

SABİT GİRİŞ SICAKLIĞINDA BÜKÜLMÜŞ ŞERİT ELEMANLARIN DİNAMİK AKIŞ KARARSIZLIKLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gökhan ÖMEROĞLU
Ömer ÇOMAKLI
Şendoğan KARAGÖZ
Bayram ŞAHİN

ÖZET

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; ısıl yorulmalar, kaynama krizleri, mekanik titreşimler yüksek geçici sıcaklıkların neden olduğu kontrol zorluğu ve yüzeyde meydana gelen burn-out olayı olarak sıralamak mümkündür. Bu çalışmada, sabit giriş sıcaklığında bükülmüş şerit elemanların dinamik akış kararsızlıklarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sabit sistem basıncında yürütülmüş ve test borusu cidarına sabit ısı akısı uygulanmıştır. Sonuçlar termal osilasyonlar açısından değerlendirilmiştir ve boş boru ile kıyaslanmıştır.

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

ABSTRACT

In lots of industrial systems in which boiling heat transfer occurs, the flow instabilities consisting based on the boiling heat transfer causes the parts in which heat is transferred to break down. The fact that the parameters like system pressure and mass flow rate oscillate shortens the life of the process systems in operating conditions. It is possible to order the events shortening the life of the systems depend on the oscillations as the thermal fatigues, boiling crises, mechanical vibrations, the difficulty of the control caused by the transient temperatures and the burn-out occurring on the surface. In this study, the effects of the twisted tape elements on the two phase flow instabilities were investigated experimentally at the constant inlet temperature. The experiments were conducted at the constant system pressure and, the constant heat flux is applied to the outer surface of the test tube. The results were examined in terms of the thermal oscillations and were compared to the smooth channel.

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

1. GİRİŞ

İki fazlı akış biçimini kategorize eden ana özellik, iki faz arasında meydana gelen ara yüzeylerin aldığı şekillerdir. Oluşan bu şekiller üzerinde akış yönünün etkisi oldukça belirgindir. İki fazlı akışlar akış şekline göre yatay, düşey ve eğik olarak sınıflandırılır. Akış yönü biçimlerine göre yatay, düşey ve eğik sistemlerde meydana gelen akış rejimleri ve karakteristikleri birbirlerinden farklı özellikler gösterirler.

Gösterdikleri özelliklere göre ayrılan sistemlerde yerçekimi kuvvetinin akış yönüne göre etki ettiği yön, temel sınıflandırmayı beraberinde getirir. Yatay akış sistemine etkiyen yer çekimi kuvvetinin akış yönüne dik olarak etki etmesi sebebiyle, buhar ve sıvı faz arasında bir ayrılma oluşabilmektedir. Yoğunluğu düşük olan buhar üst bölgede yer bulurken yoğunluğu yüksek olan sıvı alt bölgede toplanır. Buhar fazının ısı transfer katsayısının sıvı fazından daha düşük olması, yatay sistemlerin üst bölgelerinde “burn-out” diye tabir edilen olayın meydana gelmesine sebebiyet verir. Doğal olarak düşey ve eğik akışlı sistemlerde yerçekimi kuvvetinin akış sistemine paralel veya eğik yönlü etki etmesi, ara yüzeylerin aldığı şekiller bakımından yatay akışlı sistemlerden daha az olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle akış rejimleri, iki fazın mutlak ve bağlı akış debilerine, sistem geometrisine ve fazlar üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkiye bağlıdır (Ömeroğlu, 2012).

İki fazlı akış sistemlerinde kararsızlıklar, “statik kararsızlıklar” ve “dinamik kararsızlıklar” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Akış şartlarının gerçek kararlı durumu küçük bir değişmeye maruz kaldığında yeni çalışma bölgesi gerçek çalışma bölgesinden başka bir yöne doğru asimptotik halde kayıyorsa, bu tip kararsızlıklar “statik kararsızlıklar” olarak adlandırılır. Akış gezintisi, kaynama krizi gibi olaylar statik kararsızlıklar için örnek olarak verilebilir. Eğer atalet ve diğer geri-besleme etkileri prosete önemli bir etkiye sahipse bu durumda ortaya çıkan kararsızlıklara ise “dinamik kararsızlıklar” denir. Bu kararsızlıklar, akışın ataleti ile iki fazlı karışımın sıkıştırılabilirliği arasında yeterli etkileşimden, kaynamanın oluştuğu 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 (Bergles 1977; Kakaç 1994).

Tadrist (2006) dar alanlarda iki fazlı akış kararsızlıklarını incelemiştir. İki fazlı akış kararsızlıklarının analizini, hidrolik çapı 10mm'den daha büyük boruları baz alarak karşılaştırmıştır. Temel kararsızlık tipleri mevcut deneysel sonuçlar ve modellere göre kıyaslanmıştır. İki fazlı akış kararsızlıkları, hidrolik çap ne olursa olsun karmaşık bir yapıya sahiptir. Li et al. (2006) iş yapan akışkan olarak nitrojen kullanılan, yukarı doğru kaynamalı iki fazlı akışın oluşumu sırasında, basınç düşümü karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Deneysel verilere karşı sayısal sonuçların karşılaştırılması, basınç düşümü eğrisindeki geçiş noktasının daha önce olduğunu göstermiş ve basınç düşümü tahminleri deneysel verilerle oldukça iyi bir uyum göstermiştir. Spedding et al. (2006) çok fazlı yatay boru akışında basınç düşümü tahmini için yaptıkları araştırmada, ampirik korelasyonları, basınç düşümü tahmini için iki fazlı boru akışı verileri ile test etmişlerdir. Momentum balans modeli, borudaki üç fazlı basınç düşümü tahminine başarılı bir şekilde ilişkilendirilememiştir.

