

**ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRİLMESİNİN
İKİ FAZLI AKIŞLARA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sedat AKMEŞE

**Y. Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI
2010
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRİLMESİNİN İKİ FAZLI AKIŞLARA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sedat AKMEŞE

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2010**

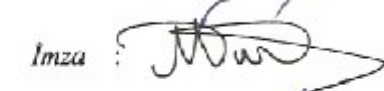
Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI'nın danışmanlığında, Sedat AKMEŞE tarafından hazırlanan bu çalışma 18/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

Üye : Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Süleyman KARSLI

İmza : 
İmza : 
İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRİLMESİNİN İKİ FAZLI AKIŞLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sedat AKMEŞE

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

Endüstride sıkça kullanılan ısı eşanjörlerinin işletilmesi ve dizayn edilmesinde iki fazlı akış ve bu akışlarda meydana gelen ısı transferi önemli bir etkiye sahiptir. Isı eşanjörlerinde boru cidarlarının etkilenmesine neden olan ısı transferinin temel mekanizmalarının irdelenerek ekipmanlara verdikleri zararların tespiti ve bu zararları en aza indirmek ve ortadan kaldırmak için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada iş yapan akışkanı su olan zorlanmış akışlı, kaynamalı, yatay bir test borusundan oluşmuş deney düzeneğinden faydalanarak ısı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akışlara etkisi incelenmiştir. Bu amaçla test borusu içerisine yerleştirilen yüzey artırım elemanının yaptığı etkiler araştırılmıştır. Bununla birlikte boru cidarlarında, kaynamalı akışlarda oluşan, buhar fazının ısı transfer katsayısının suya göre düşük olması nedeniyle meydana gelen, deformasyonlara sebep olan “burn-out” olayının oluşmasında hangi parametrelerin etkili oldukları araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde; yüzey artırımlı test borusunda oluşan “burn-out” olayının sıcaklık limitleri boş boruya göre azaldığı tespit edilmiştir. Böylece “burn-out” sebebiyle boru cidarlarına verilecek deformasyonların nispeten azaltıldığı tespit edilmiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda, yüzey artırımlı borusundaki ısı transfer karakteristikliklerin boş boruya göre daha iyi özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

2010, 53 sayfa

Anahtar kelimeler: İki fazlı akış, ısı transferi iyileştirilmesi, su

ABSTRACT

M.S Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT ON TWO PHASE FLOW

Sedat AKMEŞE

Atatürk University
Institute of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

In industry, two-phases influence and occurring heat transfer during this phases have a important effect on managing of the heat exchangers. In heat exchangers processing, for finding the damage of heat transfer to the equipment and to reducing of this damage, there is a lot of experiment applied which effected the pipe-thickness. In this study, by usage of the liquid (water) which is enforced and boiled, with a horizontal test pipe, there is an observation of the effect of fineness of the heat transfer to the two-phases effect. For this study, there were a research about the surface-increasing equipment which put in the testing pipe and controls of the reactions. Also there is a invention, parameters of “burn out” which causes of deformations, occurring by having low value of heat transfer coefficient in evaporation phases than the water.

End of the experiment, heat limits of the “burn out” which occurs in surface-increased test pipe lowered than the free-pipe limits. By this way, the deformation of pipe-thickness with caused by “bum out” decreased relatively. The heat transfer characteristics of surface-increased pipe has better qualities than the free pipe.

2010, 53 pages

Keywords: Two phase flow, heat transfer enhancement, water

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince bana her türlü desteği sağlayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer ÇOMAKLI 'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince bilgisinden sürekli faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar süresince yardım ve desteğini esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şendoğan KARAGÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarından dolayı Sayın Tuba BALTA'ya, deney düzeneğinin kurulmasında emeği geçen Sayın Ahmet CEBE'ye teşekkürleri bir borç bilirim.

Sedat AKMEŞE

Haziran 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Boru Kesit Alanı [m ²]
A _T	: Boru Toplam Yüzey Alanı [m ²]
d	: Boru Çapı [m]
D	: Yay Tel Çapı [m]
h	: Isı Taşınım Katsayısı [W/m ² K]
h _y	: Yay Adımı [m]
L	: Test Borusu Uzunluğu [m]
$\dot{m}$	: Kütleli Debi [kg/s]
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Basınç [Bar]
ΔP	: Basınç Düşümü [Bar]
P _a	: Ana Besleme Tank Basıncı [Bar]
P ₀	: Orifis Çıkış Basıncı [Bar]
ΔP_0	: Orifiste ki basınç Düşümü [Bar]
Q	: Isıl Güç [kW]
q'	: Isı Akısı [kW/m ²]
r	: Yarıçap [m]
Re	: Reynolds Sayısı
t	: Zaman [s]
Δt	: Zaman Değişimi [s]
ΔT	: Sıcaklık Farkı [°C]
T	: Sıcaklık [°C]
T _s	: Cidar Sıcaklığı [°C]
T _d	: Doyma Sıcaklığı [°C]
ΔT_s	: Cidar Sıcaklık Farkı [°C]
T _f	: Akışkan Sıcaklığı [°C]
V	: Hacim [m ³]
V'	: Boru Net İç Hacmi [m ³]
z	: İki termokupul Arasındaki Uzunluk [m]

Δz	: Her bir Hesap Adımındaki Uzunluk [m]
$\bar{Z}$	: Eşdeğer Uzunluk [m]
β	: Kısıtlayıcı Parametresi
ρ	: Yoğunluk [kg/m ³]

İndisler

c	Kritik
ç	Çıkış
d	Doymuş
e	Efektif
f	Sürtünme
g	Giriş
g	Gaz
l	Sıvı Fazı
o	Orifis
s	Cidar
s	Dengeleyici Tank
sis	Sistem

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SIMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ	1
1.1. İki Fazlı Akışlar.....	1
1.2. Isı Transferi İyileştirmesinin İki Fazlı Akışlara Etkisini İnceleyen Akışlar	2
2. KURAMSAL TEMELLER	7
2.1. İki Fazlı Akışlar.....	7
2.2. İki Fazlı Akış Rejimleri.....	9
2.3. Yatay Borularda İki Fazlı Akış Rejimleri	9
2.4. Kaynamalı Kanalda Basınç Düşümü-Debi Karakteristikleri	12
2.5. Yatay Borularda " Burn - out " Olayı.....	12
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Deney Düzeneği.....	15
3.1.1. Akışkan Besleme Bölümü.....	16
3.1.2. Test Bölümü	18
3.1.3. Akışkan Depolama Bölümü	22
3.2. Ölçümler ve Belirsizlik Analizi	23
3.2.1. Sıcaklık ölçümleri	23
3.2.2. Basınç ölçümleri.....	24
3.2.3. Debi ölçümleri.....	25
3.2.4. Isı gücü ölçümleri.....	26
3.3. Deneysel Yöntem	26
3.3.1. Kararlı Durum Karakteristiklerinin Belirlenmesi Deneyleri.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Cidar Sıcaklık Profilleri	30
4.1.2. Boş Boru İçin Sıcaklık Profilleri	31

4.1.3. Yüzey Artırmalı Boru İçin Sıcaklık Profilleri	42
4.2. Boş Boru ve Yüzey Artırmalı Borularda Üst Cidar Sıcaklıkları Karşılaştırılması..	48
4.3. Kararlı Durum Karakteristiklikleri.....	49
4.3.1. Kararlı Durum Karakteristikliklerine Giriş Aşırı Soğutmasının Etkileri.....	50
5. SONUÇ.....	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Konvektif kaynamalı ve yatay bir boru sisteminin basit bir blok diyagramı.....	7
Şekil 2.2. İki fazlı akışların genel olarak bir sınıflandırmasını gösteren akış diyagramı.....	9
Şekil 2.3. Yatay borularda oluşan temel iki fazlı akış rejimleri.....	10
Şekil 2.4. Yatay bir boyler borusunda oluşan " burn - out " olayı	13
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü.....	15
Şekil 3.2. Ana Besleme Tankı.....	17
Şekil 3.3. Suyun test borusuna sabit sıcaklıkta girmesini sağlayan düzenek.....	17
Şekil 3.4. Dengeleyici Tank	18
Şekil 3.5. Deney düzeneğinin dengeleyici tank ile test borusu arasındaki kısmı	19
Şekil 3.6. Test Borusu ve Bağlantı Flanşları.....	20
Şekil 3.7. Termoeleman bağlantı şekilleri.....	20
Şekil 3.8. Test borusu izolasyon tabakasının ve termočift uçlarının şematik gösterimi	20
Şekil 3.9. Test borusu elektriksel bağlantı	21
Şekil 3.10. Çıkış kısıtlayıcısının şematik gösterimi	21
Şekil 3.11. Yoğuşturucu.....	22
Şekil 3.12. Test borusu cidar sıcaklığı ölçüm noktaları	24
Şekil 3.13. Termočiftlerin data okuma kartına bağlantısının şematik gösterimi	24
Şekil 3.14. Isı transfer yüzey konfigürasyonları ve karakteristikleri	27
Şekil 3.15. Isı transfer iyileştirme elemanları	27
Şekil 4.1. Boş Boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=70^0C$, $m=105.51g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	32
Şekil 4.2. Boş Boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=74^0C$, $m=103.05g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	32
Şekil 4.3. Boş Boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=78^0C$, $m=101.92g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	33
Şekil 4.4. Boş Boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=80^0C$, $m=88.8g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	34
Şekil 4.5. Boş Boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=88^0C$, $m=84.6g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri.....	34

Şekil 4.6. Boş Boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=85^0C$, $m=84.64g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	35
Şekil 4.7. Boş Boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=89^0C$, $m=74.66g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	36
Şekil 4.8. Boş Boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=93^0C$, $m=75.98g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri.....	37
Şekil 4.9. Boş Boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=94^0C$ $m=77.6g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	37
Şekil 4.10. Boş Boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=97^0C$, $m=66.32g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	38
Şekil 4.11. Boş Boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=98^0C$, $m=65.14g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	39
Şekil 4.12. Boş Boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=100^0C$ $m=65.54g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	39
Şekil 4.13. Boş Boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=107^0C$, $m=44.58g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	40
Şekil 4.14. Boş Boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=104^0C$, $m=48.80g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	41
Şekil 4.15. Boş Boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=109^0C$, $m=42.99g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	41
Şekil 4.16. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=68^0C$, $m=104.40g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	42
Şekil 4.17.Yüzey artırımı boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=71^0C$, $m=102.50g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri.....	43
Şekil 4.18. Yüzey artırımı boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=78^0C$, $m=101.92g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	43
Şekil 4.19. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=74^0C$, $m=90.83g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	44
Şekil 4.20. Yüzey artırımı boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=72^0C$ $m=98.95g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	45

Şekil 4.21. Yüzey artırımı boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=80^0C$, $m=89.17g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	45
Şekil 4.22. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^0C$, $T_ç=107^0C$ $m=42.78g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri.	46
Şekil 4.23. Yüzey artırımı boru için $T_g=25^0C$, $T_ç=104^0C$, $m=50.28g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	47
Şekil 4.24. Yüzey artırımı boru için $T_g=30^0C$, $T_ç=94^0C$, $m=77.5g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	47
Şekil 4.25. Boş Boru ve Yüzey Artırımı Boru için $T_g=20^0C$, $m=40g/s$, $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri	48
Şekil 4.26. Boş Boru ve Yüzey Artırımı Boru için Basınç-Debi Grafiği $T_g=30^0C$	49
Şekil 4.27. Giriş aşırı soğutmasının kararlı durum karakteristiklerine $P_{sis}=7.5$ Bar, $Q=16kW$, $\beta=0.30$ durumundaki etkileri	50

1.GİRİŞ

İki fazlı akış ve bu akışlarda meydana gelen ısı transferine; nükleer santrallerinde, buhar santrallerinde, soğutma santrallerinde, kimyasal üretim ünite ve rafinerileri ile endüstride sıkça kullanılan ısı değiştiricilerinde yaygın olarak rastlanmaktadır.

Sıvı akışkanın kaynamaya başladığı sistemlerde meydana gelen debi, basınç ve termal dalgalanmalar sistemin ısı transfer özelliklerini değiştirerek sistemde kontrol problemlerine, burn out olayına, mekanik titreşimlere neden olmaktadır.

Bu tezde ısı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akışlara etkisi incelenmiştir. İlk bölümde iki fazlı akış ve ısı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akışlara etkisini inceleyen araştırmalarla ilgili bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde kuramsal temeller başlığında iki fazlı akışlarla ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde materyal ve yöntem başlığında deney düzeneğiyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise son olarak sonuçlar derlenerek öneriler sunulmuştur.

1.1. İki Fazlı Akışlar

İki fazlı akışlar nükleer santrallerinde, buhar santrallerinde, soğutma santrallerinde, kimyasal üretim ünite ve rafinerileri ile endüstride sıkça kullanılan ısı değiştiricilerinde yaygın olarak görülmektedir. Günümüzde hızlı sanayileşmenin bir sonucu olarak önemi artan verimliliği ve temizliği açısından teknik açıdan oldukça rantabıl sayılabilecek bir alternatif enerji kaynağı nükleer santrallerde yakıt donanımlarının soğutulmasını sağlayan sistemlerde oluşan iki fazlı akış olaylarının kontrol altında tutulması çok büyük öneme sahiptir. Özellikle nükleer santrallerde yakıt donanımlarındaki boru cidarlarının termal yorulmalardan dolayı deforme olarak hayati tehlike arz eden yüksek oranda radyasyon ihtiva eden partiküllerin çevreye yayılmasına neden olacaktır. Bu nedenle iki fazlı akış ve bu akışlarla ilişkili ısı transferi endüstride gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. Bunun nedeni iki fazlı akışlarda elde edilen ısı transfer

katsayılarının tek fazlı akışlarda elde edilenlere göre çok daha yüksek olması ve yüksek ısı akısı kullanan uygulamaların varlığıdır.

İki fazlı akışlarda fazlar arası yüzey bilhassa gaz - sıvı iki fazlı akış durumlarında çok sayıda farklı karakterde geometrik şekil göstermektedirler. Akış yönü ara yüzey üzerinde çok etkilidir ve iki fazlı akışlar akış yönüne göre “yatay”, “düşey” ve “eğik” iki fazlı akışlar olarak sınıflandırılır. Yatay borulardaki akış karakteristikleri ve dolayısıyla akış rejimleri, düşey borulardaki akış karakteristikleri ve akış rejimlerinden daha farklıdır. Düşey borularda yerçekimi ivmesi akış yönüne paralel olarak etkirken, yatay borularda yerçekimi kuvveti akış yönüne dik olarak etkimekte ve bu nedenle yatay bir boru kanalında düşey bir boru kanalında meydana gelen iki fazlı akış rejimlerinden daha fazla akış rejimi meydana gelmektedir. Ağırlık kuvvetleri, yoğunluğu düşük olan buhar fazının borunun üst cidarına doğru, yoğunluğu yüksek olan sıvı fazının ise borunun alt cidarına doğru yer değiştirmesini sağlayarak “katmanlaşma” olarak adlandırılan olayın meydana gelmesine yol açmaktadır. Katmanlaşma oluştuğuunda borunun üst yüzeyi buhar fazıyla, alt yüzeyi ise sıvı fazıyla kaplanmaktadır. Buharın ısı transfer katsayısı sıvının ısı transfer katsayısından daha düşük olduğuundan borunun üst tarafında “burnout” olarak adlandırılan olay meydana gelmektedir.

İki fazlı karışımın içerisinden aktığı boru veya kanal içerisindeki iki fazın fiziksel düzenlemesi “akış rejimi” olarak adlandırılır. Yatay borulardaki akış rejimleri düşey borulardakinden oldukça farklıdır ve akış yönüne dik etkiyen yerçekimi kuvvetlerinin oluşturduğu asimetri nedeniyle düşey akışlardakinden çok daha komplekstir. Yatay borulardaki akış rejimleri i- kabarcikli akış, ii- plug akış, iii- katmanlı akış iv- dalgalı akış ve v- slug akış olarak vi- Annular akış adlandırılır.

1.2. İki Fazlı Akış Ve Isı Transferi İyileştirmesinin İki Fazlı Akışlara Etkisini İnceleyen Araştırmalar

İki fazlı akışlı sistemlerde ısı transfer iyileştirme yöntemleri kullanmaktaki amaç ısı transfer katsayısı yüksek, sürtünme katsayısı düşük ve kararlı çalışma karakteristiklerine sahip sistem tasarlamaktır. İki fazlı akışlarda ısı transfer iyileştirme yöntemleri kullanan

çok sayıda araştırma yapılmıştır ve bu konuda geniş bir literatür bulunmaktadır.

Lorentz (1909) sıvı-gaz karışımını kullanarak oluşan iki fazlı akış araştırmalarına öncülük etmiştir.

Zahn (1964) yatay bir boruda buharlaşma sonucunda oluşan iki fazlı akış olayını iş yapan akışkanı R-12 kullanarak incelemiştir.

Berenson (1962) iş yapan akışkanı su olan dikey bir kanalda ısı transfer olaylarını incelemek amacıyla pürüzsüz, düz ve temiz yüzeylere sahip farklı metal yüzeylerde durgun kaynama halindeki atmosferik şartlarda oluşan kaynama olaylarını incelemiştir. Çekirdekli kaynama halinde maksimum ısı akısının ve film kaynama eğrisinin yüzey şartlarında bağımsız olduğu ortaya çıkarılmıştır.

France (1973) iki fazlı akışlarda burn-out olayının ilk olarak test bölümü çıkışında gözlemlendiğini belirtmiştir. Burn-out olayının ısı akısı, kütleli debi ve sıvı giriş sıcaklığından birinde meydana gelen değişimin sonucunda yüzey sıcaklığında ani ve büyük bir yükselme sonucunda ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Merilo *et al.* (1979) CHF'nin belirlenebilmesi amacıyla R12 ile soğutulan dikey ve yatay borularda kritik ısı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda hem dikey hem de yatay borular için kritik ısı akıları CHF limitlerini belirlemişlerdir.

Lin *et al.* (1982) iki fazlı akış osilasyonlarında ısı transfer şartları ve ısıtıcı test borusu iç yüzey kofigürasyonlarının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarında iş yapan akışkanı R - 11 olan altı farklı iç yüzey kofigürasyonuna sahip dikey boru kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarla ısı transfer katsayılarının tahmini yapılmaya çalışılmıştır.

Bergles ve Joshi (1983) ısı transfer karakteristiklikleri üzerine farklı kofigürasyonlara sahip ısı transfer yüzey artırım elemanlarının etkilerini dairesel kesitli kanallarda

incelemişlerdir. Bu yüzey artırım elemanlarının iki fazlı akışlarda ısı transfer olaylarına ne şekilde birer etki yaptıklarını ayrı ayrı tespit etmeye çalışmışlardır.

Tan ve Deng (1986) iş yapan akışkanı R - 113 olan kaynamalı yatay , ve helisel sıralı olarak dizayn edilmiş borularda meydana gelen ısı transfer karakteristiklikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda helisel sıralı borularda elde edilen ısı transfer katsayıları pürüzsüz içi boş borular için elde edilen değerlerden 1.54 – 2.1 katı kadar daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Morcos *et al.* (1987) daha düşük ısı akılarında yatay ve eğik dikdörtgensel bir kanalda suyu kaynatarak iki fazlı akışlardaki ısı transferi olaylarını deneysel olarak incelemişlerdir.

Bell (1989) ısı değiştiricilerinde oluşan ısı ve kütle transferi ile beraber iki fazlı akış problemleri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara dayanılarak uygulamada karşılaşılan bu tarz problemlerin minimize edilmesine yönelik optimum dizayn şartları ile ilgili önemli sayılabilecek öneriler ifade edilmiştir.

Gupta *et al.* (1995) düşük akış hızlarında yatay küçük boru demetlerinde zorlanmış konveksiyonlu kaynamalı durum için lokal ısı transfer katsayılarının belirlenmesine yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Isı akısının, çapraz akış hızının ve boru geometrisinin ısı transfer karakteristiklikleri üzerine ne gibi etkiler yapabilecekleri araştırılmıştır. Tek borularla mukayese edildiğinde alt borunun ısı transfer katsayısına demet geometrisinin önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenirken buhar kabarcıklarının en alt borulardan yükseldiğini ve en üst boruların etrafında sıvı fazındaki türbülansın dolayısıyla en üst borular için elde edilen ısı transfer katsayılarının daha yüksek değerlere ulaştıkları belirlenmiştir.

Karslı (2000) Boru cidarlarında patlama ve benzeri deformasyonlara sebep olan “burn-out” olayının oluşmasında hangi parametrelerin etkili oldukları araştırılmıştır. sahip osilasyonlar büyük adımlı yay içeren konfigürasyonda oluşmuştur.

Karagoz (2007) yatay olarak dizayn edilmiş iş yapan akışkan su olan kaynamalı bir sistemde ısı transferi iyileştirmesinin etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Biri boş olmak üzere dört ayrı ısı transferi yüzey konfigürasyonu kullanmıştır. Isı transferi iyileştirme elemanlarının osilasyonların davranışlarına önemli derecede etki yaptığını saptamıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan sistem Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Transferi laboratuvarında bulunan ve daha önce çeşitli deneysel araştırmalarda kullanılan bir iki fazlı akış sistemidir. Daha önce bu sistem kullanılarak yapılan araştırmalarda iş yapan akışkan olarak R-11 akışkan kullanılmıştır. İş yapan akışkan olarak R-11 akışkanının kullanılmasının nedeni şunlardır:

- (i) R-11 bağıl olarak düşük kaynama noktasına sahiptir.
- (ii) R-11 bağıl olarak düşük buharlaşma gizli ısıya sahiptir.
- (iii) R-11 suyla benzer tortu karakteristiklerine sahiptir.

