

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

**AKIŞ TİPİNE GÖRE BOŞLUK ORANININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE
BELİRLENMESİ**

BURAK DİBEK

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HAKAN DEMİR**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKIŞ TİPİNE GÖRE BOŞLUK ORANININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE
BELİRLENMESİ**

Burak DİBEK tarafından hazırlanan tez çalışması 13/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hakan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hakan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat ALARÇİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile bana sahip olduğum bilgi birikimini geliştirme fırsatı veren ve bu çalışmada aktif rol üstlenmemi sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi öğretim üyelerinden saygı değer Prof. Dr. İsmail Teke 'ye, çalışmalarım süresince bana her noktada yol gösteren ve karşılaştığım her zorluğu aşmanın bir yolunu bulmamda yardımcı olan saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Hakan Demir 'e, henüz bir mühendis adayı öğrenci iken başlayan ve uzun yıllar süresince devam eden çalışmalarımız süresince benden hiçbir yardımı esirgemeyen, hem çalışmalarım sırasında hem de mühendisliğe ve profesyonelliğe dair yol göstermeleri ile karşılaştığım her zorlukta, başarı inancımın azaldığı her anda akılcı önerileri ve içten desteği ile içimde kendisine karşı hayat boyu bir vefa borcu taşıyacağım çok kıymetli ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Özden Ağra 'ya en derin saygı ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Aldığım her kararda ve attığım her adımda en büyük destekçim olan, çalışmalarım sırasında düştüğüm her zorluktan ve ümitsizlikten sihirli bir el uzatarak kurtulmamı sağlayıp bana her daim umut ve huzur kaynağı olan biricik eşim Münevver İlğün Dibek'e en derin sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak beni bugünlere getiren, kendi adlarına her şeyden vazgeçip evlatlarının ve kardeşlerinin iyiliği ve başarısı için tüm hayatlarını adayan, değerlerinin kelimelerle tarif edilemeyeceği kıymetli ailemin kıymetli fertleri Hüsamettin Dibek, Müslüme Dibek, Çağatay Dibek ve Samet Dibek'e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran, 2014

Burak DİBEK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
BÖLÜM 2	
2. YATAY BORUDA İKİ FAZLI AKIŞ REJİMLERİ.....	3
BÖLÜM 3	
3. BOŞLUK ORANI VE KORELASYONLARI	8
3.1 Boşluk Oranı Kavramı	9
3.2 Homojen Boşluk Oranı	11
3.2.1 Kayma Hızına Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar	11
3.2.2 Lockhart-Martinelli Parametresine (X) Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar	14
3.2.3 Kütleli Akıya Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar	17
BÖLÜM 4	

4. MATLAB - IMAGE PROCESSİNG TOOLBOX	21
4.1 Image (İmge) Kavramı	21
4.1.1 İmgenin Oluşturulması	22
4.1.2 Sayısal İmge Kavramı.....	23
4.2 İmge Dosyaları (Tipleri)	26
4.2.1 RAW Tipi İmge Dosyaları.....	26
4.2.2 YUV Tipi İmge Dosyaları	27
4.2.3 BMP Tipi İmge Dosyaları.....	29
4.2.4 TIFF, JPEG ve Diğer Tip İmge Dosyaları	29
4.3 İmge İşleme Teknikleri	30
4.3.1 İmge Pekiştirme	30
4.3.2 Parlaklık Ayarı.....	31
4.3.3 Karşıtlık Kontrast Ayarı.....	31
4.3.4 İmge Eşikleme (Thresholding)	32
4.3.5 İmge Olumsuzlama (Negation).....	32
4.3.6 Piksel Komşuluk İlişkileri	32
4.3.7 Konvolüsyon.....	33
4.3.8 Kenar Bulma	34
BÖLÜM 5	
5. MATLAB GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE BOŞLUK ORANI TESPİTİ	36
5.1 Matlab’da Kullanılacak Olan Algoritmanın Oluşturulması.....	36
5.2 Fonksiyon Ağacı ve Kullanılan Fonksiyonlar.....	40
5.2.1 Fonksiyon Ağacı	40
5.2.2 OpenAllImagesFile Fonksiyonu	41
5.2.3 OpenAllImagesFile_Big Fonksiyonu	42
5.2.4 AskPipeBoundariesFonksiyonu.....	42
5.2.5 CropImagefromBoundaries Fonksiyonu.....	43
5.2.6 FindSeperationBand Fonksiyonu.....	44
5.2.7 EvaluateAreas Fonksiyonu	45
5.2.8 Kullanıma Sunulan Ana Fonksiyon.....	46
BÖLÜM 6	
6. DENEY DÜZENEĞİ.....	48
6.1 Tesisatının Bölümleri	51
6.1.1 Soğutucu Akışkan Devresi.....	51
6.1.2 Deneysel Ölçümler, Ölçüm Elemanları ve Veri Toplama.....	52
6.2 Deney Düzenekinin Kısımları.....	53
6.2.1 Karışım odası (No: 6)	53
6.2.2 Akış Gözetleme Camları (No: 8, 11)	54
6.3 Boşluk Oranı Ölçüm Metodları.....	55
6.3.1 Mono Fiber Optik Prob Tekniği	56
6.3.2 Radyasyon Sönümlleme Tekniği	56
6.3.3 Elektrik Teknikleri.....	59
6.4 Boşluk oranı belirlenmesine yönelik literatürde yapılan görsel çalışmalar	

6.5	Deneysel çalışma için yapılan çekimler	60
	Deneysel çalışma için yapılan çekimler	98
BÖLÜM 7		
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	106
7.1	Deney Tesisatının Güvenilirliği ve Deneylerin Tekrarlanabilirliği	106
7.2	Tespit Edilen Değerlerin Literatürde Yer Alan Mevcut Korelasyonlar İle Karşılaştırılması	108
7.3	Yarı-otomatik Alternatif Görüntü İşleme Tekniği	113
7.3.1	Yarı-Otomatik Yazılım İle Boşluk Oranı Tespiti	113
7.3.2	Yarı-Otomatik Yazılım Kullanılan Fonksiyonlar ve Program Algoritması	118
7.4	Otomatik yazılımın yarı otomatik yazılım ile kıyaslanması	126
7.4.1	2. Deney için otomatik yazılım ve yarı-otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı tespiti.....	127
7.4.2	5. Deney için otomatik yazılım ve yarı-otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı tespiti.....	133
7.4.3	Otomatik ve Yarı-otomatik Yazılımların Boşluk Oranı Tespitinde Uygunluğu	139
KAYNAKLAR		142
ÖZGEÇMİŞ		144

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı, [m ²]
C _p	Sabit basınçta özgül ısı, [kJ/kg.K]
d	Boru çapı, [m]
ΔP _g	Yerçekiminden kaynaklanan basınç düşümü, [Pa]
ΔP _s	Sürtünmeden kaynaklanan basınç düşümü, [Pa]
ΔP _h	Hız değişiminden kaynaklanan basınç değişimi, [Pa]
ΔP _T	Toplam basınç düşüşü, [Pa]
Δx	Kuruluk derecesindeki değişim, [-]
Fr	Froude sayısı, [-]
Fr _{TD}	Taitel Dukler düzeltilmiş Froude sayısı, [-]
Fr _{So}	Soliman'ındüzeltilmiş Froude sayısı, [-]
f	Sürtünme faktörü, [-]
f _{tp}	İki fazlı akışta sürtünme katsayısı, [-]
G	Kütlesel akı, [kg/m ² .s]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s ²]
h	Isı taşınım katsayısı, [W/m ² K]
h _{sb}	Buharlaşma gizli ısı, [kJ/kg]
J	Yüzeysel (superficial) hız [m/s]
Ja	Jacob sayısı, [-]
k	Isı iletim katsayısı, [W/m.K]
L	Test borusunun uzunluğu, [m]
$\dot{m}$	Soğutucu akışkan kütlesel debisi, [kg/s]
$\dot{m}_s$	Soğutma suyu kütlesel debisi, [kg/s]
Nu	Nusselt sayısı, [-]
P	Basınç,[Pa]
Pr	Prandtl sayısı, [-]
Q	Hacimsel debi, [m ³ /s]
$\dot{Q}$	Isıl güç, [W]
$\dot{Q}_s$	Suyun çektiği ısı güç, [W]
P _{kr}	Kritik Basınç
Re	Reynolds sayısı, [-]

$Re_{eş}$	Eşdeğer Reynolds sayısı, [-]
S	Kayma oranı
T	Sıcaklık, [$^{\circ}C$, K]
u	Hız, [m/s]
u^{+}	Boyutsuz Hız [-]
U	Toplam ısı geçiş katsayısı, [$W/m^2.K$]
v	Özgöl hacim, [m^3/kg]
V	Hacim, [m^3]
x	Kuruluk derecesi, [-]
X	Lockhart-Martinelli parametresi, [-]
We	Weber sayısı, [-]

Yunan Harfleri

α	Boşluk oranı, [-]
δ	Sıvı filmi kalınlığı, [m]
$\bar{\delta}$	Boyutsuz sıvı filmi kalınlığı, [m]
μ	Dinamik viskozite, [Pa.s]
ν	Kinematik viskozite, [m^2/s]
ρ	Yoğunluk, [kg/m^3]
σ	Yüzey gerilmesi, [N/m]
τ	Kayma gerilmesi, [N/m^2]
Φ	İki faz çarpanı, [-]
ϕ	Yatay ile olan açı

Alt İndisler

a	Arayüzey
b	Buhar
$\checkmark$	Çıkan
bo	Tüm akış buhar
d	Duvar
$eş$	Eşdeğer
f	Film
g	Giren
i	İç
l	Laminar
L	Sıvı
ort	Ortalama
s	Sıvı
doy	Doyma
so	Tüm akış sıvı
t	Türbülans
tp	İki fazlı
V	Buhar
y	Yüzey

KISALTMA LİSTESİ

bw	black-white
CIF	Common Input Format
DC	Direct Current
dpi	dot per inch
DVD	Digital Video Disk
ppi	piksel per inch
QCIF	Quadrat CIF
RGB	Red Green Blue
RTD	Elektrikli Direnç Termometresi
SIF	Source Input Format
VCD	Video Compact Disk

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yüksek hızın baskın olduğu akış rejimleri ve düşük buhar hızlarında yerçekiminin etkin olduğu akış rejimleri	4
Şekil 3.1 Yatay Boru İçerisinde Yoğuşmada Akışın Şematik Gösterimi	8
Şekil 3.2 Boşluk Oranının Şematik Gösterimi.....	9
Şekil 3.3 Çift Fazlı Akıştaki Rejim Çeşitleri	10
Şekil 3.4 Farklı Akım Tiplerinde Yoğuşmanın Özellikleri	10
Şekil 4.1 Görüntü işleme sonrası değişim örneği	22
Şekil 4.2 İmge oluşumunun şematik gösterimi.....	22
Şekil 4.3 Video kavramının şematik resmi	23
Şekil 4.4 İmge koordinat eksenleri	23
Şekil 4.5 İmgede Sayısallaştırma.....	24
Şekil 4.6 Piksel kavramı	24
Şekil 4.7 İmgede piksel değerleri	25
Şekil 4.8 Piksel (çözünürlük) kavramının örneklendirilmesi	25
Şekil 4.9 Farklı bit değerlerinde görüntülerde oluşan değişiklikler.....	26
Şekil 4.10 raw dosyalarına boyut bilgisi ve Matlab görünümü	27
Şekil 4.11 yuv dosyasına ilişkin ışıklık ve renk bilgisi kısımları	28
Şekil 4.12 İmge pekiştirme işleminin etkileri	30
Şekil 4.13 Parlaklık ayarı etkileri	31
Şekil 4.14 Karşıtlık ayarı etkileri	31
Şekil 4.15 Thresholding işlemi etkileri.....	32
Şekil 4.16 Negation işlemi etkileri	32
Şekil 4.17 Konvolüsyon hesabı	33
Şekil 4.18 Konvolüsyon uygulanması örneği	34
Şekil 4.19 Kenar bulma işlemi uygulaması	34
Şekil 5.1 Görüntü dosyası belirtme işlemi.....	37
Şekil 5.2 Alt ve üst cıdarların belirlenmesi işlemi.....	38
Şekil 5.3 İşlenen görüntüler ve görüntü işleme hatalarının belirtilmesi	39
Şekil 5.4 Sıvı – gaz bölge alanları gösterimi	39
Şekil 6.1 Deney düzeneği şematik resmi	49
Şekil 6.2 Deney düzeneği gerçek görüntüleri	50
Şekil 6.3 Veri Toplama Ünitesi (Datalogger).....	53
Şekil 6.4 Karışım Odasının Şematik Resmi.....	54
Şekil 6.5 Karışım Odasına Ait Değişik Fotoğraflar.....	54

Şekil 6.6 Akış Gözetleme Camının Genel Görüntüsü	55
Şekil 6.7 a) U Tipi Fiber Optik Sensör b) Fiber Optik Sensörün Ölçüm Yapan Kısımı .	56
Şekil 6.8 Ani Sıvı Yüksekliğinin X-Ray Absorbsiyonu Tekniğiyle Ölçülmesi	57
Şekil 6.9 Üç Gama Işın Demetli Yoğunluk Ölçer İle Alansal Boşluk Oranının Ölçülmesi	58
Şekil 6.10 Kendoush [6] 'un Yaptığı Çalışma Boruya Bağlı 4ma Lik Akım Ve Değişik X-Ray Enerjilerine Bağlı Olarak Boşluk Oranındaki Belirsizlikler	58
Şekil 6.11 a)Dirençli Proben Elektriksel Diyagramı b) Prob Geometrisinin Şekli	59
Şekil 6.12 Costigan ve Whalley'in [10] Empedans Prob Bağlantısı	60
Şekil 6.13 400 kg/m ² s kütleli akıda 24000 kare/s kullanılarak alınan görüntü (Vision Research, Phantom V7).....	60
Şekil 6.14 Örnek Akış Rejimi Görüntüsü (DALSA CA-D1)	61
Şekil 6.15 Akış Rejim Görüntüleri Vision Research Inc.(Phantom 4.0).....	62
Şekil 6.16 Optik Kurulumun Şematik Gösterimi.....	63
Şekil 6.17 Resim Kalibrasyonu Ve Video Kaydedici Kurulumu	64
Şekil 6.18 Orijinal(Sol) Ve Sınırlandırılmış (Sağda) Grid Resimleri (Beyaz Çizgi Yukarıdan İtibaren Sayılarak 230. Çizgi)	65
Şekil 6.19 230. Piksel Satırındaki Gri Katmanın Direncinin Değişimi	66
Şekil 6.20 Film Kalınlığı Ölçüm Metodu	67
Şekil 6.21 (a)Boru İçinde Sıvı Filmi Olmadan Yapılan Çekim (b)Boru Cidarında Sıvı Filminin Olması Durumundaki Görüntü	67
Şekil 6.22 Kamera pozisyonu, test bölgesi ve ışık kaynağı şematiği	68
Şekil 6.23 Test düzeneği (Ugandhar Puli ve A.K. Rajvanshi [16]).....	68
Şekil 6.24 Görüntü işleme prosesine ait işlem basamakları	69
Şekil 6.25 Farklı basınçlarda ısı akısının boşluk oranı üzerindeki etkisi.....	71
Şekil 6.26 Farklı ısı akısı değerlerinde basıncın boşluk oranı üzerindeki etkisi.....	71
Şekil 6.27 Farklı basınç değerlerinde kütle akısının boşluk oranı üzerindeki etkisi	72
Şekil 6.28 Sira Saisorn ve Somchai Wongwises [17]'e ait deney düzeneği şematiği	72
Şekil 6.29 Sira Saisorn ve Somchai Wongwises [17]' e ait akışkan karışım odası şematiği	73
Şekil 6.30 $j_L = 0,026$ m/s ve $j_G = 4,689$ m/s olduğu durumda gözlemlenen akış tipleri ([17])	74
Şekil 6.31 $j_L = 0,329$ ve $j_G = 24,482$ m/s olduğu durumdaki akış tipleri ([17]).....	75
Şekil 6.32 $j_L = 0,107$ m/s ve $j_G = 25,421$ m/s olduğu durumda halka akış ([17]).....	75
Şekil 6.33 0,15 mm çaplı boruda iki fazlı hava-su akışına ait akış haritası ([17])	76
Şekil 6.34 Boşluk oranı değerleri değişimi grafiği ([17]).....	76
Şekil 6.35 Yalıtılmış kap ve iki kanalda kaynama akışını gözlemleme deney şematiği ([18])	78
Şekil 6.36 (a) Orinal görüntü-ortalama görüntü, (b) 9 bölgeye ayrılmış orijinal görüntü, (c) işlenmiş görüntü.....	79
Şekil 6.37 Mini kanal boyunca hiper yerçekimi altında boşluk oranının değişimi ($Q_w = 45$ kW/m ²) ([18]).....	80
Şekil 6.38 Mini kanal boyunca boşluk oranı değişimi ($Q_w = 20$ kW/m ² , $U_m = 124$ kg/m ² s) ([18])	81
Şekil 6.39 Bir görüntünün her 10ms 'de bir değişimini gösteren akış tipi görüntüsü ([18])	82
Şekil 6.40 Hava-Su çift fazlı akışı için deney şematiği ([19]).....	83
Şekil 6.41 50µm çaplı bir tüp içerisinde buhar-su iki fazlı akışı için deney şematiği	

([19])	83
Şekil 6.42 Karışım odası dizaynı ([19]).....	84
Şekil 6.43 İki fazlı akış tipleri ([19])	85
Şekil 6.44 Buhar-su karışımında iki fazlı akış tipleri ([19])	86
Şekil 6.45 İki fazlı akış haritası ([19])	86
Şekil 6.46 Empedans ölçer test düzeneği. (a) Test düzeneğine üstten bakış (b) Elektrodların ve akış kanalının yer aldığı taban plakası ([20])	87
Şekil 6.47 Hava-su iki fazlı akış çevrimi ([20]).....	88
Şekil 6.48 Görüntü işleme adımları. (a) Orijinal görüntü (b) 1. Adım (c) 2. Adım (d) 3. Adım (e) 4. Adım (f) 5. Adım ([20]).....	89
Şekil 6.49 Görüntü işleme ile boşluk oranı elde edilmesi.(a) Baloncuklu akış, $J_G = 0,29$ m/s, $J_L = 0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,20$ (b) Şapka görümlü baloncuklu akış, $J_G = 0,56$ m/s, $J_L = 0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,37$ (c) Slug akış, $J_G=1,39$ m/s, $J_L=0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,58$ (d) Türbülanslı churn akış, $J_G = 2,26$ m/s, $J_L = 4,08$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,36$ (e) Uzun slug akış, $J_G = 2,65$ m/s, $J_L = 0,82$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,65$. ([20])	90
Şekil 6.50 İki fazlı akış geliştirme sistem şematiği ([21])	91
Şekil 6.51 15,3mm çaplı tüpten örnek bir akış görüntüsü ([21]).....	92
Şekil 6.52 Şekil 6.51'deki örnek görüntüye ait 100. Sütundaki piksellere ait gri değer çizgisi ([21])	93
Şekil 6.53 İşlenmiş resim üzerinde sıvı-gaz filminin nokta değişim analizi yöntemi ile belirlenmesi ([21]).....	93
Şekil 6.54 Nokta değişim analizi ile belirlenmiş sıvı-buhar filmi örnekleri ([21])	94
Şekil 6.55 Boşluk oranı hesabı için iyileştirme denklemleri ([21]).....	95
Şekil 6.56 Şekil 6.51'de sunulan örnek resim için tüm sütunlardaki boşluk oranı değerleri ([21])	96
Şekil 6.57 3 Akış rejimi için belirlenmiş sıvı-buhar filmi örnekleri, lokal boşluk oranı değerleri ve ortalama boşluk oranı değerleri ([21])	96
Şekil 6.58 Farklı boru çaplarında elde edilen boşluk oranı değerleri ([21]).....	97
Şekil 6.59 Farklı kütleli akı değerlerinde boşluk oranı değerleri ([21]).....	98
Şekil 6.60 Işığın kamera ile aynı yönde yerleştirilmesinin fotoğrafı.....	99
Şekil 6.61 Işık ve kamera aynı yönde ve arka yüzey beyaz fon ile kaplı	100
Şekil 6.62 Kameranın 40°'lik açı ile yerleştirildiği ve laser sheet oluşturularak cam borunun aydınlatıldığı durumda yapılan çekim	101
Şekil 6.63 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin şematik çizimi.....	102
Şekil 6.64 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin fotoğrafı	102
Şekil 6.65 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesi halinde çekilen resimler	103
Şekil 6.66 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin şematik şekli	104
Şekil 6.67 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesi halinde çekilen resimler	105
Şekil 7.1 Deney 1 çalışmasında $G: 81,549 \text{ kg/m}^2\text{sn}$ ve $x: 0,907$ değerleri için elde edilen akış görüntüsü	107
Şekil 7.2 Deney 7 çalışmasında $G: 80,43 \text{ kg/m}^2\text{sn}$ ve $x: 0,932$ değerleri için elde edilen akış görüntüsü	107
Şekil 7.3 Artan G ve azalan x değerlerine göre boşluk oranı değerleri	110
Şekil 7.4 Artan G ve azalan x değerlerine göre boşluk oranı değerleri	111
Şekil 7.5 G,x ve boşluk oranı değerlerine göre hata oranı dağılımı	112
Şekil 7.6 Görüntüde iyileştirme yapılarak çözünürlük değerinin artırılması.....	115
Şekil 7.7 Tek piksel kalınlığında sıvı-gaz filmi (kırmızı) ve boru cidarlarının (yeşil)	

belirlenmesi.	116
Şekil 7.8 Örnek deney görüntüsünde sadece boru cidarlarının belirlenmesi.....	117
Şekil 7.9 Örnek görüntüde sadece alt ve üst sıvı-gaz filmlerinin belirlenmesi	117
Şekil 7.10 Örnek görüntüye ait toplam boru alanı, toplam gaz alanı ve boşluk oranı değeri.....	118
Şekil 7.11 Siyah görünümlü bir renkli pikselin sahip olduğu kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) özellikler	119
Şekil 7.12 Sıvı-buhar filmini oluşturan saf kırmızı özelliklikli çizgi (R:255, G:0, B:0)120	
Şekil 7.13 Boru cidarını oluşturan saf yeşil özellikteki çizgi (R:0, G:255, B:0)	120
Şekil 7.14 Boru toplam alanının tespiti	121
Şekil 7.15 Toplam gaz faz alanının tespiti.....	121
Şekil 7.16 Piksel Sayımı yapılan 3 alan ve toplam boru alanını veren 2. Alanın hesaba alınması	122
Şekil 7.17 Bir kesikli (mermi) akış görüntüsü örneği.....	123
Şekil 7.18 Boru cidarlarının yeşil, gaz alanların ise tümüyle kırmızı olarak renklendirilmesi.....	123
Şekil 7.19 Gaz alanların belirlenmesi	124
Şekil 7.20 Ayrı ayrı gaz alanları, toplam gaz alanı ve boşluk oranı değeri	124
Şekil 7.21 2. Deneyde işlenemeyen görüntüler	129
Şekil 7.22 Hatalı sıvı-gaz filmi belirleme örneği.....	129
Şekil 7.23 Yarı-otomatik yazılım için 2. Deneye ait renklendirilmiş görüntü örneği ..	131
Şekil 7.24 Yarı-otomatik yazılım ile 2.Deney'in boşluk oranının belirlenmesi	132
Şekil 7.25 5.Deneyde işlenemeyen görüntüler	135
Şekil 7.26 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 1	136
Şekil 7.27 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 2	136
Şekil 7.28 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 3	137
Şekil 7.29 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 4	137
Şekil 7.30 Yarı-otomatik yazılım ile 5.Deney 'in boşluk oranının belirlenmesi.....	138

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 P.I.2 Numaralarıyla Birlikte Ahren Korelasyonunun Kayma Oranı Karşılaştırıldı.....	12
Çizelge 3.2 Butterworth’a Göre Denklemin Sabitleri	15
Çizelge 3.3 Hughmark Modelinin Sabitleri	20
Çizelge 6.1 Çeşitli ısı akısı, kütle akısı değerlerinde boşluk oranı değerleri.....	70
Çizelge 6.2 54°C ve 82 mbar ‘da HFE-7100 için fiziksel özellikler ve boyutsuz sayı değerleri.....	78
Çizelge 7.1 Benzer karakteristiklerdeki deneyler için hesaplanan boşluk oranı değerleri	108
Çizelge 7.2 Mevcut korelasyonlar ile boşluk oranı hesabı ve görüntü işleme ile elde edilen değerler ile mukayesesi, hata analizi	109
Çizelge 7.3 2.Deney’e ait fiziksel şartlar ve parametreler	128
Çizelge 7.4 Otomatik yazılım ve korelasyonlar ile tespit edilmiş boşluk oranı değerleri	128
Çizelge 7.5 5.Deneye ait fiziksel şartlar ve parametreler	133
Çizelge 7.6 Otomatik yazılım ve korelasyonlar ile tespit edilmiş boşluk oranı değerleri	134

ÖZET

AKIŞ TİPİNE GÖRE GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE BOŞLUK ORANININ BELİRLENMESİ

Burak DİBEK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan DEMİR

2000 ‘li yıllardan sonra teknolojik gelişmelerin hızla ilerlemesiyle birlikte deneysel çalışmalar, sayısal simülasyon programlarıyla desteklenmeye başlamıştır. İlerleyen teknolojiyle birlikte artan enerji ihtiyacı günümüz mühendislerini enerjiyi daha verimli kullanan cihazlar tasarlamaya itmiştir.

Yapılan bu çalışmada yoğunlaştırıcı sistemlerinde önemli bir parametre olan boşluk oranının tespiti üzerinde durulmuştur.

Çalışmalar sayısal ve deneysel olarak iki bölümde toplanmıştır. Bu bölümlerde elde edilen veri ve değerler çalışmanın sonunda birbirleri ile mukayese edilerek çıkarımlar ve yaklaşımlar yapılmıştır.

Sayısal kısımda MATLAB R2010a, Microsoft Excel 2007, Adobe Photoshop CS6 programlarından yararlanılmıştır.

Deneysel kısmında ise slow motion kamera ile akış görüntüleme çalışmaları yapılmıştır.

Matlab programının Image Processing Toolbox bölümü kullanılmış, Excel programında korelasyon fonksiyonları hesaplanmış, Image Processing Toolbox ile de görüntü işleme süreci tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İki fazlı akış, yoğunlaşma, görüntü işleme, boşluk oranı, Matlab Image Process Toolbox, R600a

ABSTRACT

DETERMINATION OF VOID FRACTION WITH IMAGE PROCESS TECHNIC WITH REGARD TO FLOW TYPE

Burak DİBEK

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hakan DEMİR

After 2000's, as technology provided many facilities, experimental studies are supported by numeric simulation softwares. Developing technologies lead the engineers to design new instruments that use energy more efficiently.

In this study, we focused on the determination of the void ratio which is a significant parameter on the condenser systems.

Studies are classified as numeric and experimental ones. In these sections, the data collected are compared, interpreted and some inference is achieved.

In numeric section, MATLAB R2010a, Microsoft Excel 2007, Adobe Photoshop CS6 softwares used.

In the experimental section, slow motion camera was used.

In Matlab, Image Processing Toolbox is used and also in MS Excel correlation functions are programmed. Finally by Image Processing Toolbox, image treatment section is completed.

Keywords: Two phase flow, condensing, image process, void fraction, Matlab Image Processing Toolbox, R600a

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1. GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yapılan çalışmanın ilk bölümünde boşluk oranı kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için yatay borularda iki fazlı akış hakkında genel bir bilgi verilerek ikinci bölümünde boşluk oranı ifadesinin genel bir tanımı yapılmıştır. Bir borunun içerisinde sıvı ve gaz fazı ile birlikte akan akışkanın boru kesitinde buhar fazının kapladığı alanın toplan alana oranına boşluk oranı denilmektedir. İkinci bölümde genel boşluk oranı tanımı yapıldıktan sonra boşluk oranları hakkında mevcut literatürde yer alan korelasyonlar yakından incelenmiş ve bu çalışmalar bir tablo halinde özet bilgiler ile sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmalar sırasında kullanılacak olan MATLAB Image Processing Toolbox hakkında ve görüntü işleme teknikleri hakkında genel bilgilendirmeler yapılmıştır. Tez çalışmaları süresince kullanılacak olan ve MATLAB'da hazırlanan görüntü işleme yazılımı hakkında detaylı bilgiler verilerek görüntü işleme ile boşluk oranı tespitinin detaylı olarak nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

1.3 Hipotez

Çalışmaların yapıldığı deney düzeneği hakkında açıklayıcı bilgiler verilerek deneyler sırasında yapılan görüntüleme çalışmalarından ve bu çalışmalar sonucu elde edilen görüntüler hakkında bilgiler ve örnekler sunulmuştur. Sonuç olarak ise deneysel çalışmalar sonucu elde edilen görüntüler MATLAB 'da hazırlanan program ile

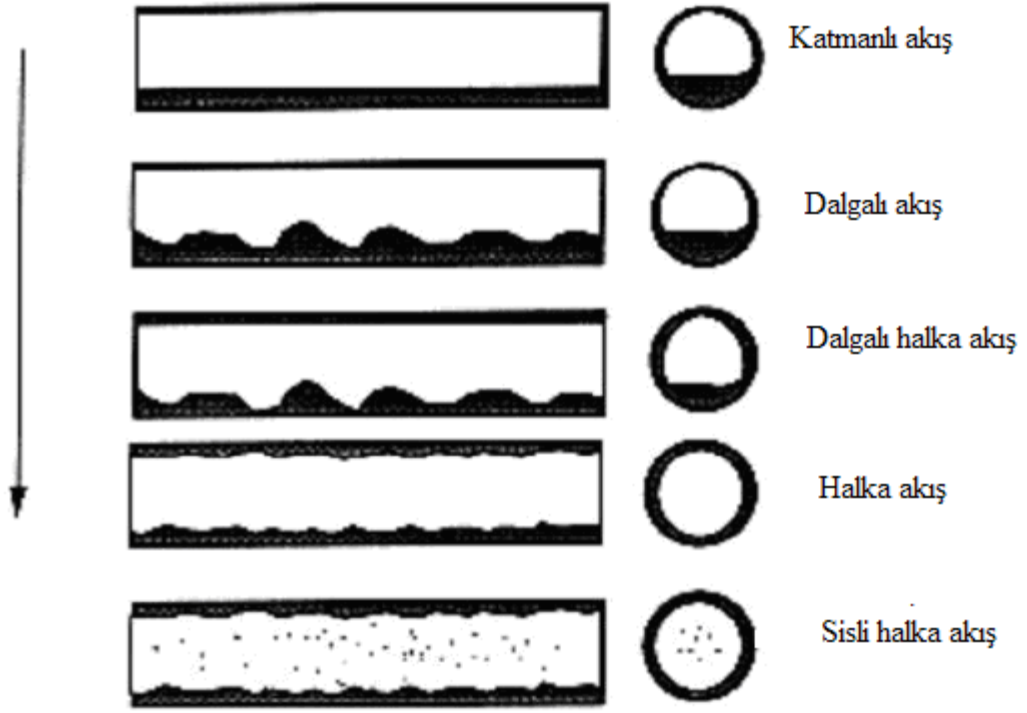
işlenerek boşluk oranı değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin mevcut korelasyonlar ile kıyaslanması yapılarak doğruluk ve güvenilirliği irdelenmiştir.

2. YATAY BORUDA İKİ FAZLI AKIŞ REJİMLERİ

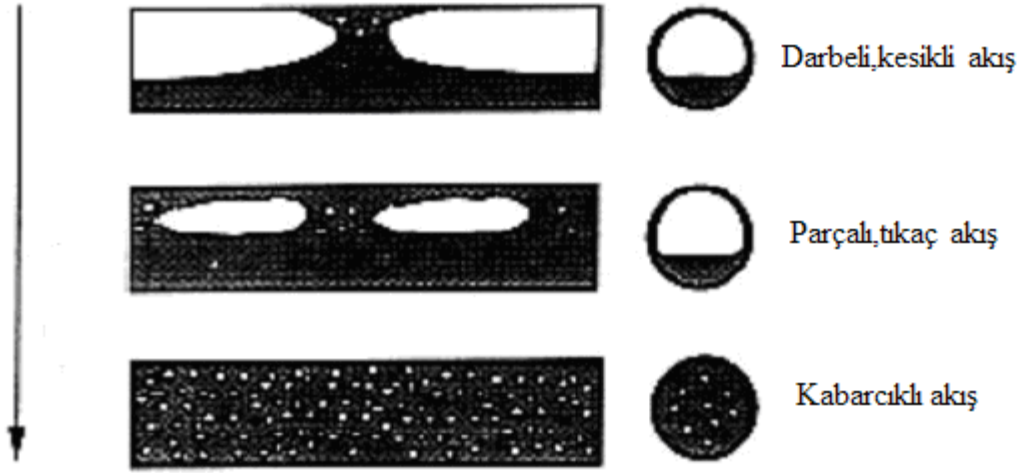
Bu bölümde yatay boru içinde yoğuşma sırasında oluşan akış rejimlerinin teorisi ve literatürdeki gelişimi hakkında bilgi verilmiştir. Yatay boru içine giren buhar doyma sıcaklığının altında bir yüzey ile karşılaştığında yoğuşma meydana gelir. Yoğuşma sırasında; akışkanın kütsel akısı, sıvı buhar fazının fiziksel özellikleri, geometrisi, yerçekimi kuvveti, atalet ve kayma kuvvetlerinin birbirine göre olan etkilerinden dolayı çeşitli akış rejimleri oluşur.

Boru içinde oluşan yoğuşmadan dolayı meydana gelen iki fazlı akış sırasında soğutkanın sıvı ve buhar fazının özellikleri akış rejiminin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Farklı akış örnekleri soğutkanın debisine, sıvı ve buhar fazının özelliklerine ve borunun şekline göre değişmektedir. Yatay boru içine giren buharın boruya giriş hızına bağlı olarak yerçekimi veya arayüzey kayma gerilmesi daha baskın olur; buda farklı akış rejimlerinin meydana gelmesini sağlar. Düşük buhar hızlarında yerçekimi kuvveti daha baskın olduğundan borunun üst kısmında yoğuşmaya başlayan buhar cidarlardan alt kısımda oluşan sıvı birikintisine doğru akar. Buhar hızının düşük olduğu bu durumlarda sıvı buhar ara yüzeyinin düzgün olduğu görülmüştür. (Chato, 1962)

Yoğuşmanın meydana geldiği boru içersinde, buhar ve sıvı fazı eşzamanlı olarak akmaktadır. Bu esnada meydana gelen, akış modelleri Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.



Büyük boşluk oranlarında meydana gelen akış modelleri



Küçük boşluk oranlarında meydana gelen akış modelleri

Şekil 2.1 Yüksek hızın baskın olduğu akış rejimleri ve düşük buhar hızlarında yerçekiminin etkin olduğu akış rejimleri

Buradaki akış rejimleri, boşluk oranının büyük olduğu (yani $\alpha > 0,5$) ya da küçük (yani $\alpha < 0,5$) olduğu durumlarda olmak üzere iki farklı bölüme ayrılmıştır. Boşluk oranının büyük olduğu durumlarda beş farklı akış tipi görülebilir. Bunlar sırasıyla sisli halka,

halka, dalgalı halka akış, dalgalı ve katmanlı akıştır. İkinci grupta ise ($\alpha < 0,5$ olduğu durumlarda) darbeli, kesikli (slug), parçalı, tıkaç (plug) ve kabarcıklı (bubbly) akış gözlenebilmektedir. İlk gruptaki 5 akış modeli boru içerisindeki akış hızına bağlı olarak değişmektedir. Akış hızı (veya kütleli akı) arttıkça akış şekli katmanlı akıştan, sisli akışa doğru değişmektedir. İkinci gruptaki 3 akış şekli ise boru içindeki mevcut sıvı miktarının artmasına (yani boşluk oranının azalmasına) bağlı olarak darbeli akıştan kabarcıklı akışa doğru değişmektedir.

Düşük buhar hızlarında katmanlı akış görülmektedir. Bu tip akış boyunca yerçekimi kuvvetleri atalet kuvvetlerine nazaran daha baskın olduklarından, borunun üst kısmında yoğunlaşan sıvı borunun alt kısımlarına doğru yerçekiminin etkisi ile akmakta ve borunun alt kısmında toplanmaktadır. Buhar hızı oldukça küçük olduğundan borunun alt kısmında biriken sıvının yüzeyi pürüzsüzdür.

Buhar hızı arttıkça sıvı yüzeyi düzensiz olmaya ve yüzeyde dalgalar oluşmaya başlar. (Carey, 1992) Bu akışa dalgalı akış denmektedir. Bu akıştaki boru üst kısmındaki yoğunlaşma işlemi, katmanlı akıştaki yoğunlaşma ile aynıdır. Yukarıda buhar akışı varken aşağıda zamanla kalınlığı artan bir sıvı tabakası bulunur. Sıvı ile buhar ara yüzeyine yakın olan boru çeperleri sıvı yüzeyinde ki dalgalara maruz kalmaktadır. Bu yüzden bu kısımda daha ince bir sıvı tabakası vardır.

Buharın daha hızlı akması sonucunda; dalgalı akış daha dengesiz bir hale gelir. Bu durumda iki ayrı sonuçla karşılaşılabilir. Bunlar; Sıvı miktarının fazla olduğu durumda darbeli (slug) akış görülebilmektedir. Düşük sıvı miktarlarında ise dalgalar boru duvarlarını yıkamaya başlar ve halka akış meydana gelir. Tam halka akış olmadan önce geçiş modeli olan dalgalı–halka akış gözlemlenmektedir. Bu durumda; sıvı yüzeyinde dalgalar olduğu gibi duvar çevresinde tam simetrik olarak yayılmamış bir halka şeklinde akış gözlemlenmektedir. Boru çeperindeki sıvı filmi, dalgalı akıştaki aksine aşağıya doğru değil, akış yönünde eksene paralel bir şekilde akmaktadır.

Buhar hızının daha fazla artırılması ile borunun alt kısmındaki sıvı tabakasından, borunun çeperlerine ve üst kısmına doğru bir sıvı hareketi oluşmaktadır. Bu hareket ile borunun çevresi boyunca duvarlarda eşit kalınlıkta bir sıvı halkası oluşur. Sıvı duvar boyunca halka şeklinde akışına devam ederken, buhar fazı halkanın içinden akar.

Buhar hızı, sıvı hızından daha yüksektir. Bu durum sıvı tabakasının yüzeyinde dalgalara neden olur.

Buhar hızının en yüksek olduğu durumda ise sıvı-buhar ara yüzeyindeki dalgalar oldukça büyürler ve buhar sıvı tabakasının yüzeyinden damlacıklar kopar. Kopan bu sıvı damlacıkları buhar akışının içine karışarak boru boyunca hareketlerine devam ederler. Bu durumda boru çevresinde sıvı tabakası halka şeklinde akarken, buhar ve sis şeklindeki sıvı damlacıkları halkanın içinden akar. Bundan dolayı bu akışa sisli-halka akış denir.

İkinci gruptaki ($\alpha < 0,5$) akış çeşitleri darbeli (slug), parçalı (plug) ve kabarcıklı (bubbly) akış çeşitleridir. Darbeli (slug) akış; sıvı yüzeyindeki dalgaların yüksekliği, bütün akış kesidini kaplayacak derecede büyük olduğu zaman meydana gelir. Bu darbeli (slug) akış ilk olarak Hubbard ve Dukkler tarafından incelenmiş, daha sonraları Lin ve Hanratty bu konu üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda darbelerin (slugların), buhar hızında ani düşüslere neden olduğu belirlenmiştir. Başka bir durumda; darbeler (sluglar) tam olarak akış kesitini kapatabilecek kadar büyük olmaz, ancak anlık olarak kesiti kapatacak kadar büyüyebilirler. Bu durumda ani basınç dalgalanmaları daha az şiddetli olur. Bu tür akışa ise sahte darbe (slug) anlamına gelen pseudo-slug akışı adı verilir.

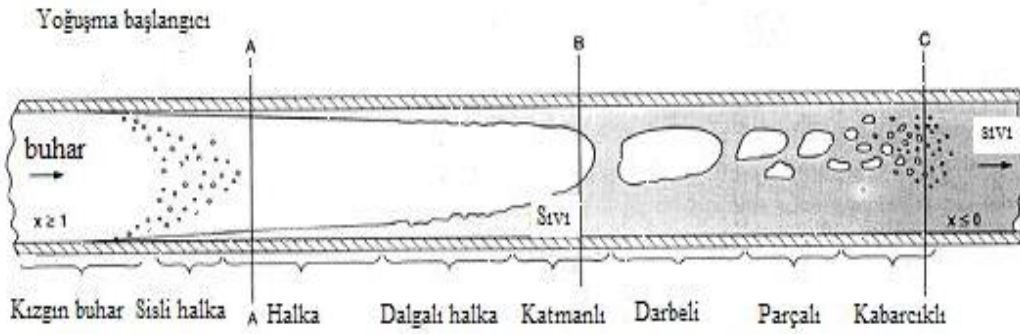
Yoğuşma devam ettikçe, darbelerin (slugların) bir araya gelmesi ile sıvı akışının daha fazla olduğu yeni bir akış türü meydana gelir. Parçalı (plug) akış adı verilen bu akışta, yoğuşan sıvı miktarı ve hızı arttıkça, türbülansın etkisi ile parçalar (pluglar) daha küçük kabarcıklara bölünür. Bu tür akışa ise; kabarcıklı (bubbly) akış denir. Darbeli, kesikli (slug), parçalı, tıkaç (plug) ve kabarcıklı (bubbly) akış, yoğuşma prosesinin son dönemlerinde yani akışın sıvı ağırlıklı olduğu durumlarda meydana gelir. Bu durumda boşluk oranı oldukça küçüktür. Buhar kuruluk derecesinin % 10'nun altına indiği durumlarda darbeli (slug), parçalı (plug) ve kabarcıklı (bubbly) akış görülebilmektedir. Özellikle kuruluk derecesinin %1 veya %2 olduğu durumlarda parçalı (plug) ve kabarcıklı (bubbly) akış görülür.

Sonuç olarak boru içinde meydana gelen yoğuşmanın anlaşılmasındaki ilk adım, yoğuşan akışkanın boru içersinde nasıl aktığının belirlenmesidir. Çünkü meydana gelen akım tipleri basınç düşüşünün ve taşınım katsayısının doğru olarak tespit

edilmesinde temel teşkil eder. Yoğuşma için geliştirilen çok sayıda korelasyon literatürde mevcuttur ancak bunları her akım tipine ve her çapa veya farklı geometrilerde uygulamak yanlış olur. Örneğin tek fazlı akıslarda Nu boyutsuz sayısı Re ve Pr sayılarının fonksiyonudur. Ancak akışın laminar veya türbülanslı olması durumuna göre ifadeler değişir. Aynı şekilde de iki fazlı akıslarda taşınım katsayısının ifade edilmesinde akım tipi önemli rol oynamaktadır.

3. BOŞLUK ORANI VE KORELASYONLARI

Buharın doyma sıcaklığından (T_{sat}) daha düşük sıcaklıktaki bir yüzey ile teması neticesinde yoğuşma gerçekleşir.



Şekil3.1 Yatay Boru İçerisinde Yoğuşmada Akışın Şematik Gösterimi

Kaynak: [Thome, 2004]

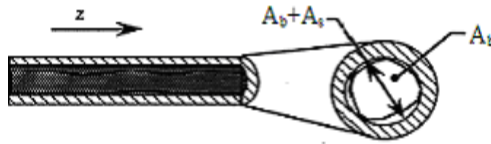
Boru içinde meydana gelen yoğuşmada taşınım katsayısı, basınç düşüşü öncelikle akım tipine bağlıdır. Şekil3.1 'den de görüldüğü üzere boru içersine buhar olarak giren akışkan faz değişimine bağlı olarak borunun sonundan sıvı olarak çıkmaktadır. Soğutucu akışkan boru içinde yoğuşurken, farklı akım tipleri oluşur. Oluşan bu farklı akım tipleri taşınım katsayısı ve basınç düşüşleri birbirinden farklıdır. İki fazlı akışların karmaşık yapılarından dolayı taşınım katsayısının ve basınç düşümünün doğru olarak belirlenebilmesi için öncelikle akım tipinin doğru olarak tespit edilmesi gereklidir. Bu nedenle basınç düşümü, taşınım katsayısı ve akım tiplerinin

belirlenmesinde etkin bir parametre olan boşluk oranı çok önemlidir. Bu tezin içeriğinde yoğuşma esnasında boru içinde akım tipine bağlı olarak meydana gelen boşluk oranının görsel olarak belirlenmesi ve literatürde mevcut korelasyonlarla mukayesesidir.

3.1 Boşluk Oranı Kavramı

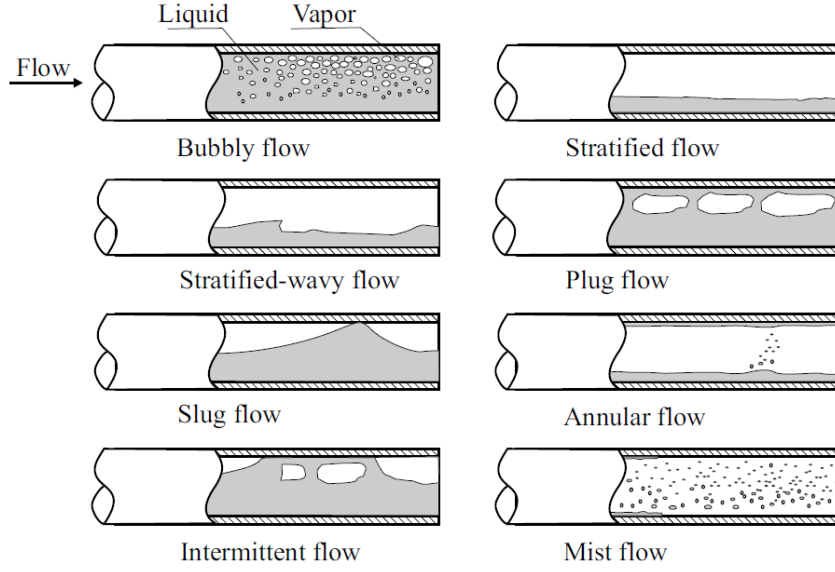
Boşluk oranı ifadesi iki fazlı akıslarda basınç düşüşünün, ısı taşınım katsayısının ve akım tipinin belirlenmesinde temel teşkil edecek en önemli parametrelerden biridir. En genel şekilde buharın kapladığı kesit alanının toplam kesit alanına oranı ile ifade edilebilir.

$$\alpha = \left(\frac{A_b}{A_b + A_s} \right) \quad (3.1)$$



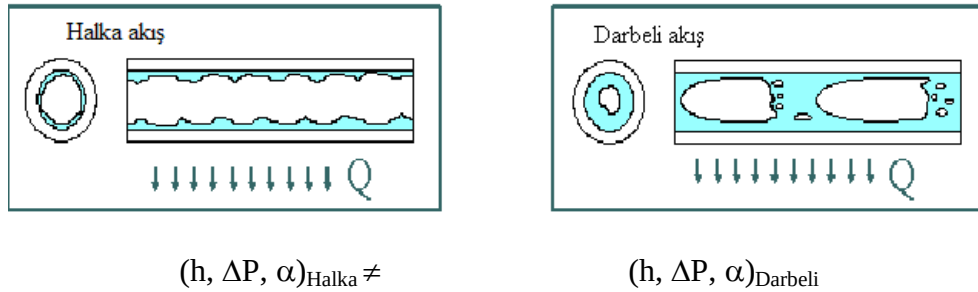
Şekil 3.2 Boşluk Oranının Şematik Gösterimi

İki fazlı akıslarda taşınım katsayısı ve basınç düşümü akım tipine bağlı olarak değişir. Boru içinde yoğuşma sırasında; akışkanın kütleli akısı, sıvı buhar fazının yoğunluğu, viskozitesi, yüzey gerilimi gibi fiziksel özellikleri, boru geometrisi, yerçekimi kuvveti, atalet ve kayma kuvvetlerinin birbirine göre olan etkilerinden dolayı çeşitli akım tipleri oluşur.



Şekil 3.3 Çift Fazlı Akıştaki Rejim Çeşitleri

Sözü edilen parametrelere bağlı olarak akım tipleri şekilde görüldüğü gibi (halka akış, katmanlı akış, tıkaç vb.) farklı farklı oluşmaktadır. Örneğin yatay boruda buharın boruya giriş hızına bağlı olarak; düşük buhar hızlarında yerçekimi kuvveti daha baskın olduğundan borunun üst kısmında yoğunlaşmaya başlayan buhar cidarlardan alt kısımda oluşan sıvı birikintisine doğru akar ve katmanlı akışı, buhar hızının fazla olduğu ve atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerini yendiğinde ise boru içinde halka akış meydana gelir. Oluşan bu farklı akış rejimleri taşınım katsayısı ve basınç düşümünü etkilemektedir. Şekil 3.4 'den de görüleceği üzere yatay borunun giriş kısmında meydana gelen halka akış ile yoğunlaşmanın ilerleyen safhalarında görülen darbeli akış için taşınım katsayısı, basınç düşümü ifadeleri ve boşluk oranı değerleri birbirinden farklı olacaktır.



Şekil 3.4 Farklı Akım Tiplerinde Yoğuşmanın Özellikleri

Kaynak: (Nino V., 1997 [1])

Sonuç olarak tek fazlı akışlarda taşınım katsayısı ifadeleri akımın laminar veya türbülanslı olmasına göre ifade edildiği gibi iki fazlı akışlarında taşınım katsayısı ve basınç düşümünün hassas olarak belirlenebilmesi için akım tipinin tespit edilmesi gereklidir. Bu nedenle projede ilk olarak basınç düşümü, taşınım katsayısı ve akım tiplerinin belirlenmesinde etkin bir parametre olan boşluk oranı değerinin tespit edilmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

Boşluk oranı ile ilgili literatürde çok miktarda geliştirilmiş korelasyon mevcuttur. Bu korelasyonlardan başlıcaları aşağıda belirtilmektedir.

3.2 Homojen Boşluk Oranı

En genel boşluk oranı ifadesi olan homojen akış modelinde boşluk oranı sıvı ve gaz hızlarının birbirlerine eşit kabul edilerek tanımlanmıştır. Bu tanım aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir

$$\alpha = \frac{\frac{x}{\rho_b}}{\left(\frac{1-x}{\rho_s}\right) + \left(\frac{x}{\rho_b}\right)} \quad (3.2)$$

Literatürde mevcut korelasyonları da üç ana başlık altında toplamak mümkün olmaktadır. Bunları şu şekilde ifade edebiliriz:

- Kayma Hızına Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar
- Lockhart-Martinelli Parametresine (X) Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar
- Kütlesel Akıya Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar

3.2.1 Kayma Hızına Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar

3.2.1.1 Zivi Korelasyonu (1964)

Açık formdaki ayırık akış rejimlerinde boşluk oranı modelinin analitik korelasyonu denklem (3.3) ve (3.4) 'teki gibidir. Zivi korelasyonunda fazlar arasında hiç sürtünme olmadığını, düz duvar kabulü ve hiç sıvı sürüklenmesinin olmadığı kabulü yapılır. Veri datasına gerek olmadığı için geniş, kolay kullanımı olan bir modeldir. Modelde yatay ve dikey borularda buhar-su akışkanı kullanmıştır.

$$S = \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{-1/3} \quad (3.3)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{2/3}} \quad (3.4)$$

3.2.1.2 Rigot Korelasyonu (1974)

Ortalama sabit kayma hızı Rigot tarafından kabul edilerek ve S=2 değerindeki halka akış için geliştirilmiştir.

3.2.1.3 Ahren Korelasyonu

Buhar ve suyun faz hız ve yoğunlukları kayma hızı terimi ile birlikte ele alındı. Ahren Thom'un (1964) buhar su verilerini kullanarak bu korelasyona ulaşmıştır.

Çizelge 3.1 P.I.2 Numaralarıyla Birlikte Ahren Korelasyonunun Kayma Oranı Karşılaştırıldı.

P.I.2	0,00116	0,0154	0,0375	0,0878	0,187	0,466	1
S	6,45	2,48	1,92	1,57	1,35	1,15	1

$$P.I.2 = \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,2} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \quad (3.5)$$

3.2.1.4 Smith (1969) Korelasyonu

Ayrık akış için yapılan çalışmada boşluk oranı korelasyonu oluşturulurken gaz fazı ile beraber gazın içinde e oranında sıvının da girdiği ve aynı zamanda iki fazın momentum akılarının eşit olduğunu kabul etmiştir.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \frac{\rho_b}{\rho_s} S} \quad (3.6)$$

$$S = e + (1-e) * \left[\frac{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right) + e \left[\frac{1-x}{x} \right]}{1 + e \left[\frac{1-x}{x} \right]} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

Şeklinde ifade edilmiş ve eşitlikte e değeri 0,4 dür.

3.2.1.5 Levy Korelasyonu (1960)

Kayma hızı temel alınarak geliştirilmiş olan bu ifade halka ve katmanlı akışlar için geliştirilmiştir.

$$x = \frac{\alpha(1-\alpha) + \alpha \sqrt{(1-2\alpha)^2 + \alpha \left[2 \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right) (1-\alpha)^2 + \alpha(1-2\alpha) \right]}}{\left[2 \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right) (1-\alpha)^2 + \alpha(1-2\alpha) \right]} \quad (3.8)$$

3.2.1.6 Thom correlation (1964)

Kayma hızı temelini esas alınarak halka akış şartları için geliştirilmiş bir ifadedir.

$$\alpha = \frac{\gamma x}{1 + x(\gamma - 1)} \quad (3.9)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{1-x}{x} \right) \quad (3.10)$$

$$Z = \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,555} \left(\frac{\mu_g}{\mu_l} \right)^{0,111} \quad (3.11)$$

$$\gamma = Z^{1,6} \quad (3.12)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,72} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,89} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,18} \quad (3.13)$$

3.2.1.7 Premoli model (1971)

Katmanlı ve halka akış için geliştirilen bu korelasyon dikey yukarı akışlar için önerilmektedir.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right) S} \quad (3.14)$$

$$S = 1 + K1 \left(\frac{Y}{1 + CY} - CY \right)^{1/2} \quad (3.15)$$

$$K1 = 1,578 + \text{Re}_l^{-0,19} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,22} \quad (3.16)$$

$$C = 0,0273 \text{We}_l \text{Re}_l^{-0,51} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{-0,08} \quad (3.17)$$

$$Y = \frac{\beta}{1 - \beta} \quad (3.18)$$

$$\text{We}_l = \frac{G^2 d_i}{\sigma \rho_l g} \quad (3.19)$$

$$\text{Re}_l = \frac{G d_i}{\mu_l} \quad (3.20)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)} \quad (3.21)$$

3.2.2 Lockhart-Martinelli Parametresine (X) Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar

3.2.2.1 Lockhart ve Martinelli Korelasyonu (1949)

Halka ve katmanlı akış şartları için geliştirilen bu ifade de akış rejimleri arasında geçişte kuruluk oranının önemi göz önüne alınmıştır.

