

**HALKASAL EKSANTRİK BORULARDA AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN
DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ
KULLANARAK TESPİTİ**

HÜSNÜ ERTAN YÜKSEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2010

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver Kaynak

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Doç. Dr. Erdoğan Doğdu

Anabilim Dalı Başkanı

Hüsnü Ertan YÜKSEL tarafından hazırlanan HALKASAL EKSANTRİK BORULARDA AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK TESPİTİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. A. Murat Özbayoğlu

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan: Yrd. Doç. Dr. M. Fatih Demirci

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Murat Özbayoğlu

Üye : Yrd. Doç. Dr. Çoşku Kasnakoğlu

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüsnü Ertan Yüksel

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Murat Özbayoğlu
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2010

Hüsnü Ertan YÜKSEL

**HALKASAL EKSANTRİK BORULARDA AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN
DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ
KULLANARAK TESPİTİ**

ÖZET

Sondaj işleminde akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı, basınç farkı ve kesinti yoğunluğu gibi akış özelliklerinin önceden tespit edilmesi açılacak sondaj kuyusu için maliyet, zaman ve kaynakların verimli kullanımı açısından büyük yarar sağlayacaktır. Literatürde, halkasal borularda iki fazlı akışkanların gerek hidrolik davranışları gerekse kesinti taşıma mekanizması ile ilgili araştırma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışmanın amaçlarından biri, halkasal eksantrik borularda iki fazlı ve çok fazlı akışlarda basınç kayıplarını ve akış örüntülerini deneysel olarak gözlemlemektir. İkinci amaç ise dijital görüntü işleme teknikleri ile bu akışlardaki sıvı hacimsel oranını ve kesinti yoğunluğunu tespit etmektir. Çalışmanın son amacı da yatay halkasal ortamda iki fazlı (su ve hava) akış için geleneksel mekanistik modeller yerine yapay zeka teknikleri kullanarak akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı için tahmin modelleri geliştirmektir. Bu çalışmada yapay zeka tekniklerinden en yakın komşu algoritması, yapay sinir ağları ve karar ağaçları kullanılmıştır. Yapay zeka modellerinde akışın genelleştirilmesi için sıvı ve gaz fazları için yüzeysel Reynolds sayıları kullanılmıştır. Sonuçlar, geri yayımlı sinir ağının akış özellikleri modellerinde en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Su ve hava akışında, 7 adet akış örüntüsü 10% hassasiyetle, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı ise sırasıyla 14.4% ve 3.8% (0.0274 psi) ortalama hata payı ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: iki fazlı akış, çok fazlı akış, görüntü işleme, yapay sinir ağları, karar ağacı

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Computer Engineering
Supervisor : Assistant Prof. Dr. Ahmet Murat Özbayoğlu
Degree Awarded and Date : M.Sc. – July 2010

Hüsnü Ertan YÜKSEL

**ESTIMATION OF FLOW PROPERTIES IN ECCENTRIC ANNULUS USING
DIGITAL IMAGE PROCESSING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TECHNIQUES**

ABSTRACT

In drilling operations estimation of flow properties such as flow pattern, liquid holdup, pressure drop and cutting concentration is beneficial in terms of cost, time and efficient usage of resources for well to be opened. There is a lack of research both for hydraulic behavior and for cutting transportation mechanism of two phase fluids in annular geometries. One of the aims of this study is to observe the pressure drop and flow patterns experimentally in two phase and multiphase flows in eccentric annulus. The second aim is to detect the liquid holdup and cutting concentration of these flows using digital image processing techniques. The last aim is to estimate the flow pattern, liquid holdup and pressure drop for two phase (air and water) flow in horizontal eccentric annulus. This is conducted by using artificial intelligence techniques rather than conventional mechanistic models. In this study nearest neighbor algorithm, artificial neural networks, and decision trees are used as artificial intelligence technique. Flow is generalized by representing it as superficial Reynolds numbers for both liquid and gas phase. The results showed that the back propagation neural network gives the best results for estimation models. In air and water flow, 7 flow patterns are estimated with an accuracy of 10%; and liquid holdup and pressure drop are estimated with an average error of 14.4% and 3.8% (0.0274 psi), respectively.

Keywords: two phase flow, multiphase flow, image processing, artificial neural networks, decision tree

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet Murat Özbayoğlu'na ve değerli bilgileri ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Mehmet Evren Özbayoğlu'na, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve yüksek lisans arkadaşlarıma ve bana verdikleri manevi desteklerden dolayı ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 108M106 numaralı "Gaz Sıvı Karışımlı Sondaj Akışkanlarının Kesinti Taőtırma Özelliklerinin Tayini" adlı araştırma projesi kapsamında desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. DENEY DÜZENEGİ	4
2.1. Kesinti Akış Sistemi ve Donanımlar	4
2.2. Gerçekleştirilen Deneyler	8
2.2.1. İki Fazlı Sıvı ve Gaz Akışı	10
2.2.2. Üç Fazlı Sıvı, Gaz ve Katı Akışı	11
2.3. Deneysel Verilerin Doğruluğu	11
2.4. Deneysel Verilerin Kontrolü ve Analizi	12
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
4. AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ÇIKARIMI	22
4.1. Kullanılan Görüntü İşleme Teknikleri	22
4.1.1. Gri Seviyeli Görüntüyü Elde Etme	22
4.1.2. Görüntü İkileştirme	22
4.1.3. Arka Plan Kestirimi	23
4.1.4. Morfolojik İşlemler	24
4.1.5. İlgilenilen Alanın Görüntüden Çıkarılması	26
4.1.6. Sınır Tespiti	28
4.2. Yatay Boruda Su ve Kesintilerden Oluşan Deneyler	29
4.2.1. Algoritma-1	29
4.2.2. Algoritma-2	32
4.3. Yatay Boruda Su, Hava ve Kesintilerden Oluşan Deneyler	34
4.3.1. Algoritma-1	34
4.3.2. Algoritma-2	37

4.4.	Yatay Boruda Su ve Havadan Oluşan Deneyle	39
4.4.1.	Sınır Kullanarak Etiketleme Algoritması	40
4.4.2.	Yoğunluğa Göre Etiketleme Algoritması	41
4.4.3.	Kabarcık Algoritması	43
4.5.	Dikey Boruda Su ve Kesintilerden Oluşan Deneyle	45
4.5.1.	Algoritma	45
5.	GELİŞTİRİLEN YAPAY ZEKÂ TAHMİN MODELLERİ	48
5.1.	Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri	48
5.1.1.	En Yakın Komşu Algoritması	48
5.1.2.	Yapay Sinir Ağları	48
5.1.3.	Karar Ağaçları	52
5.2.	Geliştirilen Modeller	52
5.2.1.	Model Girdilerinin Ayarlanması	53
5.2.2.	Akış Örüntüsü İçin Geliştirilen Modeller	54
5.2.3.	Sıvı Hacimsel Oranı ve Basınç Kaybı İçin Geliştirilen Modeller	57
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
6.1.	Görüntü İşleme Sonuçları	58
6.2.	Tahmin Modellerinin Sonuçları	62
6.2.1.	Akış Örüntüsü Tespiti	62
6.2.2.	Sıvı Hacimsel Oranı Tespiti	65
6.2.3.	Basınç Kaybı Tespiti	66
6.3.	Tartışma	69
6.4.	Geleceğe Yönelik Çalışmalar	70
	KAYNAKLAR	71
	ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Etiketleme tablosu	42
Çizelge 5.1. Tahmin edilecek değişkenler için kullanılan yapay zekâ teknikleri	53
Çizelge 5.2. Akış örüntülerinin sayısal olarak gösterimi	54
Çizelge 5.3. Gözlemlenen akış örüntülerinin toplam sayıları	55
Çizelge 6.1. Akış örüntüsü modellerinin genel başarı oranı	62
Çizelge 6.2. Akış örüntüsü modellerinin akış örüntülerine göre başarı oranı	63
Çizelge 6.3. Sıvı hacimsel oranı modellerinin KOHK değerleri	65
Çizelge 6.4. Sıvı hacimsel oranı modellerinin sapma dağılımları	65
Çizelge 6.5. Basınç kaybı modellerinin KOHK değerleri	66
Çizelge 6.6. Basınç kaybı modellerinin sapma dağılımları	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. KAS	4
Şekil 2.2. Çalkalayıcı	5
Şekil 2.3. Sistemde gaz ve sıvı fazın karıştığı giriş bölümü	6
Şekil 2.4. Test bölümü dikey konumda olan KAS	7
Şekil 2.5. Kullanılan Basler Scout marka kamera	8
Şekil 2.6. KAS şematik gösterimi	9
Şekil 2.7. Fisher kontrol vanası ve Toshiba akış ölçer	10
Şekil 2.8. Akıtma tankı ve spiral metal kısıntı taşıyıcısı	11
Şekil 2.9. Veri toplama için geliştirilen uygulama	13
Şekil 2.10. Veri toplama için geliştirilen uygulamanın kontrol paneli	13
Şekil 3.1. [37] çalışmasında kullanılan yapay sinir ağı	18
Şekil 4.1. Arka plan kestirimi	24
Şekil 4.2. Morfolojik işlemler [51]	26
Şekil 4.3. Borunun bulunması	27
Şekil 4.4. Sınır tespiti	28
Şekil 4.5. Yatay boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri	29
Şekil 4.6. Algoritma-1'in sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması	31
Şekil 4.7. Algoritma-2'nin tepeli akışa uygulanması	33
Şekil 4.8. Algoritma-2'nin dağınık akışa uygulanması	33
Şekil 4.9. Yatay boruda su, hava ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri	34
Şekil 4.10. Algoritma-1'nin sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması	36
Şekil 4.11. Algoritma-2'nin dağınık akışa uygulanması	38
Şekil 4.12. Yatay boruda su ve havadan oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri	39
Şekil 4.13. Sınır kullanarak etiketleme algoritması	41
Şekil 4.14. Piksel yoğunluğuna göre etiketleme algoritması	43
Şekil 4.15. Kabarcık algoritması	44
Şekil 4.16. Dikey boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri	45
Şekil 4.17. Algoritma'nın spiral akışa uygulanması	47
Şekil 4.18. Algoritma'nın dağınık akışa uygulanması	47
Şekil 5.1. Sinir hücresinin yapısı [42]	50
Şekil 5.2. Tipik bir yapay sinir ağı yapısı [42]	51
Şekil 5.3. Akış örüntülerinin grafiksel gösterimi	56

Şekil 6.1. Yatay boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi (iç boru hareketsizken)	58
Şekil 6.2. Dikey boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi (iç boru dönme hızı dakikada 100 devir olduğunda)	59
Şekil 6.3. Yatay boruda su, hava ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun gaz hızına göre değişimi	60
Şekil 6.4. Hesaplanan (Halkasal boru için güncellenmiş Beggs&Brill metodu [19]) ve görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranın kıyaslanması	61
Şekil 6.6. Akış örüntüsü modellerinde en iyi sonuç (Genişletilmiş & Ölçeklendirilmiş GYSA)	64
Şekil 6.7. GYSA ile hesaplanan ve görüntü işleme ile elde edilen sıvı hacimsel oranın kıyaslanması	66
Şekil 6.8. GYSA ile hesaplanan ve deney ortamından ölçülen basınç kaybının kıyaslanması	68
Şekil 6.9. [42] çalışmasında ölçülen ve model ile tahmin edilen basınç kaybının kıyaslanması	68

KISALTMALAR

Kisaltmalar	Açıklama
KSA	Kesinti Akış Sistemi
YSA	Yapay sinir ağı
EYK	En yakın komşu
KA	Karar ağacı
RA	Regresyon ağacı
SA	Sınıflandırma ağacı
KOHK	Karekök ortalama hata kare

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Sembol	Açıklama
f	Gri seviyeli görüntü
i	İkili görüntü
T	Global eşik değeri
m	Satır sayısı
n	Sütun sayısı
g	Arka plan görüntüsü
q	Toplam görüntü sayısı
A	İkili görüntü
B	Yapısal eleman
B ^S	B'nin simetriği
B _z	B'nin vektör z ile ötelenmiş hali
⊕	Genişletme işlemi
⊖	Aşındırma işlemi
⊙	Açma işlemi
⊗	Kapama işlemi
I	Gri seviyeli görüntü
O	Yatay ve dikey kenarları içeren görüntü
G _x	Yatay kenarları içeren görüntü
G _y	Dikey kenarları içeren görüntü
d	Öklid uzaklığı
w	Sinir hücreleri arasındaki ağırlık
b	Yanlılık terimi
v	Toplam ağırlık
N _{ReL}	Yüzeysel sıvı Reynolds sayısı
N _{ReG}	Yüzeysel gaz Reynolds sayısı
V _{SL}	Yüzeysel sıvı hızı
V _{SG}	Yüzeysel gaz hızı
D _o	Dış boru çapı
D _i	İç boru çapı
p	Yoğunluk
μ _L	Sıvı viskozitesi
μ _G	Gaz viskozitesi

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Dünyada petrol ve doğal gaz ihtiyacının her geçen gün artması ve kullanılan donanımların teknolojik açıdan çok gelişmesi, daha derin ve zor bölgelerde sondaj yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, sondaj işleminde açılan kuyuların derinlikleri ve uzunlukları da günden güne artmakta olup, maliyet ve uygulama açısından kuyu temizliği, kesinti (sondaj esnasında oluşan katı parçacıkları) taşıma işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve hidrolik gereksinimlerin tespiti önem kazanmaktadır.

Gaz-sıvı karışımli sondaj akışkanları ile yapılan sondajlarda, akışkanın çok fazlılık özelliği sebebiyle, kuyu içerisindeki basınç kayıplarının ve kesinti taşıma performansının hesaplanması, sadece sıvı içeren akışkanlara kıyasla daha zordur. Yapılan sondaj yönlü veya yatay kuyu sondajı ise, performans hesaplaması kuyunun eğimine bağlı olarak, daha da güçleşmektedir. Gaz-sıvı karışımli sondaj akışkanlarının gerek hidrolik davranışları, gerekse kesinti taşıma mekanizması ve performansı henüz tam olarak anlaşılammış olup, özellikle fazlara ait en uygun debi seçimi konusunda büyük bir belirsizlik söz konusudur.

Kuyuların yatay ve eğiminin yüksek olduğu bölümlerde taşınmak istenen kesintilerin yatak oluşturması çok sık rastlanan bir problem olup, daha büyük sorunlarla karşılaşmamak için kuyunun belirli zaman aralıklarında temizlenmesi gerekmektedir. Sondaj esnasında kesintilerin yeterince verimli taşınmaması sonucu, hızlı matkap aşınması, yavaş delme hızı, tabaka çatlatma, yüksek döndürme ve çekme kuvvetleri ve takım sıkışması gibi birçok sorun ortaya çıkmaktadır [1,2]. Ayrıca kesintilerin yeterince taşınmaması sebebiyle sondaj maliyeti önemli ölçüde artmakta, hatta kuyunun kaybına kadar uzanan sonuçlara neden olmaktadır. Bu tür sorunları önlemek için sondaj kuyusunda üretilen kesintiler, sondaj akışkanı yardımıyla etken

bir biçimde kuyudan atılmalıdır. Sondaj akışkanının kesintileri kaldırma kabiliyeti genellikle sıvının taşıma kapasitesi olarak adlandırılır. Sıvının taşıma kapasitesini etkileyen en önemli faktörler şunlardır: sondaj akışkanının hızı, kuyu eğimi, sondaj akışkanının özellikleri, delme hızı, boru/kuyu dış merkezliği, kuyu geometrisi, kesintinin özellikleri ve borunun dönme hızı [3].

Bu çalışmada hidrolik gereksinimleri önceden tespit edebilmek için akış özelliklerinden akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı kullanılmıştır. Akış örüntüleri deney düzeneğinden alınan görüntüler incelenerek; gaz, sıvı ve katı fazların hacimsel oranları ise görüntü işleme sonucu tespit edilmiştir. Akış esnasındaki basınç kayıpları da deney düzeneğine kurulan bir sistem ile kaydedilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, gaz, sıvı ve katı karışumlu akışkanların akış özelliklerini deneysel olarak gözlemlemek, dijital görüntü işleme teknikleri ile akış özelliklerini tespit etmek ve yapay zekâ teknikleri kullanarak akış özellikleri için tahmin modelleri geliştirmektir.

Çalışma kapsamında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ve sondaj işlemini temsil etmek için tasarlanan Kesinti Akış Sistemi'nden yararlanılmıştır. Deney düzeneğindeki borunun eksantrik olarak adlandırılmasının sebebi, içerisinde merkeze oturmayan içi dolu bir boru bulunmasıdır. Sistemde iç borunun istenilen hızda döndürülmesi, sondaj işlemindeki matkabın çalışması olarak düşünülebilir. Ayrıca sisteme istenilen hızlarda verilebilen katı, sıvı ve gaz fazları sondaj işlemi esnasında ortaya çıkan materyalleri temsil etmektedir. Sistemde deneyler, farklı su ve hava debilerinde, farklı delme ve iç boru dönme hızlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı literatürdeki çalışmalardan ayıran en önemli özellikler; deneysel veritabanının olabilecek her türlü gaz-sıvı sondaj koşulunu içerecek bir genişliğe sahip olması ve görüntü işleme ve yapay zekâ tekniklerinin akış özelliklerini tespitinde yardımcı unsur olarak kullanılmış olmasıdır.

Çalışmanın 2. bölümünde deney düzeneği, kullanılan cihazlar ve gerçekleştirilen deneyler detaylı bir biçimde anlatılmıştır. 3. bölümde ise önceki çalışmaların yöntemleri ve sonuçları incelenmiştir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak akış özelliklerinin çıkarılması, detaylı algoritmalar verilerek 4. bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde gaz, sıvı ve katı fazlardan oluşan her deney için tasarlanan algoritmalar özel başlıklar altında verilmiştir. 5. bölümde ise kullanılan yapay zekâ tekniklerinden bahsedilmiş ve akış örüntüsünü, sıvı hacimsel oranını ve basınç kaybını tespit edebilmek için geliştirilen tahmin modelleri verilmiştir. Son bölümde ise görüntü işlemeden ve modellerden elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalardaki modellerle karşılaştırılmış olup, bu konuda yapılacak devam niteliğindeki çalışmalar için görüntü işleme algoritmalarının ve modellerin eksik yönleri belirtilmiştir. Ayrıca, ileride yapılabilecek çalışmalara yardımcı olması açısından ne yönde iyileştirmeler yapılabileceğinden bahsedilmiştir.

BÖLÜM 2

2. DENEY DÜZENEĞİ

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan Kesinti Akış Sistemi (KAS) detaylı bir biçimde anlatılacaktır. Ayrıca gerçekleştirilen deneylerin süreçleri, deneysel verilerin doğruluğu, kontrolü ve analizi özel başlıklar altında verilecektir.

2.1. Kesinti Akış Sistemi ve Donanımlar

KAS pompa, kompresör, kontrol vanaları, akış ölçer, basınç dönüştürücü gibi cihazların yanı sıra deney esnasındaki verileri kaydetmek için veri toplayıcı da içeren bir sistemdir. Şekil 2.1'de gözüken KAS, sıvı-gaz, sıvı-katı ve sıvı-gaz-katı fazlarından oluşan deneylerde kullanılabilir.



Şekil 2.1. KAS

Deney düzeneğinde ölçümlerin yapıldığı ve görüntülerin alındığı test bölümü, 2.91 inç çapında ve 15 fit uzunluğunda saydam bir boru içermektedir. Saydam borunun içerisinde 1.86 inç yarıçapında içi dolu, merkeze oturmeyen ve saydam olmayan bir boru bulunmaktadır. İç boru çeşitli hızlarda döndürülebilmesi için bir motora

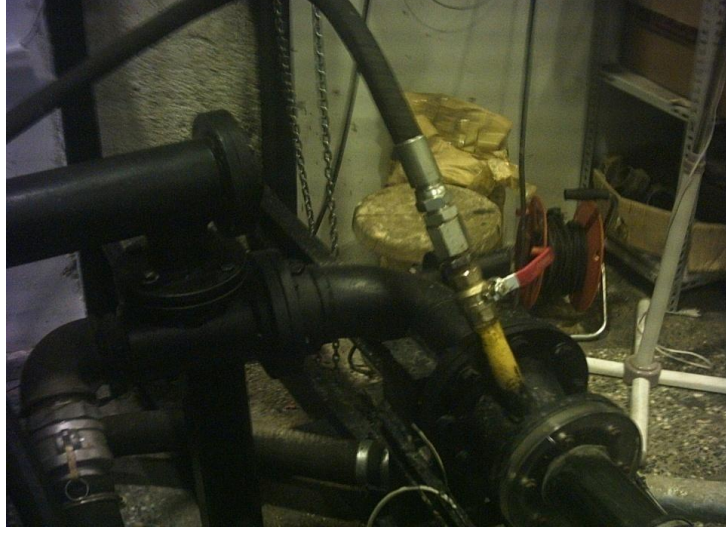
bağlanmıştır. Deneş düzeneğinin bir ucu yukarı ve aşağı hareket edebilmekte, böylece deneş düzeneği 10° - 90° arasında bir eğime sabitlenebilmektedir. Test bölümünün sonunda boru, toplama tankına (azami kapasite 700 bbl) bağlanmaktadır. Test bölümünden gelen karışımın sıvı fazı Şekil 2.2'de gösterilen çalkalayıcı sayesinde ayrılıp tankta toplanmaktadır. Tankta toplanan sıvı tekrar pompalanarak deneş düzeneğinde dolaştırılmaktadır. İki sıvı pompası (azami kapasite 250 gal/min) ve sıvının döngü içerisinde dolaşımını kontrol eden Fisher kontrol vanası, sıvının kontrolünü sağlamak için akış sırasında belirli aralıklarla kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Çalkalayıcı

Sisteme basınçlı gaz sağlamak için kompresör (125 psi gönderme basıncında çalışan kapasite 0-1200 ft³/min) kullanılmaktadır. Kompresörün akümülatörde bulunan bir parçası, hava basıncıyla çalıştırılan donanımlara hava sağlamaktadır. Belirli bir basınçta sıkıştırılan gaz test bölümünün giriş bölümüne taşınmakta olup, bu bölümde sıvı ve gaz birleşerek test bölümüne verilmektedir (Şekil 2.3). Gaz fazı sıvı fazıyla karışmadan önce gaz debisi, yüksek debiler (200-1200 ft³/min) için Fisher kontrol vanası ile düşük debiler (0-200 ft³/min) için ise Brass Gaz Topu vanası kullanılarak kontrol edilmektedir. Gaz basıncının güvenilir ölçüde olup olmadığı basınç düzenleyicisi kullanılarak kontrol edilmektedir. Gaz ve sıvı taşıma borularında, akışların tek yönlü olduğunu kontrol etmek ve sıvının ters yönde hareketini önlemek

için kontrol vanaları bulunmaktadır. Gaz ve sıvı fazın debileri kütle akış ölçer (gaz için Cole Parmer ve sıvı için Toshiba) kullanılarak ölçülmektedir. Gaz ve sıvı fazı en uygun karışımı oluşturmak için planlanan bir açıda (ters V şeklinde) karışmaktadır.



Şekil 2.3. Sistemde gaz ve sıvı fazın karıştığı giriş bölümü

Deney düzeneğinden doğru basınç ölçümlerini alabilmek için, ikişer çift basınç musluğu test bölümünün iki köşesine ve ortasına uygun uzaklıklarda yerleştirilmiştir. Musluklara bağlı ince borular bulunmaktadır. Su ile dolan ince musluk borularından basınç kaybını ölçebilmek için, musluklar farklı basınç dönüştürücülere (Honeywell ve Cole Parmer) bağlanmaktadır. Muslukların test akışkanlarından dolayı kirlenmesini ortadan kaldırmak için musluk boruları düzenli olarak akıtılmaktadır.

Deney düzeneğinde veri toplama amacıyla kurulan bir sistem bulunmaktadır. İki adet bilgisayar, National Instruments veri kaydedici ve uygun yazılımlar ile fazların debileri, delme hızı, iç boru dönme hızı, test bölümü eğimi ve yüksek hızlı kamera, bu sistem ile kontrol edilmektedir. Veri toplama sistemi ile anlık basınç, fazların debisi, tank ağırlığı, delme hızı ve iç boru dönme hızı ölçülebilmektedir. Lab View 8.2, veri kaydetme ve saklama, gerçek-zamanlı veri görünümü, çevrim içi analiz, süreç gözlemlene gibi işlemler için kullanılmaktadır. Ölçümlerin hassasiyetinden emin olmak için düzenli olarak ölçümleme denetlemesi gerçekleştirilmektedir.

Dikey konumda gerçekleştirilecek deneyler için ayarlanmış deney düzeneği Şekil 2.4’de verilmiştir. Dikey konuma getirilen test bölümü için destekler konulmuş ve test bölümünden görüntü alabilmek için kameranın konulacağı bir platform hazırlanmıştır.



Şekil 2.4. Test bölümü dikey konumda olan KAS

Deney düzeneğinden görüntü alabilmek için Şekil 2.5’de verilen, renkli görüntü alabilen Basler Scout marka kamera kullanılmıştır. Kamera, 1032 x 350 boyutlarında en fazla 60 ereve/saniye video kaydı gerçekleştirebilirken, bilgisayara ethernet teknolojisi ile bağlantı kurabilmektedir. Ayrıca kamera için Fujinon lens kullanılmıştır.

