

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POMPALI TESİSATLARDA SU DARBESİ OLAYININ AKIŞ
GÖRSELLEŞTİRME YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Celal KISTAK

(121120111)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. Haydar EREN (F.Ü)

AĞUSTOS-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POMPALI TESİSATLARDA SU DARBESİ OLAYININ AKIŞ GÖRSELLEŞTİRME
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Celal KISTAK

(121120111)

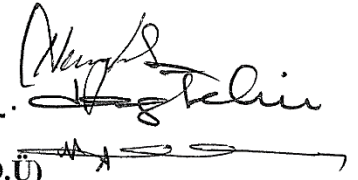
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Temmuz 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Ağustos 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Haydar EREN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İhsan Dağtekin (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk CAN (D.Ü)

2. 

AĞUSTOS-2015

ÖNSÖZ

Boru hatlarında su darbesi olayı çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Bunlara örnek olarak pompa motorunun enerjisinin aniden kesilmesi, hat üzerindeki vanaların kapatma/açma manevraları ve pompaya yol verilmesi gibi kaçınılamayacak nedenler sıralanabilir. Su darbesi sonucu boru hattında belirli periyotlarla aşırı basınç (süpresyon) ve düşük basınç (depresyon) değerleri oluşur. Bu basınçlar altında boru veya hat üzerindeki diğer elemanlar zarar görebilir.. Biz de pompalı tip tesisatlarda su darbesi etkisini akış görselleştirme tekniği ile deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmamdaki katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Haydar EREN ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarım İsmail Hakkı ŞANLITÜRK , Cenk YANEN ve Sertaç Emre KARA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Celal KISTAK

ELAZIĞ – 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLOLAR LİSTESİ	X
KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. DÜZENSİZ AKIŞ	5
2.1. Düzensiz Akışın Tanımı.....	5
2.2. Su Darbesi.....	6
2.2.1. Genel.....	6
2.2.2. Düzensiz Akış Denklemlerinin Türetilmesi	7
2.2.3. Süreklilik ve Momentum Denklemleri.....	12
2.2.4. Karakteristik Metotla Düzensiz Akış İçin Temel Diferansiyel Denklemlerin Çözümü	13
3. AKIŞ GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ.....	18
3.1. Boya ve Duman Tekniği	19
3.2. Yağ Tekniği.....	21
3.3. Şerit Tekniği	22
3.4. PIV Tekniği.....	22
3.5. Gölge Schlieren Tekniği	23
3.6. İnterferometrik Hologram Tekniği	24
3.7. Bilgisayar Destekli Akış Görüntüleme (CFD)	25
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME VE ANALİZİ	27
4.1. Görüntüleme Sistemi	27
4.2. Görüntüleme Sistemi Bileşenleri	28
4.2.1. Video Kamera.....	28
4.2.2. Lensler.....	30
4.2.3. Aydınlatma	31
4.2.4. Görüntü Yakalama Kartı.....	32
4.2.5. Bilgisayar	32
4.2.6. Yazılım	33
4.3. Görüntü İşleme ve Analizi.....	33
4.3.1. Görüntünün Tanımlanması ve Modellenmesi	33
4.3.2. Görüntü İşleme Teknikleri.....	35
4.4. Kalibrasyonlar.....	36
4.4.1. Görüntünün Açısal Kalibrasyonu	37
4.4.2. Perspektif Kalibrasyon	38
4.4.3. Metrik Kalibrasyon.....	39
4.4.4. Hata Oranı.....	40
4.5. Zamana Bağlı Basınç Değişimlerinin Görüntüleme Tekniği ile Ölçülmesi	40

5.	MATERYAL VE METOD.....	42
5.1.	Deney Düzenegi	42
5.1.1.	Su pompası.....	43
5.1.2.	Pnömatik Aktüatör	44
5.1.3.	Solenoid Vana.....	44
5.1.4.	Kompresör	45
5.1.5.	Rotametre	46
5.1.6.	Dijital Kameralar	47
5.1.7.	Su Deposu.....	48
5.1.8.	Basınç değişim tablosu	49
5.1.9.	Tesisat Elemanları.....	50
5.1.10.	Tripod.....	51
5.2.	Deneylerin Yapılışı.....	52
5.2.1.	Hazırlık ve Standart Tesisat Akış Süreci.....	53
5.2.2.	Senaryo Bazlı Akışa Müdahale Durumu	53
5.2.3.	Görüntülerin Eldesi	54
6.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	56
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
7.1.	Sonuçlar	65
7.2.	Öneriler	65
	KAYNAKLAR.....	67
	EKLER	69
	ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Su darbesi, kapalı boru sistemindeki ani akım değişimlerinden oluşan, istenmeyen bir durumdur. Su darbesi oluştuğu zaman, sonuçları çok ağır ve hatta ölümcül bile olabilir. Su darbesi, genellikle hidroelektrik santrallerin cebri borularında, su iletim hatlarında, su şebekelerinde vs. meydana gelir. Bu nedenle su şebekelerinin işletme prensipleri doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bu tezde, pompalı tip tesisatlarda su darbesi sorunları akış görselleştirme yöntemiyle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su Darbesi, Akış Görselleştirme, Pompalı Tip Su Hatları

SUMMARY

An Experimental Analysis of Water Hammer in Pump Systems Using Flow Visualization Technique

Waterhammer is an undesirable event that consist of sudden flow changes in a confined pipe system. When water hammer occurs, its consequences can be very costly and even sometimes deadly. In general, water hammer may be encountered in the penstocks of hydropower plants, water transmission lines, water networks etc. Therefore, the operation guidelines of the water networks should be defined correctly. In this thesis,using flow visualization techniques waterhammer problems in pumped water lines are investigated.

Keywords: Water Hammer, Flow Visualization , Pumped Water Networks

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Anlık vana kapaması sebebiyle bir boru hattındaki basınç artışı	8
Şekil 2.2. Kontrol hacmine uygulanan momentum denklemi	8
Şekil 2.3. Boru hattında bütünlük ilişkileri	10
Şekil 2.4. Boru Hattında Bütünlük İlişkileri	12
Şekil 2.5. Karakteristik Doğruları	15
Şekil 3.1. Akış görüntüleme tekniklerinin yaklaşık uygulanma hız aralıkları	19
Şekil 3.2. Duman tekniği kullanılarak yapılan aerodinamik testler	20
Şekil 3.3. Kamera konumları ve aydınlatma sistemleri	21
Şekil 3.4. Hızlı tren modeli üzerinde akışın görüntülenmesi	22
Şekil 3.5. PIV tekniği	23
Şekil 3.6. İnsanın Schlieren termal görüntüsü ve öksürüğünün görüntülenmesi	24
Şekil 3.7. Gerçek boyutlarda Mach 1.1 için supersonik uçağın Schlieren görüntüsü	24
Şekil 3.8. Mach Zender interferometrik hologram tekniği şematik gösterimi	25
Şekil 3.9. Bilgisayar destekli akış görüntüleme tekniği ile uçak kanadı etrafında akım çizgilerinin görüntülenmesi	26
Şekil 4.1. Görüntü sisteminin bileşenleri	28
Şekil 4.2. Matris olarak görüntünün temsil edilmesi.....	34
Şekil 4.3. Bir f fonksiyonu olarak görüntünün temsil edilmesi.....	34
Şekil 4.4. Görüntülerde oluşan gelen açısız bozulmalar a) asıl görüntü b) iç bükey	37
Şekil 4.5. Görüntü perspektif kalibrasyonu a) Kalibre edilmemiş görüntü b) Kalibrasyon sonrası görüntü	38
Şekil 4.6. Gridler yardımıyla perspektif kalibrasyon yapılması	39
Şekil 4.7. Referanslama için kullanılan mezura	40
Şekil 5.1. Deney düzeneği katı modeli	43
Şekil 5.2. Deneyde kullanılan su pompası.....	43
Şekil 5.3. Pnömatik aktüatör.....	44
Şekil 5.4. Solenoid yönlendirme valfi	45
Şekil 5.5. Deney düzeneğinde kullanılan kompresör	46

Şekil 5.6. Deney düzeneğinde kullanılan rotametre	47
Şekil 5.7. Kamera 1 (Jvc GC px100).....	48
Şekil 5.8. Kamera 2 (Sony hdr cx-150).....	48
Şekil 5.9. Sistemde kullanılan su deposu (500 lt).....	49
Şekil 5.10. Basınç değişim tablosu.....	50
Şekil 5.11. Deney düzeneğinde kullanılan tesisat elemanları a küresel vana b) flanşlı tip küresel vana c) tesisatta kullanılan borular d) fittings e) basınç prizlerinde kullanılan pnömatik jaklar f) çabuk egzoz valfi	51
Şekil 5.12. Sistemde kullanılan tripod.....	52
Şekil 5.13. Standart tesisat akış süreci şematik gösterim	53
Şekil 5.14. Vana kapama durumu şematik gösterimi	54
Şekil 5.15. Pompa elektriğin kesilmesi durumu şematik gösterimi	54
Şekil 5.16. Kamera deney düzeneği konum durumu.....	55
Şekil 6.1. 0.3 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği. 57	
Şekil 6.2. 0.3 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği.....	57
Şekil 6.3. 0.3 m ³ /h vana kapama senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği.....	58
Şekil 6.4. 0.3 m ³ /h vana kapama senaryosu basınç-zaman değişim grafiği	58
Şekil 6.5. 0.5 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği. 59	
Şekil 6.6. 0.5 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği.....	59
Şekil 6.7. 0.5 m ³ /h vana kapaması senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği	60
Şekil 6.8. 0.5 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği.....	60
Şekil 6.9. 0.7 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği. 61	
Şekil 6.10. 0.7 m ³ /h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği.....	61
Şekil 6.11. 0.7 m ³ /h vana kapaması senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği ...	62
Şekil 6.12. 0.7 m ³ /h vana kapaması senaryosu basınç-zaman değişim grafiği	62
Şekil 6.13. Elektrik kesilmesi senaryosu zamana bağlı basınç değişimi karşılaştırma grafiği	63
Şekil 6.14. Elektrik kesilmesi senaryosu zamana bağlı basınç değişimi karşılaştırma grafiği	63
Şekil 6.15. Tüm değişkenlerin zamana bağlı basınç değişim karşılaştırma grafiği	64

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Pompa teknik özellikleri.....	43
Tablo 5.2. Aktüatör teknik özellikleri	44
Tablo 5.3. Kompresör teknik özellikleri.....	45
Tablo 5.4. Rotametre teknik özellikleri.....	46
Tablo 5.5. Birinci kameranın teknik özellikleri.....	47
Tablo 5.6. İkinci kameranın teknik özellikleri	48
Tablo 6.1. Deney Değişkenleri	56

KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Borunun kesit alanı (m^2)
a	: Boru içindeki basınç dalgası hızı (m/s)
c	: su içinde dalga yayılma hızı (m/s)
D	: Boru çapı (m)
E	: Elastisite modülü (N/m^2)
e	: Boru kalınlığı (m)
f	: Darcy sürtünme faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Borudaki basınç (m)
K	: Hacimsel modül (sıkışmazlık) (N/m^2)
KY	: Karakteristik Yöntem
L	: Boru uzunluğu (m)
P	: Basınç (N/m^2)
Rpm	: Dakikadaki devir sayısı(revolution per minute)
t	: Zaman (s)
V	: Hız (m/sn)
ΔA	: Boru kesitindeki değişim (m^2)
ΔH	: Akışkan basıncındaki değişim (m)
ΔS	: Borudaki boya bağlı esneme(m)
ΔV	: Boru boyunca hızdaki değişim (m/s)
$\Delta \rho$	: Akışkan yoğunluğundaki değişim (kg/m^3)
μ	: Poisson oranı
ρ	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
σf	: izin verilen çekme zorlaması (N/m^2)
τw	: Kesme gerilimi (N/m^2)
η	: Sistemin yoğunluk özelliği; diferansiyelin yüks
fps	: 1 saniyede elde edilen görüntü sayısı (frame per second)
ccd	: Yüklene iliştilirilmiş araç (Charge Coupled Device)
cmos	: Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken) (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
C^+	: İleri (pozitif) karakteristikleri
C^-	: Geri (negatif) karakteristik yörüngeler

1. GİRİŞ

En basit bir pompa tesisi, pompa ile birlikte, bir boru hattı ve belirli bir yükseklikteki depodan oluşur. Böyle bir sistemde elektrik enerjisinin ani kesilmesi halinde, eğer özel önlemler alınmamış ise, pompa çıkışında ve boru hattının kritik noktalarında tehlikeli sayılabilecek su darbeleri oluşabilir.

Tesisin her noktasında su darbelerinin sebep olabileceği maksimum ve minimum basınçların tahmini , tesisi tasarlayan mühendisin ana problemlerinden biri olduğu gibi mühendislik bilimi için de klasikleşmiş bir uğraş alanı olmuştur. Problemi çözmek için çeşitli yaklaşımlar denenmiş olup bu uğraşlar sonunda, grafik, cebrik, yarı analitik metotlar geliştirilerek bunlara dayanan ve mühendislerin pratik olarak kullanabileceği abaklar hazırlanmıştır.

Son 25 yılda geliştirilen karakteristikler ve sonlu farklar metotları, bilgisayar yardımı ile tesisin istenen noktasında, istenen andaki basıncın hesaplanmasını mümkün kılmıştır. Bunun yanı sıra boru hattı üzerindeki çek valf, hava kazanı, kontrol vanası ve denge bacası gibi birçok elemanın simülasyonu da uygun sınır şartları olarak hesaba katılabilmektedir.

Pompalama sistemlerinde özellikle elektrik kesilmelerinde ve duruş/kalkışlar sırasında momentum değişimi sonucu ortaya çıkan su darbelerine karşı önlem alınmadığı durumlarda işletmecileri bekleyen ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Özellikle boru patlaması, kompensatör yırtılması, beton kütlelerin bağlantılarının kopması gibi sonuçlar doğuran su darbeleri tasarım aşamasında düşünülme ve her yeni boru hattının tasarımından sonra bir hidrolik analiz ve su darbesi kontrolü yapılmak durumundadır.

Yurdumuzda, yakın yıllarda tamamlanmış ve yeni sayılan boru hatlarında daha ilk devreye alma sırasında ortaya çıkan darbe sonucu zarar/arıza durumlarına rastlanmaktadır.

Su darbesi analizi için en çok kullanılan yöntemler ve eksiklikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- “Parmakyan” abakları kullanmak limitlerinin yetersiz kalması nedeni ile artık düşünülmemelidir [1],

- “Ruus” yöntemi[2] çok emniyetli olup pratik bulunmamaktadır,
- Bilgisayarları kullanmak varken grafik çözümlemelerle ayrıntılı sınır şartlarını çizmek pratik olmamaktadır,
- Regülasyon vanaları her geometride çözüm olamamakta, özellikle negatif darbe ve hat profilinin dış bükey olması durumlarında sorun yaratmaktadır.

Boru hatlarında su darbesi olayı birçok durum sonucu ortaya çıkabilir. Örnek olarak pompa motorunun enerjisinin bir anda kesilmesi, hat üzerindeki vanaların kapatma/açma manevraları ve pompaya yol verilmesi gibi kaçınılamayacak nedenler sıralanabilir. Su darbesi olayı sonucunda boru hattında belirli periyotlarla aşırı basınç (süpresyon) ve düşük basınç (depresyon) durumları oluşur. Bu basınçlar altında boru veya hat üzerindeki diğer elemanlar zarar görebilir. Bu nedenlerle boru hatların tasarımı sırasında mutlaka su darbesi hesabı da yapılmalı ve darbe önleyici elemanlar hat üzerine monte edilmelidir.

Su darbesi hesabı, boru içerisindeki zamana bağlı hareket ve süreklilik denklemlerinin çözülmesi ile yapılabilir. Bu denklemler iki yöntemle çözülebilmektedir. Bunlar grafik çözüm yöntemi ve sayısal çözüm yöntemidir.

Basitliği ve pratikliği nedeniyle uzun zaman grafik yöntemler kullanılmıştır. Fakat grafik limitleri dışında bulunan bölgelerin hesaplanması ve boru hattı boyunca basıncın zamana göre değişiminin görülmesi bu yöntem ile mümkün olamamaktadır. Günümüz bilgisayarlarının yüksek bellek kapasitesi ve işlem hızı sayesinde sayısal yöntem ile çok daha ayrıntılı ve hassas hesap yapılabilir. Her türlü hidrolik eleman (pompa, basınç regülasyon vanası, çek valf, hava kazanı vs.) matematik olarak modellenilebilmekte ve su darbesi denklemlerinin çözümünde sınır şartı olarak kullanılabilir [3].

Su darbesi olayının ilk çalışmaları Menabra [4] tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı akış parametrelerinin değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Michaud [5] su darbesi olayının kontrol edilebilirliğini sağlayabilmek için hava kanallarının ve güvenlik vanalarının kullanımı üzerine çalışmalar yapmıştır.

19 yüzyıl başlarında Weston [6], Carpenter [7] ve Fritzel [8] boru içi hız değişimi-basınç ilişkisini geliştirmeye çalışmışlardır.

Geçiş akışının temel teorileri Jukowski [9] tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra bu denklemler su darbesi olayının da temellerini teşkil etmiştir. Farklı fiziksel şartları parametre

değişimleri ile inceleyen Jukowski elde ettiği veri denklemlerini ileri matematik ilişkisiyle irdelemiştir.

Gibson [10] yaptığı su darbesi deneylerinde, aşağı akış vanalarında boru hat ekipmanlarıyla çalışmıştır. Bu çalışmalar ile düşük basınç dalgalarının gaz salınım ilişkilerinin ortaya çıkmasında önemli ilerlemeler katetmiştir. Çalışmalarıyla gaz salınım durumlarıyla kolon ayırım süreçlerinin ilişkisini açıklamıştır.

1960 ortalarında, matematiksel ve numerik modellerin geliştirilmesi referans alınabilecek çalışmaların genel kabulüyle başlamıştır. Bu modellerin temeli aritmetik prosedürleri geliştiren Gibson [11], Schylander [12], Angus [13] ve Parmakian [15] çalışmaları olarak kabul edilmiştir.

Su darbesi analizi içeren ilk bilgisayar orantasyonlu prosedür çalışmaları Thibessard [14], Li [17], Streeter ve Li [18], Streeter [19,20], Vande Riet [21] ve Contractor [22] tarafından yapılmıştır. Aritmetik temelli geliştirilen bu modeller farklı algoritmalarla derlenip bir çok çalışmada kullanılmıştır.

Chen ve arkadaşları [23] geliştirmiş oldukları Süper Yayılımcı Viskozite Yöntemi ile tolerasyonu yüksek bir algoritma elde etmişlerdir. Yayılımcı viskozite metodu ile hesaplanabilir etkinliğin süreksizlik durumlarında uygulama şartlarındaki sonuçlara daha yakın sonuçlar alınabilmesi sağlanmıştır. Standart yayılımcı yöntemle yapılan karşılaştırmalar çalışmanın temelini içermektedir.

Bu çalışmada basınç değişimlerinin daha ner ve zamana bağlı incelenebilmesi amacıyla görüntü işleme tekniklerinden faydalanılmıştır.

Tez kapsamındaki ölçümler iki kamera , görüntü yakalama kartı ve bir bilgisayardan oluşan bir görüntüleme sistemi yardımıyla yapılmıştır. Ölçüm tekniği açısından önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, tek kamera yerine iki kameranın aynı anda kullanılmasıyla eş zamanlı görüntüler elde etmek suretiyle daha doğru ve kapsamlı basınç değerlerinin eldesi sağlanmıştır.. Ayrıca mevcut yöntemlerden farklı ve onlara bir alternatif olarak, boru boyunca seçilen herhangi bir noktadan elde edilen su seviyesinin zamanla değişimleri dijital kameralardan alınan görüntüler yardımıyla belirlenmiştir.

Çalışmada su darbesi olayının vana kapanması durumunda gerçekleştiği senaryo ile elektrik kesilmesi durumu incelenmiş olup vana kapanması durumu pnömatik aktüatör vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Saniyedeki kare yakalama sayısı 500'e kadar çıkan bir kamera ile daha yüksek çözünürlükte basınç değişimleri incelenebilmiştir.

2. DÜZENSİZ AKIŞ

Bu bölümde düzensiz akışın temel kavram ve ilkeleri gözden geçirilmektedir. Öncelikle düzensiz akışın tanımı verilmektedir. Sonrasında akışkanlar mekaniği veya temel konvansiyonel fiziğin esaslarına dayanarak oluşturulan su darbesinin temel prensipleri geliştirilmektedir. Dalga hızı, bütünlük ve momentum denklemleri türetilmektedir. Sonrasında ise, doğrusal olmayan hiperbolik kısmi türevli diferansiyel denklemlerin yalın diferansiyel denklemlere dönüşümünde kullanılan karakteristikler yönteminin (KY) detayları verilmektedir. Bunu takiben, ilgili sınır şartları kullanılarak, x - t çözüm tanım kümesinde çözülmesi amacıyla bazı cebirsel denklemler elde etmek için bu denklemler birleştirilmektedir.

2.1. Düzensiz Akışın Tanımı

Kararlı akışta basınç, debi ve hız gibi akış şartlarında, boru hattı sisteminin herhangi bir yerinde zamanla değişen bir farklılık olmamaktadır. Eğer herhangi bir noktada akış şartlarında zamanla değişim oluşuyorsa, bu akışa kararsız akış denir. Kararlı akış kararsız akışın özel bir durumudur. Başka bir deyişle, kararsız akış denklemleri kararlı akış şartları için de geçerlidir. Düzensiz akış tanımı boru hattında akışkanların kararsız akışını tanımlamakta kullanılır. Düzensiz akış bir orta geçiş durumu akış tipidir, örneğin iki kararlı durum şartları arasında geçiş yapan akış şartlarında gözlemlenir. Hidrolik sistemlerde veya akışı etkileyen yakın çevredeki şartlarda değişiklikler olduğu zaman boru hattı sisteminde düzensiz akış meydana gelir.

Genel olarak, düzensiz akış iki tip olarak değerlendirilebilir. Düzensiz birinci tipe yarı-kararlı akış denilir. Bu düzensiz akış tipinin temel özelliği debinin ve basıncın zamana bağlı kademeli değişimidir. Bu sebeple, akış belirli kısa süre aralıklarında kararlı görülür. Büyük su deposunda veya büyük tankların içinde su seviyesinin düşmesi kademeli bir süreçtir, dolayısıyla bu şartlar yarı-kararlı akışa tipik birer örnektirler. Düzensiz akışın diğer tipine ise gerçek düzensiz akış denir. Gerçek düzensiz akışın oluşumunu etkileyen temel etkenler akışkanın durağanlığı ve/veya akışkanın ve borunun sünekliğidir. Boru hattı sisteminin durağanlık etkileri önemliyen eğer boru ve akışkan sünekliği göz ardı edilebilir ise, gerçek düzensiz akış sabit-kolon akışı olarak adlandırılır. Bununla birlikte, eğer akışkanın ve

borunun süneklik etkisi eylemsizlik etkilerine ilave olarak üzerinde dnlmekte ise, gerçek düzensiz akış su darbesi olarak adlandırılır [24].

2.2. Su Darbesi

2.2.1. Genel

Su darbesi kavramı basınç altındaki boru hattı sistemindeki suyun kararsız akışını tanımlar ve temelde hidrolik şok anlamına gelir. Suyun hızının veya yönünün sistemdeki değişimleri basınçta ani artışlara neden olur. Basıncıdaki bu değişimler boru hattı sistemi boyunca ileri geri hareketler oluşturan şok dalgalarına neden olur. Şok dalgalarının bir katı engelle karşılaşması durumunda, bir çekiç sesi duyulur. Düzensiz akışkanlardaki su darbesi (çekici) deyimini buradan gelmektedir.