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = f(X) \quad (3.22)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = 0,28 X^{0,71} \quad (3.23)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = 0,28 \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,64} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,36} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,07} \quad (3.24)$$

3.2.2.2 Turner ve Wallis İki-Silindir Modeli (1965)

Aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi Turner-Wallis tarafından geliştirilen ifade Lockhart-Martinelli parametresi göz önüne alınarak geliştirilmiştir.

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = A \left(\frac{1-x}{x} \right)^p \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^q \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^r \quad (3.25)$$

Çizelge 3.2 Butterworth’a Göre Denklemin Sabitleri

Korelasyon Modelleri	A	p	q	r
Homogeneous	1	1	1	0
Zivi	1	1	0,67	0
Turner-Wallis	1	0,72	0,4	0,08
Lockhart-Martinelli	0,28	0,64	0,36	0,07
Thom	1	1	0,89	0,18
Baroczy	1	0,74	0,65	0,13

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = X^{0,8} \quad (3.26)$$

$$X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.27)$$

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,72} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,4} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,08} \quad (3.28)$$

3.2.2.3 Wallis Korelasyonu (1969)

Lockhart ve Martinelli tabanlı model de, düşük basınçtaki Lockhart ve Martinelli'nin verilerini kullanan Wallis bu korelasyonu katmanlı ve halka akış için geliştirdi.

$$X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.29)$$

$$\alpha = \left(1 + X^{0,8} \right)^{-0,378} \quad (3.30)$$

3.2.2.4 Domanski ve Wallis Korelasyonu (1983)

Domanski, Wallis'in modelini 10 dan büyük X değerleri için katmanlı ve halka akışa uyarlayarak geliştirildi.

$$X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.31)$$

$$\alpha = 0,823 - 0,157 \ln(X) \quad (3.32)$$

3.2.2.5 Baroczy Modeli (1963)

Hava-civa ve hava-su ile yaptığı deneyler sonucunda boşluk oranı ifadesi için Lockhart-Martinelli ifadesine benzer korelasyon geliştirdi. Daha sonra Butterworth (1975) tarafından düzenlenen eşitlik

$$\left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) = C \left(\frac{1-x}{x} \right)^m \left(\frac{\rho_b}{\rho_s} \right)^n \left(\frac{\mu_s}{\mu_b} \right)^o \quad (3.33)$$

şeklindedir.

Bu ifade de C=1, m=0,74, n=0,65, o=0,13 değerlerindedir.

3.2.3 Kütlesel Akıya Bağlı Geliştirilen Korelasyonlar

3.2.3.1 Tandon korelasyonu (1976)

Buhar ile birlikte boru içine sıvının girmediği kabulü ile halka akış için yapılan teorik çalışmada boşluk oranı ifadesi Lockhart-Martinelli parametresine ve G 'ye bağlı olarak geliştirmiştir. Her iki faz da türbülanslı kabul edilmiştir.

$$Re_s = \frac{Gd_i}{\mu_l} \quad (3.34)$$

$$X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.35)$$

$$\alpha = 1 - 1,928 Re_s^{-0,315} [F(X_{tt})]^{-1} + 0,9293 Re_s^{-0,63} [F(X_{tt})]^{-2} \quad 50 < Re_s < 1125 \quad (3.36)$$

$$\alpha = 1 - 0,38 Re_s^{-0,088} [F(X_{tt})]^{-1} + 0,0361 Re_s^{-0,176} [F(X_{tt})]^{-2} \quad Re_s > 1125 \quad (3.37)$$

3.2.3.2 Graham Korelasyonu (1998)

Graham, Hulburt ve Newell'ın boşluk oranı için ürettikleri film modeli kalınlığı korelasyonunu türeterek yeni terim geliştirmiştir, Graham katmanlı akıştan halka akışa geçişi inceleyen Froude parametresini kullanmıştır.

$$F_t = \left(\frac{m_g V_g^2}{m_l g d_i} \right)^{1/2} \quad (3.38)$$

$$F_t = \left(\frac{x^3 G^2}{\rho_g^2 g d_i (1-x)} \right)^{1/2} \quad (3.39)$$

$$F_t > 0,01032 \quad \alpha = 1 - \exp(-1 - 0,3 \ln(F_t) - 0,0328 (\ln(F_t))^2) \quad (3.40)$$

$$F_t < 0,01032 \quad \alpha = 0 \quad (3.41)$$

3.2.3.3 Harms'ın Modeli (2003)

Halka akış için geliştirilmiş boşluk oranı formülüdür.

$$X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.42)$$

$$\text{Re}_l = \frac{(1-x)Gd_i}{\mu_l} \quad (3.43)$$

$$\alpha = \left[1 - 10,06 \text{Re}_l^{-0,875} (1,74 + 0,104 \text{Re}_l^{0,5})^2 \left(1,376 + \frac{7,242}{X^{1,655}} \right)^{-1/2} \right]^2 \quad (3.44)$$

3.2.3.4 Yashar Korelasyonu (2001)

Lockhart Martinelli parametresi ve Froude sayısı göz önüne alınarak geliştirilmiş yarı ampirik bir formüldür. Yatay boru içi akışlar için tavsiye edilen bu korelasyon 4,26 mm düz boru içinde R134a ve R410A akışkanlarının farklı kuruluk dereceleri ve farklı kütleli akılar göz önüne alınarak geliştirilmiştir.

$$F_t = \left(\frac{x^3 G^2}{\rho_g^2 g d_i (1-x)} \right)^{0,5} \quad (3.45)$$

$$\alpha = (1 + F_t^{-1} + X)^{-0,321} \quad (3.46)$$

$$\alpha = \left[1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \left\{ 1 + 1,3 \text{Re}_{lo}^{-0,19} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,72} \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0,5} \right\} \right]^{-1} \quad (3.47)$$

3.2.3.5 Premoli'nin Modeli (1971)

Premoli'nin modelinde akış rejimi açık bir şekilde ayıran, kayma oranına bağlı ampirik korelasyondur. Modeli dikey üstten akış, katmanlı ve halka akış rejimleri için önerilir.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right) S} \quad (3.48)$$

$$S = 1 + K1 \left(\frac{Y}{1 + CY} - CY \right)^{1/2} \quad (3.49)$$

$$K1 = 1,578 + \text{Re}_l^{-0,19} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,22} \quad (3.50)$$

$$C = 0,0273 \text{We}_l \text{Re}_l^{-0,51} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{-0,08} \quad (3.51)$$

$$Y = \frac{\beta}{1 - \beta} \quad (3.52)$$

$$\text{We}_l = \frac{G^2 d_i}{\sigma \rho_l g} \quad (3.53)$$

$$\text{Re}_l = \frac{G d_i}{\mu_l} \quad (3.54)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)} \quad (3.55)$$

3.2.3.6 Hughmark Model (1962)

Hughmark'ın modeli ise kabarcıklı akış rejiminde açık form ampirik korelasyonudur. Modeli dik üstten akışı önermektedir. Hughmark, Bankoff'un 1960'taki akış parametresini (K) geliştirerek kendi modeline uyarladı.

$$\alpha = \frac{K_H}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)} \quad (3.56)$$

$$K \text{Re}_\alpha = \frac{d_i G}{\mu_l + \alpha(\mu_g - \mu_l)^H} \quad (3.57)$$

$$Z = \frac{\text{Re}_\alpha^{1/6} \text{Fr}^{1/8}}{y_L^{1/4}} \quad (3.58)$$

$$\text{Re}_\alpha = \frac{d_i G}{\mu_l + \alpha(\mu_g - \mu_l)} \quad (3.59)$$

$$Fr = \frac{V^2}{gd_i} = \frac{1}{gd_i} \left(\frac{Gx}{\beta \rho_g} \right)^2 \quad (3.60)$$

$$y_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{1-x} \right) \frac{\rho_l}{\rho_g}} = 1 - \beta \quad (3.61)$$

$$Z = \left[\frac{d_i G}{\mu_l + \alpha(\mu_g - \mu_l)} \right]^{1/6} \left[\frac{1}{gd_i} \left(\frac{Gx}{\rho_g \beta (1-\beta)} \right)^2 \right]^{1/8} \quad (3.62)$$

Çizelge 3.3 Hughmark Modelinin Sabitleri

K_H	0,185	0,225	0,325	0,49	0,605	0,675	0,72	0,767	0,78	0,808	0,83	0,88	0,93	0,98
Z	1,30	1,50	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0	40,0	70,0	130,0

$$K_H = 0,71 + 0,0001P \quad (3.63)$$

3.2.3.7 Steiner Korelasyonu (1993)

Yatay borularda kullanılan korelasyon, Rauhani'nin (1969) modelinin geliştirilmesiyle elde edilmiştir.

$$\alpha = \frac{x}{\rho_g} \left(\left[1 + 0,12(1-x) \right] \left[\frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l} \right] + \frac{1,18(1-x) \left[g\sigma(\rho_l - \rho_g) \right]^{0,25}}{G\rho_l^{0,5}} \right)^{-1} \quad (3.64)$$

3.2.3.8 El Hajal Korelasyonu (2003)

El Hajal, Steiner tarafından geliştirilen boşluk oranı ifadesi ile homojen boşluk oranı ifadesini beraber kullanarak yeni bir korelasyon geliştirmiştir. Halka akış için kullanılmıştır.

$$\alpha = \frac{\alpha_h - \alpha_{steiner}}{\ln \left(\frac{\alpha_h}{\alpha_{steiner}} \right)} \quad (3.65)$$

4. MATLAB - IMAGE PROCESSING TOOLBOX

4.1 Image (İmge) Kavramı

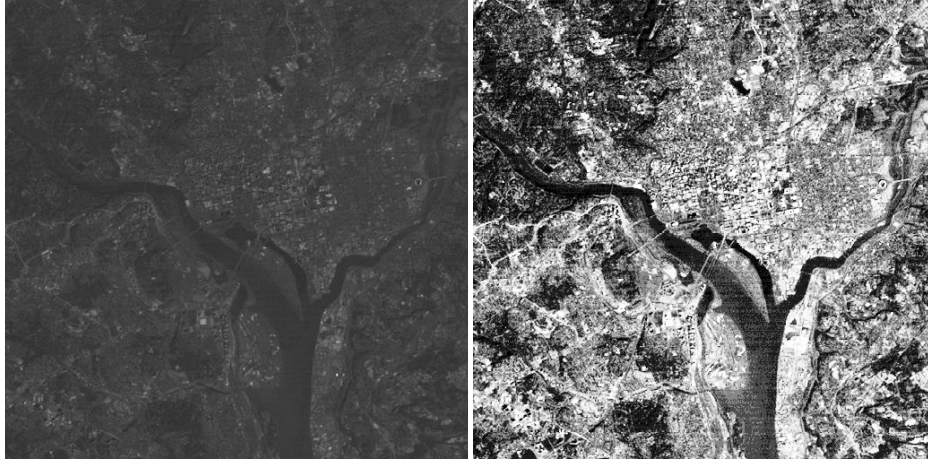
İmge (image), çeşitli yollarla elde edilen bilgilerin görüntüsel olarak saklanmasına ve gösterimine olanak sağlayan resimlerdir. Her türlü iki boyutlu bilgi imge olarak ele alınabilir.



İmge İşleme ve Uygulama Alanları

- Tıp ve biyoloji (x-ışınları, biyomedikal görüntüler..vs)
- Coğrafi bilimler (jeodezi, hava ve uydu görüntülerinden hava tahmini... vs)
- Restorasyon (eski, hasar görmüş fotoğrafların onarılması)
- Fizik (elektron mikroskobu görüntüleri, spektrometreler)
- Uzay bilimleri (uydu, mikrodalga görüntüleri)
- Savunma sanayi (gece görüş, akıllı roket sistemleri)

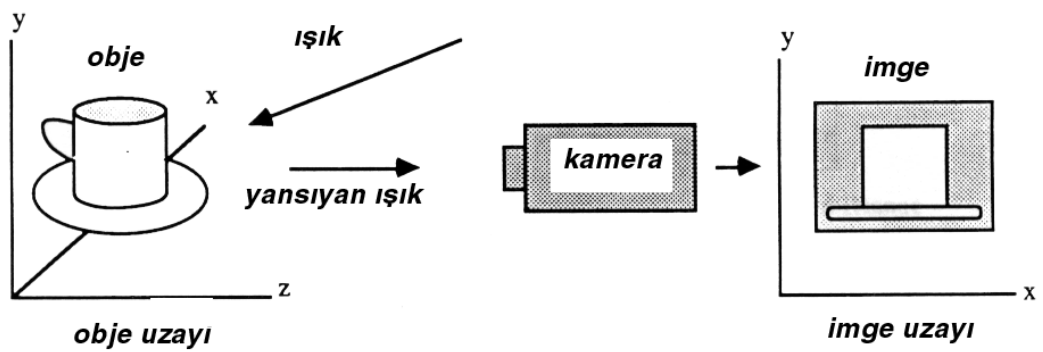
- Endüstriyel uygulamalar (süreç, ürün denetimi)
- Tüketici elektroniği (VCD, DVD, video kayıt cihazları, cep telefonları)
- Güvenlik sistemleri (iris-parmak izi tanıma, güvenlik-kamera uygulamaları)



Şekil 4.1 Görüntü işleme sonrası değişim örneği

4.1.1 İmgenin Oluşturulması

İmgeler, 3-Boyutlu gerçek nesne uzayından sadece 2-Boyutun kullanımı ile oluşturulur. Kamera benzeri cihazların ışığa duyarlı 2-B yüzeyine nesneden yansıyan ışık kullanılarak imge uzayına geçilir.

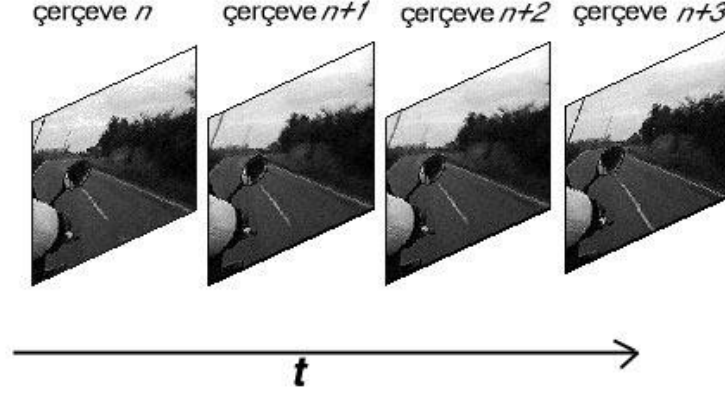


Şekil 4.2 İmge oluşumunun şematik gösterimi

Video Kavramı

İnsan beyni, belirli şartlar altında, gözün retinasına odaklanmış hareketli bir imge ile

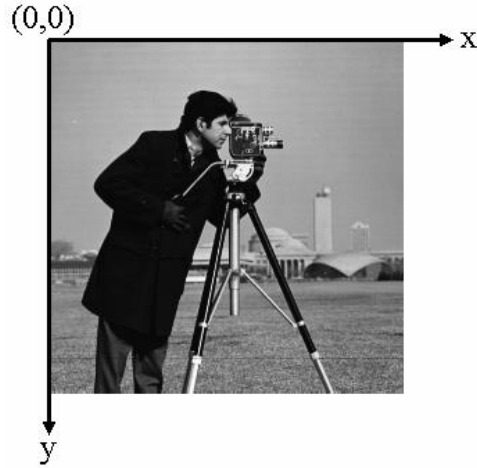
çok hızlı değişen bir durağan imge dizisi arasındaki farkı algılayamaz. Psikogörsel araştırmalar saniyede gösterilen durağan en az 50 resim hareketli görüntüden ayırt edilemediğini göstermiştir.



Şekil 4.3 Video kavramının şematik resmi

4.1.2 Sayısal İmge Kavramı

İmge iki boyutlu ışık-yoğunluk fonksiyonu olarak adlandırılabilir ve $f(x,y)$ ile gösterilir. Burada (x,y) koordinatları belirtmekte, $f(x,y)$ fonksiyonunun değeri ise (x,y) noktasındaki pikselin ışıklık (intensity) değerini ifade etmektedir.



Şekil 4.4 İmge koordinat eksenleri

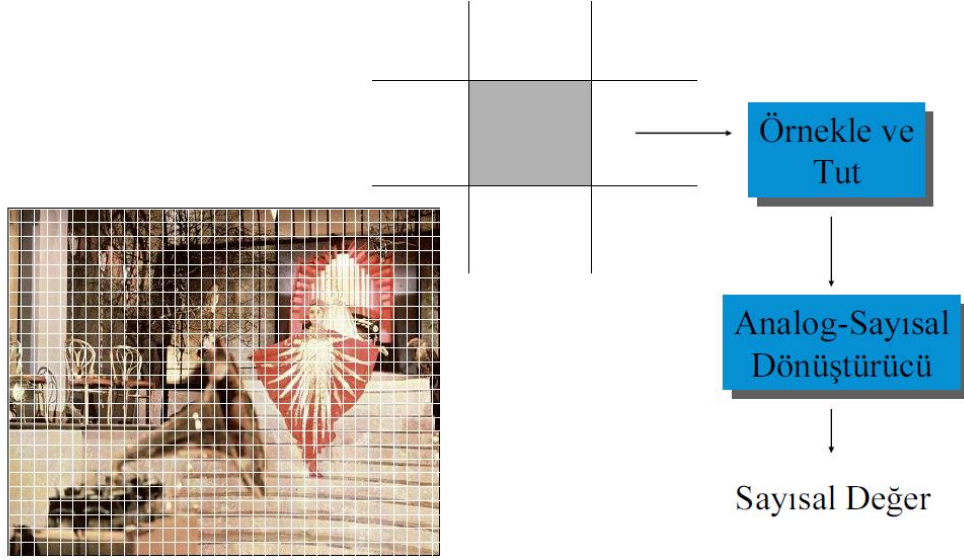
4.1.2.1 Sayısal İmgenin Sayısala Dönüştürölmesi

İmgelerin sayısal imge işleme teknikleri ile işlenebilmesi analog biçimden sayısala çevrilmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi analog bir işaretin sayısala çevrilmesi iki

aşamada gerçekleşir.

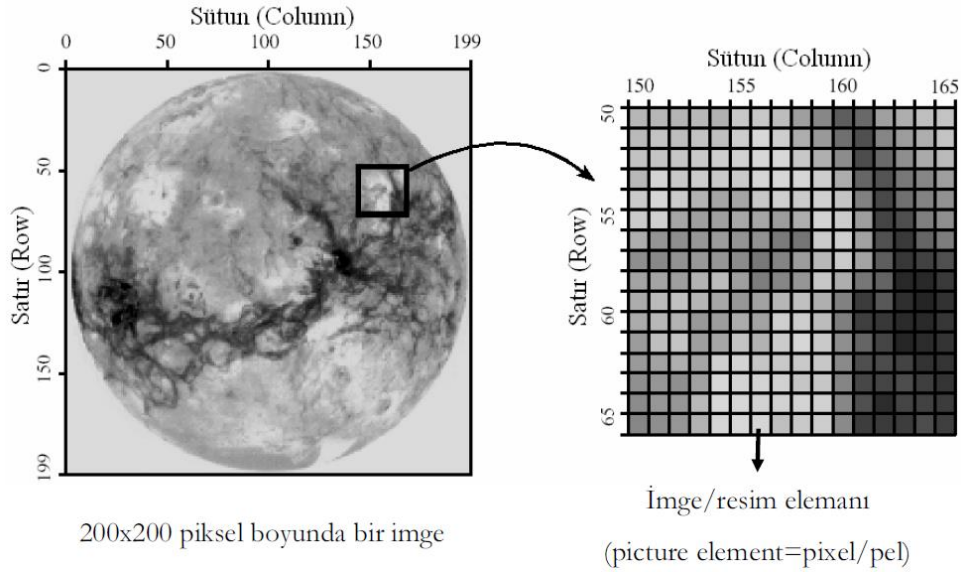
1. Örnekleme: İşaretten belirli zaman aralıklarında örnekler alınması anlamına gelir. İki boyutlu imgelerde uzamsal düzlemin sayısallaştırılmasına karşılık gelir.
2. Nicemleme (Kuantalama): Genlik seviyelerinin sadece belirli değerleri alması işlemidir. Genlik değerlerinin sayısallaştırılmasına karşılık gelir.

Sayısallaştırma = Örnekleme + Nicemle eşitliği şeklinde ifade edilebilir.

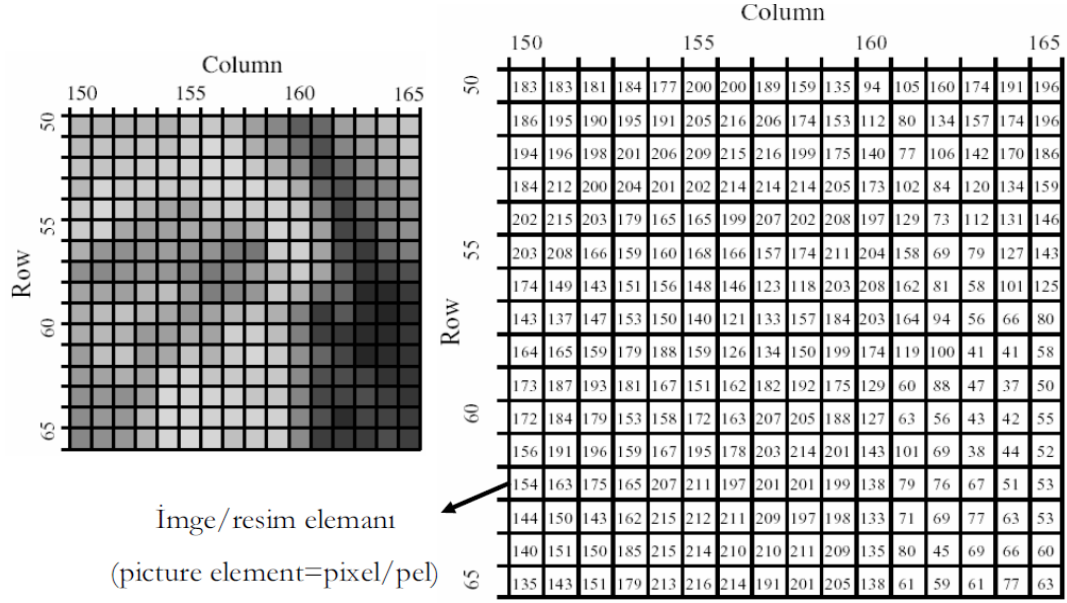


Şekil 4.5 İmgede Sayısallaştırma

Burada piksel kavramı önemli bir kavram olup daha iyi anlaşılması gerekmektedir;



Şekil 4.6 Piksel kavramı

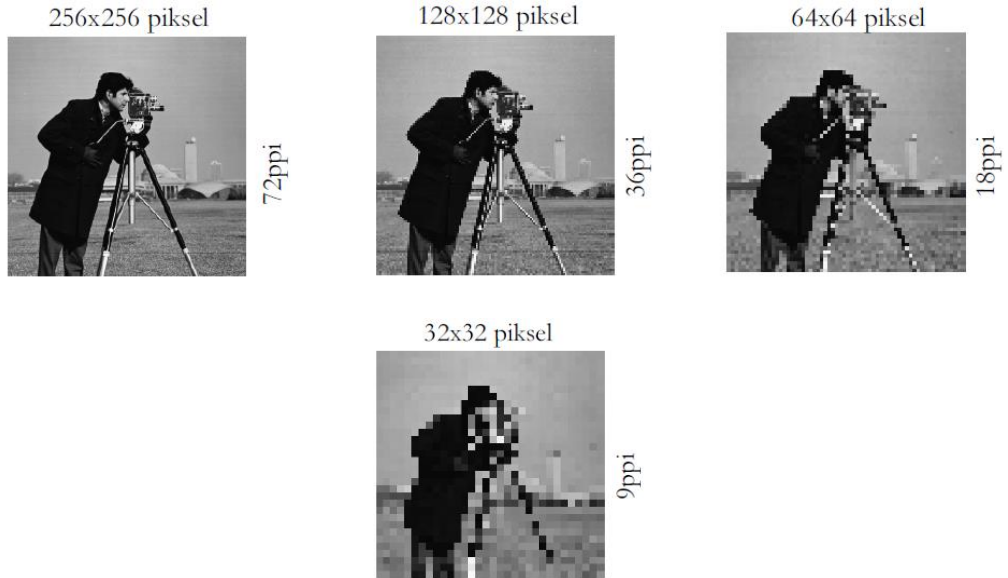


Şekil 4.7 İmgede piksel değerleri

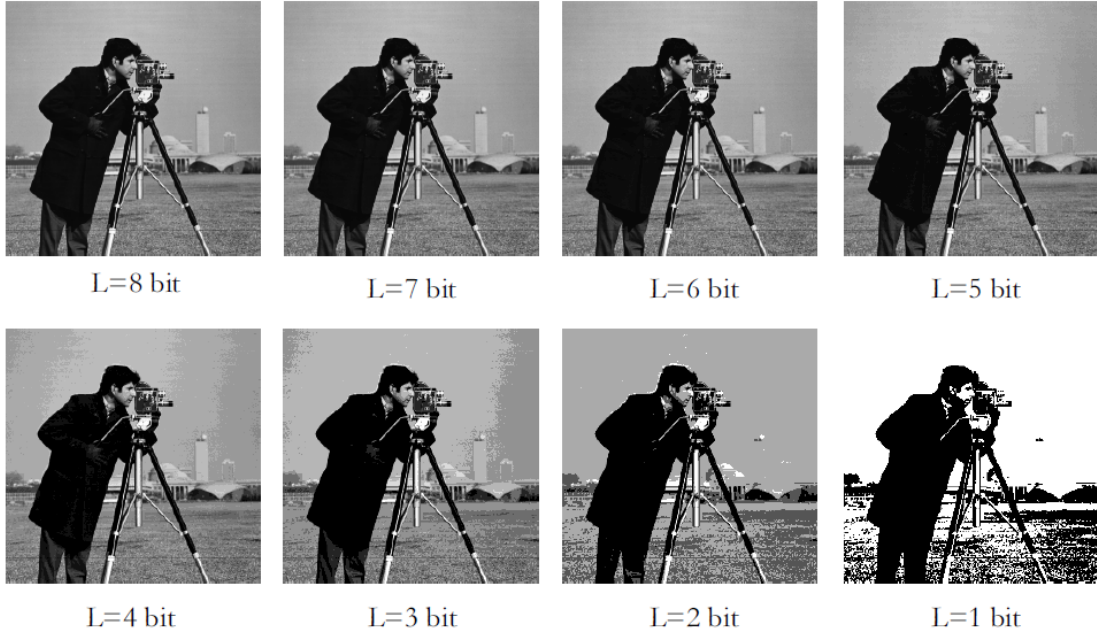
4.1.2.2 Sayısal İmgede Örnekleme (Uzamsal Çözünürlük)

Çözünürlük imgenin piksel sayısı / birim fiziksel boyut ifadesi ile bulunur. Birimi genelde ppi (piksel per inch) ya da dpi (dot per inch) ifadeleri ile verilir.

Fiziksel boyutları aynı (3,6" X 3,6") çözünürlükleri farklı resimler arasında bu kavrama baktığımızda görüntü şu şekilde olmaktadır;



Şekil 4.8 Piksel (çözünürlük) kavramının örneklendirilmesi



Şekil 4.9 Farklı bit değerlerinde görüntülerde oluşan değişiklikler

4.2 İmge Dosyaları (Tipleri)

Sayısal imgeler, manyetik, optik, flash disk gibi ortamlarda dosyalar halinde saklanmaktadır. İmge dosyalarının bilgisayarda saklanması için genellikle bmp ve jpg dosya tipleri tercih edilmektedir.

Örneğin gri-tonlu (gray-scale) tonlu 8 bit/piksel bit derinliğinde 200x200 piksel boyutunda bir imgenin bellekte kaplayacağı alanı hesaplayalım.

İmgede $200 \times 200 = 40000$ piksel bulunacaktır. 8 bit/piksel derinliği kullanıldığından her piksel $8\text{bit} = 1\text{ bayt}$ ile ifade edilecektir. Sonuç olarak bu imge için $40000\text{ bayt} = 39\text{ KB}$ bellek kullanılmaktadır. Renkli imgeler için ise bu sayı 3 ile çarpılmalıdır. Çünkü RGB renk uzaylarının her biri için 40000 bayt kullanılmaktadır.

4.2.1 RAW Tipi İmge Dosyaları

Genellikle sadece piksel ışıklılık değerlerinin bulunduğu dosya tipidir. İmgenin piksel boyutunu gösteren herhangi bir başlık bilgisi içermez (genelde). Dosyadaki imgeyi açmak için piksel boyutunu bilmek gerekir.

Matlab ile raw dosyaları açmak için standart dosya okuma işlemleri kullanılır;

```

clear all; close all; clc;           % değişkenleri temizle, pencereleri kapat, ekranı sil

w=256;                             % imgenin önceden bilinen yatay piksel
sayısı

h=256;

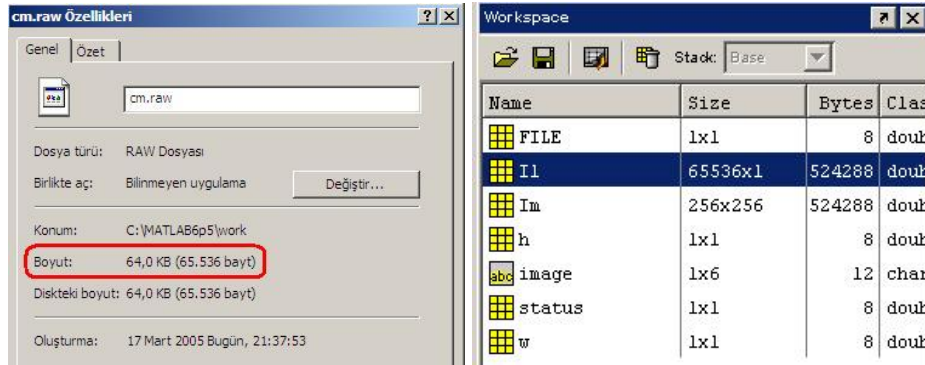
image=['cm.raw'];                   %dosya adı
FILE=fopen(image,'r');
I1=fread(FILE);                    %dosya I1 değişkenine okundu
status=fclose(FILE);

Im=reshape(I1,w,h)                 % I1 değişkeni w x h boyutuna getirilip,
devriği

figure;imshow(unit8(Im))% (transpoze) alınıp Tm'e atıldı ve ekranda gösterildi.

```

Dosyada herhangi bir başlık bilgisi bulunmadığı için dosya boyutu $256 \times 256 = 65536$ bayt'tır. Bu bilgi dosya özelliklerine girilerek veya Matlab'da Im değişkeninin boyutu kontrol edilerek doğrulanabilir.



Şekil 4.10 raw dosyalarına boyut bilgisi ve Matlab görünümü

4.2.2 YUV Tipi İmge Dosyaları

Hem ışıklılık (Y), hem de renk bileşenlerinin (U,V) olduğu dosya tipidir. Raw tipinde olduğu gibi genellikle imgenin piksel boyutu dosya içerisinde olmayıp önceden bilinmesi gerekir.

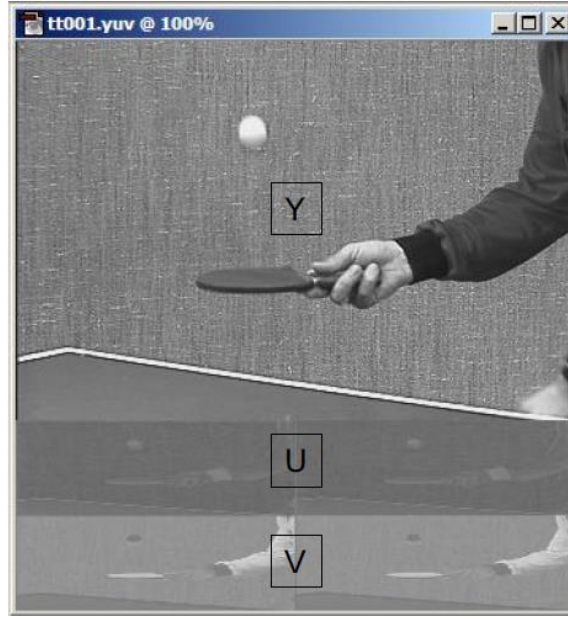
Örneğin SIF formatındaki (352x240 piksel) tt001.yuv dosyasını Photochop'ta açmak için imge piksel boyutları 352x360 olarak belirlemek gerekir. Bunun nedeni ise ışıklılık bileşeninin 352x240 piksel yer kaplaması, renk bileşenlerinin ise bunun yarısı

kadar yani 352x120 piksel yer kaplamaktadır.

Genellikle ışıklık bileşenleri ile çalışacağımız için YUV tipi dosyalardan Y (ışıklık) bileşeni çekilerek farklı bir dosya biçiminde (raw,bmp) saklanır.

Yuv uzantılı imge dosyaları Photoshop programı ile raw uzantılı dosyaların açıldığı şekilde açılır. İmgenin piksel boyutu önceden bilinmelidir.

Aşağıdaki şekilde tt001.yuv dosyasının ışıklık (Y) ve renk bilgisini (U,V) kısımları görülmektedir.



Şekil 4.11 yuv dosyasına ilişkin ışıklık ve renk bilgisi kısımları

YUV tipi dosyalardan ışıklık bileşeninin (Y) çekilerek Matlab ile kaydedilmesi;

```
clear all; close all; clc;           % değişkenleri temizle, pencereleri kapat, ekranı sil
w=352;                             % imgenin önceden bilinen yatay piksel sayısı
h=240;                             % imgenin önceden bilinen dikey piksel sayısı
image=['tt001.yuv'];               % dosya adı
FILE=fopen(image, 'r');
I1=fread(FILE);
status=fclose(FILE);               %dosya I1 değişkenine okundu
I2=T1(1:w*h);                     % I1'den sadece ışıklık bilgisi I2 değişkenine atıldı
```

*Im=reshape(I2,w,h); % I1 değişkeni w x h boyutuna getirilip, devriği
figure;imshow(unit8(Im)) % (transpoze) alınıp Tm'e atıldı ve ekranda
gösterildi.*

imwrite(unit8(Im), 'tt001.bmp'); % Elde edilen imge tt001.bmp olarak kaydedildi.

4.2.3 BMP Tipi İmge Dosyaları

Yaygın olarak kullanılan sıkıştırılmamış bir imge dosya biçimidir. Genellikle her renk bileşeninin 8 bit/piksel bit derinliği ile ifade edildiği 24-bitlik format kullanılır. Gri tonlu imgeler bmp formatında saklandığı zaman 8 bit/piksel bit derinliği kullanılır. Raw tipinden farklı olarak ışıklılık (ve varsa renk) bilgisinin dışında imgenin piksel boyutu, bit/derinliği gibi bilgileri tutan başlık kısmı mevcuttur.

Matlab ile bmp uzantılı dosyaların açılması (gri-tonlu imgeler 2 boyutlu, renkli imgeler 3 boyutlu matris oluşturur);

*clear all; close all; clc; % değişkenleri temizle, pencereleri kapat, ekranı sil
Im=imread('cm.bmp'); % cm.bmp adlı dosyayı oku, ışıklılık (ve varsa renk)
değerlerini Im değişkenine yükle
figure;imshow(Im) % İmgeyi göster*

4.2.4 TIFF, JPEG ve Diğer Tip İmge Dosyaları

JPEG formatı özellikle sıkıştırma verimliliği nedeni ile Internet'te kullanımıyla oldukça yaygınlaşmıştır. Genellikle kayıplı sıkıştırma ile elde edilen jpeg dosyaları kullanılmaktadır.

TIFF dosya biçimi kayıplı ve kayıpsız türde sıkıştırmaya ve sıkıştırma kullanmadan dosya saklamaya izin verir.

Bu dosya tipleri de bmp gibi Matlab'm "imread" komutu ile okunabilir, imread komutunun desteklediği imge dosya tipleri aşağıda verilmektedir (Matlab 6.5 sürümü için).

- JPEG/TIFF, GIF, BMP, PNG, HDF, PCX, XWD, ICO, CUR, RAS, PBM, PGM, PPM.

Standart İmge Piksel Boyutları

İmge işlemede kullanılan bazı standart imge boyutu formadan bulunmaktadır. Bu formatlardan bazıları ve ilgili piksel boyutları aşağıda verilmektedir.

- CIF (Common Input Format): 352x288 piksel
- QCIF (Quadrat CIF) : 176x144 piksel
- SIF (Source Input Format) : 352x240 piksel

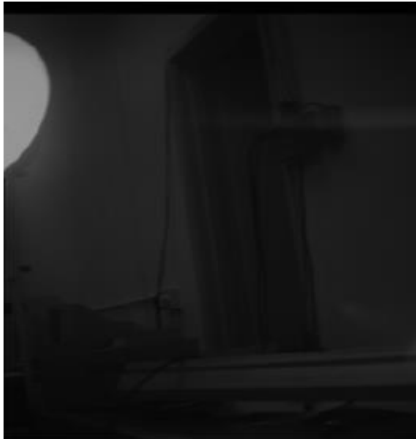
4.3 İmge İşleme Teknikleri

Matlab programı kullanılarak yukarıda belirtilen imge tipleri üzerinde belirli işlemler yapılabilmektedir. Bu işlemler imgelerin hangi alanda ne amaç için kullanılacağına göre uygulanmaktadır.

Boşluk oranı belirlemede kullanılan bazı temel işleme teknikleri ise aşağıda kısaca açıklanmıştır.

4.3.1 İmge Pekiştirme

İmge pekiştirmede amaçlanan çeşitli nedenlerden dolayı kullanışsız olan (yeterli bilgi vermeyen) imgenin işlenerek görsel veya işlevsel anlamda kullanılabilir bir imge elde etmektir.



Pozlandırma süresinden dolayı oluşan karanlık imge



Pekiştirme işleminden sonra elde edilen imge

Şekil 4.12 İmge pekiştirme işleminin etkileri

4.3.2 Parlaklık Ayarı

Parlaklık değişimi imgenin ışıklılık değerlerinin belirli bir satıyla toplanması veya çıkarılması ile gerçekleştirilir. $F(x,y)$ orijinal imgeyi göstermek üzere, parlaklık ayarı yapılmış $g(x,y)$ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$g(x,y) = f(x,y) + b$$

$b > 0$ ise parlaklık arttırılır
 $b < 0$ ise parlaklık azaltılır



şekil 4.13 Parlaklık ayarı etkileri

4.3.3 Karşıtlık Kontrast Ayarı

Parlaklık değişimi imgenin ışıklılık değerlerinin belirli bir sayıyla çarpılması ile gerçekleştirilir.

$$g(x,y) = af(x,y)$$

$a > 0$ ise karşıtlık arttırılır
 $a < 0$ ise karşıtlık azaltılır



şekil 4.14 Karşıtlık ayarı etkileri

4.3.4 İmge Eşikleme (Thresholding)

İmge ışıklılık değerlerinin belirli bir değerden büyük / küçük olmasına göre ikili (binary) bir imge oluşturulur. Bu ikili imgedeki renkler siyah ve beyazdır.



Şekil 4.15 Thresholding işlemi etkileri

4.3.5 İmge Olumsuzlama (Negation)

İmge ışıklılık değerlerinin doğrusal bir biçimde ters çevrilmesi ile oluşturulur.



Şekil 4.16 Negation işlemi etkileri

4.3.6 Piksel Komşuluk İlişkileri

Parlaklık, karşıtlık gibi noktasal pekiştirme işlemlerinde ilgili pikselin değeri sadece kendisine bağlı olarak değiştirilmektedir.

Piksel temelli komşuluk işlemlerinde ise ilgili pikselin yeni değeri, komşu piksellerin değerleri de dikkate alınarak hesaplanır. Hangi komşuların nasıl kullanılacağı seçilen piksel komşuluk işleme bağlı olarak belirlenir.

İmge üzerinde yapılacak uzamsal işlemlerde genellikle komşuluk ilişkileri dikkate alınır. Bunun nedeni ise tek başına fazla bir anlam ifade etmeyen bir pikselin, komşuları ile birlikte daha fazla bilgi içermesidir (örneğin; kenar bilgisi gibi).

Piksel komşuluk işlemlerinin hesapsal yükü, noktasal pekiştirme işlemlerinde daha fazladır.

4.3.7 Konvolüsyon

Konvolüsyonda bir pikselin değeri çevresindeki piksellerin ağırlıklı ortalaması ile bulunmaktadır. Komşuların gri seviyeleri konvolüsyon kemeli olarak adlandırılan bir matrisin katsayılarına göre ağırlıklandırılır.

Konvolüsyon işlemi aşağıda şekilde ifade edilmektedir.

$$g(x, y) = \sum_{j=-n}^n \sum_{i=-m}^m k(i, j) f(x-i, y-j) = k * f$$

k : konvolüsyon kerneli

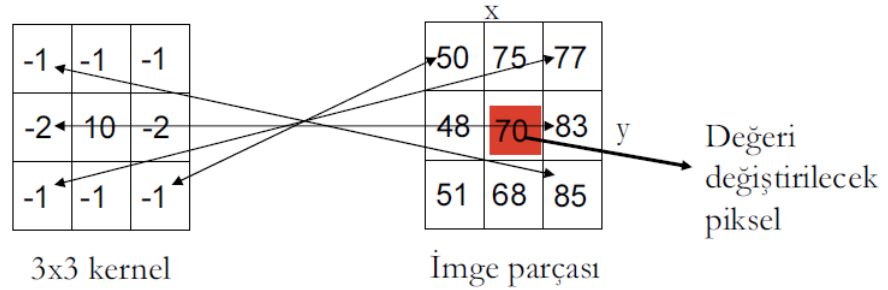
f : islenecek imge

w, h : imge piksel boyutu (tek sayı)

$$m = \frac{(w-1)}{2}$$

$$n = \frac{(h-1)}{2}$$

Konvolüsyonda kernel uygulamaya göre 3x3, 4x4 veya 5x5 gibi boyutlarda seçilebilir.

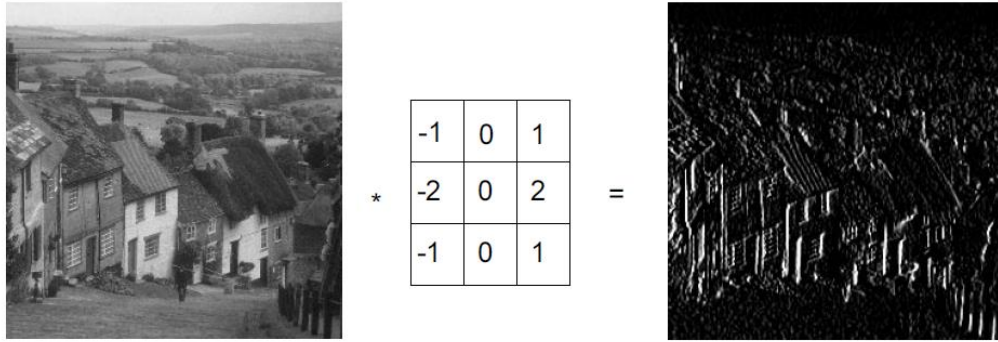


$$g(x,y) = k(-1,-1)f(x+1,y+1) + k(0,-1)f(x,y+1) + k(1,-1)f(x-1,y+1) + k(-1,0)f(x+1,y) \\ + k(0,0)f(x,y) + k(1,0)f(x-1,y) + k(-1,1)f(x+1,y-1) + k(0,1)f(x,y-1) \\ + k(1,1)f(x-1,y-1)$$

$$g(x,y) = (-1 \times 85) + (-1 \times 68) + (-1 \times 51) + (-2 \times 83) + (10 \times 70) + (-2 \times 48) + (-1 \times 77) \\ + (-1 \times 75) + (-1 \times 50) = 32$$

Şekil 4.17 Konvolüsyon hesabı

Konvolüsyon Örneği;



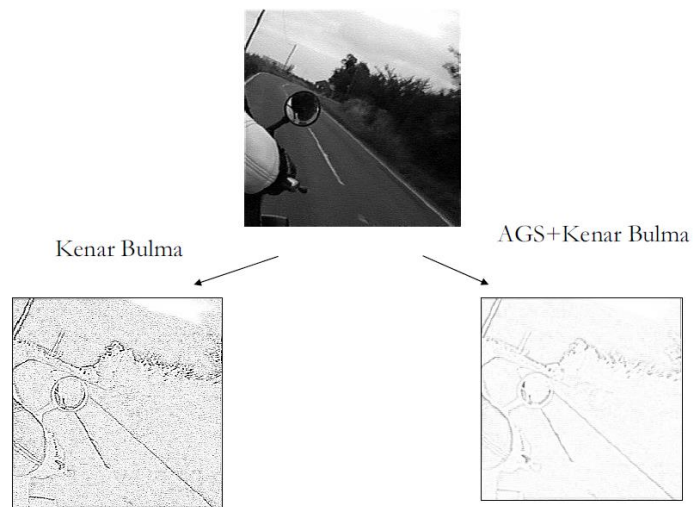
Şekil 4.18 Konvolüsyon uygulanması örneği

4.3.8 Kenar Bulma

Kenar, gri seviyesi veya renklerde meydana gelen ani değişimler olarak değerlendirilir. Kenar bulma işlemi imge işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılır.

Kenar bulma işlemi 3 aşamada incelenebilir;

1. Gürültü Azaltma : Anlamli kenarları etkilemeden mümkün olduğu kadar gürültünün bastırılması
2. Kenar Pekiştirme: Kenarlarda daha yüksek tepki veren bir filtrenin kullanılması
3. Kenar Tespiti : Filtre çıktılarından hangilerinin anlamlı kenar hangilerinin gürültü olduğuna karar verilmesi.



Şekil 4.19 Kenar bulma işlemi uygulaması

Kenar bulma işlemleri konvolüsyon işlemlerinin yukarıda anlatılan kerneller kullanarak yapılabileceği gibi Matlab’da bulunan *edge* komutu kullanarak da yapılabilir.

5. MATLAB GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE BOŞLUK ORANI TESPİTİ

Yukarıda da kısaca temel bilgileri verilen görüntü işleme yöntemleri kullanılarak deneyler sonucu elde edilen sıvı-gaz akışkan görüntülerinin Matlab ile işlenmesi düşünülmüştür. Bu işlem için önce Matlab 'da bir kod algoritması oluşturulması gerekmektedir. Algoritmada hedeflenen amaç; şartları daha önce belirlenmiş olan her deneyden slow motion kamera ile elde edilen 100 adet görüntünün ardışık olarak işlenmesidir.

Görüntü işlemede ise ulaşılmak istenen nokta şu şekildedir; Akım tiplerine göre sıvı ve gaz fazın birlikte değişik formlarda aktığını görmüştük. Bu akışlar sırasında elde edilen görüntülerde borunun alt ve üst cidarında görünen sıvı film tabakasının geometrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra sınırları belirlenen sıvı bölgenin boyutlarını bildiğimiz cam tüp içerisinde kapladığı hacim ve dolayısı ile geriye kalan gaz kısmın kapladığı hacim hesaplanacaktır. Bu hacim değerleri kullanılarak boşluk oranı değerine ulaşılabilecektir. Tabi ki her görüntüde bu değerler farklılık göstereceği için işlenen 100 adet görüntüden ortalama bir alan/hacim değeri elde edilecektir.

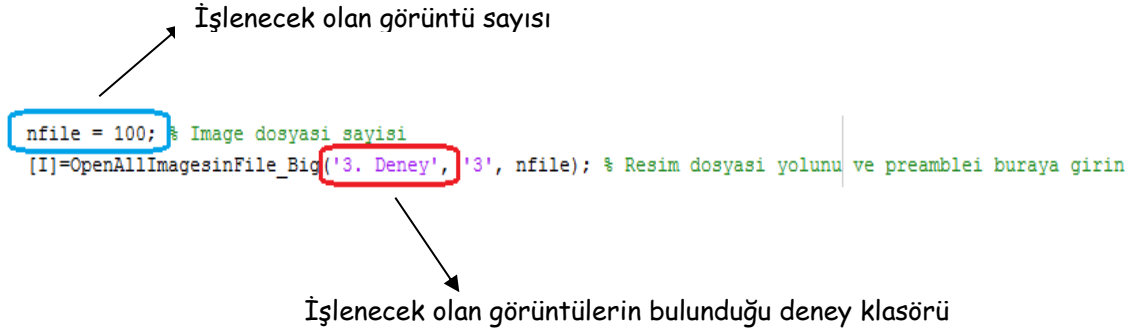
5.1 Matlab'da Kullanılacak Olan Algoritmanın Oluşturulması

Deneyler sırasında elde edilen görüntülerde sıvı filmin dalgalı ve karmaşık hareketi göz ile net bir biçimde görülebilmesine karşın görüntülerin işlenmesinde piksellerin renk özelliklerinin (morfolojik özelliklerinin) benzer değerlerde olması, her deneyde cidarların, sıvı filmin, gaz bölgesinin belirlenmesinin farklılık göstermesi algoritmanın oluşturulmasında başlıca problemler olmuştur. Bu sebeple önce görüntülerin daha

önce de bahsedilen bazı işleme teknikleri ile daha net birer hal alması sağlanmış ve amaca ulaştırılmaya çalışılmıştır.

Programın çalışma şekli özet olarak şu şekildedir;

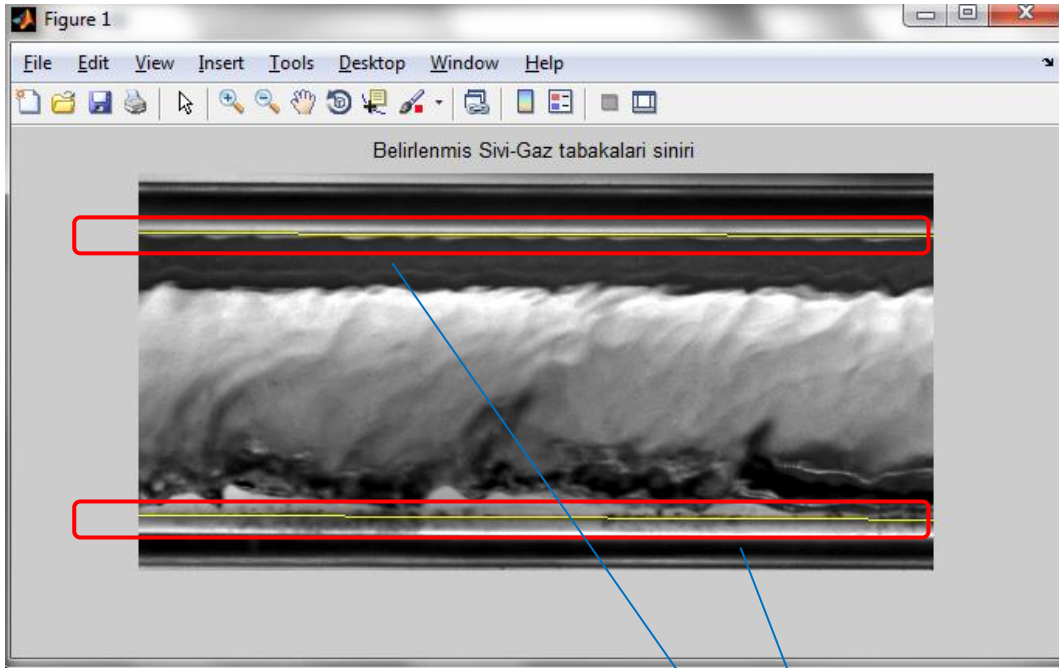
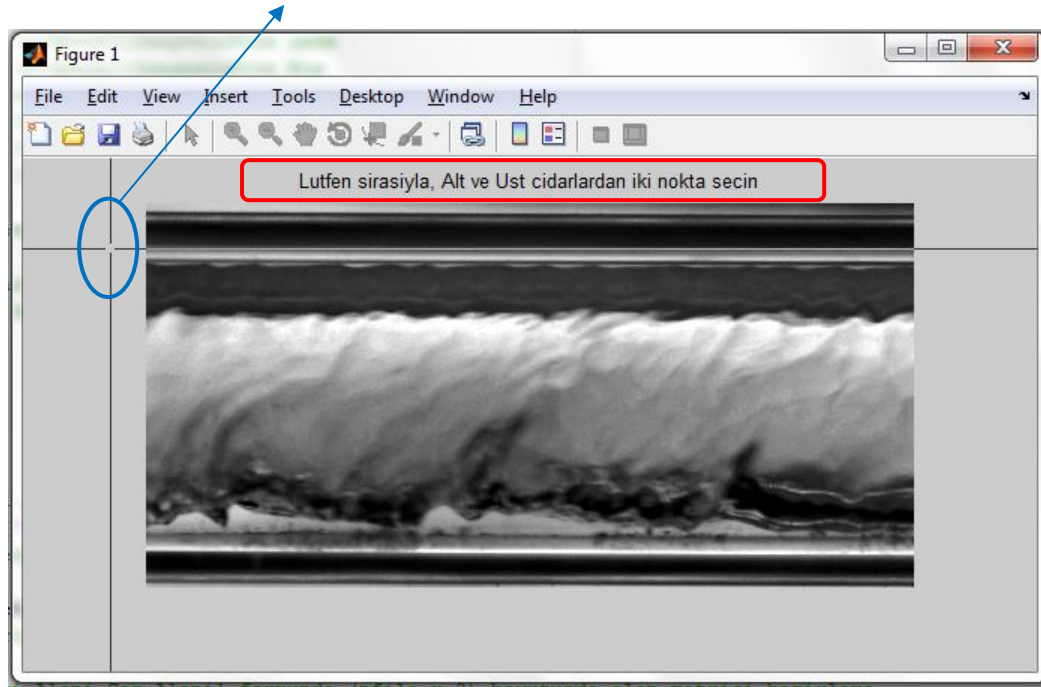
- İşlenecek olan görüntülerin hangi deney klasöründe olduğu Matlab 'de belirtilir.
- Belirtilen klasör içinde yer alan görüntü sayısı (işlenecek olan görüntü sayısı) değeri programa girilir.



Şekil 5.1 Görüntü dosyası belirtme işlemi

- Program belirtilen klasördeki ilk görüntüyü kullanıcıya göstererek kullanıcıdan sırası ile önce üst boru cidarından 2 nokta, daha sonra alt boru cidarından 2 nokta seçmesini ister. Bu işlemde amaç deneyler sırasında oluşmuş olabilecek olan kamera ile boru arasındaki uzaklığın, görme açısının... vb etkilerin oluşturacağı hatayı %0 a en yakın duruma indirmektedir. Ayrıca bazı deneylerde elde edilen karmaşık görüntü olumsuzluklarını da azaltacaktır.

