



**İKİ FAZLI AKIŞTA HALKA TÜRBÜLATÖRLERİN
ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Azize GÖÇÜCÜ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2020

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**İKİ FAZLI AKIŞTA HALKA TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

(Experimental Investigation on Effects of Ring Type Turbulators on Heat Transfer
Characteristics in Two-Phase Flows)

Azize GÖÇÜCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Erzurum
Temmuz, 2020

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Azize GÖÇÜCÜ tarafından hazırlanan “İKİ FAZLI AKIŞTA HALKA TÜRBLATÖRLERİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı çalışması 07/ 09/ 2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Faraz AFSHARI
Erzurum Teknik Üniversitesi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Fadime ŞİMŞEK
Atatürk Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim YönetmeliĐi'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Danış Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL danışmanlığında sunulan “İKİ FAZLI AKIŞTA HALKA TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	9	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Yöntem	9	35
Bulgular	10	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	11	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Azize GÖÇÜCÜ	: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL
Tarih girmek için burayı tıklayınız	Tarih girmek için burayı tıklayınız
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayımlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında her zaman ilgisini ve desteğini gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım esnasında desteğini eksik etmeyen Sayın Doç. Dr. Şendoğan Karagöz'e, Sayın Öğretim Görevlisi Muhammet Kaan YEŞİLYURT'a, Sayın Araştırma Görevlisi Orhan Yıldırım'a, ayrıca katkılarından dolayı tekniker Ahmet CEBE'ye ve tekniker Abit Cömert'e teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında her zaman yanımda olan ve beni sürekli destekleyen babam Haluk GÖÇÜCÜ 'ye, annem Aliye GÖÇÜCÜ'ye, ablam Büşra Karataş'a, varlığı ile beni motive etmeye yeten yeğenim Ali Asaf KARATAŞ'a ve kardeşim Tahir GÖÇÜCÜ'ye en derin sevgi ve saygılarımı sunarım.

Azize GÖÇÜCÜ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKİ FAZLI AKIŞLARA HALKA TÜRBÜLATÖRLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Azize GÖÇÜCÜ

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Amaç: Akışkanlar Mekaniği alanında geçmişte yapılan çalışmalar ve araştırmalar tek fazlı akışkanlara göre iki fazlı akışların ısı transfer kat sayısının daha yüksek olmasından dolayı daha fazla tercih edildiğini göstermiştir. Çalışmada iki fazlı akış sistemlerindeki olumsuz durumların giderilmesine yönelik halka şeklinde dizinin boru elemanı olarak etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Yapılan deneysel çalışmada test kısmı; iç çapı 17,6mm, dış çapı 25mm olan düz yatay boru içerisinde zorlanmış konveksiyon kaynamalı iki fazlı akış sisteminden oluşmuştur. Deneyler esnasında bir adet ısı transfer yüzey konfigürasyonu kullanılmıştır. Sistemde boru içi ısı transferi iyileştirme elemanı olarak halka dizilerinden oluşan elemanın akış kararsızlıklarına etkileri incelenmiştir.

Bulgular: Akışkan giriş değişken debisi parametre olarak seçilerek sabit çalışma basıncı, sabit giriş sıcaklığı, sabit ısıl güç ve çıkış kısıtlayıcısı şartlarında halka dizilerinin yaptıkları etkiler araştırılmıştır. Ayrıca boruların cidar sıcaklıkları ve basınç-debi değişimi incelenmiştir.

Sonuç: Deneysel çalışma sonuçlarına göre yüzey artırımı olan test borusunda oluşan “burn-out” olayının sıcaklık limitlerinin boş boruya göre oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı boru cidarlarında oluşacak zararların azaltıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, belirli kütleli debi de ısıl güç arttıkça basınç düşümünün arttığı da izlenmiştir. Kullanılan iki farklı boruda basınç düşümünün yüksek olduğu borunun yüzey artımlı eleman olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İki fazlı akış, kararsızlık, osilasyon, ısı transferi iyileştirmesi, su, halkasal dizi

Temmuz 2020, 77 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON EFFECTS OF RING TYPE TURBULATORS ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN TWO-PHASE FLOWS

Supervisor: Assist Prof. Dr. Nesrin ADIGÜZEL

Purpose: In the field of Fluid Mechanics, past studies and research have shown that two-phase flows are more preferred because of the higher heat transfer rate than single-phase fluids. The aim of this study is to investigate the effects of annular series as a pipe element for the elimination of adverse conditions in two Phase Flow Systems.

Method: In the experimental study, the test part was composed of two phase flow system with forced convection boiling in a flat horizontal pipe with an inner diameter of 17.6 mm and outer diameter of 25 mm. One heat transfer surface configuration was used during the experiments. The effects of the element consisting of ring arrays as an in-pipe heat transfer improvement element on flow instabilities were examined.

Findings: The effects of ring arrays on constant operating pressure, constant input temperature, constant thermal power and output restrictor conditions were investigated by selecting fluid input flow as variable parameters. In addition, the wall temperature and pressure-flow variation of the pipes were examined.

Result : According to the results of the experimental study, it was observed that the temperature limits of the “burn-out” event formed in the test tube with surface increase were significantly reduced compared to the empty pipe. Therefore, it has been determined that the damage to pipe walls is reduced. It was also observed that the pressure drop increases as thermal power increases at certain mass flow rates. It was determined that the surface of the pipe with high pressure drop was an incremental element in the two different pipes used.

Keywords: Two-phase flow, indecision, osilation, heat transfer improvement, water, ring type turbulator

Temmuz 2020, 77 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
İki Fazlı Akışlarla İlgili Araştırmalar	2
Tezin Amaç ve Kapsamı	10
KURAMSAL TEMELLER.....	13
İki Fazlı Akış.....	13
Kaynamalı Kanalda Basınç Düşüşü ve Debi Özellikleri	16
İki Fazlı Akışlarda Gözlemlenen Kararsızlıklar ve Türleri	18
Statik kararsızlıklar	19
Dinamik kararsızlıklar.....	23
MATERYAL ve YÖNTEM	28
Deney Düzenegi	28
Deney düzeneginin akışkan besleme bölümü	29
Deney düzeneginin test bölümü	30
Deney sistemindeki akışkan depolama bölümü	34
Araştırılan Çalışmadaki Ölçümler ve Belirsizlik Analizleri	35
Sıcaklık ölçümleri	35
Basınç ölçümleri.....	36
Debi ölçümleri.....	37
Isı gücü ölçümleri.....	37
Osilasyon periyotlarının tespiti	37
Deneysel Yöntem	38
Kararlı durum karakteristiklerinin belirlenmesi deneyleri.....	39

Kararsız durum karakteristiklerinin belirlenmesi deneyleri.....	40
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	42
Kararlı Durum Karakteristikleri.....	42
Osilasyon Sınırları.....	52
Basınç Düşümü Tipi Osilasyonlar	54
İki Test Borusu için Kararlılık ve Osilasyonların Karşılaştırılması.....	56
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	57
Sonuçlar.....	57
Öneriler	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Isı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisi.....	11
Tablo 2. Yatay borulardaki akış rejimleri	16
Tablo 3. İki fazlı akış kararsızlıklarını etkileyen parametreler	19
Tablo 4. Çeşitli parametrelerin dinamik iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisi	27
Tablo 5. Deney düzeneğini oluşturan malzemeler.....	29



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İki fazlı akışların genel sınıflandırılması.....	14
Şekil 2. Yatay borulardaki akış rejimlerinin özellikleri	15
Şekil 3. Karakteristik durum eğrisi	17
Şekil 4. Karakteristik durum eğrisi	18
Şekil 5. Statik kararsızlıklar sınıflandırılması	19
Şekil 6. Ledinegg kararsızlığının şematik olarak gösterimi	20
Şekil 7. Yatay bir ısı değiştirici borusunda oluşan “burn-out” olayı.....	21
Şekil 8. “Burn-out” oluşmasında etkin parametreler	22
Şekil 9. Yoğunluk değişim osilasyonlarının şematik olarak gösterilişi	25
Şekil 10. Termal osilasyonların mekanizması.....	27
Şekil 11. Deney düzeneği.....	28
Şekil 12. Deney sistemi ana besleme tankı	30
Şekil 13. Deney sistemindeki Dengeleyici tank.....	31
Şekil 14. Deney düzeneğinde bulunan dengeleyici tank ile test borusu arasındaki kısım	32
Şekil 15. Deney sistemindeki test borusu ve bağlantı flanşları.....	32
Şekil 16. Deney sistemindeki termo eleman bağlantı şekilleri ve fotoğrafı.....	33
Şekil 17. Deney sistemindeki Test borusu izolasyon tabakası ve termo eleman uçlarının şematik gösterimi ve fotoğrafı	33
Şekil 18. Deney düzeneğindeki test borusu elektriksel bağlantısı	34
Şekil 19. Deney sisteminde çıkış kısıtlayıcısının şematik gösterimi	34
Şekil 20. Deney sistemindeki yoğurturucu	35
Şekil 21. Test borusu cidar sıcaklığı ölçüm noktaları	36
Şekil 22. Deney sistemindeki termocuflerinin data okuma kartına bağlantısının şematik gösterimi.....	36
Şekil 23. Isı transfer yüzey karakteristikleri ve teknik resimleri.....	38
Şekil 24. Isı transfer iyileştirme elemanları.....	39
Şekil 25. Boru-1 için kararlı durum karakteristik eğrisi grafiği	43
Şekil 26. Boru-1 için $m = 52$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	43
Şekil 27. Boru-1 için $m = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	44
Şekil 28. Boru-1 için $m = 40$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	44
Şekil 29. Boru-1 için $m = 35$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	45

Şekil 30. Boru-1 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	45
Şekil 31. Boru-1 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	46
Şekil 32. Boru-1 için $\dot{m} = 15$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	46
Şekil 33. Boru-2 için kararlı durum karakteristik eğrisi.....	47
Şekil 34. Boru-2 için $\dot{m} = 50$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	48
Şekil 35. Boru-2 için $\dot{m} = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	48
Şekil 36. Boru-2 için $\dot{m} = 40$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	48
Şekil 37. Boru-2 için $\dot{m} = 35$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	49
Şekil 38. Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	49
Şekil 39. Boru-2 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	49
Şekil 40. Boru-2 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	50
Şekil 41. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 50$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	50
Şekil 42. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	51
Şekil 43. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	51
Şekil 44. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	51
Şekil 45. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları	52
Şekil 46. Tüm borular için basınç düşümleri	53
Şekil 47. Boru-1 ve Boru-2 için osilasyon sınırları.....	53
Şekil 48. Boru-1 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide osilasyonlar	54
Şekil 49. Boru-1 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide osilasyonlar	55
Şekil 50. Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide osilasyonlar	56
Şekil 51. Boru-2 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide osilasyonlar	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Boru Kesit Alanı [m ²]
A	Boşluk Oranı (Void Fraction)
A _t	Boru Toplam Yüzey Alanı [m ²]
B	Kısıtlayıcı Parametresi
d	Boru Çapı [m]
D	Yay Tel Çapı [m]
D _o	Orifis Çapı [m]
F	Sürtünme Katsayısı
G	Kütleli Akı [kg/ m ² s]
h	Isı Taşınım Katsayısı [W/m ² K]
G	Yer Çekim İvmesi [m/s ²]
H _g	Gaz Fazı Entalpisi [J/kg]
H _l	Sıvı Faz Entalpisi [J/kg]
H _{lg}	Buharlaştırma Gizli Isısı [J/kg]
H _y	Yay Adımı [m]
L	Test Borusu Uzunluğu [m]
m	Kütleli Debi [kg/s]
Nu	Nusselt Sayısı
P	Basınç [bar]
P _a	Ana Besleme Tank Basıncı [bar]
P _o	Orifis Çıkış Basıncı [bar]
P _y	Yer Çekim Kuvvetinin Etkili Olduğu Basınç Düşümü [bar]
Q̇	Isı Akısı [kW/m ²]
Q	Isıl Güç [kW]
R	Yarıçap [m]
Re	Reynolds Sayısı
t	Zaman [s]
T	Sıcaklık [°C]
t	Geçiş Zamanı [s]
T _f	Akışkan Sıcaklığı [°C]
T _s	Cidar Sıcaklık Farkı [°C]
U	Hız [m/s]

\dot{V}	Hacimsel Debi [m ³ /s]
V	Hacim [m ³]
V'	Boru Net İç Hacmi [m ³]
\bar{x}	Ortalama Data Değeri
\acute{x}	Ölçüm Elemanlarından Alınan Gerçek Okuma Değeri
Z	Eşdeğer Uzunluk [m]
Z	İki Termokupul Arasında ki Uzaklık [m]
ΔP	Basınç Düşümü [bar]
ΔP_a	İvmeli Harekette ki Basınç Düşümü [bar]
ΔP_{kon}	Konvektif İvmeli Akış Durumunda ki Basınç Düşümü [bar]
ΔP_o	Orifiste Ki Basınç Düşümü [bar]
ΔT	Sıcaklık Farkı [°C]
$\delta x(\%)$	Ölçüm Düzenekleri İle İlgili Belirsizlik Terimi
ΔZ	Her Bir Hesap Adımında ki Uzaklık [m]
μ	Dinamik Viskozite [kg/ms]
ν	Kinematik Viskozite [m ² /s]
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
Σ	Sıvı-Buhar Ara Yüzeyindeki Gerilim [N/m ²]
σ_a	Hassasiyetle İlgili Belirsizlik Terimi
σ_{all}	Toplam Hata Oranı İle İlgili Terim
σ_c	Kalibrasyonla İlgili Belirsizlik Terimi
σ_{itp}	Belirsizlikle İlgili Terim
σ_l	Lineerlikle İlgili Belirsizlik Terimi
σ_{par}	Paralaks Açısı İle İlgili Belirsizlik Terimi
σ_s	Ortalama Deęerle İlgili Belirsizlik Terimi
σ_S	Sık Sık Yapılan Ölçümlerle İlgili Belirsizlik Terimi
σ_{sys}	Sistematik Hata Analizi İle İlgili Terim
σ_T	Tekrarlanma İle İlgili Belirsizlik Terimi
$\sigma_x(\%)$	Ölçüm Düzenekleri İle İlgili Belirsizlik Terimi

İndisler

C	Kritik
\mathcal{C}	Çıkış
D	Doymuş
E	Efektif

F	Sürtünme
G	Gaz
g	Giriş
L	Sıvı Fazı
O	Orifis
S	Cidar
S	Dengeleyici Tank
Sis	Sistem

Kısaltmalar

AO	Akustik Osilasyon
BB	Boş Boru
BDO	Basınç Düşümü Osilasyonu
CHF	Kritik Isı Akısı
H1	Halka sayısı onbeş olan türbülator
TO	Termal Osilasyon
YDO	Yoğunluk Değişim Tip Osilasyon

GİRİŞ

Dünyada enerji rezervlerinin devamlı olarak azalmasından dolayı, alternatif enerji kaynaklarını bulma gereksinimlerini karşılamak için bir dizi çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalardan biri de ısı transferini iyileştirmek için yapılan çalışmalardır. İki fazlı akışların ısı transfer katsayısı tek fazlı akışlardan yüksek olma sebebiyle yüksek ısı akısı gerektiren uygulamalar ve sanayi faaliyetlerinde zamanla artan ihtiyacı karşılamak için bu alanda çalışmalar artırılmıştır. Isı değiştiricilerde etkinliği artırmanın yanı sıra, enerji tasarrufunun gerçekleşmesi için önerilen etkili metot ve buna ek olarak sıcak ve soğuk akışkanlar bölgesindeki ısı taşınım katsayılarının var olan duruma göre arttırılma çalışmaları da mevcuttur. Bu da aktif veya pasif metotlardan biri ile gerçekleştirilmektedir. İki fazlı akışlar; buhar üreteçleri, soğutma sistemleri, nükleer reaktörler, kimyasal üretim ünite ve rafinerileri, kimyasal ve gıda işleme, ilaç üretimi, petrol üretimi ve atık yakma vs. gibi birçok endüstriyel alanlarda kullanıldığı günümüzde de görülmektedir.

Kaynamalı ısı transferinin meydana geldiği birden fazla sanayi faaliyetlerinde, sistem basıncında ve akışkan debisinde oluşan salınımlar sebebiyle oluşan akış kararsızlıkları, sistemin ısı transferinin gerçekleştiği bölümlerde hasarlara neden olmakla beraber sistemin ekonomik ömrünü zamanla azalttığı geçmişte yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Bu tip salınımlardan dolayı; ısıl yorulmalar, kaynama krizleri, mekanik titreşimler, yüksek geçici sıcaklıkların sebep olduğu kontrol zorluğu ve ayrıca ısı transfer yüzeyinde oluşan burn-out olayı olarak sınıflandırmak mümkündür. Birçok mühendislik çalışmasında ekonomik tasarım, uygun değer şartların sağlanması ve işletme güvenliğinin doğru şekilde uygulanabilmesi ve sistemlerin sağlıklı çalışması için iki fazlı akışların ısıl karakteristik eğrileri ve hidrodinamik kararsızlıklarının önceden tahmin edilmesi ile bağlantılı olabilmektedir.

İki fazlı akış sistemlerinde fazlar arasında oluşan yüzeylerin şekilleri iki fazlı akışı biçimini belirlemektedir. Akış yönlerine göre iki fazlı akışlar eğik, dikey ve yatay olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu akış doğrultularının karakteristik özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Karakteristiklerine göre ayrılan bu tip sistemlerde ana sınıflandırma yerçekimi kuvvetinin akış yönüne doğru etkilediği yön olarak belirtilir. Yatay akış sistemlerinde ise buhar ve sıvı faz arasında ayrılma olmasının nedeni bu türlerdeki sistemlere yer çekimi kuvveti dik olarak etki etmesidir. Düşük yoğunluktaki buhar, boru üst bölgede yüksek yoğunlukta olan sıvı ise borunun alt bölgesinde yer aldığı gözlemlenir. Buhar fazındaki ısı transfer katsayısı sıvı fazındakine kıyasla daha düşüktür. Bu sebeple taşıyıcı

sistemlerin üst bölgelerinde "burn-out" olayının oluşmasına yol açmaktadır. Diğer dikey ve eğik akışlı çalışma sistemlerinde ise yerçekimi kuvveti akış sistemine paralel yâda eğik yönlü olarak etki etmesi ara yüzeylerde oluşan şekiller bakımından yatay akışlı sistemlerdeki şekillerden daha az olmasına neden olduğu ortaya çıkmaktadır.

İki faz sistemlerinde statik ve dinamik kararsızlıklar olmak üzere iki farklı kararsızlık durumu vardır (Lahey1980). vAkış gezinti (Ledinegg) kararsızlıkları, akış rejimi gevşeme kararsızlıkları, geysering ya da chugging kararsızlıkları ve off-shore petrol kuyusu hatlarında oluşabilecek araziden kaynaklı kararsızlıklar statik kararsızlıklara yoğunluk dalga osilasyonu, basınç düşümü osilasyonları, akış rejimine bağlı kararsızlıklar ve akustik kararsızlıklar da dinamik kararsızlıklara örnek verilebilir. Bu kararsızlık türlerinden, en önemli ve yaygın olarak çalışılan, Ledinegg kararsızlıkları (Ledinegg 1938) ve yoğunluk dalga osilasyonlarıdır (DWOs). Her ne kadar kaynama sistemlerinin üzerinde durulacak olsa da, benzer kararsızlıkların yoğunlaşma sistemlerinde de oluşacağı unutulmamalıdır. Bu kararsızlıkların meydana gelme sebebi sadece akışın ataleti ile iki fazlı akışkanın sıkıştırılabilirliği arasında yeterli düzeyde etkileşim olması ve kaynamanın olduğu kanalda ise debi ve/veya basınç düşümü ve yoğunluktaki değişim arasında çoklu geri-beslemeler olabildiği gibi aynı zamanda yalnızca geri-beslemeler de muhtemelen olabilir (Yeşilyurt 2015). Bu deneysel çalışmada yatay boş boru içerisine bir tane halka türbülötör kullanılmak üzere kullanılan elemanın iki fazlı akış kararsızlıklarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar osilasyonların tipleri, ortaya çıkış şekilleri ile kararsızlıklar üzerine etki eden değişkenleri araştırmaya yönelik yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde iki fazlı akış sistemleri ile ilgili genel bilgiler ve konuyla yapılan çalışmalar sonuçlarına göre literatür taraması bulunmaktadır. İkinci bölüm ise iki fazlı akış kararsızlıklarının teorik bilgilerinin ifade edilmesinin yanı sıra deneysel çalışılan tezin konusu olan dinamik kararsızlıklar hakkında bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde ise materyal ve yöntem olarak deney düzeneği ve deneysel yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise deneysel araştırmalar sonucunda elde edilen veriler Son bölümde ise deneysel sonuçlar özetlenerek çıkan sonuçlara göre öneri sunulmuştur.

İki Fazlı Akışlarla İlgili Araştırmalar

Sanayi devrimi ile başlayan ve hızla gelişen endüstriyel uygulamalarla birlikte iki fazlı akışların kullanıldığı çalışmalarda iki fazlı akış sorunlarının çözüme ulaşması için bir dizi araştırmalar yapılmıştır. İki fazlı akış kararsızlıkları ile ilgili ilk çalışma 1909 yılında Lorentz sıvı-gaz karışımlarını homojen bir karışım olarak öngörmüş ve akışın hidrodinamiğini

deneysel çalışmalarla gözlemlemiştir. Bu alandaki diğer çalışma, 1938 yılında Ledinegg tarafından ısıtılan paralel buhar jeneratörü kanallarındaki akış kararsızlıklarına sebep olan sorunları araştıran ve daha sonra kendi adıyla “Ledinegg kararsızlığı” diye adlandırılan akış gezintisini meydana getiren çalışmadır. Ledinegg yaptığı araştırmalarda $\Delta p - \dot{m}$ karakteristik eğrisinde tek fazlı akışta her zaman pozitif olması gerekli olan eğimin bazı debi aralıklarında negatif olduğunu ve sistem kararlı durumda çalışırken tek değere karşılık gelen debi değeri olmadığı için farklı kararlı duruma geçtiğini gözlemlemiştir.

Stenning ve Veziroğlu (1965) yaptıkları deneysel çalışmalarda R-11 akışkanını kullanarak üç tip dinamik kararsızlık durumu belirlemiş olup "Yoğunluk değişim tipi kararsızlık", olarak adlandırılan birinci tip kararsızlık ısıtılan kanal boyunca, yüksek ve düşük yoğunluğa sahip olan akışkan dalgalarının farklı hareketleri ile meydana geldiği belirtilmiştir". Basınç düşümü tipi osilasyonlar olarak adlandırılma yapılan ikinci tip kararsızlık; basınçta, cidar sıcaklığında ve akışkan debisinde büyük genlikli salınımlara sebep olan kararsızlıklardır. Bu çalışmanın sonucu olarak salınımların meydana gelmesi için test bölgesi karşısında sıkıştırılabilir hacmin bulunması gerekmektedir. “Termal osilasyonlar” olarak adlandırılan üçüncü tür kararsızlık sıvı film tabakasının kararsızlığı ile ilişkili olan kararsızlıktır.

Veziroğlu ve Lee (1968a, 1968b, 1970c) çalışmalarında iş yapan akışkan olarak R-11 akışkanını kullanarak dikey bir akış düzeneğinde, basınç düşümü ve yoğunluk değişim osilasyonları üzerine yapmış oldukları deneysel çalışmaların sonuçlarını önceki yatay kanal üzerinde yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırarak, dikey yukarı akış sistemlerinin yatay akış sistemlerine nispeten daha kararlı bir durum gösterdiklerini gözlemlemiştir.

Akyüzlü vd (1979) teorik ile deneysel olarak elde edilen verileri dikey akışlı, tek kanallı, elektrikle ısıtılan, zorlanmış taşınımlı deney düzeneği üzerinde çalışmalar yapmıştır. Yapılan incelemelerde akışkan giriş sıcaklığının basınç düşümü gibi parametlerde önemli görev aldığı sunucuna varılmıştır. Diğer yapılan çalışmalarda da oluşturulan matematiksel ifadelerde iki fazlı akışın sıkıştırılabilirliği ve yoğunluk değişim türü salınımların yapılan çalışmalar sonucuna dâhil edilmesi gerekliliği ortaya koyulmuştur.

Lahey (1980) ve Bergles (1981) öncesinde Boure'nin yaptığı iki fazlı akışları sınıflandırmak için araştırmaları daha ince ayrıntılı çalışma yaparak kararsızlık tipleri üzerinde durmuş ve iki fazlı akış kararsızlıklarını sınıflandırmak üzerinde çalışmalarını devam ettirmişlerdir.

Yüncü (1981) iki fazlı akışı kararsızlık durumlarına göre yatay kanala sahip deney düzeneği ile çalışmalar yapmıştır. Bu deneysel çalışmaların sonunda analitik yöntemler ortaya

çkarılmıştır. Bu analitik yöntemler kararlı durum karakteristikleri ile BDO ve YDO için kararlılık ve kararsızlık sınırlarını belirlemek için çalışmalar içerisinde kullanılmıştır

Gurgenci vd (1983) sabit basınç ile çalışan yukarı akış kaynamalı deney düzeneği ile YDO ve BDO sınır çevrimlerini oluşturmak için sabit özellikli bir homojen akış geliştirmiştir. Yapılan çalışmalarda termodinamiksel olarak dengede olduğu kabul edilip, test kanalı cidar ısı depolama etkileri, akışkan özelliklerinde oluşan değişiklikler yok sayılmıştır. Modelin BDO için çıkan sonuçları deneysel verilere çok yakın olduğu görülmüştür. YDO içinde sistemin periyotları deneysel verilere yakın değerlere ulaşırken genlikler için aynı benzerlik oranı meydana gelmemiş olup sistem boyunca var olan dağılım basınç düşümü değerinin yok sayılmasından oluştuğu düşünülmektedir.

Ding vd (1993) yaptığı deneysel çalışmasında yatay borularda slug akıştan plug akışa geçişin nasıl olduğunu araştırmıştır. Slug akıştaki gaz boşluğunun önünün "Benjamin bubble" arkasının ise hidrolik sıçramanın bulunduğu bölgeyi araştırılan bölge olduğunu ifade etmiştir. Yapmış olduğu deneylerden düşük gaz geçişleri için "Benjamin bubble" ifadesinin sunucuna varmıştır.

Xu and Chen (1990) yaptığı çalışmalarda iş yapan akışkan olarak su kullanmış dikey tip bir deney sisteminde yoğunluk değişim tipi salınımlarını araştırmıştır. Deney sisteminin başlangıç koşullarını orta basınç seviyesinde ve birim ısı güç değerinde oluşturmuştur. Deney düzeneğinden elde edilen bulgular ile yoğunluk değişim salınımlarının sınırlarını belirten kararlı durum eğrilerini çizmişlerdir.

Kakaç vd (1990) deney sisteminde R11 akışkanını kullanmış dikey yukarı akışlı tek bir zorlanmış kanal için termal osilasyon değerlerini deneysel ve teorik olarak araştırmıştır. Homojen iki fazlı akış modeli teorik olarak kullanılmıştır. Isı gücü, akışkanın giriş sıcaklığını ve ısıtıcı boru boyutlarının termal veriler üzerine ne gibi etkileri olduğunu incelemişlerdir. İki fazlı akış kararsızlıklarından olan yoğunluk değişimi tipi, basınç düşümü tipi ve termal salınımların meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Uygulama yapılan modelde tek boyutlu akış denklemleri, termal osilasyonların hangi şartlarda meydana geldiği açıklanmıştır. Araştırılan teorik sonuçlara göre; osilasyonlar, genlikler ve dönem değerleri yönünden deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Termal salınımlar basınç düşümü tipi salınımları ile aynı yönde ise basınç düşümü tipi osilasyonlarının en yüksek değerleri her seferinde faz gecikmesi oluşturarak termal osilasyonlarının maksimum değerinden ayrıldığı gözlemlenmiştir.

Ding vd (1993) kaynamalı yatay tip boru düzeneğinde iki fazlı akış kararsızlıklarını araştırmıştır. Giriş basıncı osilasyonları genliğinin kütleli debi ile bağlantılı olarak düşüğe

azaldığı, giriş sıcaklık değeri artınca girişte de aşırı soğutma derecesinin arttığı görülmüştür. Çalışmada kütleli debi ve giriş aşırı soğutma derecesi ile aynı oranda değiştiği gözlemlenmiştir. Negatif eğim bölgesinde yoğunluk değişimi tipi osilasyonlarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Boru cidarının üst bölgesinde termal osilasyonlar basınç düşümü tipi osilasyonlara devamlı olarak birlikte hareket ettiklerine rastlanmıştır.

Liu vd (1993, 1994) zorlanmış taşınımlı, kaynamalı, dikey borulu deney sisteminde iş yapan akışkan olarak R-12 türünü kullanmış, iki fazlı akış geçiş kaynamasını, hidrodinamik kararsızlıkları ve termal osilasyonları deneysel olarak çalışılmışlardır. Taşınım olduğu kaynama bölgelerinde, cidar sıcaklığında iki farklı verinin olduğu bulmuşlardır. Bunlardan bir tanesi yüksek frekans ve düşük genlikli diğeri ise düşük frekans ve yüksek genlikli iki ayrı verideki osilasyonlardır. Düşük frekanslı model yöntemleri, ısıtılan cidar kapasitesi, eksen boyunca iletim kapasitesine ve kaynama karakteristiklerindeki geçişe bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kakaç (1994) çalışmalarında yoğunluk değişim tipi osilasyonları lineer olmayan, fonksiyonel, integral / diferansiyel iki denkleme göre matematiksel bir modelle sayısal olarak araştırmış elde ettiği matematiksel verileri yoğunluk değişim tipi osilasyonların oluşmasının ana sebebi olan bazı fiziksel mekanizmaları açıklamak için kullanmışlardır. Çalışmasında hareketli yoğunluk dalgalarının önemli bir görevi olmadığını, daha önce yapılan çalışmalarda osilasyon periyotlarının kanal geçiş zamanının iki katı olduğu ve karışım yoğunluğundaki değişimden daha fazla kanaldaki basınç düşümü karakteristiklerinin belirlenmesinde karışım hızındaki değişimin etkili olduğu belirtilmiştir.

Kakaç (1994) daha önceden yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonucunda iki fazlı akış kararsızlıklarını sınıflandırmıştır. Isı transferi iyileştirme elamanlarının ısıl güç, akışkan debisi, giriş aşırı soğutma seviyesi, giriş/çıkış kısıtlayıcıları ve kararsızlıklar üzerinde oluşan etkilerini gözlemleyerek kararsızlıkların belli başlı ayrılma mekanizmalarını araştırmıştır.