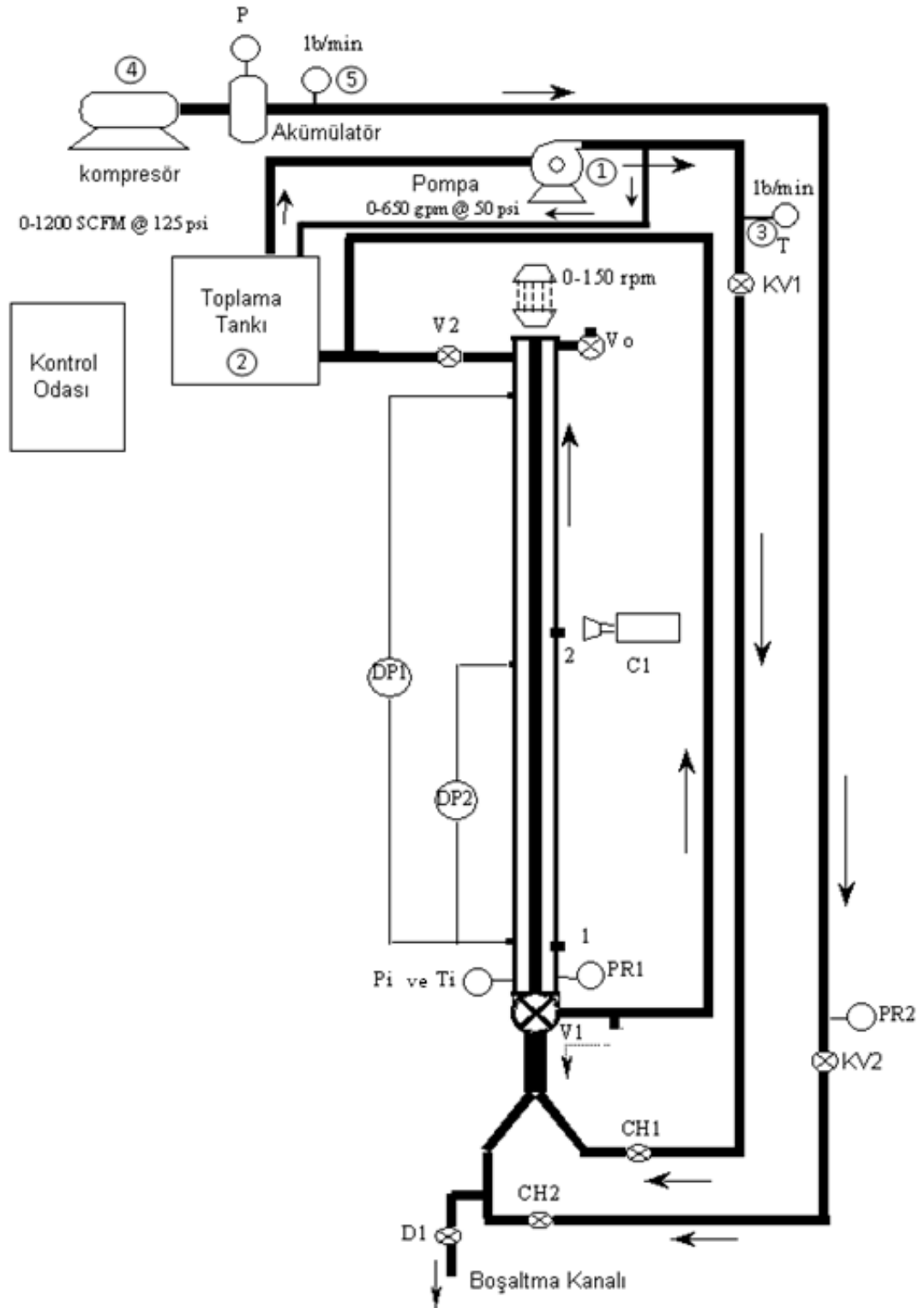


Şekil 2.5. Kullanılan Basler Scout marka kamera

2.2. Gerçekleştirilen Deneyler

İki fazlı akış deneyleri su ve hava, üç fazlı akış deneyleri ise su, hava ve kesinti kullanarak farklı gaz ve su debilerinde, farklı delme ve iç boru dönme hızlarında neredeyse yatay konumda ($89,6^\circ$) yürütülmüştür.

İki ve üç fazlı akış için gerçekleştirilen deneylerin süreçleri aşağıda verilmiştir. Anlatılan süreçleri görsel olarak da zihinde canlandırabilmek için deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir. Akışlar anlatılırken şematik gösterimde etiketlenmiş donanımlar parantez içinde verilecektir.



Şekil 2.6. KAS şematik gösterimi

2.2.1. İki Fazlı Sıvı ve Gaz Akışı

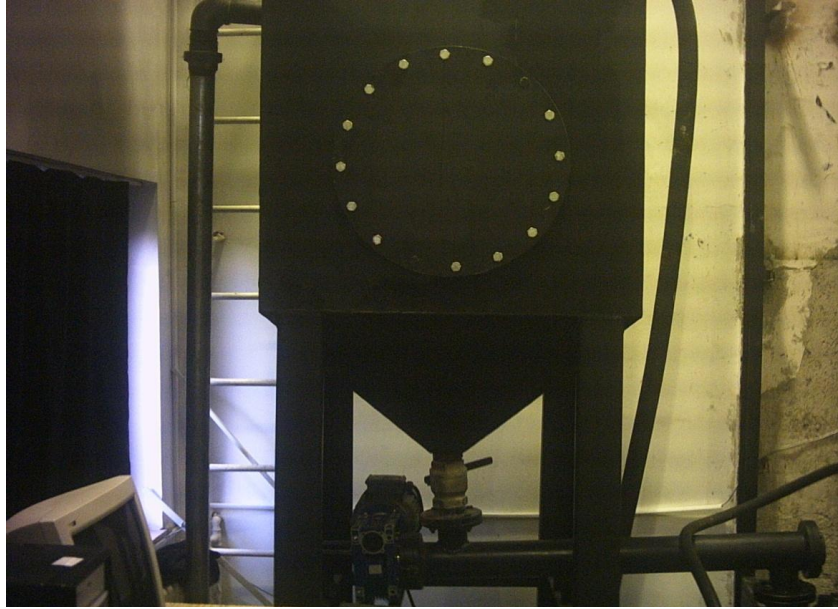
İki fazlı akışta, sıvı pompası (1) kullanılarak tanktaki (2) sıvı pompalanmakta ve deney düzeneğinden belirli bir hızla kütle akış ölçer (3) ve Şekil 2.7’de verilen Fisher kontrol vanası (KV1) üzerinden geçmektedir. Sıvı debisi dengede olduğunda kompresör (4), deney düzeneğine hava eklemektedir. Hava basıncı sisteme dağıldığında, kütle akış ölçer (5) ve Fisher kontrol vanası (KV2) kullanılarak hava debisi belirli bir değere ayarlanmaktadır. Sıvı ve gaz fazı (V1) bölümünde hem birbirlerine karışmakta hem de test bölümüne giriş yapmaktadırlar. Basınç musluklarını basınç dönüştürücülerine (DP1 ve DP2) bağlayan ince borular içlerinde hava kabarcıkları bulunmadığından emin olunarak tamamen su ile dolmaktadır. Hem gaz hem sıvı debisi dengede ve iki fazlı akış düzenli olduğunda, basınç kaybı kaydedilmektedir. Veri uzun bir süre toplanmakta olup, hassasiyet için verilerin ortalaması alınmaktadır. Aynı zamanda, test bölümüne girişteki basınç değeri P_i kaydedilmektedir. Bu değer hem boru içerisinde bulunan gazın hacmini hem de yüzeysel gaz hızını hesaplamak için kullanılmaktadır. Ayrıca veri toplama sistemi ile gaz ve sıvı debileri, sıvı fazı yoğunluğu ve hava basıncı da kaydedilmektedir.



Şekil 2.7. Fisher kontrol vanası ve Toshiba akış ölçer

2.2.2. Üç Fazlı Sıvı, Gaz ve Katı Akışı

Üç fazlı akışta iki fazlı akıştaki deneysel işlemler aynı şekilde uygulanmıştır. Bu akışın iki fazlı akıştan tek farkı; kesintilerin, gaz ve sıvı debileri dengeli olduğunda spiral metal kırıntı taşıyıcısı kullanılarak akıtma tankından sisteme verilmesidir (Şekil 2.8). Spiral metal kırıntı taşıyıcısı farklı delme hızlarını kontrol etmek ve uygulamak için spiral taşıyıcı, kanal, kaplama, motor ve kontrol panelinden oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Akıtma tankı ve spiral metal kırıntı taşıyıcısı

2.3. Deneysel Verilerin Doğruluğu

Gaz ve sıvı kütle debileri, kütle akışını %1 hassasiyet ile okumak için tasarlanan mikro-hız kütle akış ölçerleri ile ölçülmektedir. Toplanan veriler, doğruluğun dalgalanmalar ve dinamik karışıklıktan etkilendiğini göstermektedir. Sıvı kütle akış ölçümlerinde, çok düşük (<10 gal/min) ve yüksek (>170 gal/min) debilerde doğruluk $\pm\%5$ olmaktadır. Gaz debi ölçümlerinde ise çok düşük debilerde (<10 ft³/min) doğruluk, sistemde oluşan doğal dalgalanmalar sonucu çok düşmektedir ($\pm\%15$).

Yüksek gaz debileri için ise, dalgalanmaların büyüklüğü düşük olduğundan hassasiyet $\pm\%10$ olmaktadır.

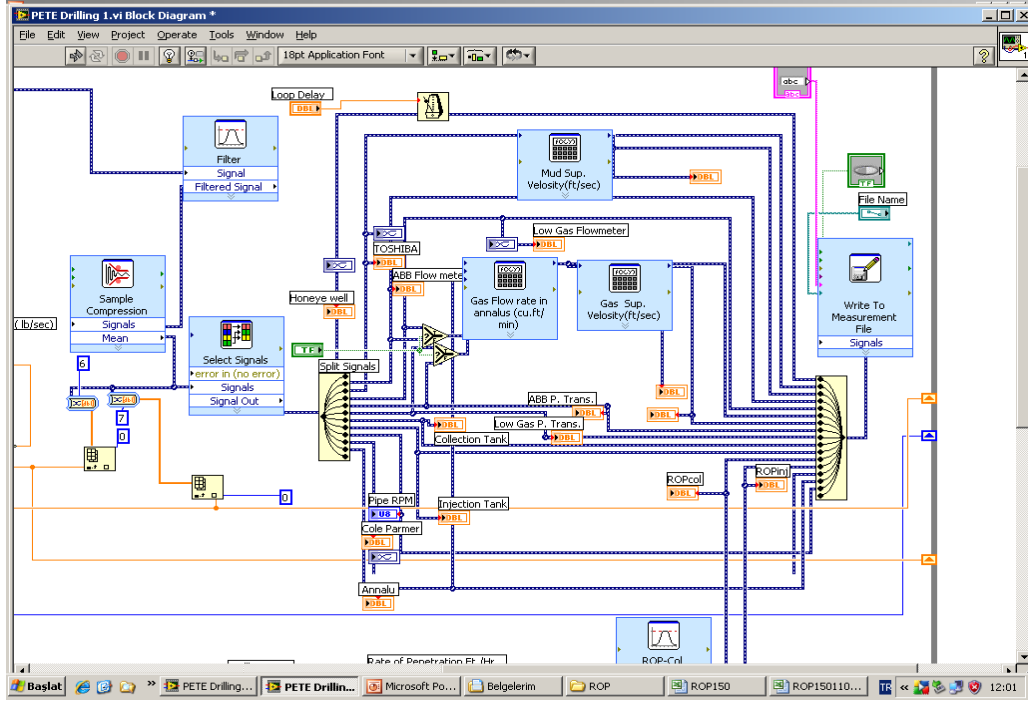
Basınç kaybı ölçümlerinde, basınç dönüştürücülerin ölçüm doğruluğu $\pm\%0.25$ çıkmaktadır. Debi dalgalanmaları sebebiyle, düşük gaz debilerinde ölçülen basınç kaybı doğruluğu $\pm\%1$ olmaktadır. Yüksek gaz debilerinde ise Honey Well basınç dönüştürücü Cole Parmer basınç dönüştürücünden daha hassas olduğundan, Honey Well basınç dönüştürücülerinin ölçtüğü değerler doğru olarak nitelendirilmiştir.

Gerçekleştirilen tüm deneyler (hem su-hava hem de su-hava-kesinti akışı) bir kere daha tekrarlanarak toplanan verinin güvenilirliğinden emin olunmuştur.

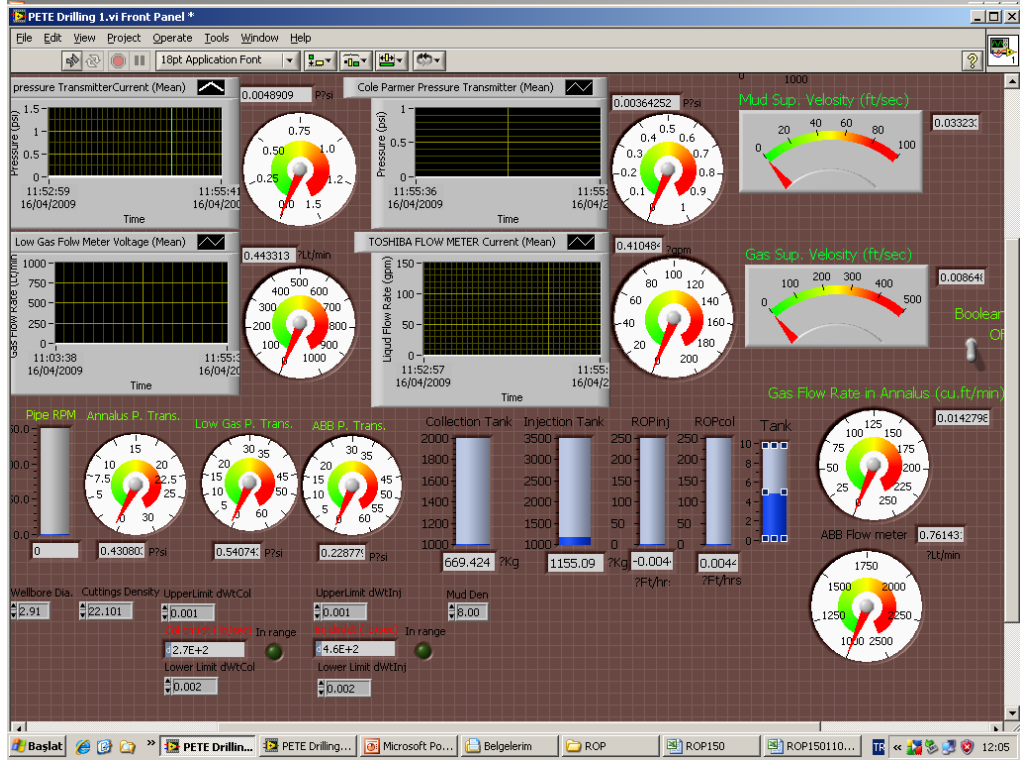
2.4. Deneysel Verilerin Kontrolü ve Analizi

Deney düzeneğinde gerçek zamanlı veri toplamak amacıyla kurulan veri toplama sistemi için LabView 8.2 yazılımı kullanılarak geliştirilen uygulama ve uygulamanın kontrol paneli sırasıyla Şekil 2.9 ve 2.10'da gösterilmiştir. Deney esnasında sistemin kolayca kontrol edilebilmesi için geliştirilen uygulama, sistemdeki donanımların anlık durumlarını grafiksel bir ara yüzde göstermektedir. Ayrıca anlık veriler üzerinde çeşitli analizler gerçekleştirerek gereksiz verilerin göz ardı edilmesi, bazı değerlerin hesaplanması ve verilen kaydedilmesini sağlar. Sistem veri analizi için aşağıdaki işlemleri gerçekleştirmektedir.

- Her girdi kanalı için saniyede 1000 sinyal kaydet.
- Ölçülen sinyallerden istenmeyen sinyalleri ve gürültüleri filtrele (Filtrenin genel bir kullanımı; 50 veya 60 Hz AC güç kaynağından gelen gürültünün elenmesi).
- Delme hızı ve gaz-sıvı yüzeysel hızları gibi gerekli olan değişkenleri hesapla.
- Filtrelenmiş sinyallerin ortalamasını hesapla ve her saniye için bir veri olacak şekilde kaydet.



Şekil 2.9. Veri toplama için geliştirilen uygulama



Şekil 2.10. Veri toplama için geliştirilen uygulamanın kontrol paneli

BÖLÜM 3

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde yatay, dikey ve açılı konumda dairesel ve halkasal borularda iki ve çok fazlı akış için geliştirilen geleneksel ve yapay zekâ modelleri ve görüntü işleme uygulamaları içeren önceki çalışmalardan bahsedilecektir.

Literatürde yatay, dikey ve açılmal konumda dairesel ve halkasal borularda iki fazlı (sıvı ve gaz) ve çok fazlı (sıvı-gaz ve katı) akışlar için birtakım çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle çok fazlı akışlarda kesinti taşıma işlemi, iki fazlı akışta ise gaz-sıvı karışımı sondaj akışkanlarının akış mekanizmaları ve davranışları üzerinde durulmaktadır.

Kesinti taşıma işlemi üzerine yapılan çalışmalar son 50 yıldır devam etmekte olup, bu çalışmalar deneysel ve teorik çalışmalar olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. 1986 yılında Tomren ve arkadaşları; akış rejiminin, dış merkezliğin ve kuyu eğiminin taşıma kapasitesi performansına etkisini araştırmışlardır [3]. 1991 yılında Becker ve arkadaşları akışkanın içsel özelliklerinin (akma noktası, plastik akmazlık, v.b.) kuyu temizliği üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir [4]. Becker ve arkadaşları yüksek eğimli kuyular için türbülânslı akışın, kesintilerin taşınmasını kolaylaştırdığını, düşük eğimli kuyularda ise kesintilerin taşınmasında akışkanın özelliklerinin belirleyici olduğunu göstermişlerdir. Sifferman ve Becker, 1992 yılında yaptıkları çalışmada [5]; çamurun akış hızının, çamurun yoğunluğunun, kuyu eğiminin ve borunun dönüş hızının kesinti yatağının kalınlığını etkileyen değişkenler olduğunu ifade etmiştir. 1999 yılında Sanchez, eğimli kuyularda borunun dönmesinin kuyu temizliği üzerindeki etkisini incelemiştir [6] . Yu ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları çalışma [7] ile kimyasal katkı maddeleri kullanıp kesintilerin yüzeyine gaz baloncukları ekleyerek, yatay ve eğimli kuyularda sondaj akışkanının taşıma kapasitesini artıracak yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

Yatay ve eğimli kuyularda kesintilerin taşınmasının ve kesinti yatağının oluşma mekanizmasının tespit edilmesi için çok sayıda teorik ve mekanistik model ortaya konmuştur. 1989 yılında Gavignet ve Sobey, 1994 yılında Clark ve Bickham, 1998 yılında Nguyen ve Rahman ve 1999 yılında Kamp ve aynı yılda Riverio tarafından önerilen modellerin performansı farklı sondaj benzetimlerinde test edilmiştir [8-11]. Ayrıca kesinti yatağının oluşmasını engellemek için kritik akışkan hızları, teorik ve deneysel olarak bulunmuştur. Larsen ve arkadaşları 1997 yılında yaptıkları çalışmada [12], yüksek eğimli ve yatay kuyularda kesintilerin taşınması için gerekli olan kritik hızı tahmin eden bir model önermişlerdir. 2000 yılında ise Cho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [13], Nguyen ve Rahman'ın 1998 yılında geliştirdikleri modele [10] benzer bir model geliştirmişlerdir. Cho ve arkadaşları çalışma kapsamında bir benzetim geliştirmişler, var olan model sonuçlarıyla diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarını karşılaştırmışlar ve sondaj operasyonlarında mümkün olan en düşük basıncın bulunması için grafikler oluşturmuşlardır. Ayrıca benzetim sonuçlarını kullanarak kesinti yatağının oluşmasını engellemek için minimum kritik hızı gözlemlemişlerdir. 2000 yılında Masuda ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada [14] ise farklı akış koşullarında borunun içindeki kritik akışkan hızını belirlemek için deneysel ve nümerik araştırmalar yapılmıştır. 2007 yılında Özbayoğlu ve arkadaşları, birimsel analiz tekniği ile birimsiz gruplar tanımlamışlar ve yatay ve eğimli kuyularda kesinti yatağı oluşumunu tamamen önleyebilmek için gerekli asgari akışkan hızını tespit etmişlerdir [15]. Aynı zamanda deneysel olarak gözlem yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır.

Gaz-sıvı karışımli akışkanların dairesel borulardaki akışı, hem teorik hem de deneysel olarak yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Geliştirilen modeller, genel ve mekanistik modeller olmak üzere iki kategoride toplanabilir. İki fazlı akışkanlar için oluşturulan ilk modeller akış örüntülerinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. Bu genel modeller, karmaşık akış örüntülerini dikkate almamış ve iki fazlı akışı ya tek fazlı bir akış ya da birbirinden ayrı iki fazlı akışkandan oluşan bir akış olarak değerlendirmiştir. Bu modellerden en önemlileri; 1949 yılında Lochart ve Martinelli [16], 1963 yılında Duns ve Ros [17] ve 1969 yılında Wallis [18] tarafından

geliştirilenlerdir. Bu genel modeller, iki fazlı akışın modellenmesindeki başlangıç noktalarını temsil etmektedirler. Daha sonra yapılan çalışmalar, akış örüntülerinin belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. İki fazlı sistemlerin akış mekaniği, her bir akış örüntüsü için bağımsız olarak incelenmiş ve o akış örüntüsüne ait olan ana akış denklemleri elde edilmiştir. Bu modeller mekanistik modeller olarak adlandırılmaktadır. İki fazlı akışkan sistemlerinin akış özellikleri daha iyi anlaşıldıkça, etraflı ve birleştirilmiş modeller geliştirilmiştir.

Mekanistik modellemedeki başlıca kaygı, akış örüntülerinin doğru bir şekilde belirlenmesi olmuştur. Borularda iki fazlı akışkanların, belirli akış şartlarında oluşan akış örüntülerini tahmin edebilmek amacı ile birçok çalışma yapılmıştır. 1973 yılında Beggs ve Brill'nin [19], 1974 yılında Mandhane ve arkadaşlarının [20], 1976 yılında Taitel ve Dukler'in [21] ve 1987 yılında Barnea'nın [22] çalışmaları bu konuda yapılan en önemli denemelerdir. Daha sonra sürdürülen çalışmaların çoğu, bu modellerde öne sürülen akış örüntüleri arasındaki geçişlerin tanımlarını kullanmıştır. Akış örüntüleri arasındaki geçişlerin doğru bir şekilde tanımlanmasıyla daha kapsamlı çalışmalar ortaya çıkmaya başlamıştır. 1990 yılında Xiao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [23] yatay borularda iki fazlı akış sırasında her bir akış örüntüsü için sürtünmeden kaynaklanan basınç kayıplarını hesaplayan mekanistik modellere dayanan prosedürler geliştirmişlerdir. Bu çalışmaların üzerine 2000 yılında Gomez ve arkadaşları herhangi bir eğimdeki boru için mekanistik model önermişlerdir [24]. Aynı yılda Petalas ve Aziz yaptıkları çalışmada [25], fazlar arası sürtünme katsayısını deneye dayalı olarak yeniden tanımlamış ve daha doğru basınç kayıpları hesaplamışlardır. 2003 yılında Garcia ve arkadaşları, daha pratik uygulamalar için deneye dayalı sürtünme katsayısı bağıntıları geliştirmişlerdir [26].

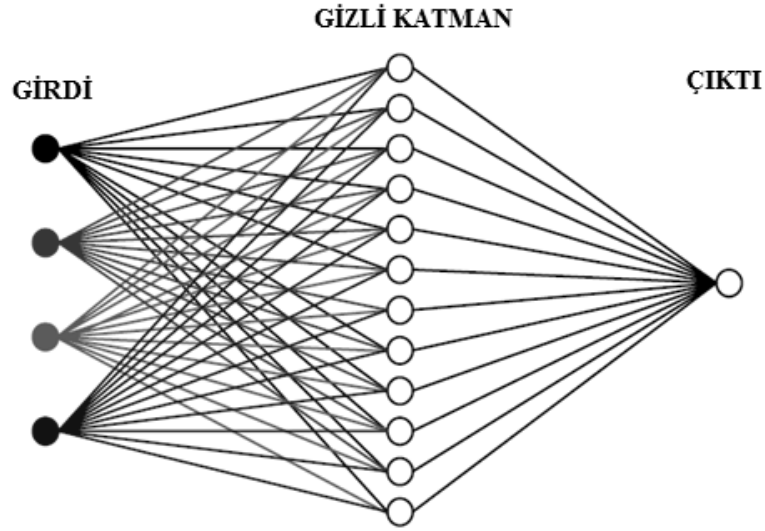
Dairesel borularda iki fazlı akışkanlar üzerine çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen dikey veya eğimli halkasal ortamlarda iki fazlı akış az çalışılmıştır. Bu çalışmaların en önemlileri, 1972 yılında Aziz ve arkadaşları [27], 1973 yılında Beggs ve Brill [19], 1982 yılında Sadatomi [28], 1992 yılında Caetano [29] ve Hasan [30] tarafından gerçekleştirilenlerdir. Yatay halkasal ortamlarda ise oldukça sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır.

2002 yılında Sunthakar, Taitel ve Dukler'in 1976 yılında öne sürdüğü akış örüntüleri arasındaki geçiş denklemlerini [21], hidrolik çap tanımı kullanarak halkasal ortamlara uyarlamış ve aynı zamanda da deneyler yaparak sonuçları karşılaştırmıştır [31]. Daha sonra Zhou 2004 yılında yaptığı çalışma [32] ile, Sunthakar'ın yaklaşımına [31] benzer bir yaklaşımda bulunmuş ve modeli, yüksek basınç ve sıcaklıkta kullanabilmek için değiştirmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında deneyler yapmıştır. Her iki çalışmada da, deneylerden elde edilen ve teorik olarak hesaplanan sürtünmeden kaynaklı basınç kayıpları arasında önemli farklar olduğu gözlenmiştir. 2000 yılında Lage ve arkadaşları yatay ve eğimli halkasal eksantrik ortamlarda deneysel ve teorik olarak iki fazlı akışkanlar mekaniği çalışmışlardır [33]. Akış örüntülerinin saptanması için 1976 tarihli Taitel ve Dukler [21] çalışmasındaki denklemler kullanılmıştır. Teorik olarak hesaplanan basınç kayıpları, deneysel verilerle ve 1972 yılında Aziz ve arkadaşlarının [27] ve 1973 yılında Beggs ve Brill'in [19] modelleri ile karşılaştırılmış ve geliştirilen modelin daha başarılı sonuçlar verdiği saptanmıştır. 2007 yılında Özbayoğlu ve Ömürlü yatay halkasal ortamda gaz-sıvı karışımli akışkanların sürtünmeye dayalı basınç kayıplarının hesaplanması ve akış örüntülerinin belirlenmesi için mekanistik bir model oluşturmuşlardır [34]. Ayrıca, hava ve su kullanarak deneyler gerçekleştirmişler, deney ve model sonuçlarını karşılaştırmışlar ve halkasal ortamın etkin çap ile tanımlanması durumunda model sonuçları ile deney sonuçlarının örtüşüklerini gözlemlemişlerdir.

