

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVUZ KAYNAMASININ FC3284, FC84 SAF MADDELERİ VE KARIŞIMLARI
İLE İNCELENMESİ**

CEMAL KEREM CEYLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SEBİHA YILDIZ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVUZ KAYNAMASININ FC3284, FC84 SAF MADDELERİ VE KARIŞIMLARI
İLE İNCELENMESİ**

Cemal Kerem CEYLAN tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sebiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sebiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Galip TEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. EBRU MANÇUHAN
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezim, Erasmus çerçevesinde Berlin Teknik Üniversitesi'nde yapmış olduğum deneysel çalışmaların Yıldız Teknik Üniversitesi'nde değerlendirilmesiyle tamamlanmıştır. Bu sebeple Berlin Teknik Üniversitesi'nin havuz kaynaması projesinin deneysel çalışmasına beni kabul eden Prof. Dr.-Ing. Felix Ziegler'e teşekkür ederim. Ayrıca havuz kaynaması konusunda doktorasını yapmakta olan Dipl.-Ing. Olaf Koeppen 'e deneysel verilerin elde edilmesi ve ön değerlendirilmesindeki desteğinden dolayı çok minnettarım. Deneysel verilerin tezimde değerlendirilmesinde emeği olan tez danışman hocam Doç. Dr. Sebiha Yıldız'a da en derin duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
BÖLÜM 2	
KAYNAMA ESASLARI	2
2.1 Kaynama.....	2
2.2 Havuz Kaynama Bölgeleri.....	3
2.3 Havuz Kaynamasında Kabarcık Dinamikleri	5
BÖLÜM 3	
TEST DÜZENEGİ VE ISITICI	8

BÖLÜM 4

DENEYSEL YÖNTEM.....	11
4.1 DeneySEL Sonuçların Teorik Hesaplamaları.....	14
4.1.1 Kabarcık Hızı.....	15
4.1.2 Kabarcık Çapı.....	16

BÖLÜM 5

SONUÇLAR	17
5.1 Ortalama Kabarcık Hızları.....	17
5.2 Farklı Kaynama Bölgelerinde Ortalama Kabarcık Hızları.....	20
5.3 Ortalama Kabarcık Çapları	23
5.4 Farklı Kaynama Bölgelerinde Ortalama Kabarcık Çapları.....	26
5.5 Teorik ve DeneySEL Kabarcık Çaplarının Karşılaştırılması.....	30
5.6 Ortalama Kabarcık Çapları ve Kabarcık Hızları	32

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ.....	38

SİMGE LİSTESİ

C_p	[J/kg.K]	Özgöl ısı
d_b	[mm]	Kabarcık çapı
d_{bd}	[mm]	Kabarcık ayrılma çapı
g	[m/s ²]	Yerçekimi ivmesi
Ja	[-]	Jakob sayısı
k	[W/m.K]	Isı iletim katsayısı
M	[g/mol]	Mol kütlesi
Pr	[-]	Prandtl sayısı
q^*	[-]	Bağıl ısı akısı
T	[°C]	Sıcaklık
ΔT_s	[K]	Sıcaklık aşımı
t	[s]	Zaman
v_b	[mm/s]	Kabarcık hızı
θ	[°]	Yüzey temas açısı
μ	[Pa.s]	Dinamik viskozite
ρ	[kg/m ³]	Yoğunluk
σ	[N/m]	Yüzey gerilimi
I		Giriş
I		Sıvı
O		Çıkış
s		Doyma
v		Buhar
w		Yüzey

KISALTMA LİSTESİ

CHF Kritik Isı Akısı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 a) Havuz Kaynaması b) Akış Kaynaması [10].....	2
Şekil 2.2 Şematik Kaynama Eğrisi [11].....	3
Şekil 3.1 Test Düzeneği (Buchholz [9])	8
Şekil 3.2 Test Isıtıcısı (Buchholz [9])	9
Şekil 4.1 FC3284'ün kabarcıklı kaynama bölgesinin 0.96 ($q^*=0.96$) bağıl ısı akısındaki ölçülen bir milyon verisinin optik prob ve mikro termal-prob sinyalleri	11
Şekil 4.2 FC3284'ün kabarcıklı kaynama bölgesinin 0.96 ($q^*=0.96$) bağıl ısı akısındaki bir sürecinin optik prob ve mikro termal-prob sinyalleri.....	12
Şekil 4.3 Bir buhar kabarcığının optik problemlardan geçişi	13
Şekil 5.1 FC84 ve FC3284 saf maddeleri ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık hızları ($v_{b,1}$) ve ortalamaları.....	18
Şekil 5.2 %50 mol ve %75 mol FC3284 içeren karışımlar ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık hızları ($v_{b,1}$) ve ortalamaları	19
Şekil 5.3 Saf maddelerin ortalama kabarcık hızlarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi	21
Şekil 5.4 Karışımların ortalama kabarcık hızlarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi	22
Şekil 5.5 Ortalama kabarcık hızlarının bağıl ısı akısıyla değişimi a) kabarcıklı kaynama b) geçiş ve film kaynama bölgeleri.....	23
Şekil 5.6 FC84 ve FC3284 saf maddeleri ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık çapları ($d_{b,1}$) ve ortalamalar.....	24
Şekil 5.7 %50 mol ve %75 mol FC3284 içeren karışımlar ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık çapları ($d_{b,1}$) ve ortalamaları	25
Şekil 5.8 Saf maddelerin ortalama kabarcık çaplarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi	27
Şekil 5.9 Karışımların ortalama kabarcık çaplarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi	28
Şekil 5.10 Ortalama kabarcık çaplarının bağıl ısı akısıyla değişimi a) kabarcıklı kaynama b) geçiş ve film kaynama bölgeleri	29

Şekil 5.11	Atmosferik basınçta kabarcıklı kaynama bölgesinin düşük ısı akılarında ölçülen kabarcık çaplarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması	30
Şekil 5.12	FC3284 ve FC84 saf maddelerinin kabarcıklı kaynama bölgesindeki ortalama kabarcık çapları ile kabarcık hızları	32
Şekil 5.13	FC3284 ve FC84 karışımlarının kabarcıklı kaynama bölgesindeki ortalama kabarcık çapları ile kabarcık hızları	33

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Akışkan özellikleri [14] baz alınarak test sıvılarının atmosferik basınçta doyma sıcaklıklarındaki fiziksel özellikleri	10
---	----

HAVUZ KAYNAMASININ FC3284, FC84 SAF MADDELERİ VE KARIŞIMLARI İLE İNCELENMESİ

Cemal Kerem CEYLAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sebiha YILDIZ

Sıcaklık kontrollü havuz kaynamasında FC3284, FC84 saf maddelerinin ve ikili karışımlarının kabarcık hızı ve kabarcık çapı, ısıtılan yüzeyden belli bir mesafede olan optik prob lar ile ölçülmüştür. Atmosferik basınçta bütün kaynama eğrisi bölgelerini elde edebilmek amacıyla ısıtılan yüzey sıcaklığı ile doyma sıcaklığı arasındaki fark (sıcaklık aşımı) adım adım arttırılmıştır. Saf maddeler ve ikili karışımları için buhar kabarcıklarının hız ve çap değerleri bütün kaynama eğrisi boyunca belli sıcaklık aşım larında belirlenmiştir. Farklı havuz kaynama bölgelerinde farklı kabarcık hız ve çapı değerleri oluşmuştur. Sonuçlar birbirleriyle ve literatürdeki mevcut bazı korelasyon larla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Optik prob, kabarcık hızı, kabarcık çapı, FC84, FC3284, ikili karışım, sıcaklık kontrollü havuz kaynaması

ABSTRACT

INVESTIGATION OF POOL BOILING BY USING PURE FC3284, FC84 AND THEIR BINARY MIXTURES

Cemal Kerem CEYLAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Sebiha YILDIZ

During temperature controlled pool boiling, bubble velocity and bubble diameter of FC3284, FC84 and their mixtures were measured with a dual-probe which was located at a certain distance from the heating surface. The difference between heating surface and saturation temperatures (wall superheat) was increased gradually to obtain entire pool boiling regions at atmospheric pressure. Along the entire boiling curve, velocity and diameter of the vapor bubble were determined at the specified wall superheats. Different bubble velocities and diameters were determined in the different pool boiling regions. The results were compared with each other and with existing correlations in literature.

Key words: Optical microsensor, bubble velocity, bubble diameter, FC84, FC3284, binary mixture, temperature controlled pool boiling

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Havuz kaynamasında literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Lobo [1], kabarcıklı kaynama bölgesinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Hamzekhani vd. [2], kabarcığın ısıtılan yüzeyden ayrılma çapını havuz kaynamasında incelemiştir. Sakashita vd. [3], havuz kaynamasında ısıtılan yüzey yakınlarındaki sıvı-buhar yapısını deneysel olarak araştırmıştır. Fritz [4], Kutateladze ve Gogonin [5], ve Jensen ve Memmel [6] kabarcığın yüzeyden ayrılma çapını öngören korelasyonlar oluşturmuşlardır. Sathyabhama ve Ashok Babu [7], kabarcıklı kaynama bölgesinde deneysel çalışma yapmıştır. Peyghambarzadeh vd. [8], ısıtılan yüzeyden ayrılan kabarcıkların çaplarını incelemiştir. Buchholz [9], havuz kaynamasında yerel ısı transferi mekanizmalarını bütün bir kaynama eğrisi boyunca deneysel olarak incelemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada bilgisayar sistemlerinin soğutulması için kullanılan havuz kaynaması incelenmiştir. Test sıvısı olarak elektronik soğutma sıvıları olan FC3284, FC84 ve bunların ikili karışımları kullanılarak havuz kaynamasında kabarcık hızı ve kabarcık çapı kaynama eğrisi boyunca araştırılıp, kaynama eğrisi boyunca farklı kaynama bölgelerindeki kabarcık dinamikleri hakkında bilgi sahibi olmak hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Bütün bir kaynama eğrisi boyunca kabarcık hız ve çaplarının sıcaklık aşımı ve bağıl ısı akısı ile farklı eğilimler gösterebileceği, bu oluşumun kaynama eğrisi boyunca farklı dinamik etkisi ile farklı kaynama bölgelerinin oluşmasında önemli etkenlerden olabileceği düşünülebilir.

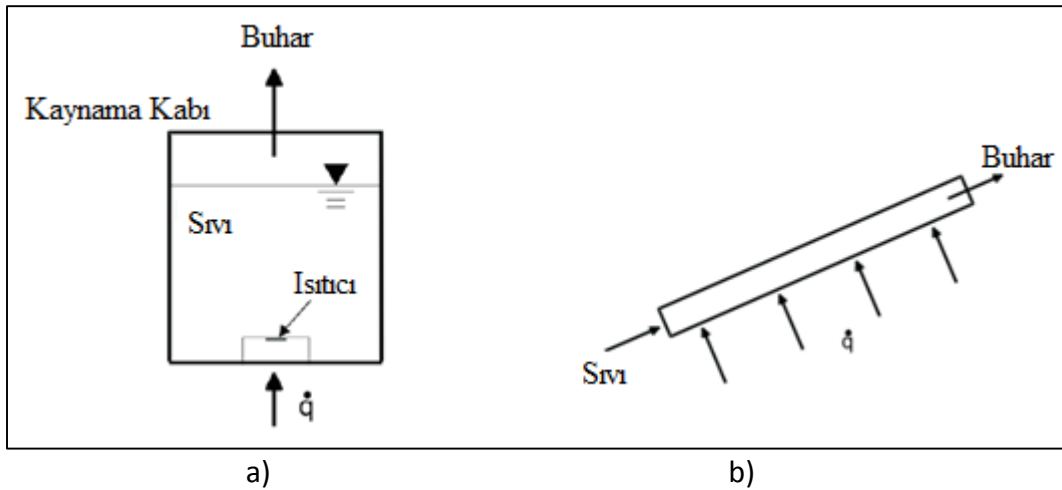
BÖLÜM 2

KAYNAMA ESASLARI

2.1 Kaynama

Kaynama işlemi, kaynaması beklenen sıvının akış halinde olmasına ya da bir kap içerisinde hareketsiz olmasına bağlı olarak sınıflandırılabilir. Havuz kaynamasında durgun haldeki sıvıya, ısıtıcı yüzeyinden ısı transferi sağlanır. Isıtıcı yüzeyi sıcaklığı, sıvının doyma sıcaklığını birkaç derece aştığında yüzeyde kabarcık oluşumuyla kaynama başlar. Olası kap kenar etkilerinin ortadan kaldırılması için kaynama kabı ısıtma yüzeyine göre çok daha büyük ölçüdedir. Kaynama işlemi için sağlanan ısı akısı, birim yüzey alanı başına ısı transfer hızıdır.

Akış kaynamasında, zorlamalı bir akış sağlanır. Örneğin, pompa tarafından tahrik edilen bir sıvı bir boru içerisinde akar. Tahrik edilen sıvı, bir ısıtma borusu içerisinde veya sıcak bir yüzeyde kaynar. Kaynama bölgeleri, havuz kaynaması ile karşılaştırıldığında akış kaynamasında farklılık göstermektedir.

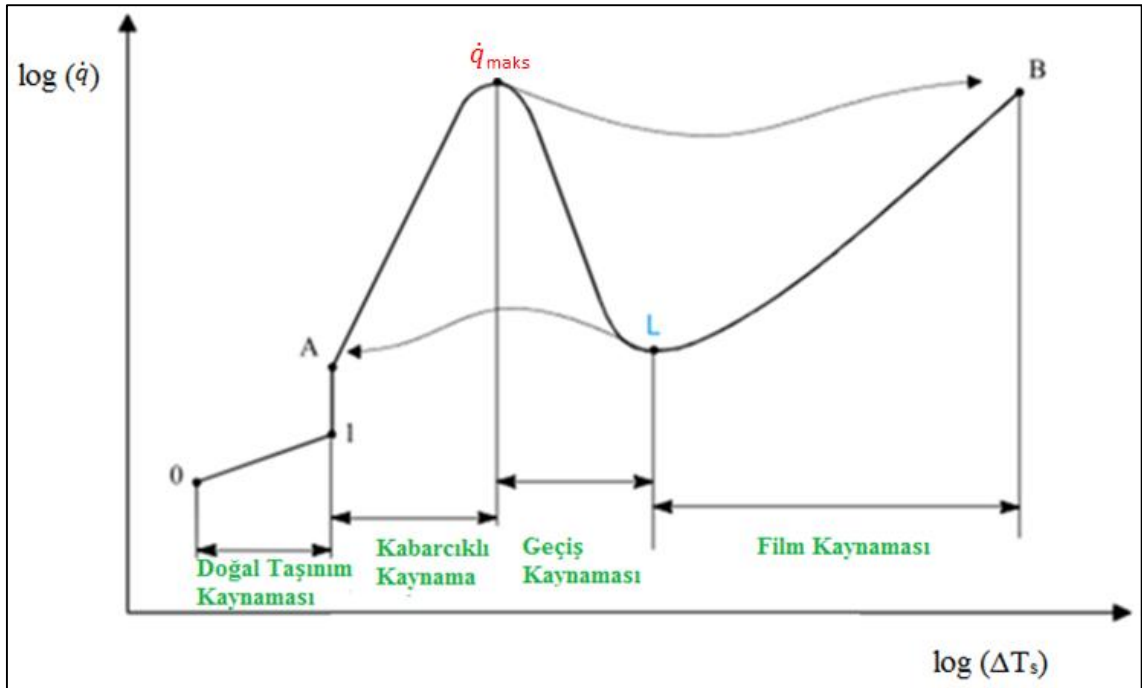


Şekil 2.1 a) Havuz Kaynaması b) Akış Kaynaması [10]

Kabarcık oluşumu ve kaynama mekanizmalarının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılması için, havuz kaynaması bu çalışmada incelenmiştir. Böylelikle, kabarcık oluşumu incelenirken akış kaynamasında akış debisi gibi bazı karmaşık parametreler ortadan kaldırılmıştır.

2.2 Havuz Kaynama Bölgeleri

Kaynama sürecindeki faz değişiminin oluşabilmesi için, doyma sıcaklığına (T_s) faz sınırında ulaşılmasına veya bu sıcaklığın hafifçe aşılmasına gerek duyulmaktadır. Sıcaklık aşımına (ΔT_s) bağlı olarak (ısıtılan yüzey sıcaklığı T_w ve test edilen akışkanın doyma sıcaklığı T_s arasındaki sıcaklık farkı) farklı kaynama şekilleri meydana gelir. Bu kaynama şekilleri doğal taşınım kaynaması, kabarcıklı kaynama, geçiş kaynaması ve film kaynaması olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.2 Şematik Kaynama Eğrisi [11]

Şekil 2.2’de, ilk olarak Nukiyama [12] tarafından sunulan kaynama eğrisinin şematik resmi görülmektedir. Bu şekil, sıcaklık aşımı (ΔT_s) ile ısı akısı ($\dot{q}$) arasındaki logaritmik ilişkiyi açıklar. Burada ısı akısı, birim alan başına sıvıya sağlanan ısı akışıdır.

Kabarcıklı kaynama bölgesinden sonra, şematik kaynama eğrisi için ısıtıcının kontrol metoduna bağlı olarak iki yol vardır.

Isı Akısı Kontrollü Isıtıcı: Isı akısının kontrolü için güç ayarlanmaktadır. Eğer güç kritik ısı akısının geçileceği şekilde arttırılırsa, ok ile gösterilen şekilde kaynama eğrisi kritik ısı akısından ($\dot{q}_{maks}$) B noktasına devam eder. B noktasında yüksek sıcaklık aşımına ulaşılır. Çoğu durumda ulaşılan bu yüzey sıcaklığı, ısıtıcı yüzeyinin ergime sıcaklığından daha yüksektir ve genellikle ısıtıcı yüzeyinin termal tahribatına neden olmaktadır.

Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı: Sıcaklık artış adımları önceden ayarlanır. Kritik ısı akısından ($\dot{q}_{maks}$) sonra, ısı akısı Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Leidenfrost noktasına (L) kadar düşer ve bu noktadan sonra da artan ısıtıcı yüzeyi sıcaklığıyla yavaş yavaş artar. Bu sayede geçiş kaynama bölgesinin incelenmesi sıcaklık kontrollü ısıtıcıyla mümkün olabilmektedir.

Doğal taşınım kaynaması bölgesinde düşük sıcaklık aşımı ile ısı özellikle tek faz doğal taşınım vasıtasıyla transfer edilir. Kabarcık oluşumu bu bölgede görülmez. Isı akısı artan ısıtıcı yüzey sıcaklığıyla yavaş bir şekilde artar.

Artan sıcaklık aşımı ile, buhar kabarcıkları ısıtıcı yüzeyi üzerinde oluşmaya başlar. Kabarcık oluşumu başlangıcı için gerekli olan minimum sıcaklık aşımı, deney şartlarına ilave olarak akışkan ve ısıtıcı yüzey özelliklerine bağlıdır. Buhar kabarcıklarının oluşumuyla ısı transferi önemli bir şekilde artış gösterir ve Şekil 2.2’de görüldüğü gibi ısıtılan yüzey sıcaklığı sabitken ısı akısında ani sıçrama görülür (1 noktasından A noktasına). Böylece **kabarcıklı kaynama** bölgesi başlamış olur. Bu bölgede transfer edilen ısı akısı, artan yüzey sıcaklığıyla çok daha fazla artış gösterir. Eğer ısıtılan yüzey sıcaklık aşımı daha da arttırılırsa -kabarcık oluşumu hızlanıp- kabarcıklı kaynamanın yüksek ısı akısı kısmına ulaşılır ve belli bir sıcaklık aşımında maksimum ısı akısı olan **kritik ısı akısına** erişilir.

Sıcaklık kontrollü ısıtıcı kullanılması durumunda, kritik ısı akısına ulaşıldıktan sonra sıcaklık aşımının artırılması ile ısıtılan yüzeyden ısı transferi düşmeye başlar. Çünkü ısıtılan yüzey üzerinde ısı transferini önemli bir şekilde etkileyen geçici olarak buhar örtüleri oluşmaktadır. Buharın sıvıya göre sahip olduğu düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle geçici olarak oluşan bu buhar örtüsü ısı transferini düşürür. Artan sıcaklık aşımıyla bu geçici buhar örtüsünün ısıtılan yüzeyi kaplama zaman periyodunun artacağı düşünülmektedir. Kritik ısı akısı noktasından ($\dot{q}_{maks}$) Leidenfrost noktasına (L) kadar olan

bu **geçiş kaynaması** bölgesinde buhar formları ısıtılan yüzeyden ayrıldığı zamana göre daha hızlı oluşum göstermektedir.

Isı transferinin minimuma düştüğü Leidenfrost noktasında (L) sürekli bir buhar filminden bahsedilebilir. Buharın düşük termal iletkenliği ile ısıtılan yüzey termal olarak neredeyse yalıtılmış gibidir. Bu yüzden Leidenfrost noktası (L) **film kaynamasının** başlangıcını göstermektedir. Bu bölgede ısıtıcı yüzeyinde çok yüksek sıcaklık aşımı olmadığı sürece toplam tranfer edilen ısı akışı düşüktür. Isıtılan yüzeyde sürekli buhar filmi olduğundan sıvı ısıtıcı yüzeyine temas etmemektedir. Sıvının termal iletkenliğinden düşük olan buhar filmi vasıtasıyla ısı transferi öncelikle ısıtıcı yüzeyden iletim yoluyla sağlanır. Artan sıcaklık aşımıyla ısı tranferinde ışıının etkili olur ve ısı transferi artar.

2.3 Havuz Kaynamasında Kabarcık Dinamikleri

Isıtılan yüzey üzerinde gelişen buhar kabarcıkları belirli bir zaman sonunda belirli bir büyüklükte yüzeyden kopup sıvı içerisinde yükselmektedir. Isıtılan yüzey ve test sıvısının özellikleri ile deney şartlarına bağlı olarak farklı kabarcık dinamikleri oluşmaktadır.

Bu çalışmada her bir kaynama bölgesinin kabarcık dinamiklerini incelemek amacıyla kabarcık hızı ve kabarcık çapı gibi önemli kabarcık parametrelerine odaklanılmıştır.

Buhar kabarcığının ısıtılan yüzeyde oluşup gelişiminden sonra yüzeyden ayrılıp belli bir hızla sıvı içerisinde yükselir. Bu çalışmada, buhar kabarcığının sıvı içerisinde yükselişi esnasında hızının değişmeyeceği kabul edilmiştir. Lobo [1]'nın çalışmasında buhar kabarcığının ısıtılan yüzeyde oluşumundan sonra çabucak son hızına imveleneceği belirtilmiştir. Kabarcığın bu dikey yöndeki son hızının yukarı doğru olan kaldırma kuvveti ile aşağı doğru olan sürüklenme kuvvetinin kümülatif etkisi tarafından etkileneceği belirtilmiştir. Sıcaklıktaki değişimin sıvı viskozitesini ve yoğunluğunu değiştireceği, bunun sonucunda da kabarcık hızının artan sıcaklıkla artacağı belirtilmiştir.

Buhar kabarcığının ısıtılan yüzeyden ayrılması esnasında sahip olduğu çap, ayrıca havuz kaynaması için literatürde incelenen önemli konulardan biridir. Isıtılan yüzeyde buhar kabarcığının oluşup gelişmesiyle artan kabarcık çapı ile, kabarcığı ısıtılan yüzeyde tutan

adhesiv kuvvetlere göre daha büyük olan kaldırma kuvvetleri ve dinamik kuvvetler oluşmaktadır. Bu yüzden, buhar kabarcığı belli bir kabarcık çapına ulaştıktan sonra ısıtılan yüzeyden ayrılır. Kabarcık çapını etkileyen başlıca parametreler genellikle yüzey temas açısı, yüzey pürüzlülüğü, yüzey gerilimi, sıcaklık aşımı, basınç, yer çekimi, yoğunluk ve viskozite olarak belirtilebilir.

Hamzekhani vd. [2] çalışmasında saf suyun, etanolun ve çeşitli ikili karışımların (etanol/su, NaCl/su ve Na₂SO₄/su) kabarcık çaplarını doymuş havuz kaynamasında atmosferik basınçta incelemiştir. Karışımların deneyleri farklı konsantrasyonlarda tekrarlanmıştır. Deneylerde kabarcık çapının artan ısı akısı ve elektrolit konsantrasyonu ile arttığı belirlenmiştir. Fakat, kabarcık çapının artan etanol kütle oranı ile azaldığı belirlenmiştir. Sakashita vd. [3], 2-propanol/su karışımının kabarcık çaplarını incelemiş ve düşük ısı akılarında 2-propanol ilavesi ile kabarcık çapının azaldığını belirlemiştir.

Wagner vd. [13], yaptıkları çalışmada kabarcık çapının ısı akısı yerine ağırlıklı olarak sistem basıncından etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada deneyler sabit basınçta yapıldığından ve deney test maddelerinin fiziksel özellikleri birbirine yakın olduğundan basınç ve yüzey teması açısı etkilerinin incelenmesi mümkün olmayacaktır. Yine de incelenen iki saf maddenin (FC84, FC3284) atmosferik basınçtaki doyma sıcaklıkları arasında 30 °C fark olduğu bilinmektedir.

Kabarcık çapları bu çalışmada kabarcığın ısıtılan yüzeyden ayrılma çapı için geçerli olan literatürdeki bazı korelasyonlarla incelenmiştir.

Saf maddelerin ve ayrıca karışımların kabarcık çaplarının tahmini için mevcut olan en güvenilir modellerden biri Fritz [4] korelasyonudur. Bu korelasyon yüzey temas açısı etkisini hesaba katarak yerçekimi ile yüzey gerilimi kuvvetlerinin dengesini belirtmektedir.

$$d_{bd} = 0.0208\theta \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} \quad (2.1)$$

Teması açısı olan θ , karışımları için genellikle 35° ve su için 45° olarak belirtilmiştir.

Yüzey temas açısı θ , ısıtılan yüzey malzemesinin ıslanma özelliğine ve kabarcıkların ilk oluşum yerleri olan yüzeydeki çekirdeklenme bölgelerinin yapısına bağlıdır. Yüzey ıslanması, sıvı-yüzey arasındaki temas açısının 0° ve 90° olduğu zaman gerçekleşmektedir. Temas açısı 0° olduğunda tam ıslanma olmaktadır. Yüzeyi iyi ıslatan

sıvılar küçük temas açısına sahiptirler ve bu durumda yüzeyden ayrılan kabarcık çapları küçük olmaktadır. Yani yüzey temas açısı ve yüzey gerilimi ne kadar küçük ise kabarcık çapı da daha küçük olur.

Fritz [4] korelasyonunun sadece kabarcıklı kaynama bölgesinin düşük ısı akılarında geçerli olduğu bilinmelidir. Gerçek temas açısının deneysel olarak ölçülmesi kolay olmadığından kabarcık çapı ayrıca diğer korelasyonlarla da incelenmiştir.

Kutateladze ve Gogonin [5] literatürden çok fazla veriyi ilişkilendirerek şu denklemi sunmuşlardır:

$$d_{bd} = 0.25 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} (1 + 10^5 \cdot C)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

$$C = \frac{Ja}{Pr_l} \left[\frac{\mu_l^2}{g \rho_l (\rho_l - \rho_v)} \right] \left[\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right]^{-\frac{3}{2}} \quad (2.3)$$

Fakat, C sabitinin 0.06 'dan küçük olması ($C < 0.06$) durumunda bu korelasyonun geçerli olduğu belirtilmiştir.

Kutateladze ve Gogonin [5]'in korelasyonu değiştirilerek Jensen ve Memmel [6] tarafından şu korelasyon sunulmuştur:

$$d_{bd} = 0.19 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} (1.8 + 10^5 \cdot C)^{\frac{2}{3}} \quad (2.4)$$

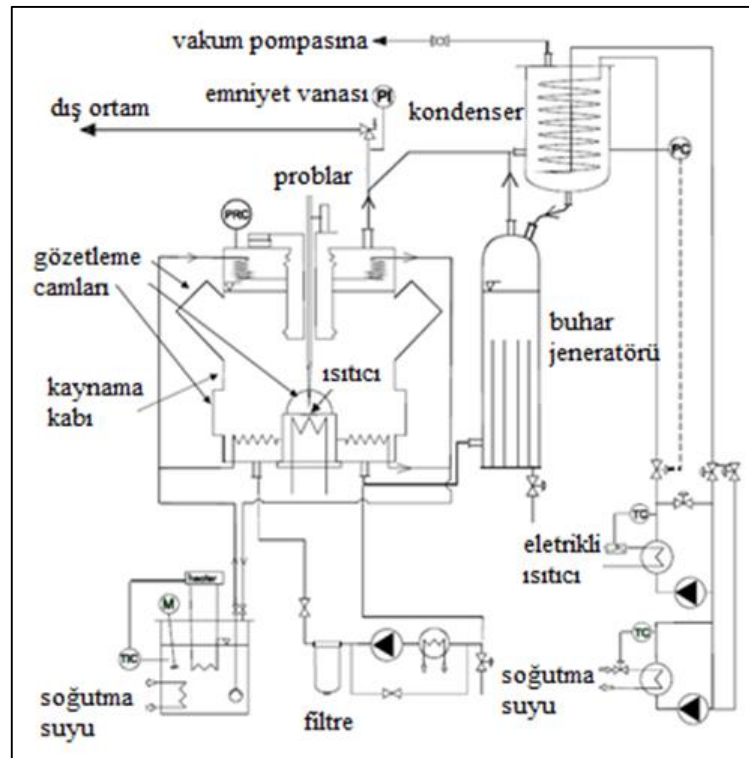
Sathyabhama ve Ashok Babu [7] çalışmasında, Fritz [4] korelasyonunun deneysel sonuçların üzerinde bir tahmin gerçekleştirdiğini saptamıştır. Ayrıca Kutateladze ve Gogonin [5], Jensen ve Memmel [6] korelasyonlarının kabarcığın yüzeyden ayrılma çapını, Jakob sayısının (Ja) zayıf fonksiyonu ile tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Peyghambarzadeh vd. [8]'nin çalışmasında kaynamayla ilgili kabarcık oluşumu, kabarcık gelişimi, kabarcığın yüzeyden ayrılması ve sıvı içerisinde yükselmesi gibi birçok olguda viskozite etkisinin görüleceği belirtilmiş ve literatürde Fritz [4] korelasyonu gibi birçok korelasyonun bu etkiyi hesaba katmadığı vurgulanmıştır.

Bu çalışmada havuz kaynamasında bilgisayar sistemlerinin soğutulması dikkate alınmıştır. Test sıvısı olarak elektronik soğutma sıvıları olan FC3284, FC84 ve bunların ikili karışımları kullanılarak havuz kaynamasında kabarcık hızı ve kabarcık çapı kaynama eğrisi boyunca araştırılmıştır.

BÖLÜM 3

TEST DÜZENEGİ VE ISITICI

Şekil 3.1’de test düzeneğinin basit olarak şeması gösterilmektedir. Test düzeneğinin başlıca elemanları kaynama kabı (çap 209 mm, yükseklik 332 mm), buhar jeneratörü ve kondenserdir.



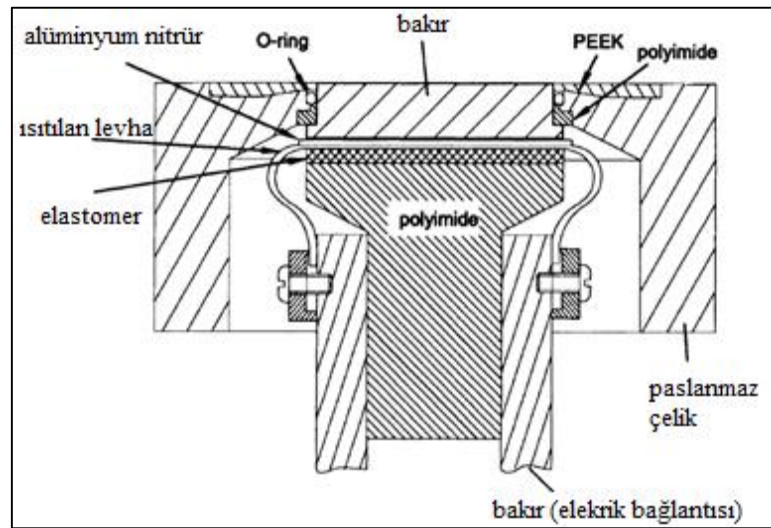
Şekil 3.1 Test düzeneği (Buchholz [9])

Test akışkanındaki küçük temizlenmesi gereken parçacıklar, bir filtreleme döngüsü ile ortadan kaldırılır. Bu filtreleme döngüsü bir ısı eşanjöründen, bir santrifüj pompadan ve 0.2 μm belirli bir temizleme değeri olan bir filtreden oluşmaktadır. Ölçümler

esnasında, kaynama kabının bazı kısımlarında bulunan gözetleme camlarından kaynama işlemi izlenebilir. Sistem basıncı kondenser ile kontrol edilir. Buhar jeneratörü, kaynama kabı girişinde sabit doyma sıcaklığı şartlarını korumak için kondenserden gelen soğutulmuş sıvıyı tekrar ısıtır. Test düzeneği paslanmaz çelikten yapılmış olup paklanmış, elektrikli parlatılmış ve pasivasyonu yapılmıştır.

Üç ekseninde hareket ettirilebilen optik probalar ile mikro termal-prob kaynama kabının üst kısmına yerleştirilmiştir. Optik probalar 125 μm çaplı ve 8 μm çekirdek çaplı iki tek mod kuvars fiberglas ile meydana gelmiştir. Optik prob uçları 1.5 μm 'den daha küçüktür. Bu optik probalar kullanılarak fazların farklı olan kırılma indisleri vasıtasıyla buhar ve sıvı fazları saptamak mümkün olmaktadır.

Kaynama kabının alt kısmında yer alan test ısıtıcısının Şekil 3.2'de kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 3.2 Test ısıtıcısı (Buchholz [9])

Bakırdan yapılmış olan 35 mm yüzey çapında ve 7 mm kalınlığındaki test ısıtıcısı paslanmaz çelikten bir muhafaza içerisine monte edilmiştir. Korozyon ve oksidasyondan korunmak için, kaynama yüzeyi 1 μm kalınlığındaki saf altın tabaka ile kaplanmıştır. Sisteme ısı girişi sağlayan ısıtılan levha direnci, ısıtıcı tabanına yerleştirilmiştir. Elektriksel yalıtılım için, ince bir alüminyum nitrür seramik levhası ısıtıcıda yer almaktadır. Isıtıcı yüzeyinin ortalama sıcaklığını belirlemek için 14 adet K tipi termokupl ($\varnothing$ 0.25 mm) elektro kaplama ile test ısıtıcısı içerisine yerleştirilmiştir. Bu termokupllar ile sıcaklık kontrolü ve aşırı sıcaklığa karşı koruma sağlanır. K tipi

termokupllara ilave olarak birkaç mikro termokupl bakır blok içerisine yerleştirilmiştir. Test düzeneğinin ve test ısıtıcısının detaylı açıklaması Buchholz [9]'un çalışmasında verilmiştir.

Bu çalışmada fiziksel özellikleri birbirine benzer olan elektronik soğutma sıvıları FC3284, FC84 ile bunların ikili karışımları kullanılmıştır. Bu test sıvıları elektriksel olarak yalıtkan olup fluorokarbon temelli sıvılardır.