Kakaç (1995) çalışmasını iki fazlı akış kararsızlıklarını kaynamalı sistemlerde su kullanarak deneysel ve kuramsal olarak araştırmıştır. Tek kanallı, yukarı akışlı, dikey sistemde, YDO' nun başladığı ısıl güç ve kuruluk derecesini gözlemlemiş ve kütleli debi, sistem basıncı, giriş aşırı soğutma seviyesi ve çıkış kısıtlayıcısının ne gibi etkileri olduğu gibi sonuçlarını çalışmaları içerisinde yer vermiştir. Bu sistemler için YDO'nun başlangıcını; kuruluk derecesine ısıl güce bağlı olarak veren denklemi aşağıdaki gibi önermiştir.

$$x_c N_Q = A + B \frac{N_p}{N_{TS}} \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte bulunan N_Q , N_P ve N_{TS} boyutsuz sayılardır:

$$N_Q = \frac{4Q_c L_h}{(h_s - h_0) G_d} \quad (1.2)$$

$$N_P = \frac{P_e \rho_1}{G^2 L_h} \quad (1.3)$$

$$N_{TS} = \frac{h_s - h_0}{\Delta h_v} \quad (1.4)$$

Bu denklemlerde tanımlanan parametrelerin açıklaması aşağıda ifade edilmiştir;

N_Q : Test kısmında meydana gelen toplam ısıtılan uzunluk değerinin sıvı faz bölgesinden yakalanan uzunluğa oranıdır.

N_P : Basıncın ve kütleli debinin yoğunluk değişim tipi salınımlar üzerindeki etkisini gösteren boyutsuz bir sayıdır.

N_{TS} : Akışkanın termodinamik özelliklerini ve aşırı soğutmanın etkisini meydana getiren boyutsuz bir sayıdır.

Kakaç (1995) yatay sistemlerde kullanılan R-11 akışkanı ile kararlı durum eğrilerini öteleme-akış yöntemi ile bulmuştur. Sayısal yöntemde ise sonlu farklar yöntemi olarak belirli sonlu farklar yöntemini kullanmıştır. Deneysel ve teorik çalışmalar birbirleri ile denge içerisinde olduğu saptanmıştır. Tüm çalışmalar sonunda YDO'nun oluşmasında sistem basıncına, giriş aşırı soğutmaya ve çıkış orifis boyutuna bağlı olduğunu belirlenmiş; YDO periyodunun sistem karışım partikülünün sistem boyunca hareket etme süresi ile ilişkili olduğunu; kütleli debi osilasyonunun genliğinin oldukça büyük olduğu ve osilasyon esnasında ters akış oluştuğunu gözlemlemiştir (Omeroglu 2012).

Weisman vd (1994) araştırmalarında deneysel olarak iki fazlı akış kararsızlıklarının kaynamalı akışlı yatay borulu, artırılmış ısı transfer yüzey alanlı bir sistem üzerinde nasıl etki ettiğini öğrenmek için çalışmalar yapmıştır. Üç farklı boru ile beş farklı sıcaklık değeri kullanarak ısı transfer yüzey alanının büyümesini ve akış kararsızlıklarının üzerindeki etkisini incelemiştir. Her bir boru için ayrı deneyler çalışmıştır. Isıl güç, sistem basıncı sabit tutulmuş her deney için dinamik kararsızlık tipleri bulmuş kararlı durum karakteristikleri gözlemlemiş ve basınç düşümüne karşılık gelen kütleli debi grafikleri oluşturmuştur.

Webb (1981) Akış desenlerini iki fazlı hava-su akışında meydana gelen şekilleri doğru bir şekilde belirtmek için birçok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalardan yararlanmışlardır. Akış desenlerini ayırt etmek için çalışmalarını yapmışlardır.

Kakaç ve Cao (1999) R-11 iş yapan akışkan kullanılarak yatay kaynamalı boru içerisinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Basıç düşüm tipi osilasyonlar ve termal

osilasyonların oluştuğunu çalışmalarında belirtmişlerdir. Osilasyonların genlik ve periyotları ısı güç ve giriş aşırı soğutmasının artması ile arttığını izlemişlerdir. Kararlı durum karakteristikleri ve osilasyonlar öteleme-akış metodu ile teorik olarak analiz edilmeye çalışılmış ve deneysel sonuçlarla aynı olduğunu tespit etmişlerdir.

Guo vd (2001) helisel kıvrılmış boru ile iş akışkanı olarak su kullanılan basınç düşümü tipi osilasyonlar üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır. Farklı pozisyondaki sıkıştırılabilir gaz hacimleri, basınç düşümü tipi osilasyonların periyotlarını, başlangıç sınırlarını ve osilasyon genliklerini farklılaştırdığını gözlemlemiştir.

Çomaklı vd (2002) iki fazlı akış kararsızlıklarını yatay, kaynamalı düz borulu deney düzeneğinde sabit sistem basıncı ve sabit ısı akısında olarak iki farklı türde gözlemlemiştir. Uygulanan bütün sıcaklık değerlerinde Dinamik kararsızlıkların bütün tiplerinin meydana geldiğini çalışmasında gözlemlemiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda salınımların görüldüğü sınırlar mevcut olduğunu belirtmiştir. Giriş sıcaklık değerinin düşmesi ile kararlılık sınırlarının daha düşük kütleli debiye doğru gittiği, sistemin kararsızlığının giriş sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu müşahade etmiştir. BDO ile YDO periyot ve genlikleri de azalan kütleli debiyle azalır, azalan sıcaklık giriş değeriyle arttığı görülmüştür. Kanal uzunluğunun iki fazlı dinamik akış kararsızlıkları için etkin rol oynadığını belirtmişlerdir.

Yu vd (2002) 0,91 m ve iç çapı 2,98 mm olan yatay boru sisteminde kaynamalı ısı transferi, iki fazlı basınç düşümü ve suyun kritik ısı akısını, uzunluğu deney sisteminin basınç farkı ve ısı transfer katsayısı ile elde edilen verileri küçük kanallarda kaynayan soğutucu akışkanlar için ve büyük kanallarda kaynayan su için geliştirilmiş olan mevcut korelasyonların farklılıklarını parametreler halinde incelemiştir. Araştırmada küçük kanalın iki fazlı basınç düşümü sonuçları aynı kütleli debiler için büyük kanallarda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Chisholm korelasyonu ile kıyaslama yapılmış ve kanal boyutları arasındaki iki fazlı akış rejimi değişiklikleri ile farklılıkları ortaya konulmuştur.

Leung vd (2004) deneysel çalışmalarında ısıtılmış borularda buhar ve su akışı için basınç düşümleri için çalışmalar yapmıştır. İki farklı laboratuvarında farklı türlerde ısıtılmış boru tipi içerisinden geçen buhar ve su akışı için basınç düşümü ölçümlerini gözlemlemiştir. Laboratuvarında yapılan deneylerde su soğutmalı 600'lük boru sisteminde yukarı akışlı yönde çalışmışlardır. Tek fazlı akışlar için ısı akısındaki artma ile basınç gradyanındaki azalma aynı kesit ortalama şartlarında belirtilmiştir. Sonuç olarak düşme eğilimi, sıvı film kalınlığındaki azalmaya ve sıvı sürüklenmesinin sonlanması ile karşılaştırılmış ve kritik ısı akısı oluştuktan sonra sürtünmeli basınç gradyanında kayda değer bir düşüş olduğu gözlenmiştir.

Yılmaz vd (2007) yaptıkları deneysel çalışmada iki fazlı akış için kullanılan ısı transferi iyileştirme metotlarını ayrıntılı olarak incelemiş olup ve koşullarını iyileştirerek iki fazlı akışın ısı taşınım katsayılarını, aktif ve pasif ısı transfer iyileştirme yöntemlerini geliştirmişlerdir.

Karagöz vd (2008) yatay su kaynamalı dalga akış osilasyonları üzerine yatay boruda yaptıkları çalışmada yoğunluk değişimi tipi osilasyonların diğer dinamik osilasyon tipleriyle kıyaslandığında daha küçük genliklere ve yüksek frekanslara sahip olduklarını çalışmalar sonucunda tespit etmişlerdir.

Quibén vd (2009) araştırmalarında yatay yassılaştırılmış 2 ve 3 mm yüksekliğinde, dört farklı bakır boru kullanarak kaynamalı akış için iki fazlı basınç düşümü osilasyonları gözlemlemiş ve iki fazlı sürtünmeli basınç düşümü değerlerine ısı akışının çok önemli ölçüde etki yapmadığını belirtmiştir. Moreno Quibén ve Thome'nin çalışmaları ile karşılaştırılmış ve eşdeğer çap için kullanılan dairesel boru modeli ve yassılaştırılmış boru modelleri için elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırıldığında borudaki basınç düşümü değerlerini belirlemek için uygulanan bu modelin kullanışsız olduğu belirtilmiştir.

Omeroglu vd (2012) yatay dairesel kesitli boruda bazı girdileri sabit tutarak; basınç, ısı güç ve çıkış iki fazlı akış kararsızlıkları etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalar boş boru ile kıyaslanmıştır. Çalışmada elde edilen verileri BDO ve YDO açısından gözlemekle birlikte deney sisteminde kullanılan borular için osilasyon sınırlarını belirtmişlerdir. Kararsız bölgede sınırlar arasındaki fark arttıkça genişlemiş olup adımlar azaldıkça ise sistem daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

Omeroglu vd (2013) Yatay boru sisteminde iki fazlı akış kararsızlıklarını bükülü şerit ve yaylardan oluşan boru içi elemanlarının zorlanmış taşınmalı ve kaynamalı akışını incelemişlerdir. Çalışmalar üç farklı giriş sıcaklığı için, 7,5 bar sistem basıncı ve 24 kW ısı güç uygulanarak sabit çıkış kısıtlayıcısı koşullarında giriş aşırı soğutmasının sebebini incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak boru içi elemanlarının kullanılması ile salınımların görüldüğü kararsız bölgeyi daraltmış ve efektif çap arttıkça salınım sınırları genişlediği görülmüştür. Bu sonuçlara sistemin daha kararlı hale gelme nedeni boru içerisindeki elemanların adımlarının küçülmesi ile oluştuğunun sonucuna varılmıştır.

Karagöz (2008) yapmış olduğu deneysel ve sayısal araştırmalarda, türbülans akışı oluşturan silindirik türbülötör eşanjör borusu içine yerleştirmiş ve ısı transfer hızını arttırmak için bir çalışma yapmışlardır. İncelemelerini kanat geometrisinin etkileri, deney tüpleri içerisindeki ısı transfer oranını araştırmak için yapmışlardır. Farklı türbülötör aralıklarında (adım 1,2,3 = 101 – 216 – 340 mm) ve çeşitli türbülötör açılarında ($\alpha_{1,2,3} = 0^\circ -45^\circ -90^\circ$)

deney sistemi ile çalışılmışlardır. Tüp içindeki su akış hızı, istenilen Reynolds sayılarına ($Re_{1,2,3} = 6000 - 11.000 - 17.000$) yaklaşmak için üç farklı aralıkta ayarlanmıştır. Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve sürtünme faktörünün etkisi farklı olarak tek tek incelenmiştir. Bütün deneysel çalışmalar için, Nu sayısındaki artış kullanılan tüp ekleri nedeniyle, ilgili profillerde, birbirleriyle ve düz tüp ile karşılaştırılmıştır. Isı eşanjör tüpüne yerleştirilen boru eklerinin, Nu sayısı ve enerji tasarrufunda ciddi bir artışa yol açtığı gözlemlenmiştir. Farklı deneme sayıları ile çeşitli Re sayılarında ortalama değer kullanılmış en yüksek Nusselt sayısı, $Sy_1 = 101$ mm'de elde edilmiş; bu, düz tüpünden %24 daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu değer, sırasıyla $Sy_2 = 216$ ve $Sy_3 = 340$ mm için %18,7 ve %8,3 olarak belirlenmiştir. Bu şekilde, sürtünme faktörü için sonuçlara göre 0,30, 0,19 ve 0,14 olarak belirtilmiştir. Sunulan çalışma, akış davranışını ve ısı transfer özelliklerini analiz etmek için ANSYS Fluent 16 yazılımı ile simüle edilmiştir.

Andriyanto Setyawan vd (2017) 26 mm boru çapında olan ve hava - su yatay dairesel iki fazlı akıştaki çevresel film kalınlığı dağılımı, iletkenlik probu kullanılarak çalışmalar yapmıştır. Yüzeysel gaz ve sıvı hızları sırasıyla 10-40 m / s ve 0,025-0,4 m / s olarak alınmış ve film hızı, sıvı hızı azaldıkça ve gaz hızı arttıkça azaldığını gözlemlemişlerdir. Düşük yüzeysel gaz hızı için, sıvı film kalınlığı dağılımının yüksek asimetrisi genellikle bulunur. İçinde ilaveten, alttan daha düşük olmak üzere borunun üst yarısındaki sıvı filmi çoğunlukla frekanslı dalgaların dalgalanmasından oluşmaktadır.

Mevcut deneysel aralık en düşük yüzeysel sıvı hızındadır. Tabanda ortalama film kalınlığı 0,24 mm ila 1,3 mm arasında değişmektedir buna göre, en yüksek yüzeysel sıvı hızı, yüzeysel gaz hızına bağlı olarak, 1,0 ila 4,29 mm arasında değişmiştir. Sıvı film kalınlığı dağılımı yüzeysel gazın hızı arttıkça, daha üniform şekil almıştır. Bu akış koşulu altında, üstteki dalga alt yanındakine benzer bir frekansa sahip ve uyumlu bir sıvı dalgası bulunmaktadır. Yapılan diğer deneysel verilerle kıyaslandığında korelasyon çevresel sıvı film kalınlığı dağılımını tahmin etmek için iyi bir özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir.

Chen (1990) iki fazlı (sıvı ve gaz) akış dağılımında ki bir plakalı ısı eşanjörünün başlığındaki veriler için deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarda doğal gazın sıvılaştırma işleminde sıvı fazın küçük kütle fraksiyonları dikkate alınmış olup sıvı ve gaz akış hızı, PIV / PTV / LIF gibi optik yöntemler kullanılarak ölçülmüştür. Sıvı ve gaz akışlarının akış dağılışı nicelleştirilmiş ve gözenekli bir saptırma takılarak ya da giriş nodül konfigürasyonunun değiştirilerek ilgili problem gözlemlenmiştir. Özet olarak, sıvı ve gaz fazları sıvı akış dağılımının artmasına sebep bir dağıtıcı içeren bir pervane olduğu sonucuna varılmıştır.

Tezin Amaç ve Kapsamı

Son yıllarda sanayinin gelişmesi, yaşam alanlarının artması nüfusun artması, yaşam standartlarının yükselmesi ile iç enerji kaynakları hızla tüketilmesinden dolayı maliyet büyük bir hızla artmış ve bu durumdan dolayı alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmıştır. Enerji ekonomisinin iyileşmesi ve enerjinin verimli kullanılması için bir dizi çalışmalar yapılmakta olup ve aynı zamanda bu çalışmalar arasında ısı transferini iyileştirmeye yönelik yöntem geliştirmek için deneysel araştırmalara daha da önem vererek devam edilmektedir. Isı transferini iyileştirme yöntemleri “pasif”, “aktif” ve “karma” yöntemler olarak incelenebilir.

Kararlı ve kararsız akım kavramlarına gelince, bir kanal boyunca sürekli akan bir akışkanın akım şartı sürekli durumdan çok az bir miktarda değiştirildiğinde akım değişik sürekli duruma asimptotik olarak yaklaştığı gözlemleniyor ise akım kararlı akım olarak tanımlanır, akım farklı duruma asimptotik olarak yaklaşmıyorsa veya akımın belirli özelliklerinde basınç debi sıcaklık gibi durumlardan kaynaklı ısıl özellikleri periyodik salınımlar meydana getiriyor ise bu akım kararsız akım olarak tanımlanır.

Kararsızlık durumlar olan nükleer reaktörler, buhar kazanları, özel ısı değiştiricileri, soğutma sistemleri, buhar üreteçleri, iki fazlı akışların söz konusu olduğu endüstriyel alanlar olarak karşımıza çıkabilir. Kaynamalı iki fazlı akıştan meydana gelen değişik tipli kararsızlıklar yukarıda bahsedilen endüstriyel alanların çizimine ve işletme aşamalarına dikkat edilmelidir İçerisinde sıvı akışkanın ısıtıldığı ve kaynama durumu olan tüm çalışmalarda geri besleme (feed back) mekanizmaları ile oluşan katmanlaşma veya kararsızlıklar; araştırma sistemlerindeki kontrol problemlerine, kaynama durumlarına, mekanik titreşimlere ve özellikle nükleer santrallerde boru cidarlarının termal yorulmalardan dolayı deforme meydana gelir ve radyoaktif malzemenin çevreye yayılmasına neden olur bu yüzden çalışmaların tasarım ve dizaynında dikkatli çalışma yapılmalıdır (Yeşilyurt 2015). Tablo 1.'de ısı transferinin iyileştirilmesinin bu kararsız durumlara etkisi sunulmuştur.

Tablo 1. Isı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisi (Boure 1973)

Parametre	Özellikler
Kararlı Durum Karakteristikleri	<ol style="list-style-type: none">1. Tüm iyileştirilmiş yüzeylerde karakteristik eğri yatık S şeklindedir.2. İki fazlı akış bölgesi karakteristik eğrinin lokal minimum civarında başlar.3. İyileştirilmiş yüzeylerde giriş sıcaklığı azaldıkça basınç düşümü azalır.4. İyileştirilmiş yüzeylerdeki basınç düşümleri düz borulardakinden daha yüksektir.
Stabilite Sınırları	<ol style="list-style-type: none">1. Giriş sıcaklığı azaldıkça BDO'nun başladığı nokta düşük debilere kaymaktadır.2. İyileştirilmiş yüzeylerde osilasyonlar karakteristik eğride düz boruya göre daha geniş bir bölgeyi kapsar. Bu bölge ne kadar büyük olursa osilasyonlar da o kadar uzun sürer.3. Yerleşik iyileştirme aygıtı olarak yay elemanı kullanımında efektif çap azaldıkça stabilite artar. Ancak diğer iyileştirilmiş yüzeyler için bu sonuç genelleştirilemez
Basınç Düşümü Osilasyonları	<ol style="list-style-type: none">1. Kütleli debi azaldıkça BDO'nun periyot ve genlikleri artar.2. Giriş sıcaklığı azaldıkça BDO'nun periyot ve genlikleri artar.3. İyileştirilmiş yüzeylerde BDO'nun periyot ve genlikleri düz borudakine göre daha yüksekti
Yoğunluk Değişim Osilasyonları	<ol style="list-style-type: none">1. Kütleli debi azaldıkça YDO'nun periyot ve genlikleri azalır.2. Giriş sıcaklığı azaldıkça YDO'nun periyot ve genlikleri artar.3. İyileştirilmiş yüzeylerde YDO'nun periyot ve genlikleri düz borudakine göre daha yüksektir.
Termal Osilasyonlar	<ol style="list-style-type: none">1. İyileştirilmiş yüzeylerin cidar sıcaklıkları düz borulardakine göre daha yüksektir.2. İyileştirilmiş yüzeylerde cidar sıcaklıklarının periyot ve genlikleri düz borulardakine göre daha yüksektir.3. Termal osilasyonların periyot ve genlikleri giriş sıcaklığının azalmasıyla artar.4. Termal osilasyonların periyot ve genlikleri kütleli debinin azalmasıyla artar.

Bu deneysel çalışma yatay boruda halka türbülötör kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi sağlamak için iki fazlı akış rejimlerinin kararsızlıklar üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla hazırlanmıştır.

Deneysel araştırma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Transferi laboratuvarında bulunmakta olup ve daha önce çeşitli deneysel

çalışmalar burada yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada bilimsel bilgi birikimine şu noktalara katkı yapması umulmaktadır:

1. Kararsızlıklar sebebi ile oluşabilecek burn-out, ısıl yorulma, titreşim gibi arızaların iki fazlı akış içeren eden yatay borulu evaporatörler ve ısı değiştiricilerde meydana gelecek arızaları engelleyecek dizayn yapılması ve bu duruma göre çalışma şartlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Burn-out olayı; geometriye (boruların uzunluğu, çapı), çalışma şartlarına (basınç, giriş sıcaklığı, akışkanın hızı, sisteme verilen ısı vs.) ve sınır şartlarına (eksenel ısı akısı dağılımı) bağlıdır. Bu tip parametrelerin kararsızlıklara etkisinin incelenmesi çok önemlidir (Omeroğlu 2012).
2. Boru efektif çapları üzerine İki fazlı akış kararsızlıklarının etkisinin sonuçlarını ve iki fazlı akışlarda akış biçimlerinin temel yapısı incelenecektir.
3. Farklı tip türbülator kullanılarak yapılacak çalışmanın ve ardından nümerik modellemenin bu konuya önemli katkı yapacağı düşünülmektedir.” (Omeroğlu 2012).

KURAMSAL TEMELLER

İki Fazlı Akış

Farklı yoğunluklarda olan iki maddenin aynı sistemde eşzamanlı olarak denge halinde ya da denge hali dışında var olması durumudur. İki fazlı akışın ana özelliği iki faz arasında ara yüzey oluşumu ve ara yüzeyin çeşitli şekiller almasıdır. Yaygın örnek olarak Gaz-katı, sıvı-katı, gaz-sıvı ve buhar-sıvı akışlarını verebiliriz. Belirli koşullarda meydana gelen iki fazlı akış rejimleri akış debisine, sistem şekline ve fazlar üzerinde etki eden kuvvetler arasındaki etkileşmeye bağlıdır. İki fazlı akışın sınıflandırılması Şekil 1’de belirtilmiştir. Bu deneysel çalışmada Buhar-sıvı akışı ilgilenilen esas konu olacaktır. Buhar-sıvı akışı, sıvının önce ısıtılıp daha sonra sistemde kaynama durumu gözlenmesi ile meydana gelmektedir. Böylece iki faz aynı kimyasal düzene sahip olacaktır. Kaynama durumunu havuz ve konvektif kaynama olarak iki şekilde belirtebiliriz. Deneysel çalışmada konvektif kaynama üzerine durulmuştur.

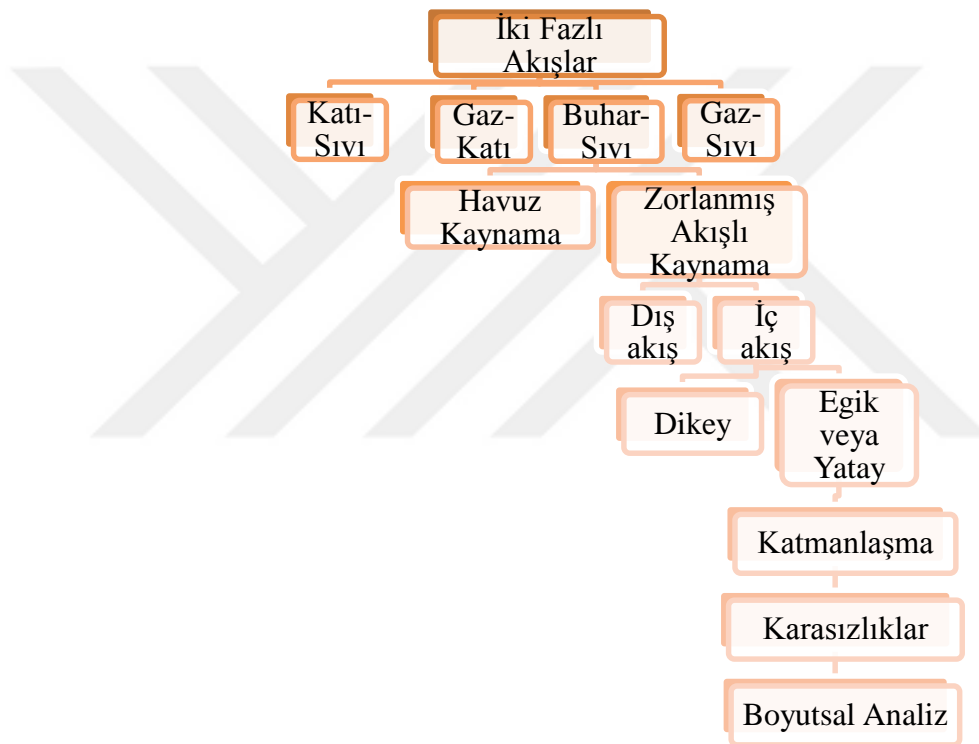
Konvektif kaynama akış şartlarına göre iç ve dış akış olarak ikiye ayrılır. Dış akış düz veya eğri ısı transfer yüzeyi üzerinden olan akışkan için tanımlanmaktadır. İç akış ise akışkanın etrafı kapalı, dairesel tüp veya herhangi başka kesit geometrisindeki kanal hacminden geçmesi ile belirtilmektedir. Deneysel çalışma dairesel tüp boyunca akan iç akışla sınırlandırılmaktadır. Konvektif kaynamada ısı transferini, tek fazlı akış ile karşılaştırdığımızda iki fazlı akışın ısı transfer katsayısı yüksek olduğundan yenilikçi endüstride daha dikkatli olunması gerektiği vurgulanmaktadır.

Sistem içerisinde kaynamanın oluşması her zaman tercih edilen bir durum değildir, nedeni ise normal şartlar altında fazla sayıda baloncuk cidara tutunarak buhar yastığı oluşturur buda istenilen durum değildir. Kaynama ısı transferinde oluşan bu olay burnout (yanma) ve belirlenen ısı akısı da kritik ısı akısı (CHF) olarak tanımlanmaktadır. Isı transfer oranı kayda değer olarak buhar fazın düşük ısı transfer özelliğinden dolayı azalacaktır. Akış momentumunda oluşan buhar yastığını yüzeyden yıkayarak uzaklaştırmak debi artırma ile mümkün olduğundan bu da oluşacak problemlerden biraz korunmaya yardımcı olacaktır.

Başka bir belirsizlik te olası akış salınımlarının oluşmasıdır. Fazlar ve çevreleri arasındaki etkileşimin tüp içerisinde kaynama olması durumunda oluşur ve bu durumda salınımlara sebebiyet verir. İç akışın değişik sınıflandırma uygulanması için akış yönü dikkate alınır. Dik akış bunlardan bir tanesidir. Burada iki fazlı akış, tüpü akış aşağı veya akış yukarı

geçer; fakat yatay akış veya eğik akış akışkanın, tüpü yatay veya yatay hatla ilgili bir açıda geçmesi durumuna bağlı olmaktadır. Dik akışta, yerçekimi akışkan partiküllerine hareketlerinin yönüne paralel tesir eder ve tüp içinde herhangi kesitli düzlemlerde de dikey yöndedir, böylece akış tüpün eksenine göre simetrik olduğu gözlemlenmektedir.

Yatay akışta durum daha da farklıdır. Yerçekimi akışkan partiküllerine akış yönlerinin enine taraf etki eder, daha ağır partikülleri tüpün dip bölgesine çekmeye yöneltir, aksi halde daha hafif partiküller tüpün üst kısmında ayrılır. Bu çalışmanın ana konusu budur. Bundan dolayı bu tez yatay boru içi konvektif kaynama sistemi içerisinde katmanlaşma oluşumu gözlemlenmektedir. İki fazlı akış sınıflandırması Şekil 1’de sunulmuştur (Ding1993; Karagöz 2007) .



Şekil 1. İki fazlı akışların genel sınıflandırılması (Ding 1993; Karagöz 2007)

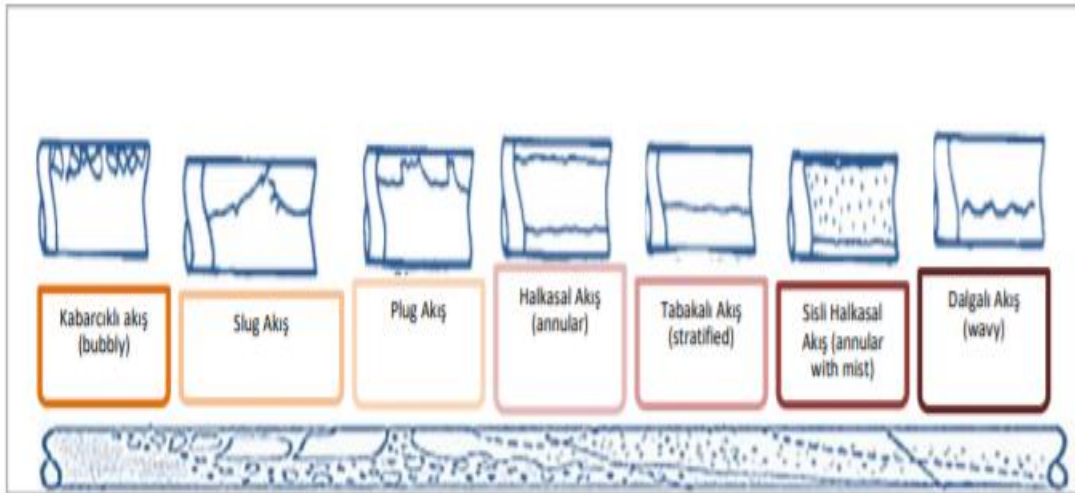
Isıtıcı tüp içerisinde basınç düşümü $\Delta P = P_{giriş} - P_{çıkış}$ ve kütle akısı \dot{m} arasındaki bağlantı sistemin kararlı hal karakteristikleri olarak tanımlanmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar sonucunda araştırmacılar iç karakteristikler olarak tanımlamışlardır. Pompa da basınç kayıpları $\Delta P = P_{sistem} - P_{giriş}$ ve kütle akısı \dot{m} arasındaki bağlantı sistemin pompa karakteristikleri olarak tanımlanmaktadır. Pompa karakteristikleri her zaman negatif eğilimlidir, kullanılan pompa türüne bağlı olarak çok daha dik yâda düz olduğu gözlemlenmektedir.

Katmanlaşma İki fazlı akışlarda çalışılırken, özellikle kararlı hal (iç) karakteristik eğrilerinin bulunması gereklidir. Herhangi bir sisteme ait sonsuz sayıda eğri vardır ve bu

tekniklerle yapılan sonlu sayıdaki deneysel çalışmalar bağlantısı ile bu eğrilerin tamamını ortaya çıkarmak takriben imkânsızdır.

