir karıştırıcı görülmektedir.



Şekil 1-8 Şeritlerin zikzak olarak kıvrılması ve presle kanatlar yapılması

1.3 Giriş Etkisi

Akışkanların kanal girişlerinde kanal giriş şekline göre, girişten itibaren yaklaşık 10 d mesafesi içinde ısı taşınım katsayısı normal akıştaki ısı taşınım katsayısının iki misli kadar büyük değere erişir. Bu aralıkta içindeki ortalama ısı taşınım katsayısı normal akıştaki ısı taşınım katsayısının % 50'si kadar fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 1-9'da üç çeşit giriş şekline göre giriş kısmındaki ısı taşınım katsayısı değişimleri verilmiştir.



Şekil 1-9 Giriş bölgesinde ısı taşınım katsayısının değişimleri [2]

Şekil 1-10'da ise Grass tarafından yapılan çalışmalara göre çeşitli giriş şekilleri ile akım çizgileri ve verdiği

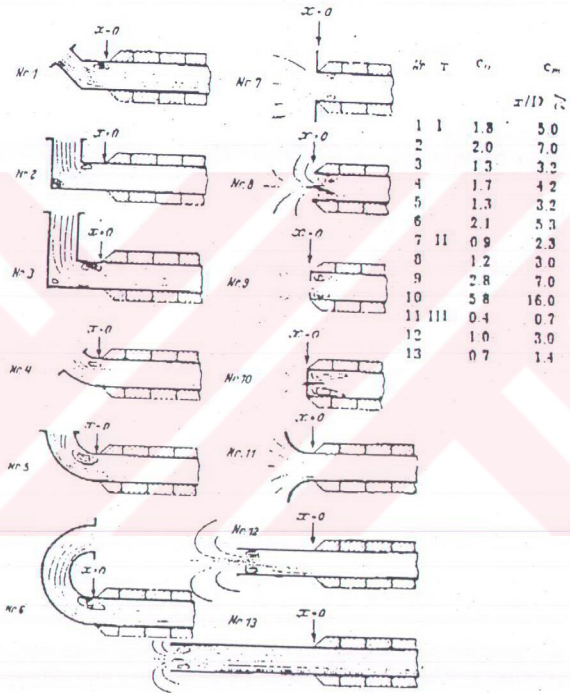
$$h_m = h_\infty [1 + c_m/(x/d)] \quad (1.1)$$

$$h_x = h_\infty [1 + c_0/(x-d)] \quad (1.2)$$

ifadeleri için c_m ile c_0 katsayıları verilmiştir. Elser giriş bölgesindeki yerel ısı taşınım katsayısını

$$h_x = (\lambda/d) [0.289 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3} (x/d)^{-1/2}] \quad (1.3)$$

ifadesi ile vermektedir.



Şekil 1-10 Grass tarafından yapılan çalışmalara göre çeşitli giriş şekilleri ve akım çizgileri [2]

2 ISI TAŞINIMI

2.1 Tanım

Gaz veya sıvı halindeki akışkan ile akışkanın temas ettiği yüzey arasındaki moleküllerin makroskopik hareketleri ile meydana gelen ısı geçiş şekline ısı taşınımı denilmektedir.

Akışkanın hareketi, örneğin hava akımının vantilatör, su akımının pompa ile meydana getirildiği gibi, dıştan bir enerji sarfıyatı ile oluyorsa ısı taşınımı *ZORLANMIŞ ISI TAŞINIMI* (*CEBRİ KONVEKSİYON*) olarak adlandırılır. Eğer akışkan hareketi, örneğin bir ısıtıcının etrafındaki havanın yükselmesi gibi, sıcaklık farkı nedeniyle özgül ağırlıktaki değişimlerden meydana geliyorsa *DOĞAL ISI TAŞINIMI* veya *SERBEST ISI TAŞINIMI* (*TABİİ KONVEKSİYON*) adı verilir. Akışkan bir düzlem (levha) üzerinde veya bir boru içinde akabilir. Akışkanın yukarıdaki sebepler nedeniyle hareketi halinde akış çizgileri düzgün ve yanyana iseler, *LAMİNER AKIŞ* veya akış çizgilerinde bir intizam bulunmayıp bir karışıklık mevcut ise *TÜRBÜLANSLI AKIŞ* söz konusudur.

Mühendislik uygulamalarında taşınım ile ısı geçişi,

$$Q = h A (T_o - T_{\infty}) \quad (2.1)$$

“NEWTON”UN SOĞUTMA KANUNU” olarak bilinen basit bir formül ile ifade edilebilir. Şekil 2-1’de gösterildiği gibi bu eşitlikte,

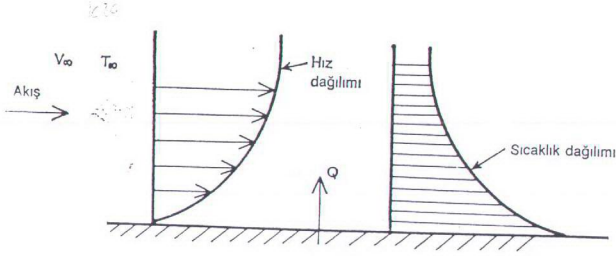
Q = cıdardan akışkana taşınım ile ısı geçişi [W]

h = ısı taşınım katsayısı [W/m² °C]

A = ısı taşınımının yapıldığı yüzey [m²]

T_o , T_{∞} = akışkan ve cıdar sıcaklıkları [°C]

anlamlandırılır.

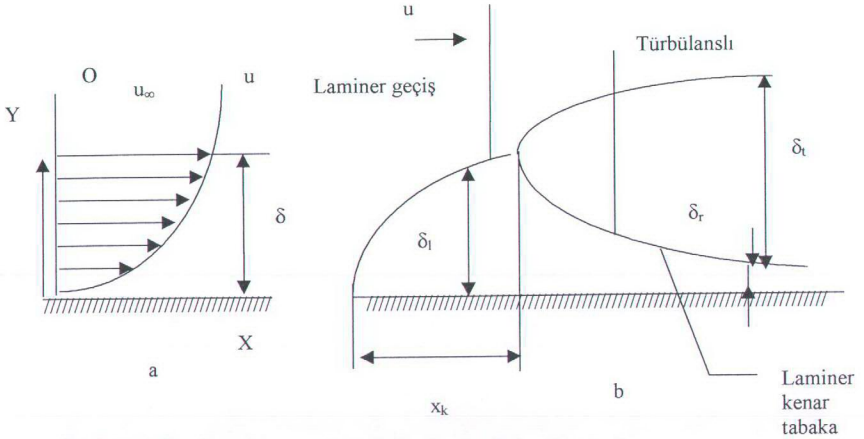


Şekil 2-1 Taşınım ile ısı geçişi

Gerçekte ısı taşınımına etki eden geometri, akışkan hızı, akışkanın fiziksel özellikleri gibi bir çok faktör, h film katsayısı içinde gizlidir. Basit bir eşitlik ile ifade edilmesine rağmen, ısı taşınımında en büyük güçlük istenilen geometride ve koşullarda h film katsayısının belirlenebilmesidir. Bu değer ancak düzlem levha etrafında, silindirik boru içinde laminar akış gibi bazı basit geometriler için teorik olarak hesaplanabilir. Olaydaki etkenlerin fazlalığı nedeniyle birçok durumda analitik çözüm imkansızdır. Bu durumlarda deneysel bulgulardan yararlanılır.

2.2 Hidrodinamik Ve Isıl Sınır Tabakalar

Şekil 2-2'de de görüldüğü gibi bir levha üzerindeki akışta hız dağılımı incelenirse, levha yüzeyindeki sıfır değerinde olan hız δ kalınlığındaki bir bölgede artma göstererek u_∞ nihai hız değerine erişir ve daha iç bölgelerde hızdaki değişme çok farklı olmayıp hızın sabit olduğu kabul edilebilir. Prandtl (1904) tarafından adlandırıldığı üzere hızın 0 değerinde u_∞ nihai değerine ulaştığı δ kalınlığındaki bu bölgeye *SINIR TABAKA* denilmektedir. Bu tabaka içinde sürtünme kuvvetleri sıfır olarak alınabilir.



Şekil 2-2 Hidrodinamik sınır tabakada laminar, türbülanslı bölgeler

Şekil 2-3’de ise herhangi bir levhanın başlangıcından itibaren sınır tabaka kalınlıkları verilmiştir. Tam girişte sıfır değerinde olan sınır tabakanın δ kalınlığının gittikçe arttığı ve ilk bölgede akışın laminar özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu bölgede sınır tabaka **LAMİNER SINIR TABAKA** olarak adlandırılır. Devamı olarak çok dar bir **GEÇİŞ BÖLGESİ**’ni takiben akışın türbülanslı olduğu **TÜRBÜLANSLI SINIR TABAKA** gelmektedir. Yapılan deneylerden aynı levha üzerindeki akışkanın u hızı arttıkça şekildeki x_k mesafesinin azaldığı ve

$$Re = u x_k / \nu \quad (2.2)$$

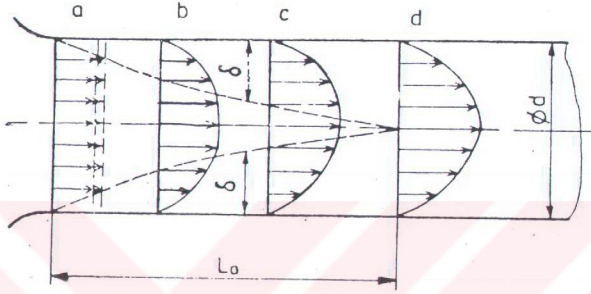
oranının daima aynı değerde kaldığı görülmüştür. $u x / \nu$ oranı boyutsuz bir sayı olup, Osborne Reynolds’a izafeten **REYNOLDS SAYISI** olarak adlandırılır. Dolayısıyla (2.2) no.lu ifade ile verilen Reynolds sayısı laminar akımdan türbülanslı akıma geçişi belirlediği için **KRİTİK REYNOLDS SAYISI** denir.

Şekil 2-4’de görüldüğü gibi d çaplı bir boru içindeki akım gözönüne alınırsa sınır tabakaların gittikçe kalınlaştığı ve ekseninde birleştikleri anlaşılır. Laminar akış için u_m ortalama hız olmak üzere,

$$Re = u_m d / \nu$$

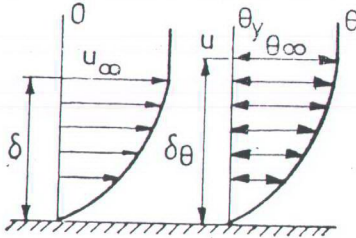
(2.3)

ile tarif edilen Reynolds sayısı için 2320 değeri kritik bir değerdir. Yani $Re_k > 2320$ olduğu zaman türbülanslı akış başlamaktadır.



Şekil 2-3 Hız dağılımının boru boyunca değişimi [6]

Laminer akışta boru girişinde belirli L_a mesafede hız parabolik bir dağılım gösterir.



Şekil 2-4 Hidrodinamik ve ısı sınır tabakaları [2]

Schiller

$$L_a / d = 0,02875 \text{ Re} \quad (2.4)$$

Graetz-Nusselt ısıl yünden

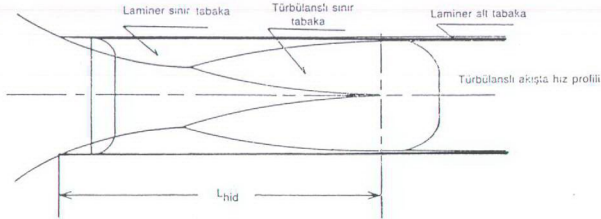
$$L_a / d = 0,05 \text{ Re Pr} \quad (2.5)$$

ifadelerini verirler.

Hidrokinamik sınır tabakaya benzer şekilde *ISİL SINIR TABAKA*'yı da tarif etmek mümkündür. θ_y sıcaklığındaki bir levha üzerinde akan akışkan sıcaklığının değişimi düşünülürse, yüzeyde θ_y değerinde olan akışkan sıcaklığının belirli bir δ mesafede nihai θ_∞ değerine ulaştığı görülür ve tabaka *ISİL SINIR TABAKA* olarak adlandırılır.

2.3 Dairesel Kesitli Boru İçinde Türbülanslı Akışta Isı Taşınımı

Reynolds sayısının 2320 değerini aşması halinde pratik olarak türbülanslı akış görülür. Türbülanslı akışta, laminar akıştan farklı olarak ana hareket doğrultusuna dik zamana bağlı gelişigüzel karışım hareketleri de vardır. Isı geçişi ana akışa ek olarak bu karışım hareketleri ile de oluşur. Bu nedenle türbülanslı akışta laminar akışa göre daha etkili bir ısı geçişi ortaya çıkar. Karışım hareketleri boru cidarına yaklaştıkça azalır, laminar alt tabaka adı verilen cidara yakın kısımlarda laminar akış karakteri görülür. Borunun orta kısmında ise hız gradyanı küçük olduğundan yaklaşık sürtünmesiz akış bulunur. Giriş bölgesinden sonraki sıcaklık dağılımı ise laminar akıştakine göre daha şişkindir.



Şekil 2-5 Boru içinde türbülanslı akışın gelişimi [6]

Türbülanslı akışta hidrodinamik bakımdan giriş uzunluğu,

$$L_{hid} = 0,693 Re^{0,25} d_i \quad (2.6)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Hidrodinamik bakımdan giriş uzunluğu türbülanslı akışta daha az etkilidir.

