

BİLİM ve TEKİNİĞE KATKILAR



İKİ FAZLI AKIMLARDA ISLAK BUHARDAN KIZGIN BUHARA GEÇİŞ NOKTASININ DAVRANIŞI

Doç.Dr. Hafit YÜNCÜ
Makina Müh.Bölümü
ODTÜ-ANKARA

Yazar Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü mezunu olup halen aynı bölümde Termodinamik Anabilim Dalında Doçent olarak görev yapmaktadır. Temas ısı direnci, İki fazlı akımların kararsızlığı, Doğal konveksiyonla ısı transferi ilgilendiği konuların başlıcalarıdır.

SUMMARY

Two-phase flow instabilities are a problem of great current interest in many heat transfer applications, ranging from nuclear reactors to steam generators. The mixture-vapor transition point refers to the boundary between two-phase region and superheat region. Experimental results indicate that during the steady as well as transient flow conditions the motion of the mixture-vapor transition point is of an oscillatory nature. In this study, a theoretical model is proposed for predicting the transient response of the mean position of the transition point.

ÖZET

Nükleer reaktörlerden buhar üreteçlerine kadar içerisinde sıvı akışkanın ısındığı ve faz değiştirdiği bütün sistemlerde oluşan iki fazlı akımların davranışı son yıllarda üzerinde önemle durulan bir problemidir. İki fazlı akımlarda ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktası ıslak buhar ile kızgın buhar arasındaki sınır olarak tanımlanır. Deneysel sonuçlar sürekli ve geçici durumda ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasının salınımlar oluşturduğunu göstermektedir. Bu çalışmada ıslak kızgın buhara geçiş noktasının zamanla değişimini belirlemek için teorik bir model geliştirilmiştir.

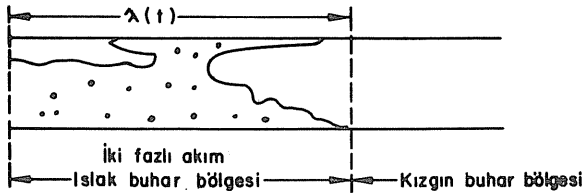
GİRİŞ

İçerisinde akışkanın ıslak buhardan kızgın buhara faz değiştirdiği yatay bir boru iki bölgeye ayrılabilir. Islak buhar bölgesinde sıvı ve buhar karışımı kızgın buhar bölgesinde de sadece buhar bulunmaktadır. İçerisinde iki fazlı akımların olduğu sistemlerin çalışmalarını olumsuz olarak etkileyen dinamik kararsızlıkların oluş mekanizması da üzerinde önemle durulması gereken bir problemidir. Yatay ve düşey borularda yapılan deneysel ve teorik çalışmalar iki fazlı akımların dinamik kararsızlıklarının oluş mekanizmasının ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasının davranışına bağımlı olduğunu göstermektedir [1,2,3,4]. Ayrıca boru yüzeyi ile akışkan arasındaki ısı transferi katsayısı ıslak buhar bölgesinde, kızgın buhar bölgesinden daha büyük olacağından, iç geçiş noktası, akımların olduğu sistemin tasarımı, ıslak buhardan kızgın

şiminin bilinmesi büyük önem taşır [5,6,7].

TEORİK MODEL

Yatay bir boruda sürekli durumda akan iki fazlı akımda, ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktası, akışkana transfer edilen ısı akısının veya akışkanın kütle debisinin değişimiyle değiştirilebilir. Isı akısında artış ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasını ıslak buhar bölgesine, ısı akısındaki azalma da ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasını kızgın buhar bölgesine kaydırır. Kütle debisindeki artış ise ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasını kızgın buhar bölgesine, kütle debisindeki azalma da ıslak buhardan kızgın buhara geçiş noktasını ıslak buhar bölgesine kaydırır. Şekil 1'de içerisinde iki fazlı akışkanın aktığı bir boruda ıslak buhar ve kızgın buhar bölgelerini göstermektedir. Akımın iki fazlı olduğu ıslak buhar bölgesinin zamana bağlı boyu $\lambda(t)$ ile gösterilmiştir.