Düşey iki fazlı akışlar akışın yönüne bağlı olarak kanalda aşağı veya yukarı doğru olabilir. Yatay iki fazlı akış karakteristikleri düşey iki fazlı akış karakteristikleri birbirlerinden çok farklıdır. Akışın hareket yönü ve yerçekimi yönü aynı doğrultuda ise düşey akış, boru boyunca herhangi bir kesite dik ve akış borunun eksenine göre simetrik olabilmektedir. Yatay akışta ise yerçekimi kuvvetleri akışkan akımına düşey yönde buhar ve sıvı fazları üzerine etki etmekte olduğundan bu olay asimetrik faz dağılımına sebep olur ve faz ayrışması oluşturabilir. Buhar fazı yerçekimi kuvvetleri yoğunluğu düşük olan borunun üst taraflarına doğru, sıvı fazını ise yoğunluğu yüksek olan borunun tabanına yönlendirmektedir. (Yeşilyurt 2015).

Düşey borularda oluşan akış rejimleri kabarcıklı akış, slug akış, halkasal akış, halkasal-dağılı akış ve damlacıklı akış rejimleri olarak sınıflandırılır (atıf). Yatay borular ise oluşan gelen akış rejimleri düşey borudakinden tamamen farklıdır. Yerçekimi kuvvetleri yatay borularda akış yönüne dik etki ettiğinden dolayı oluşan asimetriklik düşey akışlardakine kıyasla oldukça karmaşık halde olduğu belirtilmiştir. Yatay borulardaki akış rejimleri ise kabarcıklı akış, slug akış, plug akış, halkasal akış, tabakalı akış, sisli halkasal akış ve dalgalı akış olarak adlandırılır (Karagöz 2007). Şekil 2’de yatay boruda akış rejimleri şematik olarak verilmiştir ve özellikleri alakalı kısaca tanımlamalar yapılmıştır.



Şekil 2. Yatay borulardaki akış rejimlerinin özellikleri (Karagöz 2007)

Tablo 2’de, yukarıda ifade edilen akış türlerinin kısaca açıklaması sunulmuştur.

Tablo 2. Yatay borulardaki akış rejimleri

A)KABARCIKLI AKIŞ	Akışkan içerisinde oluşan kabarcıklar dağınık haldedir yatay boruda boru üst kısmına yakın olması yerçekimi ve yoğunluk farkından kaynaklanır.
B)SLUG AKIŞ	Fazlar arasında meydana gelen dalgalanmalar ile borunun üst kısmı ile temas sonucu dağınık şekilde akan kabarcıkların geometrik şekil değiştirmesi ile salyangoz şeklinde oluşan akıştır .
C)PLUG AKIŞ	Slug ve kabarcıklı akış arasında özellik gösteren akış biçimidir. Kabarcık artması nedeni ile şemsiye ve mermi geometrisinde kabarcıklar oluşmaktadır.
D)HALKASAL AKIŞ	Gaz ya da buharın boru merkezinden aktığı sıvının ise boru cidardan film tabakası şeklinde aktığı akış biçimidir.
E)TABAKALI AKIŞ	Buhar ve sıvı fazın yerçekimi etkisi ile birbirinden ayrılmış yoğunluğu fazla olan bölgeden boru altında az yoğunluklu olan bölgede borunun üst cidarında aktığı akıştır.
F)SİSLİ HALKASAL AKIŞ	Hızlı gaz fazından dolayı damla şeklinde ki sıvı fazı pülverize hale gelir.
G)DALGALI AKIŞ	Katmanlı akış biçimi oluşturan borunu alt ve üst cidarında bulunan gaz ve sıvı faz şeklidir gaz fazının hızının artması nedeni ile gaz-sıvı arasında yüzeyde dalgalı geometri oluşumundan dolayı akış biçimi katmanlı akıştan dalgalı akış formuna geçer.

Ding (1993) yatay boruda akış rejimlerini kabarcıklı, tabakalı, dalgalı, halkasal, plug akış ve slug akış olarak sınıflandırmıştır.

Kaynamalı Kanalda Basınç Düşüşü ve Debi Özellikleri

Kanal içerisinde gözlemlenen basınç düşümü ($\Delta p = p_{\text{giriş}} - p_{\text{çıkış}}$) ile akış debisi ile ilgili bağlantı “sistemin kararlı durum karakteristiği” olarak tanımlanır. Bu durumu bazı araştırmacılar iç karakteristikler olarak tanımlanmaktadır. Belirli değerlere kadar ısıtılan kanalda tek fazlı akışta basınç düşümü ile debi arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir (Karagöz 2007):

$$\Delta p = k \frac{G^2}{2\rho} + \Delta p_g \quad (2.1)$$

Basınç düşüşü debi karesi ile orantılı değişmekte olup parabolik karakter göstermektedir basınç düşüşünde oluşan değişiklikler aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\frac{d(\Delta p)}{dt} = k \frac{G_0}{\rho} \frac{dG}{dt} \text{ ya da } \frac{dG}{dt} = \frac{d(\Delta p)}{dt} \frac{\rho}{kG_0} \quad (2.2)$$

Laminer (karışık) akış momentum eşitliği ise Denklem (2.3) ile ifade edilmiştir.

$$\Delta p = k \Phi_{2\Phi}(G) \frac{G^2}{2\rho} + \Delta p_g(G) \quad (2.3)$$

Basınç düşümünde gerçekleşen değişikliklere yanıt aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$\frac{d(\Delta p)}{dt} = k \frac{G_0}{\rho} \left[\Phi_{2\phi} + \frac{G_0}{2p} \frac{d\Phi_{2\phi}}{dG} \right] \frac{dG}{dt} + \frac{d(\Delta p_g)}{dt}; \frac{d\Phi_{2\phi}}{dG} < 0 \Rightarrow G \uparrow, \Phi_{2\phi} \downarrow \quad (2.4)$$

veya

$$\frac{d(G)}{dt} = \frac{\rho}{kG_0} \left(\frac{1}{\Phi_{2\phi} + \frac{G_0}{2} \frac{d\Phi_{2\phi}}{dG}} \right) \frac{d(\Delta p - \Delta p_g)}{dt}; \Phi_{2\phi} + \frac{G_0}{2} \frac{d\Phi_{2\phi}}{dG} \quad (2.5)$$

Şekil 2.4'te akışkan A noktasında tek fazlı sıvı durumunda bulunmaktadır böylece debi yükselmiştir sistem basıncı kütleel debinin azalması nedeni ile sürtünme basınç kaybı ile orantılı azalacaktır.

$$(f \approx C/Re^m) \approx G^{2-m} \quad (2.6)$$

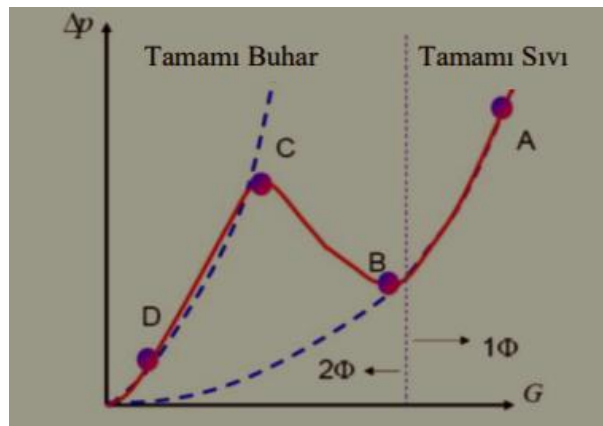
Debide azalma oldukça B noktasının öncesinde kaynama durumu gerçekleşir. Buhar üretimi yeterli miktara ulaşmıştır ve iki fazlı akış sürtünmesinden oluşan (Δp) iki fazlı akış yerçekiminden dolayı oluşan sürtünmeden (Δp_g) daha fazla etki gösterdiğinden debi azalması ile basınç düşümünün arttığı gözlemlenir. C noktasının tümünde buhar fazı bulunmaktadır.

Akış debisi kanalda fazla miktarda buhar üretecek kadar düşük ve basınç düşümü yeniden tek fazlı buhar yasasına ($\approx G^{2-m}$) uygunluk gösterir. D noktasından sonra yerçekimi sisteme etkin olmaktadır. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'ten de anlaşıldığı gibi $\Delta p > \Delta p_c$ ve $\Delta p < \Delta p_c$ belirli basınç düşüklüğü için yalnız tek bir debi olduğu gözlemlenmektedir.

Ancak $\Delta p_B < \Delta p < \Delta p_c$ durumu gözlemlendiği bölgede bir basınç düşümü gerekli birden fazla debi mevcuttur bu durumdaki kesişim noktaları kararlı olmadığı belirlenmiştir. Stabilitate kriteri:

$$\frac{\partial(\Delta p)}{\partial G} < \frac{\partial(\Delta p_f)}{\partial G} \quad (2.7)$$

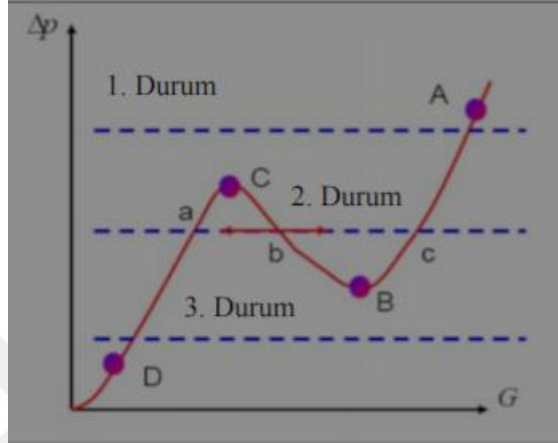
Şekilde gösterilir. Bu sebepten dolayı (a) ve (c) kesişim noktaları kararlıdır fakat (b) kesişim noktası kararsızdır. (b) noktasında debi çok az miktarda azalır iki fazlı ile beraber sürtünme basınç kaybı artar, debi (a) noktasına ulaşmaya kadar daha da azalır.



Şekil 3. Karakteristik durum eğrisi (Solak 2019)

Pompa boyunca basınç artışı sabit olmadığı gözlemlenmiş ve akış debisiyle değiştiği ortaya çıkmıştır. Pompa boyunca basınç artışı (Δp_{pompa}) ile akış debisi arasındaki bağlantı pompa karakteristikleri olarak tanımlanmıştır. Diğer bir ifade ile dış karakteristikler olarak da adlandırılabilir. Pompa karakteristiği daima negatif eğimlere sahiptir; Eğim pompa türüne göre çok dik veya düz olabilir.

$$\frac{d\Delta p_{pompa}(G)}{dG} < 0 \quad (2.8)$$



Şekil 4. Karakteristik durum eğrisi(Solak 2019)

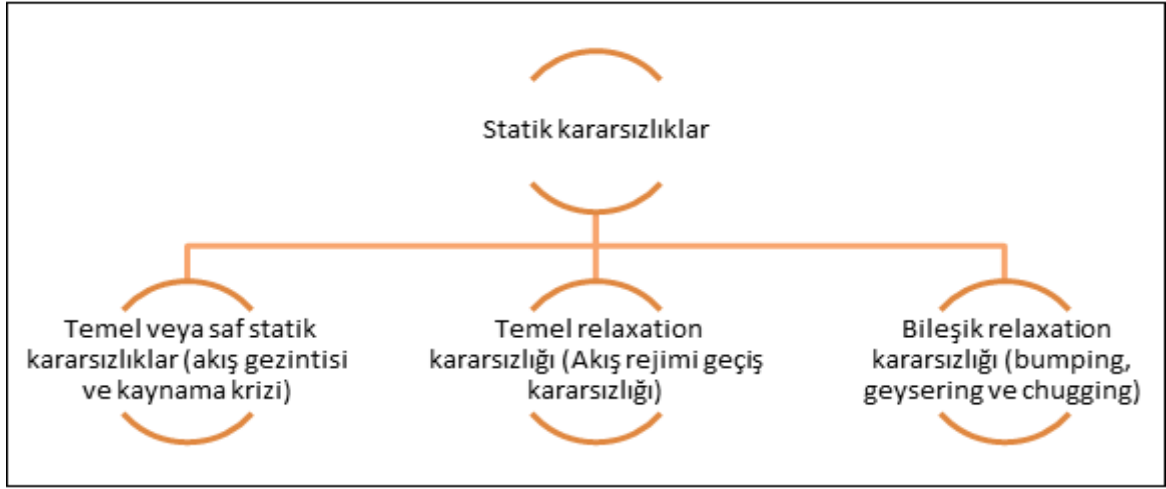
İki Fazlı Akışlarda Gözlemlenen Kararsızlıklar ve Türleri

İki fazlı akışkanlar da birden fazla kararsızlık ve osilasyon (salınım) gibi olaylar gözlemlenmektedir. Bu gibi problemlerin belirlenmesi ve çözümlenmesi ancak kararlı hallerin yani kararsızlıkların sınırlarının belirtilmesi ile mümkündür. Kararsızlıklarının ayırt edilmesi genelde tüm iki fazlı akış sistemlerinde gözlemlenen büyük ölçekli (makroskobik) kararsızlıklar ve hidrodinamik kararsızlıklar gibi belirli koşullarda oluşan küçük ölçekli (mikroskobik) kararsızlıklar şeklinde belirtilmelidir.

İki fazlı akış kararsızlıkları “statik kararsızlıklar” ve “dinamik kararsızlıklar” olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Sistemde içerisinde oluşan süreksizlikleri kararlı durum için statik kararsızlıklar temsil eder ve sistem kararlı durum denklemlerine göre analiz edilebilir. Statik kararsızlıklara örnek olarak; akış gezintisi (Ledinegg kararsızlığı), chugging, geysering, burn-out ve bumping gibi olaylar verilebilir. Dinamik kararsızlıklar ise sık osilasyonlara sebep olmakla beraber ve sistemin geçici dinamik ve geri besleme özellikleri göz önüne alınarak sistemde içerisinde analiz edilir. Tablo 2’de İki fazlı akış kararsızlıklarını etkileyen parametreler verilmiştir (Karagöz 2007).

Statik kararsızlıklar

Statik kararsızlıkların etkisinde kararlı sistemler belli koşullarda kararsız hale geldiği gözlemlenmiş ve sistem farklı kararlı çalışma durumu gösterir. Kararlı akış oluşan mikroskobik kararsızlıkların devamlı osilasyonlara (salımlara) sebep olmadığı, salınım geçici olduğu akış rejimi demektir. Zamanla oluşan sorunlar sebebiyle bir kararlı çalışma noktasından farklı bir çalışma noktasının oluştuğu gözlemlenen kararsızlıklara "statik kararsızlıklar" denir. Şekil 5 Statik kararsızlıklar sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 5. Statik kararsızlıklar sınıflandırılması

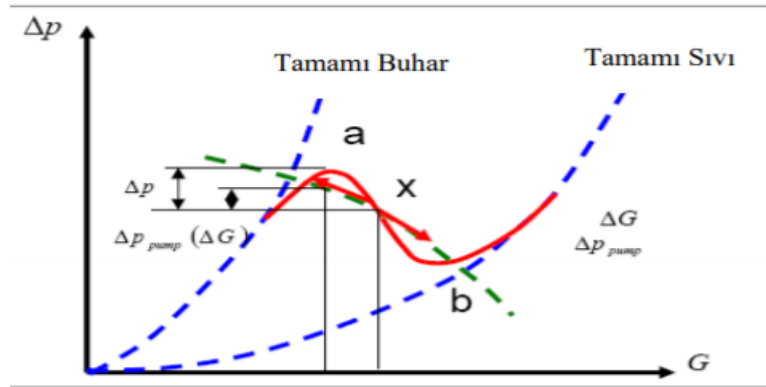
Tablo 3. İki fazlı akış kararsızlıklarını etkileyen parametreler (Karagöz 2007)

Temel Parametre	Parametre
Kanal geometrisi	Kanalın boyutu ve uzunluğu
	Kanalın hacmi
	Yüzey koşulları
	Sistemdeki kanal sayısı (tek veya çok kanal)
	Giriş ve çıkış akış kısıtlayıcıları
Çalışma koşulları	Kanalın yatay ya da dikey oluşu
	Sistem basıncı
	Kütlesel debi
	Isı gücü
Sınır şartları	Giriş aşırı soğutması
	Isıl sınır şartları
	Giriş ve çıkış basınçları

Ledinegg kararsızlığı

Ledinegg (1938) iç karakteristik eğrisinin iki pozitif eğimli bölgeye ek olarak negatif eğimli bölgeye sahip olduğunu araştırmaları sonucunda gözlemlemiştir. Böylelikle akış debisi basınç düşümü için çok önemli bir parametre olduğunu öne sürmüştür. En yüksek giriş debisinde kaynama durumu gözlenmez ve basınç düşümü ise tek fazlı sistemin basınç düşümü

biçimindedir. Düşük debilerde, debi azalmasına karşın toplam basınç düşümü artmaya başladığı gözlemlenmiştir. Kanal içerisinde kaynama, debi azalırsa fazla oluşur ve çalışma sonucunda debiyi azaltmanın etkisi iki fazlı akış sürtünmesinin etkisini yener ve toplam basınç düşümü tekrar azalmaya başlar. Son olarak çok düşük debilerde boru tamamen kızgın buhar ile dolar ve basınç düşümü tekrar tek fazlı sistemin basınç düşümündeki gibi olur. Şekil 6'da ki kesikli çizgi kaynamalı kanalda pompaya ait dış karakteristik eğrisini göstermektedir. Dış karakteristik eğri iç karakteristik eğriden daha düz olduğunda (x) noktasında çalışmak neredeyse mümkün değildir ve şekildeki x pozisyonu kararsız pozisyon olarak verilmiştir. Çalkantı sonucu debi daha düşük bir değere indiğinde, sistem içerisinde dış sistemden mevcut basınçtan daha fazla basınç düşümü oluşacak ve akış debisi daha da azalacaktır. Bu nedenle debide hafif bir azalış (a) noktasına ani bir değişime sebep olacaktır. Yeni denge noktası (a) genellikle burnout'un olduğu düşük bir akış debisine karşılık gelir. (a) noktasında çalışma yüksek buhar çıkış kuruluk derecesi, yüksek cidar sıcaklıkları ve olası boru arızası ile ilişkili burnout'a neden olabileceğinden sorunlu bölge olabilir. Anlaşıldığı gibi düz bir dış karakteristik eğrisiyle iç karakteristik eğrisi üzerinde minimum noktanın sol tarafında çalışmak neredeyse mümkün değildir. Debide oluşacak herhangi bir küçük artış (b) noktasına akış gezintisine sebep olacaktır. Akışın çoğunlukla aşırı soğutulmuş olduğu (b) noktasında çalışan sistemde birkaç sorun ortaya çıkabilir. Bu tip basınç düşümü statik tip kararsızlık sorunu oluştururlar ve sistemi yeniden dizayn ederek veya akış debisiyle orantılı ek basınç düşümü üreten bir giriş kısıtlayıcısı ekleyerek düzeltilebilir. (Ömeroğlu 2012).



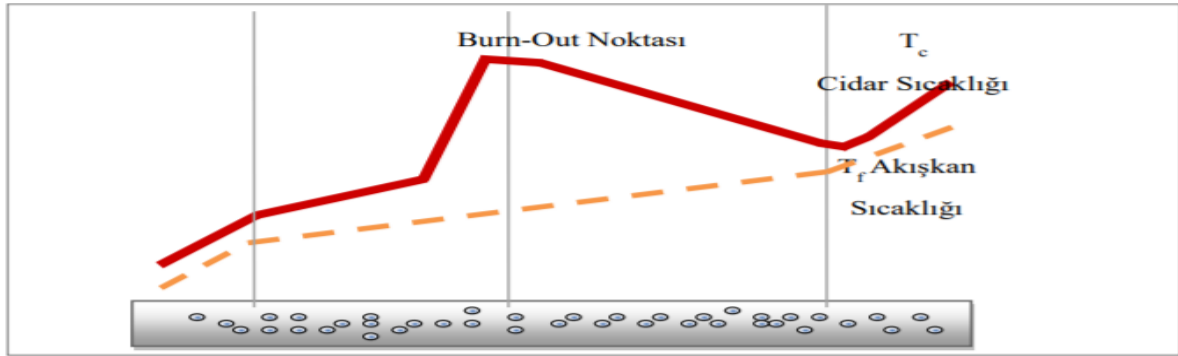
Şekil 6. Ledinegg kararsızlığının şematik olarak gösterimi (Karagöz 2007)

Ledinegg kararsızlığı;

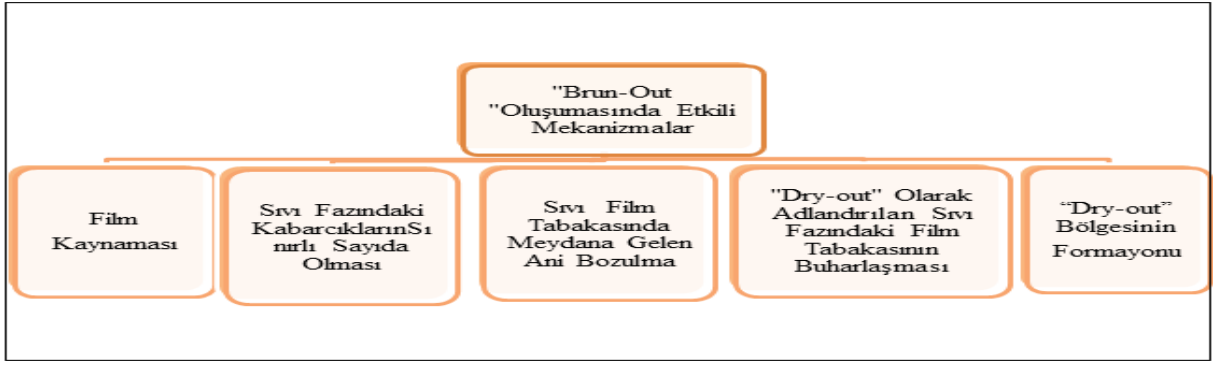
“Akış gezintisi ya da Ledinegg kararsızlığı oluşumunda en önemli özellik basınç düşümü ve akışkanın debisidir. Debinin artması ile sürtünme, ivmelenme ve yerçekimsiz basınç düşümlerinde azalma olduğu gözlemlenir. Kanal basınç düşümü-debi eğrisindeki eğimin Sistem basınç düşümü-debi eğrisindeki eğimden matematiksel olarak küçük olması durumunda akış gezintisi meydana gelir.”(Solak 2019)

Kaynama krizi

Kaynama noktasına gelen bir sıvı fazlı bir akışkan ile temas eden bir yüzeye uygulanan ısı akısı zamanla artırıldığında sıvı fazdaki akışkan ile yüzey arasında devamlı temasın kesildiği bir noktaya ulaştığı tespit edilmiştir. Kaynama krizi olarak adlandırılan bu durum (burn-out) olduğu zaman sıvı fazındaki akışkan ile yüzey arasında gereğinden fazla düşük termal kondüktiviteye sahip buhar fazındaki akışkanın girmesi sonunda akışkana iletilen ısı transferi oldukça azaldığı gözlenmektedir. Eğer kanal yüzeyine uygulanan ısı akısı azaltılmaz ise kanal yüzey sıcaklığı hızlı bir eğilim ile ani bir şekilde oldukça yüksek sıcaklık limitlerine ulaşır. Bu olay kaynamalı ısı transfer alanında “burn-out” olarak tanımlanmaktadır. Aynı durumda “burn-out” olayının gözlemlendiği anda ısıtıcı kanal yüzeyine uygulanan ısı akısı değeri “kritik ısı akısı (CHF)” olarak adlandırılır. Zorlanmış konveksiyonlu kaynama koşullarında bu olay iki fazlı akış ortamında oluşmaktadır. Özellikle yatay pozisyonda işletilen buhar kazanları ile boylerlerin sahip olduğu boru demetlerinin uzun ömürlü olarak kullanılmaları için boru cidarları ile buhar sıvı fazlarından oluşan iki fazlı karışımın sıvı fazı arasında uygun ısı transfer şartlarının korunması gerekmektedir. Ancak bu durumda uygun ısı transfer korunmaz sonuç olarak oluşacak termal gerilmeler boru kanalı cidarında çatlama, yırtılma ve patlama gibi deformasyonlara sebep olduğu belirlenmiştir. Yatay bir boyler borusundan oluşan “burn-out” olayı Şekil 7’de verilmiştir. Bu olay genellikle annular akış olarak tanımlanan halkasal akış rejiminde görülmektedir. Burn-out olayı eğer kısa kanal uzunluğu ve ısı akısı iyi miktarda ise kabarcıklı akış rejiminde de oluşmaktadır. Bu olay boru uzunluğu ve ısı akısı limitlerinin yanı sıra farklı parametre değerlerine bağlı olarak plug akış rejiminde de meydana geldiği araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Solak 2019). Yukarıda genel olarak açıklamaya çalışılan tüm burn-out olaylarının meydana gelmesinde esas rolü oynayan bazı ana mekanizmalar Şekil 8’de verilmiştir (Karlı 2000).



Şekil 7. Yatay bir ısı değiştirici borusunda oluşan “burn-out” olayı (Solak 2019)



Şekil 8. "Burn-out" oluşmasında etkin parametreler (Karslı 2000)

Akış rejimi relaxation kararsızlıkları

Akış rejimlerinin farklı olması, basınçtaki düşüm, akış rejimi relaksasyon kararsızlıklarına sebep olduğu belirtilmektedir. Tüm kararsızlıklar sonunda akışta periyodik değişim durumları olduğu gözlenmekte ve örnek olarak aynı gaz ve sıvı debilerinde slug akışlardaki basınç düşümü kabarcıklı akıştakine göre daha düşük olması verilir. Sistem kabarcıklı akış rejiminde akış rejimi sınırına yakın alanında çalışıyor ise sıvı akış debisinde küçük bir negatif çalkantı slug akışa geçişeneden olabilir ve sonuç olarak kanaldaki basınç düşümü azaldığı tespit edilir. Kanal sabit basınç düşümü şartlarında çalışıyorsa sınır şartlarını yerine getirmek için daha çok sıvı kanala girecek ve sistemi kabarcıklı akış rejimine geri döndürecektir. Buharlaşan akışlar ise akış şartları kabarcıklı ve halkasal akış arasında geçişe yakın olduğu bölgede oluştuğu belirtilir.

Debide geçici bir azalma görüldüğünde;

- Buhar üretimi sistem içerisinde artar
- Kabarcıklı akış rejiminden farklı akış türü olan halkasal akış rejimine geçilir.
- Basınç düşümü sistem içerisinde azalır.
- Sistem içerisinde akış hızlanır ve buharlaşma yavaşlar
- Sistemde halkasal akıştan kabarcıklı akışa dönüş oluşur

Akışın hızlanması ile yavaşlaması arasındaki zamanda gecikme olur ise düzenli aralıklarla çevrim tekrar edilmesi için yeterlidir (Karagöz 2007).

Geysering

Geysering, kapalı uçlu borunun düşey kanalında taban bölgesinden ısıtılması ile doğal sirkülasyon oluşur. Isı akısı yüksek ise kaynama alt bölgeden başlar. Düşük basınçlı sistemde, ısı akısı arttığında hidrostatik basınç düşeceği için buhar üretimi artar genellikle buharın kanaldan püskürtülmesiyle sonuçlanır. Bu durumdan sonra buharın yerine sıvı gelir ve aşırı soğutulmuş kaynamasız durum tekrar sistemde oluşur ve çevrim yeniden başlar. Bu olayın

ana sebebi tek fazlı akıştakinden daha küçük hidrostatik yükten dolayı iki fazlı akış için olan toplam basınç düşümünün azalma yönünde olmasıdır. Sistem için yeterli miktarda buhar üretildiğinde iki fazlı karışım püskürtülür ve yerine sıvı gelir (Karagöz 2007).

Bumping

Doğal konveksiyon ve yoğun çekirdekli kaynama arasında gerçekleşen bir değişim buhar patlaması kararsızlığı (bumping) olarak tanımlanır. Kararsızlık, yüksek sıcaklık ile ısıtılan katı yüzeyde büyük oyuk içlerinde buharın birikmesini engellemek için ısıtma kapasitesi yüksek olan sıvılarda oluşur. Örnek alkali sıvı metalleri ve flor karbonlar verilebilir (Karagöz 2007).

Chugging

Chugging terimi akış kanalından aralıklı olarak akışkanın püskürtülmesiyle elde edilen çevrimsel olay olarak adlandırılır. Chugging terimi ilk defa Fleck tarafından kullanılmıştır. Püskürtme olayı genellikle kanal bölgesinin uç kısımlarından basit geçici giriş ve çıkış debi değişimlerinden soğutkanın fazla miktarlarda şiddetli olarak püskürtülmesiyle değişebilir. İki fazlı akış kararsızlık durumlarında olduğu gibi çevrim; kuluçka, çekirdekleşme, püskürtme ve akışkanın yeniden sisteme girişinden oluşmaktadır (Ömeroğlu 2012).

Dinamik kararsızlıklar

İki fazlı akışta karışım sıkışa bilirliliği ile akışın ataleti arasında yeterli oranda etkileşim ve “feed-back” denen geri besleme durumunun geç kalmasından dolayı veya kaynamalı bir kanalda üretilen buhar üretim miktarına oranla oluşan yoğunluk değişimi, basınç düşümü ve debi arasında çok yönlü “feed-back” olayları söz konusu olduğunda dinamik kararsızlık durumları meydana gelmektedir (Karlı 2000).

Dinamik kararsızlıklar 4 temel gruba ayrılır.

1. Yoğunluk değişimi - dalga tipi osilasyonlar(salınımlar) (YDO, density wave type oscillations)
2. Basınç düşümü tipi osilasyonlar (salınımlar) (BDO, pressure-drop type oscillations)
3. Akustik osilasyonlar(salınımlar) (AO, acoustic oscillations)
4. Termal osilasyonlar(salınımlar) (TO, thermal oscillations)

Yoğunluk değişimi - dalga tipi osilasyonlar (salınımlar)

Dinamik iki faz akış kararsızlıklarının sanayide en yaygın olarak karşılaşılan tipi yoğunluk-dalga salınımları olarak belirtilmektedir. Bu tip salınımlar kinematik dalga yayılımı

ile bağlantılı olduğu için, “akış-boşluk geri besleme kararsızlıkları” adı kullanılmakta veya taşınım da oluşan gecikme önemli olmasından dolayı farklı olarak “zaman gecikme salınımları” olarak ta bilinmektedir. Bu salınımlar “yoğunluk-dalga salınımları” olarak da adlandırılıyor. Çünkü salınımların periyodu bir yoğunluk-dalgaın gözetimi altında sistem boyunca ilerlemesi için gereken zamandır. Farklı yoğunluklardaki iki bileşenlerin var olması yoğunluk-dalga salınımlarının oluşmasını sağlamaktadır. Yoğunluk-dalga salınımlarının ana tanımı Gurgenci (1983) tarafından yapılmıştır.

