

İKİ FAZLI AKIŞLARDA BORU İÇİ ISI TRANSFER YÜZEYİ ARTIRIM ELEMANLARININ AKIŞ KARARSIZLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Gökhan ÖMEROĞLU
Şendoğan KARAGÖZ
Ömer Çomaklı
Eyüphan MANAY

ÖZET

Bu çalışmada, test bölümü yatay bir boru olan zorlanmış taşınım ile kaynamalı deney düzeneğinde farklı tipteki iç elemanların iki fazlı akışlarda yoğunluk değişim tipi ve basınç düşümü tipi osilasyonlara etkileri incelenmiştir. Bu osilasyonlar üzerine aşırı soğutma miktarının, akışkan giriş debisinin ve hatve oranlarının etkileri sabit ısı gücü ve çıkış kısıtlayıcısı şartlarında araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda yoğunluk değişim tipi osilasyonların periyot ve genliklerinin basınç düşümü tipi osilasyonların periyot ve genliklerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İç eleman, osilasyon, iki fazlı akış.

In this study, the effects of the different inner elements on density wave and pressure drop type oscillations in an experimental facility with forced convection boiling whose test section is a horizontal pipe were investigated. The effects of the inlet mass flow rate and the pitch ratio on these oscillations were investigated under constant heat input and exit restrictor. At the end of the analyses, it was seen that the period and the amplitudes of the density wave type oscillations were lower than that of the pressure drop type.

Key Words: Inner element, oscillation, two phase flow.

1. Giriş

Kaynamalı ısı transfer olayının gerçekleştiği birçok endüstriyel sistemde, kaynamalı ısı transferi olayına bağlı olarak meydana gelen akış kararsızlıkları, sistemlerde ısı transferinin gerçekleştiği bölümlerin bozulmasına neden olmaktadır. İşletme koşullarında sistem basıncı, debi ve benzer parametrelerin osilasyonlar göstermesi proses sistemlerinin ömürlerini azaltmaktadır. Sistemin ömrünü osilasyonlara bağlı olarak azaltan olayları; ısı yorulmaları, kaynama krizleri, mekanik titreşimler yüksek geçici sıcaklıkların neden olduğu kontrol zorluğu ve yüzeyde meydana gelen burn-out olayı olarak sıralamak mümkündür. Mühendislik çalışmalarında ekonomik dizayn, optimizasyonun varlığı ve güvenli çalışma şartlarının doğru biçimde uygulanabilmesi için iki fazlı akışların ısı karakteristik eğrileri ile hidrodinamik kararsızlıklarının önceden tahmin edilmesi, sistemlerin sağlıklı çalışması bakımından oldukça önemlidir [Gökhan, 2012].

İki Fazlı akış kararsızlıkları akışın ataleti ile iki fazlı karışımın sıkıştırılabilirliği arasında yeterli etkileşimden, kaynamanın olduğu kanalda debi, basınç düşümü ve yoğunluktaki değişim arasında

çoklu geri-beslemelerden veya sadece geri-beslemelerden kaynaklanabilirler. Basınç düşümü tipi osilasyonlar (BDO), yoğunluk-değişim tipi osilasyonlar (YDO), termal osilasyonlar (TO) ve akustik osilasyonlar olmak üzere 4 ayrı dinamik kararsızlık tanımlanmıştır. Termal osilasyonlar, cidar sıcaklıklarında oldukça büyük salınımlara sebebiyet vererek boru cidarının termal yorulmasına neden olan osilasyonlardır. Yoğunluk değişim tipi osilasyonlar ise periyodu, akışkanın geçiş zamanı değerine eşit olan ve genliği basınç düşümü tipi osilasyonların genliğinden daha küçük olan osilasyon tipleridir. Akustik osilasyonlar yüksek frekans değerine sahip osilasyon biçimleridir (Bergles 1977; Kakaç 1994). Widmann et al. (1995) yaptıkları deneysel çalışmada, yatay borulu kaynamalı akışlı, artırılmış ısı transfer yüzey alanlı bir sistemde, iki fazlı akış kararsızlıklarının nasıl oluştuğunu incelemişlerdir. Akış kararsızlıkları üzerine ısı transfer yüzey alanının büyüme etkisi, beş farklı giriş sıcaklığı kullanılarak üç farklı boru tipi için uygulanmıştır. Wong et al. (1997) iki fazlı hava-su akışında meydana gelen akış desenleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Birçok araştırmacı tarafından kullanılmış farklı yaklaşımların yararlarından faydalanılarak, mümkün olduğu kadar doğru akış desenlerini belirlemek için yeni bir terminoloji önerilmiştir. Bao et al. (1999) dar bir kanal içerisindeki gaz-sıvı akışını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada dar kanallarda basınç düşümü ve iki fazlı kaynamayan akışlar için ısı transferi hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Kurulan deney düzeneğinden yerel ısı transfer oranları rahatlıkla tespit edilebilmiştir.

Kakaç and Cao (1999) R-11 iş yapan akışkanı kullanarak yatay kaynamalı bir boru sisteminde iki fazlı akış kararsızlıklarını deneysel olarak incelemişlerdir. Tüm ısı güçleri için basınç düşümü tipi osilasyonlar ile termal osilasyonların oluştuğu görülmüştür. Isıl güç ve giriş aşırı soğutmasının artmasıyla osilasyonların genlik ve periyotları artmıştır. Drift-flux yöntemi kullanılarak kararlı durum karakteristikleri ve osilasyonlar teorik olarak analiz edilmiştir. Guo et al. (2000) kapalı sirkülasyonlu helisel kıvrılmış bir boru sistemindeki basınç düşümü osilasyonlarını, iş yapan akışkan olarak su kullanılan bir sistemde incelemişlerdir. İki fazlı akış döngüsünde sıkıştırılabilen buhar hacim tipleri, basınç düşümü osilasyonlarının sınırlarının oluşmasını belirgin ölçüde etkilemiştir. Guo et al. (2001) basınç düşümü tipi osilasyonlar altındaki sarmal bir boru içinde buhar-su ihtiva eden iki fazlı akışın, taşınım ısı geçişi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Doymamış su akışı ve buhar su karışımı iki fazlı akış için yapılan deneyler, kapalı sirkülasyonlu helisel kıvrılmış boru buhar jeneratöründe geçici ısı transfer özelliklerinin etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Sürekli akışlı yerel ısı transferinin uniform olmayan özelliği incelenmiştir. Sonuçlar, yerel ve titreşimli akış için periferik zaman-ortalama Nusselt sayılarında önemli farklılıklar bulunduğunu göstermiştir.