Yatay borularda iki fazlı akış kararsızlıklarını inceleyen çalışmaların birçoğunda da özellikle düşük basınçlı sistemlerde bu nedenlerle çeşitli soğutkanlar R11, R113 vb. kullanılmıştır. Yapılan bazı araştırmalarda iş yapan akışkan olarak su kullanan sistemler olmasına rağmen endüstriyel cihaz tasarımı ve sistem çalışması için yeterli deneysel sonuçların olduğu söylenemez. Bu nedenle, deney düzeneğinde yeni bir iş yapan akışkan kullanımı zorunluluğu doğduğundan suyun kullanılmasına karara verilmiş ve tez çalışmalarında su-buhar iki fazlı akış olayları incelenmiştir. Bu tezin bilimsel bilgi birikimine şu noktalarda katkı yapması umulmaktadır:

1. İki fazlı akış içeren yatay borulu evaporatörler ve ısı değiştiricilerde oluşabilecek burn-out, ısıl yorulma, titreşim ve arızaların oluşmasına meydan vermeyecek tasarımının yapılması, çalışma koşullarının buna göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Burnout olayı; geometriye (boruların uzunluğu, çapı), çalışma koşullarına (basınç, giriş sıcaklığı, akışkanın hızı, sisteme verilen ısı vs.) ve sınır koşullarına (eksenel ısı akısı dağılımı) bağlıdır. Bu nedenlerle bu parametrelerin iki fazlı akışlara

etkisinin araştırılması çok önemlidir.

2. Şu ana kadar R11 soğutkanıyla yapılan çalışmalardan üretilen yurtiçi ve yurtdışı makale/bildirilerimizde sunulan sonuçların iş yapan akışkan olarak su kullanılmasıyla elde edilecek sonuçlarla karşılaştırmasına olanak verecektir.

3. İki fazlı akış kararsızlıkları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmasına rağmen, ısı transfer iyileştirmesinin bu kararsızlıklara etkisini inceleyen araştırmalar sınırlı sayıdadır. Farklı türbülatorler kullanılarak yapılacak çalışmanın ve ardından nümerik modellemenin bu konuya önemli katkı yapacağı düşünülmektedir.

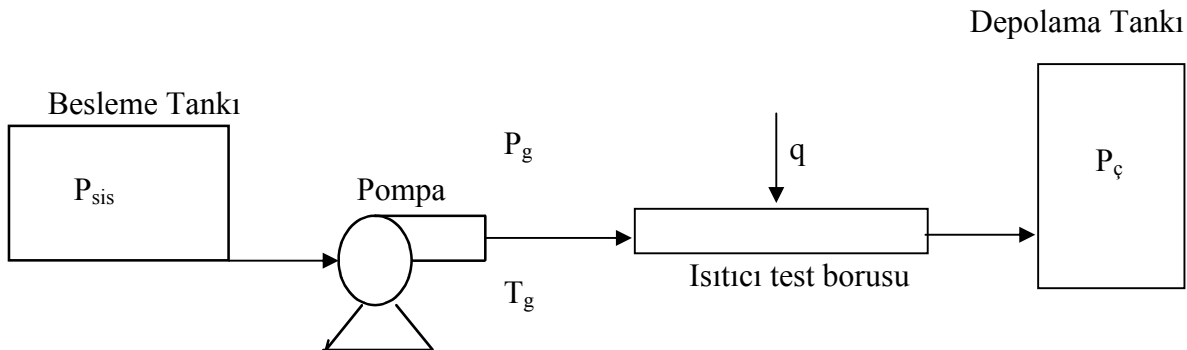
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. İki Fazlı Akışlar

Sıvı fazın buhar fazına dönüşümü genel olarak buharlaşma prosesi ile izah edilmektedir. Bu da iki farklı şekilde meydana gelmektedir. İlk olarak; ısıtılan bir yüzeyde kabarcıkların meydana gelmesi kaynamanın başladığını göstermekte iken ikinci olarak da; sıvı ve buharı arasında ki ara yüzeyde bir buharlaşma meydana geldiği zaman buharlaşmanın başladığını göstermektedir. Kaynama sırasında sıvı fazdan buhar faza geçişten dolayı sürekli bir ısı transfer olayı söz konusu olmaktadır Faz değişimi esnasında sürekli olarak meydana gelen bu ısı transfer olayı akışkan sıcaklığına bağlı olmaksızın devam etmektedir. T_s yüzey sıcaklığı uygun bir sıvı basıncına tekabül eden doyma sıcaklığı T_d' ı geçtiği zaman kaynama başlamaktadır. Katı yüzeyden sıvı yüzeye transfer edilen ısı aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilebilir;

$$q_s = h(T_s - T_d) = h \Delta T \quad (2.1)$$

Burada; $\Delta T = T_s - T_d$ sıcaklık farkını göstermektedir. Bu çalışmada prensip olarak aynı yatay bir borudaki konvektif kaynamalı buhar - sıvı fazlarından oluşan iki fazlı akış sisteminin basit bir blok diyagramı Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



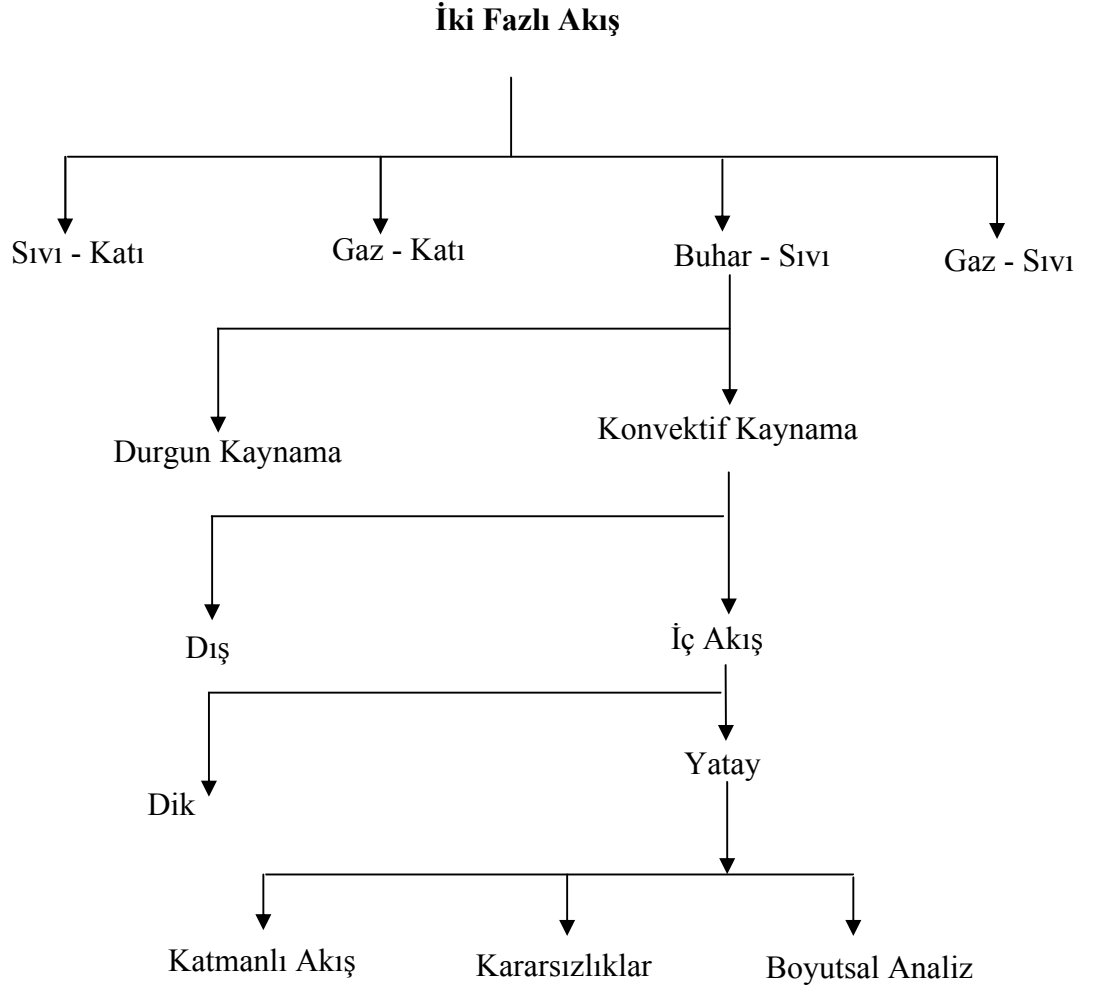
Şekil 2.1. Konvektif kaynamalı ve yatay bir boru sisteminin basit bir blok diyagramı

İki fazlı akış, iki fazın (katı, sıvı veya gaz) etkileşimli akışını ifade eder. İki fazlı akışın olabilmesi için farklı yoğunluklara sahip iki maddenin aynı anda aynı sistemde mevcut bulunması gerekmektedir. Sıvı-katı, buhar-sıvı ve gaz-sıvı akışları şeklindedir.

İki fazlı akış iki fazın arasında bir yüzeyin olması ve gaz-sıvı akıslarda bu yüzeyin çeşitli şekiller alması ile ifade edilebilir. İki fazlı akışlar dikey, yatay ve eğik olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır. Bu üç fazın akış karakteristikleri birbirinden farklıdır. Örnek olarak dikey akışta akış, boru eksenine göre simetriktir. Bunun nedeni yerçekimi kuvvetinin akış yönüne paralel etki yapmasıdır. Yatay akışta ise fazlar arasındaki yoğunluk farkı ve yerçekimi kuvvetinin akışa dik etki etmesi nedeniyle, sıvı faz boru tabanında buhar fazı ise borunun üst yüzeyinde akışına devam eder.

2.2. İki Fazlı Akış Rejimleri

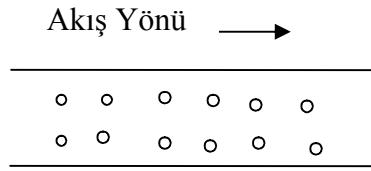
İki fazlı akış rejimlerinin sınıflandırılması Şekil 2.2'te şematik olarak gösterilmiştir.



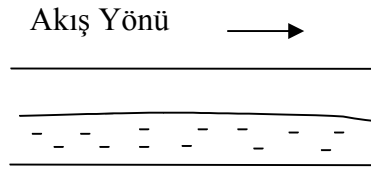
Şekil 2.2. İki fazlı akışların genel olarak sınıflandırması (Ding 1993)

2.3. Yatay Borularda İki Fazlı Akış Rejimleri

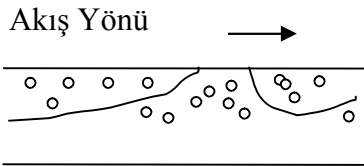
Yatay olarak düzenlenmiş boru kanallarında oluşan iki fazlı akış rejimlerinin temel özellikleri sıvı faz akışının yerçekim kuvvetinin etkisi ile boru kanalı alt cidarı boyunca akması buna karşılık gaz fazı akışının boru kanalı üst cidarı boyunca akmasıdır. Yatay borularda oluşan temel iki fazlı akış rejimleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



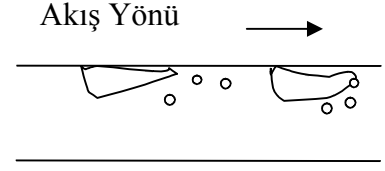
a) Kabarcıklı akış



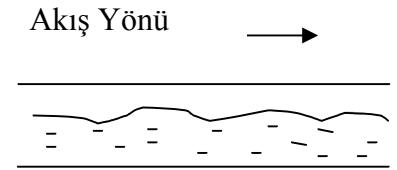
c) Katmanlı akış



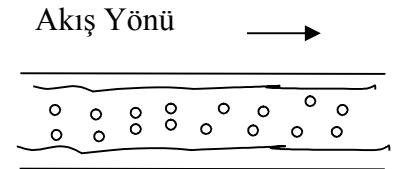
e) Slug akış



b) Plug akış



d) Dalgalı akış



f) Annular akış

Şekil 2.3. Yatay borularda oluşan temel iki fazlı akış rejimleri

a) Kabarcıklı Akış

Bu akış rejiminde sıvının tüm hacmi boyunca dağılmış kabarcıklar boru üst cidarı boyunca akmaya meyillidirler.

b) Plug Akış

Kabarcıklar birer şemsiye yada mermi şeklindedir. Kabarcıkların bu tarz özelliğinden dolayı literatürde plug akış olarak adlandırılan bu akış rejiminde kaldırma kuvveti nedeniyle kabarcıklar boru üst cidarı boyunca akmaktadırlar.

c) Katmanlı Akış

Bu akış rejiminde gaz hızı sıvı üzerine çok az etki yapacak büyüklükte, fazlar üzerine etkiyen yerçekim kuvveti ise en etkin seviyededir. Boru üst cidarı boyunca tamamen gaz fazı akışı olurken boru alt cidarı boyunca ise tamamen sıvı faz akışı gözlemlenmektedir.

d) Dalgalı Akış

Katmanlı akışta gaz fazı akış hızının artması sonucu sıvı - gaz fazları arasındaki ara yüzeyde dalgalı geometrik şekiller oluşur. Sıvı yüzeyinde gözlenebilir seviyede olan bu akış rejimi dalgalı akış rejimi olarak adlandırılır.

e) Slug Akış

Dalgalı akış rejiminde fazlar arası yüzeyde oluşan dalgalı geometrik şekillerin büyüklüğü artarak bu dalgalı şekillerin boru kanalı üst cidar yüzeyi ile temas etmesi sonucu slug akış rejimi ortaya çıkmaktadır. Boru kanalı alt cidarında dalgalı bir katmanlaşma tabakasının oluştuğu yerlerde içerisine sıvı faz akışının kısmen karıştığı köpüklü bir slug akışı da meydana gelmektedir.

f) Film yada Annular Akış

Bu akış rejimine film akış rejimi de denmektedir. Bu akış rejimi yatay borularda sadece gaz fazının yüksek debilerde aktığı durumlarda meydana gelmektedir. Düşey akışlarda olduğu gibi genellikle gaz fazı akış ortamında belirli bir miktarda sıvı faz damlacıkları mevcuttur. Tüm boru çapı çevresi boyunca sürekli bir sıvı filmi vardır. Yatay borularda daha komplike olan iki fazlı film akış rejiminde boru kanalı alt cidarında oluşan film tabakasının kalınlığı yerçekimsel kuvvetlerin etkisi nedeniyle genellikle üst cidarda oluşan film tabakasının kalınlığından daha kalın olmaktadır.

2.4. Kaynamalı Kanalda Basınç Düşümü-Debi Karakteristikleri

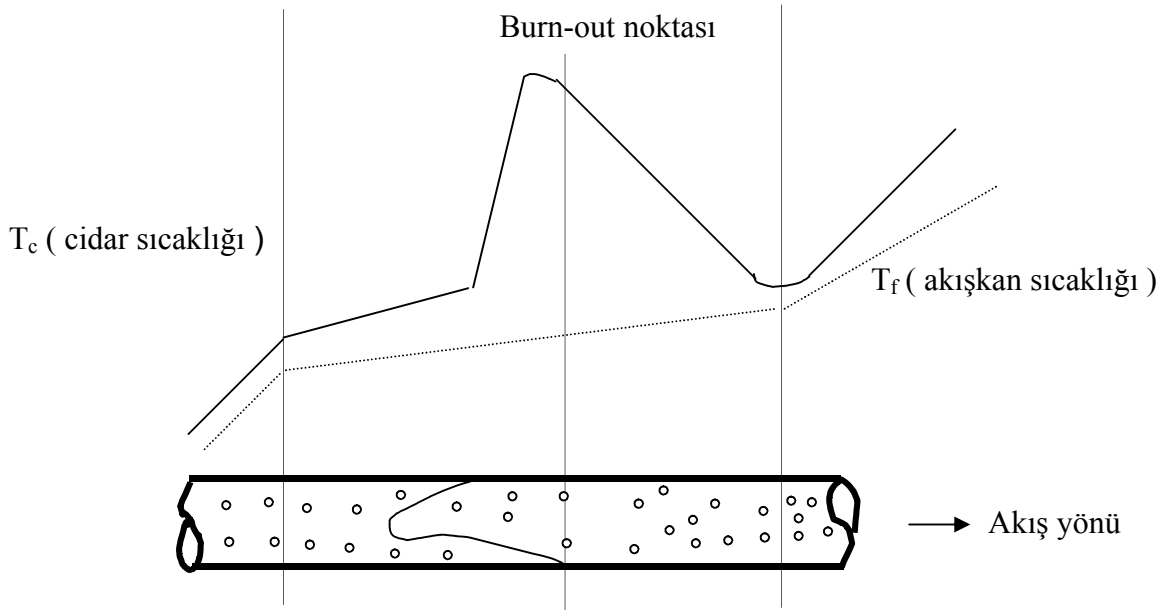
Sistemin kararlı durum karakteristiği, kanal boyunca olan basınç düşümü ile akış debisi arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Buradaki basınç düşümü ($\Delta p = p_{\text{giriş}} - p_{\text{çıkı}}$) şeklinde ifade edilmektedir. Isıtılan bir kanalda tek fazlı akışta basınç düşümü ile debi arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir.

$$\Delta p = k \frac{G^2}{2\rho} + \Delta p_g \quad (2.2)$$

2.5. Yatay Borularda " Burn - out " Olayı

Kaynamakta olan bir sıvı fazda bulunan bir fazındaki akışkan ile yüzey arasında sürekli temasın kesildiği bir noktaya ulaşılmaktadır. Kaynama krizi olarak da adlandırılan bu olay ısı transfer mekanizmasında ani bir değişim oluşması sonucunda meydana gelir. Kaynama krizi sırasında sıvı fazındaki akışkan ile yüzey arasına nispeten daha düşük termal kondüktiviteye sahip buhar fazındaki akışkanın girmesi sonucunda akışkana iletilen ısı transferi oldukça azalmaktadır. Bunun sonucunda cidar sıcaklığında hızlı bir artış gözlemlenir. Kanal yüzeyine uygulanan ısı akısı azaltılmazsa kanal yüzey sıcaklığı ani bir şekilde oldukça yüksek sıcaklık limitlerine ulaşır. Bu olay kaynamalı ısı transfer alanında burn-out olarak adlandırılmaktadır. Aynı şekilde burn-out olayının gözlemlendiği anda ısıtıcı kanal yüzeyine uygulanan ısı akısı değerine kritik ısı akısı (CHF) adı verilmektedir. Zorlanmış konveksiyonlu kaynama şartlarında da bu olay iki fazlı akış ortamında meydana gelmektedir. Kaynama krizi kaynamalı ısı transfer yapıları nedeniyle kaynamalı su reaktörlerinde direkt etkiye sahiptir. Kaynamalı su reaktörlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi kaynama krizidir. Özellikle yatay pozisyonda işletilen buhar kazanları ile boylerlerde bulunan boru demetlerinin uzun ömürlü olarak kullanılmaları, bu boru cidarları ile buhar-sıvı fazlarından oluşan iki fazlı karışımın sıvı fazı arasında uygun ısı transfer şartlarının korunmasına büyük oranda bağlı olmaktadır. Şayet uygun ısı transfer şartları korunamaz ise meydana

gelecek termal gerilmeler boru kanal cidarlarında çatlama, yırtılma ve patlama gibi deformasyonlara sebep olacaktır. Yatay bir boyler borusunda oluşan burn-out olayı şematik olarak Şekil 2.4 'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Yatay bir boyler borusunda oluşan burn-out olayı

Burn-out olayının ortaya çıkmasında en etkin rolü oynayan bazı temel mekanizmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Film Kaynaması: Film akış rejiminde oluşan buhar fazındaki film akış tabakası sahip olduğu düşük termal kodüktivite nedeniyle ısıtıcı boru kanal cidarının aşırı derecede ısınmasına neden olarak burn-out olayının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır

Sıvı Fazındaki Damlacıkların Sınırlı Sayıda Olması: Isıtıcı kanal yüzeyinde buharlaşan damlacık oranına göre meydana gelen buhar fazındaki akıştan film akış tabakası yüzeyine damlacıkların düşmesiyle burn-out olayı meydana gelmektedir.

Sıvı Film Tabakasında Meydana Gelen Ani Bozulma: Sıvı film akış rejiminin fazlar arası yüzeyin dalgalı bir geometrik şekil arz ettiği dalgalı akış rejimine dönüştüğü

zaman ısıtıcı boru kanalının belirli bir bölgesinde burn - out olayı meydana gelmektedir.