İki fazlı akışlarda akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybını tahmin etmek için yapay zekâ teknikleri kullanılarak geliştirilen modeller de bulunmaktadır. 1995 yılında Ternyik ve arkadaşları farklı açılarda bulunan dairesel ve halkasal borularda akış örüntüsünü ve sıvı hacimsel oranını tespit etmek için yapay sinir ağları kullanarak bir model oluşturmuşlardır [35]. Bu model Mukherjee'nin çalışmasıyla [36] kıyaslanmış ve daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

2001 yılında Osman ve arkadaşları, yatay dairesel borularda iki fazlı akış esnasında oluşan akış örüntülerini ve sıvı hacimsel oranını tahmin etmek için yapay sinir ağları

kullanarak bir model önermişlerdir [37]. Bu çalışmada akış örüntüsü ve hacimsel oranı tespit etmek için Şekil 3.1’de verilen üç katmanlı ve geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağına girdi olarak yüzeysel gaz ve sıvı hızı, basınç ve sıvının sıcaklığını verilmiştir. Bu çalışmada tespit edilmesi için dört adet akış örüntüsü belirlenmiştir. Toplanan deneysel verilerin yarısı sistemi eğitmek için kullanılırken, kalan veriler doğrulama ve test için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada deneysel veri seti kullanıldığında geliştirilen modellerin önceki çalışmalara göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1. [37] çalışmasında kullanılan yapay sinir ağı

Mi ve arkadaşları 2001 yılında yaptıkları çalışmada [38], dikey dairesel borularda iki fazlı akış esnasında oluşan akış örüntülerini tahmin etmek için kendinden düzenlenen haritalar kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada dikey konumda oluşan dört akış örüntüsünün tespit edilmesi düşünülmüştür. Geliştirilen modelin güvenilirliğini doğrulamak için teorik ve deneysel veritabanları kullanılmıştır.

2002 yılında Shippen ve arkadaşları, yatay borularda iki fazlı gaz-sıvı akışında sıvı hacimsel oranını tespit etmek için geri yayımlı yapay sinir ağı kullanan bir model geliştirmişlerdir [39]. Bu çalışmada yapay sinir ağı için, iç boru çapı, yüzeysel sıvı ve gaz hızları, sıvı yoğunluğu, sıvı yüzeysel gerilimi ve sıvı viskozitesi olmak üzere altı adet girdi kullanılırken, çıktı olarak sıvı hacimsel oranı elde edilmiştir. Geliştirilen

model farklı veritabanlarında uygulanmış ve model önceden geliştirilmiş modellerle kıyaslanarak sonuçların iyileştirildiği görülmüştür.

2005 yılında Sunde ve arkadaşları dikey dairesel borularda iki fazlı akış esnasında oluşan akış örüntülerini tahmin etmek için görüntü analizi ve dalgacık yaklaşımını kullanmışlardır [40]. Bu çalışmada akış örüntülerinin görüntüleri nötron radyografisi şeklinde alınmış olup, bu görüntüler dalgacık dönüşümü kullanılarak farklı bir kümede tanımlanmış ve bu görüntülerdeki piksel yoğunlukları işlenerek bazı özellikler hesaplanmıştır. Bu özellikler yapay sinir ağına girdi olarak kullanılarak dört adet akış örüntüsü tahmin edilmiştir. Bu çalışmada görüntülere uygulanan dalgacık dönüşümünün başarı oranına herhangi bir etkisinin olmadığı fakat çalışma zamanını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

2009 yılında Alizadehdakhel ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada [41], hesaplamalı akışkanlar mekaniği ve yapay sinir ağları kullanılarak yatay ve dikey dairesel borularda iki fazlı akışlarda basınç kaybını tahmin etmek için modeller oluşturulmuştur. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile oluşturulan model ve yapay sinir ağı modeli karşılaştırıldığında hesaplamalı akışkanlar mekaniği kullanılarak geliştirilen modelin daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

2009 yılında Özbayoğlu kardeşler, yatay halkasal borularda iki fazlı akış esnasında oluşan akış örüntüsünü ve basınç kaybını tahmin etmek için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır [42]. Yapay sinir ağlarında girdi olarak sıvı ve gaz hızlarından hesaplanan sıvı ve gaz Reynolds sayıları kullanılmıştır. Geri yayımlı ve Jordan/Elman yapay sinir ağları farklı sinir hücre sayıları ile denenerek en başarılı olan yapay sinir ağı tespit edilmiştir. Bu çalışmada 25 sinir hücreli Jordan/Elman yapay sinir ağı en başarılı sonucu vermiştir. Deneysel verilerin %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si test verisi olarak kullanılmıştır.

2010 yılında Tambouratzis ve Pázsit, dikey dairesel borularda iki fazlı akış esnasında oluşan akış örüntülerini tahmin etmek için regresyon yapay sinir ağını kullanmış ve iyileştirilmiş sonuçlar elde etmişlerdir [43].

Literatürde, iki fazlı akışlarda görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar da yer almaktadır. 2007 yılında Mayor ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [44], dikey iki fazlı akışta oluşan bir kabarcığın takip edilmesi ve özniteliklerinin çıkartılması için görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Çıkartılan özniteliklerden olan kabarcığın büyüklüğu, kabarcığın sınırlarının morfolojik işlemler kullanarak tespit edilmesiyle bulunmuş olup, bir diğer öznitelik olan kabarcığın hızı ise ardışık görüntülerdeki kabarcıkların incelenmesiyle elde edilmiştir.

2008 yılında Yunlong ve arkadaşları yatay iki fazlı akışlarda akış örüntüsünü tahmin etmek için görüntü işleme ve destek vektör makinesi kullanarak bir model geliştirmişlerdir [45]. Bu çalışmada görüntüler yüksek hızlı kameralar kullanılarak alınmış olup, dijital görüntü işleme teknikleri ile bu görüntülerden anlık sabitler elde edilmiştir. Ayrıca gri seviyeli görüntü matrisinden doku özellikleri çıkartılmıştır. Bu özelliklerin azaltılmasıyla, öz vektörler oluşturulmuş ve bu vektörler kullanılarak destek vektör makinesinde hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmiştir.

2001 yılında Lackermeier ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [46], dikey konumda çok fazlı sıvı ve kesinti akışında görüntü işleme tekniklerini kullanarak akışın yapısını ve hızını hesaplamışlardır. Bu çalışmada yüksek hızlı kameralar kullanılarak görüntüler elde edilmiştir. Görüntü işleme tekniklerinden medyan filtre ve eşikleme kullanılarak akışın yapısı ve özellikleri tespit edilmiştir.

Çok fazlı akışlar için görüntü işleme uygulamaları arasında farklı araştırma alanlarında gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. 2001 yılında Burkle ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [47], zamana bağlı akışlarda taşıma işlemini görselleştirmişlerdir. Aynı yılda yapılan başka bir çalışmada [48], Yuan ve arkadaşları çelik döküm işleminde şekil verme esnasındaki sıvı akışını modellemişlerdir. 2006 yılında Melander yaptığı çalışmada [49], sıvı dinamiklerinde sıvı veya gaz akışına karışan katı parçacıkların hareketini modellemiştir. 2007 yılında Siegle ve arkadaşları hidrojeolojik araştırmalarda sedimantasyon ve erozyon örüntülerinin tespiti konusunda çalışmışlardır [50].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yatay halkasal borularda çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, halkasal borularda iki fazlı ve çok fazlı akışın görüntü işleme teknikleri kullanılarak analiz edilmesi ve iki fazlı akış için akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmin modellerinin yapay zekâ teknikleri kullanılarak oluşturulması amaçlanmıştır. Görüntü işleme içeren önceki çalışmalarda genellikle kabarcık özellikleri tespiti gibi daha özel konular üzerine yoğunlaşılırken bu çalışmada akışa daha genel bir açıdan bakılmış ve fazların boru içerisindeki hacimsel oranlarının bulunması amaçlanmıştır. Böylece görüntü işlemeden doğrudan yararlanılmış, ayrıca yapay zekâ teknikleri kullanılarak sistemin her noktasında çalışabilecek modeller geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Geliştirilecek modellerin başarılı olabilmesi için deneysel veritabanının geniş ve doğru olması planlanmıştır. Bu doğrultuda deneysel veritabanı geçerli olabilecek tüm değerleri kapsayacak büyüklükte ve hassasiyette oluşturulmuş, ayrıca verilerin doğrulanması için deneyler iki kere tekrar edilmiştir.

BÖLÜM 4

4. AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ÇIKARIMI

Bu bölümde akış özelliklerinin (sıvı hacimsel oranı, kesinti yoğunluğu ve gaz hacmi) görüntülerden çıkarımı amacıyla kullanılan görüntü işleme teknikleri ve gerçekleştirilen deneyler (yatay konumda su-hava, su-kesinti, su-hava-kesinti ve dikey konumda su-kesinti) için geliştirilen algoritmalar özel başlıklar altında verilecektir.

4.1. Kullanılan Görüntü İşleme Teknikleri

Algoritmaların temel adımlarında kullanılan görüntü işleme teknikleri; gri seviyeli görüntüyü elde etme, görüntü ikilileştirme, arka plan kestirimi, morfolojik işlemler, ilgilenilen alanın görüntüden çıkarılması ve sınır tespiti alt başlıklarında incelenecektir. Görüntü işleme tekniklerinin detayları [51] çalışmasında incelenebilir.

4.1.1. Gri Seviyeli Görüntüyü Elde Etme

Deneysel ortamda kamera ile görüntüsü alınan bölüm, sarı halojen lambalar ile aydınlatılmıştır. Böylece o bölümün her bölgesinde ışığın etkileri aynı şekilde dağılmıştır. Bu çalışmada görüntü grileştirme işlemi; kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç gri-seviyeli banttı oluşturulan renkli görüntünün, kırmızı bandının seçilmesiyle gerçekleştirilir. Kırmızı bandın seçilmesinin sebebi, aydınlatma sonucu elde edilen görüntülerdeki kırmızı bandın diğer bantlara nazaran ışığın etkilerini daha iyi yansıtmasıdır.

4.1.2. Görüntü İkileştirme

Görüntü ikilileştirme işlemi, gri seviyeli görüntüye global eşikleme işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Global eşikleme işleminde piksel yoğunluk değeri, belirlenmiş global eşik değerinden büyükse 1, diğer durumlarda 0 olarak ayarlanır

(4.1). Böylece sadece 0 ve 1'lerden oluşan ikili resim elde edilmiş olur. Global eşik değeri, görüntüde bulunan tüm piksellerin yoğunluklarının ortalama değeri hesaplanarak bulunmuştur (4.2).

$$i(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } f(x,y) > T \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$T = \frac{1}{m*n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f(x,y) \quad (4.2)$$

T global eşik değerini, f gri seviyeli görüntüyü ve i ikili görüntüyü temsil etmektedir. Ayrıca, m ve n sırasıyla görüntünün satır ve sütun sayısıdır.

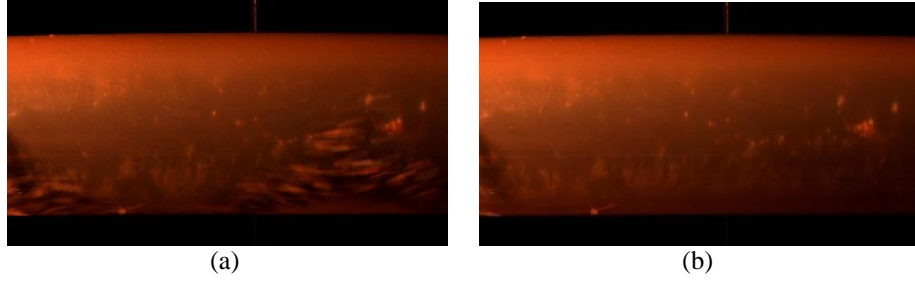
4.1.3. Arka Plan Kestirimi

Bir görüntünün arka planı; görüntüde ön planda bulunan nesnelerin görüntüden çıkartılmasıyla elde edilir. Bu çalışmada, video sabitlenmiş bir kamera ile alınmıştır. Ayrıca görüntüde ön planda bulunan nesneler genellikle düzensiz bir dağılım göstermektedir. Bu sebeple videonun arka planı, videodaki tüm görüntülerin aynı konumdaki piksellerinin ortalama değerlerinin hesaplanması ile bulunmuştur (4.3). Böylece düzensiz geçen parçacıklar, tüm görüntülerin ortalamasının hesaplanmasıyla göz ardı edilmiştir.

$$g(x,y) = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \frac{f_1(x,y) + f_2(x,y) + \dots + f_q(x,y)}{q} \quad (4.3)$$

f ve g sırasıyla, videodan ayrıştırılan görüntü ve arka plan görüntüsüdür. m, n ve q ise sırasıyla satır, sütun ve görüntü sayısıdır.

Şekil 4.1'de video'dan ayrıştırılan bir görüntü ve video için hesaplanan arka plan görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Arka plan kestirimi
(a) videodan ayrıştırılan görüntü. (b) video için hesaplanan arka plan görüntüsü.

4.1.4. Morfolojik İşlemler

Morfolojik işlemler, ikili görüntüde bulunan nesnelerin biçimleri üzerinde değişiklikler yapan tekniklerdir. Çoğu morfolojik algoritma, genişletme ve aşındırma temel işlemlerine dayanmaktadır. Morfolojik işlemlerde kullanılan yapısal eleman, 1 ve 0'lerden oluşan ve istenilen boyutlarda hazırlanabilen ikili bir görüntüdür.

Genişletme işleminde yapısal elemanın merkezinin nesne ile kesiştiği nokta yapısal eleman kadar genişletilir (4.4). Genişletme işleminde görüntüdeki nesneler büyümektedir. Ayrıca nesnelerin içindeki boşluklar küçültülebilir ve ayrı cisimler doğru yapısal eleman kullanılarak birleştirilebilir.

Aşındırma işleminde yapısal elemanın orijininin nesne ile kesiştiği nokta yapısal eleman kadar aşındırılır (4.5). Aşındırma işleminde görüntüdeki nesneler küçülmekte ve nesnelerin içindeki boşluklar büyümektedir. Ek olarak, aşındırma işleminde birbirine bağlı nesneler doğru yapısal eleman kullanılarak ayrılabilir.

Açma işlemi, görüntüye önce aşındırma sonra genişletme işleminin uygulanmasıyla elde edilir (4.6). Bu çalışmada açma işlemi, görüntünün yapısı korunarak gürültülerden arındırılması ve görüntüdeki nesnenin dış çeperinin yapısal eleman ile düzeltilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Kapama işlemi ise bir görüntüye önce genişletme sonra aşındırma işleminin uygulanması ile gerçekleşir (4.7). Bu çalışmada kapama işlemi, görüntüdeki

nesnenin içindeki boşlukların doldurulması ve birbirine uzak bulunan nesnelerin birleştirilmesi için kullanılmıştır.

$$A \oplus B = \{ z \in E \mid (B^S)_z \cap A \neq \emptyset \} \quad (4.4)$$

$$B^S = \{ x \in E \mid -x \in B \} \quad (4.4a)$$

$$B_z = \{ b + z \mid b \in B \} \quad (4.4b)$$

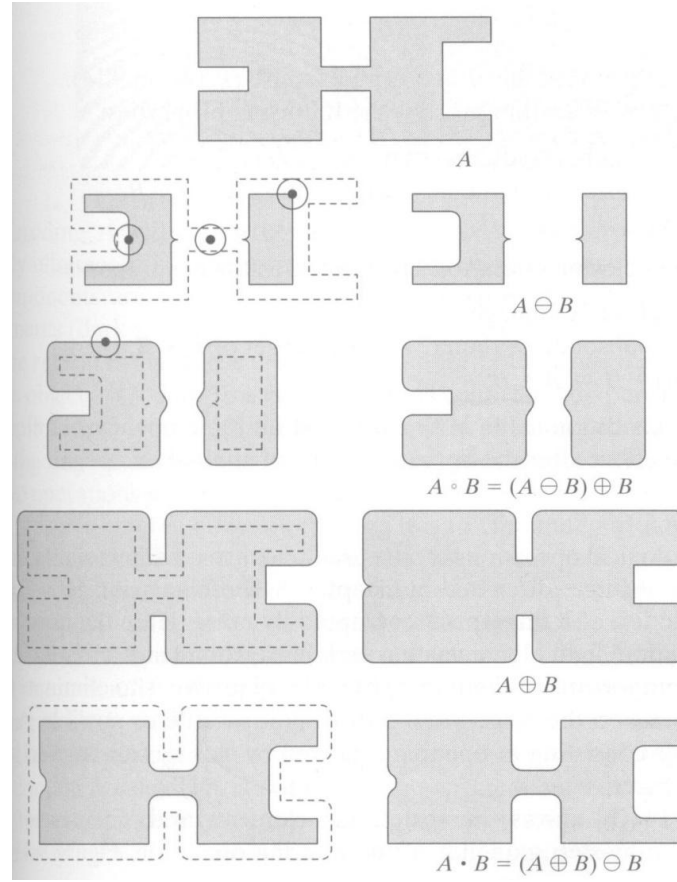
$$A \ominus B = \{ z \in E \mid B_z \subseteq A \} \quad (4.5)$$

$$A \odot B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4.6)$$

$$A \odot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4.7)$$

A ikili görüntüyü, B yapısal elemanı; B^S , B'nin simetriğini; B_z , B'nin vektör z ile ötelenmiş halini, \oplus genişletme işlemini, \ominus aşındırma işlemini, \odot açma işlemini ve \odot kapama işlemini temsil etmektedir.

Şekil 4.2'de merkezi siyah nokta ile gösterilen yapısal eleman kullanılarak gerçekleştirilen genişletme, aşındırma, açma ve kapama işlemleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Morfolojik işlemler [51]
 ⊖ aşındırma ◦ açma ⊕ genişletme • kapama

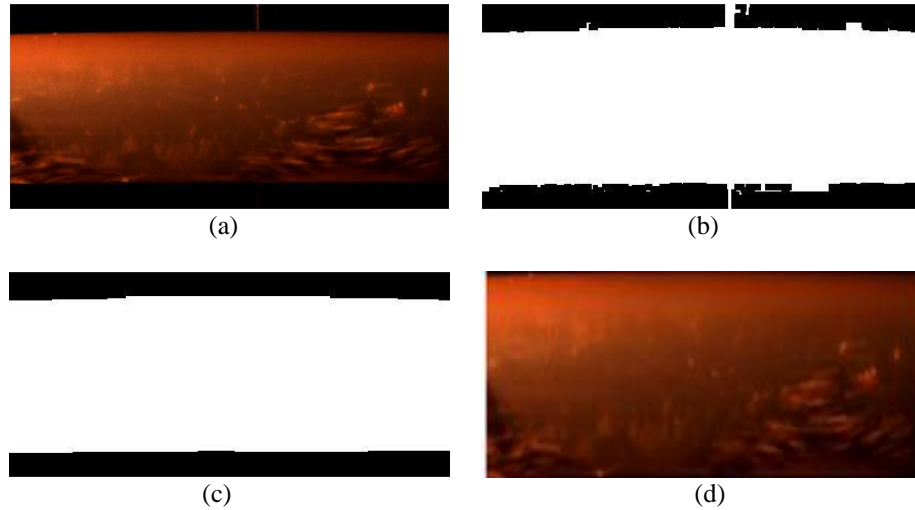
4.1.5. İlgilenilen Alanın Görüntüden Çıkarılması

Bu çalışmada, görüntülerde ilgilenilen alan su, hava ve kesintilerin bulunduğu borudur. Boru kamera koordinatlarının kaydedilmesiyle bulunabilir. Fakat deney koşulları değişebildiğinden (örneğin; borunun dik konuma getirilmesi) her defasında koordinatları kaydetmek yerine bu koordinatların otomatik olarak tespit edilmesi istenmiştir. Böylece koşullar değişse bile ilgilenilen alan, otomatik olarak bulunup görüntüden çıkarılabilecektir.

Görüntüden ilgilenilen alanın çıkartılması için boruyu kapsayan en küçük dikdörtgenin koordinatlarının elde edilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki adımlar uygulanarak ilgilenilen alan görüntüden çıkartılmıştır.

1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
2. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli görüntünün ikili görüntüye dönüştürülmesi
3. 1x25 boyutlarında çizgi elemanı ile açma işlemi uygulanarak görüntünün gürültülerden arındırılması ve borunun dış çeperinin düzeltilmesi

Şekil 4.3'de ilgilenilen alanın görüntüden çıkartılma işlemi gösterilmiştir. Renkli girdi görüntüsü üzerinde yukarıda bahsedilen ilk iki adım gerçekleştirildiğinde Şekil 4.3.b'de verilen ikili görüntü elde edilmiştir. İkili görüntü üzerinde yatay çizgi elemanı kullanılarak açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda Şekil 4.3.c'de verilen gürültülerden arındırılmış ve dış çeperi düzeltilmiş ikili görüntü elde edilmiştir. Elde edilen ikili görüntü kullanılarak boru bölgesinin koordinatları bulunmuş ve görüntünün ayrıştırıldığı video için koordinat değerleri kaydedilmiştir. Videodaki her görüntü için kaydedilen koordinatlar kullanılarak ilgilenilen alan kırılmaktadır. Şekil 4.3.d'de ilgilenilen alanı temsil eden kırılmış renkli görüntü verilmiştir. Böylece görüntüde sadece gerekli olan bölgeye görüntü işleme teknikleri uygulanarak çalışma zamanından kazanç sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Borunun bulunması
(a) renkli girdi görüntüsü. (b) ikili görüntü. (c) gürültülerden arındırılmış ve çeperi düzeltilmiş ikili görüntü. (d) kırılmış ilgili alan görüntüsü.

4.1.6. Sınır Tespiti

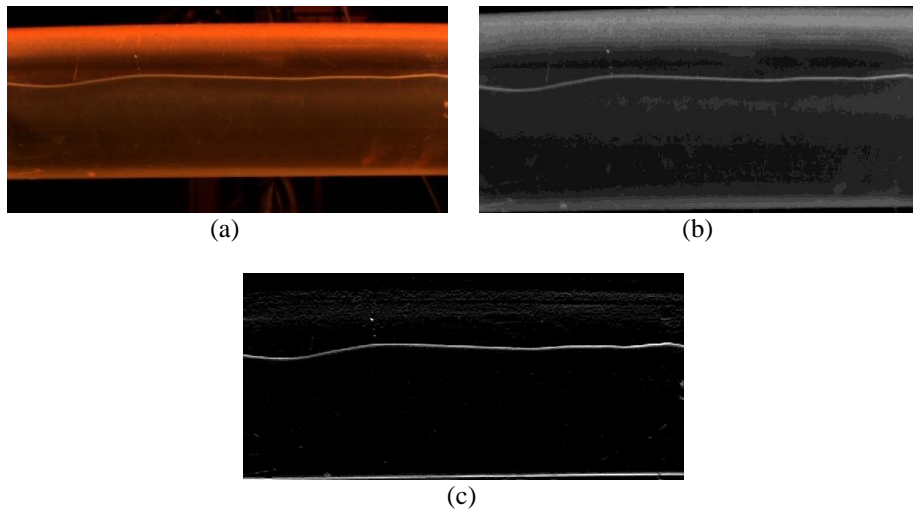
Bu çalışmada, su ve hava içeren deneylerde belirli akış parametrelerinde su ve hava arasında sınır oluşmaktadır. Su ve havanın ayrılması için sınırın tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, sınır tespiti için kenar tanıma algoritmalarında kullanılan yatay ve dikey Sobel maskeleri, gri seviyeli görüntü ile konvolüsyon işlemine tabi tutulmuştur (4.8). Bu işlem sonucunda oluşan dikey ve yatay kenarları içeren görüntüler birleştirilerek kenarları gösteren görüntü elde edilmiştir (4.9).

$$G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I \quad G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I \quad (4.8)$$

$$O = G_x + G_y \quad (4.9)$$

I ve O sırasıyla gri seviyeli görüntü ve elde edilen kenar görüntüsüdür. Ayrıca, G_x ve G_y yatay ve dikey kenarları içeren görüntüleri, $*$ işlemi ise konvolüsyon işlemi temsil etmektedir.

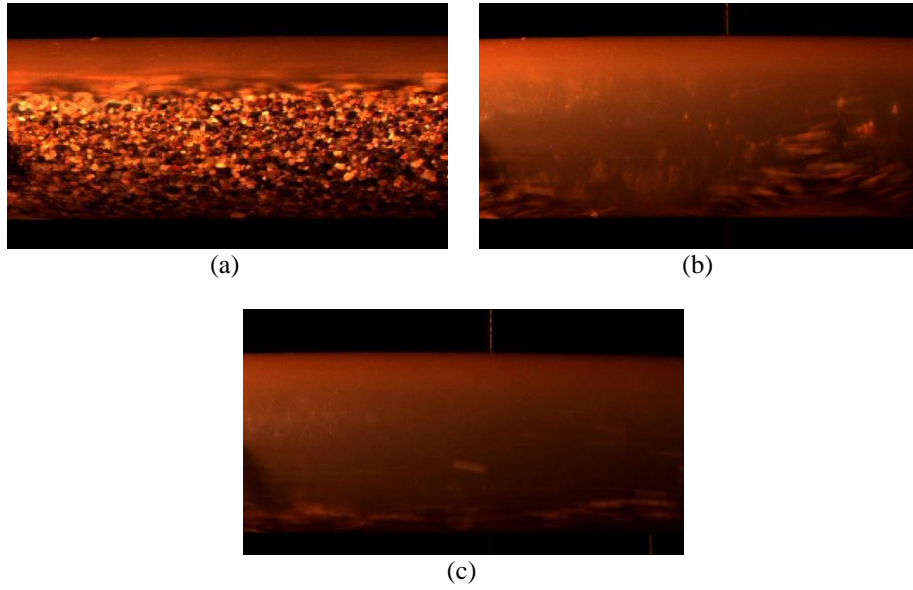
Şekil 4.4'de Sobel operatörü ile yapılan sınır tespiti işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sınır tespiti
(a) su ve havadan oluşan akış görüntüsü. (b) gri-seviyeli ve kırılmış görüntü. (c) Sobel maskesi kullanılarak tespit edilen sınır.