Kakaç et al. (2007) boru kaynamalı sistemlerde iki fazlı akış dinamik kararsızlıklarını incelemiştir. Çalışmada homojen akış modeli ve drift akış modelleri çözüm örnekleri ile beraber açıklanmış, model sonuçlarının deneysel bulguları ile doğrulaması verilmiştir. İki fazlı akış problemlerinin en genel formülasyonu olan ayrılmış akış modeli, fazların her biri için ayrı ayrı yazılan korunum denklemleri için uygulanmıştır. Mauro et al. (2007) bu çalışmada mevcut ve yeni iki fazlı basınç düşümü verilerini tahmin yöntemleri ile kapsamlı bir karşılaştırma yapmak için kullanmışlardır. Quibén et al. (2007) çalışmalarında yatay borulardaki buharlaşma süresinde meydana gelen iki fazlı sürtünmeli basınç düşümünün analitik araştırmasına yer vermişlerdir. Deneysel veriler, akış modeli haritasına dayalı iki fazlı sürtünmeli basınç düşümü modelini geliştirmek için Wojtan–Ursenbacher–Thome akış modelinin kullanıldığı akış rejimi ile birbirinden ayrılmıştır. Çalışmada uygulanan yeni model detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.

Yılmaz vd (2007) iki fazlı akışta kullanılan ısı transfer iyileştirme yöntemlerini ayrıntılı olarak incelemiş ve iki fazlı akışlarda ısı transfer iyileştirilmesi ile ilgili temel bulguları vurgulamışlardır. Çeşitli pasif ve aktif ısı transfer iyileştirme yöntemlerinin geniş koşullar altındaki iki fazlı akış ısı taşınım katsayılarını artırdığı belirlenmiştir. Çomaklı vd (2007) çalışmada iş yapan akışkan olarak su kullanıldığı yatay bir borudaki iki fazlı akış kararsızlık karakteristikleri deneysel olarak incelemiştir. İki fazlı bölgede belirli bir kütleli debi değerinde giriş sıcaklığı arttıkça basınç düşümünün arttığı gözlenmiştir. Sisteme verilen ısı gücü artmasıyla kararlı durum karakteristik eğrisinde minimum nokta sağa doğru kaymış ve iki fazlı akış bölgesi daha yüksek kütleli debilerde başlamıştır. Yoğunluk değişim osilasyonların genlik ve periyotları basınç düşümü osilasyonlarının genlik ve periyotlarından daha düşük olduğu görülmüştür.

Sotgia et al. (2008) yağ-su karışımları içinde basınç düşümü azalması ve akış rejimlerini deneysel olarak analiz etmişlerdir. 21 ile 40 mm arasında değişen çaplarda yedi farklı ryrex ve pleksiglas borular kullanılmıştır. Poesio (2008) çalışmasında yağ-su karışımının slug akışı için deneysel araştırma yapmış ve yeni bir veri kümesi oluşturmuştur. İlk olarak, slug akışın varlığını akış haritasında göstermiş ve basınç düşümü ölçümlerini vermiştir. Sıvı-gaz aralıklı akışın aksine, basınç düşümü değerleri akışın dinamiksel yapısının özeliğini vermediği görülmüştür. Shannak (2008) sırasıyla dikey ve yatay, nispeten düzleştirilmiş kanallarda hava-su iki fazlı akışın sürtünmeli basınç düşümünü belirlemek için deneyler yapmıştır. Bu çalışmada, iki fazlı akışın sürtünmeli basınç düşümü ile ilişkili hava-su karışımı ölçülmüştür. Pürüzlü dikey ve yatay düzleştirilmiş borularda sürtünmeli basınç düşümü üzerine ve göreceli pürüzlülük etkisine odaklanılmıştır. Göreceli pürüzlülüğün etkisinin, özellikle yüksek buhar kalitesi ve daha yüksek kütle debisi için daha önemli olduğu bulunmuştur.