Literatürde mevcut korelasyonların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amacıyla test sıvılarının doyma sıcaklıklarındaki fiziksel özellikleri kullanılacaktır.

Çizelge 3.1 Akışkan özellikleri [14] baz alınarak test sıvılarının atmosferik basınçta doyma sıcaklıklarındaki fiziksel özellikleri

	FC3284	FC84	%75 mol karışım*
$T_s (^{\circ}\text{C})$	50	80	57
$M (\text{g/mol})$	299	388	321
$\rho_l (\text{kg/m}^3)$	1643	1584	1630
$\rho_v (\text{kg/m}^3)$	10.5	12.5	12.5
$C_p (\text{J/kg.K})$	1092	1138	1103
$\mu (\text{Pa.s})$	5.34×10^{-4}	4.28×10^{-4}	5.19×10^{-4}
$\sigma (\text{N/m})$	0.011	0.008	0.010
$k_l (\text{W/mK})$	5.85×10^{-2}	5.34×10^{-2}	5.72×10^{-2}
Pr_l	9.97	9.12	10.01

*%75 mol FC3284 – %25 mol FC84 karışımı

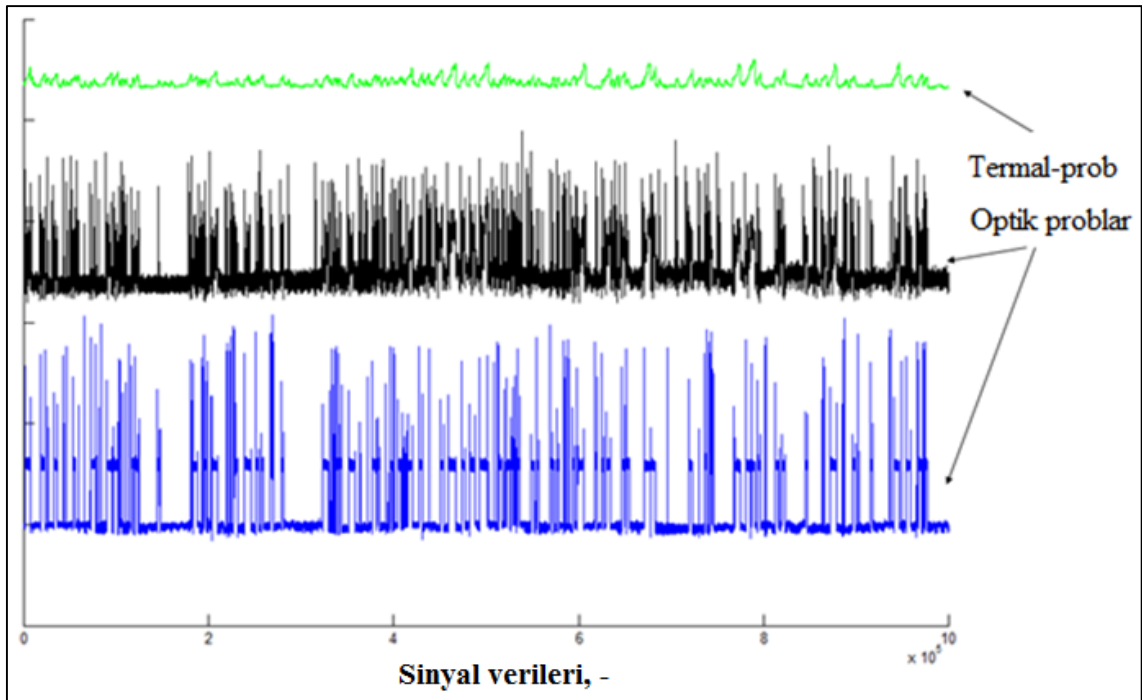
Yüzey ile temas açısının bütün test sıvıları için 35° olduğu kabul edilmiştir. Sıvı özellikleri, üretici firmanın belirttiği akışkan özellikleri [14] kullanılarak doyma sıcaklıklarında hesaplanmıştır. %75 mol FC3284 içeren karışımın doyma sıcaklığındaki buhar yoğunluğu, Kluge [15]'nin çalışmasında sunulmuş olan karışımın o sıcaklıktaki buhar konsantrasyonu oranı (FC84-FC3284) ile hesaplanmıştır. %50 mol oranlı karışımın ölçümlerine korelasyonların geçerli olmadığı yüksek ısı akılarında başlanıldığından bu karışım için korelasyonlarla inceleme yapılmamıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL YÖNTEM

Optik prob lar ısıtıcı yüzeyinden 5 mm mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ölçülen optik prob sinyalleri uygun hesaplama methodlarıyla MATLAB programı (Mathworks) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirilmiş verilerin yardımıyla kabarcık hızı, kabarcık çapı, kabarcık frekansı, kabarcık sıcaklığı gibi karakteristik nitelikler belirlenebilir.

Örnek olarak, FC3284'ün kabarcıklı kaynama bölgesinin 0.96 bağıl ısı akısındaki ölçülen verileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bağıl ısı akısı, ölçülen ısı akısının kritik ısı akısına (CHF) oranı olarak tanımlanabilir.

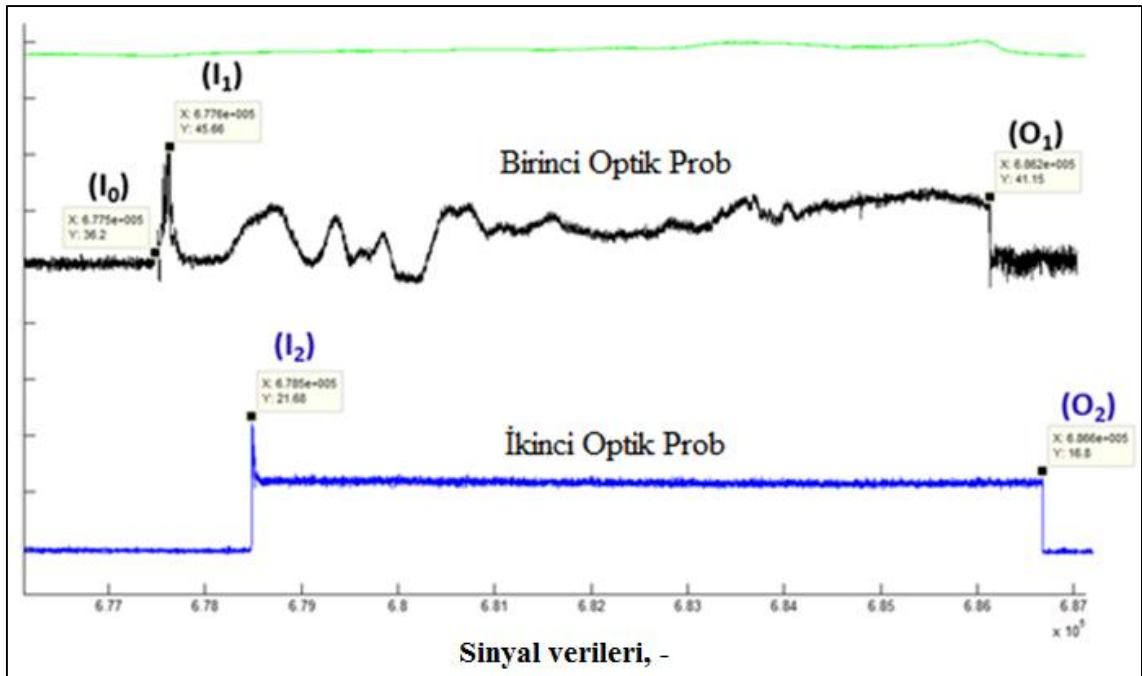


Şekil 4.1 FC3284'ün kabarcıklı kaynama bölgesinin 0.96 ($q^*=0.96$) bağıl ısı akısındaki ölçülen bir milyon verisinin optik prob ve mikro termal-prob sinyalleri

Optik problemlerin buhar kabarcığı içerisinde kaldığı zaman periyodu bir süreci temsil etmektedir. Bu zaman periyodu optik problemlerin buhar kabarcığının üst kısmından içerisine girişinden, buhar kabarcığının alt kısmından çıkışına kadar sürmektedir. Bu yüzden bir süreç bir buhar kabarcığını belirtmektedir. Süreçleri daha iyi göstermek için, bir milyon ölçülen veri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Deney verileri 260 kHz frekansı ile kayıt edildiğinden, x eksenindeki bir ölçüm noktası 3.846×10^{-6} saniyeye karşılık gelmektedir.

Buhar kabarcığının küresel olduğu, optik problemler ile temas ettiğinde ve sıvı içerisinde yükseldiğinde şeklinin değişmediği farz edilmiştir. Mikro termal-prob ile elde edilen Şekil 4.1’deki birinci sinyal çizgisi (üst çizgi) ölçüm sırasındaki sıcaklık profilini sunmaktadır. İkinci ve üçüncü çizgiler ise sırasıyla birinci ve ikinci optik prob sinyallerini göstermektedir.

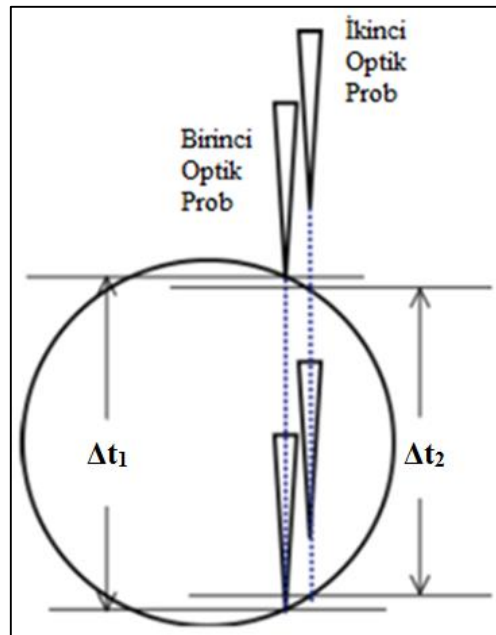
Birinci optik prob ile mikro termal-prob dikeyde aynı seviyede olduğundan ve ikinci optik prob diğer problemlerden $465 \mu\text{m}$ yukarıda olduğundan, buhar fazı genellikle ilk olarak Şekil 4.2’de gösterildiği gibi ilk optik prob tarafından gösterilir. Bu çalışmada, kabarcık hızı ve çapının belirlenmesi için mikro termal-prob sinyalleri kullanılmamıştır.



Şekil 4.2 FC3284’ün kabarcıklı kaynama bölgesinin 0.96 ($q^*=0.96$) bağıl ısı akısındaki bir sürecin optik prob ve mikro termal-prob sinyalleri

Şekil 4.2, bir sürece odaklanılarak kabarcık çapını belirlemek için seçilen sinyal verilerini göstermektedir. Her bir ölçüm noktası için sıvı veya buhar fazını belirlerken optik problardan yararlanılır. Daha alçak seviyede olan optik prob sinyalleri sıvı fazını belirtirken, üst seviyedeki sinyaller buhar fazını belirtmektedir. Birinci optik prob sinyalinin ilk tepe noktası “ I_1 ”, genellikle probun buhar kabarcığı içerisine giriş anını temsil etmektedir. Bu probun son tepe noktası “ O_1 ” ise genellikle probun buhar kabarcığından çıkışını göstermektedir. Aradaki önemli görülmeyen tepe noktaları hesaba katılmamaktadır. Buhar kabarcığını temsil eden bazı süreçlerde, birinci optik prob sinyalinin ilk tepe noktasından önce dalgalanmalar görülmektedir. Dalgalanmaların başladığı nokta ayrıca birinci optik probun buhar kabarcığı içerisine girişini temsil edebilir. Bu yüzden, bu nokta da kabarcık içerisine giriş zamanı noktası (I_0) olarak farz edilir. Böylece, bu iki giriş zaman noktası (I_0 and I_1) ayrı ayrı kullanılarak kabarcık hızı hesaplanır. Hesaplanan iki ayrı kabarcık hızı ile iki ayrı kabarcık çapı bulunur. Sonuç olarak, bu zaman noktalarıyla hesaplanan iki farklı ortalama kabarcık hızı ve iki farklı ortalama kabarcık çapı belirlenir.

Öte yandan, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi ikinci optik prob sinyalinin ilk tepe noktasından önce herhangi bir önemli dalgalanma görülmemektedir. Bu yüzden, “ I_2 ” noktası ikinci optik probun buhar kabarcığına girişini gösteren tek bir giriş zamanı noktası olarak alınır ve “ O_2 ” noktası bu probun buhar kabarcığından çıkış anını ifade etmektedir.



Şekil 4.3 Bir buhar kabarcığının optik problardan geçişi

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi optik problemlerin giriş zamanları arasındaki fark, buhar kabarcığının küresel şekli sebebiyle çıkış zamanları arasındaki farktan daha büyüktür. Çünkü buhar kabarcıklarının sıvı içinde yükselmesi esnasında hızının değişmediği kabul edilirse, Şekil 4.3'teki örnekte, birinci optik prob ikinci optik proba göre buhar kabarcığı içerisinde daha uzun süre kalır. Bu yüzden birinci optik probun buhar kabarcığı içerisinde kaldığı süre (Δt_1), ikinci probun kaldığı süreden (Δt_2) daha fazla olacaktır. Fakat, eğer optik problemler buhar kabarcığına farklı bir noktadan temas ederse Δt_1 zamanının Δt_2 zamanından fazla olduğu bu durumun tam tersi olabilir. Bunun sebebi olarak buhar kabarcığının küresel formu ve iki optik prob arasındaki yatay mesafe (38 μ m) gösterilebilir. Bu giriş ve çıkış ölçüm zamanı noktaları sayesinde kabarcık hızı ve kabarcık çapı değerlendirilebilir.

4.1 DeneySEL Sonuçların Teorik Hesaplamaları

Toplam deney ölçüm süresi içerisinde buhar kabarcıklarını uygun olarak belirten optik prob sinyallerinin ölçüm noktaları kullanılarak kabarcık hızı ve kabarcık çapı belirlenebilir. Toplam ölçüm süresi denklem 4.1 kullanılarak hesaplanır.

$$\frac{\text{Toplam ölçülen veri sayısı}}{\text{Veri kaydetme frekansı}} = \text{Toplam ölçüm süresi} \quad (4.1)$$

Toplam ölçülen veri sayısı MATLAB programı kullanılarak bulunur.

FC3284 saf maddesi ve 50% mol oranlı karışım ile yapılan her bir deneyde toplam 11184810 ölçülmüş veri bulunurken, FC84 saf maddesi ve 75% mol FC3284 – 25% mol FC84 içeren karışım ile yapılan her bir deneyde 8388608 ölçülmüş veri bulunmaktadır. Veri kayıt frekansı 260 kHz alınarak, toplam ölçüm süresinin FC3284 ve %50 mol oranlı karışımla yapılan deneylerde 43.02 s olduğu diğer test maddelerinde ise 32.26 s olduğu hesaplanmıştır.

4.1.1 Kabarcık Hızı

Seçilen ölçüm noktalarına kadarki ölçülen veri sayısı MATLAB programı kullanılarak bulunabilmektedir. Bu noktaların gerçekteki zaman karşılığı denklem 4.2 kullanılarak hesaplanır.

$$\frac{\text{Ölçülen veri sayısı}}{\text{Ölçülen verinin kayıt frekansı}} = \text{Gerçek ölçüm zamanı} \quad (4.2)$$

Giriş ve çıkış ölçüm noktalarının zaman değerleri denklem 4.2 kullanılarak elde edilir. Daha sonra, optik prob sinyallerindeki kabarcığa giriş ve çıkış zamanlarını belirten noktalar arasındaki zaman farkları şu şekilde hesaplanır.

Giriş zaman farkı

$$1) \quad I_0 \text{ 'e göre : } \Delta t_{\text{giriş}_{2-0}} = (t_{I,2} - t_{I,0}) \quad (4.3)$$

$$2) \quad I_1 \text{ 'e göre : } \Delta t_{\text{giriş}_{2-1}} = (t_{I,2} - t_{I,1}) \quad (4.4)$$

Çıkış zaman farkı

$$\Delta t_{\text{çıkış}_{2-1}} = (t_{O,2} - t_{O,1}) \quad (4.5)$$

Optik problemlerin giriş ve çıkış zamanları arasındaki zaman farklarının hesaplanmasından sonra, ortalama zaman değeri buhar kabarcığının küresel olduğu kabulü ile elde edilir.

1) I_0 'e göre:

$$\Delta t_{\text{ortalama},0} = \frac{(\Delta t_{\text{giriş}_{2-0}} + \Delta t_{\text{çıkış}_{2-1}})}{2} \quad (4.6)$$

2) I_1 'e göre :

$$\Delta t_{\text{ortalama},1} = \frac{(\Delta t_{\text{giriş}_{2-1}} + \Delta t_{\text{çıkış}_{2-1}})}{2} \quad (4.7)$$

Buhar kabarcığı birinci optik probun ucundan ikinci optik probun ucuna bu zaman süresinde gitmektedir. Böylece, kabarcık hızı her bir ortalama zaman farkı (I_0 'a göre ve I_1 'e göre) ve optik problemler arasındaki dikey mesafe (465 μm) kullanılarak hesaplanır.

$$v_{b,0} = \frac{465 \mu\text{m}}{\Delta t_{\text{ortalama},0}} \quad (4.8)$$

$$v_{b,1} = \frac{465 \mu\text{m}}{\Delta t_{\text{ortalama},1}} \quad (4.9)$$

Sonuç olarak, iki kabarcık hızı $v_{b,0}$ and $v_{b,1}$ olarak hesaplanmaktadır. Kabarcık hızının hesaplanması hakkında daha detaylı tanımlama Koeppen [16]'in çalışmasında mevcuttur.