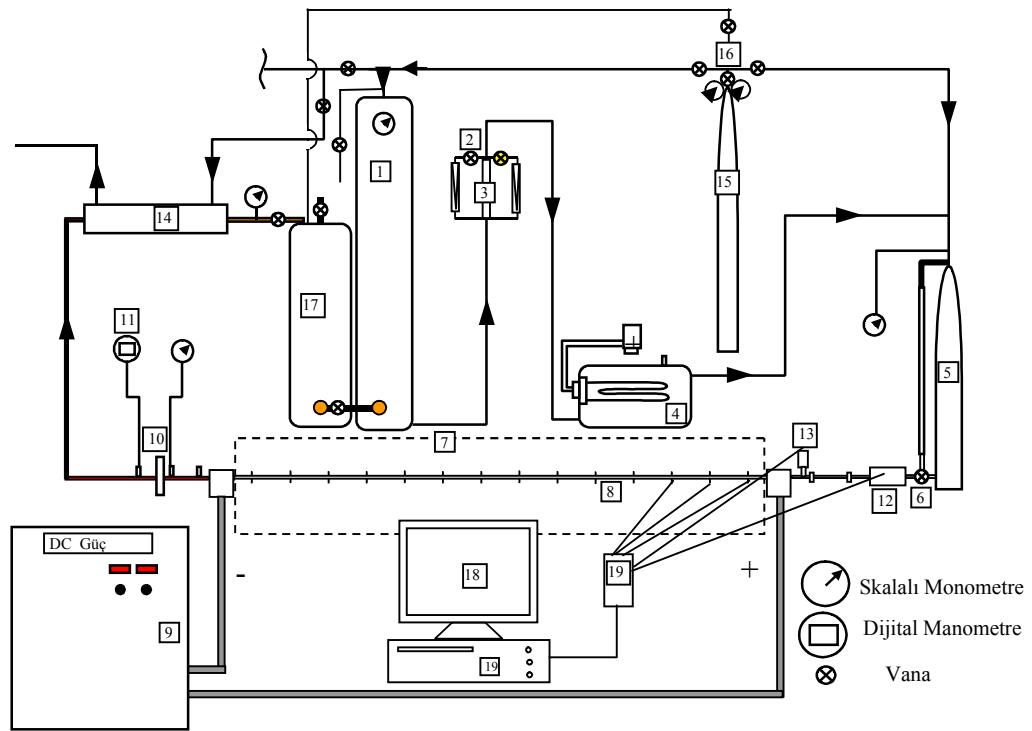
Sıvı Fazındaki Film Tabakasının Buharlaşması: Kanal boyunca aynı anda akmakta olan sıvı-buhar fazları ısıtıcı boru kanalının belli bir bölgesinde tamamen buharlaşmaları sonucunda iki fazlı akış ortamından tamamen buhar fazından oluşan tek fazlı akış ortamına geçiş noktasında burn-out olayı meydana gelmektedir.

Sıvı Fazındaki Film Tabakasının Formasyonu: Sıvı film tabakası aşırı kızgın olan lokal bir bölgeye ulaştığı zaman tamamen buhar fazından oluşan bir tek buhar fazı bölgesi oluşmaktadır ki bu noktada burn-out olayı meydana gelmektedir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Düzeneği

Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen deney düzeneği zorlanmış konveksiyonlu kaynamalı yatay bir boru kanal sisteminden meydana gelmiştir. Bu çalışmada iki fazlı akışlarda, iş yapan akışkan olarak su kullanarak, boru kanalı içerisine yerleştirilen farklı ısı transfer iç yüzey konfigürasyonuna sahip ısı transfer yüzey artırım elemanının ne gibi bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

<u>Akışkan Besleme Bölümü</u>	<u>Test Bölümü</u>	<u>Akışkan Çıkış Bölümü</u>
1- Ana besleme tankı	5- Dengeleyici tank	14- Yoğusturucu
2- Debi ayar vanası	6- Akışkan giriş kontrol vanası	15- Azot tankı
3- Flowmetre (iki adet)	7- Test odası	16- Regülatör
4- Isıtıcı	8- Test borusu	17- Akışkan depolama tankı
	9- DC güç kaynağı	18- Bilgisayar
	10- Orifis	19- Data okuma kartı
	11- Dijital manometre	
	12- Türbin tipi debi ölçer (Debi transdüseri)	
	13- Basınç transdüseri	

Test borusu olarak 3030mm uzunluğunda 22mm iç, 25mm dış çapında 316l Cr-Ni paslanmaz çelik malzemeden yapılmış çekme boru kullanılmıştır.

Deney düzeneği akışkan besleme bölümü, test bölümü, akışkan depolama bölümü olmak üzere üç temel bölümden oluşmuştur.

3.1.1. Akışkan Besleme Bölümü

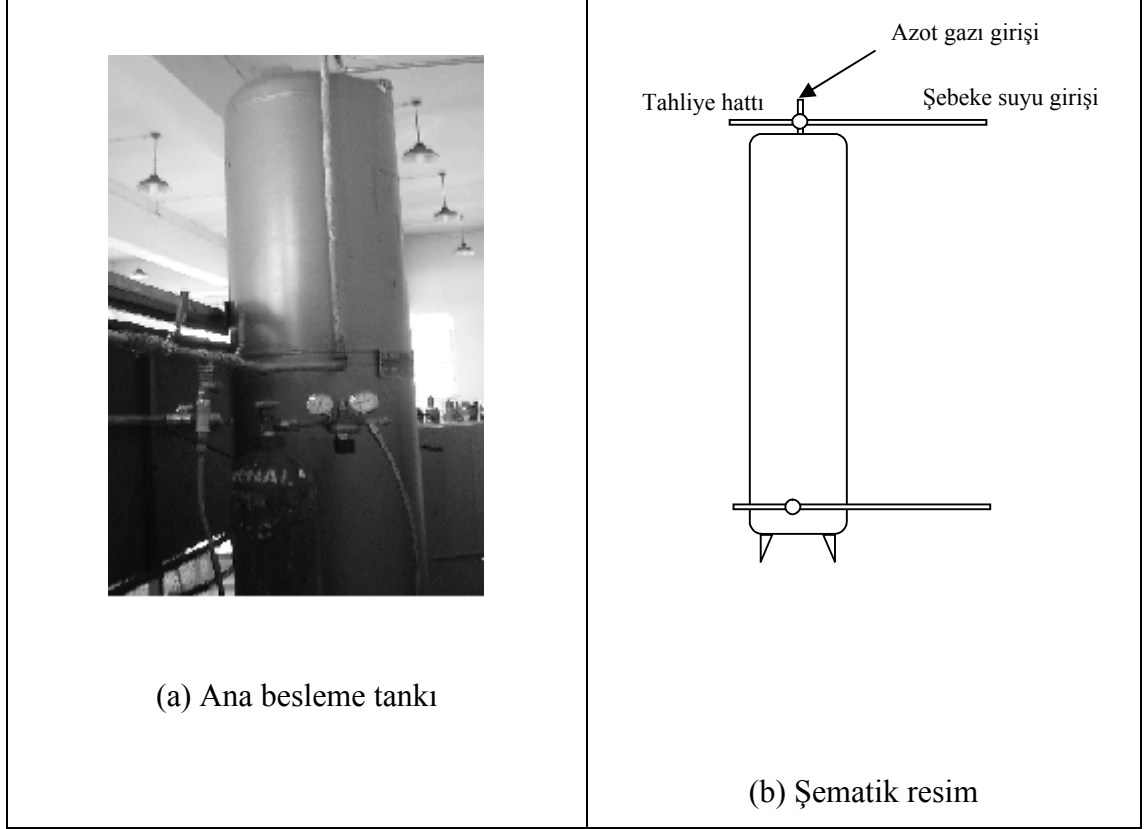
Akışkan besleme bölümü iş yapan akışkan olan suyun test borusuna giriş koşullarına getirilmesini sağlamaktadır. Akışkan besleme bölümü; ana besleme tankı (1), debi ayar vanası (2), iki adet flowmetre (3) ve akışkanın sisteme istenilen sıcaklıklarda girmesini sağlamak için kullanılan ısıtıcıdan (4) oluşmaktadır.

Ana Besleme Tankı: Şekil 3.2'de gösterilen ana besleme tankı, deneyler sırasında kullanılacak yeterli hacimdeki suyu depolamak amacıyla kullanılmıştır.. Bu tank 3m yüksekliğinde ve 0.7 m^3 hacminde dikey pozisyonda sisteme montelenmiş, silindirik bir geometriye sahiptir Tank paslanmaz çelikten yapılmış olup 50 Bar işletme basıncına mukavemet edecek şekilde imal edilmiştir.

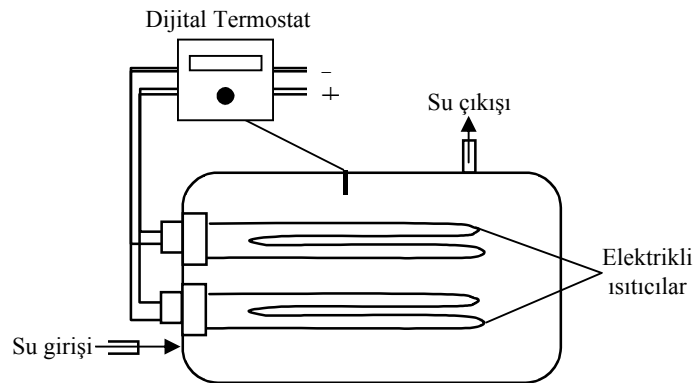
Flowmetre: Deneyler sırasında kullanılacak akışkanın debisini ölçmek ve ayarlamak amacıyla sistemde çelik malzemeden yapılmış iki adet flowmetre kullanılmıştır. İstenen debi ayarı flowmetre üzerinde bulunan kontrol vanası yardımıyla yapılmaktadır. Birinci flowmetrenin debi ölçme aralığı 0-400 l/h, ikinci flowmetrenin debi ölçme aralığı ise 0-1000 l/h arasındadır. Hassas okuma yapmak amacıyla küçük çalışma debilerinde birinci tip flowmetre kullanılarak ölçüm ve ayar yapılmıştır. Flowmetrelerin maksimum çalışma basıncı 40 bar ve maksimum çalışma sıcaklığı 100°C 'dir.

Elektrikli Isıtıcı: Deneyler sırasında kullanılacak suyun test bölümüne istenen sıcaklıkta girmesini sağlamak amacıyla akışkan besleme bölümünün çıkışında Şekil 3.3'de gösterilen eşanjör dış gövdesi yatay olarak imal edilmiş elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır Aşırı soğutucu eşanjörün dış gövdesi 0.35m 'lık çapta ve 0,6m

uzunluğunda dikişli siyah boru malzemesinden imal edilmiştir



Şekil 3.2. Ana Besleme Tankı

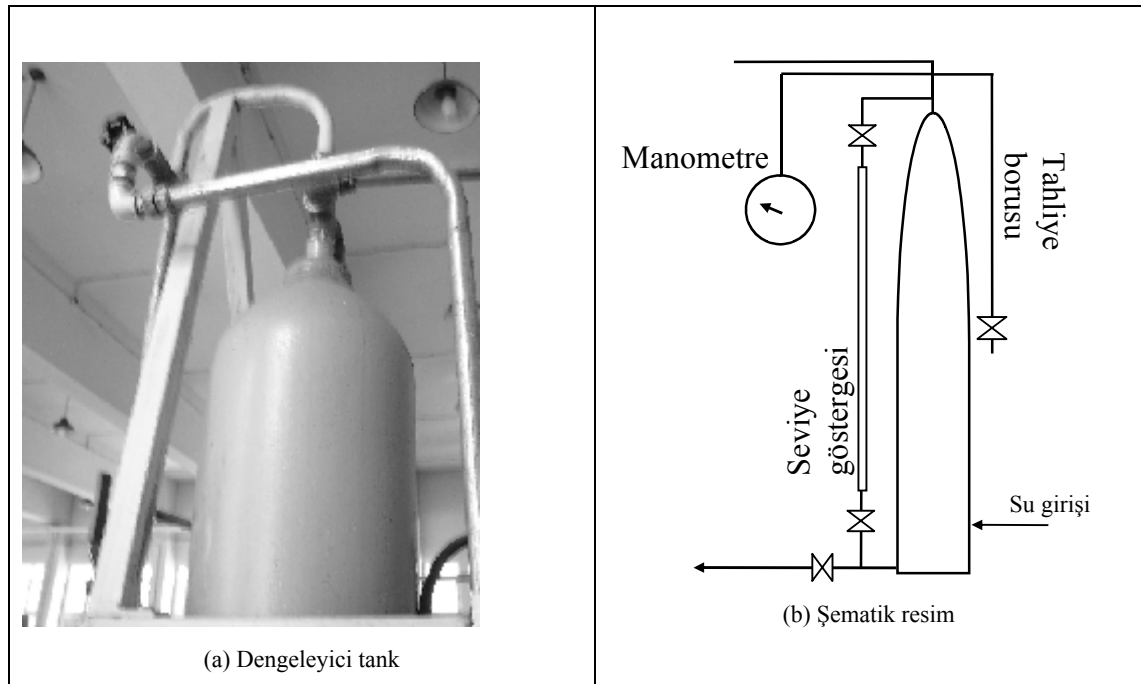


Şekil 3.3. Suyun test borusuna sabit sıcaklıkta girmesini sağlayan düzenek

3.1.2. Test Bölümü

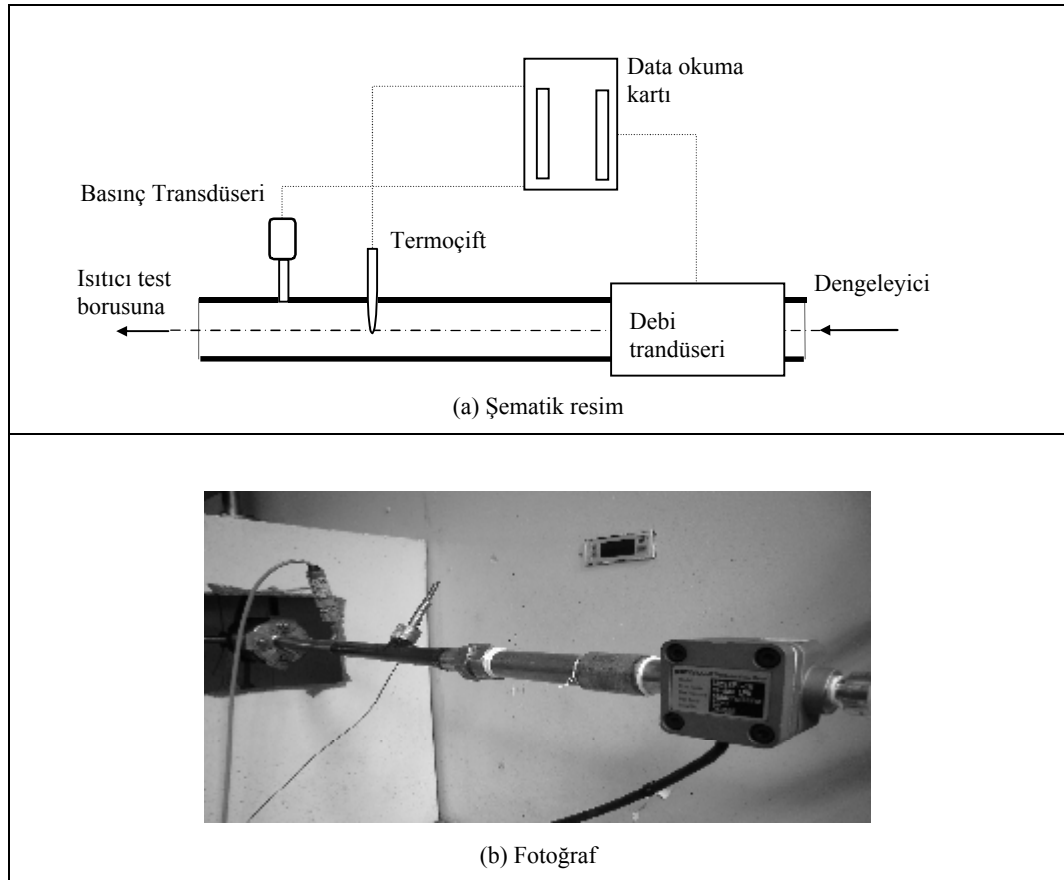
Test bölümü; dengeleyici tank (5), akışkan giriş kontrol vanası (6), ısıtıcı test borusunun yerleştirildiği test odası (7), test borusu (8), ısıtıcı test borusuna gerekli olan ısı gücünü temin eden bir DC güç kaynağı (9), test bölümü çıkışında kısıtlama görevi yapan bir orifis (10), dijital manometre (11), türbin tipi debi ölçer (12) ve basınç transdüserinden (13) oluşmaktadır. Test bölümü; kontrollü kaynama ve iki fazlı akış olaylarının meydana geldiği kısımdır. İki fazlı akış olaylarının gözlemlenmesinde ihtiyaç duyulan ölçümlerin büyük bir çoğunluğu deney düzeneğinin bu bölümünden yapılmaktadır.

Dengeleyici Tank: 0.05 m^3 hacminde imal edilmiş olup test borusu boyunca oluşacak iki fazlı akış olaylarını incelemek için gerekli olan sıkıştırılabilir hacmi sağlayan bir elemandır.

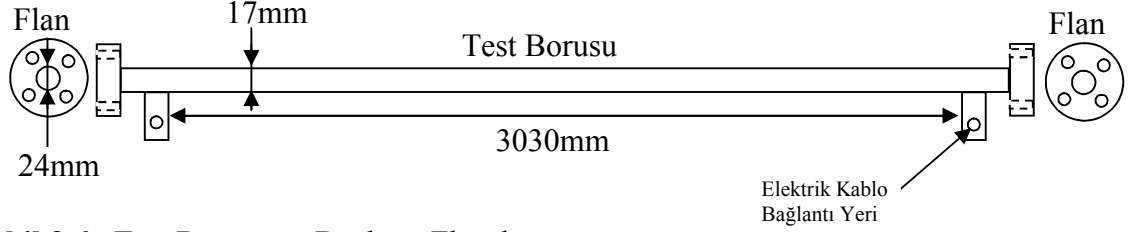


Şekil 3.4. Dengeleyici Tank

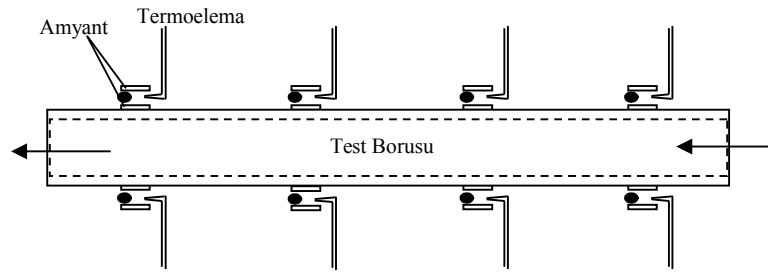
Dengeleyici Tank ile Test Borusu Arasındaki Kısım: Şekil 3.5'te gösterildiği gibi dengeleyici tank ile test borusu arasında türbin tipi debi ölçer, Bourdon tipi manometre, basınç transdüseri ve sıcaklık ölçüm elemanı bulunmaktadır. Test odasından önce test bölümü girişinde Şekil 3.5'te gösterildiği gibi ısıtıcı test borusuna giren akışkanın giriş debisindeki mikro seviyelerdeki varyasyonları ölçmek amacıyla bir diferansiyel basınç transdüktörü, akışkan giriş basıncını ölçmek amacıyla Bourdon tipi bir dijital manometre, girişte akışkan basınç seviyelerinde oluşabilecek mikro seviyedeki dalgalanmaları ölçebilecek bir basınç transdüseri ile yine test bölümü girişinde iş yapan akışkanın giriş sıcaklığını tespit etmek amacıyla da bir termokupul ölçüm elemanı sisteme monte edilmiştir. İş yapan akışkanın giriş sıcaklığı test bölümüne girmeden önce T tipi termoeleman ile ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan kütleli debi değerleri 40 – 105 g/s arasında değişmiştir.