Çomaklı vd (2008) yatay bir borudaki kaynamalı iki fazlı akış kararsızlıkları ve akışkan tipinin etkileri üzerine inceleme yapmışlardır. Çalışmada kararlı durum eğrileri, basınç düşümü titreşimleri ve yoğunluk değişim tipi titreşimlerine, akışkan tipinin etkileri incelenmiştir. İş yapan akışkan olan su için basınç düşümü ve yoğunluk değişim tipi titreşimlerinin genlik ve periyotlarının, R-11 iş yapan akışkanı için olan değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Giriş sıcaklıkları arttıkça genliklerin ve periyotların arttığı, kütleli debi azaldıkça genliklerin ve periyotların azaldığı gözlemlenmiştir. Aşırı soğutma seviyesinin artmasıyla kaynamanın başladığı noktanın daha düşük kütleli debilere doğru kaydığı anlaşılmıştır. Karakteristik eğrilerin benzer formda ve eğrilerin her birinin yatık "S" şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Karagöz et al. (2008) yatay su kaynamalı, elemanlı boruda yoğunluk dalga akış osilasyonları üzerine araştırma yapmışlardır. Yoğunluk dalga tipi osilasyonlarının diğer dinamik osilasyon tipleri ile kıyaslandığında daha küçük genliklere ve daha yüksek frekanslara sahip oldukları görülmüştür. Quibén et al. (2009) çalışmalarında, 2 ve 3mm yüksekliğinde 4 farklı yatay yassılaştırılmış bakır boru kullanılarak, kaynamalı akıştaki iki fazlı basınç düşümü değerleri belirlenmiştir. Isı akısının iki fazlı sürtünmeli basınç düşümü değerleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Venkatesan et al. (2010) çalışmalarında, dar bir boru içerisindeki iki fazlı basınç düşümü değerleri üzerine çapın etkisini incelemişlerdir. İki fazlı sürtünmeli basınç düşümü üzerine boru çapının etkisi, 0.6, 1.2, 1.7, 2.6 ve 3.4 mm iç çaplara sahip dairesel borularda, hava ve su kullanılarak incelenmiştir. Annular rejimdeki akım tabakalaşmanın, küçülen yüzey gerilimine etkisinin çok önemli olduğu anlaşılmıştır. Mevcut modellerin görüntülenen tüm akış rejimleri için basınç düşümünü belirlemede yetersiz oldukları görülmüştür. Sıvı gaz etkileşim parametresinin akış rejimi tabanlı modifikasyon yaklaşımı, dar borularda basınç düşümünü belirlemek için çok önemli bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Liang et al. (2010) yatay düz boru evaporatöründe iki fazlı akış kararsızlıkları üzerine araştırma yapmışlardır. Basınç düşümü ve kütleli debi arasındaki ilişki, sabit ısı akısı ve buharlaşma basıncı ile ölçülmüştür. Yoğunluk dalga osilasyonları hemen hemen tüm kütle hızlarında görülmüş, düşük genliklere sahip oldukları ve periyotlarının 1 ile 3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Basınç düşümü osilasyonu ve termal osilasyon sınır başlangıç değerleri deneysel olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada, sabit giriş sıcaklığında bükülmüş şerit elemanların dinamik akış kararsızlıklarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sabit sistem basıncında yürütülmüş ve test borusu cidarına sabit ısı akısı uygulanmıştır. Sonuçlar basınç düşümü tipi ve yoğunluk değişim tipi osilasyonlar açısından değerlendirilmiştir ve boş boru ile kıyaslanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deney Düzenegi

Şekil 1'de şematik olarak gösterilen deney düzenegi 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

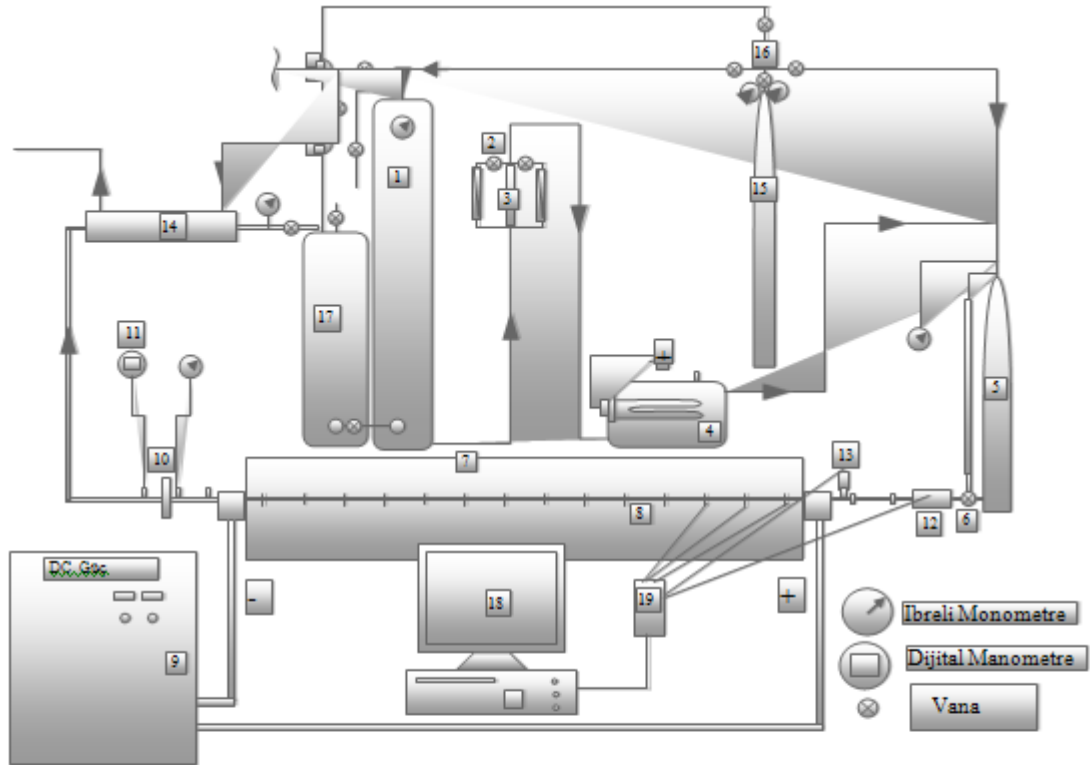
düzeneği akışkan besleme bölümü, test bölümü, akışkan depolama bölümü olmak üzere üç temel bölümden oluşmuştur.

