



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EĞİMLİ KANALDA ARDIŞIK BARAJ YIKILMASININ DENEYSEL VE
SAYISAL İNCELENMESİ**

KAAN DAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK-2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EĞİMLİ KANALDA ARDIŞIK BARAJ YIKILMASININ DENEYSEL VE
SAYISAL İNCELENMESİ**

KAAN DAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
OCAK-2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: Eğimli Kanalda Ardışık Baraj Yıkılmasının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi

Öğrencinin, Adı Soyadı: Kaan DAL

Tez Savunma Tarihi: 02.01.2018

Kod No:

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylıyorum.

Doç. Dr. Murat ÖRNEK
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN

.....

Doç. Dr. Hatice ÇAĞATAY

.....

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ

.....

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

02.01.2018

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmza

Kaan DAL

ÖZET

EĞİMLİ KANALDA ARDIŞIK BARAJ YIKILMASININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Bu çalışmada, eğimli bir kanalda ardışık baraj yıkılması olayı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deneysel veriler görüntü işleme tekniği ve ultrasonik sensörler kullanılarak elde edilmiştir. Nümerik analizler ise ağ yapısına dayalı çözüm yapan FLOW-3D ve Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) yaklaşımını kullanan DualSPHysics isimli yazılımlar aracılığı ile yapılmıştır. Nümerik yöntemlerin, eğimli bir kanalda baraj yıkılması gibi kaotik bir hidrolik problemi çözebilme yeteneği deneysel veriler ile uyumları karşılaştırılarak incelenmiştir. Nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması beş adet ölçüm noktasındaki su derinliğinin zamana göre değişimi üzerinden yapılmıştır. Görüntü işleme yöntemi için farklı özellikleri olan iki kamera kullanılmıştır. Deney bu iki kamera ile aynı anda görüntüye alınmış ve elde edilen görüntüler kıyaslanarak kamera özelliklerinin ve konumlandırılmasının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nümerik verilerin genel olarak deneysel veriler ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

2018, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ardışık baraj yıkılması, eğimli kanal, görüntü işleme, SPH, FLOW-3D

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF SEQUENTIAL DAM-BREAK IN INCLINED CHANNEL

In this study, sequential dam-break in an inclined channel was investigated experimentally and numerically. Experimental data were obtained both using image processing technique and ultrasonic sensors. Numerical analyses were made through FLOW-3D and DualSPHysics which based mesh analysis and Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) approach, respectively. The ability of numerical methods on chaotic hydraulic problem such as dam break in an inclined channel was investigated by comparing the experimental data. The comparison between numerical and experimental results was made through depth versus time graphs at five measuring points. Two cameras with different specifications are used for the image processing method. The experiment was recorded with these two cameras simultaneously. Experiment footages obtained from two cameras were compared to investigate the effects of the camera specifications and positioning on the results. Numerical data are generally in good agreement with the experimental data.

2018, 67 pages

Key Words: Sequential dam-break, inclined channel, image processing, SPH, FLOW-3D

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması, yazımı ve deneylerin yapılması sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meslek hayatımda üzerimdeki emeği büyük olan ve bana çok önemli değerler katan hocam sayın Doç. Dr. Murat ÖRNEK'e teşekkür ederim.

Çalışmanın daha zengin olmasında payı büyük olan FLOW-3D yazılımının kullanımını sağladığı için Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Hatice ÇAĞATAY'a teşekkürlerimi iletirim.

Deney düzeneğinin deneylere hazır hale getirilmesinde ve deneyler sırasında fedakarlıkla yardımda bulunan değerli arkadaşım Arş. Gör. Ada YILMAZ'a teşekkürü borç bilirim.

Deney düzeneği ile ilgili hazırlık aşamasında ricalarımızı kırmadan yardım eden ve düzeneğin deneye hazır hale getirilmesinde emeği olan bölümümüz çalışanı Mevlüt ERBİLEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve ağabeyime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Deney Düzenegi.....	9
3.2. Ölçüm Teknikleri	10
3.2.1. Ultrasonik Sensörler	10
3.2.2. Görüntü İşleme.....	13
3.2.2.1. Kameralar ve Ortam Işığı	13
3.2.2.2. Görüntü İşleme Analizi.....	15
3.3. Kalibrasyonlar.....	16
3.3.1. Yatay Kalibrasyon	17
3.3.2. Metrik Kalibrasyon.....	17
3.4. Bir Noktaya Ait Su Derinliğinin Zamana Bağlı Değişiminin Görüntü İşleme Tekniği ile Elde Edilmesi	19
3.5. Teori.....	21
3.5.1. DualSPHysics Yazılımı	21
3.5.2. FLOW-3D Yazılımı.....	23
3.5.2.1. k-ε Türbülans Modeli.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	28
4.1. Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Test Edilmesi	31
4.1.1. Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Kamera ile Test Edilmesi.....	31
4.1.2. Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Ultrasonik Sensörler ile Test Edilmesi.....	33
4.2. Kamera-1 ve Kamera-2 ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	36
4.3. Ultrasonik Sensör ve Kamera Sonuçlarının Karşılaştırılması	41
4.4. SPH Yönteminde Parçacıklar Arası Mesafe ve Yapay Viskozite Parametrelerinin Seçimi.....	44
4.5. FLOW-3D Yazılımında Türbülans Modelinin Seçimi	50
4.6. Ultrasonik Sensör, Kamera ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
5.1. Sonuçlar	59
5.2. Öneriler	62

KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Deney düzeneği.....	9
Şekil 3.2.	Memba ve mansap başlangıç su derinlikleri.....	10
Şekil 3.3.	Deney düzeneğinin başlangıç aşamasına ait görüntüsü.....	10
Şekil 3.4.	Ultrasonik sensörlerin konumlar (üstten görünüş).....	11
Şekil 3.5.	Ultrasonik sensör ve veri toplama cihazı.....	12
Şekil 3.6.	Mic+25IU/TC sensörden çıkan dalgalar ve çalışma aralığı (https://www.microsonic.de).....	13
Şekil 3.7.	Bir görüntü üzerinde piksellerin gösterimi (Kocaman, 2007).....	15
Şekil 3.8.	Metrik kalibrasyon amacıyla yapılandırılan referans kağıtlar.....	19
Şekil 3.9.	Belli bir noktada su derinliğinin Kocaman (2007) tarafından geliştirilen yöntem ile belirlenmesi.....	20
Şekil 4.1.	Baraj yıkılması sebebiyle oluşan hareketinin başlangıcı ve gelişimi (0.1 saniye aralıklı).....	29
Şekil 4.2.	Baraj yıkılması sebebiyle oluşan hareketinin mansap barajından yansıması (0.2 saniye aralıklı).....	30
Şekil 4.3.	Aynı koşullarda tekrarlanarak yapılan iki deney sonucunun kamera görüntüleri üzerinden karşılaştırılması.....	33
Şekil 4.4.	Aynı koşullarda tekrarlanarak yapılan iki deney sonucunun ultrasonik sensör verileri üzerinden karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.5.	Beş ölçüm noktası için iki farklı kameradan elde edilen görüntülere göre görüntü işleme analizi sonuçlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.6.	Farklı kameraların su yüzeyinin başlangıç anına ait görüntüsü a) Kamera-1 b) Kamera-2.....	39
Şekil 4.7.	Farklı kameraların su yüzeyinin görüntüsü (1. saniye) a) Kamera-1 b) Kamera-2.....	40
Şekil 4.8.	Yazılımın su yüzeyinin üst kotunu birkaç kare farkla ön yüzey ve arka yüzeye göre seçimi.....	41
Şekil 4.9.	Ultrasonik mesafe ölçer sensör ve Kamera-1 ile elde edilen görüntülere ait deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.10.	Sabit $\alpha=0.1$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 1).....	46
Şekil 4.11.	Sabit $\alpha=0.05$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 2).....	47
Şekil 4.12.	Sabit $\alpha=0.01$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 3).....	48
Şekil 4.13.	Sabit $dp=0.001$ değeri için α değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 4).....	49
Şekil 4.14.	Sabit mesh aralığı (0.5mm) için türbülans modelleri değişiminin incelenmesi.....	51

Şekil 4.15.	Akımın gelişiminin deneysel ve nümerik ortamda aynı anlar için görsel olarak karşılaştırılması a) Deney görüntüleri b) FLOW-3D c) SPH.....	53
Şekil 4.16.	Akımın yansımalarının deneysel ve nümerik ortamda aynı anlar için görsel olarak karşılaştırılması a) Deney görüntüleri b) FLOW-3D c) SPH.....	54
Şekil 4.17.	Sensör, görüntü işleme, FLOW-3D ve SPH sonuçlarının karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.18.	Kapağın tamamen dik olarak açılmamasının memba tarafında hareketin başlangıcına etkisi.....	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Ultrasonik sensör koordinatları	11
Çizelge 3.2.	Kamera-1 ve Kamera-2'ye ait özellikler	14
Çizelge 4.1.	SPH yönteminde dp ve α karşılaştırma kombinasyonları	45



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: Türbülans modeline bağlı olan bir sabit
a,b	: Smoothed Particle Hydrodynamics yaklaşımında etkileşimli iki parçacık
$^{\circ}C$: Derece santigrat
e_{ij}	: Ortalama gerilme-oranı tansörü
f_i	: Bir akışkan hacmi için Reynolds gerilmeleri
F	: Akışkan hacmi oranı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Etkileşim mesafesi
H_u	: Memba başlangıç su seviyesi
H_d	: Mansap başlangıç su seviyesi
m	: Kütle
P	: Basınç
t	: Zaman
α	: Yapay viskozite
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{ij}	: Gerilme Tansörü
u	: x doğrultusundaki akım hızı
u'	: x doğrultusundaki çalkantı hızı
\bar{u}	: x doğrultusundaki ortalama akım hızı
u_0	: Herhangi bir noktadaki teğetsel hız
u^*	: Kayma hızı
v	: y doğrultusundaki akım hızı
v'	: y doğrultusundaki çalkantı hızı
\bar{v}	: y doğrultusundaki ortalama akım hızı
v_b	: ve benzeri
V	: Ortalama akım hızı
V_F	: Her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacim
w	: z doğrultusundaki akım hızı
w'	: z doğrultusundaki çalkantı hızı
\bar{w}	: z doğrultusundaki ortalama akım hızı
W_{ab}	: Parçacıklar arasındaki mesafeye bağlı kernel fonksiyonunu
$W(r)$: Kernel fonksiyonu
ΔV_b	: b parçacığının hacmi
w_{Si}	: Duvar kayma gerilmesi
ρ	: Akışkan yoğunluğu
ϵ	: Türbülans sönümlenme oranı
μ	: Kinematik viskozite
μ_t	: Türbülans (çalkantı) viskozitesi
ν	: Dinamik viskozite
κ	: Von Karman sabiti
η	: Sistemin yoğunluk özelliği; diferansiyelin yüksekliği
Π_{ab}	: Yapay viskoziteye bağlı terim

KISALTMALAR

B	: Blue
cm	: santimetre
CPU	: Central Processing Unit-Merkezi İşlemci Ünite
dp	: Parçacıklar arasındaki mesafe
FAVOR	: Fractional Area/Volume Obstacle Representation
fps	: frame per second
GB	: Gigabyte
GHz	: Gigahertz
GPU	: General Processing Units-Grafik İşlemci Ünite
G	: Green
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	: Large-Eddy Simulation
m	: metre
mm	: milimetre
R	: Red
RANS	: Reynolds Averaged Navier-Stokes
RNG	: Renormalized Group
RONS	: Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes
s	: saniye
SPH	: Smoothed Particle Hydrodynamics
VOF	: Volume of Fluid-Akışkan Hacmi

1. GİRİŞ

Bir akarsu vadisini kısmen veya tamamen kapatan ve akışı engelleyerek arkasında su biriktiren mühendislik yapılarına baraj denir. Baraj inşa etmenin amaçları arasında taşkın kontrolü, sulama, hidrolik güç ve içme suyu temini yer almaktadır.

Barajlar arkalarında tuttıkları devasa hacimdeki su sebebiyle mansap tarafındaki yerleşim birimleri için potansiyel tehlikeler teşkil etmektedirler. Fazla yağış veya kar erimlerinden dolayı akarsularda taşkınlar meydana gelebilir. Baraj yıkılması sebebiyle oluşacak taşkın ise bunlardan çok daha yok edicidir. Bu sebeple, herhangi bir baraj yıkılması durumunda barajın mansap tarafında su altında kalacak kısımların önceden tespit edilebilmesi ve gereken önlemlerin alınmasıyla baraj yıkılmasından kaynaklanabilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilebilir. Böyle bir araştırma sırasında geçmişte meydana gelmiş baraj yıkılmalarının verileriyle beraber deneysel ve nümerik analizlere de başvurulmalıdır.

Barajlarda yıkılma olayı barajların türüne göre gruplandırılmış olup, dolgu ve beton barajlarda yıkılma olarak ele alınır. Dolgu barajlarda yıkılma zamana bağlı ve kademelidir. Beton barajlarda ise yıkılma ani bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu çalışmada baraj yıkılması problemi ani yıkılma olarak dikkate alınarak, problem ideal hale getirilmiştir. Gerçek bir baraj ele alındığında yıkılma olayı ideal olan ani durumdan daha uzun sürede gerçekleşecektir. Ayrıca suyun ani olarak mansap tarafına geçmesi ile en elverişsiz durum temsil edilmiştir.

Baraj yıkılması ile mansap tarafında oluşan akımlar vadi kesitinde ve taban eğiminde değişimler ile akarsu yatağındaki engeller gibi topografik koşullardan etkilenirler. Bu etki mansap tarafında şoklar, girdaplar, dalga yansımaları ve sıçramalar şeklinde gözlenebilir ve bu nedenle farklı farklı dalga hızları ve derinlikler görülebilir. Bu sebeplerden ötürü baraj yıkılması olayı hidrolik modelleme açısından zor bir problemdir.

Bir hidrolik problem ele alınırken deneysel çalışmaların yanı sıra teori ve nümerik analiz de araştırmanın içine katılarak problem tüm yönleriyle incelenmelidir ve üç yaklaşımın birbirini doğrular nitelikte olması önemlidir. Ayrıca son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelerle birlikte, hidrolik problemleri çözmek için geliştirilen yazılımlar da oldukça yaygın bir hale gelmiş ve literatürde önemli bir yer edinmiştir.

Baraj yıkılması olayı akışkan mekaniği ele alındığında ise yıkılma sebebiyle oluşan taşkın yayılması hızlı değişen değişken açık kanal akımı problemidir. Bundan dolayı serbest yüzeyli akımların analiz edilmesi için hazırlanan nümerik analiz yöntemleri de inceleme konusudur (Ozmen-Cagatay ve Kocaman, 2010).

Baraj yıkılması sebebi ile oluşan su hareketlerinin matematiksel karşılığı için kullanılacak en genel denklem 3 boyutlu süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan Navier-Stokes denklemleridir. Son yıllarda bilgisayar teknolojilerindeki kayda değer ilerleme sayesinde 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerine dayanan ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak bu denklemler karmaşıklığı sebebi ile bazı kabuller yapılarak sığ su denklemlerine (Shallow Water Equations) ya da Saint-Venant denklemlerine indirgenirler. Bu indirgeme yapılırken yatay doğrultudaki mesafenin düşey doğrultudaki mesafeye göre oranının büyük bir değere sahip olduğu varsayılarak ivme bileşeninin düşey doğrultusu ihmal edilir ve böylece akım hidrostatik olarak kabul edilmiş olur. Ayrıca böyle bir indirgeme yapmanın diğer bir nedeni de bilgisayarları ağır hesap yükünden kurtararak hafıza ve zaman açısından tasarruf sağlamaktır. Son yıllarda akışkanın parçacıklar ile temsil edildiği Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) olarak adlandırılan sayısal çözümler de hidrolik problemlerin çözümünde bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda dik eğimli bir kanalda ardışık baraj yıkılması problemi ile ilgili bir seri deneysel çalışma yapılmıştır. Sonuçlar görüntü işleme ve ultrasonik sensörler aracılığı ile elde edilmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen derinlik-zaman grafikleri, RANS denklemlerinin sonlu hacimler ile çözümüne ve akışkanın parçacıklar ile temsil edildiği Smoothed Particle Hydrodynamics yöntemine dayanan iki farklı nümerik analiz metodu ile karşılaştırılmış ve bu yöntemler arasında tutarlılık araştırılmıştır.

Çalışmanın özgün olarak kabul edilebilecek kısımları; görüntü işleme tekniğinin iki farklı özellikte çekim yapan kamera ile aynı deney için karşılaştırılması, baraj yıkılması probleminde, ileri teknoloji ürünü olan bir profesyonel kameradan çok daha kolay ulaşılabilir bir akıllı cep telefonu kamerasının görüntü işleme amacıyla kullanılması, ultrasonik sensörler ile kamera sonuçlarının doğrulanması, sonlu hacimler

ile SPH yöntemlerine dayanan iki farklı nümerik yöntemin ardışık baraj yıkılması problemine uygulanması ve deney düzeneğinin kendisi olarak sıralanabilir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ve değerlendirmeler, aşağıdaki sıra ile sunulmuştur.

Bölüm 1'deki "Giriş" kısmında baraj yıkılması olayı ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Bölüm 2'de, baraj yıkılması ile ilgili literatür taraması yapılmış ve elde edilen bulgular, "Önceki Çalışmalar" başlığı altında sunulmuştur. Bölüm 3'de, deneysel çalışma sırasında kullanılan düzenek ve başvuru analiz teknikleri "Materyal ve Yöntem" başlığı altında sunulmuştur. Bölüm 4'de, yapılan çalışmalara ait veriler değerlendirilip, "Araştırma Bulguları ve Tartışma" başlığı altında sunulmuştur. Bölüm 5'te ise elde edilen sonuçlar, "Sonuç ve Öneriler" başlığı altında sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Baraj yıkılması sonucu oluşan su hareketlerinin matematiksel olarak ifade edilmesi ilk kez 1871 yılında De Saint Venant tarafından yapılmıştır (Chanson, 2004). Bu ifadelerde basınç hidrostatik, hız dağılımı ise üniform varsayılmıştır.

Dressler (1952) tarafından baraj yıkılması durumunda dikdörtgen bir kanaldaki sürtünme etkisini araştırmıştır. Dalga önünün yüksekliği ve dalga hızı için bir analitik çözüm üretmiştir ve sürtünmenin dalga yayılma hızı ile karşılaştırıldığında akım hızı üzerinde daha etkili olduğunu söylemiştir.

Bell ve ark. (1992), ani kapak açılması ile baraj yıkılması dalgası oluşturup bir sıra deneysel çalışma yapmıştır. Deneysel çalışma düz ve kavisli yatay bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Su seviyesindeki değişimlerin memba ve mansapta metal çubuklar kullanarak belirlendiği bu çalışmada ve video kameralar aracılığı ile dalga önünü gözlemlemişlerdir. Kanal geometrisi kavisli olduğunda, dalga önünün kavisin dış kısmında iç kısımdan daha hızlı ilerlediğini gözlemlemişlerdir.

Bellos ve ark. (1992), sabit taban eğiminde ve düzensiz kesitli bir kanalda baraj yıkılması dalgasının yayılmasını araştırmışlardır. Deneysel kuru ve ıslak yatak koşullarında yapılmıştır. Elektrik iletkenliği ile çalışan metal çubuklar ile su seviyesindeki değişimlerin belirlendiği bu çalışmada deneysel ve nümerik sonuçların uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Deney sonuçlarının sayısal çözümlerle uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Mohapatra ve Bhallamudi (1996) tarafından yapılan çalışmada, baraj yıkılması nedeniyle meydana gelen akımı, kesit değişimleri ile araştırmıştır. 2 boyutlu denklem sisteminin kullanıldığı analizlerde problemi sayısal olarak çözmüşlerdir. Su derinliklerini literatürde bulunan nümerik ve deneysel veriler ile karşılaştırıp, sonuçların uyum içerisinde olduğunu belirtilmiştir.

Lauber ve Hager (1997), dalga önünün yayılmasını değişken eğimlerde teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Eğim olarak 0, 0.1 ve 0.5 değerlerinin kullanıldığı çalışmada, teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların dalga önünün yayılmasının tespit edilmesinde uyumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Lauber ve Hager (1998a, 1998b), eğimli dikdörtgen kesitli bir kanalda düşey kapağın ani bir şekilde kaldırılması ile baraj yıkılması olayını kuru mansap koşullarında

araştırmışlardır. Taban eğiminin 1/10 ve 1/2 olarak değiştiği bu çalışmada akım derinliği, debi, ortalama hız, pozitif ve negatif dalga önü hızları ve akımın maksimum derinliği gibi parametreler incelenmiştir. Kapağın ani kaldırılma olarak değerlendirilmesi için sürenin $1.25(h_0/g)^{1/2}$ den az bir değer olması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, daha önce yapılan bazı çalışmalardaki analitik çözümler ile karşılaştırmış ve başlangıç evrelerinde çok uyumlu olmasa da sonuçların genel olarak uyumlu çıktığını gözlemlemişlerdir.

Stansby ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada aynı derinlikte olmayan iki farklı su seviyesini ayıran düşey bir kapağın ani olarak yukarı yönde hareketi sonucu baraj yıkılması taşkın dalgası oluşturmuşlardır. Çalışmada dikdörtgen kesitli ve pürüzsüz bir deney kanalında yapılan deneysel çalışmada elde edilen şok dalgasına ait su yüzü profillerinin zamanla değişimi araştırılmıştır. Başlangıçtaki memba derinlikleri 10 cm ve 36 cm olmak üzere iki farklı ölçekte sırasıyla 0, 0.1 ve 0.45 mansap/memba derinlik oranları için su yüzü profillerini belirlemişler ve akımın davranışını incelemişlerdir. Deneylerini 15.24 m uzunluğunda, 0.4 m genişliğinde ve 0.4 m yüksekliğinde yatay dikdörtgen bir kanalda gerçekleştirmişlerdir. Su yüksekliğinin kameralar yardımı ile belirlendiği bu çalışmada deney sırasında, kameraların sınırlı görüş açısı sebebiyle, tüm deney kanalının görüntüsünü elde etmek için kameraların yerleri değiştirilmiştir. Belli konumlardan noktasal ölçerler (resistance probe) aracılığı ile elde edilen su seviyeleri ile kameralardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Özellikle başlangıç aşamaları hariç ilerleyen zamanlarda uyumlu oldukları sonuçlar elde etmişlerdir. Kuru hal için kapağın ani olarak yukarı yöndeki hareketinden sonra, yatay bir jet, ıslak durumda ise ard arda kırılmaları içeren düşey jet tanımlarından söz etmişler ve böylece bu hareketleri tanımlayan ilk kişiler olmuşlardır.

Aureli ve ark. (1999), bir boyutlu sığ su denklemlerini doğrulamak için trapez şekile sahip bir eşik kullanarak deneyler yapmışlardır. Deney kanal boyunca dört noktadan elde ettikleri video görüntüleri aracılığı ile su seviyesi değişimlerini tespit etmişlerdir. Çalışmada nümerik sonuçların, deney ortamını başarılı şekilde temsil ettiğini gözlemlemişlerdir.

Blaser ve Hager (1999), yaptıkları çalışmada üç farklı eğim değerlerinde kanal tabanının pürüzlü olması durumunu araştırmışlardır. Deneylerden elde edilen veriler Dressler (1952) tarafından önerilen analitik çözümlerle kıyaslanmış ve ilave olarak,

Lauber ve Hager (1997)'e ait pürüzsüz koşullardaki dalga önünün yayılma ifadesini genişletmişlerdir.

Mohapatra ve ark. (1999), iki boyutlu denklemler ile baraj yıkılması olayını araştırmışlardır. Nümerik yöntem olarak GENSMAC Navier Stokes Çözücü ve akışkan hacmi (Volume of Fluid) yaklaşımını kapsayan bir yaklaşıma başvurmuşlardır. Kuyruk suyu olması ve olmaması durumları için su seviyesi ve basınç dağılımını incelemişlerdir. Su yüzü profili ve dalga hızlarını da hesaplamışlardır. Su seviyesinin sabit hale gelmesinin memba derinliğinin mansap derinliğine oranının artmasıyla yükseldiğini söylemişlerdir.

Zoppou ve Roberts (1999), baraj yıkılması sebebi ile oluşan taşkın yayılmasının incelenmesi amacı ile bilgisayar modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelin başarısının tespiti, literatürde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Modele, kuyruk suyu olması veya olmaması durumlarında karmaşık geometriler ve eğim etkisi gibi faktörlerin araştırılmasında başvurulabileceğini belirtmişlerdir.

Aureli ve ark. (2000), McCormack şemasını baz alarak oluşturdukları ıslak ve kuru durumdaki ani baraj yıkılması modelini, literatürde bulunan veriler ve yaptıkları deney sonuçları ile doğrulamışlardır. Su seviyesi kameralar ile, akımı hızı ise Doppler hız metre aracılığı ile tespit edilmiştir. Nümerik sonuçların deneysel sonuçlar ile uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Nsom ve ark. (2000), baraj yıkılması olayını teori ve deneysel açıdan araştırmışlardır. Deneysel, değişik taban eğimlerinde ve farklı Newtonien sıvılar kullanılarak yapılmıştır. Belli noktalardaki su derinlikleri ultrasonik cihazlarla belirlenmiş ve dalga önünün yayılması fotoğraflarla tespit edilmiştir. Çalışmanın teorik kısmında ise bir boyutlu Navier Stokes denklemleri kullanılmıştır. Kanalin taban eğimindeki değişimin dalga önü yayılması konusunda önemli bir etken olmadığı belirtilmiştir.