Genellikle, basınç altındaki boru hattı sistemlerinde basıncı ve akışı etkileyen birçok etkenden dolayı, akış sürekli olarak kararlı hal durumunda tutulamaz. Pompa veya türbin duruş kalkışları, talep dalgalanmaları, depo veya tank seviyesi değişimleri, donanım arızaları, işletme hataları ve daha birçok öngörülemeyen olaylar ve etkiler sistemde hidrolik düzensizlik oluşturabilir. Tipik olarak su darbesinin sebepleri şu şekildeki dört genel olayla sınıflandırılabilir [25] .

- Pompa çalışma başlangıcı boşluk alanların çabuk kapanmasına neden olabilir ve bu da boru hattı sisteminde yüksek basınç oluşumuna neden olabilir.
- Pompa enerji kaybı akışta hızlı bir değişime neden olabilir. Pompa tarafında (tahliye tarafı) hidrolik eğim çizgisi boru hattı seviyesine düşebilir. Bu durum boru hattında basıncın akışkanın buhar basıncına ulaşmasına ve buhar kolon ayrımına sebep olur.
- Boru hattı sistemindeki vanaların açma kapama zamanları sistemde basınç dalgalılarına sebep olabilir. Eğer bir vananın kapama süresi, vana ve depo ve tekrar vana arasında basınç artışının iletilmesi esnasında akıp gitme süresinden daha kısa ise, buna ani vana kapaması denir. Ani vana kapaması, sistemde basınç artmasına sebep olan ani hız değişimlerine neden olabilir.

- Uygun olmayan koruyucu donanımların kullanılması veya koruyucu donanımların uygun olmayan bir şekilde çalıştırılması yarardan çok zarar verebilir.

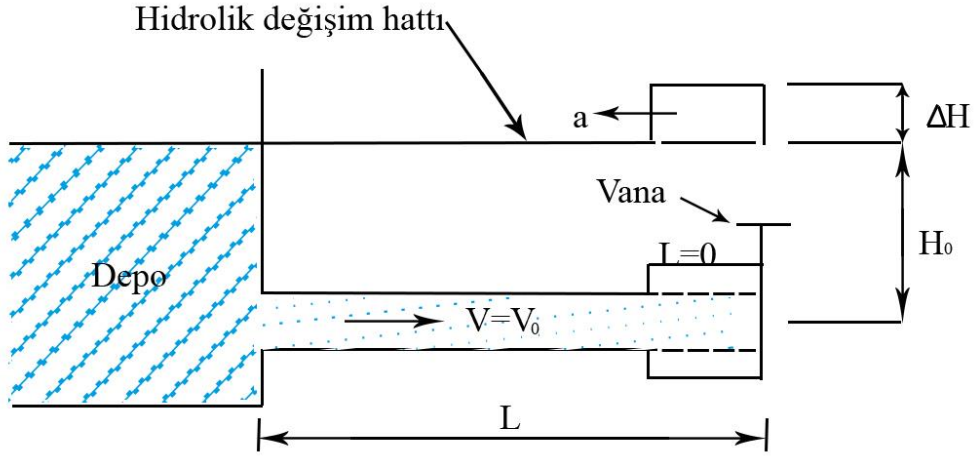
Düzensiz bir olay boru hattı sisteminde çalkantı olarak tanımlanabilir. Düzensiz olaylar kararlı hal akış şartlarında dengesizliğe neden olurlar. Enerjideki bu dengesizlik akışkanın sıkışmasına, boru genişlemesi ve uzamasına neden olur. Ancak su kolayca sıkıştırılmaz ve düzensiz olaylar tarafından meydana gelen bu dengesizlik tarafından oluşturulan kinetik enerjinin büyük bir çoğunluğu sistem boyunca önemli basınç kuvvetlerine sebep olur. Basınç kuvvetleri tüm boru hattı sistemine çabucak yayılır ve sistem boyunca basınç ve akış özelliklerini değiştirir. Basıncın yayılımı kırılmalara veya boru hattının veya desteklerinin mukavemetinin düşmesine sebep olabilir.

2.2.2. Düzensiz Akış Denklemlerinin Türetilmesi

Kapalı boru sistemlerinde genellikle momentum ve kütle korunum denklemleri bir model oluşturmak amacıyla kullanılır. İlk olarak, boru hattı sisteminin bir kesitini içeren bir kontrol hacmine kararsız momentum denklemi uygulanır. Sonrasında, boru hattındaki akışkan için süreklilik denklemi geliştirilir.

Şekil-2.1 (a) sonunda bir vanası olan boru hattı sistemi ve bir depo içeren bir hidrolik sistemi tanımlamaktadır.

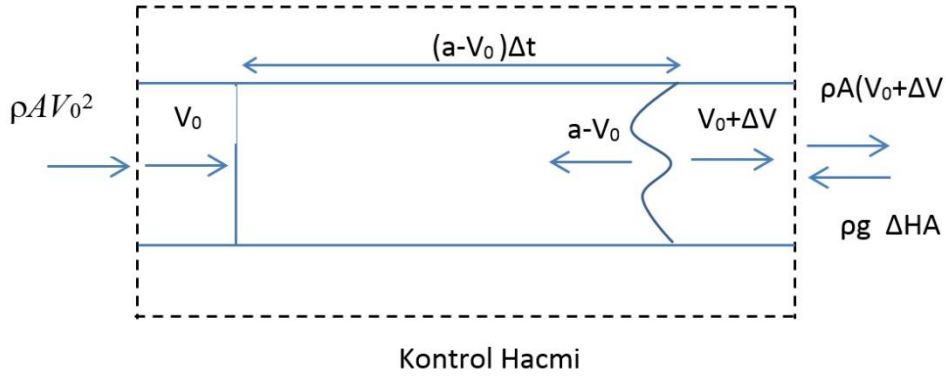
Bir boru hattı sisteminin aşağı akış tarafındaki vana aniden kapatılırsa; hemen vana yüzeyindeki akışkan katmanının hızı, vana yüzeyinde oluşturulan yüksek basınç kuvvetinin etkisiyle V_0 'dan durağanlığa geçmektedir. İlk katman hızının durağanlığa getirilmesinin ardından, aynı işlem tüm boru hattı boyunca art arda gelen tüm katmanlara uygulanır. Ardışık katman hızlarının durağanlığa geçirilmesi esnasında, vanadan akış yönünün tersine boru hattı sisteminin diğer ucuna doğru bir ses dalgası hızı " a " ile hareket eden bir basınç dalgası gözlemlenir. Şekil-2.1 (a)'da gösterilen boru hattı sisteminin bir kesiti için, momentum denkleminin bir kontrol hacmine uygulaması Şekil-2.1 (b)'de tanımlanmıştır. Vana ayarlarındaki küçük değişikliklerle ve sola hareket ettirmekle oluşturulan mutlak basınç dalga hızı $a-V_0$ 'dır. Vanadaki düşü yüksekliği artışı ΔH doğrudan olarak akışın hız değişimine ΔV 'ye bağlıdır. X eksenini için momentum denklemi göstermiştir ki; kontrol hacmindeki x bileşeni için bileşke kuvvet sadece, kontrol hacmi dâhilinde x momentumunun artışının hız süresi artı kontrol hacminden x momentumunun net dışarı akışına eşittir [26].



Şekil 2.1. Anlık vana kapaması sebebiyle bir boru hattındaki basınç artışı

Momentum denklemi belirtmektedir ki:

$$-\gamma \Delta H A = \rho A(a - V_0) \Delta V + \rho A(V_0 + \Delta V)^2 - \rho A V_0^2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Kontrol hacmine uygulanan momentum denklemi

Bir saniyedeki, $\rho A (a - V_0)$, akışkandaki hız değişimi $(V_f - V_0)$ 'a eşit olan ΔV 'dir. V_f vana işleminden sonraki akışkanın hızıdır ve V_0 vana işleminden önceki akışkanın başlangıç hızıdır. ΔV^2 değeri küçük ve göz ardı edilebilirdir. Bir düzenleme yapıp sadeleştirdikten sonra kavram denklemi şu şekilde indirgenir:

$$\Delta H = -\frac{a\Delta V}{g} \left(1 + \frac{V_0}{a}\right) \approx -\frac{a\Delta V}{g} \quad (2.2)$$

Dalga hızı a değeri genellikle akışın başlangıç hızı V_0 ile karşılaştırılınca çok yüksektir. Bundan dolayı V_0 / a değeri birçok boru tipindeki sıvılar için 1 ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Eğer vana tamamen kapatılmışsa, akışın son hızı 0'dır.

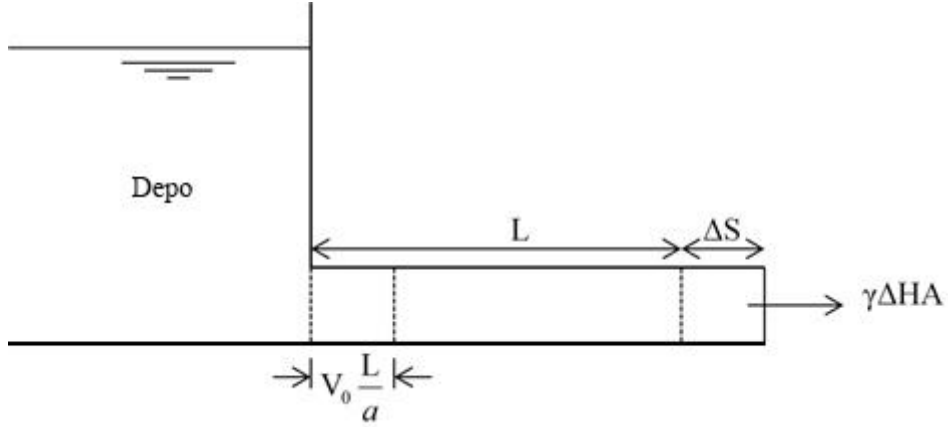
$$\Delta V = V_f - V_0 \quad (2.3)$$

Daha sonra, $\Delta V = 0 - V_0 = -V_0$, ve bu değer Denklem-2.2'ye uygulanırsa, ΔH değeri aV_0 / g olarak bulunur. Eğer boru hattının sonundaki vana anlık kapama bağlantısına sahipse, Denklem-2.2 tekrar şu şekilde tanımlanabilir;

$$\sum \Delta H = -\frac{a}{g} \sum \Delta V \quad (2.4)$$

ve basınç dalgasının boru hattı sisteminin diğer ucuna ulaşmadan ve bir yansıma dalgası olarak geri dönmeden önceki vananın her hareketi için geçerlidir. Başka bir deyişle, bu denklem $t < 2L/a$ için geçerlidir. Burada L boru uzunluğudur.

Süreklilik denkleminin uygulanmasıyla ve Denklem-2.2'nin kullanımıyla, dalga hızı a 'nın büyüklüğü hesaplanabilir. Şekil-2.2'dekileri temel alırsak, borunun ucundaki vananın ani kapatılması sistem içinde basınç artışına neden olur. Bu basınç artışı, borunun nasıl desteklendiğine bağlı olarak, boruyu uzunluk olarak ΔS kadar uzamasına sebep olabilir. Borunun uzaması L/a saniyede veya hızı $\Delta S a / L$ şeklinde olduğu varsayılır. Bundan dolayı, ΔV değeri $\Delta S a / L - V_0$ 'a eşittir. Geçen süre L/a esnasında, boruya giren akışkanın kütlesi $\rho A V_0 L / a$ 'dır. Bu kütle artan kesit alanı ΔA ve borunun uzaması ΔS ile dengelenir. Buna ilaveten, sıvının sıkıştırılması sıvının daha yüksek kütle yoğunluğu $\Delta \rho$ 'na sahip olmasına neden olur. Bütünlük kuralının uygulanması şu denklemi verir (bakınız Denklem-2.5):



Şekil 2.3. Boru hattında bütünlük ilişkileri

$$\rho AV_0 \frac{L}{a} = \rho L \Delta A + \rho A \Delta S + L A \Delta \rho \quad (2.5)$$

Denklem-2.5'i basitleştirmek için, $\Delta V = \Delta S a / L - V_0$ denklemi V_0 'ı ortadan kaldırmak için kullanılabilir ve denklem şu şekilde olur:

$$-\frac{\Delta V}{a} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2.6)$$

Bundan sonra, ΔV 'yi yok etmek için Denklem- 2.3 kullanılabilir ve denklem şu şekle dönüşür:

$$a^2 = \frac{g \Delta H}{\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho}} \quad (2.7)$$

Eğer boru desteklerinin yardımıyla borunun uzaması engellenirse $\Delta S = 0$, aynı denklem dalga hızı için uzama noktaları ile birlikte ve uzama noktaları olmadan elde edilir (bakınız Denklem-2.7). Denklem-2.7 akışkanın *elastiklik modülü* K ile birlikte tekrardan tanımlanabilir.

$$K = \frac{\Delta \rho}{\frac{\Delta \rho}{\rho}} = \frac{\Delta \rho}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (2.8)$$

burada, $\frac{\Delta V}{V}$ kesirsel hacim değişimidir. Sonrasında Denklem-2.7 tekrardan şu şekilde düzenlenebilir:

$$a^2 = \frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{K}{A} \frac{\Delta A}{\Delta \rho}} \quad (2.9)$$

Sistemde kullanılan boru kalın bir et kalınlığına sahipse, vana kapatılması sonucu oluşan basınç artışı kesit alanında önemli bir artışa sebep olmayabilir. Bu sebeple basınç artışı genelde akışkanın yoğunluğunun artışına neden olan sıvı sıkıştırılması ile dengelenir. Sonuç olarak, $\Delta A / \Delta \rho$ çok küçüktür ve sonsuz bir akışkan içerisinde küçük bir çalkantının sese ilişkin hızı $a \approx (K/\rho)^{1/2}$ 'dir. Bundan başka, çok esnek borularda, düzensizlik nedeniyle oluşan basınç artışı çoğunlukla borunun kesit alanının büyümesiyle dengelenir. Bunun sonucu olarak, 1 değeri paydadaki diğer kavramlarla karşılaştırıldığında küçük ve göz ardı edilebilirdir.

Sonrasında, çok esnek borular için sese ilişkin dalga hızı şu şekildedir:

$$a \approx \sqrt{\frac{A}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta A}} \quad (2.10)$$

Son olarak, ince et kalınlığına sahip borular için sese ilişkin dalga hızı şu şekildedir:

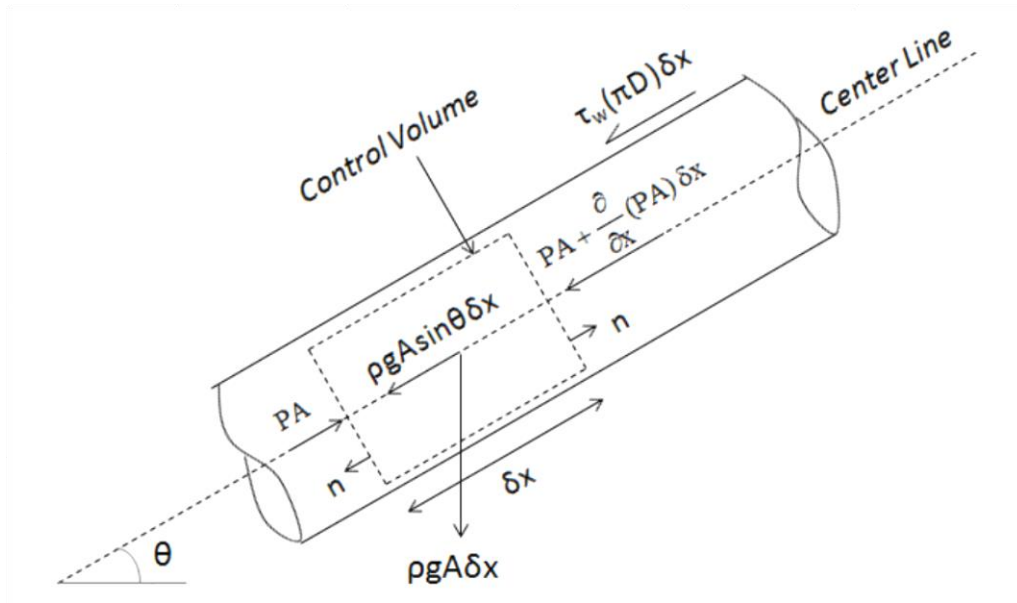
$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{K}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)\right] C_1}} \quad (2.11)$$

burada, C_1 boru şartlarının etkisini gösteren bir sabittir.

Eğer bir boru sadece karşı tarafından bağlanmış ise $C_1 = 1 - \mu/2$, eğer boru eksen hareketi boyunca bağlanmış ise $C_1 = 1 - \mu^2$ ve eğer boru uzama noktaları boyunca bağlıysa $C_1 = 1$ 'dir. Burada μ Poisson oranıdır [27].

2.2.3. Süreklilik ve Momentum Denklemleri

Düzensiz olay esnasında herhangi bir zamanda, herhangi bir noktada piyezometrik yükseklik, H veya boşalım Q ve basınç P veya hız V 'yi elde etmek için su darbesi analizi yapılır. Bu değişkenlere ulaşmak için bütünlük ve momentum denklemleri kullanılır. Bütünlük denklemini elde etmek için, kütlelenin korunumu kanunu uygulanır. Newton'un ikinci hareket kanununa göre, sistemin momentumunun değişiminin süre oranı sistem üzerine çevresi tarafından uygulanan kuvvetlerin toplamına eşittir. Şekil-2.3 bütünlük ve momentum denklemleri için parametreleri tanımlamaktadır. Akışın sıkıştırılabilir ve sünek olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, basınç değişimleri nedeniyle kontrol hacminin kısalabilir veya uzayabilir olduğu varsayılmıştır. Şekil-2.3'ü temel almak suretiyle, kontrol hacminin son kısımlarında akış tek boyutlu ve basınç tekdüzedir.



Şekil 2.4. Boru Hattında Bütünlük İlişkileri [27]

Aşağıdaki denklemler sistemdeki bütünlük ve momentum denklemlerinin korunumu amacıyla türetilmiştir.

$$\text{Süreklilik Denklemi} \quad \frac{\partial P}{\partial t} + V \frac{\partial P}{\partial x} + \rho a^2 \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2.12)$$

$$\text{Momentum Denklemi} \quad \frac{\partial v}{\partial t} + V \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + g \sin \theta + \frac{4\tau_w}{\rho D} = 0 \quad (2.13)$$

Bu denklemlerin kısaltılmış bir şekilde çözümü mümkün değildir. Bu sebeple, *karakteristikler yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi, sonlu fark yöntemleri, sınır integral yöntemi ve spektral metot yöntemleri gibi bazı çözüm yöntemleri bu tür denklemleri çözmek amacıyla kullanılmalıdır.*

2.2.4. Karakteristik Metotla Düzensiz Akış İçin Temel Diferansiyel Denklemlerin Çözümü

Tek boyutlu olan düzensiz hidrolik problemleri için, doğru dik dalga cepheleri simülasyonu, dalga yayılımı örnekleme, programlama kolaylığı ve hesaplamaların etkinliği gibi çeşitli yönleriyle diğer yöntemlere göre karakteristikler yöntemi çok daha iyidir [28] .

Süreklilikve momentum denklemleri Denklem-2.12 ve Denklem-2.13’de sırasıyla verilmiştir. Bu denklemler 2 bağımlı değişken, hız ve hidrolik eğim çizgisi seviyesi ve iki bağımsız değişken olan boru boyunca mesafe ve zamanı içermektedir. Karakteristikler yöntemini kullanarak, bu denklemler dört farklı yalın diferansiyel denklemlere dönüştürülür [26] .

Dönüşüm basamaklarını basite indirmek için, momentum denklemi L_2 olarak tanımlanır ve süreklilik denklemi L_1 olarak tanımlanır. Ayrıca Denklem-2.13’deki $\frac{4\tau\omega}{\rho D} + g\sin\theta$ kavramı F olarak tanımlanır. Sonrasında, bu denklemler bir bilinmeyen λ çarpanı kullanarak doğrusal olarak birleştirilir.

$$L_1 + L_2 = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + V \frac{\partial P}{\partial x} + \rho a^2 \frac{\partial V}{\partial x} + \lambda \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + F \right) = 0 \quad (2.15)$$

Denklem-2.15’i tekrar düzenlersek,

$$\left[\frac{\partial P}{\partial t} + \left(V + \frac{\lambda}{\rho} \right) \frac{\partial P}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial t} + \left(V + \frac{\rho a^2}{\lambda} \right) \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \lambda F = 0 \quad (2.16)$$

Matematikten, $\theta(x,t)$ için biliniyor ki;

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial\theta}{\partial t} + \frac{\partial\theta}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (2.17)$$

Bu nedenle, eğer $V + \frac{\lambda}{\rho} = \frac{dx}{dt}$ ise, Denklem-2.16'daki ilk kavram $\frac{dP}{dt}$ 'dir ve aynı şekilde eğer $V + \frac{\rho a^2}{\lambda} = \frac{dx}{dt}$ ise ikinci kavram $\frac{dV}{dt}$ 'a eşittir.

Sonuç olarak, Denklem-2.14 şu şekilde olur:

$$\frac{dP}{dt} + \lambda \frac{dV}{dt} + \lambda F = 0 \quad (2.18)$$

Tekrar getirerek,

$$\frac{dx}{dt} = \left(V + \frac{\lambda}{\rho} \right) = \left(V + \frac{\rho a^2}{\lambda} \right) \quad (2.19)$$

Denklem-2.19 çözümlendiği zaman, λ değeri şu şekilde tanımlanır:

$$\lambda = \pm \rho a \quad (2.20)$$

λ değeri Denklem-2.19'a uygulandığında:

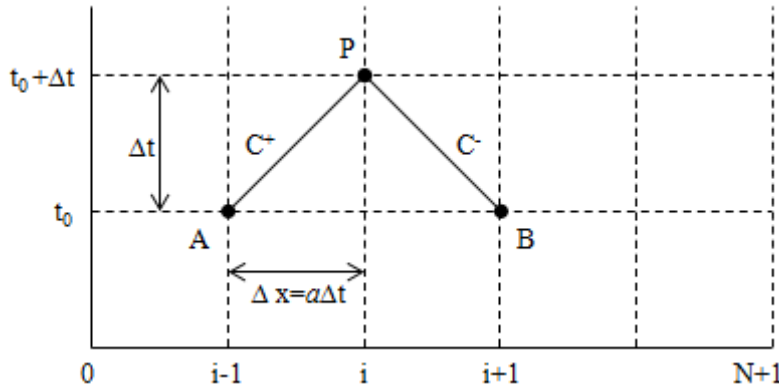
$$\frac{dx}{dt} = V \pm a \quad (2.21)$$

Genel olarak dalga hızı akış hızından çok daha büyük olacağından, Denklem-2.21'deki V kavramı göz ardı edilebilir. Denklem-2.20'den elde edilen değeri Denklem-2.18'e yerleştirilir, C^+ ve C^- denklemleri olarak tanımlanan ve gruplanan denklemlerin iki çifti çıkartılır.

$$C^+ \begin{cases} \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dt} + a \frac{dV}{dt} + aF = 0 \\ \frac{dx}{dt} = +a \end{cases} \quad (2.22)$$

$$C^- \begin{cases} \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dt} - a \frac{dV}{dt} - aF = 0 \\ \frac{dx}{dt} = -a \end{cases} \quad (2.23)$$

Bunun sonucu olarak, iki gerçek λ değeri kullanarak iki adet kısmi diferansiyel denklem dört yalın diferansiyel denkleme dönüştürülmüştür. Sese ilişkin dalga hızı a değeri akışkanın ve taşınanın niteliklerine bağlıdır. Bu yüzden, taşınanın veya akışkanın nitelikleri değişinceye kadar sabit kalmaktadır. Sonuç olarak, Denklem-2.23 ve Denklem-2.25’de verilen karakteristik denklemler, bağımsız değişken düzlem olan $x-t$ düzleminde “ $+1/a$ ” ve “ $-1/a$ ” eğimleriyle düz doğrular çizmektedirler (Şekil-2.4). Bu doğrular “*karakteristik*” doğrular olarak adlandırılır ve Denklem-2.22 ve Denklem-2.24’de verilen uyumluluk denklemleri sadece uygun karakteristik doğru üzerinde geçerlidir.