4.1.2 Kabarcık Çapı

Kabarcık hızının hesaplanmasından sonra, Şekil 4.3'te görülen optik problemlerin buhar kabarcığı içerisinde kaldıkları sürelerin (Δt_1 ve Δt_2) belirlenmesi gerekmektedir. " Δt_1 " ve " Δt_2 " denklem 4.10 ve denklem 4.11'de görüldüğü gibi sırasıyla birinci ve ikinci optik probun buhar kabarcığına girişiyle ve kabarcıktan çıkışı arasındaki zaman farkını belirtmektedir.

$$\Delta t_1 = (t_{o,1} - t_{i,1}) \quad (4.10)$$

$$\Delta t_2 = (t_{o,2} - t_{i,2}) \quad (4.11)$$

Daha fazla olan zaman periyodu (Δt_1 veya Δt_2) kabarcık çapının hesaplanması için kullanılır. Çünkü kabarcık merkezine daha yakın olan optik prob, kabarcık içerisinde daha uzun süre kalacaktır.

Daha fazla olan kabarcık içerisinde kalma süresi (Δt_1 veya Δt_2) ile birinci optik prob sinyallerinde görülen dalgalanmalar nedeniyle daha önce bulunmuş olan iki farklı kabarcık hızı ($v_{b,0}$ ve $v_{b,1}$) kullanılarak iki farklı kabarcık çapı hesaplanır.

$$d_{b,0} = v_{b,0} \times (\Delta t_1 \text{ veya } \Delta t_2) \quad (4.12)$$

$$d_{b,1} = v_{b,1} \times (\Delta t_1 \text{ veya } \Delta t_2) \quad (4.13)$$

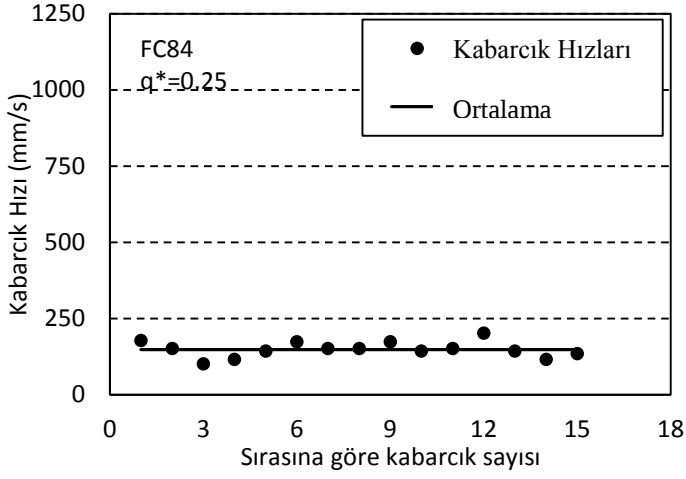
Hesaplanan kabarcık hız ve çapları Bölüm 5'te sunulmaktadır.

SONUÇLAR

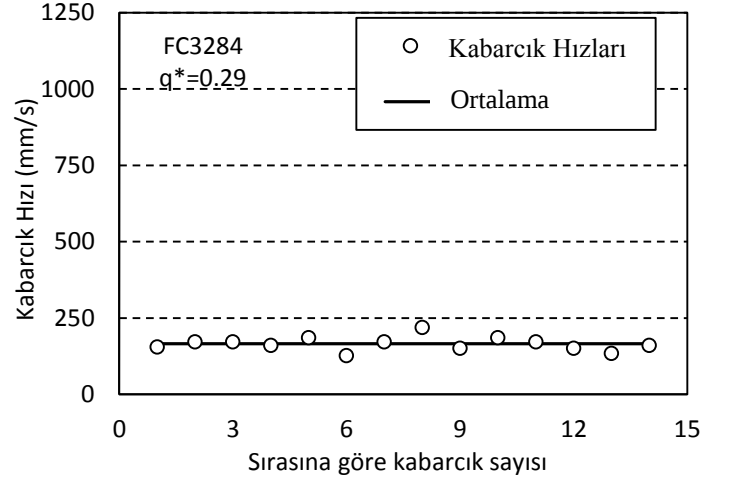
FC84, FC3284 ve FC3284 ün %50 mol ile %75 mol ikili karışımları kullanılarak ısıtılan yüzeyden 5 mm mesafede kabarcık hızı ve kabarcık çapı havuz kaynamasının bütün bir kaynama eğrisi boyunca atmosferik basınçta belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kabarcıklı kaynama bölgesinin başlangıcında kabarcık çapı için mevcut olan literatür korelasyon sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

5.1 Ortalama Kabarcık Hızları

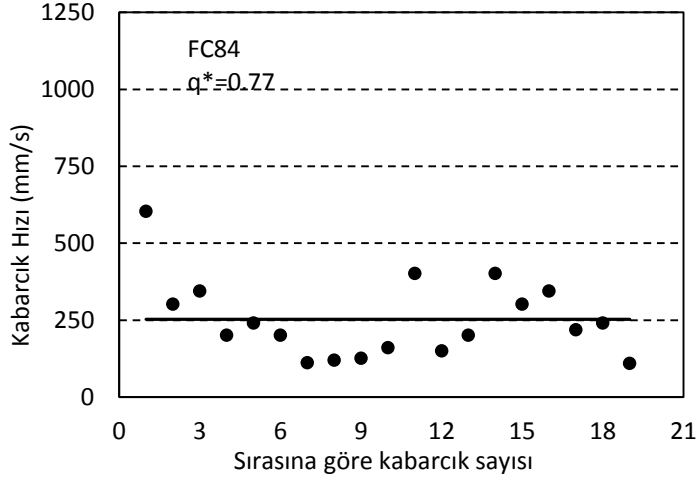
Kabarcık hızlarının denklem 4.9 kullanılarak yapılan hesaplamaları ve onların matematiksel ortalamaları saf maddeler ve karışımlar için kabarcıklı kaynama bölgesinde farklı bağıl ısı akıları ile Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de sırasıyla gösterilmiştir. Bu çalışmada en az bir milyon ölçülmüş veri değerlendirilmiş ve kabarcık oluşumunu net gösteren optik prob sinyalleri dikkate alınmıştır.



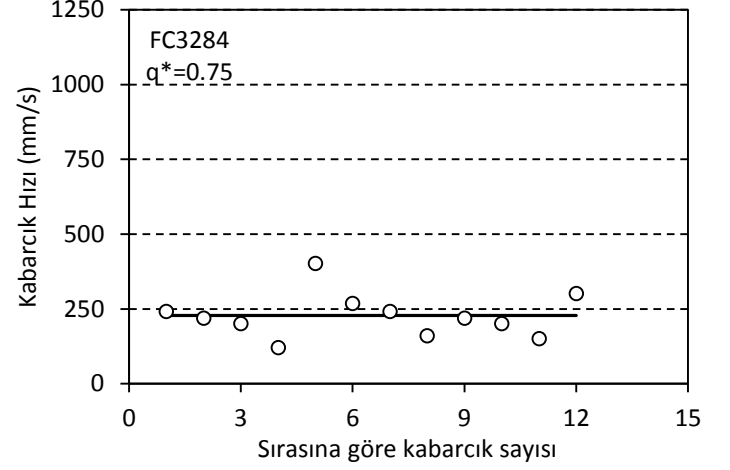
a)



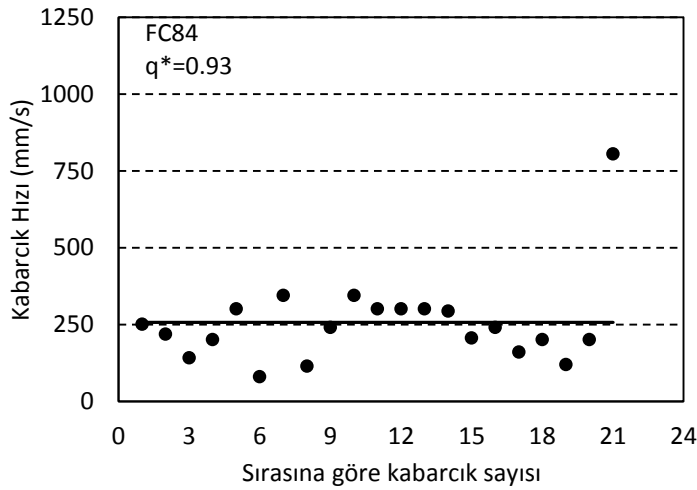
d)



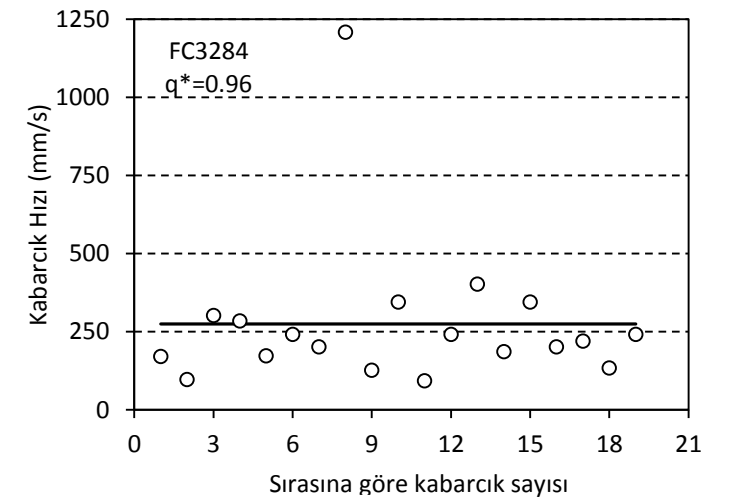
b)



e)

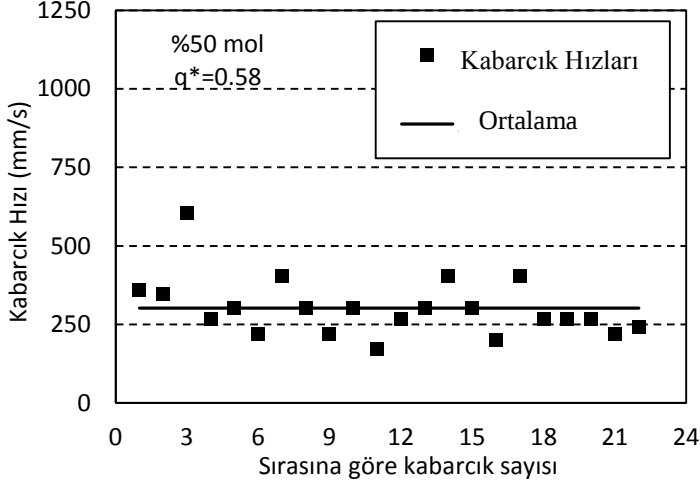


c)

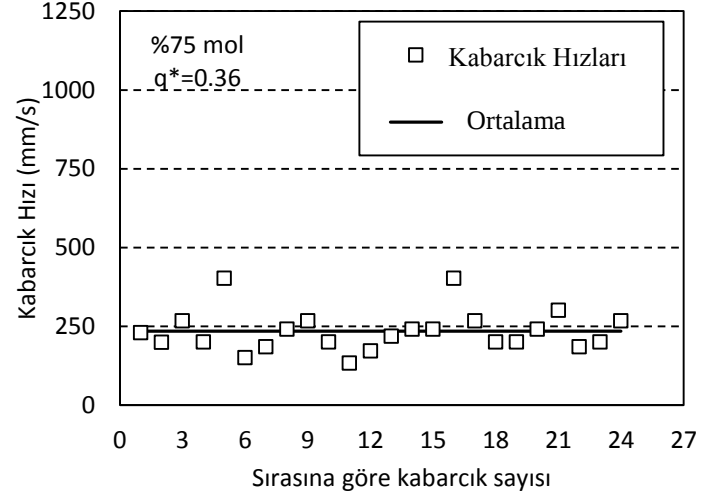


f)

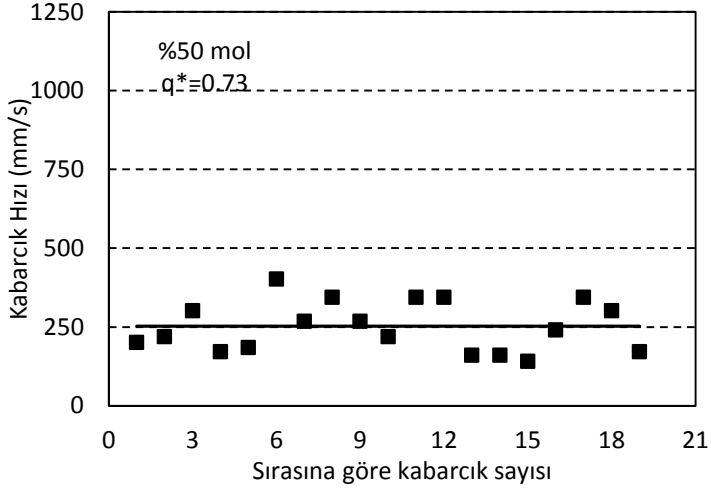
Şekil 5.1 FC84 ve FC3284 saf maddeleri ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık hızları ($v_{b,1}$) ve ortalamaları



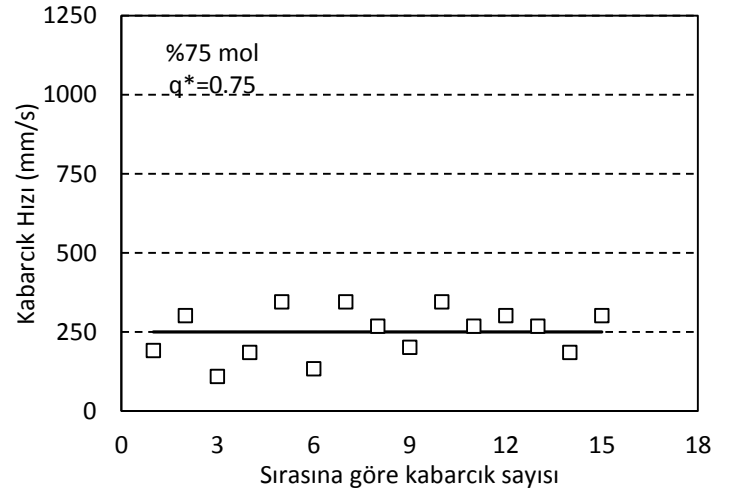
a)



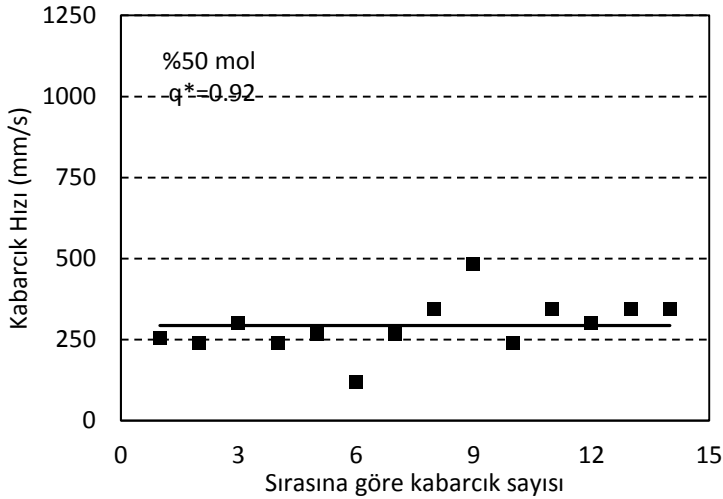
d)



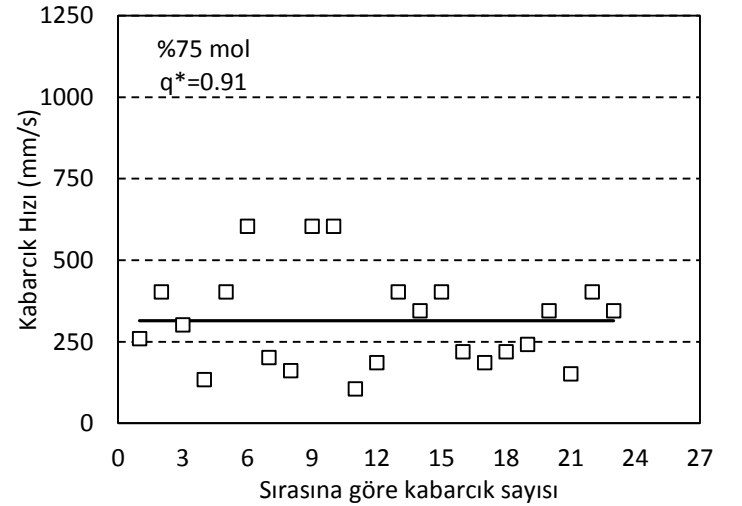
b)



e)



c)



f)

Şekil 5.2 %50 mol ve %75 mol FC3284 içeren karışımlar ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık hızları ($v_{b,1}$) ve ortalamaları

Bölüm 4.1.1’de değinildiği gibi birinci optik probun buhar kabarcığı içine girişi esnasındaki sinyaller içinde dalgalanmalar mevcut olduğundan iki kabarcık hızı $v_{b,0}$ and $v_{b,1}$ hesaplanmıştır. Bahsedilen $v_{b,0}$ and $v_{b,1}$ hızlarından yüksek olan kabarcık hızları ($v_{b,1}$) ve ortalamaları Şekil 5.1, Şekil 5.2’de sunulmuştur.