Çomaklı et al. (2002) yatay kaynamalı düz boru sisteminde iki fazlı akış kararsızlıklarını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler sabit sistem basıncı ve sabit ısı akısında yapılmıştır. Dinamik kararsızlıkların tüm tipleri bütün sıcaklık değerlerinde meydana gelmiştir. Osilasyonların görünüm sınırları bulunmuştur. Giriş sıcaklığı arttıkça sistemin kararsızlığının arttığı gözlemlenmiştir. Basınç düşümü tipi osilasyonlar ile yoğunluk değişim tipi osilasyonların periyot ve genlikleri azalan kütle debisi ile düşüp, azalan sıcaklık giriş değeri ile artmıştır. Ayrıca kanal uzunluğunun iki fazlı dinamik akış kararsızlıkları üzerinde önemli bir etkiye yol açtığı belirtilmiştir. Yu et al. (2002) iki fazlı basınç düşümü, kaynamalı ısı transferi ve suyun kritik ısı akısını, test borusu uzunluğu 0,91 m ve iç çapı 2,98 mm olan yatay bir boru sisteminde incelemişlerdir. Bu çalışmadaki incelenen küçük kanalın iki fazlı basınç düşümü verileri, aynı kütle debilerinde büyük kanallarda beklenen verilerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

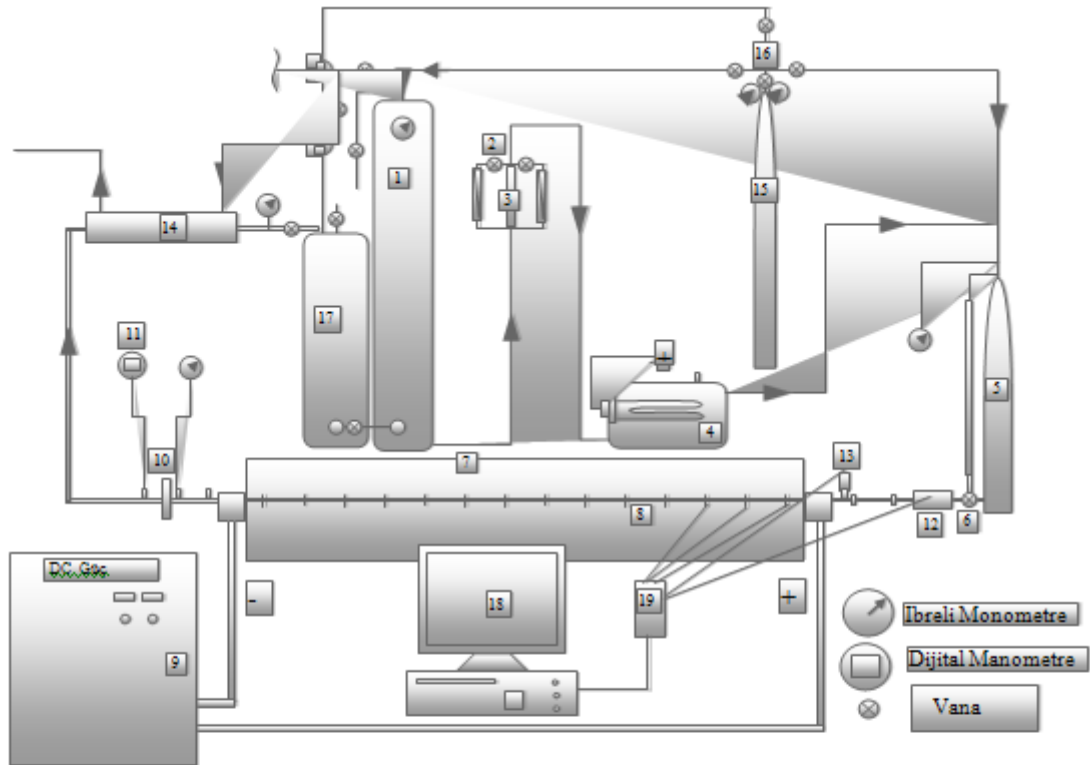
Coleman et al. (2002) R134a soğutucu gazının yoğunlaşması sırasında yuvarlak, kare ve dikdörtgen kesitli borulardaki iki fazlı akış rejimleri üzerine çalışma yapmışlardır. Akış mekanizmaları dört farklı akış rejimine ayrılmıştır; aralıklı akış, dalgalı akış, halka akışı ve dağınık akış. Buna ek olarak, veri miktarındaki çeşitlilik, iki fazlı akışın farklı türlerini daha iyi anlamayı sağlayan her akış rejimi içindeki birkaç farklı akış şeklinin tarifini sağlamıştır. Karslı et al. (2002) yatay bir boruda, kaynamalı zorlanmış taşınımlı akış kararsızlıklarına iç yüzey değişiminin etkisini incelemişlerdir. Kaynamalı akış dinamik kararsızlıklarının özelliklerindeki geliştirme yapılandırılmalarının etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Boş ve elemanlı boru konfigürasyonları arasındaki karşılaştırma kaynamalı akış kararsızlıkları esasına göre yapılmıştır. Genişletilmiş yüzeyli borular için yoğunluk dalga tipi osilasyonları ve basınç düşümü tipi osilasyonların periyot ve genlikleri, boş boruda olandan (oranla) daha yüksek bulunmuştur. Boş borunun çok kararlı bir yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Aynı tip yüzey artırımı boru için eşdeğer çapın azalması ile sistem kararlılığının arttığı bulunmuştur. Leung et al. (2004) ısıtılmış borularda buhar ve su akışı için basınç düşümlerini incelemişlerdir. Isı akısındaki artış ile basınç gradyanındaki azalma,

aynı kesit ortalama koşullarında tek fazlı akışlar için gözlemlenmiştir. Kaynama başladıktan sonra, iki fazlı sürtünme çarpanı kabarcıklı akış bölgesindeki yükselen ısı akısı ile artmış, ancak halkalı akış bölgesinde azalmıştır. Isıtılmış yüzey dryout'a yaklaşırken, iki fazlı akış sürtünme çarpanı maksimum bir değere ulaşmış ve dryout olana kadarki zamanda artan termodinamik kalite ile azalmıştır. Düşme eğilimi, sıvı film kalınlığındaki azalma ve sıvı sürüklenmesinin sonlanmasına bağlanmıştır. Kritik ısı akısının oluşumundan sonra sürtünmeli basınç gradyanında önemli bir düşüş tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, test bölümü yatay bir boru olan zorlanmış taşınım ile kaynamalı deney düzeneğinde farklı tipteki iç elemanların iki fazlı akışlarda yoğunluk değişim tipi ve basınç düşümü tipi osilasyonlara etkileri incelenmiştir. Bu osilasyonlar üzerine aşırı soğutma miktarının, akışkan giriş debisinin ve hatve oranlarının etkileri sabit ısı güç ve çıkış kısıtlayıcısı şartlarında araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deney Düzeneği



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

Şekil 1. Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü.