Şekil 2.5. Karakteristik Doğruları [27]

Şekil-2.4’ü temel alarak, bir boru N eşit menzile bölünür. Düzlem xt ’nin x ekseninde, her bir menzilin uzunluğunun Δx olduğu görülür. Δt y -ekseninin içindedir.

Courant koşuluna göre, zaman adım ölçüsü Δt ‘yi karşılaştırdığımızda $\Delta x/a$ ‘ya göre daha küçük veya eşit olmalıdır. Her bir zaman basamağında, karakteristlik denklemler $N+1$ boğum noktaları için çözülmek zorundadır. Nokta A ve P arasındaki doğru Denklem-2.23’ü temsil etmektedir ve P ve B noktaları arasındaki karakteristlik doğru Denklem-2.25’i temsil etmektedir. Bağımlı değişkenler V ve H ’nın

mi A ve P limitleri arasında, C^+ doğrusu üzerinde geçerli olan Denklem-2.22'yi birleştirmek yoluyla bağımlı değişkenler bazında yazılabilir. Aynı şekilde, Denklem-2.24 C^- doğrusu üzerinde geçerlidir ve BP karakteristik doğrusu boyunca uyumluluk denkleminin birleştirilmesiyle, P noktasında aynı iki bilinmeyenle ilgili olarak ikinci bir denklem bir araya getirilir. Bu denklemlerin eşzamanlı çözümü belirli bir zamanda P noktasında bilinmeyenleri verir [29].

$$\tau_{\omega} = \frac{\rho f V |V|}{8} \quad (2.24)$$

Bu sebeple,

$$F = g \sin \theta + f \frac{V|V|}{2D} \quad (2.25)$$

Ardından, uyumluluk denklemini $a \frac{dt}{g} = \frac{dx}{g}$ ile çarparak ve boru hattı alanını debiye uygun olarak denklemini yazmak için uygulayarak ki bu hızın kesit alanla çarpımına eşittir, hızın yerine, denklem C^+ karakteristik doğrusu boyunca birleştirmek için uygun bir formda yerleştirilebilir.

$$\int_{H_A}^{H_p} dH + \frac{a}{gA} \int_{Q_A}^{Q_p} dQ + \frac{f}{2gDA^2} \int_{X_A}^{X_p} Q|Q| dx = 0 \quad (2.26)$$

Aynı yöntemin C^- karakteristik doğrusu boyunca uygulanması ardından, H ve Q ile bağlantılı olarak şu denklemler çıkartılır:

$$C^+ : H_P = H_A - B(Q_P - Q_A) - RQ_A|Q_A| \quad (2.27)$$

$$C^- : H_P = H_A + B(Q_P - Q_A) - RQ_A|Q_A| \quad (2.28)$$

$$\text{Burada } B = \frac{a}{gA} \text{ ve } R = \frac{f \Delta x}{2gDA^2} ,$$

Genel forma çevrilir ve yazılırsa,

$$C^+ : H_{pi} = C_{pi} - BQ_{pi} \quad (2.29)$$

Burada,

$$C_p: H_{i-1} + BQ_{i-1} - RQ_{i-1}|Q_{i-1}| \quad (2.30)$$

Ve

$$C^-: H_{pi} = C_M - BQ_{pi} \quad (2.31)$$

Buradan

$$C_M: H_{i+1} + BQ_{i+1} - RQ_{i+1}|Q_{i+1}| \quad (2.32)$$

Düzenlemeler ile sonuçlara ulaşılabilmektedir.

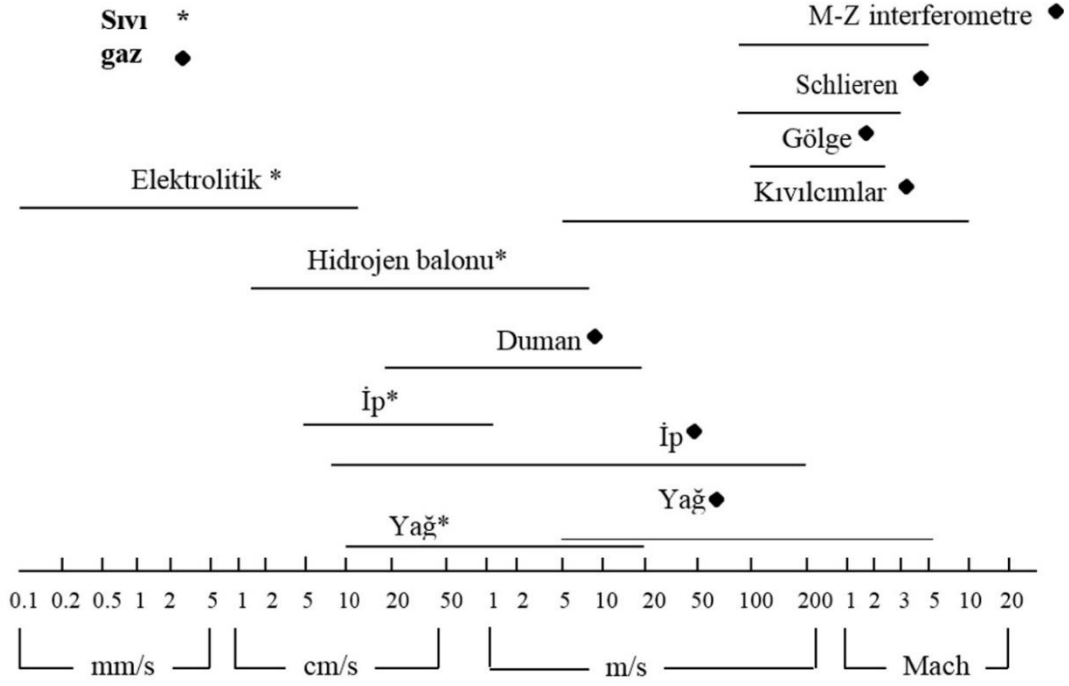
3. AKIŞ GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ

Bir akışkanın hareket edebilmesi için basınç farklılığı, atalet, yüzey kuvvetleri ve yerçekimi gibi birtakım etkilerin olması gerekmektedir. Hareket eden akışın ivmesi, hızı, akışkanın viskozitesi, sıcaklığı ve yoğunluğu gibi bazı özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. Akış ve akışkanın durumunda meydana gelen bu değişikliklerden yararlanılarak doğada, endüstride veya vücudumuzdaki herhangi bir akışı çözümleyebilmek ve anlayabilmek için birçok çalışma yapılmaktadır.

Akışkan üzerine etkiyen bu kuvvetler Navier-Stokes denklemi ile ifade edilir. Bu denklemin genel bir analitik çözümünün bulunmaması nedeniyle sayısal çözümlemeler ya da akış görüntüleme gibi alternatif metotlar, özellikle tıp ve savunma sanayi alanında son dönemde giderek önem kazanmaktadır. Bu tekniklerden bazıları şunlardır;

- Boya, duman, buhar ve şerit
- Küçük parçacıklarla hız ölçümü
- Hidrojen kabarcıkları
- Elektrolitik ve fotokimyasal boya
- Gölge tekniği
- Schlieren
- Mach-Zehnder interferometrisi
- Faz kontrastı metodu
- Holografik akış görüntüleme
- Holografik interferometre
- PIV
- Kıvılcımlar, İzler eklemek
- Elektron ışını ile akış görüntüleme
- Işınım ve Kimyasal aydınlatma

Bu tekniklerinin hangi akışkanlar için hangi aralıklarda uygulanabilir olduğu ile ilgili grafik Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Akış görüntüleme tekniklerinin yaklaşık uygulanma hız aralıkları

3.1. Boya ve Duman Tekniği

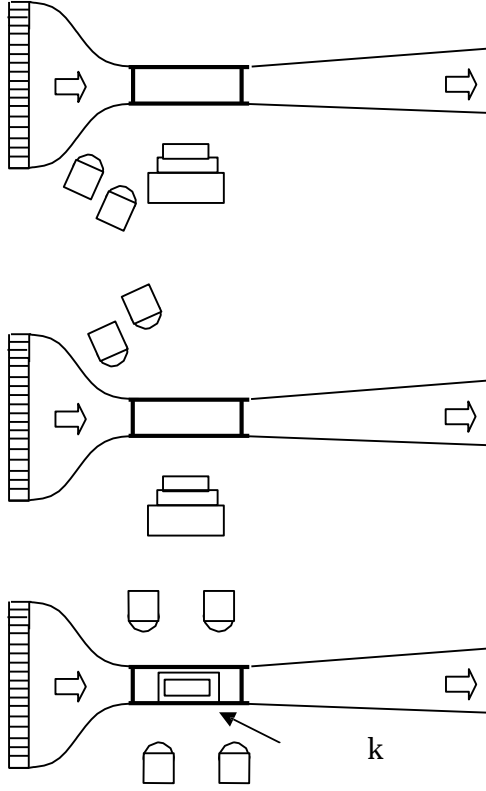
Bu teknik bilinen en basit görüntüleme tekniklerinden biridir ve göreceli olarak uygulaması da oldukça kolaydır. Hareket eden su birikintisine mürekkep damlatmak suretiyle suyun hareketinin yönelimlerini yada hava akışı olan bir yere duman üflemek suretiyle hava hareketinin görüntüsünün alınmasının mümkün kılındığı bir yöntemdir. Şekil 3.2 de gösterildiği gibi genellikle hareketli bir nesne çevresindeki akışın incelenmesi amacıyla yapılmakta ve engelin çevresindeki akış hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir.



Şekil 3.2. Duman tekniği kullanılarak yapılan aerodinamik testler [31]

Duman bu görüntüleme tekniğinde farklı tip malzemelerden elde edilmiş küçük parçacıklı akışın en genel ifadesi olarak kullanılmaktadır. Duman kimi zaman buğu, su buharı ya da çeşitli zehirsiz gazlar için kullanılmış ortak bir adlandırma olabilmektedir. Akışı görünür hale getirmek için seçilecek malzemenin akış ile hareket edecek kadar küçük olması ve görüntüleme için gerekli ışığı yansıtabilecek kadar da büyük olması çok önemlidir. Bu işlemler için en uygun duman boyutu aralığı $0.1-1 \mu\text{m}$ dir. Örneğin sigara dumanı $0.01-1.0 \mu\text{m}$, karbon tozu $0.01-0.03 \mu\text{m}$, yağ buharı $0.03-1.0 \mu\text{m}$ ve su buharı parçacıkları genellikle $2-70 \mu\text{m}$ aralığındadır [32]. Su buharı örneğindende anlaşılabileceği gibi kimi zaman gerekli büyüklükte olan parçalar farklı yönlerden kısıtlamaya sebep olabilmektedir yada bunun tersi duman ve karbon için geçerli olabilmektedir.

Akışın fotoğrafının çekilebilmesi için kullanılan aydınlatma kaynakları stroboskopik ve yüksek yoğunluğu olan sürekli aydınlatmalardır. Şekil 3.3 bu teknik için ışıklandırma ve kamera konumlarını göstermektedir. Flaş süresi yaklaşık $30 \mu\text{s}$ dir. Yüksek yoğunluklu sürekli lamba uygulamalarından biri de lazer kaynağı ile oluşturulacak lazer ışık perdesi ile akışın görüntülenmesidir.



a) İleri aydınlatmalı düzenek

b) Geri aydınlatmalı düzenek

c) Üstten aydınlatmalı düzenek

Şekil 3.3. Kamera konumları ve aydınlatma sistemleri [33]

3.2. Yağ Tekniği

Yağ tekniği kullanılırken üzerinde akışkan davranışının inceleneceği obje üzerine yağ damlacıkları dökülür ve nasıl yollar izleyeceği gözlemlenmektedir. Örneğin Şekil 3.4 te olduğu gibi bir hızlı tren modeli üzerinde akışın nasıl yollar izleyeceği veya akış üzerindeki ince yağ tabakasının üzerinde hareket ettiği suyun şeklini alarak rüzgarlı bir günde bir bina etrafında akışın nasıl olacağı hakkında fikir edinilebilir. Bu basit çalışmalar muhakkak ki bazen bir aracın tasarım aşamasında bazen teoriye uygunluğu test etme aşamasında önem arz etmektedir.



Şekil 3.4. Hızlı tren modeli üzerinde akışın görüntülenmesi [33]

3.3. Şerit Tekniği

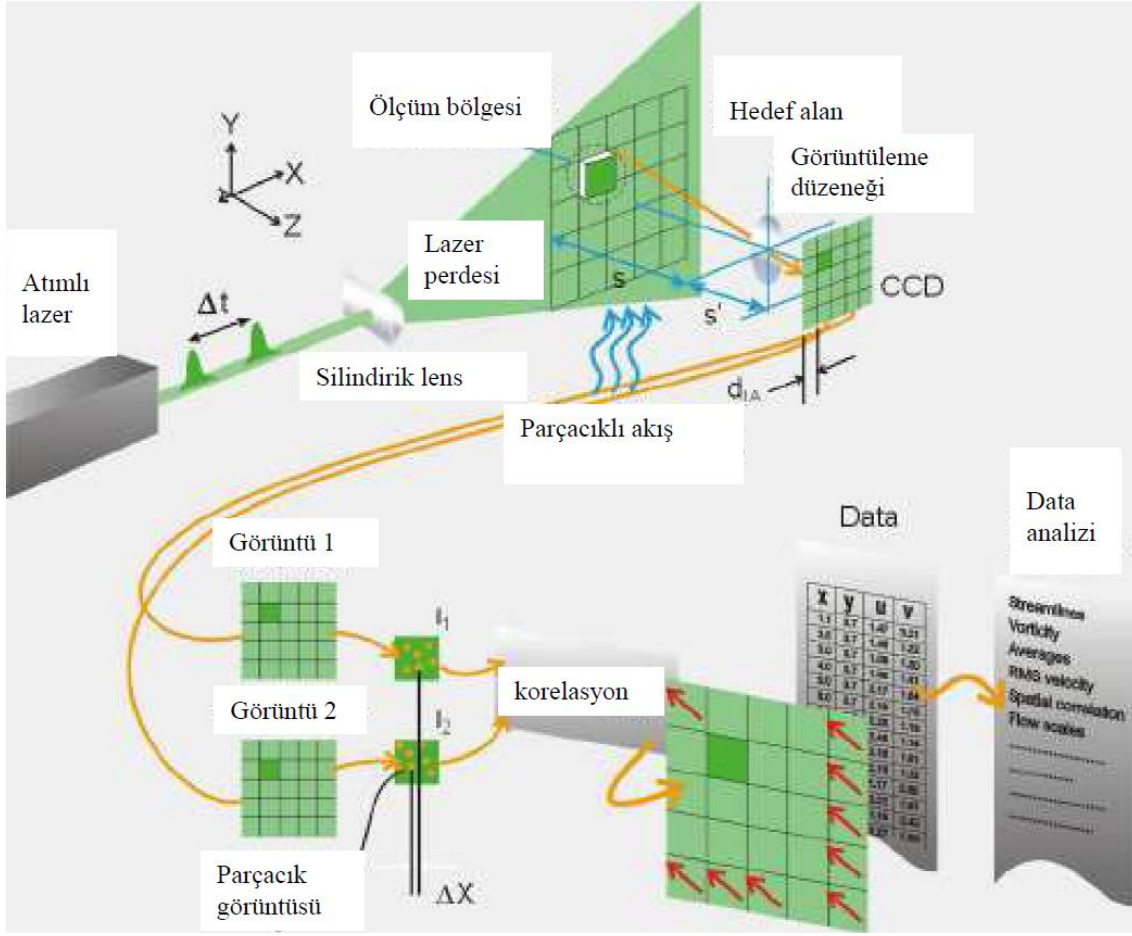
Şerit tekniği ile görüntüleme yapılırken küçük boyutlarda kesilmiş iplikçiklerin akış üzerinde etkili olacağı nesne üzerine bir uçlarından yapıştırılarak akış ile birlikte hareketinin fotoğrafı çekilerek yapılmaktadır. Farklı bir yöntemde ise fosforlu tipte şeritler ultraviyole ışık altında görüntülenir. Bu küçük şeritler akış durumunda hareket edeceğinden olayda sadece fotoğraf çekmek yeterli bir görüntüleme metodu olmaktadır.

Bu teknik kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri her ipin sadece bulunduğu bölgedeki akış şartlarını yansıttığı gerçeğidir. Bu sebeple iki boyutlu veriler elde edebilmek için ipler dizi şeklinde uygulanır. İki ipçik arasındaki mesafe iplerin boyundan kısa olmamalıdır ki ipleri birbirine dolaşmasın.

3.4. PIV Tekniği

Parçacık Görüntü Hızı (PIV-Particle Image Velocimetry) tekniği akış bölgesinin bir kesit alanında anlık hız vektörü ölçümlerinin yapılabildiği bir tekniktir. PIV tekniğinde akış alanındaki parçacıkların peş peşe fotoğrafı çekilerek hareket eden parçacıkların piksel piksel incelemesi yapılarak bir sonraki fotoğraftaki konumlarına bağlı olarak akış alanının vektör haritası elde edilir.

Bu tekniği kullanabilmek için optik düzenek yardımıyla bir lazer perdesi oluşturabilecek lazer kaynağına ve CCD kameraya ihtiyaç vardır. PIV tekniğinin Dantec firması tarafından verilen anlatım şeması Şekil 3.6 da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi atımlı lazer kaynağı ile her bir Δt zaman aralığında akışın peş peşe fotoğrafı çekilir ve bu fotoğraflar üst üste konularak sinyal işleme teknikleri ile analiz edilir [33].

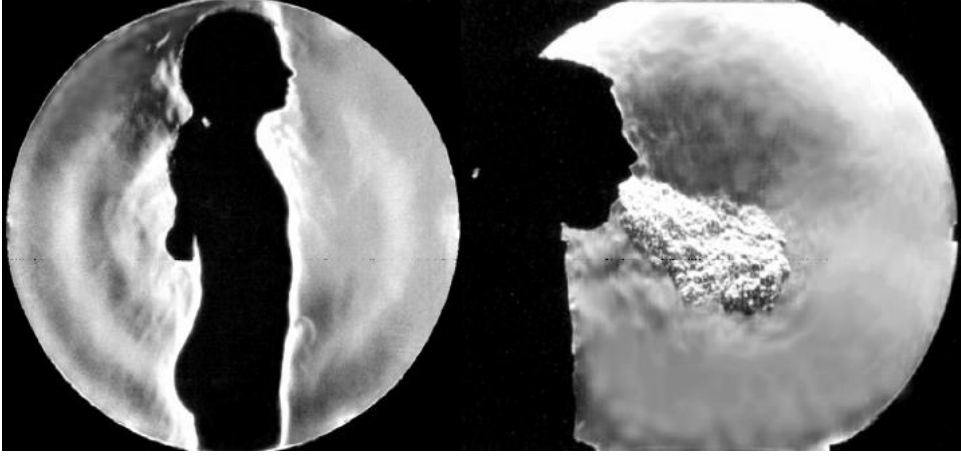


Şekil 3.5. PIV tekniği (Dantec)

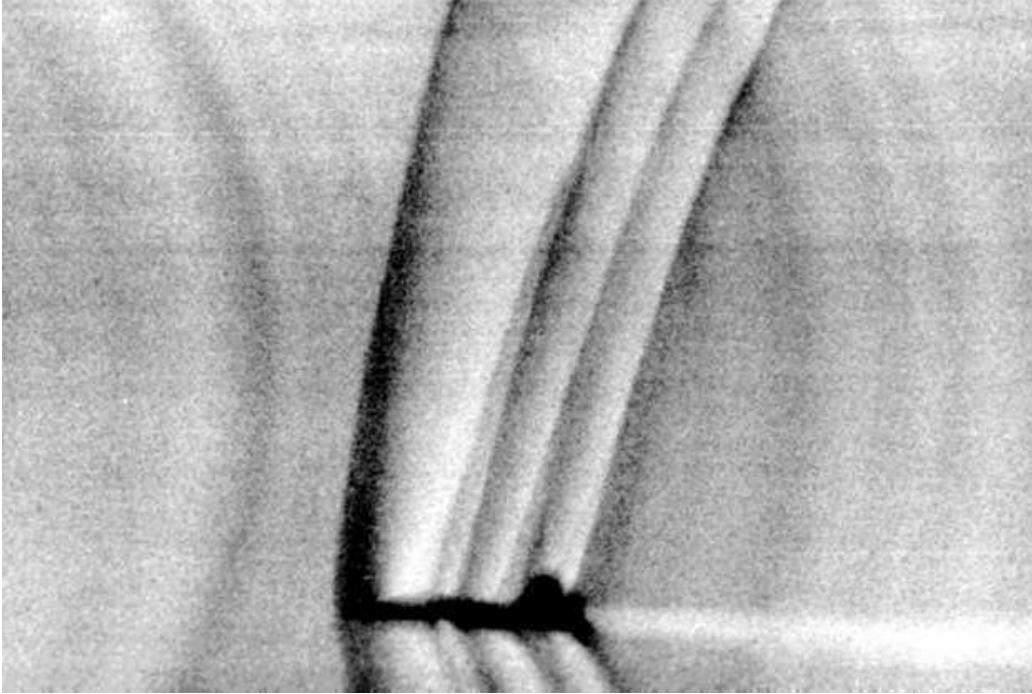
3.5. Gölge Schileren Tekniği

Akış alanında kırılma indisi farklılıkları oluşturacak herhangi bir etki o noktalardan geçen ışığın sapmasına sebebiyet verecektir. Bu sapmalardan alınacak imajlar gölge ve Schileren optic görüntüleme yöntemiyle kolayca fotoğraflanabilecek hale getirilebilmektedir.

İndis farklılığı oluşturmak için havadaki belirli alanı ısıtmak ya da yoğunlukta değişiklikler yapmak yeterli olacaktır. Şekil 3.7’de Schileren tekniği ile elde edilmiş insanın görüntüsü ve şekil 3.8’de ise süpersonik bir uçağın aynı teknikle elde edilmiş görüntüsü bulunmaktadır. Aralarında küçük optik düzenek farklılıkları olan her iki teknik de genellikle yoğunluk farklılıkları görüntülemek esasına dayanır ve akışı görüntülemek için akış içerisine başka parçacıklar katmaya gerek olmaması bu tekniklerin avantajı sayılabilir.