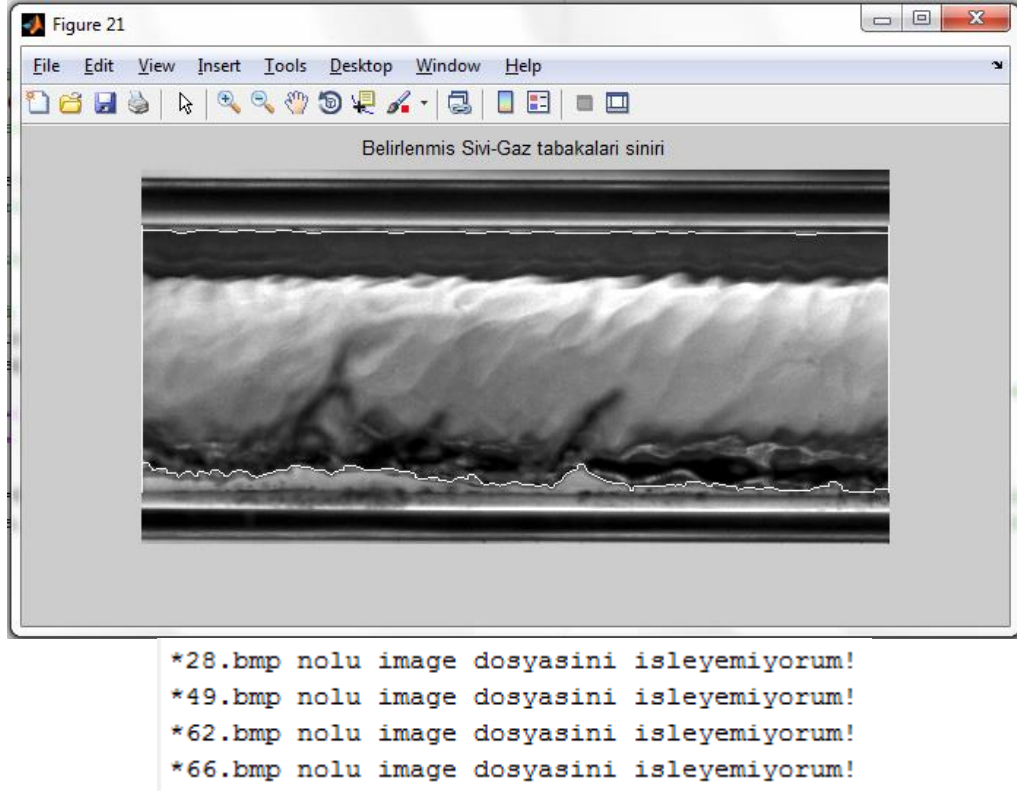
Cidarlar üzerinde nokta belirlemek için kullanılacak olan imleç



Kullanıcının belirttiği noktalara göre program tarafından belirlenen boru cidarları

Şekil 5.2 Alt ve üst cidarların belirlenmesi işlemi

- Cidarlar kullanıcı tarafından belirlendikten sonra program klasör içinde yer alan tüm görüntüleri sırası ile işleyerek görüntülerde sıvı filmi beyaz bir çizgi olarak belirler. Bu aşamada sıvı filmin cidar üzerinde belirli olmayacak kadar az ya da yok olduğu durumları görüntünün adı ile birlikte işlenemediği kullanıcıya belirtilir.



Şekil 5.3 İşlenen görüntüler ve görüntü işleme hatalarının belirtilmesi

- Klasörde işlenmesi istenen görüntülerden başarı ile işlenebilenler üzerinde sıvı ve gaz bölgenin piksel olarak alan tespiti yapılarak belirlenir ve toplam sıvı-gaz alan değerleri kullanıcıya sunulur. Bu alan değerleri kullanıcı tarafından boşluk oranı hesabında hacim oranını belirlemek için kullanılacak ana veridir.

gazArea	88360
i	100
mArea	<100x2 double>
nfile	100
siviArea	2353

Şekil 5.4 Sıvı – gaz bölge alanları gösterimi

5.2 Fonksiyon Ağacı ve Kullanılan Fonksiyonlar

Yukarıda özet bir şekilde çalışma mantığı ve işleyişi anlatılan Matlab yazılımında kullanılan fonksiyon ağacının belirtilmesi ve bu ağaçtaki fonksiyonların detaylı olarak açıklanmasında fayda vardır.

5.2.1 Fonksiyon Ağacı

mainv12

```
--> (1)OpenAllImagesinFile yada  
      (2)OpenAllImagesinFile_Big  
--> AskPipeBoundaries  
--> CropImagefromBoundaries  
--> FindSeperationBand  
--> EvaluateAreas
```

Fonksiyon ağacında da görüldüğü gibi işlem sırası önce dosyaların belirtilmesi, sonrasında görüntü üzerinde boru cidarlarının belirlenmesi, görüntü üzerinde cidarlar dışında kalanın atılması, sıvı-buhar filminin belirlenmesi ve sıvı – gaz bölge alanlarının hesaplanması şeklindedir.

Daha önce de belirtildiği gibi görüntüler deneyler sonrasında işlenmeden önce bazı değişimlere uğratarak daha net bir görüntüye dönüştürülmektedir. Öncelikle bu işlemlerin neler olduğundan kısaca bahsetmek gerekir.

- Threshold işlemi; Deneyler sırasında elde edilen resimlerin renkli (RGB) formdan siyah beyaz (bw) forma çevrilmesi gerekmektedir. Bu dönüştürme işlemi için bir threshold değeri belirlenmelidir. Yazılımda kullanılan threshold değeri şu şekildedir;

❖ $bw = im2bw(Is, 0.27)$

Buradaki 0.27 threshold değeri olarak belirlenmiş olup bu değer deneyler sonunda elde edilen görüntüler için optimum değer olarak belirlenmiştir.

Aslında bu değer 0,27x255 anlamına gelmektedir. 0,27 üzeri değerler beyaz (1), altı

değerler ise siyah (0) olarak tanımlanmaktadır.

- Gürültü giderme; Bu işlem görüntüler üzerinde gürültü giderme işleme olarak tanımlanmakta olup temel olarak kodu şu şekildedir;

❖ $I_{fl} = imfil(bw, 'holes')$

- Görüntüler üzerinde gürültü giderme ve siyah beyaza çevirme işlemi yapıldıktan sonra çoklu konvolüsyonlar oluşturulmaktadır. Bu işlem ile ilgili detaylı açıklama 'FindSeperationBand Fonksiyonu' içerisinde yapılacaktır.
- Gaz bölgenin içinde bulunduğu iki koyu alan bandını bulmak yolu ile sınırlar tespit edilir. Hata analizi için altta ve üstte bulunan iki sıvı alan-component olması gerekirken, $2 < n$ component olduğunda, n ve $n-1$. Componentlerin merkezlerinden 1 piksel kalınlığında uzantılar ile componentler connected hale getirilir. Component sayısı 2ye düşünceye kadar bu algoritma döngü içinde çalışır, ancak 10. denemede yapıldığında algoritma durur ve hata çıktısı üretir.
- Sınırları belirlenen resimler inverse konvolüsyonlar ile component olarak indekslenir halde iken alanları ölçülür ve mArea matrisine yazılır. Ölçümü yapılmamış resim için bu alanlar [0 0] kalacaktır.

5.2.2 OpenAllImagesFile Fonksiyonu

Bu fonksiyon tek bir görüntünün işlenmesinin istendiği durumlarda kullanımı sağlamak için hazırlanmış bir fonksiyondur. Amaç işlenecek olan görüntü adresinin programa tanıtılmasıdır.

Deneyler sırasında elde edilen görüntüler renkli görüntüler (RGB) olup işleme yapılması için görüntüler siyah-beyaz forma (bw) getirilmektedir.

```
function [I]=OpenAllImagesinFile(path, string, nfile)

for i=1:nfile
    i_str=num2str(i+44);
    file_name=strcat([path, '/deneme ', string, '0', i_str, '.bmp']);
    RGB = imread(file_name);
    I{i} = imadjust(rgb2gray(RGB));
end
```

5.2.3 OpenAllImagesFile_Big Fonksiyonu

Bu fonksiyon her deney için elde edilen 100 veya daha farklı sayıdaki birden fazla görüntünün aynı işlem içinde değerlendirmeye alınmasını sağlamak amacı ile hazırlanmış bir fonksiyondur. Amaç beraber olarak işlenecek olan görüntülerin adresinin programa tanıtılmasıdır.

```
function [I]=OpenAllImagesinFile_Big(path, string, nfile)
for i=1:nfile
if i<10
    i_str=num2str(i);
    file_name=strcat([path, '/deneme ',string,'00',i_str,'.bmp']);
    RGB = imread(file_name);
    I{i} = imadjust(rgb2gray(RGB));
elseif i<100
    i_str=num2str(i);
    file_name=strcat([path, '/deneme ',string,'0',i_str,'.bmp']);
    RGB = imread(file_name);
    I{i} = imadjust(rgb2gray(RGB));
else
    i_str=num2str(i);
    file_name=strcat([path, '/deneme ',string,i_str,'.bmp']);
    RGB = imread(file_name);
    I{i} = imadjust(rgb2gray(RGB));
end
end
```

5.2.4 AskPipeBoundariesFonksiyonu

Bu fonksiyon kullanıcıdan sırası ile önce üst cidardan daha sonra alt cidardan 2 şer nokta belirlemesinin istenmesini sağlamaktadır. Temel mantığı ile girilen 2 nokta yardımı ile program cidarı bir doğru olarak çizer ve arada kalan alanda işlem yapar.

Fonksiyonun detayları aşağıdaki gibidir;

```
function [AltCidar, UstCidar]=AskPipeBoundaries(I2)
%% Cidarların cikarilmasi ve on proses
figure, imshow(I2), title('Lutfen sirasiyla, Alt ve Ust cidarlardan iki nokta secin');
display('Lutfen Alt ve Ust cidarların noktalarını secin')
```

```

[x, y]= ginput(4); % Kullanıcıdan 4 adet nokta bekler
[m,n]=size(I2);
%% Ust Cidar icin
% Iki noktadan dogru gecirir ve butun noktaları cikarır
alfa=atan2( (y(2,1)-y(1,1)), (x(2,1)-x(1,1)));
y0=y(1,1)-x(1,1)*tan(alfa);
UstCidar=zeros(n,2);
for i=1:n
    UstCidar(i,:)= [i round( y0 + i*tan(alfa) )];
    hold on
    plot(UstCidar(i,1), UstCidar(i,2), '-y','LineWidth', 1)
end
%% Alt Cidar icin
% Iki noktadan dogru gecirir ve butun noktaları cikarır
alfa=atan2( (y(4,1)-y(3,1)), (x(4,1)-x(3,1)));
y0=y(3,1)-x(3,1)*tan(alfa);
AltCidar=zeros(n,2);
for i=1:n
    AltCidar(i,:)= [i round( y0 + i*tan(alfa) )];
    hold on
    plot(AltCidar(i,1), AltCidar(i,2), '-y','LineWidth', 1)
end

```

5.2.5 CropImagefromBoundaries Fonksiyonu

Bu fonksiyon kullanıcı yardımı ile belirlenen cidarlar dışında kalan bölgenin yani üst cidarın üzerinde ve alt cidarın altında kalan bölgenin temizlenerek (atılarak) veri karmaşasının oluşmasını ve de alt ve üst cidarlar arasından 2 piksel kalınlığında çizgiler çekerek işleme yapacağı görüntüyü connected (bir çerçeve içerisinde sınırları ile belirlenmiş) hale getirmek için kullanılmaktadır.

Fonksiyonun detayları aşağıdaki gibidir.

```

function [I3]=CropImagefromBoundaries(AltCidar, UstCidar, I2)
I3=I2;
[m,n]=size(I2);

for i=1:n % Cidarların altındaki ve üstündekileri temizler
    I3(1:UstCidar(i,2)+2,i)= 255;

```

```

I3(AltCidar(i,2)-2:m,i)= 255;
end
% Connected hale getirmek için alt ve üst cidarlar arasına,
sinirlardan 2 piksel kalınlığında çizgiler çeker
I3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),1)=0;
I3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),n)=0;

```

5.2.6 FindSeperationBand Fonksiyonu

Bu fonksiyonda sıvı film bölgesinin alt ve üst cidarlarda oluşum sınırları belirlenmektedir. Fonksiyon içerisinde önce yukarıda bahsettiğimiz optimum threshold değeri belirleme, gürültü giderme işlemleri yapılır. Sonrasında cidarların belirlenmesi için connected component analizi yapılarak component sayısının 2 ‘ye düşürülmesi sağlanır. Daha sonrasında ise sıvı film sınırları belirlenir ve kullanıcıya sunulur.

```

function [If4,errflag]=FindSeperationBand(I3, I, AltCidar, UstCidar)
%% Baslangic resim isleme rutinleri
threshold = graythresh(I3);
bw = im2bw(I3,0.27); % Optimum belirlenmis treshhold degeri
If1 = imfill(bw,'holes');
nhood=true(4);
If3 = imclose(~If1,nhood);
It3=If3;
%% Hata tespiti
[m,n]=size(If3); % Sinirlardan çizgileri gecici olarak yok eder
It3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),1)=0;
It3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),n)=0;
It3 = imclearborder(It3, 4); % Resim sinirlarındaki gurultuleri siler
cc = bwconncomp(It3); % Connected component analizi
S = regionprops(cc,'Area','Centroid');
NumComp=cc.NumObjects; % Component sayisi
sayac=0;
errflag=0;
while NumComp>2 % Component sayisi 2den cok ise, n ve n-1.
componentleri connected yapar

    hold on
    alfa=atan2( (S(NumComp).Centroid(1,2)-S(NumComp-
1).Centroid(1,2)), (S(NumComp).Centroid(1,1)-S(NumComp-
1).Centroid(1,1)));

```

```

        r=sqrt( (S(NumComp).Centroid(1,2)-S(NumComp-
1).Centroid(1,2))^2+(S(NumComp).Centroid(1,1)-S(NumComp-
1).Centroid(1,1))^2);

for i=1:r
    xCizgi= round( sin(alfa)*i+S(NumComp-1).Centroid(1,2));
    yCizgi= round(S(NumComp-1).Centroid(1,1)+i);
    if xCizgi<=n && yCizgi<=m
        It3(xCizgi, yCizgi)=1; % Connected etmek icin çizgi ceker
    end
end

cc = bwconncomp(It3);
NumComp=cc.NumObjects;
sayac=sayac+1;
if sayac>10 % Deneme sayisini kontrol eder
    errflag=1; % 10dan fazla denemede hata ciktisi verir
break
end
end

labeled = labelmatrix(cc);
RGB_label = label2rgb(labeled, @copper, 'c', 'shuffle');
% Componentleri ayirir
if errflag==0
    It3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),1)=1;
    It3( UstCidar(1,2):AltCidar(1,2),n)=1;
    If4=imfill(It3,'holes');
    BWoutline = bwperim(If4); % Sivi ve Gaz arasindaki siniri cizer
    Segout = I;
    Segout(BWoutline) = 255;
    figure, imshow(Segout), title('Belirlenmis Sivi-Gaz tabakalari
siniri'); % sivi-Gaz sinir çizgisini asil resim uzerine isler
else
    If4=[];
End

```

5.2.7 EvaluateAreas Fonksiyonu

Bu fonksiyon buraya kadar yapılan tüm işlemlerin boşluk oranı tespiti işleminde kullanılmasını sağlamak amacı ile sayısal veri üreten fonksiyondur. Bu sayısal veri

sıvı ve gaz bölgenin alan değerleridir. Program kendisine sunulan tüm görüntülerdeki sıvı ve gaz bölgelerin alanlarını piksel olarak toplayarak kullanıcıya matris şeklinde sunar. Kullanıcı bu değerleri kullanarak o deney şartlarında ortalama boşluk oranı değerine ulaşacaktır.

Fonksiyon detayları aşağıdaki gibidir;

```
function [siviArea, gazArea]=EvaluateAreas(If4, AltCidar, UstCidar)
If5=If4;
[m,n]=size(If5);
for i=1:n %Cidarların altındaki ve üstündekileri temizler
    If5(1:UstCidar(i,2)+2,i)= 1;
    If5(AltCidar(i,2)-2:m,i)= 1;
end
cc = bwconncomp(~If5); % Connected component analizi ile bütün sıvı
bolgeleri bulur
S = regionprops(cc, 'Area', 'Centroid'); % Alan ölçümü yapar

siviArea=sum([S.Area]); % Toplam sıvı alanı
If6=If5;
[m,n]=size(If6);
for i=1:n % Cidarların altındaki ve üstündekileri temizler
    If6(1:UstCidar(i,2)+2,i)= 0;
    If6(AltCidar(i,2)-2:m,i)= 0;
end
cc = bwconncomp(If6); % Connected component analizi ile bütün gaz
bolgeleri bulur
S = regionprops(cc, 'Area', 'Centroid');
gazArea=sum([S.Area]); % Toplam gaz alanı
```

5.2.8 Kullanıma Sunulan Ana Fonksiyon

Yukarıda bahsi geçen tüm fonksiyonlar bir yazılım olarak birleştirilir ve kullanıcı için hazır hale getirilir.

```
close all
clear all
clc
nfile = 100; % Image dosyasi sayisi
```

```

[I]=OpenAllImagesinFile_Big('3. Deney', '3', nfile); % Resim dosyasi
yolunu ve preamblei buraya girin

% Verilen dosyadaki butun resim dosyalarini acar ve hazirlar


[AltCidar, UstCidar]=AskPipeBoundaries(I{1}); % Cidarlarin tespiti
icin kullanicidan sirasiyla Ust ve Alt cidarlardan olmak uzere 2 'şer
nokta ister

mArea=zeros(nfile,2); % [Sivi_Alani Gaz_Alani] formunda (nfile x 2)
boyutunda alan matrisi hazirlama


for i=1:nfile % Dosya sayisi kadar

    [I3{i}]=CropImagefromBoundaries(AltCidar, UstCidar, I{i}); %
Cidar sinirlarindan resimleri keser

    [If4{i}, errflag]=FindSeperationBand(I3{i},I{i}, AltCidar,
UstCidar); % Sivi-Gaz sinirlarini belirler

    if errflag==1 % Sivi-Gaz sinirlarinin belirlenememesi durumunda
errflag=1 olur

        file_name=strcat(['*',num2str(i),'.bmp']);

        display([file_name,' nolu image dosyasini isleyemiyorum!']) %
Hangi resmi isleyemedigini yazdirir

    else

        [siviArea, gazArea]=EvaluateAreas(If4{i}, AltCidar,
UstCidar); % Belirlenen sinirlardan Sivi-Gaz alanlarini hesaplar

        mArea(i,:)=[siviArea, gazArea]; % [Sivi_Alani Gaz_Alani]
formunda (nfile x 2) boyutunda alan matrisine veri girisi

    end

end

```

6. DENEY DÜZENEĞİ

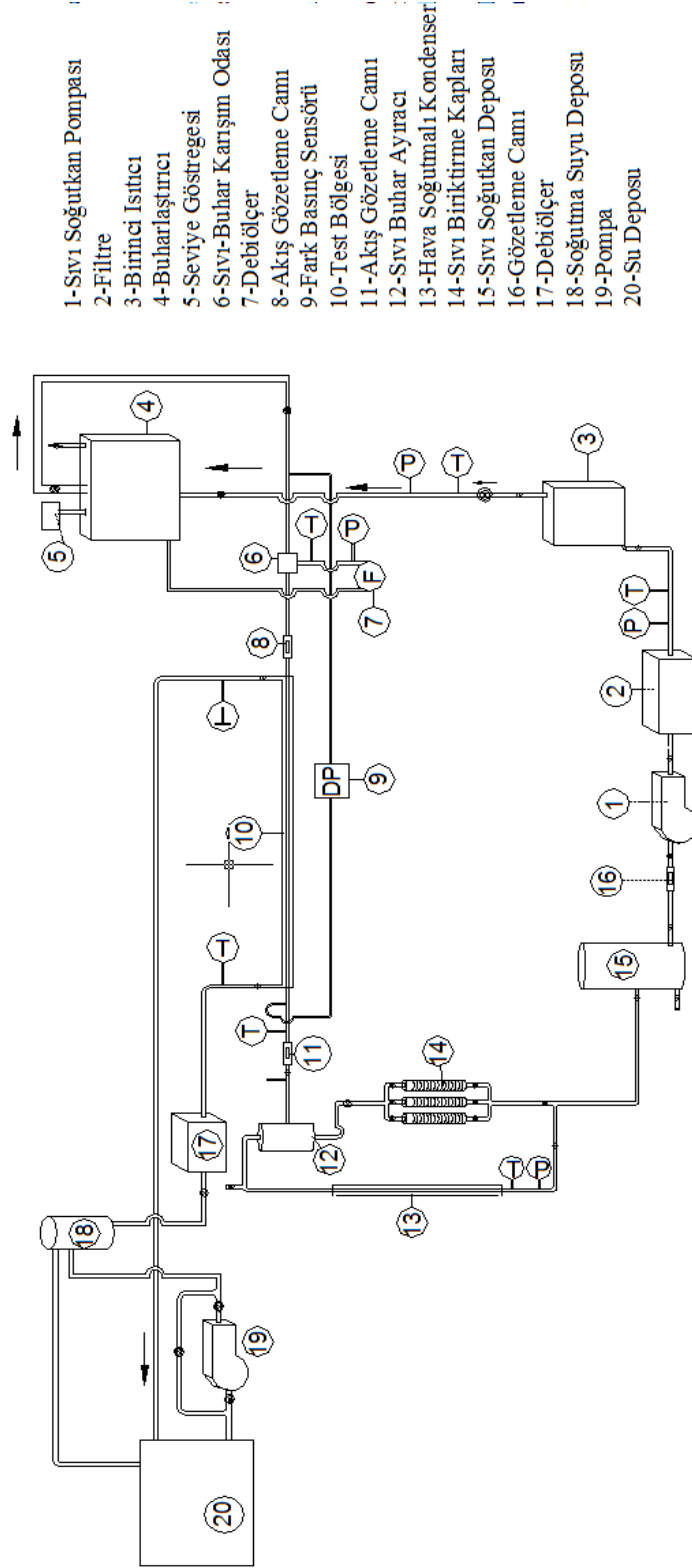
R600a soğutucu akışkanının düz yatay ve pürüzsüz boru içinde yoğuşmasını incelemek için, Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D'na ait Laboratuvarında bir deney tesisatı kurulmuştur.

Tasarımı yapılmış olan bu deney düzeneği ile soğutucu akışkanın buhar kuruluk derecesi 1 ile 0,1 arasında ve kütleli akı 50 - 100 kg/m²s değerleri arasında değiştirilerek, değişik şartlar altında, yoğuşma ısı taşınım katsayısı deneysel olarak incelenmiştir.

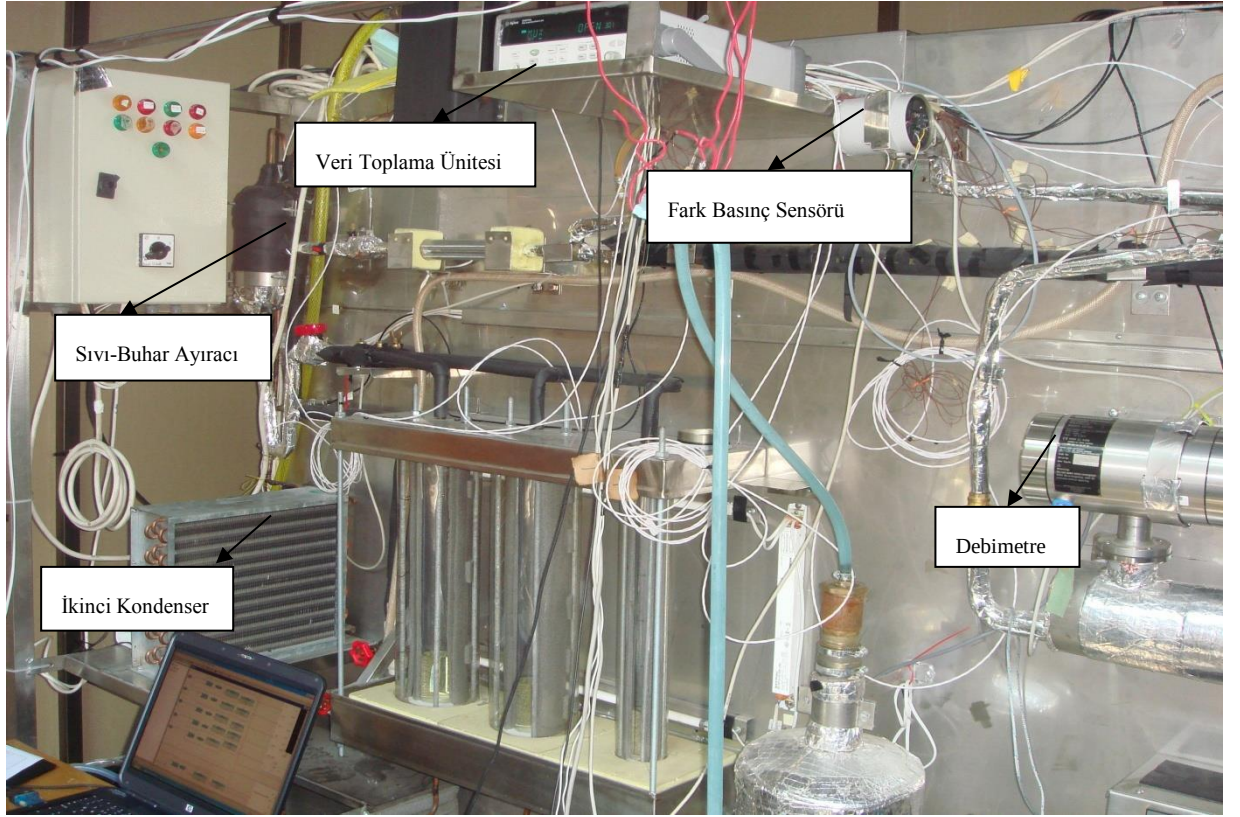
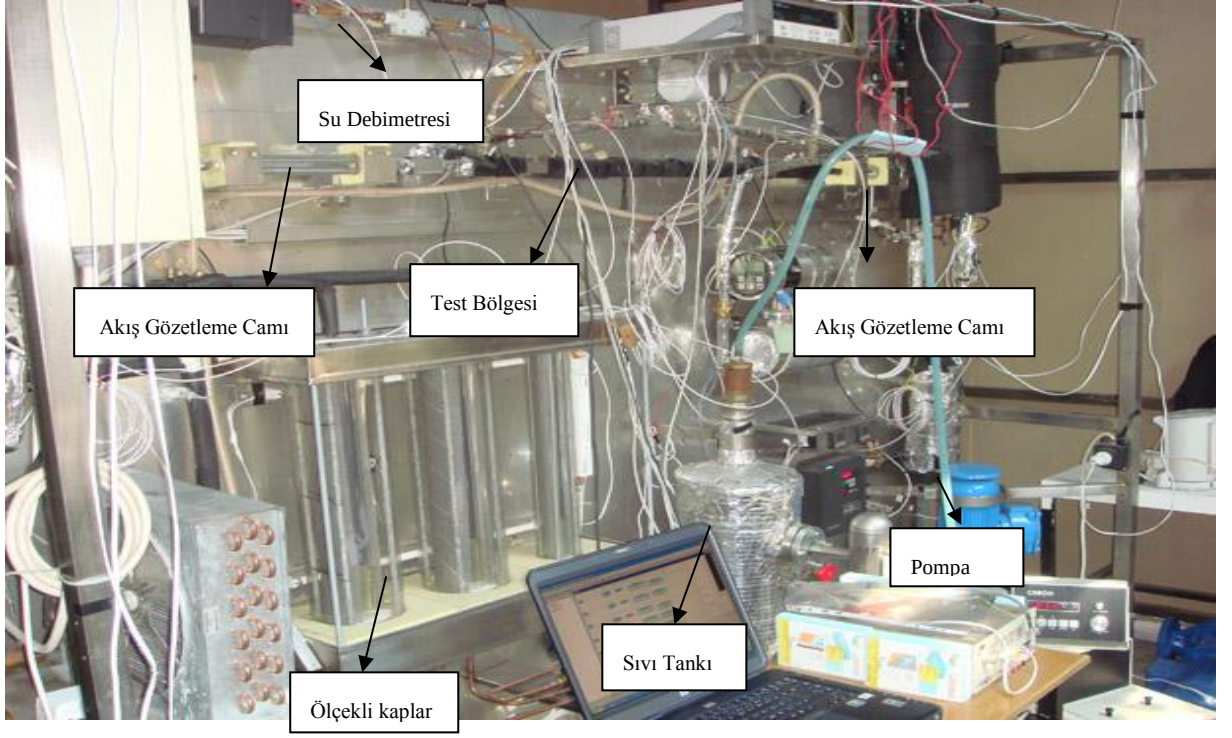
Deney düzeneğinde yanıcı ve patlayıcı bir soğutucu akışkan olan R600a ile çalışma yapılacağından, cihazların standartlara uygun özellikte olmasına dikkat edilmiştir.

Deney tesisatı; Soğutucu akışkan pompası (1), ön ısıtıcı (3), buharlaştırıcı (4), karışım kabı (6), soğutucu akışkan debisi ölçmede kullanılan debiölçer (7), akış gözetleme camı (8, 11), yoğuşma ünitesi ve yoğuşma ünitesini çevreleyen ve şeffaf malzemeden (plaxy-glass) yapılmış olan ısı değiştirici (10), sıvı-buhar ayırıcı (12), test ünitesinden yoğuşmadan çıkan buharın yoğuşmasını sağlayan kondenser (13), yoğuşan sıvının debisinin tesbiti için ölçekli kaplar (14), soğutma suyu debisini ölçmede kullanılan debi ölçer (17), soğutma suyunun test ünitesine pompanın salınımlarından etkilenmeden gidebilmesi için suyun biriktirildiği depo (18), soğutma suyunu test ünitesine basan pompa(19), soğutma suyu deposu (20) olmak üzere yirmi parçadan meydana gelmektedir.

Deney düzeneğinin şematik resmi ve gerçek görüntüleri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 'de belirtilmiştir.



Şekil 6.1 Deney düzeneği şematik resmi



Şekil 6.2 Deney düzeneği gerçek görüntüleri

6.1 Tesisatının Bölümleri

Kurulan deney tesisatı; soğutucu akışkan hattı, soğutma suyu hattı, ölçüm ve veri toplama grubu olarak temelde üç bölümden meydana gelir.

6.1.1 Soğutucu Akışkan Devresi

R600a soğutucu akışkanının düz ve pürüzsüz olan yatay boru içindeki yoğuşmasını incelemek için kurulan deney tesisatında soğutucu akışkan sıvı tankından itibaren aşağıdaki çevrimi izlemektedir.

Devir sayısı frekans konverteri ile değiştirilmek sureti ile debi değeri ayarlanabilen ve R600a soğutucu akışkanının patlayıcılık özelliğinden dolayı ex-proof özelliğe sahip Lewa – Ecodos marka diyaframlı dozaj pompası tarafından emilen sıvı akışkan, pompadan çıktıktan sonra birinci ısıtıcıya girmektedir. Birinci ısıtıcı da istenen sıcaklığa kadar ön ısıtma yapılmaktadır. Elektrikli ısıtıcının giriş ve çıkışına yerleştirilen basınç ve RTD sıcaklık ölçerler sayesinde soğutucu akışkanın ısıtıcıya giriş, çıkış sıcaklık ve basınç değerleri okunabilmektedir. Kullanılan bir DC çıkışlı varyak yardımı ile elektrikli ısıtıcıya verilecek güç kontrol edilebilmektedir. Birinci ısıtıcıdan sonra yerleştirilen bir çek valf ile ikinci ısıtıcıya giden sıvı soğutucu akışkanın akışın durması halinde yerçekimi etkisi ile geriye akışı engellenmiştir.

İkinci ısıtıcıya (buharlaştırıcı) giren soğutucu sıvı akışkana tekrar ısı verilerek istenen sıcaklık ve basınçta soğutucu akışkan yaş buharının elde edilmesi amaçlanmıştır. Elektrikli ısıtıcıya bağlanmış olan iki adet DC çıkışlı varyak yardımı ile verilecek ısı miktarı buharlaştırıcıdaki sıvı seviyesi sabit kalacak şekilde hassas olarak ayarlanabilmekte ve böylece sürekli olarak istenilen buhar debisi elde edilebilmektedir. İkinci ısıtıcı (buharlaştırıcı) kabın üzerine yerleştirilen manyetik seviye göstergesi ile kap içersindeki sıvı yüksekliği izlenebilmektedir. Yoğunluk farkı nedeniyle kabın alt kısmında sıvı, üst kısmında da buhar fazı oluşmaktadır. Verilen ısı ile buhar haline gelen soğutucu akışkan kabın üst kısmından çıkarken kabın orta seviyesinden çıkan sıvı soğutucu akışkan da Coriolis prensibine göre çalışan, Danfoss marka ve Mass 2100-DI 3 mm serisi debimetreye gider. Giriş çıkış çapları 3mm olan bu debimetre 0-250 kg/h aralığında %0,1 hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Akışkan debimetre'den geçtikten sonra test bölgesi ile aynı hatta yerleştirilmiş karışım kabına

gelir. İstenen kuruluk derecesini elde etmek üzere ısıtıcı kabın (buharlaştırıcı) üzerinden çıkan buhar ile debimetreden ayarlanarak gönderilen sıvı karışım odasında buluşur. Karışım odası çıkışına yerleştirilen gözetleme camı sayesinde test bölgesi girişinde soğutucu akışkanın akış modeli izlenebilmektedir. Gözetleme camından çıkan istenen kuruluk derecesindeki soğutucu akışkan test bölgesine girer. Test bölgesi iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır. İçteki bakır borudan soğutucu akışkan geçerken dış tarafından soğutma suyu geçmektedir. Test ünitesinin giriş ve çıkışı arasına, tesisat üzerinde önceden kalibrasyonu yapılmış olan, Smar marka diferansiyel basınç ölçer yerleştirilmiştir. Yoğuşan soğutucu akışkan test bölgesinden çıktıktan sonra yeni bir gözetleme camından daha geçer. Dolayısı ile test bölgesinden çıkan soğutucu akışkanın sahip olduğu kuruluk derecesindeki akış tipi tekrar izlenebilir. Gözetleme camından çıkan sıvı-buhar karışımının sıvısı ile buharını birbirinden ayırmak için tesisata bir ayırıcı yerleştirilmiştir. Bu sayede sıvının kabın alt kısmında buharın ise kabın üst kısmında toplanması sağlanmış oldu. Test bölgesinde yoğuşan ve buharından ayrılan sıvı soğutucu akışkan ayırıştırma kabının alt kısmında, yoğuşan miktarın belirlenmesi için tesisata yerleştirilen ölçekli kaplara gider. Yerleştirilen ölçekli kaplar, iki farklı çapta olduğundan daha hassas ölçüm yapılabilmektedir. Ölçekli kapların giriş ve çıkışında bulunan küresel vanalar yardımı ile ölçekli kaplar doldurulup boşaltılabilmektedir. Ölçekli kaplarda, sıvı miktarı ölçüldükten sonra yoğuşan sıvı tekrar sıvı tankına gitmektedir. Ayırıştırma kabının üst kısmından ikinci kondensere gelen buhar burada yoğuşarak sıvı tankına gider

6.1.2 Deneyisel Ölçümler, Ölçüm Elemanları ve Veri Toplama

Veri toplama işlemi, tesisattaki ölçüm aletlerinden alınan sıcaklık, basınç, debi ölçümleri ile elektriksel ölçüm verilerinin analiz edilmek üzere, elektronik kartlar ve bir yazılım programı ile bilgisayar ortamına aktarılmasını kapsamaktadır. Kurulan deney düzeneğinde veri toplama ünitesi olarak, 20'şer girişe sahip 2 adet elektronik kartın bulunduğu "HP Agilent 34970A" model bir veri toplama ünitesi kullanılmıştır. "HP Agilent 34970A" 'nın fotoğrafı Şekil 6.3 'te görülmektedir.



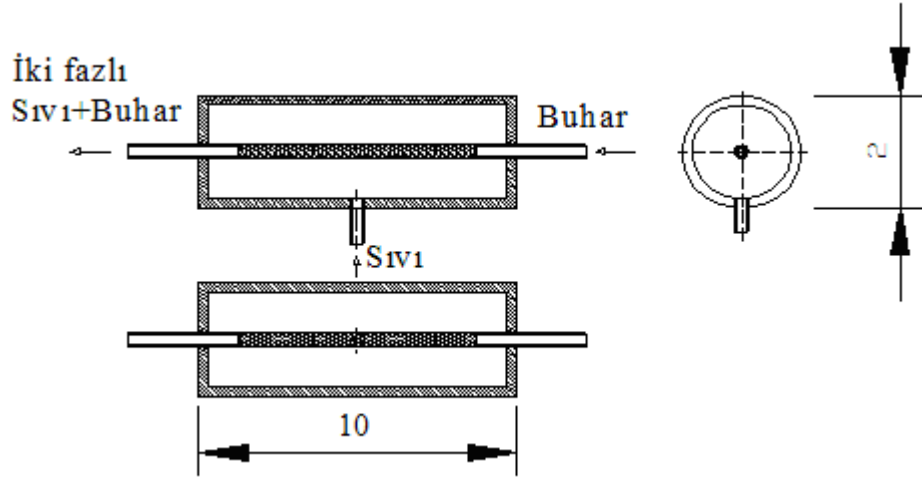
Şekil 6.3 Veri Toplama Ünitesi (Datalogger)

HP 34970A’da toplanan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ise HP VEE tabanlı bir yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Veri toplama ünitesindeki 2 adet elektronik karta sıcaklık ölçümü için 18 adet termokupl, 8 adet RTD (elektriksel direnç termometresi) ve basınç ölçümü için de 5 adet basınç transmitteri bağlanmış bulunmaktadır.

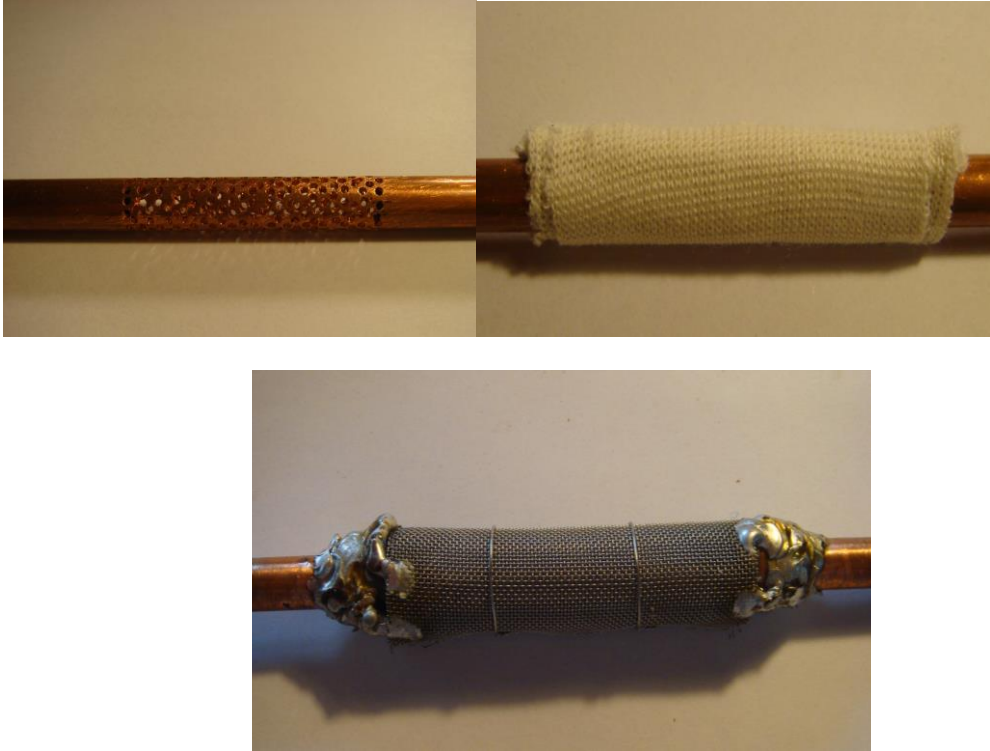
6.2 Deney Düzenekinin Kısımları

6.2.1 Karışım odası (No: 6)

İç içe geçmiş iki bakır borudan oluşan karışım odası dış çapı 2 cm olan 10 cm uzunluğunda yatay silindir bir kaptır. Test borusu çapında olan ve üzerine 150 adet delik açılmış bulunan içteki boru pamuklu kalın bir kumaşla sıkıca sarıldıktan sonra paslanmaz bir tel malzeme ile sarılmış ve uçları lehimlenmiştir. İkinci ısıtıcıdan çıkan buhar içteki borudan geçerken gövde içersinde bulunan sıvı haldeki akışkan deliklerden sızarak bu buharla buluşur ve iki fazlı akışkan oluşturur. Böylece buhar test bölgesine, halka şeklinde sıvı ile çevrelenmiş olarak gönderilir. Dolayısı ile test borusu girişinde bulunan karışım odasında sıvı ve buhar istenilen kuruluk derecesini oluşturacak oranlarda karıştırılır.



Şekil 6.4 Karışım Odasının Şematik Resmi



Şekil 6.5 Karışım Odasına Ait Değişik Fotoğraflar

6.2.2 Akış Gözetleme Camları (No: 8, 11)

Test bölgesine yerleştirilmiş olan gözetleme camları sayesinde test bölgesinin girişinde ve çıkışında soğutucu akışkanın boru içerisindeki yoğunlaşma öncesinde ve sonrasındaki akış şekli izlenebilmektedir. Buralarda kullanılan gözetleme camları, piyasada hazır olan gözetleme camlarının hem küçük hem de akış formunu bozacak

nitelikte olmasından dolayı, özel olarak deney tesisatına uygun bir şekilde dizayn edilip imal edilmiştir. Test bölgesinin girişindeki gözetleme camının boyu, ısı kaybını minimumda tutmak için , test bölgesinin çıkışındakinden daha düşük tutulmuştur. Test bölgesinin girişindeki gözetleme camının uzunluğu 10 cm, çıkıştaki gözetleme camının uzunluğu ise 20 cm 'dir. Isı kaybını daha da azaltmak için ayrıca gözetleme camlarının üstü asetat ile kaplanarak aradaki hareketsiz hava tabakası ile izolasyon gerçekleştirilmiştir.



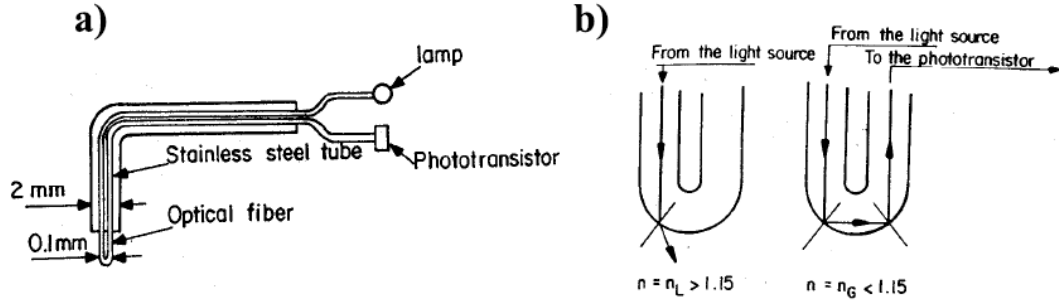
Şekil 6.6 Akış Gözetleme Camının Genel Görüntüsü

6.3 Boşluk Oranı Ölçüm Metodları

Literatürde, boru içinde yoğuşmanın meydana geldiği durumlarda boşluk oranının belirlenmesine yönelik birçok ölçüm metodu mevcuttur. Çalışmalarda birbirlerinden farklı sonuçlar ve yaklaşımlar ortaya koyulmaktadır. Bu farklılık deneysel parametrelerin değerlerindeki çeşitlilik kadar akış görüntülemeye kullanılan ekipman ve kayıt başarısından da kaynaklanmaktadır. Soğutkanların boru içindeki davranışlarını görselleyen çalışmalarda kullanılan bazı donanımlar ve çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

6.3.1 Mono Fiber Optik Prob Tekniği

Optik probun etrafındaki ortamda bulunan yansıtıcı herhangi bir şeye karşı hasasiyeti değişmektedir. Buna göre sıvı-buhar arayüzeyinden geçerek yerel boşluk oranının ve yansıtıcı özelliği olmayan akışkanların ara yüzey geçiş frekans ölçülmesinde kullanılır.



şekil 6.7 a) U Tipi Fiber Optik Sensör b) Fiber Optik Sensörün lm Yapan Kısımı

Küçük optik sensörlerin tasarımı Danel ve Delhaye tarafından 1971 yılında yapılmıştır. U-tipi optik probun tüm konfigürasyonları ve ölçüm yapan kısmı şekil 6.7 ‘de görülmektedir. Probdan alınan sinyaller kabul edilebilir bir değere gelene kadar analiz edilir. Bu sinyali ikili sinyale çevirmektedir.

Fiber optik problemler çift fazlı akışta boşluk oranının dağılımını, çift-fazlı sıvı ayrımını, buhar hızını ölçmek ve deneysel olarak çalışmak için kullanılmaktadır. Spindler ve Hahne [2] boşluk oranının radyal dağılımını ve adyabatik hava/su silindirik boru içindeki çift fazlı akış kabarcıkların frekanslarını ölçmek için fiber optik prob kullanmıştır. Fordham ve diğerleri [3] çift fazlı akışta birbirine karışmayan sıvıların dağılımını yeni dizayn fiber optik sensörlerle geliştirmiştir. Cartellier [4] optik problemlerin karakteristik performanslarını göstermiştir. Cartellier [5] ayrıca hava/su karışımındaki akıştaki gaz fazı karakteristiklerini ölçmüş ve boşluk oranını %10 ‘dan daha az bir değerde elde etmiştir.

6.3.2 Radyasyon Sönümleme Tekniği

Fonon sönümlemesi metodu bir boyutlu ve alansal boşluk oranı ölçümleri içindir. Bu teknik sıklıkla boşluk oranı ölçümü ve film kalınlığı ölçümü için kullanılmaktadır. Ayrıca akış modelleri hakkında bilgi verebilmektedir. Tek renkli koşullandırılmış ışın

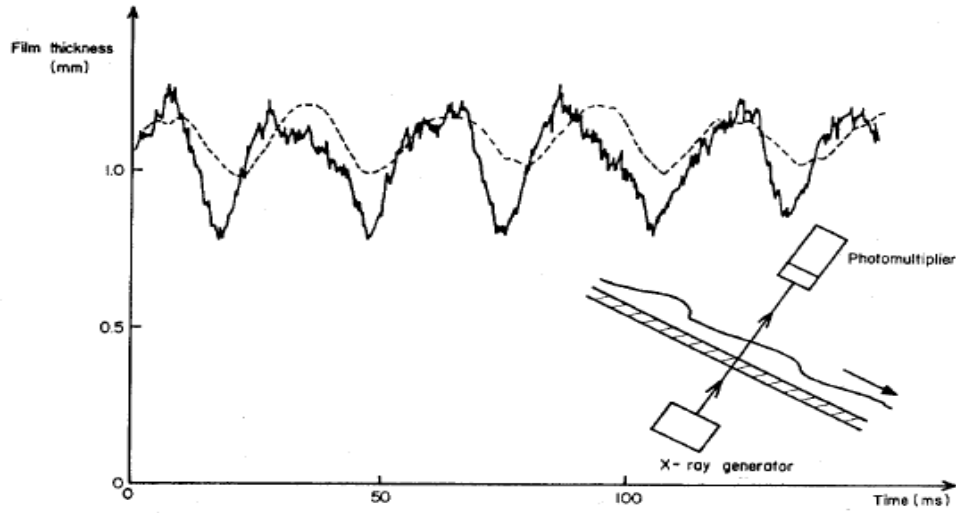
demeti fononların iç şiddetler I_0 , ara madde kalınlığı δ ve yoğunluğu ρ , okunan şiddet I aşağıdaki exponensiyel absorpsiyon yasasında verilmiştir:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{\mu}{\rho} \rho \delta\right) \quad (6.1)$$

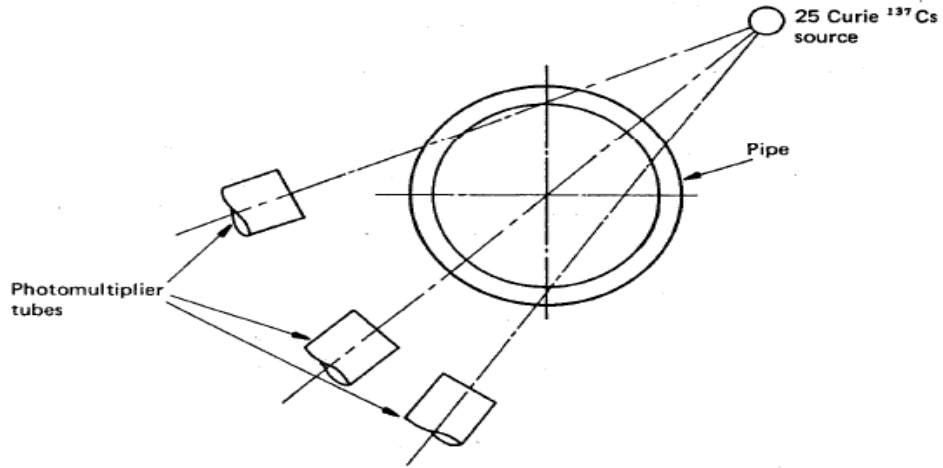
ρ/μ malzemenin özel absorpsiyon katsayısı, I_v ve I_L şiddetleri ölçmek gereklidir. Kanalin gaz ve ya sıvı ile doldurma sırasıyla alakalıdır. Ani boşluk oranı hattında ise aşağıdaki formülasyon elde edilmiştir.

$$\epsilon_{ch} = \frac{\log(I/I_L)}{\log(I_v/I_L)} \quad (6.2)$$

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 'da nötron absorpsiyon tekniği ile sıvı yüksekliği ve kesit boşluk oranının pratik uygulamasını görmekteyiz.

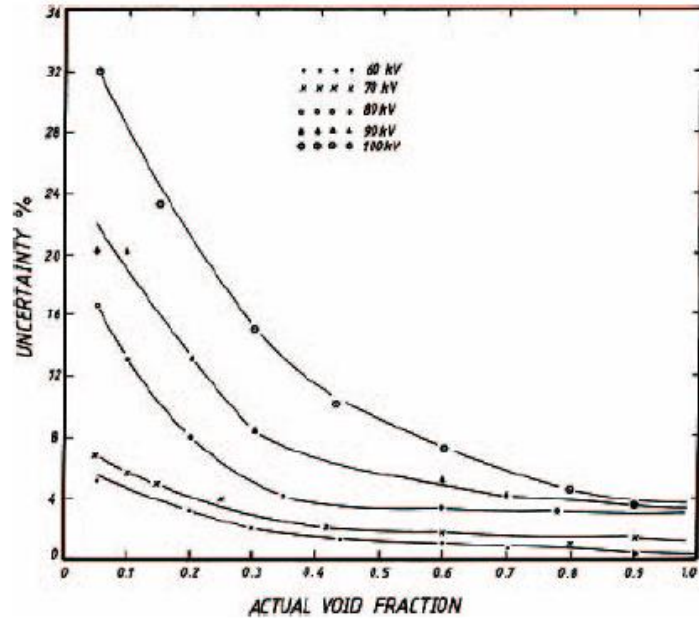


Şekil 6.8 Ani Sıvı Yüksekliğinin X-Ray Absorpsiyonu Tekniğiyle Ölçülmesi



Şekil 6.9 Üç Gama Işın Demetli Yoğunluk Ölçer İle Alansal Boşluk Oranının Ölçülmesi

Radyasyon teknikleri, çift fazlı akış yapılarındaki geçiş detaylarının bilgisini geliştirmek için elverişli seçenektir. Kendoush [6] de su/hava karışımı için yaptığı statik deney, X-ray enerjisinin fonksiyonu olan radyasyon tekniği belirsizlikleri içinde barındırır. Boşluk oranı için değişik X-ray enerjilerin bağlı hataları Şekil 6.10 'da gösterilmiştir.

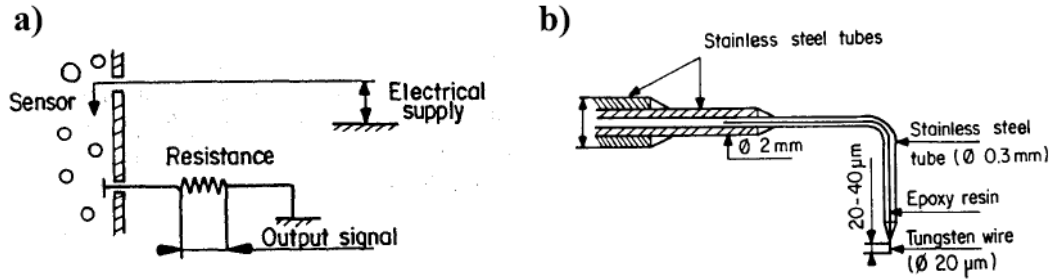


Şekil 6.10 Kendoush [6] 'un Yaptığı Çalışma Boruya Bağlı 4ma Lik Akım Ve Değişik X-Ray Enerjilerine Bağlı Olarak Boşluk Oranındaki Belirsizlikler

Şekil 6.10'da da görüldüğü gibi en iyi sonuç X-ray enerjisi için 60 kV'dır. Bağlı hata, boşluk oranının 0.1 den az olduğu zaman %5 tir. Yüksek boşluk oranlarında bağlı hata %2 civarındadır. Son yıllarda yapılan gerçek zaman nötron radyografisi (RTNR) ve X-Ray bilgisayarlı tomografi (X-CT) gibi radyasyon teknikleri Harvel [7] tarafından iki boyutlu boşluk oranı dağılımını incelemek için kullanıldı.

6.3.3 Elektrik Teknikleri

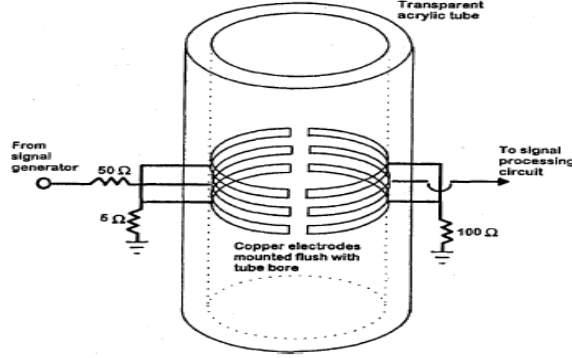
Çift fazlı akışta ne zaman elektrik probu kullanmak gerekirse bir fazın her zaman diğerine göre elektriksel iletimi daha iyi olmalıdır. Sonuçta, iletim çeşitleri yerel boşluk oranını ölçmeye ve kabarcıklardan gelen frekans noktalarını düzenli olmasına izin verir. Şekil 6.11 dirençli problemlerin klasik elektrik diyagramı ve tipik prob geometrisini gösterir. Kesitsel boşluk oranını belirlemek için kablo örülü sensör kullanılmalıdır. Bu metot her 90°'lik çapraz elektrot çiftinin arasındaki boşluğun karıştırılması ile yerel iletimin ölçülmesine dayanır.