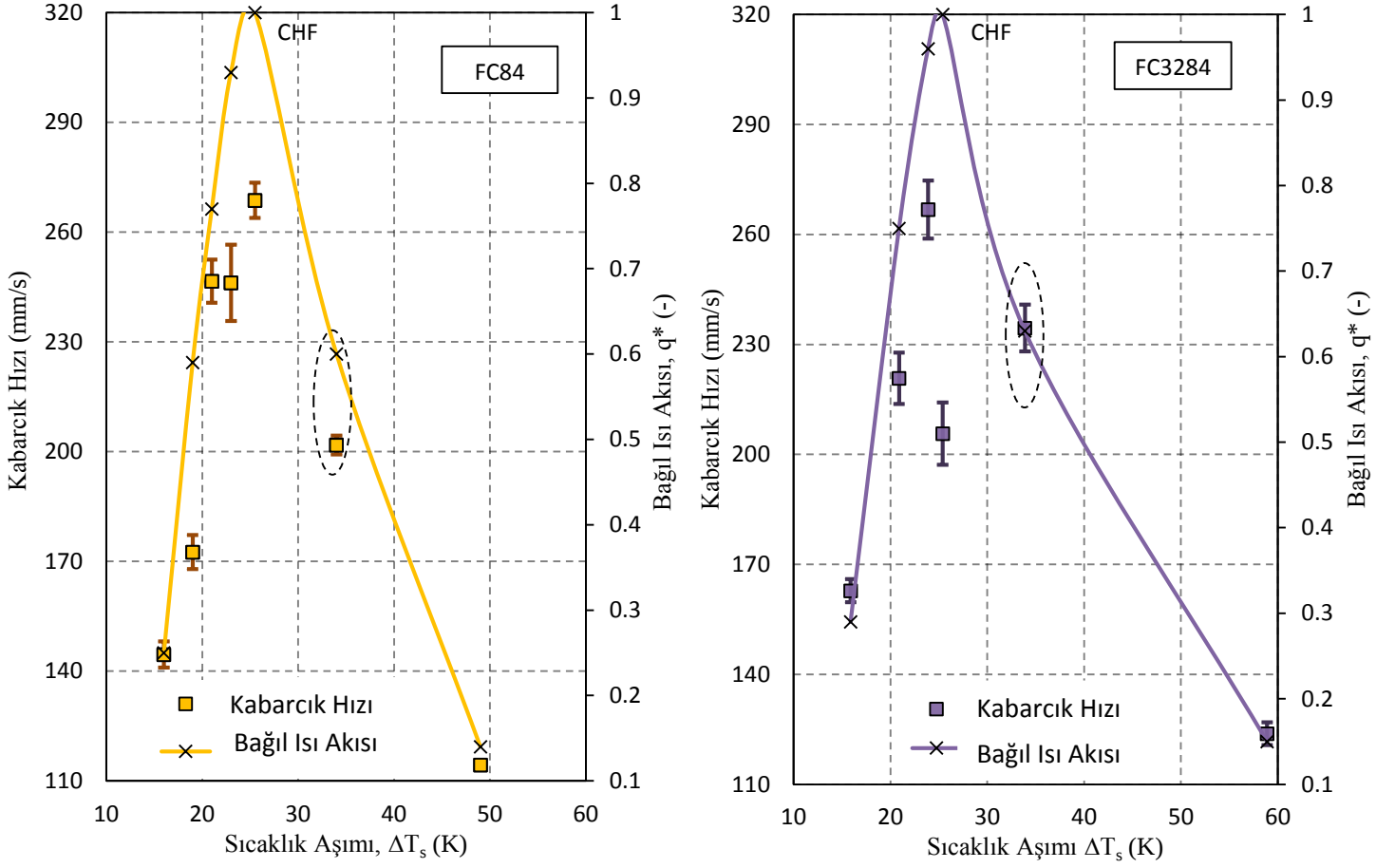
Saf maddeler için düşük bağıl ısı akısında ortalama değerden düşük sapma görülürken, yüksek bağıl ısı akılarında ortalama değerden sapma daha büyük olmuştur. FC3284’ün %50 mol ve %75 mol oranlı karışımları için genel olarak ortalama değerlerden çok büyük bir sapma görülmemektedir. Fakat kritik ısı akısına yakın bağıl ısı akısında ($q^*=0.91-0.92$), %75 mol FC3284 içeren karışım sonuçlarının %50 mol oranlı karışıma göre kabarcık hızlarının ortalama değerden daha büyük bir sapma gösterdiği görülmektedir.

Karışımlar ile karşılaştırıldığında saf maddelerin düşük bağıl ısı akılardaki ($q^*=0.25 - 0.29$) kabarcık hız değerleri ortalama değere daha yakındır. Bunun sebebi düşük bağıl ısı akılarında buhar kabarcıkları arasında daha düşük etkileşimin olabileceğidir. Şekil 5.1d ve Şekil 5.2d ‘de gösterildiği gibi bağıl ısı akıları arasında çok büyük bir fark olmamasına rağmen %75 mol oranında FC3284 içeren karışımındaki kabarcık hızlarının ortalama değere göre sapması saf FC3284’e göre daha büyük olmaktadır. Bu karışımındaki FC84’ün %25 mol oranının bu sonucu doğurmuş olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışma havuz kaynamasında karışımın etkilerinin ortaya konulması için yapılmıştır, bu çıkan sonuç yapılan bu çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

5.2 Farklı Kaynama Bölgelerinde Ortalama Kabarcık Hızları

Kabarcık hızlarının sıcaklık aşımına göre değişimi saf maddeler ve ikili karışımları için Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te sırasıyla sunulmuştur. Şekillerde sunulan her bir deneysel veri şöyle elde edilmiştir: En az 12 ölçüm dikkate alınarak $v_{b,0}$ için aritmetik ortalama değer elde edilmiştir. Aynı şekilde aynı ölçüm değerlerinden $v_{b,1}$ için bir ortalama değer elde edilmiştir. Bu elde edilen ortalama değerlerin (ortalama $v_{b,0}$ ve ortalama $v_{b,1}$) aritmetik ortalaması alınarak şekillerde sunulan bir verinin büyüklüğü hesaplanmış ve ortalama değer olarak sunulmuştur. Havuz kaynamasının farklı bölgelerinde elde edilen bu

ortalama değerlerin alt limitini ortalama $v_{b,0}$ hızı oluştururken, üç limitini de ortalama $v_{b,1}$ hızı oluşturmaktadır.



şekil 5.3 Saf maddelerin ortalama kabarcık hızlarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi

şekil 5.3'te $v_{b,0}$ and $v_{b,1}$ değerleriyle birlikte bunların ayrı ayrı ortalamarı saf maddeler için gösterilmiştir. Bölüm 4.1.1 anlatıldığı gibi $v_{b,0}$ hızı, birinci optik probun buhar kabarcığı içerisine girerken sinyallerinde oluşan dalgalanmanın dikkate alınmasıyla hesaplanmıştır. $v_{b,1}$ hızı ise bu dalgalanma göz ardı edilerek hesaplanmıştır. Bu iki hız arasındaki farkın genel olarak kabarcıklı kaynama bölgesinin yüksek bağıl ısı akılarında daha fazla olduğu şekil 5.3'te gőrölmüřtür.

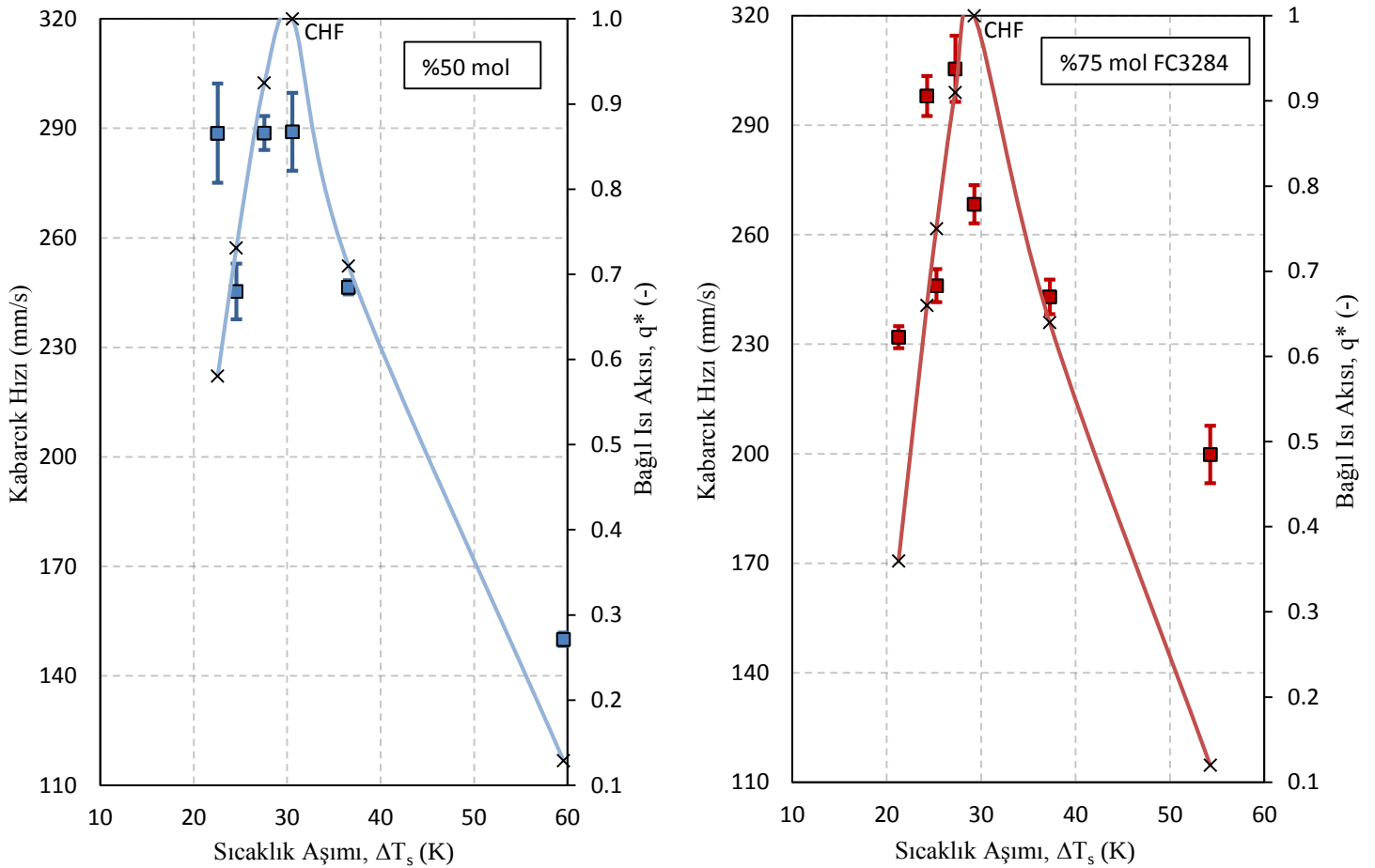
Genel olarak kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımının artmasıyla kabarcık hızı artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek bağıl ısı akılarında iki saf madde arasında bu durum farklılık göstermektedir. FC84 için kaynama eğrisinde kritik ısı akısına ulaşıldığında kabarcık hızı artarken, FC3284 için kritik ısı akısında kabarcık hızı düşmüştür.

Geçiş kaynaması bölgesinde iki saf maddenin bağıl ısı akısının ($\dot{q}^*$) 0.60 – 0.63 ve sıcaklık aşımının (ΔT_s) yaklaşık 34 K olduğu durumda ortalama kabarcık hızları birbiriyle karşılaştırıldığında FC84 için yaklaşık 202 mm/s iken FC3284 için 234 mm/s olmaktadır.

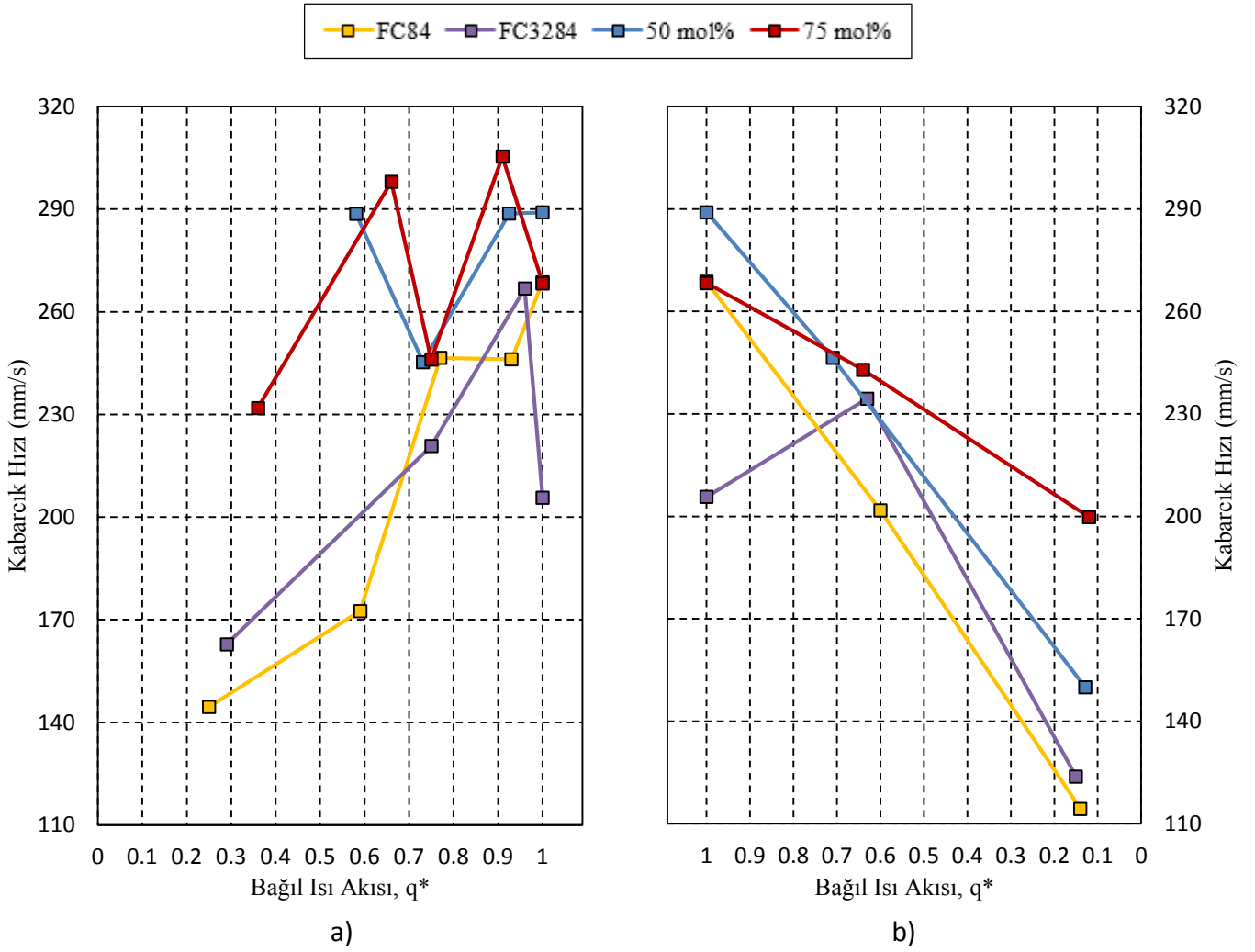
Saf maddeler için geçerli olan kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımıyla artan ortalama kabarcık hızı durumu, karışımlarda Şekil 5.4'te belirtildiği gibi bir süreksizlik göstermektedir.

Kritik ısı akısından itibaren geçiş kaynaması ve film kaynaması bölgelerinde hesaplanmış olan ortalama kabarcık hızı değerleri azalmıştır.

Ortalama kabarcık hızları saf maddeler ve ikili karışımları için bağıl ısı akılarına göre Şekil 5.5'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.4 Karışımların ortalama kabarcık hızlarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi

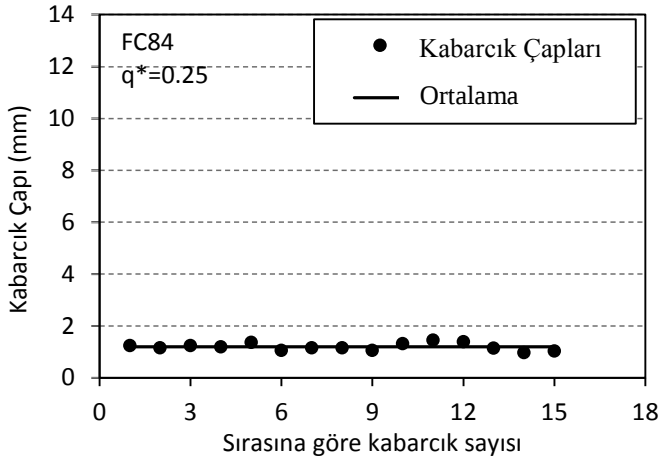


Şekil 5.5 Ortalama kabarcık hızlarının bağıl ısı akısıyla değişimi a) kabarcıklı kaynama b) geçiş ve film kaynama bölgeleri

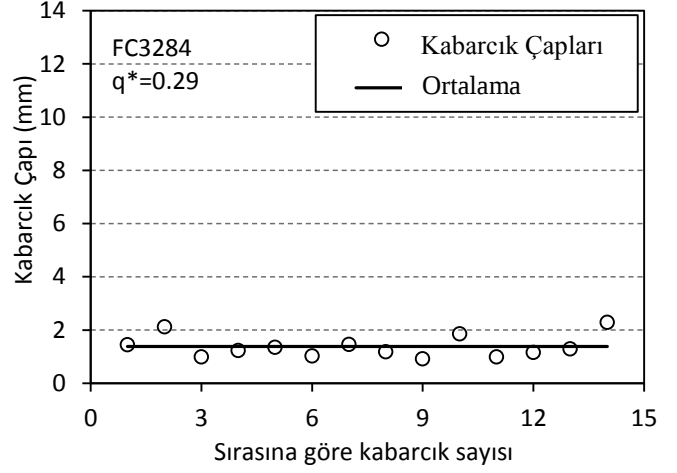
Şekil 5.5a'da görüldüğü gibi kabarcıklı kaynama bölgesinde ortalama kabarcık hızları (ortalama $v_{b,0}$ ve ortalama $v_{b,1}$ hızlarının aritmetik ortalaması) bağıl ısı akısı arttıkça saf maddeler için artmıştır. Karışımlar için bu artış süreklilik göstermemiştir. Ayrıca, Şekil 5.5a ve Şekil 5.5b'de görüldüğü gibi tüm kaynama bölgelerinde karışımların ortalama kabarcık hızlarının saf maddelere göre genelde daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

5.3 Ortalama Kabarcık Çapları

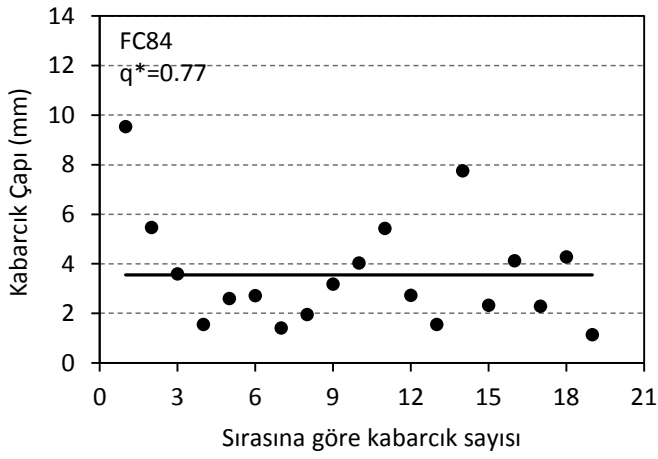
Şekil 5.6 ve 5.7'de kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarında, saf maddeler ve ikili karışımları için denklem 4.13 kullanılarak hesaplanan $d_{b,1}$ kabarcık çapları ve onların aritmetik ortalama değerleri sunulmuştur.