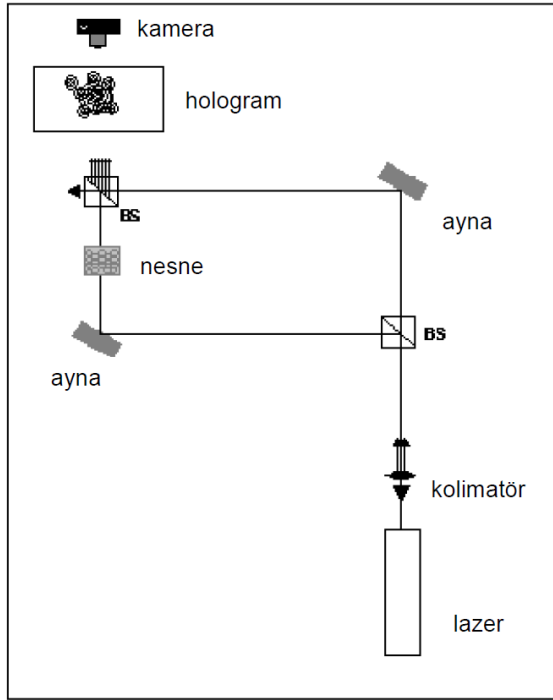
Şekil 3.6. İnsanın Schlieren termal görüntüsü ve öksürüğünün görüntülenmesi [34]



Şekil 3.7. Gerçek boyutlarda Mach 1.1 için supersonic uçağın Schlieren görüntüsü [34]

3.6. İnterferometrik Hologram Tekniği

İnterferometrik yöntem ya da interfereometrik hologram tekniği olarak bilinen bu metotta lazer vasıtasıyla akış görüntüleme gerçekleştirilmektedir. Hologram oluşturabilmek için iki adet elektromanyetik dalganın ışığa duyarlı bir materyal üzerinde girişimde bulunması gerekmektedir. Bu durumda dalga olarak kastedilen lazer ışığıdır. İkiye ayrılan lazer ışığının biri orjinal faz halinde devam ederken diğer kısım nesne üzerinden geçerken holograma ulaşmaktadır.



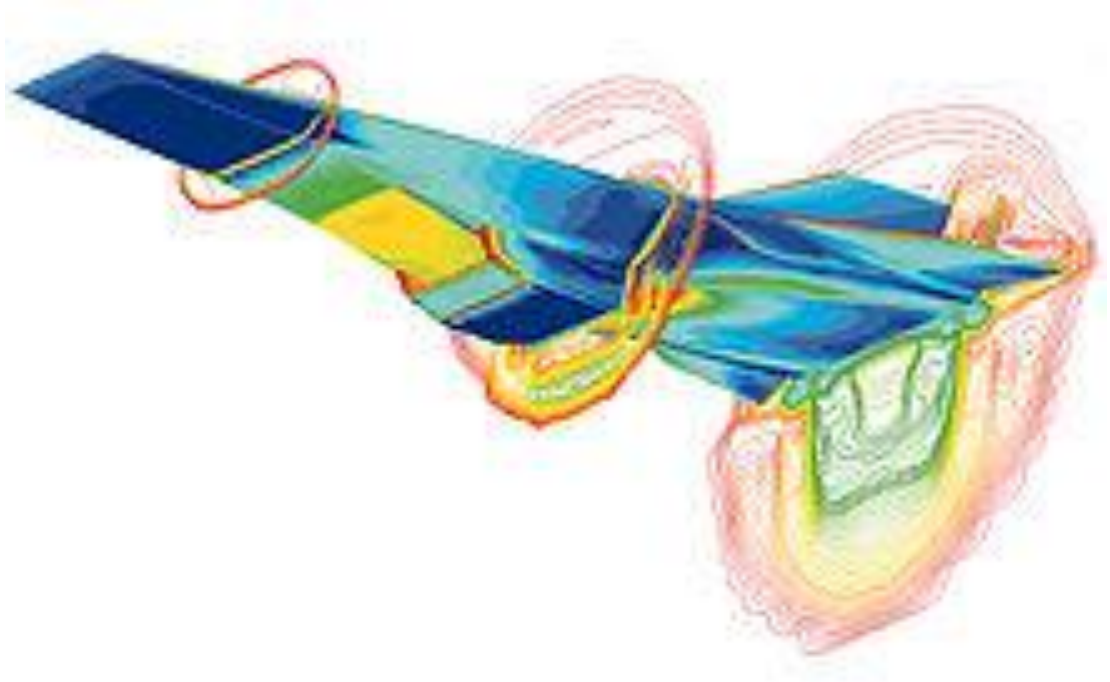
Şekil 3.8. Mach Zender interferometrik hologram tekniği şematik gösterimi

İnterferometrik hologram ya da bir başka adıyla interferogram yüksek hızlı bir kamera veya bir fotoğraf filmi üzerine kaydedilebilir ve böylece akış görüntülenebilir. Tek fazlı akışta üç boyutlu akış resminin dondurulmasını sağlar. Akış içerisinde takip edilebilecek küçüklükte parçacıklarla birlikte kullanılabilir ve bu parçacıkların görüntüdeki pozisyonlarını da analiz etmek mümkün olabilir. Çift-atım tekniği kullanılarak parçacıkların vektör değişimleri çıkartılabilir ve akış hızları tespit edilebilir. Schlieren ve gölge tekniğiyle birlikte de kullanılabilen bu teknikle yüksek hızlarda akış görüntüleme ile ilgili bir takım sınırlandırmalardan kurtulunabilir.

3.7. Bilgisayar Destekli Akış Görüntüleme (CFD)

Sayısal metotlar akışkanlar mekaniğinde problem çözümlerini oldukça kolaylaştırdığı için özellikle dizayn aşamasında oldukça önemli bilgiler sağlamaktadır. Bir uçak ya da gemiyi deneme-yanılma yöntemiyle imal etmek çok yüksek miktarda kaynak gerektirdiğinden olası problemlerin ortaya çıkartılması ve sonuçlar hakkında ilk tahminlerin yapılabilmesi bakımından bilgisayar destekli analiz çalışmaları yapmak çok önemli olmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) olarak da bilinen bu teknik ile ağ yapısına ayrılmış akış alanındaki başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olarak söz konusu nesne etrafında hız ve basınç gibi akış parametrelerinin değişimi incelenir. Şekil 3.10 da bir uçak modeli etrafında akım çizgilerinin gösterildiği bu çalışmalardan bir örnek verilmiştir.



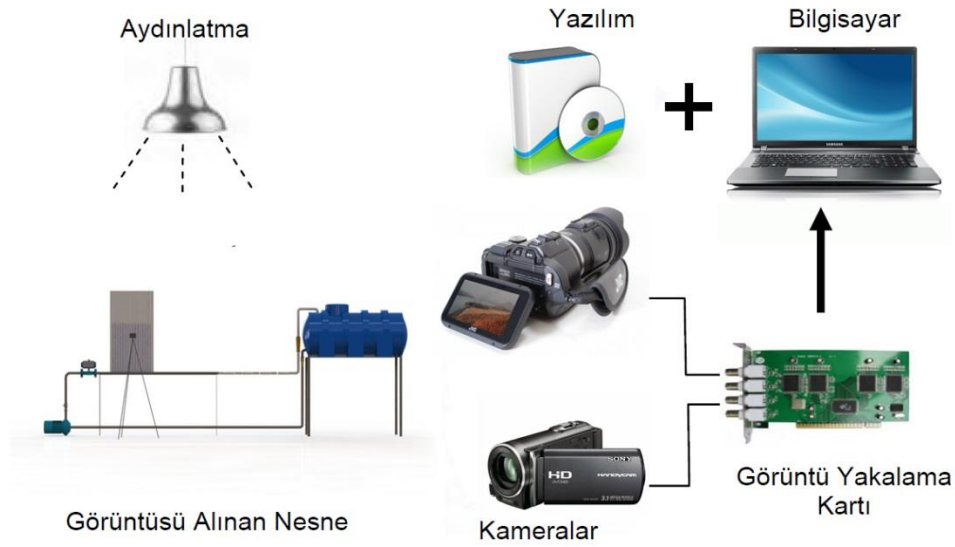
Şekil 3.9. Bilgisayar destekli akış görüntüleme tekniği ile uçak kanadı etrafında akım çizgilerinin görüntülenmesi [35].

Akışkan hareketi Navier-Stokes denklemleri olarak bilinen diferansiyel denklem takımlarıyla ifade edilir ve modellenir. Çok özel durumlar hariç bu denklemlerin genel bir çözümü yoktur ancak sayısal metotlarla yaklaşımlarda bulunarak çözümlere ulaşmak mümkündür. Bir problemin çözümü için önce çözümü istenilen fiziksel bölge küçük alanlara (mesh) ayrılır. Bu küçük alanların birleştirilmesiyle oluşturulan ağ yapısı üzerindeki noktalarda istenilen parametrelerin çözümlerine ulaşılmaya çalışılır. Bilgisayar ve yazılımlar vasıtasıyla geliştirilen bu modeller, işlemcinin sayısal hesaplama yetenekleriyle çözümlenir.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME VE ANALİZİ

4.1. Görüntüleme Sistemi

Görüntü işleme, video kamera, fotoğraf makinesi, tarayıcı gibi aygıtlardan edinilen sayısal görüntülerin bilgisayar ve çeşitli yazılımlar vasıtasıyla işlenmesi ve analizi kapsamında tanımlanabilir. Literatür incelendiğinde farklı tanımlamalar yapılabildiğini görmekle birlikte, görüntülerin eldesi ve analizini gerçekleştirmek için kullanılan donanım birimleri ve yazılım kombinasyonu da görüntü işleme sistemi (GIS) olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemde görüntüsü alınan objeye ait renk, yansıma ve ışık geçirgenliği gibi optik; genişlik , derinlik, çap, açı, çevre gibi geometrik özellikler ile konum gibi yerleşim özellikleri bilgisayar ile kolaylıkla incelenebilir. Bu sebeple son yıllarda elektronik ve yazılım alanındaki yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda görüntü işleme sistemlerinin ekonomik ve yaygın kullanımını mümkün kılan bileşenlerin gelişmesiyle bu sistemler birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlara tıp, havacılık, akışkanlar mekaniği gibi birçok örnek olarak verilebilir. İhtiyaca göre değişiklik göstermekle birlikte bir görüntüleme sistemi, sağlıklı bir görüntünün elde edilmesinde her biri önemli birer işleve sahip temel bileşenlerden oluşur. Dijital bir kamera sistemi düşünüldüğünde gerekli olan bileşenler bir veya birden çok dijital kamera ve lens, görüntü yakalama (Şekil4.1),ışıklandırma ile bilgisayar donanım ve yazılımıdır . Kamera ve görüntü yakalama kartı ve en son olarak uygun yazılımlar kullanılarak işlenecek olan görüntüleri yakalarken ışık ve optik değişiklikler, elde edilen görüntünün etkinliğinin artırılmasına ve daha hassas bir görüntü alınmasına da yardımcı olurlar.



Şekil 4.1. Görüntü sisteminin bileşenleri

4.2. Görüntüleme Sistemi Bileşenleri

4.2.1. Video Kamera

Kameralar lens tarafından yakalanan görünür alanı üzerinde bulunan görüntü sensörü ile sinyale dönüştüren aygıtlardır. Eski nesil kameralarda tüp tipli sensörler kullanılırken günümüzde hemen her kamerada CMOS veya CCD görüntü sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörlerin temel görevleri mercekler tarafından odaklanan görüntüyü elektronik sinyallere dönüştürmek ve işlenmek üzere makinenin üzerindeki işlemcilerle göndermektir. İşlemci üzerinde işlenen sinyaller bilgisayar tarafından okunabilir imajlar haline dönüştürülürler.

Günümüzde kameraların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Basit web kameralarından gelişmiş endüstriyel kadar geniş fiyat aralığında ve çok farklı özelliklere sahip olan farklı amaçlar için üretilen kameralar bulunmaktadır. Bu sebepten kamera seçimi uygulama gereksinim ve maliyet değişkenine göre yapılmaktadır. Örneğin, bir akışkan hareketine ait hız vektörlerinin belirlendiği parçacık görüntülemeli hız uygulamalarında hassas ölçümler alabilmek için yüksek çözünürlüğe sahip kameralar gerekli olurken; dalga çarpması gibi hızlı meydana gelen akış olaylarında, istenilen detayların gözlenebilmesi için yüksek hızlı bir kameraya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeptendir ki bilimsel kullanımlarda kameralara ait bazı özelliklerin bilinmesi kamera seçiminde doğru tercihlerin yapılabilmesi ve bu kameralarla yapılacak ölçümlerden sağlıklı bilgiler elde edilmesi ve yorumlanması

açısından önemlidir. Algılayıcılar kamera seçimi yapılırken dikkate alınması gereken önemli komponentlerden biridir. Tek başlarına tercih belirleyici etken olmasa da görüntü kalitesi üzerinde önemli etkileri vardır.

Charged Coupled Device ve Complementary Metal Oxide Semiconductor olmak üzere iki sensör tipi bulunmaktadır. CCD sensörler CMOS sensörlere göre göreceli olarak daha iyi olmasından dolayı günümüz kameralarının büyük çoğunluğunda CCD algılayıcılar bulunmaktadır. Ayrıca CCD sensörlerin ışık duyarlılığı daha fazladır ve gürültü oranları daha düşüktür. Bu durumun bir sonucu olarak CCD sensörlerden karanlık ortamlarda daha iyi görüntüler alınır. Bunun yanında CMOS sensörler ekonomik ve küçük ebatlarda üretime imkan tanımaktadırlar. Sensör önemli bir etken olsa da seçim için tek başına kriter değildirler.

Video kameralarda kullanılan sensörler 1, 2/3, 1/3 ve 1/4 inç olmak üzere farklı boyuttadırlar. Köşegenler arasındaki mesafeyi tanımlayan bu ölçüler, sensörlerin genel olarak kullanılabilir büyüklüklerini göstermektedir. Kullanılacak merceklerin bu boyutlara uygun seçilmesi gerekmektedir. Sensör alanı büyüdükçe çözünürlük ve ışık algılama oranı artmaktadır. Bir inç algılayıcı en yüksek ışık algılama ve çözünürlüğe sahiptir. Bu algılayıcıda 2 milyondan fazla piksel bulunmaktadır ve bunlar sadece özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Gelişen üretim teknolojisi sayesinde görüntü niteliği her geçen yıl yükselmekte ve daha küçük formatlarda yüksek görüntüler elde etmek mümkün olmaktadır.

Bir video kameradan elde edilecek sayısal görüntülerin kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri kamera çözünürlüğüdür. Bir kameranın çözünürlüğü, üzerindeki görüntü sensörünün kaç adet görüntü hücresine sahip olduğu ve kaç piksellik görüntü üretebildiğinin göstergesidir. Sensörler üzerinde yatay ve dikey sıralı konumlandırılmış ışığa duyarlı kapasitörler bulunmaktadır ve her kapasitör bir piksel kaydeder. Aynı boyutta iki algılayıcı, üzerinde bulundurduğu kapasitör sayısının farklılığı nedeniyle farklı çözünürlüklerde görüntü eldesine imkan sağlar.

Kapasitör boyutlarının küçülmesi ile aynı alanda daha fazla sayıda piksel kaydı yapılabilmesine rağmen küçük kapasitörlerin daha çok enerji harcaması ve ısınmasından dolayı bu algılayıcılardan elde edilen görüntülerde kirlilik problemi olarak ortaya çıkabilmektedir.

Dijital imajlarda piksel en küçük görüntü birimidir, bu terim aynı zamanda görüntünün boyutlarını belirtmek için kullanılmaktadır. Sayısal görüntüler yatay ve dikey sıralanmış piksellerden oluşmaktadır. Bir sayısal görüntüyü oluşturan yatay ve dikey piksel sayısı birbiriyle çarpılarak, o görüntünün kaç piksel büyüklüğünde veya başka bir ifade ile kaç piksel çözünürlüğe sahip olduğu hesaplanır.

Kullanılan video kaynağına bağlı olarak kamera çözünürlüğü 256x256 dan 4096x4096 ve daha yüksek değerler alabilir. Piksel sayısının (çözünürlük) artması daha net görüntü anlamına gelir. Ayrıca piksel sayısı ne kadar çok olursa görüntü kalite kaybı olmadan o kadar çok büyütülebilir ve hassas ölçümler yapılabilir. Ayrıca çözünürlük artışı görüntülerin saklanması için gerekli sabit disk gereksinimini arttıracaktır.

Video kameraları fotoğraf makinelerinden ayıran en önemli fark, aralıksız görüntü kaydedebilmeleridir. Genellikle kameraların çekim hızı saniyede yakaladıkları kare sayısı (fps: frame per second) ile belirlenir. Bir insanın görüntüleri akıcı bir şekilde görebilmesi için saniyede 15 kare yeterlidir. Bu değer altındaki değerlerde, görüntüde atlamaların olduğu hissi ortaya çıkar. Standart bir kamera saniyede 25 görüntü (25fps) kaydetmektedir. Bununla birlikte günümüzde bazı özel amaçlarla kullanılan ve saniyede 1000000 kare çekim yapabilen kameralar mevcuttur fakat bu kameralar oldukça yüksek fiyatlara sahiptir. 100 ve 240 fps hızlarında uygulamalara sahip dijital kameralar daha yaygın kullanılmaktadır. Bu kameraların kendilerine özgü donanım ve yazılımları mevcuttur. Maliyetleri 20 bin liranın üzerindedir. Bu kameralarla genel olarak çok kısa süreli çekimler yapılabilir.

4.2.2. Lensler

Lensler, görüntüleme sistemi tasarımında önemli rol oynamaktadır. Lenslerin temel görevi bir bölgeden yansıyan ışığı toplamak ve kamera sensörü üzerine berrak bir görüntü odaklamaktır.

Günümüzde, el kamerası olarak tabir edilen kamera tipinde lensler gövde üzerinde sabit halde bulunurken, endüstriyel tip kameralarda lens ve kamera gövdesi ayrı parçalardır. İhtiyace göre değiştirilebilmektedir.

Mercekler görüntüleyici üzerinde oluşacak resim boyutunu, şekil ve netlik durumunu direk olarak etkilediğinden seçimi oldukça önemlidir. Bir kameranın görüntü alanı : sensör

büyüklüğü ,mercek odak uzaklığı ve nesnenin merceğe olan uzaklığına bağlıdır.Bu durumlar aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$F=b(D/B) \quad (4.1)$$

Bu ifadede b sensörün genişliği . B görüntülecek alan genişliği ve D ise nesne ile olan uzaklıktır.

Lens seçiminde diğer bir ölçüt de kamera ve merceğin montaj tipidir. Lens montaj tipine göre CS ve C olmak üzere ikiye ayrılır.Bu iki lens tipinden C tipi yuvaya sahip bir kameraya CS tipi lens bir adaptör yardımıyla takılabilirken, CS tipi bir yuvaya C tipi lens montajı yapılamamaktadır.Fakat son yıllarda üretimi yapılan kamera gövdeleri iki tipinde montajının mümkün olduğu şekilde üretilmektedir.

4.2.3. Aydınlatma

Görüntü sistemleri tasarlanırken ilk yoğunlaşılan alan kamera özellikleridir.Fakat işlenmek istenen nesne yeterli ve sisteme uygun durumda aydınlatılmadığı durumlarda istenen sonuçlara ulaşılması mümkün olamaktadır. Bu çok önem arzeden parametre çoğu zaman gereken önemi görememektedir.Kameralarda mevcut olan sensörler görüntülere çarpan ve yansıyan ışığı görüp kayıt altına aldıklarından imaj kalitesinin istenilen seviyelerde olması için doğal, ya da yapay ışık düzeni ve ton tasarımları gerekli düzeyde olmalıdır. Işık tasarımının kötü yapılması veya yanlış optik elemanların kullanımı çok iyi dizayn edilmiş diğer sistemler neticesinde bile kötü sonuçların doğmasına sebep olacaktır.

Nihai imajda kirlilik yaşanmaması için bir aydınlatma sistemi kameranın görüş bölgesindeki birimlere mümkün olduğunca düzenli ve dağılmamış bir şekilde gönderilmelidir. Aynı zamanda aydınlatma sırasında yansıma ve gölgelerin kontrol edilebilmesi gereklidir. Değişik geometriye sahip olan alanlar için farklı yoğunluklarda aydınlatma yapabilen özel tasarımlara sahip birçok ışık sistemi bulunmaktadır. Genelde en çok kullanılan ışık tipleri Led , flüoresan, yüksek yoğunluğa sahip ışık ve lazerlerdir.

Yapılan çalışmada, laboratuvar ortamında deney sistemi karşıdan yumuşak beyaz lambalarla aydınlatma sağlanmıştır ve gün ışığından da yararlanılmıştır. Basınç değişim gözlem tablosu arka yüzeyi parlak beyaz renkle boyandığından karşıdan gelen ışığın parlak borular üzerinden yansımaması çapraz polarize tekniği ile ışık kaynağı ve kamera üzerindeki

polarize filtrelerin karşılıklı ayarları ile minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Dış ortamdan gelen ışıkların bu yüzeyde körleşme yapmaması için kameraların arka kısmı beyaz perdeler ile kapatılmıştır.

4.2.4. Görüntü Yakalama Kartı

Bir görüntüleme düzeneğinde , görüntü yakalama kartları önemli role sahip ekipmanlardır.Bu kartlar dijital veya elektronik kameralardan gelen görüntü sinyallerini,mümkün olan en az kayıp ve bozulma durumuyla sayısal verilere çevirerek bilgisayar ve yazılıma aktarım sağlayan cihazlardır.Video yakalama kartlarıyla aralarındaki fark ise bu kartların sinyalleri bilgisayara direk imaj olarak aktarabilmeleridir.Bu özellikleri ile bu kartlar parçacık görüntülemeli hız tekniği,makine görme,ürün tanıma gibi işlemlerin uygulandığı sistemlerde kullanılma oranını arttırır.Bu kartların seçiminde karta uygun kameraların düzenlenmesi, kartın desteklediği kamera sayısının bilinmesi , kayıpsız görüntü için aktarım aralıkları öne çıkmaktadır.

4.2.5. Bilgisayar

Bir görüntüleme sisteminde en önemli eleman sistemin kontrolü ,sayısal verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi ile bu görüntülerin değerlendirilmesi bilgisayar tarafından yapılmaktadır.Yüksek hızlı kayıt ve işlem gerektiren deney ve işleme durumlarında depolama birimlerinin bu hıza uygun seçilmesi gerekmektedir.

Standart bir kameraya ait 1 saniyelik görüntü sıkıştırılmamış durumda yaklaşık 30 Mb yer kaplamaktadır. Günümüzde kullanılan bazı sıkıştırma kodekleriyle (jpeg,mpeg) bu boyut düşürülebilmekle yüksek hassasiyet gerektiren durumlarda ham görüntünün işlenmesi gerekmektedir.

Ayrıca görüntü işleme aşamasında da çok sayıda görüntü ile çalışılması gerektiğinden ve görüntüler üzerinde yeniden boyutlandırma, renklendirme, kalibrasyon, filtreleme vb. işlemlerin çabuk yapılabilmesi için hızlı, yüksek bellek kapasitesine sahip bellekler (RAM) kullanılmalıdır.

Bu çalışmada standart PCI yuvalarına sahip i7 2.4 GHz işlemcili, 8 GB RAM ve 520 GB sabit diske sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Ayrıca çeşitli harici bellekler yedekleme birimleri olarak kullanılmıştır.

4.2.6. Yazılım

Yazılım ve donanım, bilgisayara dayalı analiz ve yorumlama sistemlerinin en önemli iki parçasıdır. Donanımlar yazılımsız olarak çalıştırılamayacağı gibi yazılımlarda gerekli ve yeterli donanım olmadan kullanılamazlar. Bu nedenle yazılım görüntüleme sistemlerinin temelini oluşturur. Yazılımın beklentilere tam anlamıyla cevap verebilmesi yanında kolay kullanılabilir kullanıcı dostu ve basit bir arayüze sahip olmasında gerekliliktir. Görüntü işlemede temel adımlar görüntünün eldesi ve görüntünün işlenmesidir. Bu amaç için kullanılan yazılımları makro eklenerek fonksiyondan faydalanma durumlarının arttırılabilmesi gibi özelliklerde önemli olabilmektedir.