Şekil 3.5. Deney düzeneğinin dengeleyici tank ile test borusu arasındaki kısmı

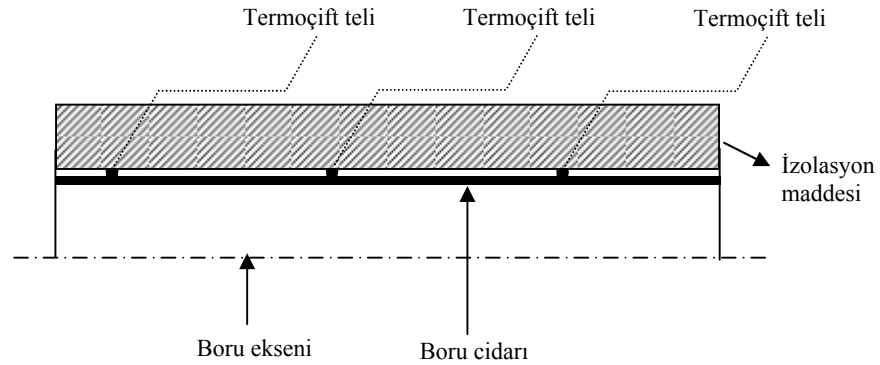


Şekil 3.6. Test Borusu ve Bağlantı Flanşları

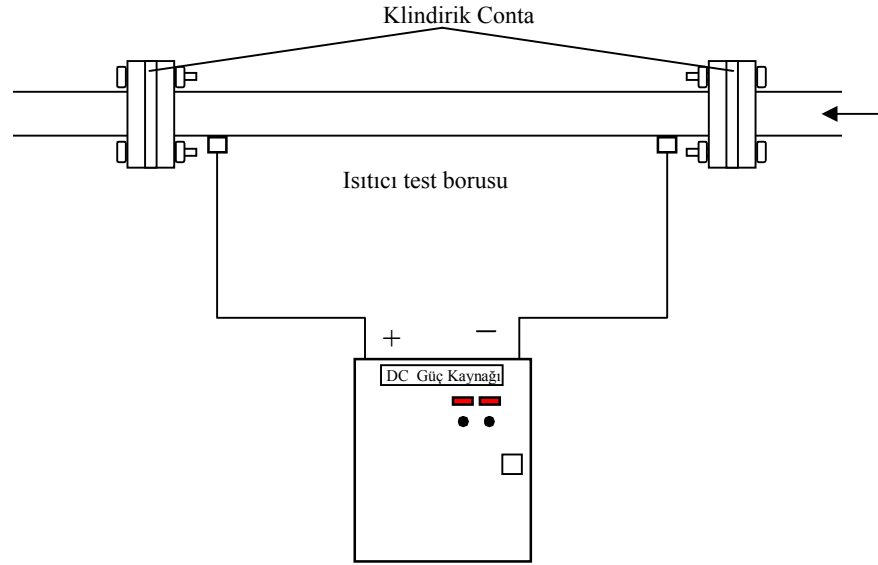


Şekil 3.7. Termoeleman bağlantı şekilleri

DC güç kaynağı: Isıtıcı test borusuna gerekli olan ısı gücünü temin eden DC güç kaynağı yaklaşık 120 kW güç kapasindedir. Isıtıcı borunun her iki ucu DC güç kaynağının pozitif (+) ve negatif (-) uçları ile bağlanarak gerekli ısı gücü temin edilmeye çalışılmıştır. Isıtıcı borunun her iki ucuna sistemin diğer kısımlarını elektriksel olarak izole etmek amacıyla yüksek sıcaklığa dayanıklı klindirik conta kullanılmıştır. Vida bağlantılarına porselen halka geçirilerek elektriksel izolasyon sağlanmıştır.

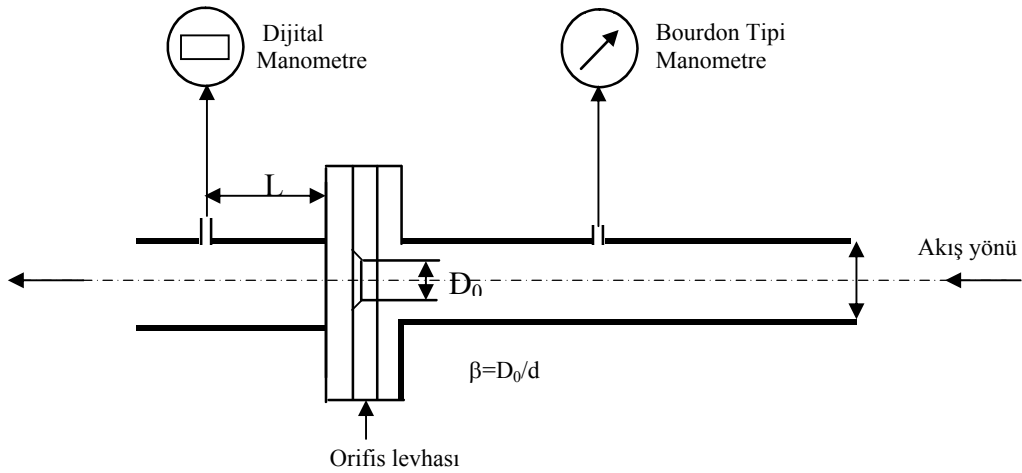


Şekil 3.8. Test borusu izolasyon tabakasının ve termočift uçlarının şematik gösterimi



Şekil 3.9. Test borusu elektriksel bağlantı

Orifis Levhası: Deney sisteminde istenilen basınç düşümünü sağlamak amacıyla test borusu çıkışına bir orifis levhası monte edilmiştir. Orifis levhasının giriş tarafındaki basınç Bourdon-tipi manometre, çıkış tarafındaki basınç ise bourdon-tipi dijital manometre ile ölçülmüştür (Şekil 3.10). Deneylerde orifis çapının boru çapına oranı (β) 0.30 olarak alınmıştır.



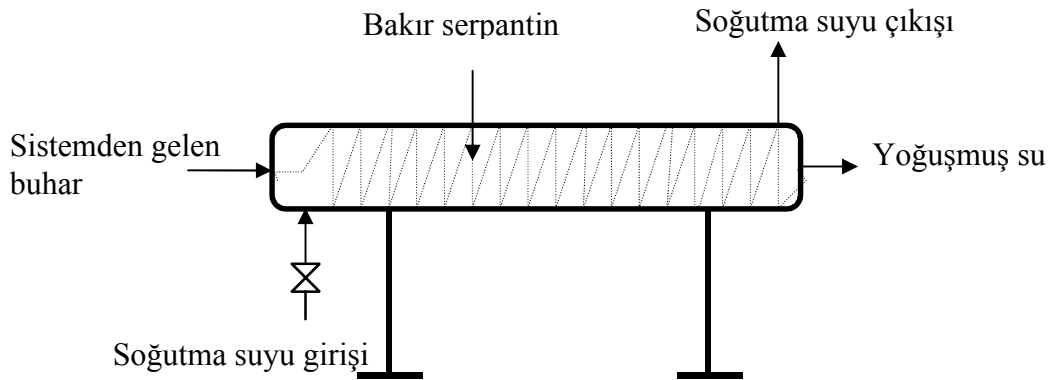
Şekil 3.10. Çıkış kısıtlayıcısının şematik gösterimi

3.1.3. Akışkan Depolama Bölümü

Akışkan Depolama bölümü test bölümünden buhar fazında çıkan suyu başlangıç deney şartlarına getirmek amacıyla soğutup depolanmasını sağlar. Yoğuşturulan akışkan sıvı fazda depolama tankına sevk edilir. Bu tanktan ana besleme tankına iş yapan akışkan olan sıvı fazdaki suyun sevk edilmesi yine yüksek basınç seviyesine sahip azot gazı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra iş yapan akışkan olan suyun sistemdeki çevrimsel sirkülasyonu aynı şekilde tekrarlanarak devam eder. Akışkan depolama bölümü; yoğusturucu (14), azot tankı (15), regülatör (16) ve akışkan depolama tankından (17) oluşmaktadır.

Yoğusturucu

Sistemden çıkan buhar fazından suyu sıvı hale getirmek amacıyla kullanılan yoğusturucu 0.16m çapında, 1.45m dikisli siyah boru malzemesinden imal edilmiş yatay boru tipi bir ısı değıştiricisidir. 0.02m capa sahip bakır borunun dışından soğutma suyu geçieilerek spiral boru içerisindeki iş yapan akışkan yoğusturulur. Bundan sonra iş yapan akışkan olan suyun sistemdeki çevrimsel sirkülasyonu aynı şekilde tekrarlanarak devam eder.



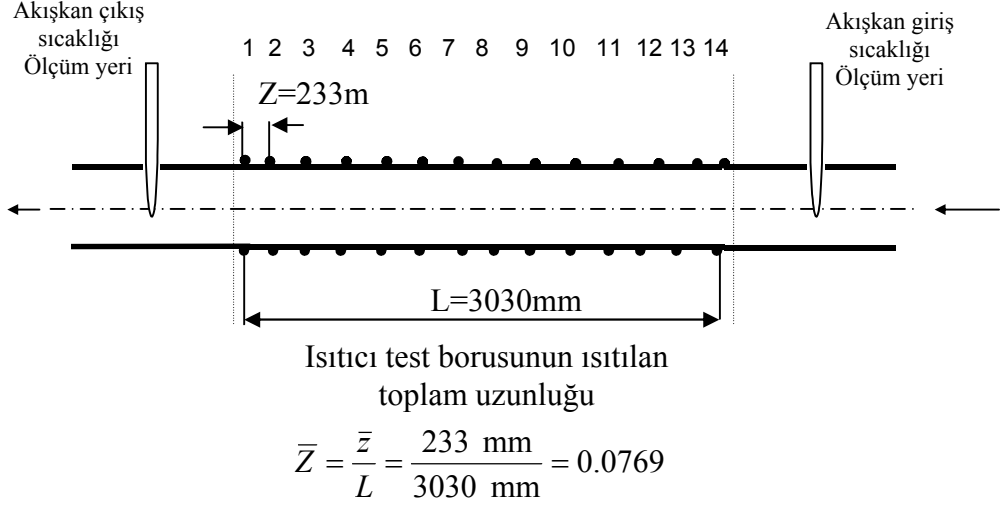
Şekil 3.11. Yoğusturucu

Depolama Tankı: Yoğuşturucuda sıvı hale gelen su 0.75m çapında, 1.75m boyunda ve 1cm cidar kalınlığına sahip normal düz siyah saç malzemesinden silindirik olarak imal edilmiş ve dikey pozisyonda yerleştirilen depolama tankına sevk edilir. Depolama tankındaki sıvı fazdaki su ana besleme tankına yüksek basınçlı azot gazı kullanılarak gönderilmektedir.

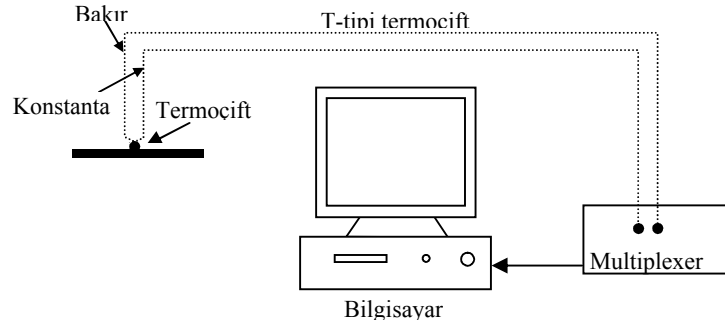
3.2. Ölçümler

3.2.1. Sıcaklık ölçümleri

Deney düzeneğinde toplam 30 ölçüm yerinde 0.25mm çapında T tipi bakır-konstantan termociftleri kullanılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu termoelemanlar vasıtasıyla alınan sıcaklık okuma hatası $\pm \% 0.5^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkıştaki sıcaklıklarının ölçümü için 5mm çapında bir ucu kapalı ince bakır boru içerisine yerleştirilen termoelemanlar kullanılmış ve bakır boru test borusunun giriş ve çıkışında boru içerisine daldırılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. İki fazlı akış rejimlerini ve akış osilasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılan termociftler ise termoeleman uçlarının test borusu cidarının dış yüzeyine tespit edilmesi yoluyla ölçülmüştür. Test borusu yüzey sıcaklıkları eşit aralıklarla 14 tanesi üst cidar boyunca diğer 14 tanesi de alt cidar boyunca olmak üzere toplam 28 termoeleman çifti kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.12). Test borusu direkt olarak elektrikle ısıtıldığından elektriksel gürültü etkisini ortadan kaldırmak amacıyla termoeleman çiftlerinin uçları elektriksel olarak yalıtkan fakat termal iletkenliği iyi olan amiyant levhalar arasına yerleştirilmiştir. Termoelemanlar ve basınç/debi transdüserlerinden alınan sinyallerin okunabilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla analog/dijital Advantec Data Okuma kartı kullanılmıştır. Şekil 3.13 termociftlerin data okuma kartına bağlantısını şematik olarak göstermektedir. Termoelemanların bakır ucu kartta bulunan herhangi bir kanalın pozitif ucuna, konstantan ucu ise negatif ucuna bağlanmıştır. Saniyede 100 adet örnekleme yapabilme yeteneğine sahip bu kontrol kartından alınan okumalardaki toplam hata oranı kontrol kartının seçilen kazanç değeri seviyesine bağlı olarak $\pm \% 0,1^{\circ}\text{C}$ ile $\pm \%0,5^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir.



Şekil 3.12. Test borusu cidar sıcaklığı ölçüm noktaları



Şekil 3.13. Termoçiftlerin data okuma kartına bağlantısının şematik gösterimi

3.2.2. Basınç ölçümleri

Deney düzeneğinde ana tank, dengeleyici tank, azot tankı, test borusu girişi ve orifisden önce ve orifisden sonraki basınçlar ölçülmüştür. Ana tank, dengeleyici tank, azot tankı ve orifisin girişindeki basınçlar analog Bourdon tipi manometreler kullanılarak ölçülmüştür. Bourdon tipi manometreler 0-100 bar arasındaki basınçları okuyabilmektedir. Skala üzerinde 0.5 bar'lık basınç okunabilmektedir. Orifisin

çıkışındaki basınç ise dijital bir manometre kullanılarak ölçülmüştür. Analog manometrelerde okunan basınç değerlerindeki toplam hata oranı $\pm\%0.1$ bar düzeyindedir. Test borusu girişinde ise giriş basıncını ve giriş basıncında oluşacak osilasyonları ölçmek amacıyla basınç transdüseri kullanılmıştır. Bu basınç transdüserinden alınan 4-20 mA seviyesindeki analog sinyaller data okuma kartıyla işlenmiştir (Şekil 3.5). Transdüseri elektriksel olarak beslemek için DC güç kaynağı kullanılmıştır. Basınç transdüserinden alınan datalardaki toplam hata oranı $\pm\%0.1$ düzeyindedir.

3.2.3. Debi ölçümleri

Kütleli debi akış rejimlerinin, kararlılık sınırlarının ve osilasyon tiplerinin belirlenmesinde kullanıldığından çok hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Akışkanın debisini ölçmek ve ayarlamak amacıyla sistemde iki adet flowmetre kullanılmıştır. Bu flowmetrelerden birisinin ölçüm aralığı 0-400 l/h, diğerinin ölçüm aralığı ise 0-1000 l/h'dir. İstenen debi ayarı flowmetre üzerinde bulunan kontrol vanası yardımıyla yapılmaktadır. Bu flowmetreler kullanılarak bulunan kütleli debi değerlerindeki toplam hata oranı $\pm\%0.4$ civarındadır. Deneysel çalışmalar boyunca kullanılan maksimum ve minimum debi değerleri 40–105 g/s arasında değişmiştir. Sistemde oluşan debi osilasyonlarını ölçmek amacıyla türbin tipi debi ölçer kullanılmıştır. Debi ölçer deney sisteminde dengeleyici tank ile test borusu arasına monte edilmiştir. Bu transdüserin teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Debi ölçerden alınan veri okumalarındaki toplam hata oranı $\pm\%0.05$ 'dir.

Çizelge 3.1. Türbin tipi debi ölçerin teknik özellikleri

Parametre	Değer
Akış Debisi	15-500 l/h
Doğruluk	$\pm\%1$
Maksimum viskozite	1000 centipoise
Maksimum çalışma basıncı	500 kPa/
Maksimum çalışma sıcaklığı	80°C
Pulse tipi	Hall effect sensör/reed switch
Pulse/Litre	400
Çıkış sinyali	4-20 mA
Boyut	50mm*50mm

3.2.4. Isı gücü ölçümleri

Her bir deneysel adımda kullanılan güç değeri DC güç kaynağının üzerinde bulunan ayar düğmesiyle yapılmıştır. Test borusuna verilen ısı gücü değerleri DC güç kaynağının üzerinde bulunan dijital volt ve akım göstergelerinden okunmuştur. Deney sisteminde kullanılan DC güç kaynağı yaklaşık 120 kW güç kapasitesindedir. Yapılan hata analizi sonucu elektriksel güç değerlerinin ölçülmesinde ortaya çıkan toplam hata oranının $\pm \% 0.2$ düzeyinde olduğu bulunmuştur.

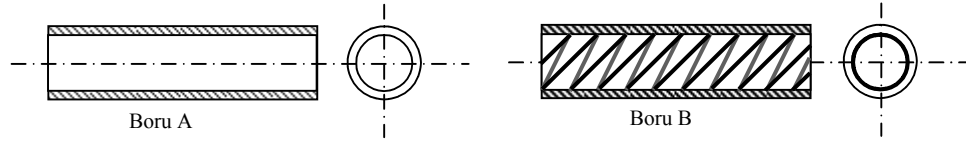
3.3. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmalar kararlı deneyler kategorisinde yapılmıştır. Kararlı deneylerde kararlı durum karakteristikleri belirlenmiştir. Deneyler 40-105 g/s debi aralığında sekiz farklı debide yapılmıştır. Deneyler 16 kW sabit ısıl güçte yapılmıştır. Giriş aşırı soğutmasının kararlı ve kararsız durum karakteristiklerine etkisini belirlemek amacıyla 20, 25 ve 30°C olmak üzere üç farklı akışkan giriş sıcaklığı kullanılmıştır. Isı transfer iyileştirmesinin etkisini belirlemek amacıyla 2 farklı ısı transfer yüzey konfigürasyonu kullanılmıştır. Şekil 3.14’de bu ısı transfer yüzeyleri ve karakteristikleri verilmiştir. Şekil 3.15. ısı transfer iyileştirme elemanının fotoğrafını göstermektedir. A borusu boş boru, B borusu ise yay içeren borudur.

Şekil 3.14’de de gösterildiği gibi ısı transfer yüzeyleri efektif çapla karakterize edilmektedir. Efektif çap aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_e = \sqrt{\frac{4V'}{\pi L}} \quad (3.1)$$

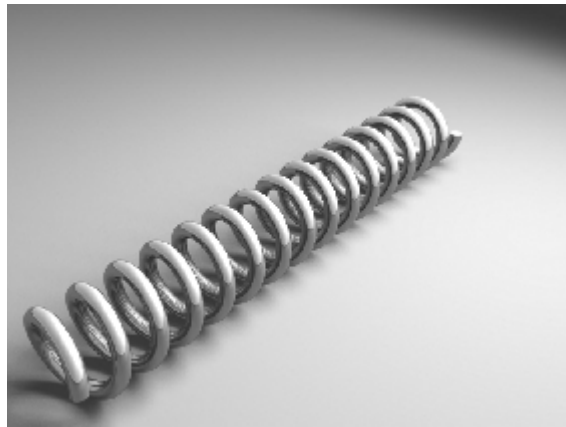
Burada V' boru net iç hacmini ve L boru uzunluğunu göstermektedir.



Boru İsmi	Borunun Karakteristiği	De (mm)
Boru A	Boş boru	22
Boru B	Tel çapı: 1.8 mm, yay adımı: 5 mm olan boru	21,40

Şekil 3.14. Isı transfer yüzey konfigürasyonları ve karakteristikleri

Önce boş boruda deneyler yapılmıştır. İlk deneylerde sisteme ısı gücü verilmemiş ve $p_{\text{sist}} = 7.5 \text{ bar}$, $T_g = 20^\circ \text{C}$ ve $\beta = 0.45$ sabit tutulmuştur. Ardından sırasıyla giriş sıcaklığı artırılarak $T_g = 25^\circ \text{C}$ ve $T_g = 30^\circ \text{C}$ sıcaklıkları için deneyler yapılmıştır. Boş boru deneyleri bittikten sonra B borusuna ait deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.15. Isı transfer iyileştirme elemanları

Her bir deneyde aşağıda belirtilen parametreler ölçülmüştür:

1. Test borusu yüzey sıcaklığı (14 alt, 14 üstten olmak üzere 28 adet)
2. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkış sıcaklıkları
3. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkışındaki statik basınç
4. Test borusu girişindeki debi
5. Orifisin girişindeki ve çıkışındaki basınç

3.3.1. Kararlı Durum Karakteristiklerinin Belirlenmesi Deneyleri

Kararlı durum deneyleri kararlı durum karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Kararlı durum karakteristikleri basınç düşümünün debiyle değişimini gösteren $\Delta p - \dot{m}$ grafikleriyle gösterilmektedir. Buradaki basınç düşümü dengeleyici tank basıncı ile orifis plakasından sonraki akışkanın basıncı arasındaki farktır. Deneylere $\dot{m}=105$ g/s debisiyle başlanmıştır. Yüksek debilerde akış tek fazlı sıvı akışıdır ve karakteristik eğriyi belirlemek amacıyla sekiz farklı debide azaltılarak deneyler yapılmıştır. Tümüyle buhar akışının karakteristikliğini belirlemek amacıyla debi çok düşük değerlere azaltılmalıdır. Deneylerde en düşük debi değeri 40 g/s olarak alınmıştır. Burnout olasılığı nedeniyle deneylerin tümünde daha düşük debi değerlerine erişilememiştir. Cidar sıcaklıkları ve akışkan çıkış sıcaklığı gözlenerek borunun burnout bölgesine erişip erişmediği kontrol edilmiştir.