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.

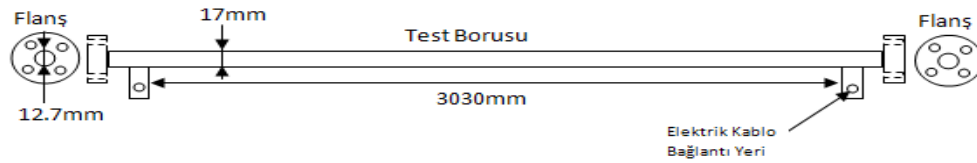
2.1.2. Test Bölümü

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.



<u>Akışkan Besleme Bölümü</u>	<u>Test Bölümü</u>	<u>Akışkan Çıkış Bölümü</u>
1- Ana besleme tankı	5- Dengeleyici tank	14- Yoğuşturucu
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 Düzeneyinin Şematik Görünümü.



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; yoğusturucu (14), azot tankı (15), regülatör (16) ve akışkan depolama tankından (17) oluşmaktadır.

2.2. Sıcaklık, Basınç ve Debi Ölçümleri

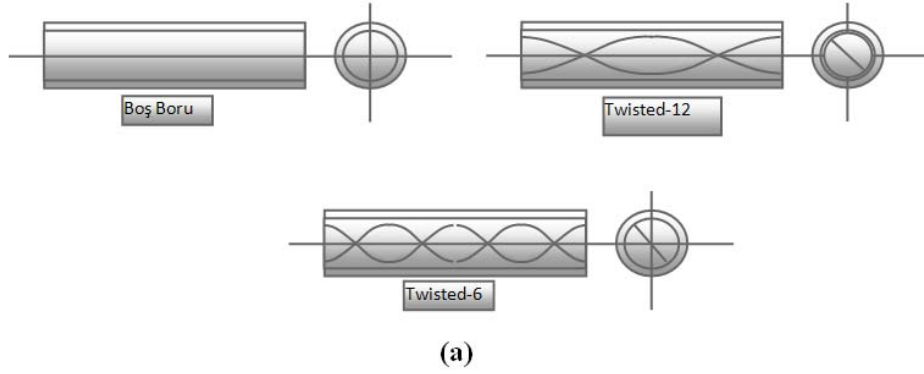
Deney düzeneğinde toplam 30 adet sıcaklık ölçüm yerinde 0.25mm çapında T tipi bakır-konstantan termociftleri kullanılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu termoelemanlar vasıtasıyla alınan sıcaklık okuma hatası $\pm\% 0.5^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Akışkanın test borusuna giriş ve çıkıştaki sıcaklıklarının ölçümü için 5mm çapında bir ucu kapalı ince bakır boru içerisine yerleştirilen termoelemanlar kullanılmış ve bakır boru test borusunun giriş ve çıkışında boru içerisine daldırılarak sıcaklıklar ölçülmüştür. İki fazlı akış rejimlerini ve akış osilasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılan termociftler ise termoeleman uçlarının test borusu cidarının dış yüzeyine tespit edilmesi yoluyla ölçülmüştür. Test borusu yüzey sıcaklıkları eşit aralıklarla 14 tanesi üst cidar boyunca diğer 14 tanesi de alt cidar boyunca olmak üzere toplam 28 termoeleman çifti kullanılarak ölçülmüştür. 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 orifisden önce ve orifisden 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. 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. Şekil 3, ısı transfer iyileştirme elemanlarının fotoğrafını göstermektedir. Boru-1 içerisinde yüzey artırma elemanı olmayan yalın boru, Boru-2 ve Boru-3 ise içerisinde farklı adımlara sahip bükülmüş şerit içeren borulardır. Şekil 3'de de gösterildiği gibi ısı transfer yüzeyleri efektif çapla karakterize edilmektedir. Efektif çap aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.



Boru İsmi	Borunun Karakteristiği	De (mm)
Boru-1	Boş boru	8,95
Boru-2	Bükülmüş şerit adımı: 120 mm	8,5
Boru-3	Bükülmüş şerit adımı: 60 mm	8,6



(b)

(c)