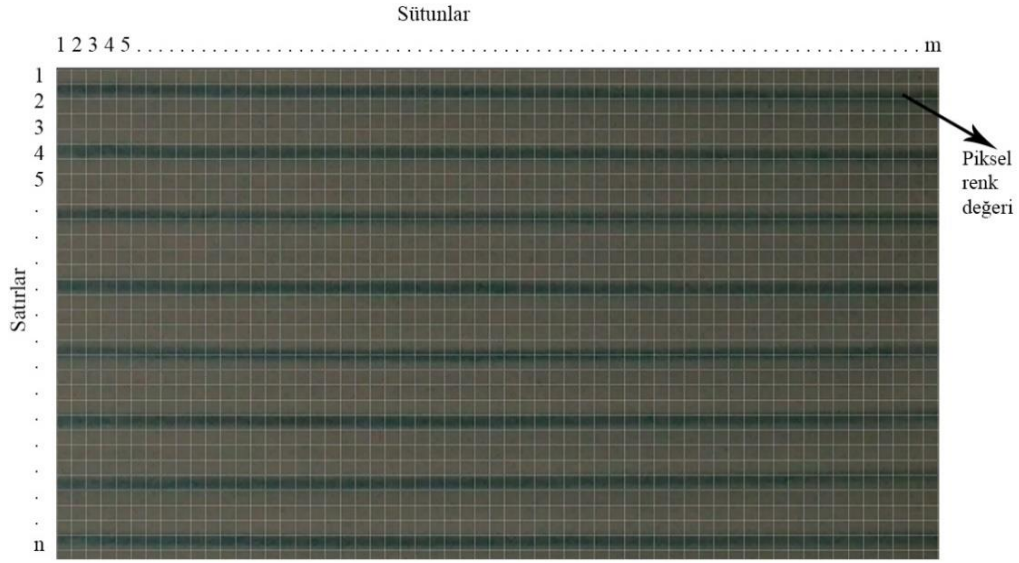
Bu çalışmada görüntülerin kaydedilmesi kalibrasyonlarının yapılması işlenmesi ve okumaların yapılması amacıyla farklı yazılımlardan faydalanmıştır. Ayrıca su seviyesinin zamana karşı noktasal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla matlab yazılımı içerisinde elde edilen görüntüleri sayısal verilere dönüştürebilecek bir kod dizisi yazılmıştır. Ayrıca videoların fotoğraf haline getirilmesi, toplu halde görüntü işlemlerinin (batch processing) yapılabilmesi amacıyla bazı basit yardımcı programlardan da yararlanılmıştır.

4.3. Görüntü İşleme ve Analizi

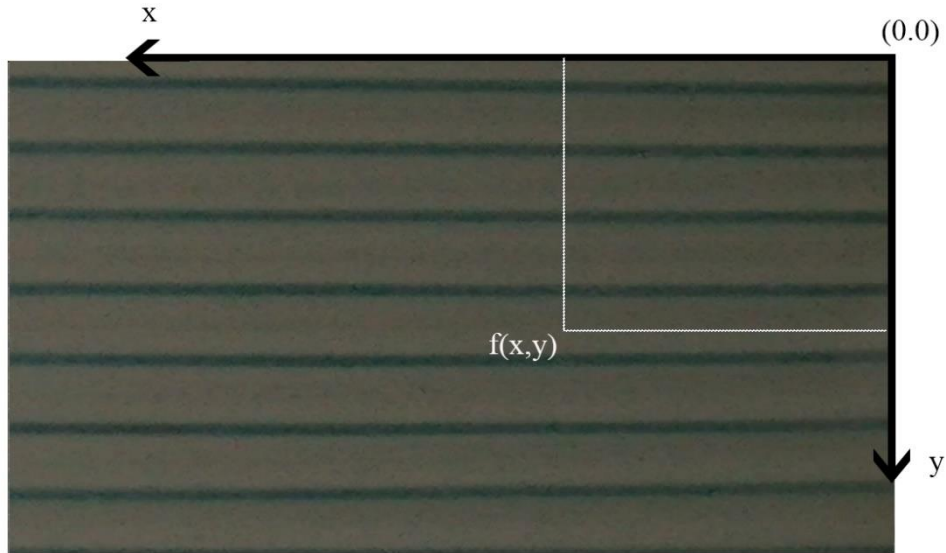
4.3.1. Görüntünün Tanımlanması ve Modellenmesi

Sayısal imajlar , her biri farklı birer renk değeri oluşturan küçük ve çok sayıda hücrenin bir matrisi dizisi şeklinde bir araya gelmesiyle oluşabilmektedir. Görüntülerin temeli olarak adlandırılan hücreler piksel olarak adlandırılmakta ve genellikle kare şeklindedirler (Şekil 4.1). Bu matris ele alınırsa her pikselin temel olarak iki özelliği söz konusudur. Biri matristeki konumu iken diğeri ise ışık hassasiyetidir. Bu özellikleri ile görüntü incelenirse iki boyulu bir $f(x,y)$ fonksiyonu tanımlandığı görülmektedir (Şekil 4.2). Ekranın sağ üst köşesinde bulunan piksel , koordinat sisteminin varsayılan başlangıç noktasıdır. Bu piksel koordinat olarak (0,0)'dır. Başlangıç koordinatları daha sonra istenildiği durumda enterpolasyonlar kullanılarak değiştirilebilmektedir.

1920x1080 çözünürlük değerine sahip bir kamera düşünülürse , bu durumda elde edilen görüntü x değeri olarak 1920 , y değerinde ise 1080 piksel değerine kadar değerler alabilmektedir.



Şekil 4.2. Matris olarak görüntünün temsil edilmesi



Şekil 4.3. Bir f fonksiyonu olarak görüntünün temsil edilmesi

İmajlarda gri değer aralıkları : $G=\{0.1.2....255\}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu gri tonlu bir görüntüde 256 farklı değerde gri ton değerinin olabildiği anlamına gelmektedir. 255 gri değeri beyaz renge karşılık gelirken 0 gri değeri ise siyaha karşılık gelmektedir.

Donanım sınırlandırmalarının sebebiyet verdiği durumlara göre gri seviyesi genel olarak ikinin kuvvetleri olarak belirlenmektedir. Bu duruma örnek vermek gerekirse 8- bit (28) olmaktadır.

Renkli görüntüler ise bilgisayar ortamlarında 24-bit veriler olarak görüntülenmektedir. RGB yani kırmızı, yeşil, mavi olarak filtrelenmiş üç gri düzeyli görüntünün üst üste eklenmesiyle görüntü oluşmaktadır.

Sonuç olarak bir görüntüdeki rengi değiştirebilmek için ilk parametre rengin paletteki sıra numarası (RGB sırası) ve ikinci parametre de rengi oluşturmak için kullanılacak R,G,B değerlerinin karışım oranıdır.

Sayısal bir görüntünün kalitesini en çok etkileyen özellikler

- görüntüdeki renk sayısı,
- görüntüdeki piksel sayısı başka bir ifade ile çözünürlüğüdür.

Bir görüntüdeki renk sayısı ne kadar fazla ise, görüntüde o kadar çok detay var demektir ve bu da görüntünün daha duyarlı bilgi içermesi anlamına gelir. Renk sayısı azaldıkça görüntüdeki detay sayısı azalmakta, buna bağlı olarak görüntü kalitesi düşmektedir. İnsan gözü en iyi şartlar altında en çok 256 farklı renk tonunu algılamaktadır. Bu nedenle insanın bakışı için görüntüde en çok 256 renk kullanmak yeterli olmaktadır. Ancak, bilgisayarlar 16 milyon ve daha fazla sayıda renk tonlarını oluşturabilmekte ve algılayabilmektedir. Dolayısıyla, görüntü işleme çalışmalarında daha çok renk kullanılarak daha etkili sonuçlar elde edilebilir [36] .

4.3.2. Görüntü İşleme Teknikleri

Dijital bir imaj haline getirilmiş görüntülerin, bir veri , resim olarak işlenerek, o imajın özellik ve görüntüsünün değiştirilmesi ile yeni imajlar oluşturulması işlemine görüntü işleme adı verilebilir. Farklı bir ifadeyle daha kapsamlı bir tanımlama yapmak gerekirse sayısal imajlar elde edildikten sonra , bilgisayar ortamında bunları gürültüden arındırma, aydınlatma sisteminin oluşturduğu yansılardan arındırma , görüntü kalitesini arttırma , görüntü onarımı gibi işlemler uygulanabilir. Sayısal imajlar üzerinde yapılan bu düzeltmelerin hepsine genel anlamda görüntü işleme adı verilmektedir. Görüntü iyileştirme (image enhancement), görüntü süzgeçleme ve onarma (image filtering and restoration), görüntü sıkıştırma (image compression) görüntüdeki cisimlerin algılanması (pattern recognition), görüntüdeki cisimlerin özelliklerinin çıkarılması (feature extraction), görüntüdeki cisimlerin

sınırlarının belirlenmesi (edge detection, line tracing), vb. daha birçok görüntü işleme uygulaması vardır [37].

Eşikleme tekniği ile değişik gri seviyelerine sahip imajlar ikili sayı sistemine yani; 1 ve 0 değerlerine dönüştürülür .Eşikleme işlemi yapılırken belirli bir eşik değeri olmalıdır. Bu değerin üstündeki ilgili piksele 1, diğerlerine ise 0 değeri atanır.

Bölümleme işlemiyle görüntrüde belirlenen renkler görsel olarak ayıklanabilir daha sonra gerekirse netleştirme işlemi yapılabilir veya tüm imajdan ayrıştırılabilir.Bölümleme tekniği ile farklı nesne veya parçaların ayrımı sağlanabilirken bunların arka plandaki görüntüden temizlenmesi sağlanabilir.

Kontrast iyileştirme tekniği ile görüntü parlaklık ve kontrast ayarı yanında yeşil ve kırmızı renklere ait kontrast ayarlamaları ile yapılabilir. Görüntü restorasyonu için geliştirilen algoritmalar ile bilinen nedenlerden zarar görmüş olan imajda düzeltmelerin yapılması amaçlanmaktadır.

Görüntü işleme durumlarında filtreler çok büyük önem arz etmektedir. Filtreleme teknikleri frekans yada uzaysal ortamda gerçekleşmektedir. Uzaysal ortam piksellerin topluluğunu ifade eder ve bu metodlar doğrudan pikseller üzerinde yapılan işlemleri tanımlamaktadır.

Alçak geçirgen filtre ile büyük ve homojen alanlar belirginleştirilirken detaylar azaltılarak imajda sadeleştirmeler yapılmaktadır. Tam tersi durumda yüksek geçiren filtre ile ise küçük detayların keskinleştirilmesi, belirginleştirilmesi için kullanılmaktadır.

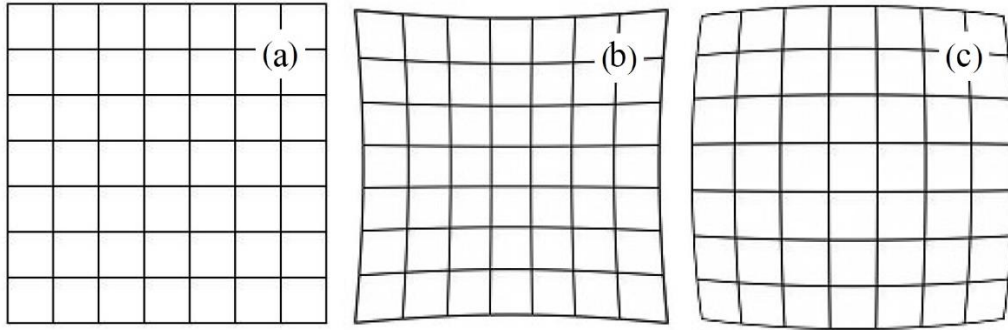
Sonuç olarak imajı tanımlayan pikseller konumları ve gri seviyeleriyle tanımlanabilmektedir. Bu görüntü şekil 4.1’de matris formuna sahip olarak görülmektedir. Aslında tam manasıyla matematiksel işlemler olan filtre ve algoritmalar görüntü üzerindeki matriste çeşitli işlemleri gerçekleştirmeye yönelik matematiksel ifadeler olarak da ortaya çıkmaktadır. Bu işlemler sonrasında istenilen yeni görüntüler elde edilir.

4.4. Kalibrasyonlar

Optik elemanlı elektronik bir görüntüleme sistemi olan dijital kamera, sadecedüşük veya yüksek çözünürlüklü olması nedeniyle değil aynı zamanda mercek bozulması (lens

distortion), algılayıcı (sensör) düzleminin deformasyonu ve elektronik transfer hataları gibi görüntülerin metrik kalitesini etkileyen bir takım sistematik bozulmalardan etkilenmektedir. Sonuçta görüntüleri metrik anlamda kullanılabilir hale getirmek için, söz konusu sistematik hataların belirlenmesi, modellenmesi ve düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlem kalibrasyon olarak adlandırılmaktadır. Dijital kameralar ile elde edilen sayısal görüntülerdeki bozulmalar, bilgisayarlar yardımıyla mevcut algoritma ve yazılımlarla düzeltilebilmektedir [38] .

Optik bozulmalara kamera elemanlarının görüntüleme elemanlarının fiziksel yapıları sebep olmakta ve görüntü düzleminde görüntü noktasal konumunda meydana gelen değişikliklerden oluşmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.4. Görüntülerde oluşan gelen açısız bozulmalar a) asıl görüntü b) iç bükey

İstenmeyen görüntü bozulmalarını engellemek için düzlemsel görüntü veren bunun yanında oldukça yüksek fiyatlara sahip lensler bulunmaktadır. Bu durumla birlikte mercek sisteminde kullanılan cam temelli malzemenin kusursuz işlenip homojen bir dağılıma sahip olması ya da birden fazla sayıda mercekli lenslerin aynı eksene kusursuz yerleştirilmesi mümkün olmadığından her mercekli sistemde az ya da çok bozulma bulunmaktadır. Çeşitli bilgisayar yüksek hesaplama gerektiren işlemlerle düzeltilmesi sağlanabilen bu durumlarda iç yöneltme parametrelerinin (çarpıklık, düzeltme katsayısı, merkez noktası) bilinmesi yeterli olabilmektedir.

4.4.1. Görüntünün Açısız Kalibrasyonu

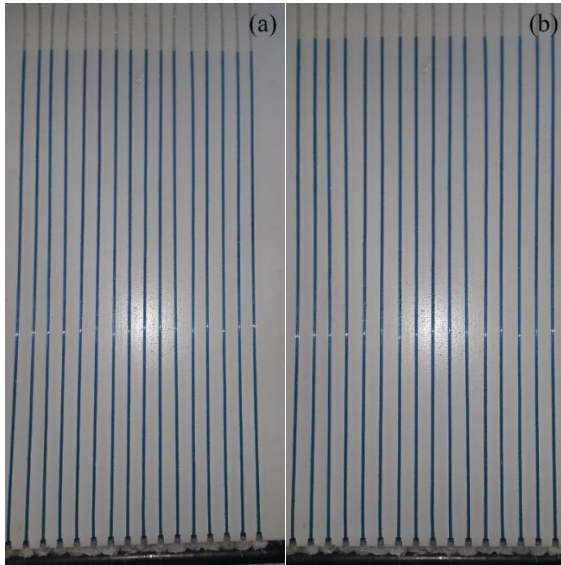
Görüntüler üzerinde ölçüsel okumaların yapılabilmesi için mercek kaynaklı dış bükey yada iç bükey durumların ortadan kaldırılması ve düzlemsel bir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için Matlab araç kutularından “Camera Calibration Toolbox”

kullanımı oldukça yaygın olan bir uygulamadır. Kamera parametreleri hassas bir şekilde kayıt altına alındıktan sonra program tarafından gerekli hesaplamalar yapılarak kolaylıkla düzeltilebilmektedir.

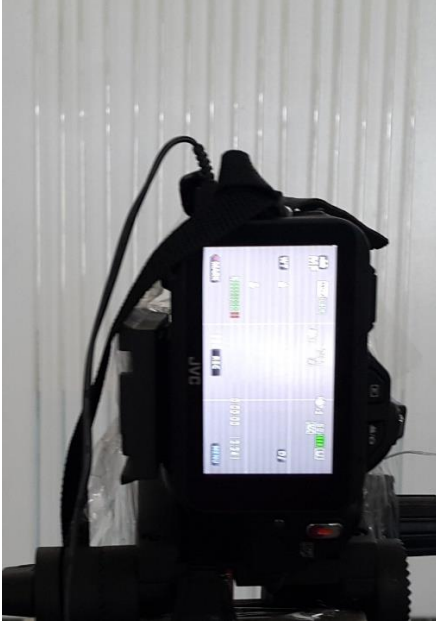
Bir kere kamera parametreleri elde edildikten sonra lens odak uzaklığı değişmediği surette o kamera için tüm görüntülerin düzeltilmesinde kullanılabilmektedir.

4.4.2. Perspektif Kalibrasyon

Kameraların tablo düzlemine dik olmaması ya da en azından tüm borulara dik açıyla bakmaması durumunda perspektif bir görüntü oluşmaktadır. Bu durumda su seviyesinin her yerde aynı olduğu durumda bile yakın kısımlarda daha farklı uzak kısımlarda daha farklı görünmektedir(Şekil4.4). Bu durum için kameranın kendi üzerinde bulunan Gridler ve kalibrasyon ayarları yardımıyla düzenlenmiş olup (Şekil 4.5) kamera ve nesne arasında çeşitli ayarlamalar sonucu görüntü veri eldesi için uygun duruma getirilmiştir.



Şekil 4.5. Görüntü perspektif kalibrasyonu a) Kalibre edilmemiş görüntü b) Kalibrasyon sonrası görüntü



Şekil 4.6. Gridler yardımıyla perspektif kalibrasyon yapılması

4.4.3. Metrik Kalibrasyon

Dijital imajlar en küçük hücresel yapıları olan imajlardan oluşmaktadır. Çözünürlükleri aynı olan iki görüntüden biri bir mikroskop görüntüsü iken diğeri bir harita olabilmektedir. Piksellerle ifade edilen görüntülerde gerçek metrik ifadelerin belirlenebilmesi için bu piksel değerlerde referans metrik öğeler bulunmalı ve bunlara bağlı dönüşümler yapılmalıdır. Bu işlem basit bir doğru orantıdan başka bir şey değildir aslında. Örnek vermek gerekirse 100 cm uzunluğundaki referans arasında 500 piksel var ise $100/500=0.2$ cm/piksel'dir. Görüntüdeki bu temel oran bilinirse görüntü üzerinde ölçüm işlemleri birçok görüntü işleme yazılımıyla kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Yapılan çalışmada, tablo yan yüzeyine yapıştırılan 132 cm uzunluğundaki bir mezura referanslama işlemi için kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.7. Referanslama için kullanılan mezura

4.4.4. Hata Oranı

Yapılan çalışmada , deney düzeneği boyalı su ile doldurularak durgun haldeki su yükseklikleri çıplak gözle cetvel kullanılarak ölçülmüş ve daha sonra ilk karedeki yazılımdan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucu görüntülerden elde edilen değerler ile çıplak okumalar arasında hata durumunun $\pm 2-3$ mm olduğu görülmüştür.

Kameradan elde edilen görüntü ışık ve yansıma problemleri nedeniyle çeşitli filtrelerden geçirilmişse olsa zamana bağlı parlama durumlarının olduğu bölgelerde yüksekliğe temel teşkil eden sütunda kopmalar gözlemlendiği ve bu durumda hatalı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu durum sonrası çapraz polarize filtrasyon uygulanıp görüntülerden elde edilen değerlerdeki hata oranı minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

4.5. Zamana Bağlı Basınc Değişimlerinin Görüntüleme Tekniği ile Ölçülmesi

Su darbesi olayının boru boyunca farklı noktalarda değişimi ilk defa dijital video görüntüler kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla çalışmada kullanılan Matlab programının

içerisinde hazır bulunan filtre ve çeşitli tanımlama fonksiyonlarından faydalanılarak bir kod geliştirilmiştir. Temel olarak görüntü üzerinde ölçülmesi istenen bölge boru sayısı olan 16'ya bölünmüştür. Görüntüdeki arka plan kirliliğinden kurtulmak amaçlı mercek durumuna bağlı görüntü yatay olarak çevrilmiş ve girişe boş olan değerlerde ölçüm yapılması için bir ofset tanımlaması yapılmıştır.

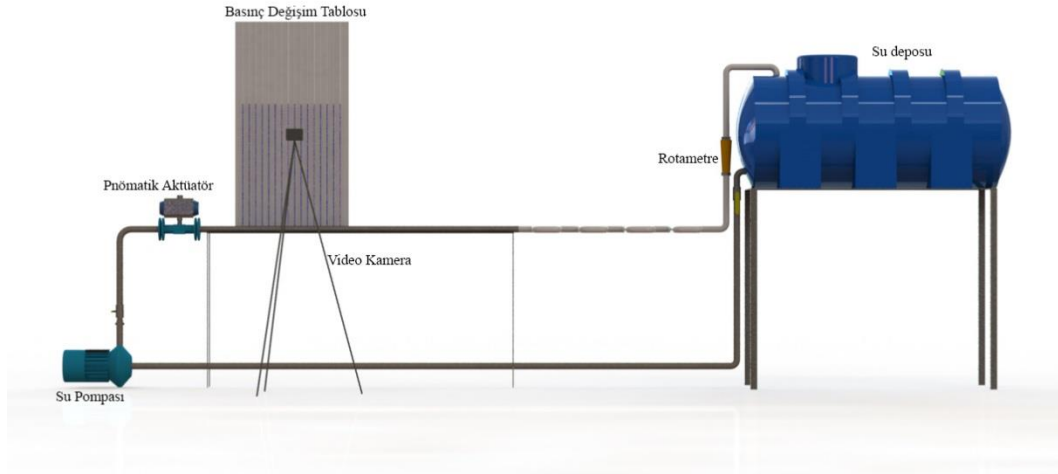
Sanal seviye ölçer ile basınç ölçüm tekniğindeki temel mantık, belirlenen 16 bölge içerisinde kalan alan videonun kare sayısına bağlı olarak her fotoğrafta mavi kanala ayrılıp sola doğru en son pikselin değerinin belirlenmesi ve bunun kare sayısı ve zamana bağlı olarak bir excel çizelgesine kaydedilmesi daha sonra piksel/gerçek mesafe oranlarıyla çarpılıp zamana bağlı değişimin oluşturulması ilkesine dayanmaktadır.

5. MATERYAL VE METOD

Deney düzeneğinde, pompa ,çeşitli vanalar bağlantı elemanları ,borular ve depo gibi klasik tip su tesisatında bulunan kullanılmıştır. Basınç değişimini kamera ile görüntüleyebilmek amacıyla değişik renklerde gıda boyaları kullanılmış olup en iyi görüntünün sağlandığı, mavi renk tercih edilmiş ve deneyler yapılmıştır. Deney sisteminde pompanın elektriğinin aniden kesilmesi durumunun canlandırılması anahtarın kapatılması ve ilgili prizdeki elektriğin kesilmesiyle denenmiştir. Ayrıca sistemde vana kapatılması durumunun her deneyde aynı şartlarda sağlanabilmesi amacıyla sistemde bulunan küresel vana pnomatik bir aktüatör tarafından açılıp kapatılmaktadır.