Isıl bakımdan giriş uzunluğuna Reynolds ve Prandtl sayıları etki eder. $Pr = 0,7$ için giriş bölgesindeki ısı transferi,

$$\frac{Nu}{Nu_{\infty}} = 1 + 2 \frac{d_i}{\chi} \quad (2.7)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Nu_{∞} , boru uzunluğunun sonsuz olması halindeki Nusselt sayısı, x ise girişten itibaren ölçülen uzaklıktır. $d_i/x = 100$ olduğunda giriş bölgesinin ısı geçişine etkisi % 2 kadardır. Bu nedenle pratik olarak $d_i/x > 60$ halinde giriş bölgesinin ısı transferine etkisi ihmal edilebilir.

2.3.1 Hidrodinamik Ve Isıl Bakımdan Tam Gelişmiş Akım Hali

Türbülanslı akışta ısı taşınımı incelemelerinde mikroskobik moleküller hareketlere ek olarak makroskobik seviyedeki karışım hareketleri de gözönüne alınmalıdır.

Laminer akışta, akışkan parçacığı boyunca ısı akısı,

$$q = -k \frac{dT}{dr} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Denklemin iki tarafı ρc_p çarpımına bölünür ise

$$\frac{q}{\rho c_p} = -\alpha \frac{dT}{dr} \quad (2.9)$$

yazılabilir. Burada α moleküler ısı yayılım katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Türbülanslı akışta ısı geçişi, bu denkleme benzer olarak

$$\frac{q}{\rho c_p} = -(\alpha + \varepsilon_H) \frac{dT}{dr} \quad (2.10)$$

ifadesi ile yazılabilir. Burada ε_H türbülanslı ısı geçişine ait eddy yayılım katsayısıdır. (2.10) bağıntısı moleküler ısı iletimi ile makroskobik eddy ısı geçişinin toplamını ifade eder. Benzer şekilde türbülanslı akışta kesme gerilmesi,

$$\tau = (\nu + \varepsilon_M) \rho \frac{dV}{dr} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ε_M , momentum geçişine ait eddy yayılım katsayısıdır. İncelemelerde ısı ve momentum geçişinin aynı oranda gerçekleşebileceği gözönüne alındığında, $\varepsilon_M = \varepsilon_H$ ve $\nu = \alpha$ veya $Pr = 1$ olduğu varsayılacaktır. (2.10) denkleminin (2.11) denklemine bölünmesi ile

$$\frac{q}{c_p \tau} dV = -dT \quad (2.12)$$

elde edilir. Ek olarak akış boyunca, ısı akısının kesme gerilmesine oranının da sabit olduğu varsayılacaktır. q_o ve τ_o sırasıyla cidardaki ısı akısı ve kayma gerilmesi ise,

$$\frac{q}{\tau} = \frac{q_o}{\tau_o} = \text{sabit} \quad (2.13)$$

yazılabilir. (2.12) bağıntısı, cidar ile karışım şartları arasında entegre edilirse,

$$\frac{q_o}{\tau_o c_p} \int_0^{V_m} dV = \int_{T_o}^{T_m} -dT \quad (2.14)$$

$$\frac{q_o V_m}{\tau_o c_p} = T_o - T_m$$

bulunur. Bu bağıntılardaki V_m hacimsel debi/kesit şeklinde tanımlanabilecek ortalama hızı, T_m ise karışım sıcaklığını göstermektedir. Cidardaki ısı akısı,

$$q_o = h (T_o - T_m) \quad (2.15)$$

şeklinde tanımlandığından ve kesme gerilmesi için

$$\tau_o = \frac{\Delta p (\pi d_i^2)}{4 \pi d_o L} = \frac{1}{4} \Delta p \frac{d_i}{L} \quad (2.16)$$

Δp borudaki sürtünme yük kaybı için,

$$\Delta p = \lambda_s \frac{L}{d_i} \frac{V_m^2}{2} \rho \quad (2.17)$$

eşitlikleri gözönünde tutulursa

$$\tau_o = \frac{\lambda_s}{8} \rho V_m^2 \quad (2.18)$$

elde edilir. Yukarıdaki eşitliklerde Δp borudaki sürtünme yük kaybını, L boru boyunu, λ_s boru cidarındaki sürtünme katsayısını göstermektedir.

(2.14) bağıntısını (2.18) eşitliğine taşınırsa

$$\frac{h}{\rho c_p V_m} = \frac{\lambda_s}{8} \quad (2.19)$$

bulunur. Bu eşitliğin sol tarafı Stanton sayısı olarak tanımlandığından,

$$St = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{\lambda_s}{8} \quad (2.20)$$

sonucuna ulaşılır. Bu bağıntı ısı taşınımı ile sürtünme kaybı arasındaki ilişkiyi verir ve Reynolds benzeşimi olarak adlandırılır.

Normal pürüzlülükteki borular içindeki akışta $2320 < Re < 120000$ bölgesinde

$$\lambda_s = 0,3164 \text{ Re}^{-1/4} \quad (2.21)$$

bağıntısı gözönüne alınırsa

$$\text{St} = 0,0396 \text{ Re}^{-1/4} \quad (2.22)$$

veya

$$\text{Nu} = 0,0396 \text{ Re}^{3/4} \quad (2.23)$$

bulunur. Bu denklem Prandtl sayısının 1 değerine yakın olduğu gaz akışkan halinde elde edilen deney bulguları ile çok iyi uyudur. Prandtl sayısının 1 değerinden farklı olması ve $\text{Re} > 3000$ için,

$$\text{St} = \frac{\text{Nu}}{\text{RePr}} = \frac{0,0396 \text{ Re}^{-1/4}}{1 + 1,5 \text{ Pr}^{-1/6} \text{ Re}^{-1/8} (\text{Pr} - 1)} \quad (2.24)$$

bağıntısı kullanılabilir. Akışkana ait fiziksel özellikler

$$T_r = T_m - \frac{0,1\text{Pr} + 40}{\text{Pr} + 72} (T_m - T_o) \quad (2.25)$$

referans sıcaklığında alınacaktır. $\text{Pr} = 1$ halinde T_r referans sıcaklığı, akışkanın ortalama karışım sıcaklığı ile cidar sıcaklığının ortalaması olan film sıcaklığına, büyük Pr sayıları halinde ise ortalama akışkan sıcaklığına yaklaşır.

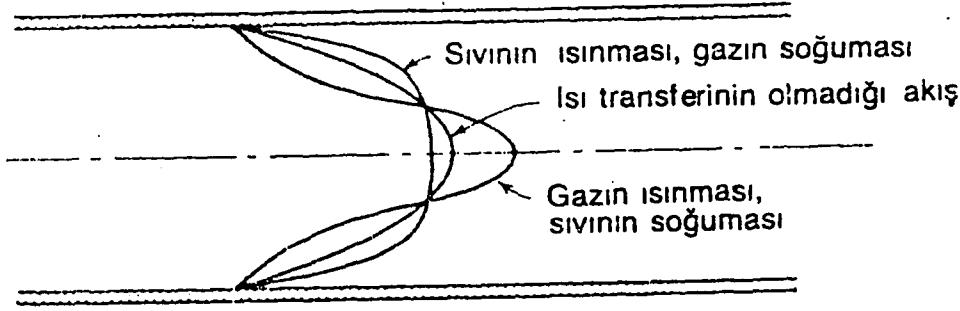
Dittus ve Boelter, $\text{Re} > 10^4$,

$0,6 \text{ Pr} 100$,

için boru içinde tam gelişmiş türbülanslı akış halinde daha basit olan

$$\text{Nu} = 0,023 \text{ Re}^{0,8} \text{ Pr}^a \quad (2.26)$$

Deneyisel bağıntısını vermektedir. Burada n akışkanın ısınması halinde 0,4, soğuması halinde ise 0,3 değerlerindedir. Fiziksel özellikler ortalama akışkan sıcaklığında alınacaktır.



Şekil 2-6 Isınma veya soğumanın hız dağılımına etkisi

Cidar ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark büyükse, viskozitedeki değişim

Şekil 2-6'de görüldüğü gibi hız dağılımını değiştirir ve bu da ısı geçişini etkiler.

Sieder ve Tate, fiziksel özelliklerin değişimini gözönüne alarak $Re \geq 10^4$, $0,7 < Pr < 400$ aralığı için, boru içinde tam gelişmiş türbülanslı akışta

$$Nu = 0,027 Re^{0,8} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_o} \right)^{0,14} \quad (2.27)$$

bağıntısını vermektedirler. Bağıntıda μ_o akışkanın dinamik viskozitesi dışındaki bütün fiziksel özellikleri karışım sıcaklığında alınacaktır.

2.3.2 Hidrodinamik Bakımdan Gelişmiş, Isıl Bakımdan Gelişmemiş Akım Hali

$L/d < 60$, $0,6 < Pr < 1000$ ve $2320 < Re < 15 \cdot 10^4$ değerleri için hidrodinamik bakımdan gelişmiş, ısıl bakımdan gelişmemiş kısa borularda Hausen,

$$Nu = 0,116(Re^{2/3} - 125)Pr^{1/3} \left[1 + \left(\frac{d}{L} \right)^{2/3} \right] \left(\frac{\mu}{\mu_o} \right)^{0,14} \quad (2.28)$$

bağıntısını vermektedir. Bağıntıda μ_o duvar ısı sıcaklığında, diğer fiziksel özellikler ise karışım sıcaklığında alınacaktır.

Aynı şartlar için daha basit olarak Elser tarafından

$$Nu = 0,273 Re^{7/12} Pr^{1/3} (d/L)^{1/3} \quad (2.29)$$

bağıntısı önerilmektedir.

2.3.3 Hidrodinamik Ve Isıl Bakımdan Tam Gelişmemiş Akım Hali

$L/d < 10$, $Re > 2320$ halinde kısa borularda Hausen tarafından verilen

$$Nu = 0,027 \left[1 + \left(\frac{d}{L} \right)^{2/3} \right] Re^{0,8} Pr^n \quad (2.30)$$

bağıntısı kullanılabilir. n üssü akışkanın ısıtılması halinde 0,37, soğutulması halinde ise 0,3 değerlerindedir.

2.3.4 Dairesel Kesitli Olmayan Kanallarda Türbülanslı Akışta Isı Taşınımı

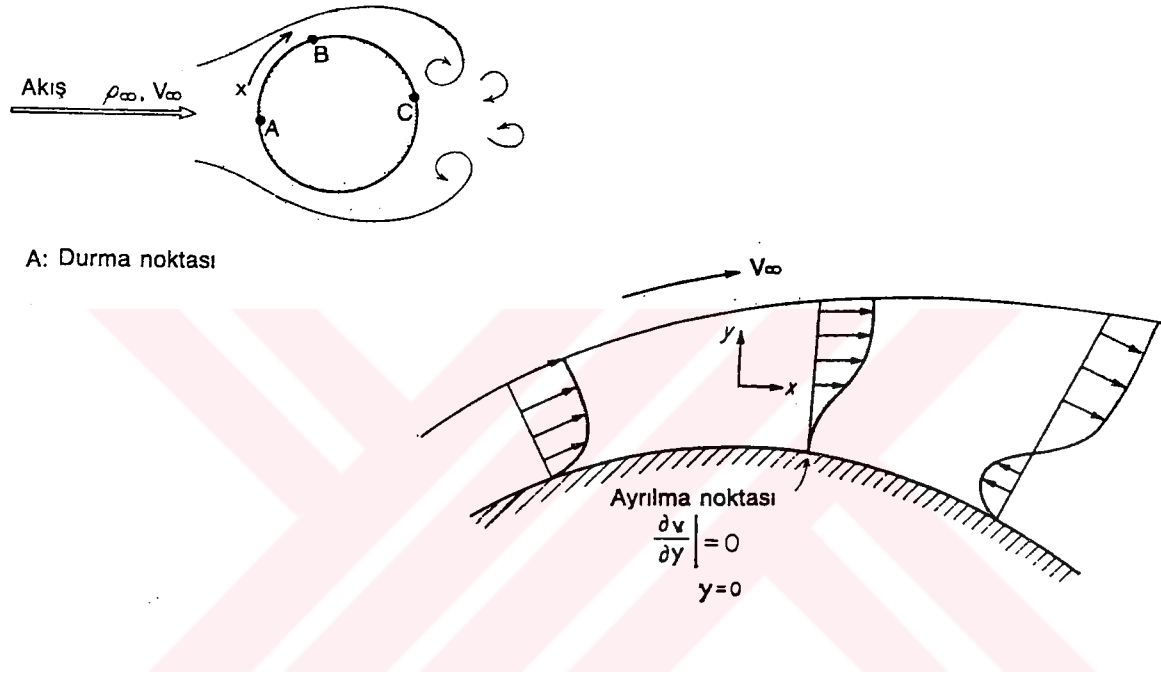
Daha önce dairesel kesitli borular içindeki türbülanslı akışlara ait verilen bütün bağıntılar, d_i iç çap yerine,

$$d_h = \frac{4S}{\zeta} \quad (2.31)$$

şeklinde tanımlanan hidrolik çapı konularak dairesel kesitli olmayan kanallar için kullanılabilir. Burada S akış kesit alanını, ζ ise ıslak çevreyi göstermektedir.

2.3.5 Silindir Ve Küreye Zorlanmış Dik Akışta Isı Taşınımı

Bir silindir veya küreye dik akış halinde, Şekil 2-7’de belirtildiği gibi cismin arka yüzeyinde ayrılmalar görülür. Yüzey üzerinde sınır tabakanın gelişimi ve ayrılmalar ısı geçişini etkilediğinden öncelikle bu ayrılmalar hakkında bilgi verilmesi uygundur.