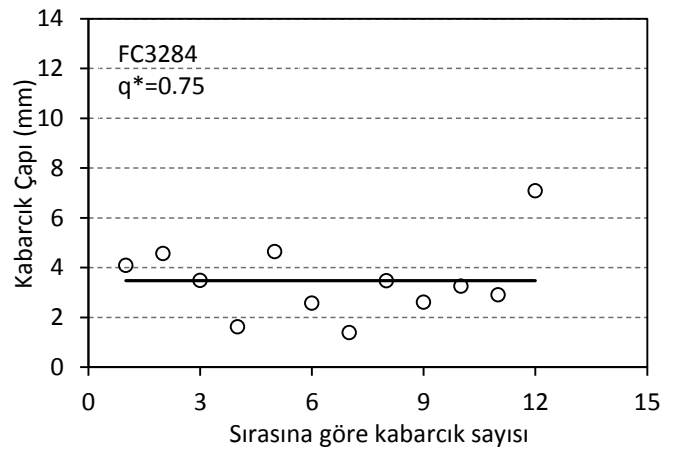
a)



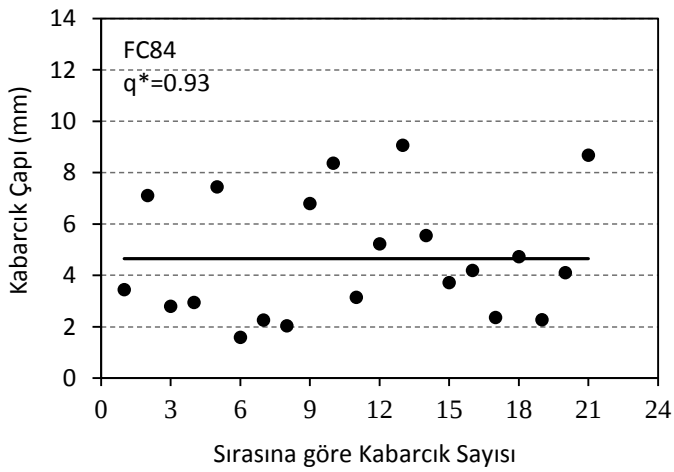
d)



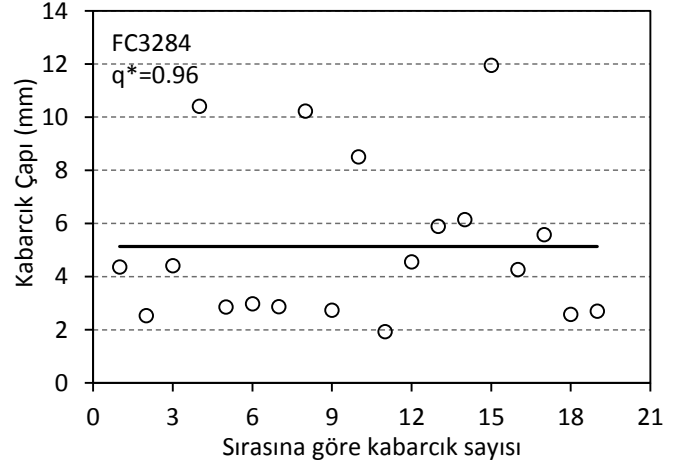
b)



e)

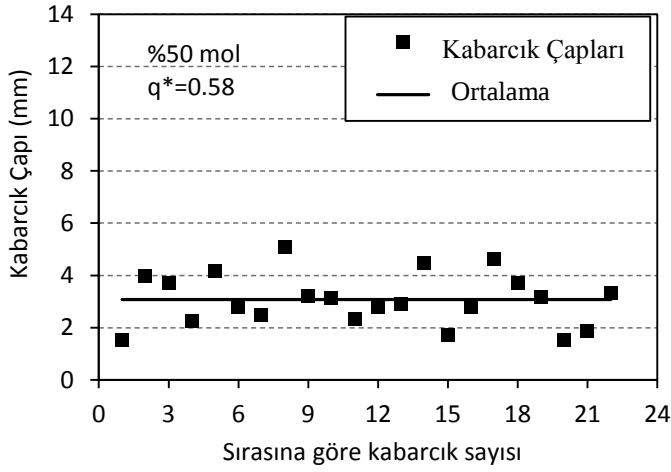


c)

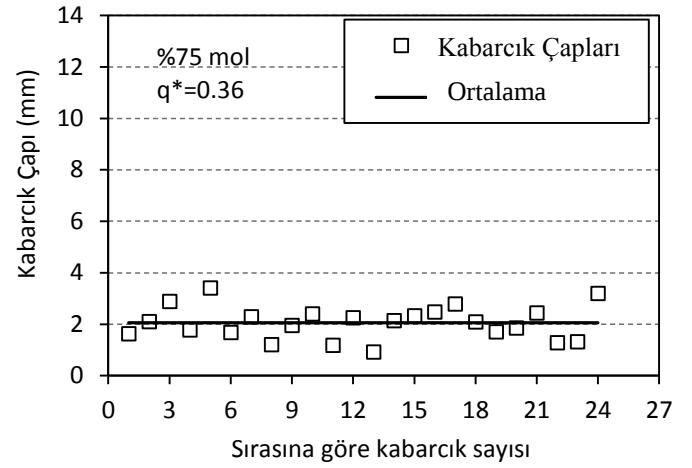


f)

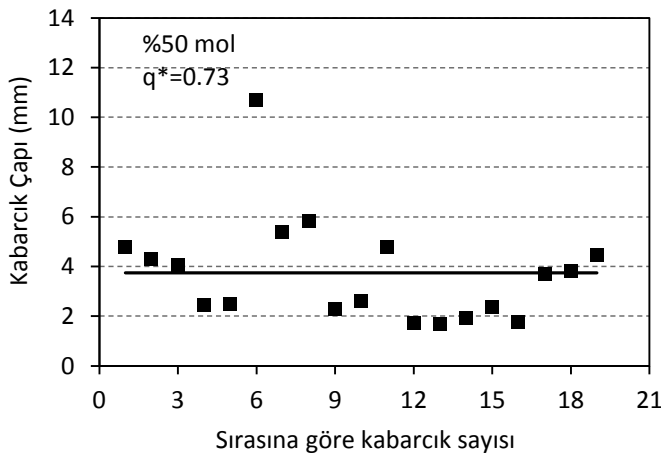
Şekil 5.6 FC84 ve FC3284 saf maddeleri ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık çapları ($d_{b,1}$) ve ortalamaları



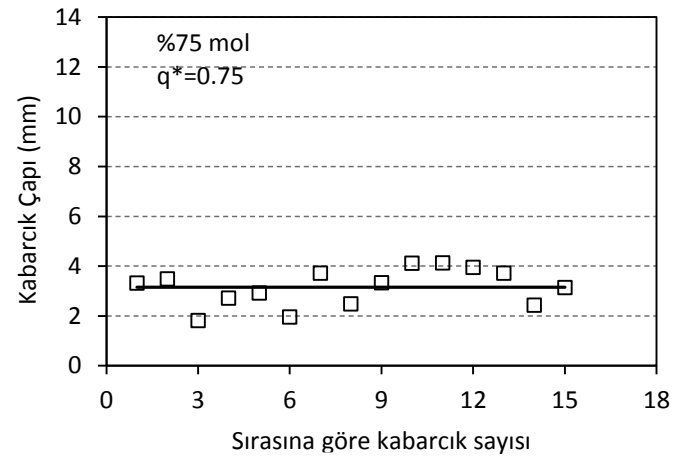
a)



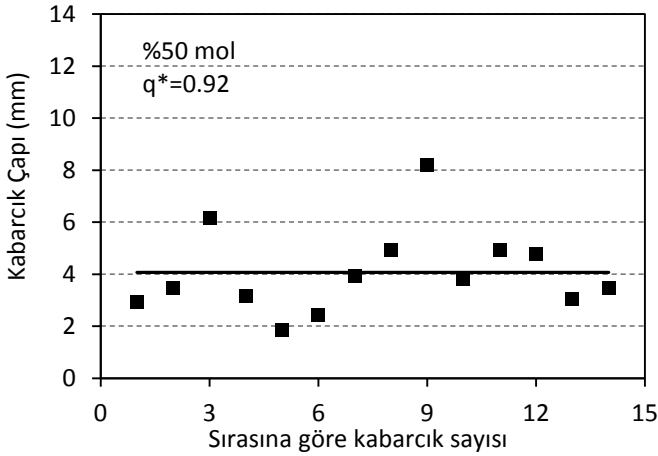
d)



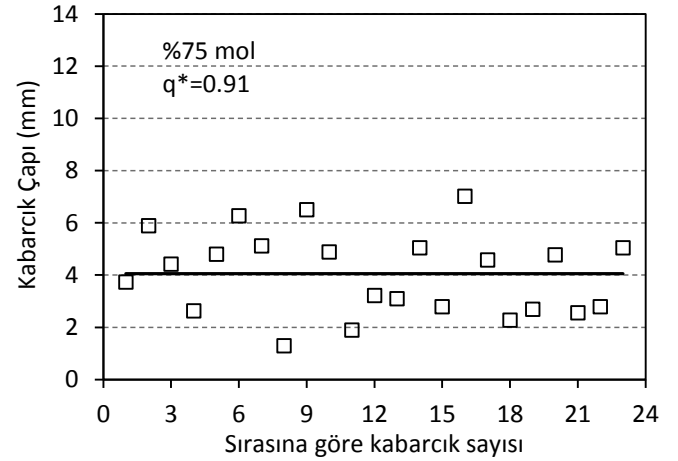
b)



e)



c)



f)

Şekil 5.7 %50 mol ve %75 mol FC3284 içeren karışımlar ile kabarcıklı kaynama bölgesinin farklı bağıl ısı akılarındaki ölçülmüş kabarcık çapları ($d_{b,1}$) ve ortalamaları

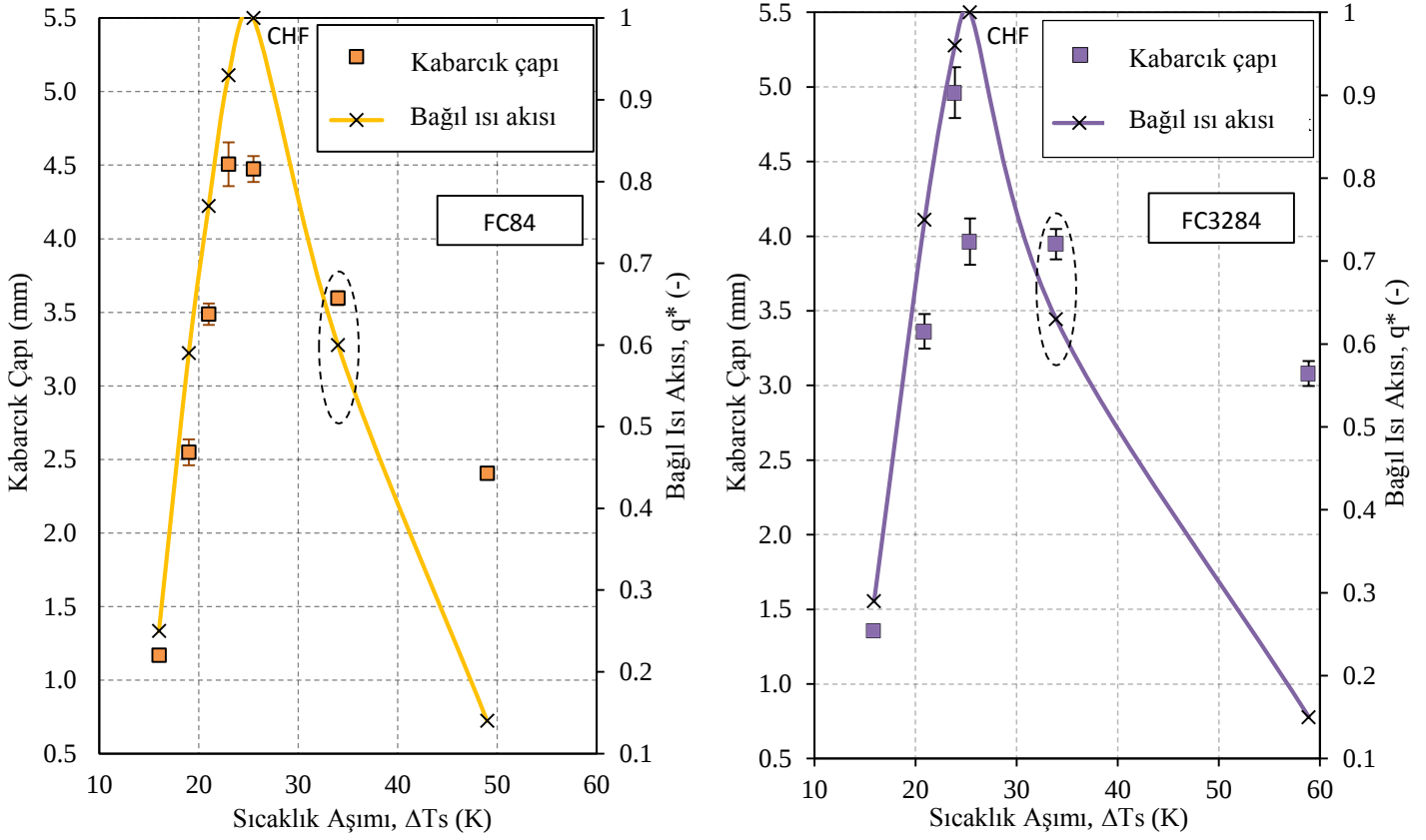
Ortalama kabarcık hızlarının hesaplanmasında olduğu gibi en az bir milyon ölçülmüş veri incelenmiş ve optik prob sinyalleri açık bir şekilde değerlendirilebilen veriler dikkate alınmıştır.

Kabarcıklı kaynama bölgesinin düşük bağıl ısı akısında FC84 ve FC3284 saf maddeleri için ölçülen kabarcık çapları, Şekil 5.6a ve Şekil 5.6d'de görüldüğü gibi ortalama kabarcık çaplarından düşük sapmalar göstermiştir. Fakat, bağıl ısı akılarının artmasıyla birlikte ortalama kabarcık çaplarından sapma değerleri yükselmiştir. Isıtılan yüzey ile optik problar arasındaki kabarcık dinamikleri yüksek bağıl ısı akılarında düşük bağıl ısı akılarına göre daha büyük olabilir. Kabarcıklı kaynama bölgesinde kabarcık çapları birbirlerinden ve etraflarındaki sıvı şartlarından etkilenebilir. Ayrıca, optik problar bazen buhar kabarcığının merkezi ile aynı eksende bulunmayabilir ve bu sebeple optik probta ölçülen kabarcık çapının gerçeğinden daha düşük olma ihtimali de söz konusu olabilir.

FC84 ve FC3284 ikili karışımları için ölçülmüş kabarcık çapları Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Saf maddelerle karşılaştırıldığında kabarcık çaplarının ortalama değerden sapmaları, kabarcıklı kaynamanın düşük bağıl ısı akılarında Şekil 5.7a ve Şekil 5.7d'de görüldüğü gibi karışımlar için daha fazladır. Yüksek bağıl ısı akılarında sapmalar görülmektedir, fakat saf maddelerde olduğu kadar değildir.

5.4 Farklı Kaynama Bölgelerinde Ortalama Kabarcık Çapları

Kabarcık çaplarının sıcaklık aşımına göre değişimi saf maddeler ve ikili karışımları için Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da sırasıyla sunulmuştur. Şekillerde sunulan her bir deneysel veri şöyle elde edilmiştir: En az 12 ölçüm dikkate alınarak $d_{b,0}$ için bir aritmetik ortalama değer elde edilmiştir. Aynı şekilde aynı ölçüm değerlerinden $d_{b,1}$ için bir ortalama değer elde edilmiştir. Bu elde edilen ortalama değerlerin (ortalama $d_{b,0}$ ve ortalama $d_{b,1}$) tekrar ortalaması alınarak şekillerde sunulan bir verinin büyüklüğü hesaplanmış ve ortalama değer olarak sunulmuştur. Son elde edilen ortalama değerlerin alt limitlerini ortalama $d_{b,0}$ çapları oluşturmaktadır. Üst limitleri ise ortalama $d_{b,1}$ değerleri oluşturmaktadır.