4.2. Yatay Boruda Su ve Kesintilerden Oluşan Deneyler

Yatay boruda su ve kesintiler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde sabit-hareketli kesinti yatağı, tepeli ve dağınık olmak üzere 3 farklı akış örüntüsü tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Sabit-hareketli kesinti yatağı akış örüntüsü düşük su debisinde, tepeli ve dağınık akış örüntüleri ise yüksek su debisinde oluşmaktadır. Sabit-hareketli kesinti yatağı akışı, sabit bir kesinti yatağı üzerinde hareketli bir kesinti yatağı içermekte iken tepeli akışta kesintiler belirli aralıklarla ve düzenli bir yapıda borudan geçiş yapmaktadır. Dağınık akışta ise kesintiler boru içerisinde düzensiz bir şekilde hareket etmektedir.



Şekil 4.5. Yatay boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri
(a) sabit-hareketli kesinti yatağı (b) tepeli (c) dağınık

Gözlemlenen akış örüntüleri için akış örüntülerindeki farklılıklar dikkate alınarak 2 ayrı görüntü işleme algoritması tasarlanmıştır.

4.2.1. Algoritma-1

Sabit-hareketli kesinti yatağı akışı için gerçekleştirilen bu algoritma, hareket eden bölgenin tespit edilmesi ve bu bölgenin kullanılarak hareketsiz kesinti ve su

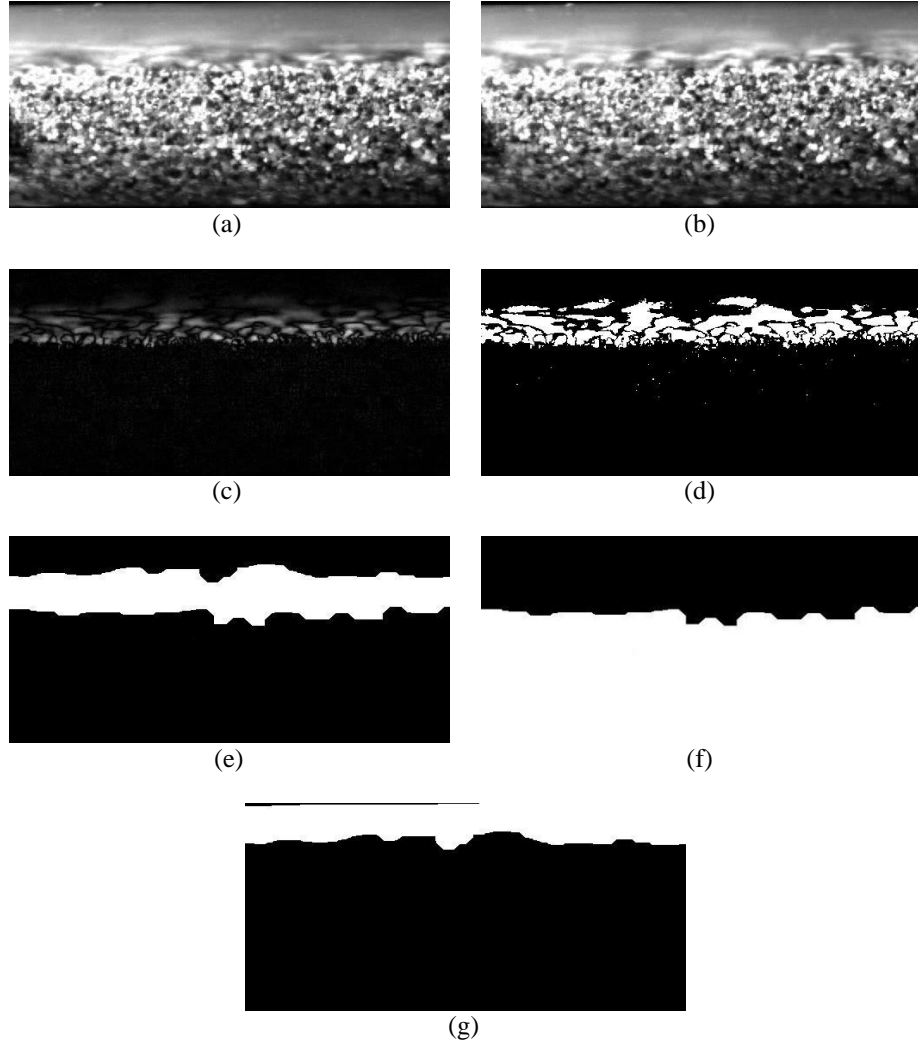
bölgelerinin bulunması için tasarlanmıştır. Hareketin analiz edilmesi için ardışık görüntülerin farkı kullanılmıştır. Algoritmanın genel adımları aşağıda verilmiştir.

Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Ardışık görüntüler için;
 - 4.1. Renkli görüntülerden gri seviyeli görüntülerin elde edilmesi
 - 4.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntülerin kırılması
 - 4.3. Gri seviyeli görüntülerin farkının mutlak değerinin hesaplanması
 - 4.4. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli farkın ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 4.5. Çapı 3 piksel olan daire elemanı ile açma işlemi uygulanarak görüntünün gürültülerden arındırılması
 - 4.6. Çapı 10 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki cisimlerin belirginleştirilmesi ve bir araya getirilmesi
 - 4.7. 15x1 boyutlarında yatay çizgi elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntünün tek bölge olarak elde edilmesi
 - 4.8. Mantıksal işlemler kullanılarak hareket eden bölgenin üst kısmının su bölgesi, alt kısmının ise hareketsiz kesinti bölgesi olarak işaretlenmesi
 - 4.9. Tespit edilen su ve kesinti bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.6'da algoritmanın sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması gösterilmiştir. Şekil 4.6.a ve 4.6.b'de ardışık görüntülerin gri seviyeli ve kırılmış hali gösterilmektedir. Hareket eden bölgenin bulunabilmesi için ardışık gri seviyeli görüntülerin farkı hesaplanmış (Şekil 4.6.c) ve global eşikleme tekniği kullanılarak gri seviyeli görüntüden ikili görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.6.d). Bu akışın karakteristiğinden dolayı hareketsiz bölgede bir takım kırırdaşmalar olmakta ve bunun sonucunda görüntüde beyaz noktalar oluşmaktadır. Bu noktaların görüntüden çıkartılması için çapı 3 piksel olan daire elemanı ile görüntüye açma işlemi

uygulanmıştır. Görüntü gürültülerden arındırıldıktan sonra kesintiler arasındaki boşlukların giderilmesi ve hareketli kesintileri kapsayan bölgenin tespiti için farklı elemanlar kullanılarak görüntüye iki defa kapama işlemi uygulanmıştır. Kesintiler arasında dairesel boşlukların giderilmesi için çapı 10 piksel olan daire ve tespit edilen bölgenin yatay olarak birleştirilmesi için 15 piksel uzunluğunda ve 1 piksel kalınlığındaki yatay çizgi kullanılmıştır. Şekil 4.6.e’de morfolojik işlemlerin sonucunda elde edilen hareketli bölge gösterilmiştir. Hareketsiz kesinti ve su bölgeleri (Şekil 4.6.f ve 4.6.g), görüntünün hareket eden bölgesi kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Algoritma-1’in sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması
(a) ve (b) ardışık gri seviyeli görüntüler. (c) hareket eden kesintileri temsil eden gri-seviyeli görüntü.
(d) ikili görüntü. (e) hareketli kesinti bölgesi. (f) hareketsiz kesinti bölgesi. (g) su bölgesi.

4.2.2. Algoritma-2

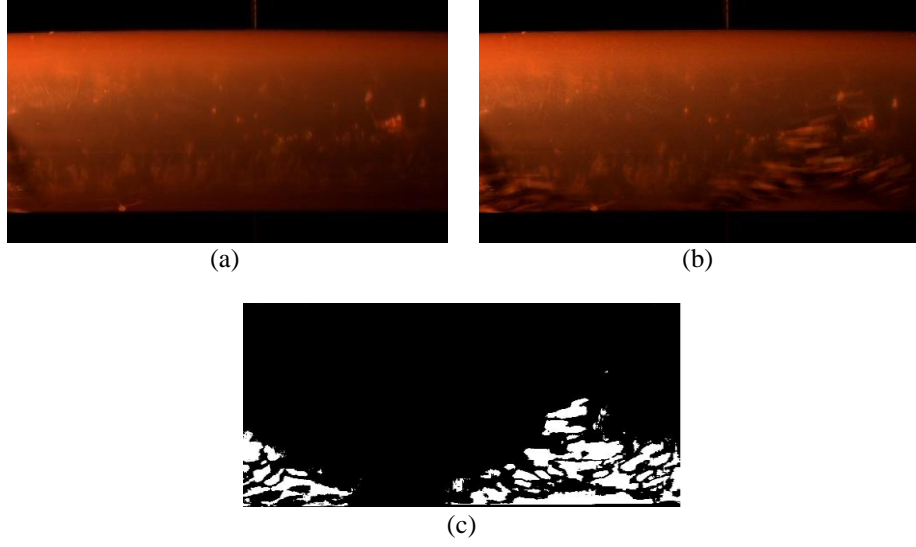
Kesintilerin boru içerisinde birikme yapmadan geçtiği tepeli ve dağınık akışlar için gerçekleştirilen bu algoritma, hareket eden parçacıkların tespit edilmesi için tasarlanmıştır. Hareketin analiz edilmesi için akış ve arka plan görüntüsünün farkı kullanılmıştır. Algoritmanın genel adımları aşağıda verilmiştir.

Algoritma Adımları:

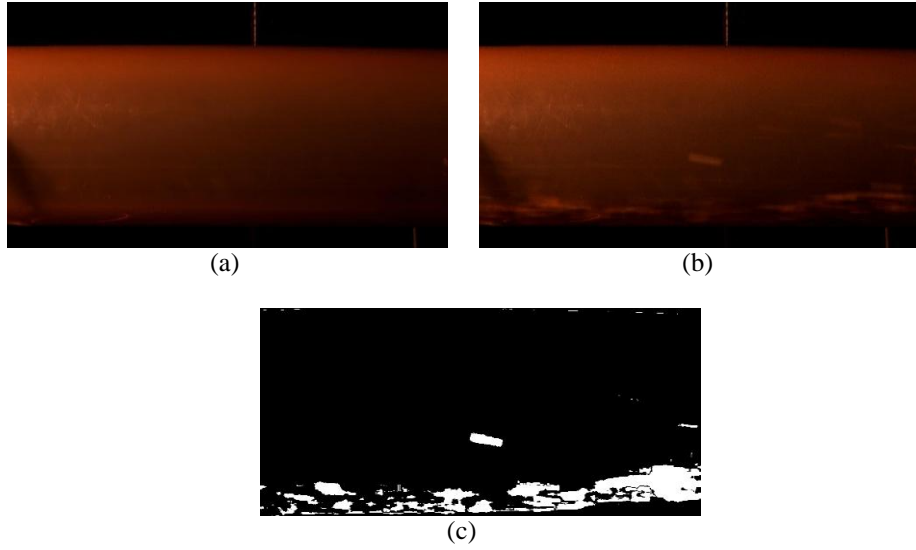
1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Arka planın görüntüler kullanılarak hesaplanması
5. Renkli arka plan görüntüsünden gri seviyeli arka plan görüntüsünün elde edilmesi
6. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak arka plan görüntüsünün kırılması
7. Tüm görüntüler için;
 - 7.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 7.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 7.3. Gri seviyeli görüntünün ve arka plan görüntüsünün farkının mutlak değerinin hesaplanması
 - 7.4. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli farkın ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 7.5. Çapı 3 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki cisimlerin belirginleştirilmesi ve iç kısımlarının doldurulması
 - 7.6. Mantıksal işlemler kullanılarak su bölgesinin tespit edilmesi
 - 7.7. Tespit edilen su ve kesinti bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.7 ve 4.8'de algoritmanın sırasıyla tepeli ve dağınık akışa uygulanması gösterilmiştir. Şekil 4.7.a ve 4.8.a 'da sırasıyla tepeli ve dağınık akış için hesaplanan renkli arka plan görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.7.b ve 4.8.b'de ise akışların renkli görüntüsü verilmiştir. Gri seviyeli akış ve arka plan görüntüsünün farkı hesaplanarak hareket eden parçacıklar gri seviyeli formda elde edilmiş ve gri seviyeli görüntü

global eşikleme tekniği ile ikili görüntüye çevrilmiştir. Morfolojik işlemlerden kapama işlemi ile ikili görüntüdeki parçacıklar belirginleştirilerek Şekil 4.7.c ve 4.8.c elde edilmiştir. Görüntülerdeki su bölgesi de kesintileri temsil eden ikili görüntünün tersinin alınmasıyla elde edilmiştir.



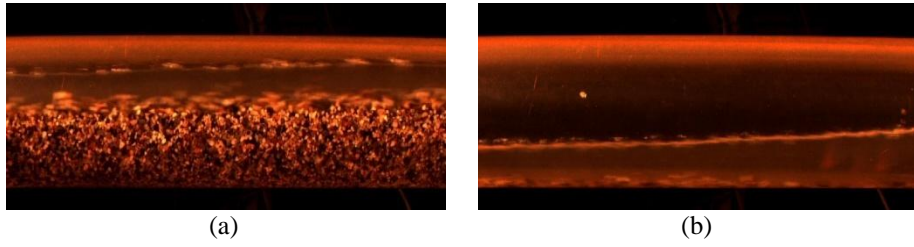
Şekil 4.7. Algoritma-2'nin tepeli akışa uygulanması
(a) arka plan görüntüsü. (b) tepeli akış görüntüsü. (c) algoritma sonucu elde edilen görüntü.



Şekil 4.8. Algoritma-2'nin dağınık akışa uygulanması
(a) arka plan görüntüsü. (b) dağınık akış görüntüsü. (c) algoritma sonucu elde edilen görüntü.

4.3. Yatay Boruda Su, Hava ve Kesintilerden Oluşan Deneyler

Yatay boruda su, hava ve kesintilerle ilgili deneylerde sabit-hareketli kesinti yatağı ve dağınık olmak üzere 2 farklı akış örüntüsü tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Sabit-hareketli kesinti yatağı akış örüntüsü düşük su ve hava debilerinde oluşmaktadır. Bu akışta sabit bir kesinti yatağı üzerinde hareket eden kesintiler ve su bölgesinin üstünde hava bölgesi bulunmaktadır. Dağınık akış ise yüksek su debilerinde elde edilmekte ve bu akışta kesintiler su içerisinde düzensiz bir şekilde hareket etmektedir. İki akışta da su bölgesini hava bölgesinden ayıran belirgin bir sınır bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Yatay boruda su, hava ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri
(a) sabit-hareketli kesinti yatağı (b) dağınık

Gözlemlenen akış örüntüleri için akış örüntülerindeki farklılıklar dikkate alınarak 2 ayrı görüntü işleme algoritması tasarlanmıştır.

4.3.1. Algoritma-1

Sabit-hareketli kesinti yatağı akışı için gerçekleştirilen bu algoritma, su-hava sınırı dikkate alınarak hareket eden kesinti bölgesinin tespit edilmesi ve bu bölgenin kullanılarak alt kısımda kalan hareketsiz bölgenin ve üst kısımdaki su ve hava bölgelerinin bulunması için tasarlanmıştır. Algoritmanın genel adımları aşağıda verilmiştir.

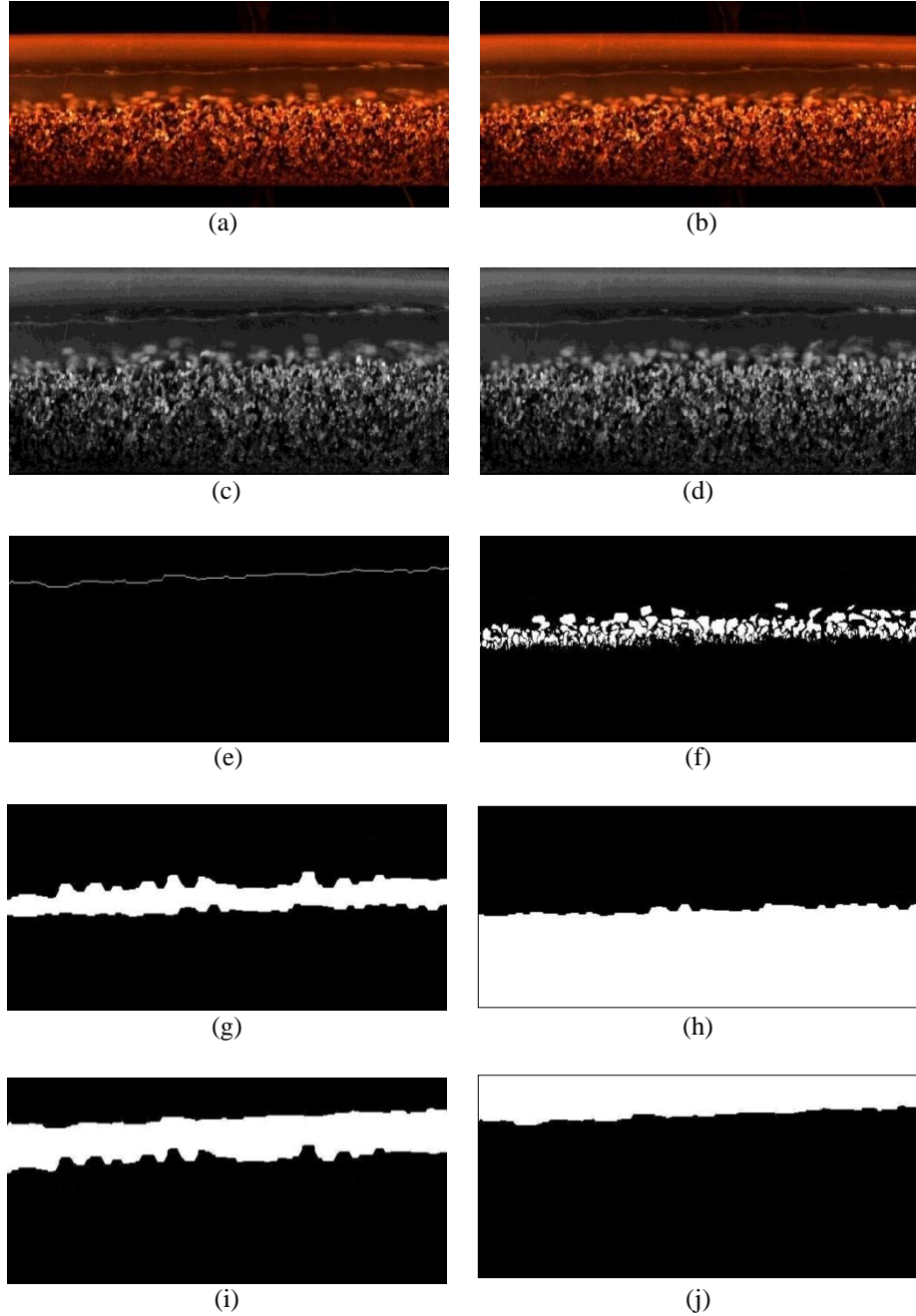
Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi

3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Ardışık görüntüler için;
 - 4.1. Renkli görüntülerden gri seviyeli görüntülerin elde edilmesi
 - 4.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntülerin kırılması
 - 4.3. Sobel filtresi kullanarak görüntülerdeki su-hava sınırlarının bulunması
 - 4.4. Gri seviyeli görüntülerin farkının mutlak değerinin hesaplanması
 - 4.5. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli farkın ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 4.6. Çapı 3 piksel olan daire elemanı ile açma işlemi uygulanarak görüntünün görüntülerden arındırılması
 - 4.7. Çapı 10 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki cisimlerin belirginleştirilmesi ve bir araya getirilmesi
 - 4.8. 15x1 boyutlarında yatay çizgi elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntünün tek bölge olarak elde edilmesi
 - 4.9. Mantıksal işlemler kullanılarak hareket eden bölgenin alt kısmının hareketsiz kesinti bölgesi olarak işaretlenmesi
 - 4.10. Su-hava sınırları kullanılarak su ve hava bölgelerinin bulunması
 - 4.11. Tespit edilen su, hava ve kesinti bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.10'da algoritmanın sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması gösterilmiştir. Ardışık renkli görüntüler Şekil 4.10.a ve 4.10.b'de, gri seviyeli görüntüler ise Şekil 4.10.c ve 4.10.d'de gösterilmiştir. Su ve hava bölgelerini ayırt edebilmek ve sadece su içerisinde meydana gelen hareketleri tespit edebilmek için Sobel operatörü kullanılarak görüntüdeki su-hava sınırı bulunmuştur. Şekil 4.10.e'de, Şekil 4.10.a için hesaplanan su-hava sınırı gösterilmektedir. Su-hava sınırı tespit edilirken çok sayıda kenar bulunmuş fakat sınırın hangi bölgede ve ne uzunlukta olacağı bilindiğinden diğer tespit edilen kenarlar göz ardı edilmiştir. Su-hava sınırı tespit işlemi ardışık iki akış görüntüsü için uygulanmıştır. Su-hava sınırları dikkate alınarak, ardışık gri seviyeli görüntülerin farkı hesaplanmış ve global eşikleme tekniği kullanılarak ikili görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.10.f). Görüntüyü görüntülerden arındırmak ve hareket eden kesinti bölgesini tek bir bölge olarak göstermek için sırasıyla açma ve kapama işlemleri ikili görüntüye uygulanmıştır

(Şekil 4.10.g). Şekil 4.10.h'da verilen hareketsiz kesinti bölgesi, hareketli kesinti bölgesi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.10.i ve 4.10.j'de verilen su ve hava bölgeleri ise belirlenen su-hava sınırları kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. Algoritma-1'nin sabit-hareketli kesinti yatağı akışına uygulanması
(a) ve (b) ardışık renkli görüntüler. (b) ve (d) ardışık gri seviyeli görüntüler. (e) su-hava sınırı. (f) hareket eden kesintileri temsil eden ikili görüntü. (g) morfolojik işlemler sonucu elde edilen hareketli kesinti bölgesi. (h) hareketsiz kesinti bölgesi. (i) su bölgesi. (j) hava bölgesi.

4.3.2. Algoritma-2

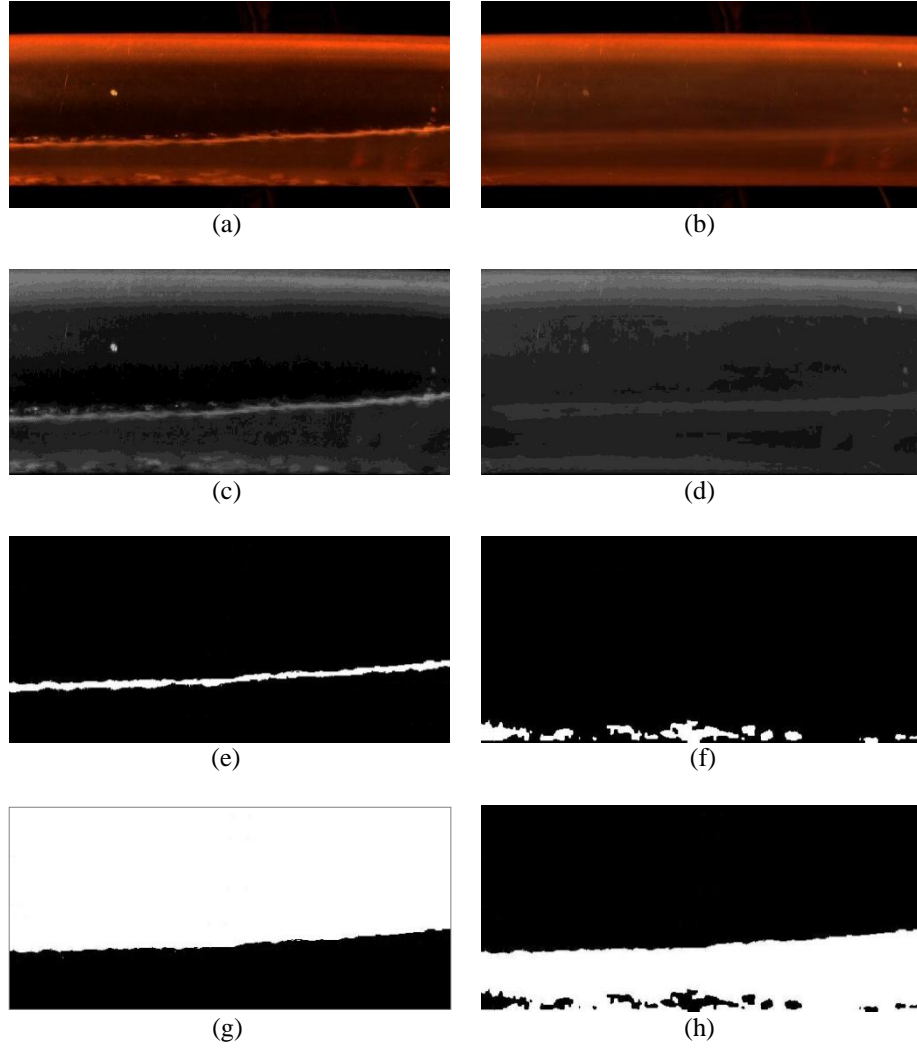
Dağınık akış için gerçekleştirilen bu algoritma, hareket eden parçacıkların tespit edilmesi için tasarlanmıştır. Hareketin analiz edilmesi için akış ve hesaplanan arka plan görüntüsünün farkı kullanılmıştır. Algoritmanın genel adımları aşağıda verilmiştir.

Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Arka planın görüntüler kullanılarak hesaplanması
5. Renkli arka plan görüntüsünden gri seviyeli arka plan görüntüsünün elde edilmesi
6. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak arka plan görüntüsünün kırılması
7. Tüm görüntüler için;
 - 7.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 7.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 7.3. Sobel filtresi kullanarak su-hava sınırının bulunması
 - 7.4. Gri seviyeli görüntünün ve arka plan görüntüsünün farkının mutlak değerinin hesaplanması
 - 7.5. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli farkın ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 7.6. Çapı 3 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki cisimlerin belirginleştirilmesi ve iç kısımlarının doldurulması
 - 7.7. Su-hava sınırı kullanılarak hava bölgesinin bulunması
 - 7.8. Mantıksal işlemler kullanılarak su bölgesinin tespit edilmesi
 - 7.9. Tespit edilen su, hava ve kesinti bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.11'de algoritmanın dağınık akışa uygulanması gösterilmiştir. Renkli dağınık akış görüntüsü ve hesaplanan arka plan görüntüsü Şekil 4.11.a ve 4.11.b'de verilmiştir. Su ve hava bölgelerini ayırt edebilmek ve sadece su içerisinde meydana

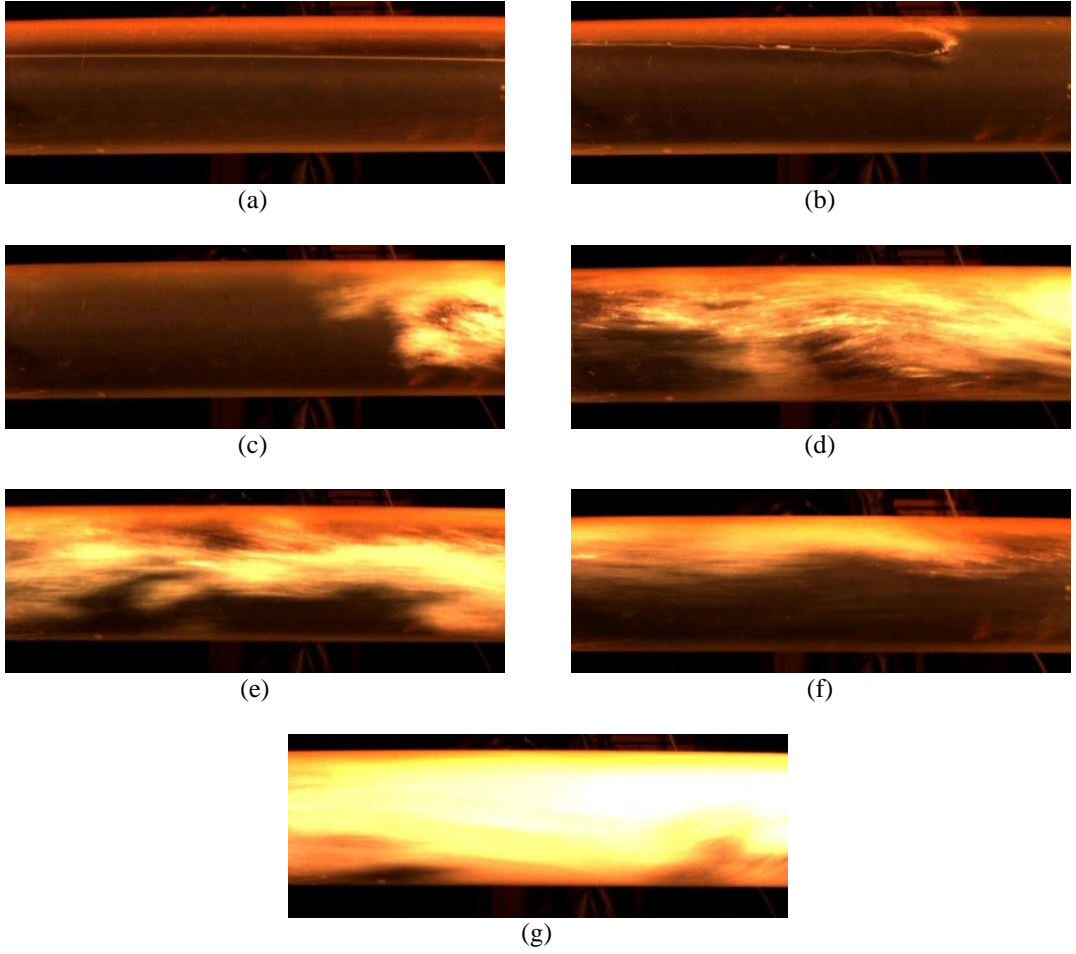
gelen hareketleri tespit edebilmek için Sobel operatörü kullanılarak görüntüdeki su-hava sınırı bulunmuştur (Şekil 4.11.e). Gri seviyeli akış (Şekil 4.11.c) ve arka plan (Şekil 4.11.d) görüntüsünün farkı hesaplanarak hareket eden parçacıklar gri seviyeli formda elde edilmiş ve global eşikleme tekniği ile ikili görüntüye çevrilmiştir. Görüntüdeki parçacıkları belirginleştirmek için çapı 3 piksel olan daire elemanı kullanılarak ikili görüntüye kapama işlemi uygulanmıştır (Şekil 4.11.f). Şekil 4.11.g’de verilen hava bölgesi, su-hava sınırı dikkate alınarak elde edilmiş ve Şekil 4.11.h’de verilen su bölgesi; hava bölgesinin, hareket eden kesinti bölgesinden farkının hesaplanmasıyla bulunmuştur.



Şekil 4.11. Algoritma-2'nin dağınık akışa uygulanması
(a) renkli dağınık akış görüntüsü. (b) renkli arka plan görüntüsü. (c) gri seviyeli kırılmış akış görüntüsü. (d) gri seviyeli arka plan görüntüsü. (e) tespit edilen su-hava sınırı. (f) hareket eden kesintileri temsil eden ikili görüntü. (g) hava bölgesi. (h) su bölgesi.

4.4. Yatay Boruda Su ve Havadan Oluşan Deneyleler

Yatay boruda su ve havadan oluşun deneylelerde, farklı su ve hava debilerinde elde edilen 7 farklı akış örüntüsü tespit edilmiştir (Şekil 4.12). Katmanlaşmış ve vurmali akış örüntüleri düşük, diğere akışlar ise yüksek su ve hava debilerinde oluşmaktadır.



Şekil 4.12. Yatay boruda su ve havadan oluşun deneylelerde gözlemlenen akış örüntüleri
(a) katmanlaşmış (b) vurmali (c) tepeli (d) çalkalanmış (e) dalgali halkasal (f) dağılmış kabakcık
(g) dağılmış halkasal

Gözlemlenen akışlardaki farklılıklar dikkate alınarak, sınır kullanarak etiketleme algoritması, piksel yoğunluğuna göre etiketleme algoritması ve kabarcık algoritması olmak üzere 3 ayrı görüntü işleme algoritması tasarlanmıştır.

4.4.1. Sınır Kullanarak Etiketleme Algoritması

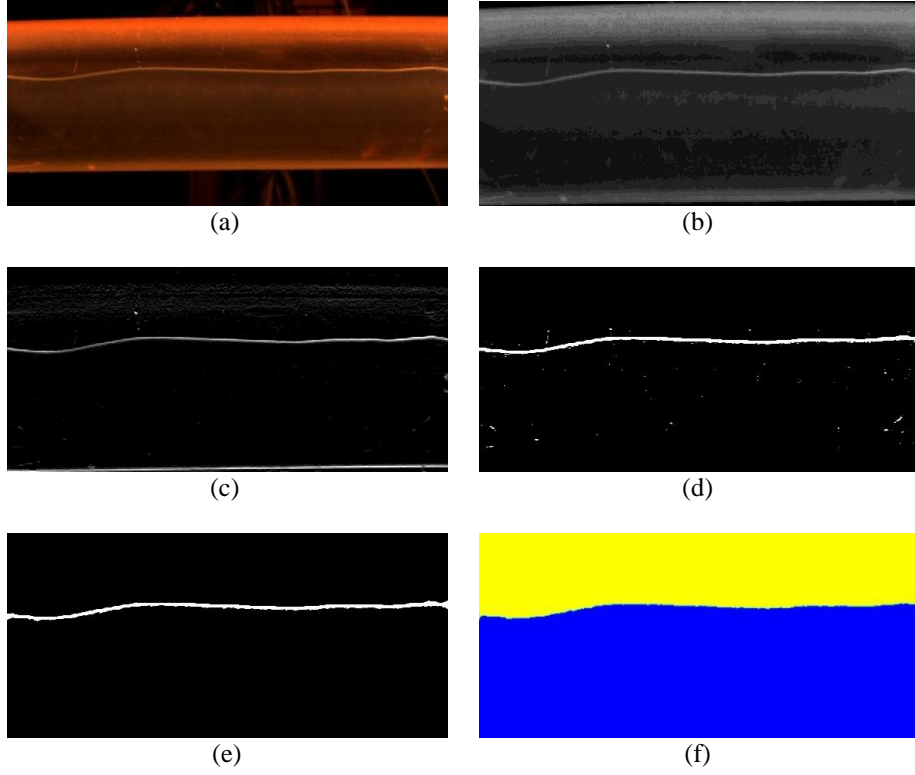
Sınır kullanarak etiketleme algoritması su ve havanın karışmadığı katmanlaşmış ve vürmalı akışlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu algoritmada amaç; su ve havayı ayıran sınırı bulmaktır. Aşağıda algoritmanın adımları verilmiştir.

Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Tüm görüntüler için;
 - 4.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 4.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 4.3. Sobel filtresi kullanarak su-hava sınırının bulunması
 - 4.4. Görüntüden alanı çok küçük olan bölgelerin çıkartılarak görüntünün gürültülerden arındırılması
 - 4.5. Çapı 5 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki sınırın belirginleştirilmesi
 - 4.6. Su-hava sınırı kullanılarak su ve hava bölgelerinin ayrılması
 - 4.7. Tespit edilen su ve hava bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.13'de sınır kullanarak etiketleme algoritmasının adımları gösterilmiştir. Renkli ve gri seviyeli akış görüntüsü Şekil 4.13.a ve 4.13.b'de verilmiştir. Su-hava sınırının belirlenmesi için Sobel filtresi kullanılmış ve Şekil 4.13.c'de verilen gri seviyeli su-hava sınırı elde edilmiştir. Filtreleme sebebiyle oluşan gürültüler, belirli alandan küçük bölgelerin ikili görüntüden (Şekil 4.13.d) çıkartılması ile kaldırılmıştır. Görüntü gürültülerden arındırıldıktan sonra sınır içerisinde bulunan boşlukların doldurulması ve sınırın belirginleştirilmesi için çapı 5 piksel olan daire elemanı ile kapama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13.e'de gürültüden arındırılmış ve belirginleştirilmiş sınır görüntüsü verilmiştir. Sınır tespit edildikten

sonra pikseller su veya hava olarak etiketlenmiştir. Şekil 4.13.f'de hava bölgesi sarı, su bölgesi mavi ile renklendirilmiş görüntü verilmiştir.



Şekil 4.13. Sınır kullanarak etiketleme algoritması
(a) renkli görüntü. (b) gri seviyeli kırılmış görüntü. (c) gri seviyeli sınır görüntüsü. (d) ikili sınır görüntüsü. (e) gürültülerden arındırılmış ve belirginleştirilmiş sınır görüntüsü. (f) renklendirilmiş su ve hava bölgeleri.

4.4.2. Yoğunluğa Göre Etiketleme Algoritması

Yoğunluğa göre etiketleme algoritması su ve havanın karıştığı tepeli, çalkalanmış, dalgalı halkasal, dağılmış kabarcık ve dağılmış halkasal akışlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu algoritma karışan su ve havayı piksel yoğunluklarına göre etiketleyerek su ve hava miktarlarını bulmayı amaçlar. Aşağıda algoritmanın adımları verilmiştir.

Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi

3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Tüm görüntüler için;
 - 4.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 4.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 4.3. Piksel yoğunlukları kullanılarak gri seviyeli görüntünün etiketlenmesi
 - 4.4. Etiketlenen bölgelerin su ve hava hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

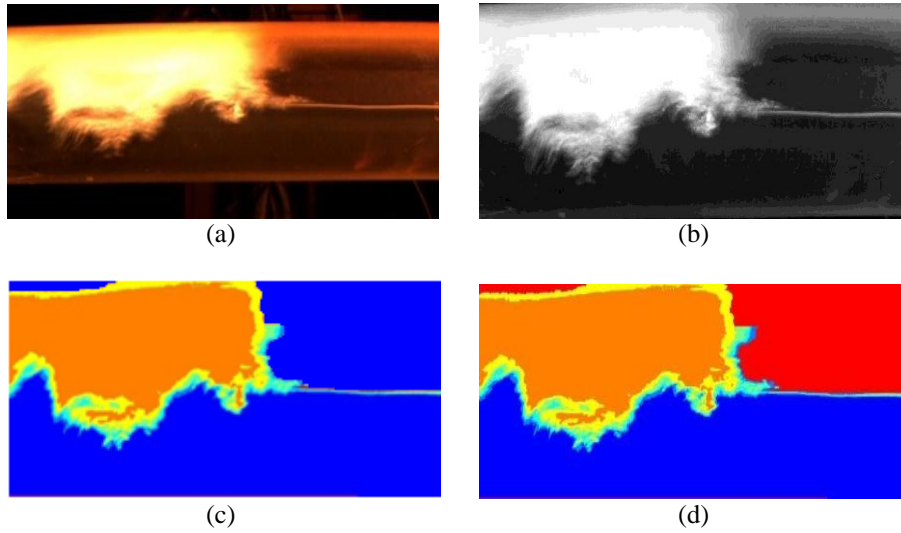
Borunun içinde oluşan karışımlar incelendiğinde karışımların belirli piksel yoğunluklarında olduğu tespit edilmiştir. Farklı saydaki karışım seviyeleri için piksel yoğunlukları üzerinde testler yapılmış ve bu çalışma için en uygun dağılımın olduğu 6 karışım seviyesi seçilmiştir. Karışımların oranlarının tespit edilmesi için küçük bir boru kesilerek içine bilinen miktarda su ve hava konulmuş ve boru aynı aydınlatma koşullarında çalkalanmıştır. Alınan görüntülerde bilinen su ve hava miktarları kullanılarak karışım oranları hesaplanmıştır. Bu çalışmada öngörülen 6 karışım seviyesinin, belirlenen piksel yoğunluk aralıkları ve hesaplanan karışım oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Etiketleme tablosu

Karışım	Piksel yoğunluk aralığı	Karışım oranları
Hava veya su	$0 \leq x < 80$	%100 hava veya %100 su
Seviye 1	$80 \leq x < 105$	%85 hava ve %15 su
Seviye 2	$105 \leq x < 130$	%70 hava ve %30 su
Seviye 3	$130 \leq x < 160$	%50 hava ve %50 su
Seviye 4	$160 \leq x < 200$	%30 hava ve %70 su
Seviye 5	$200 \leq x \leq 255$	%15 hava ve %85 su

Şekil 4.14’de yoğunluğa göre etiketleme algoritmasının uygulanması gösterilmiştir. Renkli akış görüntüsünde (Şekil 4.14.a) görüldüğü üzere akışta su ve hava karışmaktadır. Gri seviyeli görüntü (Şekil 4.14.b), Çizelge 4.1 kullanılarak etiketlenildiğinde Şekil 4.14.c elde edilmiştir. Etiketlendirilmiş görüntüde turuncu,

koyu yeşil, açık yeşil, camgöbeği yeşili, açık mavi, koyu mavi renkler sırasıyla Seviye 1, Seviye 2, Seviye 3, Seviye 4, Seviye 5 ve hava veya su karışımlarını temsil etmektedir. Su ve hava görüntüde aynı piksel yoğunluklarında olduğundan bu aşamada su ve havanın ayrımı gerçekleştirilememiştir. Akış örüntüleri gözlemlenerek; suyun genellikle karışımın altında, havanın ise karışımın üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu tespite dayanarak su ve hava bölgeleri sırasıyla koyu mavi ve kırmızı kullanılarak etiketlenmiştir. Şekil 4.14.d’de su-hava ayrımı yapılmış görüntü verilmiştir. Bu görüntüde su ve hava bölgesinin hacimsel büyüklükleri Çizelge 4.1’de etiketlenen bölgelerin karışım oranları kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. Piksel yoğunluğuna göre etiketleme algoritması
(a) renkli görüntü. (b) gri seviyeli kırılmış görüntü. (c) etiketlenmiş görüntü. (d) su ve hava bölümleri ayrılan etiketlenmiş görüntü.

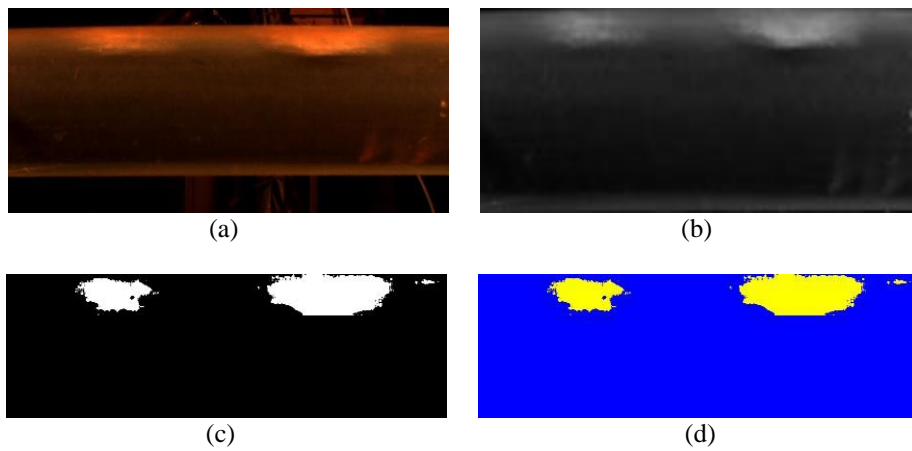
4.4.3. Kabarcık Algoritması

Kabarcık algoritması, çok düşük hava debilerinde borunun üst kısmında oluşan kabarcıkları tespit edebilmek için tasarlanmıştır. Deney düzeneğinde gözlemlenen kabarcıkların belirli bir sınırdan aşağı inmediği ve yüksek piksel yoğunluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit ile gözlemlenen sınırdan yukarı bölgelere global eşikleme işlemi uygulanarak kabarcıklar elde edilmiştir. Algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir.

Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Tüm görüntüler için;
 - 4.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 4.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 4.3. Gri seviyeli görüntünün üstten 150 satırının global eşikleme işlemi kullanılarak ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 4.4. Su ve hava bölgelerinin etiketlenmesi
 - 4.5. Tespit edilen su ve hava bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Şekil 4.15'de kabarcık algoritmasının adımları gösterilmiştir. Borunun üst kısmında bulunan kabarcıklar Şekil 4.15.a'da görülmektedir. Kabarcıkların geçtiği bölge daha açık bir tonda olduğundan gri seviyeli görüntüde (Şekil 4.15.b) üstten 150 satıra global eşikleme işlemi uygulanmış ve ikili görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.15.c). Su ve hava bölgeleri sırasıyla mavi ve sarı ile renklendirilmiş görüntü Şekil 4.15.d'de verilmiştir.

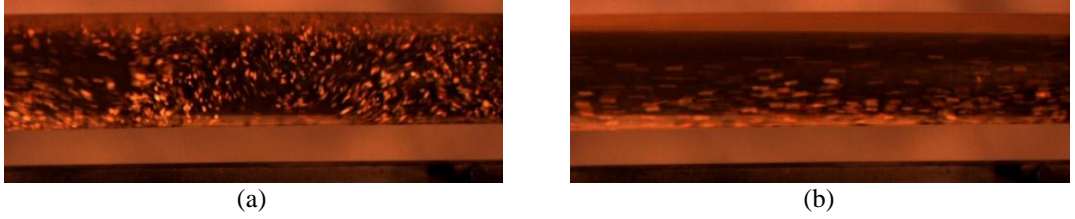


Şekil 4.15. Kabarcık algoritması

(a) renkli görüntü. (b) gri seviyeli kırılmış görüntü. (c) ikili görüntü. (d) renklendirilmiş su ve hava bölgeleri.

4.5. Dikey Boruda Su ve Kesintilerden Oluşan Deneyler

Dikey konumdaki deneylerde, KAS'ın test bölümü ile birlikte kamera da uygun konuma getirildiğinden alınan görüntüler, boru yatay konumda iken alınan görüntülerden farklı değildir. Dikey boruda su ve kesintilerle ilgili deneylerde spiral ve dağınık olmak üzere 2 farklı akış örüntüsü tespit edilmiştir. Şekil 4.16.a'da verilen spiral akış örüntüsü düşük su debisinde oluşmakta ve su içerisinde kesintiler birbirinden bağımsız ve spiral bir şekilde hareket etmektedir. Dağınık akış ise yüksek su debilerinde elde edilmekte ve kesintiler Şekil 4.16.b'de gözüktüğü gibi birbirinden bağımsız ve düzensiz bir şekilde hareket etmektedir.



Şekil 4.16. Dikey boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde gözlemlenen akış örüntüleri
(a) spiral (b) dağınık

Gözlemlenen akış örüntülerinin özellikleri birbirine benzer olduğundan tek görüntü işleme algoritması tasarlanmıştır. Algoritmada kullanılan parametreler ve bazı elemanlar akış örüntülerinde farklılıklar göstermektedir.

4.5.1. Algoritma

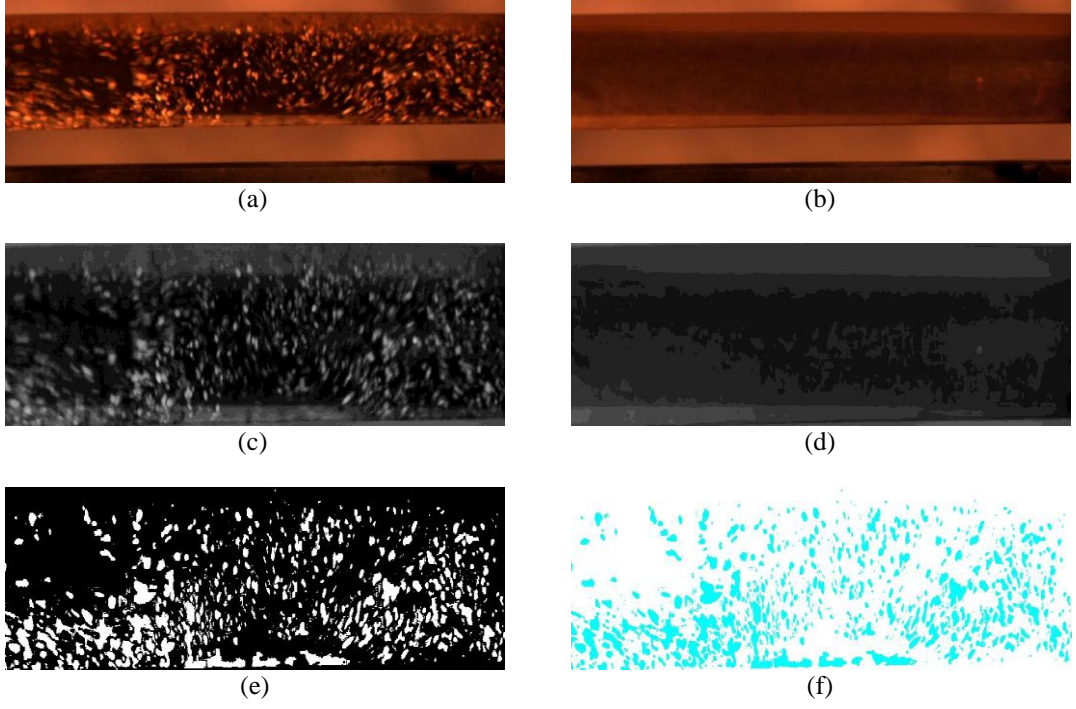
Spiral ve dağınık akışlar için gerçekleştirilen bu algoritma, hareket eden parçacıkların tespit edilmesi için tasarlanmıştır. Algoritma uygulanırken akış örüntüleri için bazı farklılıklara ihtiyaç duyulmuştur. Bu farklılıklar; global eşikleme için kullanılan eşik değeri ve kapama işlemi için kullanılan yapısal elemandır. Dağınık akıştaki parçacıklar, spiral akıştaki parçacıklara göre daha hızlı hareket ettiğinden tespit edilmesi zordur. Bu sebeple dağınık akışta spiral akışa nazaran daha küçük bir eşik değeri kullanılmıştır. Ayrıca dağınık akıştaki parçaları

belirginleştirmek için dağınık akıştaki kapama işleminde spiral akışa göre daha büyük bir yapısal eleman kullanılmıştır. Kullanılacak eşik değeri ve yapısal eleman için testler gerçekleştirilmiş ve en uygun olan değerler seçilmiştir.