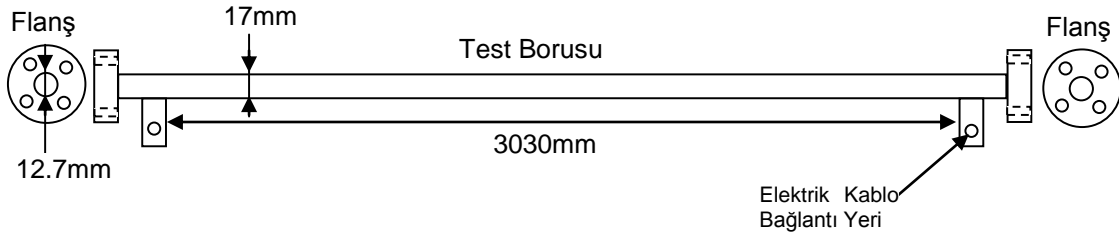
Şekil 1’de şematik olarak gösterilen deney düzeneği zorlanmış konveksiyonlu, kaynamalı yatay bir boru kanal sisteminden meydana gelmiştir. Bu çalışmada su kullanılan iki fazlı akışlarda test borusu içerisine yerleştirilen farklı yüzey konfigürasyonuna sahip ısı transfer yüzey artırım elemanlarının osilasyonlara etkisi incelenmiştir. Test borusu olarak 3030mm uzunluğunda 12.7mm iç, 17mm dış çapında 316l Cr-Ni paslanmaz çelik malzemeden yapılmış çekme boru kullanılmıştır (Şekil 2). Deney düzeneği akışkan besleme bölümü, test bölümü, akışkan depolama bölümü olmak üzere üç temel bölümden oluşmuştur.

2.1.1. Akışkan Besleme Bölümü

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

2.1.2. Test Bölümü

Test bölümü; dengeleyici tank (5), akışkan giriş kontrol vanası (6), ısıtıcı test borusunun yerleştirildiği test odası (7), test borusu (8), ısıtıcı test borusuna gerekli olan ısı gücünü temin eden bir DC güç kaynağı (9), test bölümü çıkışında kısıtlama görevi yapan bir orifis (10), dijital manometre (11), türbin tipi debi ölçer (12) ve basınç transdüserinden (13) oluşmaktadır. Test bölümü; kontrollü kaynama ve iki fazlı akış olaylarının meydana geldiği kısımdır. İki fazlı akış olaylarının gözlemlenmesinde ihtiyaç duyulan ölçümlerin büyük bir çoğunluğu deney düzeneğinin bu bölümünden yapılmaktadır. Dengeleyici tank ile test borusu arasında türbin tipi debi ölçer, Bourdon tipi manometre, basınç transdüseri ve sıcaklık ölçüm elemanı bulunmaktadır. Test odasından önce test bölümü girişinde ısıtıcı, test borusuna giren akışkanın giriş debisindeki mikro seviyelerdeki varyasyonları ölçmek amacıyla bir diferansiyel basınç transdüseri, akışkan giriş basıncını ölçmek amacıyla Bourdon tipi bir dijital manometre, girişte akışkan basınç seviyelerinde oluşabilecek mikro seviyedeki dalgalanmaları ölçebilecek bir basınç transdüseri ile yine test bölümü girişinde iş yapan akışkanın giriş sıcaklığını tespit etmek amacıyla da bir termokupul ölçüm elemanı sisteme monte edilmiştir. İş yapan akışkanın giriş sıcaklığı test bölümüne girmeden önce T tipi termoeleman ile ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan kütleli debi değerleri 25 – 140 g/s arasında değişmiştir.



Şekil 2. Test Borusu ve Bağlantı Flanşları.

Isıtıcı test borusuna gerekli olan ısı gücünü temin eden DC güç kaynağı yaklaşık 40 kW güç kapasitesine sahiptir. Isıtıcı borunun her iki ucu DC güç kaynağının pozitif (+) ve negatif (-) uçları ile bağlanarak gerekli ısı gücü temin edilmeye çalışılmıştır. Isıtıcı borunun her iki ucuna sistemin diğer kısımlarını elektriksel olarak izole etmek amacıyla yüksek sıcaklığa dayanıklı silindirik conta kullanılmıştır. Vida bağlantılarına porselen halka geçirilerek elektriksel izolasyon sağlanmıştır. Deney sisteminde istenilen basınç düşümünü sağlamak amacıyla test borusu çıkışına bir orifis levhası monte edilmiştir. Orifis levhasının giriş tarafındaki basınç Bourdon-tipi manometre, çıkış tarafındaki basınç ise Bourdon-tipi dijital manometre ile ölçülmüştür. Deneylerde orifis çapının boru çapına oranı 0.25 ve 0.45 olarak alınmıştır.

2.1.3. Akışkan Depolama Bölümü

Akışkan Depolama bölümü test bölümünden buhar fazında çıkan suyu başlangıç deney şartlarına getirmek amacıyla soğutup depolanmasını sağlar. Yoğuşturulan akışkan sıvı fazda depolama tankına sevk edilir. Bu tanktan ana besleme tankına iş yapan akışkan olan sıvı fazdaki suyun sevk edilmesi

yine yüksek basınç seviyesine sahip azot gazı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra iş yapan akışkan olan suyun sistemdeki çevrimsel sirkülasyonu aynı şekilde tekrarlanarak devam eder. Akışkan depolama bölümü; yoğunlaştırıcı (14), azot tankı (15), regülatör (16) ve akışkan depolama tankından (17) oluşmaktadır.