Şekil 2-7 Silindir ve kürede dik akış ayrılma noktasının belirlenmesi [6]

Bu tip cisimlerde akışın yapıldığı ön taraftaki durma noktasında hız sıfır olup, basınç en yüksek değerdedir. Yüzey boyunca x doğrultusunda gidilirse AB kısmında hız artar, basınç azalır. BC kısmında ise hız azalırken basınç artmaya başlar. Yüzey üzerinde,

$$\left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad (2.32)$$

olduğu yerde kritik bir durum görülür. Ayrılma noktası adı verilen bu noktanın ilerisinde yüzeye yakın kısımda bir geri dönüş bölgesi ve girdap hareketleri vardır. Ayrılma noktasının yeri ayrılma esnasında akışın laminar veya türbülanslı olmasına göre değişir. Silindire dik akışta, çapa göre tanımlanmış Reynolds sayısının yaklaşık 10^5 değerinde türbülanslı akış görülür.

Silindir ve küreye dik akışta Nusselt sayısı yüzey boyunca değişir. Ayrılma bölgesi ve girdap hareketlerinin karmaşıklığı nedeniyle, bu bölgede yerel film katsayılarının analitik hesabı imkansızdır. Uygulama açısından da bütün çevreye ait ortalama bir Nusselt sayısının (veya film katsayısının) bilinmesi önem kazandığından, bu tip geometrilerde ortalama Nusselt sayıları veren deneysel bağıntılar kullanılır.

2.3.5.1 Silindire Dik Akış

Hilbert gazlarda, Kundsen ve Katz, sıvılarda dairesel kesitli silindire dik akışta,

$$\overline{Nu}_d = \frac{hd}{k_f} \quad , \quad Re_d = \frac{V_\infty d}{\nu_f} \quad (2.33)$$

olmak üzere,

$$\overline{Nu}_d = C Re_d^n Pr_f^{1/3} \quad (2.34)$$

Deneysel bağıntılarını vermektedirler. Bu bağıntıdaki fiziksel özellikler film sıcaklığındandır. C ve n değerleri Tablo 2-1'den alınabilir.

Fand ise sıvı akışkanlar için [6]

$$\overline{Nu}_f = (0,35 + 0,56 Re_f^{0,52}) Pr_f^{0,3} \quad (2.35)$$

şeklinde daha kullanışlı bir bağıntı vermektedir. Bu bağıntı $10^{-1} < Re_f < 10^5$ aralığında türbülans şiddetinin fazla olmadığı durumlar için uygulanabilir.

Dairesel olmayan kesitli silindirlere dik akış için Jakob, çeşitli araştırmacıların bulgularından hareketle (2.34) bağıntısındaki C ve n katsayıları tespit etmiştir. Bazı geometrilere ait sonuçlar Tablo 2-2’de görülmektedir.

Silindire eğik akış halinde film katsayısı dik haldekinden daha küçüktür. Önceki bölümlerde verilen bağıntılar, Tablo 2-3’de verilen katsayılar ile çarpılarak eğik akış için kullanılabilir.

2.3.5.2 Kürede Zorlanmış Akış

Mcadam gaz akışkanlarda, $17 < Re < 70,000$ halinde kürede zorlanmış ısı taşınımı için

$$\overline{Nu}_d = 0,37 Re_d^{0,6} \quad (2.36)$$

bağıntısını önermektedir. Achenbach ise hava halinde $Pr = 0,71$ alarak, Re_d sayısının daha geniş aralığında $100 < Re_d < 3 \cdot 10^5$ için,

$$\overline{Nu}_d = 2 + \left(0,25 + 3 \cdot 10^{-4} Re_d^{1,6}\right)^{0,5} \quad (2.37)$$

$10^5 < Re_d < 5 \cdot 10^6$ için

$$\overline{Nu}_d = 430 + a Re_d + b Re_d^2 + c Re_d^3 \quad (2.38)$$

bağıntılarını vermektedir. Sonuncu bağıntıda,

$$a = 5 \cdot 10^{-3}, b = 2,5 \cdot 10^{-10}, c = -3,1 \cdot 10^{-17}$$

değerlerindedir.

Kramers sıvı akışkanlar için $1 < Re_d < 200$ durumunda,

$$\overline{Nu}_d Pr^{-0,3} = 0,97 + 0,68 Re_d^{0,5} \quad (2.39)$$

bağıntısını, Vliet ve Leppert ise $1 < Re_d < 200000$ gibi daha geniş bir aralıkta

$$\overline{Nu}_d Pr^{-0,3} \left(\frac{\mu_o}{\mu} \right)^{0,25} = 1,2 + 0,53 Re_d^{0,54} \quad (2.40)$$

bağıntısını vermektedir. Yukarıdaki bağıntıda μ_o dışındaki tüm fiziksel özellikler serbest akış şartlarında alınacaktır.

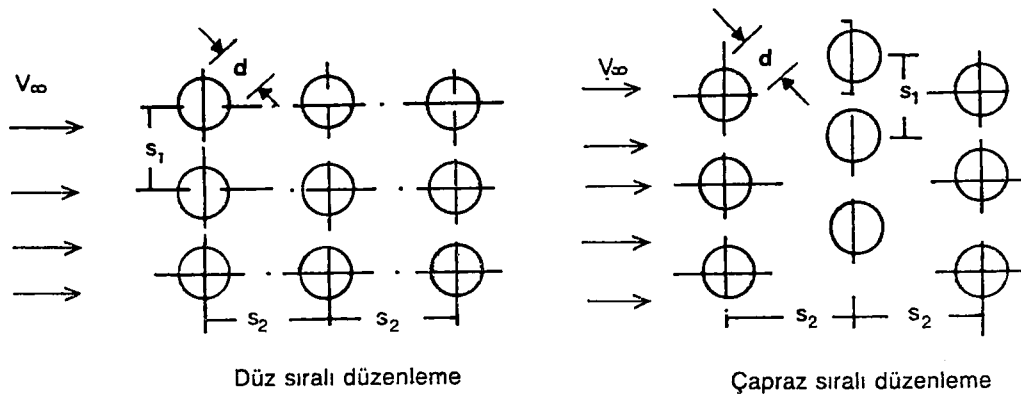
Whitaker bütün bu deneysel bulgulardan hareket ederek gazlar ve sıvılarda, $0,7 < Pr < 380$ ve $3,5 < Re_d < 8 \cdot 10^4$ aralığı için

$$\overline{Nu}_d = 2 + \left(0,4 Re_d^{1/2} + 0,06 Re_d^{2/3} \right) Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_o} \right)^{1/4} \quad (2.41)$$

bağıntısını elde etmiştir. μ_o cıdar şartlarında, bunun dışındaki bütün fiziksel özellikler serbest akış şartlarında alınacaktır.

2.3.5.3 Boru Demetine Dik Akış

Pratikteki ısı değıştircilerin çoğu, boru demetlerinden yapıldığı için, bu tip geometrilerdeki ısı geçiş karakteristiklerinin incelenmesi önem kazanır. Şekil 2-8’de gösterildiği gibi boruların düz sıralı veya çapraz sıralı düzenlemeli hallerindeki ısı transferi karakteristikleri Grimson tarafından incelenmiş ve sonuçlar (2.34) bağıntısına benzer şekilde sunulmuştur, bağıntıdaki C ve n değerleri Tablo 2-4’de verilmiştir.



Şekil 2-8 Boru demetinin çeşitli şekillerde düzenlenmeleri

Bu bağıntı akışkan hızının en dar kesitteki,

$$V_{\max} = V_{\infty} \frac{s_1}{s_1 - d} \quad (2.42)$$

değerine göre tanımlanmış Reynolds sayısının

$$2000 < Re_{\max} = \frac{V_{\max} d}{\nu} < 40000 \quad (2.43)$$

aralığı için geçerlidir. Akışkanın fiziksel özellikleri film sıcaklığından alınacaktır. Boru demetine dik akışı daha geniş bir Reynolds sayısı aralığı için inceleyen Zukauskas ısı geçişini

$$\overline{Nu}_d = A Re_{\max}^a Pr^{0.36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_o} \right)^{0.25} \quad (2.44)$$

şeklinde önermiştir. Bu bağıntıdaki A ve a değerleri Tablo 2-5’de verilmiştir.

Bu bağıntıda Reynolds sayısı en dar kesitteki hıza göre belirlenmektedir. Akışkanın fiziksel özellikleri ortalama karışım sıcaklığında alınmaktadır. Akışa dik boru sayısı 10’dan az ise bulunan sonuçlar Tablo 2-6’daki değerler ile çarpılmalıdır.

Boru demetine dik akışta film katsayısı akışkanın dumangazı veya hava olması halinde Shack tarafından: [6]

Hava için:

$$\bar{h} = 1,61 T_f^{0,25} V_o^{0,61} d^{-0,39} f_a \quad (2.45)$$

Dumangazı için:

$$\bar{h} = 1,69 T_f^{0,25} V_o^{0,61} d^{-0,39} f_a \quad (2.46)$$

şeklinde verilmiştir. Bu bağıntılarda h (W/m²C), V_o (m/s) normal şartlarda en dar kesitteki gaz hızı, d (m) boru dış çapı, T_f (K) film sıcaklığı olup f_a katsayısı; Düz sıralı düzenlemede:

$$f_a = 1,07 - 0,65 \left(\frac{s_1}{d} \right)^{1,5} \left(\frac{s_2}{d} \right)^{-4} \quad (2.47)$$

Çapraz sıralı düzenlemede:

$$f_a = 0,874 + 0,084 \left(\frac{s_1}{d} \right) + 0,286 \left(\frac{s_2}{d} \right)^{-2} \quad (2.48)$$

şeklinde verilmiştir.

2.3.5.4 Kanatlı Borulara Dik Akış

Dairesel kesitli üçgen dizilişli kanatlı boruya dik akış için Briggs ve Young

$$\frac{\bar{h}d}{k} = 0,314 \left(\frac{V_{\max} d}{\nu} \right)^{0,681} Pr^{1/3} \left(\frac{s}{\lambda} \right)^{0,2} \left(\frac{s}{b} \right)^{0,113} \quad (2.49)$$

bağıntısını önermektedirler. Bağıntıda, h ortalama ısı tşşınım katsayısını, d kanatlı borunun kök çapını, s kanatlar arası açıklığı, λ kanat yüksekliğini, b ise kanat kalınlığını göstermektedir.

Kanatlı yüzeylerdeki akışa etki eden parametrelerin fazlalığı nedeniyle ısı geçişi ile ilgili bilgiler için genellikle imalatçı firma kataloglarından yararlanılır.

2.3.5.5 Kanatlı Borularda Kanat Tespitlerinin Isı Geçişine Etkisi

2.3.5.5.1 Tanım

Kanatlı borular ısı tekniğinde, ısı değıştircileri, kondenserler – yoğuşturuculu – ısıtıcılar, yağ soğutucuları, çabuk su ısıtıcıları – şofbenler – bileşik ısıtma – kombi – cihazları gibi çeşitli gayelerle kullanılır.

Şekil 2-9'da Favier firmasının, Şekil 2-10'da KM Schmöle firmasının, Şekil 2-11'de Demirdöküm firmasının ürünleri çeşitli kanatlı boru örnekleri görölmektedir.

Kanatlı borularda ısı geçişinin iyi olmasında kanat boyutları ile malzeme dışında en önemli husus kanat diplerinin boru veya kanal yüzeylerine çok iyi tespit edilmeleridir.

Tornada şeritlerin boru etrafına sarılması yöntemiyle yapılan kanatlı borulara dikkat edilirse, kanat diplerinde büzüşmeler meydana gelip iyi olmadığı için geçişi belirgin şekilde azalmaktadır. Hatta bu sebeple bu yöntemle yapılan kanatlı borular galvaniz banyosuna konularak ara boşlukların doldurulması yoluna gidilmektedir.

Haddeleme yoluyla özellikle aliminyum ve bakırdan yapılan borularda doğal olarak böyle bir sorun yoktur.

KM Schmöle firması tarafından üretilen bazı kanatlı borularda kanat dipleri üretim sürecinde lazer ışınları ile boru yüzeylerine tespit edilmekte olup bu sorun ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 2-12'de 1,5 mm et kalınlığındaki boruya 0,4 mm kalınlığındaki X4CrNi 18010, X5CrNiMo 17 22 2, X2 CrNi MoN 17 13 5, X 6Cr NiMoTi 17 12 2 (R,B) gibi malzemelerden yapılmış kanatların lazer ışınları ile tespit edilmesi görölüyor. Dikkat edilirse lazer ışını kaynağı ile kanat boruya 0,2 mm derinlikle çok iyi tespit edilebilmektedir.

Bazı üretimlerde ise boru çapı sonradan genişletilerek kanat ile boru arasında çok iyi tesbit sağlanmaktadır.

2.3.5.5.2 Kanatlı Borularda Kanat - Boru Boşluğun Sıcaklık Değişimine Etkisi

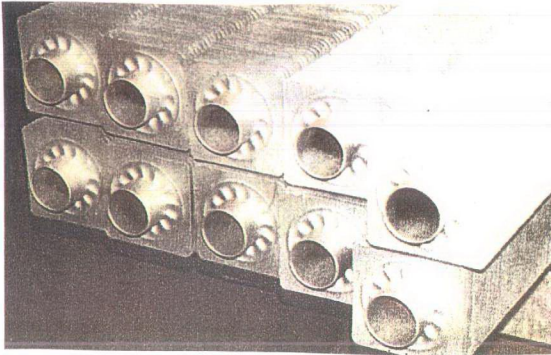
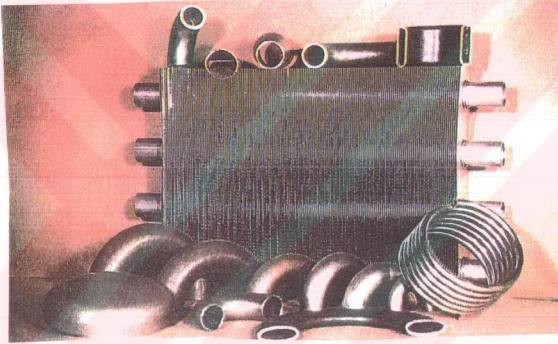
Şekil 2-13'de 0,1 mm kalınlıktaki kanadın boruya tespitinde kanat dibi ile boru arasında 0,05 mm boşluk bulunması ve lazer ışınıyla kaynak yapılması – boşluk bulunmaması – hallerindeki sıcaklık değışimleri görölmektedir.