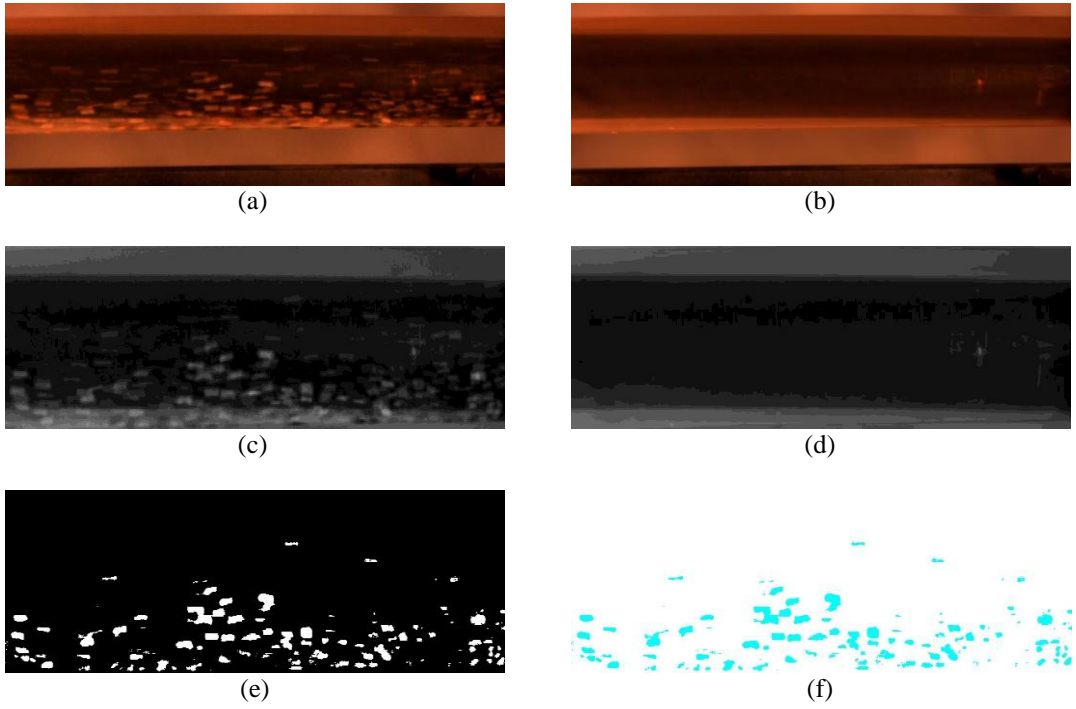
Algoritma adımları:

1. Videonun görüntülere ayrılması
2. Herhangi bir görüntü için borunun tespit edilmesi
3. Boruyu çevreleyen dikdörtgenin koordinatlarının kaydedilmesi
4. Arka planın görüntüler kullanılarak hesaplanması
5. Renkli arka plan görüntüsünden gri seviyeli arka plan görüntüsünün elde edilmesi
6. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak arka plan görüntüsünün kırılması
7. Tüm görüntüler için;
 - 7.1. Renkli görüntüden gri seviyeli görüntünün elde edilmesi
 - 7.2. Borunun kaydedilen koordinatları kullanılarak görüntünün kırılması
 - 7.3. Gri seviyeli görüntünün ve arka plan görüntüsünün farkının mutlak değerinin hesaplanması
 - 7.4. Global eşikleme tekniği ile gri seviyeli farkın ikili görüntüye dönüştürülmesi
 - 7.5. Kapama işlemi uygulanarak görüntüdeki cisimlerin belirginleştirilmesi ve iç kısımlarının doldurulması
 - 7.6. Mantıksal tersleme işlemi kullanılarak su bölgesinin tespit edilmesi
 - 7.7. Tespit edilen su ve kesinti bölgelerinin hacimsel büyüklüklerinin hesaplanması ve kaydedilmesi

Spiral ve dağınık akışlara algoritmanın uygulanması sırasıyla Şekil 4.17 ve 4.18'de gösterilmiştir. Renkli spiral akış ve hesaplanan arka plan görüntüsü sırasıyla Şekil 4.17.a ve 4.17.b'de verilmiştir. Gri seviyeli akış (Şekil 4.17.c) ve arka plan (Şekil 4.17.d) görüntüsünün farkı hesaplanarak hareket eden parçacıklar gri seviyeli formda elde edilmiş ve global eşikleme tekniği kullanılarak ikili görüntüye çevrilmiştir. Görüntüdeki parçacıklar kapama işlemi ile belirginleştirilerek, hareket eden kesintileri temsil eden Şekil 4.17.e elde edilmiştir. Şekil 4.17.f'de kesintilerin renklendirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Algoritma'nın spiral akışa uygulanması
(a) renkli akış görüntüsü. (b) renkli arka plan görüntüsü. (c) gri seviyeli kırılmış akış görüntüsü. (d) gri seviyeli kırılmış arka plan görüntüsü. (e) ikili görüntü. (f) renklendirilmiş görüntü.



Şekil 4.18. Algoritma'nın dağınık akışa uygulanması
(a) renkli akış görüntüsü. (b) renkli arka plan görüntüsü. (c) gri seviyeli kırılmış akış görüntüsü. (d) gri seviyeli kırılmış arka plan görüntüsü. (e) ikili görüntü. (f) renklendirilmiş görüntü.

BÖLÜM 5

5. GELİŞTİRİLEN YAPAY ZEKÂ TAHMİN MODELLERİ

Bu bölümde öncelikle kullanılan yapay zekâ tekniklerinden bahsedilecek, sonra da akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı için geliştirilen modeller verilecektir.

5.1. Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri

Bu çalışmada yapay zekâ tekniklerinden en yakın komşu algoritması, yapay sinir ağları ve karar ağaçları kullanılmıştır.

5.1.1. En Yakın Komşu Algoritması

En yakın komşu (EYK) algoritmasında yeni bir veri çifti kendisine en yakın olan verinin sınıfına veya değerine atanır [53]. Bu yaklaşımda önceden sınıflandırılan örüntüler önemsiz, sınıflandırma sadece en yakın komşuya bağlı olarak gerçekleştirilir. Noktaların arasındaki mesafenin hesaplanması için genellikle iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığı bulan Öklid uzaklığı (5.1) kullanılmaktadır.

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_n) \quad Q = (q_1, q_2, \dots, q_n) \quad d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (5.1)$$

P ve Q noktaları arasındaki Öklid uzaklığı d ile gösterilmektedir.

5.1.2. Yapay Sinir Ağları

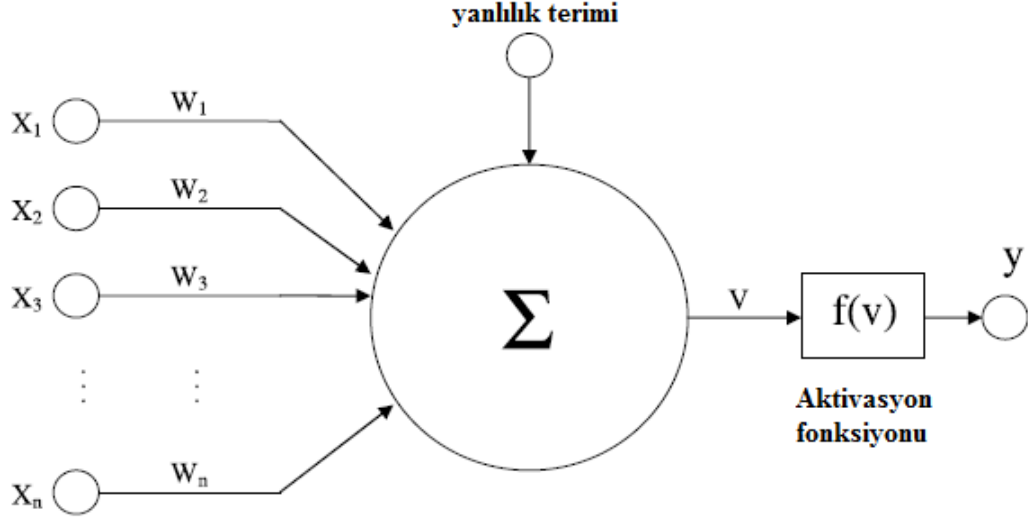
Yapay sinir ağı (YSA) genel anlamda karmaşık problemlerin çözümü için kullanılan girdi ve çıktı eşleştirme modelidir. YSA özellikle doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon, eğri bulma gibi matematiksel ve istatistiksel metotların tatmin edici sonuçlar sağlayamadığı durumlarda kullanışlıdır. Başarılı bir sinir ağı modeli iyi bir genelleştirmeye sahip olmalı ve dışa düşen verilerden etkilenmemeli, fakat aynı

zamanda yeni veri noktaları tanıtıldığında da başarılı bir şekilde cevap verebilmelidir. [42]

YSA insan beynini yapısal ve sayısal olarak taklit eden bir model kullanır. Girdi, gizli, çıktı gibi sırayla ve paralel çalışan birkaç katmandan oluşan YSA birbirine bağlı sinir hücreleri içermektedir. Bir girdi örüntüsü sinir ağına tanıtıldığında sinir hücreleri arasında bulunan ağırlıklar uyarılır ve bu sinyaller katmanlar arasında yayılarak bir çıkış örüntüsü oluşur. Oluşan çıktı örüntüsünün beklenen çıktı örüntüsüne olan yakınlığına bağlı olarak, aynı girdi örüntüsü sinir ağına tanıtıldığında, beklenen çıkış örüntüsüne daha yakın sonuç verecek şekilde katmanlar ve sinir hücreleri arasındaki ağırlıklar güncellenir. Başka bir deyişle, sinir ağı tıpkı insandan davranılması beklenildiği gibi örneklerden veya kendi hatalarından öğrenen bir sistemdir.

YSA'nın en temel yapı taşı sinir hücresidir (Şekil 5.1). Bu yapı, her birinin ferdi ağırlıkları bulunan çeşitli girdi sinyallerinden oluşmaktadır. Ağırlıklı girdi bağlantıları sinir hücresi içerisinde birleşmekte ve toplamları sinir hücresinin çıktısını oluşturan doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonuna girmektedir. Tipik aktivasyon fonksiyonları: eşikleme fonksiyonu ($v < 0$ ise 0, $v \geq 0$ ise 1), parça doğrusal fonksiyonu ($v \leq -0.5$ ise 0, $-0.5 < v < 0.5$ ise v , $v \geq 0.5$ ise 1), değerleri 0 ile 1 arasında olan sigmoit fonksiyonu $f(v) = 1 / (1 + e^{-av})$ veya değerleri -1 ile 1 arasında değişen hiperbolik tanjant fonksiyonu $f(v) = \tanh(v)$.

Sinir hücresinde yanlılık terimi, aktivasyon fonksiyonuna giden girdiyi azaltmak veya arttırmak için toplama eklenmektedir. Aktivasyon fonksiyonu, [0,1] veya [-1,1] arasında bir çıktı oluşturan doğrusal olmayan girdi-çıkı eşleştirme fonksiyonudur. Oluşan çıktı bir sonraki katmanda diğer sinir hücreleri tarafından girdi olarak kullanılabilir.



Şekil 5.1. Sinir hücresinin yapısı [42]

Sinir ağında k . katmanda i . sinir hücresi için girdi-çıkı (x,y) ilişkileri (5.2) ve (5.3) denklemleri ile sağlanabilir.

$$v_i^k = \sum_{j=1}^n w_{ij}^k x_j^k + b_i^k \quad (5.2)$$

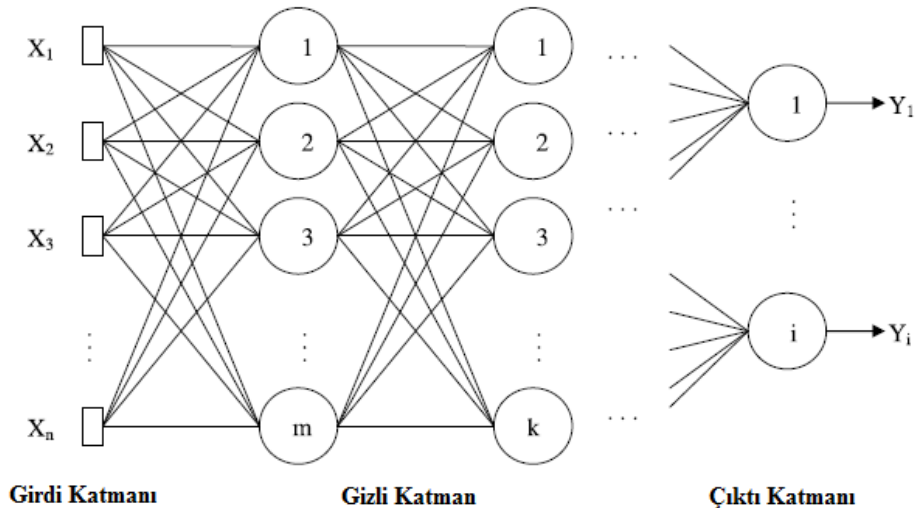
$$y_i^k = f^k(v_i^k) \quad (5.3)$$

w ve b sırasıyla sinir hücreleri arasındaki ağırlığı ve yanlılık terimini temsil etmektedir. Sinir hücreleri sinir ağını oluşturmak için bir araya geldiğinde, girdi ve çıktı çiftlerinin sisteme tanıtıldığı eğitim aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada sinir hücreleri arasındaki ağırlıklar değişmekte böylece ağ çıktıları beklenen çıktılara mümkün mertebe yakın eşleşmektedir. Eğitim aşaması öğrenme aşaması olarak da adlandırılmaktadır. Öğrenme, hesaplanan ve beklenen çıktılar arasındaki hata kabul edilebilir bir seviyede olduğunda durmaktadır. Bu işlem için, çıktıdaki hata terimleri toplanarak ağ girdileri ve ağırlıkları cinsinden bir maliyet fonksiyonu oluşturulur ve bu maliyet fonksiyonu ağ girdileri açısından en aza indirgenir. Genellikle maliyet fonksiyonu çıktıların ortalama kare hatasına dayanmaktadır. Bu algoritmanın yapısı gereği, bu tip sinir ağları denetlenen sinir ağları olarak adlandırılmaktadır.

Maliyet fonksiyonunu en aza indirmek için önemli olan aktivasyon fonksiyonu; her noktada tanımlı, farklı ve sürekli olmalıdır. Bu koşulları karşılamak için algoritmalarda sigmoit ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarının kullanılması daha uygundur.

Eğitim sonlandığında, sinir hücreleri arasındaki ağırlıklar her katman için saklanmakta ve ağ test edilmeye hazır duruma gelmektedir. Test işlemi eğitim girdi ve çıktı çiftlerinden farklı çiftler kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Çıktılar ağ için saklanan ağırlıklar kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan ve beklenen çıktılar arasındaki fark, öğrenmenin başarılı ve yeterli olup olmadığını ve yeni girdi-çıkı çiftinin eğitilen örüntülere ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Yapay sinir ağın genel yapısı Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Tipik bir sinir ağı yapısında, her zaman bir girdi ve bir çıktı katmanı bulunmakta iken gizli katman bulunmayan veya birden fazla gizli katman bulunan ağlar vardır. Girdi özelliklerinin sayısı, girdi-çıkı çiftlerinin sayısı, veri gösteriminin karmaşıklığı ve tutarlılığı ve ağ parametreleri (katman ve sinir hücresi sayısı, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme oranı, sonlanma kriteri, yanlılık değeri gibi) ağın yapısını etkileyen çeşitli faktörlerdendir.



Şekil 5.2. Tipik bir yapay sinir ağ yapısı [42]

5.1.3. Karar Ağaçları

Karar ağacı (KA), öznitelikleri kullanarak kurallar oluşturan ve bu kurallar ile sınıflandırma ve değer tahmini yapan hiyerarşik bir ağaç yapısıdır. KA yinelemeli olarak kısımlara ayırma işlemini gerçekleştirir ve sürekli değişken tahmini için regresyon ağacı (RA) ve kategorik değişkenler tahmini için ise sınıflandırma ağacı (SA) oluşturur [55].

KA verilen eğitim verilerini kullanarak sınıfa erişmek için belirli sırada kurallar oluşturmada ve en kısa şekilde sonuca gitmeyi amaçlamaktadır. KA yapısında her bir düğüm bir özniteliği, her bir yaprak ise modelin sonucunu vermektedir. Bu ağaç yapısında kökten her bir yaprağa giden tek bir yol veya tek bir karar kuralı vardır.

KA eğitim verilerinin öznitelikleri kullanılarak sıralı kararlar oluşturulur ve tahmin modeli elde edilir. Test verileri kökten başlayarak sıralı kuralları teker teker geçer ve bir yaprağa başka deyişle modelin o test verileri için sonucuna ulaşır.

KA'nın avantajları, doğrusal ve parametrik olmaması ve oluşturulan ağaçta sonuçların değerlendirilmesinin ve yorumlanmasının kolay olmasıdır. [56]

5.2. Geliştirilen Modeller

Bu çalışmada akış örüntüsü tahmini bir sınıflandırma, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmini ise bir değer tahmini problemidir. Akış örüntüsü tahmininde akışlar önceden belirlenmiş sınıflara ayrılacaktır. Sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmininde ise sayısal bir değere ulaşılmaya çalışılacaktır.

Çizelge 5.1'de akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı için geliştirilen modellerde kullanılan yapay zekâ teknikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tahmin edilecek değişkenler için kullanılan yapay zekâ teknikleri

Tahmin edilecek değişken	Kullanılan yapay zekâ teknikleri			
	En yakın komşu (EYK)	Geri yayımlı sinir ağı (GYSA)	Sınıflandırma Ağacı (SA)	Regresyon Ağacı (RA)
Akış örüntüsü	✓	✓	✓	-
Sıvı hacimsel oranı	✓	✓	-	✓
Basınç kaybı	✓	✓	-	✓

EYK, sınıflandırma ve değer tahmini problemlerine uyarlanabildiğinden tahmin edilecek değişkenlerin hepsinde kullanılmıştır. GYSA girdi, gizli ve çıktı katmanından oluşmakta ve gizli katman 20 adet sinir hücresi içermektedir. KA ise problemlere uyum için iki farklı ağaca ayrılmıştır. SA, bir sınıflandırma problemi olan akış örüntüsü tahmininde; RA ise değer problemleri olan sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmininde kullanılmıştır.

Modellerde eğitim, doğrulama ve test verilerin toplam veriye olan oranı sırasıyla %60, %20 ve %20'dir. Veriler dönüşümlü kullanılarak tüm verilerin test edilmesi sağlanmıştır.

5.2.1. Model Girdilerinin Ayarlanması

Her model için 2 adet girdi olması planlanmıştır. Deneysel olarak ölçülen yüzeysel sıvı ve gaz hızlarını (sıvı için 0,51-10,17, gaz için 0,02-136,5 ft/sn) basitleştirmek ve genelleştirmek için, sıvı ve gaz Reynolds sayıları kullanılmıştır. Sıvı fazı için Reynolds sayısı (5.4), gaz fazı için Reynolds sayısı ise (5.5) ile hesaplanmaktadır.

$$N_{ReL} = \frac{\rho_L V_{SL}(D_o - D_i)}{\mu_L} \quad (5.4)$$

$$N_{ReG} = \frac{\rho_G V_{SG}(D_o - D_i)}{\mu_G} \quad (5.5)$$

Denklemlerde p yoğunluğu, V hızı, D_o dış boru çapı, D_i iç boru çapı ve μ viskoziteyi temsil etmektedir.

5.2.2. Akış Örüntüsü İçin Geliştirilen Modeller

Sınıflandırma problemi olan akış örüntüsü tahmininde gözlemlenen 7 akış örüntüsü (katmanlaşmış, vurmali, tepeli, çalkalanmış, dalgalı halkasal, dağılmış kabarcık, dağılmış halkasal) kullanılmıştır. Akış örüntüsünün tahmin edilmesi için EYK algoritması, GYSA ve SA kullanılmıştır.

Geliştirilen modellerde 2 girdi (gaz ve sıvı Reynolds sayısı) ve 1 çıktı (akış örüntü sınıfı) olması planlanmıştır. En yakın komşu algoritması ve sınıflandırma ağacı ile metin kullanarak sınıflandırma yapılabildiğinden sorun yaşanmamış fakat yapay sinir ağında problemin ağa uyarlanabilmesi için akış örüntülerinin sayısallaştırılması gerekmiştir. Çizelge 5.2'de sayısallaştırılmış akış örüntüleri gösterilmiştir. Sayısallaştırma sonucu yapay sinir ağı için 2 girdi (gaz ve sıvı Reynolds sayısı) ve 7 çıktı (sayısallaştırılmış akış örüntüleri) belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Akış örüntülerinin sayısal olarak gösterimi

Akış örüntüsü	Sayısallaştırılmış akış örüntüsü
Katmanlaşmış	1000000
Vurmali	0100000
Tepeli	0010000
Çalkalanmış	0001000
Dalgalı halkasal	0000100
Dağılmış kabarcık	0000010
Dağılmış halkasal	0000001

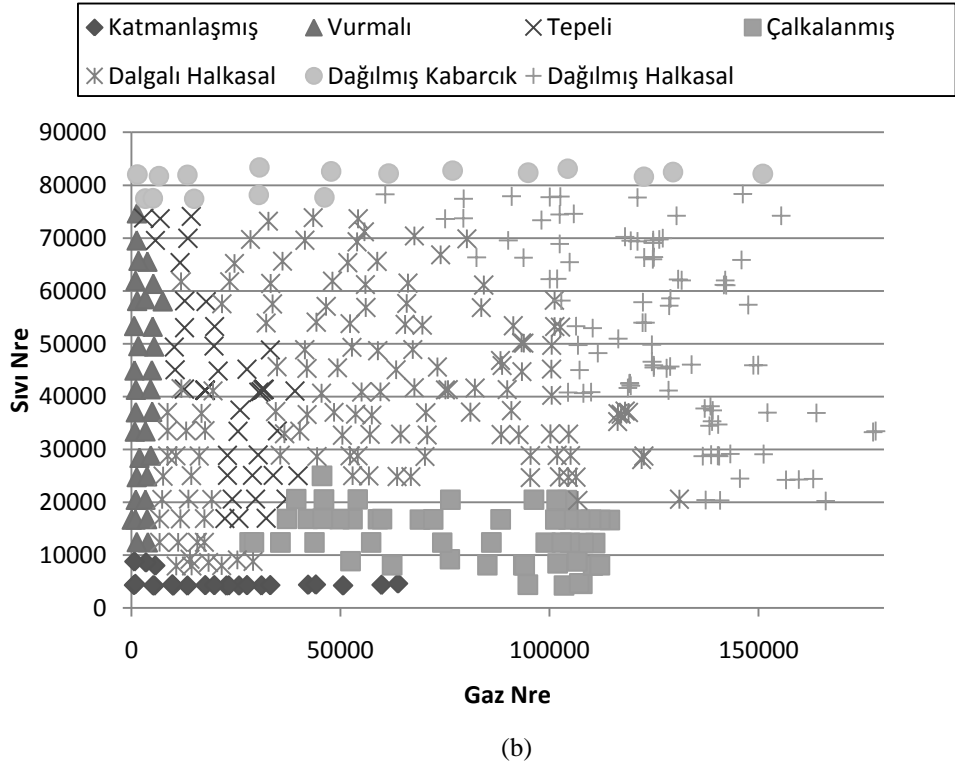
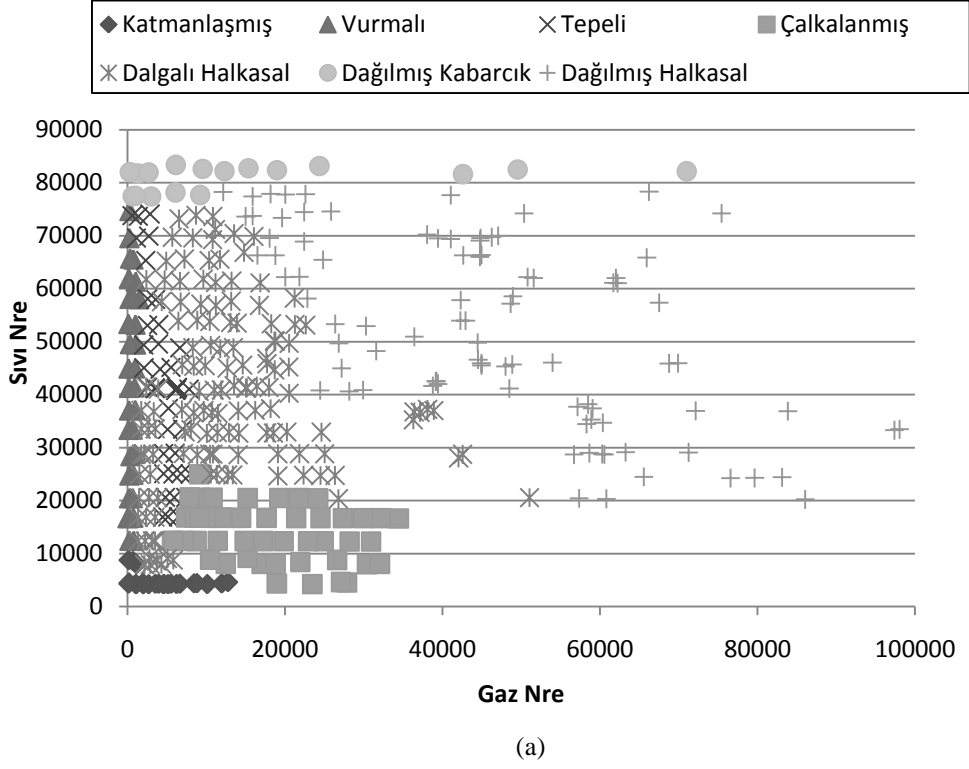
Deneilerin görüntülenmesi ve gözlemlenmesi ile belirlenen akış örüntülerinin toplam sayıları Çizelge 5.3'de verilmiştir. Bazı akış örüntülerinin az sayıda olması modelin o akış örüntüsünü tam olarak öğrenememesine sebep olmaktadır. Bu

eksikliği gidermek için akış örüntülerinin sayıları, aynı değerlerin kopyalanması ile 160 değerine eşitlenerek genişletilmiş veri seti oluşturulmuştur. Modeller, kıyaslama yapabilmek için hem orijinal hem de genişletilmiş veriler üzerinde denenmiştir.