2.2. Sıcaklık, Basınç ve Debi Ölçümleri

Deney düzeneğinde toplam 30 adet sıcaklık ölçüm yerinde 0.25mm çapında T tipi bakır-konstantan termociftleri kullanılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu termoelemanlar vasıtasıyla alınan sıcaklık okuma hatası \pm % 0.5°C civarındadır. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkıştaki sıcaklıklarının ölçümü için 5mm çapında bir ucu kapalı ince bakır boru içerisine yerleştirilen termoelemanlar kullanılmış ve bakır boru test borusunun giriş ve çıkışında boru içerisine daldırılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. İki fazlı akış rejimlerini ve akış osilasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılan termociftler ise termoeleman uçlarının test borusu cidarının dış yüzeyine tespit edilmesi yoluyla ölçülmüştür. Test borusu yüzey sıcaklıkları eşit aralıklarla 14 tanesi üst cidar boyunca diğer 14 tanesi de alt cidar boyunca olmak üzere toplam 28 termoeleman çifti kullanılarak ölçülmüştür. Termoelemanlar ve basınç/debi transdüserlerinden alınan sinyallerin okunabilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla analog/dijital Advantec Data Okuma kartı kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde ana tank, dengeleyici tank, azot tankı, test borusu girişi ve orifisten önce ve orifisten sonraki basınçlar ölçülmüştür. Ana tank, dengeleyici tank, azot tankı ve orifisin girişindeki basınçlar analog Bourdon tipi manometreler kullanılarak ölçülmüştür. Orifisin çıkışındaki basınç ise dijital bir manometre kullanılarak ölçülmüştür. Analog manometrelerde okunan basınç değerlerindeki toplam hata oranı \pm %0.1 bar düzeyindedir. Test borusu girişinde ise giriş basıncını ve giriş basıncında oluşacak osilasyonları ölçmek amacıyla basınç transdüseri kullanılmıştır. Bu basınç transdüserinden alınan 4-20 mA seviyesindeki analog sinyaller data okuma kartıyla işlenmiştir. Basınç transdüserinden alınan datalardaki toplam hata oranı \pm %0.1 düzeyindedir.

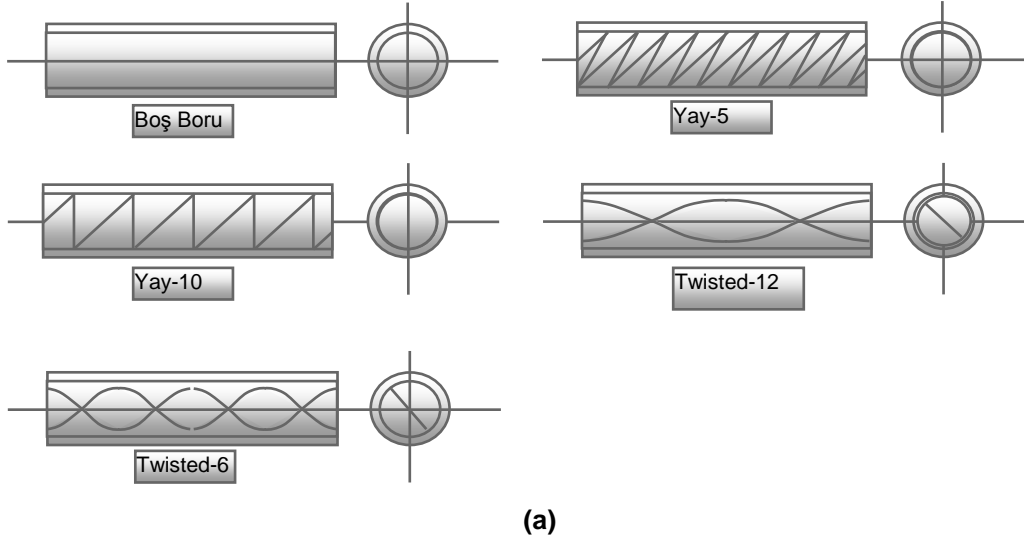
Kütlesel debi akış rejimlerinin, kararlılık sınırlarının ve osilasyon tiplerinin belirlenmesinde kullanıldığından çok hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Akışkanın debisini ölçmek ve ayarlamak amacıyla sistemde iki adet flowmetre kullanılmıştır. Bu flowmetrelerden birisinin ölçüm aralığı 0-400 l/h, diğerinin ölçüm aralığı ise 0-1000 l/h'dir. Bu flowmetreler kullanılarak bulunan kütlesel debi değerlerindeki toplam hata oranı \pm %0.4 civarındadır. Deneysel çalışmalar boyunca kullanılan maksimum ve minimum debi değerleri 25-140 g/s arasında değişmiştir. Sistemde oluşan debi osilasyonlarını ölçmek amacıyla türbin tipi debi ölçer kullanılmıştır. Debi ölçer deney sisteminde dengeleyici tank ile test borusu arasına monte edilmiştir. Debi ölçerden alınan veri okumalarındaki toplam hata oranı \pm %0.05'dir. Her bir deneysel adımda kullanılan güç değeri DC güç kaynağının üzerinde bulunan ayar düğmesiyle yapılmıştır. Yapılan hata analizi sonucu elektriksel güç değerlerinin ölçülmesinde ortaya çıkan toplam hata oranının \pm % 0.2 düzeyinde olduğu bulunmuştur.

2.3. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmalar kararlı deneyler ve kararsız deneyler olmak üzere iki kategoride yapılmıştır. Kararlı deneylerde kararlı durum karakteristikleri belirlenmiş, kararsız deneylerde ise iki fazlı akış dinamik kararsızlıkları araştırılmıştır. Sabit ısı gücü, giriş aşırı soğutmasının kararlı ve kararsız durum karakteristiklerine etkisini belirlemek amacıyla 15, 25 ve 35°C olmak üzere üç farklı akışkan giriş sıcaklığında ve 5 farklı boru tipinde, sabit çıkış orifis çapında deneyler yapılmıştır. Şekil 3.14'de bu ısı transfer yüzeyleri ve karakteristikleri verilmiştir. Şekil 3.15. ısı transfer iyileştirme elemanlarının fotoğrafını göstermektedir. Boru-1 içerisinde yüzey artırma elemanı olmayan yalın boru, Boru-2 ve Boru-3 farklı adımlara sahip yay elemanları içeren borular, Boru-4 ve Boru-5 ise içerisinde farklı adımlara sahip bükülmüş şerit içeren borulardır. Şekil 3.14'de de gösterildiği gibi ısı transfer yüzeyleri efektif çapla karakterize edilmektedir. Efektif çap aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Deneylerde BDO ve YDO gibi iki fazlı akış dinamik kararsızlıkları araştırılmıştır. Bu deneylerin amacı belirli çalışma koşullarında ortaya çıkan kararsızlıkları, sınırlarını ve tiplerini belirlemek ve bunların oluştuğu çalışma koşullarını ve geometrik parametrelerini tespit etmektir. Kararsızlıkları elde etmek

için sistemde bir hacmin olması gerekir. Deney sisteminde sıkıştırılabilir hacim test kısmından önce yerleştirilen dengeleyici tankta sağlanmıştır. Dengeleyici tanktaki akışkan seviyesi basınçlı azot gazı kullanılarak belirli seviyede tutulmuştur. Osilasyon genlik ve periyotları, kararsızlık sınırları vb. kararsızlık parametrelerini karşılaştırabilmek amacıyla tüm deneylerde sıkıştırılabilir hacim sabit tutulmuştur. Osilasyonlar esnasında basınç ve kütleli debi değiştiğinden sıkıştırılabilir hacmin büyüklüğü de değişmektedir.