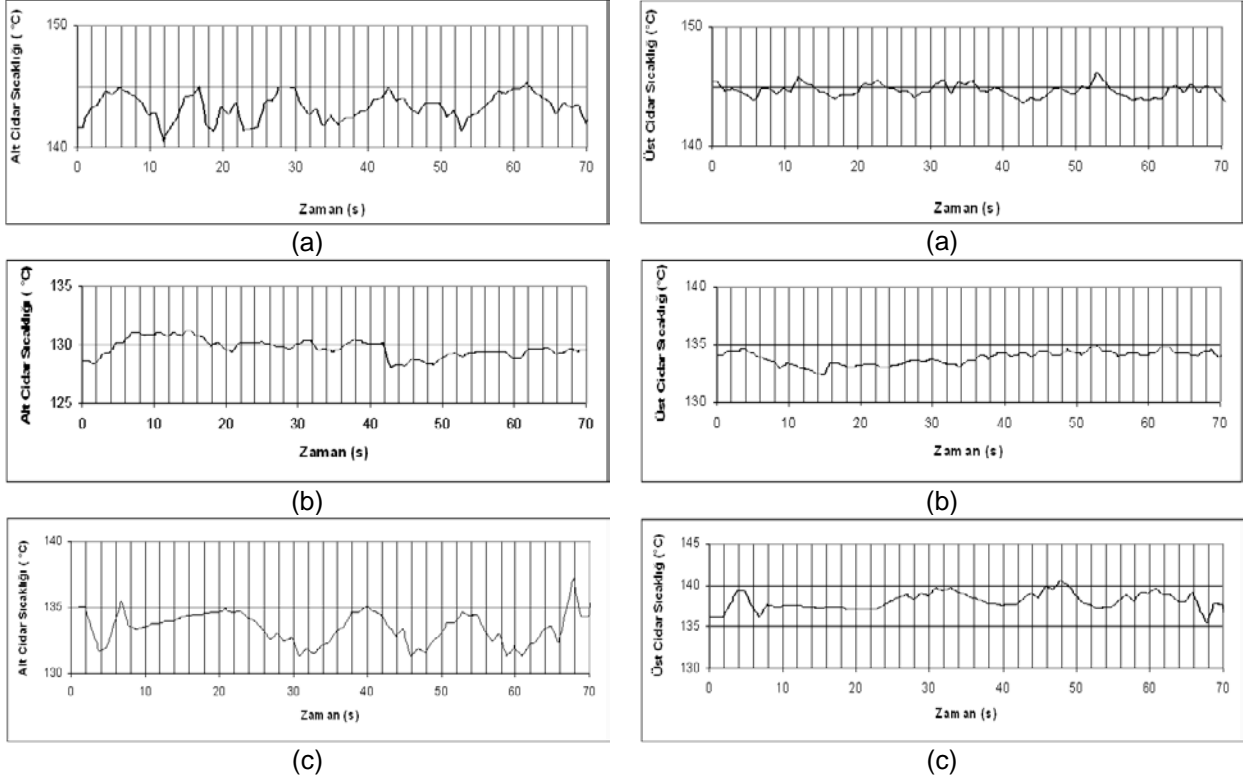
Şekil 3. (a) Test Borusu Tipleri (b) Isı Transfer Yüzey Konfigurasyonları ve Karakteristikleri, (c) Yüzey Elemanları

Deneylerde BDO, YDO ve TO 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.

SONUÇLAR

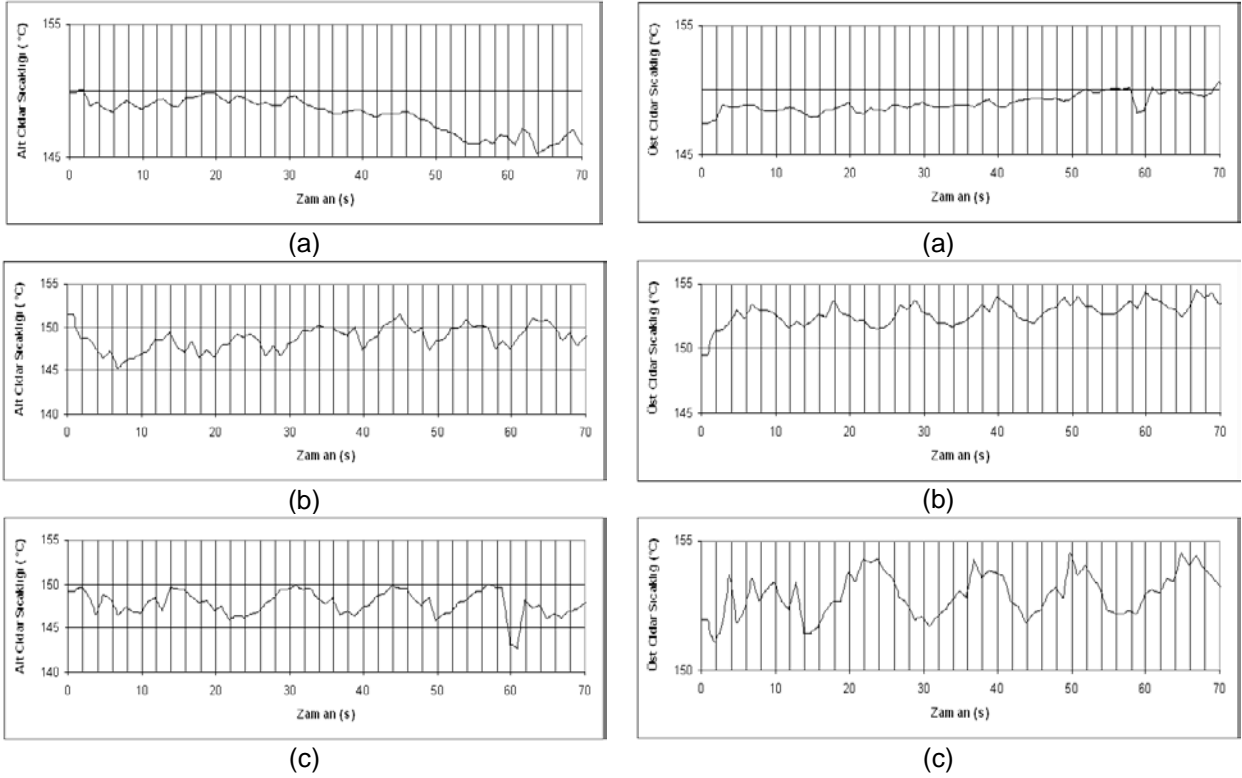
Endüstride iki fazlı akış içeren sistemler için BDO tip osilasyonlar, daima büyük osilasyon periyodu ve yüksek osilasyon genliğine sahip karakter arz ederler. Aşırı cidar-sıcaklık yükselmesini tetikleyen osilasyon biçimleri olduklarından istenmeyen bir akış ortamına sebep olurlar. Buda sistem ömrünü olumsuz yönde etkiler ve akış kontrolünün sağlanmasını güçleştirir. Bu bakımdan BDO osilasyonlarının belirlenmesi ve kontrol altına alınması sistemlerin güvenliği açısından oldukça önemlidir. Deney sisteminde sıkıştırılabilir hacim N_2 gazı tankı vasıtası gerçekleştirilmiştir. Basınç düşümü tipi osilasyonlar kararlı durum eğrisinin negatif eğime sahip bölgesinde YDO ile beraber süperimposed biçimde oluşmaktadır. Boş boru yani Boru-1 için BDO'lar Şekil 4'te verilmiştir. Grafikler zamana bağlı üst-alt cidar sıcaklıkları, giriş basıncı ve kütleli debi değerleri için çizilmiştir. Boş boruda yani Boru-1'de üst cidar sıcaklık değerleri alt cidardan fazla olmuş ancak belirgin bir ayrılma görülmemiştir. Boru çapının çok küçük olması nedeniyle oluşan kabarcıkların alt ve üst cidarı kaplaması cidarlar arasında aşırı sıcaklık farklarının olmasını engellemiştir. Düşük ısı transfer