Çizelge 5.3. Gözlemlenen akış örüntülerinin toplam sayıları

Akış Örüntüsü	Sayı
Katmanlaşmış	23
Vurmalı	50
Tepeli	32
Çalkalanmış	41
Dalgalı halkasal	133
Dağılmış kabarcık	17
Dağılmış halkasal	90

Şekil 5.3.a'da akış örüntüleri sıvı ve gaz Reynolds sayıları grafiğinde gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere x ekseninin 0-20000 olduğu bölgede akış örüntüleri birbirine geçmekte, bu da modellerde yanlış tahminlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için gaz Reynolds sayısının 0-20000 olduğu bölge, 0-100000 olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Şekil 5.3.b'de ölçeklendirilmiş akış örüntüleri grafiği gösterilmiştir. Ölçeklendirme işlemi modelin içinde gerçekleştirildiği için sistemin girdilerinin değiştirilmesine gerek kalmamıştır. Hem ölçeklendirilmiş hem de orijinal veriler kullanılarak modeller denenmiş, böylece ölçeklendirme işleminin modeller üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 5.3. Akış örüntülerinin grafiksel gösterimi
 (a) Orijinal girdi değerleri için (b) Ölçeklendirilmiş girdi değerleri için

5.2.3. Sıvı Hacimsel Oranı ve Basınç Kaybı İçin Geliştirilen Modeller

Sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmin problemlerinde ortak amaç, bir değer tahmin etmektedir. Sıvı hacimsel oranları görüntü işleme teknikleri kullanılarak elde edilirken, basınç kayıpları deney esnasında toplanmıştır. Sıvı hacimsel oranı 0,17 ile 0,96 değerleri arasında değişmekte iken, basınç kaybı 0,006 ve 0,711 psi/ft değerleri arasında değişmektedir.

Bu iki problem için geliştirilen modellerde EYK algoritması, GYSA ve RA kullanılmıştır. Modeller 2 girdi (gaz ve sıvı Reynolds sayısı) ve 1 çıktı (sıvı hacimsel oranı veya basınç kaybı) olacak şekilde tasarlanmıştır.

BÖLÜM 6

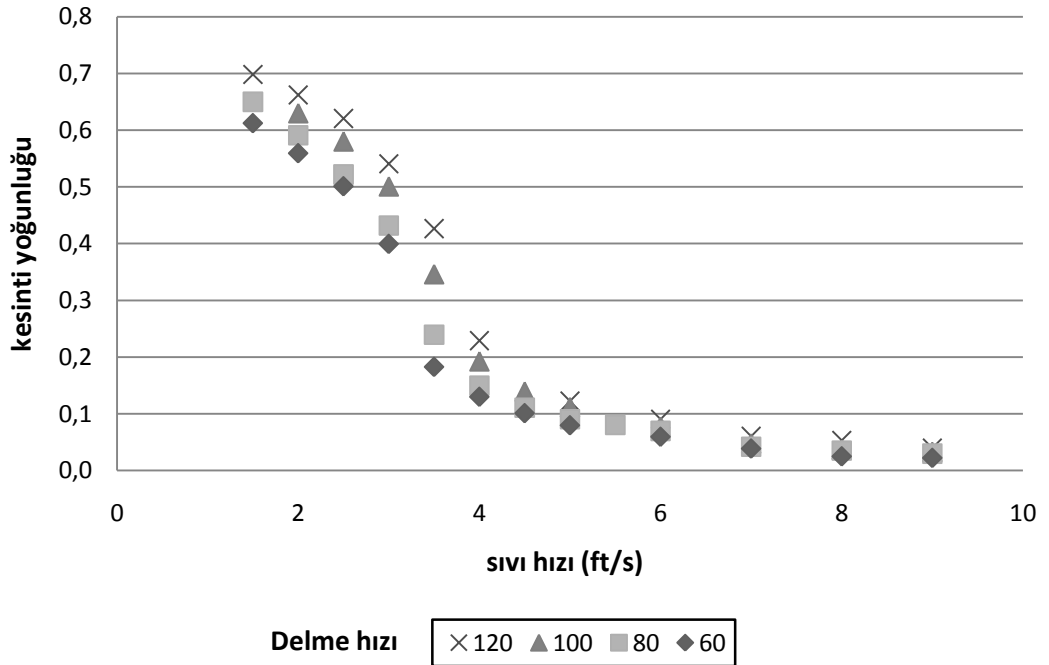
Bu bölümde; sonuçlar çalışmanın amacı açısından değerlendirilerek sunulacak, çalışma esnasında karşılaşılan sorunlardan bahsedilecek ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için fikir verilecektir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada görüntü işleme algoritmaları ve geliştirilen tahmin modellerinin sonuçları özel başlıklar altında verilecektir.

6.1. Görüntü İşleme Sonuçları

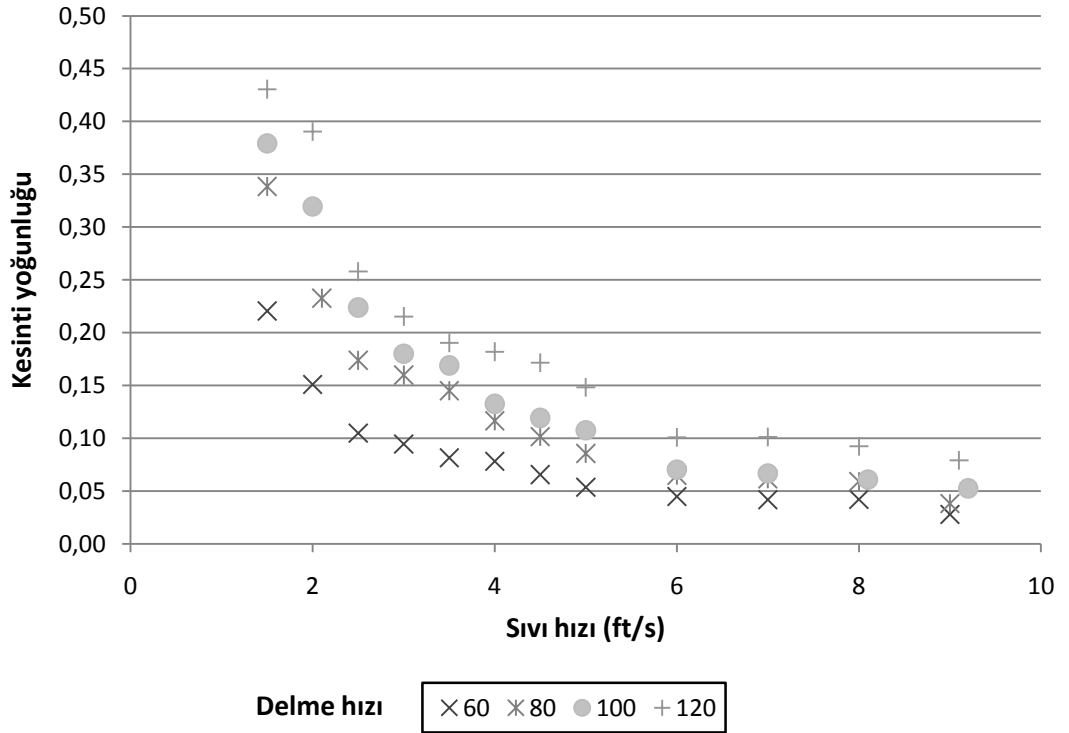
Şekil 6.1'de yatay konumda su ve kesintilerden oluşan deneylerde (iç boru hareketsizken), ilgili görüntü işleme algoritması uygulandığında elde edilen kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6.1. Yatay boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi (iç boru hareketsizken)

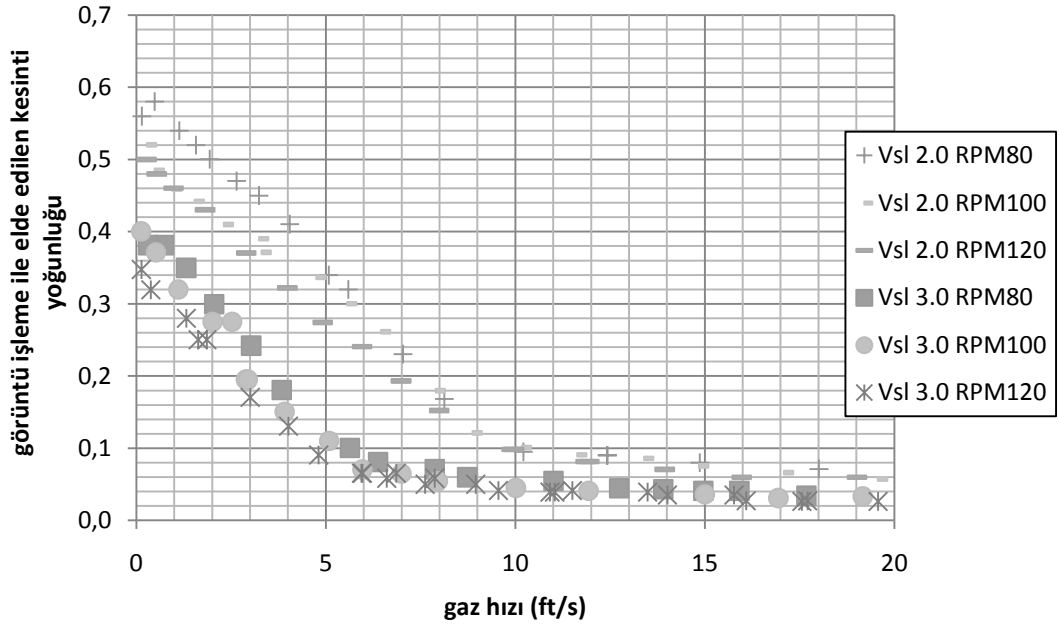
Grafikte görüldüğü üzere sıvı hızı sabit iken delme hızı arttıkça boru içindeki kesinti yoğunluğu da artmaktadır. Bunun sebebi delme hızının artmasıyla boruya daha fazla kesintinin verilmesidir. Ayrıca belirli bir noktadan sonra (sıvı hızı=5 ft/s) boruda kesinti yatağı oluşmadığından dolayı delme hızı kesinti yoğunluğuna kayda değer bir biçimde etki etmemektedir.

Dikey konumda su ve kesintilerden oluşan deneylerde (iç boru dönme hızı dakikada 100 devir olduğunda), ilgili görüntü işleme algoritması uygulandığında elde edilen kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi Şekil 6.2'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere sıvı hızı sabit iken delme hızı arttıkça sisteme daha fazla kesinti girişi yaptığından kesinti yoğunluğu da artmaktadır. Ayrıca sıvı hızı arttıkça delme hızının, kesinti yoğunluğu üzerindeki etkisi azalmaktadır.



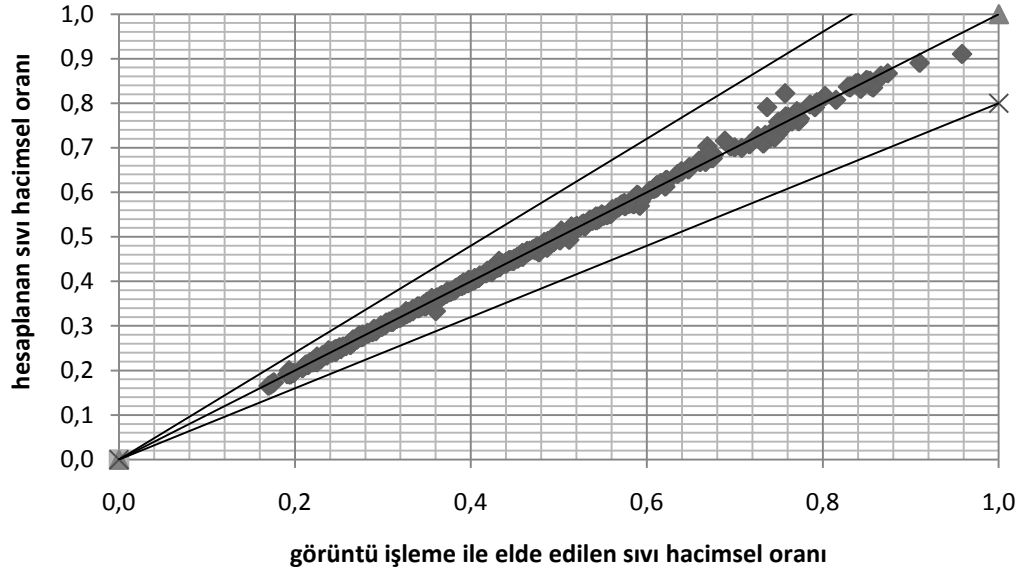
Şekil 6.2. Dikey boruda su ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun sıvı hızına göre değişimi (iç boru dönme hızı dakikada 100 devir olduğunda)

Yatay konumda su-hava ve kesintilerden oluşan deneylerde, ilgili görüntü işleme algoritması uygulandığında kesinti yoğunluğunun gaz hızına göre değişimi Şekil 6.3'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere sıvı hızı arttıkça kesinti yoğunluğu azalmaktadır. Bunun sebebi sıvı hızının artmasıyla sıvının taşıma kapasitesinin de artması, böylece daha fazla kesintinin taşınmasıdır. Ayrıca sabit sıvı ve gaz hızlarında, iç boru dönme hızının artması, kesinti yoğunluğunda dikkate değer bir değişikliğe yol açmamaktadır.

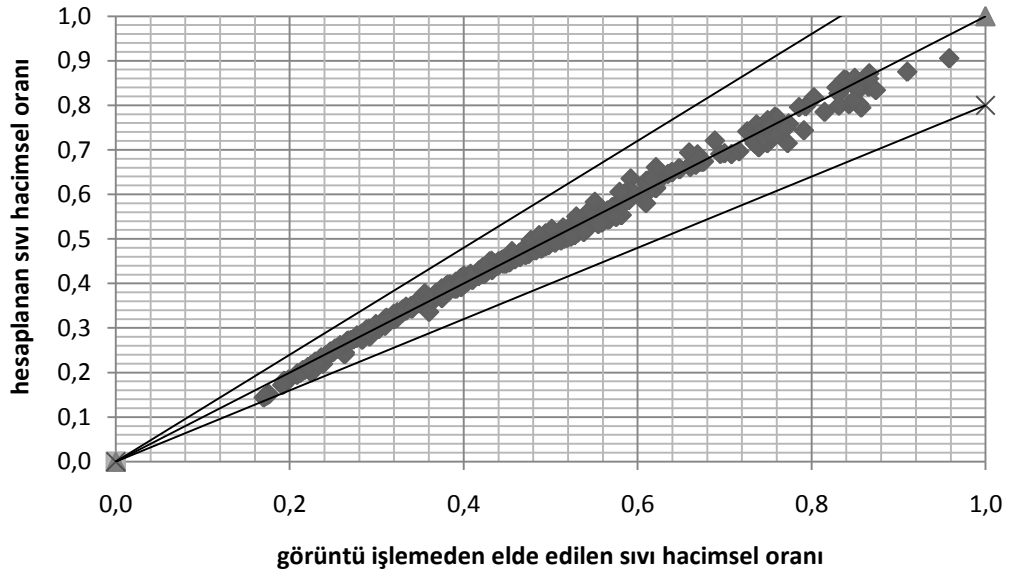


Şekil 6.3. Yatay boruda su, hava ve kesintilerden oluşan deneylerde kesinti yoğunluğunun gaz hızına göre değişimi
(Sıvı hızı=2.0, 3.0 (ft/s), Delme hızı=100 (ft/h), İç boru dönme hızı=dakikada 80,100 &120 devir)

Yatay konumda su ve havadan oluşan deneylerden görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranı, Şekil 6.4'de halkasal borular için güncellenmiş Beggs&Brill, Şekil 6.5'de halkasal borular için güncellenmiş Lockhart&Martinelli metoduyla hesaplanan sıvı hacimsel oranı ile kıyaslanmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere görüntü işleme algoritmaları sonucu elde edilen değerler, hesaplama modellerinin sonuçlarına çok yakın çıkmakta, bu da görüntü işleme algoritmalarının başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.4. Hesaplanan (Halkasal boru için güncellenmiş Beggs&Brill metodu [19]) ve görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranın kıyaslanması



Şekil 6.5. Hesaplanan (Halkasal boru için güncellenmiş Lockhart&Martinelli metodu [16]) ve görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranın kıyaslanması

6.2. Tahmin Modellerinin Sonuçları

Akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tespiti için geliştirilen tahmin modellerinin sonuçları ayrı başlıklar altında verilecektir.

6.2.1. Akış Örüntüsü Tespiti

Akış örüntüsü tespiti için geliştirilen modellerin genel başarı oranları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde en başarılı sonucun verinin genişletildiği ve ölçeklendirildiği GSYA’da elde edildiği görülmüştür. Bu da verinin genişletilmesi ve ölçeklendirilmesi işlemlerinin olumlu etkisini göstermektedir.

Bu çalışma ile [42] çalışması kıyaslandığında, bu çalışmada daha fazla akış örüntüsü için daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. [42] çalışmasında 3 akış örüntüsü %85-%90 başarı oranı ile tespit edilirken bu çalışmada 7 akış örüntüsü için başarı oranı %90’un üzerine çıkarılmıştır.

Çizelge 6.1. Akış örüntüsü modellerinin genel başarı oranı

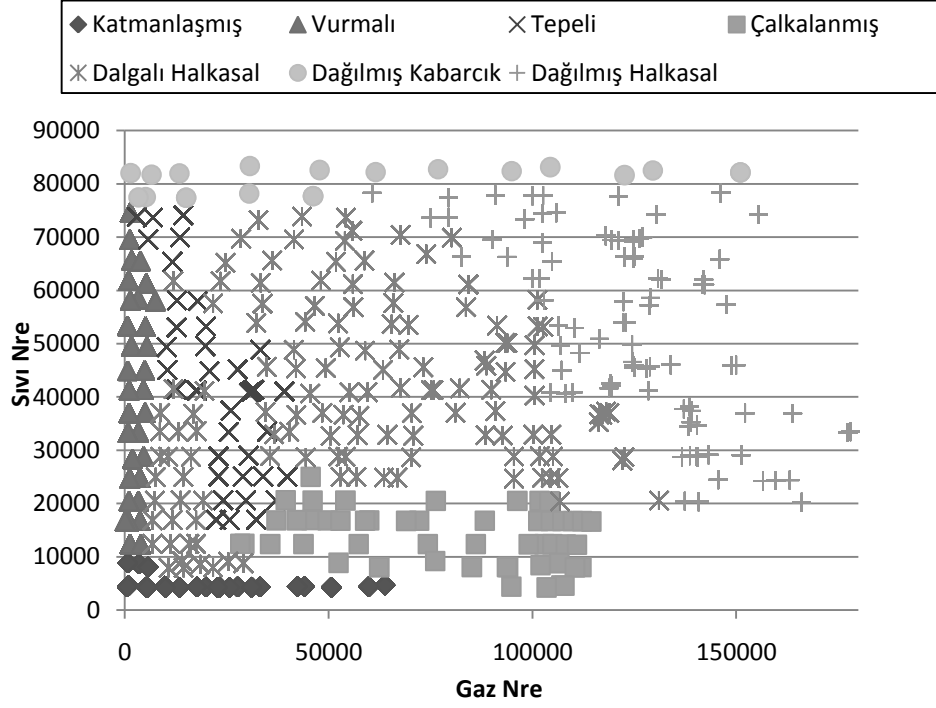
Kullanılan model	Başarı oranı (%)			
	Orijinal veri	Orijinal & ölçeklendirilmiş veri	Genişletilmiş veri	Genişletilmiş & ölçeklendirilmiş veri
EYK	88,08	84,72	88,08	84,72
GYSA	87,88	89,48	88,57	90,38
SA	87,82	87,56	90,09	90,00

Çizelge 6.2’de akış örüntülerinin kullanılan model ve verilere göre başarı oranları verilmiştir.

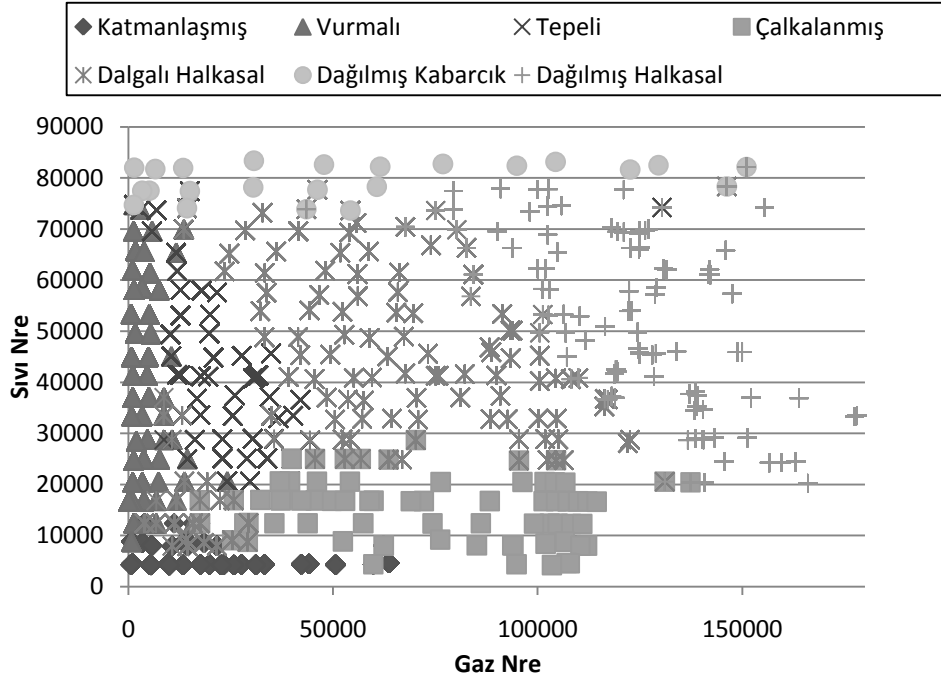
Çizelge 6.2. Akış örüntüsü modellerinin akış örüntülerine göre başarı oranı

Akış örüntüsü	Kullanılan model	Başarı oranı (%)			
		Orijinal veri	Orijinal & ölçeklendirilmiş veri	Genişletilmiş veri	Genişletilmiş & ölçeklendirilmiş veri
Katmanlaşmış	EYK	100	91,30	100	91,30
	GYSA	89,57	90,43	98,25	98,69
	SA	91,30	91,30	95,63	95,00
Vurmalı	EYK	96,00	90,00	96,00	90,00
	GYSA	94,40	93,20	94,94	94,38
	SA	86,00	86,00	91,88	92,50
Tepeli	EYK	90,63	93,75	90,63	93,75
	GYSA	93,44	95,63	95,00	95,94
	SA	93,75	90,63	93,75	93,13
Çalkalanmış	EYK	65,85	70,73	65,85	70,73
	GYSA	62,20	75,61	82,56	84,56
	SA	80,49	80,49	80,00	81,25
Dalgalı halkasal	EYK	84,96	81,95	84,96	81,95
	GYSA	88,42	88,05	63,44	66,63
	SA	85,71	84,96	80,63	80,00
Dağılmış kabarcık	EYK	82,35	52,94	82,35	52,94
	GYSA	77,65	85,29	92,13	97,19
	SA	82,35	82,35	94,38	93,13
Dağılmış halkasal	EYK	95,56	93,33	95,56	93,33
	GYSA	94,67	94,22	93,69	95,31
	SA	93,33	94,44	94,38	95,00

Şekil 6.6'da akış örüntüsü tespitinde en iyi sonucu veren GYSA için, beklenen ve model ile hesaplanan akış örüntülerinin, sıvı ve gaz Reynolds sayıları grafikleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.6. Akış örüntüsü modellerinde en iyi sonuç (Genişletilmiş & Ölçeklendirilmiş GYSA)
a) beklenen akış örüntüleri b) hesaplanan akış örüntüleri

6.2.2. Sıvı Hacimsel Oranı Tespiti

Sıvı hacimsel oranı tespiti için geliştirilen modellerin başarılarını kıyaslamak için beklenen ve model ile elde edilen sıvı hacimsel oranlarından hesaplanan karekök ortalama hata kare (KOHK) değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde en iyi sonucun GSYA kullanılarak alındığı görülmektedir.

Çizelge 6.3. Sıvı hacimsel oranı modellerinin KOHK değerleri

Kullanılan model	KOHK	Normalleştirilmiş KOHK
EYK	0,129	%16,3
GSYA	0,114	%14,4
RA	0,115	%14,6

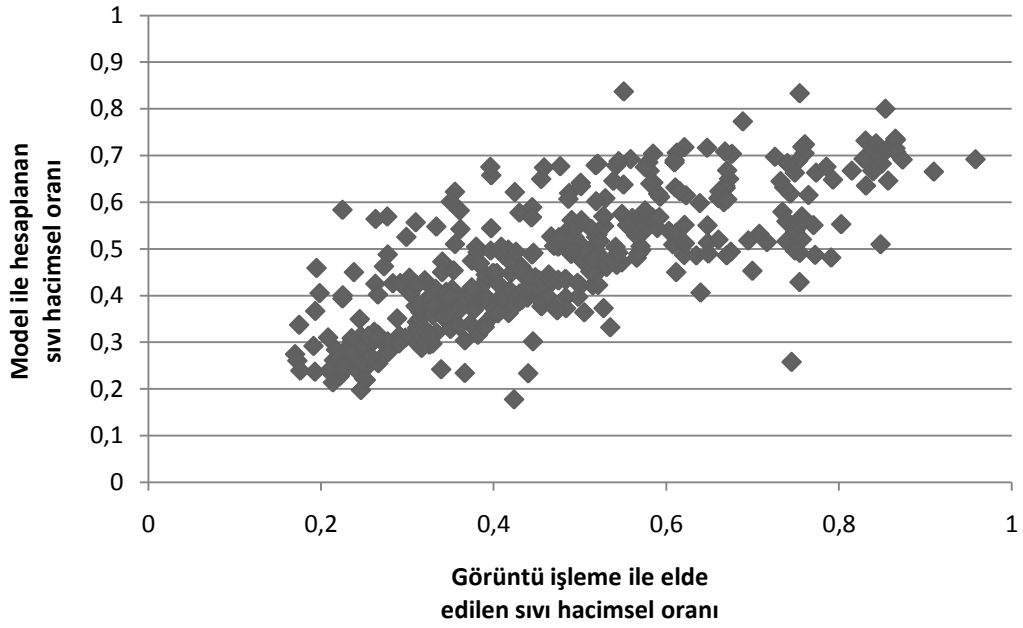
Görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranı 0,17 ile 0,96 arasında değişmektedir. Sonuçlar, en iyi durumda ortalama hatanın 0,114 olduğunu ve bu değerinde %14,4’e denk geldiğini göstermektedir (Çizelge 6.3). Görüntü işlemeden kaynaklanan hatalar ve veri aralığının küçük olması sebebiyle %14,4 ortalama hata payının kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.4’de geliştirilen modeller ve sapma dağılımları verilmiştir. Modellerde %25 sapma oranından küçük olan elemanların sayısı, en iyi sonucu veren GSYA’da en fazladır.