Dikkat edilirse kanat dibi ile boru arasında boşluk bulunması halinde kanat ucunda 250°C olan sıcaklık kanat dibinde 210°C ye düşmekte ve hava boşluğu sebebiyle borunun iç yüzeyi sıcaklığı 45°C olmaktadır.

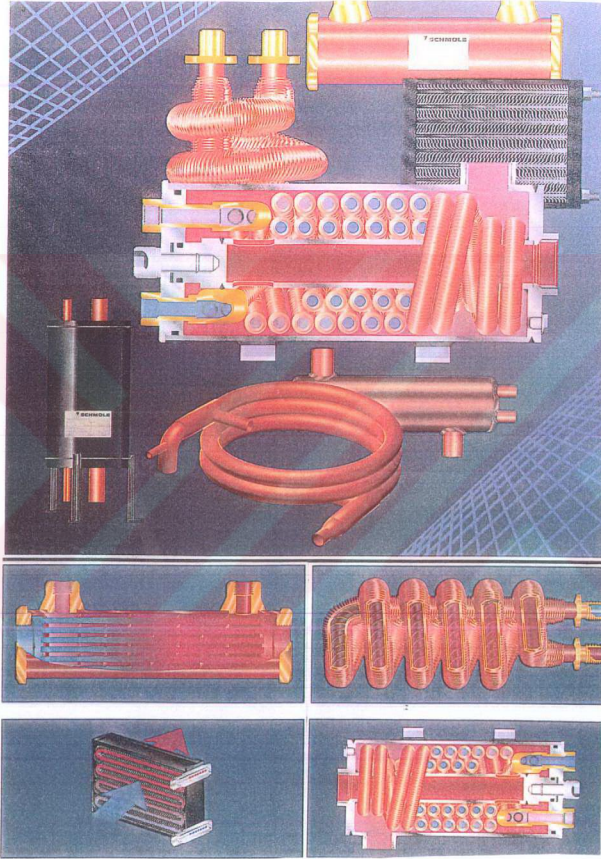
Sağdaki şekil hava boşluğu bulunmadığı için kanat dibinde de ısı akısı devam ettiğinden borunun iç yüzey sıcaklığı 105°C olmaktadır.

Şekil 2-14'de ise 0,4 mm kalınlıktaki kanadın 1,2 mm et kalınlığındaki boruya tespit edilmesi halinde arada hava boşluğu bulunması ve bulunmamasına göre sıcaklık değişimleri görülmektedir.

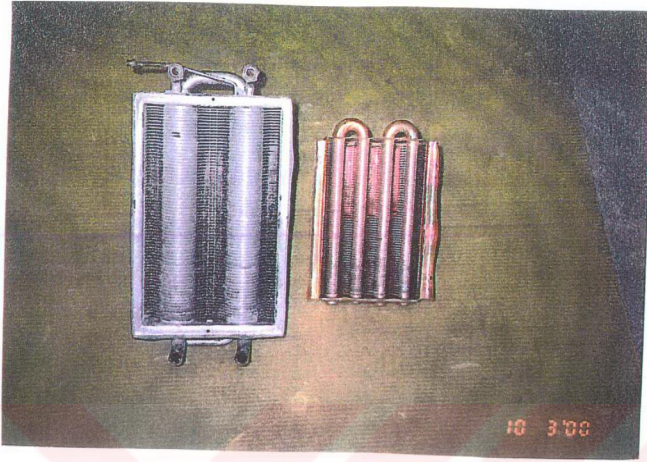
Şekil 2-15'de 22 mm iç çapı 1,5 mm et kalınlığı, 10 mm kanat yüksekliği olduğuna göre arada boşluk bulunup bulunmaması hallerinde sıcaklık değişimleri verilmiştir.



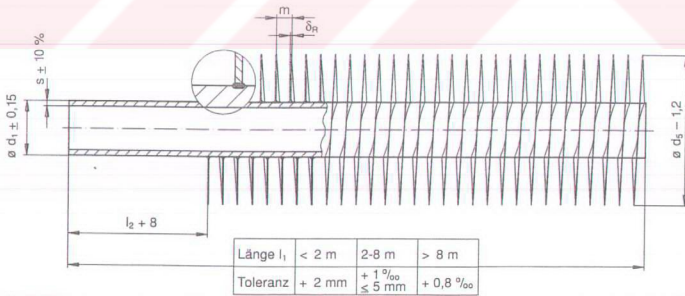
Şekil 2-9 Isı tekniğinde çeşitli kanatlı boru örnekleri



Şekil 2-10 Isı tekniğinde çeşitli kanatlı boru örnekleri



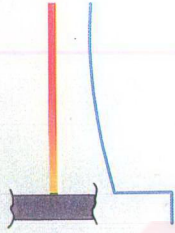
Şekil 2-11 Çeşitli kanatlı boru uygulamaları



Şekil 2-12 Lazer ışını ile düzeltilmiş kanatlı boru

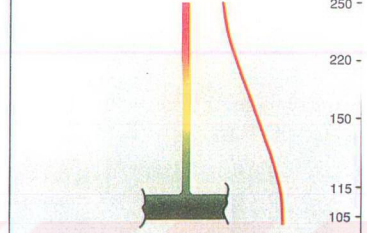
Kaynaksız durum

Temp.
[°C]



% 100 kaynaklı durum

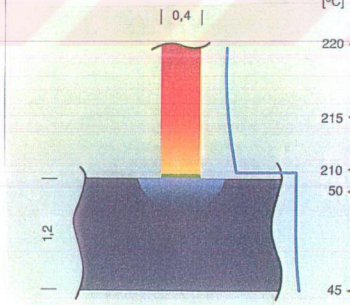
Temp.
[°C]



Şekil 2-13 Kanat dip kalınlığındaki boşluğa göre sıcaklık değişimleri [8]

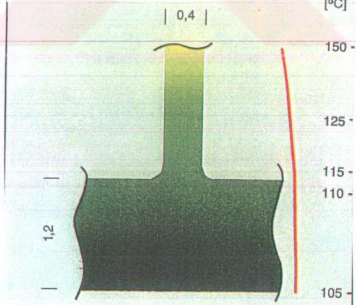
Kaynaksız durum

Temp.
[°C]

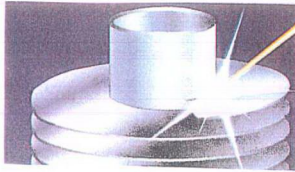
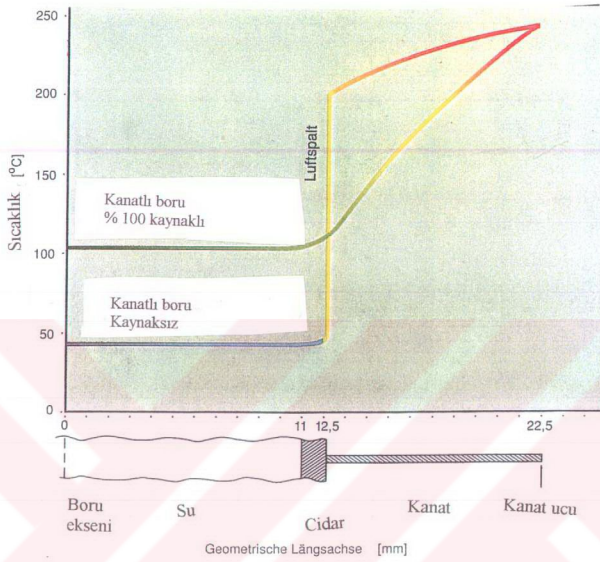


% 100 kaynaklı durum

Temp.
[°C]



Şekil 2-14 Kanat dip kalınlığındaki boşluğa göre sıcaklık değişimleri [8]



Şekil 2-15 Kanatın boru yüzeyine tesbitinde arada boşluk bulunup bulunmamasına göre sıcaklık değişimi [8]

2.3.6 Yapay Pürüzlü Boruların Kullanma Yerlerinden Örnekler

Yapay pürüzlü borularda boru içindeki ısı taşınım katsayısı düz boru pürüzsüz borulara nazaran daha yüksek olduğu için ;

- Yağ soğutması,
- Gaz ısıtması veya soğutması,
- Su ısıtması veya soğutması,
- Soğutucu akışkan yoğunlaşması veya buharlaşması,
- Buharın ara kızdırması,

Ve benzeri ısı geçiş olaylarında yapay pürüzlü borular çok kullanılır.

Bu işlevleri daha da iyileştirmek için dışlarında kanatların da bulundukları borular tercih edilir.

Yapay pürüzlü ve kanatlı borular genellikle bakır, bakır alaşımları, alüminyum, alüminyum alaşımları,

asil çelik vb. malzemelerden yapılırlar.

Kanatlar yüksekliklerine göre;

- 1,5 mm'ye kadar küçük boyda
- 4.5 mm'ye kadar orta boyda
- 15 mm'ye kadar büyük boyda

olmak üzere üç grupta toplanırlar.

Kanatların hatveleri ise kullanma yerlerine göre;

- 0,64-1,34 mm (40-16 kanat/inç)
- 1,27-2,54 mm (20-10 kanat/inç)
- 2,82-6,32 mm (9-4 kanat/inç)
- 2,31-12,70 mm (11-2 kanat/inç)

olarak değişir.

Bazı tiplerde dış yüzeyde kanatlar yerine piramit yapı – küçük piramit geometrilili – pürüzler söz konusudur.

Özellikle yağ soğutması yapılan yüksekliği yaklaşık 2-4 mm genişliği 6-10 mm olan yanyana kanallardan meydana gelmiş ve alüminyumdan yapılan boruların üst ve alt yüzeylerinde balık sırtını andıran kanatlar bulunmaktadır.

Dairesel kesitli boruların içlerinde ise helis şeklinde açılmış pürüzler bulunmaktadır.

Bilindiği üzere helisin eksen ile yaptığı açının 45° olması halinde içteki

- ısı taşınım katsayısı en büyük
- basınç düşüşü en az

olmaktadır.

Yukarıda kullanma örnekleri verilen hallerde helis ağzları 6 ile 40 arasında değişmektedir.

Şekil 2-16'da KM Schmöle firması tarafından üretilen yapay pürüzlü ve kanatlı boruların çeşitli tipleri görülmektedir.

Tablo 2-7'de ise Şekil 2-16'de verilen boru tiplerini kullanma yerlerine ait örnekler ile bazı ana değerler görülmektedir.

Bilindiği üzere borularda geçen ısı

$$Q = \frac{2\pi(T_{1a} - T_{2a})L}{\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{1}{k} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{r_2 h_2}} \quad (2.50)$$

ifadesi ile belirlidir ve bu ifadede,

$T_{1a} - T_{2a}$: iç ve dış akışkan sıcaklıkları

$[K, ^\circ C]$

h_1, h_2 : iç ve dış ısı taşınım katsayıları

$[W / m^2 K], [kcal / m^2 h^\circ C]$

r_1, r_2 : borunun iç ve dış yarıçapları

$[m]$

k : borunun ısı iletim katsayısı

$[W / mK], [kcal / mh^\circ C]$

L : borunun uzunluğu

$[m]$

olmaktadır.

$$K_b = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1 h_1} + \frac{1}{k} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{r_2 h_2}} [W / mK] [kcal / mh^\circ C] \quad (2.51)$$

denirse

$$Q = K_b (T_{1a} - T_{2a}) L \quad (2.52)$$

yazılabilir.

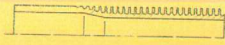
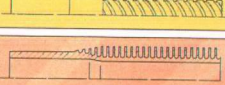
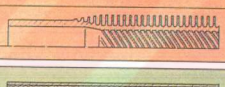
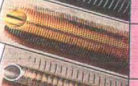
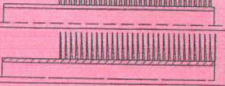
Son ifadedeki K_b katsayısı 1 m uzunluğundaki boruda toplam ısı geçiş katsayısı olup $[W / mK]$ veya $[kcal / mh^\circ C]$ birimindedir.

Şekil 2-17’de hava soğutması veya ısıtmasında kullanılan borulardaki K_b toplam ısı geçiş katsayısının su hızına göre, Şekil 2-18’de dış tarafta yoğunlaşma, Şekil 2-19’da dış tarafta buharlaşma ve Şekil 2-20’de ise boru içinde buharlaşma olduğu hallerde boru K_b toplam ısı geçiş katsayısının su hızına göre değişimleri verilmiştir.

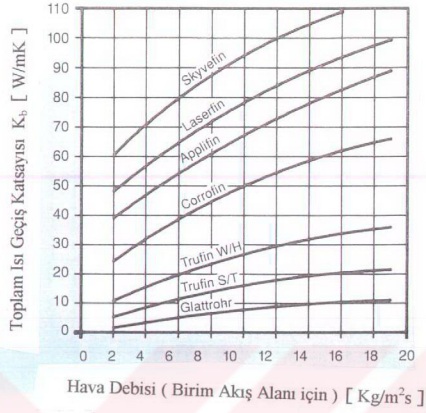
Bu diyagramlara dikkat edilirse yapay boru halinde çeşitli boru tipleri için boru K_b toplam ısı geçiş katsayıları pürüzsüz ve kanatsız boruya nazaran en az iki misli daha fazla olmaktadır.