Soares-Frazao ve ark (2002), baraj yıkılması akımını tabanda üçgen eşik bulunması durumu için araştırmışlardır. Yüksek hızlı video kameralar aracılığı ile elde edilen su yüzü profillerine ait deneysel veriler, taban eğimi olması durumu için geliştirdikleri nümerik yöntem aracılığı ile sığ su denklemlerinin çözümü ile kıyaslanmıştır. Deney sonuçları ile oluşturdukları sayısal yöntemin uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Soares-Frazao ve Zech (2002), dik açılı bir dirseğe sahip kanalda baraj yıkılması akımını araştırmıştır. Deneysel verilerden elde edilen su derinlikleri ve akım hızları, sonlu hacim şemaları aracılığı ile elde edilen bir ve iki boyutlu nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel su yüzü verilerini elde etmek amacıyla saniyede 200 kare çekebilen yüksek hızlı dijital kameralar kullanmışlardır. Hız tespitini ise Voronoi parçacık izlemeli hız (Particle-Tracking-Velocity, PTV) yöntemi ile yapmışlardır. Çalışmada iki boyutlu çözümün sonuçları ile deneysel veriler yaklaşık çıkmasına rağmen bir boyutlu çözümün süreksizliklerde yeterli olmadığını belirlemişlerdir.

Kocaman (2007), yaptığı çalışmada baraj yıkılması olayını nümerik ve sayısal olarak incelemiştir. Dikdörtgen kesitli bir kanalda baraj yıkılması sebebi ile oluşan taşkın dalgasının yarattığı akıma ait su yüzü profilleri ve belli bir noktaya ait su derinliğinin zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Çalışmada deneylere ait veriler RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) ve sığ su denklemlerine dayanan nümerik veriler ile kıyaslanmıştır. Nümerik sonuçlar FLOW-3D isimli ticari bir yazılım aracılığı ile elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada akım özelliklerinin değişimi, farklı kesitlere sahip olan taban eşiği (trapez ve üçgen) ve kanal kesitinde iki farklı daralma oluşturacak şekilde yapılan deneyler ile de gözlemlenmiştir. Deneysel verilerin elde edilmesi amacıyla görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar nümerik sonuçlarla karşılaştırılarak ölçüm yönteminin başarısı da araştırılmıştır.

Chen ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada eğimli bir kanalda baraj yıkılmasının yarattığı akım basınç ölçerler ile incelenmiştir. Farklı eğimlerde yapılan deneylerde memba/mansap derinlik oranları ile basınç tahmin edilmiş ve bir korelasyon ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda hesaplanan basınç değerleri ile ölçülen basınç değerlerinin iyi bir uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Jonsson ve ark. (2015), iki boyutlu SPHERIC Benchmark deney geometrisini Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) yöntemi ile yaptıkları çözümler ile karşılaştırmış ve parametreler üzerinde yaptıkları değişimlerin sonuçlara etkilerini gözlemlenmişlerdir. Yaptıkları bu parametrik çalışmada yapay viskozitenin ve parçacık sayısının akım özelliklerine önemli bir etkisi olduğu belirtmişler ve daha fazla araştırılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Kocaman ve Ozmen-Cagatay (2015) tarafından baraj yıkılmasının yarattığı şok dalgalarının yansıması incelenmiştir. Çalışmada, görüntü işleme, FLOW-3D ve sığ su

denklemlerine dayanan çözümler karşılaştırılmıştır. Genel olarak FLOW-3D çözümlerinin sığ su denklemlerine göre deneysel veriler ile daha uyumlu sonuçlar verdiğinin gözlemlendiği çalışmada görüntü işleme tekniği için deney kanalı birbirine senkronize kameralar ile görüntüye alınmıştır.

Zhang ve Xu (2017) tarafından yapılan çalışmada baraj yıkılmasından dolayı oluşan taşkın dalgasının, ardışık barajlarda felakete neden olabileceği vurgulanmış ve iki baraj arasında bulunacak bir barajın oluşabilecek felaketi geciktirme etkisi incelenmiştir. Taşkın sonucu yıkılmayan bir ara barajda sıçrama ve aşma şeklinde iki akım modelinin gözlemlendiği çalışmada, ara barajın haznesindeki su derinliği ile baraj yüksekliği arasındaki oranın 1/2'den küçük olması durumunda, barajın önemli bir geciktirici etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Kocaman ve Dal (2017) tarafından yapılan çalışmada, dikdörtgen kesitli kanal içerisinde 3 boyutlu baraj yıkılması deneyi yapılmış ve elde edilen su derinliği değişimlerine ait sonuçlar Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) metoduna dayanan sayısal analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bunun için DualSPHysics yazılımı kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal analiz verileri karşılaştırıldığında uyum içerisinde olduğu görülmüş ve SPH yönteminin baraj yıkılması gibi karışık hidrolik bir problemin analizinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Turhan (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, baraj yıkılması olayı deneysel ve sayısal olarak değişik yoğunluktaki sıvılar için incelenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar görüntü işleme tekniği ile elde edilmiştir. Sayısal analizler FLOW-3D ve SPH yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada sıvıların belli anlardaki su yüzü profilleri ve serbest yüzey derinlik değerleri araştırılmıştır. Kocaman (2007) tarafından yapılan çalışmaya ait deneysel ve sayısal sonuçlar, SPH metodu ile incelenerek, bu metodun çözüm yeteneği irdelenmiştir. Sonuç olarak tüm yöntemlerin uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiş ve SPH yönteminin hidrolik problemleri çözme konusunda iyi bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir.

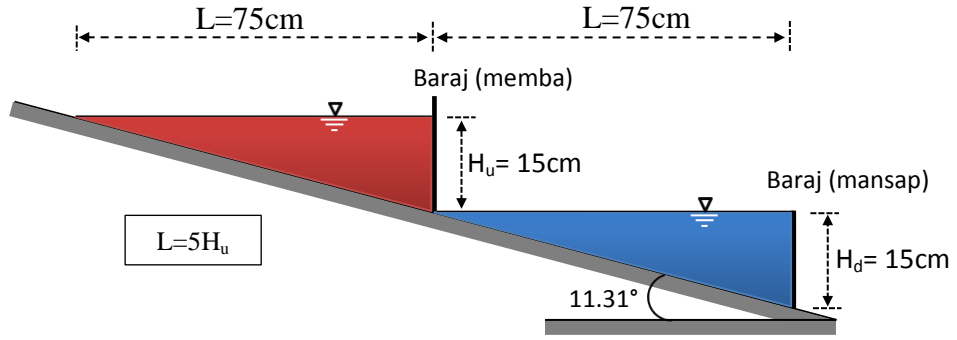
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Düzenegi

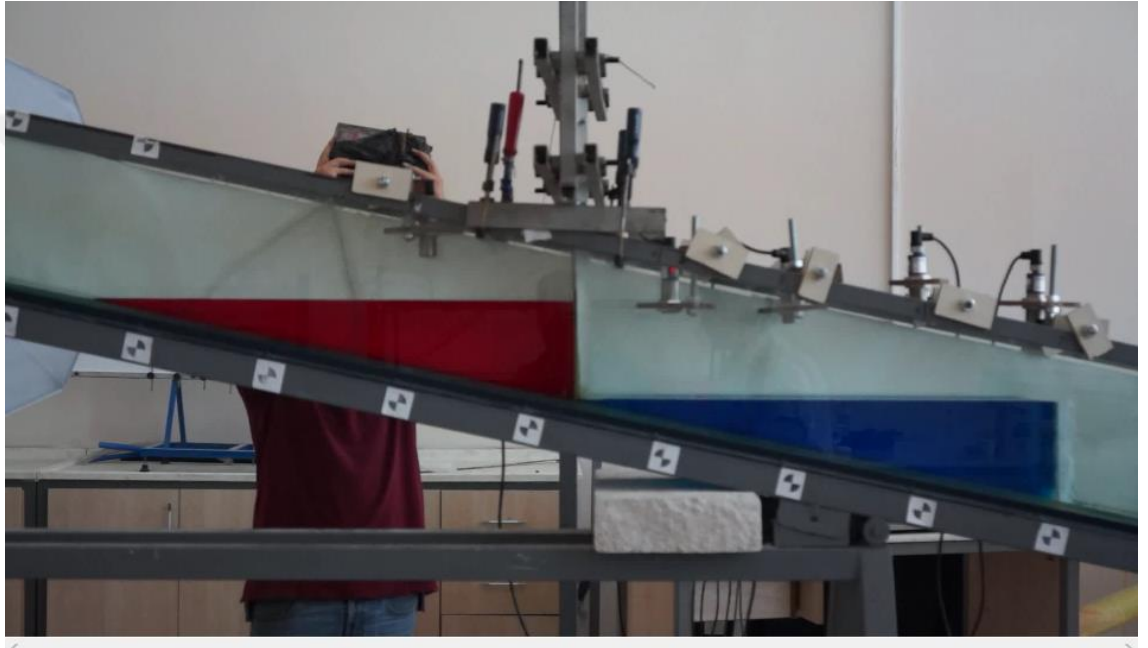
Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel faaliyetler İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında kullanılan dikdörtgen kesitli kanalın suyun temas ettiği tüm yüzeyleri camdır. Deney kanalının uzunluğu 250 cm, genişliği 15 cm ve yüksekliği 25 cm'dir. Deney düzeneği Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir. Memba ve mansap başlangıç su seviyeleri (sırasıyla H_u ve H_d) 15 cm'dir. Hazne uzunlukları $L=75$ cm alınmıştır. İki baraj gölü arasında boşluk bırakılmamıştır. Kanal eğimi 1/5 oranına denk gelen 11.31° olarak alınmıştır (Şekil 3.2). Deney düzeneğinin başlangıç aşamasına görüntüsü ise Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği



Şekil 3.2. Memba ve mansap başlangıç su derinlikleri



Şekil 3.3. Deney düzeneğinin başlangıç aşamasına ait görüntüsü

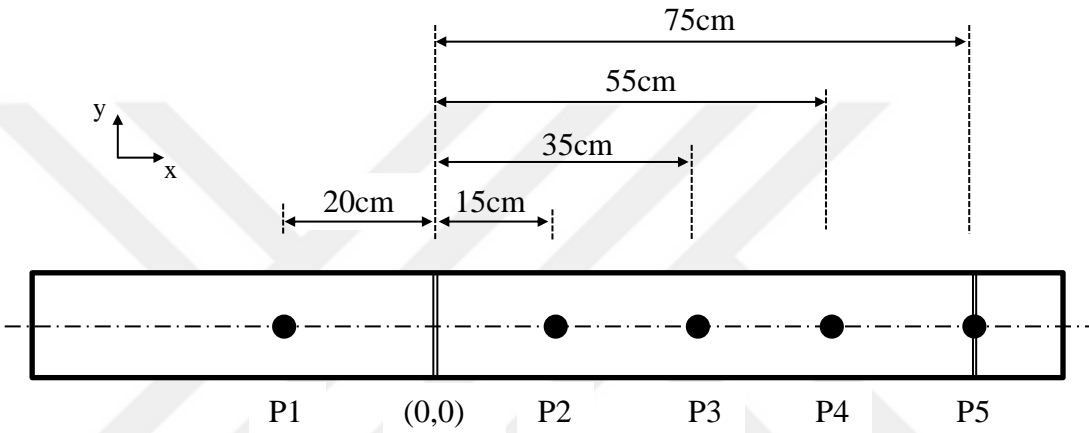
3.2. Ölçüm Teknikleri

Bu çalışmada belli noktalardaki su seviyesinin zamana bağlı değişimini elde etmek amacıyla kullanılan ölçüm teknikleri ultrasonik sensörler ve görüntü işleme olmak üzere iki grupta incelenebilir.

3.2.1. Ultrasonik Sensörler

Deney sırasında memba tarafına 1 adet Microsonic Mic+35/IU/TC ve mansap tarafına 4 adet Microsonic Mic+25/IU/TC ultrasonik sensör yerleştirilmiş ve mesafe

ölçen bu sensörler aracılığı ile sensörün konumlandırıldığı noktadaki su seviyesinin zamana bağlı değişimi tespit edilmiştir. Sensörlerden alınan veriler veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılmış ve 5 farklı noktada su derinliğinin zamana bağlı değişimleri grafik olarak elde edilmiştir. Sensörlerin konumları Şekil 3.4'te, hareketli kapağın x ve y eksenlerindeki koordinatları (0,0) kabul edilecek şekilde hesaplanan koordinatları ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. Sensörlere ve 8 kanallı veri toplama cihazına ait görsel Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Ultrasonik sensörlerin konumları (üstten görünüş)

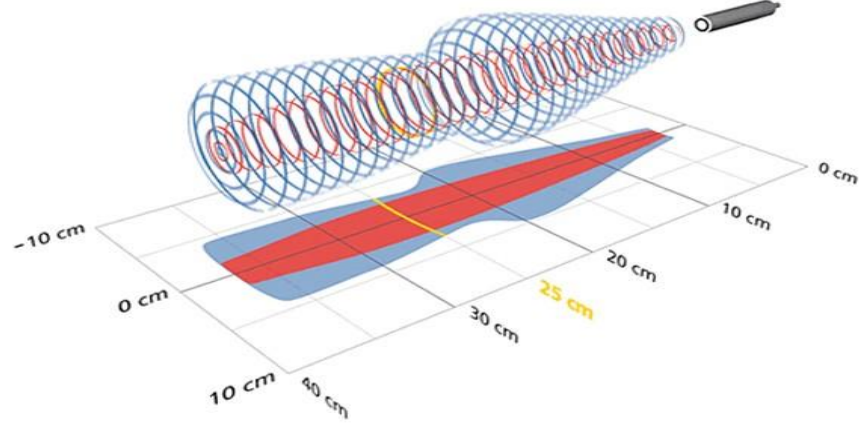
Çizelge 3.1. Ultrasonik Sensör koordinatları

Sensör	x (cm)	y(cm)
P1	-20	7.5
P2	+15	7.5
P3	+35	7.5
P4	+55	7.5
P5	+75	7.5



Şekil 3.5. Ultrasonik sensör ve veri toplama cihazı

Mic+25/IU/TC isimli modelin çalışma aralığı 3-35 cm iken Mic+35/IU/TC isimli modelde ise bu aralık 6.5-60 cm olarak değişmektedir. Sensörlerin çalışma aralıkları sıcaklık olarak ise -25°C ile $+70^{\circ}\text{C}$ arasında olduğundan, ortam sıcaklığının ölçülen mesafeleri etkilediği düşünülmemektedir. Sensörler saniyede 50 hertz frekansında çalıştırılmıştır. Bu durum bir sensörün saniyede 50 adet veri okuyabildiği anlamına gelmektedir. Sensörden çıkan dalgalar ve çalışma aralığına ait görsel Şekil 3.6'da verilmiştir. Ultrasonik sensörlerin su seviyesinin tespiti için kullanılmasında akımı rahatsız etmemesi gibi önemli bir avantajı vardır. Sensörler 0.01mm hassasiyetle ölçüm yapılmaktadır. Sensörlerin tepki süresi Mic+25/IU/TC modeli için 32ms iken Mic+35/IU/TC modeli için 64ms olmaktadır. Mic+25/IU/TC modelinin tepki süresi daha küçük olduğu için hareketliliğinin daha fazla olduğu mansap kısmında Mic+25/IU/TC modeli kullanılırken, daha az kaotik olan memba tarafında ise Mic+35/IU/TC modeli kullanılmıştır. Sensörlerden elde edilen değerler veri toplama cihazı aracılığı ile bilgisayara aktarılmış, bilgisayarda ise Microsoft Excel yazılımı ile derinlik-zaman grafiklerine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.6. Mic+25IU/TC sensörden çıkan dalgalar ve çalışma aralığı
(<https://www.microsonic.de>)

3.2.2. Görüntü İşleme

Görüntü elde etmek ve analizini yapmak amacıyla başvurulanan donanım ve yazılım ünitelerinin her birinin toplamına görüntü işleme sistemi denilmektedir. Bu sistem aracılığı ile görüntüsü çekilen objenin çeşitli optik ve geometrik özellikleri, bilgisayar ortamında rahatlıkla belirlenebilmektedir.

3.2.2.1. Kameralar ve Ortam Işığı

Bu çalışmada görüntü işleme amacıyla bilgisayar ortamında incelenecek görüntüler aynı deney için farklı teknik özelliklere ve kullanım amacına sahip iki ayrı kamera ile çekilmiştir. Bu kameralardan biri Apple iPhone marka 6s model bir akıllı telefonun kamerası iken diğeri ise Sony Nex 7'dir.

Deney görüntüleri Apple iPhone marka 6s model akıllı telefon ile 720p (1280x720 piksel) ve saniyede 120 kare, Sony marka Nex 7 model kamerayla ise 1080p (1920x1080 piksel) ve saniyede 50 kare olarak kayıt altına alınmıştır.

Su seviyesinde ani değişimlerin olduğu ve yüksek taşkın dalgası yayılma hızlarına sahip baraj yıkılması, tsunami gibi problemlerin laboratuvar ortamında incelenmesinde,

akımın detaylı olarak gözlenebilmesi için yüksek çözünürlüklü ve hızlı çekim yapabilen kameralara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel kameralar kullanmak yerine, günümüzde temin edilmesi oldukça kolay olan iki farklı çözünürlüğe ve iki farklı çekim hızına sahip iki ayrı kamera kullanılarak, bu kameralardan elde edilecek görüntüler ile görüntü işleme teknikleri yardımıyla ani su seviyesi değişimlerinin hassas bir biçimde belirleyip belirleyemeyeceğinin irdelenmesi de amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında iPhone akıllı telefon kamerası için “Kamera-1” ve Sony marka kamera için ise “Kamera-2” adlandırılması yapılmıştır. Kamera kayıtlarının, görüntü işleme aşamasındaki özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kamera-1 ve Kamera-2’ye ait özellikler

Kamera	Marka/Model	Özellik
Kamera-1	Apple iPhone 6s	720p /120 fps
Kamera-2	Sony Nex 7	1080p / 50 fps

Çizelge 3.2’de fps (frame per second) olarak verilen özellik saniyedeki kare sayısı anlamına gelmektedir. Kocaman (2007)’den farklı olarak görüntü işleme sistemi için laboratuvar ortamında aydınlatma elemanı ve kamera görüntülerin eş zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlayan görüntü yakalama kartı kullanılmamıştır. Görüntüler doğrudan kamera ve telefon bünyesinde bulunan hafıza kartlarına kaydedilmiştir.

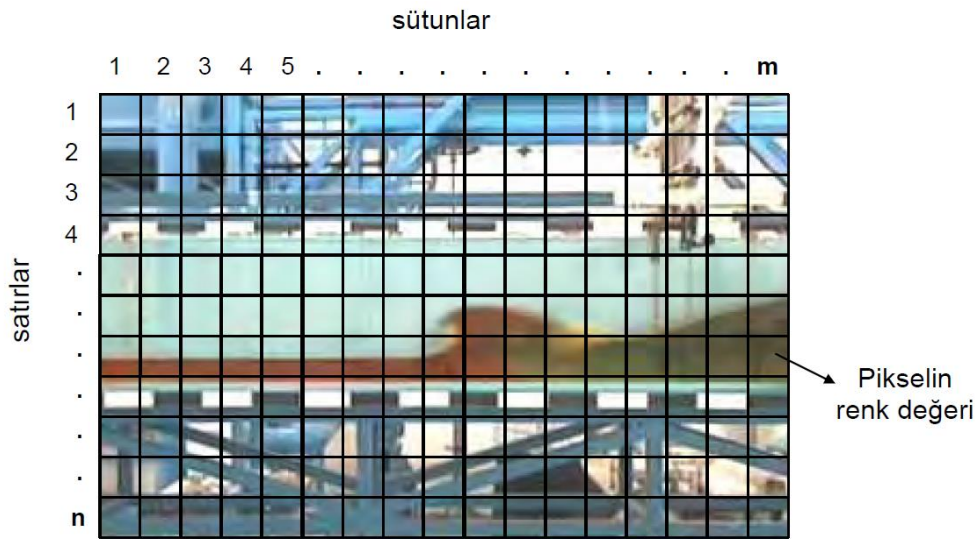
Laboratuvarda deneylerden önce yapılan deneme çekimlerinde, ortam ışığının (gün ışığı) görüntü işleme süreci için yeterli olduğu gözlenmiş ve bu nedenle özel bir aydınlatma sistemi kullanılmamıştır. Ortam ışığının kontrol edilebilir olması amacıyla deneme çekimlerinden önce deneylerin gece yapılması planlanmıştır. Bu şekilde kontrol edilebilir ortam ışığı ve özel aydınlatma sistemleri sayesinde istenilen görüntü kalitesine ulaşılabileceği düşünülmüştür. Ancak gece ve gündüz yapılan deneme çekimlerine ait görüntüler incelendiğinde, gündüz elde edilen görüntüler ile gece kontrollü ışık ortamında elde edilen görüntülerin kalitesinin görüntü işleme yazılımı için kayda değer farklılık göstermediği ve gün ışığı ortamında yapılan çekimlerin kalitesinin görüntü işleme için çok yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple deneyler gündüz şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada görüntü yakalama kartının kullanılmama sebebi ise deney kanalının bir adet kameranın objektifine sığması ve bu nedenle birden fazla kamera

kullanılmaması olarak gösterilebilir. Kanalın farklı kısımlarının birden fazla kamera ile çekilip görüntülerin senkronize hale getirilmesi gibi bir zorunluluk söz konusu olmadığından, ikinci kameraya ve görüntü yakalama kartına ihtiyaç duyulmamıştır.

3.2.2.2. Görüntü İşleme Analizi

Bir kameradan elde edilen görüntüler her biri kendilerine ait renk değerleri içeren küçük birimlerin bir araya gelmesi ile oluşur. Görüntüyü oluşturan bu birimlere piksel denilmektedir ve Şekil 3.7’de temsili olarak gösterilmiştir. Pikseller çoğunlukla kare şeklindedir. Bu nedenle pikseller bir görüntünün satır ve sütunları gibi düşünülürse, görüntünün tamamı da bir matris olarak düşünülebilir. Görüntü matrisi içerisindeki piksel birimlerinin iki ayrı sayısal özelliği vardır. Bunlar pikselin matris içindeki koordinatı ve pikselin gri renk seviyesi (ışık hassasiyeti) değeridir. Pikselin koordinatı iki boyutlu uzayda x ve y değişkeni olarak düşünülürse, görüntü de iki boyutlu uzayda matematiksel olarak $f(x,y)$ fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu $f(x,y)$ fonksiyonunun değeri ise görüntü üzerindeki (x,y) noktasının bir renk numarasıyla temsil edildiği gri renk seviyesi değerini göstermektedir. Çalışmada görüntü işleme amacıyla “Image pro plus” ve Imagej” yazılımlarından yararlanılmıştır.



Şekil 3.7. Bir görüntü üzerinde piksellerin temsili gösterimi (Kocaman, 2007)

Diğer özellik ise gri renk seviyesidir. Gri renk seviyesi, siyah beyaz bir görüntüde grinin farklı ton değerlerinin ifadesidir. Gri renk değer aralıkları 0 ile 255 arasında değişmektedir. 0 değeri siyaha 255 değeri ise beyaza denk gelmekle birlikte aradaki değerler grinin farklı tonlarını oluşturmaktadır. Bu durum siyah beyaz bir görüntüde 256 farklı gri tonda renk olabileceği anlamına gelir.

Renkli bir görüntü, R,G,B (Red, Green, Blue) olarak filtrelenmiş üç gri seviyeli görüntünün üst üste çakıştırılarak monitöre gönderilmesi ile elde edilmektedir. Üç renk için (kırmızı, yeşil ve mavi) denk geldikleri farklı dalga boylarında oluşturulan gri seviyeli görüntü monitörde farklı sıralamalarla üst üste getirilerek gösterilirse renkli bir görüntü meydana gelmiş olur.

3.3. Kalibrasyonlar

Bir kameradan elde edilen görüntüler üzerinden ölçüm almak hassasiyet gerektirmektedir. Bu nedenle sistemde düşünülmesi gereken özellikler sadece çözünürlük veya renk değerleri olmamaktadır. Görüntü işlemenin bir ölçüm tekniği olarak kullanılması için öncelikle sistematik hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Sistematik hatalar; mercekle bozulması, algılayıcı düzleminin deformasyonu ve elektronik hatalar olarak sıralanabilir. Bu hataların giderilmesi olayına kalibrasyon denilmekte ve böylece hatalar çeşitli programlar aracılığı ile onarılmış olmaktadır. (Karlı ve Ayhan, 2005).