Kararlı durum karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde sırasıyla aşağıda belirtilen deneysel çalışma adımları izlenmiştir:

- a. Ana tank azot gazı ile sistem basıncı seviyesine basınçlandırılmış ve sistem basıncı azot tüpü üzerinde bulunan basınç regülâtörü vanası vasıtasıyla ayarlanmıştır.
- b. Kararlı durum çalışmalarında kullanılmayan dengeleyici tankta sıkıştırılabilir hacmin olmaması için dengeleyici tanktaki seviye göstergesi izlenerek bu tank içerisinde bulunan azot gazı tahliye edilmiştir.
- c. Sistemin debisi kontrol vanası kullanılarak deneysel çalışmada tespit edilen en yüksek debi değerine ayarlanmıştır.
- d. Ana tanktan gelen suyun test borusuna giriş sıcaklığına gelmesi için dijital termostat

vasıtasıyla belirlenen sıcaklığa ayar yapılmıştır.

e. İş yapan akışkanın yoğunlaştırıldığı ısı değiştiricinin soğutma suyu açılmıştır.

f. Sistem çalıştırılmış ve kararlı hale gelmesi beklenmiştir.

g. Test borusuna gerekli ısı gücünü temin eden ayarlanabilir DC güç kaynağı istenen güç değerine ayarlanarak sisteme ısı verilmiştir.

h. Sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Test borusu yüzey sıcaklıklarında 0.5°C 'den daha fazla bir değişim gözlenmediğinde sistemin kararlı hale geldiğine karar verilmiştir.

i. Sistem kararlı hale ulaştıktan sonra gerekli tüm ölçümler alınmış ve böylece belirlenen debi için deney tamamlanmıştır.

j. Giriş debisi 40 g/s değerine gelene kadar çeşitli debilerde yeni bir debi değeri için yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırma bulguları ve tartışma bölümünde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen araştırma bulguları sunulacak ve değerlendirilecektir.

4.1. Cidar Sıcaklık Profilleri

Yatay bir boru kanalında dikey bir boru kanalında meydana gelen iki fazlı akış rejimlerinden daha fazla akış rejimi meydana gelmektedir. Bu da yer çekim kuvvetinin yatay akışlarda akış yönüne paralel değil dik olarak etkimesinden kaynaklanmaktadır. Yatay olarak düzenlenmiş boru kanallarında oluşan iki fazlı akış rejimlerinin temel özellikleri sıvı faz akışının yerçekim kuvvetinin etkisi ile boru kanalı alt cidarı boyunca akması buna karşılık buhar fazı akışının boru kanalı üst cidarı boyunca akmasıdır. Yatay akışta fazlar arasındaki yoğunluk farkı ve yerçekimi kuvvetinin akışa dik etki etmesi nedeniyle, sıvı faz boru tabanında buhar fazı ise borunun üst yüzeyinde akışına devam eder. Bunun sonucunda alt cidar genellikle sıvı fazı ile kaplı iken üst cidarda bir kabarcık birikimi söz konusudur. Üst cidarda toplanan kabarcıkların sahip olduğu ısı transfer katsayısının alt cidar boyunca akmakta olan sıvı fazın ısı transfer katsayısından daha küçük olması nedeniyle alt ve üst cidar sıcaklıkları arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

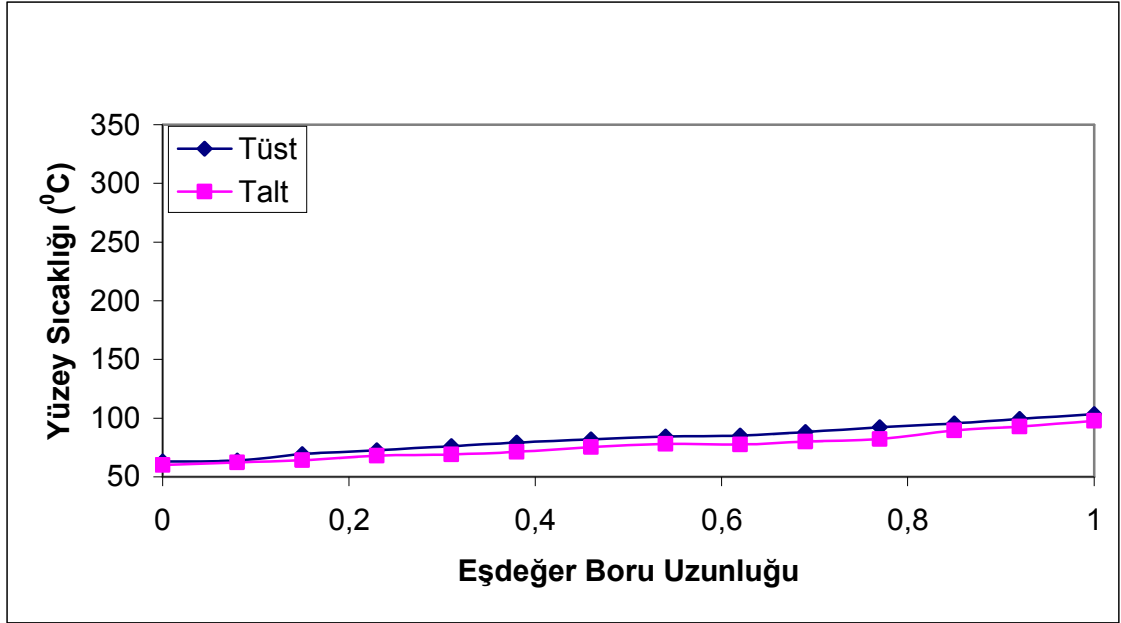
Test borusu yüzey sıcaklıkları eşit aralıklarla 14 tanesi üst cidar boyunca diğer 14 tanesi de alt cidar boyunca olmak üzere toplam 28 termoeleman çifti kullanılarak ölçülmüştür. Sistem kararlı halde iken alınan bu sıcaklık dataları yardımıyla her bir giriş sıcaklığı ve debi için sıcaklık profilleri çıkarılmıştır. Test ortamında meydana gelen akış rejiminin tahmin edilmesinde faydalı olan bu sıcaklık profilleri; her bir deneysel adımda kademe kademe azaltılan kütleli debi değerlerine karşılık sabit ısı gücü, sabit sistem basıncı, sabit bir kısıtlama değeri ile farklı giriş sıcaklık değerleri için ayrı ayrı grafiksel olarak hazırlanarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan bu parametre değerleri sırasıyla; ısı gücü $Q=16$ kW, sistem basıncı $P_{sis}=7.5$ Bar, kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ ve üç farklı giriş sıcaklıkları $T_1=20$ °C, $T_2=25$ °C, $T_3=30$ °C'dir. Bütün sıcaklık profilleri

boru uzunluğu boyunca elde edilen alt ve üst cidar sıcaklık değeri için çizilmiştir.

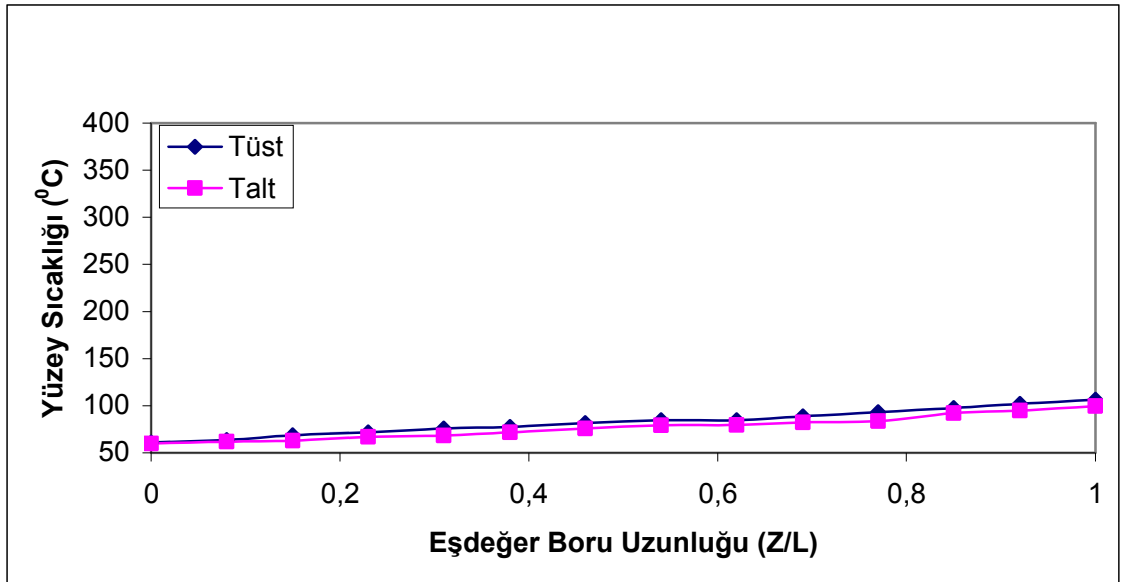
4.1.2. Boş Boru İçin Sıcaklık Profilleri

Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 'te boş boru için tek fazlı konveksiyon halindeki sıcaklık profilleri gösterilmiştir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^0C$, $T_g=25^0C$, $T_g=30^0C$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=105.51g/s$, $m=103.05g/s$, $m=101.92g/s$, ısı gücü $Q=16kW$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır.

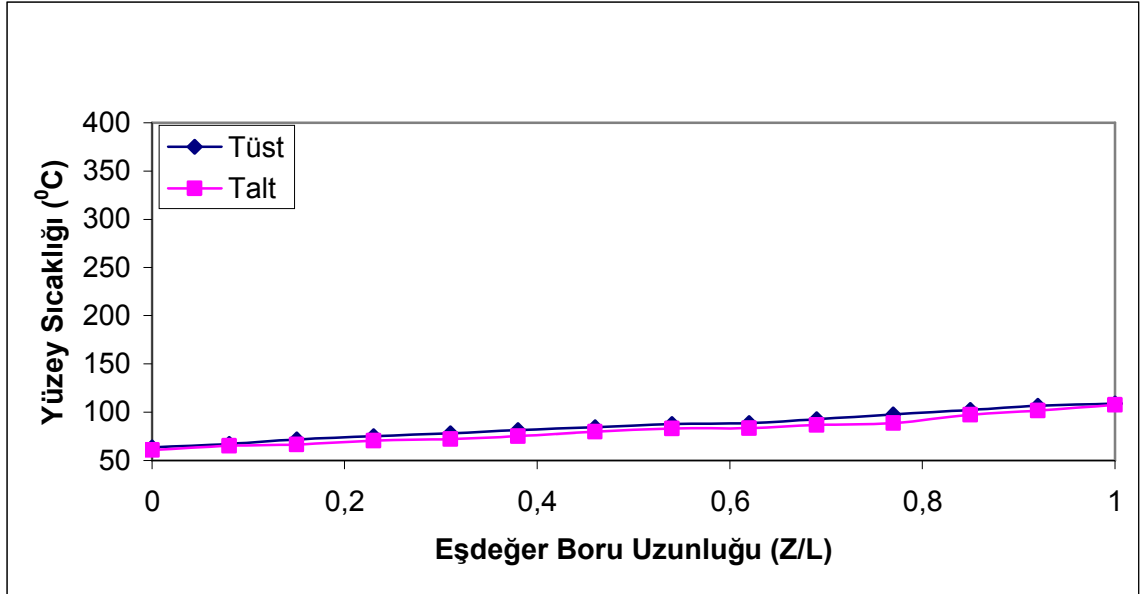
Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 'den de görüldüğü gibi test bölümünde ki akış tek sıvı fazındadır. Isıtıcı test borusunun cidarında üretilen ısıнын tamamına yakını sıvı fazına transfer edilmektedir. Ancak bu akış durumunda üretilen ısı sıvı fazını kaynama noktasına taşıyacak düzeyde değildir. Alt ve üst cidar sıcaklıkları test borusu girişinden itibaren hemen hemen lineer olarak değişmektedir. Üst cidar sıcaklığı alt cidar sıcaklığından daha yüksek değeri seyretnmektedir. Kaldırma kuvvetlerinden dolayı daha düşük yoğunluğa sahip sıvı tabakası akış yönünde üst cidara doğru hareket etmektedir. Alt cidarda ise daha yoğun olan sıvı tabakası ile işgal edilmektedir. Üst cidar boyunca akan daha düşük yoğunluklu sıvı tabakasının sahip olduğu ısı transfer katsayısı alt cidar boyunca akmakta olan daha yoğun sıvı tabakasının sahip olduğu ısı transfer katsayısından daha küçük olması nedeniyle üst cidarda ki akışkan tarafından transfer edilen ısı miktarı alt cidardakine nispeten daha az olmaktadır. Bunun sonucunda da test borusunda akış yönünde elde edilen üst cidar sıcaklığı daima alt cidar sıcaklığından yüksek olmaktadır.



Şekil 4.1. Boş Boru için $T_g=20^\circ\text{C}$, $T_\text{ç}=70^\circ\text{C}$, $m=105.51\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

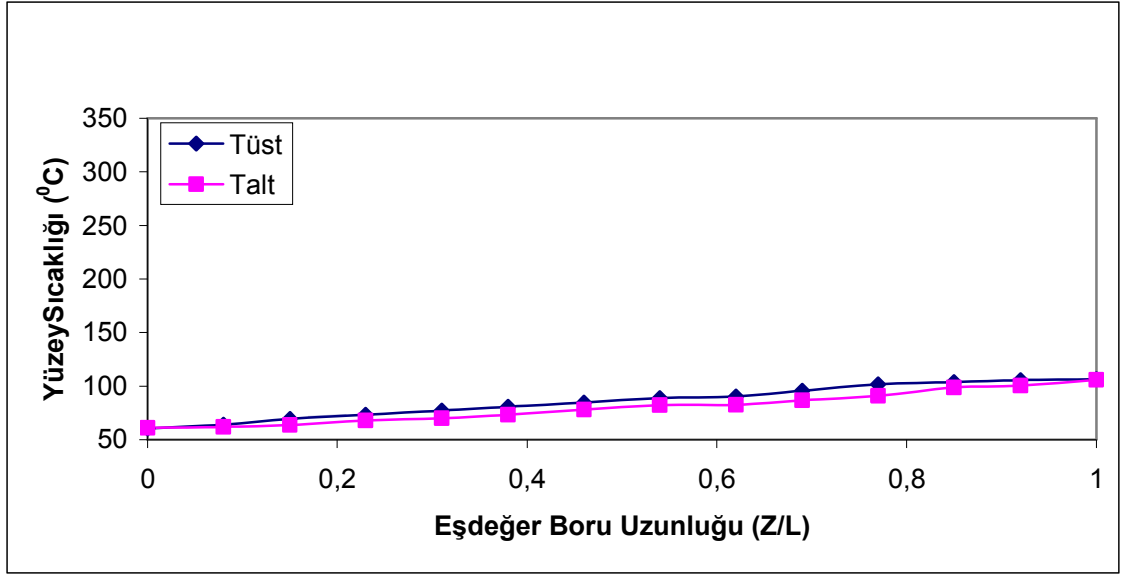


Şekil 4.2. Boş Boru için $T_g=25^\circ\text{C}$, $T_\text{ç}=74^\circ\text{C}$, $m=103.05\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

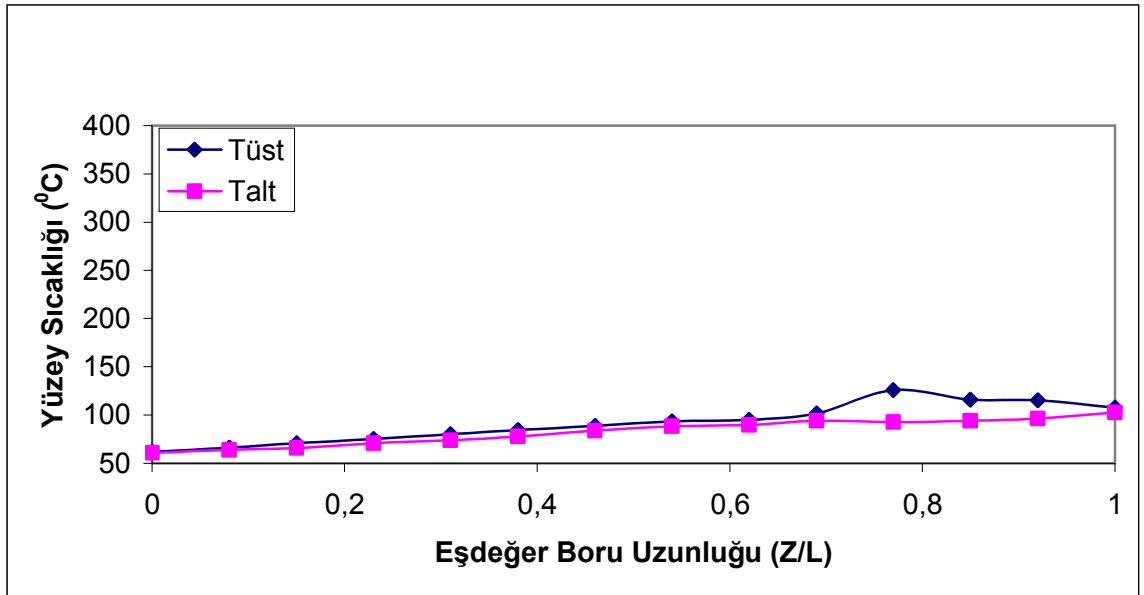


Şekil 4.3. Boş Boru için $T_g=30^\circ\text{C}$, $T_\varphi=78^\circ\text{C}$, $m=101.92\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

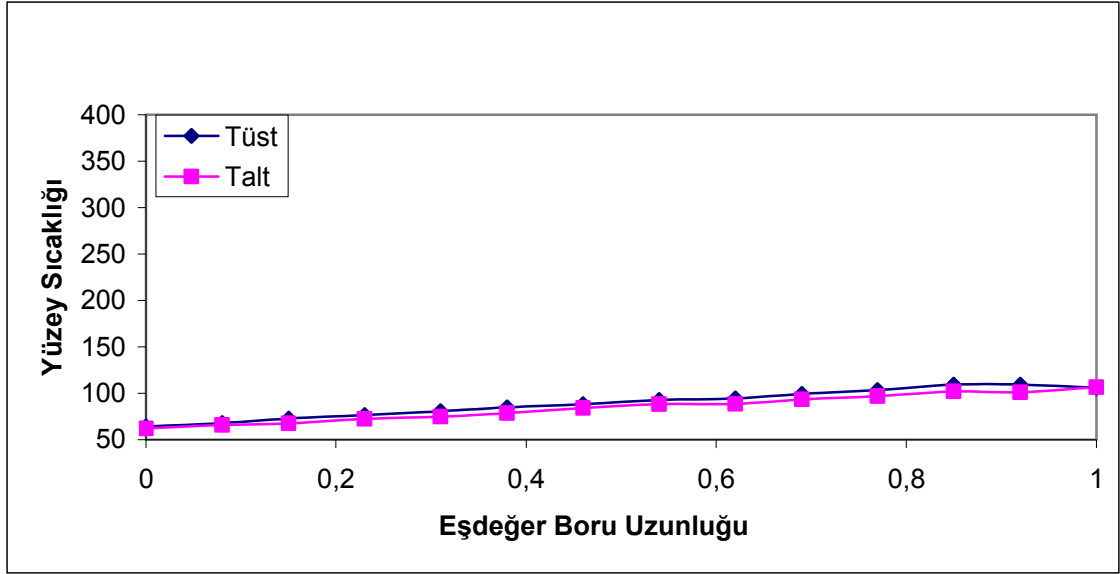
Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 'da boş boru için çekirdekli kaynama sıcaklık profilleri gösterilmektedir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^\circ\text{C}$, $T_g=25^\circ\text{C}$, $T_g=30^\circ\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=88.80\text{g/s}$, $m=84.60\text{g/s}$, $m=84,64\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Gerek alt cidar sıcaklıklarında gerekse üst cidar sıcaklıklarında test borusu boyunca lineer birer değişim elde edilmiştir. Bu sıcaklık profilinde alt ve üst cidar sıcaklıkları test borusu boyunca fazla bir artış göstermemektedirler. Alt ve üst cidar sıcaklıkları arasındaki fark tüm boru boyunca hemen hemen aynı olmaktadır. Bu durum akışkanın farklı giriş sıcaklıklarından fazla etkilenmemektedir. Sıcaklık profillerine dikkat edilirse akışkan giriş sıcaklığı azaldıkça alt ve üst cidar sıcaklıkları arasındaki fark da artmaktadır. Zira alt cidar daha yoğun akışkan tabakası ile kaplı iken üst cıdarda ise daha düşük yoğunluklu akışkan tabakası akmaktadır. Test borusu cidarından akışkana transfer edilen ısının büyük bir kısmı üst cidar boyunca hareket etmekte olan kabarcıklar vasıtası ile olmayıp yine üst cidar boyunca akmakta olan düşük yoğunluklu sıvı fazının doğrudan cidar ile temas etmesi sonucunda gerçekleşmektedir.