Tablo 2-7’ye dikkat edilirse boru içinde yoğunlaşma veya buharlaşma olması hallerinde çok ağızlı helisel yapay pürüzlü borular tercih edilmektedir.

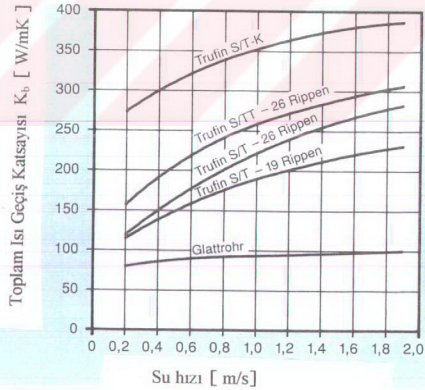
Şekil 2-21’de bu tip borulardaki belirleyici boyutlar görülmektedir. Tablo 2-8’de de bu tip boruların an ölçüleri verilmiştir.

	Trufin S/T	niedrigberippt	835 d	
	Trufin S/TT (Turbo-Chil)	Rippenhöhe bis 1,5 mm		
	Trufin S/T-K Kondensator- rohr	spezielle Außenstruktur	836 d	
	Trufin W/H	mittelhoch- berippt	837 d	
	Trufin W/HT (Turbo-Chil)	Rippenhöhe bis 4,5 mm		
	I/R Verdampfer- rohr	außen glatt	833 d	
	S/R-X Verdampfer- rohr	spezielle Außenstruktur		
	Trufin L/C	hochberippt Rippenhöhe bis 9 mm	885 d	
	Skyvefin	Rippenhöhe bis 15 mm		
Rippenrohre aus Rohr und Band				
	Lasertfin®	Laser- geschweißt	843 d	
	Corrofin®	gelötet	841 d	
	Applifin®	genutet		

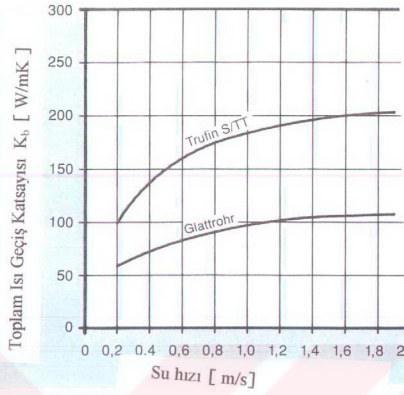
Şekil 2-16 Schmöle firmasının ürünü yapay pürüzlü ve kanatlı borular [8]



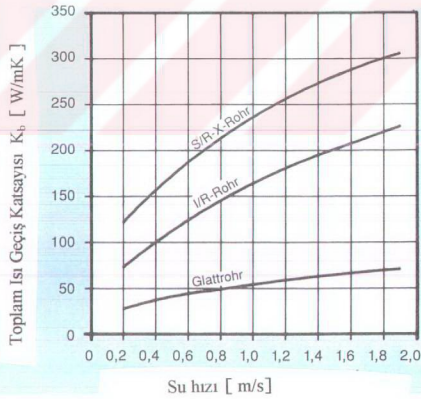
Şekil 2-17 Hava soğutması veya ısıtmasında değişim [8]



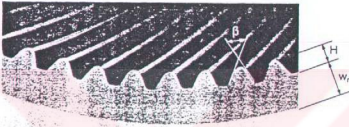
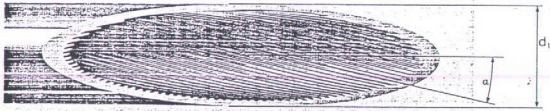
Şekil 2-18 Dış tarafta yoğunlaşma olması halinde değişim [8]



Şekil 2-19 Dış tarafta buharlaşma olması halinde değişim [8]



Şekil 2-20 Boru içinde buharlaşma olması halinde değişim [8]



d_1 : dış çap
 α : helis eksen açısı
 β : pürüz açısı
 H : pürüz yüksekliği
 w_r : boru kalınlığı

Şekil 2-21 Helisel şekilli yapay pürüzlü borularda belirleyici boyutlar

3 ÇELİK KAZANDA ISI TAŞINIM KATSAYISININ ARTIRILMASI

Çelik kazanlarda ısı taşınım katsayısının artırılması ile kazan ısı veriminin artırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle değişik tip türbülötörler denenerek ve mevcut türbülötörler üzerinde dizayn girdileri değiştirilerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Tezin bu bölümünde deneyin amacı, deney ekipmanları ve deney sonuçları belirtilmiştir.

3.1 Deneyin Amacı

Çelik kazanlarda ısı taşınımını arttırmak, dolayısıyla kazan ısı verimini arttırmak için kullanılacak parametrelerden biri olan kanallar içinde türbülanslı bir akış meydana getirmek amacıyla değişik formlarda ve mevcut türbülötörlerin parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

Deney sonucunda yapılan çeşitli modifikasyonların kazan ısı verimi, erişilen baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Kazan dizayn parametrelerine göre en uygun sonuçları veren türbülötörler seçilmiştir.

3.2 Deney Ekipmanları

Deneyler sırasında 60,000 kcal/h, 80,000 kcal/h, 100,000 kcal/h, 130,000 kcal/h, 160,000 kcal/h, 200,000 kcal/h ve 360,000 kcal/h kapasiteli çelik kazanlar kullanılmıştır. Ayrıca deney sırasında kullanılan düzeneğe ile bilgisayardan aşağıda belirtilen değerler kontrol edilebilmektedir:

- Zaman
- Gaz basıncı
- Oda sıcaklığı
- Yakıt sıcaklığı
- O₂, CO, NO ve CO₂ değerleri

- Yanma verimi
- Kayıplar
- Hava fazlalık katsayısı
- Giriş, çıkış ve soğuk su sıcaklıkları
- Sıcaklık farkı
- Giriş suyu debisi
- Isıl güç
- Kazan verimi

Deneylerde kullanılan kazanlara ait konstruksiyon ve ısı bilgileri ilerdeki bölümlerde incelenmiştir. Çelik kazanlar iç gövde silindirik, dış gövde ise prizmatik olarak dizayn edilmiştir. Yanma odası alev geri dönüşlüdür. Duman boruları içine yerleştirilmiş türbülötörlerle ısı transferi artmaktadır. Standart üretim 3 bar işletme basıncına göre tasarlanmıştır.

3.2.1 Çelik Kazanların Mukavemet Ve Termodinamik Hesaplamaları

3.2.1.1 CK 60 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 60

ANMA ISI GÜCÜ : 60.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.1.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.1)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (t) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir katsayı.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.2)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (t) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 , σ_1 / σ_2 değeri oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir (3500 kgf/cm²).

T değeri;

$$T = T_s + \Delta T \quad (3.3)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.5)$$

alınır. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.6)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 320}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2 \text{ mm} \quad (3.7)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.1.2 Ön Ayna Et Kalınlığı:

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.8)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti (bar),

C : 0,55 alınmıştır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 104 mm),

$$T = 90 + (4 * 10 + 30) = 160 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.9)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.10)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.11)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55.104. \sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 4,13 \text{ mm} \quad (3.12)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.1.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.13)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti ,

C : 0,42 alınmıştır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir katsayı,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirme çubukları ve duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 154 mm).

$$T = 90 + (2*10) = 110 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad (3.15)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.16)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42.154. \sqrt{\frac{3}{0,85.1028,12}} + 0,75 = 4,53 \text{ mm} \quad (3.17)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.1.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.18)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.19)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114 [9]
e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan katsayı.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.312.(600 + 610)}}{330} + 1 = 4,22 \text{ mm} \quad (3.20)$$

veya

$$s = \frac{3.312}{1114} + \frac{600}{320} + 1 = 3,71 \text{ mm} \quad (3.21)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.1.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.22)$$

$$T = 90 + (4*10) + 30 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.23)$$

ve

$$\sigma_1/\sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.24)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.25)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz)

Buna göre;

$$s = 0,45 \cdot 200 \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1006,25}} + 0,75 = 6,08 \text{ mm} \quad (3.26)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.1.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 0,64 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 2,31 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,2 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,27 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 3,43 m²

3.2.1.1.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,042 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 76087 kcal/h

Spesifik yanma odası yüklemesi: 76087/0,042=1.811.595 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yüklemesi: 76087/3,43=22.183 kcal/m²h

3.2.1.2 CK 80 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 80

ANMA ISI GÜCÜ : 80.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.2.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.27)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde i  yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (T) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir katsayı.

σ_f değeri řu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.28)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri ve σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20 C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T=T_s+\Delta t \quad (3.29)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.30)$$

ve

$$\sigma_1/ \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.31)$$

bulunur. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.32)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 320}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2mm \quad (3.33)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.2.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad (3.34)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti ,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir katsayı,

y : Gerdirmeli çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 104 mm),

$$T = 90 + (4 \cdot 10 + 30) = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.35)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.36)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.37)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55 \cdot 104 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1006,25}} + 0,75 = 4,13 \text{ mm} \quad (3.38)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.2.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y.\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.39)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir katsayı,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirme çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 154 mm).

$$T = 90 + (2*10) = 110 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.40)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.41)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.42)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42.154.\sqrt{\frac{3}{0,85.1028,12}} + 0,75 = 4,53 \text{ mm} \quad (3.43)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.2.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.44)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.45)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114 [9]

e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan katsayı.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.312.(600+610)}}{330} + 1 = 4,22 \text{ mm} \quad (3.46)$$

veya

$$s = \frac{3.312}{1114} + \frac{600}{320} + 1 = 3,71 \text{ mm} \quad (3.47)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.2.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı

$$s = C.y.\sqrt{\frac{p}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.48)$$

$$T = 90 + (4*10) + 30 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.49)$$

ve

$$\sigma_1/ \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.50)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.51)$$

$$C=0.45 \text{ (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz) } [9]$$

Buna göre;

$$s = 0,45.200\sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 6,06 \text{ mm} \quad (3.52)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.2.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 0,64 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 2,80 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,19 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,26 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 3,89 m²

3.2.1.2.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,042 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 97826 kcal/h

Spesifik yanma odası yüklemesi: 97826/0,042=2.329.192 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yüklemesi: 97826/3,89=25.150 kcal/m²h

3.2.1.3 CK 100 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 100

ANMA ISI GÜCÜ : 100.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.3.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:

$$s = \frac{p \cdot r}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.53)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (t) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir katsayı.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.54)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T = T_s + \Delta T \quad (3.55)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.56)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.57)$$

bulunur. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.58)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 365}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2,17 \text{ mm} \quad (3.59)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.3.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.60)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 104 mm)

$$T = 90 + (4 * 10 + 30) = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.61)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.62)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.63)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55.104. \sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 4,13 \text{ mm} \quad (3.64)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.3.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.65)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirmе çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirmе çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 197 mm).

$$T = 90 + (2 * 10) = 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.66)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.67)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 \cdot 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.68)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42.197. \sqrt{\frac{3}{0,85.1028,12}} + 0,75 = 5,6 \text{ mm} \quad (3.69)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.3.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.70)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.71)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114

e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan katsayı.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.412.(700+610)}}{330} + 1 = 4,85 \text{ mm} \quad (3.72)$$

veya

$$s = \frac{3.412}{1114} + \frac{700}{320} + 1 = 4,29 \text{ mm} \quad (3.73)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.3.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.74)$$

$$T = 90 + (4 \cdot 10) + 30 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.75)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.76)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.77)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz)

Buna göre;

$$s = 0,45.250\sqrt{\frac{3,45}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 7,9 \text{ mm} \quad (3.78)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.3.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 1,01 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 3,42 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,23 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,36 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 5,02 m²

3.2.1.3.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,088 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 119.565 kcal/h

Spesifik yanma odası yükleme: 119.565/0,088=1.358.695 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi: 119.565/5,02=23.820 kcal/m²h

3.2.1.4 CK 130 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 140

ANMA ISI GÜCÜ : 140.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.4.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.79)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (T) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi ($z=0,75$),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir ilave.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.80)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T = T_s + \Delta T \quad (3.81)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.82)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.83)$$

alınabilir. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.84)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 365}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2,17 \text{ mm} \quad (3.85)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.4.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.86)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı ((3500 kgf/cm²)),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirmе çubuklarının bölüm aralıklarına bağılı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 104 mm),

$$T = 90 + (4 \cdot 10 + 30) = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.87)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.88)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.89)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55 \cdot 104 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1006,25}} + 0,75 = 4,13 \text{ mm} \quad (3.90)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.4.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C \cdot y \cdot \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85 \cdot \sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.91)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı ((3500 kgf/cm²)),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirme çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 197 mm).

$$T = 90 + (2 \cdot 10) = 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.92)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.93)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 \cdot 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.94)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42 \cdot 197 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1028,12}} + 0,75 = 5,6 \text{ mm} \quad (3.95)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.4.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı

$$s = \frac{\sqrt{p \cdot d \cdot (L + 610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.96)$$

veya

$$s = \frac{p \cdot d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.97)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114 [9]

e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan katsayı.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.412.(900+610)}}{330} + 1 = 4,85 \text{ mm} \quad (3.98)$$

veya

$$s = \frac{3.412}{1114} + \frac{900}{320} + 1 = 4,29 \text{ mm} \quad (3.99)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.4.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.100)$$

$$T = 90 + (4*10) + 30 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.101)$$

ve

$$\sigma_1/ \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.102)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.103)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz) [9]

Buna göre;

$$s = 0,45.250 \sqrt{\frac{3,45}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 7,9 \text{ mm} \quad (3.104)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.4.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 1,26 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 4,24 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,25 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,37 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 6,12 m²

3.2.1.4.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,113 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 152.174 kcal/h