katsayısına sahip gaz kabarcıkları ve alt cidarda seyreden yüksek ısı transfer katsayısına sahip sıvı filminin cidarla arasına girmiştir. Buda burn-out yada kaynama krizi denilen aşırı sıcaklık yükselmesi olayının oluşmasını engellemiştir. Ayrıca üst cidar sıcaklıklarının genliklerinin alt sıcaklık genliklerinden düşük olduğu BDO'ların sıcaklık profilleri, kütsel debi ve basınç değerlerinde ne kadar çok çalkantıya sahip oldukları şekillerden görülmektedir. Ayrıca her iki boru için de üst cidar sıcaklıklarının genlikleri alt cidar sıcaklık genliklerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.



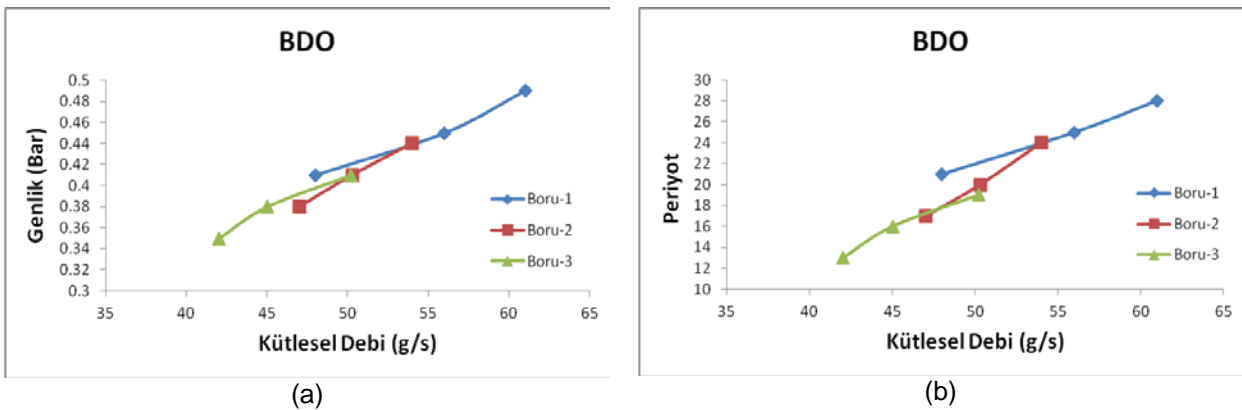
Şekil 4. Basınç Düşümü Osilasyonları ($Q=24$ kW, $T_g=25^\circ\text{C}$), (a) Boru-1, (b) Boru-2, (c) Boru-3.

Saf YDO'nun genlik ve periyot değerleri BDO'ya kıyasla daha düşüktür. Ayrıca saf YDO'lar boş boru tipinde yüzey artırımlı borulara kıyasla daha büyük kütsel debilerde ortaya çıkmaktadırlar. BDO'ların oluşması için en önemli şart sıkıştırılabilir hacmin bulunması iken YDO'larda ise void fraction olarak adlandırılan uygun bir boşluk oranının akış ortamında oluşmasıdır. İki fazlı akışta boş boruda yoğunluk farkından ötürü katmanlaşma olayı net biçimde gerçekleşirken içerisinde yüzey artırım elemanı kullanılmış diğer test borularında bu katmanlaşma olayı boş boru tipine nazaran olmamaktadır. Bunun nedeni fazların karışması ve karışım şeklinde akmasıdır. YDO oluşumunda iki ayrı faza sahip akışkanın farklı yoğunluklara sahip olduğu bilinmektedir. Bu durumda üç test borusu için YDO oluşumlarının oluşması için yeterli boşluk oranının oluşması şartı boş boru tipine nazaran yüzey artırım elemanlı boru tiplerinde çapraz kesit alanında yeterli oranda buhar fazının yer almasıyla elde edilebilir. Akış ortamını kesmeyen ve fazlara karışım etkisi olmayan boş boru tipinde yoğunluk farklarından ötürü katmanlaşmaya uğramış akış için uygun boşluk oranı diğer elemanlı tiplere göre daha azdır. Üst cidar sıcaklıklarının genliklerinin alt sıcaklık genliklerinden büyük olduğu, YDO'ların sıcaklık profillerinde ne kadar çok çalkantıya sahip oldukları şekillerden görülmektedir. Boş boru için alt ve üst cidar sıcaklık genlikleri birbirine çok yakınken yüzey artırımlı her iki boru için de üst cidar sıcaklıklarının genlikleri alt cidar sıcaklık genliklerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Saf Yoğunluk Değişim Tipi Osilasyonları
($Q=24$ kW, $T_g=25^\circ\text{C}$), (a) Boru-1, (b) Boru-2, (c) Boru-3.