Boru İsmi	Borunun Karakteristiği	De (mm)
Boru-1	Boş boru	8,95
Boru-2	Tel çapı: 1.8 mm, yay adımı: 5 mm olan boru	7,96
Boru-3	Tel çapı: 1.8 mm, yay adımı: 10 mm olan boru	8,44
Boru-4	Bükülmüş şerit adımı: 120 mm	8,5
Boru-5	Bükülmüş şerit adımı: 60 mm	8,6



Şekil 3. (a) Test borusu tipleri (b) Isı transfer yüzey konfigürasyonları ve karakteristikleri, (c) yüzey elemanları

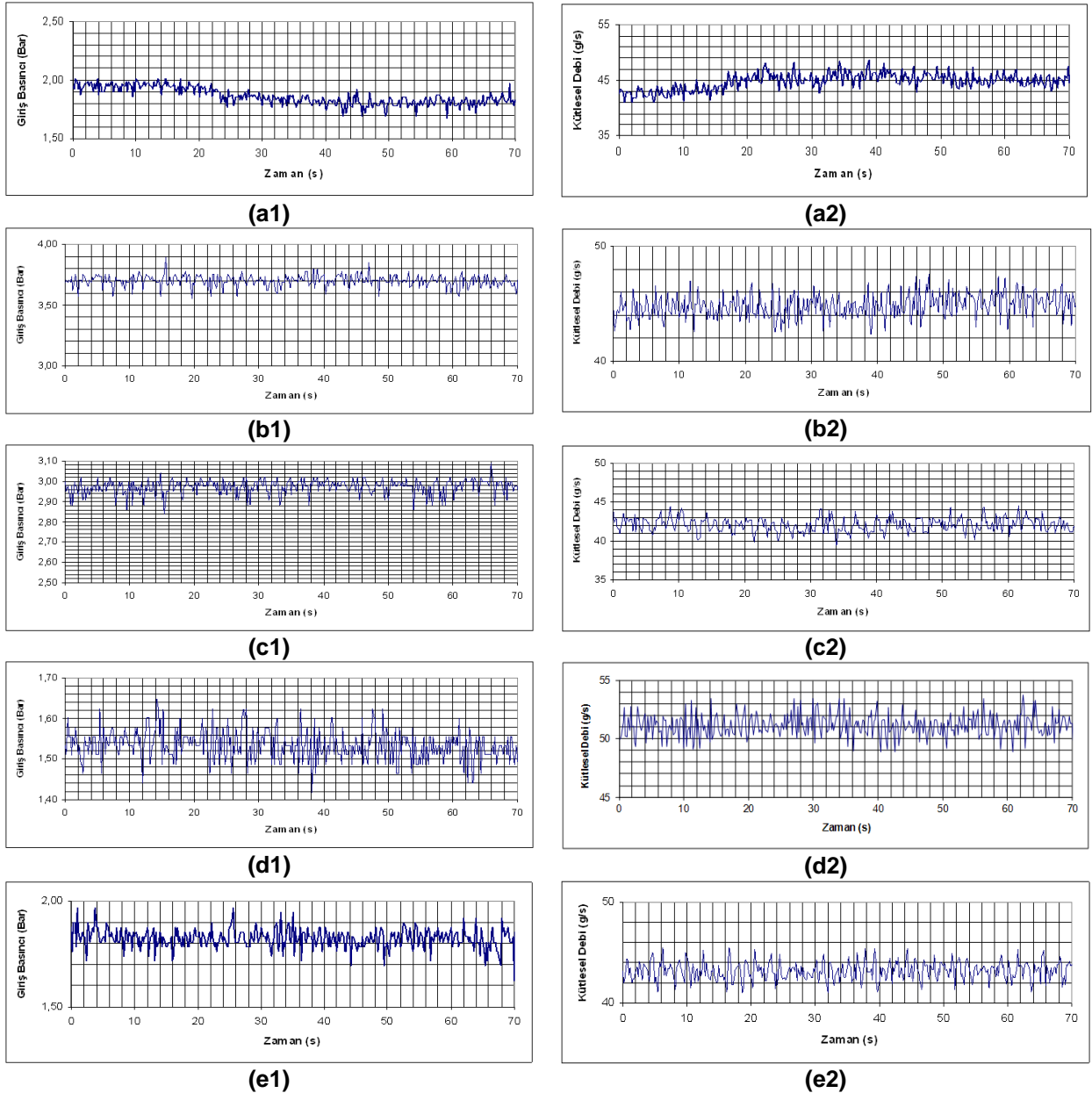
3. SONUÇLAR

Basınç düşümü tipi osilasyonlarının kararsız akış ortamında oluşan dinamik kararsızlıklardandır. Bu kısımda beş farklı test borusu için aşırı soğutma seviyesi ve kütleli debi parametrelerine göre incelemeler yapılmıştır. Basınç düşümü osilasyonların meydana gelmesinde temel etken sıkıştırılabilir bir hacmin olmasıdır. Eğer test kısmı çok uzunsa, buradaki iç sıkıştırılabilirlik, basınç düşümü tip osilasyonlarının meydana gelmesinde yeterlidir. Eğer test kısmı uzunluğu yeteri kadar uzun değil ise sıkıştırılabilir hacim test kısmının önüne yerleştirilen bir dengeleyici tank ile sağlanır. Deney sisteminde sıkıştırılabilir hacim N_2 gazı tankı vasıtası gerçekleştirilmiştir.