YDO'nun meydana gelme durumu giriş debisinde ani azalma olması ile aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Gurgenci 1983):

1. Buharlaşma miktarı sistem içerisinde ani olarak yükselir.
2. Yerel basınç gradyenti sistem içerisinde artar
3. Kaynama olduğundan daha erken başlar, yani kaynamanın başladığı nokta kanalın girişine yaklaşır.
4. Sistem içerisinde kuruluk derecesi ve boşluk oranı artar.
5. Sıvı filmi halkasal akış bölgesine doğru sıkışır.
6. Giriş bölgesinde oluşan akışkanın özgül entalpisi artar.
7. Akış normal durumundan daha da hızlanır.
8. Normal durumdan çok yüksek yerel sıcaklıklar oluşur ve aşırı soğutma miktarı azalır.
9. Akışın sabit yükü için (tek ve iki fazlı) iki fazlı basınç gradyentindeki artış tek fazlı basınç yükünde azalmaya sebep olarak girişindeki debiyi azaltır.
10. Girişte meydana gelen orijinal çalkantı ile girişteki etkiyi hissetme zamanı arasında belirli zaman farkı olur.
11. Sistem içerisinde osilasyon meydana gelir.

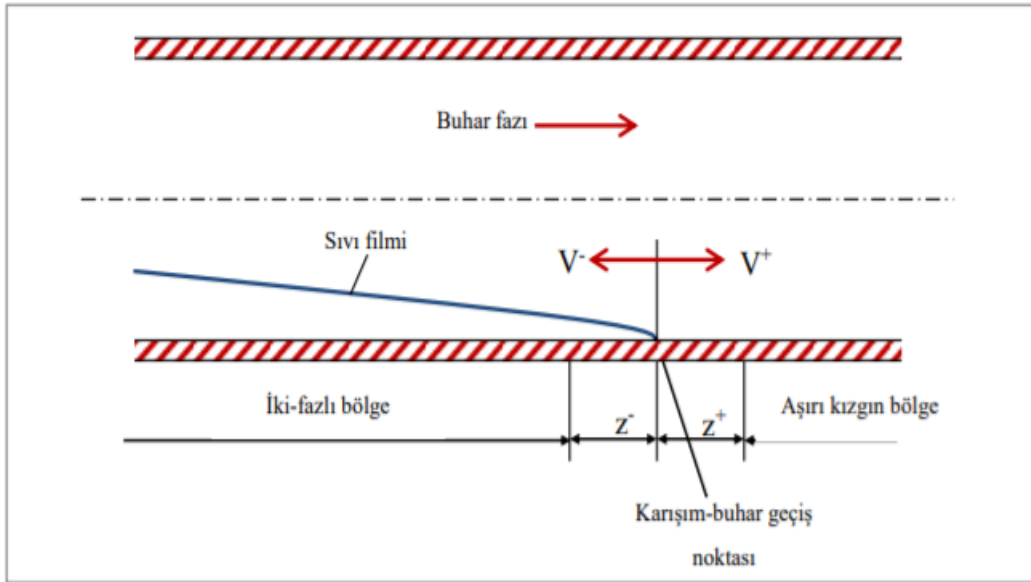
Basınç düşümü tipi osilasyonları (salınımlar)

Dinamik iki fazlı akış kararsızlığı Stenning ve Veziroğlu (1965) tarafından tanımlanmış basınç-düşüm tipindeki osilasyonlardır. Sıkıştırılabilir hacim Basınç-düşüm tipi osilasyonların oluşması için gereklidir. Sıkıştırılabilir hacim Stenning and Veziroğlu (1965) ve çeşitli başka araştırmacıların da kanıtladığı gibi bir taşma (dalgalanma) tankı ile ısıtılan kanalın dışında oluşturulabilmektedir. Veziroğlu ve Kakaç (1983) tarafından önemle belirtildiği gibi dışarıdan oluşan sıkıştırılabilir hacimlerde sistem kararlı durumunu korumak için test bölgesi ile sıkıştırılabilir hacim arasına bir kısılma vanası yerleştirilmesi gerekir. Fakat içten sıkıştırmada iç kısılma, ne kadar geniş de olsa, sistem kararlılığını sağlamaz (ejder.2013).

debiler hariç BDO tip ve YDO tip osilasyonlar sırasında alt cidar her zaman bir sıvı tabakası yönünden ıslatılmaktadır. Kütleli debi alt cidar boyunca kanalın olduğu bölge içerisinde gözlemlenmiş bütün bölgenin sıvı fazıyla temas etmesi için yeterli olduğu kanalın içerisinde akışkanın tamamı ile buharlaşmadığı gözlemlenir. Debi olduğundan küçük değerlere indiğinde, kanala giren sıvı üst cidar yakınlarında bütünüyle buharlaşmakta, alt cidardaki sıvı ise kanalın çıkış bölgesine doğru buharlaşmaktadır.

İki fazlı bölge sıvı ve buhar karışımından oluşur ve kızgın buhar olan bölge sadece saf buhardan oluşmaktadır. Evaporatörde sıvı son olarak buharlaştığı için aksel pozisyon “karışım-buhar geçiş noktası” olarak tanımlanır. Bu nokta iki fazlı bölge ile kızgın buhar bölgesi arasındaki sınırı gösterir (Şekil 10). Akış bu noktada film kaynaması ile geçiş kaynaması arasında osilasyon oluşturduğundan karışım buhar geçiş noktası osilasyon yapar ve böylece büyük genlikli osilasyonlar meydana gelir. Kuruma ve ıslanmanın sonucu bu tür osilasyonlardır. Bunlar boru cidar sıcaklıklarında büyük sıcaklık çalkantılarına neden olurlar. Alt cidarda sıcaklığın büyük genliklerle osilasyon yapması ile ortaya çıkan bu osilasyon tipi “termal osilasyonlar” olarak tanımlanmaktadır.

Alt cidar bölgesinde meydana gelen bu termal osilasyonların nedeni, akışın belli bir noktada düzensiz olarak geçiş kaynaması ile film kaynaması arasında değişiklik göstermesinden ve karışım-buhar geçiş noktasının tedbirsizce hareketinden kaynaklanmaktadır. Geçici noktanın bu düzensiz hareketi termal osilasyonların meydana gelmesinden ana temel rolü oynamaktadır. Bunun neticesinde sabit ısı akılı sistemlerde cidar sıcaklığı büyük genliklerle osilasyon oluşturmaktadır. Buna göre aşırı ısınmış bölgede (tam burn-out olayının gerçekleştiği bölge) ve iki-fazlı akış bölgesinde (alt cidar ıslak) termal osilasyon oluşmaz. Widmann (1993) tarafından ifade edildiği gibi termal osilasyonlar 3,4-6,8 bar basınç genliğine ve 300°C kadar sıcaklık değişimine sebep olabilirler. Özellikle alt cidarda büyük genlikli titreşimlerle beraber hareket eden bu tip osilasyonlar burn-out olayına sebep olarak boru cidarlarında termal gerilmelerin meydana gelmesine ve bunun sonucunda boru cidarlarında bozulmaya neden olmaktadır (Omeroğlu 2012).



Şekil 10. Termal osilasyonların mekanizması (Karagöz 2007)

Genel olarak belirtilen kararsızlıklara ek olarak Tablo 4'te çeşitli kararsızlıkların yoğunluk değişim osilasyonlarına etkisinin parametreleri olarak verilmiştir. Çizelgede artar terimi kararlılığın arttığı, azalır terimi ise kararlılığın azaldığı anlamına gelmektedir.

Tablo 4. Çeşitli parametrelerin dinamik iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisi (Karagöz 2007)

	Kararsızlık tipleri		
	Basınç Düşümü Tipi Osilasyonlar	Yoğunluk Değişimi Tipi Osilasyonlar	Termal Osilasyonlar
Isıtıcı gücünde artış	Azalır	Azalır	Azalır
Çıkış basınç düşümünde artış	Azalır	Azalır	Azalır
Giriş basınç düşümünde artış	Artar	Artar	Artar
Sistem Basıncında Artış	Artar	Artar	Artar
Giriş aşırı soğutmasında artış	Artar	Artar	Artar
Kütlesel debide artış	Artar	Artar	Artar
Ortalama yoğunluk oranında artış	Azalır	Azalır	Azalır
Isıtılan uzunlukta artış	Azalır	Azalır	Azalır
Osilasyon periyodu	Orta seviye	En küçük	En büyük

MATERYAL ve YÖNTEM

Deney Düzeneği

Bu deney düzeneği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Transferi laboratuvarında bulunmaktadır. Deney sistemi iki fazlı akış elde oluşturmak ve basınç düşümü tipi osilasyonları (salınımları), yoğunluk değişimi tipi osilasyonları (salınımları) ve termal osilasyonları (salınımları) oluşturarak çeşitli incelemeler için kurulmuştur. Deneysel çalışmada yatay boru içerisindeki iki fazlı kararlı ve kararsız akış karakteristiklerine; ısı akısının, akış debisinin ve farklı aralıklarla halka şeklinde oluşturulan elemanın etkileri incelenmektedir. Materyal ve yöntem açısından Solak (2019) ve Yeşilyurt (2015) tarafından düzenlenen sistem şekinden hemen hiç değişikliğe uğramamış ve deneysel çalışmaya da uygulanmıştır. Şekil 11’de görüldüğü üzere deney düzeneği; akışkan besleme bölümü, test bölümü ve depolama bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 11. Deney düzeneği

Tablo 5’de deney düzeneğini oluşturan malzemeler sunulmuştur.

Tablo 5. Deney düzeneğini oluşturan malzemeler

Akışkan Besleme Bölümü	Test Bölümü	Akışkan Çıkış Bölümü
1- Ana besleme tankı	8- Test borusu	15- Azot tankı
2- Debi ayar vanası	9- DC güç kaynağı	16- Regülatör
3- Flowmetre (iki adet)	10- Orifis	17- Akışkan depolama tankı
4- Vana	11- Dijital manometre	18- Bilgisayar
5- Dengeleyici tank	12- Debi transdüseri	19- Data okuma kartı
6- Akışkan giriş kontrol vanası	13- Basınç transdüseri	20- İbrelı manometre
7- Test odası	14- Yoğuşturucu	

Deney düzeneğinin akışkan besleme bölümü

Akışkan besleme bölümü dört ana bölümden oluşmaktadır. Akışkan besleme bölümünün temel görevi iş yapan akışkan olan suyun test borusuna girişi için ortamın uygun duruma getirilmesini sağlar.

Akışkan besleme bölümü

- Ana besleme tank
- Flowmetreler:
- Elektrikli ısıtıcı
- Debi ayar vanası
- Debi transdüseri
- Azot tankı
- Basınç regülatöründen oluşmaktadır.

Çalışmalar için kullanılan silindirik ana besleme tankı dikey olarak yerleştirilmiş olup 3m yüksekliğinde ve 0,7 m³ hacimdedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bu tank deneyler boyunca ihtiyaç duyulan suyun depo edilmesini sağlayıp ve 50 bar işletme basıncına karşı mukavemet gösterecek şekilde imal edilmiştir (Şekil 12).

Akışkan debi ayarı ise besleme hattı üzerindeki hazır kontrol vanası yardımıyla ayarlanmaktadır. Sistemde içerisinde kullanılan biri 0-400 l/h, diğeri 0-1000 l/h ölçekli iki ibrelı flowmetre ve dijital debi transdüseri yardımı ile akışkanın debi ölçümü ve diğeri ayarları yapılmaktadır. Deney sistemi 100°C maksimum çalışma sıcaklığına sahip olmakta ve kullanılan her iki tip flowmetre 40 bar çalışma basıncı maksimum olacak şekilde ayarlanmalıdır.



Şekil 12. Deney sistemi ana besleme tankı

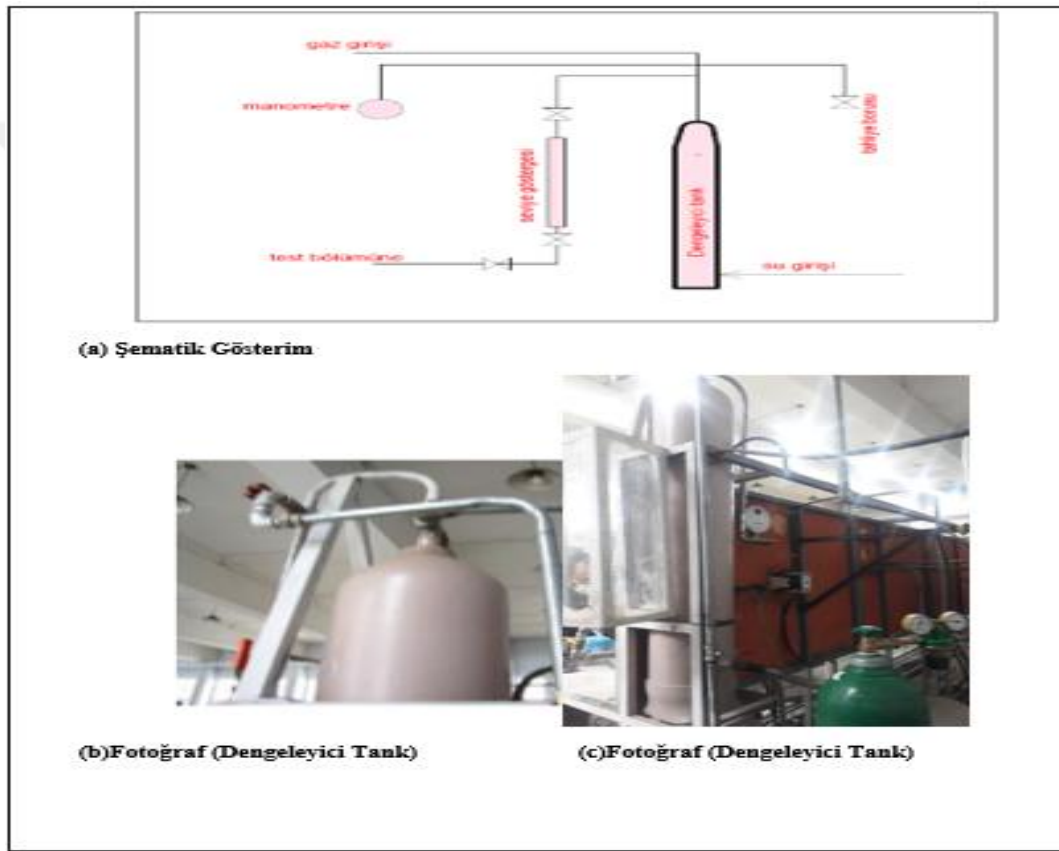
Deney düzeneğinin test bölümü

Deney düzeneğinin test bölümünde ise dengeleyici tank (5), akışkan giriş kontrol vanası (6), test odası (7), test borusu (8), DC güç kaynağı (9), orifis (10), dijital manometre (11), türbin tipi debi ölçer (12), basınç transdüseri (13) gibi dokuz adet eleman bulunmaktadır.

Dengeleyici tank şu neden dolayı kullanılır eğer test borusu yeterli düzeyde uzunluğa sahip değil ise sıkıştırılabilir hacim için kullanılır. Deney düzeneğinde kullanılan dengeleyici tank 0,05 m³ hacminde bulunmaktadır. Ayrıca, Şekil 11’de de görüldüğü gibi, akışkan ve sıkıştırılabilir hacim seviyelerinde oluşan değişimlerin gözlemlenmesi amacı ile dengeleyici

tanka, 30 bar basınca kadar dayanıklılık gösteren, şeffaf plastikten yapılmış seviye göstergesi ve tank basıncını gösteren bir manometre bağlantı elemanları yapılmıştır.

Şekil 12’te dengeleyici tank ile test borusu arasına bazı tip elemanlar konulmuştur; türbin tipi debi ölçer, Bourdon tipi manometre, basınç transdüseri ve sıcaklık ölçüm elemanı türbin tipi debi ölçer akışkan debisinde oluşan salınımları ölçme amacı ile kullanılmıştır. Bourdon tipi manometre ise test borusu giriş kısmındaki akışkan basıncını ve basınç transdüseri ise test borusu girişinde akışkan basıncında ortaya çıkan dalgalanmaların ölçümünde kullanılmıştır. Akışkan giriş sıcaklığı T tipi termoeleman ile ölçülmüştür. Deneysel çalışma 15 – 55g/s kütleli debi aralığında yapılmıştır.

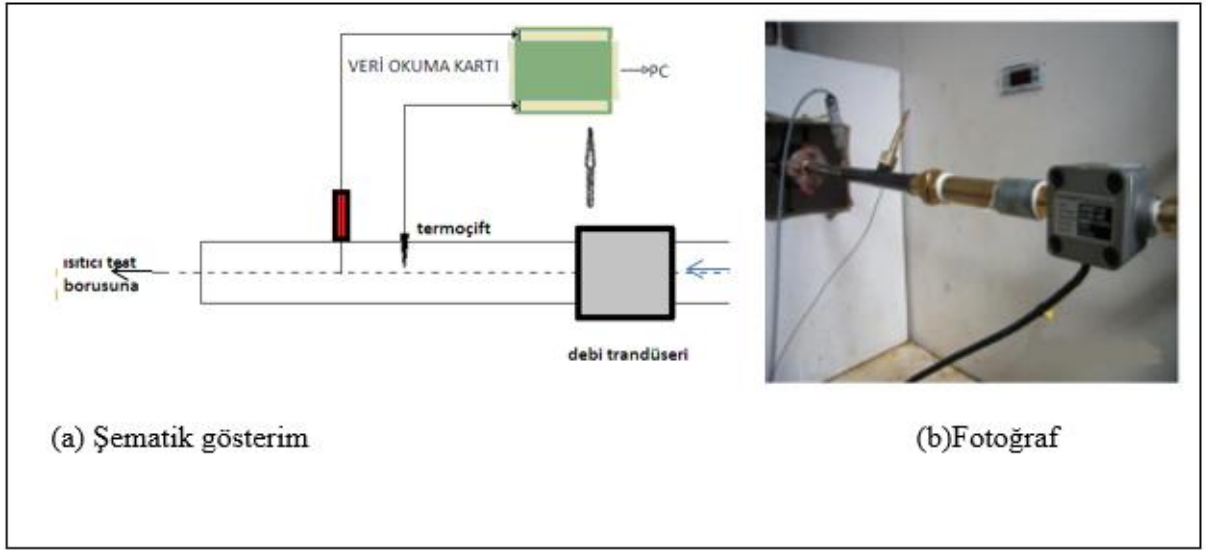


Şekil 13. Deneysel sistemdeki Dengeleyici tank

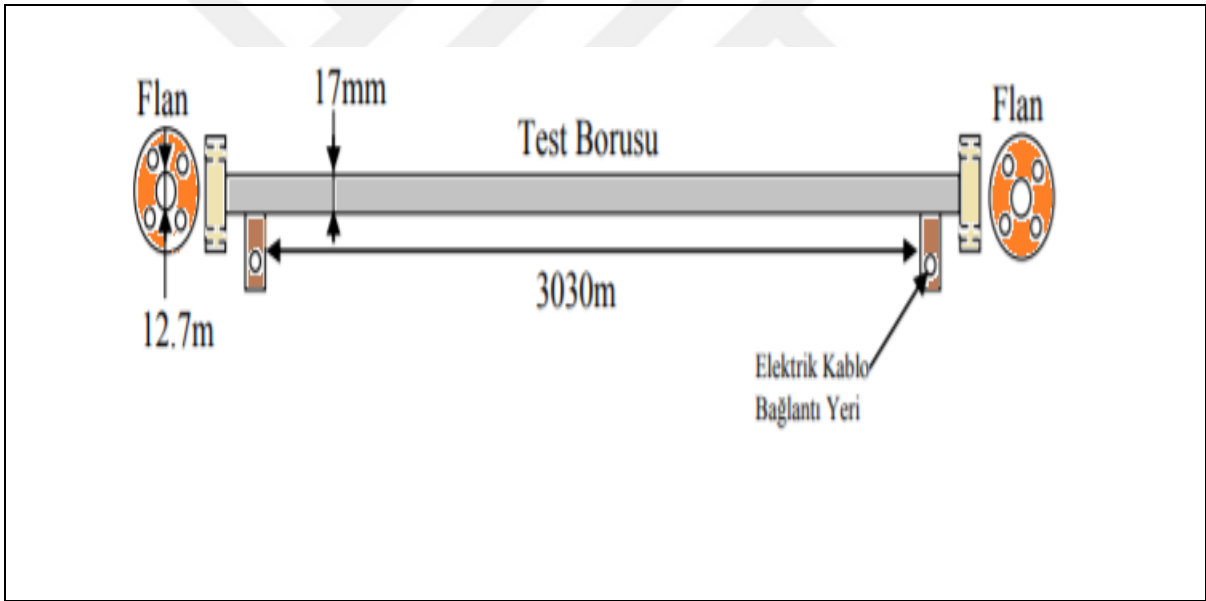
DC güç kaynağını yaklaşık 40 kW’lık güce sahip olmakla beraber pozitif (+) ve negatif (-) uçları test borusunun test odası giriş ve çıkış bölümlerine monte edildiği Şekil 19’da belirtilmiştir. Deneysel düzeneğinde test borusundan ısı gücü aktarımı yapılmıştır. Ayrıca ısıtıcı için test borusuna verilen ısı gücü değerleri DC güç kaynağındaki dijital volt ve akım göstergelerinden okunmuştur.

Şekil 13’de görüldüğü üzere deneysel sistemde istenilen basınç düşümünü elde etmek ve akış osilasyonları üzerine çıkış kısıtlayıcısının ne gibi etkileri olduğunu tanımlamak amacı ile test borusu çıkışına bir orifis levhası kullanılmıştır. Orifis levhasının giriş bölgesindeki

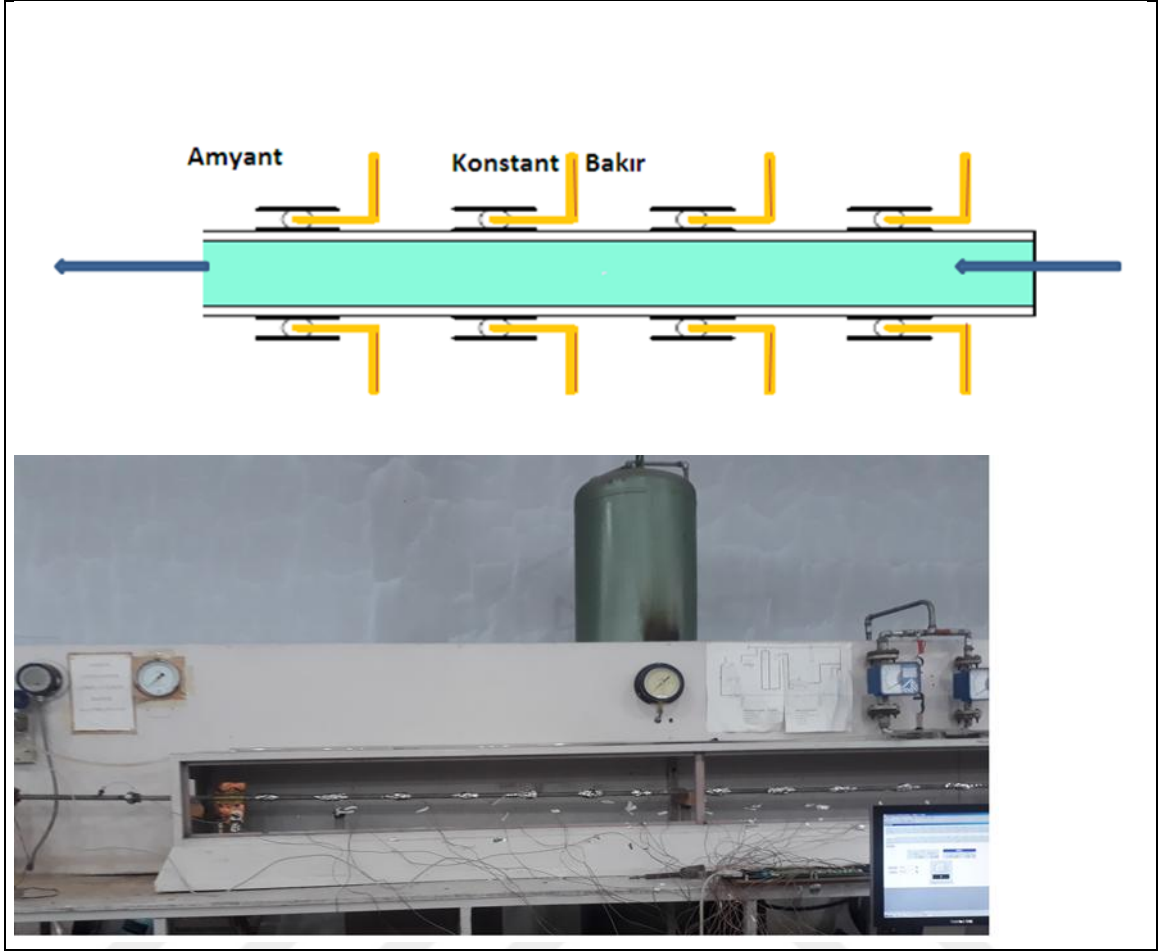
basınç Bourdon-tipi manometre, çıkış kısmı ise test bölgesi arasında fark basıncını ölçen fark basınç manometresi bağlanmaktadır.



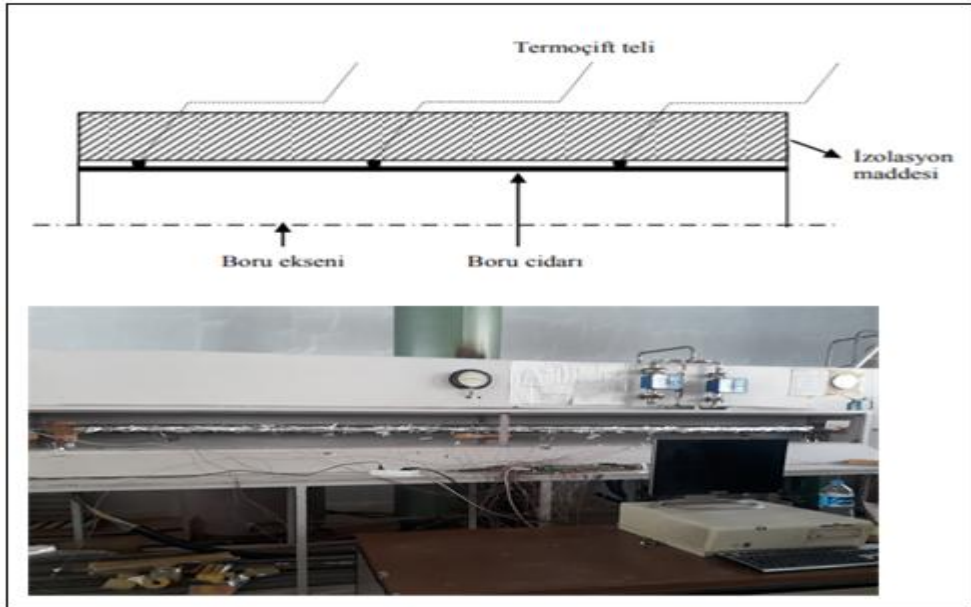
Şekil 14. Deney düzeneğinde bulunan dengeleyici tank ile test borusu arasındaki kısım



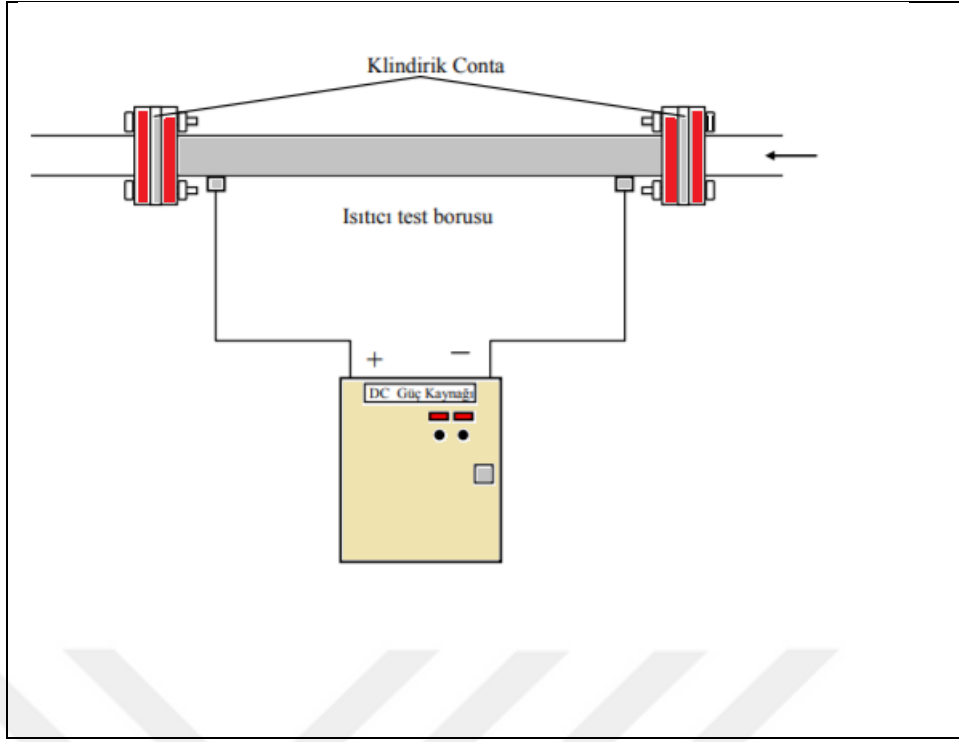
Şekil 15. Deney sistemindeki test borusu ve bağlantı flanşları