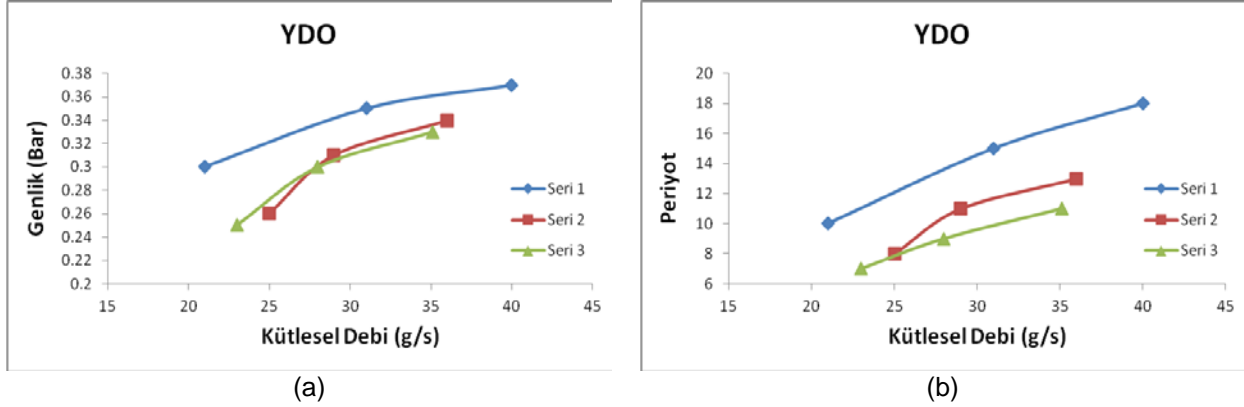
Üç farklı test borusuna ait basınç düşümü tipi osilasyonları için basıncının genliklerinde ve periyotlarında meydana gelen değişimler Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekiller, kütsel debideki azalma ile osilasyonların genlik ve periyotlarının azaldığını göstermektedir. Azalan kütsel debi ile genlik ve periyotların azalması debideki azalmayla üretilen buhar hacminin artması ve bunun sonucunda boru içerisindeki basınç artmakta ve dengeleyici tank içerisindeki sıkıştırılabilir hacmin azalmasına olduğu sebep olmaktadır. Sistemin bu durumda sıkıştırılabilirliği azalmakta ve sonuçta osilasyon genlik ve periyotlarında da bir azalmaya yol açmaktadır.



Şekil 6. Tüm Borular İçin (a) Basınç Genliklerine Kütsel Debinin Etkisi, (b) Giriş Basınç Periyotlarına Kütsel Debinin Etkisi.

Şekil 6a ve b'de giriş basınç genlik ve periyotlarının kütsel debi değişimleri her üç boru için sunulmuştur. Artan kütsel debi değerleri giriş basıncında artışa neden olmaktadır ve benzer davranış periyotları için de geçerlidir. Aynı debi değerlerinde hem boş boru hem de yüzey artırım elemanları için genlik değerleri birbirine çok yakındır. Ancak, boş borunun periyot değerleri bükülmüş şerit

elemanların neden olduğu genliklerden daha yüksektir. Boru-2 ve 3'e ait periyot değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 7. Tüm Borular İçin (a) Basınç Genliklerine Kütleli Debinin Etkisi, (b) Giriş Basınç Periyotlarına Kütleli Debinin Etkisi.

Şekil 7a ve b'de giriş basınç genlik ve periyotlarının kütleli debi değişimleri YDO'lar için sunulmuştur. Kütleli debideki artış basınç düşüm tipi osilasyonlarda olduğu gibi yoğunluk değişim tipi osilasyonlarda da genlik ve periyotlarda artışa neden olmuştur. Boru-1'de yani iç eleman kullanılmamış boruda genlik değerleri Boru-2 ve 3'den yüksektir. Boru-2 ve 3'e ait genlik değerleri birbirine oldukça yakındır. Genliklerdeki durum periyotlar için de söz konusudur. Ancak, YDO'larda periyotlar açısından büyükten küçüğe doğru bir sıralama yapılacak olursa, Boru-1>Boru-2>Boru-3 şeklinde olur.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, sabit giriş sıcaklığında bükülmüş şerit elemanların dinamik akış kararsızlıklarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sabit sistem basıncında yürütülmüş ve test borusu cidarına sabit ısı akısı uygulanmıştır. Sonuçlar basınç düşümü tipi ve yoğunluk değişim tipi osilasyonlar açısından değerlendirilmiştir ve boş boru ile kıyaslanmıştır. Çalışmadan elde edilen önemli bulgular aşağıda sıralanmıştır.