Çizelge 6.4. Sıvı hacimsel oranı modellerinin sapma dağılımları

Kullanılan model	Beklenen değerden sapan test elemanları sayısı					
	< %5	%5 - %15	%15-%25	%25-%50	%50-%75	> %75
EYK	220	99	49	29	1	0
GSYA	180	148	53	17	0	0
RA	197	134	45	22	0	0

Şekil 6.7’de en iyi sonucu veren GYSA modeli ile hesaplanan ve görüntü işleme ile elde edilen sıvı hacimsel oranların karşılaştırılması verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere düzensiz bir dağılım oluşmuştur. Bunun sebebi görüntü işlemenin sıvı hacimsel oranı tespitindeki hata payı ve tahmin modelinin görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranları ile eğitilmesidir.



Şekil 6.7. GYSA ile hesaplanan ve görüntü işleme ile elde edilen sıvı hacimsel oranın kıyaslanması

6.2.3. Basınç Kaybı Tespiti

Basınç kaybı tespiti için geliştirilen modellerin KOHK değerleri Çizelge 6.5’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde en iyi sonucun GSYA kullanılarak alındığı görülmektedir.

Çizelge 6.5. Basınç kaybı modellerinin KOHK değerleri

Kullanılan model	KOHK	Normalleştirilmiş KOHK
EYK	0,0301	%4,2
GYSA	0,0274	%3,8
RA	0,0336	%4,7

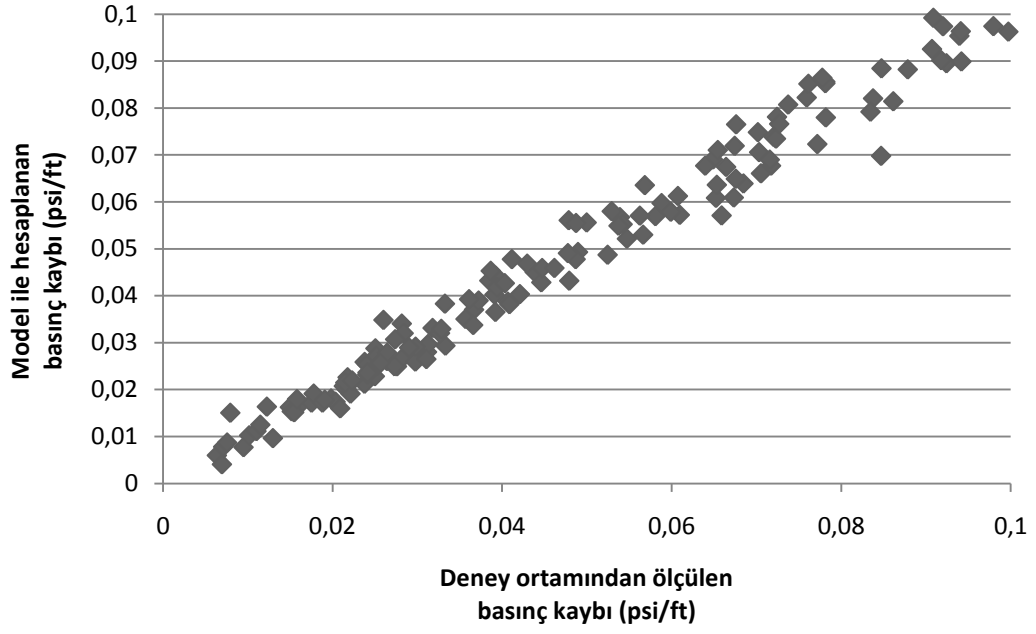
Deney düzeneğinden ölçülen basınç kaybı 0,006 ve 0,711 psi arasında değişmektedir. Sonuçlar, en iyi durumda ortalama hatanın 0,0274 psi olduğunu ve bu değerinde %3,8'e denk geldiğini göstermektedir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.8'da geliştirilen modeller ve sapma oranları verilmiştir. Modellerde %5 sapma oranından küçük olan elemanların sayısı, en iyi sonucu veren GYSA'da en fazladır.

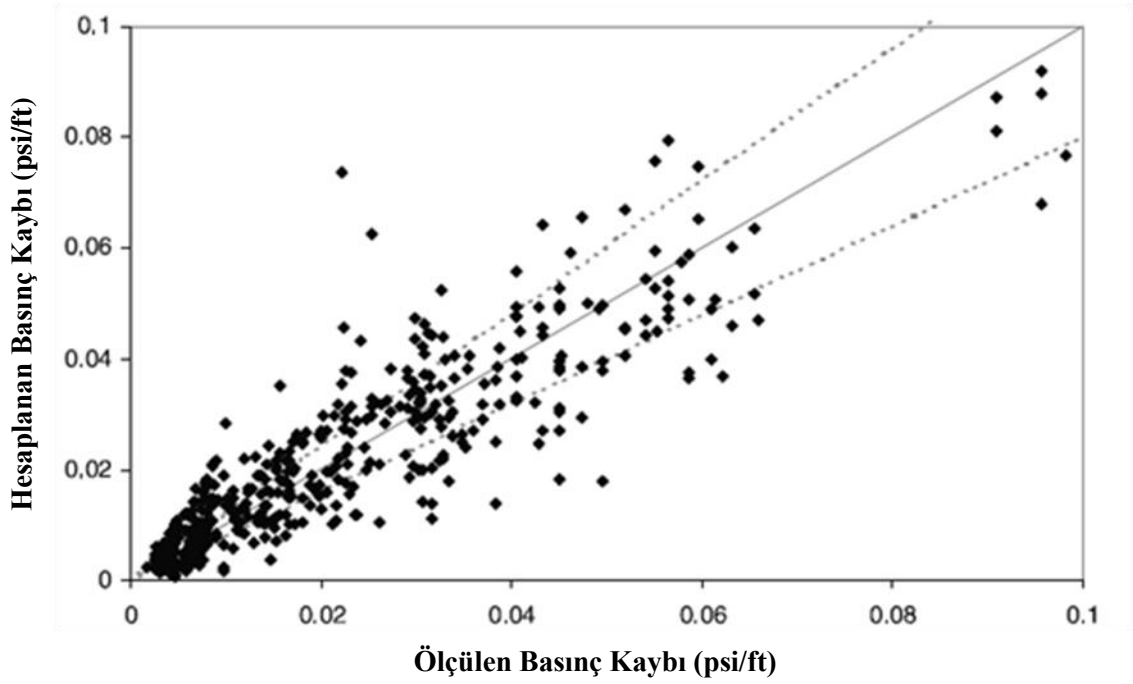
Çizelge 6.6. Basınç kaybı modellerinin sapma dağılımları

Kullanılan model	Beklenen değerden sapan test elemanları sayısı					
	< %5	%5 - %15	%15-%25	%25-%50	%50-%75	> %75
EYK	372	23	3	0	0	0
GYSA	375	22	1	0	0	0
RA	352	45	1	0	0	0

Şekil 6.8'de bu çalışmada ve Şekil 6.9'da ise [42] çalışmasında ölçülen ve model ile hesaplanan basınç kaybı grafikleri verilmiştir. [42] çalışmasının grafiğinde (Şekil 6.9) sadece 0 ve 0.1 psi arasında bulunan basınç kayıpları gösterildiğinden, bu çalışmanın sonuçlarını gösteren grafikte (Şekil 6.8) bu değer aralığı için oluşturulmuştur. [42] çalışmasında, basınç farkını tespit etmek için bu çalışmadaki gibi yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlar ile [42] çalışması kıyaslandığında, Şekil 6.8'de Şekil 6.9'a göre daha düzenli ve $x=y$ doğrusuna yakın bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu düzenli dağılımın oluşmasının sebepleri; ölçülen deney verilerinin hassas olması ve deneylerin iki kere tekrarlanarak verilerin doğrulanmasıdır. Önceki çalışmada, [31,32,57] çalışmalarının verileri kullanılmıştır. İki çalışma içinde yapay sinir ağı kullanıldığını dikkate alarak sonuçlara bakacak olursak; bu çalışmada ölçülen verilerin, [31,32,57] verilerine göre daha hassas ve doğru olduğu söylenebilir.



Şekil 6.8. GYSA ile hesaplanan ve deney ortamından ölçülen basınç kaybının kıyaslanması



Şekil 6.9. [42] çalışmasında ölçülen ve model ile tahmin edilen basınç kaybının kıyaslanması

6.3. Tartışma

Görüntü işleme sonucu elde edilen sıvı hacimsel oranı ve kesinti yoğunluğu ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak oluşturulan akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı ve basınç kaybı tahmin modellerinin sonuçları incelendiğinde başarılı oldukları görülmüştür. Böylece gaz-sıvı karışımlı sondaj akışkanlarının gerek hidrolik davranışları, gerekse kesinti taşıma mekanizması ve performansı görüntü işleme kullanılarak görsel olarak incelenmiş ve tahmin modelleri ile gereksinimleri önceden tespit edebilecek duruma gelinmiştir.

Akış örüntüsü, sıvı hacimsel oranı, basınç farkı ve kesinti yoğunluğu gibi hidrolik gereksinimlerin önceden tespit edilmesi, yeni açılacak olan sondaj kuyusu için maliyet, zaman ve kaynakların verimli kullanımı açısından büyük yarar sağlayacak ve ihtiyacı karşılayacak bir kuyunun tasarlanmasına katkısı olacaktır. Ayrıca sıvı hacimsel oranının önceden tespit edilmesi ile petrol üretim hattında petrol içinde bulunan hava kabarcıklarının miktarı tahmin edilebilecektir. Böylece üretim hattının, petrolden havayı ayırabilecek donanım gereksinimlerini karşılayacak şekilde kurulması sağlanacaktır.

Çalışma esnasında kamera ile görüntü alınırken ortamdaki güneş ışığı ve lambalar boru üzerinde eşit olmayan bir dağılım göstermiş ve bunun görüntü işleme sürecini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için pencerelere siyah perdeler takılmış ve özel sarı halojen lambalar kullanılarak boru yukarıdan, aşağıdan ve karşıdan eşit bir biçimde aydınlatılmıştır. Böylece görüntü işleme sürecinde oluşabilecek hatalar önlenmiş ve daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma esnasında bir diğer sorunda su ve hava akışı için geliştirilen yoğunluğa göre etiketleme algoritmasında (Bölüm 4.4.2) ortaya çıkmıştır. Bu algorithmada karışım seviyelerindeki su ve hava miktarları tahmin edilmiş ve testler yapıldığında bu tahminlerin doğru olmadığı görülmüştür. Doğru oranları bulmak için aynı borudan küçük bir test borusu kesilmiş ve belirli bir miktar su ile doldurulup iki ucu da

kapatılmıştır. Test borusu çalkanırken kamera ile görüntüler alınıp incelenmiş ve boru içerisindeki su ve hava miktarları bilindiğinden karışım oranları kolaylıkla belirlenmiştir.

Çalışma esnasında tek kamera kullanıldığından boruya tek bir açıdan bakılması sıvı, gaz ve kesinti hacimsel oranlarının tespitinde bir belirsizlik oluşmuştur. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak için görüntüde bir bölge tespit edildiğinde borunun yatay derinliği boyunca o bölgenin olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım sonucu oluşan hata payı birden fazla kamera olmadığı için telafi edilememiştir.

6.4. Geleceğe Yönelik Çalışmalar

Geliştirilen modeller literatürdeki yöntemlere göre başarılı sonuçlar elde etmesine rağmen daha iyi sonuçlar alınmasına yönelik çalışmalar öncelikli olarak ele alınabilir. Akış örüntüsü tespitinde, hataların yoğun olduğu akış örüntüleri beraber düşünülerek, bulanık mantık yöntemleri kullanılarak ve basınç kaybı ve sıvı hacimsel oranını da girdi olarak kullanarak daha başarılı modeller gerçekleştirilebilir. Sıvı hacimsel oranı modellerinde basınç kaybı ve basınç kaybı modellerinde sıvı hacimsel oranı girdi olarak kullanılarak bu iki problem için daha başarılı sonuçlar alınabilir.

Su-kesinti ve su-hava-kesinti deneylerinden görüntü işleme sonucu elde edilen kesinti yoğunluğu için tahmin modeli oluşturulabilir. Ayrıca, kesinti parçacıklarının hareketleri görüntü işleme teknikleri kullanılarak incelenebilir ve buna bağlı olarak oluşan akış özellikleri çıkartılabilir.

Deney görüntülerinin alınması için bir adet kamera yerine iki kamera (borunun her iki tarafına bir tane olacak şekilde) kullanılarak analizler gerçekleştirilirse sıvı hacimsel oranı ve kesinti yoğunluğu daha hassas bir biçimde tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Brown, N.P., Bern, P.A., Weaver, A., Cleaning Deviated Holes: New Experimental and Theoretical Studies, SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, U.S.A, Mart 1989.
- [2] Pilehvari, A.A., Azar, J.J., Shirazi, S.A., State of- the-Art Cuttings Transport in Horizontal Wellbores”, SPE International Conference on Horizontal Well Technology, Calgary, Canada, Kasım 1996.
- [3] Tomren, P.H., Iyoho, A.W., Azar J.J., An Experimental Study of Cuttings Transport in Directional Wells, SPE Drilling Engineering, 1(1), 43-56, 1956.
- [4] Becker, T.E., Azar, J.J., Okrajni, S.S., Correlations of Mud Rheology Properties with Cuttings Transport Performance in Directional Drilling, SPE Drilling Engineering, 6(1), 16-24, 1991.
- [5] Sifferman, T.R., Becker, T.E., Hole Cleaning in Full-Scale Inclined Wellbores, SPE Drilling Engineering, 7(2), 115-120, 1992.
- [6] Sanchez, R.A., Azar, J.J., Bassal, A.A., Martins A.L., Effect of Drillpipe Rotation on Hole Cleaning During Directional-Well Drilling, SPE Journal, 4(2), 101-108, 1999.
- [7] Yu, M., Melcher, D., Takach, N., Miska, S.Z., Ahmed, R., A New Approach to Improve Cuttings Transport in Horizontal and Inclined Wells, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, U.S.A., Eylül 2004.
- [8] Gavignet, A.A., Sobey, I.J., Model Aids Cuttings Transport Predictions, Journal of Petroleum Technology, 41(9), 916-922, 1989.
- [9] Clark, R. K., Bickham, K. L., A Mechanistic Model for Cuttings Transport, 69th Annular Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, U.S.A., Eylül 1994.
- [10] Nguyen, D., Rahman, S.S., A Three-Layer Hydraulic Program for Effective Cuttings Transport and Hole Cleaning in Highly Deviated and Horizontal Wells, IADC/SPE Drilling Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, Eylül 1996.
- [11] Kamp, A.M., Rivero, M., Layer Modeling for Cuttings Transport in Highly Inclined Wellbores, Proceedings of SPE Latin American and Carribean Petroleum Engineering Conference, Caracas, Venezulea, Nisan 1999.
- [12] Larsen, T.I., Pilehvari, A.A., Azar, J.J., Development of a New Cuttings Transport Model for High-Angle Wellbores Including Horizontal Wells, SPE Drilling & Completion, 12(2), 129-135, 1997.
- [13] Cho, H., Subhash, N., Osisanya, S.O., A Three-Segment Hydraulic Model for Cuttings Transport in Horizontal and Deviated Wells, SPE/ Petroleum Society of CIM International Conference on Horizontal Well Technology, Calgary, Alberta, Canada, Kasım 2000.
- [14] Masuda, Y., Doan, Q., Oguztoreli, M., Naganawa, S., Yonezawa, T., A., Kobayashi, Kamp, A., Critical Cuttings Transport Velocity in Inclined Annulus: Experimental Studies and Numerical Simulation, SPE/Petroleum

- Society of CIM International Conference on Horizontal Well Technology, Calgary, Alberta, Canada, Kasım 2000.
- [15] Özbayoğlu, M.E., Saasen, A., Sorgun, M., Svanes, K., Estimating Critical Velocity to Prevent Bed Development in Horizontal/Inclined Wellbores, SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition, Cairo, Egypt, Ekim 2007.
- [16] Lockhart, R.W., Martinelli, R.C., Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two-Component Flow in Pipes, Chemical Engineering Progress, 39-48, 1949.
- [17] Duns, H.Jr., Ros, N.C.J., Vertical Flow of Gas and Liquid Mixtures in Wells, Proceedings of Sixth World Petroleum Congress, Frankfurt, Germany, Haziran 1963.
- [18] Wallis, G.B., One-Dimensional Two-Phase Flow, *McGraw-Hill*, New York City, 1969.
- [19] Beggs, H.D., Brill, J.P., A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes, Journal of Petroleum Technology, 25(5), 607-617, 1973.
- [20] Mandhane, J.M., Gregory, G.A., Aziz, K., A Flow Pattern Map for gas Liquid Flow in Horizontal Pipes, International Journal of Multiphase Flow, 1(4), 537-553, 1974.
- [21] Taitel, Y., Dukler, A.E., A Model for Predicting Flow Regime Transition in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid Flow, AIChE Journal, 22(1), 47-55, 1976.
- [22] Barnea, D., A Unified Model for Predicting Flow Pattern Transitions for the Whole Range of Pipe Inclinations, International Journal of Multiphase Flow, 13(1), 1987.
- [23] Xiao, J.J., Shoham, O., Brill, J.P., A Comprehensive Mechanistic Model for Two-Phase Flow in Pipelines, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, U.S.A. Eylül 2000.
- [24] Gomez, L.E., Shoham, O., Schmidt, Z., Chokshi, R.N., Northug, T., Unified Mechanistic Model for Steady-State Two-Phase Flow: Horizontal to Vertical Upward Flow, SPE Journal, 5(3), 339-350, 2000.
- [25] Petalas, N., Aziz, K., A Mechanistic Model for Multiphase Flow in Pipes, Journal of Canadian Petroleum Technology, 39(6), 43- 55, 2000.
- [26] Garcia, F., Garcia, R., Padrino, J.C., Mata, C., Trallero, J.L., Joseph, D.D.: Power Law and Composite Power Law Friction Factor Correlations for Laminar and Turbulent Gas-Liquid Flow in Horizontal Pipelines, International Journal of Multiphase Flow, 29(10), 1605-1624, 2003.
- [27] Aziz, K., Govier, G.W., Fogarasi, M., Pressure Drop in Wells Producing Oil and Gas, Journal of Canadian Petroleum Technology, 11(38), 1972.
- [28] Sadatomi, M., Sato, Y., and Saruwatari, S., Two-Phase Flow in Vertical Noncircular Channels, International Journal of Multiphase Flow, 8(6), 641-655, 1982.
- [29] Caetano, E.F., Shoham, O., Brill, J.P., Upward Vertical Two-Phase Flow Through An Annulus, Part-I: Single Phase Friction Factor, Taylor Bubble Velocity And Flow Pattern Prediction, ASME Journal of Energy Resources Technology, 114(1), 1-13, 1992.

- [30] Hasan, A.R., Kabir, C.S., Two-Phase Flow in Vertical and Inclined Annuli, *International Journal of Multiphase Flow*, 18(2), 279-293, 1992.
- [31] Sunthakar, A.A., 2002, Study of the Flow of Aerated Drilling Fluids in Annulus under Ambient Temperature and Pressure Conditions, *Yüksek Lisans Tezi*, The University of Tulsa, Oklahoma, U.S.A..
- [32] Zhou, L., 2004, Cuttings Transport with Aerated mud in Horizontal Annulus under Elevated Pressure and Temperature Conditions, *Doktora Tezi*, The University of Tulsa, U.S.A.
- [33] Lage, A.C.V.M., Rommetveit, R., Time, R.W., An Experimental and Theoretical Study of Two- Phase Flow in Horizontal or Slightly Deviated Fully Eccentric Annuli, IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology, Kuala Lumpur, Malaysia, Eylül 2000.
- [34] Özbayoğlu, M.E., Ömürlü, Ç., Two-Phase Flow Through Fully Eccentric Horizontal Annuli: A Mechanistic Approach, SPE/ICOTA Coiled Tubing and Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlans, Texas, U.S.A. Mart 2007.
- [35] Ternyik, J., Bilgesu, H. I., Mohaghegh, S., Virtual measurements in pipes. Part 2: Liquid holdup and flow pattern correlations, Eastern Regional Meeting, Morgantown, West Virginia, U.S.A , Eylül 1995.
- [36] Mukherjee, H., 1979, An experimental study of inclined two-phase flow. *Doktora Tezi*, The University of Tulsa, Oklahoma, U.S.A..
- [37] Osman, E. S. A., Artificial neural network models for identifying flow regimes and predicting liquid holdup in horizontal multiphase flow, *SPE Production & Facilities*, 19(1), 33–40, 2004.
- [38] Mi, Y., Ishii, M., Tsoukalas, L.H., Flow regime identification methodology with neural networks and two-phase flow models, *Nuclear Engineering and Design*, 204(1-3), 87-100, 2001.
- [39] Shippen, M.E., Scott, S.L., A neural network model for prediction of liquid holdup in two-phase horizontal flow, *SPE Production & Facilities*, 19(2), 67–76, 2004.
- [40] Sunde, C., Avdic, S., Pazsit, I., Classification of two-phase flow regimes via image analysis and a neuro-wavelet approach, *Progress in Nuclear Energy*, 46(3-4), 348-358, 2005.
- [41] Alizadehdakhel, A., Rahimi, M., Sanjari, J., Alsairafi, A.A., CFD and artificial neural network modeling of two-phase flow pressure drop, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 850-856, 2009.
- [42] Özbayoğlu, E.M., Özbayoğlu, M.A., Estimating Flow Patterns and Frictional Pressure Losses of Two-Phase Fluids in Horizontal Wellbores Using Artificial Neural Networks, *Petroleum Science and Technology*, 27(2), 135-149, 2009.
- [43] Tambouratzis, T., Pazsit, I., A general regression artificial neural network for two-phase flow regime identification, *Annals of Nuclear Energy*, 37(5), Pages 672-680, 2010.
- [44] Mayor, T.S., Pinto, A.M.F.R., Campos, J.B.L.M., An image analysis technique for the study of gas-liquid slug flow along vertical pipes –

- associated uncertainty, *Flow Measurement and Instrumentation*, 18(3-4), 139-147, 2007.
- [45] Yunlong, Z., Fei, C., Bin, S., Identification Method of Gas-Liquid Two-phase Flow Regime Based on Image Multi-feature Fusion and Support Vector Machine, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(6), 832-840, 2008.
- [46] Lacknermeier, U., Rudnick, C., Werther, J., Bredebusch, A., Burkhardt, H., Visualization of flow structures inside a circulating fluidized bed by means of laser sheet and image processing, *Powder Technology*, 114(1-3), 71-83, 2001.
- [47] Burkle, D., Preusser, T., Rumpf, M., Transport and anisotropic diffusion in time-dependent flow visualization, *Proceedings of the IEEE Visualization Conference*, San Diego, California, Ekim 2001.
- [48] Yuan, Q., Shi, T., Vanka, S.P., Thomas, B.G., Simulation of turbulent flow and particle transport in the continuous casting of steel, *Proceedings of the Conference on Computational Modeling of Materials*, 491-500, 2001.
- [49] Melander, O., Fluid dynamics and flow structures of wood fibres suspended in gas flows, *Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Hogskola*, 1-68, 2006.
- [50] Siegle, E., Huntley D.A., Davidson, M.A., Coupling video imaging and numerical modelling for the study of inlet morphodynamics, *Marine Geology*, 236(3-4), 143-163, 2007.
- [51] González, R.C., Woods, R.E, *Digital Image Processing Third Edition*, *Prentice Hall*, New Jersey, 2008.
- [52] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., Learning representations of back-propagation errors, 323, 533–536, 1986.
- [53] Mitchell, T., *Machine Learning*, *McGraw-Hill*, U.S.A, 1997.
- [54] “Neuron model” erişim adresi: <http://www.mathworks.de/access/helpdesk/help/toolbox/nnet/backpro4.html#32553>, erişim tarihi: 6 Temmuz 2010.
- [55] Breiman, L., *Classification and Regression Trees*, *Chapman & Hall*, Boca Raton, 1993.
- [56] “Classification and regression trees” erişim adresi: <http://www.statsoft.com/textbook/classification-and-regression-trees/>, erişim tarihi: 6 Temmuz 2010
- [57] Ömürlü, C., 2006, Mathematical modeling of horizontal two-phase flow through fully eccentric annuli, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜKSEL, Hüsnü Ertan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.05.1987 Ankara
Medeni hali : Bekâr
Telefon : (507) 989 11 41
E-posta : h.ertan.yuksel@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Başkent Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Proje Asistanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özbayoğlu, M.E., Özbayoğlu, A.M., Ettehadî, R.O., Yüksel, H.E., Yatay Kuyularda Kesinti Konsantrasyonunun Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Tespiti, Türkiye 17. Uluslararası Petrol ve Doğalgaz Kongre ve Sergisi, Ankara, Türkiye, Mayıs 2009.

Özbayoğlu, M.E., Özbayoğlu, A.M., Ettehadî, R.O., Yüksel, H.E., Yatay Kuyularda İki Fazlı Akış Sırasında Meydana Gelen Akış Örüntülerinin Dijital Görüntü İşleme Teknikleriyle Tespiti, Türkiye 17. Uluslararası Petrol ve Doğalgaz Kongre ve Sergisi, Ankara, Türkiye, Mayıs 2009.

Ettehadî, R.O, Ozbayoglu, E.M., Ozbayoglu, M.A., Yuksel, H.E., Flow pattern identification of gas-liquid flow through horizontal annular geometries, SPE Managed Oil & Gas India Conference & Exhibition, Mumbai, India, Ocak 2010.

Ettehadî, R.O, Ozbayoglu, E.M., Ozbayoglu, M.A., Yuksel, H.E., Hole Cleaning Performance of Gasified Drilling Fluids in Horizontal Well Sections, SPE Managed International Oil & Gas Conference & Exhibition, Beijing, China, Haziran 2010.