Şekil 6.11 a)Dirençli Proben Elektriksel Diyagramı b) Prob Geometrisinin Şekli

Richter [8], dikdörtgensel kesitte boşluk oranını ve yerel ani gaz hızını tel örülü sensör ile ölçmüştür. Bu metodu ayrıca Kepper vd. [9] tarafından kullanılmıştır. Saf madeni teller (0,12 mm çapında) matrisi kullanarak, iç çaplı boruda ızgara boyunu 51.20 mm uzatarak, 242 yerel ölçme noktası sağlanmıştır. Bu metod sayesinde boşluk oranı tam aralığı maksimum hata oranı %0.05 olarak elde etmiştir. Eğer çift faz arasındaki elektriksel özellikler farklı kalıyorsa, çift fazlı karışımın boşluk oranı empedansını (özdirenci) ölçerek belirleyebiliriz. Bu kullanışlı teknik Costigan ve Whalley [10] ve Song [11] tarafından kullanılmıştır. Costigan ve Whalley 0.30-32.00 mm arasında iç çaplı akrilik borudaki hava/su akışta boşluk oranını çok iyi değerlerle yakalamıştır. 0.2 ve 0.6 boşluk oranı ve 0.01-0.05 metre aralıklarında ise ölçülen

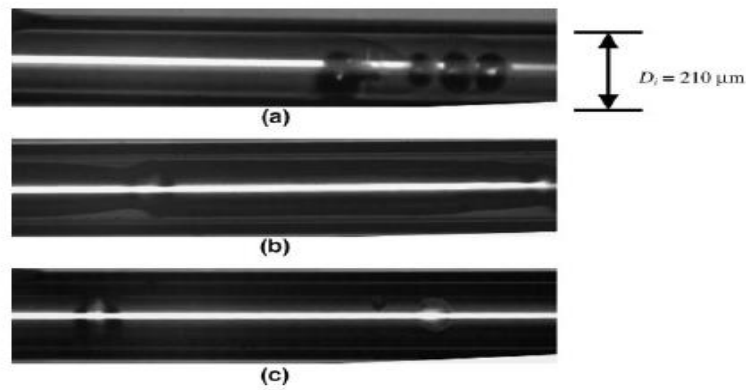
boşluk oranı değerinden yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Boşluk oranının 0.6 ile 0.8 arasında olduğu bölgeler ise en çok hatalı olan bölgelerdir. Hassasiyet 0.1 ‘den fazladır. Şekil 6.12, Costigan ve Whalley’in empedans prob bağlantısını göstermektedir.



Şekil 6.12 Costigan ve Whalley’in [10] Empedans Prob Bağlantısı

6.4 Boşluk oranı belirlenmesine yönelik literatürde yapılan görsel çalışmalar

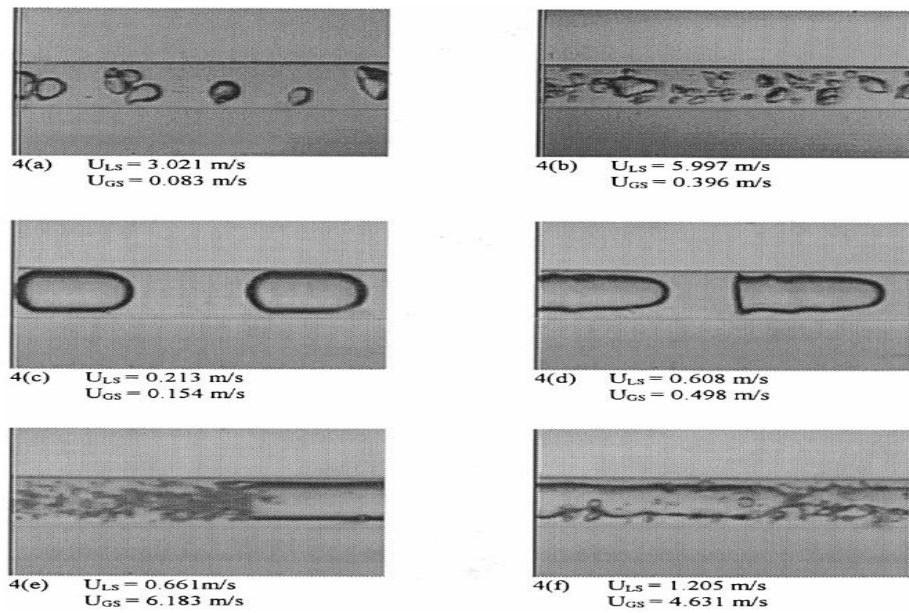
,Tzu-Hsiang Yen [12], 100-800 kg/m²s debi aralığında HCFC123 kullanmışlardır. Akış görselleşmesini, yüksek hızlı CMOS (Vision research, Phantom v7) kamerası, 5x makro lens kullanarak yapmışlardır. Elde edilen görüntüler 700x105 piksel çözünürlük ve 24000 kare/s hızında elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen görüntü Şekil 6.13’te görülmektedir. Görüntüler akış rejiminin netlikle algılanmasını sağlayamamaktadır.



Şekil 6.13 400 kg/m²s kütleli akıda 24000 kare/s kullanılarak alınan görüntü (Vision Research, Phantom V7)

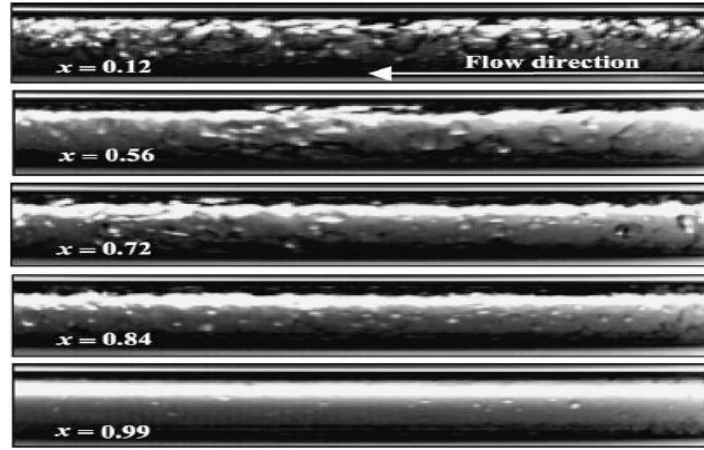
K.A. Triplett [13] mikro kanalda gaz-sıvı akışında oluşan akış rejimlerini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde akışkan olarak hava-su karışımı kullanılmaktadır.

Mikro kanalların dairesel olanlarının iç çapları 1.1 ve 1.45 mm, yarı üçgen kesitli olanların hidrolik çapları 1.09 ve 1.49 mm, çalışma sıcaklığı 25°C'dir. Gaz ve sıvının görünen hızları sırasıyla 0.02-80 m/s ve 0.02-8 m/s'dir. Belirlenen akış rejimleri kabarcıklı, tıkaç ve halka akıştır. Araştırmacı, bu çalışmada özellikle akış rejimleri arasındaki geçiş bölgelerindeki sonuçların, literatürde raporlanmış diğer çalışma sonuçlarıyla uyumunun zayıf olduğunu vurgulamaktadır. Akış görüntülemeye DALSA CA-D1 dijital kamera kullanılmıştır. Bu kamerada maksimum çözünürlük 256x256 ve 203 kare/s, 15 MHz kayıtlıdır. Elde edilen görüntüler Şekil 6.14 'de görülmektedir.



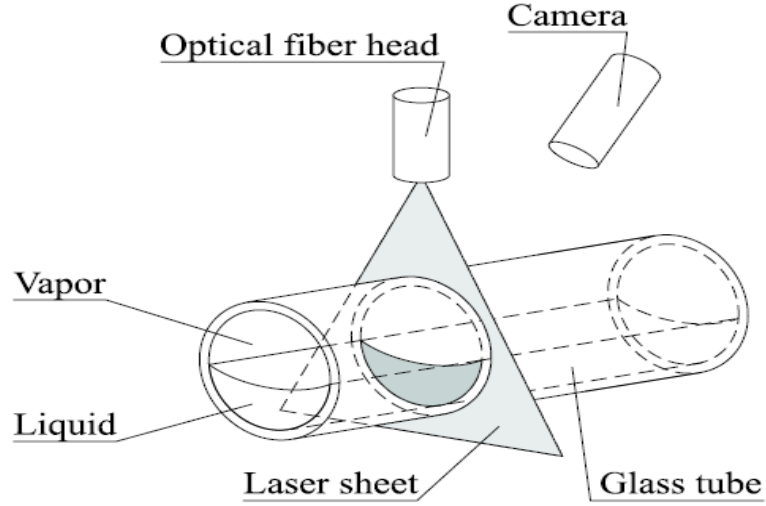
Şekil 6.14 Örnek Akış Rejimi Görüntüsü (DALSA CA-D1)

J.Pettersen, Akış rejimlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Vision Research Inc. (Phantom 4.0) yüksek hızlı kamera 25 mm f1.4 objektif kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler 512x128 piksel çözünürlük 4000–8000 kare/s 15 μ s olarak kaydedilmiştir. Çalışmada yüksek debilerde kaliteli görüntü elde edilemediği vurgulanmaktadır. Pozlama süresinin 15 μ s olması bunun bir nedeni olabilir. Örnek görüntüler Şekil 6.15 'de verilmektedir.



Şekil 6.15 Akış Rejim Görüntüleri Vision Research Inc.(Phantom 4.0)

Thome ve arkadaşları [14] yeni bir optik gözlem ve bilgisayarlı görüntü yöntemi analizi ile dinamik boşluk oranı tespitini gerçekleştirmişlerdir. Bu teknikte kesit alanı bir laser sheet ile görüntülenmiş ve Panasonic CCD GP-LM7/TA tipi kamera ile görüntüler kaydedilmiştir. Kesitten görüntüler eksene 40°C açı ile yerleştirilen hızlı kamera ile yapılmıştır. Görüntüler LabVIEW (version6i) ile kodlanmış bir software yardımıyla işlenmektedir. Kesite öncelikle bir grid yerleştirilmektedir. Kameranın açısından dolayı bu grid eliptik olmaktadır. Software yardımıyla bu grid dizilimi dönüştürülmekte ve neredeyse paralel konumda satır ve sütunlar ihtiva eder hale gelmektedir. Grid dizilimi de düzenlendikten sonra borudan yalnız sıvı ve yalnız gaz fazında akış geçirilmekte ve ışık şiddeti kalibrasyonu yapılmaktadır. Optimum ışık şiddeti tespit edildikten sonra çift fazlı akış için ışık şiddet eşiği belirlenmektedir. Kesitten alınan fotoğraflar üzerinde piksel piksel aydınlık şiddeti ölçülmekte ve belirlemiş olduğu şiddet eşiğinin üzerine çıkan veriler boru üst sınırından koordinatlarıyla birlikte kaydedilmektedir. Buhar ve sıvı arasında ki ara yüzey belirlenmekte ve bir kesir elde edilmektedir.

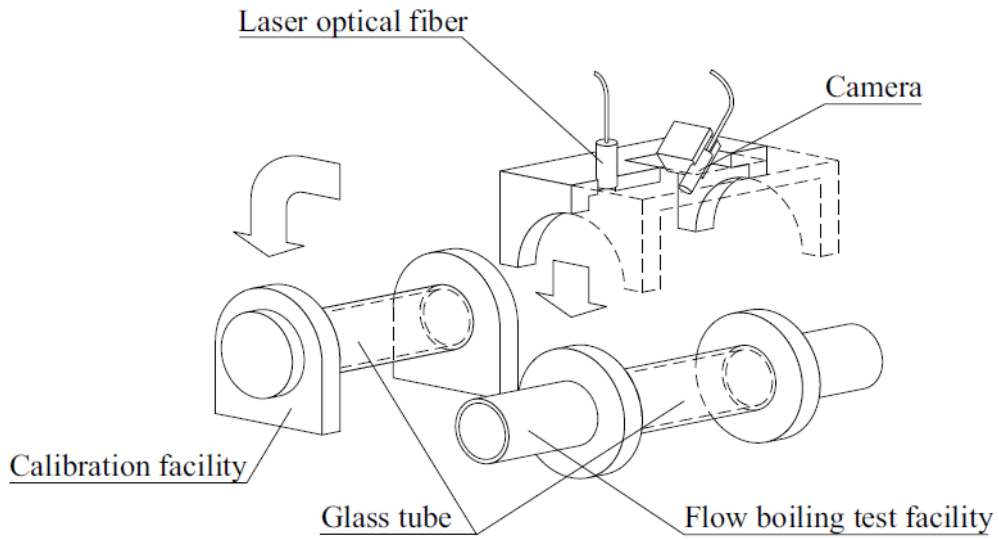


Şekil 6.16 Optik Kurulumun Şematik Gösterimi

Kaydedilen resimler, çift fazlı akıştaki kesit bölgesini göstermektedir. Cam borunun hem iç hem dış tarafından yansıyan ışık görüntüyü bozmuştur. Bozulmamış görüntü ve ışıklandırılan kesitte dik bir görüntü elde etmek için bu teknik görüntüde yeniden yapılandırma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yeniden düzenleme optik bozulmanın olduğu cam boru içinde lazer tabakası ile aynı düzlemdeki gridin boruda sıvı bulunmadan önce yapılan ön testlere bağlıdır. Bu proses ters dönüşüm fonksiyonlarını çıkarılmasını içerir. Bozulmuş grid resimlerinin normal grid resimlerine dönüşümü için kullanılır. Bu fonksiyon boru içindeki çift fazlı soğutucu akışın video resimleriyle aynı yolu izler. Bu çevirme işlemi için kesitteki boşluğun sadece buhar fazı için ve buharın boru üst yüzeyi ile tamamen temas halinde olduğu zaman geçerli olur. Ancak tam bir halka akışta buhar bölgesindeki optik bozulma gride uygun olmayacaktır. Borunun üst bölgesindeki sıvı tabakası resimde sıvının yansıtma özelliğinden dolayı deformasyona neden olmaktadır. Bu nedenle bu yeni teknik sadece katmanlı akış için uygundur. Buna ek olarak, sıvının her zaman altta olduğu ve gaz fazın her zaman üstte olduğu akışlar için geçerlidir. Sonuçta, kesit bölgesindeki alan, resim işleme ile tespit edilip, buhar fazın kapladığı alanın toplam kesit alanına oranıyla ani boşluk oranını zamana bağlı fonksiyon olarak bulunabilmektedir.

Grid cilalı kâğıda hazırlanmış ve bu cam boru içinde girişteki durdurucuya tutturulmuştur. Dikdörtgensel kapağın sürekli açılmasını önlemek içinse kalibrasyon kutusu yapılmıştır. (Şekil 6.17) Bu kutu test bölgesindeki yer ile aynı malzeme,

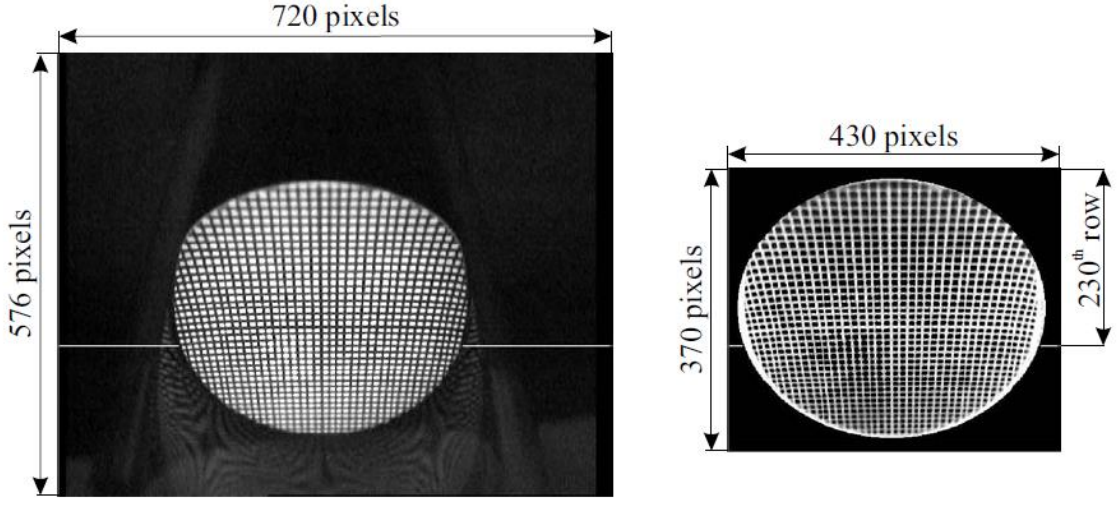
geometri ve boyutlardadır. Bu optik bozulmayı modellemek için ve buhar-sıvı bölgesindeki arayüzey işlem sırasını tespit ederek kalibre etmek için kullanılır. Resim okuma sırasında ışıklandırmanın ve test aletlerinin bağıl pozisyonlarının aynı koşullarda olup olmadığına emin olmak için, optik fiber kafası ile fotoğraf makinesi test bölgesinin üst tarafına sabitlenmiştir. Bu üst bölge boru eksenine boyuncadır. Lazerin optik eğimi ile fotoğraf makinesinin yerleşimi, kalibrasyonun yerleştirileceği bölgenin eklenmesiyle değişmemekte ve oynama olmamaktadır. Üst bölge tamamen yatay olmak zorundadır. Image processing programı LabView (version 6i) ile resimler işlenmiştir.



Şekil 6.17 Resim Kalibrasyonu Ve Video Kaydedici Kurulumu

Bozuk grid resimleri 8 bitlik çözülmüş resimle birlikte 256 bit gri resme çevrilmiştir. Kamera ve grid arasındaki küçük uzaklık (3cm) ve görüntü açısının 40° olmasından dolayı odak derinliği zayıf olduğundan, grid üzerinde iyi odaklanmış resim elde etmek imkânsızdır. Odak düzlemi yatay grid eksenine göre eksenin aşağı ve yukarı çizgilerinin çok karanlıkta çıkmasını önleyecek şekilde ayarlanmaktadır. Grid alanının dışı resim boyutu ile sınırlandırılarak çıkarılıyor (720x576 pikselden 430x370 piksel) ve Şekil 6.18 'deki gibi eliptik bir maske ile cam borunun iç yüzeyine odaklanma sağlanıyor. Maskeleme yapmadan önce resim (gri tabaka) çevrilmelidir. Bu grid sınırlarını belirgin hale getirmektedir. Bu yolla siyah çizgiler tersine beyaza döner. Optik olarak 2 çeşit bozulmuş grid resimde ayırt edilebilir. Önce gridin alt tarafı

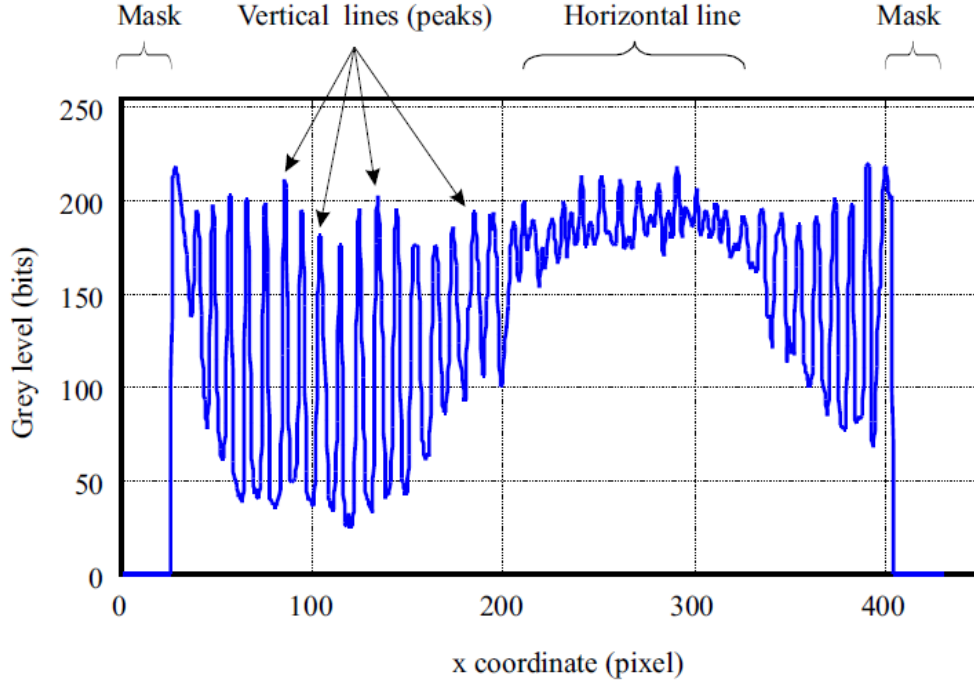
(eksen altı) dikey olarak sıkıştırılır (yatay çizgiler arası boşluk azaltılır). İkincil olarak üst taraf yatay olarak uzatılır (dik çizgiler arası boşluk arttırılır).



Şekil 6.18 Orijinal(Sol) Ve Sınırlandırılmış (Sağda) Grid Resimleri (Beyaz Çizgi Yukarıdan İtibaren Sayılarak 230. Çizgi)

Optik bozulma modeli, her grid çizgisi için (dikey ve yatay) ayrı, ayrı belirlenmeli. Bu belirlemeler her piksel satır ve sütun resimlerinin üzerindeki gri katmanların değişimine bağlıdır. Bu sinyal direkt çizgi boşluğu ve kalınlığına bağlıdır. Yapılan testlerle gridlerin 0,35 mm boşluğunda (örneğin: 37 dikey ve 37 yatay çizgileri) ve çizgi kalınlığı 0,12 mm olan seçilmiş. Şekil 6.19 'de 230. Piksel satırında (1mm grid merkezi ekseninin üstünde) ışık sinyal şiddeti değiştirilerek ışıklandırma türleri uygulanır. Sinyalin maksimum noktaları sıfıra eşittir. Bu maskenin görülmesinin sağlamaktadır. (siyah bölge) Merkezde sinyal sinüsoidal eğriye gelmektedir. Gridin her pik hareketi piksel satırını dikdörtgen olarak kesmektedir. Böylece her pik hareketini belirlemek grid hattının yerel noktasını belirlemektir. Bu yolla piksellerin satır ve sütunlarından özel noktalar tespit edilir. Bu özel noktalar grid hatlarıdır. Bu hattaki her nokta yakınlıklarına göre sıralanırsa her hattın muhtemel şekli bilinir.(temelde dikey ve yatay). Sayısal olarak pik kalınlığı hat kalınlığı ile orantılıdır. Şuan ki gride, pik kalınlığı 3 ve 5 piksel genişliğindedir. Hattın kalınlığı yüksek gri katman ile ne kadar mükemmel pikseller elde edilirse o kadar artar. Ancak bu hattın durumu ile ilgili daha fazla bilgi vermemektedir. Grid ağ boyutu sinyalin 3 boyutlu frekansını düzenler. Diğerine göre daha iyi olan alanın kullanımı komşu gri sinyal katmanları arasındaki maksimum ve minimum değerlerindeki değişimle riskli

olmasına neden olur. Grid deki yatay ekseninde resimdeki piksel satırlarının düşüşünü göstermektedir. Bu şekilde salınımın sınırları gösterilir. Maksimum ve minimum değerler arasındaki minimum değişmeyi ayarlar. (40 bitte) Altta pikler kullanışsızdır.



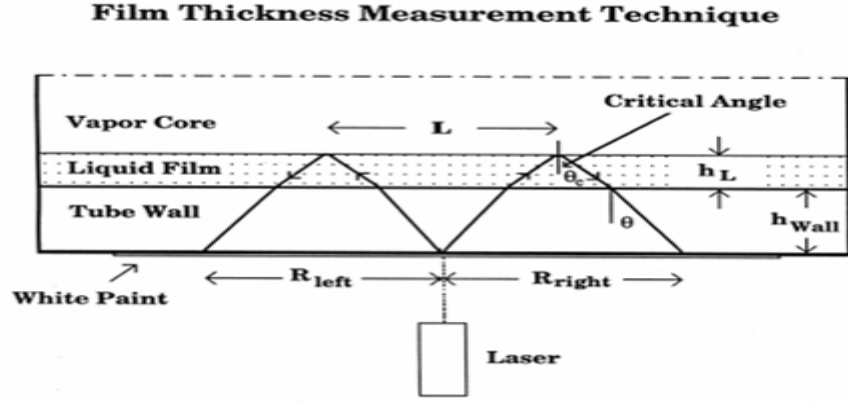
Şekil 6.19 230. Piksel Satırındaki Gri Katmanın Direncinin Değişimi

Yüksek kaliteli bozulmuş alan modeli elde etmek için kamera görüntü alanı simülasyonu önceden ayarlanmalıdır. Bu simülasyon birçok hipoteze bağlıdır. Öncelikle bir ortamdan başka bir ortama geçen optik ışınların yansımaları tanımlayan yasa (Descartes yasası)

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (6.3)$$

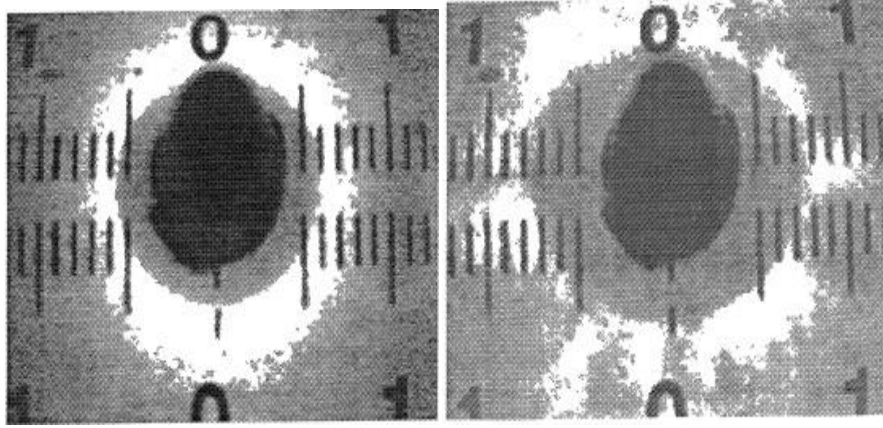
n_1 ve n_2 birinci ve ikinci ortam için özel yansıtma endeksleri i_1 endeks açısı ve i_2 yansıtan açıdır. İkinci olarak dijital fotoğraf makinesiyle piksellerin tablolar halinde gösterilmesi ve küresel bir lense sahip olması. Son olarak ışın demetlerinin yolu kaynaktan başlayarak alıcıya doğru giden olarak değil ayrıca tersinir olarak da düşünülmeli.

Hulburt ve Newell [15] halka ve katmanlı akışlarda sıvı filmi kalınlığını ölçüm yöntemleri hakkında çalışma yapmışlardır.



Şekil 6.20 Film Kalınlığı Ölçüm Metodu

Film kalınlığının ölçümü için 5Mw He-Ne lazer ışık kaynağı kullanılmıştır. Yansıyan ışık görüntüsü video kamera ile kaydedilmiştir.



Şekil 6.21 (a)Boru İçinde Sıvı Filmi Olmadan Yapılan Çekim (b)Boru Cidarında Sıvı Filminin Olması Durumundaki Görüntü

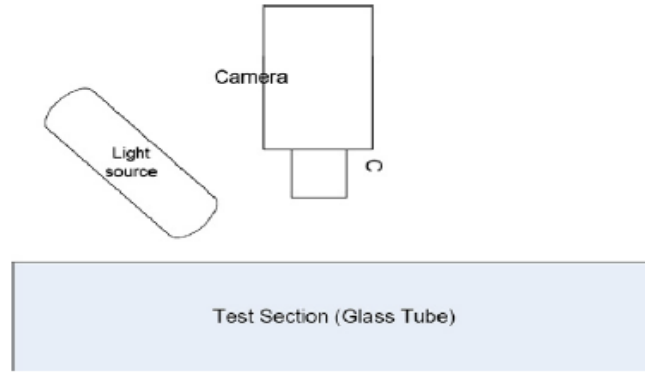
Yapılan çekimlerden sonra elde edilen film kalınlıklarının hata analizinde standart hata analizi yapılmıştır. Bunun içinde standart film kalınlığı sapması, “s”ile standart hata hesaplanmış.

$$\text{StdErr} = 2s/\sqrt{n} \quad (6.4)$$

n;ölçüm sayısı

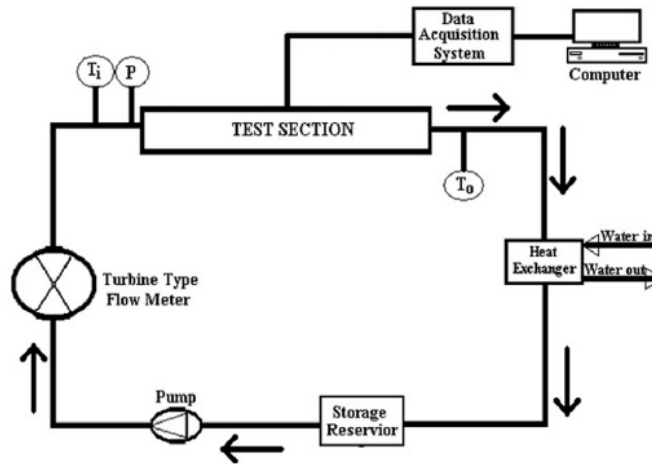
Ugandhar Puli ve A.K. Rajvanshi [16] yatay dairesel kesitli bir tüp içerisinde akan aşırı soğutulmuş saf suyun kaynaması esnasında oluşan boşluk oranını optik yöntemlerle belirlemek ve ayrıca boşluk oranı üzerinde basıncın, kütle akısının, ısı akısının ve ısıtıcı konumunun boşluk oranı üzerindeki etkisini incelemek için aşırı

soğutma sıcaklığını 20°C olarak sabit tutarak $400\text{-}1200\text{ kg/m}^2\text{s}$ aralığında kütle akısı, $0,1\text{-}1\text{ MW/m}^2$ aralığında ısı akısı ve $1\text{-}4\text{ bar}$ aralığında basınç değerleri kullanarak çalışmalarını yapmışlardır. Çalışmalarında Thom ve arkadaşlarının [14] ‘un daha önce kendi çalışmalarında uyguladığı test düzeneğine benzer bir test düzeneği kullanmışlardır. Görüntü işleme tekniği için ise National Instruments IMAQ Vision Builder 6.1 yazılımını kullanmışlardır. Akış görselleme işlemleri için kullandıkları kamera, test bölgesi ve ışık kaynağını simgeleyen şematik Şekil 6.22 ’de verilmektedir.



Şekil 6.22 Kamera pozisyonu, test bölgesi ve ışık kaynağı şematiki

Deneysel çalışmalar yatay olarak konumlandırılmış dairesel kesitli elektrikli ısıtıcı test bölgesine sahip 5 m^3 ‘lük bir kapalı çevrim üzerinde yapılmıştır. Akışın incelendiği test bölgesi ise $0,78\text{m}$ uzunluğunda ve $21,8\text{mm}$ iç çapa sahip bir halka kesitli kanal olmaktadır. Test düzeneğine ait şematik gösterim Şekil 6.23 ’de görülmektedir.

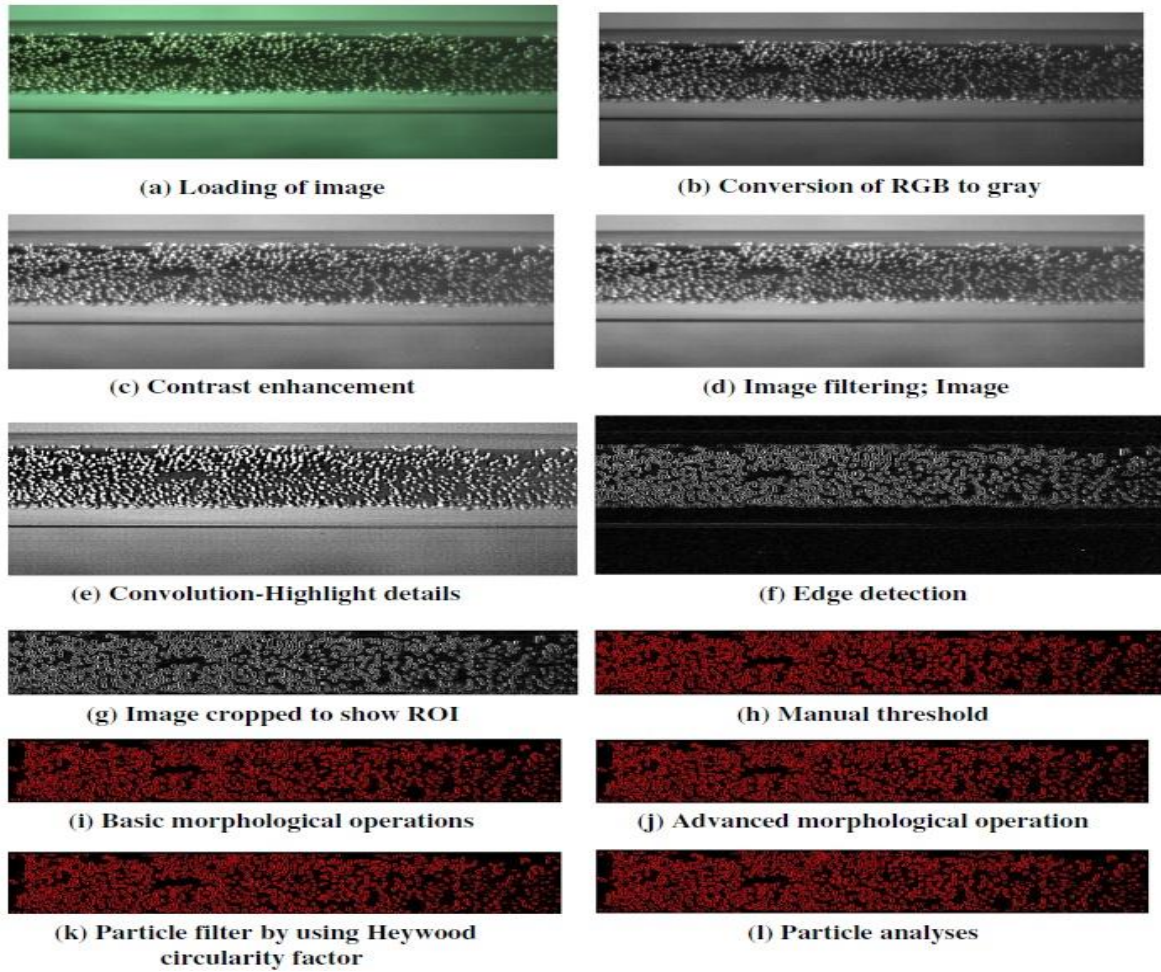


Şekil 6.23 Test düzeneği (Ugandhar Puli ve A.K. Rajvanshi [16])

Akış görselleme çalışmalarında görüntüler EPIX şirketi tarafından geliştirilen XCAP SV-642 kamera ile elde edilmiştir. Bu kamera düşürülmüş çözünürlükte saniyede 19600 kare görüntü yakalayabilmektedir. Elde edilen bu görüntülerden 100 fotoğraflık her bir set IMAQ Vision Builder 6.1 yazılımı ile işlenmektedir.

Görüntü işleme tekniği her bir görüntü üzerinde yapılan 15 adımlık bir prosesi kapsamaktadır. Bu proses özet olarak; görüntünün yazılıma yüklenmesi ile başlayıp, görüntü üzerinde renk değişimi, çözünürlük ve netlik değişimi, gerekli ve gereksiz kısımların görüntüde birbirinden ayrılması için filtreleme işlemi, kenar bulma işlemi, kopuk veriler arasında bağ kurulması gibi işlemlerden geçip detaylı bir partikül analizi ile son bulmaktadır.

Çalışmalarda elde edilen bir görüntü üzerinde yapılan görüntü işleme prosesine ait adımlar ve görseller Şekil 6.24 'te gösterilmektedir.



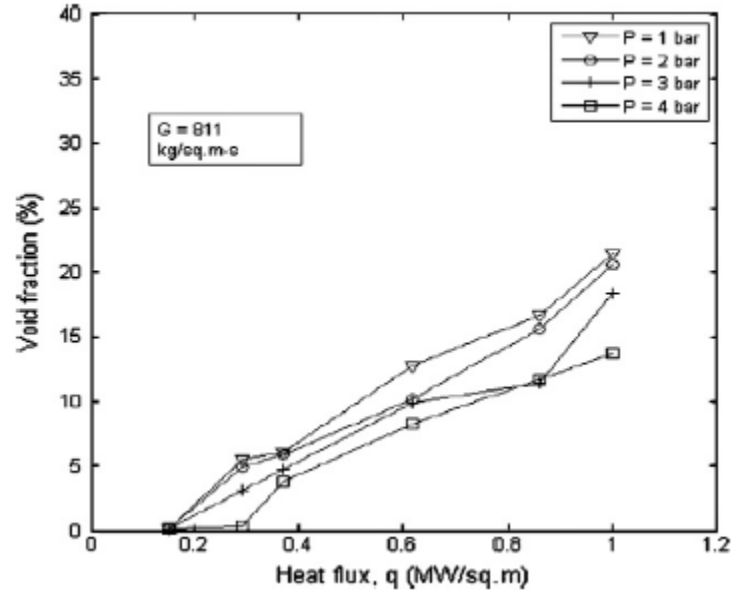
Şekil 6.24 Görüntü işleme prosesine ait işlem basamakları

Kütle akısının, ısı akısının, basınç değişiminin ve ısıtıcı konumunun boşluk oranı değeri üzerindeki etkilerini gözlemlemek adına değişik deney şartlarında deneyler tekrarlanarak boşluk oranı değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu boşluk oranı değerleri ve deneylerin gerçekleştirildiği ısı akısı ve kütle akısı değerleri bir tablo halinde Çizelge 6.1 'de görülmektedir.

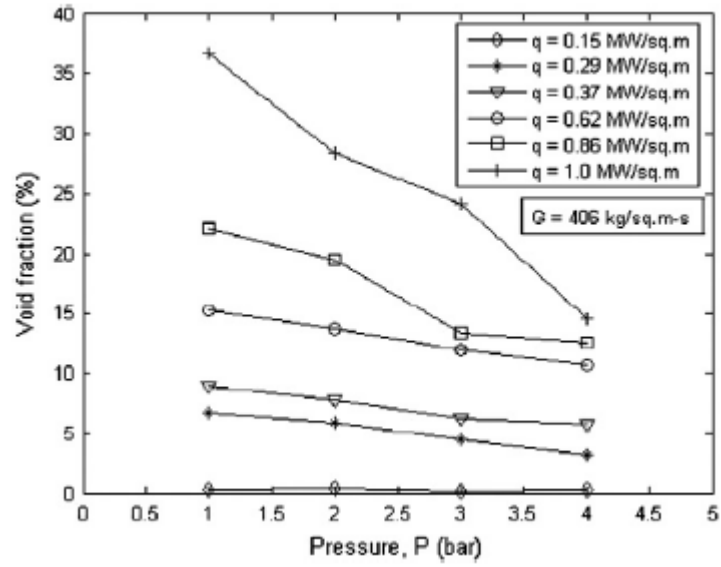
Çizelge 6.1 Çeşitli ısı akısı, kütle akısı değerlerinde boşluk oranı değerleri

Label	Mass flux, G (kg/sq m-s)	Heat flux, q (MW/sq m)	Void fraction (%)	Label	Mass flux, G (kg/sq m-s)	Heat flux, q (MW/sq m)	Void fraction (%)
P1-16	406	0.15	0.26	P3-98	811	0.15	0.15
P1-18	406	0.29	6.67	P3-99	811	0.29	3.14
P1-19	406	0.37	8.9	P3-100	811	0.37	4.74
P1-21	406	0.62	15.3	P3-101	811	0.62	9.86
P1-23	406	0.86	22	P3-102	811	0.86	11.39
P1-24	406	1.0	36.7	P3-103	811	1.0	18.42
P1-6	811	0.15	0.18	P3-107	1217	0.15	0.02
P1-8	811	0.29	5.5	P3-108	1217	0.29	0.4
P1-9	811	0.37	6.1	P3-109	1217	0.37	0.65
P1-10	811	0.62	12.7	P3-110	1217	0.62	1.21
P1-11	811	0.86	16.7	P3-111	1217	0.86	2.35
P1-12	811	1.0	21.4	P3-112	1217	1.0	2.92
P1-28	1217	0.15	0.03	P4-145	406	0.15	0.3
P1-29	1217	0.29	0.36	P4-148	406	0.29	3.16
P1-31	1217	0.37	0.9	P4-149	406	0.37	5.82
P1-33	1217	0.62	1.68	P4-150	406	0.62	13.65
P1-35	1217	0.86	2.38	P4-151	406	0.86	12.54
P1-36	1217	1.0	3.27	P4-152	406	1.0	14.57
P2-44	406	0.15	0.40	P4-130	811	0.15	0.15
P2-45	406	0.29	5.86	P4-131	811	0.29	0.33
P2-46	406	0.37	7.75	P4-132	811	0.37	3.75
P2-48	406	0.62	13.74	P4-135	811	0.62	0.92
P2-49	406	0.86	19.45	P4-138	811	0.86	1.12
P2-50	406	1.0	28.42	P4-139	811	1.0	1.68
P2-54	811	0.15	0.12	P4-156	1217	0.15	0.04
P2-55	811	0.29	4.91	P4-159	1217	0.29	0.065
P2-56	811	0.37	5.9	P4-160	1217	0.37	0.11
P2-58	811	0.62	10.21	P4-162	1217	0.62	0.25
P2-60	811	0.86	15.61	P4-163	1217	0.86	0.3
P2-61	811	1.0	20.6	P4-164	1217	1.0	0.38
P2-66	1217	0.15	0.01				
P2-67	1217	0.29	0.5				
P2-68	1217	0.37	0.8				
P2-70	1217	0.62	1.4				
P2-71	1217	0.86	3.0				
P2-73	1217	1.0	3.41				
P3-90	406	0.15	0.21				
P3-93	406	0.29	4.5				
P3-94	406	0.37	6.28				
P3-95	406	0.62	15				
P3-96	406	0.86	13.45				
P3-97	406	1.0	24.12				

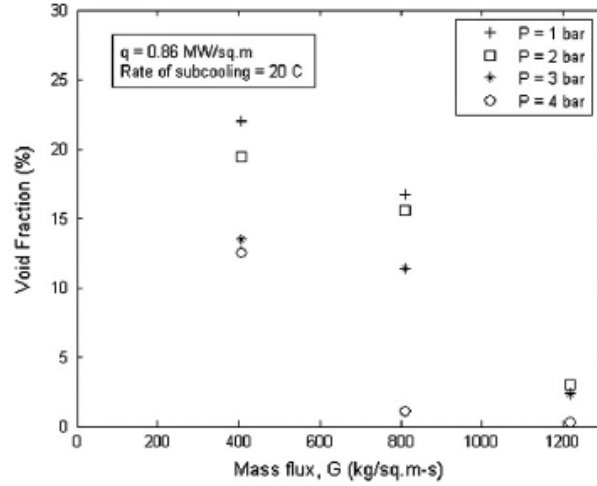
Çizelge 6.1 'de belirtilen bu boşluk oranı değerleri grafiklere dökülerek ısı akısı, kütle akısı ve basınç değişiminin boşluk oranı üzerindeki etkileri Şekil 6.25, Şekil 6.26 ve Şekil 6.27 'de sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi boşluk oranı değeri kütle akısının ve basıncın artması ile azalmakta, ısı akısının artması ile artmaktadır.



Şekil 6.25 Farklı basınçlarda ısı akısının boşluk oranı üzerindeki etkisi

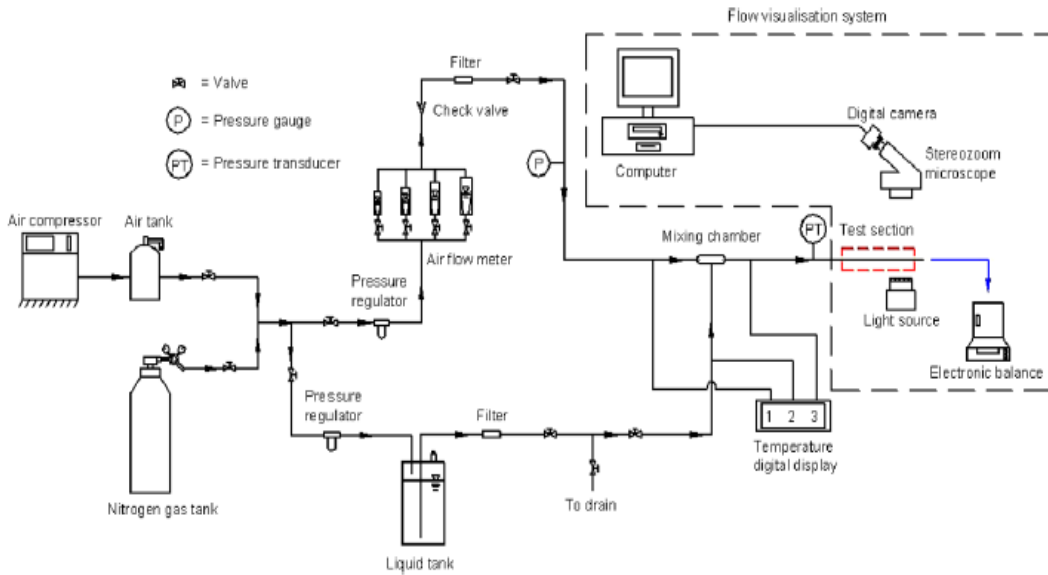


Şekil 6.26 Farklı ısı akısı değerlerinde basıncın boşluk oranı üzerindeki etkisi

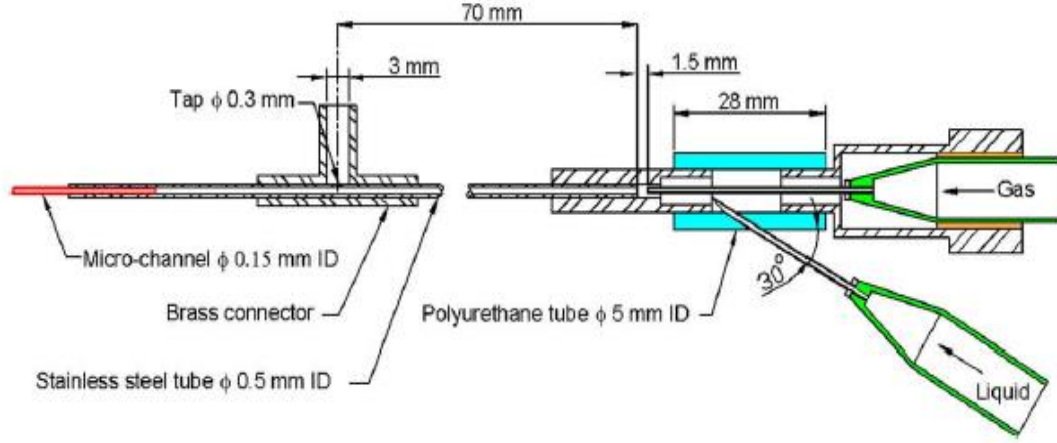


Şekil 6.27 Farklı basınç değerlerinde kütle akışının boşluk oranı üzerindeki etkisi

Sira Saisorn ve Somchai Wongwises [17] yatay dairesel kesitli mikro kanallarda iki fazlı hava-su karışımının akışını incelemiştir. Gaz akışkan olarak hava ya da nitrojen gazı, sıvı akışkan olarak su ve iyonize su kullanarak bu iki fazdaki akışkanın karıştırılması ile iki fazlı bir akış elde etmişlerdir. Ayrıca deney düzeneğinde geleneksel pompa yerine pompa kaynaklı oluşabilecek olumsuz titreşim ve kirliliklerden kaçınmak adına hava ya da nitrojen gazı tanklarını sisteme entegre ederek onların pnömatik pompa olarak görev yapmalarını sağlamışlardır. Test düzeneğine ait şematik diyagram Şekil 6.28 'de ve sıvı ve gaz akışkanların karışımının sağlandığı bölmeye ait şematik diyagram Şekil 6.29 'da gösterilmektedir.



Şekil 6.28 Sira Saisorn ve Somchai Wongwises [17] 'e ait deney düzeneği şematiği



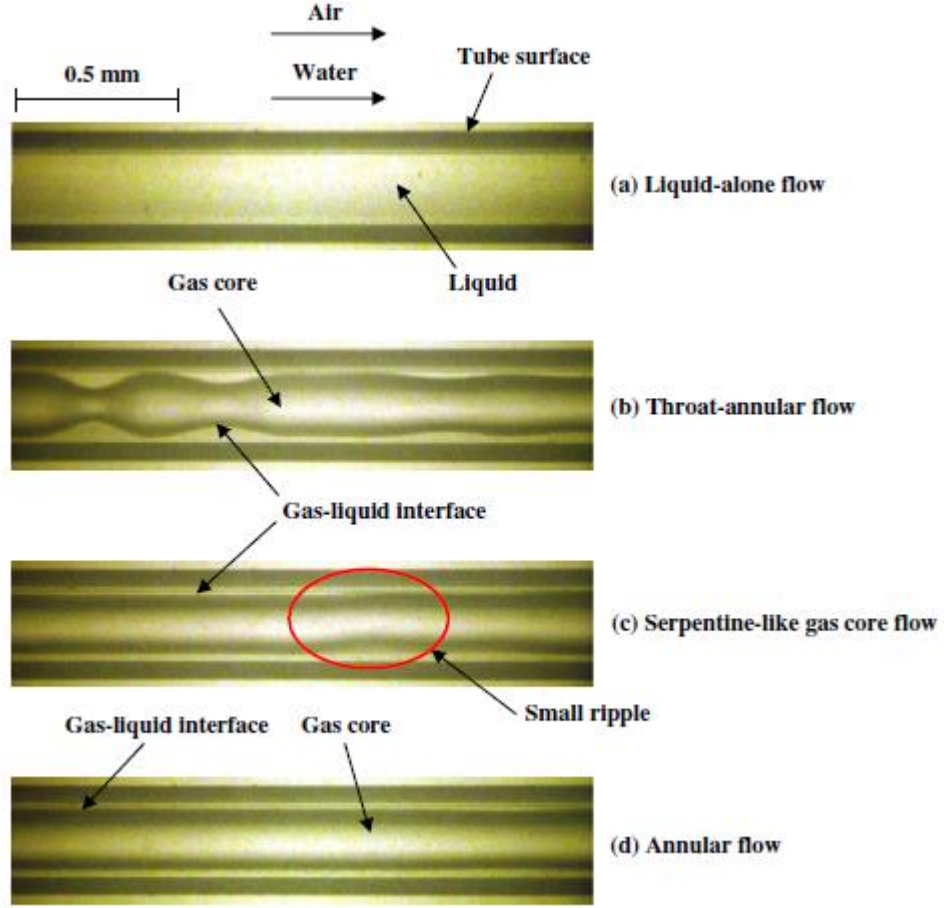
Şekil 6.29 Sira Saisorn ve Somchai Wongwises [17] ' e ait akışkan karışım odası şematığı

Deney düzeneğinde kullanılan test bölmesi 0,15mm çapında ve 104mm uzunluğundadır. Ayrıca tek faz ve çift faz basınç düşüşlerinin hesaplanabilmesi için kanal içerisine bir alçak bir de yüksek basınç transduceri eklenmiştir. Alçak basınç transduceri 0-250 kPa aralığında $\pm 0,5$ kPa hassasiyette; yüksek basınç transduceri ise 0-1000 kPa aralığında ± 2 kPa hassasiyette ölçüm yapabilecek şekilde kalibre edilmişlerdir. Sıcaklık değerlerini de ölçebilmek adına $\pm 0,1$ °C hassasiyete sahip T tip sıcaklık ölçerler (thermocouple) sisteme entegre edilmişlerdir.

Deneyler önce tek fazlı akışlar üzerinde başlatılarak sonrasında iki fazlı akışlar üzerinde devam etmiştir. Çalışmada sıvı akışkan oranı sabit tutularak gaz akışkan oranı küçük artışlar ile değiştirilmiş ve böylece farklı gaz-sıvı karışım oranlarında deneyler tekrarlanmıştır.

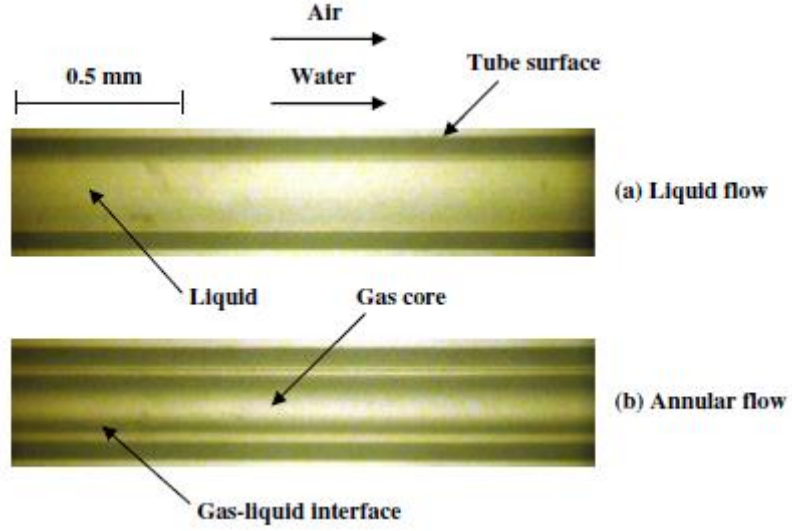
Akış görselleme işlemleri üç boyutlu yaklaşma özelliğine sahip bir mikroskop (Nikon SMZ-1) ve birlikte monte edilmiş saniyede 30 karelik (30fps) kayıt özelliğine sahip bir kamera sisteminin (Fujifilm FinePix S7000) mikro kanal önüne konumlandırılması ile yapılmıştır.

Deneyler sırasında gaz akışı oranının az olduğu karışımlarda sadece sıvı (liquid alone), dar boğaz-halka (throat-annular), kıvrımlı/dalgalı (serpentine like gas core) ve halka akış (annular) olmak üzere 4 farklı akış tipi gözlemlenmiştir (LUA AF). Gözlemlenen bu akış tiplerine ait birer görüntü örneği Şekil 6.30 'da gösterilmektedir.



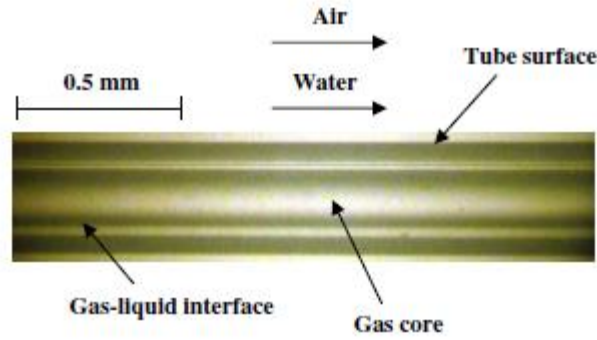
Şekil 6.30 $j_L = 0,026$ m/s ve $j_G = 4,689$ m/s olduğu durumda gözlemlenen akış tipleri ([17])

Sıvı akış oranının yüksek olduğu durumda bu 4 akış tipiden sadece 2'si (liquid alone, annular) gözlemlenebilmiştir (LAAF). Bu akışlara ait görüntüler ise Şekil 6.31 'de gösterilmektedir.