Şekil 1. Islak Buhar ve Kızgın Buhar Bölgeleri

İki fazlı akımların dinamiğini incelemek için literatürde başlıca iki analitik model geliştirilmiştir [8,9,10]. Bu modeller; bağdaşık (homojen) akım modeli ve kaygın (slip) akım modeli olarak adlandırılır. Bağdaşık akım modelinde sıvı ve buhar fazlarının eşit doğrusal hızlara sahip olduğu ve iki fazın sürekli dengede bulunduğu varsayılır. Doymuş sıvı ve doymuş buhar fazlarının özellikleri ve kuruluk derecesi cinsinden ortalama özellikler tanımlanarak akım tek fazlı akım gibi işlem görür.

Kaygın akım modelinde ise her faz kendi özellikleri ile ele alınır. Daha az yoğun olan faz, daha yoğun olan faz'a göre daha hızlı hareket edeceğinden fazların doğrusal hızlarının farklı olduğu kabul edilir.

Analitik çözümlerde kolaylık sağladığından bu çalışmada bağdaşık akım modeli kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin basınç düşümü küçük olduğundan doymuş buhar ve doymuş buhar fazının entalpi ve yoğunluğu basınçtan bağımsız varsayılmıştır. Bu varsayımlarla bu bölgede kütle sakınımı, ısı enerji sakınımı ve durum denklemleri sırasıyla;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u h) = \frac{q}{A} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_f} + \frac{h-h_f}{h_{fg}} \left(\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_f} \right) \quad (3)$$

yazılabilir [7]. Burada ρ yoğunluk, u akımın hızı, h entalpi ve q borunun birim uzunluğundan, birim zamanda akışkana transfer edilen ısı enerjidir. Borunun ısı kapasitesi ihmal edildiğinden, ısıtıcının birim uzunluğundan birim zamanda akışkana transfer edilen ısı enerji ısıtıcının birim uzunluğunun ürettiği ısı güce eşit alınmıştır.

Eşitlik (3) yardımıyla, Eşitlik (1) ve (2);

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{q}{A} \frac{1}{h_{fg}} \left(\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_f} \right) \quad (5)$$

e indirgenebilir. Eşitlik (4) ve (5) ıslak buhar bölgesi boyunca integre edilirse;

$$u_\lambda - u_i = \frac{q}{A} \frac{1}{h_{fg}} \left(\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_f} \right) \lambda \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} \int_0^\lambda \rho dz - \rho_g \frac{d\lambda}{dt} + u_\lambda \rho_g - u_i \rho_i = 0 \quad (7)$$

elde edilir. Eşitlik (6) ve (7),

$$\frac{1}{2} (\bar{\rho}_i - \rho_g) \frac{d\lambda}{dt} + u_i (\rho_g - \rho_i) + \frac{q}{A} \frac{1}{h_{fg}} \left(\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_f} \right) \lambda \quad (8)$$

yazılabilir. Burada ortalama yoğunluk $\bar{\rho}$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{\lambda} \int_0^\lambda \rho dz \approx \frac{1}{2} (\rho_i + \rho_g) \quad (9)$$

olarak tanımlanmış ve ortalama yoğunluğun zamana bağımlı olmadığı varsayılarak Eşitlik (7) doğrusal differansiyel denkleme dönüştürülmüştür.