Şekil 16. Deney sistemindeki termo eleman bağlantı şekilleri ve fotoğrafı



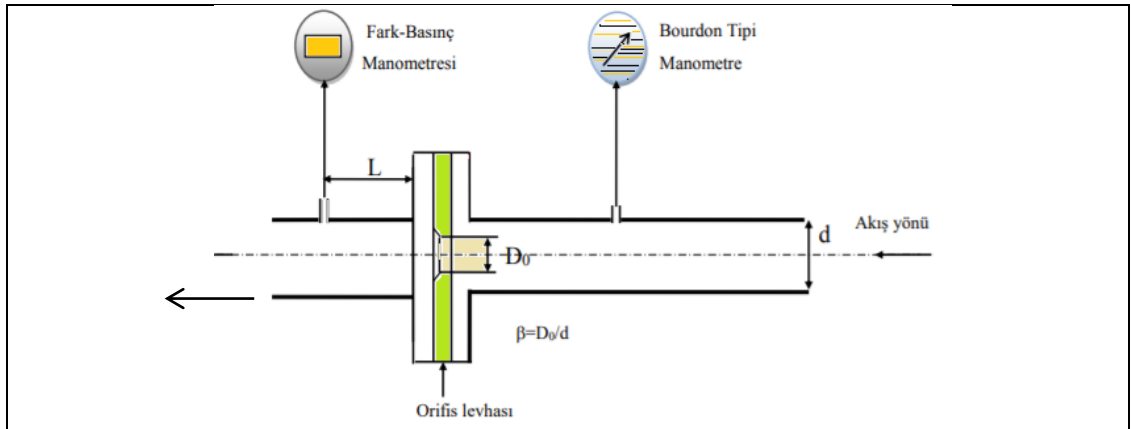
Şekil 17. Deney sistemindeki Test borusu izolasyon tabakası ve termo eleman uçlarının şematik gösterimi ve fotoğrafı



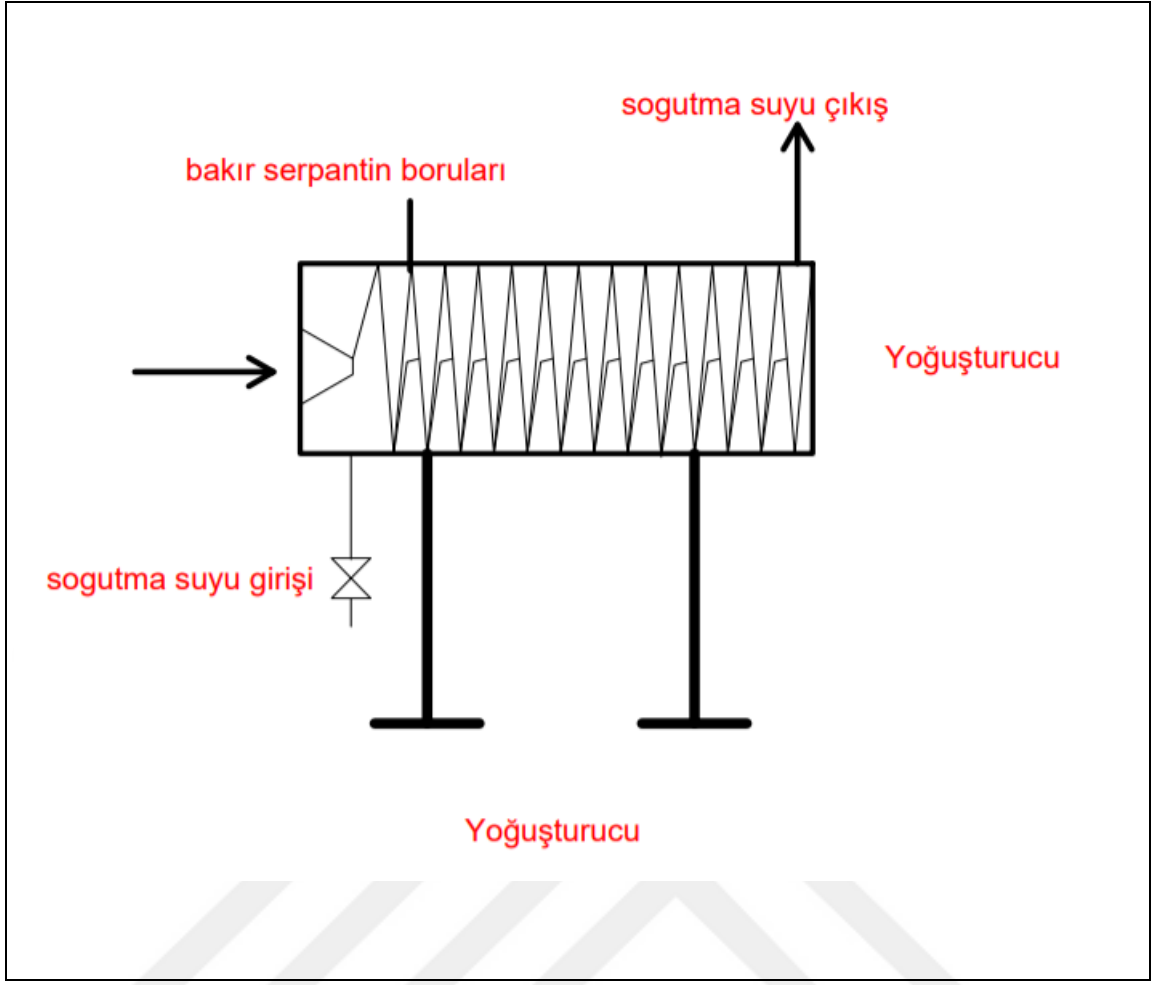
Şekil 18. Deney düzeneğindeki test borusu elektriksel bağlantısı

Deney sistemindeki akışkan depolama bölümü

Deney sistemindeki akışkan depolama bölümü dört ana elmandan oluşmaktadır. Bunlar; yoğuşturucu (14), azot tankı(15), regülatör(16), akışkan depolama tankı (17)'dir. Depolama bölümü içerisinde bulunan akışkanın test bölümünden sonra geldiği yer olarak tanımlanır. Test boru içerisinde genelde buhar fazında çıkan su bu bölümde çalışma başlangıç koşullarına getirilerek su soğutmalı yoğuşturucu dan geçirilerek yoğuşturulduktan sonra ise depolama tankına gönderilir. Sistemde depo edilen su daha sonra azot gazı sayesinde bir daha basınçlandırılarak ana besleme tankı içerisine gönderilir.



Şekil 19. Deney sisteminde çıkış kısıtlayıcısının şematik gösterimi



Şekil 20. Deney sistemindeki yoğuşturucu

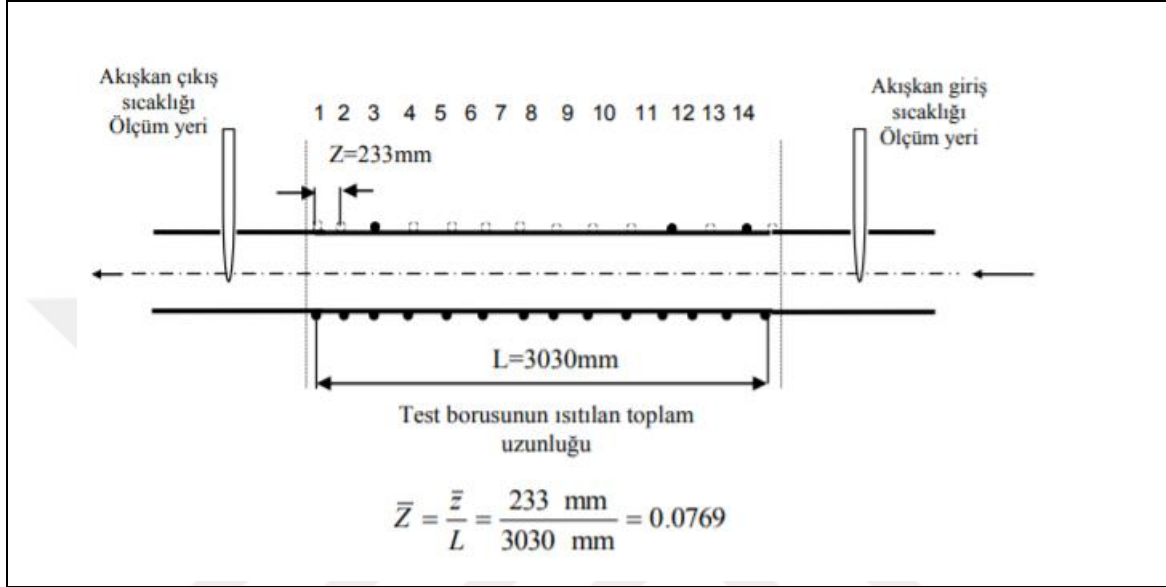
Araştırılan Çalışmadaki Ölçümler ve Belirsizlik Analizleri

Sıcaklık ölçümleri

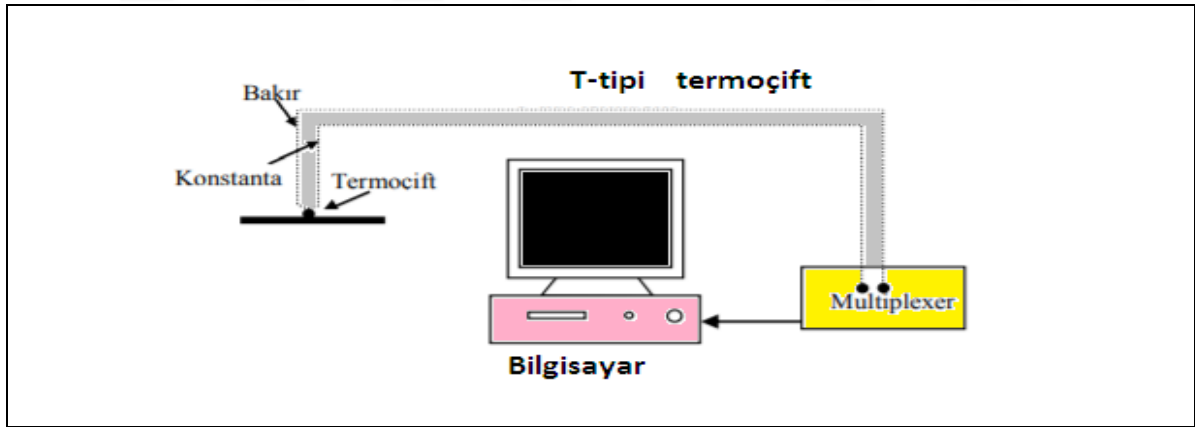
Deney sistemi içerisinde 0,25mm çapında T tipi bakır-konstantan termociftleri ile toplam 28 noktada $\pm\%0,5^{\circ}\text{C}$ hata ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Boru üzerindeki cidar sıcaklıkları test borusunda iki amyant plaka arasına yerleştirilmiş olup boru cidarında tespit edilen termoeleman uçları ile de okunmuştur. Boru içerisine daldırılan 5 mm çapında bir ucu kapalı ince bakır boru içerisine yerleştirilen termoelemanlar yardımıyla akışkanın test borusu girişi ve çıkışındaki sıcaklıkların ölçüm işlemi yapılmıştır.

Şekil 21’de görüldüğü gibi test borusu süresince eşit aralıklarla yerleştirilmiş 13 tanesi boru üst tepe noktasına ve 13 tanesi boru alt tepe noktasına olmak üzere toplam 26 T-tipi termoeleman çifti yardımı ile sıcaklıklar ölçülmüştür. Test borusu elektrikle ısıtıldığı için elektriksel gürültüyü sıfırlamak maksadıyla termo çiftlerinin uçları elektriksel olarak yalıtkan fakat termal iletkenliği fazla iyi olan amyant levhalar arasına yerleştirilmiştir. Termoelemanlar ve basınç/debi transdüserlerinin verdiği sinyallerin okunabilmesi ve değerlendirilmesi amacı ile analog/dijital Advantech Data Okuma kartı ve VisiDAQ 3.1

yazılımı kullanılmıştır. Şekil 22’de termociftlerin data okuma kartına ve bilgisayara nasıl monte edildiği şematik olarak gösterilmektedir. Termoelemanların konstantan ucu negatif ucuna, bakır ucu ise kartta bulunan bir kanalın pozitif ucuna bağlanmıştır. Saniyede yüz adet örnekleme yapabilme özelliğine 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 (Karagöz 2007).



Şekil 21. Test borusu cidar sıcaklığı ölçüm noktaları (Karagöz 2007)



Şekil 22. Deney sistemindeki termociftlerin data okuma kartına bağlantısının şematik gösterimi

Basınç ölçümleri

Araştırılan deney çalışmasında; ana tank, dengeleyici tank, azot tankı, test borusu girişi, orifisden önce ve orifisden sonra basınçlar ölçülmüştür. Ana tank, dengeleyici tank ve orifisin girişindeki basınçlar 0-100bar arasında değişkenlik gösteren basınçları okuyabilen Bourdon tipimanometre ile ölçülmüştür. Toplam hata oranı analog manometrelerde $\pm \%0,1\text{bar}$ seviyesinde okunmuş olup ve orifisin çıkışındaki basınç değeri dijital manometre ile

ölçülmüştür. Ölçek üzerinde okunan basınç 0,5bar'dır. Test borusu girişinde kullanılan basınç transdüserinin amacı ise giriş basıncını ve giriş basıncında oluşabilecek osilasyonları ölçmektir. 4-20mA seviyesinde basınç transdüserinden alınan analog sinyaller data okuma kartıyla işlenmiş olup (Şekil 23) ve alınan datalardaki toplam hata oranının $\pm\%0,1$ seviyesinde olduğu görülmüştür.

Debi ölçümleri

Fazlaca hassas bir şekilde belirlenen kütleli debi, akış rejimlerinin osilasyon sınırları ve kararlılık sınırlarının belirlenmesi işlemine kullanılır. Deney sisteminde akışkanın debisini ölçmek ve ayarlamak için ölçülebilir debi aralıkları 0-400 l/h ve 0-1000 l/h ve toplam hata oranı $\pm\%0,4$ olan iki ayrı flowmetre, debi ayarı kontrol vanası ile yapılmaktadır. Deneyler minimum 20 ve maksimum 200g/s kütleli debi aralığında yapılmıştır. Debi ölçerden alınan data okumalarındaki toplam hata oranı $\pm\%1$ 'dir.

Isı gücü ölçümleri

Diğer deneylerde de olduğu gibi bu deney sisteminde kullanılan DC güç kaynağı yaklaşık 40kW güç kapasitesindedir. Volt ve akım değerleri güç kaynağı üzerinde bulunan ayar düğmesi ile ayarlanmaktadır. Toplam hata azalız oranı $\pm\%0,2$ düzeyinde olduğu elektriksel güç değerlerinin ölçülmesiyle bulunmuştur.

Osilasyon periyotlarının tespiti

Sistemde meydana gelen osilasyonların periyotlarının tespiti, zaman uzayında gözlenen bir olayın 1/zaman, yani frekans uzayında gözlemlenmesini sağlayan Hızlı Fourier Dönüşümü metodu ile yapılmıştır. Tüm uzayda tanımlı bir $f(t)$ fonksiyonunun w uzayında Fourier Dönüşümü ile Denklem (3.1) ile ifade edilir.

$$F(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-iwt} dt \quad (3.1)$$

Fourier Dönüşümü analitik olarak çeşitli matematik işlemlerin çözümlemelerinde kullanılmaktadır. Fakat bilimsel ve teknolojik uygulamalarda elde edilen ölçüm değeri bir fonksiyon değil belirli eleman sayısı olan sayısal bir dizidir. Dolayısıyla bu tür sayısal verilerin dönüşümlerinde sayısal olarak alınması gerekmektedir. Analitik dönüşümün tüm özelliklerini Sayısal Fourier Dönüşümü sağlar.

Fourier Dönüşümü tanımlarından hareketle, analitik çözüm Denklem (3.2) ile ifade edilmiştir. Excel Çözümleme Araç Takımı içindeki hızlı Fourier Çözümleme fonksiyonu çalışmalarımızda kullanılmıştır (Solak 2019).

$$F_L = \frac{1}{N} \int_{k=0}^{N-1} f_k e^{-2\pi k l / N} \quad (3.2)$$

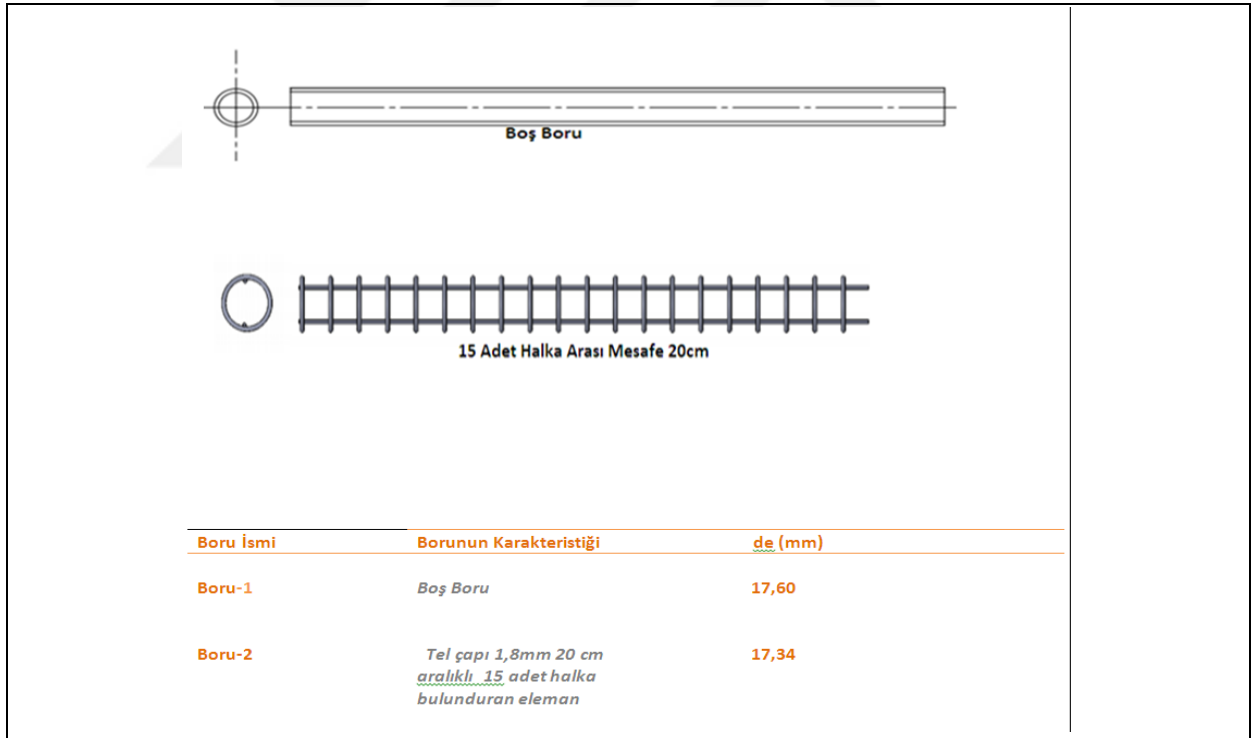
Deneysel Yöntem

İlk olarak kararlı durum karakteristiklerinin saptandığı kararlı deneyler yapılmış ikinci olarak ise iki fazlı akışın dinamik kararsızlıklarının araştırıldığı kararsız deneyler yapılmıştır. Deneyler 2 farklı boru çeşitinde sabit akışkan giriş sıcaklığında, sabit ısı gücü ve sabit çıkış orifis çapında yapılmıştır. Şekil 23'te ısı transfer iyileştirme elemanlarının teknik resmi gösterilmiştir. Şekil 24'te karakteristikleri ve ısı transfer yüzeyleri verilen ısı transfer iyileştirme elemanının fotoğrafları gösterilmektedir.

Şekil 23'te de gösterildiği gibi ısı transfer yüzeyleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanan efektif çapla karakterize edilmektedir.

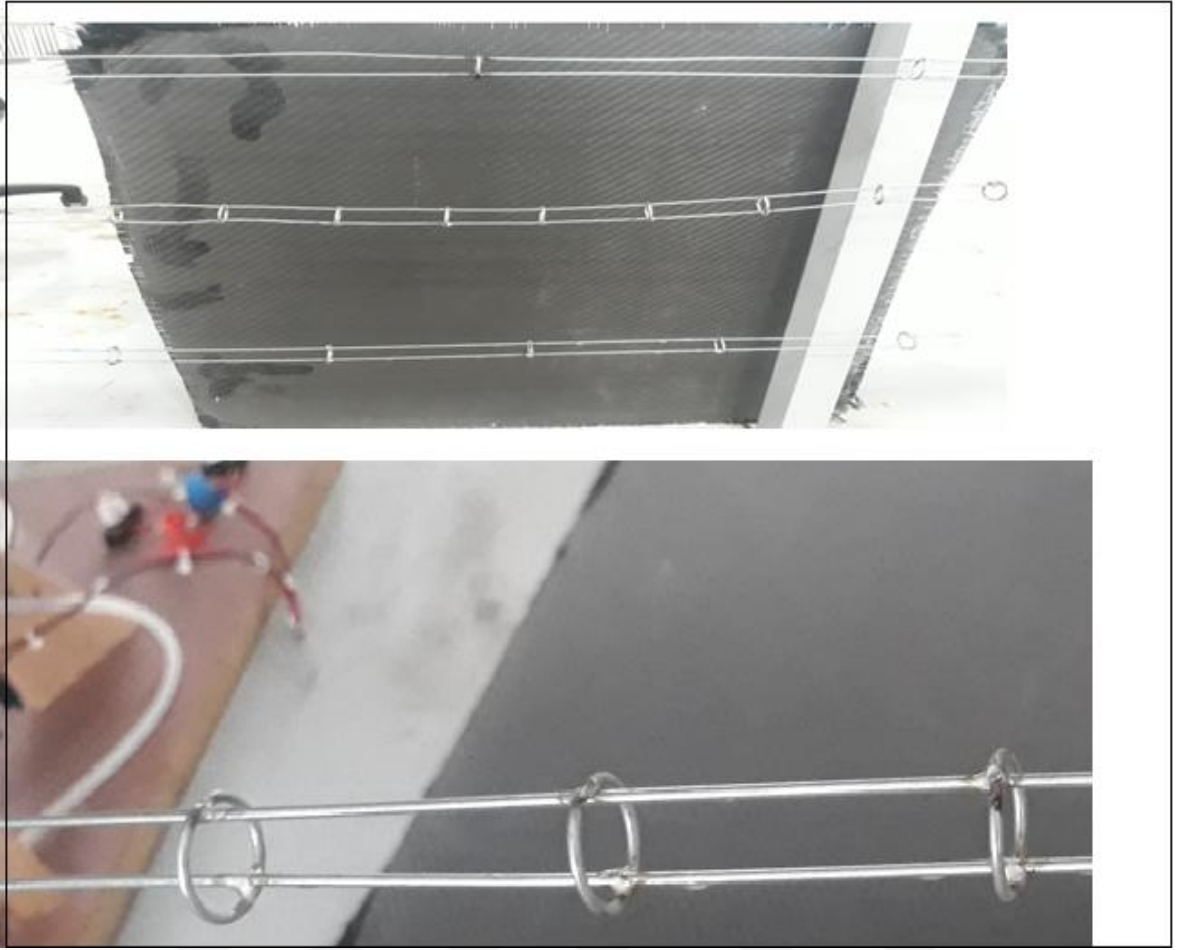
$$d_e = \sqrt{\frac{4V'}{\pi L}} \quad (3.3)$$

Denklemden V' boru net iç hacmini ve L boru uzunluğunu temsil etmektedir.



Şekil 23. Isı transfer yüzey karakteristikleri ve teknik resimleri

Kararlı durum karakteristiklerini bulmak amacıyla boş boru tipinden başlanmış olup sabit çıkış orifis kısıtlamasında, $p_{sis} = 7,5$ bar ve $T_g = 15^\circ C$ akışkan giriş sıcaklığında $Q=22$ kW ısı gücünde çalışmalar yapılmıştır. Tekrar olarak aynı deneysel veriler kullanılarak kararsız deneyler yapılmıştır. Boş boru (Boru-1) deneyleri bittikten sonra diğer borularda deneyler tekrar yapılmıştır.



Şekil 24. Isı transfer iyileştirme elemanları

Her bir boru için deney sisteminde aşağıdaki parametreler ölçülmüştür:

1. Test borusu yüzey sıcaklığı (13 alt, 13 üstten olmak üzere 26 adet)
2. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkış sıcaklıkları
3. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkışındaki statik basınç
4. Test borusu girişindeki debi
5. Test borusu girişindeki debi osilasyonları
6. Test borusu girişindeki basınç osilasyonları
7. Orifisin girişindeki ve çıkışındaki basınç

Kararlı durum karakteristiklerinin belirlenmesi deneyleri

Kararlı durum karakteristiklerini belirlemek amaçları ile yapılan kararlı durum deneylerinde, kararlı durum karakteristikleri basınç düşüşünün debi ile değişimi excelde oluşturulan grafikler yardımıyla gösterilmektedir. Dengeleyici tank basıncıyla orifis plakasından sonraki akışkanın basıncı arasındaki ilişki buradaki basınç düşüşünün göstergesidir. $m = 50$ g/s debi ile deneysel çalışmalara başlanmıştır. Yüksek debilerdeki akış tek fazlı ve sıvı akışıdır. Karakteristik eğriyi saptamak amacı ile debi yaklaşık olarak 10-12

g/s aralıklarla azaltılmıştır. Bütün olarak buhar akışının karakteristiğini saptamak sebebi ile debi oldukça düşük değerlere doğru azaltılması sağlanmıştır. Deneylede en düşük debi değeri 20 g/s olarak alınmış, Burnout olasılığından dolayı deneylelerin tamamında daha düşük debi değerlerine ulaşılammıştır. Borunun burnout bölgesine ulaşp ulaşamadığını cidar sıcaklıkları ve akışkan çıkış sıcaklığı gözlemlenerek kontrolü sağlanmıştır.

Kararlı durum karakteristiklerini öğrenmek amacı ile yapılan deneylelerde sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Sistemin debisi kontrol vanası yardımıyla çalışma için belirlenen en yüksek debi değerine göre ayarlanma yapılmıştır.
- Ana tanktan sisteme gelen suyun test borusuna giriş sıcaklığına gelmesi dijital termostat yardımıyla belirlenen sıcaklığa kadar ayarı yapılmıştır.
- İş yapan akışkanın yoğunlaştırıldığı ısı değiştiricinin soğutma suyu devresi açılmıştır.
- Sistem çalıştırılmış ve kararlı hale gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Test borusuna gerekli olan ısı gücünü temin eden ayarlanabilir DC güç kaynağı istenen güç değerine ayarlanmış ve sisteme ısı verilmiştir.
- Sistemin kararlı hale gelmesi için belli zaman beklenmiş ve test borusu yüzey sıcaklıklarında 0,5°C'den daha fazla bir değişim gözlenmediğin zaman sistemin kararlı hale geldiği kararına varılmıştır.
- Sistem kararlı hale geldikten sonra gerekli bütün ölçümler alınmıştır. Böylelikle belirlenen debi için deney tamamlanmıştır.
- Giriş debisi 15 g/s değerine ulaşınca kadar çeşitli debilerde yeni bir debi değeri için yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilmiştir.

Kararsız durum karakteristiklerinin belirlenmesi deneyleleri

BDO tipi iki fazlı akış dinamik kararsızlıklarının araştırıldığı kararsız deneylelerde belirli çalışma koşullarında ortaya çıkan kararsızlıkların sınır bölgeleri ve tipleri belirlenmek üzere, oluştukları parametrelerin tespiti yapılmıştır. Kararsızlıkların meydana gelmesi için gerekli hacim, test kısmından önce yer alan dengeleyici tank sıkıştırılabilir hacmi ile sağlanmıştır. Dengeleyici tank içerisindeki su, azot tankından elde edilen sabit gaz basıncı ile belli bir seviyede tutulmuştur. Bütün deneylelerde sıkıştırılabilir hacim sabit tutulmuştur. Sıkıştırılabilir büyüklüğü kütleel debi ve basınçta meydana gelen osilasyonlardan dolayı değişmektedir (Solak 2019).

Kararsızlık deneyleleri sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır:

- Kontrol vanası yardımıyla deneysel çalışmada belirlenmiş olan azami debi değeri için debi ayarı yapılmıştır.
- Yoğuşturucu içerisinde bulunan ısı değiştiricinin soğutma suyu devresi açılmıştır.
- Sistem güç verilmeden çalıştırılmış, sorunsuz ve kararlı bir şekilde çalıştığı yani kararlı hale gelinceye kadar belli bir süre beklenmiş ve kontrol edilmiştir.
- Sistem için ısıl güç temini DC güç kaynağı üzerinden gerekli akım ve gerilim ayarı yapılmıştır.
- Sistemin kararlı hale geldiği yüzey sıcaklık değerlerinin $0,5^{\circ}\text{C}$ 'den daha büyük değişimler göstermediğinde anlaşılmış ve bu sürece kadar beklenmiştir.
- Osilasyon sınırına ulaşıncaya, dengeleyici tank basınç değeri ve su seviyesinde hızlı salınımlar meydana gelmeye başlayınca kadar deneylere kütleli debi azaltılarak devam edilmiştir.
- Basınç düşümü tipi osilasyonların bittiği ve bağımsız yoğunluk değişim tipi osilasyonların başladığı kütleli debi değerlerini saptamak amacıyla debi çok küçük miktarlarda azaltılmış ve salınım periyotları incelenmiş, düşük periyotlarda geçiş yaptığı görülmüştür.
- Boru cidar sıcaklıkları, azalan kütleli debi etrafıca gözlemlenmiş, TO'nun oluşması sağlanmıştır.
- Burn-out olayının gerçekleştiği noktalara ulaşıldığı an ısıl güç kesilerek deneysel çalışmalar durdurulmuştur (Karagöz 2007).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde; bir boş boru ve halkasal türbülâtörden oluşan boru içi eleman kullanılarak deneysel çalışmalarda meydana gelen sonuçlar kullanılarak kararlı durum karakteristikleri, osilasyon sınırları, BDO yüzey konfigürasyonları yönünden ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

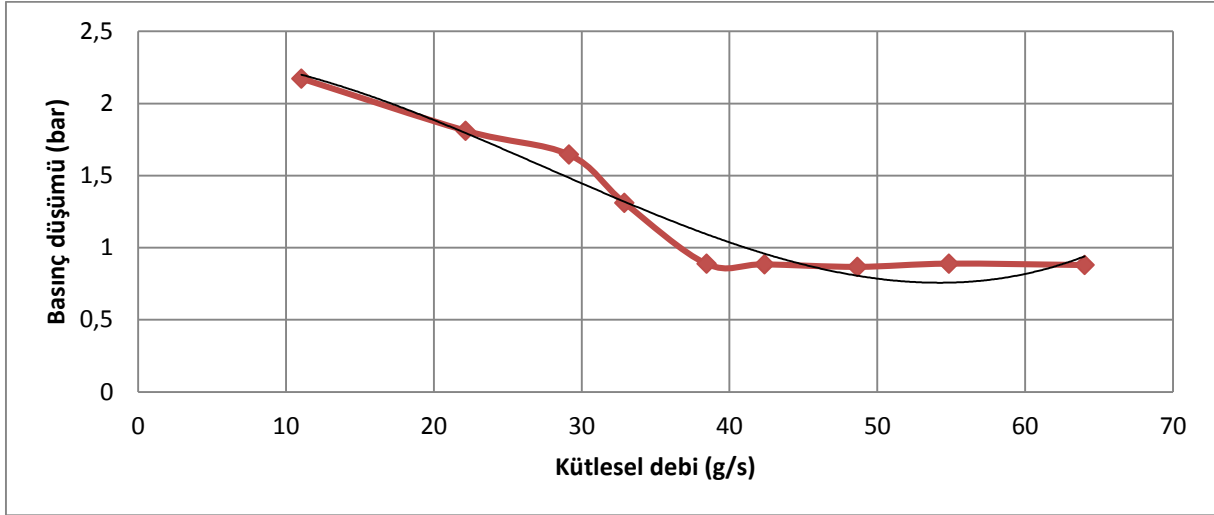
Kararlı Durum Karakteristikleri

Deney düzeneğinde kararlı durum karakteristiklerini belirlemek için $\Delta p - \dot{m}$ (test borusunda kütlelel debiye karşılık oluşan basınç düşümleri) grafikleriyle ve iki fazlı akışlı sistemlerde literatürde yaygın olarak görülen yatık “S” şeklindeki kararlı durum karakteristik eğrileri çizilmiştir. Deneyler sonucunda oluşan veriler ile grafikler ile gösterilmiş olup iki test borusu için farklı kütlelel debilere karşılık gelen dengeleyici tank basıncı ile test borusu çıkış basıncı arasındaki farkla hesaplanan, basınç düşümü verileri gösterilmektedir. Eğrilerin eğimlerinin pozitif olduğu tek fazlı sıvı bölgesi yüksek kütlelel debi değerlerine karşılık gelir. Eğrilerin negatif olduğu bölgede ise ilk kabarcıklar oluşurken kütlelel debi ve basınç düşümü verilerinin azalarak minimum noktaya geldiğinde iki fazlı akışın başladığı görülmektedir. Kabarcıkların nümerik olarak artması sebebi ile sıvı ve buhar fazları beraber akmaya başlar. Ortam yoğunluğu ise sıvı faz ile karşılaştırıldığında daha aşağı düşer, böylece basınç düşümü artmış olur. Kütlelel debinin belli değerlere kadar azaltılması ile eğrilerde doygun buhar bölgesi sınırına kadar olan negatif eğimli bölgelerin pozitif eğime geçmesine ve basınç düşümü değerlerinin de azalmasına sebep olduğu gözlenmektedir.