Düşük ısı transfer katsayısına sahip gaz kabarcıkları ve alt cidarda seyreden yüksek ısı transfer katsayısına sahip sıvı filminin cidarla arasına girmiştir. Buda burn-out ya da kaynama krizi denilen aşırı sıcaklık yükselmesi olayının oluşmasını engellemiştir. BDO'larda her üç boru için de üst cidar sıcaklıklarının genlikleri alt cidar sıcaklık genliklerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Akış ortamını kesmeyen ve fazlara karışım etkisi olmayan boş boru tipinde yoğunluk farklarından ötürü katmanlaşmaya uğramış akış için uygun boşluk oranı diğer elemanlı tiplere göre daha azdır. YDO'larda boş boru için alt ve üst cidar sıcaklık genlikleri birbirine çok yakınken yüzey artırımı her iki boru için de üst cidar sıcaklıklarının genlikleri alt cidar sıcaklık genliklerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. BDO'larda artan kütleli debi değerleri giriş basıncında artışa neden olmaktadır ve benzer davranış periyotlar için de geçerlidir. Aynı debi değerlerinde hem boş boru hem de yüzey artırımı elemanları için genlik değerleri birbirine çok yakındır. Ancak, boş borunun periyot değerleri bükülmüş şerit elemanların neden olduğu genliklerden daha yüksektir. YDO'larda Boru-1'de yani iç eleman kullanılmamış boruda genlik değerleri Boru-2 ve 3'den yüksektir. Boru-2 ve 3'e ait genlik değerleri birbirine oldukça yakındır. Genliklerdeki durum periyotlar için de söz konusudur. Ancak, YDO'larda periyotlar açısından büyükten küçüğe doğru bir sıralama yapılacak olursa, Boru-1>Boru-2>Boru-3 şeklinde olur.

KAYNAKLAR

- [1] Ömeroğlu G., 2012, Türbülatorlerin 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] Tadrist, L., 2006. Review on two-phase flow instabilities in narrow spaces. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, p 54–62.
- [5] Li, X., Wang, R., Huang, R., Shi, Y., 2006. Numerical and experimental investigation of pressuredrop characteristics during upward boiling two-phase flow of nitrogen. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, p 1971–1981.
- [6] Spedding, P.L., Benard, E., Donnelly, G.F., 2006. Prediction of pressure drop in multiphase horizontal pipe flow. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (2006), p 1053–1062.
- [7] 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.
- [8] Mauro, A.W., Quibe'n, J.M., Mastrullo, R., Thome, J.R., 2007. Comparison of experimental pressure drop data for two phase flows to prediction methods using a general model. *International Journal of Refrigeration*, 30 (2007), p 1358-1367.
- [9] Quibén, J.M., Thome, J.R., 2007. 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.
- [10] Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Karagöz, Ş., Bedir, Ö., 2007. İki Fazlı Akışlarda Isı Transfer İyileştirmesi-1 Termodinamik, 176, 76-86.
- [11] Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Bedir, Ö., Şahin, B., 2007. Isı Transfer İyileştirmesinin İki Fazlı Akış Kararsızlıklarına Etkisi. *Mühendis ve Makina*, 48 (565), 9-17.
- [12] Sotgia, G., Tartarini, P., Stalio, E., 2008. Experimental analysis of flow regimes and pressure drop reduction in oil–water mixtures. *International Journal of Multiphase Flow*, 34 (2008), p 1161–1174.
- [13] Poesio, P., 2008. Experimental determination of pressure drop and statistical properties of oil-water intermittent flow through horizontal pipe. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32 (2008), p 1523–1529.
- [14] Shannak, B.A., 2008. Frictional pressure drop of gas liquid two-phase flow in pipes. *Nuclear Engineering and Design*, 238 (2008), p 3277–3284.
- [15] Çomaklı, Ö., Karagöz, Ş., Yılmaz, M., Karslı, S., 2008. Yatay bir borudaki kaynamalı iki fazlı akış kararsızlıkları ve akışkan tipinin etkileri. *Teknoloji*, 11, s 15-24.
- [16] Karagoz, S., Karslı, 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.
- [17] Quibén, J.M., Cheng, L., Lima, R.J.S., Thome, J.R., 2009. Flow boiling in horizontal flattened tubes: Part I – Two-phase frictional pressure drop results and model.
- [18] Venkatesan, M., Das, S.K., Balakrishnan, A.R., 2010. Effect of diameter on two-phase pressure drop in narrow tubes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, p 531–541.
- [19] Liang, N., Shuangquan, S., Tian, C., Yan, Y.Y., 2010. Two-phase flow instabilities in horizontal straight tube evaporator. *Applied Thermal Engineering*, 31, p 181-187.

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 Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İki fazlı akış, ısı transferi iyileştirilmesi alanlarında 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.

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.

Bayram ŞAHİN

1973 yılı Meram/KONYA doğumludur. 1997 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2004 yılında Doktor unvanını almıştır. 1997-2004 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik&Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Isı transferi ve nanoakışkanlar konularında çalışmaktadır.