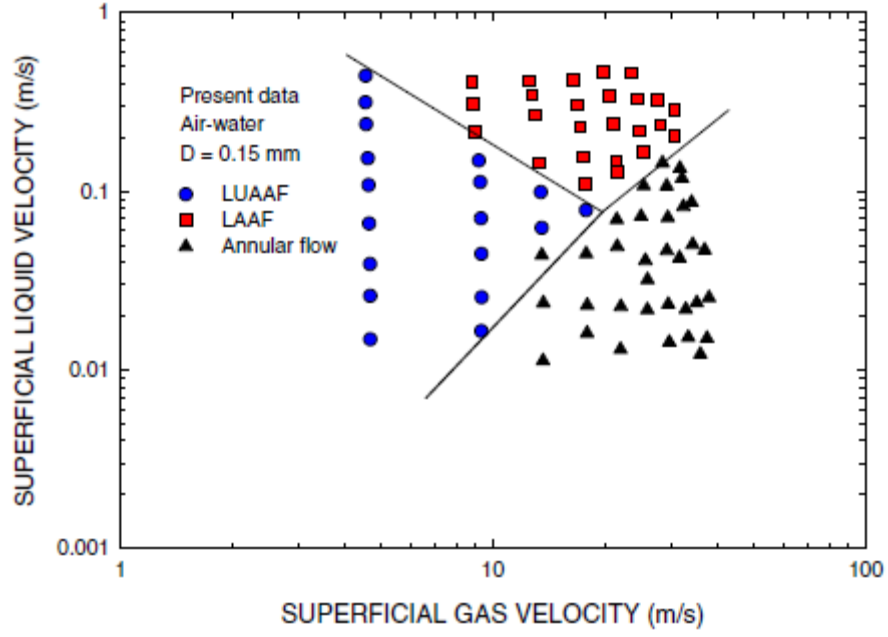
Şekil 6.31 $j_L = 0,329$ ve $j_G = 24,482$ m/s olduğu durumdaki akış tipleri ([17])

Gaz akış oranının yüksek olduğu durumda ise sadece sıvı filminin boru cidarında gaz fazın ise boru merkezinde olduğu halka akış (annular) gözlemlenebilmiştir. Bu halka akışa ait örnek görüntü Şekil 6.32 'de verilmiştir.



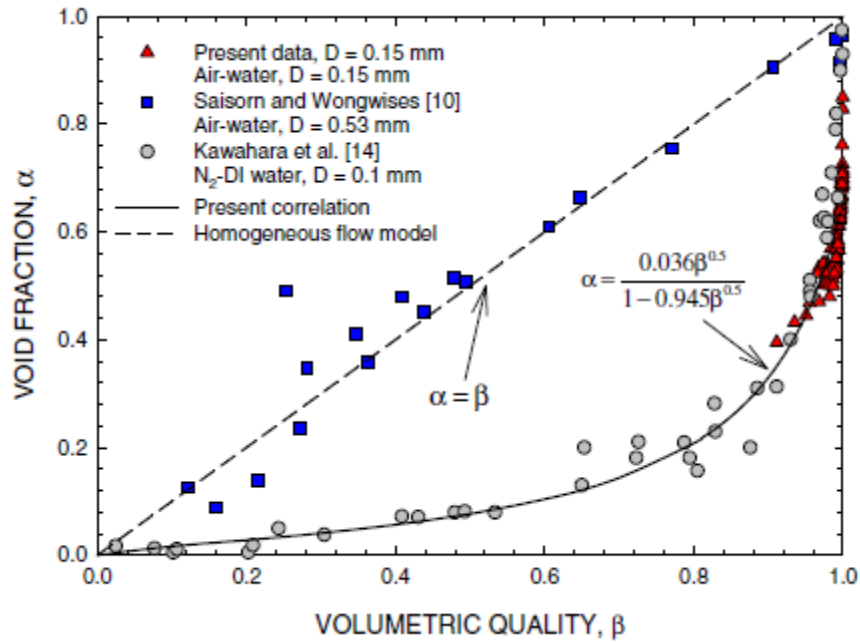
Şekil 6.32 $j_L = 0,107$ m/s ve $j_G = 25,421$ m/s olduğu durumda halka akış ([17])

Gözlemlenen bu akış tiplerine göre gaz ve sıvı akış hızlarına göre akış tiplerini veren bir akış haritası oluşturulmuştur. Bu akış haritası Şekil 6.33 'de sunulmaktadır.



Şekil 6.33 0,15 mm çaplı boruda iki fazlı hava-su akışına ait akış haritası ([17])

Akış haritası oluşturulduktan sonra çalışmalar boşluk oranı değerinin belirlenmesi ile devam etmiştir. Görüntü işleme yöntemi ile belirlenen boşluk oranı değerleri Şekil 6.34 'de sunulmaktadır.



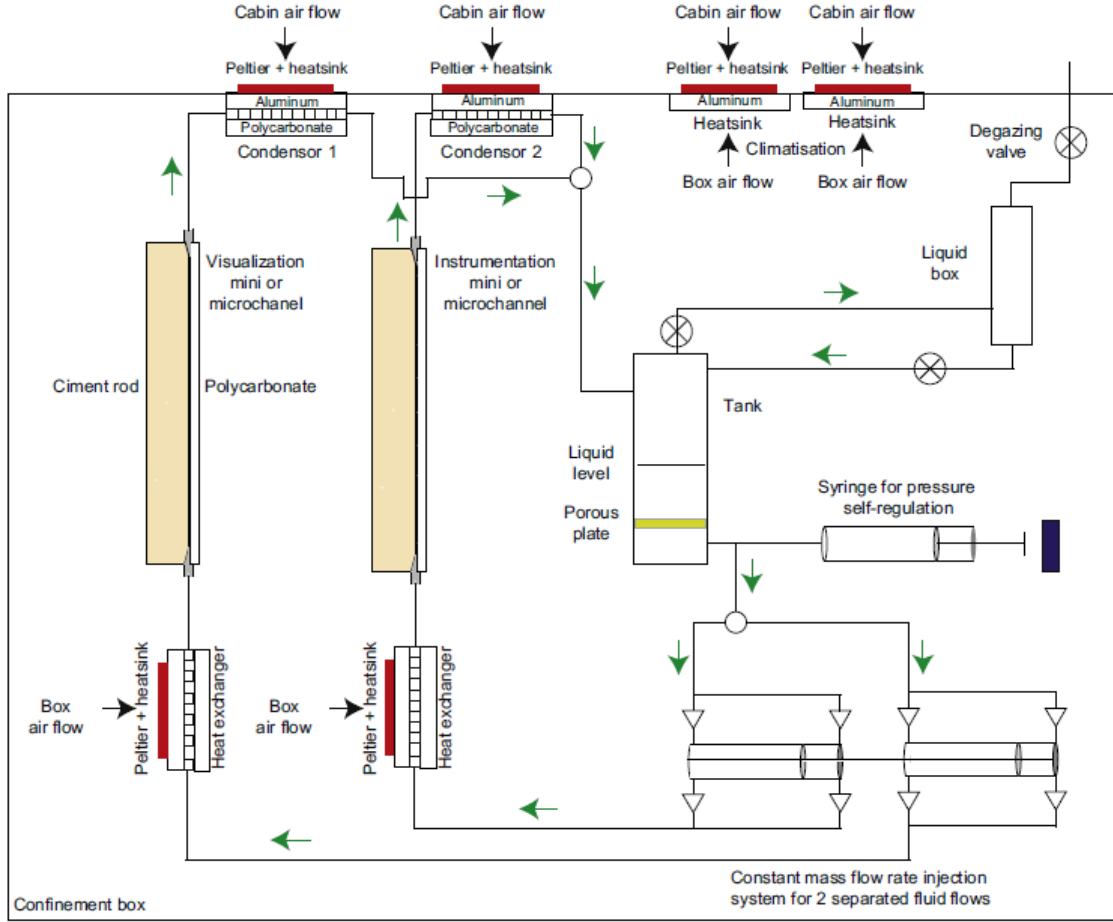
Şekil 6.34 Boşluk oranı değerleri değişimi grafiği ([17])

Dr. Burtin, V.S. Ajaev ve L. Tadrist [18], ağırlıksız/yer çekimsiz durumda mini kanallardaki akışta oluşan kaynama durumundaki ısı transferini incelemek amacı ile

bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında boşluk oranındaki değişimi ve sürtünme basıncı düşümünü incelemişlerdir. Deneyleri ısı akısını sabit tutarak kültel hızda 30-248 kg/sm² aralığında değişim sağlayarak yapmışlardır. Hiper yerçekimi (1,8g) ve mikro yerçekimi ($\pm 0,05g$) şartlarında deneyler yaparak sürtünme basıncındaki düşüşü; akış görüntüleme ile akış değişimini ve görüntü işleme yöntemi ile de boşluk oranı tespiti yapmışlardır.

Deneylerde soğutucu akışkan olarak HFE-7100 kullanılmıştır. Bu akışkan düşük kaynama sıcaklığına ve düşük buharlaşma ısısına (sudan 20 kat daha az) sahip olup, renksiz, toksik ve patlayıcı olmayan, kimyasal olarak da test ekipmanları ile uyumlu bir akışkan olma özelliği taşımaktadır. HFE-7100 'e ait fiziksel özellikler Çizelge 6.2 'de verilmektedir.

Deney kanalı kesit alanı 6x0,454 mm² olup, kanal hidrolik çapı 0,84mm dir. Kanal yer düzlemine dik olarak konumlandırılmış olup dikey akışta kaynama durumu incelemeye alınmıştır. Çalışmalarda kullanılan deney ekipmanları şematiği Şekil 6.35 'de görülebilmektedir.



Şekil 6.35 Yalıtılmış kap ve iki kanalda kaynama akışını gözlemlene deney şematığı ([18])

Akış görüntüleme işlemi Photron Ultima 1024 hızlı kamera ile 1000 görüntü/s özellikli video kaydı yapılarak gerçekleştirilmiştir.

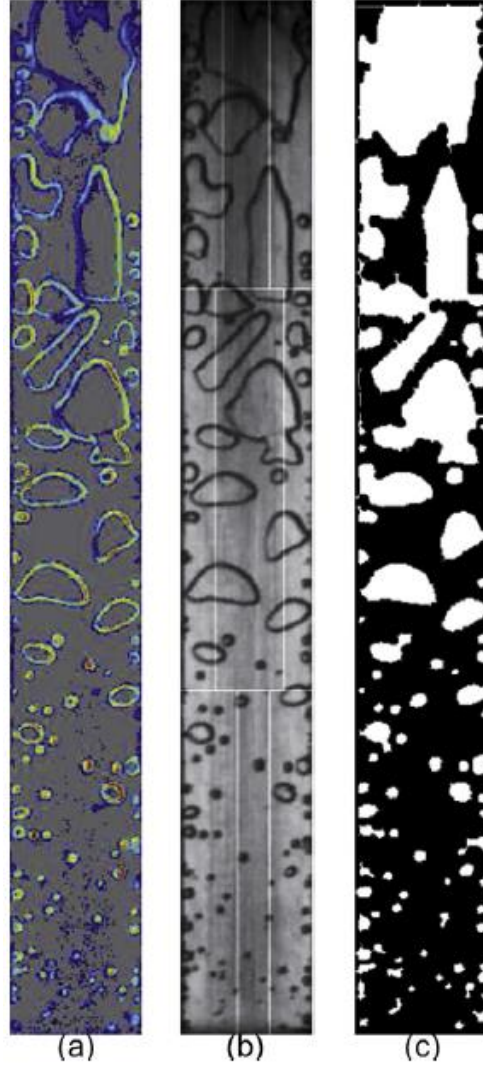
Çizelge 6.2 54°C ve 82 mbar ‘da HFE-7100 için fiziksel özellikler ve boyutsuz sayı değerleri

	ρ_l (kg m ⁻³)	ρ_v (kg m ⁻³)	C_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	L_v (kJ kg ⁻¹)	λ (W m ⁻² K ⁻¹)	μ_L (mPa s)	μ_V (μPa s)	σ (mN m ⁻¹)	Pr (-)
HFE-7100	1389	7.95	1241	114	0.068	0.39	10.8	13.6	10.3

Boşluk oranı değeri görüntü işleme yöntemi ile elde edilen görüntülerdeki gaz ve sıvı alanların piksel² olarak değerlerinin belirlenip oranlanması yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmada yapılan görüntü işleme yöntemi önce görüntünün istenmeyen datalardan bir filtreleme yöntemi ile arındırılması ve sonrasında sıvı-gaz filminin belirlenmesi ve alan hesabının yapılması esasına dayalı olarak yapılmıştır.

Şekil 6.36, elde edilen bir görüntü örneği ve o görüntü üzerinde yapılan görüntü

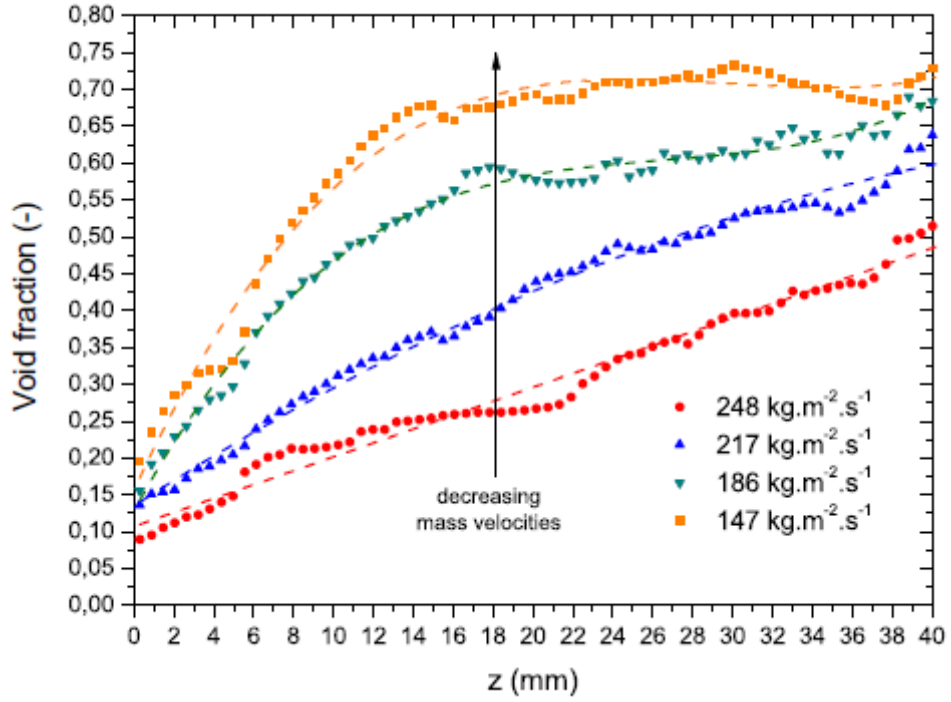
işleme basamakları hakkında örnek teşkil etmektedir.



Şekil 6.36 (a) Orinal görüntü-ortalama görüntü, (b) 9 bölgeye ayrılmış orijinal görüntü, (c) işlenmiş görüntü

Orijinal görüntü önce baş, orta ve son olmak üzere 3 bölgeye ayrılmakta ve sonrasında her bölge, üst cidara yakın alan, orta alan ve alt cidara yakın alan olmak üzere 3'er bölgeye daha ayrılmaktadır. Böylece görüntü 9 alana ayrılarak incelenmiştir. Görüntüdeki istenmeyen dataları temizleme işlemi sırasında her bölgeye farklı bir filtreleme değeri uygulanarak temizlik esnasında gerekli datalarında kaybolmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Örneğin; boru girişinde küçük baloncuklar çoğunlukta iken çıkışında büyük balon oluşumu gözlenmektedir. Bu sebeple küçük baloncukların olduğu yerde daha hassas bir filtreleme yapılmaktadır. Böylece minimum gerekli veri kaybı, maksimum gereksiz veri temizliği sağlanmış olmaktadır.

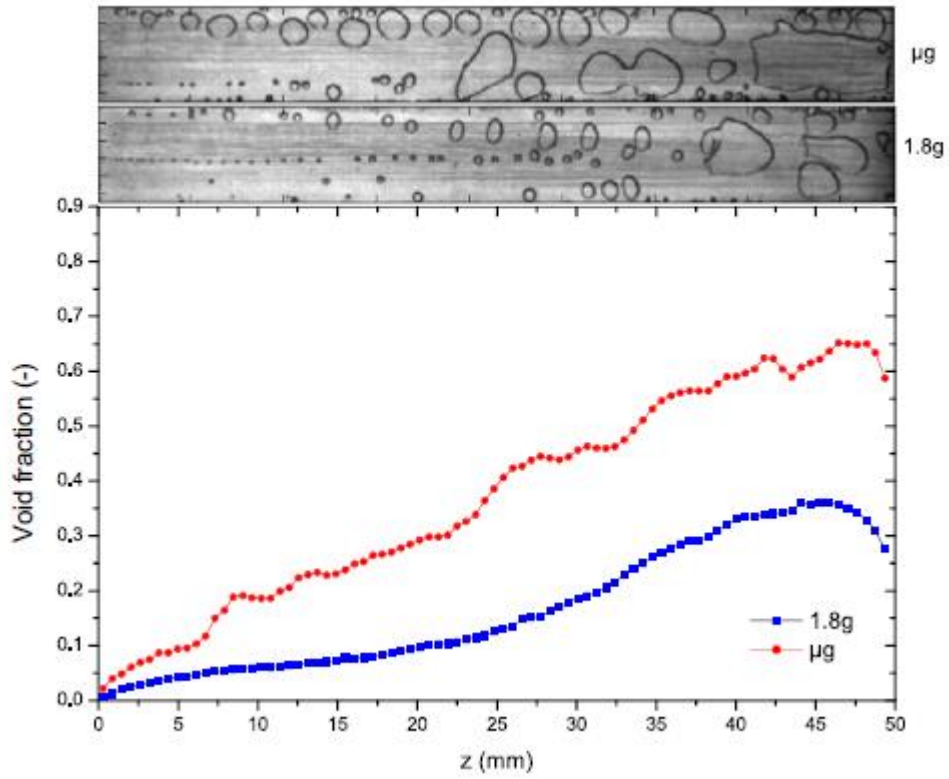
Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen boşluk oranı değerleri bir grafiğe dökülerek Şekil 6.37 'de sunulmuştur.



Şekil 6.37 Mini kanal boyunca hiper yerçekimi altında boşluk oranının değişimi ($Q_w = 45 \text{ kW/m}^2$) ([18])

Şekil CC 'de de görüldüğü üzere boşluk oranı değeri mini kanal girişinde daha düşükken kanal boyunca ilerledikçe artış göstermektedir. Ayrıca kütle hızının artması ile birlikte boşluk oranı değerlerinde düşüş gözlemlenirken, yüksek kütle hızlarında ($217 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ve üzerinde) boru boyunca boşluk oranında meydana gelen değişimin lineer olduğu, düşük kütle hızlarında ise non-lineer olduğu görülmektedir.

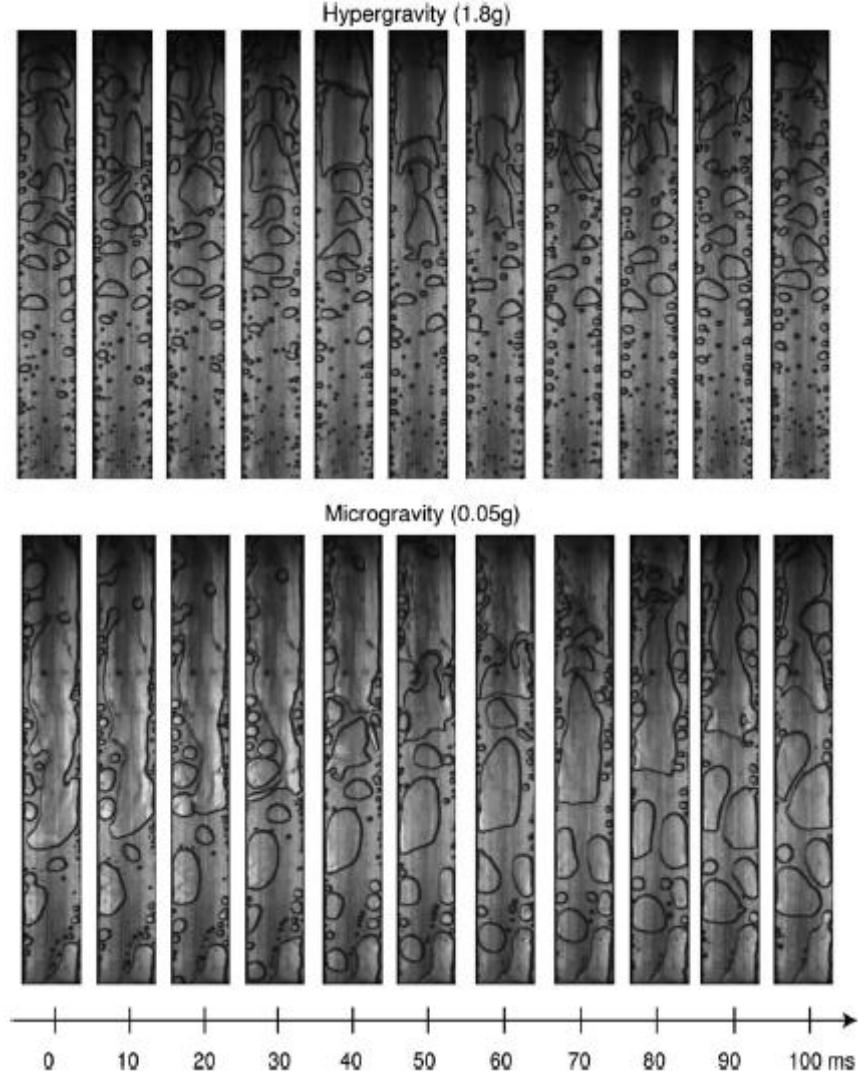
Yerçekimindeki değişimin boşluk oranı üzerindeki etkisi ise Şekil 6.38 'de sunulmaktadır.



Şekil 6.38 Mini kanal boyunca boşluk oranı değişimi ($Q_w = 20 \text{ kW/m}^2$, $U_m = 124 \text{ kg/m}^2\text{s}$) ([18])

Şekil 6.38 'den de görüleceği gibi mikro yerçekimi altında boşluk oranı değeri, hiper yerçekimi altındaki boşluk oranı değerinden daha yüksek olmaktadır. Buradan yerçekimi etkisi ile boşluk oranı değeri arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir.

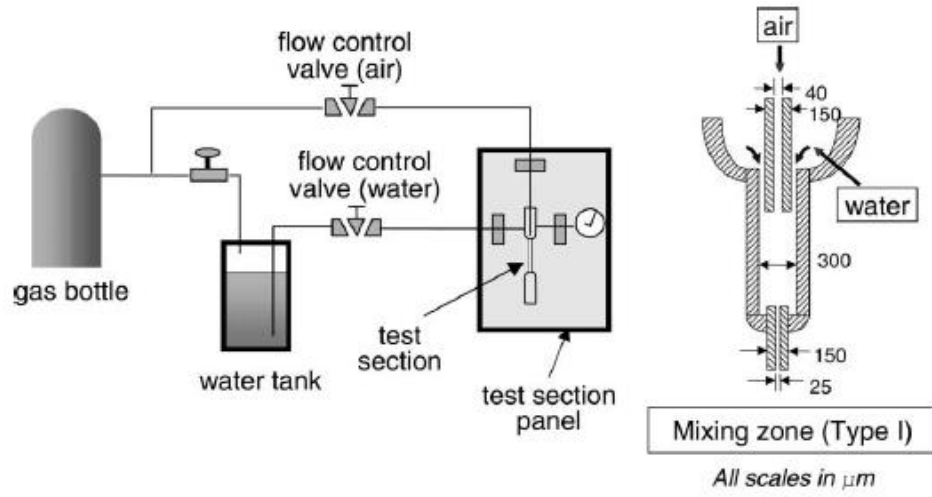
Ayrıca hiper yerçekimi ve mikro yerçekimi altında oluşan akış tipleri de mukayeseli olarak Şekil 6.39 'da verilmiştir. Şekil 6.39 'da da görüleceği üzere yerçekimindeki azalma baloncuklarda büyümeye ve dolayısı ile boşluk oranı değerinde artmaya sebep olmaktadır.



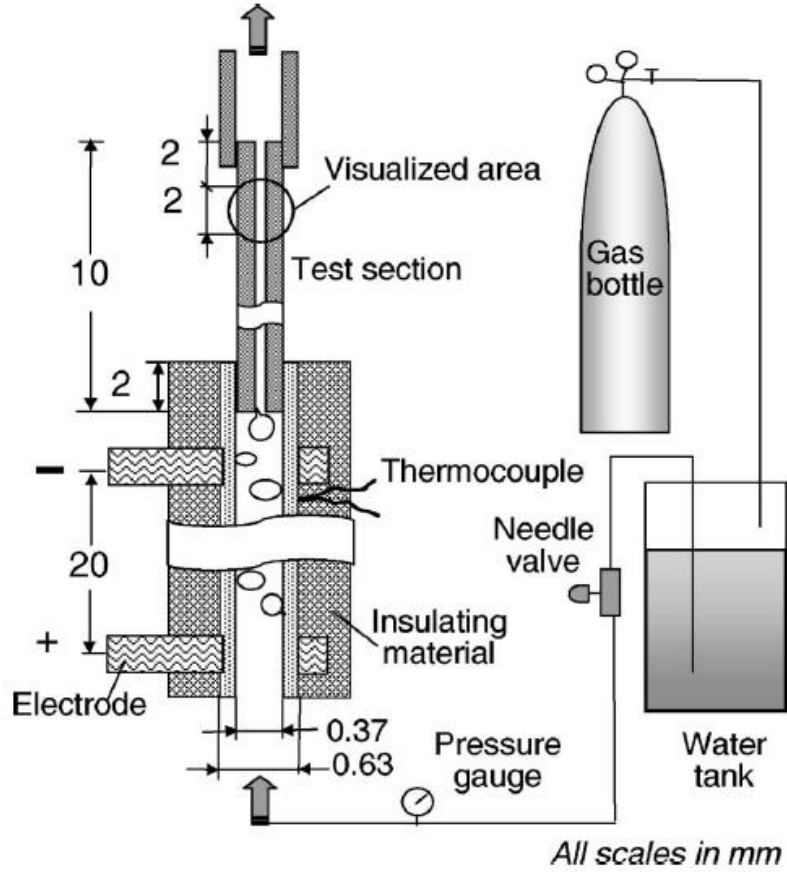
Şekil 6.39 Bir görüntünün her 10ms ‘de bir değişimini gösteren akış tipi görüntüsü ([18])

Akimi Serizawa, Ziping Feng ve Zensau Kawara [19], 20, 25 ve 100 μm ‘lik dairesel kesitli yatay konumlandırılmış tüplerde hava-su iki fazlı akışının ve 50 μm ‘lik yatay konumlandırılmış bir tüpte de buhar-su iki fazlı akışını incelemişlerdir. Çalışmalar yüzeysel hızlar $J_L = 0,003\text{-}17,52 \text{ m/s}$ ve $J_G = 0,0012\text{-}295,3 \text{ m/s}$ aralığında değişecek şekilde yürütülmüştür.

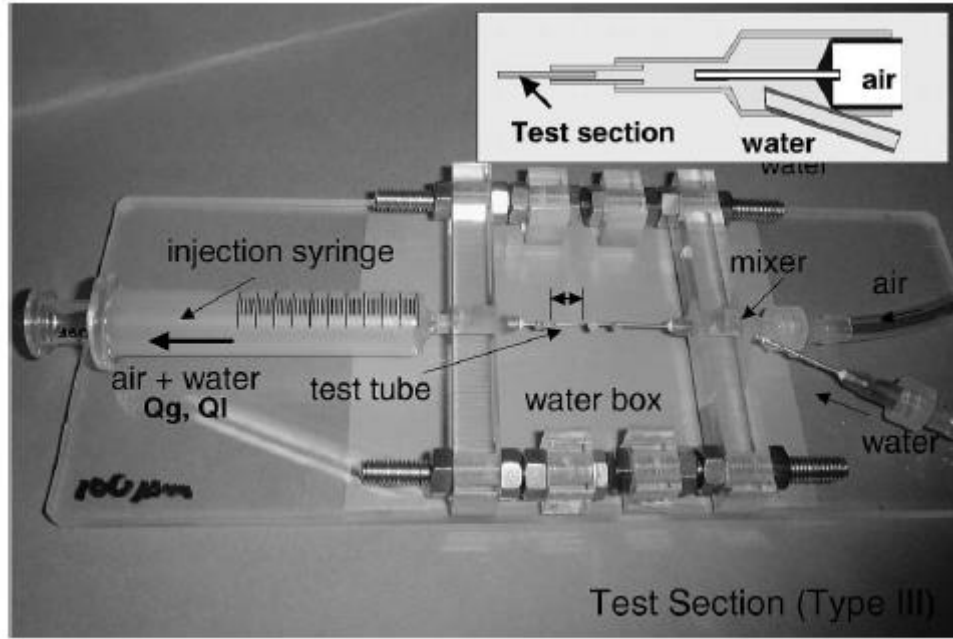
Hava-su ikilisinin kullandığı deney düzeneği şematığı Şekil 6.40 ‘da; buhar-su ikilisinin kullandığı deney düzeneği şematığı de Şekil 6.41 ‘de sunulmaktadır. Ayrıca hava-su iki fazlı akışı için gerekli karışımı sağlayacak karıştırıcı dizaynları Şekil 6.40 ve Şekil 6.42 ‘de sunulmaktadır.



Şekil 6.40 Hava-Su çift fazlı akışı için deney şematiği ([19])



Şekil 6.41 50 μm çaplı bir tüp içerisinde buhar-su iki fazlı akışı için deney şematiği ([19])



Şekil 6.42 Karışım odası dizaynı ([19])

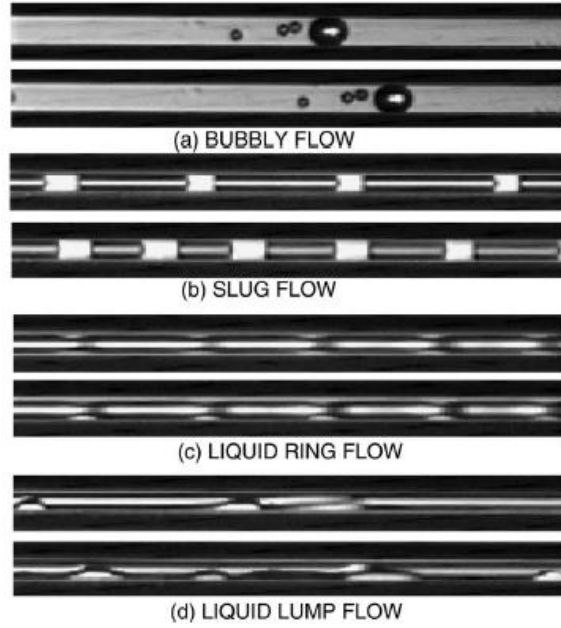
Akış görüntüleme işlemleri için bir objeyi orijinal boyutundan 150 kat daha büyük bir şekilde görüntüleyebilen bir mikroskop (NIKON, SMZ-U tip) ile yapmışlardır. Ayrıca saniyede 30-600 karelik kayıtlar yapabilen bir hızlı kamera (FAST-CAM-Rabbit, CANON) sisteme monte edilmiştir. Tüm test süresince sıvı hızı 24,7 mm/s mertebesinde, iç basınç da 2,4bar mertebesinde tutulmuştur. Görüntüleme ise test bölgesinden 6000-8000 μm uzaklıktan yapılmıştır.

Şekil 6.43 'de 25 μm çaplı boruda atmosferik basınca yakın bir basınçta Şekil 6.40 'da belirtilen Type 1 test bölgesi kullanılarak gerçekleştirilen görüntüleme çalışmalarına ait görüntü örnekleri sunulmaktadır.

Bu şartlarda gerçekleştirilen deneylerde baloncuklu (bubbly) akış, slug (mermi) akış, liquid ring (sıvı-halka) akış ve geniş çaplı borularda gözlemlenen dalga akışa benzer bir akış tipi (liquid lump) gözlemlenmiştir.

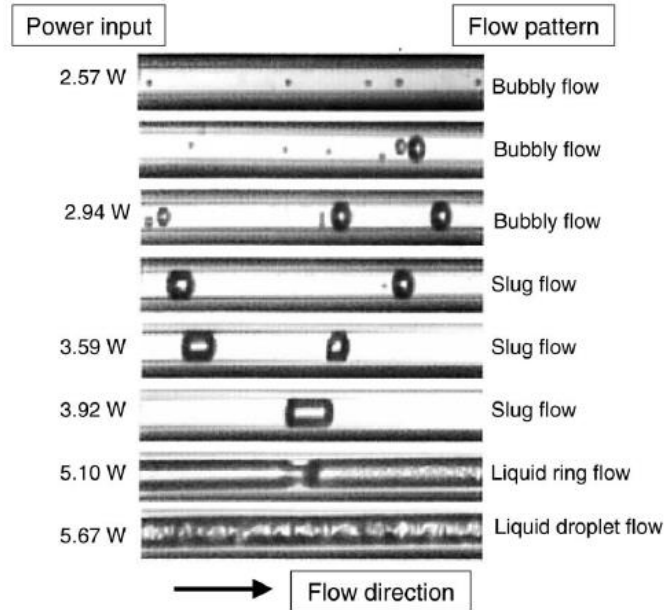
Bu akış tiplerinden baloncuklu akış, gaz akış oranının çok düşük olduğu durumlarda gözlemlenmiştir (örn; $J_G = 0,0083 \text{ m/s}$). Mermi akış ise baloncuklu akışın devamında meydana gelen bir akış tipi olmaktadır. Baloncukların rijitliği çok küçük tüplerde yüksek seviyede olmakta ve böylece küresel şekillerini korumak istemektedirler. Sıvı-halka akış gaz hızının yüksek olduğu durumlarda mermi akışın değişimi ile meydana gelmektedir. Eğer ki gaz hızı daha da artırılırsa geniş çaplı borularda gördüğümüze

benzer bir dalga akış (liquid lump) görülmektedir. Bu akışta da gaz boru merkezinde ilerlemekte ve sıvıyı boru cidarına itmektedir.



Şekil 6.43 İki fazlı akış tipleri ([19])

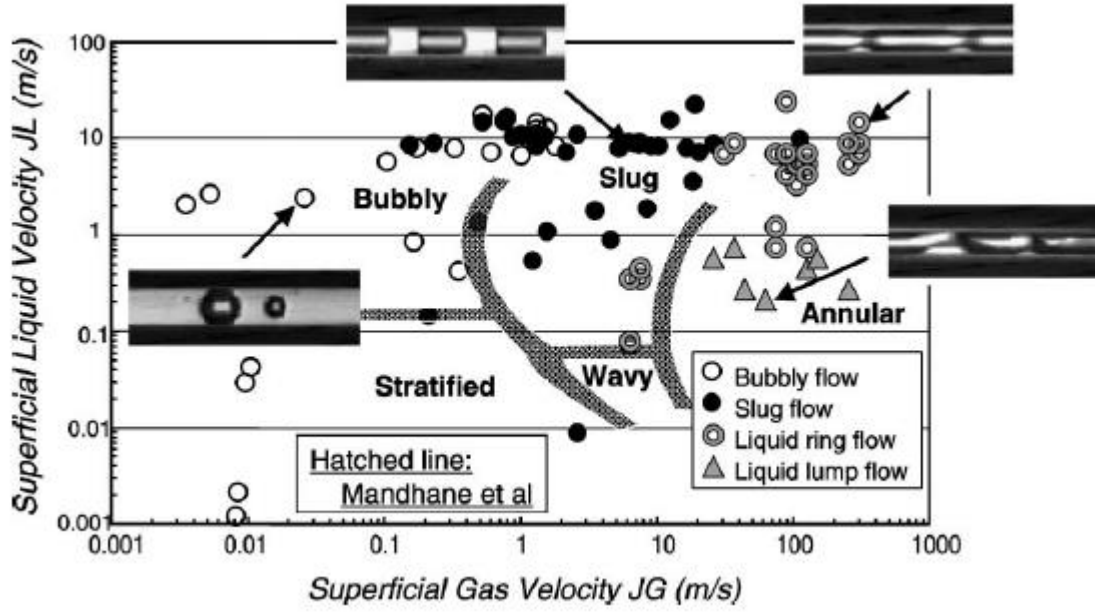
Buhar-su ikilisinin kullanıldığı deneylerde 10mm uzunluğunda ve 50 μ m çapa sahip bir test borusu kullanılmıştır. Ölçümler ön ısıtıcıya verilen ısı girdisi ile değişen düşük sıvı hızında ($J_L = 2,47$ cm/s) yapılmıştır. Şekil 6.44 'de bu deneylere ait gözlemlenen akış tiplerini içeren örnek görüntüler sunulmaktadır.



Şekil 6.44 Buhar-su karışımında iki fazlı akış tipleri ([19])

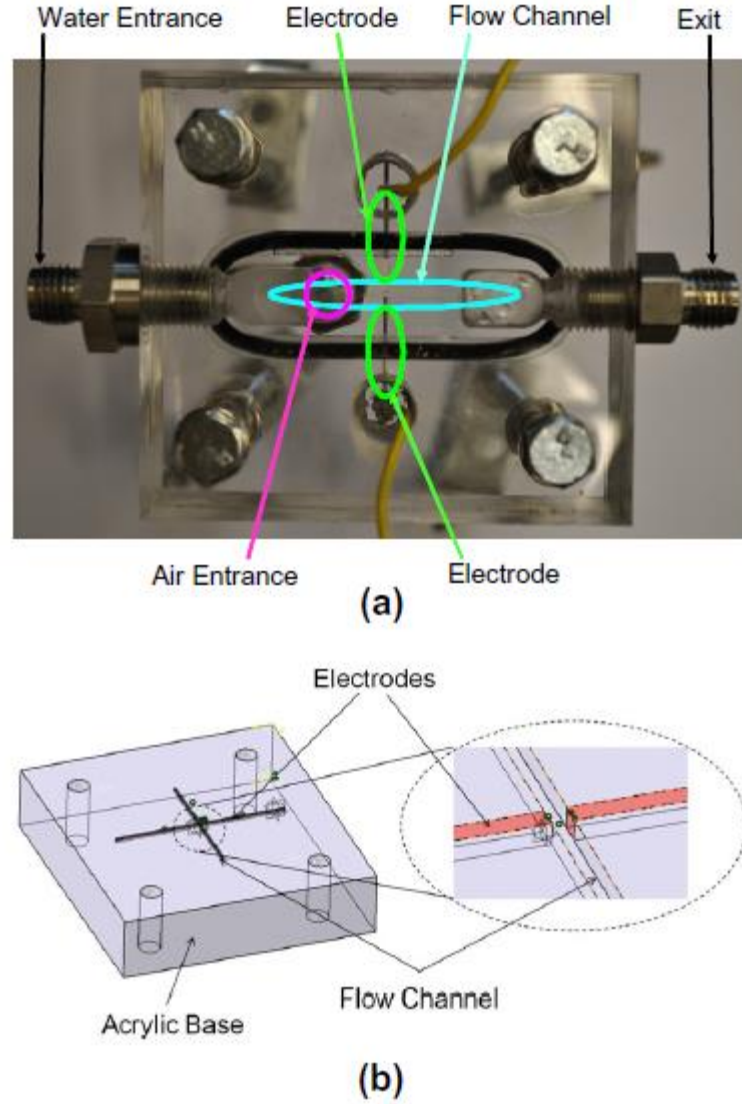
Şekil 6.43 ve Şekil 6.44 ‘de de görüleceği gibi hava-su iki fazlı akış deneyleri ile su-buhar iki fazlı akış deneyleri sonucunda benzer akış tipleri gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu görüntüler ışığında ve yapılan tüm deneyler sonucunda J_G ve J_L değerlerine göre Şekil 6.45 ‘de sunulan akış haritası oluşturulmuştur.



Şekil 6.45 İki fazlı akış haritası ([19])

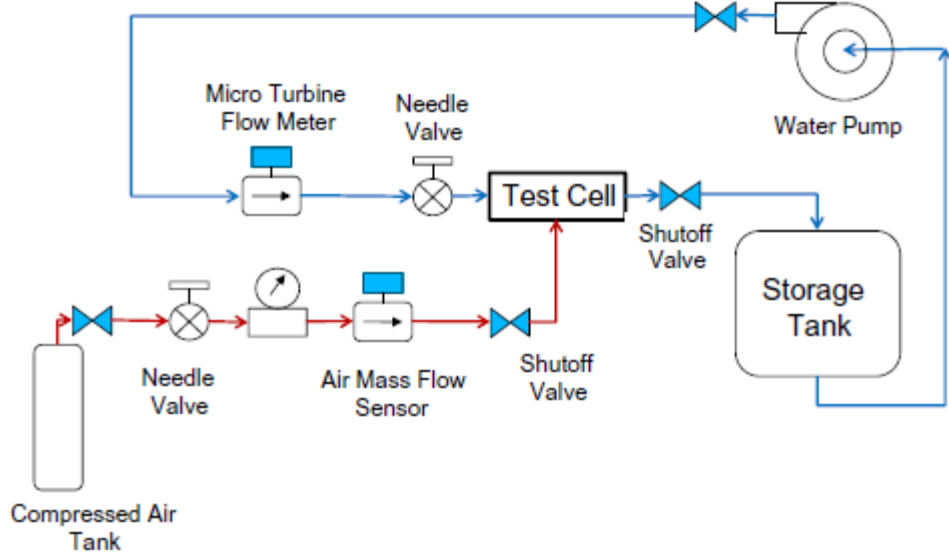
Sidhart Paranjape, Susan N. Ritchey, Suresh V. Garimella [20] 0,78x0,78 mm ölçülerinde 50,8mm uzunluğunda kare kesitli bir akış kanalını test bölgesi olarak akış görselleme ile akış rejimini belirleme ve elektrik empedans yöntemi ile de boşluk oranı değerini belirleme çalışmaları yapmışlardır. Hava-Su karışımı iki fazlı akış olarak çalışmalarda kullanılmıştır. Test düzeneğinde akış kanalı saydam tutulup akış görsellemeye izin vermesi sağlanmış ve akrilik bir taban kullanılarak da empedans ölçerlerin ve elektrodların yerleşimine olanak sağlanmıştır. Şekil 6.46 ‘da test düzeneğine ait şematik gösterimler sunulmaktadır.



Şekil 6.46 Empedans ölçer test düzeneği. (a) Test düzeneğine üstten bakış (b) Elektrodların ve akış kanalının yer aldığı taban plakası ([20])

Test düzeneğine hava ve su akışı sağlanması için bir akış döngüsü kurulmuştur. Bu döngüde sıvı akışkan olarak de-iyonize edilmiş su kullanılmış ancak suyun pH değerini 7 'ye yakın tutarken aynı zamanda elektriksel iletkenliğinin artırılması için az miktarda (Her bir litresine 1mg) morfolin ya da amonyum hidroksit eklenmiştir. Su akış çevrimi frekans kontrollü su pompası ve iğne uçlu valf yardımı ile kontrol edilerek sisteme gerekli su akış oranı sağlanabilmektedir. Bir mikro türbin (McMillan Flo-106) yardımı ile su akış oranı 0-200 ml/min aralığında belirlenebilmektedir. Hava akışı ise basıncı regüle edilebilir sıkıştırılmış hava silindirinden sağlanmıştır. Hava akış oranının belirlenmesi ise bir hava kütlesi akış sensörü (Omega FMA6704) ile 0-100

ml/min aralığında sağlanmıştır. Bu sensör ayrıca akış metredeki gazın sıcaklığını ve basıncını belirleme özelliğine de sahiptir. Bahsi edilen bu akış çevrimine ait şematik diyagram Şekil 6.47 'de sunulmaktadır.



Şekil 6.47 Hava-su iki fazlı akış çevrimi ([20])

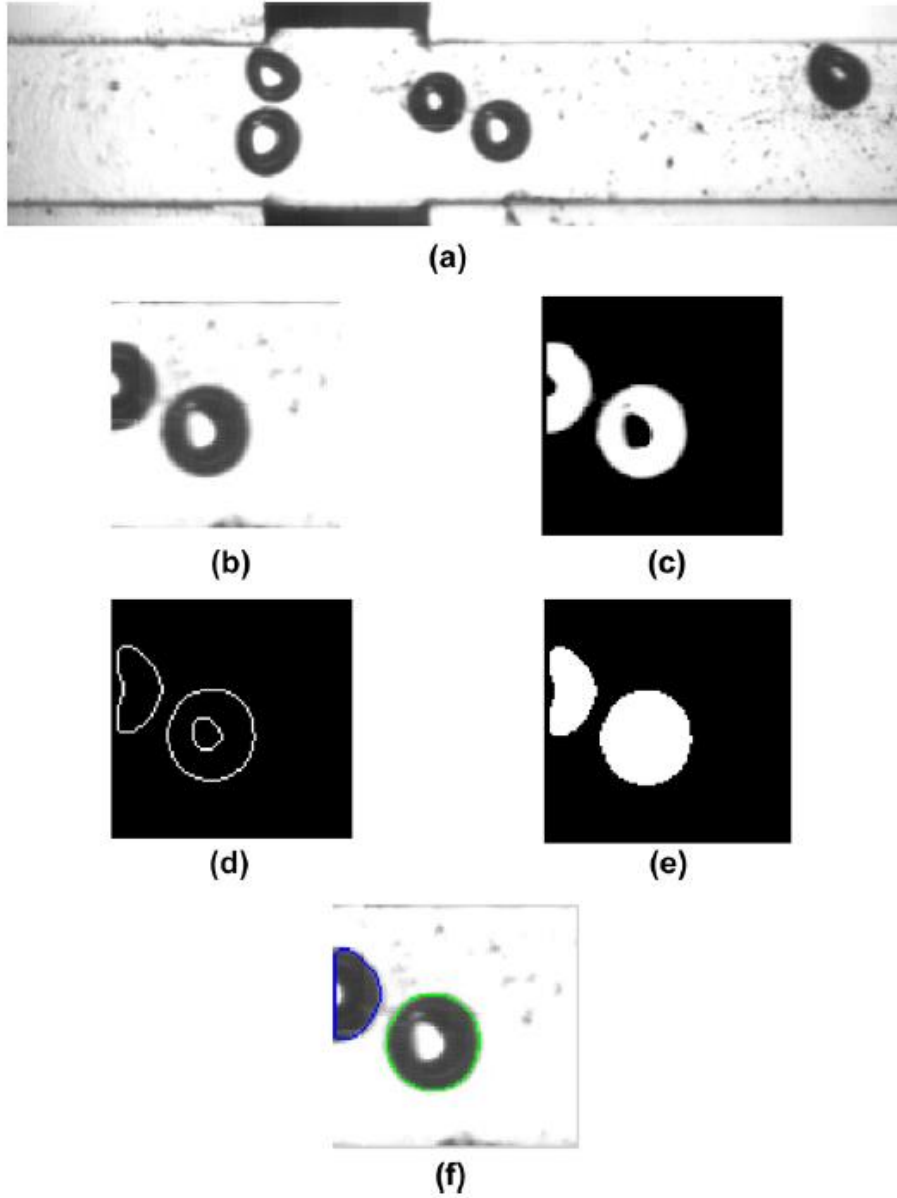
Akış görüntüleme işlemleri için 100X yakınlaştırma yapabilen bir Keyence VH-Z50L lense sahip bir hızlı kamera (Photron Fastcam-Ultima APX) kullanılmıştır. Akış kanalının aydınlatılması için ise ışık kaynağı olarak Henke-Sass Wolf marka bir ışık kaynağı kullanılmıştır. Görüntüleme video kayıtları kullanılarak yapılmış ve her akış rejimi için 4s 'lik video kayıtları oluşturulmuştur. Boşluk oranının belirlenmesi için gerekli görüntüler bu videolardan sağlanmıştır.

Görüntülerden boşluk oranı elde edebilmek için Matlab yazılımında bir görüntü işleme algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma aşağıda belirtilen adımlar üzerine kurulmuştur. Bu adımlar;

1. Görüntülerden akış kanalının dışında kalan verilerin silinmesi.
2. Görüntü arka planındaki gereksiz dataların temizlenmesi.
3. Baloncuk kenarlarının Matlab 'de yer alan Canny algoritması ile belirlenmesi.
4. Işık kaynağından gelen ışınların yansıması ile oluşmuş sahte sınır çizgilerinin kaldırılması.
5. Sivri yada iç bükey sınırların Matlab içerisinde yer alan konveks birleştirme algoritması ile dönüştürülmesi.

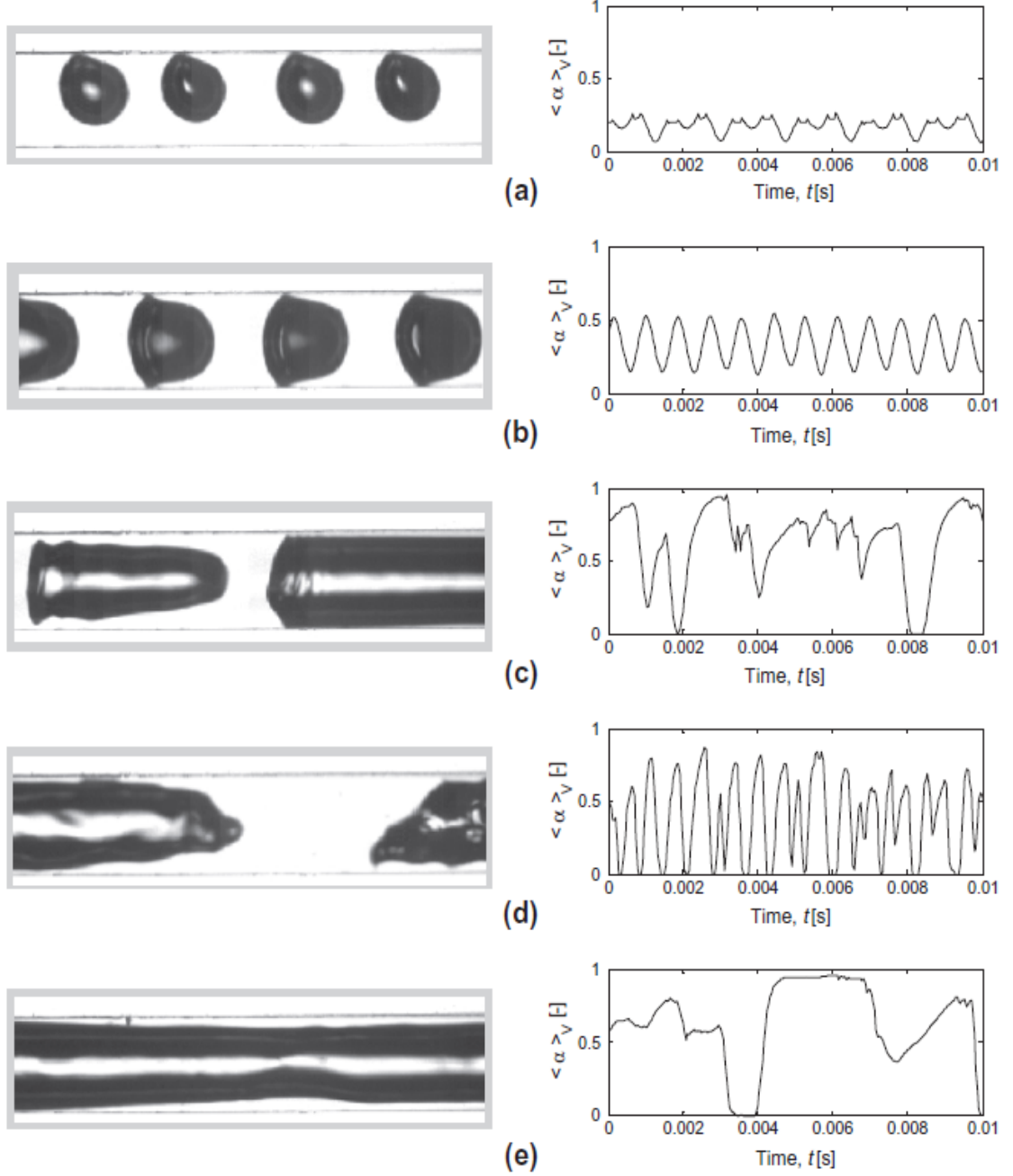
6. Kesit alanından hava ve sıvı alanlarını hesaplayıp, sabit şeklini koruduğu varsayımı ile tahmini hacimsel boşluk oranının belirlenmesi.
7. 1. Adımdan 6. Adıma kadar tüm adımların videodaki tüm kareler için tekrarlanması. Böylece zamana bağlı ortalama boşluk oranı değeri belirlenmektedir.

Şekil 6.48, bu görüntü işleme adımlarına örnek olacak bir görüntü üzerinde yapılan adımlar sunulmaktadır.



Şekil 6.48 Görüntü işleme adımları. (a) Orijinal görüntü (b) 1. Adım (c) 2. Adım (d) 3. Adım (e) 4. Adım (f) 5. Adım ([20])

Bu görüntü işleme algoritması farklı deney şartlarında yapılan her deney için tekrarlanmış ve her deney şartında zaman ile boşluk oranının değişimini gösteren grafikler ve akış rejimleri Şekil 6.49 'da sunulmuştur.



Şekil 6.49 Görüntü işleme ile boşluk oranı elde edilmesi.(a) Baloncuklu akış, $J_G = 0,29$ m/s, $J_L = 0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,20$ (b) Şapka görünlü baloncuklu akış, $J_G = 0,56$ m/s, $J_L = 0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,37$ (c) Slug akış, $J_G = 1,39$ m/s, $J_L = 0,83$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,58$ (d) Türbülanslı churn akış, $J_G = 2,26$ m/s, $J_L = 4,08$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,36$ (e) Uzun slug akış, $J_G = 2,65$ m/s, $J_L = 0,82$ m/s, $\alpha_{v,t} = 0,65$. ([20])

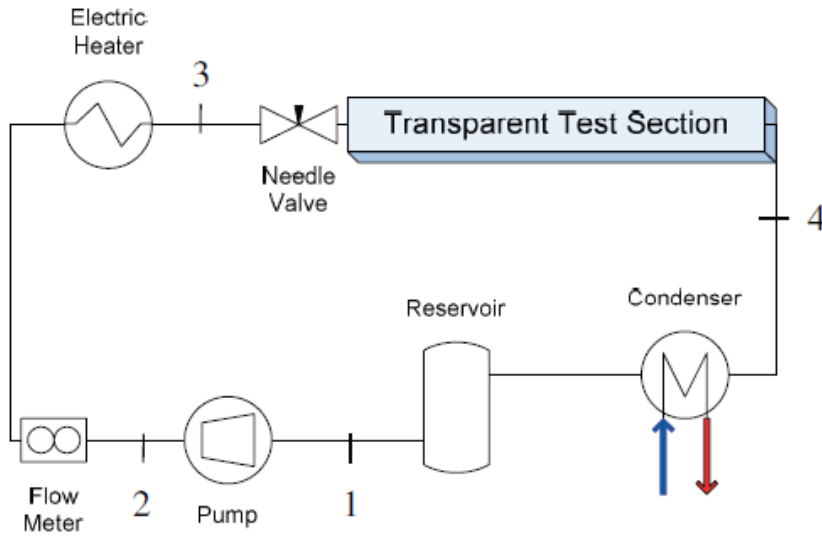
Chad D. Bowers ve Pedrag S. Hrñjak [21] görüntü işleme yöntemi ile boşluk oranı hesaplama çalışmaları yapmıştır. Çalışmalarında saydam 7,2 mm, 8,7 mm ve 15,3mm çaplarında borular içindeki akışı yüksek hızlı kamera yardımı ile görselleştirip, her bir görsel üzerinde “Change Point Analysis” (Nokta değişim analizi) yöntemi ile boşluk oranı hesaplamaları yapılmıştır.