Video kameralardan elde edilen görüntülerden, görüntü işleme yazılımı ile ölçüm alınabilmesi için yapılacak belli başlı kalibrasyonlar; açısal kalibrasyon, perspektif kalibrasyonu, yatay kalibrasyon ve metrik kalibrasyon olarak sıralanabilir. Gerçek deneylerden önce yapılan deneme çekimleri incelendiğinde açısal ve perspektif kalibrasyonların yapılmasına gerek olmadığı belirlendiğinden çalışmada bu kalibrasyonlar yapılmamıştır. Bu durumun, gelişen teknoloji ile birlikte kameralardaki mevcut lenslerin, görüntüde merkezden uzaklaştıkça bombeler oluşturmayan ve lineer bir görüntü verebilir hale gelmesi ile sağlandığı düşünülmüştür.

3.3.1. Yatay Kalibrasyon

Kameranın çekimler esnasında yere dik konumda olması ve kanalın tüm uzunluğu boyunca her noktasında herhangi bir eğrilik olmadan kameraya paralel olması ölçümlerin doğruluğu ve hassaslığı açısından önemli bir faktördür. Bu çalışmada deney kanalı eğimli olduğundan yatay kalibrasyon kanal tabanı baz alınarak yapılmamıştır.

Üzerlerine kamera konulan tripodlarda bulunan su terazisi aracılığı ile kameraların yatay kalibrasyonu yapılmıştır. Deney kanalının da uzunluğu boyunca kameralara dik bir düzlemde olmasına da dikkat edilmiştir. Bu şekilde çekimler öncesinde kamera ve deney düzeneğinin yatay kalibrasyonu bozacak herhangi bir düzensizlik oluşturması engellenmiştir. Sonrasında bu koşulların sağlanıp sağlanmadığı çekilen görüntüler üzerinden kontrol edilmiştir.

Ayrıca yatay kalibrasyon, görüntü üzerinden suyla yüklenen deney kanalında suyun yüzeyinin yer düzlemine paralel olması ile de ölçülebilir. Görüntü üzerinden yapılan incelemelerde hem memba hem de mansap kısımlardaki gıda boyası ile belirgin hale getirilmiş su ile dolu üçgen bölgelerin başlangıç ve bitiş koordinatlarının y değerlerinin eşit olduğu gözlenmiştir. Bu durum da su yüzeylerinin yer düzlemine paralel olduğunun ve yatay kalibrasyonun sağlandığının bir göstergesi olmuştur.

3.3.2. Metrik Kalibrasyon

Video kameralardan elde edilen bir görüntü piksellerden meydana gelmektedir. Metrik kalibrasyon mantığına göre bir pikselin x ve y doğrultusunda uzunluğu metrik ölçü olarak bilindiği takdirde görüntü işleme amacıyla incelenen objenin de metrik ölçümleri yapılabilir. Görüntüde uzunluğu bilinen bir objenin kaç piksel uzunluğuna denk geldiği ölçülerek doğru orantı mantığıyla bir pikselin metrik olarak uzunluğu bulunur. Bu oran ölçüm yapılacak nesneye uygulanarak nesnenin uzunluğu piksel biriminden metrik ölçü birimine çevrilebilir. Bu oran hesaplanırken metrik cinsinden uzunluğu bilinen ve referans olarak seçilen objenin ölçülmek istenen obje ile aynı düzlemde olmasına özen gösterilmelidir. Bu şekilde kameranın derinlik algısı sebebiyle oluşabilecek metrik kalibrasyon hatalarının önüne geçilmiş olur.

Metrik olarak gerçek uzunluğu bilinen bir nesne 50cm uzunluğunda bir cetvel olabilir. Görüntü işleme tekniğinin üzerinde uygulanacağı objenin yanına konulacak 50cm uzunluğunda cetvel, görüntüde 200 piksel uzunluğuna denk geliyorsa oran orantı ile 1 pikselin $50/200=0.25$ cm uzunluğunda olduğu hesaplanır. Ölüm yapılacak obje 600 piksel uzunluğunda ise yine oran orantıdan $600 \times 0.25=150$ cm uzunluğunda olduğu kolaylıkla hesaplanabilir. Bu şekilde görüntü işleme tekniği ile metrik olarak uzunluk değeri bilinmeyen bir objenin uzunluğu, görüntüdeki metrik uzunluğu bilinen bir referans obje yardımı ile elde edilmiş olur. Ancak bu oranın sadece kameranın ve llmek istenen objenin aralarındaki mesafe değişmediği takdirde geçerli olacağı, bu mesafenin değişmesi halinde bu oranın da değişeceği gerçeği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle farklı deneyler yapılırken kamera lens ayarlarıyla oynanmamalı veya kameranın yeri değiştirilmemelidir

Oran orantı yöntemi görüntü işleme yazılımlarında kullanıcının girdiği gerçek büyüklük değerine göre otomatik olarak hesaplanıp, bu hesaptan sonra her ölümün metrik olarak alınabilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca yine görüntü işleme yazılımı aracılığı ile bu lmler Microsoft Excel programına da aktarılabilir.

Bu çalışmada, uzunluğu bilinen referans noktaları olarak deney kanalına yapıştırılan siyah-beyaz renklere oluşan kağıtlar kullanılmıştır. Yan yana yapıştırılan iki kağıt, üzerlerinde bulunan çemberlerin merkezleri arasındaki uzaklık 20cm olacak şekilde yerleştirilmiştir (şekil 3.8). emberlerin merkezlerinin görüntü işleme sırasında daha iyi belirlenebilmesi için çemberler dört eşit çeyreğe ayrılmış ve siyah-beyaz renkler çapraz şekilde verilerek yaratılan zıtlık ile çember merkezlerinin daha iyi seçilebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Metrik kalibrasyon amacıyla yapıştırılan referans kağıtlar

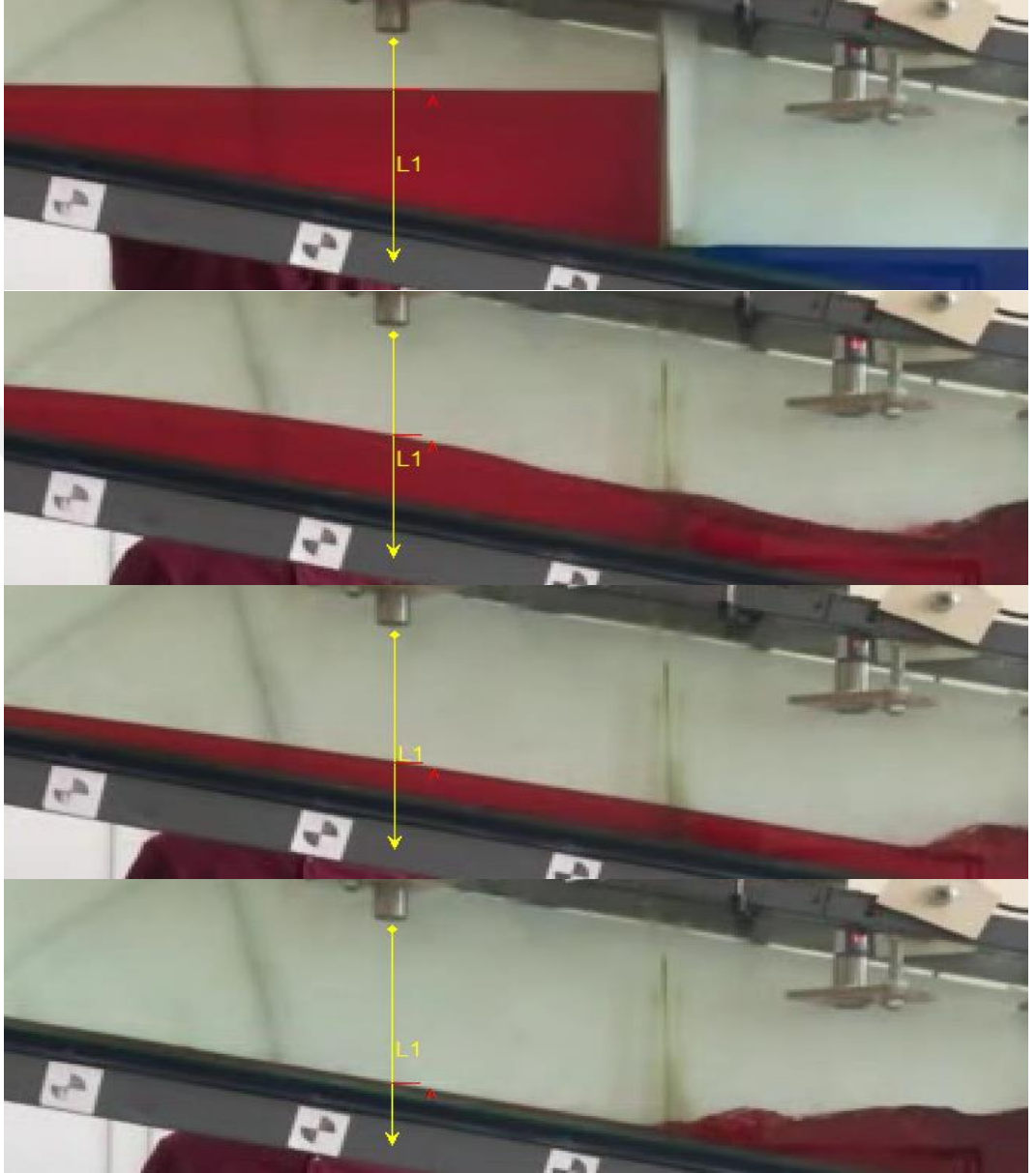
Diğer bir metrik kalibrasyon yapma aracı olarak ise deneylerden önce cetvel ile ayarlanan 15cm yüksekliğindeki memba su derinliği de referans uzunluk olarak kabul edilebilir. Referans kağıtların yapıştırılmasının mümkün olmaması, su derinliğinin ölçüsünün bilinen veya deneyden önce ölçülerek emin olunan bir değer olmaması veya görüntüde özellikle referans olarak kabul edilebilecek cetvel gibi bir objenin bulunmaması gibi olumsuz durumlarda bile deney kanalının boyutları bilindiğinden, deney kanalının görünen herhangi bir boyutunun da (deney kanalının yüksekliği gibi) kalibrasyon aracı olarak kullanılabilmesi değerlendirilmiştir.

3.4. Bir Noktaya Ait Su Derinliğinin Zamana Bağlı Değişiminin Görüntü İşleme Tekniği ile Elde Edilmesi

Bu çalışmada baraj yıkılması sebebiyle oluşan akımın, belli bir noktadaki zamana bağlı su seviyesi değişimlerinin ölçülebilmesi için Kocaman (2007) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır.

Kocaman (2007) tarafından görüntü işleme yazılımında bulunan kenar tanıma ve filtre işlevlerinden faydalanılarak bir kod geliştirilmiştir. Yazılım genel olarak bir görüntüdeki su seviyesini belirlerken gıda boyası sayesinde arka plan rengi ile zıtlık gösteren suyun yüzeyini (su-hava arakesitini) suyun en üst kotu olarak değerlendirmektedir. Arakesiti, aynı noktada video görüntüsünü oluşturan her kare için

ardışık şekilde hesap eden yazılım, bu şekilde belli bir noktadaki su seviyesinin zamanla değişimini tespit edebilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Belli bir noktada su derinliğinin Kocaman (2007) tarafından geliştirilen yöntem ile belirlenmesi

Kocaman (2007) tarafından “sanal derinlik ölçer” olarak adlandırılan bu yöntem ile görüntü üzerinde istenilen her noktada su derinlikleri kolaylıkla belirlenebilmektedir. Programda, ölçüm alınmak istenen noktanın koordinatları ve boyutları girilerek öncelikle sanal derinlik ölçeri temsil eden bir ok oluşturulmaktadır (Şekil 3.9). Daha sonra bu ok eksenindeki ardışık piksellerin renk değerlerindeki ani değişimlerin olduğu

yer yazılım tarafından bir kenar olarak algılanmakta ve su seviyesini (su-hava arakesiti) gösteren bu noktanın koordinatı belirlenebilmektedir. Sonrasında görüntülerin ardışık olarak analiz edilmesiyle anlık derinlik değişimleri elde edilebilmektedir.

Bu ölçüm yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları; kanal içerisine yerleştirilecek metal çubuklarla (wave probe) yapılacak ölçümün akımı rahatsız etmesi gibi potansiyel bir sorunu ortadan kaldırması, laboratuvar ortamında belli sayıda olan metal çubuk ile akımın farklı yerlerinden ölçümler yapılması için deneyin tekrarlanması gerekliliğini ortadan kaldırması, su seviyesinin her doğrultuda ölçülebilmesi, metal çubuklar ile ölçümü mümkün olmayan katı madde hareketinin gözleminin yapılabilmesi ve birbirine karışmayan sıvıların geçiş bölgelerindeki akım hareketinin zamana bağlı olarak izlenebilmesi gibi özellikler sayılabilir (Ozmen-Cagatay ve Kocaman, 2012)

3.5. Teori

Bu çalışmada, nümerik inceleme aşamasında DualSPHysics ve FLOW-3D isimli yazılımlar kullanılmıştır. Bu bölümünde, nümerik sonuçların elde edilmesinde kullanılan bu yazılımların dayandığı teorik bilgilere değinilmiştir.

3.5.1. DualSPHysics Yazılımı

SPH (Smoothed Particele Hydrodynamics) yönteminin uygulaması için DualSPHysics isimli yazılım kullanılmıştır. DualSPHysics Lagrange yöntemine dayanan ve Euler yöntemlerinin uygulanması güç olan dalga çarpması, baraj yıkılması gibi serbest yüzeyli akım problemlerinin çözümü için geliştirilen bir yazılımdır. (Crespo ve ark., 2015). Bu yöntemde HAD analizlerinde kullanılan çözüm bölgesinin çözüm ağına ayrılması (mesh) yaklaşımdan farklı olarak çözüm bölgesi içerisindeki akışkan ve cidarlar parçacıklar ile temsil edilir. Yakın parçaların birbirlerine olan etkileri ağırlıklı olarak aralarındaki mesafeye bağlıdır. Bu etkiyi hesaplamak için çekirdek (kernel) fonksiyonu (W) tanımlanmıştır. Ayrıca bu etkinin oranı etkileşim mesafesi (smoothing length) (h) kullanılarak tanımlanan terime de bağlıdır. Herhangi bir parçacık, etkileşim mesafesi içerisinde kalan dairesel alan içerisindeki diğer parçacıklarla etkileşim halindedir. Bu etkileşimin derecesi merkezindeki kullanılan kernel fonksiyonuna da

bağlı olarak mesafe ile ters orantılıdır. Etkileşim mesafesi dışında kalan parçacıklar ile arasında bir etki söz konusu değildir. Birbirine komşu olan her bir parçacığa ait hız, basınç, konum, yoğunluk gibi büyüklükler etkileşim mesafelerine bağlı olarak interpolasyonla hesaplanır. SPH yönteminin matematiksel temeli integrale ve bunların interpolasyonlarına dayalı olduğu için denklem (3.1)'deki gibi bir F fonksiyonu tanımlanıp, bu fonksiyon parça temelli ayırık bir form olarak düşünülebilir (Altomare ve ark., 2015).

$$F(r) = \int F(r') W(r - r', h) dr' \quad (3.1)$$

Burada, $F(r)$ ortalamayı, W kernel fonksiyonu, h etkileşim mesafesini göstermektedir. Bu fonksiyon, etkileşim mesafesi (h) içerisindeki parçaların toplamı olan a parçasında interpolate edilirse;

$$F(r_a) \approx \sum_b F(r_b) W(r_a - r_b, h) \Delta v_b \quad (3.2)$$

halini alır. 2 numaralı denklemde bulunan ve alt indis şeklinde yazılan a ve b değişik iki parçayı, Δv_b ise komşu parça olan b 'nin hacmini göstermektedir. Hacim, yoğunluğun kütleyle oranı olduğundan denklem;

$$F(r_a) \approx \sum_b F(r_b) \left(\frac{m_b}{\rho_b} \right) W(r_a - r_b, h) \quad (3.3)$$

şeklini alır. Burada m_b ve ρ_b sırasıyla b parçasının kütle ve yoğunluğunu göstermektedir.

Bir SPH analizinde, çözümün gerçeğe yakınlığı genelde kernel fonksiyonuna ile doğrudan ilgilidir. Bu fonksiyon iki parçanın arasındaki mesafe ile (r) etkileşim mesafesinin (h) oranlanarak boyutsuz bir sayı (q) elde edilmesi ile tanımlanır. Bu çalışmada kullanılan kuintik eğrisi (Wendland) parametresi için değerler aşağıda verildiği gibidir.

$$W(r, h) = \alpha_d \left(1 - \frac{q}{2}\right)^4 (2q + 1) \quad (3.4)$$

Bu denklemde α_d eşitliği iki boyut için $7/4\pi h^2$ ve üç boyut için $21/16\pi h^3$ e eşit olmaktadır.

Klasik SPH formülasyonunda Navier-Stokes denklemleri akışkanın zayıf şekilde sıkışabilir kabulüne dayanarak çözülür (Monaghan, 1992) ve momentum denklemi

herhangi bir a parçasının komşu parçalarla ilişkisine dayalı olarak ivmesinin tespit edilmesi için kullanılır.

$$\frac{dv_a}{dt} = - \sum_b m_b \left(\frac{P_b + P_a}{P_b - P_a} + \Pi_{ab} \right) \nabla \frac{1}{\rho} \nabla_a W_{ab} + g \quad (3.5)$$

Burada v hız, P basınç, ρ yoğunluk, m kütle, g yerçekim ivmesini ve W_{ab} parçacıklar arasındaki mesafeye bağlı olan kernel fonksiyonunu göstermektedir. Π_{ab} ise Monaghan (1992) tarafından önerilen yapay viskoziteye bağlı bir terimdir.

Her parçacığın kütlesi sabittir. Bu şekilde akışkan yoğunluğundaki değişimler aşağıdaki SPH formundaki kütle korunumu veya süreklilik denkleminin çözümü ile elde edilir.

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \sum_b m_b v_{ab} \cdot \nabla_a W_{ab} \quad (3.6)$$

Akışkanın zayıf şekilde sıkışabilir olduğu kabulüne dayanan yaklaşımda, parçanın yoğunluğuna dayalı olan basıncı belirlemek için Tait'in hal denklemi kullanılır. Ses hızının yapay olarak düşürülebilmesi ile sıkışabilirlik ayarlanır. Zaman adımı, tüm parçacıklar için o anda hesaplanan ses hızına dayalı olarak Courant koşuluna göre belirlenir. Bu şekilde herhangi bir andaki zaman adımının boyutunun makul seviyelerde kalması sağlanır. Ses hızı ayarlanırken, akışkanın maksimum hızının on katından daha yavaş olmamasına dikkat edilmelidir. Bu sayede yoğunluktaki değişimin %1'in altında kalması sağlanır. Bu şekilde akışkanın sıkışmaz olduğu kabulüne dayanan yaklaşımlara göre çok büyük sapmaların olmasının önüne geçilmiş olur. Basınç ve yoğunluk arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (Dinçer ve Bozkuş, 2015).

$$P = b \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \quad (3.7)$$

$$b = c_0^2 \rho_0 / \gamma \quad (3.8)$$

Burada $\gamma=7$ ve referans yoğunluk olan ρ_0 ise 1000 kg/m^3 olarak alınmıştır.

3.5.2. FLOW-3D Yazılımı

FLOW-3D, 3-boyutlu süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini baz alan ve pek çok akışkan probleminin özellikle de serbest yüzeyli akışkan problemlerinin çözümü için kullanılan ticari bir paket programdır.

Yazılım, süreklilik ve hareket denklemlerinin (Reynolds Averaged Navier Stokes - RANS) üç boyutlu hallerini ifade eden diferansiyel denklemleri sonlu hacimler metodu ile çözebilmektedir. Çözümlerde, dikdörtgen veya kare ağlardan (mesh) oluşan bir sistem yardımıyla akışkanın yoğunluk, basınç ve üç boyutta hız vektörleri gibi büyüklükleri kontrol hacmi yardımı ile hesaplanabilmektedir. Her bir kontrol hacmi bir hücre olarak düşünülmektedir.

Laboratuvardaki deney düzeneğinin şekil olarak FLOW-3D yazılımına aktarılması ise bahsedilen hücrelere akışkan veya solid (katı) özelliği atanması ile mümkün olmaktadır. Hücrelerin yüzeyinde katı veya akışkanın ne kadar alan kapladığının ölçümü ise ne kadarının ne ile dolu olduğuna bağlı olarak değişmektedir. Eğer hücre tam olarak katı ile doluyorsa 0, tam olarak boş ise 1 değerini alır. Hücrenin bir kısmının katı ile dolu olması halinde ise bu değer oransal olarak 0 ve 1 arasında bir değer almaktadır. Bu yöntem Fractional Area/Volume Obstacle Representation (FAVOR) metodu denilmektedir. Bu şekilde bir kontrol hacminde ne kadar akışkan veya katı olduğu ölçülebilmekte ve deney düzeneğinin şekli de yazılıma aktarılmış olmaktadır. Çözüm ağının sıklığının artmasıyla bu hücrelerin doluluk oranları daha doğru tespit edilebilmekte, deney ortamının geometrisi ve akışkana ait özellikler nümerik ortamda daha hassas şekilde temsil edilmektedir.

Yazılımda, su-hava arakesiti olan serbest yüzeylerin tespit edilmesi için akışkan hacmi metodu (Volume of Fluid – VOF) kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols,1984). Bu metot da FAVOR gibi hücrelerin doluluk oranına göre akışkan hacmi tespit edilmektedir. Eğer serbest yüzeyin bir eğimi varsa, o hücre etrafındaki hücreleri de hesaba katan bir değerlendirme yapar. Akışkan hacmi metodunda su-hava ara kesitinin belirlenmesi şu şekilde gerçekleşmektedir; yazılım su-hava arakesit bölgesinin yerini tespit eder, bu bölge serbest yüzey olarak değerlendirilir ve arakesite sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç sınır şartları uygulanır. Akışkanın hacim fonksiyonu olan F 'nin değişimi aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (3.9)$$

Bu denklemde F değerinin hareketi akışkan ile birliktedir.

Bir problem bölgesinde bulunan kontrol hacmi %100 sıvı, %100 katı, bir miktarı sıvı ve kalanı katı, bir miktarı sıvı ve kalanı boş veya %100 boş olabilir. Problemin

bölgesinde birbirinden farklı olan bu özellikteki durumların nümerik ortamda çözümü için yazılımın farklı sınır şartları vardır. Bunlar outflow, basınç, hız, duvar, bağlayıcı, periyodik gibi çeşitli koşullardır. Ayrıca yazılımda iki denklemlilik k-ε, Renormalized Group (RNG) ve Large-Eddy Simulation (LES), k-ω gibi çeşitli türbülans modelleri bulunmaktadır.

Yazılımın kullandığı 3 boyutlu süreklilik ve hareket denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0 \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (3.11)$$

bu denklemlerde, u_i i doğrultusundaki akım hızını, P basıncı, A_i i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alanı, V_F her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacmi, g_i kütlelesel kuvvetleri, f_i herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini göstermektedir. Burada f_i aşağıda verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$f_i = \frac{1}{\rho V_F} \left[w s_i - \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \tau_{ij}) \right] \quad (3.12)$$

Denklem (3.12)'de $w s_i$ duvar kayma gerilmesi, τ_{ij} ise gerilme hızı tansörünü göstermektedir. Duvar kayma gerilmeleri aşağıda verildiği gibidir:

$$\tau_{ii} = -2\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \quad (3.13)$$

$$\tau_{ij} = -\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (3.14)$$

Denklem (3.13) ve (3.14)'te μ_T ifadesi türbülans etkilerini belirten ve çalkantı gerilmelerinin de hesaba katıldığı toplam dinamik viskozite anlamına gelmektedir.

FLOW-3D yazılımı, kayma hızını (u_*) elde etmek amacıyla pürüzlü ve pürüzsüz bir duvar yüzeyi için aşağıda verilen fonksiyonu kullanmaktadır (Flow Science, INC., 2007):

$$u_0 = u_* \left[\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{\rho u_* y_0}{\mu + \rho a u_* k_s} \right) + 5 \right] \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)'te κ Von Karman sabiti, k_s pürüzlülük, y_0 teğetsel hızın engele mesafesi, a ise k- ε modelinde 0.247'ye eşit olan ve türbülans modeline göre değişen bir katsayıdır. Kontrol hacminin laminer alt tabaka olması durumunda ise;

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu u_0}{\rho y_0}} \quad (3.16)$$

eşitliği kullanılır. Kayma hızını (u_*) veren çözüm, türbülans taşınım denklemlerinde denklem (3.24) sınır koşulu olmaktadır. Pürüzlülük ise toplam dinamik viskozite ve doğrudan duvar kayma gerilmesi aracılığıyla çözüme dahil edilir.

$$ws_i = \sum_j \frac{2\rho |u_{*i}| u_{*i}}{\Delta x_j} \quad (3.17)$$

Elde edilen duvar kayma gerilmesi denklem (3.12) kullanılarak momentum denkleminin çözümüne katılmaktadır.

3.5.2.1. k- ε Türbülans Modeli

Bu çalışmanın FLOW-3D yazılımı ile yapılan nümerik analiz kısımlarında türbülans modeli olarak k- ε türbülans modeli kullanılmıştır. Bunun sebebi olarak yapılan literatür taramasında bu metodun en sık başvurulan ve doğrulanmış metod olması gösterilebilir (Wilcox, 2000; Shigematsu ve ark., 2004, Kocaman ve Özmen-Çağatay, 2012; Özmen-Çağatay ve ark., 2014.).