Zaman sabiti t_c aşağıdaki şekilde tanımlanarak;

$$\frac{1}{t_c} = 2 \frac{q}{A} \frac{v_f}{h_{fg}} \left[1 + \frac{x_i}{1-x_i} \frac{v_g}{v_f} \right] \quad (10)$$

Eşitlik (9)

$$\frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{t_c} = 2u_i \quad (11)$$

şekline indirgenebilir. Eşitlik (10)'nun

$$t = 0 \quad \lambda = \lambda_0 \quad (12)$$

ilk şartı ile çözümü;

$$\lambda = \lambda_0 + 2b(u_i - u_0)(1 - e^{-t/t_c}) \quad (13)$$

olarak yazılabilir. Burada u_0 ; akımın hızı u_i 'a değiştirilmeden önce (sürekli durumda) akımın ıslak buhar bölgesine girişteki hızıdır.

Akım hızındaki değişimden sonra tekrar sürekli duruma erişildiğinde ıslak buhar bölgesinin boyu λ_f ise;

$$t \rightarrow \infty \quad \lambda = \lambda_f \quad (14)$$

Eşitlik (13)'den

$$\lambda_f - \lambda_0 = 2b(u_i - u_0) \quad (15)$$

bulunur. Eşitlik (13) ve (15)'den

$$\frac{\lambda_f - \lambda}{\lambda_f - \lambda_o} = e^{-t/t_c} \quad (16)$$

elde edilir. Eşitlik (16) boyutsuz zaman $\tau = t/t_c$ cinsinden:

$$\frac{\lambda_f - \lambda}{\lambda_f - \lambda_o} = e^{-\tau} \quad (17)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (10) tekrar düzenlenirse zaman sabiti t_c

$$t_c = \frac{1}{2} \frac{A \rho_i u_o h_{fg} (1-x_i)}{q u_o} \quad (18)$$

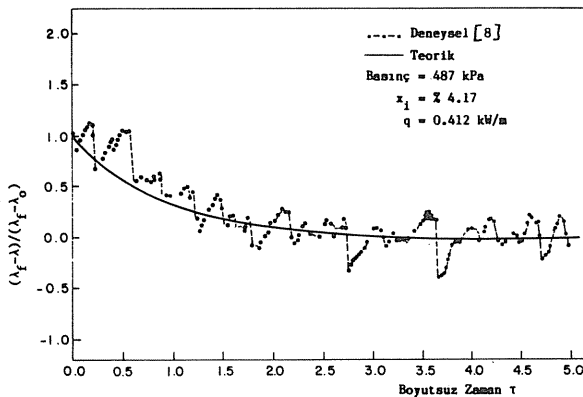
veya

$$t_c = \frac{1}{2} \frac{\lambda_o}{u_o} \quad (19)$$

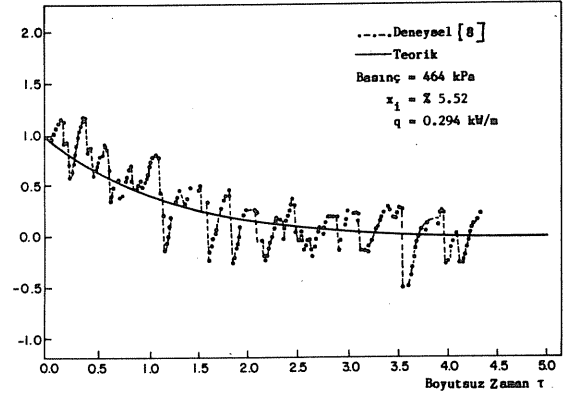
olur.

MODELİN DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıda tartışılan modelin geçerliliğini belirlemek için teorik sonuçlar, Kaynak [8] den alınan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneylerde akışkan olarak Refrigerant 12 (Freon-12) kullanılmıştır. Şekil 2 ve 3'den de görüleceği gibi deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar oldukça iyi bir uyum içerisindedir. Deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasındaki en büyük fark kütle debisindeki değişiklikten hemen sonra görülmektedir. Bu farkın nedeni de borunun ısıl kapasitesinin etkisinin ihmal edilmiş olması olabilir.