Şekil 4.4. Boş Boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=80^{\circ}\text{C}$, $m=88.8\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri



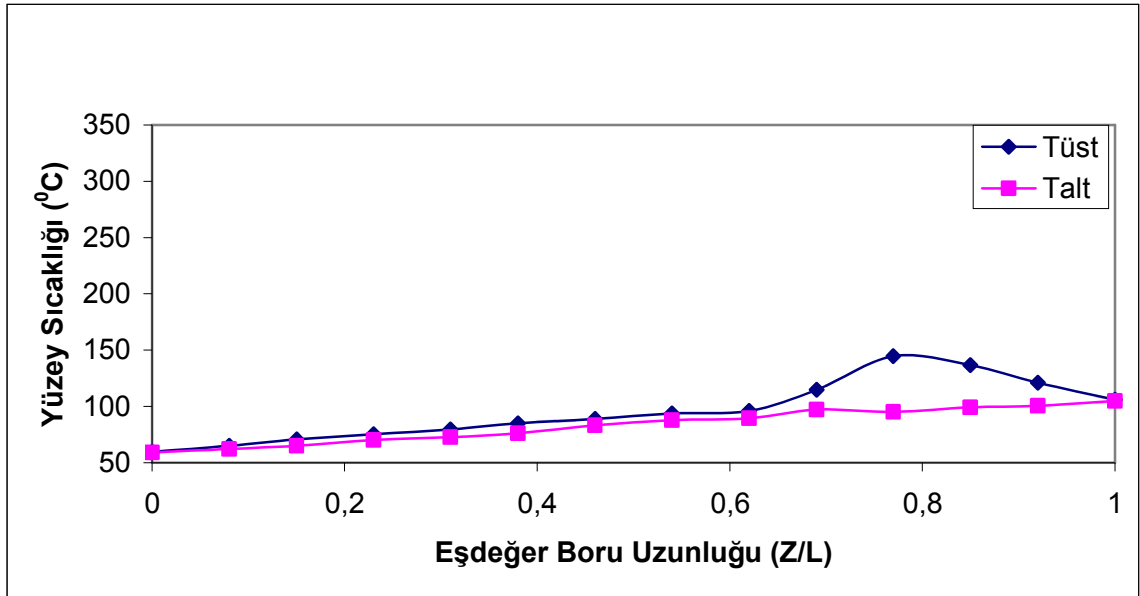
Şekil 4.5. Boş Boru için $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=88^{\circ}\text{C}$, $m=84.6\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri



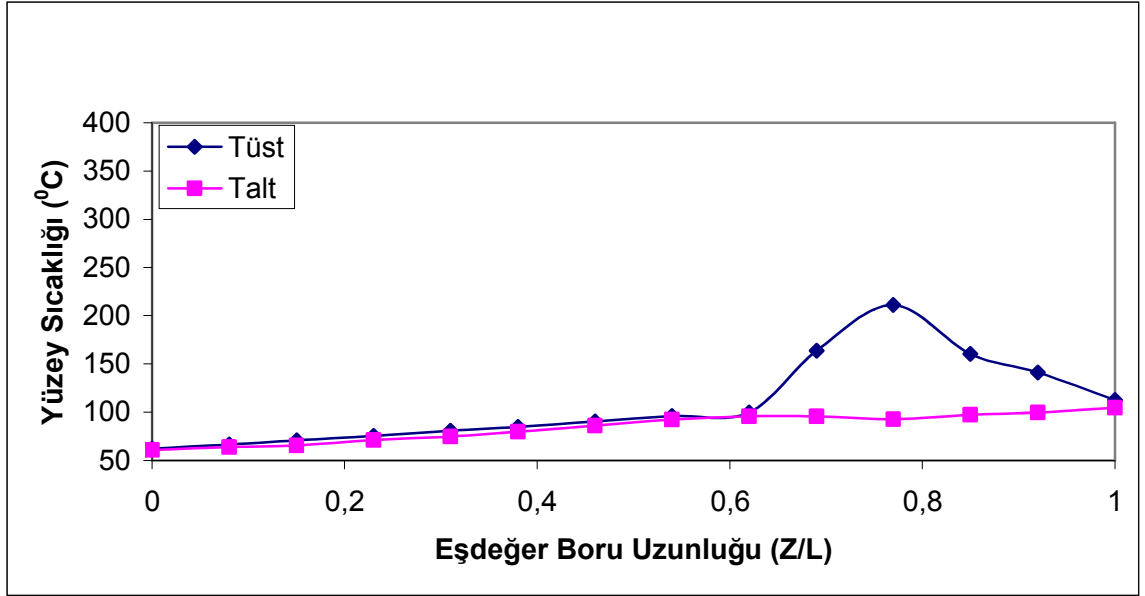
Şekil 4.6. Boş Boru için $T_g=30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=85^{\circ}\text{C}$, $m=84.64\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 'da merkezi katmanlaşma durumundaki sıcaklık profilleri gösterilmektedir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_g=30^{\circ}\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=74.66\text{g/s}$, $m=75.98\text{g/s}$, $m=77.6\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.48$ olarak ele alınmıştır. Bu şekillere dikkat edilirse üst cidar sıcaklık değerleri borunun orta kısmının hemen ardından oldukça artmaktadır. Bu akış rejiminde borunun orta kısımlarından hemen sonra üst cidarla alt cidar arasındaki sıcaklık farkı çıkmaktadır. Alt cidar sıcaklıkları ise boru boyunca hemen hemen sabit kalmaktadır. Test borusunun sonuna doğru azalan katmanlaşmadan dolayı alt ve üst cidar sıcaklık değerleri birbirlerine oldukça yaklaşmaktadır. Boru alt cidarında lokal olarak henüz kaynama noktasına ulaşılmamıştır. Alt cidar boyunca ısıtılmaya başlanan sıvı fazındaki akışkan tabakası daha düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle test borusunun içerisindeki akış ortamının tam orta kısmından akmaya başlayacaktır. Bu da alt cidar sıcaklığında bir miktarda olsa artışa neden olacaktır. Üst cidarda burn-out olayının borunun orta kısımlarından hemen sonra meydana geldiği şekillerden de rahatça anlaşılmaktadır. Burada test borusunda akmakta olan akışın üst cidara yakın kısmı boyunca tamamıyla buhar fazında olan akışkan kütlesiyle üst cidarın temas ettiği

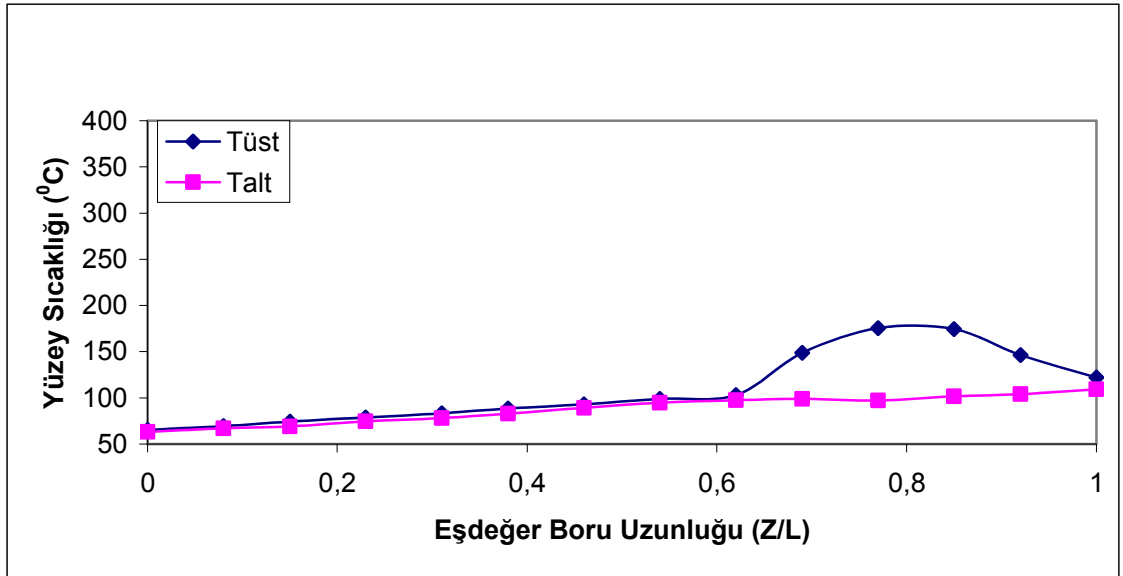
ve burn-out olayının meydana geldiği noktaya literatürde dry-out noktası denmektedir. Yatay bir boru kanalında meydana gelen iki fazlı akış rejiminde borunun orta kısımlarına yakın yerlerde üst cidarda meydana gelen böyle bir burn-out olayının dikkatlice izlenmesi gerekir. Bu inceleme sadece test borusunun orta kısımları ile sınırlı kalmamalı aynı zamanda test borusunda burn-out olayının oluşabileceği muhtemel noktaları da içermelidir. Şekillere dikkat edilirse burn-out olayının olduğu bölgeden sonra üst cidar sıcaklığının tekrar azalmaya başladığı görülmektedir. Akış yönünde buharlaşma devam etmekte olan buharlaşmadan dolayı akışın buhar fazı artmaktadır. Buhar fazının daha hızlı akış oranına sahip olması nedeniyle sıvı-buhar ara yüzeyinde daha yüksek genliklere ve dalgalı bir formasyona sahip bir iki fazlı akış rejiminin oluşmasına neden olmaktadır. Bu tarz akış rejiminde çok hızlı olan buhar fazında ki akış ara yüzeydeki dalgalara çarparak sıvı fazındaki akışkan partiküllerinin buhar fazındaki akışkan kısmına püskürtülmesine neden olmaktadır. Püskürtülen sıvı fazındaki bu partiküllerin bir kısmı test borusu cidarının en üst kısmı boyunca birikerek tüm boru cidarını kaplayarak annular akış olarak adlandırılan dairesel akış rejimi meydana gelir.



Şekil 4.7. Boş Boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=89^{\circ}\text{C}$, $m=74.66\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

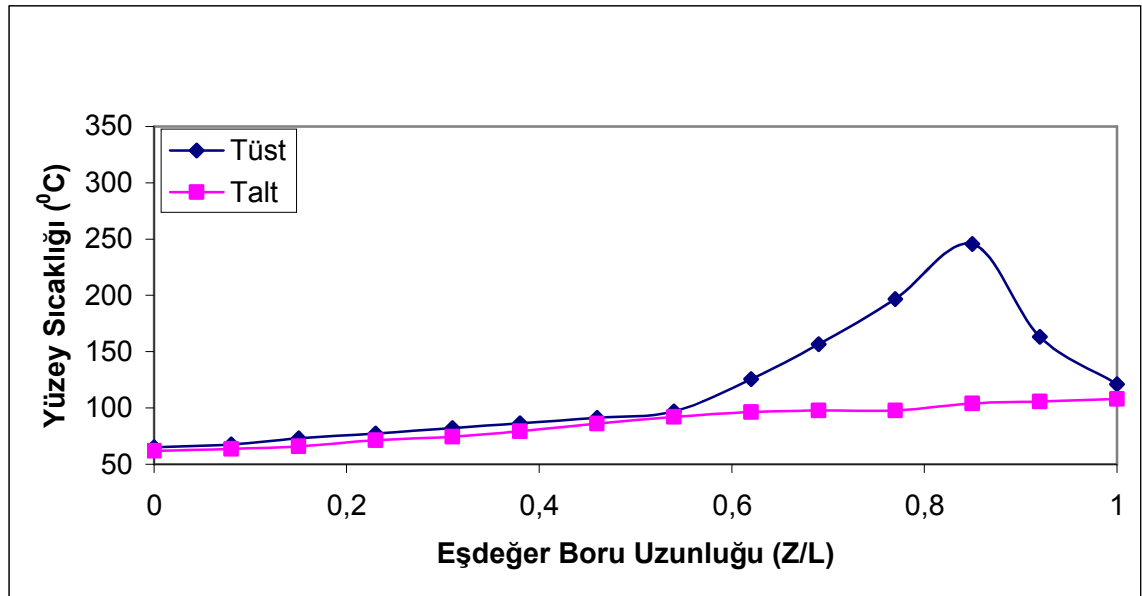


Şekil 4.8. Boş Boru için $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=93^{\circ}\text{C}$, $m=75.98\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

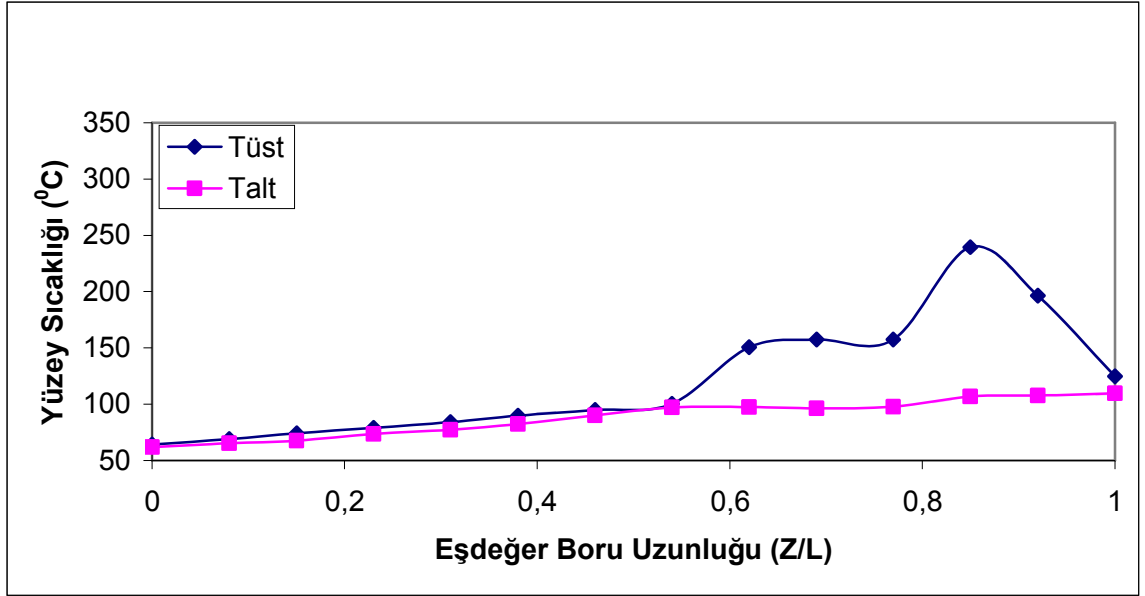


Şekil 4.9. Boş Boru için $T_g=30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=94^{\circ}\text{C}$, $m=77.6\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

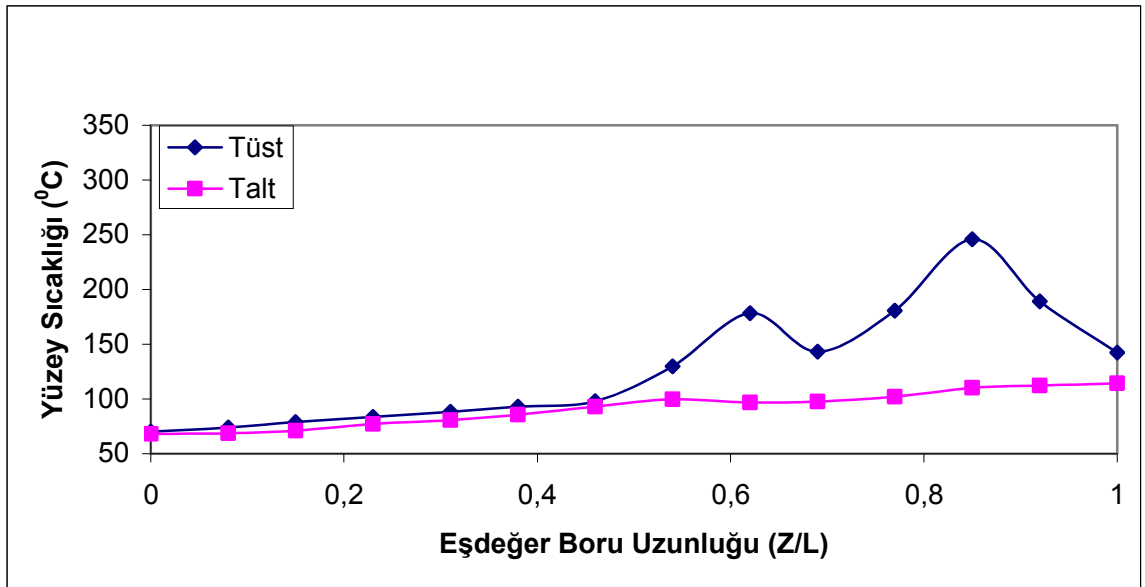
Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de boş boru için lokal katmanlı akış durumundaki sıcaklık profilleri verilmiştir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_g=30^{\circ}\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=66.32\text{g/s}$, $m=65.14\text{g/s}$, $m=65.54\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Bu sıcaklık profilleri oldukça küçük kütesel debilerde elde edilmektedir. Alt cidar sıcaklıkları hemen hemen sabittir. Çünkü bu akış rejiminde alt cidarda üretilen kabarcıklar kaldırma kuvvetlerinin etkisi ile üst cidara doğru sürüklenmektedirler. Bundan dolayı alt cidar tekrar sıvı fazındaki akışkanla kaplanarak alt cidar sıcaklığının sabit olmasını sağlamaktadır. Üst cidar sıcaklıklarına dikkat edilirse burn-out olayının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu bölgede üst cidar sıcaklığında ani bir azalma söz konusu olmaktadır. Buna akış ortamında meydana gelen literatürde mist flow olarak adlandırılan sisli akış rejiminin sebep olduğu söylenebilir. Damlacıkların sahip oldukları yüksek ısı transfer kabiliyetlerinden dolayı üst cidar sıcaklığında bir azalmaya sebep olmaktadır. Bu noktadan sonra üst cidar sıcaklığı artarak yine burn-out olayı meydana gelmektedir.



Şekil 4.10. Boş Boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=97^{\circ}\text{C}$, $m=66.32\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

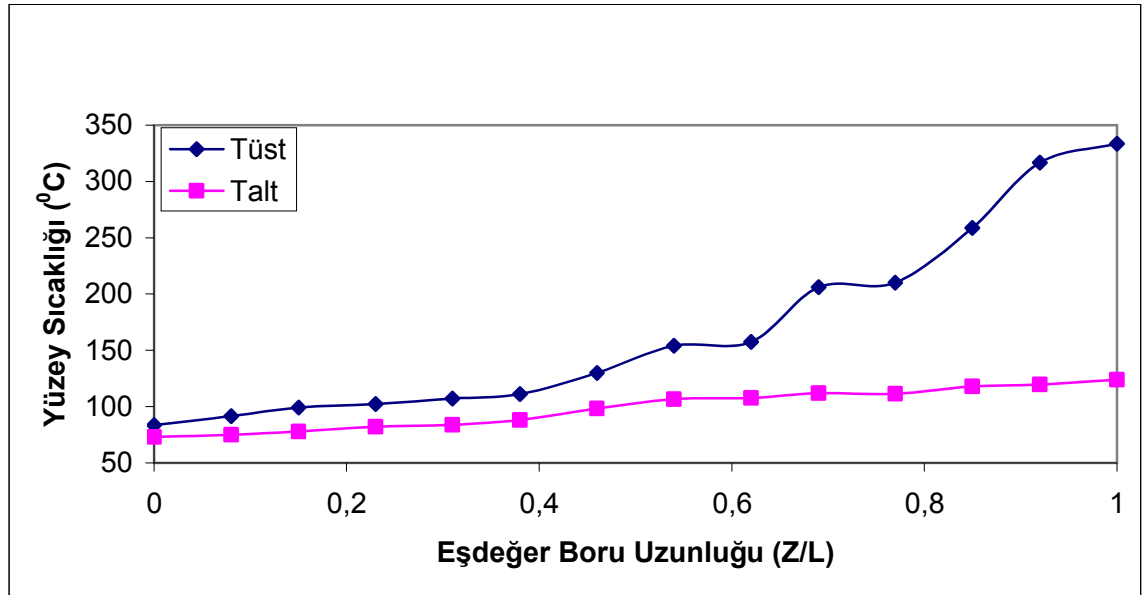


Şekil 4.11. Boş Boru için $T_g=25^\circ\text{C}$, $T_{\text{ç}}=98^\circ\text{C}$, $m=65.14\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

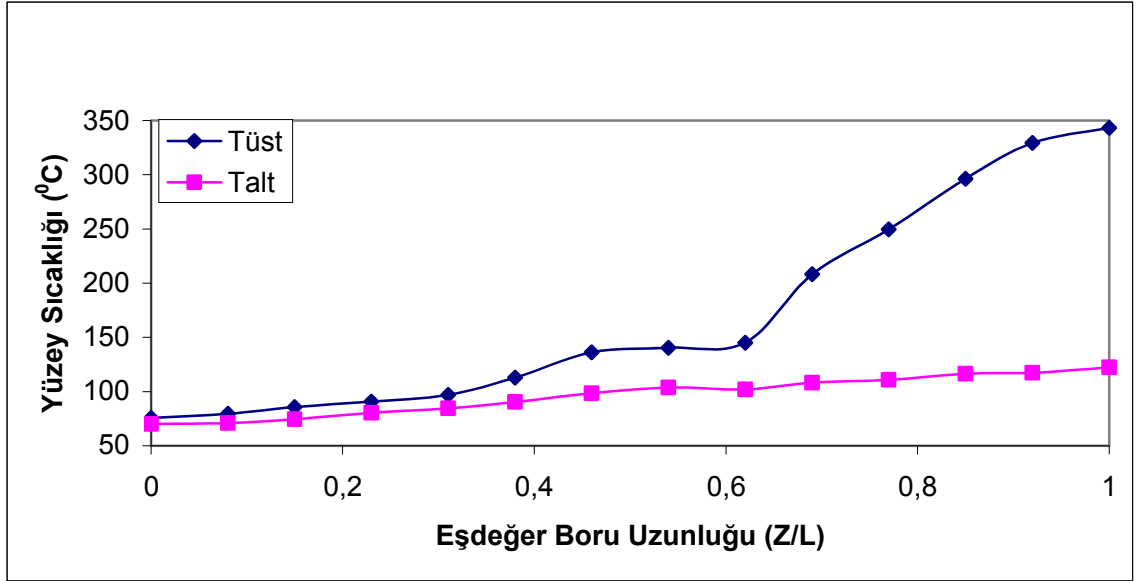


Şekil 4.12. Boş Boru için $T_g=30^\circ\text{C}$, $T_{\text{ç}}=100^\circ\text{C}$, $m=65.54\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

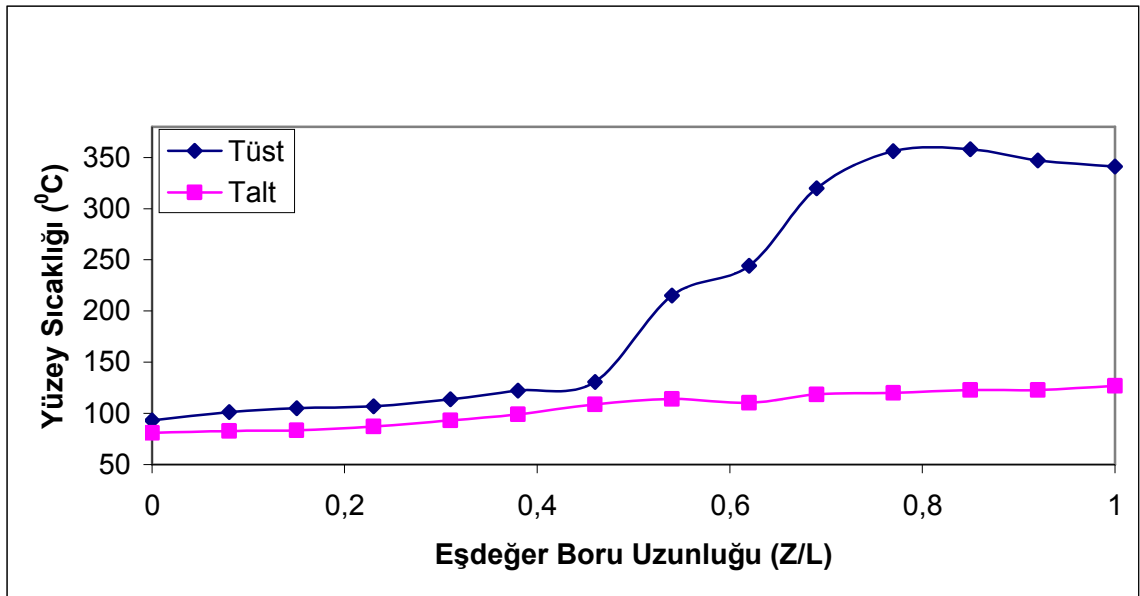
Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 'de boş boru için tam katmanlı akış durumunda elde edilen sıcaklık profilleri gösterilmiştir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_g=30^{\circ}\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=44.58\text{g/s}$, $m=48.80\text{g/s}$, $m=42.99\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Şekillere dikkat edilirse üst cidar sıcaklıkları boru orta kısmına yakın yerlerde artmaya başlamaktadır. Bu artış devam ederken akış yönünde burn-out olayının başladığı anlaşılmaktadır. Üst cidar tamamen buhar fazında akmakta olan akışkanla temas halinde iken alt cidar ise ince bir sıvı fazında olan akışkan ile temas etmektedir.