Spesifik yanma odası yükleme: 152.174/0,113=1.346.672 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yükleme: 152.174/6,12=24.865 kcal/m²h

3.2.1.5 CK 160 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 160

ANMA ISI GÜCÜ : 160.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.5.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.105)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (T) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir katsayı.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.106)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T=T_s+\Delta T \quad (3.107)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ °C} \quad (3.108)$$

ve

$$\sigma_1/ \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.109)$$

alınabilir. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.110)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 410}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2,34 \text{ mm} \quad (3.111)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.5.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.112)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 103 mm),

$$T = 90 + (4 \cdot 10 + 30) = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.113)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.114)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.115)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55 \cdot 103 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1006,25}} + 0,75 = 4,09 \text{ mm} \quad (3.116)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.5.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y.\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.117)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirmе çubuklarının bölüm aralıklarına bağılı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirmе çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 245 mm).

$$T = 90 + (2 \cdot 10) = 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.118)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.119)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 \cdot 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.120)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42 \cdot 245 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85 \cdot 1028,12}} + 0,75 = 6,77 \text{ mm} \quad (3.121)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.5.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.122)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.123)$$

formülüyle bulunan değeri erden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114 [9]

e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan katsayı.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.512.(1050+610)}}{330} + 1 = 5,83 \text{ mm} \quad (3.124)$$

veya

$$s = \frac{3.512}{1114} + \frac{1050}{320} + 1 = 5,66 \text{ mm} \quad (3.125)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.5.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı:

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.126)$$

$$T = 90 + (4 \cdot 10) + 30 = 160 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ve} \quad (3.127)$$

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.128)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.129)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz)

Buna göre;

$$s = 0,45 \cdot 175 \sqrt{\frac{3,45}{0,85 \cdot 1006,25}} + 0,75 = 5,75 \text{ mm} \quad (3.130)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.5.6 Toplam Isıtma Yüzeyi:

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 1,85 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 4,86 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,27 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,47 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 7,45 m²

3.2.1.5.7 Isı Yüğü:

Yanma odası hacmi: 0,206 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 184.782 kcal/h

Spesifik yanma odası yüklemesi: 184.782/0,206=897.000 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yüklemesi: 184.782/7,45=24.803 kcal/m²h

3.2.1.6 CK 200 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 200

ANMA ISI GÜCÜ : 220.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3, bar

3.2.1.6.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.131)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (T) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir ilave.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.132)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T = T_s + \Delta T \quad (3.133)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ °C} \quad (3.134)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.135)$$

bulunur. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.136)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 410}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2,34 \text{ mm} \quad (3.137)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.6.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.138)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 103 mm),

$$T = 90 + (4 * 10 + 30) = 160 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.139)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.140)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.141)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55.103.\sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 4,09 \text{ mm} \quad (3.142)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.6.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y.\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.143)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirme çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 245 mm).

$$T = 90 + (2 \cdot 10) = 110 \text{ °C} \quad (3.144)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.145)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 \cdot 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.146)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42.245 \cdot \sqrt{\frac{3}{0,85.1028,12}} + 0,75 = 6,77 \text{ mm} \quad (3.147)$$

s=8 mm alındı.

3.2.1.6.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.148)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.149)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C₃ ve C₄ : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; C₃=330, C₄=1114 [9]

e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan ilave.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.512.(1150+610)}}{330} + 1 = 5,98 \text{ mm} \quad (3.150)$$

veya

$$s = \frac{3.512}{1114} + \frac{1150}{320} + 1 = 5,97 \text{ mm} \quad (3.151)$$

s=6 mm olarak alındı.

3.2.1.6.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.152)$$

$$T = 90 + (4 \cdot 10) + 30 = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.153)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.154)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.155)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz)

Buna göre;

$$s = 0,45.175\sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 5,41 \text{ mm} \quad (3.156)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.6.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 2 m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 6,19 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,26 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,46 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 8,91 m²

3.2.1.6.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,225 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 239.130 kcal/h

Spesifik yanma odası yüklemesi: 239.130/0,225=1.062.801 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yüklemesi: 239.130/8,91=26.838 kcal/m²h

3.2.1.7 CK 360 Tip Çelik Kazan

KAZAN TİPİ : CK 360

ANMA ISI GÜCÜ : 360.000 kcal/h

İŞLETME BASINCI : 2,5 bar

TASARIM BASINCI : 3 bar

3.2.1.7.1 Silindirik Dış Gövde Levhası Et Kalınlığı:

$$s = \frac{pr}{\sigma_f \cdot z - 0,5 \cdot p} + e \quad [9] \quad (3.157)$$

Burada;

s : Dış gövde levhası et kalınlığı (mm),

r : Dış gövde iç yarıçapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : Dış gövde malzemesinin (T) metal sıcaklığındaki müsaade edilen gerilme mukavemeti,

z : Boylamasına kaynak dikişinin verimi (z=0,75),

e : Korozyonu karşılamak için en az 0,75 mm'ye eşit bir ilave.

σ_f değeri şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1}{1,6} \quad [9] \quad (3.158)$$

Burada;

σ_1 : Malzemenin (T) sıcaklığındaki uzama başlangıç noktasının en az mukavemet değeridir. Kazan imalinde kullanılan malzemenin σ_2 değeri σ_1 / σ_2 oranının çarpımı ile bulunur.

Burada σ_2 , malzemenin oda sıcaklığındaki (20°C) en az çekme mukavemetidir.

T değeri;

$$T = T_s + \Delta T \quad (3.159)$$

formülüyle bulunur. Burada;

T_s : Çıkış suyu sıcaklığı (90°C),

ΔT : Alev görmeyen ya da sıcak gazlarla temas etmeyen yüzeylerde 2.s , alev gören ya da sıcak gazlarla temas eden yüzeylerde 4.s + 30 °C alınır (s ilgili levhanın et kalınlığı olup hesaplarda yaklaşık değer kullanılır).

Dış gövde alevle temas etmediğine göre;

$$T = 90 + 2 * 5 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.160)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.161)$$

bulunur. Buradan,

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.162)$$

Buna göre;

$$s = \frac{3 * 535}{1028,12 * 0,75 - 0,5 * 3} + 0,75 = 2,83 \text{ mm} \quad (3.163)$$

TS497 gereği et kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

3.2.1.7.2 Ön Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y. \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.164)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,55 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda silindirik dış gövde ile külhan arasındaki desteklenmemiş en büyük aralık: 120 mm),

$$T = 90 + (4 * 10 + 30) = 160 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.165)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.166)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 * 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ mm} \quad (3.167)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,55.120.\sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 4,65 \text{ mm} \quad (3.168)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.7.3 Arka Ayna Et Kalınlığı

$$s = C.y.\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{0,85.\sigma_f}} + e \quad (3.169)$$

Burada;

s : Ayna et kalınlığı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

σ_f : İzin verilen gerilme mukavemeti,

C : Kaynaklı tesbit halinde C=0,42 alınır

e : Korozyonu karşılamak için 0,75 mm'den az olmayan bir ilave,

y : Gerdirme çubuklarının bölüm aralıklarına bağlı eksenler arası uzaklık (Mevcut durumda gerdirme çubukları ile duman boruları arasına çizilebilecek en büyük dairenin çapı: 342 mm).

$$T = 90 + (2*10) = 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.170)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,47 \quad [9] \quad (3.171)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,47 * 3500}{1,6} = 1028,12 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.172)$$

buna göre et kalınlığı;

$$s = 0,42.342. \sqrt{\frac{3}{0,85.1028,12}} + 0,75 = 9,16 \text{ mm} \quad (3.173)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.7.4 Yanma Odası (Külhan) Et Kalınlığı:

$$s = \frac{\sqrt{p.d.(L+610)}}{C_3} + e \quad [9] \quad (3.174)$$

veya

$$s = \frac{p.d}{C_4} + \frac{L}{320} + e \quad [9] \quad (3.175)$$

formülüyle bulunan değerlerden büyük olan seçilir. Burada;

s : Levha et kalınlığı (mm),

d : Yanma odası dış çapı (mm),

p : Tasarım basıncı (bar),

L : Yanma odası boyu (mm)

C_3 ve C_4 : Yanma odası levha malzemesine ait en az çekme mukavemetine bağlı sabit değerler; $C_3=330$, $C_4=1114$
 e : Korozyonu karşılamak üzere 1 mm'den az olmayan ilave.

Buna göre;

$$s = \frac{\sqrt{3.714.(1680 + 610)}}{330} + 1 = 7,71 \text{ mm} \quad (3.176)$$

veya

$$s = \frac{3.714}{1114} + \frac{1680}{320} + 1 = 8,17 \text{ mm} \quad (3.177)$$

$s=10$ mm olarak alındı.

3.2.1.7.5 Yanma Odası (Külhan) Dip Plakası Et Kalınlığı:

$$s = C.y.\sqrt{\frac{P}{0,85.\sigma_f}} + e \quad [9] \quad (3.178)$$

$$T = 90 + (4 \cdot 10) + 30 = 160 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.179)$$

ve

$$\sigma_1 / \sigma_2 = 0,46 \quad [9] \quad (3.180)$$

alınabilir. Buradan

$$\sigma_f = \frac{0,46 \cdot 3500}{1,6} = 1006,25 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.181)$$

C=0.45 (Aleve ve yüksek sıcaklığa maruz)

Buna göre;

$$s = 0,45.250 \sqrt{\frac{3}{0,85.1006,25}} + 0,75 = 7,41 \text{ mm} \quad (3.182)$$

s=10 mm alındı.

3.2.1.7.6 Toplam Isıtma Yüzeyi

Yanma odası (külhan) ısıtma yüzeyi: 4,09m²

Duman boruları ısıtma yüzeyi: 9,77 m²

Ön ayna ısıtma yüzeyi: 0,41 m²

Arka ayna ısıtma yüzeyi: 0,79 m²

Toplam ısıtma yüzeyi: 15,06 m²

3.2.1.7.7 Isı Yüğü

Yanma odası hacmi: 0,646 m³

Ateşlenen ısı miktarı: 391.305 kcal/h

Spesifik yanma odası yükleme: 391.305/0,646=605.734 kcal/m³h

Spesifik ısıtma yüzeyi yükleme: 391.305/15,06=25.983 kcal/m²h

3.3 Deneyin Yapılışı Ve Test Sonuçları

Deney sırasında iki değişik tip türbülötör kullanılmıştır. Bunlardan biri Van Dijk Heating firmasından temin edilen ve CK 100 tip çelik kazanlarda kullanılan türbülötörlerdir. Bu türbülötörlere ilişkin örnek Şekil 1-4’de gösterilmiştir. Diğer türbülötör çeşidi ise daha önceden kullanılan ve Şekil 3-1 ve Şekil 3-2’de gösterilen dalga şeklindeki türbülötörlerdir.

Sözkonusu türbülatorlerle ilgili yapılan deneyler ve deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir.

3.3.1 CK 60 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

Bu tip çelik kazanda ilk deney mevcut dalgalı tip 90° hatveli türbülator ile yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3-1’de verildiği gibi %95 yanma veriminde %92 kazan ısı verimi elde edilmiştir. Fakat deney sonucunda baca gazı sıcaklığı 125°C tespit edilmiş olup istenilen yaklaşık 160°C’lik sıcaklığın altında olduğundan kazan içerisinde yoğunlaşma meydana gelmiştir. Bu nedenle 90° hatveli türbülator bu tip çelik kazan için uygun değildir.

Birinci deney sonucunda 90° hatveli türbülator gaz akışını engellediğinden baca gazı sıcaklığı düşük çıktığı düşünülmüş olup ikinci deneyde türbülator açısı genişletilerek 120° çıkartılmıştır. İkinci deney sonucunda yanma verimi % 94 ve kazan ısı verimi % 90,8 olarak tespit edilmiştir. Fakat deney sonucunda Tablo 3-2’de görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı 146°C’de kalmıştır. Bu da yoğunlaşma açısından yeterli görülmemiş olup hatve açısı biraz daha büyütülmüştür.

Üçüncü deneyde türbülator hatve açısı 120°’de bırakılmış, kazana verilen güç 70,000 kcal/h’e çıkarılmıştır. Bu deney sonrasında yanma verimi %94, kazan ısı verim %92 ve baca gazı sıcaklığı 161°C değerlerinde olduğu gözlenmiştir. Deneyle ilgili değerler Tablo 3-3’de verilmiştir.

Üç deney sonrasında yapılan modifikasyonlar sonucu CK 60 tip çelik kazana uygun türbülator tespit edilmiştir.

Deneylerde verim aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Verilen ısı gücü} = m_y \cdot h_{yu}$$

$$\text{Verim} = \text{Sistemden alınan ısı gücü} / \text{Sisteme verilen ısı gücü}$$

3.3.2 CK 80 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

CK 80 tip çelik kazanda CK 60 tip çelik kazanda kullanılan dalgalı tip türbülatorün aynısı ile deneylere başlanmıştır. Birinci deneyde kazana verilen güç 80,000 kcal/h'dir. Deney sonucunda Tablo 3-4' da görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı 160°C ve yanma verimi % 93,2 olarak bulunmuştur. Fakat kazanın ısı verimi %90,8 gibi düşük bir değerde bulunmuştur.

Deney sonrası verilen gücün artmasıyla kazan ısı verimi artırılarak istenen düzeye getirilebileceği düşünülmüştür. İkinci deney şartlar aynı kalmak suretiyle sadece kazana verilen güç 85,000 kcal/h değerine çıkartılarak tekrarlanmıştır. Deney sonucunda baca gazı sıcaklığı 163 °C'ye yükselmiş, yanma değeri yine % 93,2 değerinde kalmıştır. Kazan ısı verimi % 91,4 değerine kadar yükselmiştir. Deneyle ilgili sonuçlar Tablo 3-5'da verilmiştir.