Tüm borular için BDO'lar tek giriş sıcaklığı ($T_g=15^\circ C$) için Şekil 4'de verilmiştir. Yüzey artırımı dört farklı test borusu için BDO'ları farklı giriş sıcaklıkları ve kütleli debiler için verilmiştir. Grafikler

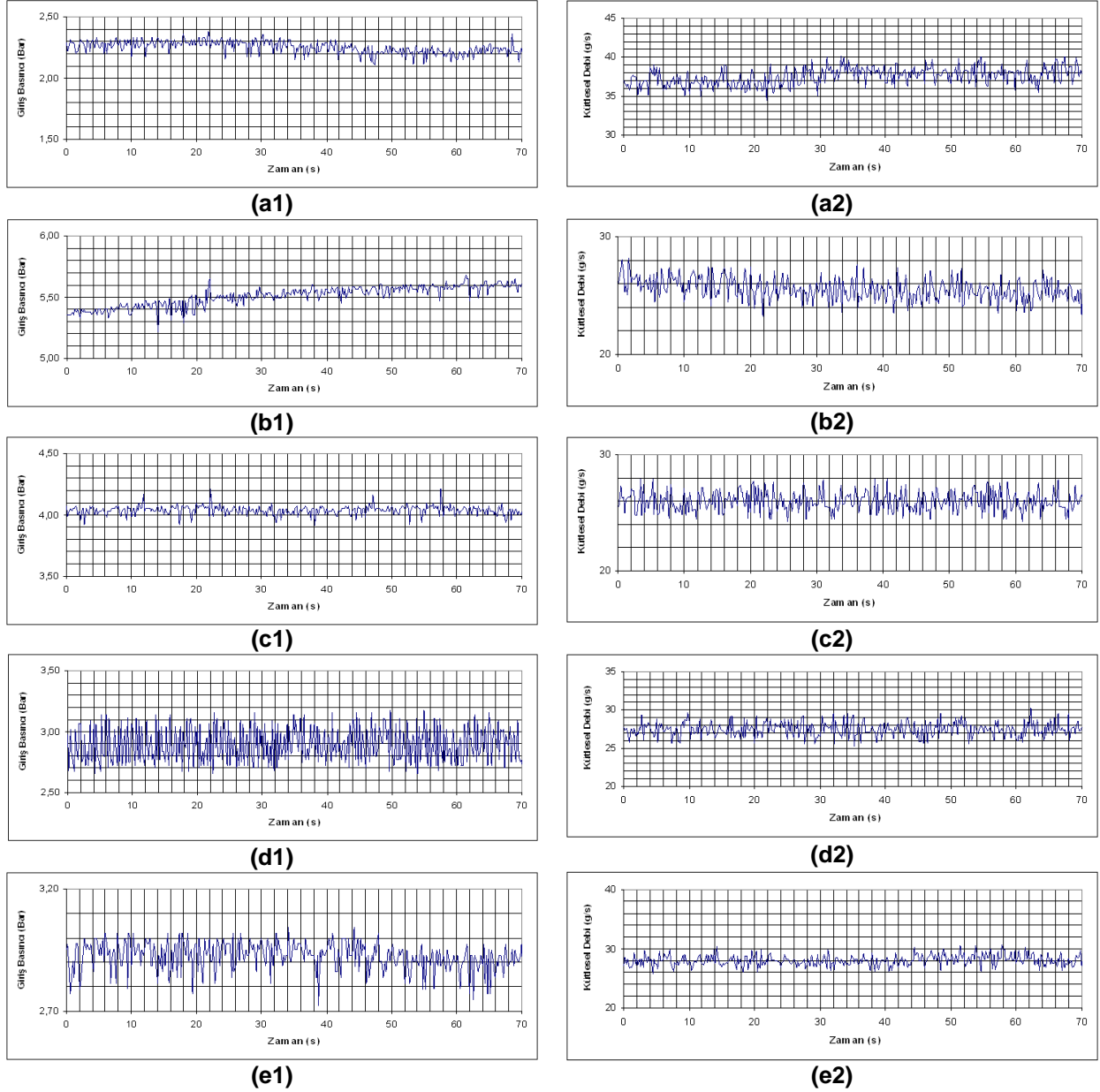
zamana bağlı giriş basıncı ve kütesel debi değerleri için çizilmiştir. Kullanılan bütün borularda BDO tip osilasyonlar oluşmuş ve bu osilasyonlar giriş basıncı ile kütesel debide büyük genlikli çalkantılara neden olmuşlardır. BDO osilasyonları her beş boru için de kararlı durum karakteristik eğrisinin negatif eğimli bölgesinde oluşmuştur. Ayrıca bütün borularda giriş basıncında gözlemlenen osilasyonlarla beraber kütesel debide de osilasyonlar gözlemlenmiştir.

Basınç düşümü osilasyonlarla süperimpozed biçimde ortaya çıkan yoğunluk değişim tipi osilasyonlar, kararlı durum karakteristik eğrisinin negatif eğimli bölgesinde meydana gelmektedir. Yoğunluk değişim tipi osilasyonlar akış ortamında tam kaynama durumunda ve akış biçiminin hidrodinamik davranışları sonucu ortaya çıkmaktadır. Saf YDO'nun genlik ve periyot değerleri BDO'ya kıyasla daha düşüktür. Ayrıca saf YDO'lar boş boru tipinde yüzey artırımı borulara kıyasla daha büyük kütesel debilerde ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 4. Basınç düşümü osilasyonları ($Q=24$ kW, $T_g=15^\circ\text{C}$); (a1,2) Boru-1, (b1,2) Boru-2, (c1,2) Boru-3, (d1,2) Boru-4, (e1,2) Boru-5.