İki denklemlilikte anılan bu modelde Reynolds gerilmesini verecek türbülans viskozitesi aşağıdaki gibi verilmektedir;

$$\mu_t = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (3.18)$$

Burada k kinetik enerji, ε ise sönümlenme oranıdır. Bu terimler için kapatma eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (3.20)$$

Kapatma ile ilgili değerler; $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.92$, $C_{\mu} = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$ ve $\sigma_{\varepsilon} = 1.3$ olmaktadır. Kapatma ile ilgili ifadeler ise aşağıda verildiği gibidir.

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_{\mu} k}, \quad \ell = \frac{C_{\mu} k^{3/2}}{\varepsilon} \quad (3.21)$$

τ_{ij} (Reynolds gerilme tansörü) ile e_{ij} (ortalama gerilme oranı tansörü) aşağıda ifade edilmiştir.

$$\tau_{ij} = 2\nu_t e_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3.22)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.23)$$

Aşağıdaki eşitlikte bulunan k ve ε ifadeleri ile ilgili olan sınır şartları denklem (3.15) ve (3.16)'da verilen fonksiyonlar yardımı ile hesaplanmaktadır.

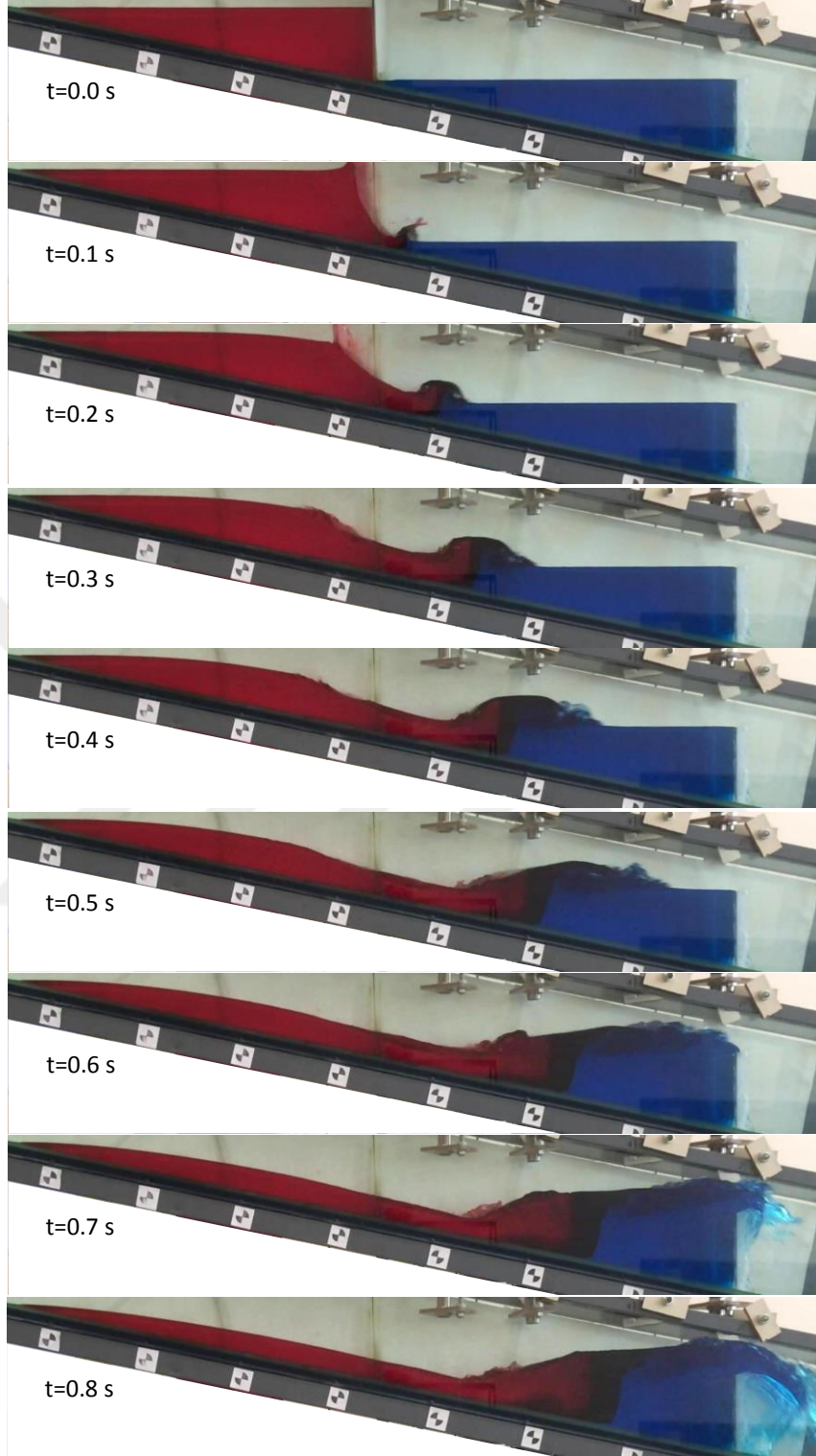
$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{c_{\mu}}}, \quad \varepsilon = \frac{u_*^3}{\kappa y_0} \quad (3.24)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

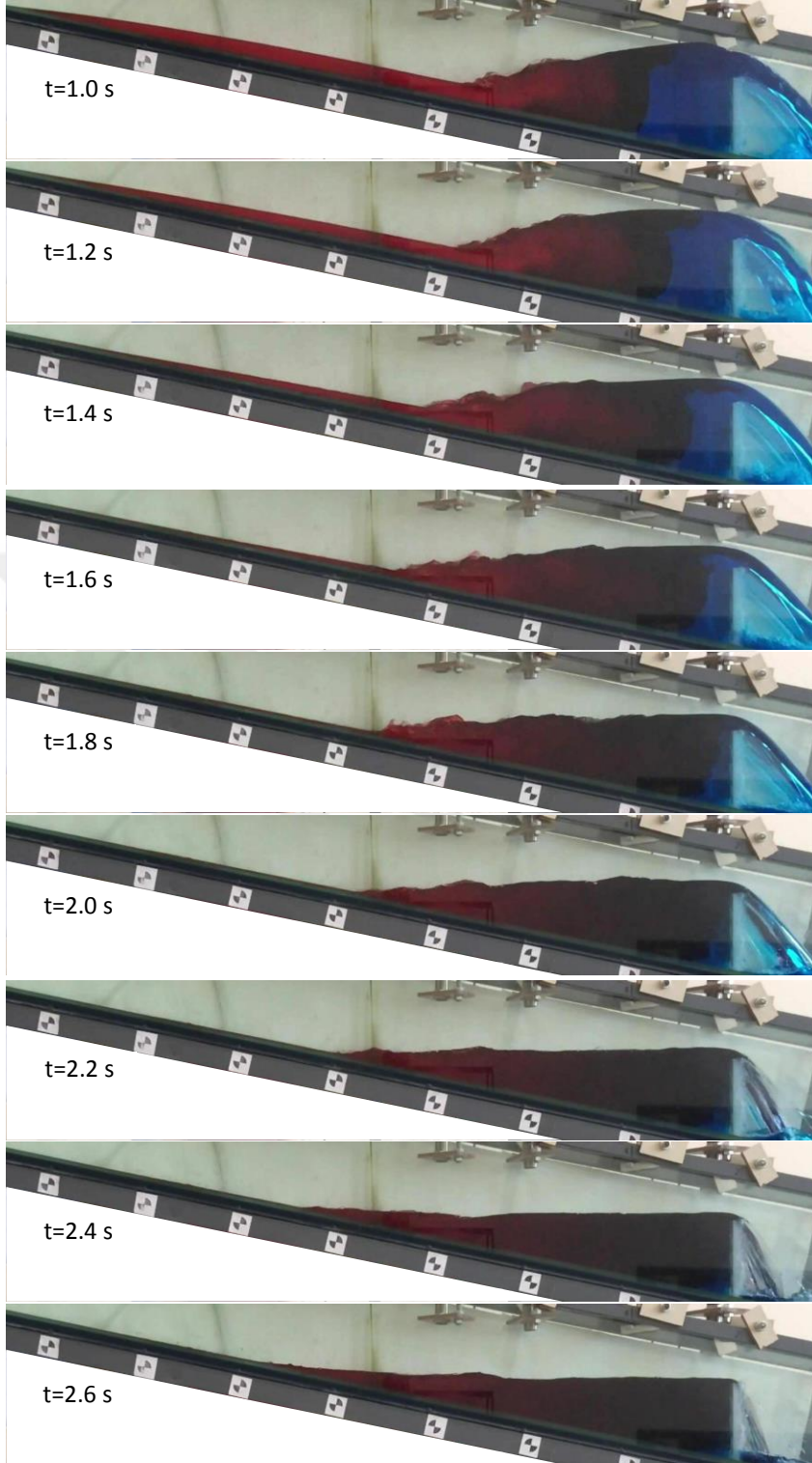
Eğimli bir kanalda ardışık baraj yıkılmasının deneysel ve nümerik olarak incelendiği bu çalışmanın deneysel aşamasına ait görüntüler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verildiği gibidir.

Deneyin ilk anından itibaren 0.1 saniyelik aralıklarla alınan görüntülerin oluşturduğu Şekil 4.1 incelendiğinde, barajı temsil eden kapağın ani olarak kalkmasıyla (yaklaşık 0.05s) birlikte eğimin etkisiyle memba tarafındaki baraj gölünün mansap tarafındaki baraj gölüne doğru hızla aktığı görülmektedir ($t=0.1-0.3s$). Farklı renkte kullanılan gıda boyaları sayesinde memba tarafında bulunan baraj yıkılması dalgasının mansap doğrultusunda ilerleyişi, mansap baraj gölüne karışması ve meydana gelen dalganın mansap barajı üzerinden aşması rahatlıkla gözlenebilmektedir ($t=0.4-0.8s$). Kapağın kalkmasıyla birlikte, iki gölün karıştığı ilk anda sıçrama tipi dalga kırılmasının olduğu ($t=0.1-0.2s$) ve bu dalganın yarattığı etki ile mansap barajının taşarak mansaptaki barajı temsil eden sabit kapak üzerinde keskin kenarlı savak tipi davranış gösteren bir profil oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 4.2 incelendiğinde ise taşkın büyüklüğünün ani olarak artmasından dolayı akımın tamamı baraj üzerinden aşamamakta ve bir kısmı memba yönünde geriye doğru yansımaktadır. Bu esnada mansap haznesi içerisindeki su yüzeyinde belirgin bir eğim göze çarpmaktadır ($t=1.0s$). Bu su yüzeyi eğiminden dolayı ağırlık kuvvetlerinin etkisiyle memba yönünde su yüzeyinde bir negatif dalga oluşmaktadır. Memba yönünde ilerleyen bu yansıyan dalganın, kanal tabanı üzerinde tırmanmakta olduğu ancak dik eğim sebebiyle bu tırmanmanın fazla ilerlemediği ve tırmanan dalganın geri dönüşünde su yüzeyinde dalgalanmalara neden olduğu gözlenmiştir ($t=1.2-2.6s$). Ayrıca keskin kenarlı savak davranışı gösteren mansap barajında da deney düzeneğinden tahliye olan su miktarının zamanla azalması sebebiyle bu etkinin de azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Baraj yıkılması sebebiyle oluşan hareketinin başlangıcı ve gelişimi (0.1 saniye aralıklı)



Şekil 4.2. Baraj yıkılması sebebiyle oluşan hareketinin mansap barajından yansması (0.2 saniye aralıklı)

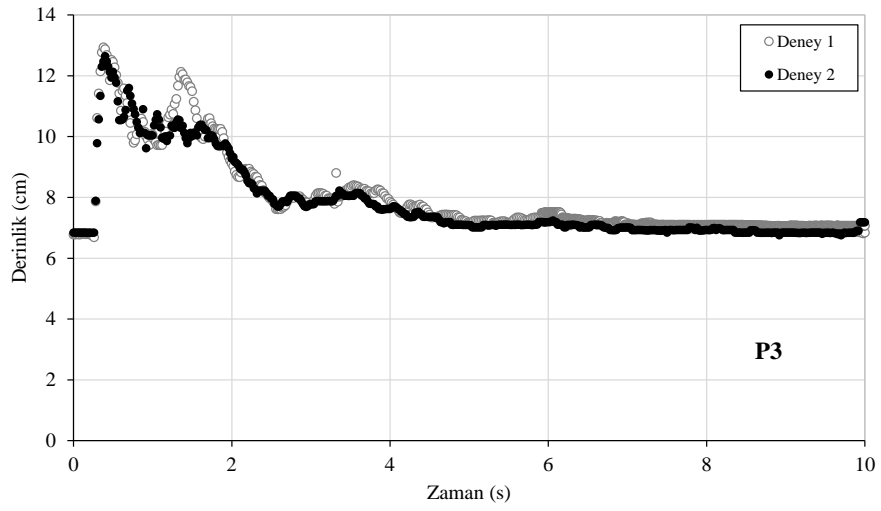
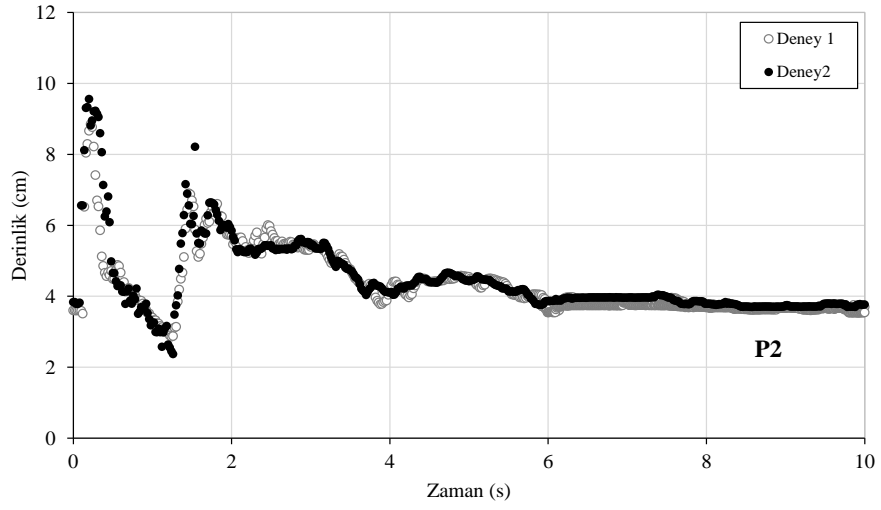
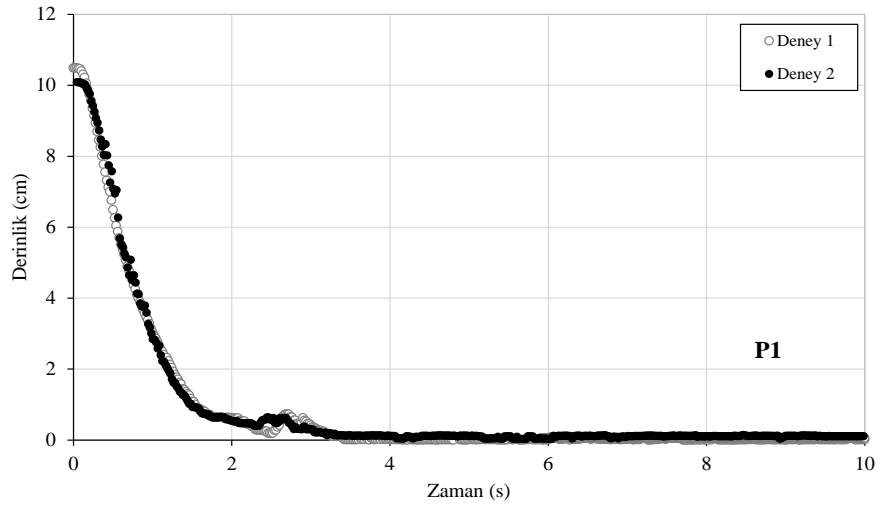
4.1. Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Test Edilmesi

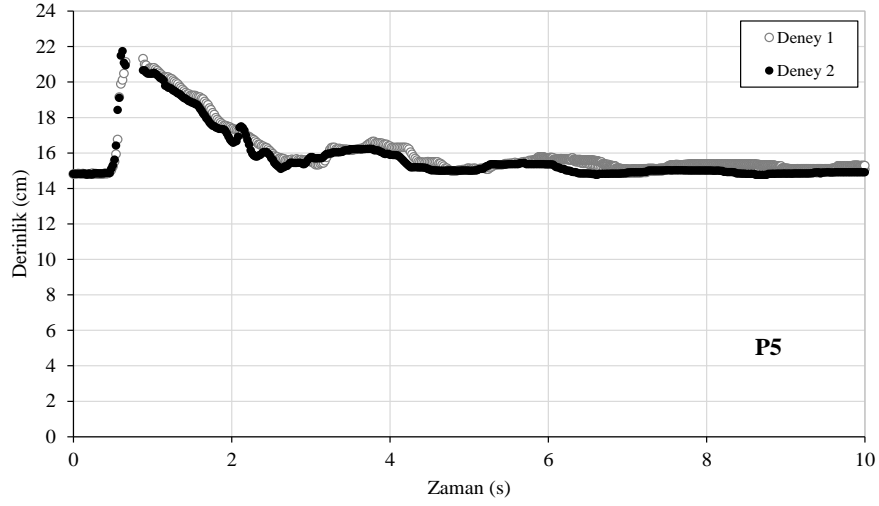
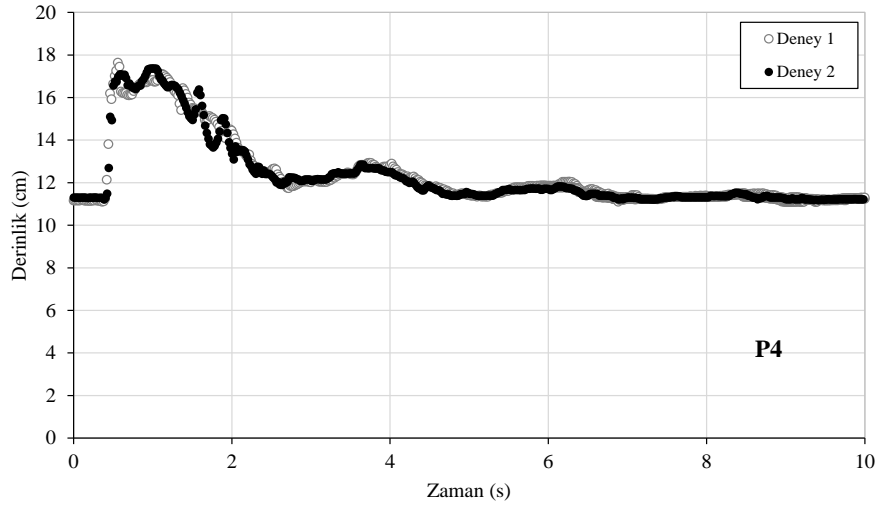
Laboratuvar ortamında yapılan deneyin güvenilirliğinin ve hassasiyetinin kontrolü için deney aynı fiziki şartlar (değişmeyen memba ve mansap su derinlikleri, deney kanalının eğimi, kamera konumu vb.) için tekrarlanarak ultrasonik sensörler ve kameralar ile kayıt altına alınmıştır. Bu şekilde sabit bir deney düzeneğinde aynı koşullar için deney tekrarlandığında aynı sonuçların alınıp alınmadığı kontrol edilmiştir. Bu çalışmada, deneyin tekrarlanabilirliği Kamera-2 ile elde edilen görüntüler ve ultrasonik sensör ölçümleri üzerinden ayrı ayrı incelenmiştir. Deneysel veriler, Şekil 3.4'te gösterilen ölçüm noktaları kullanılarak elde edilmiştir.

4.1.1 Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Kamera ile Test Edilmesi

Bu kısımda 1. ve 2. deneyden elde edilen su derinliği-zaman ilişkisi her bir ölçüm noktası için video görüntüler kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Su seviyelerinin belirlenmesinde Bölüm 3.4'te bahsedilen “sanal derinlik ölçer” kullanılmıştır. Burada P1 mambadaki P2-P5 mansaptaki ölçüm noktalarını göstermektedir. P5 noktasının mansap barajına ait sabit kapağın çok az memba tarafında olduğu düşünülerek su derinlikleri buna göre belirlenmiştir.

Şekil 4.3'e ait grafikler incelendiğinde ufak tefek farklılıklar dışında iki deneye ait kamera görüntülerinden elde edilen sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu söylenebilir. Bu uyumdan yola çıkılarak deney düzeninin tekrarlanabilir olduğu, mevcut verilerin bir deneyden elde edilen tesadüfi sonuçlar olmadığı ve farklı zamanlarda tekrarlanacak deneylerden de bu çalışma ile uyumlu sonuçlar alınacağı çıkarımı yapılmıştır.



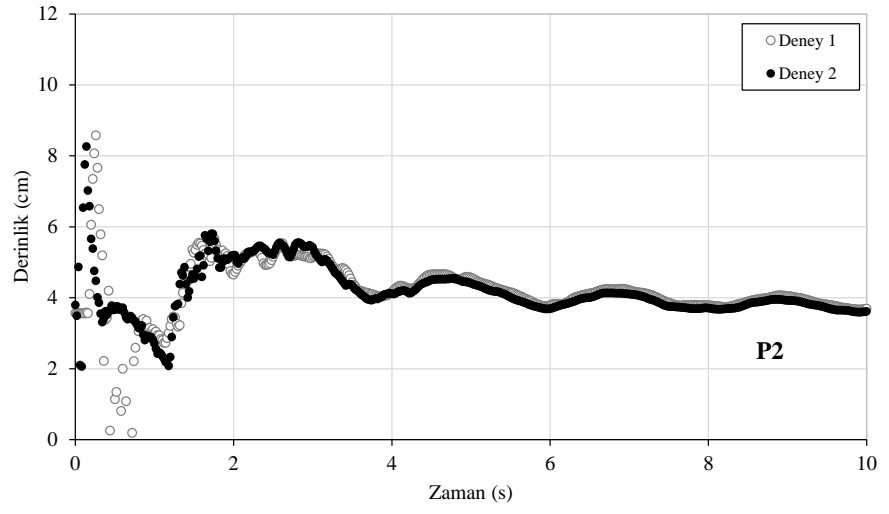
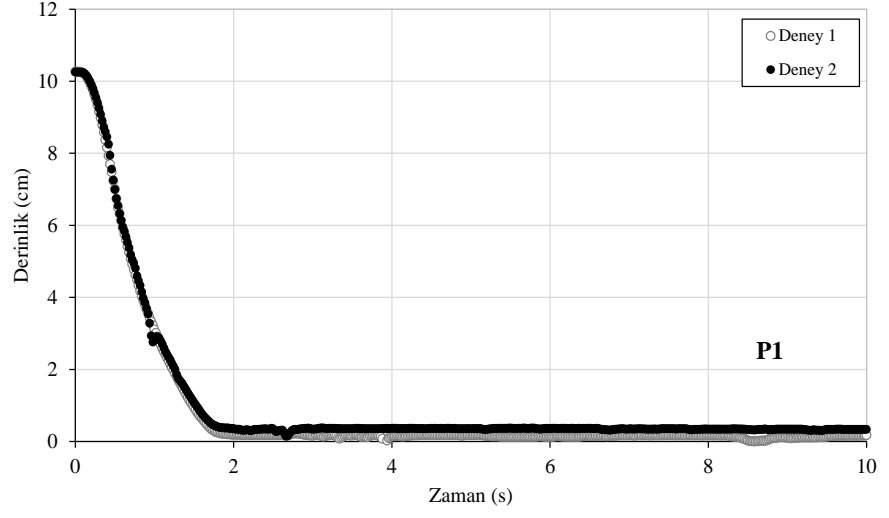