Üçüncü deneyde kazana verilen güç 90,000 kcal/h değerine çıkartılmıştır. Ayrıca türbülator boyu 5 cm uzatılarak ısı geçişi için gerekli süre arttırılmış olacağı düşünülmüştür. Deney bu şartlarla tekrar edildiğinde baca gazı sıcaklığı için 158 °C, yanma verimi %93,6 ve kazan ısı verimi %92,19 değerine ulaşmıştır. Kanal içindeki türbülanslı bölge uzatılarak ısı taşınım katsayısı arttırılmış ve ısı transferi için gerekli süre uzatılarak istenilen ısı verim elde edilmiştir. Bu deneyin sonuçları Tablo 3-6'da gösterilmiştir.

3.3.3 CK 100 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

CK 100 tip çelik kazan için 100,000 kcal/h güçte, kazanın boyutlarının da arttığı düşünülerek 120° hatve açısında 750 mm uzunluğundaki türbülator ile ilk deney yapılmıştır. Fakat deney sonuçlarına göre yanma verimi %94,6 ve kazan ısı verimi % 91,98 gibi kabul edilebilir düzeyde olmasına rağmen baca gazı sıcaklığı 133 °C gibi çok düşük bir değerde kalmıştır. Tablo 3-7'deki deney sonuçlarına bakarak kazana verilen gücün artırılması ile baca gazı sıcaklığı yükseltilebileceği düşünülmüştür.

İkinci deney diğer şartlar aynı kalarak sadece kazana verilen güç 110,000 kcal/h değerine yükseltilerek tekrarlanmıştır. Deney başında düşünüldüğü gibi yanma verimi % 94,4 değerine ve kazan ısı verimi artarak % 92,9 değerine ulaşmıştır. Ayrıca baca gazı sıcaklığı da yükselerek 140 °C değerine ulaşmıştır. Tablo 3-8'de verilen değerler ışığında baca gazı sıcaklığındaki artış yoğunlaşma açısından yeterli olmamaktadır. Kanallar içindeki direncin azaltılması gerekmektedir.

Bu nedenle üçüncü deney 110,000 kcal/h güçte türbülator boyu 5 cm kısaltılarak tekrarlanmıştır. Kazan rejime ulaştıktan sonra yapılan ölçümler Tablo 3-9'da belirtilmiştir. Tablo 3-9'da sonuçlara göre yanma verimi % 94,9 ve kazan ısı verimi % 92,5 değerlerine ulaşmıştır. Baca gazı sıcaklığında da artış kaydedilerek 149 °C değerine ulaşılmıştır. Fakat kanallardaki türbülanslı bölge hala çok fazla olduğu için deney türbülator boyu 7,5 cm daha kısaltılarak tekrar edilecektir.

Dördüncü deney 110,000 kcal/h güçte 7,5 cm daha kısa bir türbülatorle tekrarlanmıştır. Deney sonuçları Tablo 3-10'da belirtilmiştir. Tablo 3-10'daki sonuçlara göre yanma verimi % 94,4, kazan ısı verimi % 92,4 ve baca gazı sıcaklığı 160 °C gibi ideal değerlere ulaşmıştır.

Beşinci deneyde Van Dijk Heating firmasının türbülatorleri denenmiş fakat ısı verim açısından istenen değerler elde edilememiştir. Deney sonuçları Tablo 3-11'de belirtilmiştir.

[illegible]

ORTALAMA:

49.8

20 26,45714286

4 0,18 0,77

10.230769

3571 79.442857

63.16666667

0.91 08

Yerel basınç(mbar)=

$$Y_{akt} \text{ bas}_{nc}(\text{absolute mbar}) = 1029,33$$

DENEY ŞARTLARINDA ALT ISIL DEĞER =

NOMİNAL GÜCÜN %

3.3.4 CK 130 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

CK 130 tip çelik kazanları deneylerine CK 100 tip çelik kazan deneylerinden elde edilen türbülötör ile başlanmıştır. İlk deney 130,000 kcal/h güçte gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3-12’de gösterildiği gibi yanma verimi %93,8, kazan ısı verimi % 90,6 ve baca gazı sıcaklığı 150 °C değerlerine ulaşmıştır. Deney sonucunda kazan ısı veriminin ve baca gazı sıcaklığının artırılması gerektiği görülmektedir. Kazana verilen güç artırılarak istenen değerlere ulaşılması amacıyla deney tekrarlanmıştır.

Kazana verilen güç 140,000 kcal/h değerinde deney tekrarlandığında baca gazı sıcaklığı 158°C değerine ve kazan ısı verimi % 91,2 ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu deneye ilişkin sonuçlar Tablo 3-13’de verilmiştir.



KAZAN TİPİ		CK 130				KCAL/h				TÜRK DEMİR DÖKÜM FABRİKALARI A.Ş.										DENEY TARİHİ			
NOMİNAL GÜÇ		130.000								TABLO 3-12										DENEY YERİ			
DİLM SAYISI																				DENEY SORUMLUSU			
YAKIT CİNSİ		: DOĞAL GAZ								YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ :										BRULÖR			
										8455,15										KCAL/M3			

KAZAN TIPI										TÜRK DEMİR DÖKÜM FABRİKALARI A.Ş.										DENEY TARİHİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
NOMİNAL GÜÇ										130.000										KCAL/h										DENEY YERİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DİLİM SAYISI																				TABLO 3-13										DENEY SORUMLUSU																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
YAKIT ÇİNSİ										DOĞAL GAZ										YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ :										BRULÖR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Zaman										Say/bas.										Çevre										Yakıt										CO										NO										O2										CO2										Yanma										1										Baca Gazı										Giriş Suyu										Çıkış Suyu										Soğuk Su										8435,15										KCAL/M3										Giriş Su										Endeksi(M3)										Debişi(M3/5DK)										Yakıt										Endeksi										Alınan ısı										Kazan İsl																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
mbar										mbar										Sıcaklığı										Sıcaklığı										ppm										ppm										%										%										Verimi																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

3.3.5 CK 160 Tip İçin Yapılan Deneyler

CK 160 tip çelik kazanlara deney yapılmadan önce türbülator boyu uzadığı gözönüne alınarak kanallar içinde 120° hatve açısına sahip türbülatorün türbülanslı akış sağlarken baca gazları için bir engel teşkil ederek baca gazı sıcaklığını düşüreceği tahmin edilerek hatve açısı 150° değerine genişletilmiştir. Ayrıca kazan boyutları gözönüne alınarak türbülator boyu ilk deney için 950 mm olarak tespit edilmiştir. Deney kazana 170,000 kcal/h güç verilerek yapıldığında Tablo 3-14’de değerler elde edilmiştir. Deney sonucunda yanma verimi % 93,8, kazan ısı verimi % 91 ve baca gazı sıcaklığı ise 149°C değerlerine ulaşmıştır. Baca gazı sıcaklığını arttırmak için türbülator boyu 5 cm arttırılarak deney tekrarlanmıştır.

Yapılan ikinci deneyde de kazana 170,000 kcal/h değerinde güç verilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3-15’de görülmektedir. Deney sonrasında türbülatorü uygulanan modifikasyon ile yanma verimi olarak % 93,2 ve kazan ısı verimi olarak % 92 değerlerine ulaşılmıştır. Baca gazı sıcaklığında ise 164°C değeri elde edilerek yoğunlaşma tehlikesi ortadan kaldırılmıştır.

3.3.6 CK 200 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

CK 200 tip çelik kazan için CK 160 tip çelik kazan için dizayn edilen 150° hatve açısı bulunan türbülator boyu kazan boyutları gözönüne alınarak 1150 mm olacak şekilde deneyde kullanılmıştır. Yapılan ilk deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3-16’da belirtilmiştir. Tablo 3-16’ya göre yanma verimi % 93,9 ve kazan ısı verimi % 92,41 olarak bulunmuştur. Fakat baca gazı sıcaklığı 148°C olarak düşük bir değerde kalmıştır.

İkinci deneyde kazana verilen güç 213,000 kcal/h değerine çıkartılmıştır. Deney sonucunda Tablo 3-17’de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3-17’de yanma verimi % 93,7, kazan ısı verimi % 93,1 ve baca gazı sıcaklığı 155°C gibi kabul edilebilir değerler belirtilmektedir.



KAZAN TİPİ		CK 200		200.000		KCAL/h		TÜRK DEMİR DÖKÜM FABRİKALARI A.Ş.										DENEY TARİHİ				İNĞÖL TESİSLERİ			
NOMİNAL GÜÇ		DİLİM SAYISI		DOĞAL GAZ		YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ :		8455,15		KCAL/M3		DENEY YERİ		DENEY SORUMLUSU		BRULÖR		DENEY YERİ		DENEY SORUMLUSU		BEKİR SARI			
YAKIT ÇENİSİ		YAKIT		YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ :		8455,15		KCAL/M3		DENEY YERİ		DENEY SORUMLUSU		BRULÖR		DENEY YERİ		DENEY SORUMLUSU		BEKİR SARI					
Zaman	Say.bas. mbar	Çevre Sıcaklığı	Yakıt Sıcaklığı	CO ppm	NO ppm	O2 %	CO2 %	Yanma Verimi	I	Baca Gazı Sıcaklığı	Giriş Suyu Sıcaklığı	Çıkış Suyu Sıcaklığı	Soğuk Su Sıcaklığı	Hesaba Esas DT (°C)	Giriş Su Endeksi(M3)	Giriş Su Debiisi(M3/5DK)	Yakıt Endeksi	Alınan ısı (kcal/5dk)	Kazan Isıl Verimi						
0	49,8	20,22	26,5					94,10			59	78,4	13,00	65,40	247,0655		36								
5	49,8	20,18	26,5					93,20			59,6	78,5	13,10	65,40	247,5517	0,486		17799,264							
10	49,8	20,4	26,4	34	55	2,80	10,6	93,20	1,14	155	60	78,6	13,00	65,60	248,0393	0,485		17816,96							
15	49,8	20,1	26,4					93,40			59,7	78,6	13,20	65,40	248,525	0,486		17799,264							
20	49,8	19,5	26,4					93,80			59,7	78,2	13,00	65,20	249,0125	0,4865		17763,088							
25	49,8	19,7	26,5					94,00			59,8	78,1	13,10	65,00	249,4983	0,487		17726,8							
30	49,8	19,9	26,5					94,20			59,6	77,9	13,00	64,90	249,987	0,4878	49,98	17728,6032							

3.3.7 CK 360 Tip Çelik Kazan İçin Yapılan Deneyler

CK 360 tip çelik kazan deneyi için 150° hatve açısına sahip 1650 mm boyunda bir türbülator kullanılmıştır. Kanallar içerisinde baca gazı sıcaklığının fazla düşmemesi için türbülator boyu çok uzun seçilmemiştir. Yapılan ilk deneyde kazana 360,000 kcal/h güç verilmiştir. Deney sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 3-18’de belirtilmiştir. Buna göre yanma verimi % 92,8, kazan ısı verimi % 91,3 ve baca gazı sıcaklığı 178°C değerlerinde ölçülmüştür. Baca gazı sıcaklığı istenen değerden yüksektir. Bu nedenle kazan ısı veriminde kayıplar oluşmaktadır.

İkinci deneyden önce türbülator boyu 15 cm uzatılarak ısı taşınımının artırılması amaçlanmıştır. Deney sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 3-19’da gösterilmiştir. Buna göre yanma verimi % 93,2, kazan ısı verimi % 92,1 ve baca gazı sıcaklığı 173°C değerlerinde ölçülmüştür. Bu değerler bu tip kazan için kabul edilebilir değerlerdir.



4 SONUÇLAR

Çelik kazanların gaz kısmında çeşitli türbülatorlerle yapılan deneyler sonucunda kazan ısı veriminin artırılması amacına dönük yanma verimi, baca gazı sıcaklığı gibi parametrelerin ölçümü yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda baca gazları ile kullanılmadan dışarı atılan enerjinin suya verilmesi sağlanmıştır.

Isıtma sektöründe karşılaşılan en büyük problem ısı kaynaklarının bilinçsizce kullanılmasından doğan enerji israfıdır. Isıtma amaçlı kullanılan cihazlarda yapılan bu deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak modifiye edilmiş yeni cihazlarla ısı kaynaklar tasarım girdilerini mümkün olduğu en iyi şekilde kullanılmıştır.

Kazan içinde kullanılan türbülatorler ile sıcak gazların su ile temas ettiği süre artırılmıştır. Meydana getirilen türbülans ısı taşınım katsayısını arttırıcı yönde etki etmiştir. Bunun sonucu olarak da suya geçen ısı miktarı artmıştır.

Kullanılan türbülatorlerin boyu ve hatve açısı ısı taşınım katsayısının artması veya azalması açısından çok önemlidir. Türbülatorler sıcak baca gazlarının akışına engel teşkil etmemelidir. Türbülanslı bir akış sağlayarak sıcak baca gazlarının temas süresini arttırıcı etki yaratmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Bayley, F.J.: 1955, “ An Analysis of Turbulent Free Convection Heat Transfer” , Proc. Inst. Mech. Eng. ,vol. 169, no. 20, p. 361.
2. Dağsöz , A.K. : 1990, “ Isı Geçişi “ , Beta Basım Yayın.
3. Holman , J.P.: 1981, “ Heat Transfer “, McGraw Hill International Book Co..
4. Jacop, M. : 1949, “ Heat Transfer “ , vol. 1, John Wiley and Sons , Inc. , New York.
5. Knudsen, J.D., D.L.Katz : 1958, “Fluid Dynamics and Heat Transfer “,McGraw Hill Book Co. New York.
6. Onat, K.,Genceli , O.F., Arısoy , A.: 1988, “Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları”, Denklemler Matbaası.
7. Shah,R.K., A.L. London : 1978, “Laminar Flow : Forced Convection in Ducts “, Academic Press, New York.
8. Prof. Dr. Alpin Kemal Dağsöz: 2000, “Türk Demirdöküm Fabrikaları Konferans Notları”.
9. Cazgır Firması Demirdöküm Marka Çelik Kazanların Mukavemet ve Termodinamik Hesapları: 2000, İstanbul.