Deney tesisatında R134a akışkanı kullanılmakta olup, adyabatik şartlar altında bu akışkana ait iki fazlı akış incelenmiştir. Sistemde kompresör yerine bir sıvı pompası kullanılmıştır. Pompaya entegre edilmiş değişken frekanslı bir kontrol mekanizması ile kütleli akış oranı kontrol edilebilmiştir.

Akış görüntüleme çalışmalarının yapıldığı kısım 700 mm uzunluğundadır. Sistemde akış görüntüleme bölgesini geçtikten sonra kondensere girerek yoğunlaştırılıp tamamen sıvıya çevrilmektedir. Kondenserden çıkan sıvı sisteme tekrar gönderilmek üzere pompaya girmeden önce bir depoda toplanmaktadır. Böylece pompaya tamamen sıvı fazdaki akışkan verildiğinden emin olunmuştur.

Sistemde ayrıca sıcaklık ve basınçların da ölçülebilmesi adına sıcaklık ölçerler (thermocouples) ve basınç ölçerler (transducers) test bölgesinin başına ve çıkışına konumlandırılmıştır. Yüksek basınç ölçer 0-3,45 MPa aralığında % $\pm 0,10$ hassasiyetle ölçüm alabilirken, alçak basınç ölçer 0-1,38 MPa aralığında ölçüm alabilmektedir.

Şekil 6.50 'de test düzeneğine ilişkin şematik gösterim sunulmaktadır.

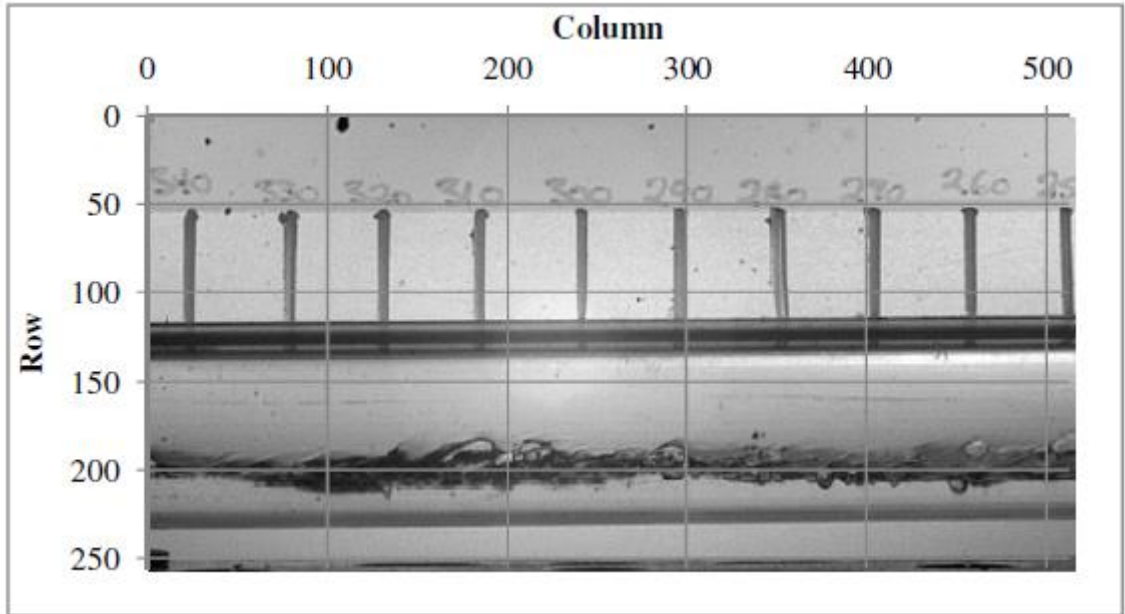


Şekil 6.50 İki fazlı akış geliştirme sistem şematığı ([21])

Deneysel çalışmalarda iki parametre anahtar veri olarak kabul edilmiştir. Bu iki parametre kuruluk derecesi ve kütleli akı değeri'dir. Bu iki parametrenin etkilerinin anlaşılması için ikisi de bağımsız olarak kontrol edilebilir durumda olmuşlardır. Kuruluk derecesi, test bölgesi giriş çıkışındaki basınç ve sıcaklıkların bilinmesi ile belirlenebilmektedir. Bu değer çalışmaları süresince 0,05-0,35 aralığında 0,05 birimlik artırımlar ile değiştirilerek oluşturduğu etki gözlemlenmiştir. Kütleli akı değeri ise 10-35 g/s aralığında 5 g/s 'lik artırımlar ile değiştirilerek incelenmiştir.

Görüntü işleme tekniğinde ilk adım deneylerden elde edilen görüntülerdeki her bir pikselin değerinin belirlenmesidir. Piksel değeri, bir pikselin parlaklık derecesi olarak tanımlanabilir. Kullanılan kamera ve yapılan deneyler sonunda elde edilen görüntüler 8bit özellikteki görüntülerdir. 8 bit özellikteki bir görüntüde piksel değerleri 0 ile 255 değer aralığında olmaktadır. 0 değeri tam/saf siyah rengi, 255 değeri ise tam/saf beyaz rengi temsil etmektedir. Siyah ve beyaz arasında kalan diğer gri renkli pikseller 0 ile 255 arasında bir değer ile değerlendirilir. Bir görüntü piksel değerleri matrixine çevrildiğinde görüntüde koordinatlarına göre her pikselin sahip olduğu piksel değeri sayısal olarak elde edilebilmektedir.

15,3mm çaplı borudan alınmış örnek bir görüntü Şekil 6.51 'de sunulmaktadır.

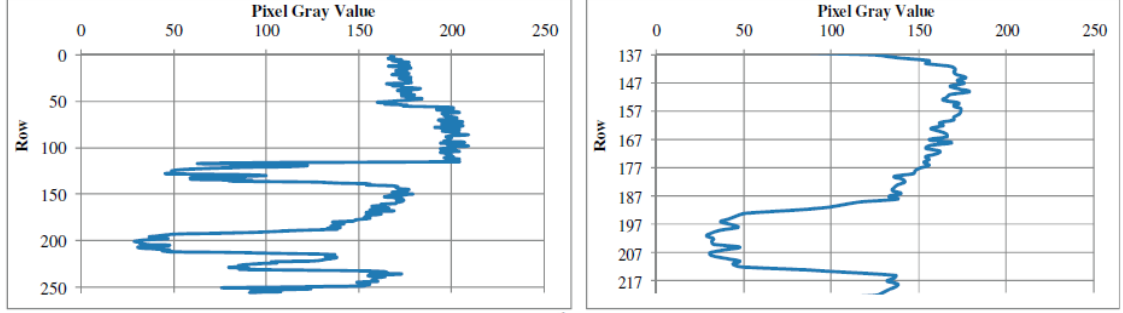


Şekil 6.51 15,3mm çaplı tüpten örnek bir akış görüntüsü ([21])

Şekil 6.51 'de de görülebileceği gibi örneğin 100. Sütun ve yaklaşık 190. Satırdaki

pikselde keskin bir siyah piksele değişim görünmektedir. Bu piksel sıvı-gaz filminin o sütundaki üst noktasını belirlemektedir.

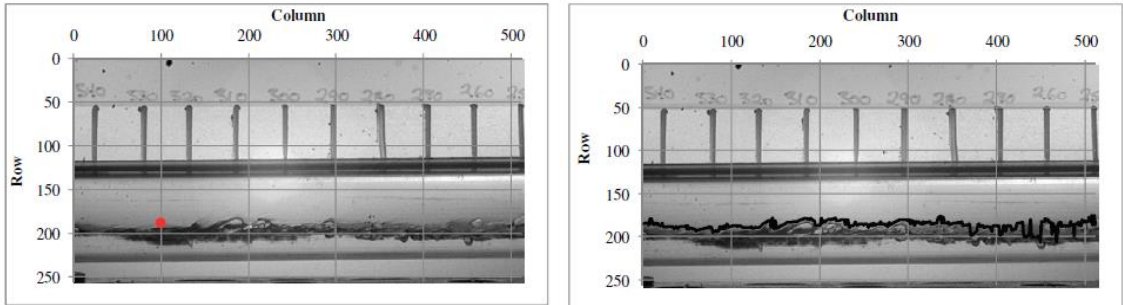
Şekil 6.51 'de verilen örnek görüntünün 100. Sütununa ait piksel değerler çizgi profili Şekil 6.52 'de sunulmaktadır.



Şekil 6.52 Şekil 6.51'deki örnek görüntüye ait 100. Sütundaki piksellere ait gri değer çizgisi ([21])

Piksel değerlerindeki ani değişimler, daha aydınlık bir değerden daha koyu bir değere ani geçiş olan noktalar sıvı-buhar filmi üzerindeki noktaları temsil etmektedirler. Bu sebeple tüm pikseller için değer analizleri yapılp anlık siyaha yakın piksel değeri değişimleri belirlenip bu noktalar işaretlenerek toplamda sıvı gaz filminin elde edilmesi mümkün kılınmıştır.

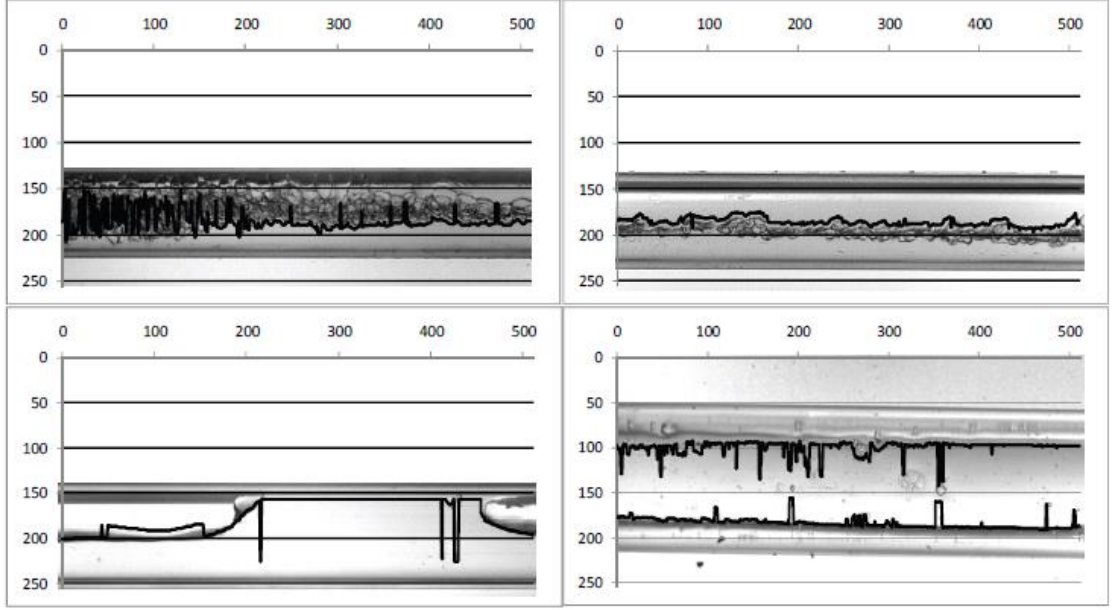
Nokta değişim analizi (Change point analysis) yöntemi ile Şekil 6.53 'de sol taraftaki görüntüde örnek görüntü üzerinde 100. Sütunda elde edilen düşük değerli (siyah tonlu) piksel kırmızı bir nokta ile belirlenmiştir. Bu belirleme işleminin tüm satır ve sütunların incelenmesine göre tekrarlandığında sağ tarafta görünen sıvı-buhar filminin büyük oranda belirlendiği görüntü elde edilebilmiştir.



Şekil 6.53 İşlenmiş resim üzerinde sıvı-gaz filminin nokta değişim analizi yöntemi ile belirlenmesi ([21])

Nokta değişim analizinin uygulandığı farklı 4 akış tipine ait 4 fotoğrafa ilişkin örnek

görüntüler Şekil 6.54 'de sunulmaktadır. Bu 4 örnekten 1 tanesi iki fazlı akışta faz ayrımının tamamlanmadığı bir akım tipine örnek olurken, diğer 3 tanesi faz ayrımının tamamen gerçekleştiği akış tiplerine örnek olmaktadır.



Şekil 6.54 Nokta değişim analizi ile belirlenmiş sıvı-buhar filmi örnekleri ([21])

Şekil 6.54 'de sunulan görüntülerden sağ üst kısımda bulunan görüntü sıvı ve gaz fazın birbirinden belirgin bir şekilde ayrıldığı akış üzerinde nokta değişim analizi yönteminin uygulanması ile elde edilen sıvı-buhar filmini göstermektedir. Burada sonucun gayet başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak sol üst kısımda bulunan görüntü sıvı-buhar filminin net olarak belli olmadığı bir görüntüde uygulanan nokta değişim analizi yönteminin sonucunda elde edilen sıvı-buhar filmi datasını gösterirken bu form sağ üstteki akışın bir önceki formu olmasına rağmen belirsiz sıvı-buhar filmi yapısından dolayı analizi zor olmuştur. Sol altta ve sağ alttaki görüntüler sırasıyla kesikli akış ve halka akış üzerinde nokta değişim analizinin uygulanması sonucu elde edilen verileri göstermektedir. Alttaki resimlerden de açıkça görülmüştür ki katmanlı olmayan akış modellerinde nokta değişim analizi yöntemi mükemmel bir yöntem olamamıştır.

Sıvı-buhar filminin belirlenmesinin ardından sıra boşluk oranı değerinin hesaplanmasına gelmektedir. Elde edilen görüntüler 2 boyutlu görüntüler olması sebebi ile ve de yandan kesitte dikdörtgen bir görüntü alınmasına rağmen aslında dairesel kesitli bir akış kanalına sahip olunması sebebi doğru boşluk oranı değerine

sahip olmak adına bazı hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 6.55 'de bu hesaplamalarda kullanılan geometrik açıklama ve denklemler sunulmaktadır. Belirtilen bu hesaplamalara göre Şekil 6.51 'deki görüntü için elde edilen boşluk oranı değerleri Şekil 6.56 'da sunulmaktadır.

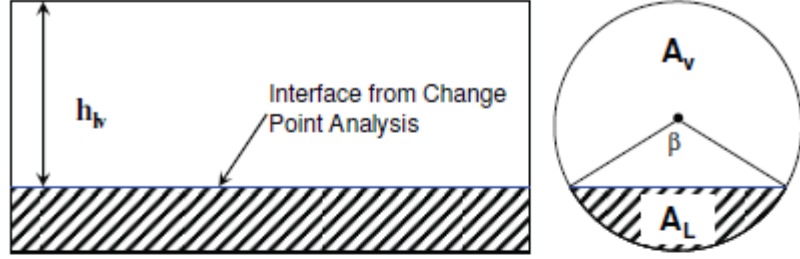


Figure 8: Schematic for Void Fraction Estimation

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{D - h_v}{(D/2)} \right)$$

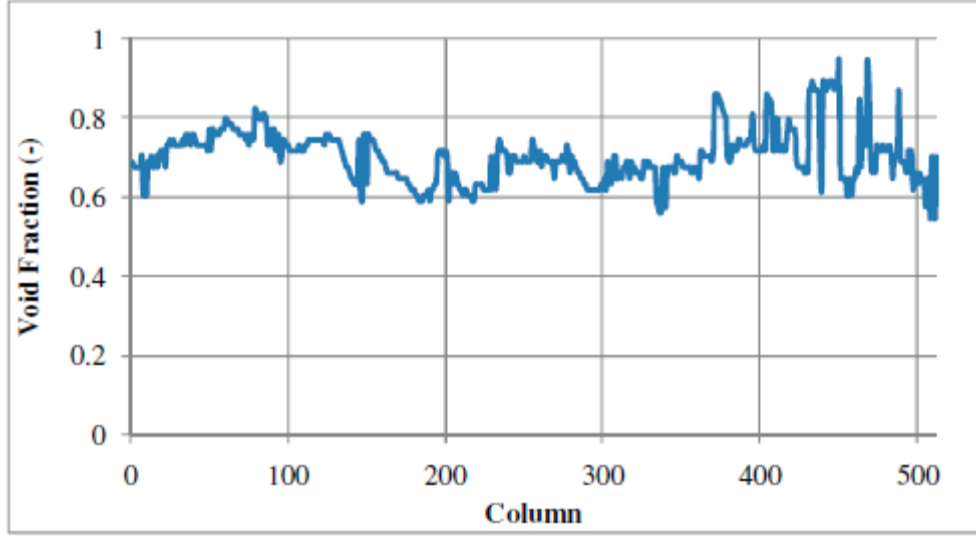
$$A_L = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\pi}{180} \beta - \sin \beta \right)$$

$$A_T = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_v = A_T - A_L$$

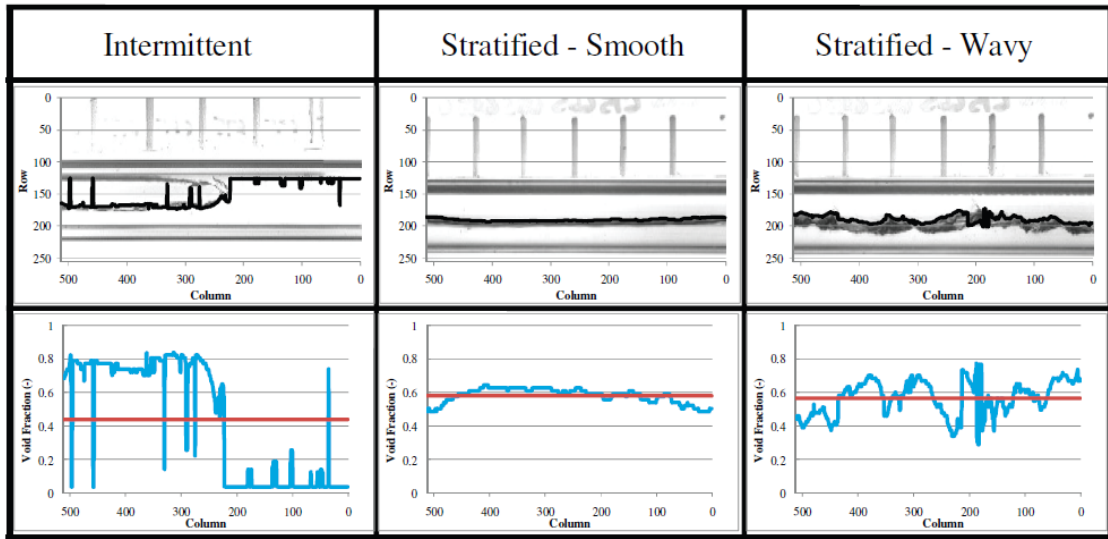
$$\alpha = \frac{A_v}{A_T}$$

Şekil 6.55 Boşluk oranı hesabı için iyileştirme denklemleri ([21])



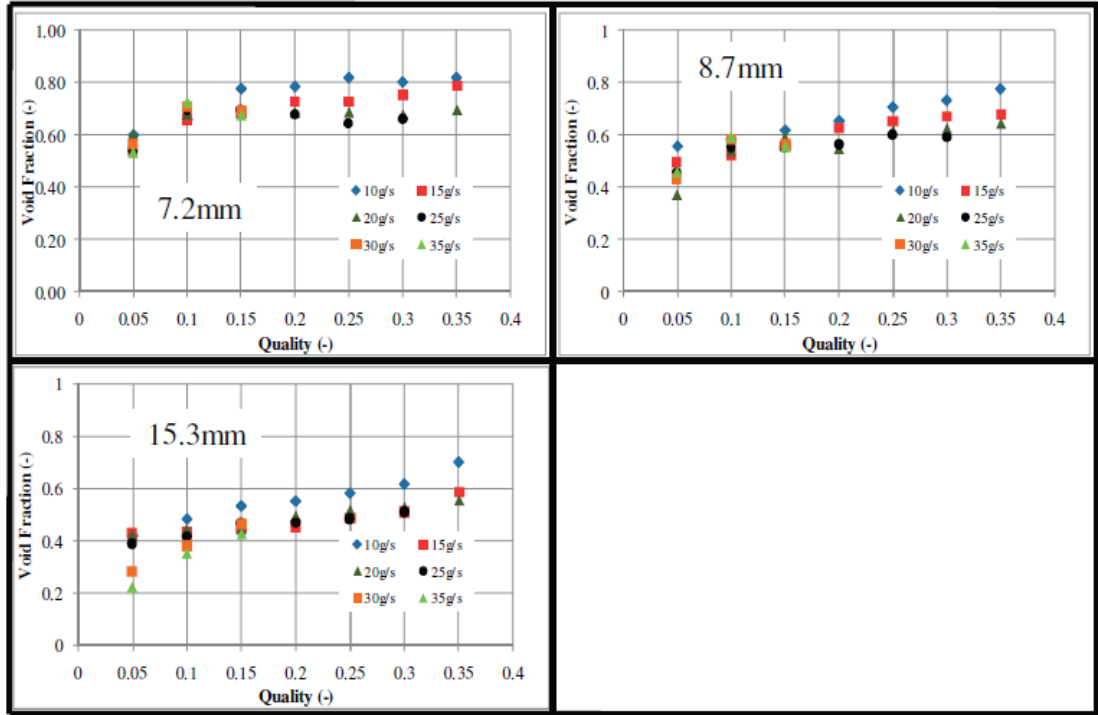
Şekil 6.56 Şekil 6.51’de sunulan örnek resim için tüm sütunlardaki boşluk oranı değerleri ([21])

İncelenen akım tiplerinden 3 ‘ü için (Kesikli akış, Katmanlı akış, Katmanlı-dalgalı akış) Şekil 6.57 ’de hem belirlenen sıvı-gaz filmi gösterimleri hem de her kolon için ve bir de toplam ortalama boşluk oranı değerleri sunulmaktadır.

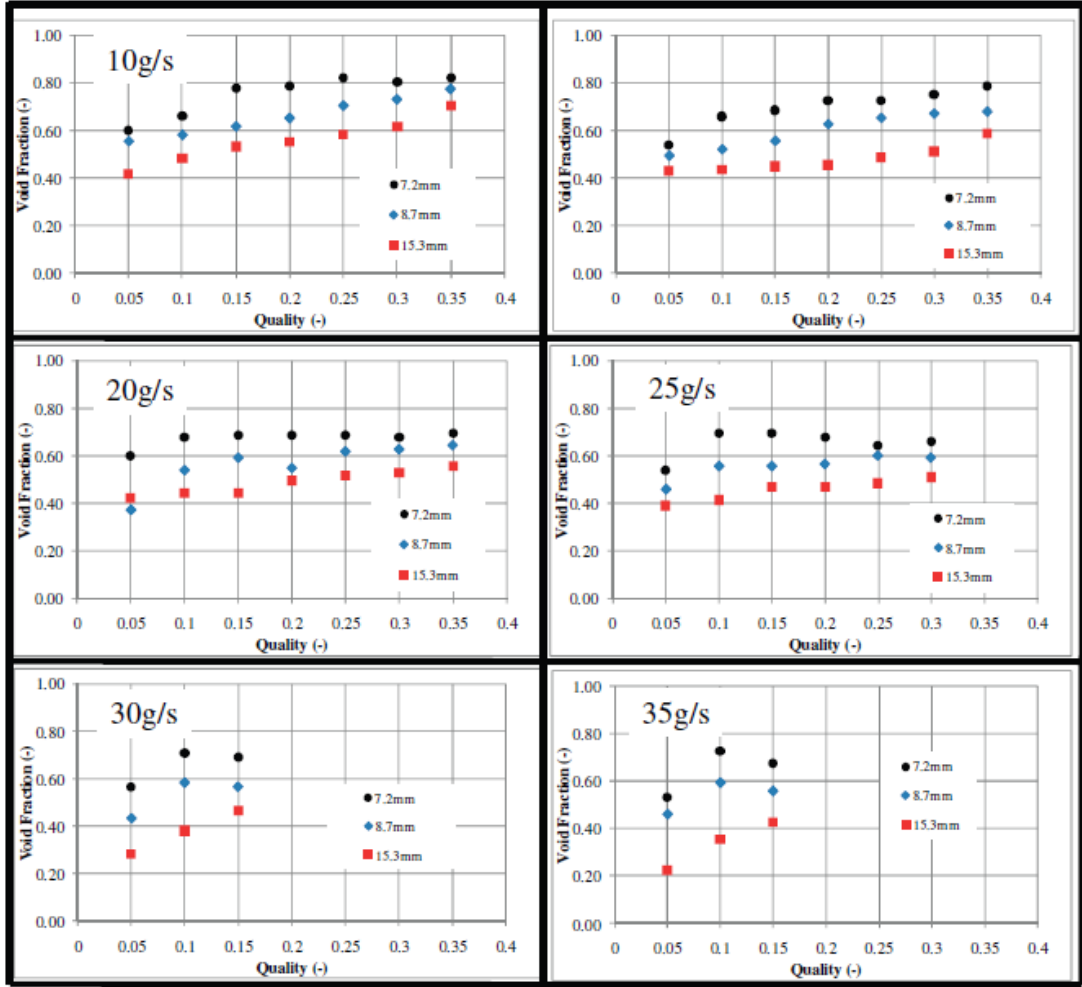


Şekil 6.57 3 Akış rejimi için belirlenmiş sıvı-buhar filmi örnekleri, lokal boşluk oranı değerleri ve ortalama boşluk oranı değerleri ([21])

Çalışmalar farklı boru çaplarındaki akışlarda farklı kütle akı değerleri için tekrarlanmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen boşluk oranı değerlerinin boru çapı ile olan etkileşimi ise Şekil 6.58 ’de, kütle akısı ile olan etkileşimi Şekil 6.59 ‘de sunulmuştur.



Şekil 6.58 Farklı boru çaplarında elde edilen boşluk oranı değerleri ([21])



Şekil 6.59 Farklı kütleli akı değerlerinde boşluk oranı değerleri ([21])

Şekil 6.58 ve Şekil 6.59 'de sunulan grafiklere göre kütleli akının ve boru çapındaki artışın boşluk oranı değerlerinde ters etki ile azaltıcı etki yaptığı belirtilmiştir. Ayrıca boşluk oranı değerleri üzerinde boru çapındaki değişimin kütleli akıdaki değişimden daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

6.5 Deneysel çalışma için yapılan çekimler

Üzerinde çalışılan bu tekniğin temelini teşkil eden görüntüleme işlemleri Phantom Miro Ex4 hızlı kamera ve Sigma 180 mm macro lens kullanılarak 512*256 piksel çözünürlükte görüntüleme işlemleri ile yapılmıştır. Görüntüleme esnasında net akış görüntüsü alabilmek adına bir ışık kaynağının gerekliliği ise yadsınamaz bir gerçektir. Ancak sıradan bir ışık kaynağı kullanmanın, ışığın akış üzerinde olumsuz bir ısı etkisi

oluşturacağı gerçeği ile özel olarak üretilen soğuk ışık kaynaklarından Dodotec marka soğuk ışık kaynağı kullanılmıştır.

Akış görüntüleme çalışmaları birkaç farklı kamera, ışık kaynağı konumlandırması ile farklı teknikler kullanılarak geçirilen bir süreç olmuştur. Görüntü işleme çalışmalarında kullanılabilir en iyi datayı elde etmek için birçok farklı yöntem denenmiştir. Bu yapılan çalışmalardan başlıcaları sırası ile aşağıda anlatılmıştır.

1.Durum

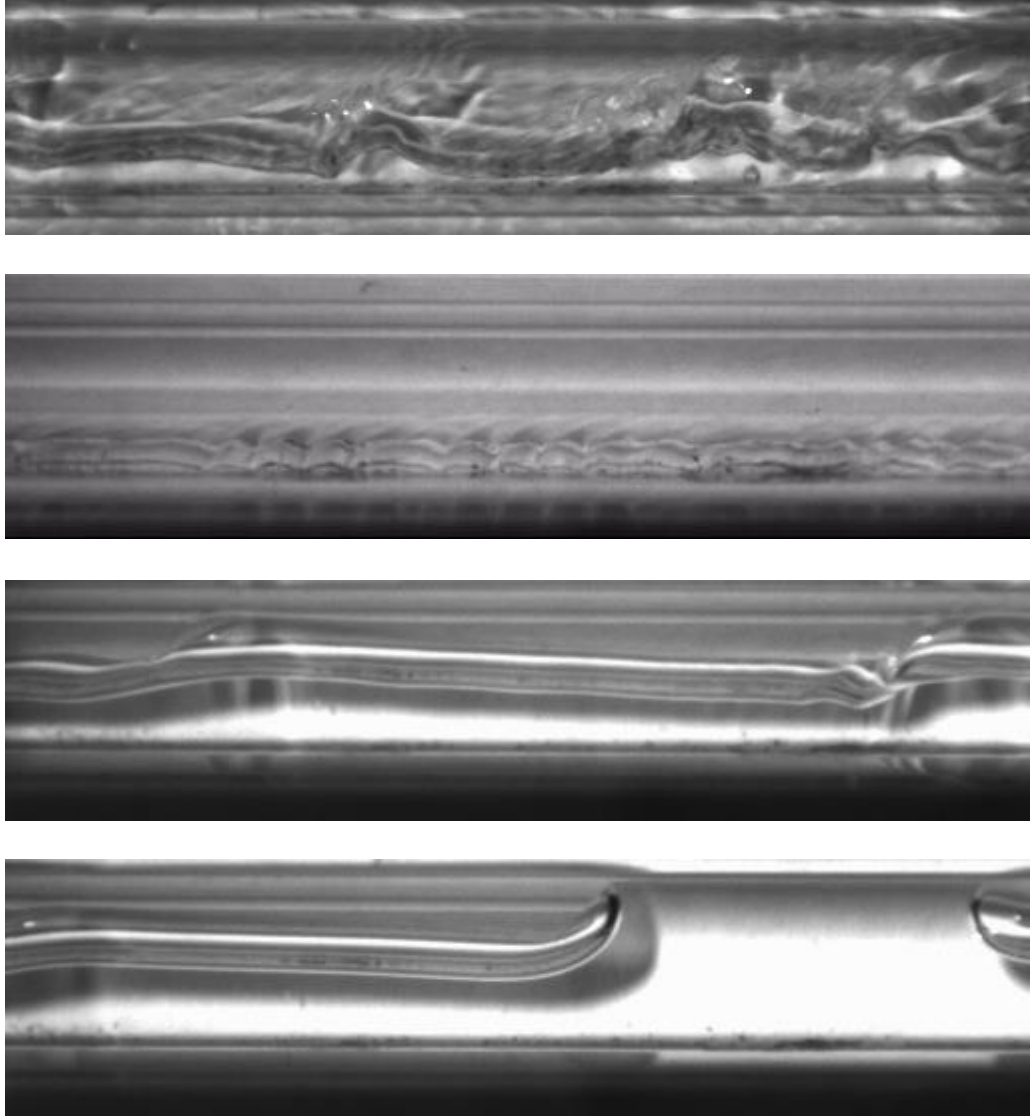
Hızlı kamera ve ışık aynı yönde ve arka yüzey beyaz fon yerleştirilerek ilk deneme çekimleri yapılmıştır. Şekil 6.60 'da görüleceği üzere yapılan çekimlerde borunun iç yüzeyi etraftan gelen yansımalar nedeni ile tam olarak belirlenememektedir. Resimler üzerinde görülen düzgün hat ise cam boruların mukavemetini sağlayan saplamaların gölgesi olup sanki boru cidarı imajı vererek göz yanıltmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.60 Işığın kamera ile aynı yönde yerleştirilmesinin fotoğrafı

Düşük kuruluk derecesinde yapılan çekimlerde saplamaların gölgeleri boru içinin tamamen sıvı ile dolmasından dolayı yok olmaktadır. Işığın pozisyonunun karşıdan

olduğu ve kuruluk derecesinde küçük olduğu bu durum için yapılan çekimlerde buhar habbeciklerinin gölgeleri giderilememiştir. Çekimler ile ilgili fotoğraflar Şekil 6.61 'de gösterilmiştir.

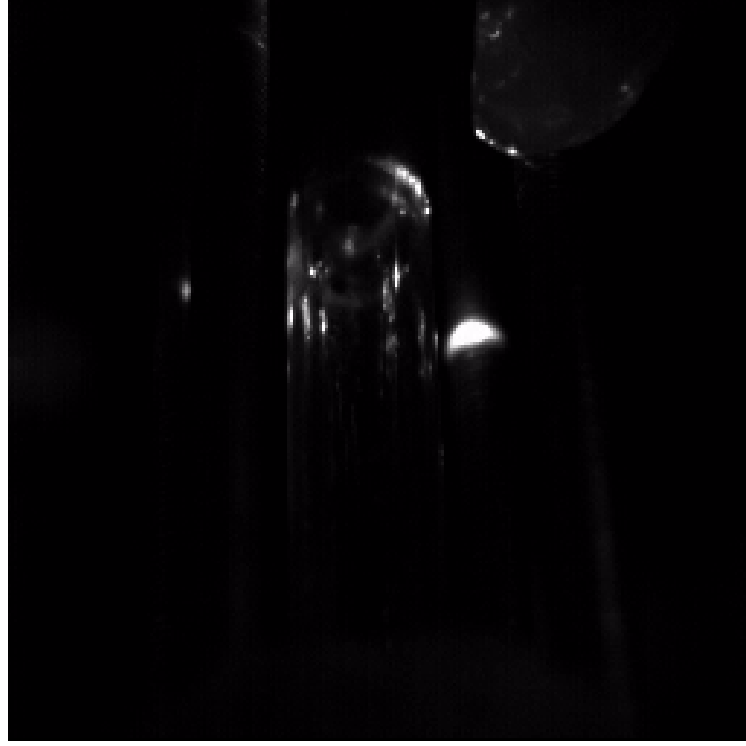


Şekil 6.61 Işık ve kamera aynı yönde ve arka yüzey beyaz fon ile kaplı

2.Durum

Literatürde yapılan görsel çekimler ile ilgili çalışmalardan birinde kameranın 40°'lik eğimli yerleştirilmesi ile yapılan çekimler yukarıda anlatılmıştı. 2. durumda hızlı kamera cam boruyu 40° 'lik bir açı ile görecektir şekilde yerleştirilmiş ve laser sheet

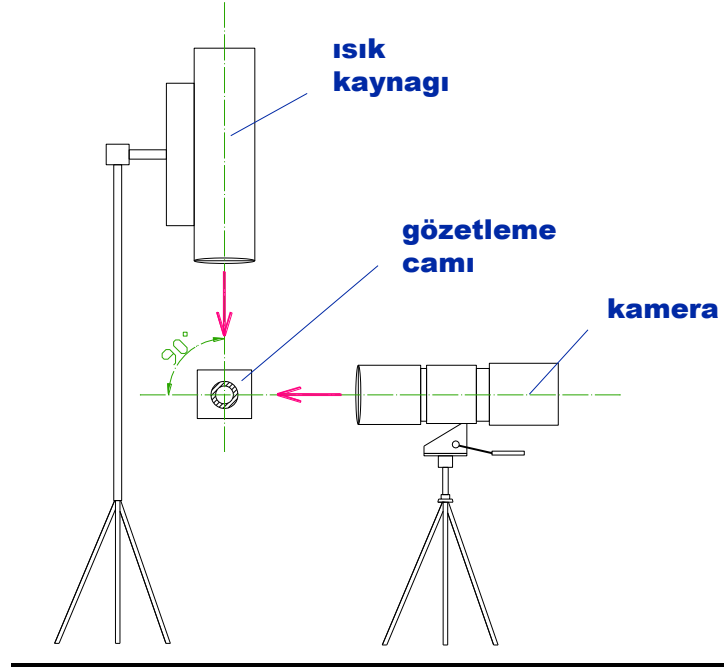
oluşturularak çekimler yapılmıştır. Çekimler ile ilgili fotoğraf görüntüsü Şekil 6.62 'de görülmektedir. Yapılan çekimlerde akım görüntülenebilse bile film kalınlığının tespit edilmesine yönelik çalışmanın yapılmasının zor olduğu belirlenmiştir.



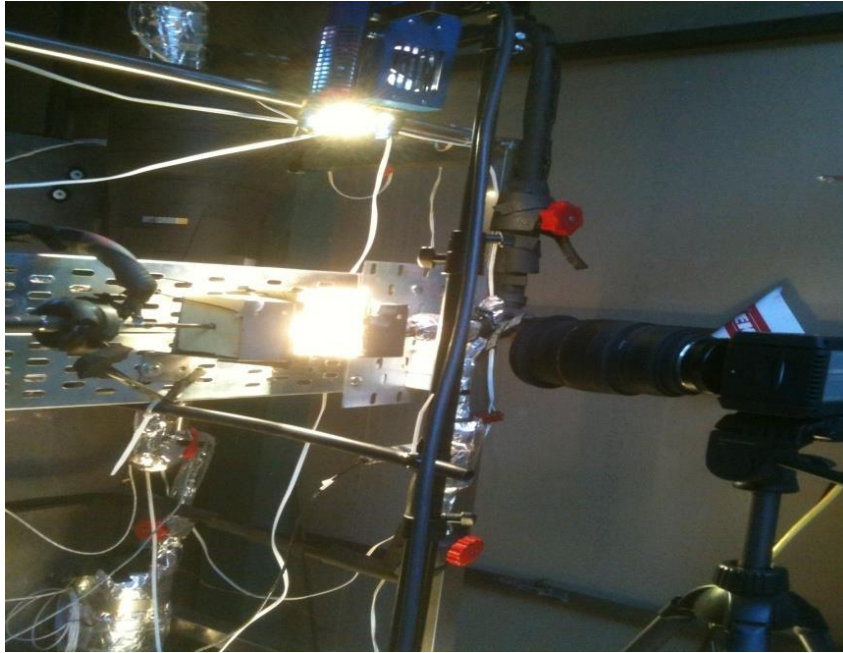
Şekil 6.62 Kameranın 40°'lik açı ile yerleştirildiği ve laser sheet oluşturularak cam borunun aydınlatıldığı durumda yapılan çekim

3.Durum

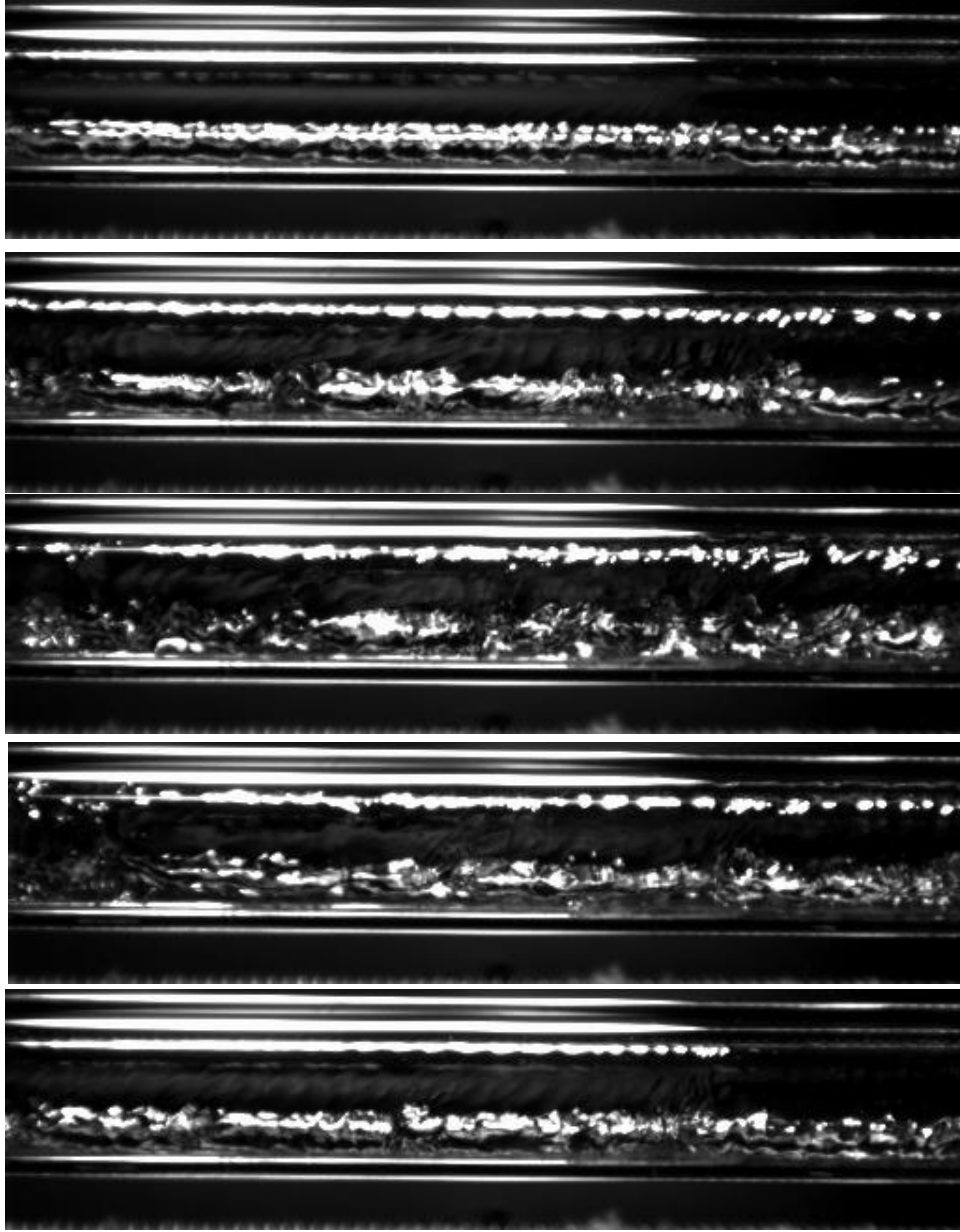
Işık kameraya 90° 'lik açı ile şekil Şekil 6.63 'te görüldüğü gibi yerleştirilerek çekimler yapıldı. 4000 kare/s'de yapılan çekimlere ait görüntüler şekil Şekil 6.65 'te verilmiştir.



Şekil 6.63 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin şematik çizimi



Şekil 6.64 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin fotoğrafı



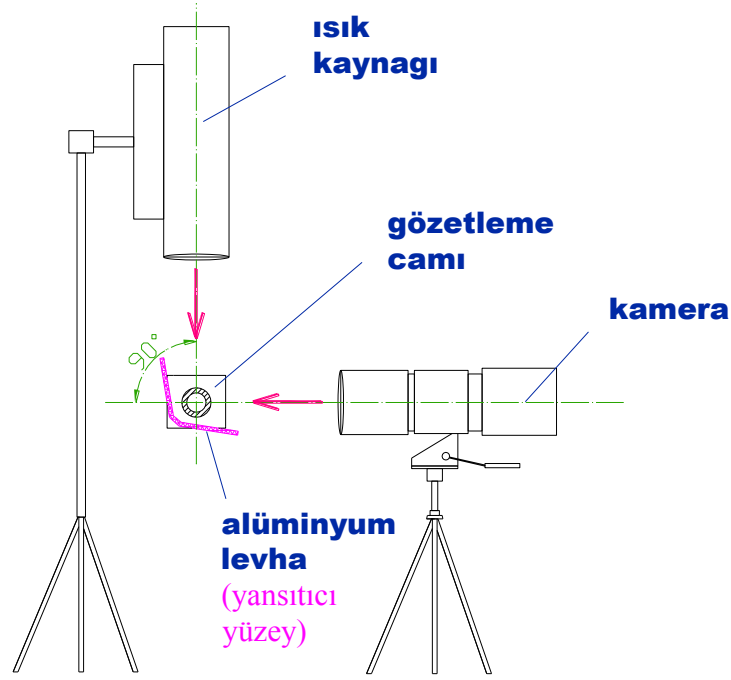
Şekil 6.65 Işığın kameraya 90° 'lik açı ile yerleştirilmesi halinde çekilen resimler

Yapılan çekimlerde cam borunun etrafında herhangi yansıtıcı yüzey bulunmamaktadır. Bu durumda yapılan çekimlerde yukardan gelen ışığın camın cidarında ve suyun yüzeyinde uğradığı kırılmalardan dolayı parlamalar meydana gelmiştir. Bu da boru içindeki film kalınlığının belirlenmesinde olumsuz etki yapmaktadır.

4.durum

Işık kameraya 90° 'lik açı ile Şekil 6.66 'da görüldüğü gibi yerleştirilerek çekimler yapılmıştır. 4000 kare/s'de yapılan çekimler sırasında cam yüzeyinin arka tarafına

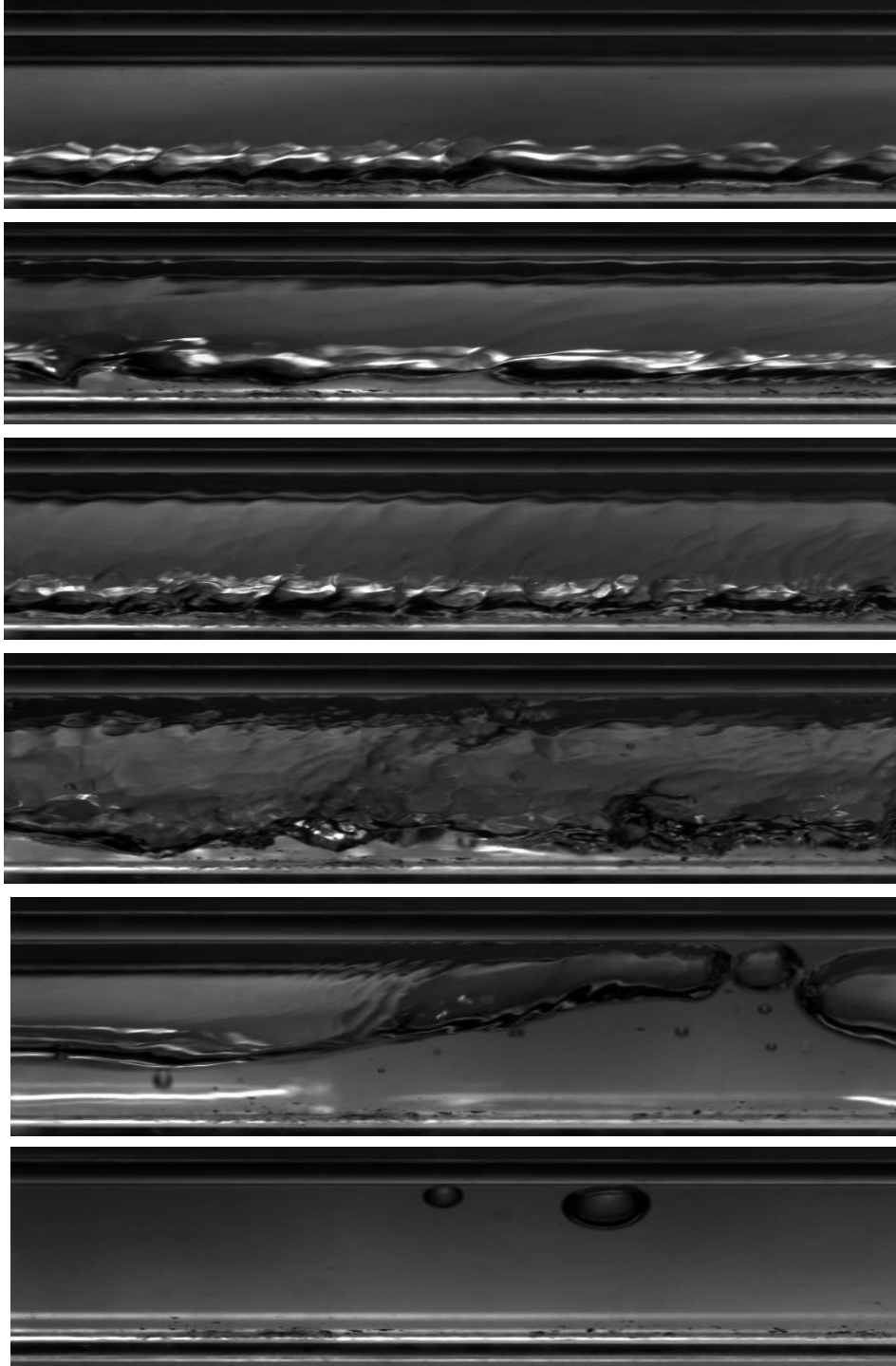
alüminyum folyodan bir fon yerleştirilerek ışığın homojen bir şekilde yayılması amaçlandı. Çekimlere ait görüntüler Şekil 6.67 'de verilmiştir.



Şekil 6.66 Işık kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesinin şematik şekli

Yapılan çekimlerden de görüleceği üzere boru iç ve dış çapı net olarak tespit edilebilmekte ve akımın tipi belirlenebilmektedir. Boruyu tutan saplamaların yansımaları da azaltılmıştır. Işık yerleşimi ve çekilen resimler kendisi Dedotec firmasının sahibi ve profesyonel ışıklandırma ve çekim işleri ile uğraşan Bay Dedo Weigert'e gönderilmiş ve çekimler konusunda yorumları beklenmektedir. Kendisinden gerekirse ek ışıklandırma ve çekim parametreleri konusunda yardım alınacaktır. Ancak mevcut çekimlerin de tatminkâr sonuçlar verdiği görülmektedir. Literatürdeki çekimlerle karşılaştırıldığında oldukça fazla detay yakalanmıştır ve başarılı çekimler elde edilmiştir.

Çekilen resimlerin analizleri için MATLAB ortamında çalışmalar devam edip bu dönemde farklı alternatifler de araştırılmıştır. IMECE 2010 'da Vancouver 'da TEMA firması ile görüşmeler yapılmıştır. Piyasada uygun bütçeli yazılım araştırması da devam etmektedir.



Şekil 6.67 Işığın kameraya 90°'lik açı ile yerleştirilmesi halinde çekilen resimler

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yıldız Teknik Üniversitesi Isı ve Proses Tekniği ABD 'nda kurulan ve yukarıda detayları verilen deney düzeneğinde R600a soğutucu akışkanın yatay konumdaki 4 mm iç çapa sahip dairesel bir boru içerisindeki geçişine dayalı deneysel çalışmalar yapılmıştır.

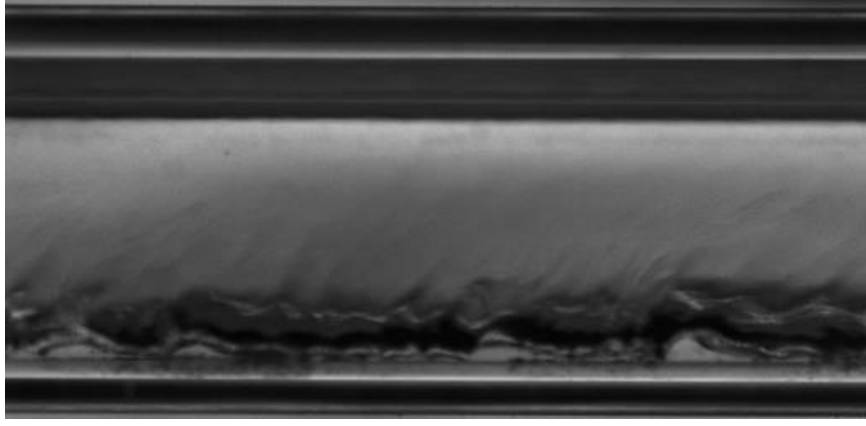
Deneysel çalışmalar sırasında slow motion kamera kullanılarak elde edilen görüntüler detayları daha önce verilmiş olan Matlab yazılımında işlenerek deneylerin yapıldığı şartlardaki boşluk oranı tespitleri yapılmıştır. Tespit edilen bu değerler önce farklı zamanlarda aynı şartlandırma altında yapılan 2 farklı deney için karşılaştırılarak deney tesisatının güvenilirliği ve de deneylerin tekrarlanabilirliği üzerine doğruluk analizleri yapılmıştır. Daha sonra tespit edilen boşluk oranı değerleri literatürde yer alan diğer korelasyonlarla karşılaştırılarak hata analizleri yapılmıştır.

7.1 Deney Tesisatının Güvenilirliği ve Deneylerin Tekrarlanabilirliği

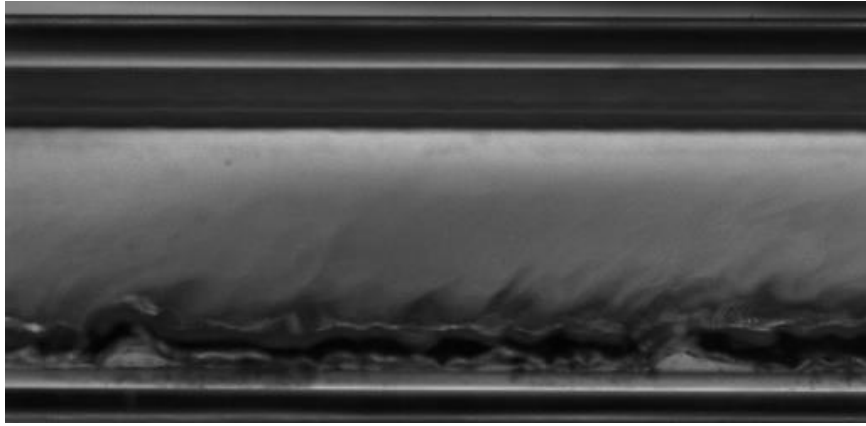
Deneysel çalışmalar, $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ değeri sabit tutularak G (kütleli akı) ve x (kuruluk derecesi) değerlerinin değiştirilmesi ile farklı şartlar oluşturularak yapılmıştır. Yapılan her deney için 100 adet .bmp uzantılı görüntü kaydedilerek Matlab yazılımında işlenmiş ve boşluk oranı değerleri tespiti yapılmıştır. Farklı zamanlarda deney tesisatında soğutucu akışkan için aynı G ve x değerleri sağlanarak iki deney sonucunda elde edilen boşluk oranı değerleri tespit edilmiştir. Burada amaç tesisatın soğutucu akışkan şartlandırmadaki başarısının, elde edilen görüntülerin benzerliğinin ve de kullanılan Matlab yazılımının görüntü işleme başarısının ne derece iyi olduğunun

belirlenmesidir.

Öncelikle 2 farklı deney için elde edilen görüntülerin benzerliğine dikkat edilmiştir. Bu benzerlik göz ile kontrol edilmiş ve aynı şartlara getirildiğinde görüntülerin aynı karakteristiklerde olduğu ve deneylerin tekrarlanabilir olduğu görülmüştür.