Şekil 5.8 Saf maddelerin ortalama kabarcık çaplarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi

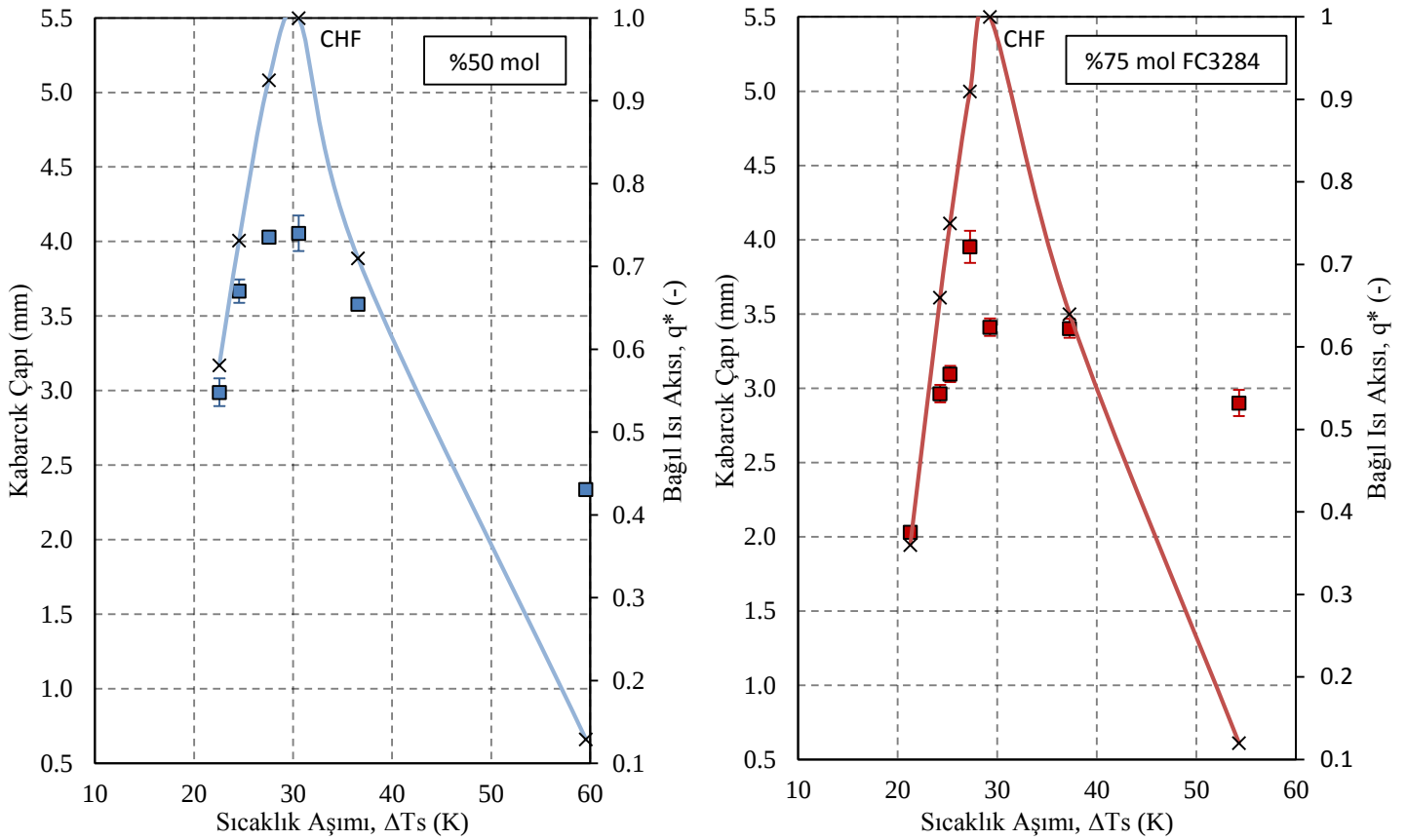
Şekil 5.8’de $d_{b,0}$ and $d_{b,1}$ değerleriyle birlikte bunların ayrı ayrı ortalamaları saf maddeler için gösterilmiştir. Bölüm 4.1.2’de anlatıldığı gibi $d_{b,0}$ çapı, birinci optik probun buhar kabarcığı içerisine girişini belirten sinyallerdeki dalgalanmanın dikkate alınmasıyla hesaplanan $v_{b,0}$ hızı kullanılarak belirlenmiştir. $d_{b,1}$ çapı ise bu dalgalanma göz ardı edilerek hesaplanan $v_{b,1}$ hızıyla belirlenmiştir. Bu iki çap değeri arasındaki farkın genel olarak kabarcıklı kaynama bölgesinin yüksek bağlı ısı akılarında daha fazla olduğu Şekil 5.8’de görülmüştür.

Genel olarak kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımının artmasıyla ortalama kabarcık çapı artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek bağlı ısı akılarında iki saf madde arasında bu durum farklılık göstermektedir. FC84 için kaynama eğrisinde kritik ısı akısına ulaşıldığında ortalama kabarcık çapı yaklaşık olarak aynı kalırken, FC3284 için kritik ısı akısında ortalama kabarcık çapı belirgin bir düşüş göstermiştir. Geçiş kaynaması bölgesinde iki saf maddenin bağlı ısı akısının ($\dot{q}^*$) 0.60 – 0.63 ve sıcaklık

aşımının (ΔT_s) yaklaşık 34 K olduğu durumda ortalama kabarcık çapları birbiriyle karşılaştırıldığında FC84 için yaklaşık 3.6 mm iken FC3284 için 3.9 mm olmaktadır.

Film kaynaması bölgesinde, her iki saf madde için ölçülen değerlerin geçiş kaynama bölgesine göre daha küçük olduğu Şekil 5.8’de görülmektedir. Fakat, bu bölgede ısıtılan yüzey üzerindeki buhar filminden kopup sıvı içerisinde yükselen kabarcıklar, kabarcıklı kaynama bölgesindeki kabarcıklardan farklı olarak küresel bir şekilde değildir. Bu yüzden optik problemler ile bu bölgede yapılan ölçümlerde kabarcık çapı yerine buhar kabarcığının dikey genişliği ölçülmüştür.

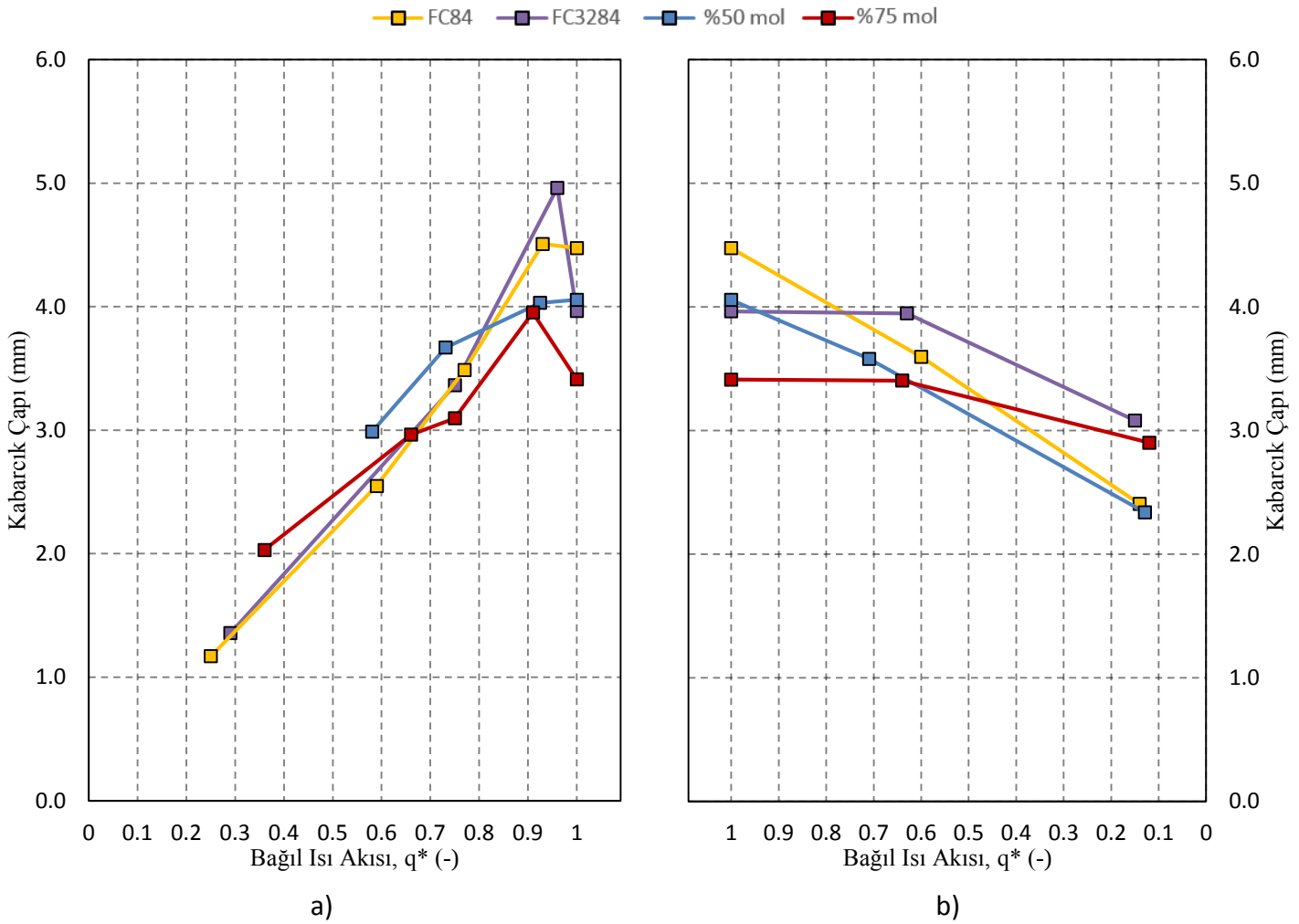
Saf maddeler için geçerli olan kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımıyla artan ortalama kabarcık çapı durumu, Şekil 5.9’da görüldüğü gibi karışımlar için de geçerli olmaktadır. Fakat, kaynama eğrisinde kritik ısı akısına erişildiğinde her iki karışımın ortalama kabarcık çapları farklı bir eğilim göstermiştir. %50 mol oranlı karışımda ortalama kabarcık çapı yaklaşık olarak aynı kalırken, %75 mol FC3284 içeren karışımın ortalama kabarcık çapı saf FC3284’te görüldüğü gibi düşüş göstermiştir.



Şekil 5.9 Karışımların ortalama kabarcık çaplarının sıcaklık aşımının artması ile değişimi

Film kaynamasındaki ölçülen ortalama kabarcık çapı değerleri saf maddelerde de görüldüğü gibi oluşan kabarcıkların şekli nedeniyle geçiş kaynamasındaki ortalama değerlere göre daha düşük gözükmetedir.

Ortalama kabarcık çapları (ortalama $d_{b,0}$ ve ortalama $d_{b,1}$ çaplarının aritmetik ortalaması) saf maddeler ve ikili karışımları için bağıl ısı akılarına göre Şekil 5.10'da karşılaştırılmıştır. Şekil 5.10a'da görüldüğü gibi kabarcıklı kaynama bölgesinde ortalama kabarcık çapları bağıl ısı akısı arttıkça saf FC84, FC3284 ve ikili karışımları için genellikle artmıştır. Şekil 5.10b'de görüldüğü gibi saf FC3284 'ün ve %75 mol FC3284 içeren karışımın geçiş kaynama bölgesindeki ortalama kabarcık çapları, kritik ısı akılarındaki değerlerle yaklaşık olarak aynı çıkmıştır. Saf FC84 ve %50 mol oranlı karışımda ölçülen değerler geçiş kaynamasında düşmüştür.

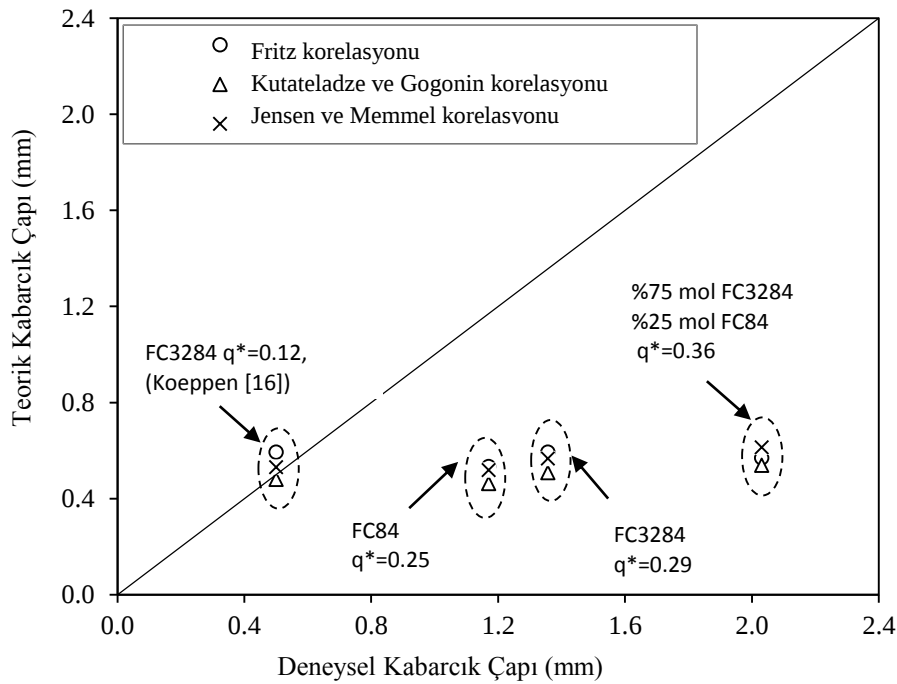


Şekil 5.10 Ortalama kabarcık çaplarının bağıl ısı akısıyla değişimi a) kabarcıklı kaynama b) geçiş ve film kaynama bölgeleri

Şekil 5.10a ve 5.10b’de görüldüğü gibi genellikle saf madde FC3284 ve %75 mol FC3284 içeren ikili karışımı, bağıl ısı akısının değişimi ile aynı eğilimi göstermiştir. Ayrıca saf FC84 ve %50 mol oranlı ikili karışımı, bağıl ısı akısı ile aynı eğilimi göstermiştir.

5.5 Teorik ve Deneyel Kabarcık Çaplarının Karşılaştırılması

Ölçülen ortalama kabarcık çapları ile literatürde kabarcığın ısıtılan yüzeyden ayrılış anındaki çapı için kullanılan Fritz [4], Kutateladze ve Gogonin [5], Jensen ve Memmel [6] korelasyonlarının sonuçları Şekil 5.11’de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. %50 mol oranlı karışımın sonuçları bu çalışmada diğer test edilen maddelere göre kabarcıklı kaynamanın daha yüksek bağıl ısı akılarında değerlendirilmeye başlanıldığından şekilde gösterilmemiştir. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi Koeppen [16]’in çalışmasında 0.12 bağıl ısı akısında belirlenen, ısıtıcı yüzeyinden 5 mm uzaklıktaki, saf FC3284 kabarcık çapı korelasyon sonuçlarıyla uyum göstermektedir. Jensen ve Memmel [6], Kutateladze ve Gogonin [5] korelasyonları Fritz [4] korelasyonuna göre Koeppen [16]’in ölçtüğü kabarcık çapı için daha iyi sonuç göstermiştir. Bu korelasyonların her ikisi de sıcaklık aşımı ile viskozite etkisini içerirken Fritz [4] korelasyonunda bunlar hesaba katılmamıştır.