Şekil 4.13. Boş Boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=107^{\circ}\text{C}$, $m=44.58\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri



Şekil 4.14. Boş Boru için $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=104^{\circ}\text{C}$, $m=48.80\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

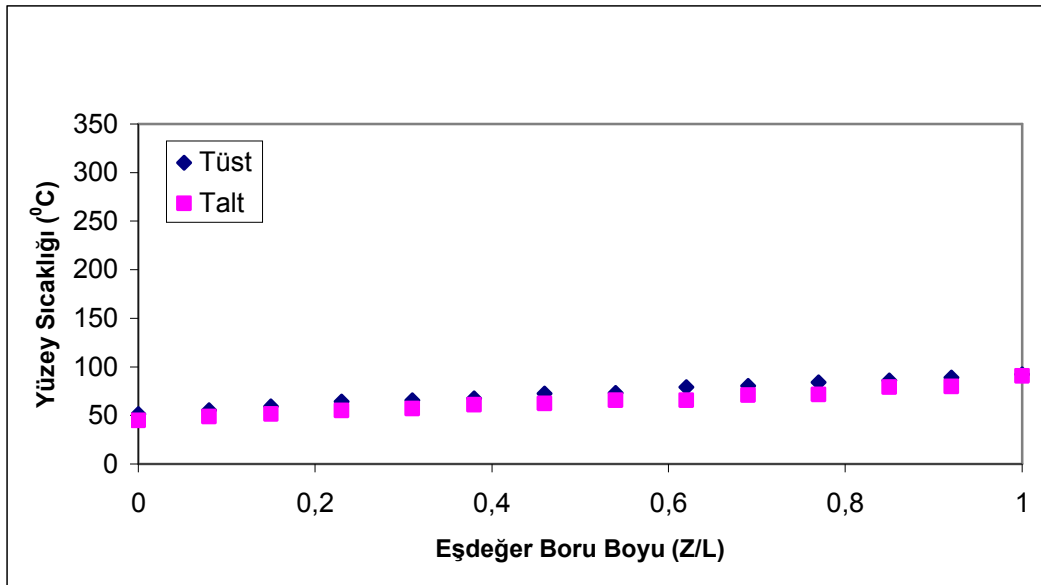


Şekil 4.15. Boş Boru için $T_g=30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=109^{\circ}\text{C}$, $m=42.99\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

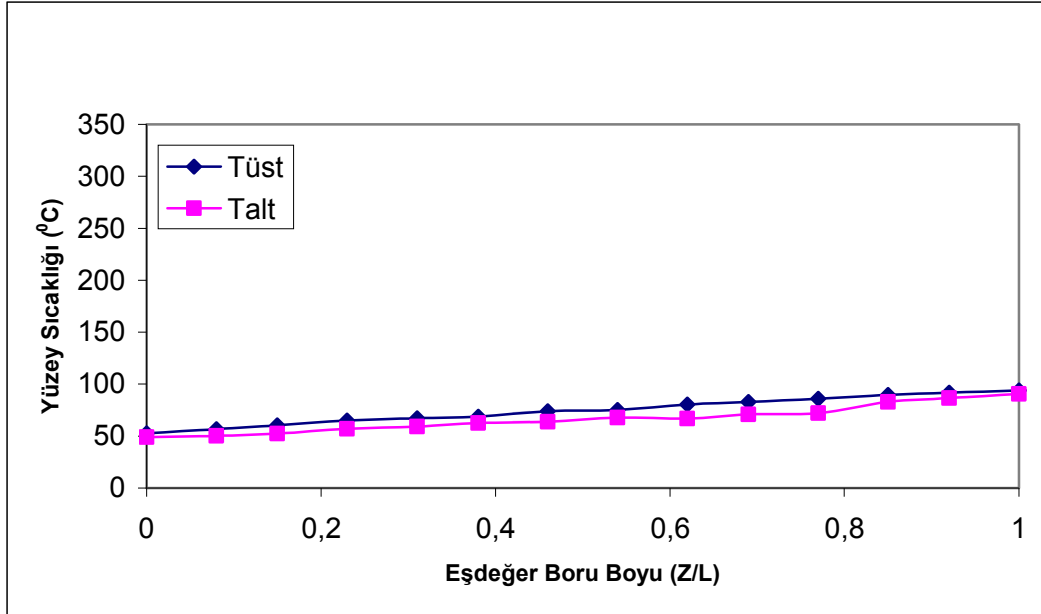
4.1.3. Yüzey Artırımı Boru İçin Sıcaklık Profilleri

Yüzey artırımı borumuz içerisinde ; tel çapı 1.8mm, adımı 5mm olan bir yay elmanı bulunmaktadır ve efektif çapı 24mm'dir. Yüzey artırımı boruda boş boruya nispeten daha az katmanlaşma söz konusudur. Yüzey artırımı boru içerisine yerleştirilmiş bulunan yay elemanı boru boyunca akıştaki türbülans düzeyini arttırarak sıvı ve buhar fazlarının karışık bir şekilde akmalarına neden olmaktadır.

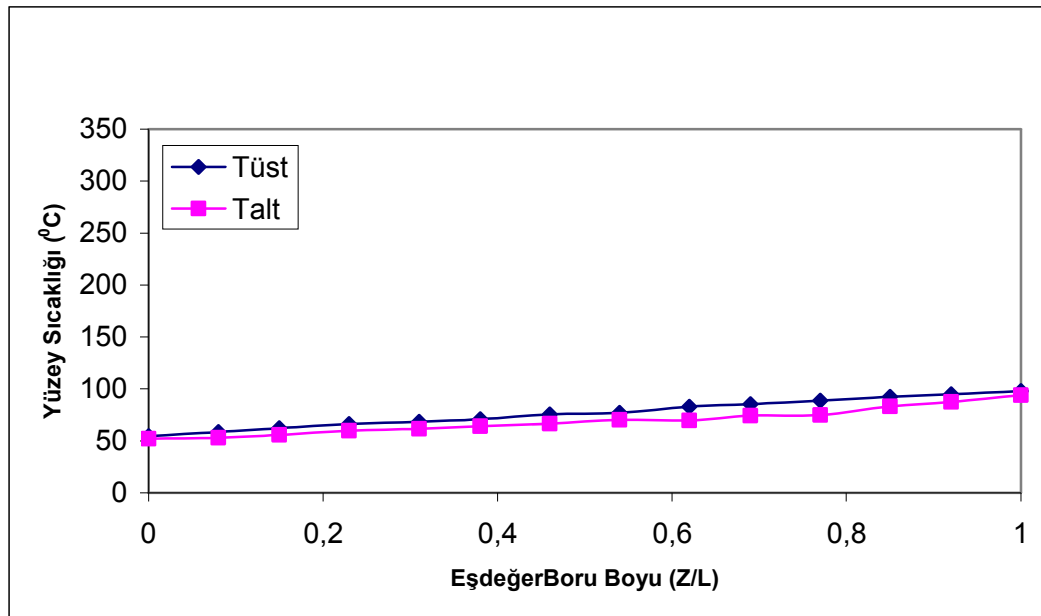
Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 'de yüzey artırımı boru için tek fazlı konveksiyonlu sıcaklık profili gösterilmektedir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_g=30^{\circ}\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=104.40\text{g/s}$, $m=102.50\text{g/s}$, $m=101.92\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Bu akış rejiminde alt ve üst cidar sıcaklıkları boru boyunca hemen hemen sabit kalmaktadırlar. Alt ve üst cidar sıcaklıkları arasındaki fark azdır. Aynı zamanda bu akış rejiminde yüzey artırımı boru için elde edilen alt ve üst cidar sıcaklıkları boş boruya nazaran oluşan türbülans dolayısı ile daha düşük değerlerde seyretnmektedir.



Şekil 4.16. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=68^{\circ}\text{C}$, $m=104.40\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

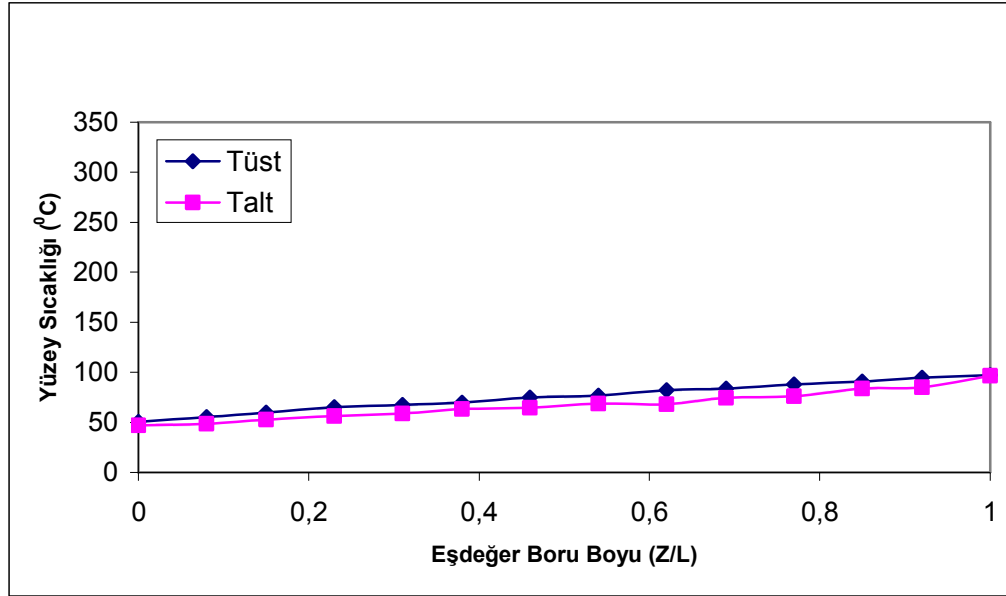


Şekil 4.17.Yüzey artırımı boru için $T_g=25^0\text{C}$, $T_{\text{ç}}=71^0\text{C}$, $m=102.50\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5$ Bar, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

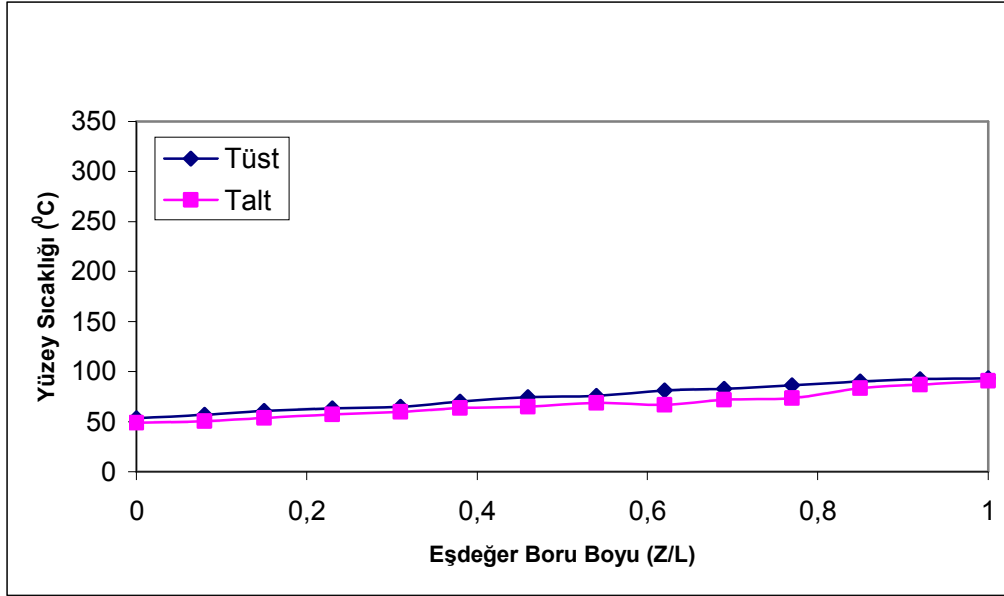


Şekil 4.18. Yüzey artırımı boru için $T_g=30^0\text{C}$, $T_{\text{ç}}=78^0\text{C}$, $m=101.92\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5$ Bar, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

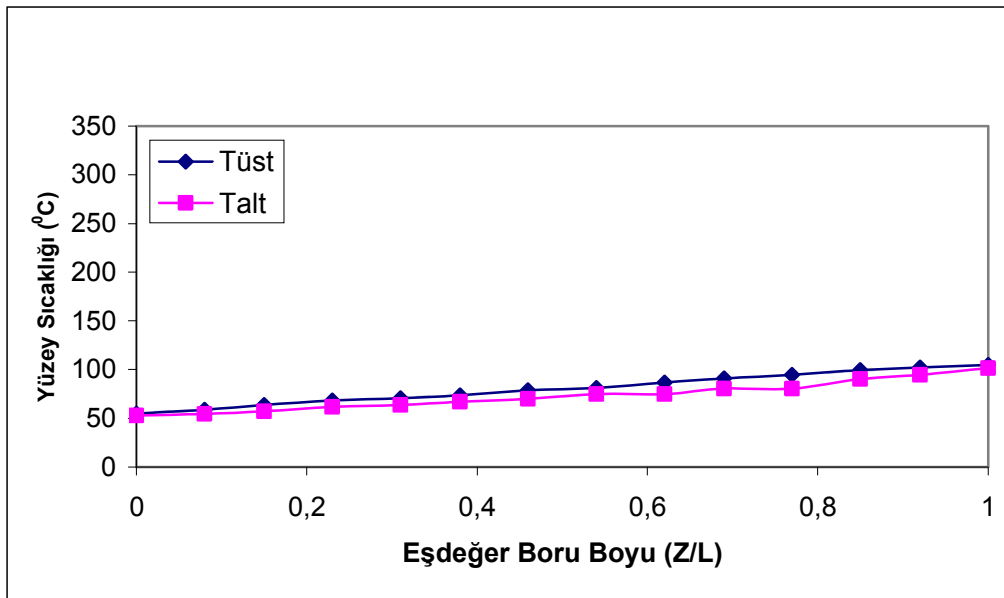
Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 'de yüzey artırımı boru için çekirdekli kaynama rejiminde elde edilen sıcaklık profilleri gösterilmektedir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_g=30^{\circ}\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=104.40\text{g/s}$, $m=102.50\text{g/s}$, $m=101.92\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Alt ve üst cidar sıcaklıkları boru boyunca hemen hemen aynı değerlerde sabit olmaktadır. Bunun nedeni boru içerisine yerleştirilmiş bulunan yay elemanının akışa sağlamış olduğu türbülanstır. Böylece sıvı ve buhar fazları akış ortamında karışık bir şekilde akarak alt ve üst cidardan akışkana yapılan ısı transfer oranını arttırmaktadır.



Şekil 4.19. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=74^{\circ}\text{C}$, $m=90.83\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

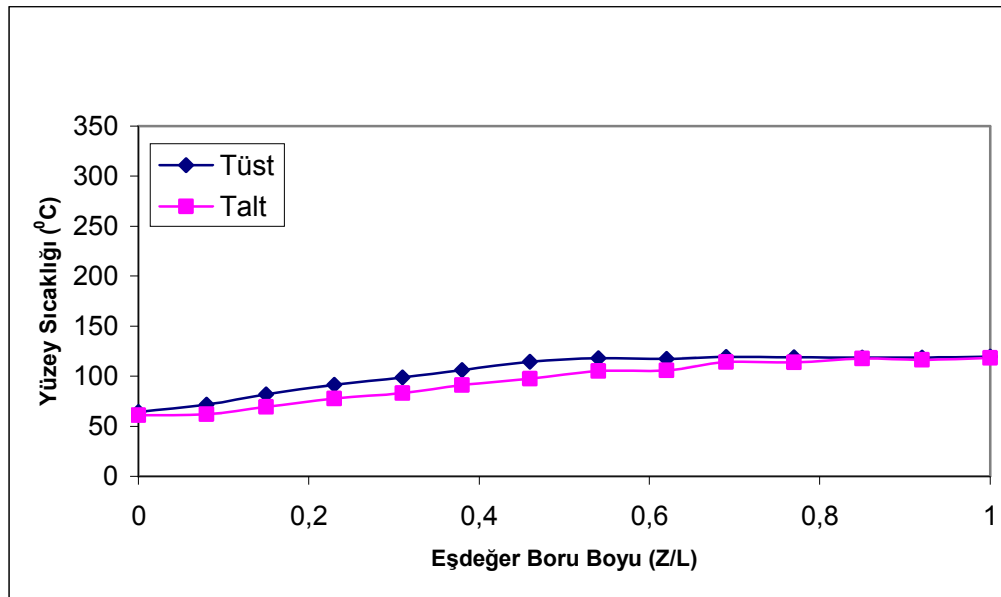


Şekil 4.20. Yüzey artırımı boru için $T_g=25^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=72^{\circ}\text{C}$, $m=98.95\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

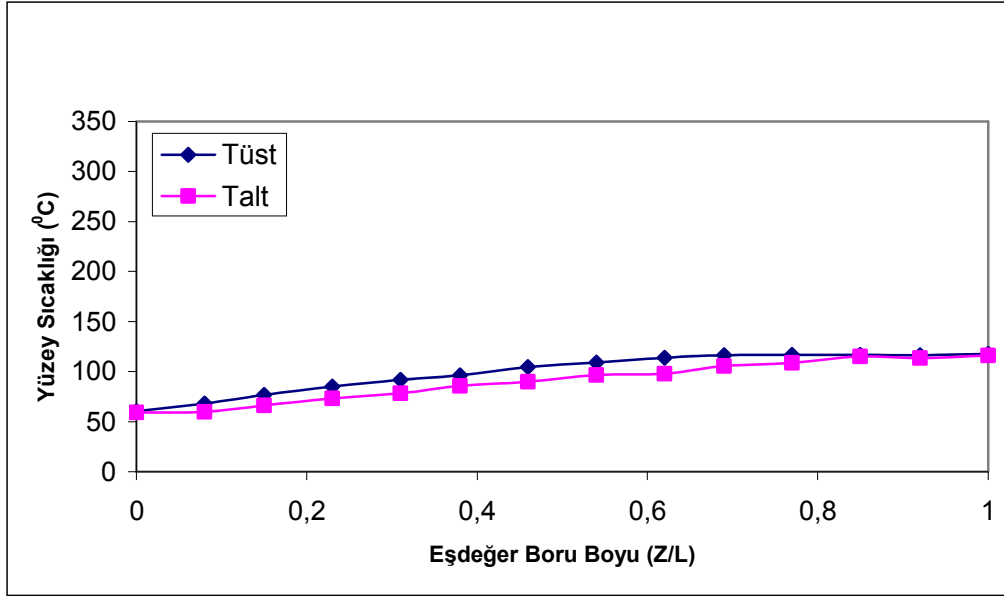


Şekil 4.21. Yüzey artırımı boru için $T_g=30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ç}}=80^{\circ}\text{C}$, $m=89.17\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