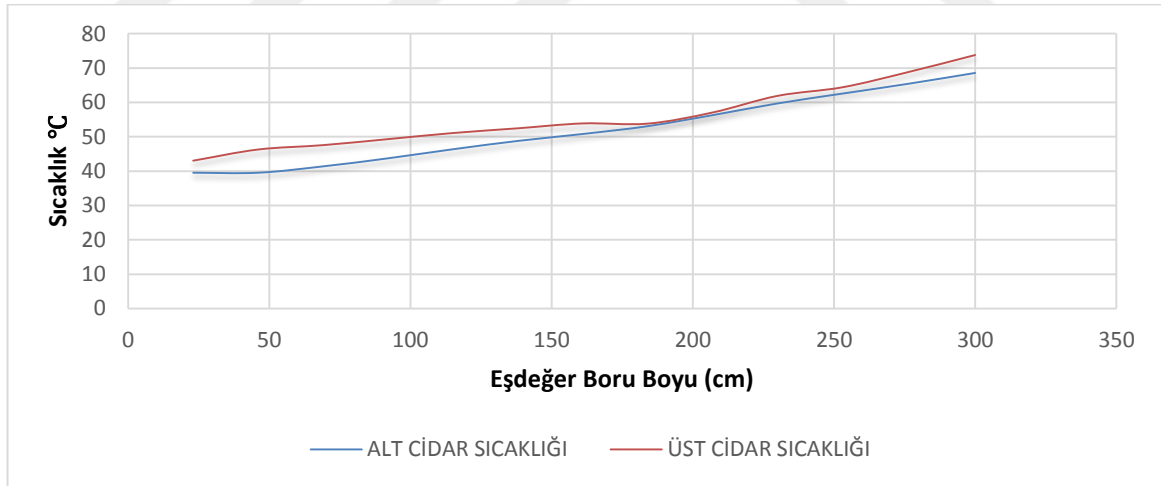
Deney düzeneğinde kullanılan bütün test boruları için karakteristik durum eğrileri oluşturulmuştur. Akışkan giriş sıcaklığı $T_g=20$ °C ve ısı güç $Q=21$ kW sabit olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Yüzey artırım elemanı olmayan boş boru Boru-1, 20 cm adımlı 15 adet halka şeklinde dizi içeren boru ise Boru-2 olarak adlandırılmıştır. Sitemde kullanılan her boru için karakteristik durum eğrileri verilmiştir. Farklı iki test borusu için verilen karakteristik durum eğrilerinde basınç düşümü değerlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. 15 cm aralıklı halkasal dizilerden oluşan yüzey artırım elemanı bulunan Boru-2’de elde edilen basınç düşümü değeri Boru-1’de elde edilen basınç düşümü değerinden fazladır.

Basınç düşümü değerleri test boruları ile karşılaştırıldığında $BORU-2 > BORU-1$ olduğu gözlenmektedir. Yüzey artırımlı boruda akışta katmanlaşma oluşması ile boruda

sürtünmeli basınç düşümüne ek olarak buhar fazının neden olduğu ilave basınç düşümü neden olmakta ayrıca azalan kütleli debi değerlerine karşılık gelen basınç düşümü değerlerindeki artış miktarı boş borudakinden daha fazla olduğu görülmektedir. Kararlı durum eğrilerinde negatif eğim açısının dikleştiği bölgeler sistemin kararsızlığının arttığı bölgelerdir. Bu durumda boş boruya ait kararlı durum eğrilerinde yüzey artırım elemanı kullanılan borulara ait eğrilere kıyasla daha az negatif bölge eğimine sahip olması öngörülür ve deney sonuçlarından elde edilen grafiklerin bu ön görüye uygun olduğu görülmektedir.



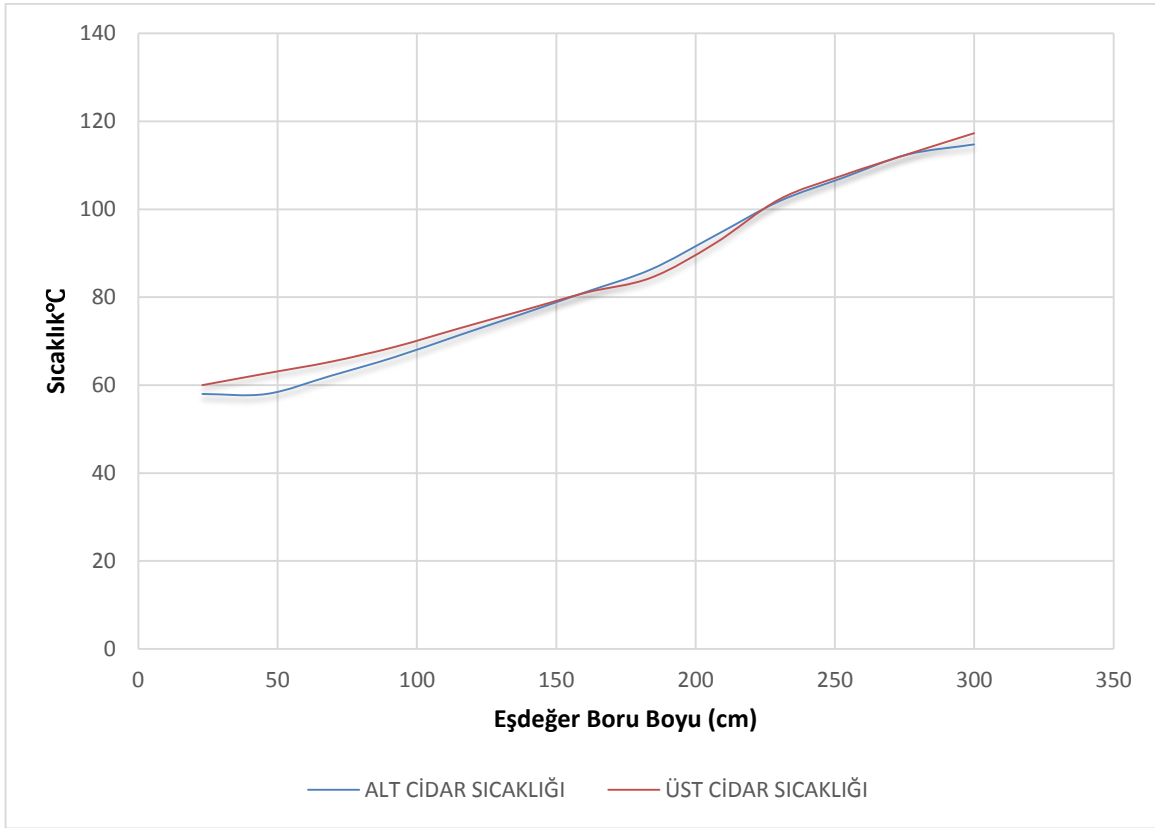
Şekil 25. Boru-1 için kararlı durum karakteristik eğrisi grafiği



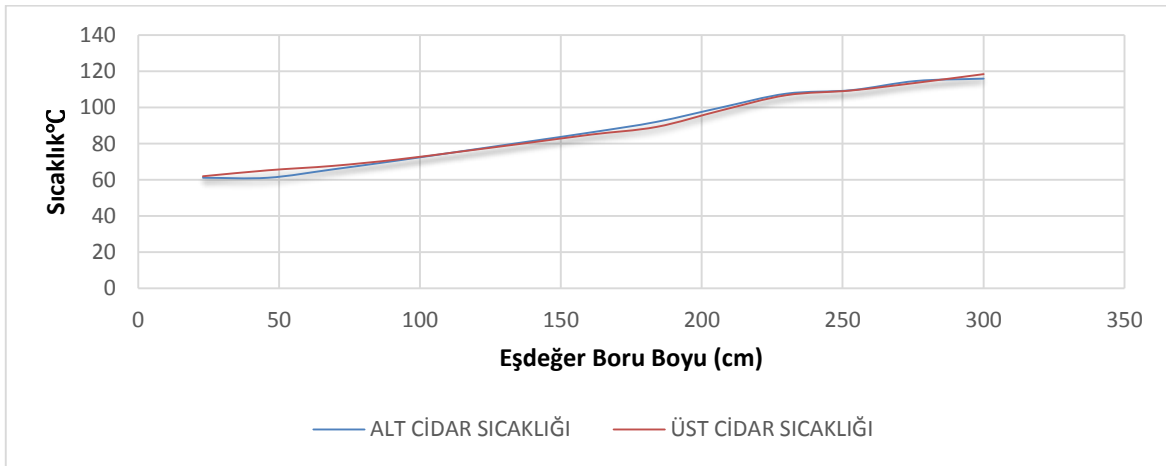
Şekil 26. Boru-1 için $\dot{m} = 52$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

İçerisinde yüzey artırım elemanı kullanılmayan boş boruda Şekil 25 için tek fazlı konveksiyon halindeki sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekil 26'de giriş sıcaklığı $T_g=20^\circ\text{C}$, akışkan giriş debisi $\dot{m}=52$ g/s, ısı gücü $Q=21$ kW olarak ele alınmıştır. Test bölümündeki akış şekillerinden anlaşıldığı gibi akış tek sıvı fazındadır. Test borusunun cidarında üretilen ısının neredeyse tamamı sıvı fazına geçmektedir. Ancak bu akış durumunda üretilen ısı sıvı fazını kaynama noktasına taşıyacak kadar fazla değildir. Test borusu girişinden itibaren hemen hemen lineer olarak değişen alt ve üst cidar sıcaklıkları görülmektedir. Üst cidar sıcaklığı alt

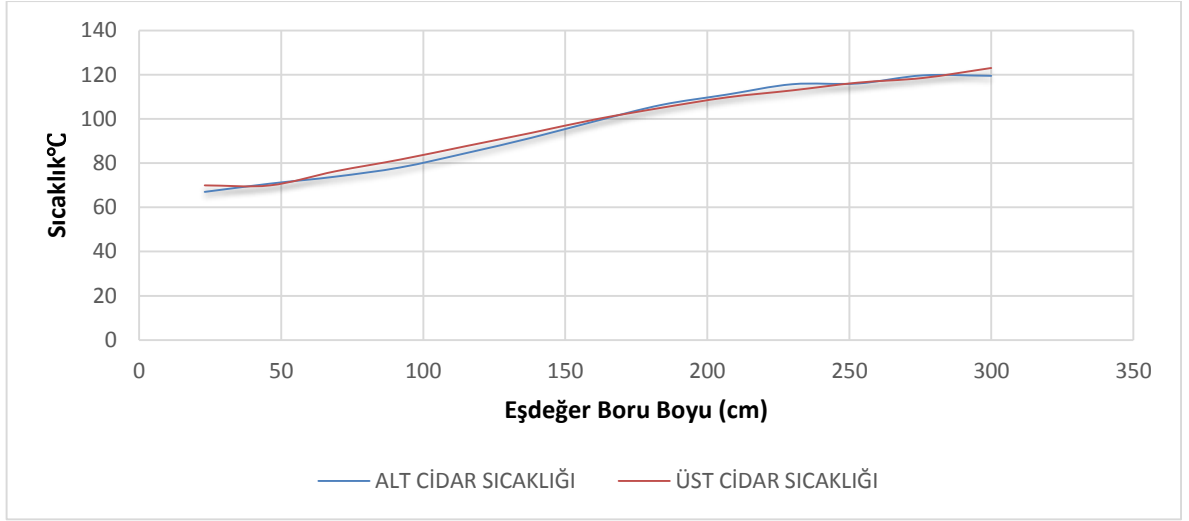
çidar sıcaklığından daha yüksek değerlerdedir. Kaldırma kuvvetinden dolayı daha düşük yoğunluklu sıvı tabakası akış yönünde üst çidara doğru hareket etmektedir. Alt çidarda ise yoğunluğu fazla olan sıvı tabakası bulunmaktadır. Üst çidar boyunca akan daha düşük yoğunluklu sıvı tabakasının sahip olduğu ısı transfer katsayısı alt çidar boyunca akmakta olan yüksek yoğunluklu sıvı tabakasının sahip olduğu ısı transfer katsayısından daha küçük olması nedeniyle üst çidarda ki akışkan tarafından transfer edilen ısı miktarı alt çidardakine oranla daha az olmaktadır. Bunun sonucunda ise deney sisteminde kullanılan test borusunda akış yönünde elde edilen üst çidar sıcaklığı her zaman alt çidar sıcaklığından yüksek olmaktadır.



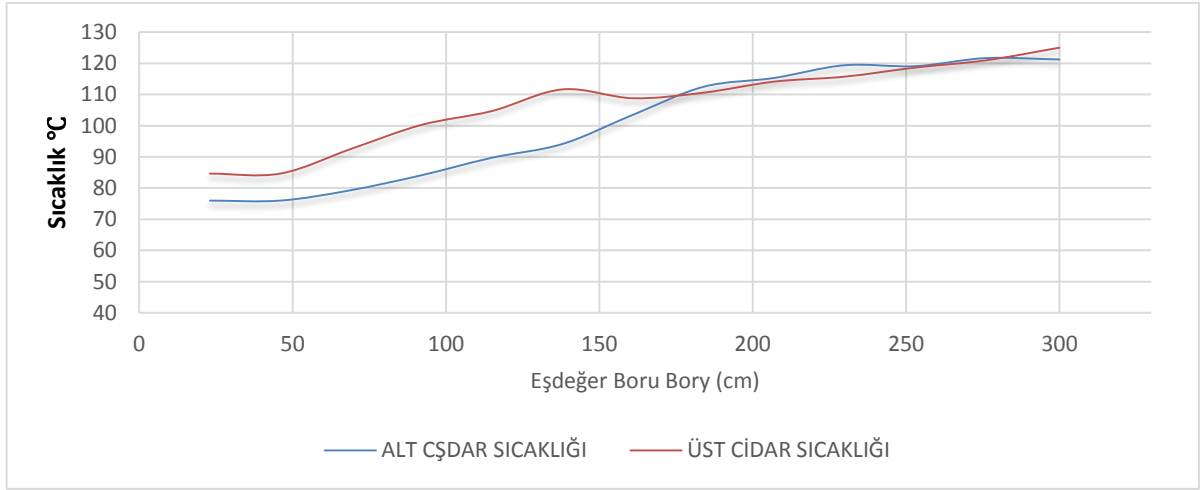
Şekil 27. Boru-1 için $\dot{m} = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst çidar sıcaklıkları



Şekil 28. Boru-1 için $\dot{m} = 40$ g/s kütleli debide alt ve üst çidar sıcaklıkları

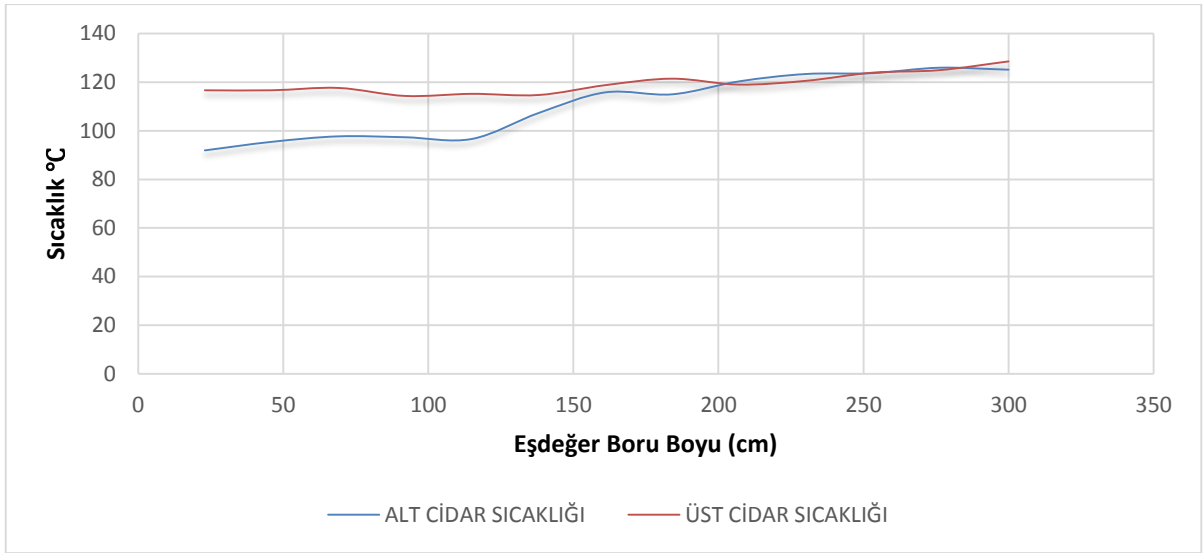


Şekil 29. Boru-1 için $\dot{m} = 35$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

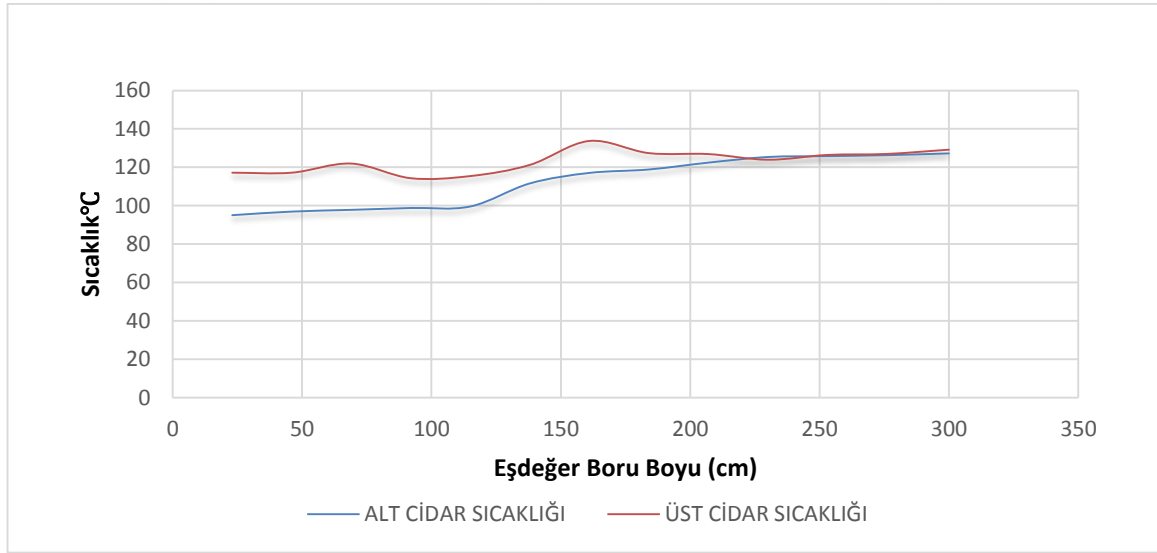


Şekil 30. Boru-1 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

Şekil 27, Şekil 28, Şekil 29, Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32’de ki grafiklerden boş boru için kısmi kaynamada elde edilen sıcaklık profilleri gösterilmiştir. Deney sistemindeki test borusunun alt cidar ve üst cidar sıcaklıklarında akış yönüne doğru artış meydana gelmektedir. Kaynama durumunun başlamasıyla ısı transfer katsayısındaki artışın ana sebebi akış ortamında oluşmakta olan buhar kabarcıklarının artarak test borusu yüzeyinden ayrılmaları ve sıvı faz tabakasındaki bölgede türbülans oranının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 31. Boru-1 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



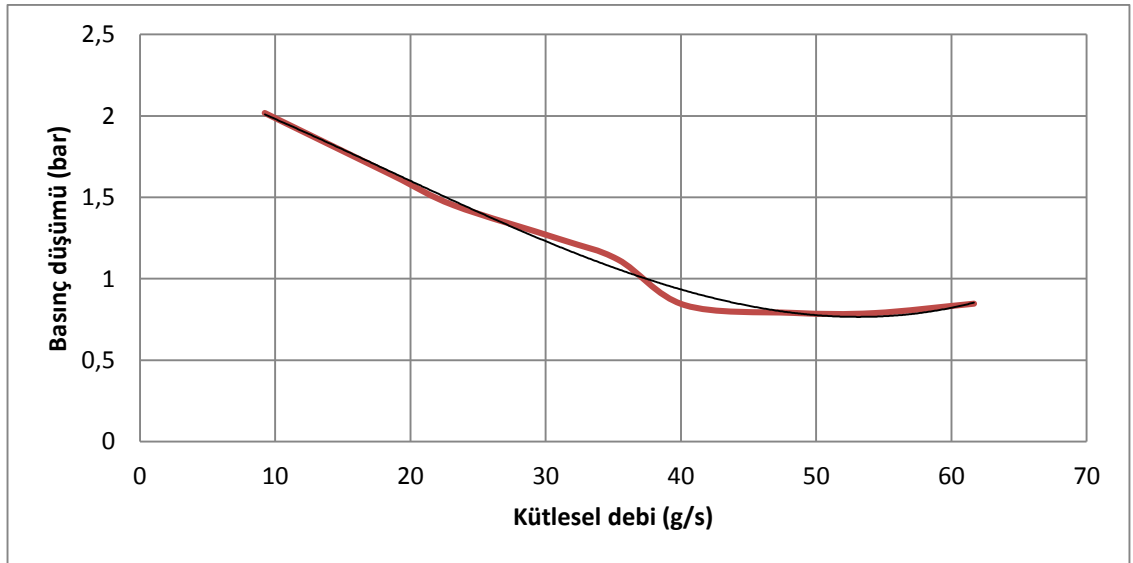
Şekil 32. Boru-1 için $\dot{m} = 15$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

Şekil 29, Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32'de boş boru sıcaklık grafiklerinde üst cidar sıcaklık değerleri borunun orta kısmına doğru oldukça artmaktadır. Alt cidar sıcaklıkları ise üst cidar sıcaklığına göre boru boyunca çok daha kararlı bir artış seyretnmektedir. Test borusunun sonuna doğru alt ve üst cidar sıcaklık değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır.

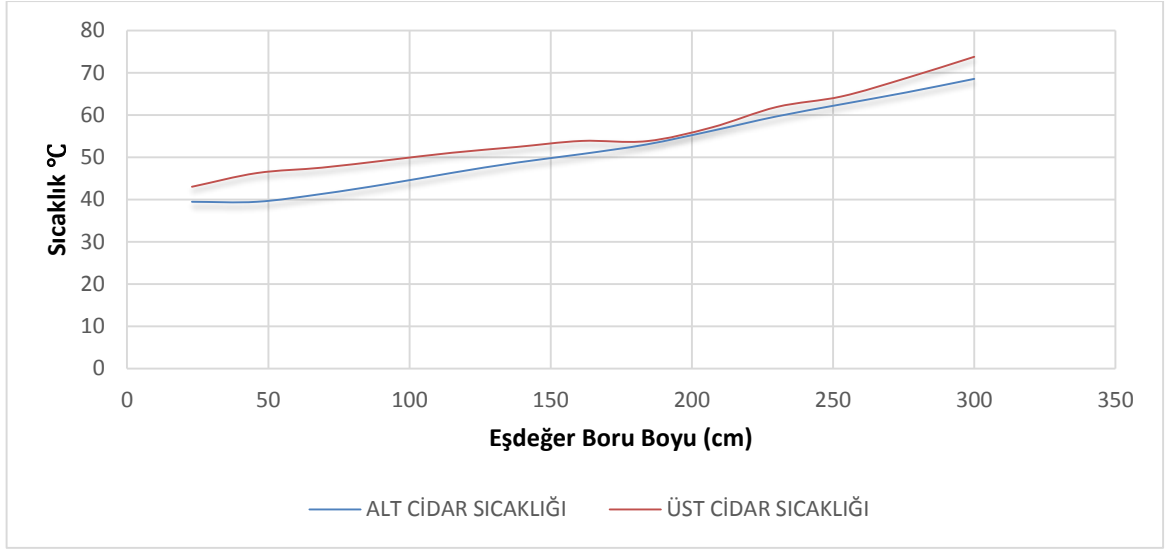
Alt cidar boyunca ısıtılmaya başlayan sıvı fazdaki akışkan tabakası daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı deney sistemindeki test borusunun içerisindeki akış bölgesinin orta kısmından akmaya başlayacaktır. Bu durum ise alt cidar sıcaklığında çok az miktar artışa sebep olacaktır. Üst cidarda ise burn-out olayının borunun orta kısımlarına doğru meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu durumda test borusunda akmakta olan akışın üst cidara yakın bölgesi boyunca bütünü ile buhar fazında olan akışkan kütlesiyle üst cidarın temas ettiği ve burn-out olayının olduğu noktaya literatürde dry-out noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle üst cidara yakın bölgelerde biriken kabarcıkların belirli bir süre

sonunda birleşerek üst cidarla sürekli temas halinde olan bir buhar yastığının oluşmasına sebep olmaktadır.

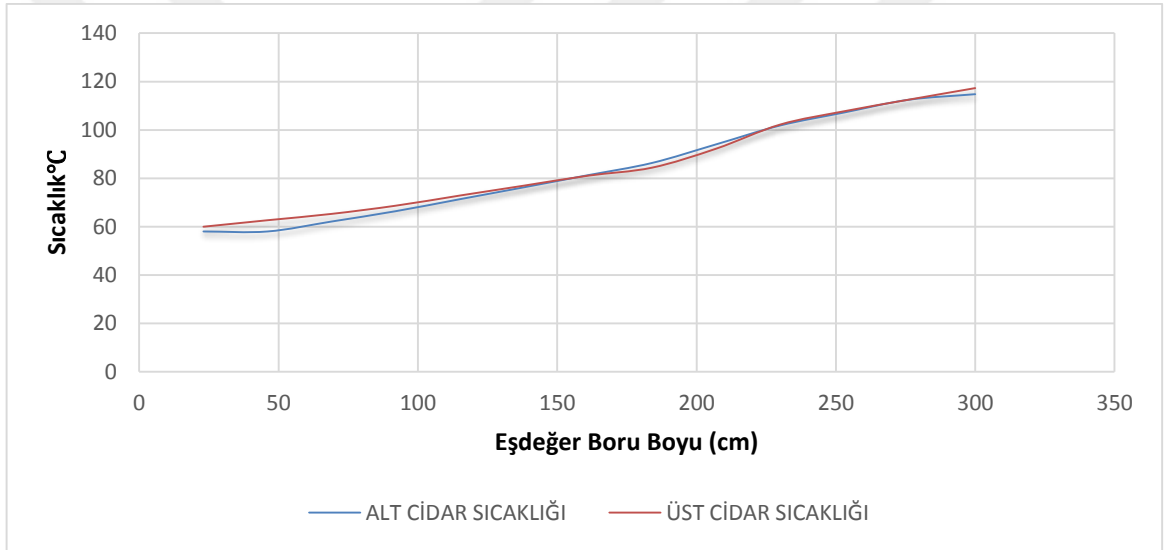
Bu sebepten dolayı yatay bir boru kanalında oluşan iki fazlı akış rejiminde borunun orta kısımlarına yakın yerlerde üst cidarda meydana gelen böyle bir burn-out olayının dikkate alınması gerekmektedir. Bu dikkat sadece test borusunun orta kısımları ile sınırlı kalmamalı aynı zamanda test borusunda burn-out olayının oluşabileceği potansiyel noktaları da içermelidir. Burn-out olayının meydana geldiği bölgeden sonra üst cidar sıcaklığının tekrar azalmaya başladığı görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı yatay bir boru kanalında oluşan iki fazlı akış rejiminde borunun orta kısımlarına yakın yerlerde üst cidarda meydana gelen böyle bir burn-out olayının dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum ise sadece test borusunun orta bölgeleri ile sınırlı kalmamalı aynı zamanda test borusunda burn-out olayının oluşabileceği potansiyel noktaları da içermelidir. Burn-out olayının meydana geldiği bölgeden sonra üst cidar sıcaklığının tekrar azalmaya başladığı gözlenmektedir. Akış yönünde devam etmekte olan buharlaşmadan dolayı akışın buhar fazı artmaktadır. Buhar fazının daha hızlı akış oranına sahip olmasından dolayı sıvı-buhar ara yüzeyinde daha yüksek genliklere ve dalgalı bir formasyona sahip bir iki fazlı akış rejiminin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu tip 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 birikmesiyle tüm boru cidarını kaplayarak annular akış olarak bilinen dairesel akış rejimi meydana getirir (Ejder 2013).