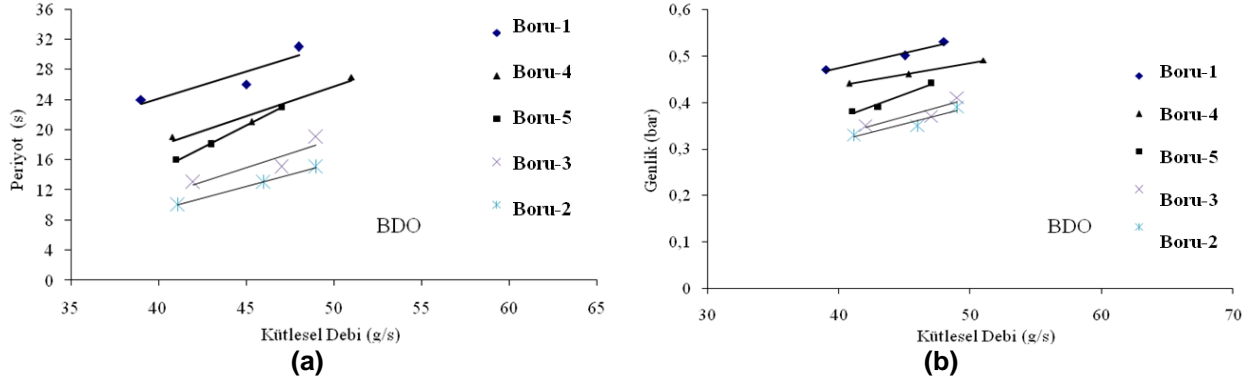
Boş boru tipi ve yüzey artırımı dört farklı test borusu için saf YDO'ları sabit giriş sıcaklığı ($T_g=15^\circ\text{C}$) için verilmiştir. Şekil 5a'da Boş boru yani Boru-1 için örnek yoğunluk değişim tipi osilasyonlar, 5d'de Boru-4 borusuna ait saf yoğunluk değişim tipi osilasyonlar, 5e'de Boru-5'e ait saf yoğunluk değişim tipi osilasyonlar, 5c'de Boru-3'e ait saf yoğunluk değişim tipi osilasyonlar ve 5b'de Boru-2'ye ait saf yoğunluk değişim tipi osilasyonlar gösterilmiştir. Bütün borularda giriş basıncında gözlemlenen osilasyonlarla beraber kütesel debide de osilasyonlar gözlemlenmiştir. Giriş basıncındaki en büyük osilasyonlar Boru-4 ve 5'te meydana gelmiştir. Kütesel debideki en büyük osilasyonlar ise Boru-2 ve 3'te meydana gelmiştir.



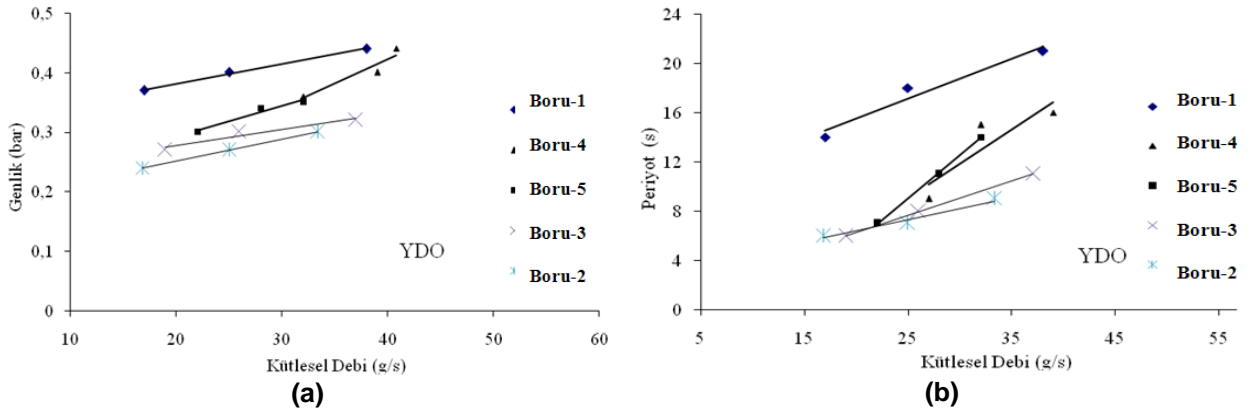
Şekil 5. Saf yoğunluk değişim tipi osilasyonlar ($Q=24 \text{ kW}$, $T_g=15^\circ\text{C}$); (a1,2) Boru-1, (b1,2) Boru-2, (c1,2) Boru-3, (d1,2) Boru-4, (e1,2) Boru-5.

Şekil 6a ve b'de ise akışkanın kütesel debilerine bağlı olarak elde edilen BDO periyot ve genlikleri görülmektedir. Şekiller, kütesel debideki azalma ile osilasyonların genlik ve periyotlarının azaldığını göstermektedir. Bütün test boruları için artan kütesel debi miktarı ile giriş basınçlarına ait periyot ve genliklerin arttığı görülmektedir. Genlik ve periyotların büyüklükleri açısından bir sıralama yapılırsa boş boru tipinde genlik ve periyot miktarı büyüklüğü diğer yüzey artırımı borulara oranla daha büyük

olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6a ve b'de verilen grafiklerde genlik ve periyot değerlerine bakılırsa büyükten küçüğe doğru, Boru-1 > Boru-4 > Boru-5 > Boru-3 > Boru-2, şeklinde sıralanmaktadır. Bu sıralamaya göre efektif çapı büyük olan boş boru, en büyük genlik ve periyot değerine; efektif çapı en küçük olan Boru-2 borusu ise en küçük genlik ve periyot değerine sahiptir. Yani efektif çap arttıkça periyot ve genliklerin arttığını söyleyebiliriz. Ayrıca aynı şekle sahip yüzey artırım elemanları için adım büyüklüğü arttıkça genlik ve periyotlarında arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Tüm borular için (a) giriş basınç periyotlarına kütleli debinin etkisi, (b) basınç genliklerine kütleli debinin etkisi.



Şekil 7. Tüm borular için (a) giriş basınç genliklerine kütleli debinin etkisi, (b) basınç periyotlarına kütleli debinin etkisi.

Şekil 7a'da beş test borusu için değişen kütleli debilere karşılık giriş basıncında oluşan değişimler verilmiştir. Bütün test boruları için artan kütleli debi miktarı ile giriş basınçlarında arttığı görülmektedir. Genliklerin büyüklükleri açısından bir sıralama yapılırsa boş boru tipinde genlik miktarı büyüklüğü diğer yüzey artırımı borulara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 7a'da verilen grafikte genlik değerlerine bakıldığında genlik değeri büyükten küçüğe doğru, Boru-1 > Boru-4 > Boru-5 > Boru-3 > Boru-2, şeklinde sıralanmaktadır.