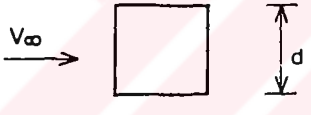
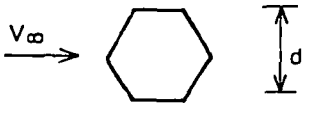
EKLER

EK-1 :

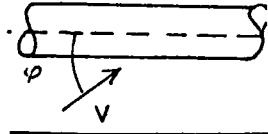
Tablo 2-1: Dairesel kesitli silindir etrafındaki akışta (80) bağıntısındaki C ve n değerleri

$Re_{d,f} = \frac{V_{\infty} d}{\nu_f}$	C	n
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4.10 ³	0,683	0,466
4.10 ³ -4.10 ⁴	0,193	0,618
4.10 ⁴ -4.10 ⁵	0,0266	0,805

Tablo 2-2 : Dairesel olmayan silindirlere dik akışta (80) bağıntısındaki C ve n katsayıları

Geometri	Re_d	n	C
	2500-7500 5000-100000	0,624 0,588	0,261 0,222
	2500-8000 5000-100000	0,699 0,675	0,160 0,092
	5000-19500 19500-100000	0,638 0,782	0,144 0,035
	4000-15000	0,731	0,205
	2500-15000	0,612	0,224
	3000-15000	0,804	0,085

Tablo 2-3: Eğik akış halinde düzeltme çarpanı



	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
$Nu_{c\tilde{g}ik} / Nu_{dik}$	1,0	1,0	0,99	0,95	0,86	0,75	0,63	0,50

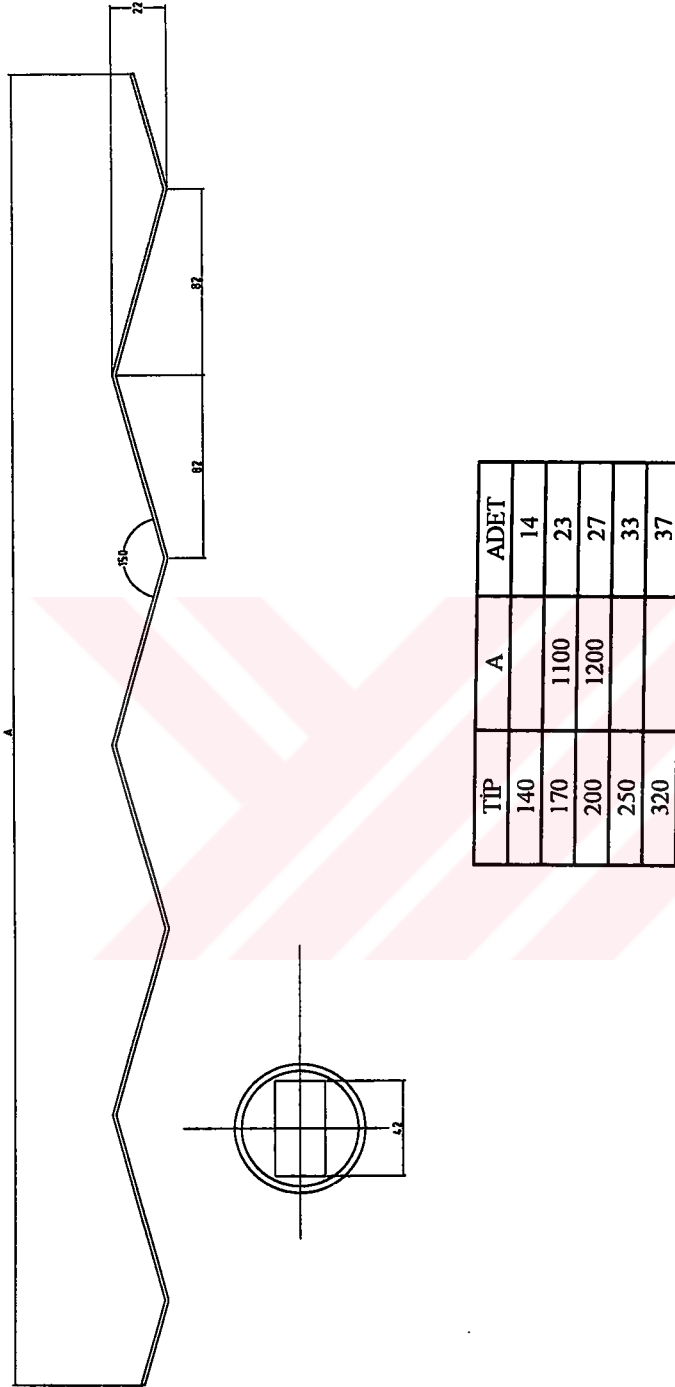
Tablo 2-4: Boru demetine dik akışta (80) bağıntısındaki C ve n değerleri [6]

s_1/d										
1.25			1.5			2.0			3.0	
s_2/d	C	n	C	n	C	n	C	n	n	
Düz sıralı düzenleme										
1.25	0,386	0,592	0,305	0,608	0,111	0,704	0,0703	0,752		
1.5	0,407	0,586	0,278	0,620	0,112	0,702	0,0753	0,744		
2.0	0,464	0,570	0,332	0,602	0,254	0,632	0,220	0,648		
2.0	0,322	0,601	0,396	0,584	0,415	0,581	0,317	0,608		
Çapraz sıralı düzenleme										
0.6	..	..	..	..	..	..	0,236	0,636		
0.9	..	..	..	..	0,495	0,571	0,445	0,581		
1.0	..	..	0,552	0,558	0,531	0,565	0,575	0,560		
1.125	..	..	..	..	0,576	0,556	0,579	0,562		
1.25	0,575	0,556	0,561	0,554	0,502	0,568	0,542	0,568		
1.5	0,501	0,568	0,511	0,562	0,535	0,556	0,498	0,570		
2.0	0,448	0,572	0,462	0,568	0,488	0,562	0,467	0,574		
3.0	0,344	0,592	0,395	0,580						
Akışa dik boru sayısı 10'dan az ise «h» film katsayısı aşağıdaki değerler ile çarpılmalıdır.										
Akışa dik boru sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Düz sıralı	0,68	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0
Çapraz sıralı	0,64	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0

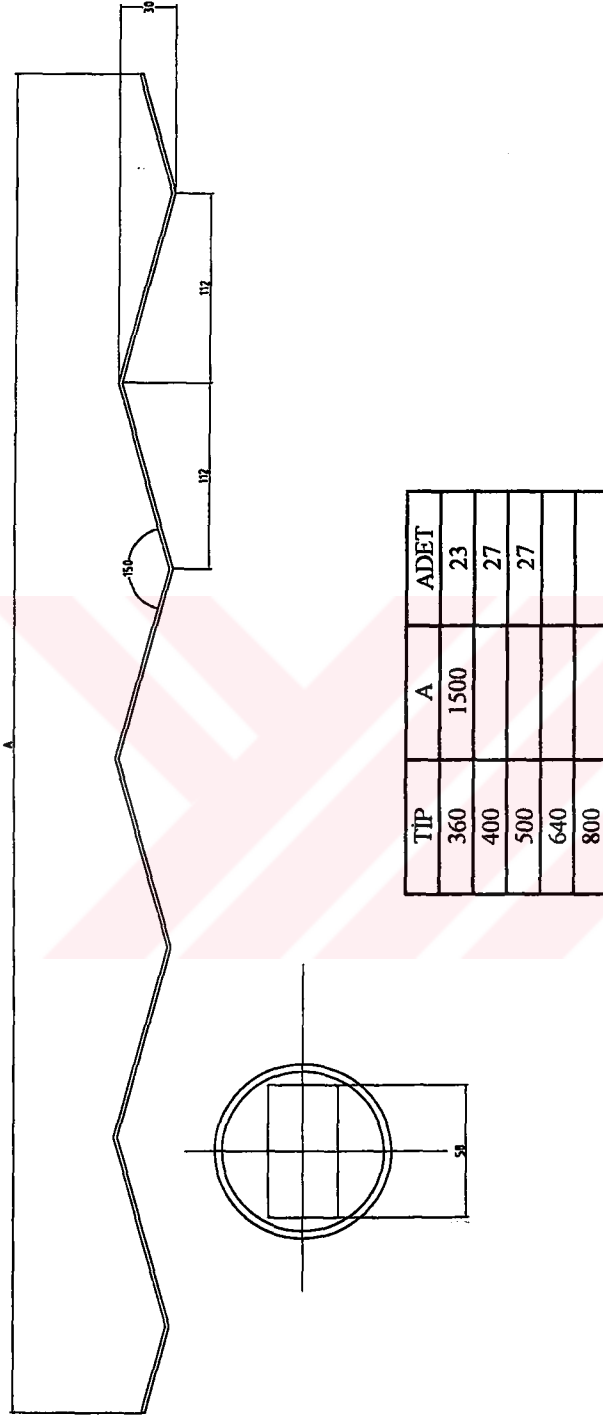
Tablo 2-5: (89) Bağıntısındaki A ve a değerleri

Reynolds sayısı	Düz sıralı düzenleme		Çapraz sıralı düzenleme	
	A	a	A	a
$Re_d < 10^3$	0,52	0,5	0,6	0,5
$10^3 < Re_d < 3 \cdot 10^5$	0,27	0,63	0,4	0,6
$Re_d > 3 \cdot 10^5$	0,02	0,84	0,021	0,84

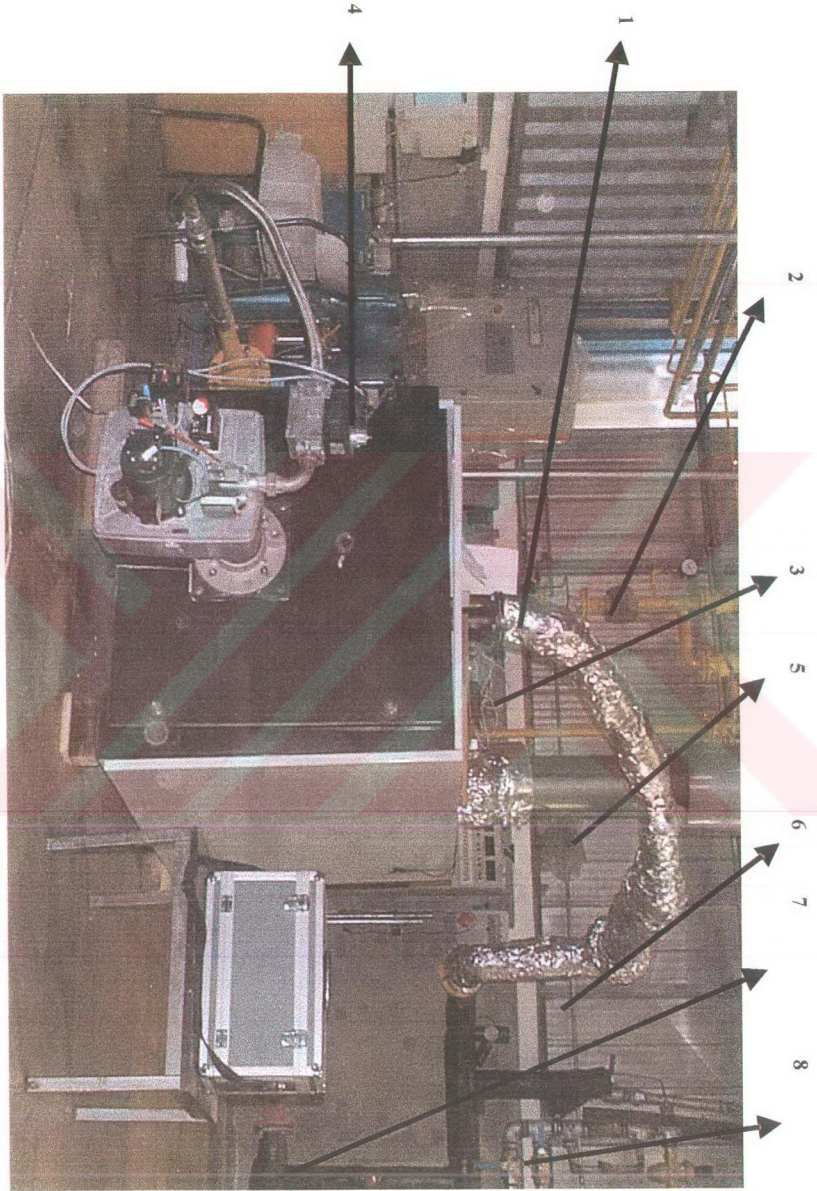
Ek-2



Şekil 3-1: CK 140 ve üstü geçiktirici



Şekil 3-2: CK 360 ve üstü geçiktirici



Şekil 3-3 : Deney standının görünüşü

DENEY STANDINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

1. YAKITIN DEBİSİ
2. YAKITIN BASINCI
3. YAKITIN SICAKLIĞI
4. BRULÖR AYARLARI (HAVA FAZLALIK SAYISININ AYARI)
5. BACA GAZI SICAKLIĞI, ATIK GAZIN EMİSYON DEĞERLERİ
6. KAZANDAN ÇIKAN SUYUN SICAKLIĞI
7. KAZANA GİREN SUYUN SICAKLIĞI
8. ŞEBEKE SUYUNUN SICAKLIĞI