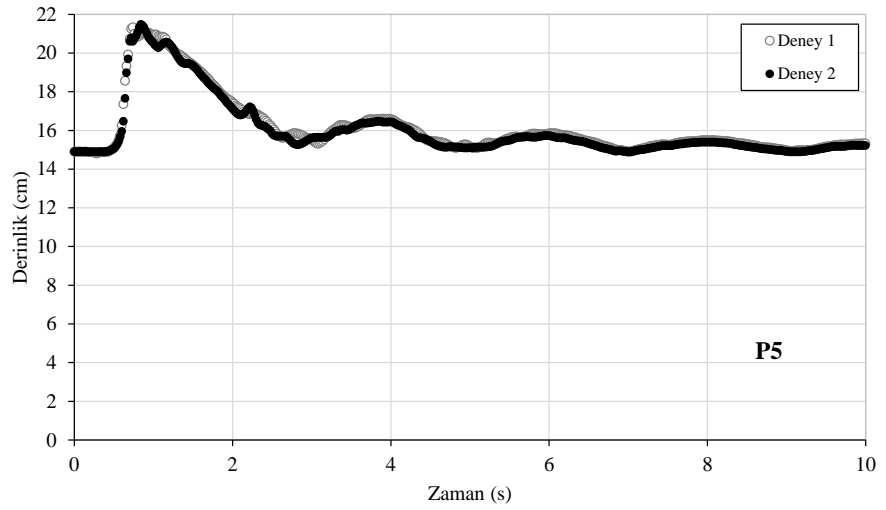
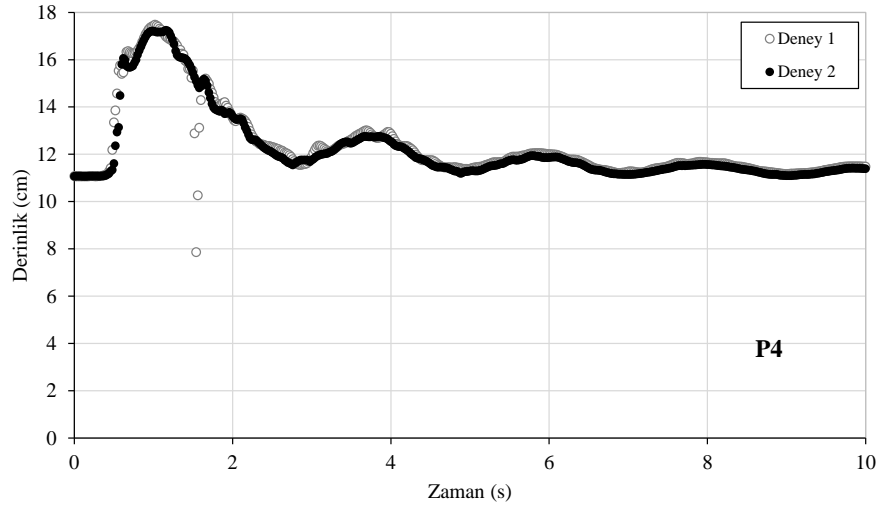
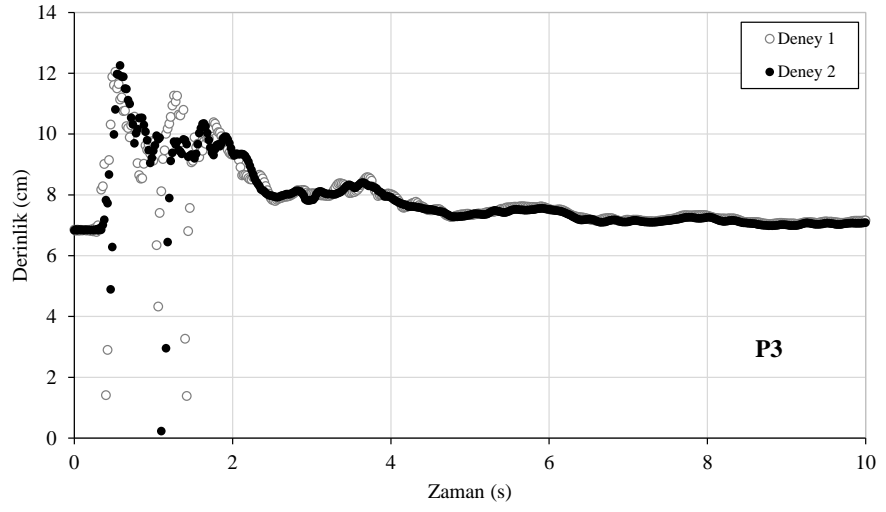
Şekil 4.3. Aynı koşullarda tekrarlanarak yapılan iki deney sonucunun kamera görüntüleri üzerinden karşılaştırılması

4.1.2 Deneyin Tekrarlanabilirliğinin Ultrasonik Sensörler ile Test Edilmesi

Mesafe ölçümlerinde birçok yaygın kullanım alanına sahip olmalarına karşın ultrasonik sensörlerin, baraj yıkılması gibi oldukça hızlı değişen değişken akım koşullarında kullanıldığında güvenli veriler elde edilemeyeceği ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Görüntü işleme gibi akımı rahatsız etmeyen temassız bir ölçüm yöntemi olmasından dolayı, hidrolik alanında yapılacak deneysel çalışmalarda alternatif bir ölçüm tekniği olarak yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez kapsamında, mesafe olarak kısa çalışma aralığına sahip fakat hızlı tepkime süresine sahip iki farklı tipte ultrasonik sensörler kullanılarak elde edilmiş her noktaya ait su

derinliği-zaman grafikleri 1. ve 2. deney için oluşturulmuş ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Böylece ultrasonik sensörlerin bu tür bir çalışmada veri almadaki başarısı ve deneyin tekrarlanabilirliği ultrasonik sensörler aracılığı ile de incelenmiştir.





Şekil 4.4. Aynı koşullarda tekrarlanarak yapılan iki deney sonucunun ultrasonik sensör verileri üzerinden karşılaştırılması

Şekil 4.4 incelendiğinde, genel olarak birinci deneyin aynı şartlarda tekrarlanmasıyla yapılan ikinci deneyin sonuçlarının birinci deney ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Buna karşın, su seviyesinde ani değişimlerin olduğu P2 ve P3 ölçüm noktalarında sensörlerin bazı anlarda okuma yapamadıkları görülmektedir. Bu sensörler bir yüzeye ultrasonik ses dalgası göndermekte ve bu dalganın yüzeyden yansıtılarak sensöre tekrar ulaşması için geçen süreyi hesaplayarak mesafeyi belirlemektedir. Bu çalışma prensibi dikkate alındığında, bu durum su yüzeyinde meydana gelen ani değişim ve eğriliklerden dolayı sensörün gönderdiği dalgayı tekrar alamaması ve bu anlarda değer okuyamaması ile açıklanabilir. Sensörlerin tepki sürelerinin yeterince küçük olmamasından dolayı, ilk değer okuyamama anından önceki ve sonraki bir kaç milisaniyelik süre içerisinde sıfır değeri ile okuması gereken gerçek değerler arasında hatalı değerler vermektedir. Bu durum Şekil 4.4'teki P4 noktasındaki Deney 1'de alınan okumalarda yaklaşık $t=1.8$ saniye civarında görülmektedir. Grafiklerde akımın kısmen daha sakin olduğu ve su yüzeyinde çok ani değişimlerin olmadığı diğer zamanlarda ise sonuçların oldukça tatmin edici olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, ultrasonik sensörlerden elde edilen herhangi bir deney verisinin rastgele olmadığı ve ultrasonik sensörün kaotik bir hidrolik problem için bile tutarlı ölçümler yaptığı sonucuna dayanarak, güvenilebilecek bir ölçüm aracı olduğu değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında sensör verisi olarak Deney 1'e ait veriler kullanılmıştır.

4.2. Kamera-1 ve Kamera-2 ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

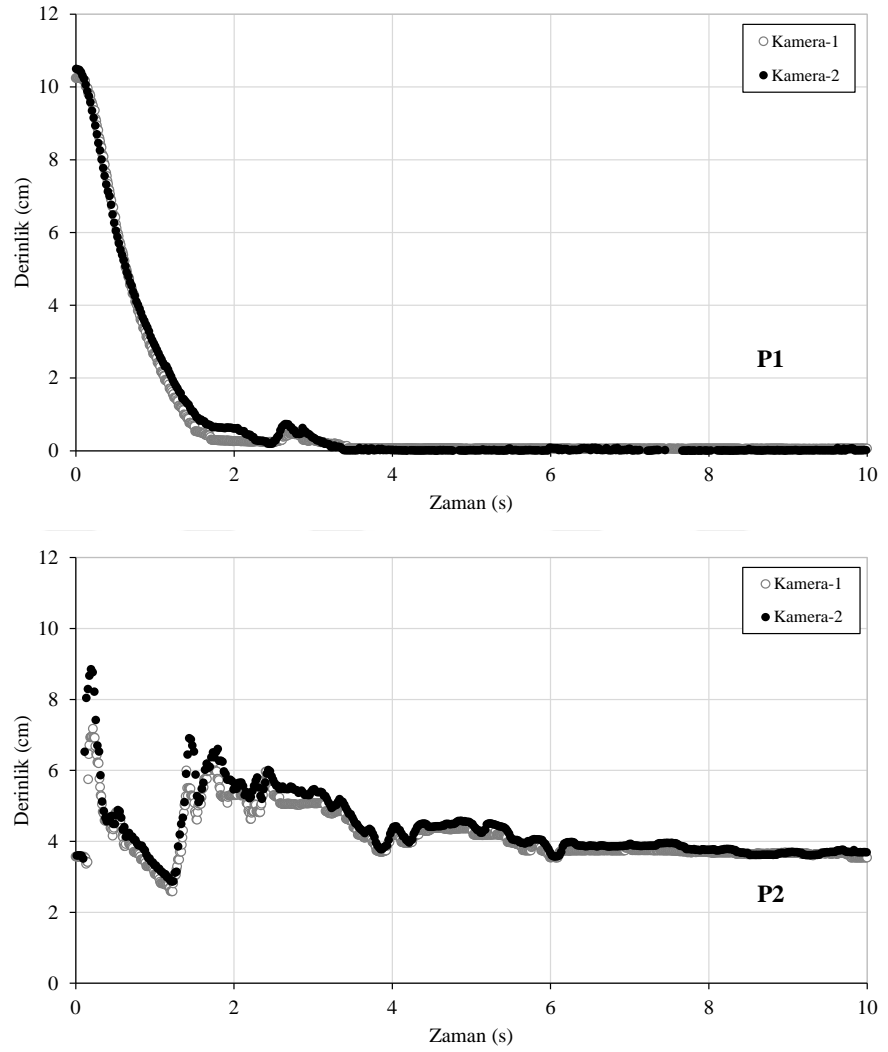
Bu kısımda, çalışma sırasında kullanılan iki ayrı kameraya ait çözünürlükleri ve saniyedeki görüntü karesi sayısı farklı olan video kayıtlarının görüntü işleme yöntemi ile analiz edilmesi sonucu elde edilen veriler incelenmektedir.

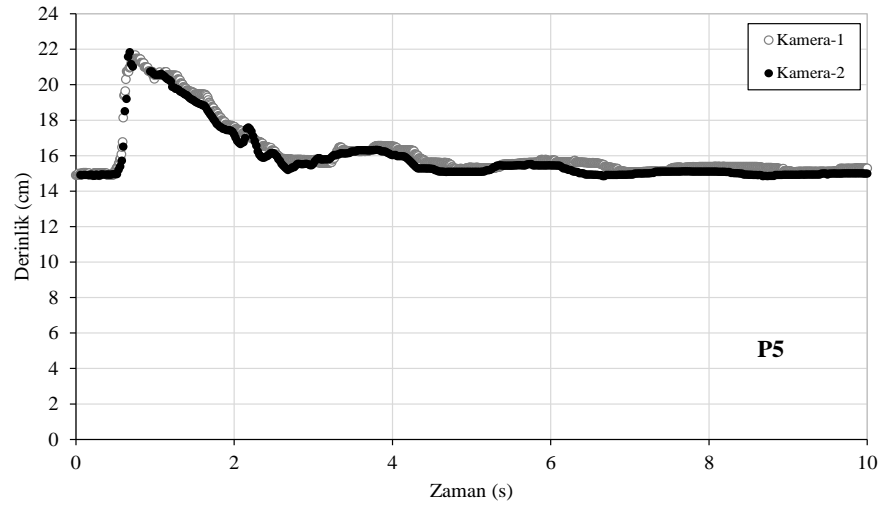
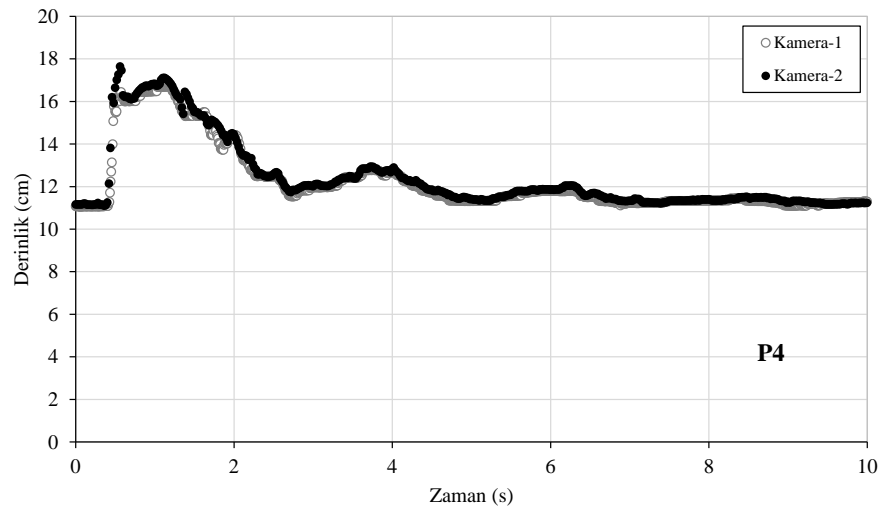
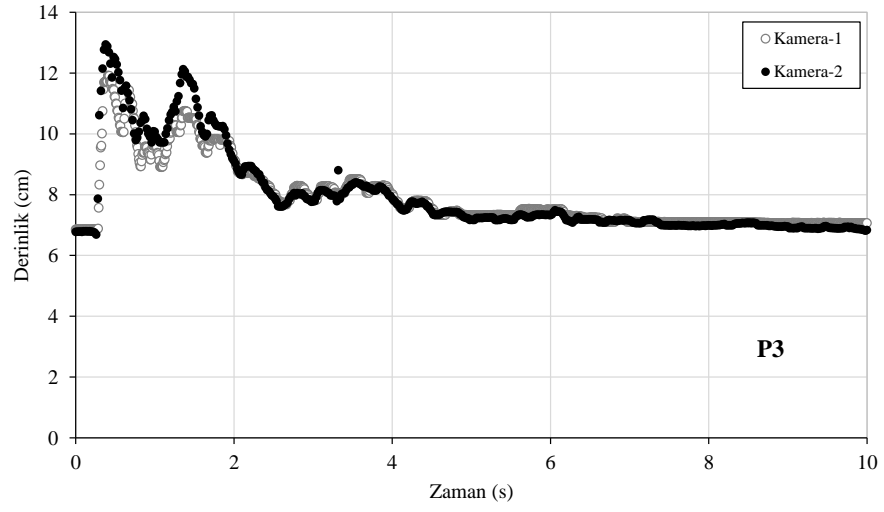
Deney görüntüleri Kamera-1 için 720p (1280x720 piksel) ve saniyede 120 kare, Kamera-2 için ise 1080p (1920x1080 piksel) ve saniyede 50 kare özelliğindedir.

Bu özellikte bir karşılaştırma yapılmasındaki temel amaç; tek fonksiyonu video veya fotoğraf çekmek olan profesyonel bir fotoğraf makinesi ile temel görevi görüntü kaydetmek olmayan ve herkeste bulunabilecek bir cep telefonu kamerasından elde edilen görüntülerin karşılaştırılmasıdır. Bu şekilde ilerleyen çalışmalarda görüntü işleme amacıyla laboratuvarlarda benzer deneyler yapacak araştırmacılara kamera seçerken

yardımcı olmak amaçlanmaktadır. Ayrıca aynı deney için farklı teknik özellikleri olan iki kamera görüntüsünün karşılaştırılmasının, çalışmada kullanılan görüntü işleme analizi sonuçlarının doğruluğunun test edilmesi açısından önemli olduğu düşünülmüştür.

Beş ölçüm noktası için iki kameradan alınan derinlik-zaman grafikleri Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.



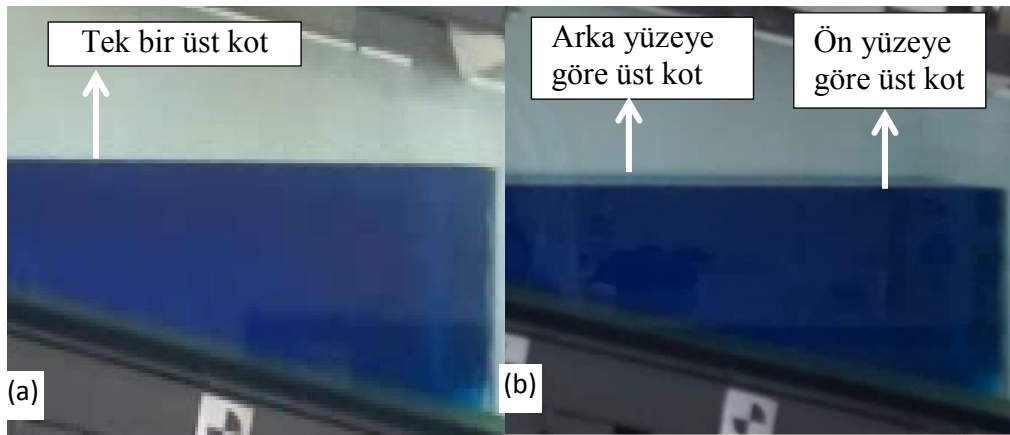


Şekil 4.5. Beş ölçüm noktası için iki farklı kameradan elde edilen görüntüleme sonuçlarının karşılaştırılması

İki farklı kameradan elde edilen görüntülerin derinlik-zaman grafikleri incelendiğinde, iki kameranın da birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Özellikle baraj yıkılması olayı gerçekleştiği andan itibaren P2 ve P3 noktalarına göre daha az kaotik bölgeler olan P1, P4 ve P5 noktalarındaki ölçümler incelendiğinde uyumun arttığı görülmektedir. Daha kaotik olan P2 ve P3 noktalarında sonuçlar uyumlu olsa da bu uyum diğer ölçüm noktalarındaki kadar tatmin edici değildir.

P2 ve P3 ölçüm noktalarına ait sonuçlar dikkatli incelendiğinde iki kameraya ait derinlik değerlerinin artma ve azalma olarak eğiliminin örtüştüğü görülmektedir. Ancak pik noktaları incelendiğinde, iki kameranın aynı zaman dilimi için farklı pik değerleri yakaladığı gözlenmektedir. Bu durum, kameralar konumlandırılırken aralarındaki yükseklik farkının görüntü işleme sonuçlarına etkisinin incelenmesi için Kamera-2'nin deney düzeneğindeki en düşük su kotundan daha yüksek bir seviyeye yerleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bundan dolayı, yazılımın suyun deney kanalının uzak yüzeyine (arka yüzey) temas eden kısmını üst su kotu olarak değerlendirdiği görülmüştür (Şekil 4.6). Bu durum görüntüler üzerinde çeşitli filtre işlemleri yapılarak azaltılabilir ve ölçüm hataları en aza indirilebilir. Ancak bu filtre işlemlerinin dikkatli bir biçimde ve görüntüler üzerindeki etkisi kontrol edilerek yapılmalıdır.

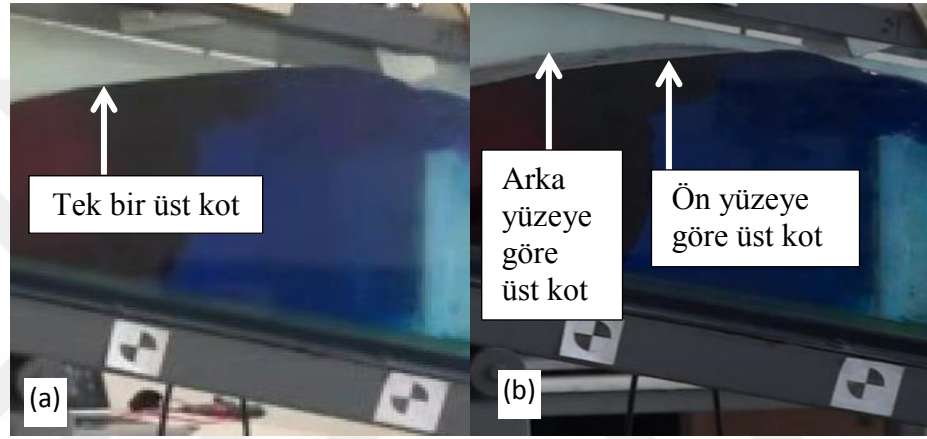


Şekil 4.6. Farklı kameraların su yüzeyinin başlangıç anına ait görüntüsü
a) Kamera-1 b) Kamera-2

Bu durumun yaratabileceği olumsuz durum, su derinliğinin hesaplanmasında kullanılan su seviyesinin üst kot (hava arakesiti) değerinin olduğundan daha üst bir

değer olarak algılanmış olma ihtimalidir. Şekil 4.7’de Kamera-1 için bu durumun söz konusu olmadığı ve başlangıç su seviyesinin altında konumlandırıldığı için ölçümü deney kanalının kameralara yakın yüzeyine (ön yüzey) göre yaptığı görülmektedir.

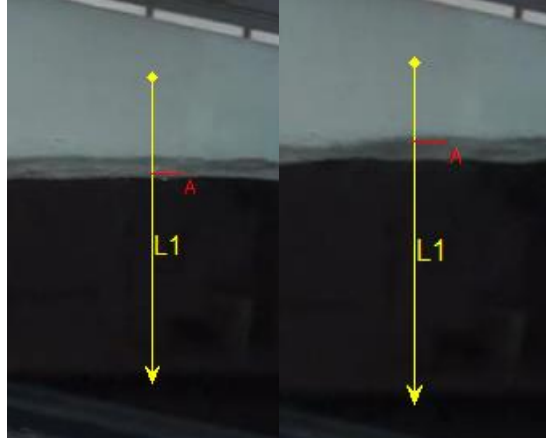
Sonuçlar ve deney görüntüleri incelendiğinde, hassas bir ölçüm için yazılımın görüntüyü iki boyutlu olarak algılaması, üçüncü boyut olan derinliği görmemesinin gerektiği ve bu durumun sonuçlara önemli etkisinin olduğu gözlenmiştir. Kaotik bir deney anında ise durumun sonuçlara etkisinin büyüklüğü daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.7. Farklı kameraların su yüzeyinin görüntüsü (1’inci saniye) a) Kamera-1
b) Kamera-2

Şekil 4.7 incelendiğinde Kamera-2 görüntülerinde kameranın tripot üzerindeki konumundan dolayı iki farklı su yüzü kotu oluştuğu ve yazılımın su yüzeyinin üst kotunu hesaplarken potansiyel hatalar yapabileceği görülmektedir.

Yazılımın yapabileceği ölçüm hatalarından potansiyel olarak bahsedilmesinin sebebi, programın her kare için böyle bir hata yapıp yapmayacağını kullanıcı tarafından önceden kestirilmesinin imkansız olmasıdır. Kullanıcı yazılımın üst kotu arka yüzeye göre mi yoksa ön yüzeye göre mi belirleyeceğini bilemediğinden her karede kesin olarak üst kot okuma hatası vardır ya da yoktur sonucuna varamamaktadır. Bir kare için ön yüzeyi üst kot olarak seçen yazılım, bir veya birkaç kare sonraki görüntüde üst kotu arka yüzeye göre seçebilmektedir (Şekil 4.8). Bu durumun, deneyin ani şekilde gerçekleşmesi sonucu hava arakesitinde bulunan piksellerin gri dengesinin deney sırasında saniyenin 1/50’si kadar olan çok kısa sürede ve çok hassas bir şekilde değişmesi sebebiyle meydana geldiği düşünülmüştür.