Şekil 5.11 Atmosferik basınçta kabarcıklı kaynama bölgesinin düşük ısı akılarında ölçülen kabarcık çaplarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırılması

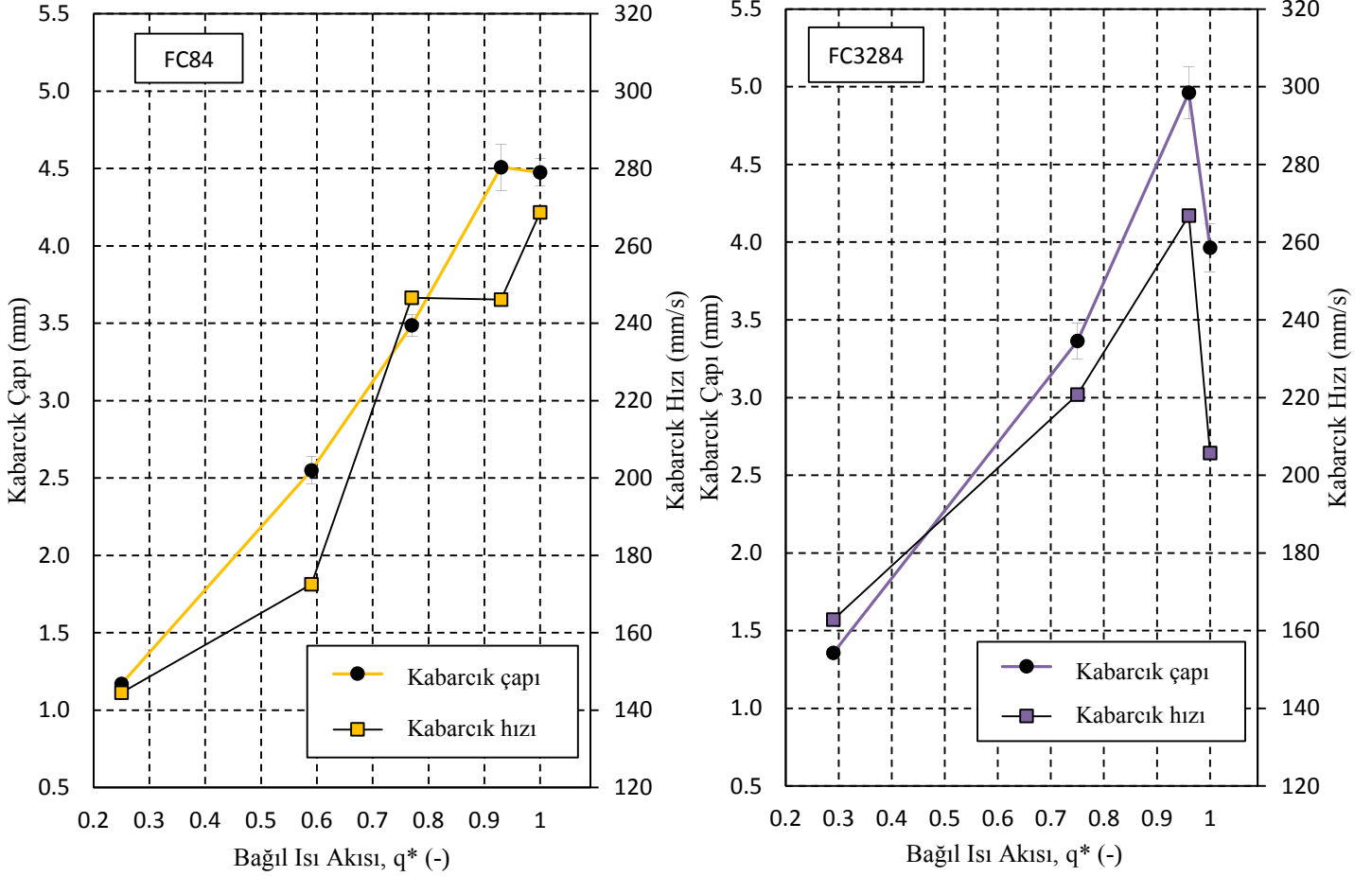
Ölçülen değerler ile korelasyon sonuçları arasındaki fark kabarcıklı kaynama bölgesinin daha yüksek bağıl ısı akılarında Şekil 5.11’de görüldüğü gibi artmıştır. Bu çalışmada ısıtılan yüzey üzerindeki bütün çekirdeklenme bölgelerinin aktif hale gelmesi beklenildiğinden kabarcık çapları Koeppen [16]’in çalışmasına göre ($q^*=0.12$) kabarcıklı kaynamanın daha yüksek bağıl ısı akılarında ölçülmeye başlanmıştır. Bu daha yüksek bağıl ısı akılarında (FC84 için $\dot{q}^*=0.25$; FC3284 için $\dot{q}^*=0.29$; %75 mol FC3284 içeren karışım için $\dot{q}^*=0.36$) -korelasyonların hesaba katmadığı bir durum olan- buhar kabarcıklarının birbirlerini etkilemesi durumu söz konusu olabilir. Ayrıca, Sathyabhama ve Ashok Babu [7]’nin çalışmasında belirtildiği gibi Jensen ve Memmel [6], Kutateladze ve Gogonin [5] korelasyon sonuçlarının sıcaklık aşımı etkisini yeterince göstermediği ihtimali söz konusu olabilir. Bu nedenle, Şekil 5.11’de sunulan bu çalışmaya ait bütün ölçülen değerler korelasyonlara göre daha yüksek sonuçlar göstermiştir. Ölçülen değerler saf FC84 ve saf FC3284 için yaklaşık olarak korelasyon sonuçlarının iki katıdır.

Her üç korelasyon kendi aralarında karşılaştırıldığında, kabarcıklı kaynamanın düşük ısı akılarında Şekil 5.11’de görüldüğü gibi birbirleri arasında çok büyük bir fark görülmemektedir. Viskozite etkisini hesaba katmadan Fritz [4] korelasyonu, bu bağıl ısı akılarında diğer korelasyon sonuçlarına yakın değerler vermiştir.

%75 mol FC3284 içeren karışımın ölçülen değeri korelasyon sonuçlarına göre büyük bir fark göstermiştir. Bunun sebebi olarak kabarcıklı kaynamanın daha yüksek bağıl ısı akılarında başlamasına neden olan karışım etkisinin korelasyonlarda hesaba katılamaması gösterilebilir.

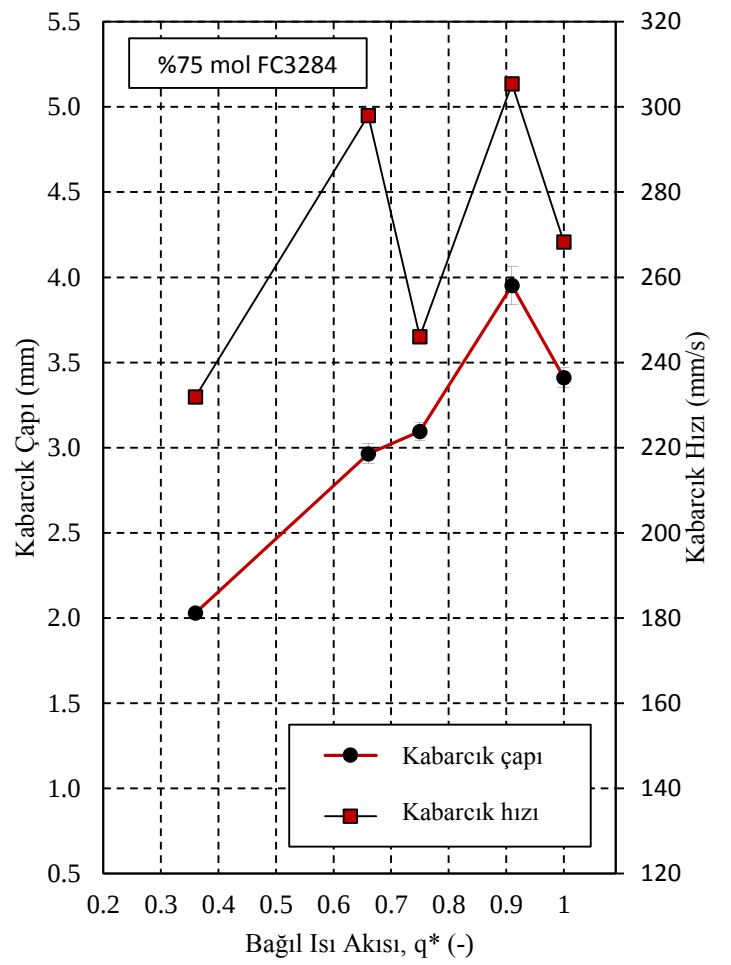
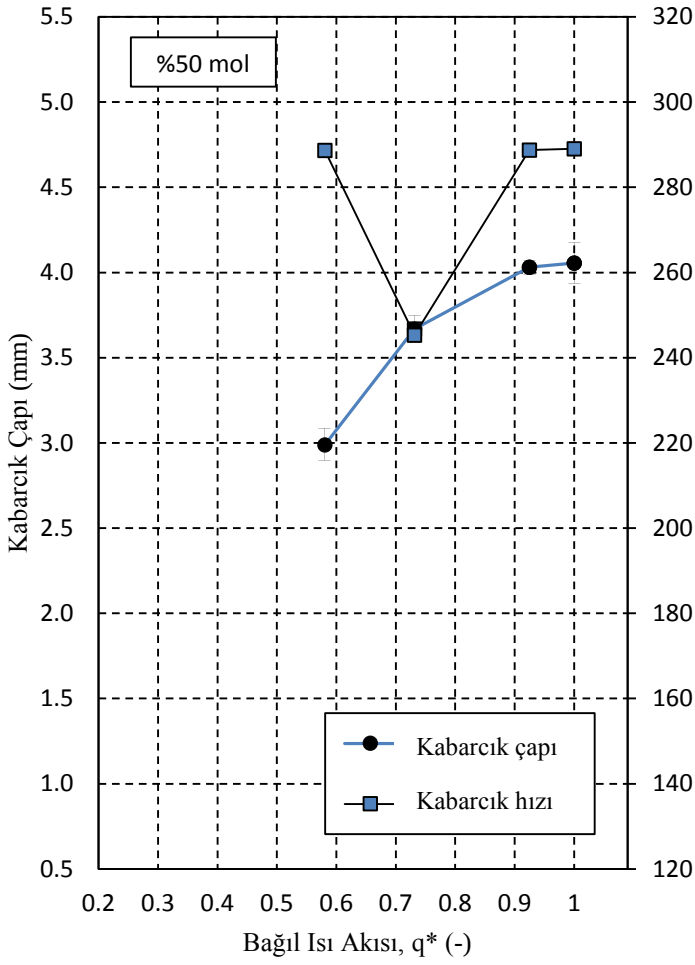
5.6 Ortalama Kabarcık Çapları ve Kabarcık Hızları

Ortalama kabarcık çapları ve hızları kabarcıklı kaynama bölgesi içinde bağıl ısı akısına bağlı olarak Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te birlikte sunulmuştur.



Şekil 5.12 FC3284 ve FC84 saf maddelerinin kabarcıklı kaynama bölgesindeki ortalama kabarcık çapları ile kabarcık hızları

Saf maddeler için kabarcık çap ve hız eğilimleri bağıl ısı akısına bağlı olarak kabarcıklı kaynama bölgesinde genellikle aynı olduğu görülmektedir. Kabarcık çapı ve kabarcık hızı artan ısı akısıyla artış göstermekle birlikte, kritik ısı akısı yakınlarında çap ve hız eğilimlerinin FC84 için farklılaştığı Şekil 5.12'de görülmüştür.



Şekil 5.13 FC3284 ve FC84 karışımlarının kabarcıklı kaynama bölgesindeki ortalama kabarcık çapları ile kabarcık hızları

Kabarcıklı kaynama bölgesinde her iki karışımın kabarcık çapları, artan bağıl ısıyla genellikle artış gösterirken kabarcık hızları yaklaşık olarak 0.70 – 0.75 bağıl ısı akılarında düşüş göstermiştir. Kabarcıklı kaynama bölgesinde artan sıcaklık aşımı ile buhar kabarcığı içerisinde sıcaklığın arttığını, Zhou [17] çalışmasında göstermiştir. Fakat, artan sıcaklıkla buhar yoğunluğunun düşmesi beklenirken karışımların kabarcık hızlarının azalış göstermesinin nedeni olarak belirtilen bağıl ısı akılarında karışımındaki FC84 konsantrasyonunun artması düşünülebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Saf maddeler ve karışımlar için farklı kabarcık hız eğilimleri görülmüştür. Kabarcıklı kaynama bölgesinde saf maddelerde kabarcık hızları artan sıcaklık aşımı ile genellikle artış göstermiştir. Fakat, karışımlarda kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımıyla kabarcık hızı artışı süreklilik göstermemiştir. Karışımlarda kabarcık hızı, kaynama bölgesinin 0.70 – 0.75 bağıl ısı akılarında azalmıştır.

Bütün test sıvıları için kabarcık çapları, artan sıcaklık aşımıyla kabarcıklı kaynama bölgesinde artmıştır. Ayrıca, kabarcık çapları kabarcıklı kaynama bölgesinin yüksek ısı akılarında ortalama değere göre daha büyük sapmalar göstermiştir.

Buhar kabarcığı içerisine giriş anında birinci optik prob sinyallerinde görülen dalgalanmaların, kabarcık çapının belirlenmesinde sonuçları önemli bir şekilde etkilemediği görülmüştür.

Ölçülen kabarcıkların aritmetik ortalama değerleri Fritz [4], Kutateladze ve Gogonin [5] ve Jensen ve Memmel [6] korelasyonlarıyla karşılaştırılmıştır. FC3284 için korelasyon sonuçlarının, Koeppen [16]'ın kabarcıklı kaynama bölgesinin düşük bağıl ısı akılarında ($\dot{q}^*=0.12$) elde ettiği sonuç ile uyum gösterdiği saptanmıştır.

Bu çalışmada, mevcut korelasyonların sıcaklık aşımı etkisini yeteri kadar gösteremediği saptanmıştır. Bu yüzden, ölçülen kabarcık çapları ile korelasyon sonuçları arasında büyük bir fark ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalar için şunlar önerilebilir:

- FC3284 ve FC84 ikili karışımlarında, kabarcıklı kaynama bölgesinde sıcaklık aşımı ile kabarcık hızının eğilimi saf FC3284 ve FC84'e göre farklılık göstermiştir. Bu nedenle kabarcıklı kaynama bölgesinde, kabarcık hızı eğilimleri daha detaylı olarak incelenebilir.
- Ölçülen kabarcık çaplarının korelasyon sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için kabarcıklı kaynama bölgesinin daha düşük bağıl ısı akılarında ölçümler yapılmalıdır.
- Kaynama karakteristiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kaynama kabının farklı yerlerinde, ısıtıcı yüzeyine farklı mesafelerde yerleştirilmiş optik probalar ile kabarcık dinamikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Lobo, L.N., (2010). Photographic Study of Nucleate Boiling On the Surface of a Heated Rod, Master Thesis Graduate Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Toronto.
- [2] Hamzekhani, S., Falahieh, M.M., ve Akbari, A., (2014). "Bubble departure diameter in nucleate pool boiling at saturation: Pure liquids and binary mixtures", International Journal of Refrigeration 46: 50-58.
- [3] Sakashita, H., Ono, A. ve Nakabayashi, Y., (2010). "Measurements of critical heat flux and liquid–vapor structure near the heating surface in pool boiling of 2-propanol/water mixtures", International Journal of Heat and Mass Transfer 53: 1554–1562.
- [4] Fritz, W., (1935). "Berechnung des Maximalvolumens von Dampfblasen", Phys., 36: 379–388.
- [5] Kutateladze, S.S. ve Gogonin, I.I., (1979). "Growth rate and detachment diameter of a vapor bubble in free convection boiling of a saturated liquid", High Temp. 17: 667–671.
- [6] Jensen, M.K. ve Memmel, G.J., (1986) Evaluation of bubble departure diameter correlation in: Proc. Eighth Int. Heat Transfer Conf., 4: 1907– 1912.
- [7] Sathyabhama, A. ve Ashok Babu, T.P., (2011). "Nucleate Pool Boiling Heat Transfer Measurement and Flow Visualization for Ammonia-Water Mixture", Journal of Heat Transfer, ASME Publication, 133(10), 101506, October 2011.
- [8] Peyghambarzadeh, S.M., Hatami. A., Ebrahimi, A. ve Alavi Fazel, S.A., (2012). "Photographic study of bubble departure diameter in saturated pool boiling to electrolyte solutions", Chem. Ind. Chem. Eng. Q. 1,120.
- [9] Buchholz, M., (2005). "Lokale Mechanismen des Wärmeübergangs beim Behältersieden in allen Bereichen der Siedekennlinie", Dissertation, TU Berlin.
- [10] Judex, J., (2003). Experimentelle Untersuchung Lokaler Temperaturfluktuationen beim Behältersieden entlang der Siedekennlinie mit einer neuartigen Thermosonde, Diplomarbeit, TU Berlin.

- [11] Hohl, R., (1999). Mechanismen des Waermeuebergangs beim stationaeren und transienten Behaeltersieden im gesamten Bereich der Siedekennlinie, VDI Fortschritt-Berichte 3/597, VDI, Duesseldorf.
- [12] Nukiyama, S., (1934). "The maximum and minimum values of the heat q transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure", J. Soc. Mech. Eng. Jpn. 37(1934) 53-54, 367-374.
- [13] Wagner, E., Sprenger, A., Stephan, P., Koeppen, O., Ziegler, F ve Auracher, H., (2007). "Nucleate Boiling at Single Artificial Cavities: Bubble Dynamics and Local Temperature Measurements", Sixth International Conference on Multiphase Flow ICMF 2007.
- [14] 3M GmbH. Product information on FC3284 and FC84 fluorinerts.
- [15] Kluge, D.I., (2013). Untersuchung des Gemisches FC3284/FC84 beim Behaeltersieden mit Hilfe eines temperaturgeregelten Heizers, Bachelorarbeit, Institut für Energietechnik, TU Berlin.
- [16] Koeppen, O., (2004). Analyse von Siedezuständen an einer Heizfläche mit optischen Mehrfachsonden, Diplomarbeit, Institut für Energietechnik, TU Berlin.
- [17] Zhou, B., (2014). Analyse lokaler Temperaturfluktuationen des Gemisches FC3284/FC84 beim Behaeltersieden entlang der Siedekennlinie mit einer Mikrothermoelementsonde. Masterarbeit, TU Berlin.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cemal Kerem Ceylan
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.05.1988 – Beykoz/İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : keremcyln@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh. / Isı Proses,	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Makine Müh. / Enerji,	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen,	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013 - 2017	Teksan Jeneratör	Arge Mühendisi
2011 - 2012	Akar Rulman	Makine Mühendisi
2011 - 2011	Ford Otosan	Arge Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. Ceylan, C.K., Koeppen, O. ve Yıldız, S., (2016). "Determination of Vapor Bubble Diameter of FC3284, FC84 and Their Binary Mixtures During Pool Boiling", 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 11-13 July 2016, Malaga: 14-23.
2. Ölmez, U., Ceylan, C.K., Doğan, H. ve Aytav, E. (2016). "Hibrit Jeneratör Sistemlerinin Tasarımı ve Analizi", 10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'16), 24-26 Ekim 2016, İstanbul: 987-997.