5.1. Deney Düzeneği

Su darbesi olayının akış görselleştirme yöntemiyle incelenmesi için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği akışkanlar mekaniği laboratuvarına kurulan deney düzeneğinden faydalanılmıştır. Deney düzeneği pompa , tesisat bütünlüğünü sağlayan boru hattı vanalar pnömatik aktüatör, kompresör ,iki adet video kamera ile debi ölçüm için kullanılacak bir rotametreden oluşmaktadır.



Şekil 5.1. Deney düzeneği katı modeli

5.1.1. Su pompası

Deney düzeneğinde 1.1 kW 220 v bir santrifüj pompa kullanılmıştır. Sistemde kullanılan suyun enerjilendirilmesi amacıyla kullanılan pompa ayrıca sistemde elektriğin aniden kesilmesi parametresinde de temel eleman olarak kullanılmıştır. Pompa görseli Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deneyde kullanılan su pompası

Tablo 5.1. Pompa teknik özellikleri

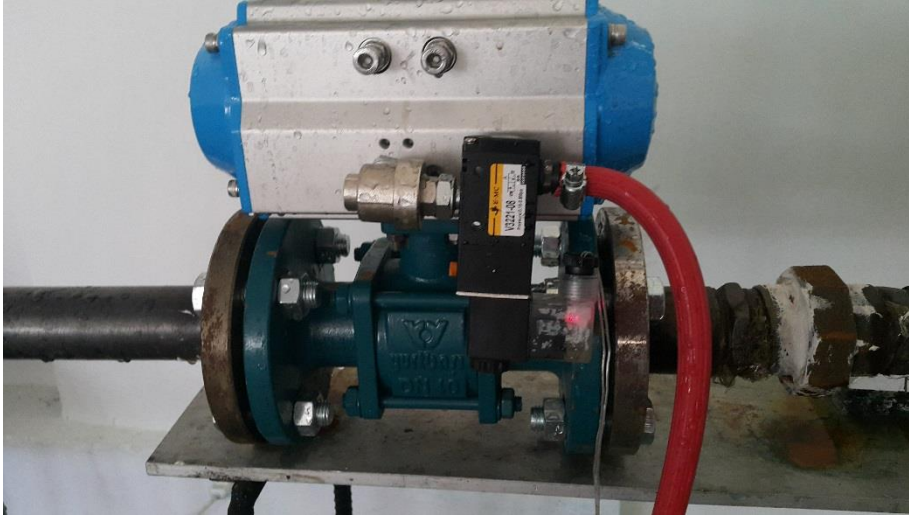
POMPA							MOTOR				
TİP	KW	HP	V	Hz	A	d/d	Emiş m	GİRİŞ ÇIKIŞ	W mm	L mm	H mm
SM150	1.1	1.5	220	50	6.3	2450	6	1 1/2	190	320	253

5.1.2. Pnömatik Aktüatör

Deney düzeneğinde vananın açılıp kapanması durumunun tüm deneyler için eşit zaman dilimlerinde gerçekleştirilebilmesi için sisteme bir adet pnömatik aktüatör ilave edilmiştir. Sisteme entegre 10 adet yay vasıtasıyla tek etkili olarak açma kapama işlemleri aktüatör vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Açma kapama işlemlerinin göreceli olarak elektrikli tip aktüatörlerden daha hızlı gerçekleştirilebildiği için Duravis marka aşağıda teknik özellikleri bulunan aktüatör seçilmiştir. Aktüatör görseli Şekil 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.2. Aktüatör teknik özellikleri

Ürün Kodu	PAR-088X90SR-17F0507
Fonksiyon	Tek Etkili
Aktüatör Ölçü	88
Tork Değeri (6 bar da)	40,6 Nm
Mil Karesi	17 mm
Flanş Bağlantı	f05/07



Şekil 5.3. Pnömatik aktüatör

5.1.3. Solenoid Vana

Şekil 5.3 te görülen solenoid vana aktüatör ve kompresör arasında yönlendirme elemanı olarak kullanılmıştır. Sistemde kullanılan vana emc marka olup 3 girişli iki pozisyonlu bir valftir. 0.15 ve 0.8Mpa aralıklarında çalışan valf 12 vdc ile tahrik edilmektedir.



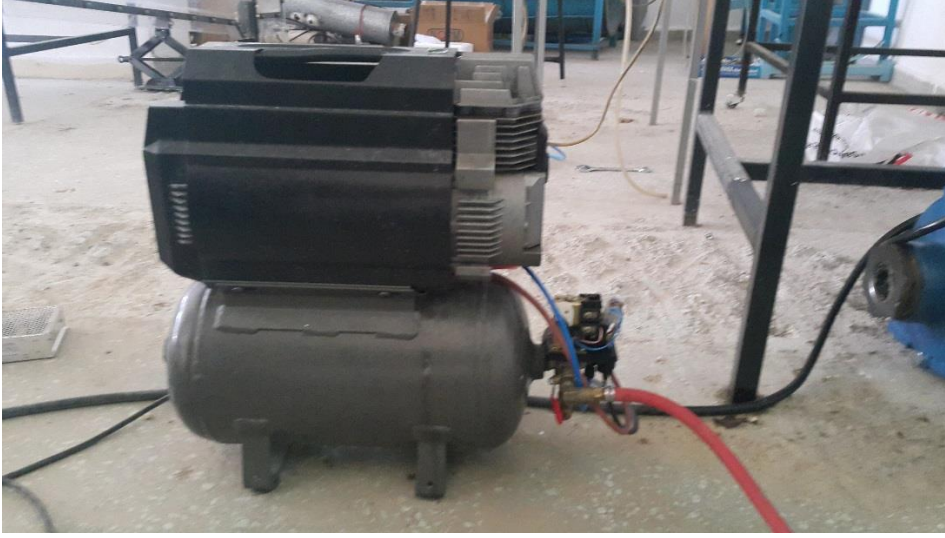
Şekil 5.4. Solenoid yönlendirme valfi

5.1.4. Kompresör

Sistemde pnömatik aktüatörün açılıp kapanması işlemleri için kullanılan kompresör. Sistem solenoid vana ve pnömatik aktüatörde kullanılacak havanın transfer ve enerjilendirilmesi durumlarını gerçekleştirmektedir. Kompresöre ait görsel ve teknik detaylar aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.3. Kompresör teknik özellikleri

Motor gücü	2.5 Hp
Maksimum çalışma basıncı	8 Bar
Emme kapasitesi	180 lt/dk
Silindir sayısı	1
Devir	2850 d/dk
Voltaj	230v - 50Hz
Ağırlık	46 Kg



Şekil 5.5. Deney düzeneğinde kullanılan kompresör

5.1.5. Rotametre

Borudan geçensuyun debisini ölçmek, dolayısıyla akış hızını belirlemek için kullanılmaktadır. 0.5 ile 5 m³/h aralığında ölçüm yapabilen rotametre deneyler sırasında yaklaşık olarak belirlenen debi aralığına göre seçilmiş olup ekonomik ve gerekli hassasiyette ölçüm yapabiliyor olması tercih edilmesinin sebepleri arasındadır. Aşağıda sistemde kullanılan rotametreye ait görsel ve teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 5.4. Rotametre teknik özellikleri

Akışkan	Su 20 derece
Ölçüm aralığı	0.5-5m ³ /h
Gövde materyali	Trogamid(Polyamid), Polisülfan
Maksimum Basınç	10 bar
Kılavuz çubuk	AISS 304 paslanmaz çelik
Hassasiyet	%3
Boy	230 mm
Bağlantı ölçüsü	3/4 ‘‘



Şekil 5.6. Deney düzeneğinde kullanılan rotametre

5.1.6. Dijital Kameralar

Deney düzeneğinde zamana bağlı değişimin incelenebilmesi amacıyla iki adet dijital video kamera kullanılmıştır. Kameralardan biri basınç tablosundan veri eldesinde kullanılırken ikinci kamera vana açma/kapama sürelerinin tespitinde kullanılmıştır. Kameralara ait teknik özellikler ve görseller aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.5. Birinci kameranın teknik özellikleri

Sensör	1/2.3" 12.8MP Arka aydınlatmalı CMOS sensör
Dokunmatik ekran	3" 460k piksel açılabilir dokunmatik ekran
Çekim modları	
Time lapse özellikleri	1 , 1/2 , 1/5, 1/20 , 1/40, 1/80 fps
Hızlı çekim özellikleri	120, 240, 300 fps 640*360 çözünürlük 420, 600 fps 320*176 çözünürlük
Zoom detayları	10X Optik 19x Dijital zoom



Şekil 5.7. Kamera 1 (Jvc GC px100)

Tablo 5.6. İkinci kameranın teknik özellikleri

Sensör	1/5.8" (3.1mm) back-illuminated Exmor R [®] CMOS Sensor
Dokunmatik ekran	6.7 cm LCD ekran
Çekim modları	Full hd 60p / 1280x730 30p
Zoom detayları	30X Optik 350x Dijital zoom



Şekil 5.8. Kamera 2 (Sony hdr cx-150)

5.1.7. Su Deposu

Pompa tip standart bir tesisat düzeni elemanlarının yansıtılması vede deney düzeneğinde kullanılacak olan boyaların su ile karıştırılabilmesi ve depolanması için

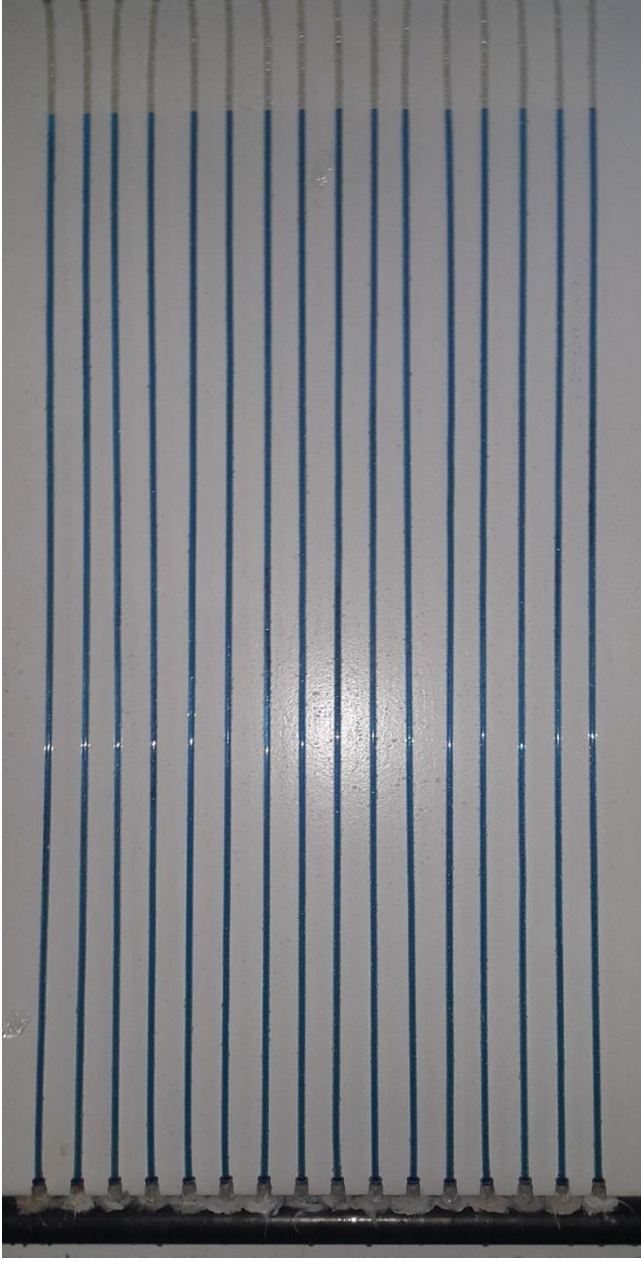
kullanılmıştır. Seçilen su deposu TSE'ye uygun ve yosun tutmaz yapıdadır. 500 lt olan depo altına yerleştirilen kaide ile birlikte sistem su temininde kullanılmıştır. Şekil 5.9 da su deposuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 5.9. Sistemde kullanılan su deposu (500 lt)

5.1.8. Basınç değişim tablosu

Sistemin en temel bileşenlerinden biri olan basınç değişim tablosu akıştaki değişimin gözlenebilmesi amacıyla sistem aktüatörlü vana çıkışın rekor bağlantısı ile ilave edilmiş 1 metre uzunluğundaki boruya montajı yapılmış 16 adet basınç prizi ve bu prizlere pnömatik jaklar yardımı ile sızdırmaz bir şekilde bağlanmış herbiri 135 cm uzunluğunda 16 adet şeffaf pnömatik bağlantı hortumundan oluşmaktadır. Ayrıca bu hortumların sabitlemesi amacıyla 80 cm en ve 140 cm yüksekliğinde tahta plakadan bir sabitleme levhası yapılmıştır. Görüntülerin daha kolay bir şekilde işlenebilmesi ve arkaplan renginden ayrılabilmesi için tahta plaka beyaz renge boyanmıştır. Plaka altına sabit durabilmesi için bir ayak yapılmış olup tesisat temel kaidesine mengeneler yardımıyla monte edilmiştir. Alınan görüntülerde renk farkı yaratmaması amacıyla hortumların bağlantısı tepe noktaya çivi ile çakılarak yapılmıştır. Alt bağlantı noktalarıyla olan aralık ölçülüp gergin bir yapıda durması sağlanmıştır. Aşağıda şekil 5.10 da tabloya ait görsel verilmiştir.

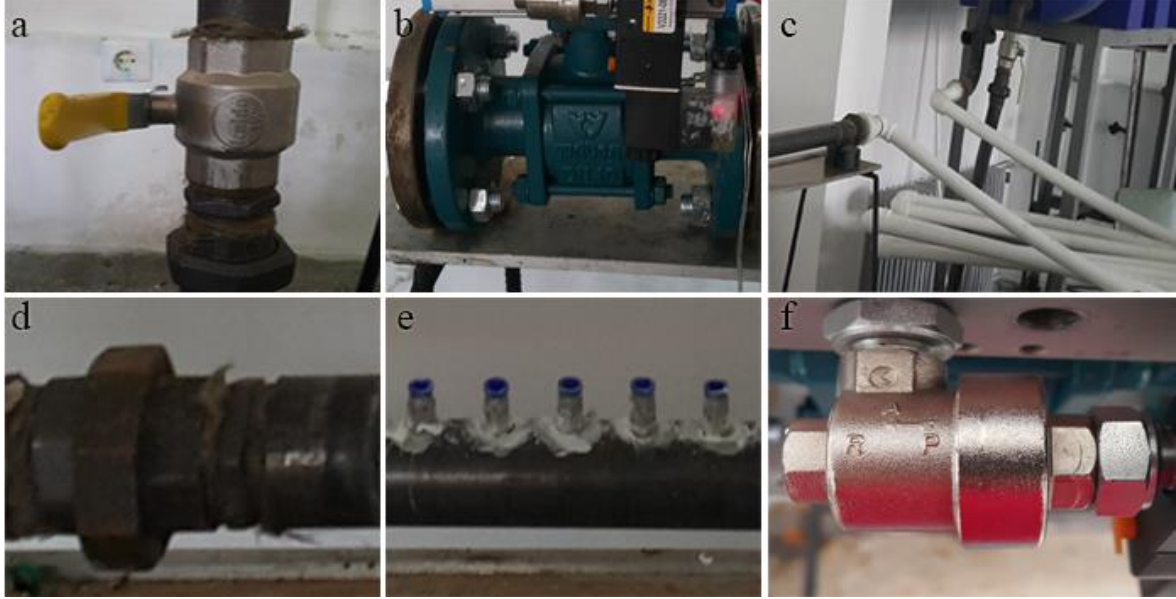


şekil 5.10. Basınç değişim tablosu

5.1.9. Tesisat Elemanları

Sistemde akışkanın pompa depo aralığında ilerleyebilmesi için hat elemanı olarak kullanılan tesisat elemanları plastik ve metal borular, küresel vanalar, fittings elemanları olarak sayılabilir. Sistemde 3 adet küresel vana bulunmaktadır vanalarda biri depo pompa hattı arasında olup depodan tahliye istenmeyen durumlarda kapalı konuma getirilmektedir. Pompa çıkışına bağlı durumda olan küresel vana pompa çıkışının kısılması istenen durumlar için konulmuştur. Ayrıca deneylerde manuel açma kapama işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve parametre olarak değerlendirilebilmesi için tesisata ilave edilmiştir. Üçüncü küresel vana

ise aktüatöre bağlı olması münasebetiyle flanşlı yapıda olup aktüatörün açıp kapatma durumuna bağlı olarak deneyde çeşitli senaryoların gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Sistemde aktüatör hava tahliyesini hızlandırarak vana kapama süresini kısaltma amaçlı bir adet çabuk egzoz valfi kullanılmıştır. Sistemdeki anahat boruları iç çap 40 mm olup plastik boru ve fittings eleman dönüşümleri bu çap referans alınarak yapılmıştır. Tesisat elemanlarına ait şekiller aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.11. Deney düzeneğinde kullanılan tesisat elemanları a küresel vana b) flanşlı tip küresel vana c) tesisatta kullanılan borular d) fittings e) basınç prizlerinde kullanılan pnömatik jaklar f) çabuk egzoz valfi

5.1.10. Tripod

Deney düzeneğinden alınan görüntülerin stabil ve sürekli olarak aynı açı ve uzaklık durumlarından kaydedilmesi amacıyla sistemdeki 1 numaralı kameranın sabitlenmesinde kullanılmıştır. Sistemde kullanılan tripod Diat marka olup örümcek ayak stilinde bir tripoddur. Maksimum bağlantı yüksekliğinin 157 cm olduğu tripod üzerinde kalibrasyon işlemlerinde kullanılmak üzere iki adet su terazisi bulunmaktadır. Kullanılan tripod görseli şekil 5.11 de verilmiştir.



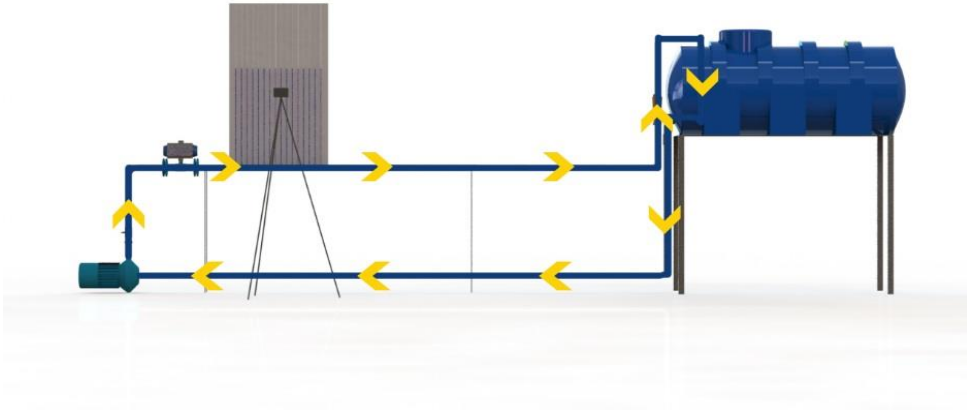
Şekil 5.12. Sistemde kullanılan tripod

5.2. Deneylerin Yapılışı

Deney süreci temel olarak incelendiğinde üç ana bölümden oluştuğu görülmektedir. Bu bölümler;

- Hazırlık ve standart tesisat akış süreci
- Senaryo bazlı akışa müdahale durumu
- Görüntülerin eldesi olarak ayrıştırılabilir.

Tesisat akış sürecinde pompa yardımıyla depodan alınan su , borular içerisinde tesisat ana hattında hareket etmekte ve sürekli devir durumunda bulunmaktadır.



Şekil 5.13. Standart tesisat akış süreci şematik gösterim

5.2.1. Hazırlık ve Standart Tesisat Akış Süreci

Hazırlık sürecinde deneyler yapılmadan depodaki su kontrol edilmekte pas toz kir vb. durumların önüne geçmek amacıyla gerekli durumlarda su değiştirilmektedir. Deney düzeneğinin yapıldığı laboratuvar ortamında şebekeden temin edilen su yoğun kireç oranı nedeniyle su berraklaştırıcı kimyasallar ile daha berrak hale getirilmektedir.

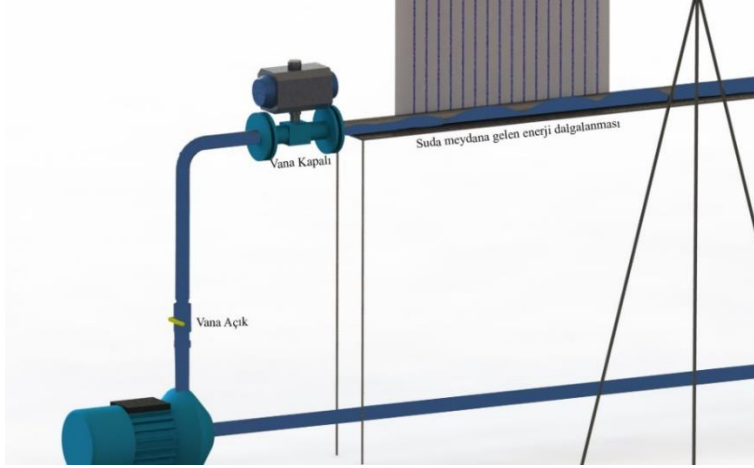
Bu işlemin hemen ardından deney düzeneğinde kullanılan suyun alınacak görüntülerde ayırt edilebilirliğini artırma amacıyla gıda boyasıyla renklendirme işlemi yapılmaktadır. Deney sisteminde akışkanın renklendirilmesinde KRK marka Brilliant Blue renk tonunda gıda boyası kullanılmıştır. Karışım oranı olarak 250 litre suya 4.5 gr gıda boyası kullanılmış olup elde edilen renk görüntü ve renk ayırım durumu için yeterli olmaktadır.

5.2.2. Senaryo Bazlı Akışa Müdahale Durumu

Deney sürecinin ikinci kısmında su darbesi fenomeninin incelenebilmesi amaçlı tesisat mevcut akışına çeşitli müdahaleler söz konusu olmaktadır. Tez süresince vana kapama durumuna göre darbe oluşumu ile elektrik kesintisi söz konusu olduğunda görülen darbe durumları incelenmiştir.

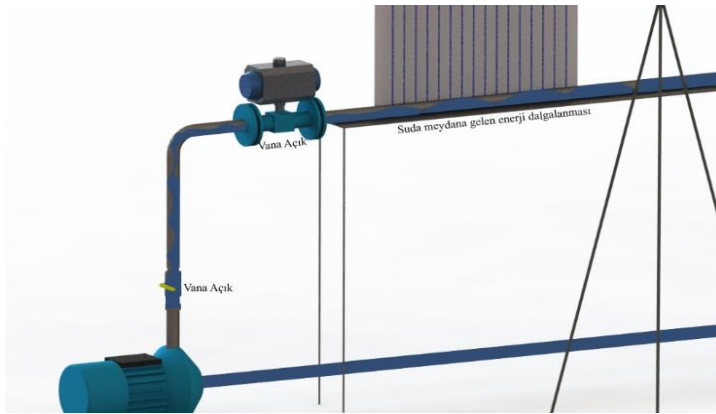
Bir numaralı senaryoda sistem mevcut akışına devam ederken kompresör tarafından beslenen pnömatik aktüatöre havayı yönlendiren solenoid vananın acil durdurma butonu vasıtasıyla yön değiştirmesi, aktüatörden hava tahliyesi ve aktüatördeki yaylar vasıtasıyla

flanşlı tip küresel vananın kapatılması durumu gözlemlenmiştir. Bu durum gerçekleştirilirken rotametre tarafından okunan debi kayıt altına alınmış olup deneyin farklı debi şartlarında gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.14. Vana kapama durumu şematik gösterimi

İki numaralı senaryoda ise sistem mevcut akışına devam ederken sistemi besleyen su pompasının elektriği aniden kesilir pompa sonrasındaki durumda suyun enerjisinde meydana gelen dalgalanma ile su darbesi olayı gerçekleşir. Pompa çıkışından hemen sonra başlayan dalgalanma durumu basınç gözlem tablosu üzerindeki priz konumlarından geçişleri süresince renklendirilmiş suda meydana gelen değişim ile görsel hale getirilmiş olmaktadır.