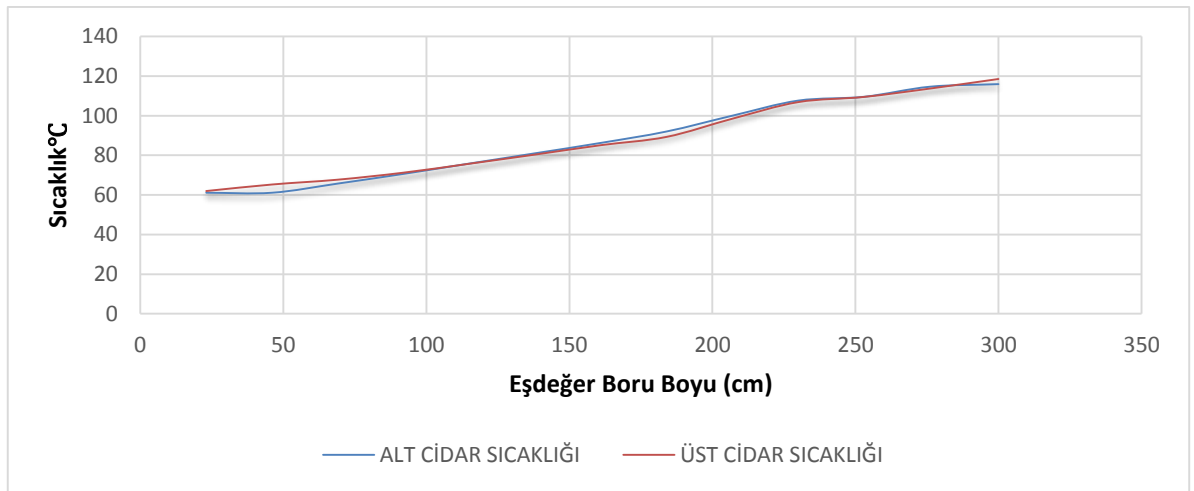
Şekil 33. Boru-2 için kararlı durum karakteristik eğrisi



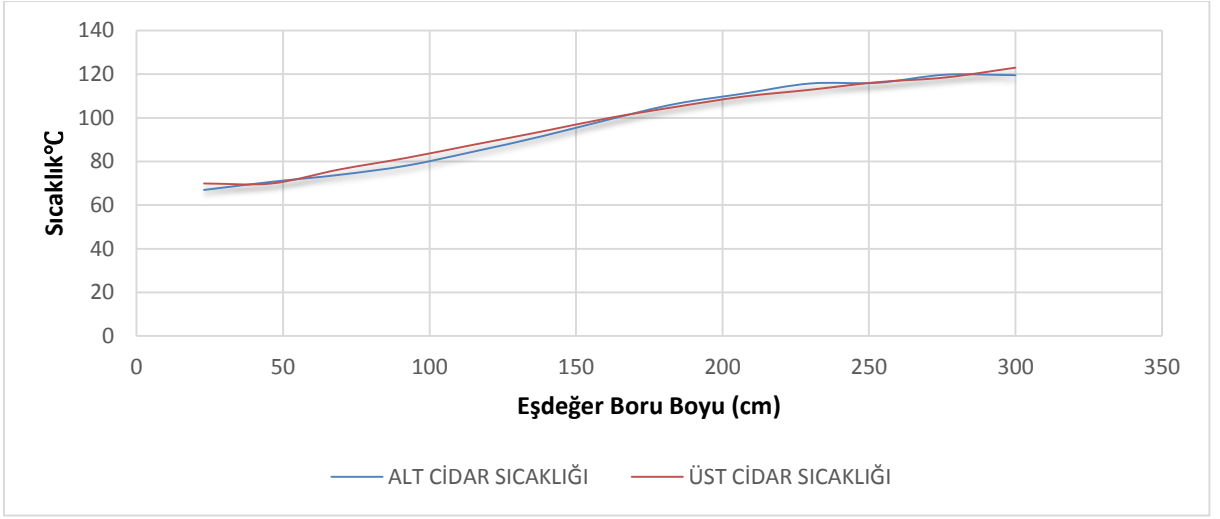
Şekil 34. Boru-2 için $\dot{m} = 50$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



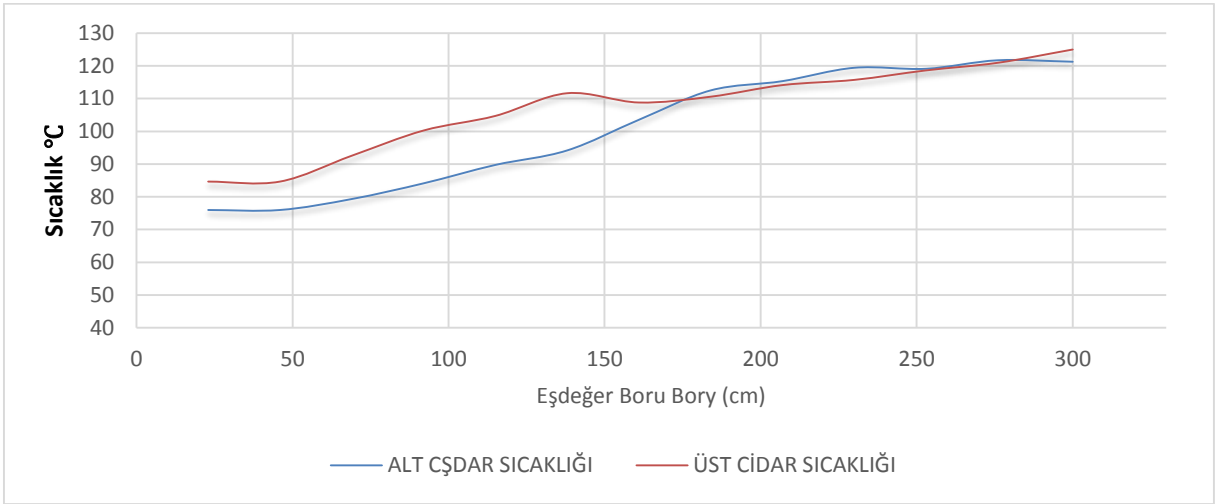
Şekil 35. Boru-2 için $\dot{m} = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



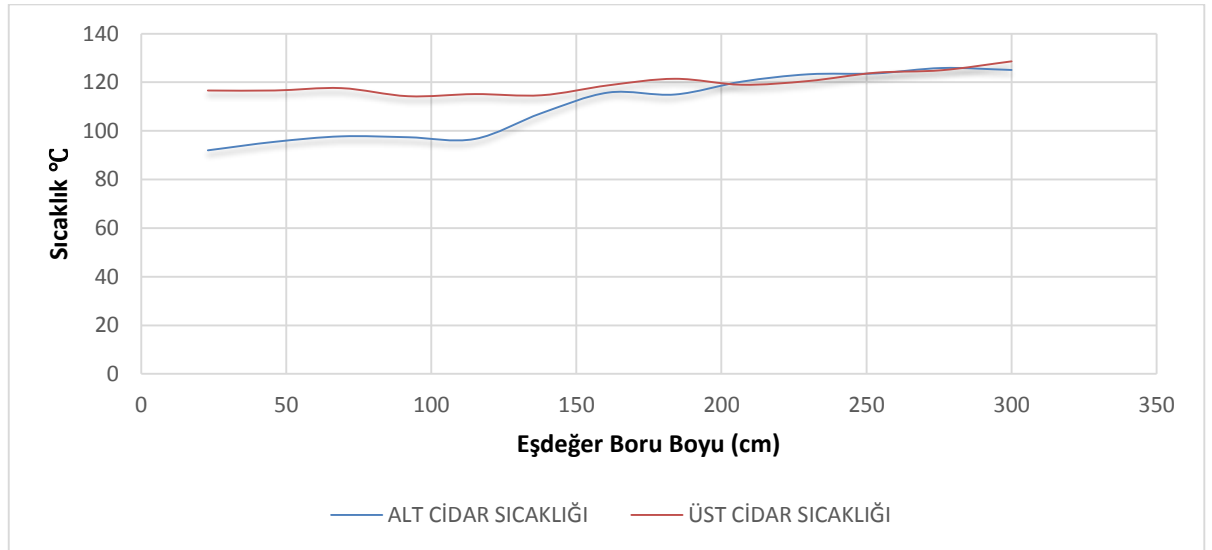
Şekil 36. Boru-2 için $\dot{m} = 40$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



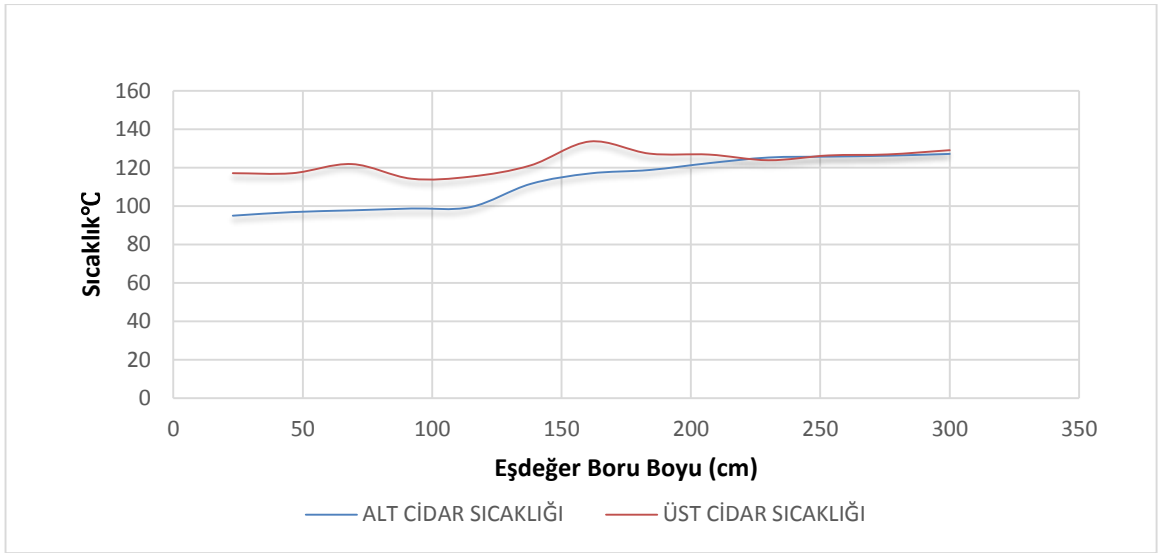
Şekil 37. Boru-2 için $\dot{m} = 35$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



Şekil 38. Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



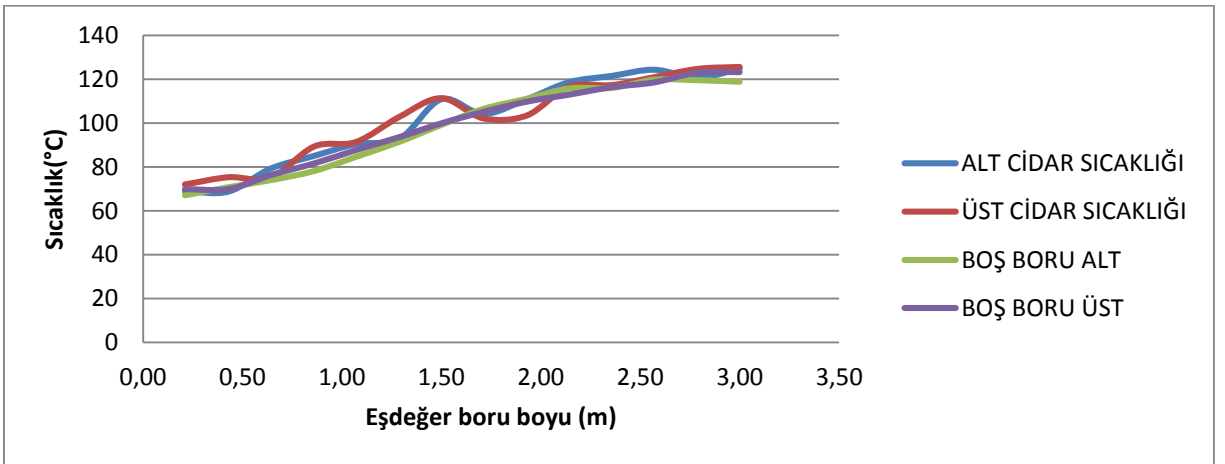
Şekil 39. Boru-2 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



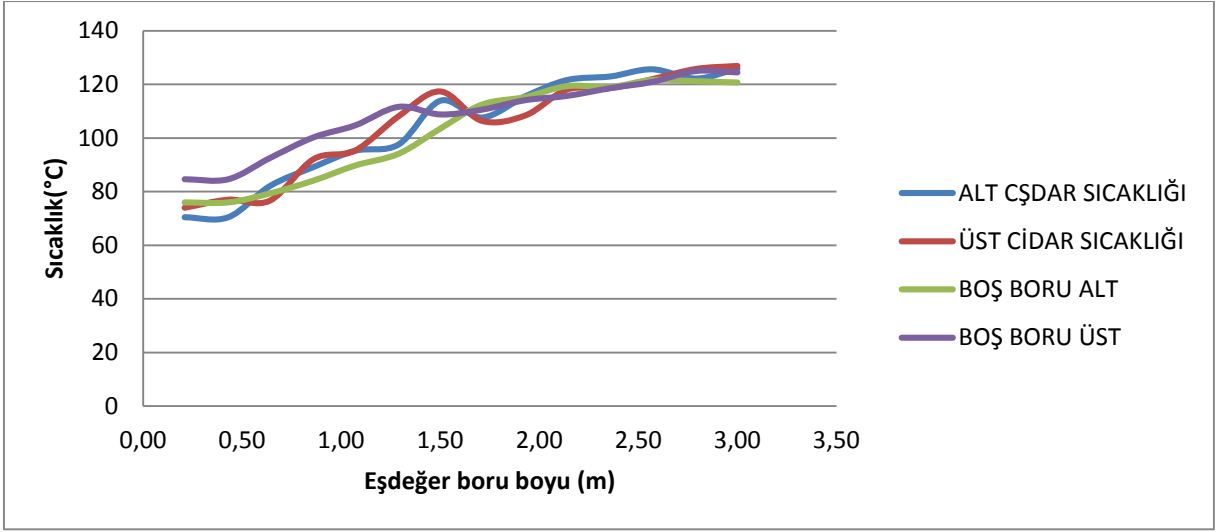
Şekil 40. Boru-2 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

Test borusunun içerisinde; tel çapı 1,8 mm, efektif çapı 17,60 ve 20 cm aralıklı 15 adet halka şeklinde eleman bulunmaktadır. Borunun içerisine bulunan halka elemanı boru boyunca akıştaki türbülans düzeyini artırarak sıvı ve buhar fazlarının karışık bir şekilde akmasını sağlamaktadır.

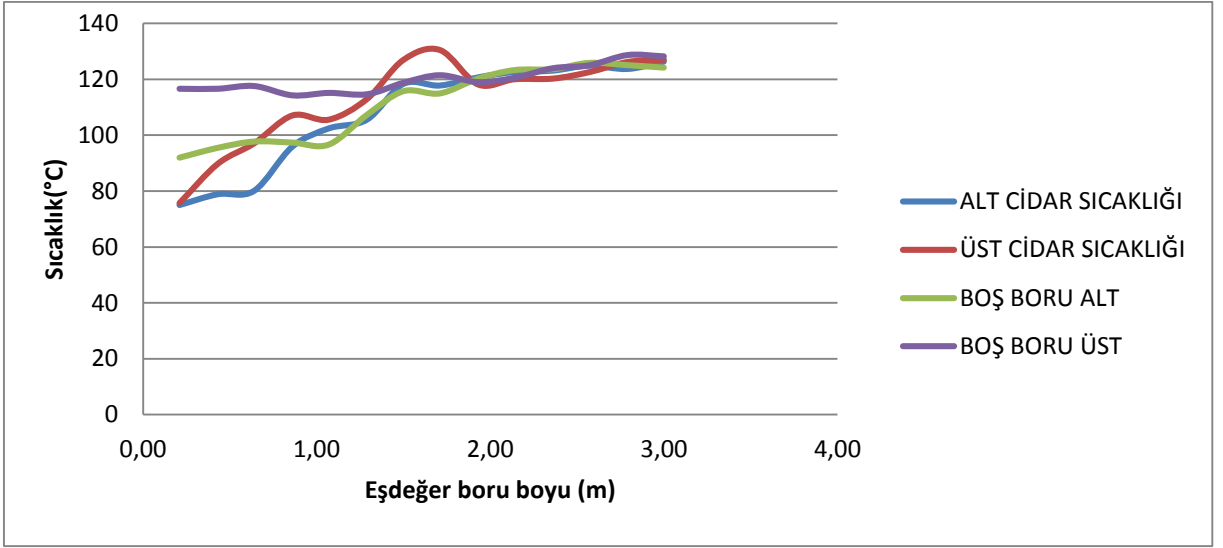
Grafiklerde (Şekil 33-Şekil 40) görüldüğü üzere tek fazlı bölgede alt ve üst cidar sıcaklıkları boru boyunca lineer olarak artmaktadır. Alt ve üst cidar sıcaklıkları arasında belli bir sıcaklık farkı yoktur. Daha sonra sıvı ve buhar fazlarının karışık bir şekilde akması nedeni ile alt cidar sıcaklık değerleri ile üst cidar sıcaklık değerleri birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. En belirgin ayrışmanın olduğu yer düşük debilerde olduğu görülmüştür. Sistem incelendiğinde eşdeğer boru boyunun son kısımlarında alt ve üst cidar sıcaklıkları yaklaşık olarak aynı değerde seyretmektedir. Bu durumun sebebi boru içerisine yerleştirilmiş olan halkasal elemanın akışa sağlamış olduğu türbülanstır. Böylece sıvı ve buhar fazları kompleks bir şekilde aktığı görülmektedir.



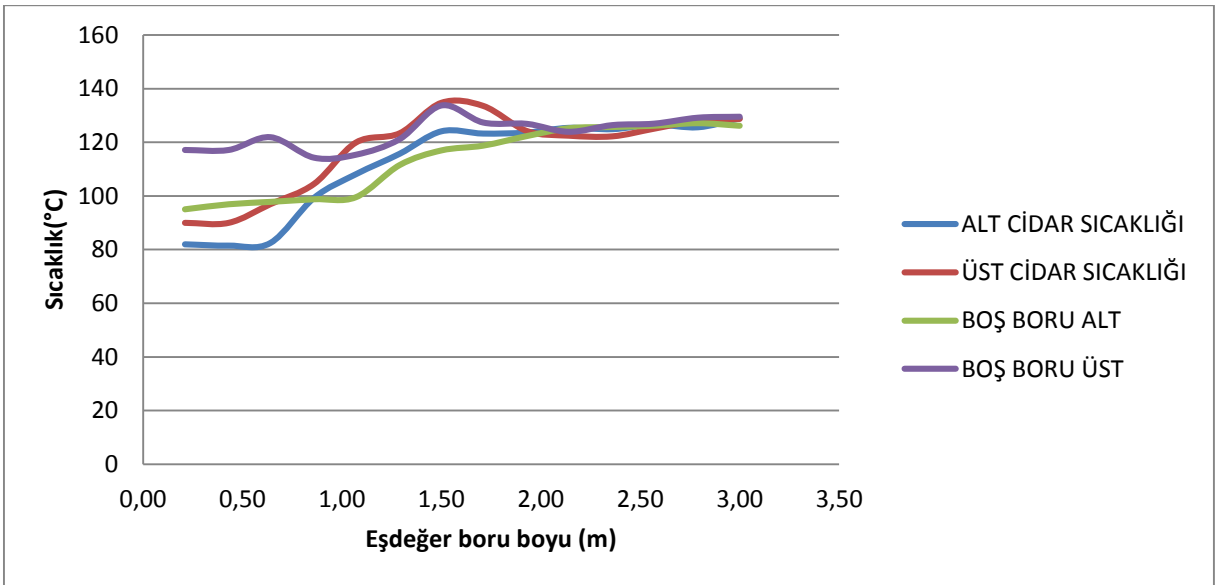
Şekil 41. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 50$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



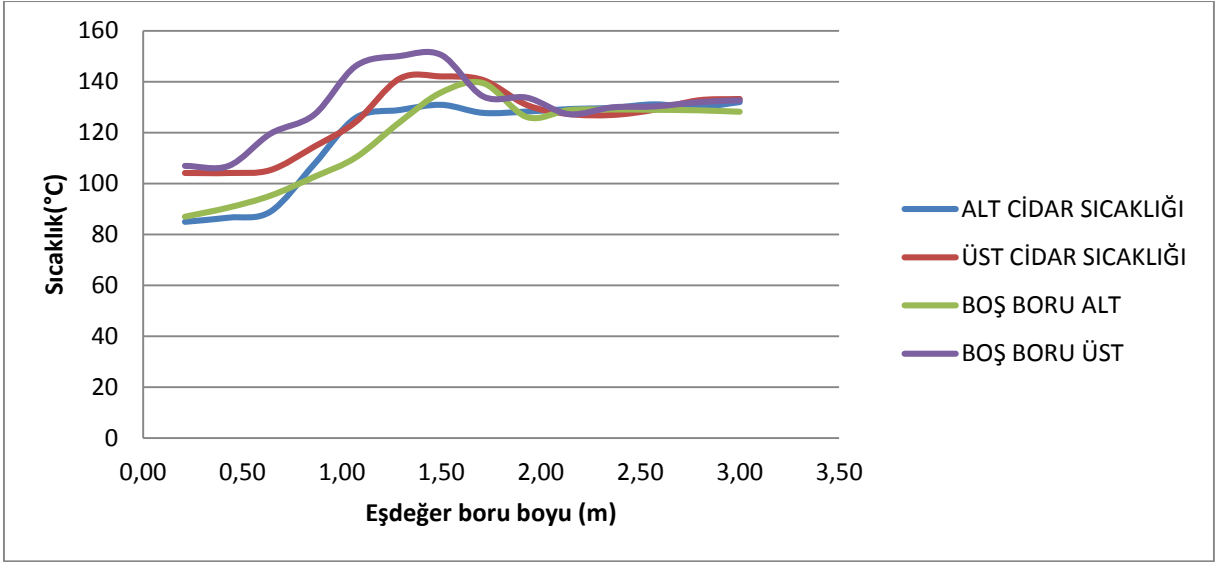
Şekil 42. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 45$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



Şekil 43. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



Şekil 44. Boru-1 ve Boru-2 için $\dot{m} = 25$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları



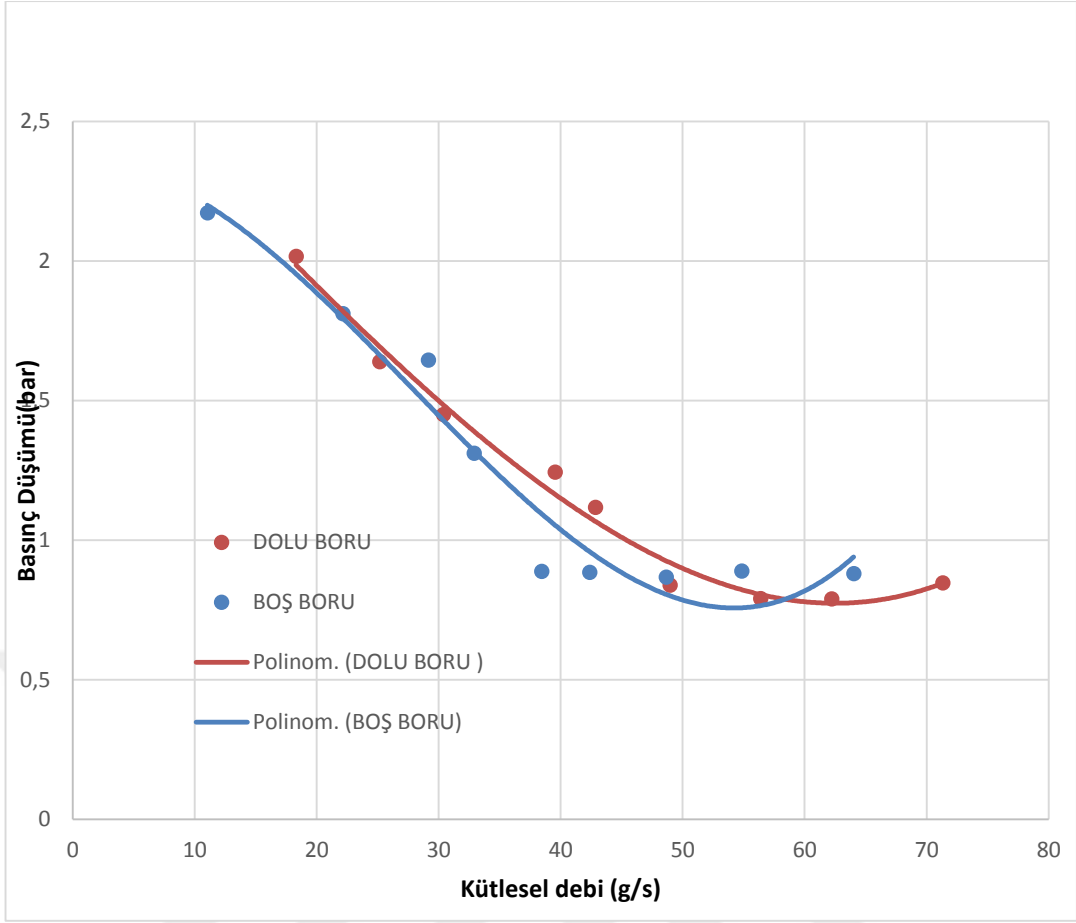
Şekil 45. Boru-1 ve Boru-2 için $m = 20$ g/s kütleli debide alt ve üst cidar sıcaklıkları

Grafiklerden de (Şekil 41-Şekil 45) anlaşıldığı gibi azalan kütleli debiye göre dikkat edilirse alt ve üst cidar sıcaklıkları boş boruya kıyasen oluşan türbülansın etkisi oldukça düşük değerlerde seyretmektedir. Cidar sıcaklıkları boş boruya kıyasen azalmıştır. Burn-out olayı daha düşük sıcaklık değerlerinde meydana geldiği görülmektedir.

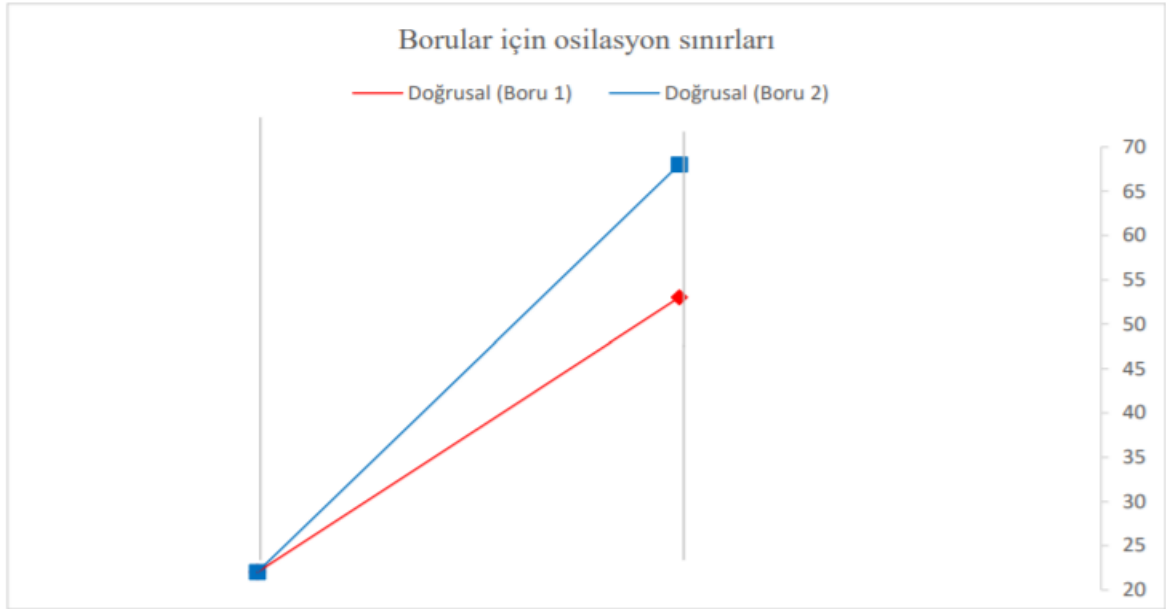
Osilasyon Sınırları

Bu deneysel çalışmada iki test borusu için ısı güç, giriş suyu sıcaklığı, sistem basıncı, çıkış kısıtlayıcısı ve sıkıştırılabilir hacim sabit tutularak BDO ve TO'ların farklı kütleli debi verilerine bağlı sınırları incelenmiştir. İki farklı test borusuna ait kütleli debiye bağlı BDO'ların sınırlarını gösteren grafikler bulunmaktadır. Sınır değerleri, basınç düşümü değerlerine karşılık gelen kütleli debi değerleri ile oluşturulan kararlı durum karakteristik eğrilerini göstermektedir. Çizilen grafiklerde çizgilerin birleştirdiği noktalar arasında kalan alan, osilasyonların oluştuğu kararsız olan bölgeyi göstermektedir.

Osilasyonların başlaması ile kütleli debi azaldıkça basınç düşümü değerlerinin de azaldığı minimum noktaya geldiği ve böylece karakteristik eğrinin negatif eğimli olduğu bölgede ilk kabarcıkların oluştuğu görülmüştür. Deney sistemi içerisinde yüzey artırım elemanı bulunduran boruda elemanın oluşturduğu türbülans yüzünden sıvı-buhar fazlarının karışması neticesinde osilasyonların sınır değerlerinin boş boruya göre daha dar bir kütleli debi bölgesinde oluştuğu gözlemlenmiştir. Yer çekiminin etkisi ile faz ayrışması olan yatay boru sistemlerinde türbülantör kullanılması yoğunluk farkı nedeni ile boru üst cidarında biriken buhar fazını dağıtarak sıvı damlacıkları meydana gelmesini sağlamıştır. Şekil 47'de iki test borusu için verilen osilasyon sınırları gösterilmiştir. Kararlılık sınır değerleri iki test borusu için benzer karakteristikte olduğu gözükmemektedir.