Şekil 7a'ya benzer olarak tüm test boruları için değişen kütleli debi değerlerine karşılık osilasyon periyotlarında oluşan değişimler Şekil 7b'de verilmiştir. Genliklerde olduğu gibi değişen kütleli debi değerleriyle lineer değişim arz eden durum periyotlar içinde geçerli olmaktadır. Artan kütleli debi değerine karşılık periyotların arttığı tespit edilmiştir. Periyotların tüm test boruları için büyüklüklerinde yüzey artırımı elemanlara göre boş boru için en büyük olmuştur. Şekil 7b'de verilen grafikte periyot değerlerine bakılırsa periyot değerleri büyükten küçüğe doğru, Boru-1 > Boru-4 > Boru-5 > Boru-3 > Boru-2, şeklinde sıralanmaktadır. Saf YDO'lar için yapılan sıralamaya göre efektif çapı büyük olan boş boru yani Boru-1, en büyük genlik ve periyot değerine; efektif çapı en küçük olan boru Boru-2 ise en küçük genlik ve periyot değerine sahiptir. Yani efektif çap arttıkça periyot ve genliklerin arttığını söyleyebiliriz. Ayrıca aynı şekle sahip yüzey artırım elemanları için adım büyüklüğü arttıkça genlik ve periyotlarda artmıştır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada zorlanmış konveksiyonlu kaynamalı yatay borularda meydana gelen iki fazlı kararlı ve kararsız akış olayları ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır. İş yapan akışkan olarak su kullanılan kaynamalı yatay bir boru sisteminde deneyler yapılmış ve biri boş boru olmak üzere beş farklı ısı transfer yüzey konfigürasyonu kullanılmıştır. Deneylerde sabit ısı gücü, üç farklı giriş aşırı soğutması ve tek çıkış orifis çapı kullanılarak farklı yüzey artırım elemanlarının iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Beş ayrı test borusu için verilen karakteristik eğrilerde basınç düşümü değerleri birbirlerinden farklılıklar göstermiştir. Yüzey artırım elemanı kullanılmış test borularındaki basınç düşümü değerleri, boş boruda elde edilen basınç düşümü değerinden yüksek olduğu bulunmuştur.
- Deneysel çalışmalarda kullanılan beş farklı test borusu sabit ısı gücü, sistem basıncı, çıkış kısıtlayıcısı ve sıkıştırılabilir hacim gibi faktörlerle değişen kütleli debi değerine bağlı osilasyonlar görülmüştür. Bu osilasyonlar, BDO, saf YDO'lardır.
- Her beş test borusunda da BDO tip osilasyonlar oluşmuş ve bu osilasyonlar giriş basıncı ile kütleli debide büyük genlikli çalkantılara neden olmuşlardır. BDO osilasyonları tüm test boruları için kararlı durum karakteristik eğrisinin negatif eğimli bölgesinde oluşmuştur. Tüm test borularında giriş basıncında gözlemlenen osilasyonlarla beraber kütleli debide de osilasyonlar gözlemlenmiştir.
- BDO ve YDO'ların yüzey artırımı borularda genlik artışları boş boru da olandan daha düşük olmuştur.
- BDO ve YDO'lar için kütleli debi miktarı azaldıkça genlik ve periyotların azaldığı, giriş aşırı soğutma miktarı arttıkça genliklerin ve periyotların arttığı görülmüştür.
- Bütün test borularında BDO ve YDO'lar için artan kütleli debi miktarı ile giriş basınçlarının periyot ve genliklerinin arttığı görülmüştür. Genlik ve periyotların büyüklükleri açısından bir sıralama yapıldığında boş boru tipinde genlik ve periyot miktarı büyüklüğü diğer yüzey artırımı borulara oranla daha fazla olmuştur. Genlik ve periyot değerlerine göre büyükten küçüğe doğru; Boru-1 > Boru-4 > Boru-5 > Boru-3 > Boru-2, şeklinde sıralanmaktadır. Bu durum efektif çapı büyük olan borudan küçük olan boruya doğru yapılan sıralama ile aynıdır. Bu bakımdan efektif çapın kararlılık açısından bir parametre olduğu söylenebilir. Yani efektif çap küçüldükçe sistem daha kararlı bir yapıya yönelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ömeroğlu G., 2012, Türbülantörlerin iki fazlı akış kararsızlıklarına etkisinin incelenmesi, Doktora tezi, Atatürk Ün. Mühendislik Fakültesi, Erzurum.
- [2] Bergles, A. E., 1977. Review of instabilities in two phase systems. Two Phase Flows and Heat Transfer, Kakaç, S. and Mayinger, F. (ed.), 1, p 383- 385.
- [3] 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.
- [4] Widmann, F., Çomaklı, Ö., Gavrilescu, C.O., Ding, Y. and Kakaç, S., 1995. The effect of augmented surfaces on two-phase flow instabilities in a horizontal system. Journal of Enhanced Heat Transfer , 2(4), 263-271.
- [5] Wong, T.N. and Yau, Y.K., 1997. Flow patterns in two-phase air-water flow, Int.Comm. Heat Transfer, 24, p 111-118.
- [6] Bao, Z.Y., Fletcher, D.F., Haynes B.S., 1999. An experimental study of gas-liquid flow in a narrow conduit. International Journal of Heat and Mass Transfer, 43, p 2313-2324.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] Çomaklı, O., Karslı, 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.
- [10] 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.
- [11] Coleman, J. W. and Garimella, S., 2002. Two-phase flow regimes in round, square and rectangular tubes during condensation of refrigerant R134a. International Journal of Refrigeration, 26, p 117–128.
- [12] Karslı, S., Yılmaz, M., Çomaklı, 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.
- [13] Leung, L.K.H., Groeneveld, D.C., Teyssedou, A., Aub'è, F., 2004. Pressure drops for steam and water flow in heated tubes. Nuclear Engineering and Design, 235, p 53–65.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan ÖMEROĞLU

1982 yılı Erzurum doğumludur. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ve Atatürk Üniversitesinden 2012 yılında Doktor unvanını almıştır. 2012 yılından beri Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Öğr. Gör. Olarak görev yapmaktadır. İki fazlı akış, ısı transferi iyileştirmesi alanlarında çalışmaktadır.

Şendoğan KARAGÖZ

1970 yılı Zonguldak doğumludur. 1985 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Sakarya Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1988 yılında Yüksek Mühendis, 1991 yılında Doktor unvanını almıştır. 1998-2007 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Isı transferi ve iki fazlı akış konularında çalışmaktadır.

Ömer ÇOMAKLI

1962 yılı Erzurum doğumludur. 1996 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis, 2007 yılında Doktor unvanını almıştır. 1986-1991 yılları arasında Atatürk Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Isı transferi ve iki fazlı akış konularında çalışmaktadır.

Eyüphan MANAY

1985 yılı Erzurum doğumludur. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Erciyes Üniversitesi'nden 2010 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başlamıştır. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik&Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde görevine devam etmektedir. Isı transferi, akış görüntüleme, mikrokanallar ve nanoakışkanlar konularında çalışmaktadır.