Şekil 5.15. Pompa elektriğin kesilmesi durumu şematik gösterimi

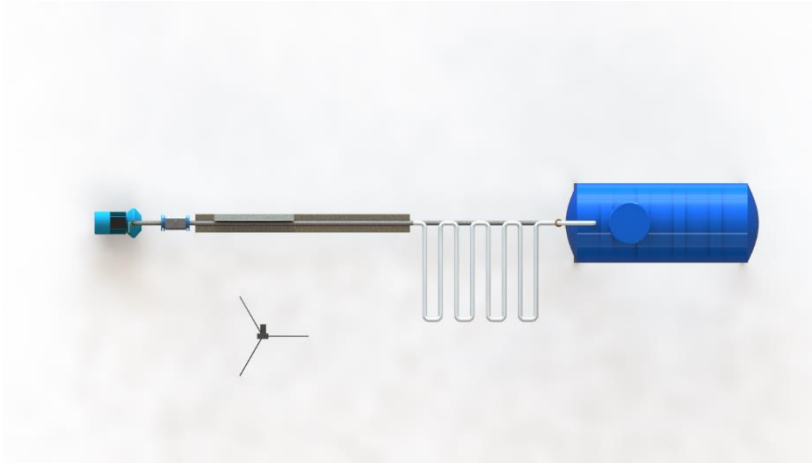
5.2.3. Görüntülerin Eldesi

Sistemde gözlemlenmesi öngörülen senaryolar istenen parametrelerde gerçekleştirilirken , sistem elemanlarından olan kameralar durumları görsel olarak kayıt

altına almaktadır. Bir numaralı kamera basınç gözlem tablosu önüne konuşlandırılmış olup tripod yardımıyla görüntüleri en net ve işlenebilir şekilde kayıt altına alması hedeflenmiştir. Bir numaralı kameranın 25-500 kare/saniye aralığında çekim modlarının değişmesi ile zamana bağlı olarak gözlenen basınç değişim aralıkları düşürülüp veri hassasiyeti arttırılabilmektedir. İki numaralı kamera ise ilk senaryo gerçekleştirilirken flanşlı tip vananın kapanma süresini kayıt ederek kapama tipinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Elde edilen görüntülerde basınç hattının düzgün sütunlar olarak elde edilmesi gerektiğinden şeffaf ve yansımaya durumuna çok müsait boruların karşıdan ışık almasını engellemek için ortamda bulunan perdeler kapatılıp karşıdan ışık alma durumu engellenmiştir.

Çeşitli zaman dilimlerinde bir numaralı kameranın farklı ışık, filtre ve gece modu çekimi gibi durumları denemiş olup en işlenebilir sonuçlar gündüz , gece modu kapalı ve ortam karşıdan direk olarak ışık almayacak şekilde düzenlendiği durumda elde edilmiştir.



Şekil 5.16. Kamera deney düzeneği konum durumu

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada akış görselleştirme ve görüntü işleme metotları kullanılarak , Fırat Üniversitesi akışkanlar mekaniği laboratuvarında kurulan bir deney düzeneği vasıtasıyla su darbesi olayı deneysel olarak incelenmiştir.

Önceki çalışmalar ile su darbesi olayı , akışkanın özgül ağırlığı , malzemenin elastisite ve akışkanın hacim modülü , hat iç çapı ve et kalınlığının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır [41] . Bu beş özellikten birisi olan elastisite modülü malzeme cinsine, bulk modülü ise akışkan özgül ağırlığına bağlı değişmekte olan yayılma hızını etkileyen en önemli parametrelerdendir.

Aşağıda bu çalışmada karşılaştırılması yapılan parametreler Tablo 6,1’de belirtilmektedir.

Tablo 6.1. Deney Değişkenleri

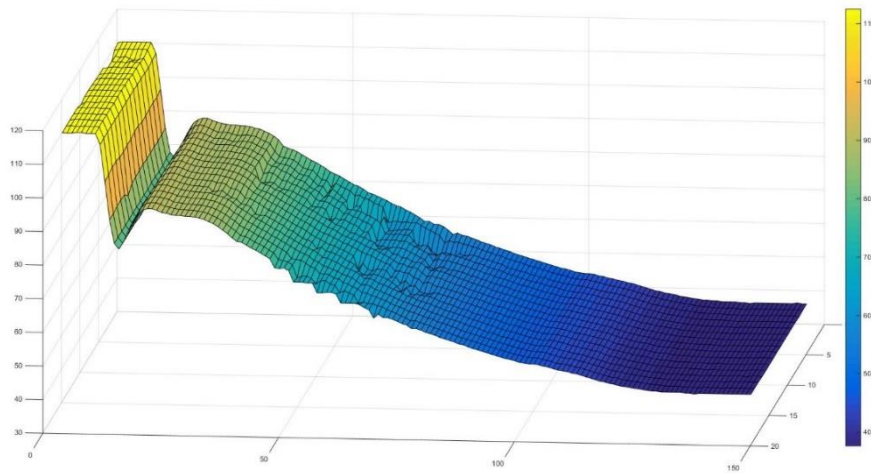
Debi	Senaryo
0.3 m ³ /h	Vana kapama
0.3 m ³ /h	Elektrik kesilmesi
0.5 m ³ /h	Vana kapama
0.5 m ³ /h	Elektrik kesilmesi
0.7 m ³ /h	Vana kapama
0.7 m ³ /h	Elektrik kesilmesi

Matlab programında oluşturulan görüntü işleme algoritması vasıtasıyla;

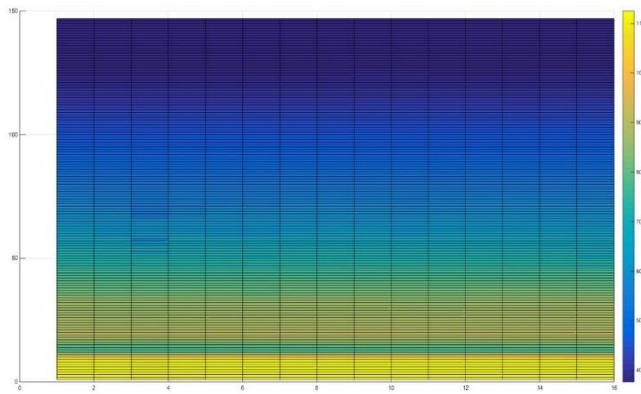
- Deney düzeneğinden elde edilen değerlerin okunabilmesi için video dosyasının okunması sağlanır,
- Video nesne olarak kaydedilir,
- Videodaki kare sayısı alınır,
- Kaç karede bir değer alınacağı belirlenir,
- Değerlerin yazılacağı dizi belirlenir,
- Her kare matris olarak okunur,
- Ayıklanması istenen rengin hangi kırmızı, yeşil ,mavi aralığında olduğu belirlenir,

- Görüntüde köşelerin daha belirginleşmesi ve aralıkların birleştirilmesi amacıyla dilatasyon ve boşluk doldurma işlemleri yapılır,
- İmaj değerlerin alınacağı 16 bölgeye piksel bazlı ayrılır ve bu bölgedeki istenen renkteki son piksel değeri okunup bilinen gerçek mesafe ve piksel arasındaki formüle bağlı çevrim gerçekleştirir ve değerler okunur.

Bu işlemler sonucunda elde edilen 0,3 m³/h debi değerine ait grafikler aşağıda verilmiştir.

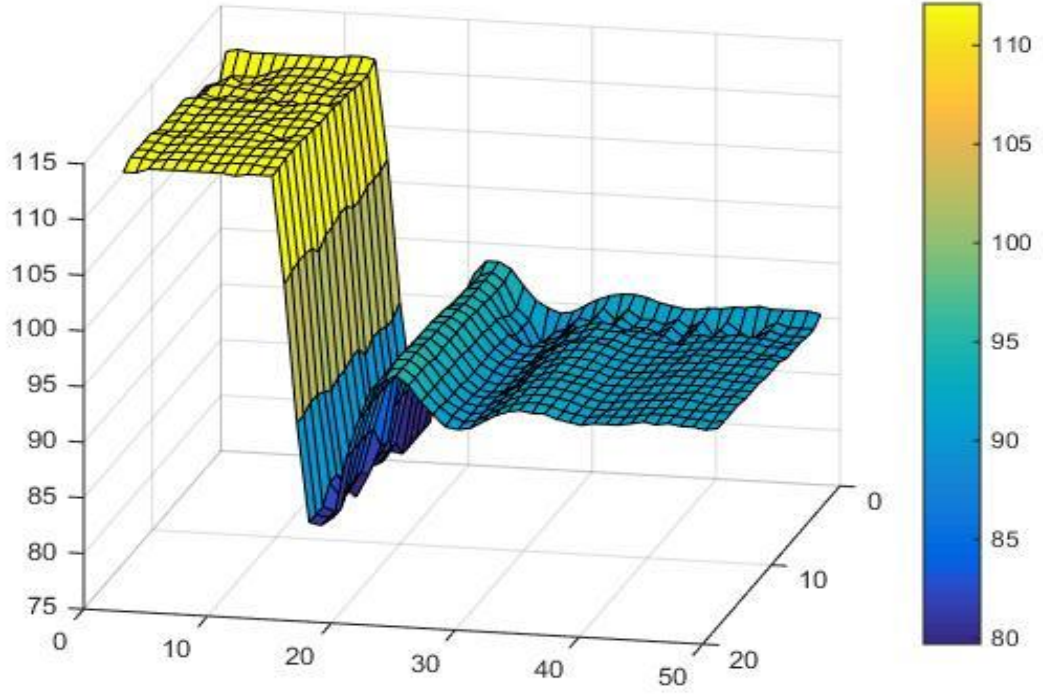


Şekil 6.1. 0.3 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği

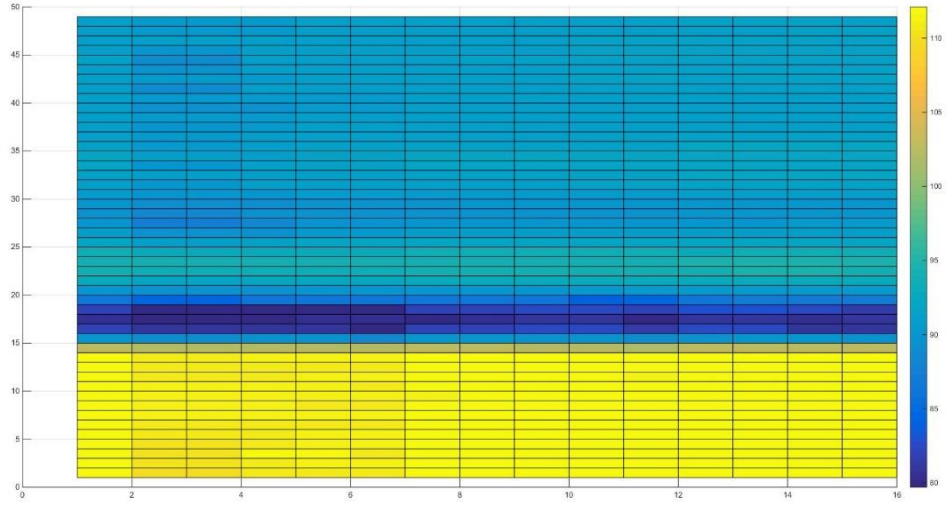


Şekil 6.2. 0.3 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deney düzeneğinde 0.3 m³/h debi değeri için vana kapanması senaryosu sonucunda elde edilen basınç değişim grafikleri şekil 6.3 ve 6.4' te verilmiştir.

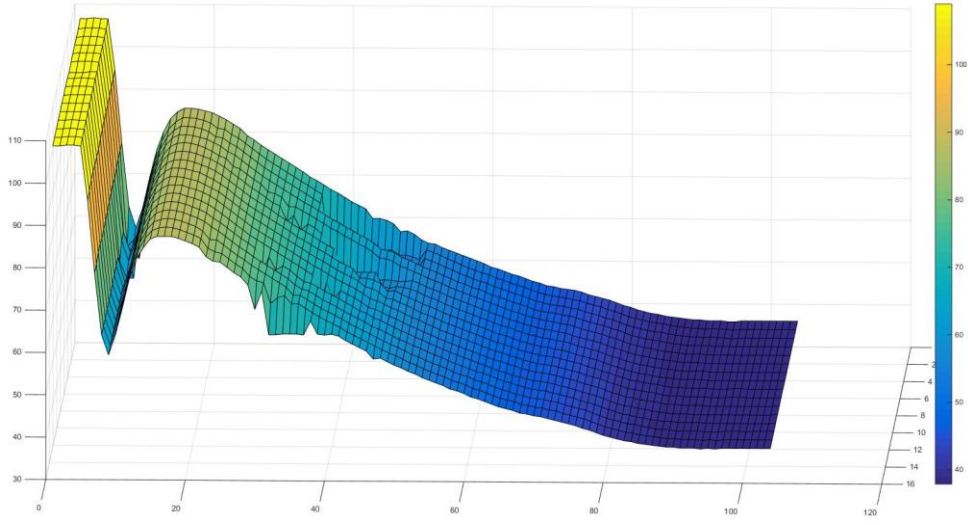


Şekil 6.3. 0.3 m³/h vana kapama senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği

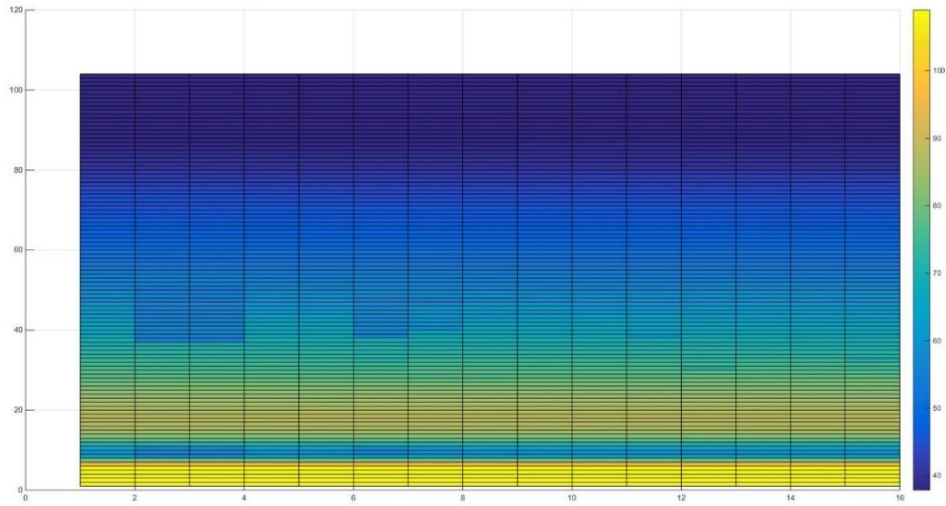


Şekil 6.4. 0.3 m³/h vana kapama senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deney düzeneğinde 0,5 m³/h debi değeri için elektrik kesilmesi senaryosu sonucunda elde edilen basınç değişim grafikleri şekil 6.5 ve 6.6' da verilmiştir.

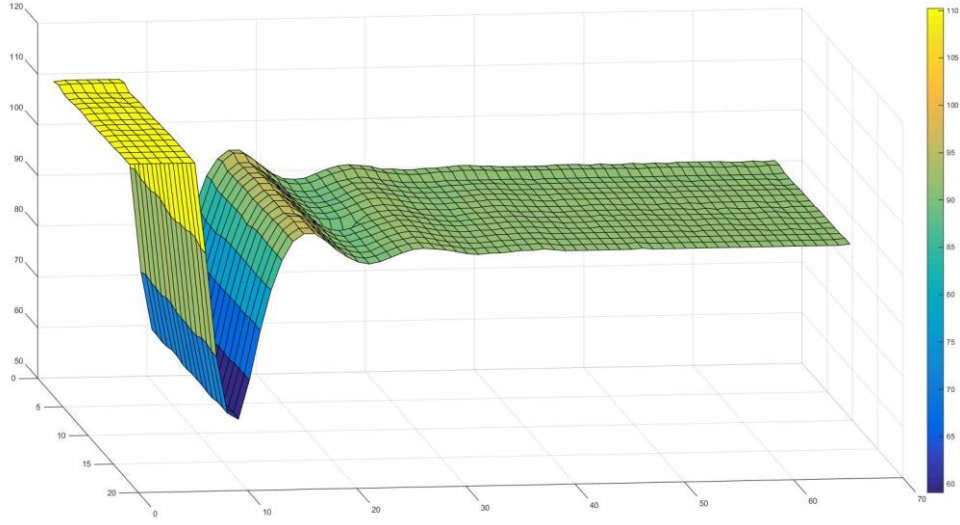


Şekil 6.5. 0.5 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği

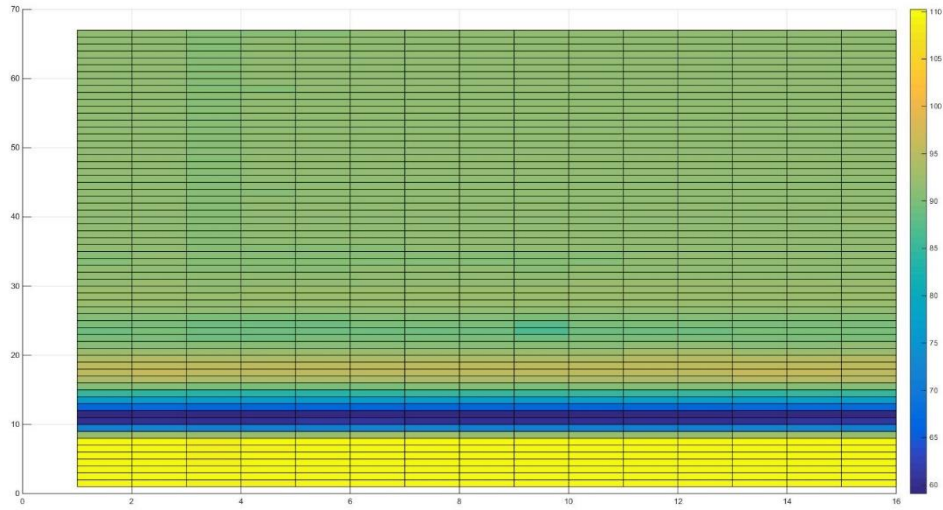


Şekil 6.6. 0.5 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deney düzeneğinde 0.5 m³/h debi değeri için vana kapanması senaryosu sonucunda elde edilen basınç değişim grafikleri şekil 6.7 ve 6.8' de verilmiştir.

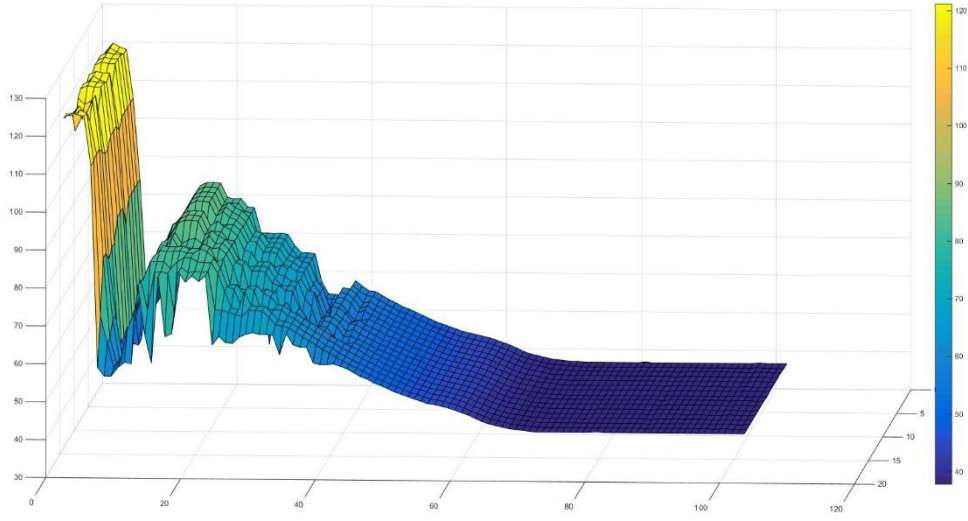


Şekil 6.7. 0.5 m³/h vana kapaması senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği

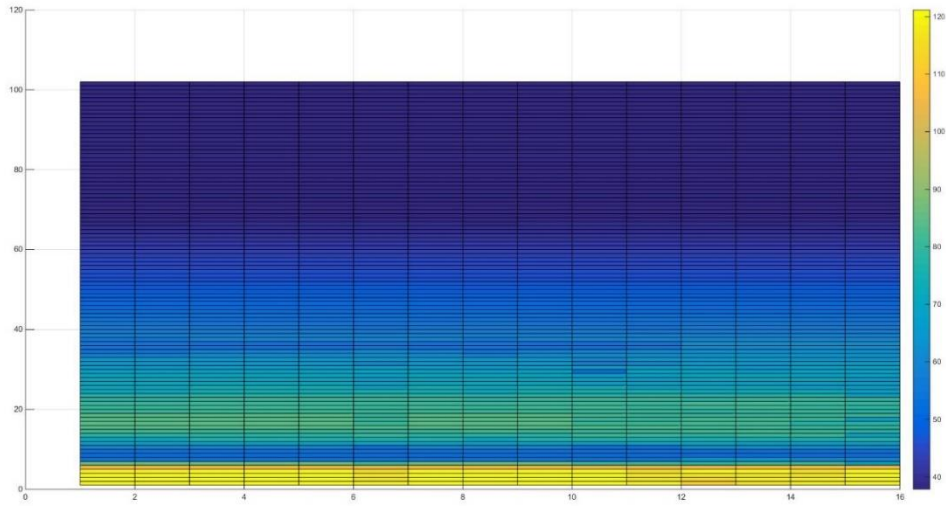


Şekil 6.8. 0.5 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deney düzeneğinde 0.7 m³/h debi değeri için elektrik kesilmesi senaryosu sonucunda elde edilen basınç değişim grafikleri şekil 6.9 ve 6.10' de verilmiştir.