Şekil 46. Tüm borular için basınç düşümleri



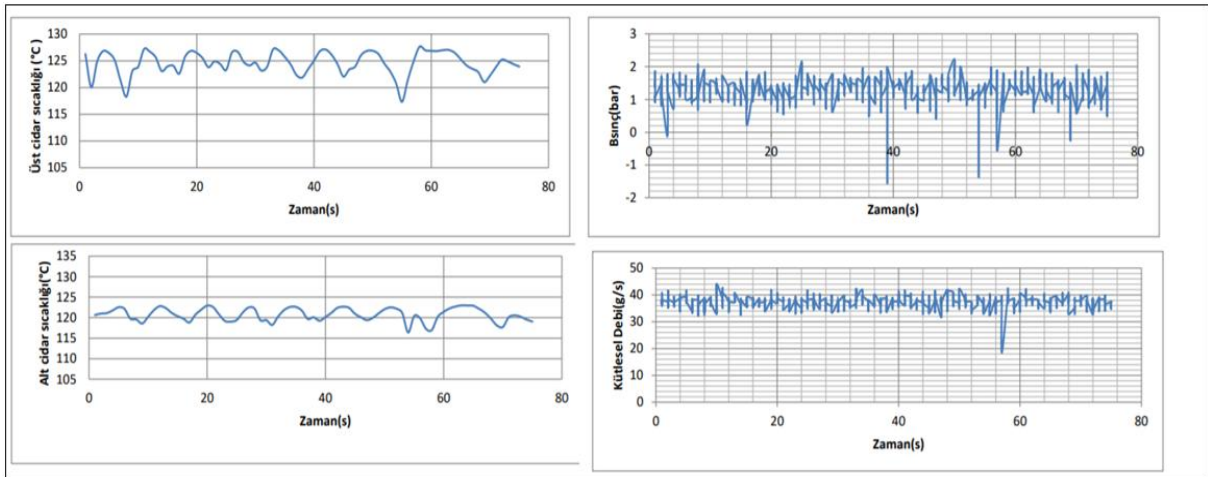
Şekil 47. Boru-1 ve Boru-2 için osilasyon sınırları

Şekil 47'de görüldüğü gibi kütleli debi bölgesinde osilasyon sınırları açısından Boru-1 Boru-2'den daha geniş bir bölgede olduğu gözükmemektedir. Boş boru (Boru-1) kararsız olduğu bölgede yüzey artırımı elemanı bulunan Boru-2'nin ise kararlı olduğu görüldüğü anlaşılmaktadır.

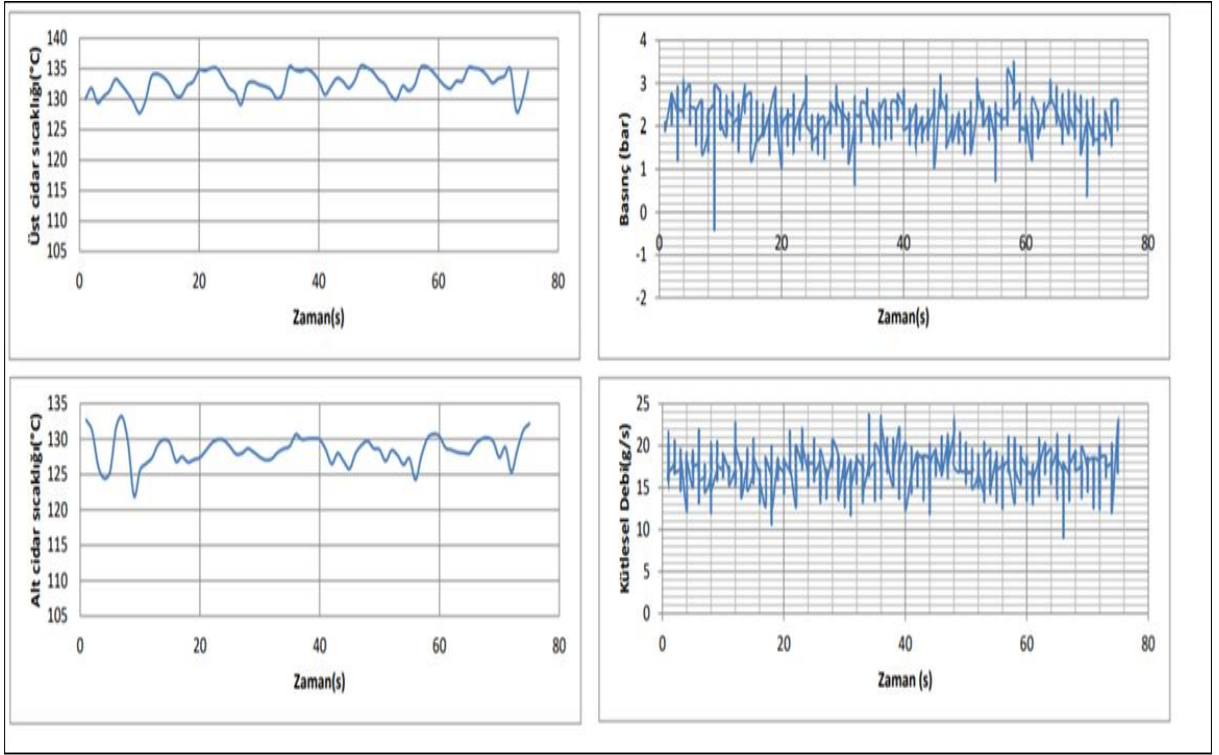
Basınç Düşümü Tipi Osilasyonlar

Kararsız akış bölgelerinde oluşan dinamik kararsızlıklar basınç düşümü tipi osilasyonlara neden olmaktadır. Bu bölümde ise deneysel çalışmanın iki farklı test borusu için kütleli debi değişimlerine göre sonuçları incelenmiştir. BDO'ların meydana gelmesindeki temel sebep sıkıştırılabilir bir hacmin olmasıdır. Sistemin test kısmının uzun olması, buradaki iç sıkıştırılabilirlik ve BDO'ların oluşması için yeterlidir. Sistemin test kısmının yeteri kadar uzun olmadığı durumda sıkıştırılabilir hacmi test kısmının önüne yerleştirilen dengeleyici tank tarafından sağlanır. Deney sisteminde sıkıştırılabilir hacim azot gazı tankı ile gerçekleştirilmiştir. BDO kararlı durum eğrisinin negatif eğime sahip olduğu bölgede yoğunluk değişim tipi osilasyonlar ile beraber üst üste oluşmaktadır. Deney sonuçlarına göre oluşturulan grafikler zamana bağlı üst-alt cidar sıcaklıkları, giriş basıncı ve kütleli debi değerleri için çizilmiştir. Boru-1'de üst cidar sıcaklıkları alt cidardan fazla olmuş ve düşük kütleli debilerde ayrılma belirgin bir şekilde görülmüştür. Boru çapının küçük olması nedeni ile oluşan kabarcıkların alt ve üst cidarı kaplaması ile cidarlar arasında fazlaca sıcaklık farkları oluşmamıştır. Alt cidarda seyreden yüksek ısı transfer katsayılı sıvı filminin cidarla arasına düşük ısı transfer katsayılı gaz kabarcıkları girmiştir.

Böylece burn-out yada kaynama krizi olarak adlandırılan aşırı sıcaklık yükselmesi olayının meydana gelmesi engellemiştir. BDO'ların sıcaklık profilleri, kütleli debi ve basınç değerlerinde ne kadar çok çalkantılı oldukları deney sonuçlarından elde edilen grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 48. Boru-1 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide osilasyonlar

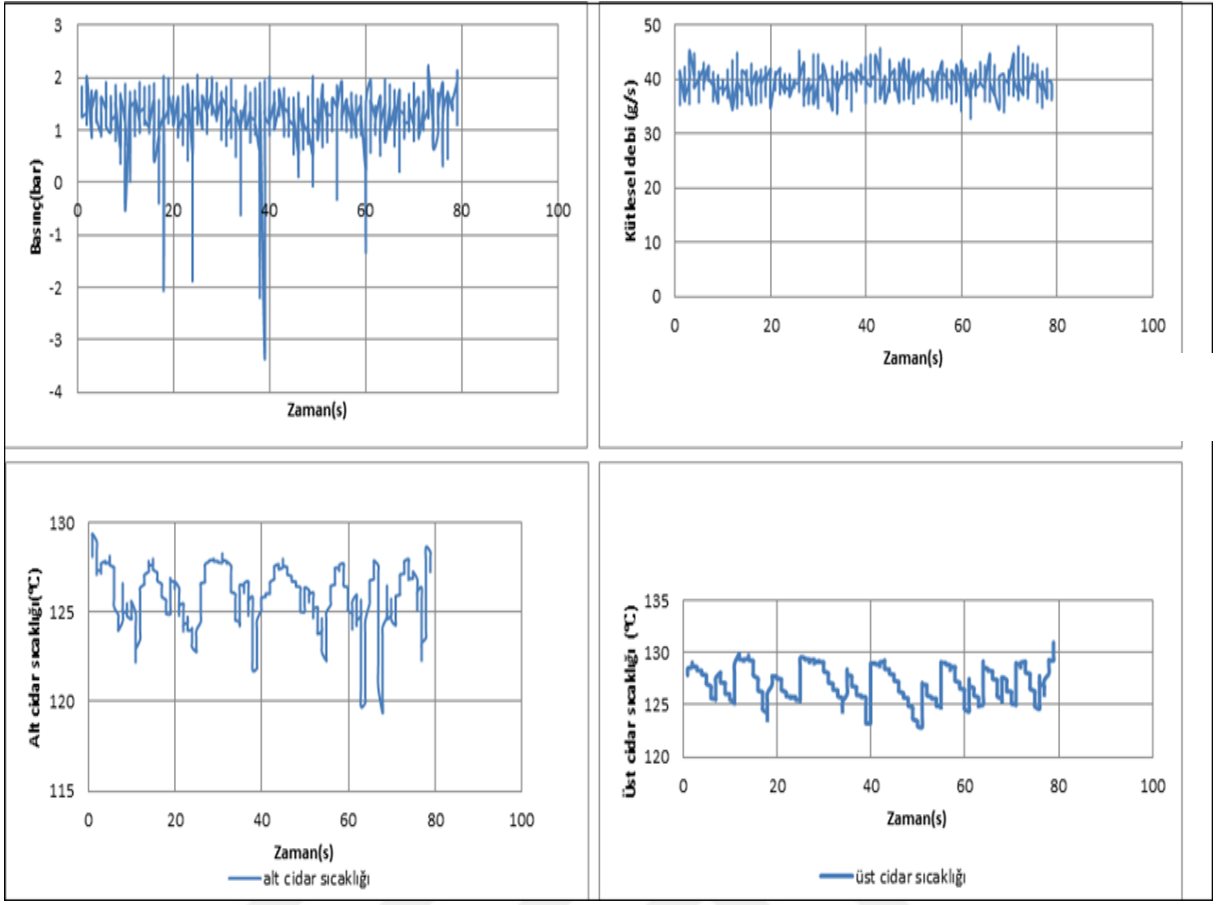


Şekil 49. Boru-1 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide osilasyonlar

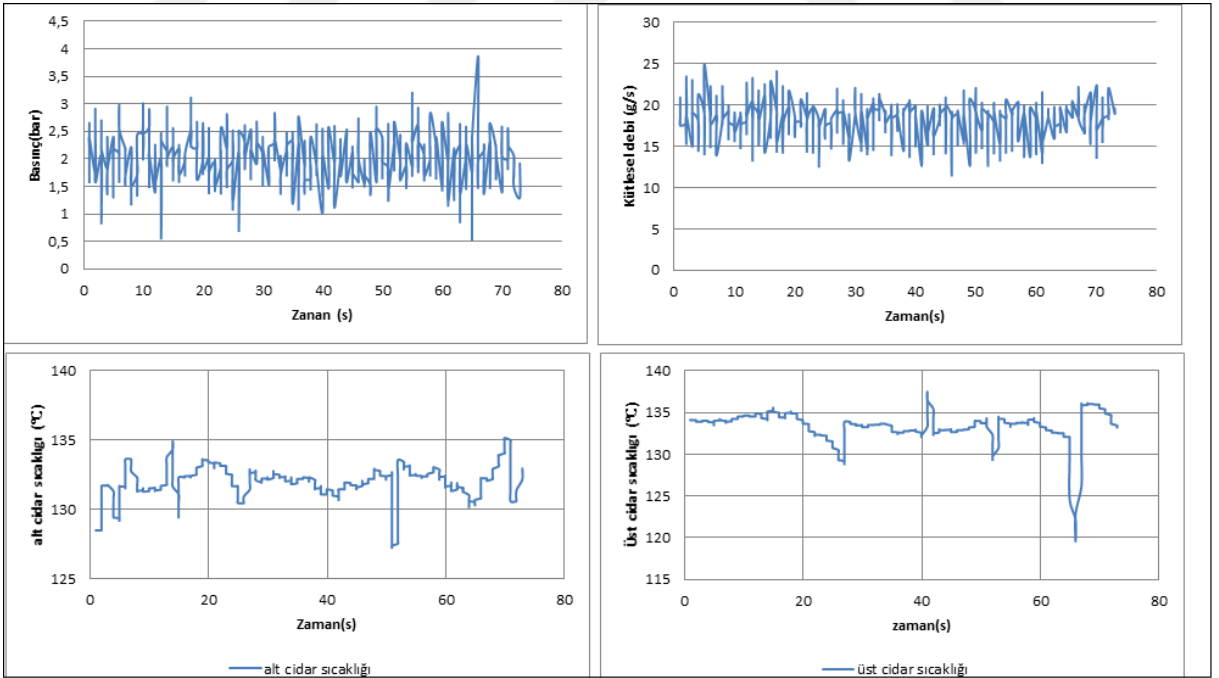
Deney sisteminde bulunan Boru-1 ve Boru-2 için dokuz değişik kütleli debi değerine göre deneyler yapılmış olup, bu değerlerden kritik kabul edilen iki kütleli debi değerine ait alt cidar sıcaklığı, üst cidar sıcaklığı, basınç ve kütleli debi grafikleri elde edilmiştir. Farklı kütleli debilerde iki farklı test borusunun ikisinde de BDO oluşmuş ve bu osilasyonlar debi, giriş basıncı, alt ve üst cidar sıcaklıklarında meydana gelen büyük genlikli salınımların nedenidir. BDO deney sisteminde bulunan her iki boru için de kararlı durum karakteristik eğrisinin negatif eğimli bölgesinde meydana gelmiştir.

Deney sisteminde kullanılan bütün borular için giriş basıncındaki osilasyonların kütleli debideki osilasyonlarla paralel olduğu gözlemlenmiştir.

Grafiklere (Şekil 48-Şekil 51) dikkat edilirse, boş boru için kritik iki debi değerlerinde boru alt cidarı sıcaklıklarında oluşan çok küçük salınımlar, içerisinde yüzey artırım elemanı olan halkasal elemanın olduğu boruda büyük salınımlar meydana gelmiştir.



Şekil 50. Boru-2 için $\dot{m} = 30$ g/s kütleli debide osilasyonlar



Şekil 51. Boru-2 için $\dot{m} = 20$ g/s kütleli debide osilasyonlar

İki Test Borusu için Kararlılık ve Osilasyonların Karşılaştırılması

Boru-2'nin Boru-1'den kararlı olduğu görülmektedir. Bu sıralamanın efektif çap açısından da yapılacak olursa aynı olacağı görülmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda, zorlanmış taşınımı iki farklı yatay boruda oluşan iki fazlı akış sisteminde kararlı ve kararsız akış olayları incelenmiştir. Isı transfer için kullanılan yüzey artırım elemanının etkileri araştırılmıştır. İlk olarak boş boru ve diğeri ise 20 cm aralıkla dizilmiş eşit halka şeklinde farklı boru için ısı transfer yüzey artırım elemanı ile çalışılmıştır. Çalışma sırasında ısıl güç, çıkış orifis çapı ve akışkan giriş sıcaklığı ve giriş basıncı sabit tutularak iki fazlı akış kararsızlıklarının etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Deneysel çalışmada boru boyunca alt cidar sıcaklık değişimleri ve üst cidar sıcaklık değişimleri lineer olarak artmaktadır. Her iki cidar sıcaklıkları arasında önemli bir farklılık olduğu görülmektedir. Tüm borular için bu akış rejiminde üst cidar sıcaklıkları alt cidardan daha yüksek olmaktadır.
2. Yapılan deneysel çalışmada basınç düşümü tipi osilasyonları incelenmiştir. Her iki boru için çizilen grafiklerde karakteristik eğrilerindeki basınç düşümü verileri her iki boru içinde farklılık göstermiş ve yüzey artırım elemanının kullanılması ile basınç düşümünün arttığı gözlemlenmiştir.
3. İki farklı test borusu ile çalışılan deneylerde Basınç Düşümü Tipi osilasyonların kütleli debiye bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Giriş basıncı – zaman ve kütleli debi zaman grafikleri verilere göre çizilerek kullanılan test boruları için BDO'ların, kütleli debi ile değişimi incelenmiştir. BDO iki test borusunun ikisinde de karakteristik eğrinin negatif eğimli bölgesinde oluşmuştur. Giriş basıncında oluşan osilasyonlarla birlikte kütleli debi değerlerinde de osilasyonlar oluştuğu gözlemlenmiştir.
4. Kararlılık sınırları ise giriş sıcaklığının azalması ile daha düşük kütleli debi değerlerine doğru hareket etmektedir.
5. Deney sonuçlarına göre, yüzey artırımı borularda ısı transfer karakteristikleri boş boruya göre daha iyi özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Öneriler

Çalışılan tezin amacı zorlanmış taşınımlı, kaynamalı, yatay düz iki fazlı akış boru sisteminde halkasal dizilerin ısı transfer yüzey artırım elemanı olarak kullanılması ile ısı transferine, akış kararsızlıkları ve osilasyonlara etkisini araştırmaktır. Konu ile ilgili öneriler aşağıda şöyle özetlenebilir:

1. İki fazlı akış rejimlerinin daha net gözlemlenmesi daha doğru sonuçlar sağlayacaktır. Doğru sonuçlar elde etmek için gelişmiş teknoloji yardımıyla test akış ortamı saydam hale getirilerek daha hızlı ve hassas bir kaydetme, görüntüleme, ışıklandırma ve veri okuma sistemleri kullanılarak iki fazlı akış rejimleri tespit edilmelidir.
2. Test akış bölgesinde istenen akış rejimlerinin meydana gelmesi için tam buharlaşmanın sağlanması amacıyla test borusunun yeterli uzunlukta olması gerekmektedir.
3. Test borusu cidarına en fazla zararları veren burn-out olayının oluşmasında etkili olan parametreler iyi tespit edilmeli ve bu zararları en küçük seviyeye indirgeyecek optimum şartların teorik ve deneysel olarak belirlenmesi büyük bir öneme sahip olacaktır.
4. Deneysel sistemde sıcaklık ölçümleri için kullanılan termokapıl çiftlerinin gürültü seviyelerini en az olması yönünde seçilmesi gerekmektedir. Deneysel ortamının olumsuz etkilerini önleyecek tarzda dış yüzeyleri izoleli ve artan tel uzunluğuna rağmen ölçüm hatası en az olan termokapıl telleri seçilmelidir.
5. Deneysel verileri değerlendirmek için kullanılan bilgisayar kartının kapasitesi en az saniyede 1000 adet örnekleme yapabilecek seviyede olmalıdır.
6. Deneysel çalışmalarda sabit tutulan parametreler değiştirilerek araştırmalar yeniden yapılabilir.
7. Deneysel çalışmalar esnasında sisteme verilen ısı enerjisi elektrik bağlantı kabloları ile gerçekleşmiştir. Fakat bu enerji verme şekli boruya homojen olarak değil borunun giriş ve çıkış yerlerine yakın kısımlarına bağlanması suretiyle yapılmıştır. Ayrıca boru yüzeyinde de ısı ölçülmüştür. Bunun sonucunda cidar sıcaklık ölçümlerinde belirsizlikler oluşmuştur. Bu nedenle test borusuna verilecek enerjinin daha homojen bir yöntem kullanılarak uygulanması daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Akyüzlü, K., Veziroğlu, T. N., Kakaç, S. and Doğan, T., 1979. Finite difference analysis of two phase flow pressure drop and density wave oscillations. *Int. J. Multiphase Flow*, 13, p 1-30.
- 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., Delhaye, J. M., Hewitt, G. F. And Mayinger, F. (ed.), Hemisphere Publishing Corp., p 231-246.
- Boure, J.A., Bergles, A.E., Tong, L.S., 1973. Review of Two Phase Flow Instability, *Nuc. Eng. & Design*, 25, 165-192.
- Chu, C. L., Roberts, J. M. and Daicher, A. W., 1978. DNB Oscillatory Temperature and Thermal Stres Responses fot Evaporator Tubes Based on Rivulet Model. *Journal of Engineerinfor Power.*, 100, 424-431.
- Chuanshuai Donga,, Takashi Hibikib.,Heat transfer correlation for two-component twophase slug flow in horizontal pipes.,*Applied Thermal Engineering* 141 (2018), p 866–876.
- Çomaklı, O., Karşlı, S., Yılmaz, M., 2002. Experimental Investigation of Two Phase Flow Instabilities in A Horizontal in-Tube Boiling System. *Energy Conversion and Management*, 43,249-268.
- Çomaklı, Ö., Karagöz, Ş., Yılmaz, M., Karşlı, S., 2008. Yatay bir borudaki kaynamalı iki fazlı akış kararsızlıkları ve akışkan tipinin etkileri. *Teknoloji*, 11, s 15-24.
- Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Bedir, Ö., Şahin, B., 2007. Isı Transfer İyileştirmesinin İki Fazlı Akış Kararsızlıklarına Etkisi. *Mühendis ve Makina*, 48 (565), 9-17.
- Doğan, T., Kakaç, S., ve Veziroğlu, T. N., 1983. Analysis of forced-convection boiling flow instabilities in a single-channel upflow system. *Int. J. Heat & Fluid Flow*, 4(3), 145-156. (kaynaklar yan yana yazılmış)
- Ejder, T., 2013 Isı transferi iyileştirmesinin İki Fazlı Akış Katmanlaşmasına Olan Etkilerinin İncelenmesi. Doktora tezi, Atatürk Ün. Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Guo, L-J., Feng, Z-P. and Chen, X-J. 2001. Pressure drop oscillation of steam-water two-phase flow in a helically coiled tube. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44, 1555- 1564.
- Gurgenci, H., Veziroğlu, T. N. and Kakaç, S., 1983. Simplified nonlinear descriptions of two phase flow instabilities in vertical boiling channel. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 26 (5), p 671-679.
- Kakaç, S. and Bon, B., 2007. A Review of two-phase flow dynamic instabilities in tube boiling systems.*International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, p 399–433.
- Kakaç, S. and Cao, L., 1999. The effect of heat transfer enhancement on two-phase flow dynamic instabilities in a boiling system. *CHMT99, Proceedings of the International Conference on Computational Heat and Mass Transfer*, Ed. By Mohamad, A. A. and Sezai, I. Eastern Mediterranean University, G. Mağusa, April 26-29, 1999, 448-462.
- Kakaç, S. and Cao, L., 2009. Analysis of convective two-phase flow instabilities in vertical and horizontal in-tube boiling systems.*International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (2009), p 3984–3993.
- Kakaç, S., 1994. A review of two-phase flow instabilities. *Advances in Two-Phase Flow on Heat Transfer*, Martinus, Nijhoff, Boston. Vol.II, 577-668.
- Kakaç, S., Gavrilescu, C.O. and Çomaklı, Ö., 1995. Two-phase flow instabilities with augmented surfaces in a horizontal in-tube boiling system. 10. Turkish National Conference on Thermal Sciences and Technologies. 6-8 September, 1995, Ankara. 1-26.

- Kakaç, S., Veziroğlu, T. N., Akyüzlü, K. and Berkol, O., 1974. Sustained and transient boiling flow instabilities in a cross connected four parallel channel upflow system. 5 th Int. Heat Trans. Conf., Tokyo, 35, p 11-14.
- Karagöz, S., Afshari F., Yildirim O., Comakli O., Experimental and numerical investigation of the cylindrical blade tube inserts effect on the heat transfer enhancement in the horizontal pipe exchangers. Heat Mass Transfer, September 2017, Volume 53, pp 2769–2784.
- Karagöz, S., Karşlı, S., Yılmaz, M., Comakli, O., 2008. Density-wave flow oscillations in a water boiling horizontal tube with inserts. Journal of Enhanced Heat Transfer, 16(4), p 331-350.
- Karagöz Ş., 2007, Isı Transferi İyileştirmesinin İki Fazlı Akış Kararsızlıklarına Etkilerinin Araştırılması. Doktora tezi, Atatürk Ün. Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Karşlı S., 2000, Zorlanmış Konveksiyonlu Kaynamalı Yatay Bir Boru Sisteminde İki Fazlı Akış Kararsızlıklarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora tezi, Atatürk Ün. Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Karşlı S., Yılmaz M., ve Çomaklı Ö., 2001. Isı transferi iyileştirmesinin iki fazlı akış katmanlaştırmasına etkisi. Termodinamik, 102, 68-78, 2001.
- Karşlı, S., Yılmaz, M., Çomakli, O., 2002. The Effect of Internal Surface Modification on Flow Instabilities in Forced Convection Boiling in A Horizontal Tube. International Journal of Heat and Fluid Flow, 23, 776-791, 2002.
- Lahey, R. T., 1980. An assessment of the literature related to LWR instability mode.
- Ledinegg, M., 1938, Instability of Flow During Natural and Forced Circulation. Die Wärme, 61, 891.
- Leung, L.K.H., Groeneveld, D.C., Teyssedou, A., Aub'e, F., 2004. Pressure drops for steam and water flow in heated tubes. Nuclear Engineering and Design, 235, p 53–65.
- Liu, H and Kakaç, S. 1991. An Experimental Investigation of Thermally Induced Flow Instabilities in a Convective Boiling Upflow System. Waerme- und Stoffübertragung, 26, 365-376.
- Omeroglu, G., Comakli, O., Karagoz, S., 2013. Comparison of The Effects of Different Types of Tube Inserts on Two-Phase Flow Instabilities. Journal of Enhanced Heat Transfer, 20 (2), p 179–194
- Omeroglu, G., Comakli, O., Karagoz, S., Manay, E., 2012. Forced convective two phaseflow analysis in a circular tube equipped with twisted tapes. Energy Education Science and Technology, 30 (1), p 561-572
- Omeroglu, G., Comakli, O., Karagoz, S., Sahin, B., 2013. Experimental Research of Dynamic Instabilities in the Presence of Coiled Wire Inserts on Two-Phase Flow. Hindawi Publishing Corporation Scientific World Journal, Volume 2013, Article ID 714180, 14 pages
- Quibén, J.M., Thome, J.R., 2009. Flow pattern based two-phase frictional pressure drop model for horizontal tubes, Part II: New phenomenological model. International Journal of Heat and Fluid Flow, 28 (2007), p 1060–1072
- Solak., 2019, İki Fazlı Akışlarda Türbülatorlerin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Atatürk Ünivesitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Stenning, A. H. and Veziroğlu, T. N., 1965. Flow oscillation modes in forced convection boiling. Proc. Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute, Stanford Univ. Press., p 301-316.
- Symposium on Multiphase Flow and Heat Transfer. Ed. by XJ Chen, TN Veziroğlu, CL Tien. 18-21 September, 1989, Xi'an, China, Hemisphere, New York, pp 497-503
- Webb, R. L. (1981) The Evolution of Enhanced Surface Geometries for Nucleate Boiling, Heat Transfer Engineering, Vol. 2, (Nos. 3-4), pp. 46-69.
- Veziroğlu, T.N. and Lee, S.S., 1968b. Boiling upward flow instabilities. AEC- Oak Ridge National Laboratory Subcontract No: 2975, Final Report.

- Veziroğlu, T.N. and Lee, S.S., 1970. Boiling flow instabilities in a two paralel channel upflow system. AEC- Oak Ridge National Laboratory Subcontract No: 2975, Final Report.
- Wedekind, G.L. and Stoecker, W.F., 1966. Transient Response of the Mixture Vapor Transition Point in Horizontal Evaporating Flow. ASHRAE Transactions, 72, Part 1
- Wedekind, G.L., 1971. An experimental investigation into the oscillatory motion of the mixture-vapor transition point in horizontal evaporating flow. J. Heat Transfer, Paper No:70-HT-G, 47-54.
- Weisman, J., Yang, J.Y. and Usman, S., 1994. A phenomenological model for boiling heat transfer and the critical heat flux in tubes containing twisted tapes. International Journal of Heat and Mass Transfer, 37 (1), p. 69-80.
- Xu B, Chen, X.J., 1990. An experimental investigation of two-phase flow density wave type instability in vertical upflow tube. Proceedings of the Second International
- Yeşilyurt, M.K 2015, İki Fazlı Akışlarda Konik Yayların Boru içi Isı transferi ve Akış Kararsızlığı Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Atatürk Ün. Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Karagöz, Ş., Bedir, Ö., 2007. İki Fazlı Akışlarda Isı Transfer İyileştirmesi-1Termodinamik, 176, 76-86.
- Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Karagöz, Ş., Bedir, Ö., 2007. İki Fazlı Akışlarda Isı Transfer İyileştirmesi-2Termodinamik, 177, 76-86.
- Yılmaz, T., 1983. Çok Fazlı Akışlar. KTÜ Müh. Mim. Fak. Yayını, 17, s 1-34.
- Yu, W., France, D.M., Wambsganss, M.W., Hull, J.R., 2002. Two-phase pressure drop, boiling heat transfer, and critical heat flux to water in a small-diameter horizontal tube. International Journal of Multiphase Flow, 28 (2002), p 927-941.
- Yüncü, H., 1981. İki fazlı akımların dinamik kararsızlığı. Doçentlik tezi, O. D. T. Ü. Mühendislik Fakültesi, Ankara, s 5-44.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Azize GÖÇÜCÜ
Doğum tarihi:	20 Mart 1990
Doğum Yeri:	MERKEZ/ERZURUM
Uyruğu:	T.C.
Adres:	Ömer Nasuhbilmen cad .İpekyolu Rezidans no:13/3/A
Tel:	05435709899
E-mail:	azegc123@gmail.com
Eğitim	
Lise:	Özel Aziziye Anadolu Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi,Mühendislik.Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Termodinamik Anabilim Dalı (2020)
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
	Makine Mühendisler Odası
Tezden Üretilmiş Yayınlar	