Şekil 7.1 Deney 1 çalışmasında $G: 81,549 \text{ kg/m}^2\text{sn}$ ve $x: 0,907$ değerleri için elde edilen akış görüntüsü



Şekil 7.2 Deney 7 çalışmasında $G: 80,43 \text{ kg/m}^2\text{sn}$ ve $x: 0,932$ değerleri için elde edilen akış görüntüsü

Yukarıda iki farklı deneyde (Deney 1 ve Deney 7) elde edilen görüntülerden birer tane örnek görüntü verilmiştir. Bu görüntülerden de anlaşılıyor ki her iki deneyde de akış rejimleri çok benzer hatta neredeyse aynıdır. Bu görüntülere bakılarak deneylerin tekrarlanabilir olduğunu ve deney tesisatının şartlandırma özelliklerinin gayet iyi seviyede olduğunu söylenebilir.

Göz ile uyumluluğu görülen bu görüntülerin hem daha detaylı benzerliklerinin kanıtlanabilmesi hem de hazırlanmış olan Matlab yazılımının güvenilirliğinin test edilmesi açısından bu görüntülerin Matlab ile işlenmesi gerekmektedir.

Bu iki deney gibi çalışmalar sırasında Deney 3 ile Deney 9, Deney 4 ile Deney 10 çalışmaları da birbirleri ile aynı şartlardaki çalışmalar olup tüm bu deneylere ait görüntüler Matlab ile işlenerek her deney için boşluk oranı tespiti yapılmıştır.

Çizelge 7.1 Benzer karakteristiklerdeki deneyler için hesaplanan boşluk oranı değerleri

DENEYLER	G kg/m ² -sn	x	MATLAB ile boşluk oranı değerleri
7	80,43	0,932	0,9864
1	81,549	0,907	0,9840
3	101,33	0,731	0,9741
9	102,26	0,733	0,9623
4	121,54	0,61	0,9399
10	122,04	0,616	0,9443

Yukarıdaki çizelgede de görüldüğü gibi benzer G ve x değerlerine sahip deneylerde birbirine yakın boşluk oranı değerleri hesaplanabilmektedir. Bu durum bize kullanılan Matlab yazılımının da güvenilir olduğunu göstermektedir.

7.2 Tespit Edilen Değerlerin Literatürde Yer Alan Mevcut Korelasyonlar İle Karşılaştırılması

Kendi içerisinde deneyler arasında yapılan karşılaştırmalarda deneylerin ve tespitlerin tekrarlanabilir olduğu görülmüştü. Fakat bu bir deneyin doğruluğunun gösterilmesi için tek başına yeterli değildir. Görüntü işleme ile yapılan boşluk oranı tespitlerinin mevcut korelasyonlar ile mukayese edilerek hata analizlerinin yapılması da gereklidir.

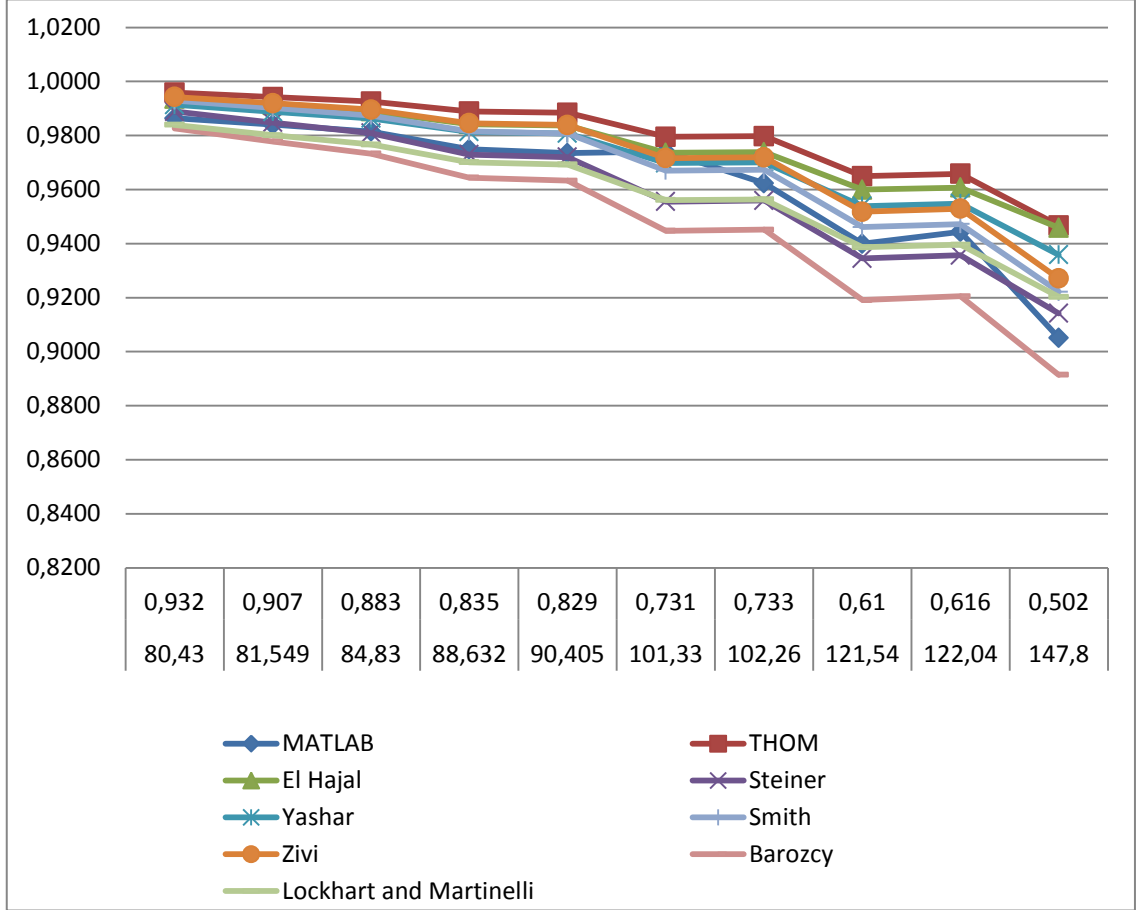
Literatürdeki mevcut korelasyonlar ve bu korelasyonlara ait hesap yöntemleri genel olarak daha önceki bölümlerde belirtilmişti. MS Office Excel 2007 programı kullanılarak her deney şartında korelasyonların verdiği hesap yöntemlerine göre

boşluk oranı tespitleri yapılmış ve bu değerler bir tablo halinde aşağıda belirtilmiştir.

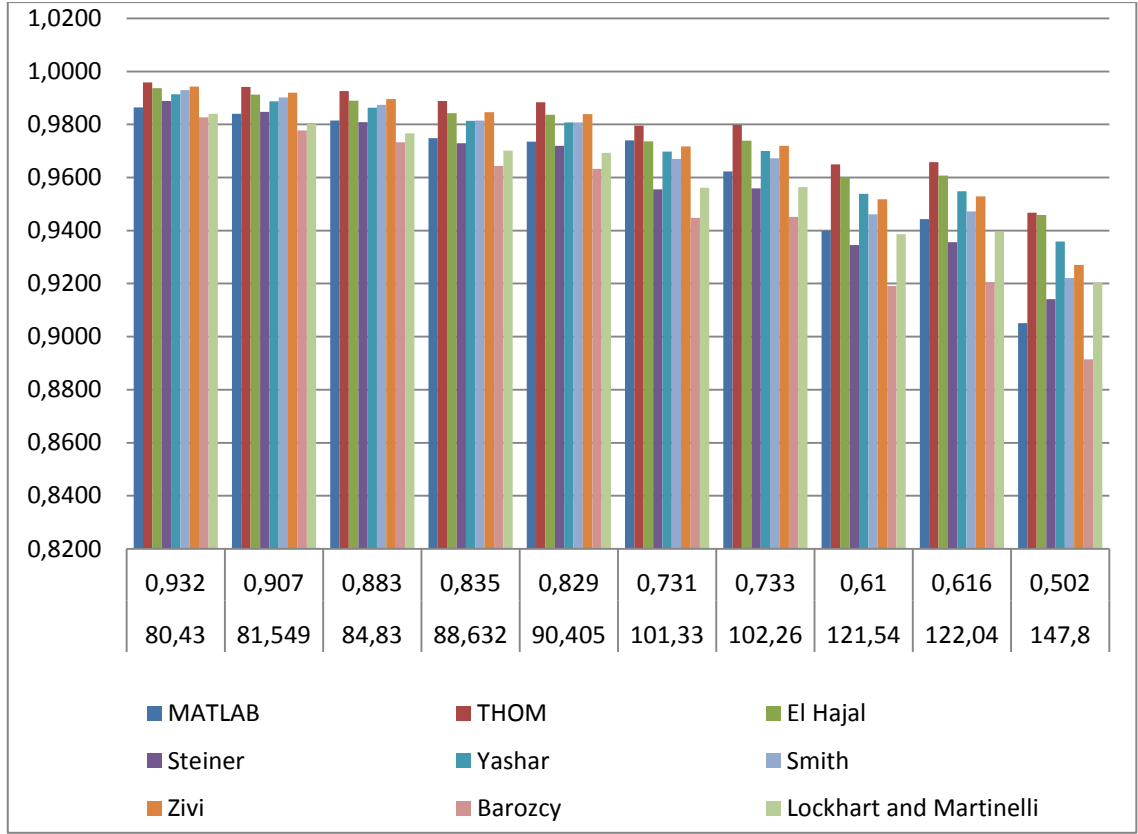
Çizelge 7.2 Mevcut korelasyonlar ile boşluk oranı hesabı ve görüntü işleme ile elde edilen değerler ile mukayesesi, hata analizi

DENEYLER	G kg/m ² -sn	x	Homoge- neous	Barozcy (1956)	Zivi (1964)	Lockhart and Martinelli (1949)	Thom (1964)	Steiner (1993)	Tandon et al. (1985b)	El Hajal et al. (2003)	Smith (1969)	Premoli et al. (1971)	Yashar et al. (2001)	MATLAB Görüntü İşleme
1	81,549	0,907	0,9977	0,9778	0,9919	0,9801	0,9942	0,9848	0,9603	0,9912	0,9902	0,9701	0,9887	0,9840
2	88,632	0,835	0,9956	0,9644	0,9846	0,9701	0,9889	0,9729	0,9494	0,9842	0,9815	0,9542	0,9813	0,9749
3	101,33	0,731	0,9919	0,9447	0,9717	0,9561	0,9795	0,9555	0,9390	0,9736	0,9670	0,9346	0,9698	0,9741
4	121,54	0,61	0,9859	0,9191	0,9518	0,9386	0,9650	0,9345	0,9312	0,9600	0,9461	0,9127	0,9538	0,9399
5	147,8	0,502	0,9783	0,8914	0,9271	0,9203	0,9467	0,9142	0,9275	0,9459	0,9221	0,8920	0,9359	0,9051
6	84,83	0,883	0,9971	0,9733	0,9896	0,9767	0,9925	0,9809	0,9563	0,9889	0,9874	0,9646	0,9863	0,9815
7	80,43	0,932	0,9984	0,9826	0,9942	0,9840	0,9959	0,9889	0,9656	0,9936	0,9929	0,9767	0,9914	0,9864
8	90,405	0,829	0,9954	0,9633	0,9839	0,9693	0,9884	0,9720	0,9488	0,9836	0,9807	0,9532	0,9807	0,9735
9	102,26	0,733	0,9919	0,9451	0,9719	0,9564	0,9797	0,9559	0,9393	0,9738	0,9673	0,9352	0,9701	0,9623
10	122,04	0,616	0,9863	0,9205	0,9529	0,9396	0,9658	0,9357	0,9318	0,9608	0,9472	0,9142	0,9548	0,9443
1	0,9840	HATA ORANLARI												
2	0,9749													
3	0,9741													
4	0,9399													
5	0,9051													
6	0,9815													
7	0,9864													
8	0,9735													
9	0,9623													
10	0,9443													
1		0,014	0,014	0,006	0,008	0,004	0,010	0,001	0,025	0,007	0,006	0,014	0,005	
2		0,021	0,021	0,011	0,010	0,005	0,014	0,002	0,027	0,009	0,007	0,022	0,007	
3		0,018	0,018	0,031	0,002	0,019	0,006	0,019	0,037	0,000	0,007	0,042	0,004	
4		0,047	0,023	0,023	0,012	0,001	0,026	0,006	0,009	0,021	0,007	0,030	0,015	
5		0,075	0,015	0,015	0,024	0,016	0,044	0,010	0,024	0,043	0,018	0,015	0,033	
6		0,016	0,008	0,008	0,008	0,005	0,011	0,001	0,026	0,008	0,006	0,017	0,005	
7		0,012	0,004	0,004	0,008	0,002	0,010	0,003	0,022	0,007	0,007	0,010	0,005	
8		0,022	0,011	0,011	0,011	0,004	0,015	0,002	0,026	0,010	0,007	0,021	0,007	
9		0,030	0,018	0,018	0,010	0,006	0,018	0,007	0,024	0,012	0,005	0,029	0,008	
10		0,043	0,026	0,026	0,009	0,005	0,022	0,009	0,013	0,017	0,003	0,033	0,011	

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere Matlab programında görüntü işleme ile tespit edilen boşluk oranı değerleri literatürdeki mevcut korelasyonlar ile büyük ölçüde uyum göstermektedir. Tüm korelasyonlar yapılan hata analizli değerlerinin ortalaması alındığında ise ortalama % 1,5 gibi çok küçük bir değer çıkmaktadır. Bu değer yapılan boşluk oranı tespitinin çok sağlıklı ve uygun olduğunun iyi bir göstergesidir.

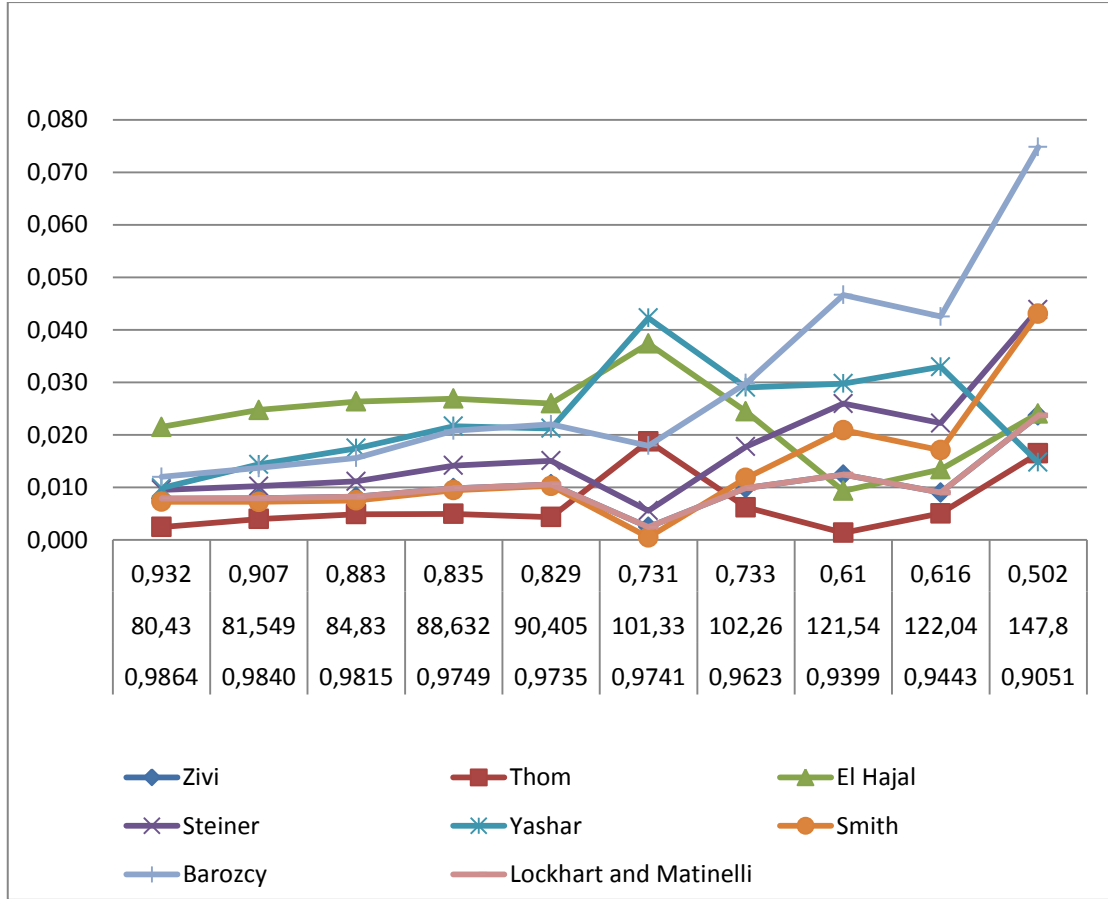


Şekil 7.3 Artan G ve azalan x değerlerine göre boşluk oranı değerleri



Şekil 7.4 Artan G ve azalan x değerlerine göre boşluk oranı değerleri

Yukarıdaki grafikte literatürde yer alan korelasyonlara göre ve Matlab görüntü işleme ile elde edilen boşluk oranı değerleri görülmektedir. Bu grafikten de anlaşılabacağı üzere artan G ve azalan x değerlerine bağlı olarak boşluk oranı değerleri düşüş göstermektedir. Aynı şartlardaki değerlerde ise aynı boşluk oranı değerleri tespit edilmektedir. Düşük G ve yüksek x değerlerinde tüm hesap yöntemlerinde en yakın değerler elde edilebilmektedir. Ama artan G değeri ile birlikte korelasyonlar arasında da farklılıklar artış göstermektedir.



Şekil 7.5 G,x ve boşluk oranı değerlerine göre hata oranı dağılımı

Matlab programında görüntü işleme ile elde ettiğimiz boşluk oranı değerlerinin mevcut korelasyonlar ile kıyasından elde edilen hata analizi değerlerinin boşluk oranının azalması durumunda karakteristiği yukarıda görülmektedir. Yüksek boşluk oranı değerlerinde hata değerleri çok düşük olmasına karşın boşluk oranı değeri azaldıkça Barozcy, Yashar, Smith korelasyonları ile farklılığın biraz daha arttığı görülmektedir. Ancak bunun yanı sıra Thom ve El Hajal korelasyonlarında ise farklılığın azaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak kurulu deney düzeneğinden elde edilen görüntülerin Matlab Image Processing Toolbox kullanılarak hazırlanan yazılımda işlenmesi ile tespit edilen boşluk oranı değerleri çok başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak geliştirilen bu yazılımın hem eksik ya da zayıf yönlerinin görülebilmesi hem de doğruluğunun ikinci bir kez daha test edilebilmesi adına yine Matlab Image Processing Toolbox kullanılarak ikinci bir yazılım daha hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ikinci yazılım, ilk yazılımın aksine boşluk oranı tespiti için görüntü işleme tekniğine kullanıcının

doğrudan etkisi olduğu bir algoritma yapısına sahiptir. Bu sebeple anlatımın bundan sonraki bölümünde, 5. Bölümde detayları verilen yazılım “otomatik yazılım”; detayları takip eden bölümde verilecek olan ikinci yazılım ise “yarı-otomatik yazılım” olarak adlandırılacaktır.

7.3 Yarı-otomatik Alternatif Görüntü İşleme Tekniği

Thome ve arkadaşlarının [14] da çalışmalarında belirttiği gibi göz karmaşıklıkları ayırt etmekte tüm görüntü işleme tekniklerinden daha iyidir. Deneysel çalışmalardan elde edilen görüntülere baktığımızda akışta oluşan sıvı-gaz filmini gözümüz direkt olarak fark edebilmekteyiz. Çünkü gözümüz en gelişmiş kameradan bile kat kat daha gelişmiş bir yapıya sahiptir. Bunun yanında çalışmalar ve araştırmalar ile elde edilen tecrübe ve bilgi birikimlerimiz sayesinde karmaşık bir akış görüntüsüne bile bakıyor olsak dahi beynimiz doğru sıvı-gaz ayrımını net olarak ayırt edebilmektedir. Bu sebeple sahip olunan en gelişmiş görüntüleme aracı olan gözümüzü ve en doğru bilgiyi ayırt edebilen beynimizi görüntü işleme tekniğine dahil etmemizde fayda olacaktır. Böylece otomatik yazılımda oluşan bazı yanlış okumalar ve hatalarda da azaltma yapılması mümkün olacaktır.

Yarı-otomatik yazılım, yine Matlab Image Processing Toolbox kullanılarak hazırlanmış olup, otomatik yazılımdan farkı kullanıcının boşluk oranının belirlenmesine doğrudan etkisi olmasıdır. Otomatik yazılımda deneysel çalışmalardan elde edilen görüntülerden her bir deneye için 100 adedinin programa verildiğinden ve bu görüntülerden her birinde programın sıvı-gaz filmini otomatik olarak belirleyerek piksel alanında sıvı ve gaz bölgenin oranını verdiğini belirtmiştik. Yarı-otomatik yazılımda ise görüntüler programa verilmeden önce kullanıcı tarafından bir takım işlemlerden geçirilmektedir. Bu işlemler takip eden bölümlerde detaylandırılmaktadır.

7.3.1 Yarı-Otomatik Yazılım İle Boşluk Oranı Tespiti

Deneyler sırasında elde edilen görüntülerde akış tipi ve sıvı-gaz filmi ne kadar iyi derecede ayırt edilebilirse edilsin piksel mertebesinde görüntülerde bazı karışıklıklar bulunmaktadır. Bir görüntünün piksellerden oluştuğu ve her bir pikselin bir renk değerinin olduğundan önceki bölümlerde bahsedilmişti. Görüntü işleme için resimler siyah-beyaz formata getirilmekte ve tüm piksellere 0 ile 255 arasında bir değer

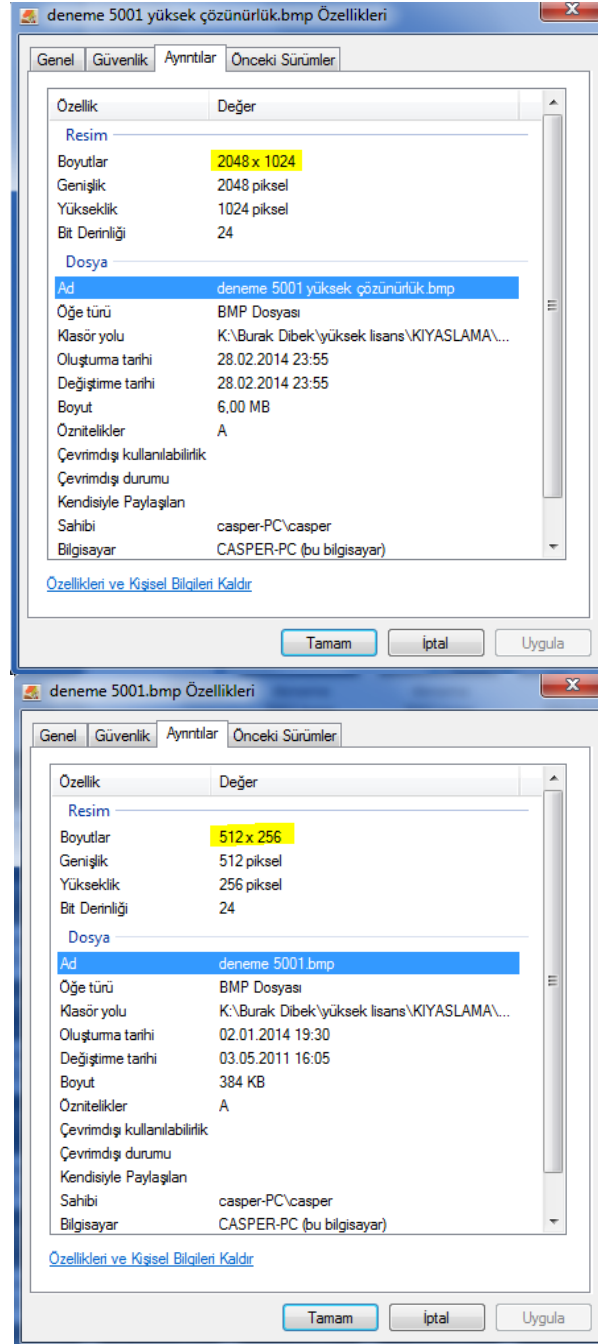
atanmaktaydı. Bu değerlerden 0 net/saf beyazı ifade ederken 255 ise net/saf siyahı ifade etmekteydi. Arada kalan diğer değerler ise gri renk tonları olarak değerlendirilir. Otomatik yazılım da bu piksel değerlerini kullanarak sıvı-gaz filmini belirlemektedir.

Yarı-otomatik yazılımda ise siyah-beyaz görüntü ve gri piksel değerleri kullanmak yerine tam tersi bir mantıkta renklendirme yöntemi kullanılmaktadır. Renki görüntüler temelde 3 ana rengin oluşturduğu karışımlardan meydana gelmektedir. Bu 3 ana renk kırmızı, yeşil ve mavidir. (Renkli görüntüler İngilizcede RGB (Red-Green-Blue) olarak adlandırılmaktadır.) Bu sebeple bu üç ana renkten ikisini kullanarak boru cidarları kırmızı, sıvı-gaz filmi ise yeşil olarak belirlenip alanda piksel sayımı için Matlab'e yüklenmektedir. İşte bu renklendirme noktasında kullanıcı aktif rol oynamaktadır.

Kullanıcı doğru olan sıvı gaz filmi üzerinde, mümkün olan en hassas şekilde boru cidarı ve sıvı-gaz filmini ifade edecek şekilde görüntü üzerinde kırmızı ve yeşil bir çizgi oluşturmaktadır. Daha sonra yazılım sayesinde kırmızı ve yeşil çizgiler arasında kalan tüm pikseller renk değerlerine bakılmaksızın beyaza çevrilip sayımı yapılmaktadır. Böylece kullanıcı tarafından tanımlanmayan hiçbir piksel boşluk oranı hesabına girmemektedir.

Yazılımın çalışmasına ve boşluk oranı tespitine dair adımlar aşağıda daha detaylı anlatılmaktadır.

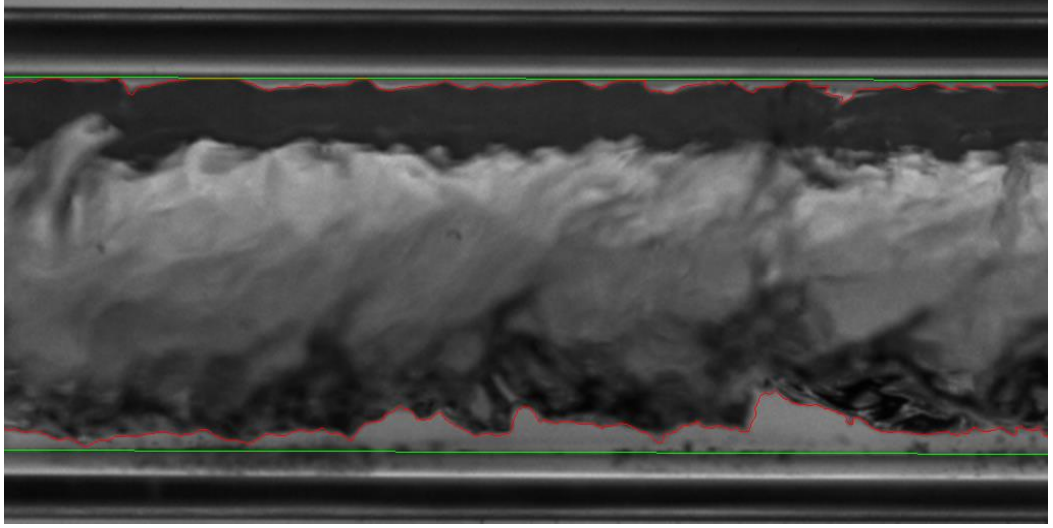
- Deneysel çalışmalardan elde edilen görüntüler 512*256 piksel çözünürlükte iken bu görüntüler bazı yardımcı programlar yardımı ile iyileştirilerek 2048*1024 çözünürlüğe getirilir. (Bu çalışmada iyileştirme Adobe Photoshop CS6 programı kullanılarak yapılmıştır). Bu işlem sırasında her bir piksel kendi ile eşdeğer özellikte 4 ayrı piksele bölünerek görüntüde oransal olarak her şey aynı kalırken, görüntünün içerdiği piksel sayısı artmaktadır. Böylece kullanıcı tarafından boru cidarı ve sıvı gaz filmi daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.



Şekil 7.6 Görüntüde iyileştirme yapılarak çözünürlük değerinin artırılması

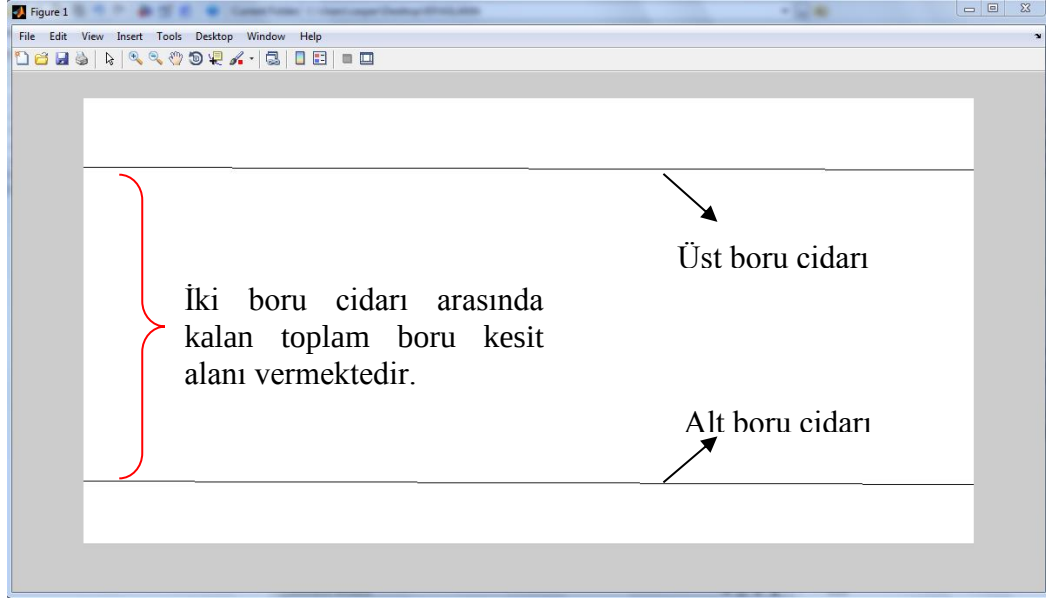
- Boru cidarları yeşil, sıvı-gaz filmi de kırmızı olacak şekilde kullanıcı tarafından görüntü üzerinde belirlenir. Bu işlem sırasında en önemli nokta bu iki verinin tek piksel mertebesinde belirlenmesidir. Çünkü bir görüntü üzerinde değişiklik yaparken gözümüzün algılayacağı şekilde birden fazla piksele etki etme olasılığımız çok yüksektir. Bir görüntüde 2048x1024 adet piksele sahip bile olsak her bir fazladan işlem gören yanlış piksel çok düşük de olsa boşluk oranı

değerinde hataya sebep olacaktır. Bu sebeple boru cidarı ve sıvı-gaz filminin belirlenmesi işlemi tek piksel mertebesinde görüntü üzerinde değişiklik yapma imkanı veren bir yardımcı program ile yapılmaktadır. (Bu çalışmada Adobe Photoshop CS6 kullanılmıştır)



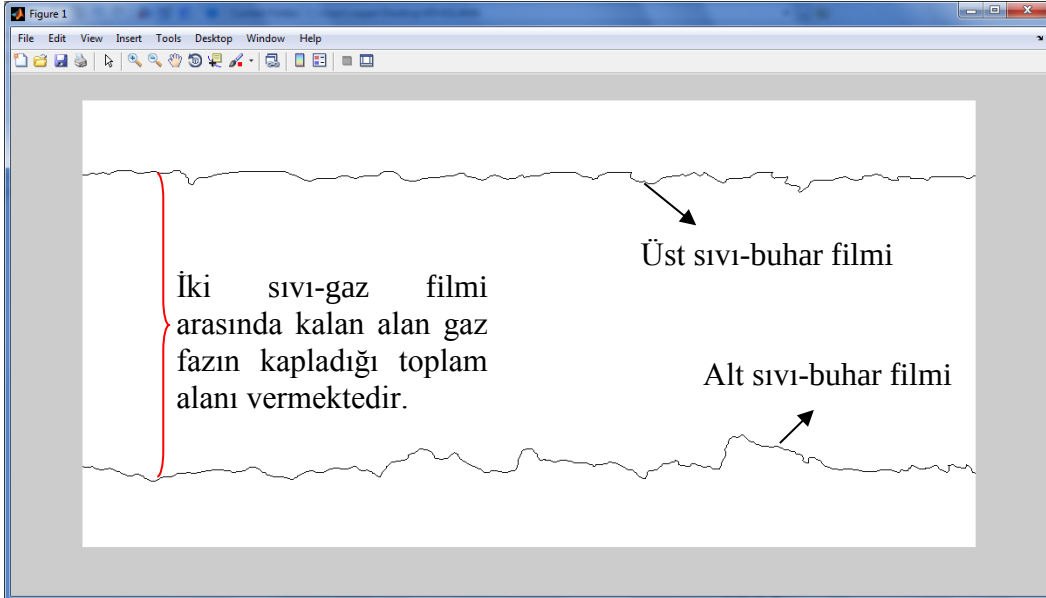
Şekil 7.7 Tek piksel kalınlığında sıvı-gaz filmi (kırmızı) ve boru cidarlarının (yeşil) belirlenmesi.

- Her deneye ait 10 adet iyileştirilmiş ve renklendirilmiş görüntü piksel sayımının yapılması için yarı-otomatik Matlab yazılımına aktarılır. Matlab önce iki boru cidarını oluşturan pikselleri hariç tutarak diğer tüm pikselleri beyaz renge, boru cidarlarını ise siyah renge çevirir ve iki siyah çizgi arasında kalan alandaki tüm beyaz pikselleri sayar. Bu piksel sayısı tüm boru kesit alanını vermektedir.



Şekil 7.8 Örnek deney görüntüsünde sadece boru cidarlarının belirlenmesi

- Toplam boru alanı hesaplandıktan sonra işlem gaz fazın kapladığı alanın hesaplanmasına gelmektedir. Boru toplam alanının hesabı için yapılan işlem bu sefer alt ve üst sıvı-gaz filminin altından kalan alanın hesaplanması için tekrarlanır. Sıvı-gaz filmini oluşturan pikseller haricindeki diğer tüm pikseller beyaza, sıvı-gaz filmi çizgileri ise siyaha çevrilir. Görüntüde kalan bu iki siyah çizgi arasında kalan beyaz piksellerin sayımı gerçekleştirilir.

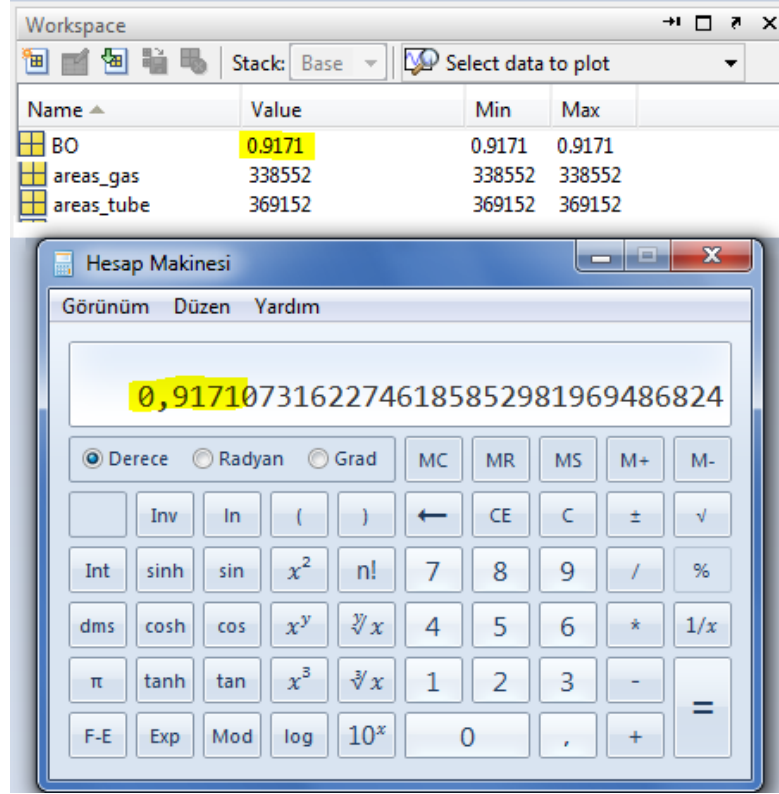


Şekil 7.9 Örnek görüntüde sadece alt ve üst sıvı-gaz filmlerinin belirlenmesi

- Toplam boru alanı ve gaz fazın kapladığı alandaki piksel sayımları yapıldığına

göre artık boşluk oranı değeri kolayca hesaplanabilmektedir. Toplam gaz fazın alanının, toplam boru alanına oranı boşluk oranı değerini ifade etmektedir.

Bu işlem 10 farklı görüntü için her defasında tekrarlanarak, bu 10 görüntüye ait ortalama boşluk oranı değeri belirlenir. Şekil 7.10 'da örnek görüntüye ait elde edilen toplam boru alanı, toplam gaz alanı ve boşluk oranı değeri sunulmaktadır.



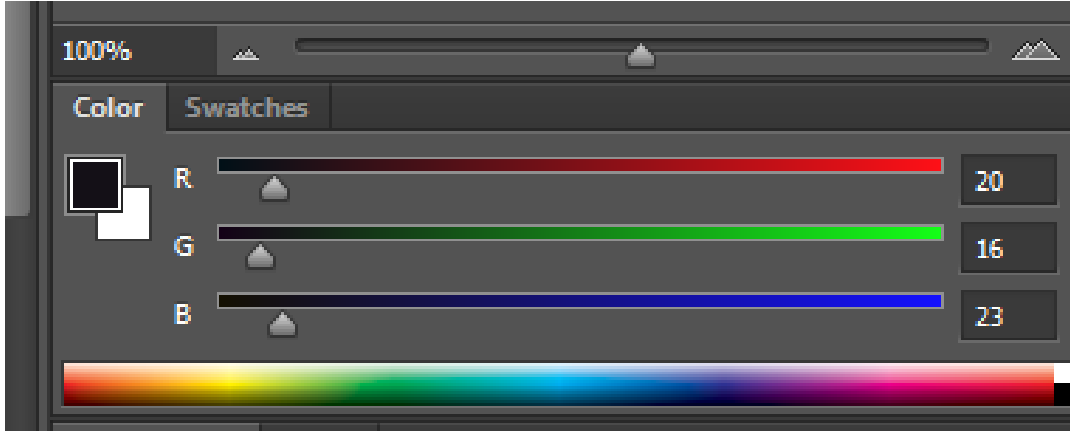
Şekil 7.10 Örnek görüntüye ait toplam boru alanı, toplam gaz alanı ve boşluk oranı değeri

7.3.2 Yarı-Otomatik Yazılım Kullanılan Fonksiyonlar ve Program Algoritması

Daha önce de bahsedildiği gibi yarı-otomatik yazılımın kullanılabilmesi için önce başka bir yardımcı programda görüntüler üzerinde boru cidarlarını ve sıvı-gaz filmlerini yeşil ve kırmızı renklerde belirtecek şekilde düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu işlemin yapılma sebebi ise otomatik yazılımda kullanılan siyah-beyaz görüntülerde bütün piksellerin gri tonları olması sebebi ile oluşan karmaşıklığın önüne geçebilmektir.

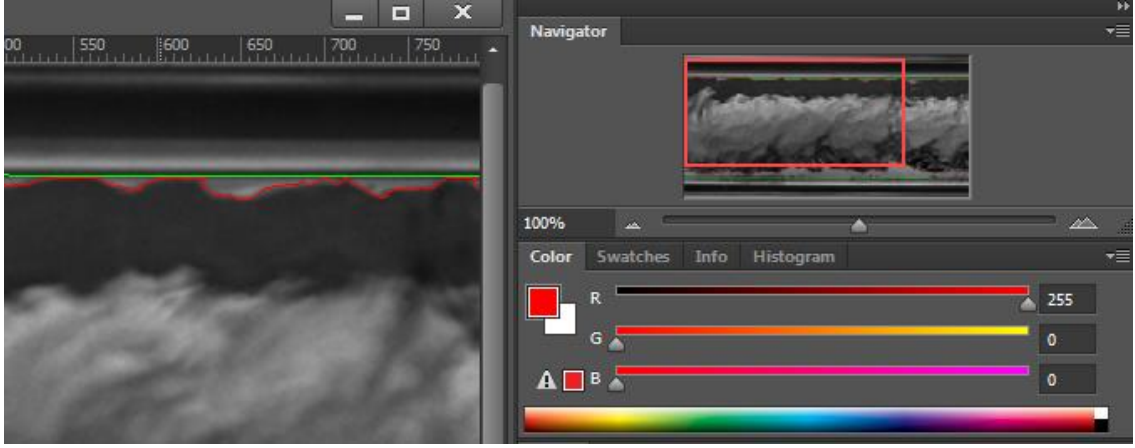
Deneyler sırasında elde edilen görüntüler siyah-beyaz görünümde olmaktadır. Ancak burada şu konu dikkatlice belirtilmelidir ki siyah-beyaz görünümde olmak

siyah-beyaz bir görüntü olmak anlamına gelmemektedir. Aslında görüntüler renkli görüntüler olmakta ancak renkleri siyah beyaz ve gri tonlarda olmaktadır. Yani bu durum şu şekilde açıklanabilir; görüntüdeki pikseller belirli oranlarda yeşil, kırmızı ve mavi (RGB – Red Green Blue) renklerinin karışımı ile oluşmuş ve gri tonaja ulaşmış piksellerdir. Yani bu pikseller renkli pikseller olmakta ama renkleri gridir diyebiliriz. Ancak bir siyah beyaz görüntü olsa idi 0 ile 255 arasında tek bir değer ile ifade edilecekti. Şimdi ise 16 yeşil, 20 kırmızı ve 23 mavi içeriyor gibi düşünülebilir. Ama bizim gözümüze yansıyan renk karşılığı aynı olmaktadır. Örnek için Şekil 7.11 ‘ye bakılabilir. Şekil 7.11 ‘de de görüleceği gibi siyah olarak algıladığımız bir piksel aslında 20 değerinde kırmızı (R), 16 değerinde yeşil (G) ve 23 değerinde mavi (B) özelliklere sahiptir.

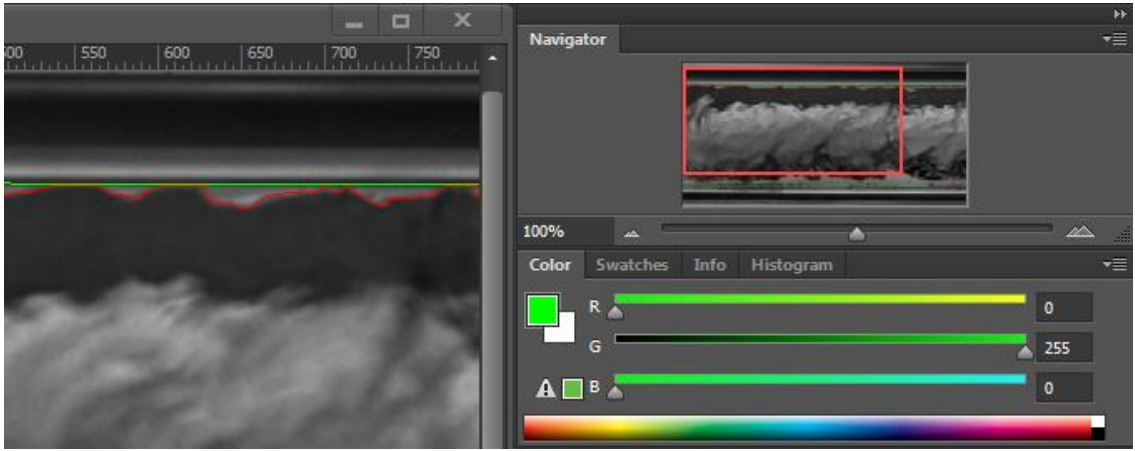


Şekil 7.11 Siyah görünümlü bir renkli pikselin sahip olduğu kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) özellikler

Renkli bir görüntü kullanmak otomatik yazılım için uygun olmasa bile yarı-otomatik yazılımda bir avantaj halini almaktadır. Çünkü deneysel çalışmalardan elde ettiğimiz resimlerde genelde görüntünün gri renk tonajlarından oluştuğunu biliyoruz ve görüntü üzerinde saf bir kırmızı rengi (Şekil 7.12) ve saf bir yeşil rengi (Şekil 7.13) belirlemek basit bir filtreleme yöntemi ile gayet kolay olmaktadır. Boru cidarları ve sıvı-gaz filmleri saf yeşil (kırmızı:0, yeşil:255, mavi:0) ve saf kırmızı (kırmızı:255, yeşil:0, mavi:0) renklerden oluşturulmaktadır.

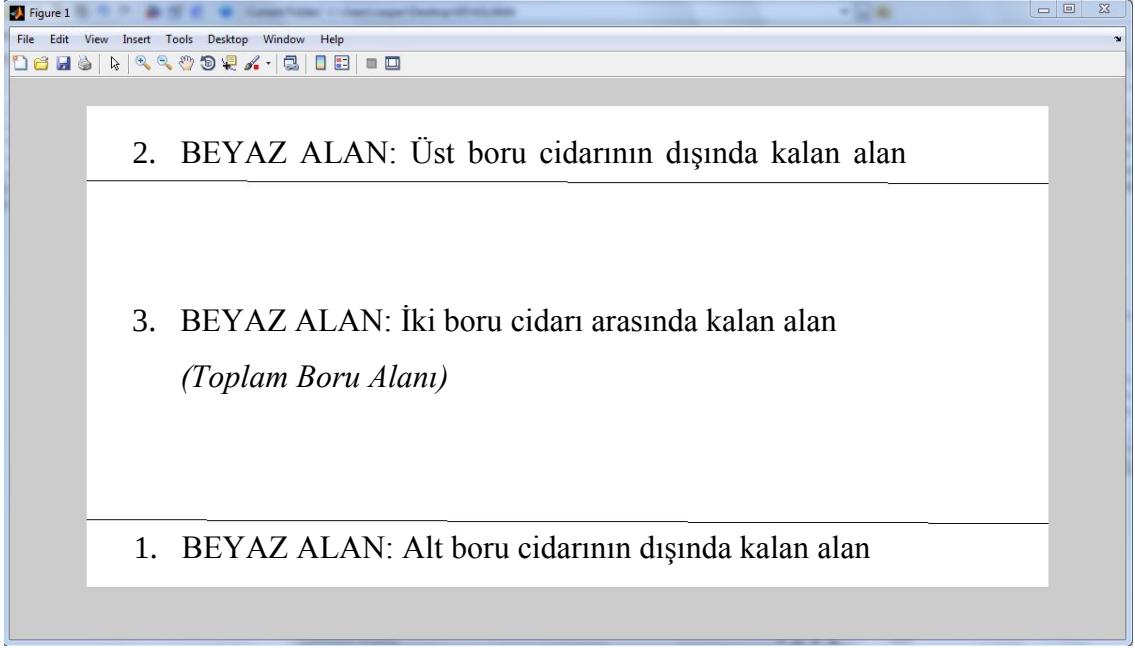


Şekil 7.12 Sıvı-buhar filmini oluşturan saf kırmızı özelliklikli çizgi (R:255, G:0, B:0)

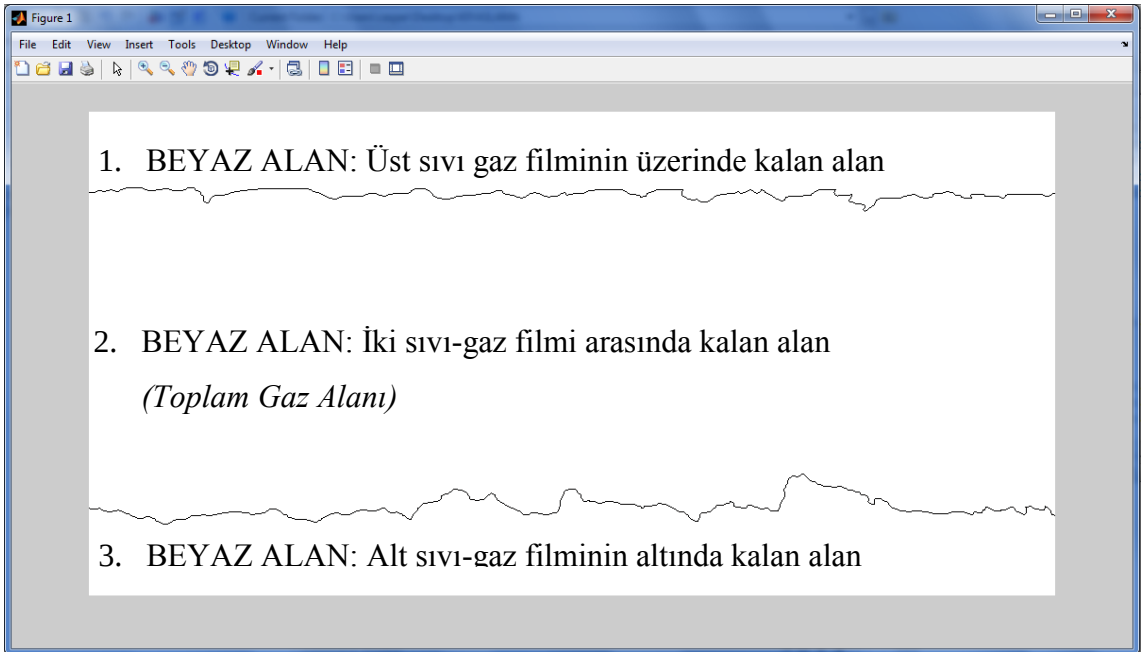


Şekil 7.13 Boru cidarını oluşturan saf yeşil özellikteki çizgi (R:0, G:255, B:0)

Boru cidarları ve sıvı-gaz filmlerinin renklendirilmesinden sonra yazılım ile görüntülerde bir filtreleme uygulanarak boru cidarları için saf yeşil olan pikseller siyaha, sıvı-buhar filmi için ise saf kırmızı olan pikseller siyaha çevrilir. Diğer tüm pikseller ise beyaz renge dönüştürülür. Bu işlemin sonunda aslında elde ettiğimiz görüntüde siyah iki çizgi ile ayrılmış 3 farklı alan elde ettiğimiz Şekil 7.14 ve Şekil 7.15 'de görülebilir.



Şekil 7.14 Boru toplam alanının tespiti



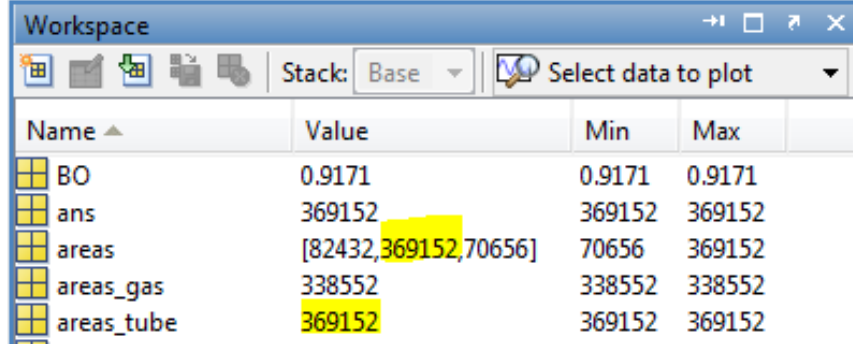
Şekil 7.15 Toplam gaz faz alanının tespiti

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi dalgalı-halka akış modelinde elde edilen 3 alandan 2. Beyaz alan bizim toplam boru alanımızı ve sıvı-gaz filmi alanımızı vermektedir. Bu sebeple yazılım belirlediği 3 beyaz alandan 2.beyaz alanı hesaplamalarda kullanmak üzere dikkate almaktadır.

Sıvı-gaz filmlerinin alt ve üstünde kalan alanlarda aslında hem boru cidarı dışında

kalan alanlar hem de sıvı-gaz filmi ile boru cidarı arasında kalan sıvı alan yer almaktadır. Sıvı alanın belirlenmesi için 3. bir alan değerlendirmesine gerek kalmamaktadır. Çünkü toplam gaz boru alanından toplam gaz alanı çıkarıldığında sayısal olarak sıvı alanı elde edilebilmektedir.

Belirlenen alanlar ve piksel sayımları örnek resim için Şekil 7.16 'da sunulmuştur.



Name	Value	Min	Max
BO	0.9171	0.9171	0.9171
ans	369152	369152	369152
areas	[82432, 369152, 70656]	70656	369152
areas_gas	338552	338552	338552
areas_tube	369152	369152	369152

Şekil 7.16 Piksel Sayımı yapılan 3 alan ve toplam boru alanını veren 2. Alanın hesaba alınması

Son işlem olarak da piksel sayımı gerçekleştirilen 2. Beyaz alanlar (toplam boru alanı ve toplam gaz alanı) birbirlerine oranlanarak boşluk oranı değeri sunulur.

Ancak doğru beyaz alanların, doğru bir şekilde boşluk oranı hesabına katılmasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Toplam boru alanının belirlenmesi tüm akış tipleri için aynı olurken (belirlenen 3 beyaz alandan 2. 'si), toplam gaz alanını veren beyaz alan ya da alanlar akım tipine göre değişiklik göstermektedir.

Şekil 7.7'de örnek olarak verdiğimiz görüntü dalgalı-halka akış tipine örnek olmaktadır. Bu akış tipinde üst ve alt olmak üzere iki adet sıvı-gaz filmi oluşmakta ve gaz fazlı akışkan bu iki sıvı-gaz filminin arasında kalmaktadır. Böyle bir akım tipi için yukarıda bahsedildiği gibi 3 beyaz alan belirlenecek ve 2. Beyaz alan gaz alanı verecektir.

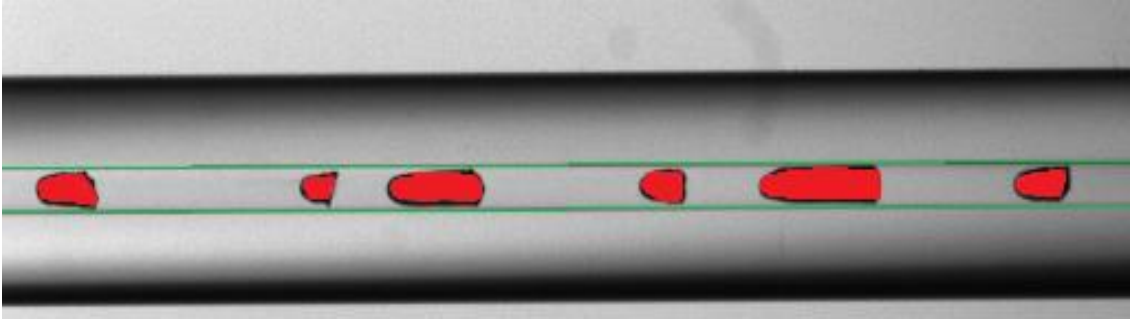
Ancak akış tipi slug-plug (kesikli, baloncuklu) akış olduğunda gaz fazın kapladığı alanı elde etmek için belirlenen beyaz alanlar 3 adetten fazla ya da az da olabilir. Çünkü bu sefer iki adet sıvı-gaz filmi arasında oluşan tek bir gaz alanı göremeyeceğiz. Örnek bir kesikli akış görüntüsü Şekil 7.17 'de sunulmaktadır.