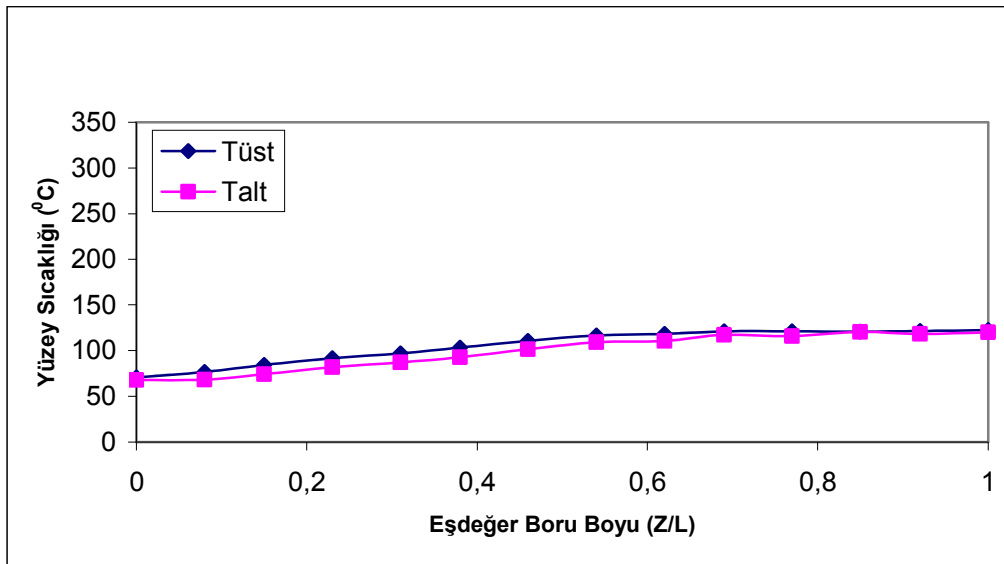
Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 'te yüzey artırımı boru için merkezi katmanlı akış rejiminde elde edilen sıcaklık profili gösterilmektedir. Burada giriş sıcaklıkları sırasıyla $T_g=20^0\text{C}$, $T_g=25^0\text{C}$, $T_g=30^0\text{C}$, akışkan giriş debileri sırasıyla $m=42.78\text{g/s}$, $m=50.28\text{g/s}$, $m=77.5\text{g/s}$, ısı gücü $Q=16\text{kW}$ ve çıkış kısıtlayıcı katsayısı $\beta=0.30$ olarak ele alınmıştır. Alt ve üst cidar sıcaklık profillerine dikkat edilirse fazlar birbirinden ayrılmaya başlamaktadır. Hem alt cidarda hem de üst cidarda oluşan kabarcık sayısı artmaktadır. Kaldırma kuvvetlerinden dolayı yoğunluğu daha fazla olan kabarcıklar üst cidara doğru hareket etmektedirler. Bunun sonucunda ısı transfer oranı alt cidara nispeten azalan üst cidar için elde edilen sıcaklık değerleri alt cidardan daha yüksek olmaktadır. Aynı zamanda bu boru için elde edilen gerek alt ve üst cidar sıcaklık değerlerinde gerekse her iki cidar sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkında boş boruya nazaran bir azalma söz konusudur. Bunu da yine boru içerisine yerleştirilmiş bulunan yay elemanının sebep olduğu türbülanslı akış ile açıklayabiliriz



Şekil 4.22. Yüzey artırımı boru için $T_g=20^0\text{C}$, $T_{\text{ç}}=107^0\text{C}$ $m=42.78\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5$ Bar, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri.



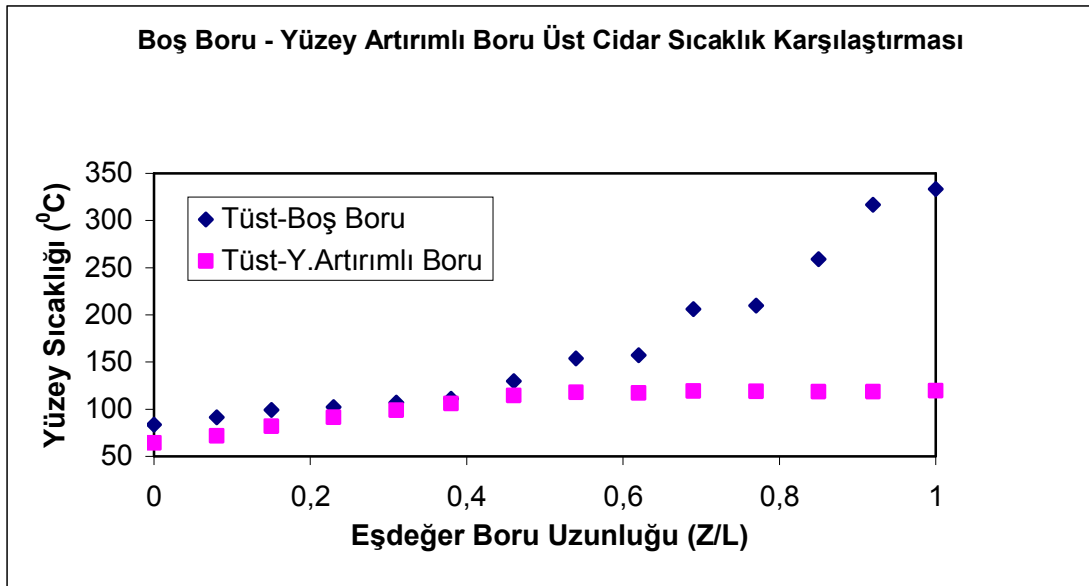
Şekil 4.23. Yüzey artırıklı boru için $T_g=25^0\text{C}$, $T_{\text{ç}}=104^0\text{C}$, $m=50.28\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5$ Bar, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri



Şekil 4.24. Yüzey artırıklı boru için $T_g=30^0\text{C}$, $T_{\text{ç}}=94^0\text{C}$, $m=77.5\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5$ Bar, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

4.2. Boş Boru ve Yüzey Artırmalı Borularda Üst Cidar Sıcaklıkları Karşılaştırması

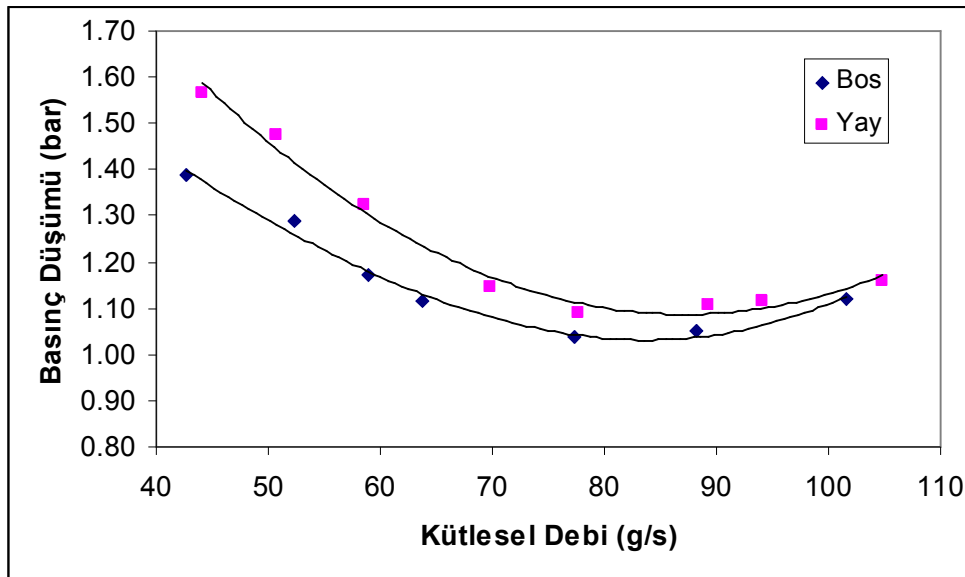
Şekil 4.25'te görüldüğü gibi eşit kütleli debi, eşit giriş sıcaklığı şartlarında üst cidar sıcaklıkları yüzey artırmalı test borularında boş boruya göre azalmıştır. Bir başka ifade ile yüzey artırmalı borularda ısı transfer katsayısı artmıştır. Sıvı ve buhar fazlarının karışık olarak akması sonucu ısı transfer katsayısı daha yüksek olan akışkan kütlesi cidarla daha fazla temas ederek cidardan daha fazla enerji absorbe etmiştir. Bu da yüzey artırmalı borularda cidar sıcaklıklarını boş boruya göre düşürmüştür. Boş boruda elde edilen cidar sıcaklık limitlerinin yüzey artırmalı borudakine göre daha yüksek olması boş boruda burn-out olayının test borusunun orta kısmına yakın yerde oluşmasına neden olmaktadır. Alt ve üst cidar sıcaklıkları arasındaki farkın büyümesiyle ortaya çıkan burn-out olayı ile boruda termal gerilmeler oluşmakta ve bunun sonucunda boru cidarları çatlayarak bozulmaktadır. Yüzey artırmalı borularda üst cidar sıcaklıklarının daha düşük sıcaklık limitlerine ulaşmış olması boru cidarlarına verebileceği muhtemel zararlarda boş boruya göre azaltılmış olacaktır.



Şekil 4.25. Boş Boru ve Yüzey Artırmalı Boru için $T_g=20^{\circ}\text{C}$, $m=40\text{g/s}$, $P_{\text{sis}}=7.5\text{ Bar}$, $Q=16\text{kW}$, $\beta=0.30$ durumundaki cidar sıcaklık profilleri

4.3. Kararlı Durum Karakteristiklikleri

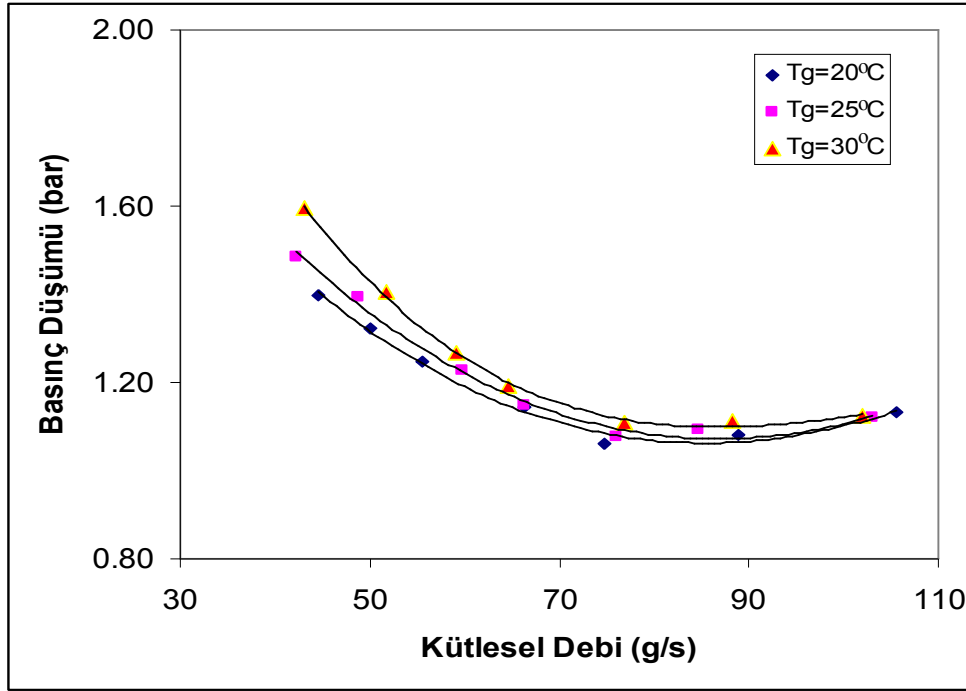
Deneysel çalışmanın yapıldığı sistemin kararlı durum karakteristikliklerini ortaya çıkarmak amacıyla her bir test borusunda kütleli debiye karşılık meydana gelen basınç düşümlerini gösteren grafikler çizilmiştir. Basınç düşümü test borusu çıkış basıncı ile dengeleyici tank basıncı arasındaki farkla hesaplanmıştır. Kütleli debi değerleri rotametreden okunarak ayarlanmıştır. Şekil 4.26’da boruların kararlı durum karakteristik eğrileri karşılaştırılmıştır. Tüm karakteristik eğriler çalışılan tüm giriş sıcaklıkları, kütleli debi ve boru konfigürasyonları için yatık “S” şeklindedir. Çalışılan deneysel koşullarda eğriler genellikle birbirini kesmemektedir. Şeklin incelenmesi iki fazlı akış için olan basınç düşümü karakteristiklerinin tek fazlı akış için olanla aynı karakterde olduğunu göstermektedir. Yani iki fazlı bölgede de en yüksek basınç düşümü iç yay içeren boruda, en düşük basınç düşümü ise boş boruda meydana gelmiştir. Ayrıca şekilden iyileştirme elemanı kullanan borudaki basınç düşümünün özellikle düşük kütleli debilerde çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni katmanlaşma olayı olabilir. Çünkü katmanlaşma oluştuğunda sürtünme basınç düşümünün yanında yüksek buhar yoğunluğunun neden olduğu ilave basınç düşümü meydana gelmektedir.



Şekil 4.26. Boş Boru ve Yüzey Artırmalı Boruların Kararlı Durum Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

4.3.1. Kararlı Durum Karakteristiklerine Giriş Aşırı Soğutmasının Etkileri

Kararlı durum karakteristiklerine aşırı soğutmanın etkisi incelendiğinde akışkan giriş sıcaklığındaki azalmayla yani aşırı soğutma seviyesinin artmasıyla kaynamanın başladığı noktanın daha düşük kütleli debilere doğru kaydığı görülür (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Giriş aşırı soğutmasının kararlı durum karakteristiklerine etkisi

Başka bir deyişle akışkan giriş sıcaklığının değişmesi kaynama noktasını değiştirmektedir. Düşük giriş sıcaklığına sahip akışkan aynı ısı gücünde daha düşük debiye erişinceye kadar kaynama noktasına ulaşmamaktadır. Ayrıca şeklin incelenmesinden iki fazlı bölgede belirli bir kütleli debi değerinde giriş sıcaklığı arttıkça basınç düşümünün arttığı görülmektedir.

5. SONUÇ

1. Akışkanın giriş sıcaklığının azalmasıyla kaynamanın başladığı noktanın daha düşük kütleli debilere doğru kaymakta ve iki fazlı bölgede belirli bir kütleli debi değerinde giriş sıcaklığı arttıkça basınç düşümü artmaktadır.
2. Karakteristik diyagramda en yüksek basınç düşümü iç yay içeren boruda, en düşük basınç düşümü ise boş boruda meydana gelmektedir.
3. Karakteristik diyagramda iki fazlı akışa ait eğrilerin her birisi yatık “S” şeklindedir. Eğrilerin yüksek kütleli debi değerlerine karşılık gelen sağ tarafları tek fazlı sıvı bölgesini göstermektedir. Tek fazlı akış bölgesinde kütleli debi azaldıkça basınç düşümü azalmaktadır ve eğrilerin eğimleri bu bölgede pozitifdir.
4. Karakteristik diyagramda kütleli debideki azalma ile basınç düşümünün azaldığı iki fazlı bölge başlamaktadır. İki fazlı bölgede eğrilerin eğimleri negatiftir.
5. Yüzey artırımı boruda boş boruya göre akış ortamında daha az katmanlaşma meydana gelmektedir. Çünkü yüzey artırım elemanları akışın türbülans seviyesini artırarak sıvı ve buhar fazlarının karışık halde akmalarını sağlamaktadır
6. Yüzey artırımı boruda elde edilen cidar sıcaklık limitlerinin boş boruya göre daha düşük olması yüzey artırımı borularda burn-out olayının oluşmamasını sağlamaktadır. Deneysel çalışmanın en önemli sonuçlarından biride budur. Çünkü alt ve üst cidar sıcaklıkları arasındaki farkın büyümesiyle ortaya çıkan burn-out olayı ile boruda termal gerilmeler oluşmakta ve bunun sonucunda boru cidarları patlayarak bozulmaktadır. Böylece yüzey artırımı borularda boru cidar sıcaklıklarının çok daha düşük sıcaklık limitlerinde gezinmiş olması burnout olayının oluşmamasını sağlayarak, boru cidarlarına verilebilecek muhtemel zararlar da boş boruya göre azaltılmış olacaktır.
7. Cidar sıcaklıkları yüzey artırımı test boruda boş boruya göre azalmıştır. Bir başka ifade ile yüzey artırımı boruda ısı transfer katsayısı artmıştır. Sıvı ve buhar fazlarının

karişık olarak akması sonucu ısı transfer katsayısı daha yüksek olan akışkan kütlesi cidarla daha fazla temas ederek cidardan daha fazla enerji absorbe edecektir. Bu da yüzey artırımı borularda cidar sıcaklıklarını boş boruya göre düşürecektir.

8. Her bir test borusu için elde edilen tüm akış rejimlerinde genellikle üst cidar sıcaklıkları daima alt cidar sıcaklıklarından daha yüksek değere sahip olmaktadır. Çünkü kaldırma kuvvetlerinin etkisi ile daha az yoğunluğa sahip akışkan kütleleri üst cidara doğru sürüklenmektedir. Böylece boru alt cidarı boyunca ısı transfer katsayısı daha yüksek olan sıvı fazı akarken üst cidar boyunca ise ısı transfer katsayısı daha düşük olan sıvı fazı akmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bell, K. J., 1989, Two phase flow in heat exchangers. *Int. J. Multiphase Flow*, 53.
- Bergles, A. E., 1981, Instabilities in two phase flow systems. *Two Phase and Heat Transfer in The Power and Process Industries*, Bergles, A. E., Collier, J. G., Delhay, J. M., Hewitt, G. F. And Mayinger, F. (ed.), Hemisphere Publishing Corp., p 231-246, p 341- 361.
- Berenson, P. J., 1962, Experiments on pool- boiling heat transfer. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 5, p 985-999.
- Bergles, A. E. and Joshi, S. D., 1983, Augmentation techniques for low Reynolds number in tube flow. *Low Reynolds Number Flow Heat Exchangers*, Kakaç, S. and Shah, R. K. (ed.), Hemisphere Publishing Corp., p 1-13.
- Ding, Y., 1993, Experimental investigation of two phase flow phenomena in horizontal convective in tube boiling system. Ph.D. Thesis, University of Miami, Florida, USA, p 21-65.
- France, D. M., 1973, DNB in liquid metal heated forced convection boiling. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 16, p 2343-2354.
- Gupta, A., Saini, J. S. and Varma, H. K., 1995, Boiling heat transfer in small horizontal tube bundles at low cross flow velocities. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 38, p 599-605.
- Hwang, S., Tan, Y. and Deng, S., 1986, Investigation of friction factors and heat transfer characteristics of the horizontal helical-ridging tubes for tube-sides boiling of R-113. *Int. J. Multiphase Flow*, 7, p 327- 338.
- Kakaç, S., Gavrilescu, C. O. and Çomaklı, Ö., 1995, Two phase flow instabilities with augmented surfaces in a horizontal in boiling system. 10. Turkish national conference on thermal sciences and technologies. Ankara, p 1-26
- Karagöz, S., 2007 Investigation of the effects of heat transfer enhancement on two-phase flow instabilities. 1-77.
- Karlı, S., 2000, Zorlanmış Konveksiyonlu Kaynamalı Yatay Bir Boru Sisteminde İki Fazlı Akış Karasızlıklarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Lin, Z. H., Veziroğlu, T. N., Kakaç, S., Gürgenci, H. and Menteş, A., 1982, Heat transfer in oscillating two phase flows and effect of heater surface conditions. *Proc. 7 th int. heat transfer conference*, München, Germany, p 331-336.
- Menteş, A., Yıldırım, O. T., Kakaç, S. and Veziroğlu, T. N., 1983, Effect of heat transfer augmentation on two phase flow instabilities in a vertical boiling channel. *Warme und Stoffübertragung*, 17, p 161-169.
- Merilo, M. and Ahmad, S. Y., 1979, Experimental study of CHF in vertical and horizontal tubes cooled by Freon-12. *Int. J. Multiphase Flow*, 5, p 463-478.
- Morcos, S. M., Mobarak, A., Hilal, M. and Mohareb, M. R., 1987, Boiling heat transfer in horizontal and inclined rectangular channels. *J. Heat Transfer*. 109, p 503-508.
- Tan, Y., Deng, S. and Hwang, S., 1986, Investigation of friction factors and heat transfer characteristics of the horizontal helical-ridging tubes for tube-sides boiling of R-113. *Int. J. Multiphase Flow*, 7, p 327- 338.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurumda tamamladı. 1998 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2002 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2003 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans’a başladı. 2004 - 2009 yılları arasında özel sektörde Makine Mühendisi olarak çalıştı.

DSİ 24. Bölge Müdürlüğünde 2009 yılında başladığı Makina Mühendisi görevine devam etmektedir.