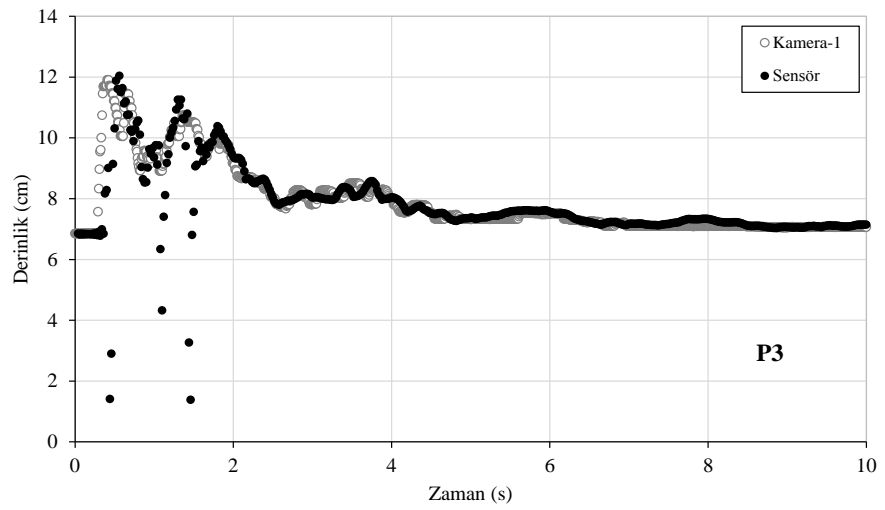
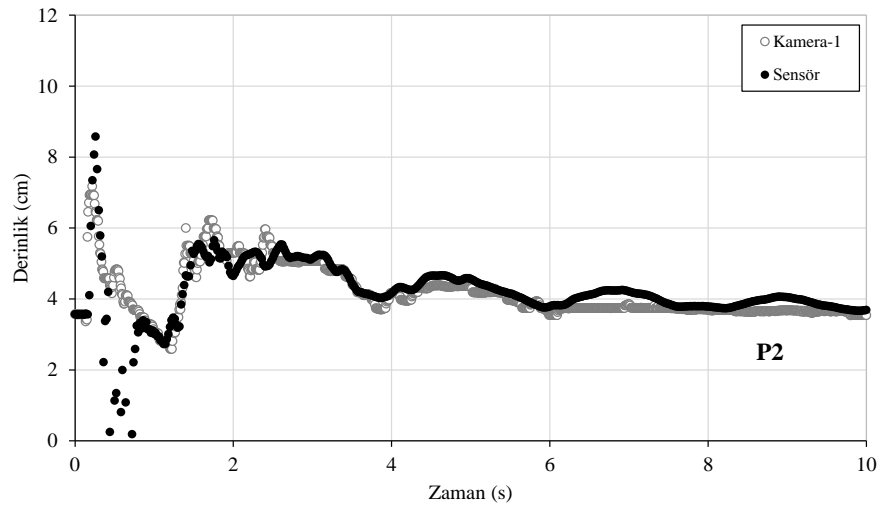
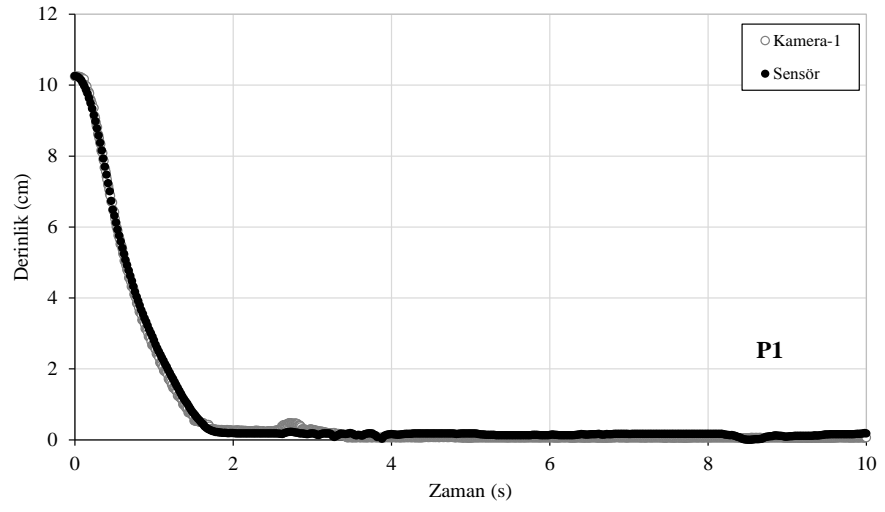


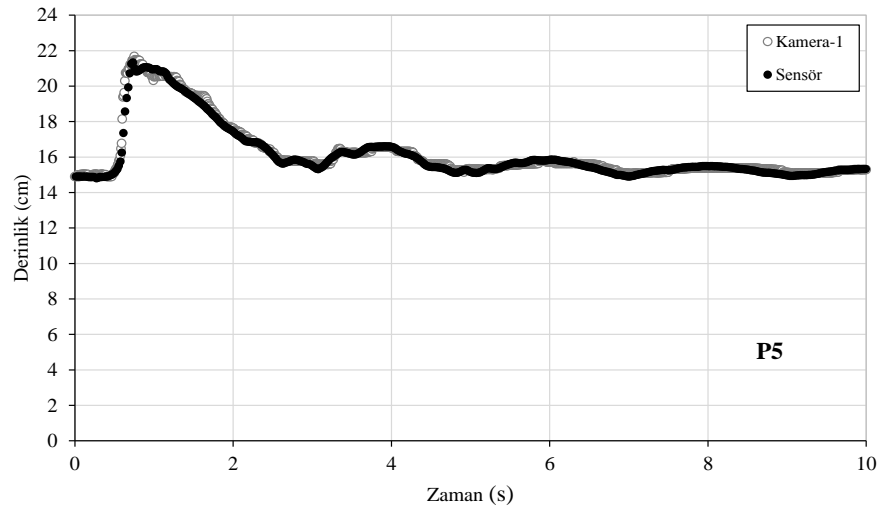
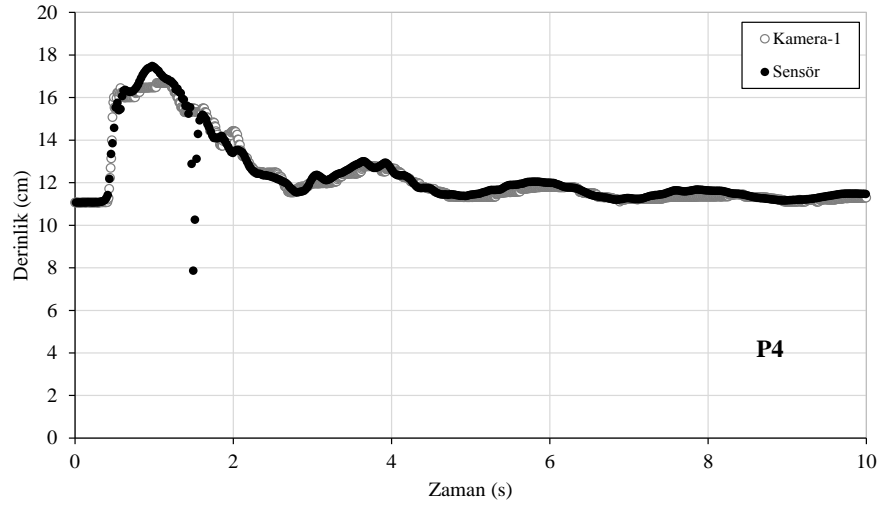
Şekil 4.8. Yazılımın su yüzeyinin üst kotunu birkaç kare farkla ön yüzey ve arka yüzeye göre seçimi

İki kameraya ait görüntüler kullanılarak yapılan görüntü işleme analizlerinin kıyaslandığı bu kısımda, sonuçların genel olarak uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Böylece profesyonel bir kamera yerine, ulaşılması daha kolay olan bir cep telefonu kamerası kullanılarak da baraj yıkılması olayına ait bir noktadaki su derinliği değişim verilerinin görüntü işleme yöntemi ile elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

4.3. Ultrasonik Sensör ve Kamera Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada laboratuvar ortamında yapılan deneye ait veriler görüntü işleme yöntemi ile elde edilmiş olsa da ayrıca ultrasonik mesafe ölçer sensörler ile de ölçüm alınmıştır. Bu şekilde deneysel verilerin toplanması için tek bir yöntemle bağlı kalınmamış ve deneysel veriler iki farklı ölçüm tekniği ile elde edilerek kendi içinde doğrulanması sağlanmıştır. Çalışmanın bu ve ilerleyen kısmında görüntü işleme verisi olarak Kamera-1'e ait video kayıtlardan elde edilen görüntü işleme verileri kullanılmıştır. Kamera-1'den elde edilen görüntüler Kamera-2'ye göre daha hassas sonuçlar verdiği için bu şekilde bir yaklaşım seçilmiştir. Beş noktadan hem ultrasonik hem de görüntü işleme metodu ile alınan derinlik-zaman değerleri Şekil 4.9'da verildiği gibidir.





Şekil 4.9. Ultrasonik mesafe ölçer sensör ve Kamera-1'den elde edilen görüntülere ait deneysel sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.9 incelendiğinde görüntü işleme ve sensör verilerinin genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Görüntü işleme ile kesintisiz su yüzü profilleri elde edilebilmesine karşın, sensöre ait P2, P3 ve P4 noktalarından yapılan ölçümlerde bazı sıra dışı ölçüm değerleri göze çarpmaktadır. Özellikle kapağın kalktığı ilk 2 saniye içerisinde oluşan bu ölçüm hataları, deneyin bu süre dilimindeki en kaotik ortamlar olan P2, P3 ve P4 noktalarında meydana gelmiştir. Bu durumun, önceki bölümde de bahsedildiği gibi; sensörün çalışma prensibi dikkate alındığında okuma yapmasını engelleyecek biçimde su yüzeyinde meydana gelen eğriliklerin ve buna bağlı olarak sensöre ait tepki süresinin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, sıçrama tipi dalga

kırılması gibi su yüzeyinde meydana gelen kaotik bir durumun neden olduğu bir kabarcık veya bir su damlacığı sıçraması, sensörün bu esnada hatalı bir değer vermesine neden olabilecektir.

Ayrıca ortamın kaotikliği azaldıkça (P1 ve P5) görüntü işleme ve sensör sonuçları arasındaki uyumun arttığı, tersi durumda ise (P2, P3 ve P4) nispeten azaldığı gözlenmektedir. Ancak iki farklı ölçüm tekniğinin birbiri ile tatmin edici şekilde uyumlu sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır. Ultrasonik sensörler ile kanal ortasında görüntü işleme ile kanal kenarında (cam düzleminde) ölçümlerin alındığı da mutlaka göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak, iki farklı yöntem kıyaslandığında ikisinin temassız ve akışı rahatsız etmeyen ölçüm yöntemleri olduğu, görüntü işleme ile su yüzü profillerinin kesintisiz olarak belirlenebilmesine karşın ultrasonik sensörler ile su yüzeyindeki değişimlere bağlı olarak hatalı değerler elde edilebileceği ve kalibrasyonlarının hassas bir şekilde yapılması halinde her iki yöntemin ani değişen değişken akımların ölçümünde başarı ile uygulanabileceği görülmüştür.

4.4. SPH Yönteminde Parçacıklar Arası Mesafe ve Yapay Viskozite Parametrelerinin Seçimi

Bu kısımda SPH yöntemindeki parçacıklar arası mesafe ve yapay viskozite parametrelerindeki değişimin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu şekilde bir araştırma yapılması ile yeni gelişmekte olan SPH yönteminin önemli parametreleri olan parçacıklar arası mesafe (dp) ve yapay viskozite (α) değişimin eğimli bir kanalda gerçekleşen ardışık baraj yıkılması gibi kaotik bir hidrolik problemde sonuçları nasıl etkileyeceğini gözlemlemek ve çalışmada SPH yöntemi için nümerik analiz sonuçlarını etkileyen bu parametrelerin seçiminin rastgele bir şekilde yapılmaması gerektiğini göstermek amaçlanmıştır.

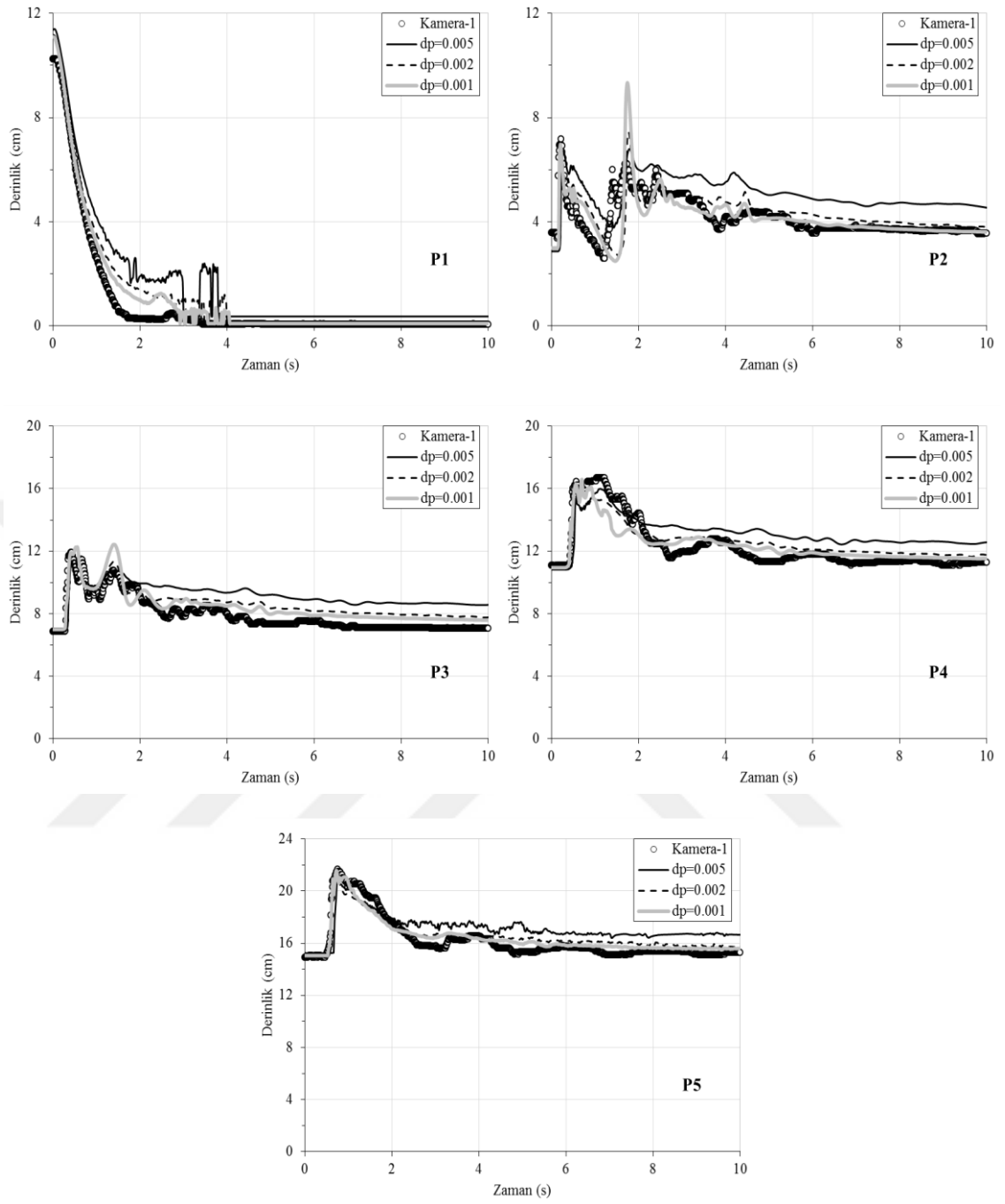
Nümerik modelde kernel olarak Wendland şema kullanılmış, courant katsayısı 0.2 alınmıştır. DeltaSPH değeri 0.1 seçilmiştir. Çözümler hem merkezi işlemci (CPU) hem de grafik işlemci (GPU) ile yapılmıştır. Çalışmada Intel 7 930 2.8 GHz işlemci gücü, 16 GB RAM fiziksel bellek ve 3GB RAM'e sahip GTX580 ekran kartı bulunan bir bilgisayar kullanılmıştır.

Çalışmaya ait SPH verilerinin değerlendirilmesi aşamasında en uygun dp ve α değerinin belirlenmesi amacıyla bir takım dp ve α kombinasyonları Kamera-1'e ait

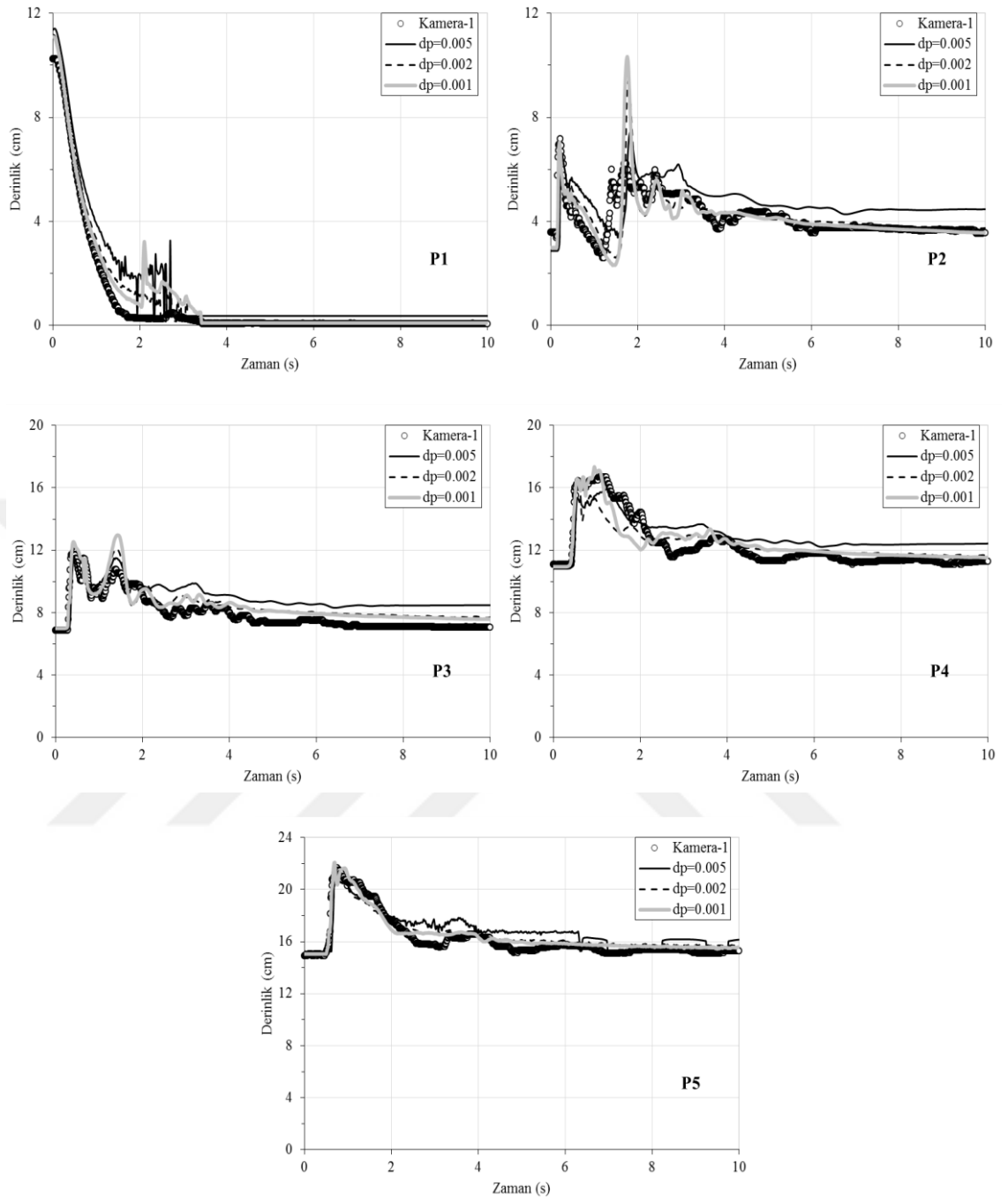
görüntü işleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu kombinasyonlar arasından deney sonuçları ile kıyaslandığında en yakın sonuçları veren dp ve α kombinasyon çifti değeri seçilerek, bu tezin ileriki kısımlarında yapılacak analizlerde kullanılmıştır. Bu kombinasyonlara ait bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir ve kombinasyonlara ait sonuçlar beş ölçüm noktası için Şekil 4.10-4.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. SPH yönteminde dp ve α karşılaştırma kombinasyonları

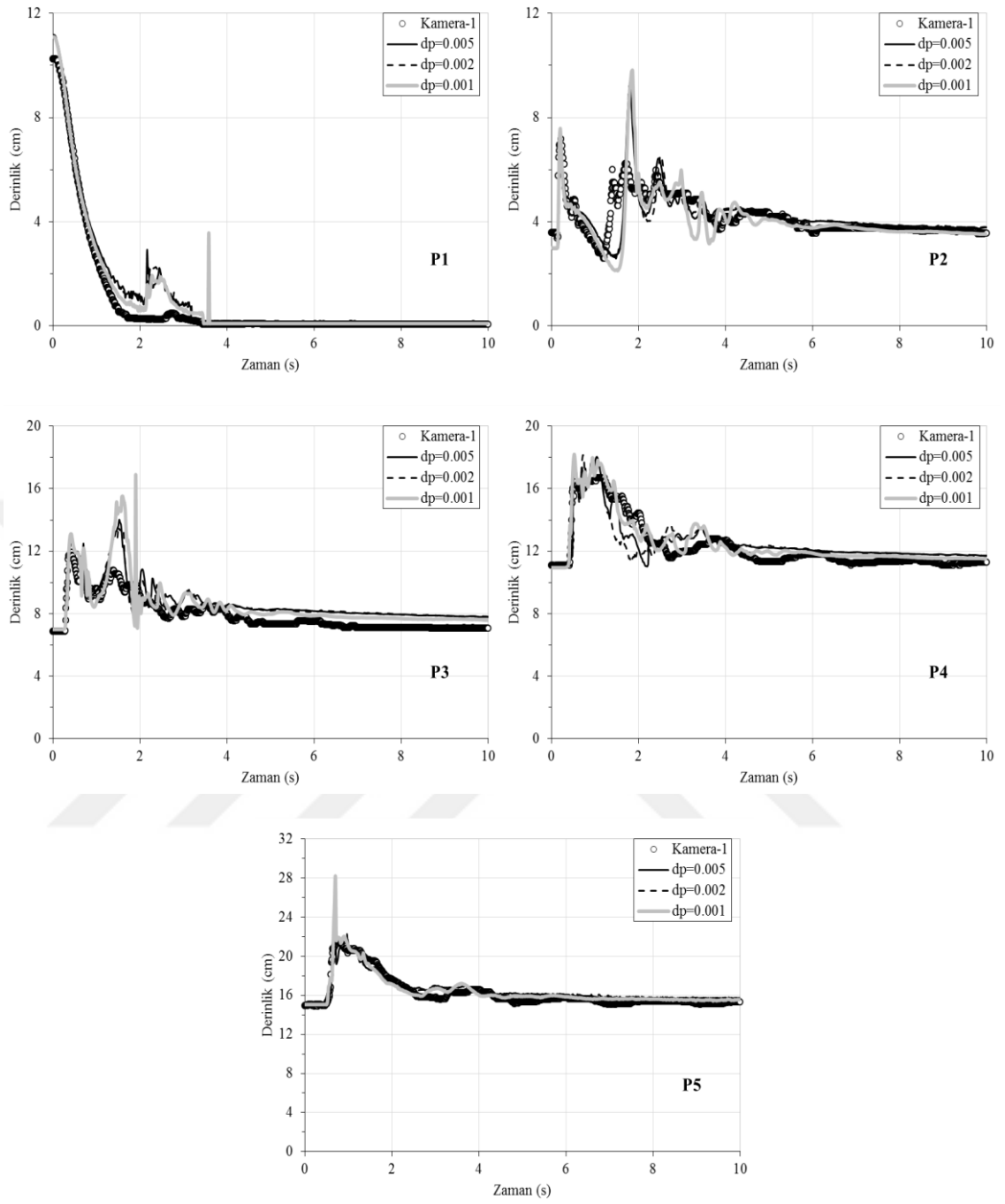
Kombinasyon	Sabit Parametre	Değişken Parametre	Değişken Parametre Değerleri
1	$\alpha=0.1$	dp	0.005 0.002 0.001
2	$\alpha=0.05$	dp	0.005 0.002 0.001
3	$\alpha=0.01$	dp	0.005 0.002 0.001
4	$dp=0.001$	α	0.1 0.05 0.01



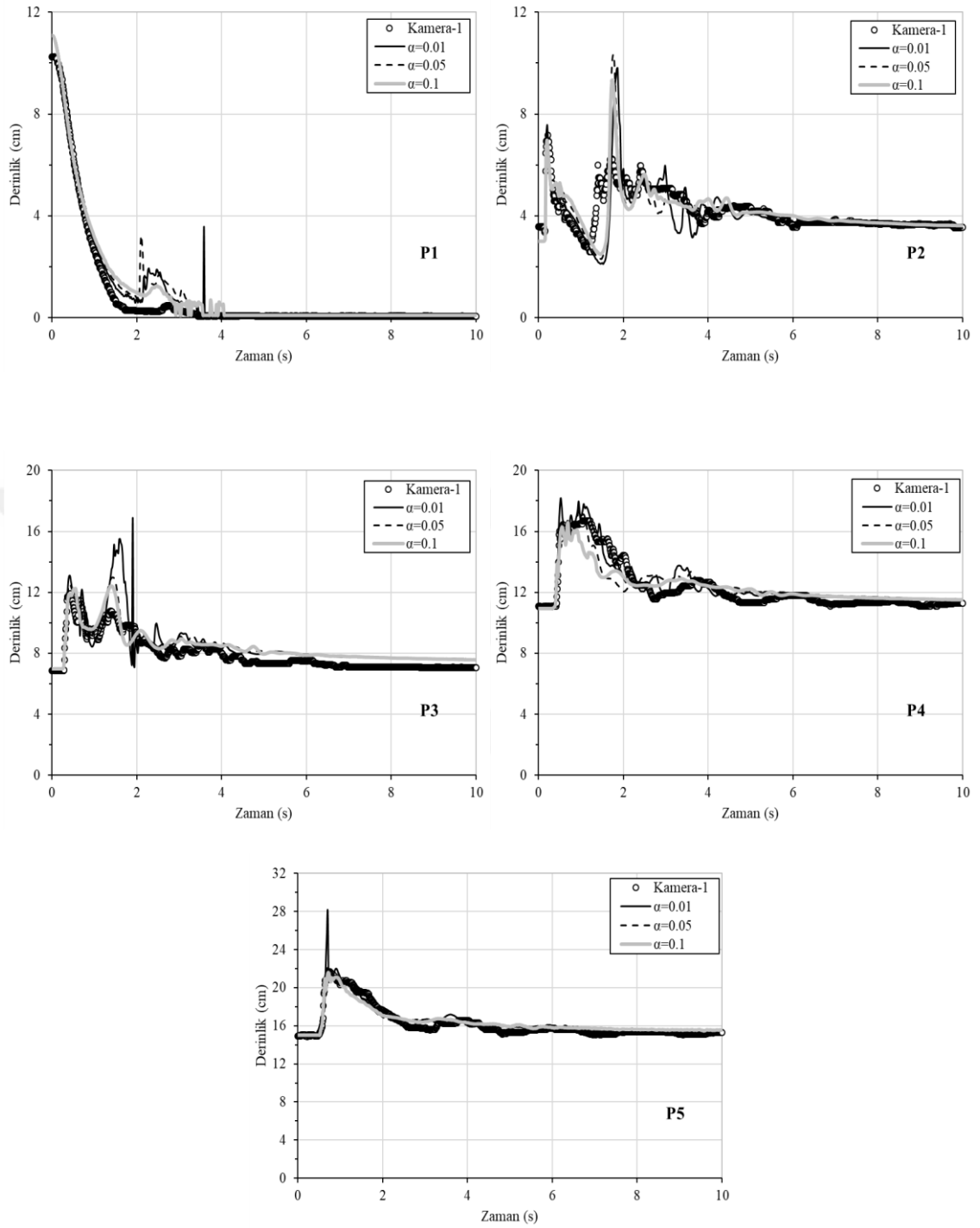
Şekil 4.10. Sabit $\alpha=0.1$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 1)