Şekil 7.17 Bir kesikli (mermi) akış görüntüsü örneği

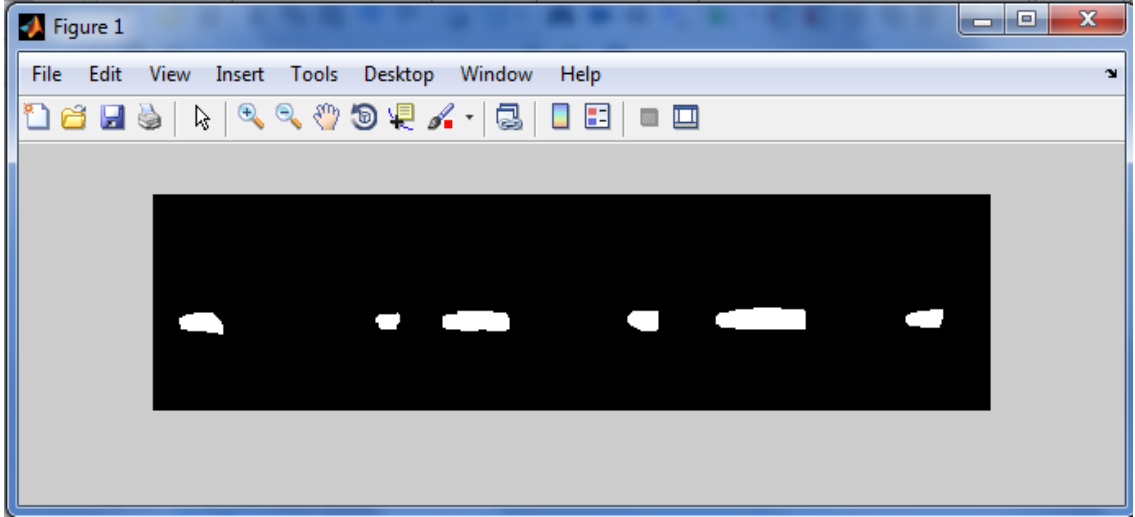
Şekil 7.17 ‘de de görüldüğü üzere burada gaz fazın içerisinde bulunduğu 6 adet ayrı alan oluşmuştur. Böyle bir akış tipinde gaz fazın kapladığı alanın belirlenebilmesi için her bir balon içerisinde hapsolmuş gaz alanın piksel sayımının yapılması gerekmektedir.

Böyle bir piksel sayımı işlemi için daha önce boru cidarlarını ve sıvı-gaz filmi çizgilerini renklendirdiğimiz yardımcı programlar kullanılarak yine boru cidarları yeşil olarak, balonların içerisinde hapsolmuş gaz alanları ise tümüyle kırmızı olacak şekilde belirlenir. Şekil 7.18 ‘de bu işleme bir örnek görüntü sunulmaktadır.



Şekil 7.18 Boru cidarlarının yeşil, gaz alanların ise tümüyle kırmızı olarak renklendirilmesi

Renklendirme işleminin ardından yarı-otomatik yazılım kullanılarak bu sefer kırmızı ile belirlenmiş gaz alanlar beyaza, diğer tüm alanlar ise siyah renge çevrilir. Elde edilen işlenmiş görüntüdeki tüm beyaz alanlar artık sadece gaz fazın bulunduğu alanları ifade etmektedir. İşlenmiş görüntü örneği Şekil 7.19 ‘da sunulmaktadır.



Şekil 7.19 Gaz alanların belirlenmesi

Belirlenen bu tüm beyaz alanların (balon sayısınca) piksel sayımı hesaplanarak ayrı ayrı her bir görüntü için elde edilir ve toplanır. Beyaz alanlar toplamı ise toplam gaz alanını vermektedir. Piksel sayımı yapılan bu beyaz alanlara ait değerler, toplam gaz alanı değeri ve bu akış görüntüsüne ait boşluk oranı değeri Şekil 7.20 'de sunulmaktadır.

```
Command Window

areas =

    265    117    438    200    636    208

areas_gas =

    1864

BO =

    0.2142
```

Şekil 7.20 Ayrı ayrı gaz alanları, toplam gaz alanı ve boşluk oranı değeri

Sonuç olarak yukarıda da izah edildiği gibi, akış tipine göre doğru alan hesabı ve doğru boşluk oranı tespiti yapılması dikkat gerektiren bir husustur. Ancak doğru hesap alan belirleme yöntemi belirlendiğinde yarı-otomatik yazılım tüm akış tiplerine uygulanabilmektedir.

Yarı otomatik akış tipine ait yazılım kodlaması aşağıdaki gibidir;

```
clc;
close all;
for i=1:10;
if (i<10);
resim=imread(strcat('1. Deney/deneme100',num2str(i),'.bmp'));
k=imfinfo(strcat('1. Deney/deneme100',num2str(i),'.bmp'));
else
resim=imread(strcat('1. Deney/deneme10',num2str(i),'.bmp'));
k=imfinfo(strcat('1. Deney/deneme10',num2str(i),'.bmp'));
end
r_filter=100;
b_filter=100;
g_filter=100;
res_gas=zeros(k.Height, k.Width);
res_tube=zeros(k.Height, k.Width);
for i=1:1:k.Height
for j=1:1:k.Width
r=resim(i,j,1);
g=resim(i,j,2);
b=resim(i,j,3);
if (r>r_filter&&b<b_filter&&g<g_filter)
res_gas(i,j)=0;
%SLUG PLUG AKIS ICIN 255 YAP!!
else
res_gas(i,j)=255;
%SLUG PLUG AKIS ICIN 0 YAP!!
end
if (g>g_filter&&b<b_filter&&r<r_filter)
res_tube(i,j)=0;
else
res_tube(i,j)=255;
end
end
end
% EGER BORU ALANINI GÖRMEK İSTERSEN AŞAĞIDAKİNİ AKTİFLEŞTİR!
% imshow(res_tube)
% EGER GAZ ALANINI GÖRMEK İSTERSEN AŞAĞIDAKİNİ AKTİFLEŞTİR!
% imshow (res_gas)
```

```

[labeled,numObjects] = bwlabel(res_gas,4);
stats = regionprops(labeled,'Area');
areas = [stats.Area];
areas_gas=areas(1,2);
% EGER SLUG PLUG AKISIN VARSA ASAGIDAKINI ETKLINLESTIR ÜSTTEKİNİ
PASİFLEŞTİR!!
% areas_gas=sum(areas);
[labeled,numObjects] = bwlabel(res_tube,4);
stats = regionprops(labeled,'Area');
areas = [stats.Area];
areas_tube=areas(1,2);
areas_gas;
areas_tube;
BO =areas_gas / areas_tube
end

```

7.4 Otomatik yazılımın yarı otomatik yazılım ile kıyaslanması

Daha önceki bölümlerde otomatik yazılım ile 10 farklı deney için yapılan görsellemeler sonucunda elde edilen görüntüler kullanılarak boşluk oranı tespiti yapılmış ve literatürde yer alan önemli bazı korelasyonlar ile kıyaslanarak elde edilen sonuçların ne kadar başarılı olduğu belirtilmişti.

Başarılı boşluk oranı tespiti yapabilen bu otomatik yazılımın bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Belki bunlara güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır da denilebilir. Örneğin çalışmalar sırasında boşluk oranı tespiti için her deneye ait 100 ‘er adet görüntü işlenmekteydi. İstenildiği takdirde bu sayıyı artırmak otomatik yazılım için hiçbir sorun olmamaktadır. Çünkü program sınırsız sayıda görüntüyü işleyerek ortalama boşluk oranı değeri hesaplayabilecek bir algoritmaya sahiptir. Ayrıca işlenecek/değerlendirilecek görüntüler için kullanıcının öncesinde bir çalışma yapmayı gerektirmemesi ise zaman tasarrufu açısından çok önemlidir.

Ancak otomatik yazılım, daha öncede belirtildiği gibi “komşu piksel” teorisine göre çalışmakta ve işlenecek olan fotoğrafların görüntü, çözünürlüğü, görüntüleme tekniği boşluk oranına direkt olarak etki eden faktörlerdir.

Deneysel çalışmalarda yapılan görüntüleme çalışmalarında ışık ve kameranın

pozisyonuna, kullanılan görüntüleme ve deney ekipmanlarına göre elde edilen bazı akış görseli örnekleri 6. Bölümde sunulmaktaydı. O görüntü örneklerinden de görülebileceği gibi renksiz ve saydam bir akışkanı çok küçük çaplardaki kanallarda görüntülemek ve bu görüntüleme işlemi için bir ışık kaynağı kullanmak elde edilen görüntülerde istenmeyen karmaşıklıklara sebep olmaktadır. Bir de akış tipinin girdaplı, dalgalı ve halka akış gibi karmaşık hale bürünmesi görüntülerde istenmeyen karmaşıklıkları artırmaktadır. Her ne kadar gözümüz ile rahatça akış tipini ve sıvı-gaz ayrımını ayırt edebileceğimiz görseller elde edilebilse dahi görüntü verisi olarak resimler işlenmesi güç resimler olmaktadır.

İşte bu karmaşıklıklar otomatik yazılımın boşluk oranı tespitindeki başarısına direkt olarak etki etmektedir. Çünkü program algoritmasında kullanılan filtre değerleri, komşu piksel takip yönergeleri, deneme ve hata çıktısı döngüleri optimum şartlara göre belirlenmiştir. Akış tipine, akış görüntüleme başarısına ve fotoğraf çözünürlüklerine göre programa verilen 100 adet fotoğrafın bir kısmı işlenememekte, bir kısmında ise bazı okuma (sıvı-gaz filmi belirleme) hataları meydana gelmektedir. Bu hataların etkisi ise 100 adet veya daha fazla görüntü işlenerek azaltılmaya çalışılmaktadır. Ama neticede boşluk oranı tespitinde az da olsa bir hataya/sapmaya sebep olmaktadır.

Yarı-otomatik yazılım hazırlanmasının sebebi ise bu yanlış veri işlemlerinin önüne geçebilmek ve ışık etkisi, akış tipi etkisi görüntü üzerinde oluşan karmaşıklıklara karşı gözümüzün güçlü ayırt ediciliğini kullanmak olmuştur.

Bu sebeple daha önce detayları verilen 2. Deney ve 5. Deney için elde edilen görüntüler hem otomatik yazılım ile hem de yarı-otomatik yazılım ile işlenecek ve bu değerlere ait boşluk oranı değerleri tespit edilecektir. Elde edilen boşluk oranı değerleri arasında karşılaştırma yapılarak bu iki yöntemin görüntü işleme ve boşluk oranı belirleme yetenekleri görülecektir.

7.4.1 2. Deney için otomatik yazılım ve yarı-otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı tespiti

Deneysel çalışmaların ve otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı değerlerinin hesaplandığı kısımda da belirtildiği gibi 2. Deney olarak adlandırılan deneysel

çalışmalara ait özet bilgiler Çizelge 7.3 'te sunulmaktadır.

Çizelge 7.4 'te ise 2. Deneye ait otomatik yazılım ve korelasyonlar ile elde edilen boşluk oranı değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 7.3 2.Deney'e ait fiziksel şartlar ve parametreler

35 °C sıcaklıktaki R600 akışkan için fiziksel özellikler				Deneye ait veriler	
T	35	σ	0,0089	Di	0,004
$\rho_{sıvı}$	536,76	P	4,64	G	88,632
ρ_{gaz}	11,98	g	9,81	x	0,835
μ_g	0,0000077				
μ_s	0,000135				

Çizelge 7.4 Otomatik yazılım ve korelasyonlar ile tespit edilmiş boşluk oranı değerleri

Matlab Hesabı (Otomatik)	Homogeneous model	Thom (1964)
α 0,9762	α 0,995609	α 0,988904
Baroczy (1965)	Zivi (1964)	Lockhart and Martinelli
α 0,96439709	α 0,984577	α 0,970086
Steiner (1993)	Tandon et al.	El Hajal et al. (2003)
α 0,97291695	Rel 433,312 Xtt 0,046232 F(Xtt) 5,091343 α 0,949361	α_h 0,995609 $\alpha_{steiner}$ 0,972917 α 0,984219
Smith (1969)	Premoli et al.	Yashar et al.
K 0,4 α 0,98151716	Relo 2626,133 Welo 6,577653 E1 0,816071 E2 0,002389 y 226,7388 S 10,87829 α 0,954219	Ft 70,15473 Xtt 0,046232 α 0,981325

2. Deneye ait boşluk oranının tespit edilmesi için otomatik yazılıma 100 adet fotoğraf verilmiş ancak bu fotoğraflardan 5 tanesi işlenememiştir. İşlenemeyen görüntülere ait hata çıktısı Şekil 7.21 'de sunulmaktadır.

```
Command Window

Lutfen Alt ve Ust cidarlarin noktalarini secin
*52.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!
*53.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!
*55.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!
*56.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!
*79.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!

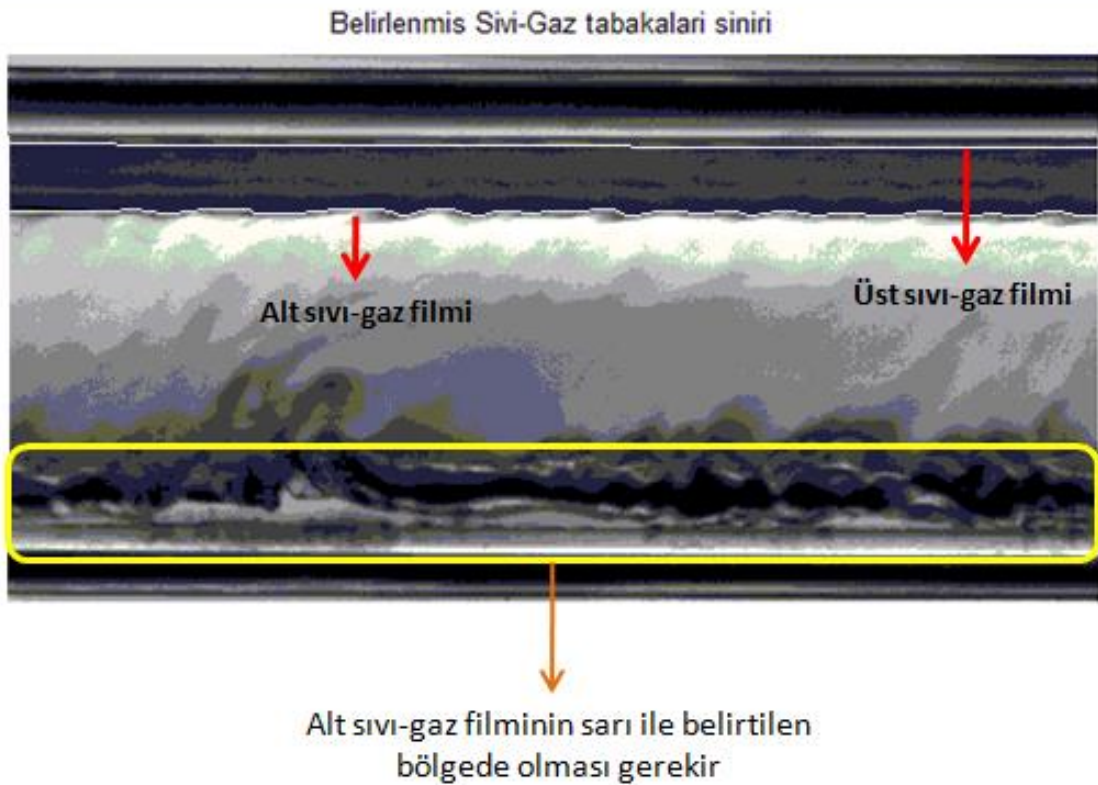
asd =

0.9762
```

İşlenemeyen görüntüler

Şekil 7.21 2. Deneyde işlenemeyen görüntüler

İşlenen 95 fotoğraftan bazılarında ise daha önce anlatılan görüntü karmaşıklıklarından dolayı bazı hatalı okumalar meydana gelmiştir. Bu hatalı okumaların ise boşluk oranı hesabında kullanılan sıvı ve gaz fazın kapladığı alanlardaki piksel sayımına direk etkisi bulunmaktadır. Çünkü sıvı-gaz filminin hatalı belirlenmesi demek sıvı ve gaz alanlarının hatalı belirlenmesi anlamına gelmektedir. Şekil 7.22 'de hatalı işlenen bazı fotoğraflara ait örnekler sunulmaktadır.



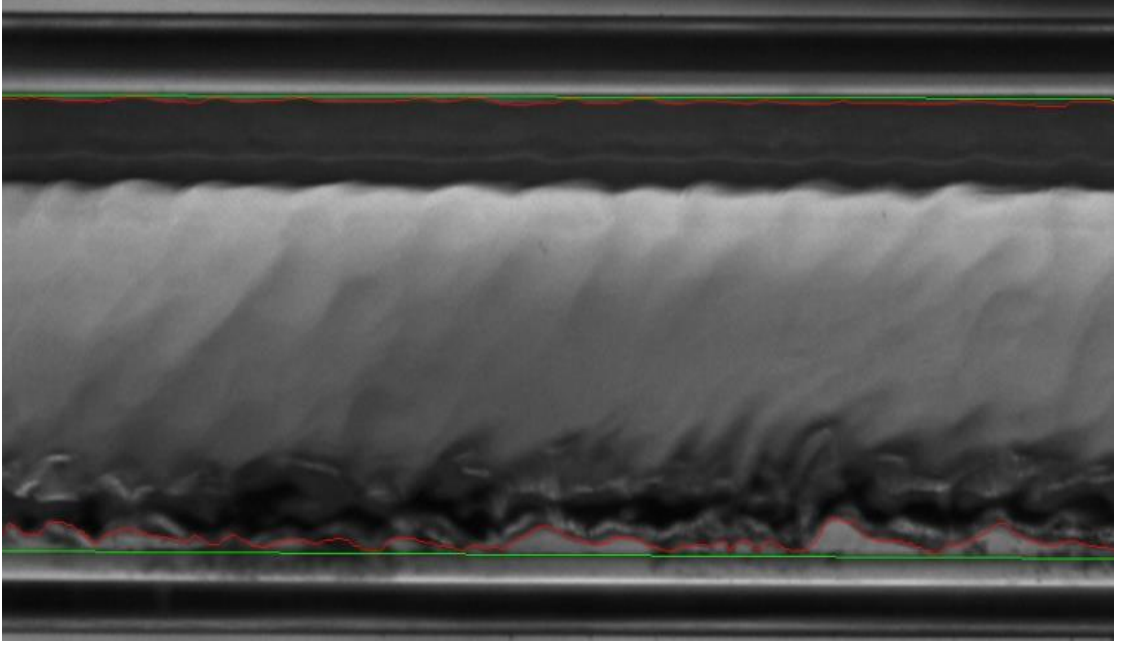
Şekil 7.22 Hatalı sıvı-gaz filmi belirleme örneği

Şekil 7.22 'de de görüleceği üzere alt-sıvı gaz filminin sarı ile gösterilen bölgede yer alması gerekirken boru üst cidarına yakın bölgede tespiti olmuştur. Bu durumda ise ikisi de görüntünün üst bölgesinde yer alan üst ve alt sıvı-gaz filmi çizgileri arasında kalan alan gaz alanı olarak kabul edilerek boşluk oranı hesabına katılmıştır. Yaklaşık 10-15 adet fotoğrafta buna benzer hatalar görüşmüştür.

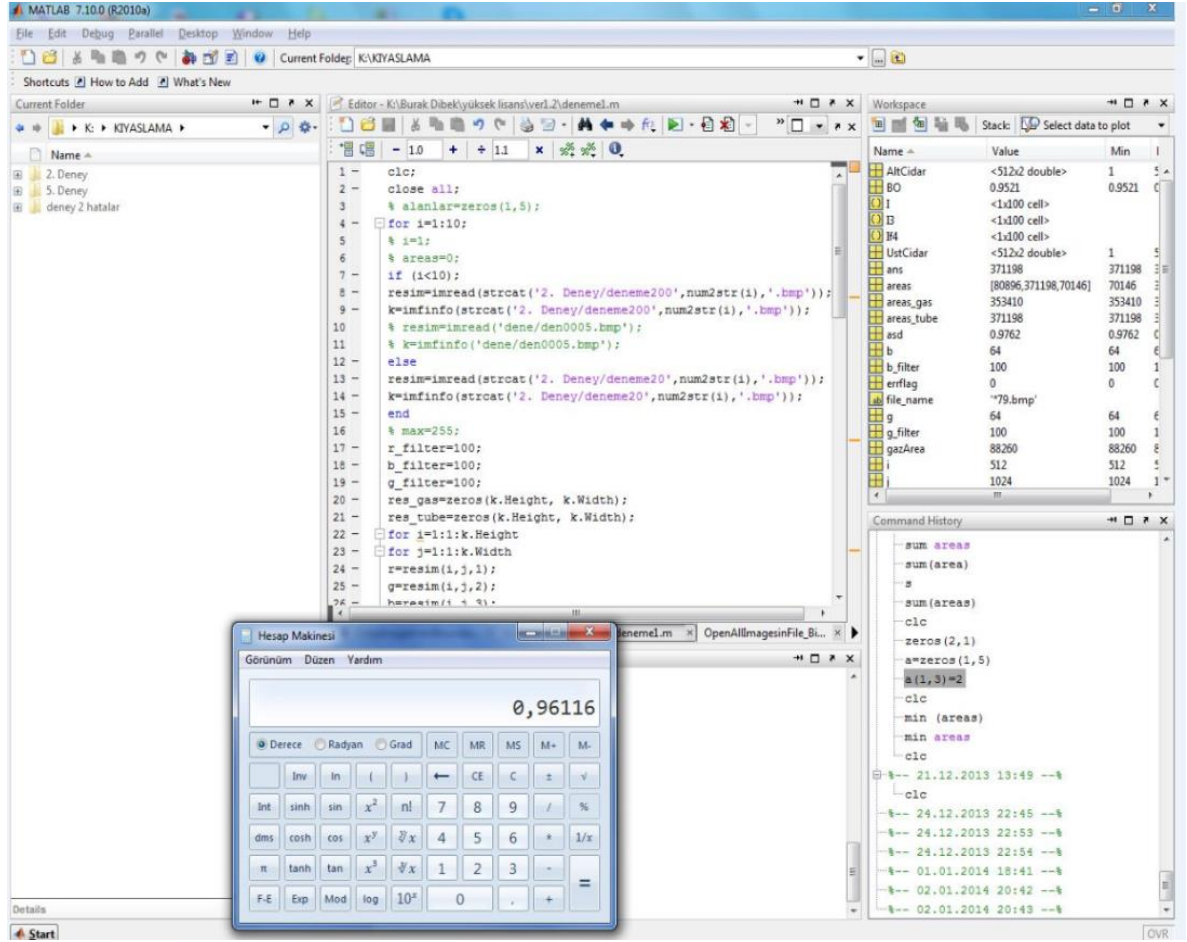
Ek olarak daha önce Çizelge 7.2 'de 2. Deneye ait görüntülerden otomatik yazılım kullanılarak elde edilen boşluk oranının değeri 0,9749 olarak verilmişti. Aynı deneye tekrar otomatik yazılım ile işlendiğinde bu değer 0,9762 olarak belirlenmiştir. Burada meydana gelen küçük sapmanın sebebi ise görüntüler işlenmeye başlanmadan önce kullanıcı tarafından ikişer nokta ile belirlenen üst ve alt boru cidarları olmaktadır. Mouse yardımı ile sadece 512x256 çözünürlükteki bir görüntüde çok ince bir şekilde görülebilen boru cidarlarına tıklanırken göz ile algılanamayan bir iki piksellik kayma boşluk oranı hesabında küçük de olsa bir değişime sebep olmaktadır.

Sonuç olarak ise programa verilen 100 adet fotoğrafın %80-85 'i başarılı bir şekilde işlenmiştir. Ancak işlenebilen görüntülerin fazla olması hatalı işlenen fotoğraflardan kaynaklanan olumsuz etkiyi azaltmaktadır.

Aynı deneye ait 100 adet görüntüden 1, 10, 20, 30, 40, 5, 60, 70, 80, 90 numaraları 10 adet görüntü Şekil 7.23 'te verildiği gibi yarı-otomatik yazılımda işlenmek üzere renklendirilmiştir. Bu 10 adet görüntünün 100 adetlik görüntüyü yeterli ölçüde temsil edeceği düşünülmüştür. Ancak şüphesiz ki sahip olunan çalışma zamanına göre daha fazla görüntü hazırlanması daha hassas bir boşluk oranı belirlenmesinde pozitif etki yapacaktır.



Şekil 7.23 Yarı-otomatik yazılım için 2. Deneye ait renklendirilmiş görüntü örneği
Bu görüntüler yarı-otomatik yazılım ile işlendiğinde elde edilen boşluk oranı değeri 0,9612 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.24 Yarı-otomatik yazılım ile 2.Deney'in boşluk oranının belirlenmesi

Bu durumda 2. Deneye ait belirlenene boşluk oranı değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır;

- Otomatik yazılım ile boşluk oranı değeri: 0,9762
- Yarı-otomatik yazılım ile boşluk oranı değeri: 0,9612
- Korelasyonlara göre hesaplanan boşluk oranı değerlerinin aritmetik ortalaması: 0,97
- Otomatik yazılım ile yarı-otomatik yazılım arasındaki değişim: %1,5

Bu değerlerden de görüleceği gibi iki yazılım ile de korelasyonlarla son derece uyumlu olarak boşluk oranı tespiti yapılabilmektedir. Otomatik yazılımın görüntü işleme sırasında oluşan hatalı okumalarının olumsuz etkisinin çok sayıda görüntü işlenerek çok düşük mertebelere kadar çekilebildiği görülmüştür. Yarı-otomatik yazılımda ise daha az görüntü işlenmesine rağmen işlenen görüntülerde ilk işlem olarak iyileştirme yapılması, gözümüz ile doğru bir şekilde ayırt edilebilen boru cidarlarının ve sıvı-gaz

filminin doğru bir şekilde ve tek piksel mertebesinde belirlenmesi ile doğru bir boşluk oranı tespiti yapılabilmektedir. Böylece daha az görüntü işlemeden kaynaklanacak olumsuz etkiler ortadan kaldırılmıştır.

2. Deney boşluk oranının yüksek olan ve akışın çok karmaşık olmadığı bir akış özelliğine sahiptir ve bu deney şartlarında iki programdan da başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak akışın daha karmaşık olduğu, sıvıdaki ve dolayısı ile sıvı-gaz filminde dalgalanmaların kırılmaların arttığı bir akış tipinde de programların başarısını test etmek gerekmektedir. Bu sebeple aynı işlemler 5. Deney için tekrarlanacaktır.

7.4.2 5. Deney için otomatik yazılım ve yarı-otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı tespiti

Deneysel çalışmaların ve otomatik yazılım kullanılarak boşluk oranı değerlerinin hesaplandığı kısımda da belirtildiği gibi 5. Deney olarak adlandırılan deneysel çalışmalara ait özet bilgiler Çizelge 7.5 'te sunulmaktadır.

Çizelge 7.5 5. Deneye ait fiziksel şartlar ve parametreler

35 °C sıcaklıktaki R600 akışkan için fiziksel özellikler				Deneye ait veriler	
T	35	σ	0,0089	Di	0,004
$\rho_{sıvı}$	536,76	P	4,64	G	147,8
ρ_{gaz}	11,98	g	9,81	x	0,502
μ_g	0,0000077				
μ_s	0,000135				

Çizelge 7.6 'da ise 5. Deneye ait otomatik yazılım ve korelasyonlar ile elde edilen boşluk oranı değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 7.5 'ten de görülebileceği gibi 5. Deney için kütleli akı değeri 147,8 kg/m²s olmaktadır. 2. Deneyde ise bu değer 88,632 kg/m²s idi.

Kütleli akının artması ile birlikte boşluk oranının düştüğü daha önceki bölümlerde sunulmuştu. Boşluk oranının düşmesine etkisi olan kütleli akı artışı, aynı zamanda akış tipinde oluşan karmaşıklık artırmaktadır. Akış daha girdaplı hale gelmekte ve dalgalanmalar artmaktadır. Dalgalanmalardaki artış ise görüntüleme çalışmalarında kullanılan ışığın daha çok kırılmasına ve görüntülerde parlamaların ve sahte sınır çizgilerinin oluşmasında etkili olmaktadır. Bu sahte çizgiler ve ışık parlamaları ise görüntü işleme başarısında olumsuz etki yapabilmektedir.

Çizelge 7.6 Otomatik yazılım ve korelasyonlar ile tespit edilmiş boşluk oranı değerleri

Matlab Hesabı (Otomatik)	Homogeneous model	Thom (1964)
α 0,9101	α 0,978338	α 0,946674
Baroczy (1965)	Zivi (1964)	Lockhart and Martinelli
α 0,8913975	α 0,927093	α 0,9203
Steiner (1993)	Tandon et al.	El Hajal et al. (2003)
α 0,91417743	Rel 2180,871 Xtt 0,197513 F(Xtt) 1,684637 α 0,927463	α h 0,978338 α steiner 0,914177 α 0,945895
Smith (1969)	Premoli et al.	Yashar et al.
K 0,4 α 0,92214472	Relo 4379,259 Welo 18,29105 E1 0,740512 E2 0,005119 y 45,16455 S 5,470895 α 0,891955	Ft 31,3902 Xtt 0,197513 α 0,935862

5. Deneye ait boşluk oranının tespit edilmesi için otomatik yazılıma 100 adet fotoğraf verilmiş ancak bu fotoğraflardan 28 tanesi işlenememiştir. İşlenemeyen görüntülere ait hata çıktısı Şekil 7.25 'te sunulmaktadır.

2.Deneyde işlenemeyen görüntü sayısı 5 iken 5.Deneyde bu sayı 28 'e yükselmiştir. Bu durumu meydana getiren öncelikli etken akış görüntülerindeki karmaşıklığın artmasıdır. Otomatik yazılımda çok hatalı okumaların hesaba katılıp boşluk oranı hesabına olumsuz etkilerini önlemek amacı ile bir hata döngüsü bulunmaktadır. Bu döngü sayesinde bir görüntü belirli bir sayıda işleme denemesinden sonra tam bir sıvı-gaz filmi ve boru cidarı yakalanamıyorsa ve alan hesabı çıkarılamıyorsa hesabın dışına itilerek Şekil 7.25 'teki gibi kullanıcıya bildirilmektedir.

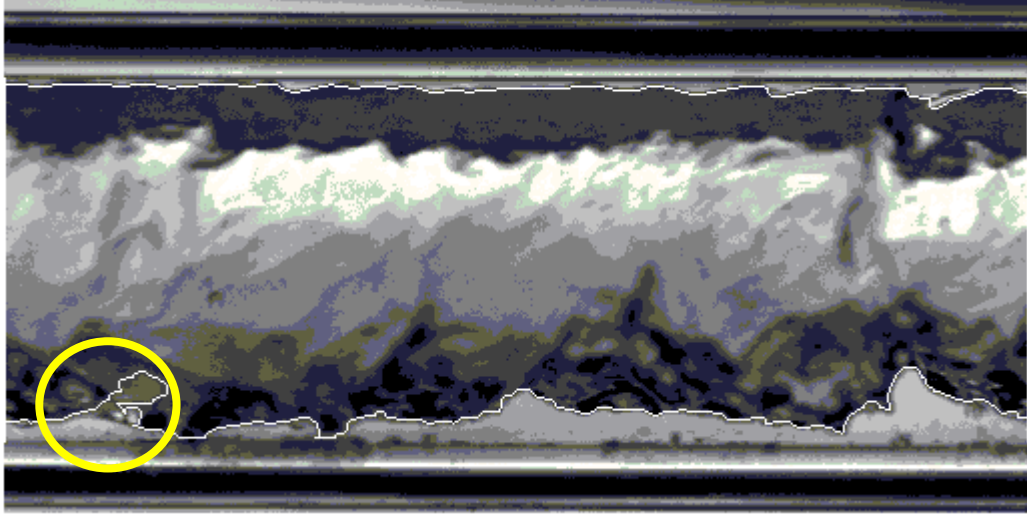
İşlenemeyen görüntüler
(28 görüntü işlenemedi)

```
*3.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*4.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*5.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*8.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*9.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*11.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*12.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*13.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*14.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*15.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*18.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*31.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*54.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*55.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*65.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*67.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*69.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*72.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*76.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*84.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*87.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*88.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*89.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*90.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*91.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*92.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*93.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
*94.bmp nolu image dosyasini isleyemiyorum!  
  
asd =  
  
0.9084
```

Şekil 7.25 5.Deneyde işlenemeyen görüntüler

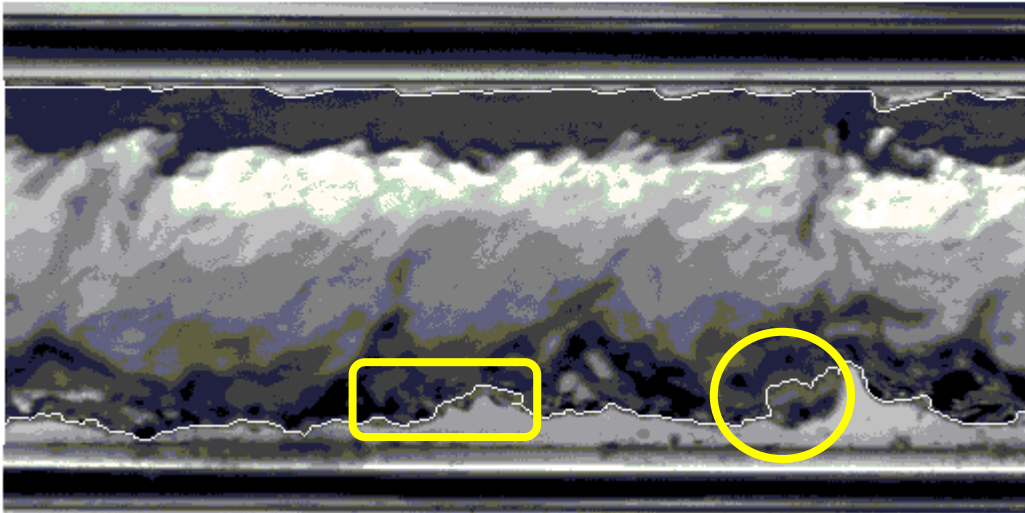
Programa verilen 100 adet fotoğraftan 72 tanesinde görüntü işleme yapılabildiği görülmüştür. Ancak bu 78 adet işlenen fotoğraflarda da bir takım hatalı işleme durumları görülmüştür. Şekil 7.26, Şekil 7.27, Şekil 7.28 ve Şekil 7.29 'da bu hataları görüntü işlemlere örnek bazı görüntüler sunulmaktadır.

Belirlenmis Sivi-Gaz tabakalari siniri



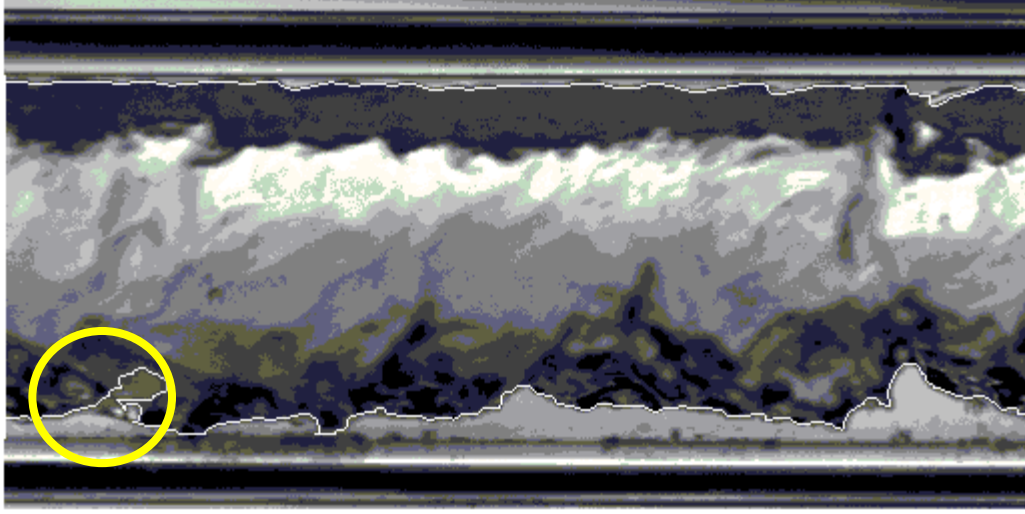
Şekil 7.26 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 1

Belirlenmis Sivi-Gaz tabakalari siniri



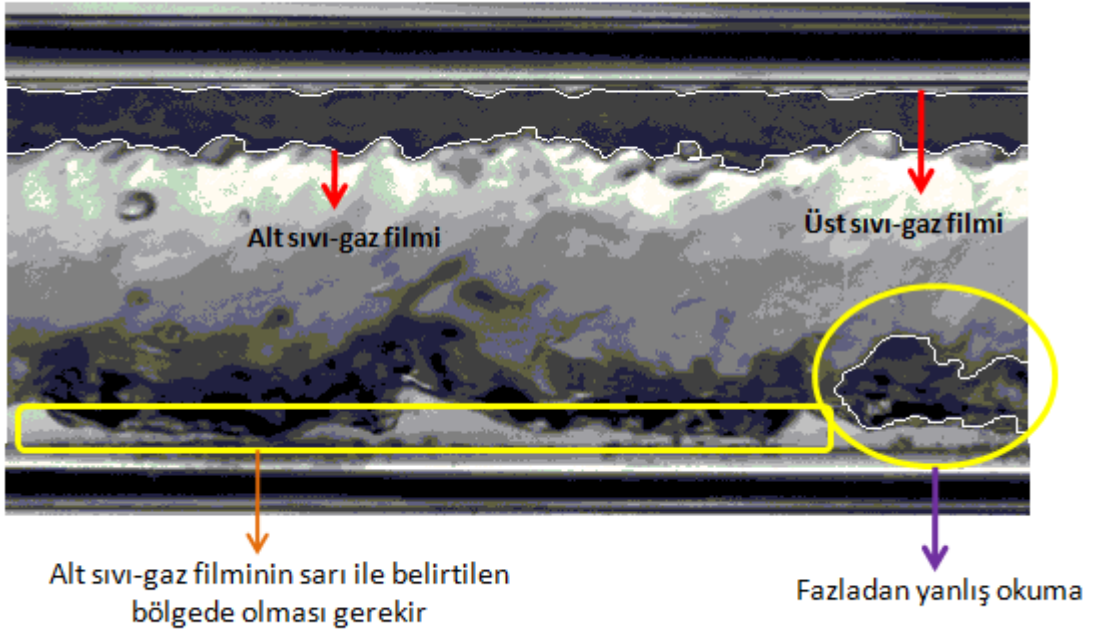
Şekil 7.27 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 2

Belirlenmis Sivi-Gaz tabakalari siniri



Şekil 7.28 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 3

Belirlenmis Sivi-Gaz tabakalari siniri



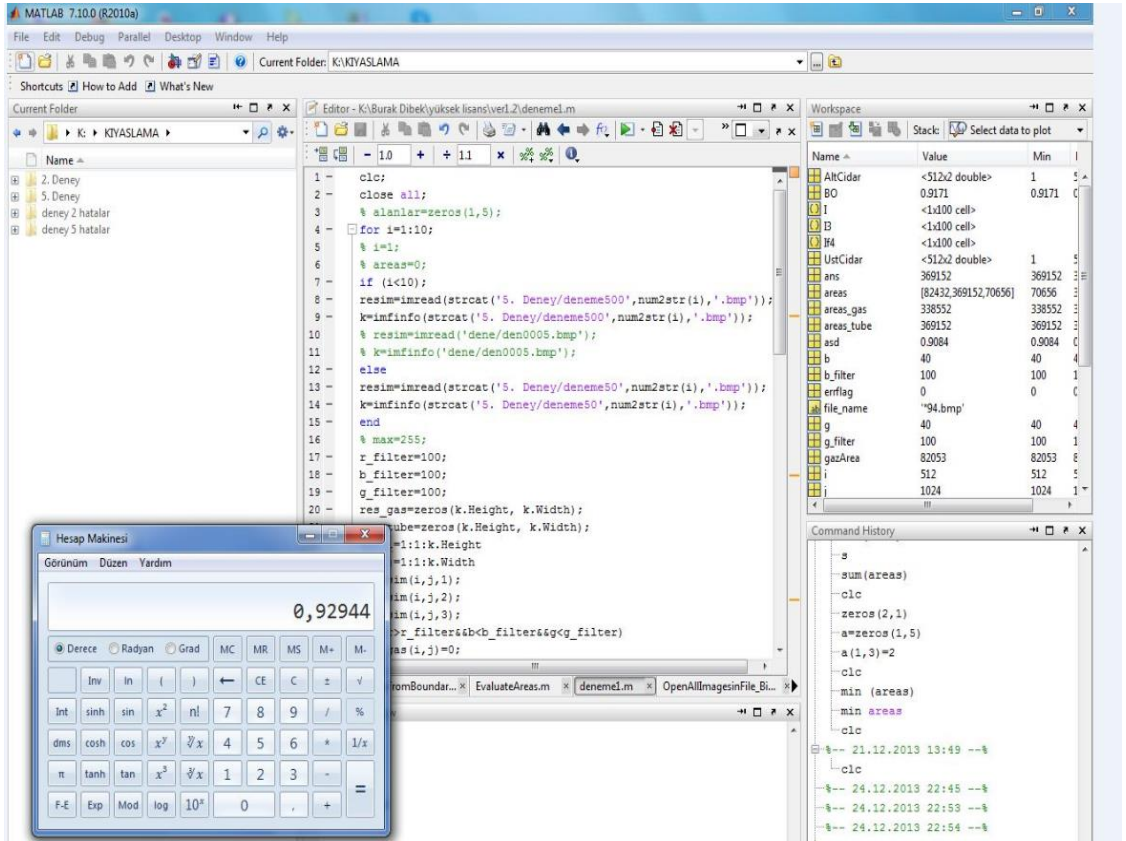
Şekil 7.29 Hatalı sıvı-gaz filmi belirlenmesi örneği 4

Şekil 7.26, Şekil 7.27 ve Şekil 7.28 'de örneği veren sıvı-gaz filmde ufak çaplı sapmaların olduğu hataların işlenen resimlerde çoğunlukla görünen hatalar olmaktadır. Ancak bu hatalardaki sapmalar toplam alana oranlandığında çok küçük olduğu olumsuz etkisi fazla olmamaktadır. Şekil 7.29 'da görünen hata ise sadece 1 ya da 2

resimde görünen hata tipine örnektir. Daha büyük hata etkisine sahip bu yanlış okuma ise çok sayıda görüntü işlendiğinde olumsuz etkisini kaybetmektedir.

Aynı deneye ait 100 adet görüntüden 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 numaraları 10 adet görüntü daha önce Şekil 7.23 'te verildiği gibi yarı-otomatik yazılımda işlenmek üzere renklendirilmiştir.

Renklendirilmiş görüntülerin yarı-otomatik yazılımda işlenmesi ile elde edilen boşluk oranı değeri ise 5.Deney için 0,9294 olmaktadır.



Şekil 7.30 Yarı-otomatik yazılım ile 5.Deney 'in boşluk oranının belirlenmesi

Bu durumda 5. Deneye ait belirlenene boşluk oranı değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır;

- Otomatik yazılım ile boşluk oranı değeri: 0,9101
- Yarı-otomatik yazılım ile boşluk oranı değeri: 0,9294
- Korelasyonlara göre elde edilen boşluk oranı değerlerinin aritmetik ortalaması: 0,9274
- Otomatik yazılım ile yarı-otomatik yazılım arasındaki değişim: %2

Bu değerlerden tekrar görülebileceği gibi her iki yazılım ile de korelasyonlarla son derece uyumlu boşluk oranı değerleri elde edilebilmektedir. Otomatik yazılım ile yarı-otomatik yazılım kullanılarak elde edilen boşluk oranı değerleri arasında yaklaşık %2 ‘lik bir fark görmekteyiz ki bu farkın oluşma sebebi de otomatik yazılım ile görüntü işleme sırasında meydana gelen hatalı okuma durumlarıdır. Ancak yine işlenen görüntü sayısının fazla olması bu hatalı okumaların etkisini azaltmaya yetmiştir.

Ancak 2. Deneyde iki program arasındaki fark %1,5 iken 5. Deneyde bu fark %2 ‘ye yükselmiştir. Ayrıca yarı-otomatik yazılım ile elde edilen değerin korelasyonlar ile elde edilen boşluk oranı değerlerinin aritmetik ortalaması ile neredeyse aynı olduğu da rahatlıkla görülebilmektedir. Bu durumda otomatik yazılımda elde edilen boşluk oranı değerindeki başarı oranı 2.Deney ile 5.Deney arasında %0,5 kadar daha azalmıştır denebilir. Bu duruma sebep olan etken ise 5.Deneyde işlenemeyen görüntünün daha fazla olmasıdır. Yani 2.Deneyde fotoğrafların %80-85 ‘i başarı ile işlenebilmişken, 5.Deneyde fotoğrafların %65-70 ‘i başarı ile işlenebilmiştir. Bu işlenen fotoğraf sayısındaki düşüş ise hata oranında çok az da olsa artışa sebep olmuştur.

Buradan karmaşıklığı artmış akış görüntülerinde otomatik yazılımın görüntü işleme başarisından oransal bir düşüş olduğu görülmektedir. Hatalı okumalardan kaynaklanan bu olumsuz etkinin azaltılması için karmaşık akış tiplerinde otomatik yazılıma daha fazla (100’den fazla) fotoğraf verilmesi daha uygun olacaktır.

Ancak her ne kadar iki deney arasında göreceli bir başarı düşüşü görülse bile yine de iki yazılım ile de %98-99 aralığında başarılı boşluk oranı tespiti yapılabilir.

7.4.3 Otomatik ve Yarı-otomatik Yazılımların Boşluk Oranı Tespitinde Uygunluğu

Sonuç olarak her iki yazılımın da boşluk oranı tespitinde kullanılmasının uygunluğu açıkça görülebilmektedir. Ancak her iki programın da güçlü ve zayıf olduğu yönler bulunmaktadır.

Özetle bu güçlü ve zayıf yönleri şu şekilde sıralayabiliriz;

Otomatik Yazılımın Güçlü Yönleri

- ✓ Otomatik yazılım kullanımı daha pratik olan bir programdır.

- ✓ Deney düzeneğinden elde edilen görüntüler hiçbir ön işleme tabi tutulmadan direk bu program ile işlenerek boşluk oranı değeri tespit edilebilir.
- ✓ İstenildiği kadar çok sayıda görüntü çok kısa bir zaman aralığında işlenerek boşluk oranı değerine ulaşılabilir. Bu sebeple zamandan tasarruf sağlayan bir program olma özelliği bulunmaktadır.

Otomatik Yazılımın Zayıf Yönleri

- Otomatik yazılımda işlenen görüntülerdeki karmaşıklığın artması ile okuma hatalarında artış meydana gelmektedir.
- Otomatik yazılım dalgalı, katmanlı, halka akış tipleri için uygun iken kesikli (slug-plug) ve baloncuklu (bubbly) akış tipleri için uygun değildir.
- Karmaşık akış görüntülerine sahip deneyler için işlenecek akış görüntü sayısının az olmaması gerekmektedir. Görüntü detaylarının az olması hata payını artırmaktadır.

Yarı-otomatik Yazılımın Güçlü Yönleri

- ✓ Daha az görüntü verisi işlenerek doğru boşluk oranı tespitinde bulunulabilir.
- ✓ Gaz ve sıvı alan ayrımlarının renklendirme yöntemi ile ön işlem uygulanarak belirlenmesi sebebi ile her akış tipi için uygundur.
- ✓ İşlenecek görüntülerin kalitesi ön işlemde geçirilerek artırıldığı için tek piksel mertebesinde hassas bir çalışma ile sıvı-gaz fazı ayrımının yapılması mümkün olmaktadır.
- ✓ Çok kaliteli olmayan ancak göz ile doğru bir şekilde sıvı-gaz ayrımının algılanabileceği kadar başarılı akış görüntülerinden dahi boşluk oranı tespit edilmesine olanak verir.
- ✓ Kullanıcı tarafından sıvı-gaz alanı ayrımına direk müdahale edildiği için istenmeyen ya da kaçınılmaz okuma hataları görülmez.

Yarı-otomatik Yazılımın Güçlü Yönleri

- Deneylerden elde edilen görüntüler bir ön işlemde geçirilmesi gerekliliği kullanım pratikliğine ters etki yapmaktadır.
- Görüntülerin ön işlemde geçirilmesi için kullanıcı çalışmalarına artı bir zaman ayırmak durumunda kalmaktadır.

Sonuç olarak görüntü işleme çalışmalarından ve yapılan kıyaslamalardan anlaşılacağı üzere her iki program ile de yapılan boşluk oranı tespitleri son derece başarılı tespitlerdir.

Günümüzde çeşitli parametrelere bağlı olarak boşluk oranı hesabının yapılabileceği bir çok korelasyon bulunmaktadır. Ancak bu korelasyonlar çoğunlukla belirli akış tipleri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılmış ve tüm akış tiplerinde uygulanabileceği varsayımı ile tüm akış tipleri için genellenmiş formüllerdir.

Ancak akış görüntüleme ile elde ettiğimiz boşluk oranı değerleri hiçbir parametreye bağlı olmayan tamamen deneysel verilerdir. Bu sebeple bir akış tipi için uygunken başka bir akış tipi için uygun olmaması gibi bir durum söz konusu olmamaktadır. Bir akışa ait sıcaklık, basınç, kuruluk derecesi, yoğunluk, akışkan türü... vb hiçbir teknik veriye sahip olunmasa bile sadece akışa ait görüntülerden boşluk oranının elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Hatta bazı sistemlerde bilinmeyen parametrik değerinin bulunmasında da kullanılabilecek bir yöntem olmaktadır. Tersine mühendislik kullanılarak, tespit edilen boşluk oranı değerlerinden akışkana ait kuruluk derecesi, kütleli akı, sıcaklık yoğunluk... vb bilinmeyen bir değerinde hesaplanması mümkün kılınmaktadır.

Sahip olunan bu akış görüntüleme tekniği ve görüntü işleme yazılımları geliştirilmeye açık olan çalışmalar olup ihtiyaca göre daha farklı soğutucu sistemleri, daha farklı akış tipleri ve daha farklı değer bulma amaçları doğrultusunda revize edilebilirler. Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda deneysel çalışmaların önemini bir kez daha ön plana çıkaran bu boşluk oranı belirleme tekniği çok daha ileri çalışmalar ile çok daha önemli faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Nino, V.G, Adams, D., Hrnjak, P.S., Newell, T.A., “Characteristics of two phase flow in microchannel”, ACRC project 131.
- [2] Spindler, K., Hahne, E., (1999). “An experimental study of the void fraction distribution in adiabatic water-air two phase flows in an inclined tube”, *Int.J.Thermal Sci.*, 38:305-314.
- [3] Fordham, E.J., Holmes, A., Ramos, R.T., Simonian, S., Huang, S-M., Lenn, C.P., (1999). “Multiphase-fluid discrimination with local fibre optical probes: I. liquid/liquids flows”, *Meas. Sci.Technol*, 10:1329-1337.
- [4] Cartellier, A., (1990). “Optical probes for local void fraction measurements: Characterization of performance”, *Rev.Sci.Instrum*, 61:874-886.
- [5] Cartellier, A., (1998). “Measurement of gas phase characteristics using new monofiber optical probes and real time signal processing”, *Nuclear Engineering and Design*, 184:393-408.
- [6] Kendoush, A.A., Sarkis, Z.A., (2001). “Void fraction measurement by X-ray absorption”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 25:615-621.
- [7] Harvel, G.D., Hori, K., Kawanishi, K., Chang, J.S., (1999). “Cross sectional void fraction distribution measurements in a vertical annulus two-phase flow by high speed X-ray computed tomography and real time neutron radiography techniques”, *Flow Measurement and Instrumentation*, 10:259-266.
- [8] Richter, S., Aritomi, M., Presser, H.M., Hampel, R., (2000). “Approach towards spatial phase reconstruction in transient bubbly flow using a wirw-mesh sensor”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:1063-1075.
- [9] Krepper, E., Krüssenberg, A.K., Prasser, H.M., Schaffrath, A., (1999). “High resolution void fraction measurements for the validation of flow maps and CFD codes”, *Two phase flow modelling and Experimentation*, Edizioni ETS, Pisa, 1371-1378.
- [10] Costigan, G., Whalley, P.B., (1997). “Slug flow regime identification from dynamic void fraction measurements in vertical air-water flows”, *Int.J.Multiphase Flow*, 23:263-282.
- [11] Song, C.H., Chung, M.K., No, H.C., (1998). “Measurements of void fraction by an improved multi-channel conductance void meter”, *Nuclear Engineering and Design*, 184:269-285.

- [12] Yen, T., Shoji, M., Takemura, F., Suzuki, Y., Kasagi, N., (2006). "Visualization of convective boiling heat transfer in single microchannels with different shaped cross-sections", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49:3884-3894.
- [13] Triplett, K.A., Ghiaasiaan, S.M., Abdel-Khalik, S.I., Sadowski, D.L., (1999). "Gas-liquid two-phase flow in microchannels, Part I: Two-phase flow patterns", *International Journal of Multiphase Flow*, 25(3):377-394.
- [14] Wojtan, L., Ursenbacher, T., Thome, J. R., (2005). "Measurement of dynamic void fractions in stratified types of flow", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29:383-392.
- [15] Hurlburt, E. T., Newell, T. A., Prediction of the Circumferential Film Thickness Distribution in Horizontal Annular Gas-Liquid Flow ACRCTR-111
- [16] Puli, U., Rajvanshi, A.K., (2012). "An image analysis technique for determination of void fraction in subcooled flow boiling of water in horizontal annulus at high pressures", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 38:180-189.
- [17] Saisorn, S., Wongwises, S., (2009). "An experimental investigation of two-phase air–water flow through a horizontal circular micro-channel", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33:306-315.
- [18] Brutin, D., Ajaev, V.S., Tadrist, L., (2013). "Pressure drop and void fraction during flow boiling in rectangular minichannels in weightlessness", *Applied Thermal Engineering*, 51:1317-1327.
- [19] Serizawa, A., Feng, Z., Kawara, Z., (2002). "Two-phase flow in microchannels", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 26:703-714.
- [20] Paranjape, S., Ritchey, S. N., Garimella, S. V., (2012). "Electrical impedance-based void fraction measurement and flow regime identification in microchannel flows under adiabatic conditions", *International Journal of Multiphase Flow*, 42:175-183.
- [21] Bowers, Chad D. and Hrnjak, Predrag S., (2010). "Determination of Void Fraction in Separated Two-Phase Flows Using Optical Techniques", *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, Paper 1083.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burak DİBEK
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.07.1988 / Ankara
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : dibek.burak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Çorum Fen Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2012	Ford Otosan Otomotiv Sanayi A.Ş.	Ür-Ge Mühendisi
2011	Arçelik A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