Şekil 2. Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 3. Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

SİMGELER

- A Kesit alanı
- h Özgül entalpi
- q Borunun birim uzunluğundan birim zamanda akışkana geçen ısıl enerji
- t Zaman
- u Akım hızı
- v Özgül hacim
- z Eksenel uzunluk
- λ Islak buhar bölgesi boyu
- ρ Yoğunluk
- τ Boyutsuz zaman

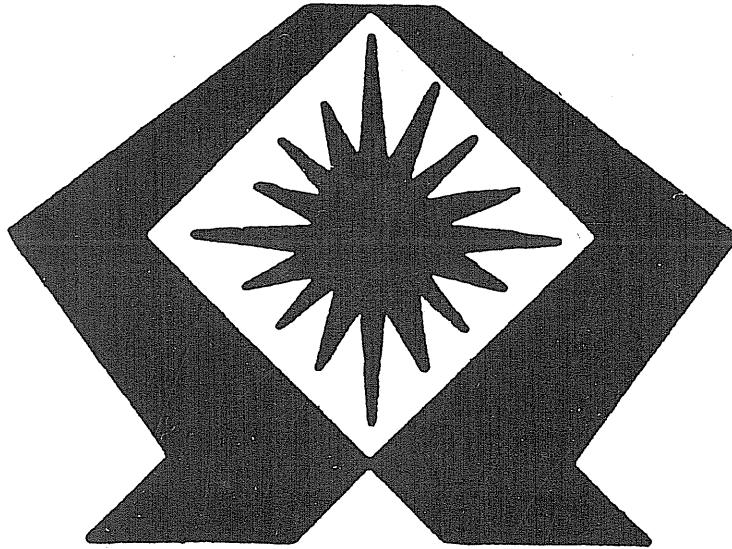
İNDİSLER

- f Doymuş sıvı fazıyla ilgili
- fg Doymuş buhar, doymuş sıvı fazı farkı ile ilgili
- g Doymuş buhar fazıyla ilgili
- i Girişle ilgili
- o Sürekli durumla ilgili

KAYNAKLAR

1. Ledinegg, M., "Instability of Flow During Natural and Forced Circulation" Die Wärme Vol. 61, p. 981, 1938.
2. Bouré, J.A., Bergles, A.E., Tong, S., "Review of Two Phase Flow Instability" Nuclear. Eng. and Design, 25,p.165, 1973.

3. Maulbetsch, J.S. and Griffith, P., "Prediction of on Set of System Induced Instabilities in Subcooled Boiling" Proc. Symp. on Two-Phase Flow Dynamics, EURATOM, p. 799, 1967.
 4. Ozawa, M., "Flow Instabilities in Boiling Channels, Part 1, Pressure Drop Oscillations" Bull. of the JSME, 22, No. 170, 1979.
 5. Wallis, G.B., Heasley, J.H., "Oscillations in Two-Phase Flow Systems" J. of Heat Transfer, ASME Transaction Series C 83, p. 363, 1961.
 6. Ishii, M., Zuber, N., "Thermally Induced Flow Instabilities in Two-Phase Mixtures" Heat Transfer 1970, 4th Int. Heat Transfer Conference, Paris, V.5, paper B5-11, 1970.
 7. Yüncü, H., "İki Fazlı Akımların Dinamik Kararsızlığı - Basınç Düşümü ve Yoğunluk Değişimi Tipi Salınımlar" Doçentlik Tezi, ODTÜ, 1981.
 8. Wedekind, C.L., Stoecker, W.F., "Response of the Mixture Vapor Transition Point in Horizontal Evaporating Flow" J. of Heat Transfer, p. 165, 1965.
 9. Tong, L.S., "Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow", John Wiley and Sons Inc. 1965.
 10. Roy, R.P., Yadigaroglu, G., "An Investigation of Heat Transport in Oscillatory Turbulent Subcooled Flow" J. Heat Transfer, Trans, ASME, V. 98, p. 630, 1976.
-



YARINA ENERJİ