Şekil 4.11. Sabit $\alpha=0.05$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 2)



Şekil 4.12. Sabit $\alpha=0.01$ değeri için dp değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 3)



Şekil 4.13. Sabit $d_p=0.001$ değeri için α değişiminin incelenmesi (Kombinasyon 4)

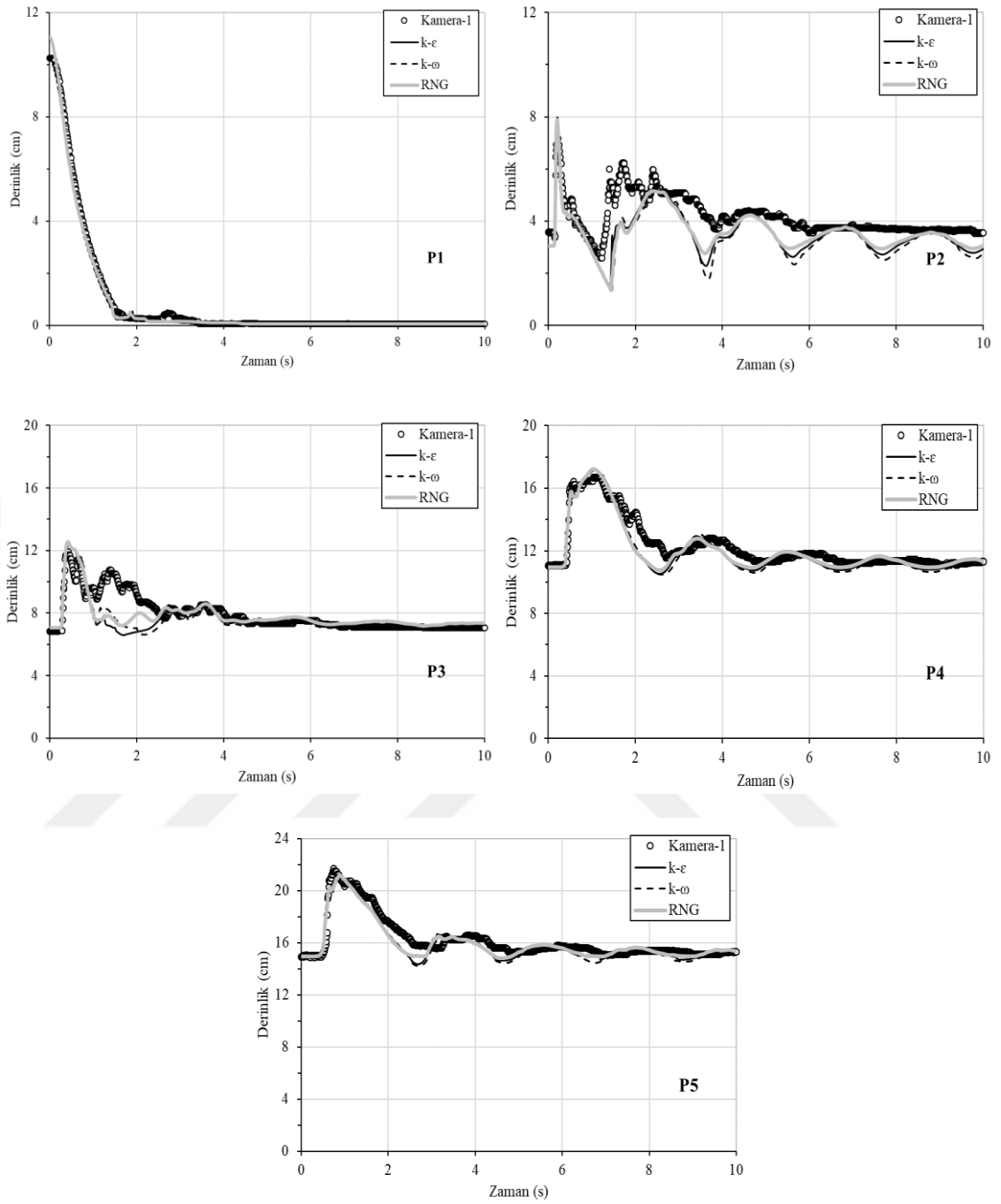
Şekil 4.10-4.12 (ilk 3 kombinasyon) incelendiğinde, parçacıklar arası mesafenin en az olduğu $d_p=0.001$ değerine ait verilerin tüm yapay viskozite (α) değerleri için görüntü işleme sonuçları ile en uyumlu seçenek olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.13'te (Kombinasyon 4) ise $d_p=0.001$ parametresine ait verilerin hangi yapay viskozite

değerinde görüntü işleme sonuçları ile daha uyumlu olduğu araştırılmış ve $\alpha=0.05$ değerinde uyumun en fazla olduğu kanaatine varılmıştır. Bu sonuçlara göre, çalışmada SPH yönteminin diğer sayısal ve deneysel yöntemler ile karşılaştırıldığı kısımda, görüntü işleme sonuçları ile daha uyumlu olan $dp=0.001$ ve $\alpha=0.05$ değerlerine ait veriler kullanılmıştır.

Şekil 4.10-4.13 incelendiğinde, parçacıklar arası mesafe değişimi ve yapay viskozite değerlerindeki değişimlerin SPH yönteminde sonuçlar üzerinde etkisinin kayda değer olduğu gözlenmektedir. Özellikle parçacıklar arası mesafenin azalması ile SPH sonuçlarının deneysel veriler ile uyumunun arttığı görülmektedir. Uyumun artmasının sebebi, parçacık sayısının artmasıyla akım hareketinin nümerik ortamda temsilinin daha doğru şekilde yapılabilmesi olarak düşünülmüştür.

4.5. FLOW-3D Yazılımında Türbülans Modelinin Seçimi

Bu çalışmada, FLOW-3D yazılımında nümerik model oluşturulurken kanalın tüm yüzeylerinde pürüzlülük hesaba katılmamıştır. Problemin sınır şartları olarak ise şu şekilde bir yöntem izlenmiştir; kanal membasının en uç kısmı (x_{min}) ve kanalın tabanı (z_{min}) duvar (wall) olarak alınmış, deney kanalının mansap ucu (x_{maks}) açık olduğu ve su başka bir tanka boşaldığı için çıkan akım (outflow) seçilmiştir. Çözüm bölgesine ait üst sınır (z_{maks}) ise basınç olarak alınmıştır. Serbest yüzeyi tanımlamada VOF yöntemine başvurulduğundan yüzeyde sabit atmosfer basıncı ve sıfır kayma gerilmesi olmaktadır. Sayısal modelde x ile z doğrultularındaki ağ aralıkları 0.5mm olarak alınmıştır. Farklı ağ aralıkları etkisi bir ön çalışma ile incelenmiş ve ayrıca literatürdeki benzer çalışmalar araştırıldığında (Ozmen-Cagatay ve Kocaman 2011; Kocaman ve Ozmen-Cagatay, 2012) 0.5 m ağ aralıklarının bu çalışma için yeterli olduğu kanaatine varılmıştır. Bununla birlikte; üç farklı türbülans modeli için (k- ϵ , k- ω ve Renormalized Group-RNG) sabit ağ aralığında analizler yapılmış ve sonuçlar görüntü işleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde hangi türbülans modelinin deneysel verilere daha yakın çözüm yapabildiği araştırılmıştır. Karşılaştırma Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Sabit mesh aralığı (0.5mm) için türbülans modelleri değişiminin incelenmesi

Şekil 4.14 incelendiğinde FLOW-3D sonuçları ile deneysel sonuçların uyumunun, ortamın kaotikliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Türbülans modelinin değişimi ile nümerik sonuçlarda kayda değer değişimler olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmadaki deneysel veriler ile kıyaslandığında k- ω modelinin deneysel sonuçlar ile en az uyumlu model olduğu belirlenmiştir. k- ϵ ve RNG modellerinin deneysel veriler ile uyumu

incelendiğinde ise her iki modelin de deneysel veriler ile $k-\omega$ modelinden daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. $k-\varepsilon$ ve RNG modellerinin çözüm becerisi birbirleri ile karşılaştırıldığında, RNG modelinin $k-\varepsilon$ modelinden biraz daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlense de iki modelin de performansının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın FLOW-3D verilerinin diğer yöntemler ile karşılaştırıldığı kısmında, FLOW-3D verisi olarak $k-\varepsilon$ türbülans modelinden elde edilen değerler kullanılmıştır.

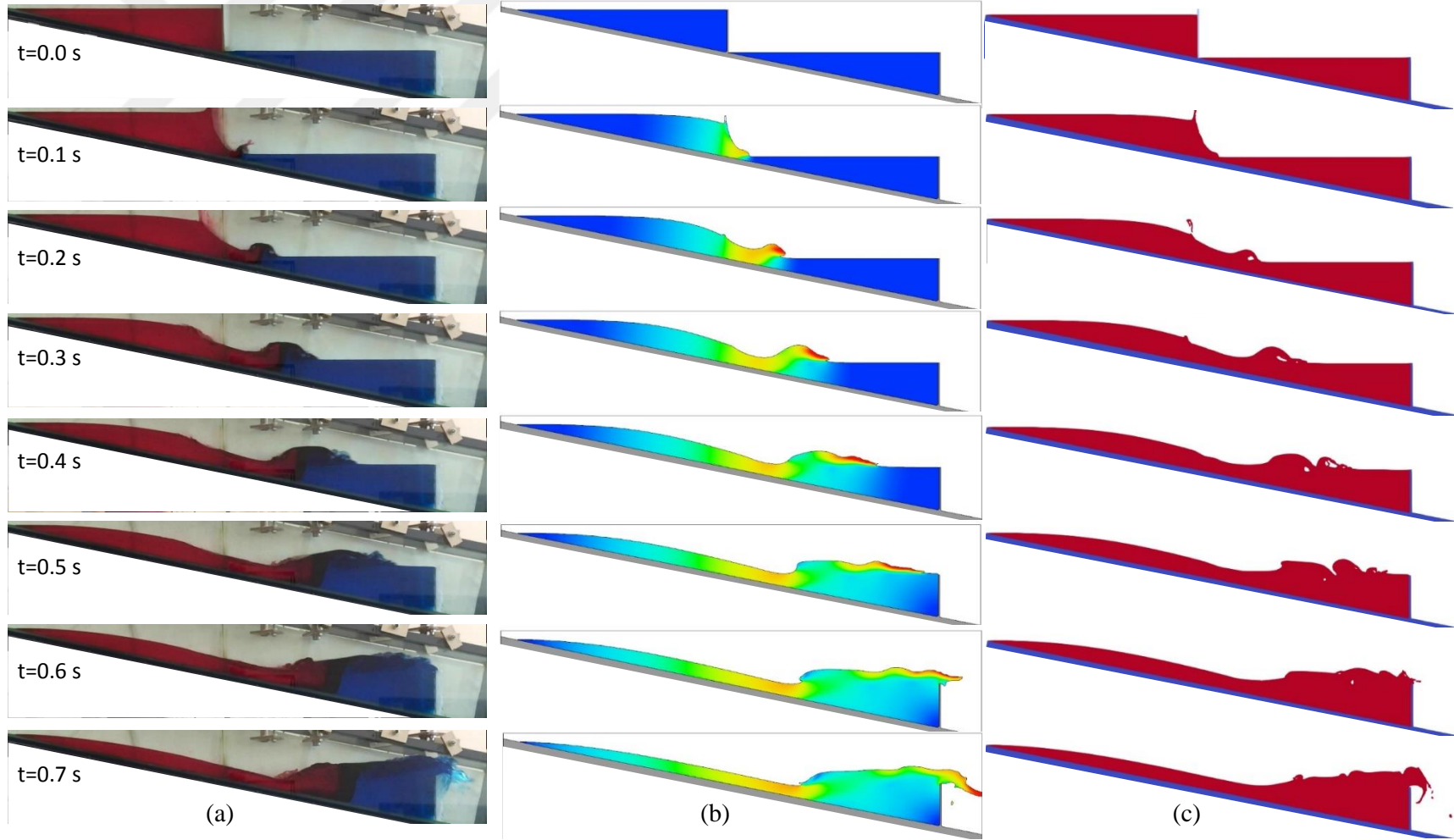
4.6. Ultrasonik Sensör, Kamera ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmanın bu kısmında deneysel veriler olan görüntü işleme ve ultrasonik sensör sonuçları ile nümerik veriler olan SPH ve FLOW-3D sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel ve nümerik verilerin grafikler aracılığı ile karşılaştırılmasından önce aynı anlara ait deneysel, FLOW-3D ve SPH görüntülerini içeren görseller Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilerek oluşan akımın deneysel ve nümerik olarak sadece grafikler ile değil, görsel olarak da karşılaştırılması amaçlanmıştır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sırasıyla kapağın kalkmasıyla akımın gelişimi ve yansıması gösterilmiştir.

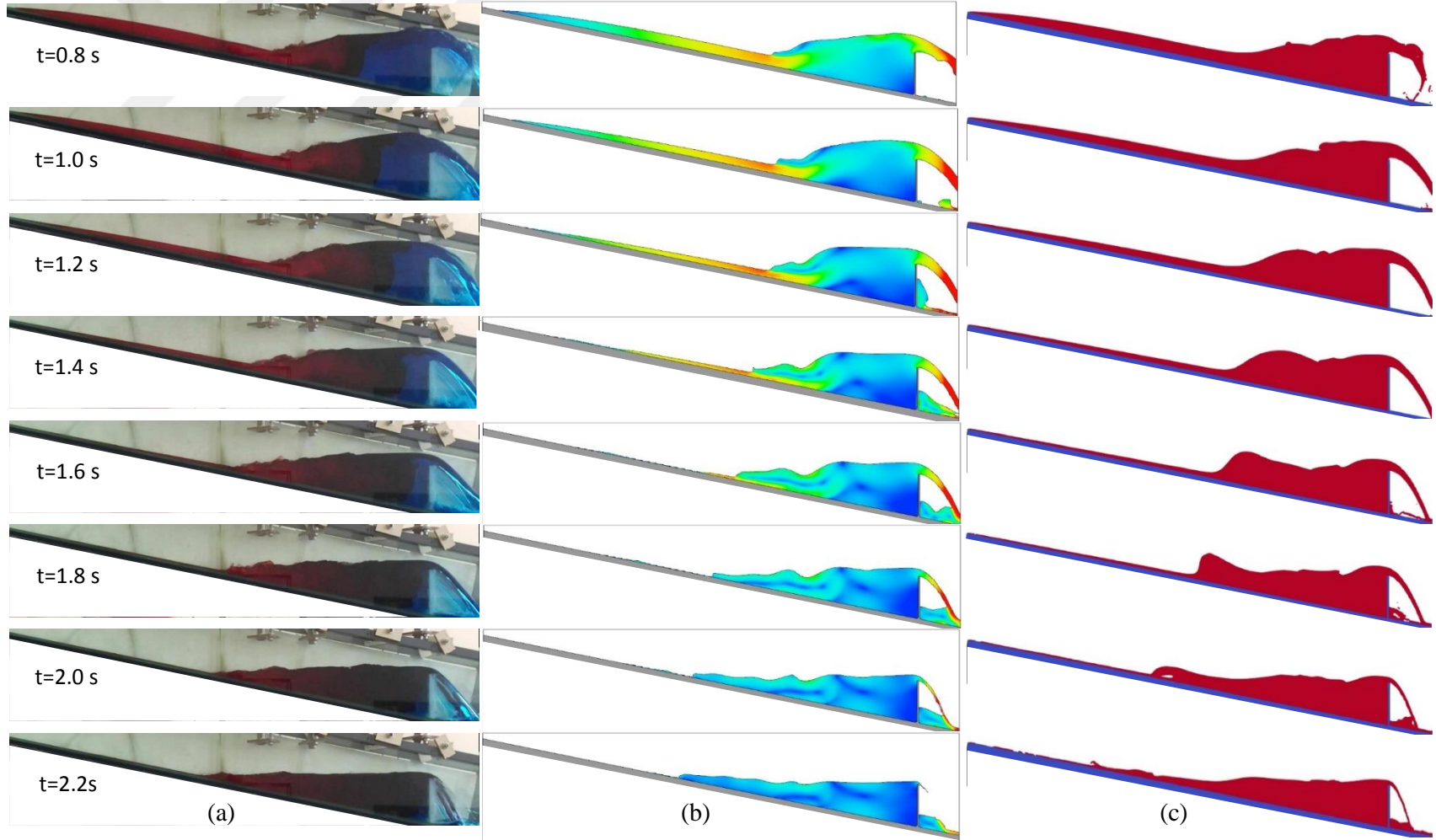
Şekil 4.15 incelendiğinde deneysel görüntüler ile FLOW-3D ve SPH görsellerinin genel olarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir ($t=0.1-0.4s$). Hareketin başlangıç anlarında dalga önleri birlikte hareket etmektedir. Ancak zaman ilerledikçe nümerik analizlerde dalga önünün deneyden daha hızlı hareket ettiği belirlenmiştir ($t=0.5-0.6s$).

Şekil 4.16'da ise akımın sabit olan mansap barajından yansıması ve taşkın dalgasının mansap barajından aşması görülmektedir. Yansıma ile birlikte tırmanma hareketinin gözlemlendiği karşılaştırmada, SPH verilerinin su yüzünün diğer yöntemlere kıyasla daha kaotik bir davranış içinde olduğu, tırmanma aşamasında sıçrama tipi dalga kırılması meydana geldiği ve dalganın daha uzak bir mesafeye kadar tırmandığı görülmektedir ($t=1.6-2.2s$).

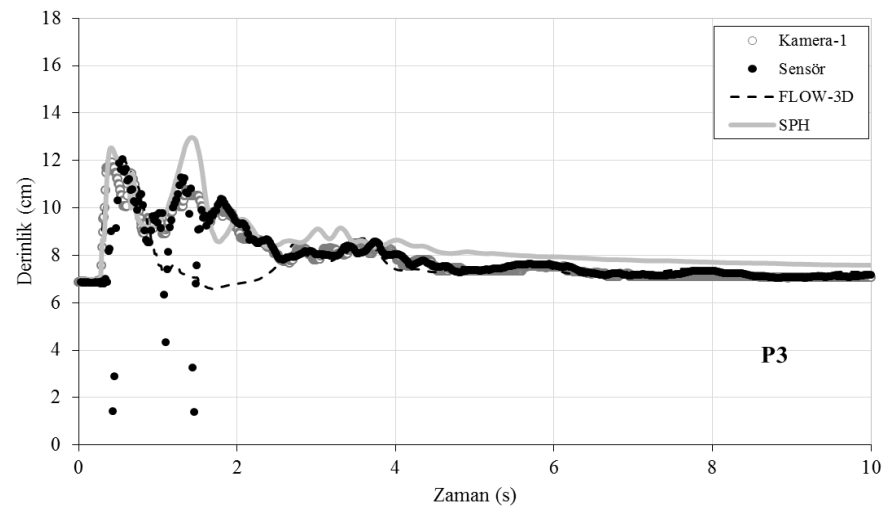
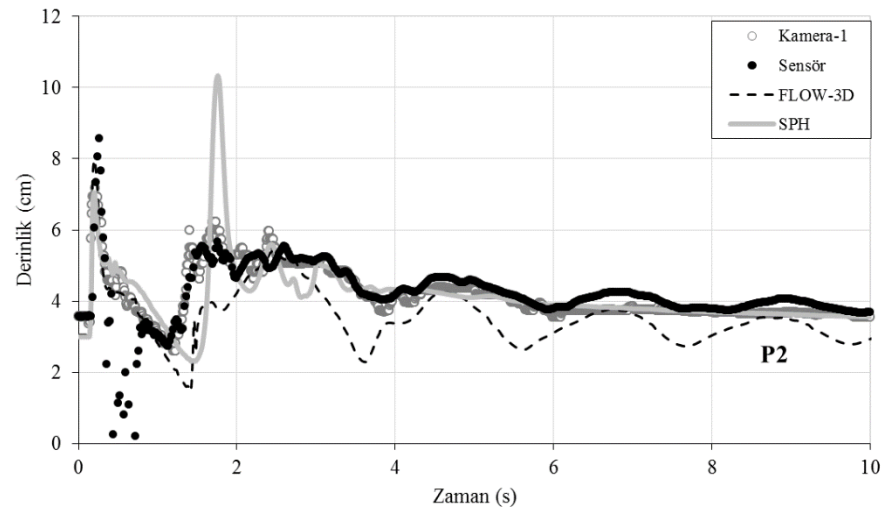
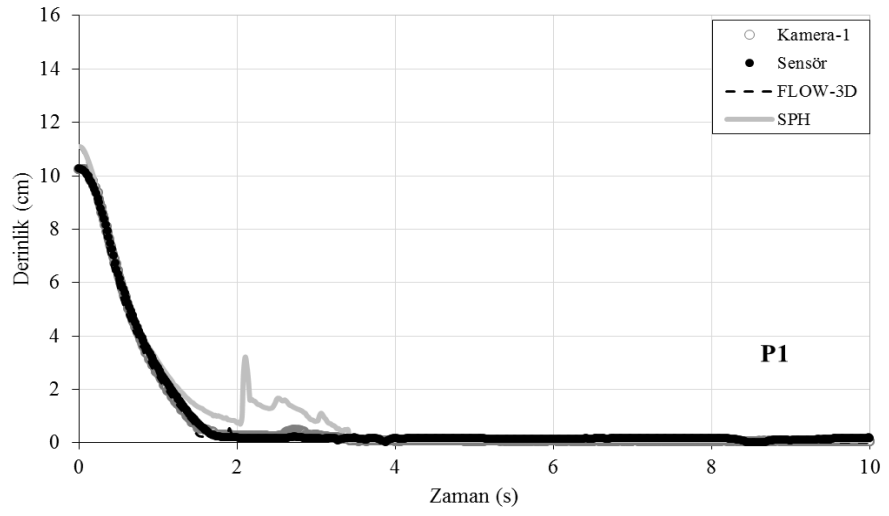
Görüntü işleme, ultrasonik sensör, FLOW-3D ve SPH sonuçlarına ait derinlik-zaman grafikleri ise Şekil 4.17'de verilmiştir.

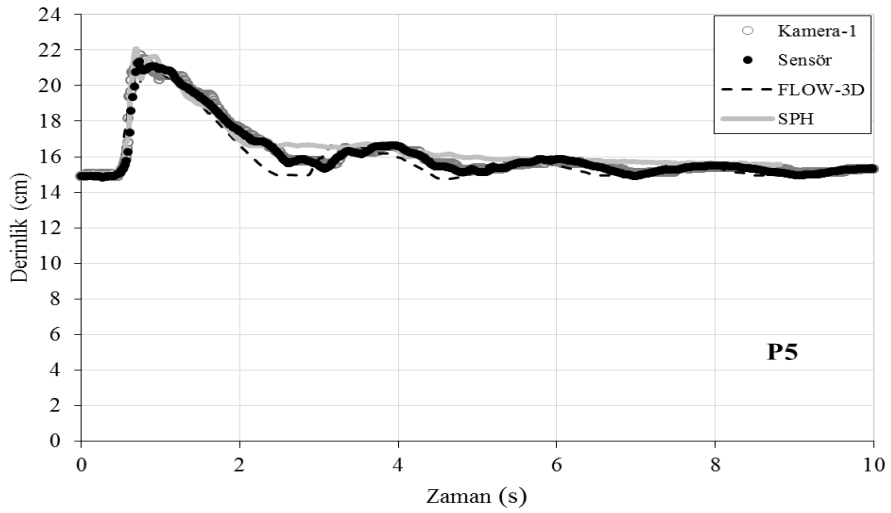
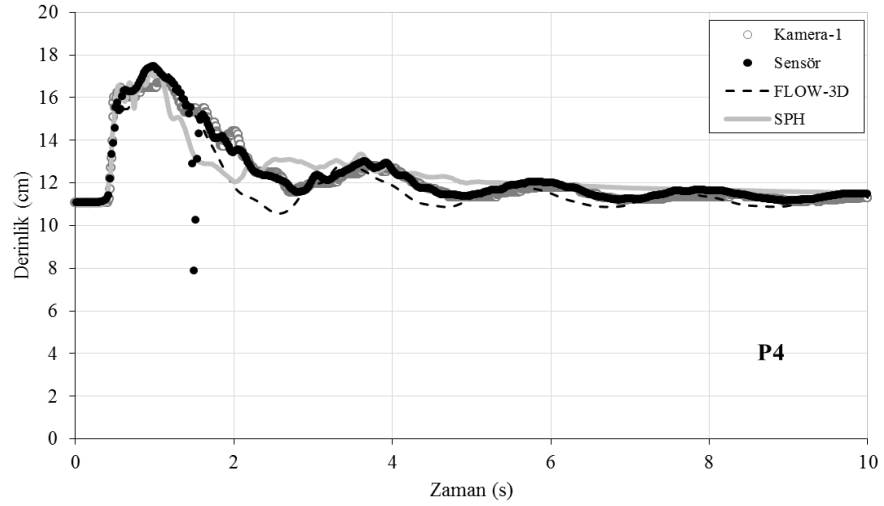


Şekil 4.15. Akımın gelişiminin deneysel ve nümerik ortamda aynı anlar için görsel olarak karşılaştırılması a) Deney görüntüleri b) FLOW-3D c) SPH



Şekil 4.16. Akımın yansımalarının deneysel ve nümerik ortamda aynı anlar için görsel olarak karşılaştırılması a) Deneysel görüntüleri b) FLOW-3D c) SPH





Şekil 4.17. Sensör, görüntü işleme, FLOW-3D ve SPH sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.16 incelendiğinde, dört farklı yöntem ile elde edilen sonuçların genel olarak uyumlu çıktığı görülmektedir. P1 noktasında SPH sonuçları $t=2-4s$ aralığında diğer yöntemlere kıyasla daha farklı çıkmıştır. Bu durum daha önceki kısımda bahsedildiği gibi yansıyan dalganın tırmanma aşamasında sıçrama tipi kırılmaya maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Aynı durum P2 noktasında $t=2s$ anında su seviyesinin pik değere ulaştığı esnada da görülmektedir. Ayrıca P2 noktasında alınan FLOW-3D sonuçlarında su seviyelerinin diğerlerine kıyasla aşağıda kaldığı ve daha dalgalı bir görünüm sergilediği göze çarpmaktadır. Diğer noktalara göre daha kaotik olan P2 ve P3 noktalarında nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki farkın, başlangıç anına doğru gidildikçe azaldığı, ancak akım sakinleştikçe uyumun arttığı gözlenmektedir.