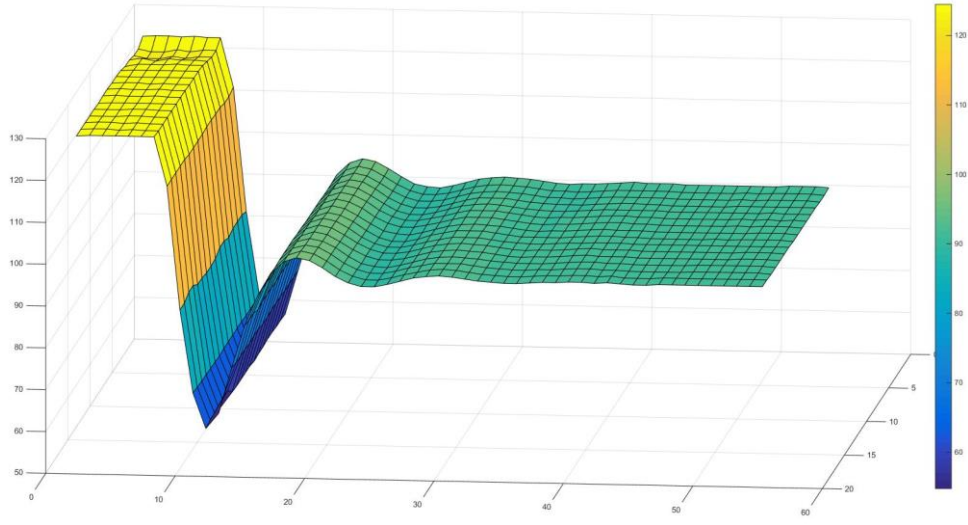


Şekil 6.9. 0.7 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği

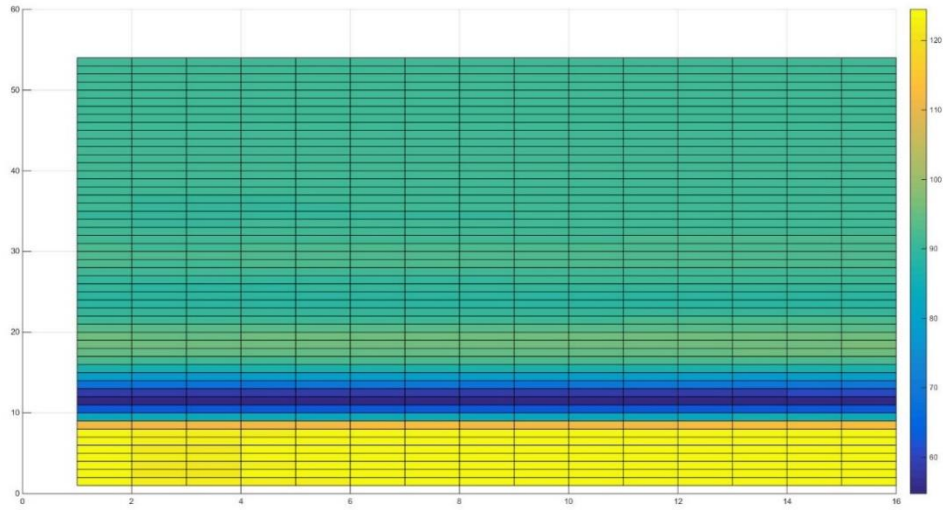


Şekil 6.10. 0.7 m³/h elektrik kesilmesi senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deney düzeneğinde 0.7 m³/h debi değeri için vana kapanması senaryosu sonucunda elde edilen basınç değişim grafikleri şekil 6.11 ve 6.12' de verilmiştir.



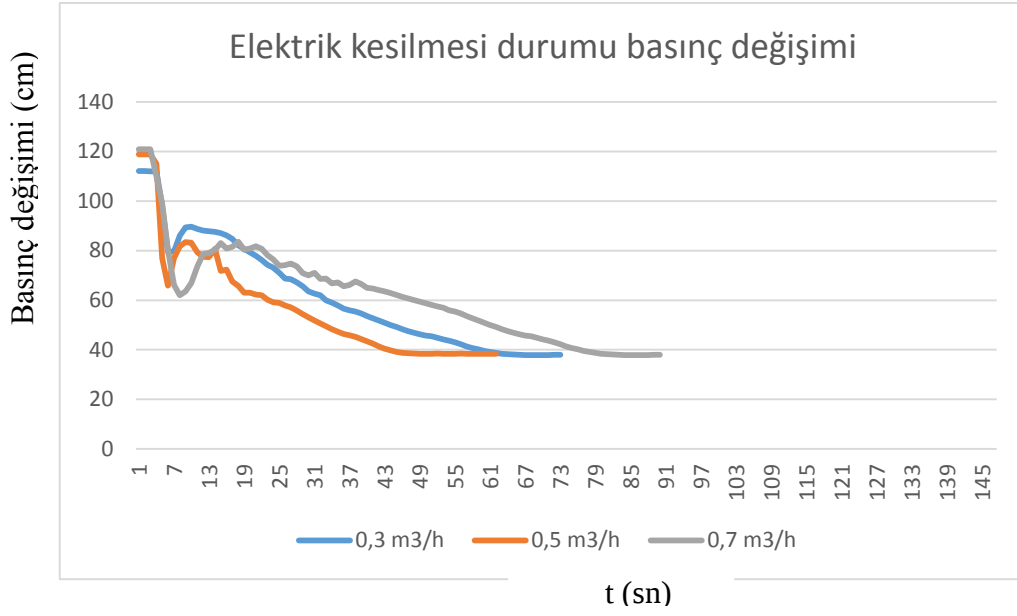
Şekil 6.11. 0.7 m³/h vana kapaması senaryosu 3 boyutlu basınç-zaman değişim grafiği



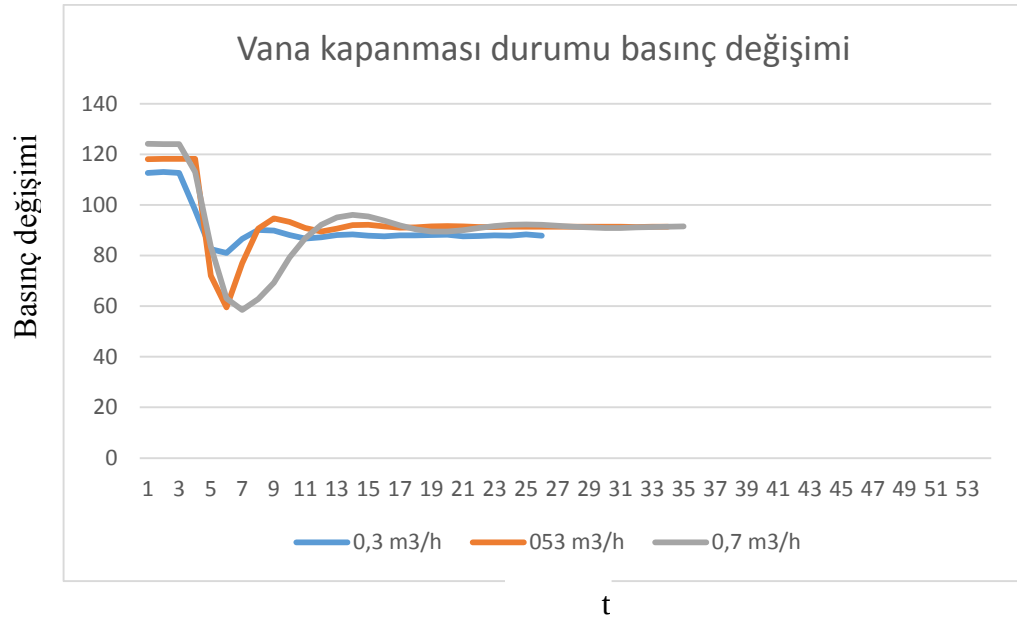
Şekil 6.12. 0.7 m³/h vana kapaması senaryosu basınç-zaman değişim grafiği

Deneylerden elde edilen sonuçların debi , senaryo ve toplu karşılaştırılmaları basınç değişim grafiklerine göre her deney durumu için 16 borunun ortalaması alınarak yapılmıştır.

Şekil 6.13 'te iki senaryo için debi bazlı karşılaştırma durumu görülmektedir.

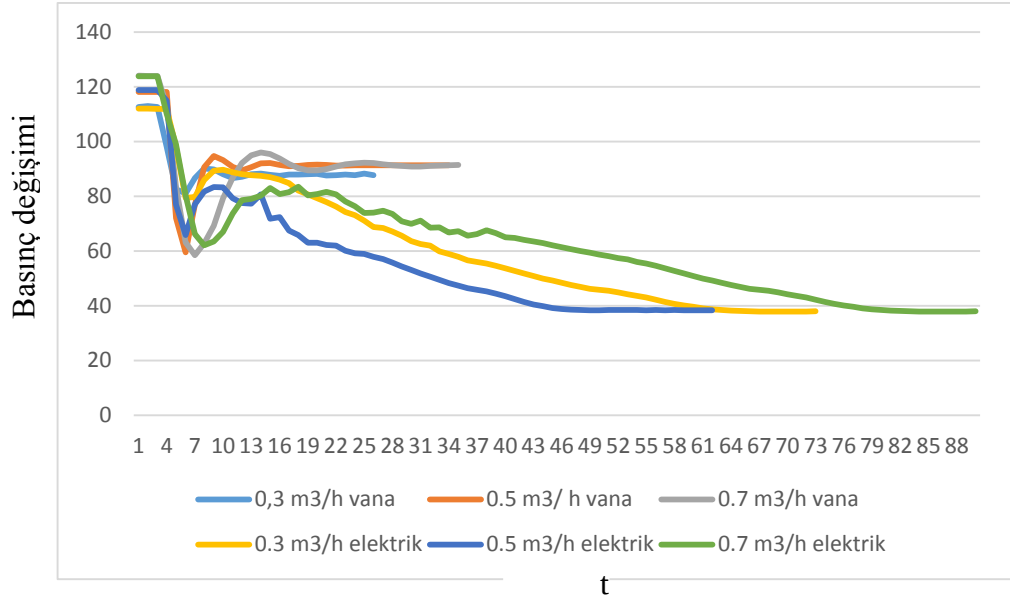


Şekil 6.13. Elektrik kesilmesi senaryosu zamana bağlı basınç değişimi karşılaştırma grafiği



Şekil 6.14. Elektrik kesilmesi senaryosu zamana bağlı basınç değişimi karşılaştırma grafiği

Tüm parametrelerin tek grafik olarak karşılaştırılması şekli 6. 14 'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Tüm değişkenlerin zamana bağlı basınç değişim karşılaştırma grafiği

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, akışkanın hızındaki değişim ve farklı darbe oluşum senaryolarının su darbesine etkisi deneysel olarak incelenmiş olup , görüntü işleme metoduyla sonuçlar elde edilmiştir. Renklendirilmiş su ve şeffaf borular vasıtasıyla darbe oluşumu zamana bağlı görsel bir şekilde incelenmiştir. İlk olarak 0.3, 0.5, ve 0.7 m³/h debi değerlerinde pnömatik aktüatör vasıtasıyla vana kapama durumu için su darbesi olayı gerçekleştirilmiş olup basınç değişim değerleri elde edilmiştir. Daha sonra aynı debi (hız) değerleri için elektrik kesilmesi senaryosu gerçekleştirilip su darbesinin en yüksek ve en alçak basınç değerleri cm su sütunu cinsinden bulunmuş ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalarda vana kapama durumunda , daha yüksek basınç farklarının gözlemlendiği çalkantılara neden olduğu birden fazla defa görülmüştür. Her durum için minimum 10 adet deney yapılarak kayıt edilmiştir. Bu durum ile gerek görüntü işleme alanında yaşanan veri kayıpları gerekse deney düzeneği kaynaklı karşılaşılmaması muhtemel yanlış veri eldesi durumlarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Debideki artış durumları kendi içlerinde incelenip karşılaştırmalar yapıldığında ise; hız artış durumunun doğal sonucu olarak bir enerji dengeleme problemi olan su darbesi olayınında paralel bir şekilde değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

7.2. Öneriler

Bu yüksek lisans çalışmasında görüntü işleme yöntemi kullanılarak su darbesi incelenmiş olup elde edilen basınç değişim sonuçlarına göre darbe etkisini azaltmak için;

- 1) Borudaki su hızını küçültmek; bunun için de boru çapını büyütmek;
- 2) Dalga hızı (a) nın değerini küçültmek; bunun için de mümkünse pvc veya polietilen boru kullanmak;
- 3) Motora volan takarak ani durmayı önlemek;
- 4) Hava kazanı (çanı) koymak (en çok kullanılan ve ekonomik yöntemler arasındadır.)
- 5) Hat üzerinde uygun bir yükseklik varsa; denge bacası yapmak,

6) Tesisat hattı başına yükselmede açılan emniyet ventili koymak,

Önlemleri sıralanabilir.

Ayrıca, pompa ile beslenen tesisatlarda genellikle en büyük tehlikenin pompa motorunun elektrik kesintisi veya benzeri olağan dışı bir sebeple aniden durmasıdır. Bu durum çalışmada açıklandığı şekliyle yükselme (artı) ve alçalma (eksi) darbelerine sebep olmaktadır. Meydana gelen bu basınç düşüklükleri neticesinde tesisat hattının herhangi bir konumunda basınç, akışkanın buharlaşma basıncının altına düşerse burada bir buharlaşma olur ve bu durum akışkan kolonunun kopmasıyla sonuçlanır. Daha sonraki dönemde basıncın tekrar artması süresince kopmuş olan kolonların tekrar birleşmesi sonucu çok büyük değerlerde su darbelerine neden olabilmektedir. Bu sebepten boru içinde kavitasyon durumu oluşmaması için mutlaka gerekli önlemler alınmalıdır. Kavitasyon durumunun önlenmesi için ise ;

- Geri tepme ventili yerine kontrollü vana kullanılması,
- Pompaya volan ilave edilmesi,
- Hava kazanı kullanılması,
- Hava subapları ilavesi,

tedbirleri sayılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Parmakian I**, 1953. Waterhammer Analysis, Dover Publacitions
- [2] **Ruus E**, 1977. Charts for Waterhammer in Pipelines with air Chambers, *CanadianJournal of Civil Eng. , 4, 3*, 293-313
- [3] **Kavurmacioğlu L.**, 2009. Boru Hatlarında Su Darbesi Olayı Ve Önleme Çareleri, *9.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İstanbul
- [4] **Menabrea, L. F1885**, Note sur les effects de choc de l'eau dans les conduites, *C. R. Hebd.Seances Acad. Sci. 47*, July-Dec., . 221–224.
- [5] **Michaud, J**, 1878. Coups de be'lier dans les conduites. E' tude des moyens employe's pour en atteneur les effects, *Bull. Soc. Vaudoise Ing. Arch. 4~3*, . 56–64, 65–77.
- [6] **Weston, E. B**, 1885. Description of Some Experiments Made on the Providence, RI Water Works to Ascertain the Force of Water Ram in Pipes, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 14, p. 238.
- [7] **Carpenter, R. C1893**, Experiments on Waterhammer, *Trans.ASME*, 15.
- [8] **Frizell, J. P.**, 1898. Pressures Resulting from Changes of Velocity of Water in Pipes, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 39,1–18.
- [9] **Joukowski, N. E.**, 1898. Memoirs of the Imperial Academy Society of St. Petersburg, 9~5 ~Russian translated by O Simin 1904,*Proc. Amer. Water Works Assoc.* **24**, . 341–424.
- [10] **Gibson, A.H.**, 1908. Water Hammer in Hydraulic Pipelines. Archibald Constable and Co. Ltd., London.
- [11] **Gibson, N.R.**, 1919–1920. Pressures in penstocks caused by gradual closing of turbine gates. Transactions of ASME 83, 707–775.
- [12] **Schnyder, O.**, 1932. Uber Drucksto Xe in Rohrleitungen. (On water hammer in pipe lines.). *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* **27 (5)**,49–54; **27(6)**, 64–70; **27(8)**, 96 (in German).
- [13] **Angus, R.W.**, 1935. Simple graphical solution for pressure rise in pipes and discharge lines. *Journal of the Engineering Institute of Canada* **18 (2)**, 72–81, 264–273.
- [14] **Demirpolat T, A.B., Dağtekin, İ., Eren, H., Düz, H.**, 2013.“Determination of Darcy Friction Factor Using Image Processing Method in Fully Developed Turbulent Flow” *European Conference of Technology and Society*.
- [15] **Parmakian, J.**, 1955. Waterhammer Analysis. Prentice-Hall, New York (Reprint in 1963, Dover Publications, New York)
- [16] **Thibessard, G.**, 1961. La simulation du coup de be'lier sur calculeur nume'rique. (The simulation of water hammer on a numericalcalculator.). In: *Proceedings of the Ninth IAHR Convention, Dubrovnik, Yugoslavia*, pp. 881–890 (in French)
- [17] **Li, W.H.**, 1962. Mechanics of pipe flow following column separation. *ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division*, **88 (4)**,97–118
- [18] **Streeter, V.L.**, 1963. Water hammer analysis with non-linear frictional resistance. In: *Proceedings of the First Australian Conferenceon Hydraulics and Fluid Mechanics*. Pergamon Press, New York
- [19] **Streeter, V.L.**, 1964. Water hammer analysis of pipelines. *ASCE Journal of the Hydraulics Division* **90 (HY4)**, 151–172
- [20] **Streeter, V.L.**, 1965. Computer solution of surge problems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* **80 (3E)**, 62–82.

- [21] **Van De Riet, R.P.**, 1964. A computational method for the water hammer problem. Mathematisch Centrum, Report **TW 95**, Amsterdam, The Netherlands
- [22] **Contractor, D.N.**, 1965. The reflection of water hammer pressure waves from minor losses. *ASME Journal of Basic Engineering* **87**, 445–452.
- [23] **H, Chen, H, Liu, J. Chen, L, Wu.**, 2013. Chebyshev super spectral viscosity method for water hammer analysis, *Propulsion and Power Research*, **2 3**, 201-207
- [24] **Larock, B., Jeppson, R., & Watters, G.**, 2000. *Hydraulics of Pipeline Systems*. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press.
- [25] **Hammer B.**, 2010 V8i Edition User's Guide.
- [26] **Wylie, E. B., Streeter, V. L., Suo, L.**, 1993. *Fluid Transients in Systems*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [27] **Dursun, S.**, 2013. Numerical Investigation if Protection Measures Against Water Hammer in the Yeşilvadi Hydropower Plants. Master thesis, Middle East Technical University, Ankara , Turkey
- [28] **Chaudhry, M. H.**, 1987. *Applied Hydraulic Transients*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Limited.
- [29] **Calamak, M.**, 2010. Investigation of Water Hammer Problems in the Penstocks of Small Hydropower Plants. Unpublished master's thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
- [30] <https://prezi.com/snxri21izwm9/akim-goruntuleme-teknikleri-ve-uygulamaları/> Akış Görüntüleme Teknikleri, 12 Temmuz 2015
- [31] <http://www.seriouswheels.com/1980-1989/1982-1993-Mercedes-Benz-W-201-Series-Wind-Tunnel-2-1280x960.htm> Mercedes Rüzgar Tüneli, 12 Temmuz 2015
- [32] **Karamcheti, K.**, 1966. *Principles of Ideal Fluid Aerodynamics*, John Wiley & Sons, New York
- [33] <https://tr.scribd.com/doc/189166436/Ruzgar-Tuneli-ve-Akis-Goruntuleme-Teknikleri-Hakan-KaykisizliRuzgar-Tuneli-ve-Akis-Goruntuleme-Teknikleri> 13 Temmuz 2015
- [34] **Crowder, J. P., Ed.**, 1995. *Flow Visualization VII, Proceedings of the Seventh International Symposium on Flow Visualization*, Seattle, WA, Eylül 11-14, 1995, Begell House, New York.
- [35] <http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/X-43A/HTML/ED97-43968-1.html>, 12 Temmuz 2015.
- [36] **Doğan (Açıkgöz), R., Doğan , S. ve Banger, G.**, 1999. Raster Görüntüleri Yapısı, Görüntüleme Tekniklerinin Temelleri ve BITMAP Formatı, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, **86**: 61-80.
- [37] **Kocaman, S.**, 2013. Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- [38] **Karlı, F. ve Ayhan E.**, 2005. Orta ve Yüksek Çözünürlüklü Dijital Kameraların Metrik Performanslarının Belirlenmesi TMMOB Harita ve Kadastro Müh. Odası, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- [39] **Topacık D.**, 2000. *Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı*, Lale Ajans Ltd. Şti., İstanbul

EKLER

EK 1. AÇIKLAMALI MATLAB KODLARI

```
%Hafızadaki bütün değişkenleri temizliyoruz
clear all
%Videoyu bir nesneye kaydediyoruz
obj = VideoReader('PIC_0026.MP4');
%Videodaki kare sayısını alıyoruz
nFrames=obj.NumberOfFrames;
%Kaç kerede bir grafik alınacağını belirliyoruz
artim=50;
%Basınç değerlerinin tutulacağı diziyi oluşturuyoruz
basinc=zeros(ceil(nFrames/artim),16);
% genişlik = obj.Width;
% yükseklik = obj.Height;
genislik = 640;
yükseklik = 360;

n=1;
for k=1:artim:nFrames
%Kareyi matris olarak alıyoruz
I=read(obj,k);
%İşlemin daha hızlı yapılabilmesi için boyutlarını ayarlıyoruz
I=imresize(I,[360 640]);
%renk aralığını almak için
%noktaları teker teker tıklayıp, tıklama işi bittikten sonra Enter'a
%basıyoruz. d matrisinin ilk sütunu kırmızı, ikinci yeşil, üçüncü mavi
%rengi veriyor. cikti değişkenindeki aralıkları buna göre belirliyoruz.
%d=impixel(I);

%Kırmızı, yeşil ve mavi kanalı ayırıyoruz
R=I(:, :, 1);
G=I(:, :, 2);
B=I(:, :, 3);

%Borunun rengine göre işlem yapacağımız resmi oluşturuyoruz
cikti = R>50 & R<115 & G>75 & G<105 & B>65;

%3 defa dilasyon işlemi yapıp, boruları temsil eden ayrı piksellerin
%birleşmesini sağlıyoruz
bw2=bwmorph(cikti,'dilate',3);

%Yeni resimdeki arada kalan delik pikselleri kapatıyoruz
cikti3=imfill(bw2,'holes');
```

```

%Boru dışının daha belirgin olması için bir kez daha dilasyon yapıyoruz
bw=bwmorph(cikti3,'dilate');
bas=0;
son=0;

%İlk borunun yukardan başlangıç mesafesi
ofset = 115;
yukAdim = ceil((yukseklık-ofset)/16);

for m=0:15
    %Resimden 23 piksel yüksekliğinde kesitler alıyoruz
    if m==0
        bas=(m*yukAdim)+1+ofset;
    else
        bas=(m*yukAdim)+1;
    end
    son=bas+yukAdim;
    if son>=size(bw,1)
        son=size(bw,1);
    else
        son=bas+23;
    end
    %Nesneler çakışmasın diye eski alan resmini siliyoruz
    clear alan;
    alan=bw(bas:son,1:640);
    %Boyutları çakışmasın diye eski nesne ve komşuluk matrislerini siliyoruz
    clear graindata;
    clear cc;
    %Yeni komşuluk ve nesne matrislerini oluşturuyoruz
    cc=bwconncomp(alan,8);
    graindata=regionprops(cc,'Centroid','BoundingBox');
    %Eski konumlar çakışmasın diye konum değişkenini siliyoruz
    clear konum;
    if length(graindata)>0
        for i=1:length(graindata)
            konum(i)=graindata(i).BoundingBox(1);
        end
        %En soldaki nesnenin başlangıç X koordinatını buluyoruz
        [mx in]=min(konum(:,1));
        boyut = graindata(in,1).BoundingBox;
        %Resmin genişliğinden çıkarıp yükseklik değerini elde ediyoruz
        %basinc(k,m+1) = 640-boyut(1);
        %cm cinsinden su yüksekliği. Burada en yüksek değer 132
        basinc(n,m+1) = 132*(640-boyut(1))/640;
    end

end
n=n+1;
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Celal KISTAK, 24.07.1987 tarihinde Diyarbakır'da doğdu. İlk, ve orta öğrenimini Diyarbakır'da tamamladıktan sonra 2006 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. İş hayatına 2011 yılında başlayan Celal KISTAK 2012 yılına kadar özel sektörde farklı firmalarda çalıştı. 2013 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma olarak göreve başlayan Celal KISTAK halen bu pozisyonda görevini sürdürmektedir.