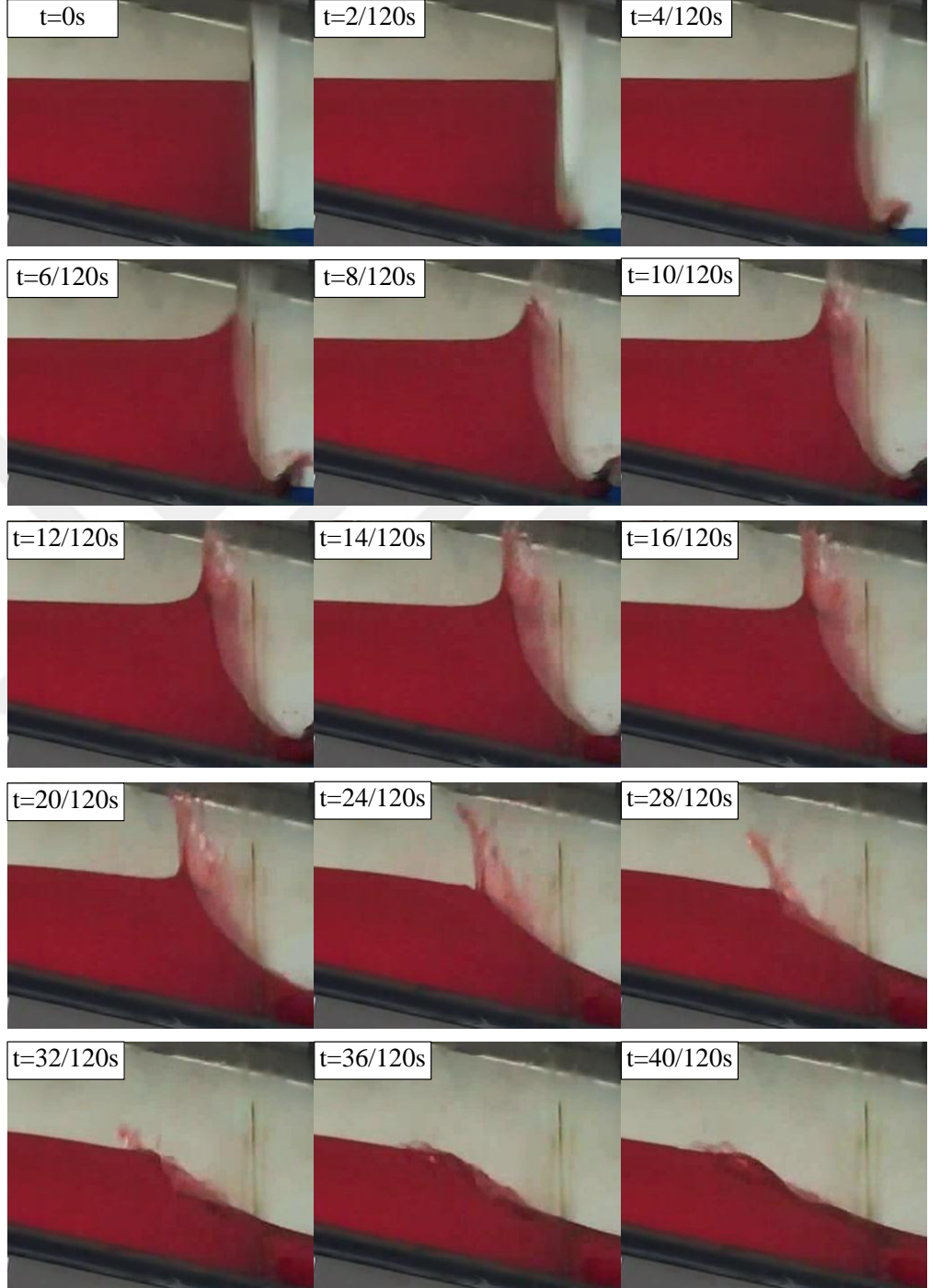
Özellikle P2 ve P3 noktalarındaki nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki tutarsızlığın sebebi araştırılması için deney görüntüleri tekrar incelenmiş ve bu farkın deney düzeneğinin kapak mekanizması ile ilgili olabileceği düşünülmüştür

Planlanan deney senaryosuna göre kapak mekanizması, tamamen dik bir şekilde aniden kalkacak ve membadaki su mansaba doğru harekete geçecektir. Ancak ağırlığın bırakılmasıyla harekete geçen kapak önce memba kısmına doğru çok az bir mesafe ötelenmekte, daha sonra yukarı yöndeki hareketine başlamakta ve yukarı çıkarken aynı anda memba yönüne doğru hareketini de sürdürmektedir. Bu olay deney anında çıplak gözle fark edilememekte ve çekilen görüntülerin kare kare oynatılması ile tespit edilebilmektedir. Kapak mekanizmasının deney anında gözle görülemeyecek kadar kısa sürede gerçekleştirdiği bu hareketin memba tarafındaki suyun hareketini nasıl etkilediği Şekil 4.18’de verilmiştir.

Şekil 4.18 incelendiğinde, memba tarafındaki suyun ağırlığının bir kısmının, eğimin sıfır olduğu bir deney düzeneğinin aksine, barajı temsil eden kapağa yüklendiği görülmektedir. Bu nedenle kapağın başlangıç anında mansap tarafına doğru deplasman yaptığı ve ani kalkış hareketinde de ağırlığın bağlı olduğu ip tarafından çekilerek yaptığı deplasman kadar memba tarafına kaydığı gözlenmiştir. Memba tarafına doğru ilerleyişi sırasında aynı zamanda yukarı yönde hareket eden kapak memba tarafında eğime göre üst kısma doğru bir sıçrama yaratmış ve bu durumun deneysel veriler ile nümerik veriler arasındaki bir farklılığa neden olduğu düşünülmüştür. Şekil 4.18’de $t=36/120=0.3$ ’üncü saniye bu etkinin kaybolduğu an olarak düşünülürse, saniyenin $1/3$ ’ünden daha kısa bir zaman diliminde gerçekleşen bu olayın nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki farkın temel sebebi olduğu düşünülmüştür.

Deney düzeneğinin eğimli olması sayesinde bu etkinin daha büyük farklara yol açmadığı değerlendirilmiştir. Kapağın bu hareketi eğimin olmadığı veya daha az olduğu bir deney düzeneğinde yaptığı varsayılırsa, başlangıç aşamasındaki sonuçlar üzerinde bu etkinin daha büyük olması kaçınılmazdır. Mevcut deney düzeneğinde ise eğim sayesinde membadaki suyun yerçekimi kuvveti etkisiyle kısa sürede toparlanarak kapağın akışkanda yarattığı membaya doğru itkinin sönmüldüğü ve akışkanın mansap kısmına doğru hareketine devam ettiği görülmektedir. Eğimin daha az olması veya sıfır olması durumlarında ise yerçekimi kuvveti akış yönünde bu kadar etkili bir kuvvet

uygulamayacağından bu durum söz konusu olmayacak ve kapağın itkisi daha büyük farklılıklara yol açabilecektir.



Şekil 4.18. Kapağın tamamen dik olarak açılmamasının memba tarafında hareketin başlangıcına etkisi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada eğimli bir kanalda ardışık baraj yıkılması problemi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneysel ölçümler, iki farklı ölçüm tekniği (görüntü işleme ve ultrasonik sensör) ile elde edilmiş ve bu deneysel veriler nümerik sonuçlara ise iki farklı nümerik yöntemle dayanan iki farklı yazılım (DualSPHysics ve FLOW-3D) kullanılarak bu yöntemlerin kaotik bir durum oluşturan ardışık baraj yıkılması problemini çözebilirliği irdelenmiştir.

Çalışmada, baraj yıkılması problemi için görüntü işleme analizi yapılırken farklı özellikte kameraların kullanımı, kameraların konumlandırılmasının sonuçlara etkisi, mesafe ölçen ultrasonik sensörlerin bir hidrolik problemde sonuç alabilmede başarısının ölçüsü, gelişimi halen sürmekte olan SPH yönteminin ve FLOW-3D gibi sonlu hacimler metodu ile çözüm yapan iki farklı nümerik yaklaşımın deneysel sonuçlar ile uyumu yorumlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Tek amacı video veya fotoğraf çekmek olan bir profesyonel kamera ile asıl üretim amacı bu olmayan ve dünyada yaygın olarak kullanılan bir akıllı telefona ait kamera ile deney çekimleri yapılmış ve bu görüntüler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu mukayesedeki esas amaç, kaotik bir hidrolik problem için bile görüntü işleme analizi yapılırken çok üst düzey teknoloji barındıran bir kameranın şart olmadığı ve yaygın olarak kullanılan bir akıllı telefonun kamerası ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak başarılı ölçüm sonuçlarının alınabileceğinin irdelenmesidir. Kamera-1 ile elde edilen deney sonuçları da bu amacı doğrular nitelikte Kamera-2 ve ultrasonik sensör sonuçları ile kıyaslandığında uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu sebeple görüntü işleme tekniği için üst düzey teknoloji gerektiren ve maliyeti yüksek olan profesyonel kameralar yerine, günlük hayatta ulaşılması daha kolay olan bir akıllı telefon kamerasının da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Günümüzde akıllı telefon markaları arasındaki rekabette ön planda tutulan ve sürekli geliştirilen kamera özellikleri sayesinde piyasada yaygın olarak bulunan her markanın akıllı telefon kamera teknolojisinde geçmişe göre çok daha ilerde olduğu düşünüldüğünde, genel olarak bu sonucun akıllı telefon markasından bağımsız olduğu değerlendirilmiştir.

- Çalışmada bir noktaya ait derinlik-zaman verisinin tespiti için görüntü işleme tekniği haricinde mesafe ölçen ultrasonik sensörler kullanılmış ve görüntü işleme verileri ile uyumlu sonuçlar içerisinde olduğu gözlenmiştir. Sensör kullanımındaki esas amaç, sensörün baraj yıkılması problemindeki performansını test etmek, sonucu etkileyebilecek tepki süresi (response time), iki sensörün çok yakın olması halinde birbirlerinin değerlerini okuyabilme ihtimali, eğimli su yüzeyi sebebiyle sensörden çıkan dalganın tekrar sensöre dönmeyeceği ve okuma alınamayacağı, deney esnasında akışkan derinliğinin sensörün çalışma aralığının dışına çıkabileceği gibi durumların incelenmesidir. Sensör sonuçlarının genel olarak görüntü işleme sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu ve baraj yıkılması gibi kaotik bir hidrolik problemde derinlik-zaman ölçümü için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır

Sensörün yaptığı okumalarda, en kaotik an olan kapak kalktıktan sonraki ilk 2 saniyede bazı ekstrem değerler göze çarpmaktadır. Bunun nedeni olarak ölçüm noktasında karmaşık ortamın neden olduğu herhangi kabarcık, su yüzeyinden yukarı doğru sıçrayan bir su damlacığı veya kaotik ortam sebebiyle su yüzeyindeki eğriliklerden dolayı sensörün okuma yapamaması gibi koşullar veriler değerlendirilirken dikkate alınmalıdır.

- Mevcut çalışma, farklı ölçüm teknikleri barındırmasının yanı sıra farklı nümerik yöntemlerde barındırmaktadır. Akışkan problemlerini farklı yaklaşımlarla analiz eden iki yazılım kullanılarak hem aynı problem için farklı nümerik yaklaşımların birbiri ile uyumu test edilmiş hem de nümerik sonuçlar, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

Nümerik yöntem ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması nümerik yöntemler geliştiren araştırmacılar için son derece önem arz etmektedir. Geliştirilen yazılımın başarısı, özellikle baraj yıkılması gibi bir probleme ait gerçek veri bulunmadığından, sadece deneysel veriler ile kıyaslanarak ölçülebilmektedir. Bu araştırmacılar için farklı senaryoların test edildiği çeşitli özelliklerdeki deney düzeneklerine ait deneysel sonuçların çokluğu, üzerinde çalıştıkları yazılımın gelişimi

için önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmadaki fiziki deney şartlarının bilgisayar ortamına aktarılıp, sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmasının bir temel sebebi de, nümerik yöntemler geliştiren ve bu yazılımlar üzerinde çalışan araştırmacıların yazılımlarının başarısını test edebilecekleri yeni deneysel veriler sağlamaktır.

Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar, VOF yöntemi ile çözüm yapan FLOW-3D yazılımı için karşılaştırıldığında çok kaotik ortam şartları dışında uyumlu olduğu görülmektedir. Deneyin kaotik kısımlarında meydana gelen uyumsuzluğun temel sebebinin Bölüm 4.5'te değinilen, kapağın nümerik yazılımlarda modellendiği gibi dik bir şekilde değil de, memba tarafına ilerleyerek kalkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kapağın nümerik modellerden tek farklı hareketinin memba tarafına doğru hareketi olmadığı düşünülmektedir. Kapağın, yukarı yöndeki hareketine başladıktan hemen sonraki ilk anlarda kendi ekseni etrafında dönme ihtimali de göz ardı edilmemelidir. Bu kadar kısa bir zaman diliminde yaşanan bu olaylar, akışkanın hareketinin başlangıcına direkt olarak etki etmektedir. İlk anlardaki nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki bu uyumsuzluk, dik eğim sayesinde etkin olan yerçekimi kuvvetinin kapağın yarattığı bu etkiyi kısa sürede sönmemesiyle ortadan kaybolmaktadır. Zaman ilerledikçe uyumun artmasında kaotikliğin azalması kadar yerçekimi kuvvetinin etkisiyle akımın kendini toparlamasının da etkisi olduğu düşünülmüştür.

• Nümerik ve deneysel sonuçların uyumu SPH yöntemi açısından ele alındığında ise sonuçların FLOW-3D'ye göre daha uyumsuz olduğu görülmektedir. Özellikle akımın sakinleştiği zaman diliminde bile deneysel veriler ile FLOW 3D'ye göre daha uyumsuz sonuçlar elde edilmiştir. Bunun temel sebebinin SPH yönteminin doğasında bulunan "akışkanın parçacık ile temsil edilmesi" kavramının olduğu düşünülmüştür. Deney düzeninin genel olarak karmaşık bir test ortamı yaratması ile parçacıklar çok hızlı şekilde birbirlerine ve yanal yüzeylere çarparak birbirlerinden uzak ve alakasız noktalara gittiği görülmüştür. Bu durum genel olarak SPH sonuçlarının deneysel veriler ile uyumsuz çıkmasına sebep olmuştur. Deney ortamının nispeten sakin olduğu P1, P4 ve P5 noktalarında sonucun deneysel veriler ile daha uyumlu çıkmasının nedeninin de bu durum olduğu düşünülmektedir. Bahsedilen noktalarda kaotiklik az olduğu için

parçacıklar daha sakin bir davranış içerisinde olmuşlar ve bu durum da sonuçlara uyum olarak yansımıştır. Genel olarak parçacıklar arasındaki mesafe azaltıldığında, yöntemin deneysel veriler ile uyumunun arttığı gözlenmiştir.

- Tüm veriler göz önüne alındığında görüntü işleme verilerinin kanalın yan tarafındaki cam yüzeyden elde edildiği, ultrasonik sensör ölçümlerinin ise kanal kesitinin ortasından yapıldığı düşünüldüğünde, bu durumun sonuçlar yorumlanırken göz önüne alınması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu nedenle, ölçümlerin doğası gereği kanal kesitinin farklı noktalarından alınan okumaların da özellikle de kanal genişliğinin az olduğu durumlarda sonuçlar üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

- Görüntü işleme tekniği için kameranın doğru bir şekilde konumlandırılmasının önemi test edilmiş ve bu konunun sonuçlar üzerinde etkisi incelenmiştir. Kameranın su üst kotundan çok az yukarı bir seviyeye yerleştirilmesi bile sonuçlar üzerinde direkt etkili olmuş ve görüntü işleme yazılımının su-hava arakesitini deneyin her anı için kesintisiz ve sağlıklı bir şekilde belirleyebilmesine engel olmuştur. Bu nedenle kameranın doğru şekilde konumlandırılmamasının deney sonuçlarına önemli derecede etkisi olabileceği ve görüntüler üzerinden okumalar yapılırken bir takım zorluklarla karşılaşılacağı sonucuna varılmıştır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar ışığında ilerleyen çalışmalar ile ilgili öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Baraj yıkılması problemini laboratuvar ortamında görüntü işleme tekniği ile incelenmekteyken kamera konumlarına çok dikkat edilmeli, özellikle kamera odağının merkezinin su üst kotundan biraz daha aşağıda bir seviyeye konumlandırılarak görüntü alınmasına özen gösterilmelidir.

- Hidrolik bir problem deneysel olarak ele alınırken deney düzeneği bu işin en önemli bileşeni olmaktadır. Deney düzeneği ile ilgili planlama aşamasından deneyin gerçekleşme aşamasına kadar öngörülen veya öngörülemeyen problemler sürekli ortaya çıkabilmektedir. Deney düzeneğinin planlama aşamasında dakikalar mertebesinde bitirilebileceği düşünülen bir iş adımının gerçekleşmesi, laboratuvar koşullarda günlerce sürebilmektedir. Deney düzeneğinin eğiminin hassasiyeti, kapak

mekanizmasının sorunsuz şekilde çalışması, sistemin hiçbir yerinden özellikle hareketli bir parça olan kapak kısmından su sızdırmaması, sıvıya arka plan ile zıtlık olacak şekilde gıda boyası katılması ve bunun miktarının hassas şekilde ayarlanması, görüntü işleme tekniği için görüntüye uzunluğu belli bir referans cisim yerleştirilmesi gibi sayısız pek çok küçük ancak sonuçlar üzerinde büyük etkileri olan ayrıntının planlama aşamasında düşünülmesi gerekmektedir. Deney düzeneğinin tamamen kusursuz olması pratikte mümkün olmasa da, kusursuza en yakın şekilde hazırlanması, elde edilen sonuçların güvenilir, doğruya en yakın ve hassas olmasını sağlayacaktır.

- Nümerik analizler elde edilirken yazılımlara pek çok parametre girilmektedir. Bu parametrelerin sonuçlar üzerinde büyük etkileri olmaktadır. FLOW-3D için ağ sıklığı ve türbülans modeli, SPH yöntemi için ise parçacık sayısı ve yapay viskozite gibi parametreler sonuçlar üzerinde büyük etkileri olan parametrelerdir. İlerleyen çalışmalarda bu parametreler üzerinde yapılacak daha derin analizlerin sonuçlara etkisinin incelenebileceği düşünülmüştür. Ayrıca bu çalışmada araştırılmasa da, SPH yöntemindeki parçacıklar arasındaki etkileşim mesafesi (smoothing length) parametresinin de sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılabileceği değerlendirilmiştir.

- SPH için parçacık sayısı ve FLOW-3D için ise ağ sıklığı parametreleri arttıkça çözümler daha hassas ve doğru olmaktadır. Ancak bu parametrelerin artırılması ile mevcut bilgisayarların kapasiteleri çok zorlanmakta hatta bazı zamanlar bilgisayarlar çözüm yapamamaktadır. Bu parametrelerin sonuçlara etkisini daha ayrıntılı şekilde incelemek isteyen araştırmacıların güçlü bilgisayarlar kullanması gerekmektedir.

- Ultrasonik sensörlerin hızlı değişen akımlarda daha hassas ölçümler yapabilmesinin bir koşulu olarak ölçüm frekansının arttırılabileceği düşünülebilir. Ölçümlerin daha yüksek frekansta yapılması, sensörün saniye başına daha fazla veri toplaması anlamına gelmektedir. Fakat bu durumda sensöre ait tepki süresinin de yeterince hızlı olması gerekecektir.

- Bu çalışmada ihtiyaç duyulmasa da aydınlatma görüntü işleme sisteminin önemli bir elemanıdır ve görüntü kalitesine doğrudan etkisi vardır. Görüntü işleme konusunda çalışma yapılırken aydınlatma unsuru hiçbir şekilde göz ardı edilmemeli ve ortam ışığının yetersiz kaldığı koşullarda mutlaka iyi bir aydınlatma ekipmanı kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altomare, C., Oshima, Y., Chen, X., Crespo, A.J.C. ve Suziki, T., 2015. Study of the overtopping flow impacts on multifunctional sea dikes in shallow foreshores with an hybrid numerical model. **36th IAHR World Congress**, The Hague, The Netherlands.
- Anonim, 2017. <https://www.microsonic.de>. Erişim tarihi: 14.12.2017
- Aureli, F., Mignosa, P. ve Tomirotti, M., 1999. Dam-break flows in presence of abrupt bottom variations. **Proceedings of the XXVIII IAHR Congress**, Graz (Austria) 22-27 August 1999, Technical University Graz.
- Aureli, F., Mignosa, P. ve Tomirotti, M., 2000. Numerical simulation and experimental verification of dam-break flows with shock. **Journal of Hydraulic Research**, 38 (3): 197-206.
- Bell, S. W., Elliot, R.C. ve Chaudry, M. H., 1992. Experimental results of two dimensional dam-break flows. **Journal of Hydraulic Research**, 30 (2):225-252
- Bellos, V., Soulis, J.V. ve Sakkas, J.G., 1992. Experimental investigation of two-dimensional dam-break induced flows. **Journal of Hydraulic Research**, 30(1): 47-63.
- Blaser, F. ve Hager, W.H., 1999. Positive front of dambreak wave on rough bottom. **Proceedings of the XXVIII IAHR Congress**, Graz (Austria) 22-27 August 1999, Technical University Graz.
- Chanson, H., 2004. Hydraulics of open channel flow: an introduction. **Butterworth-Heinemann**, Oxford, UK.
- Chen, H.Y., Xu, W.L., Deng, J., Xue Y ve Li, J., 2014. Experimental investigation of pressure load exerted on a downstream dam by dam-break flow. **Journal of Hydraulic Engineering**, 140: 199-207.
- Crespo, A.J.C., Dominguez, J.M., Rogers, B.D., Gesteira, M.G., Longshaw, S., Canelas, R., Vacondio, R., Barreiro, A. ve Feal, O.G., 2015. DualSPHysics:open-source parallel CFD solver based on smoothed particle hydrodynamics (SPH). **Computer Physics Communications**. 187:204-216.
- Dinçer, A.E., Bozkuş, Z., 2015. Baraj yıkılması probleminin düzleştirilmiş tanecik hidrodinamiği yöntemi kullanılarak sayısal olarak incelenmesi. **4. Su Yapıları Sempozyumu**. sf. 215-22.
- Dressler, R. F., 1952. Hydraulic resistance effects upon the dambreak functions. **Journal of Research**, 49 (3): 217-225.
- Flow Science Inc., 2017. **Flow-3D User's Manuals**, Santa Fe, N.M.
- Hirt, C. W. ve Nichols, B. D., 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. **J. Comput. Phys.**, 39 (1): 201–225.
- Jonsson, P., Jonsen, P., Andreasson, P., Lundstorm, T.S. ve Hellstrom, J.G.I., 2015. Modelling dam break evolution over a wet bed with smoothed particle hydrodynamics: a parameter study. **Engineering**, 7: 248-260.
- 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.
- Kocaman, S., 2007. Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

- Kocaman, S., ve Dal, K., 2017. Dikdörtgen bir tank içerisindeki 3 boyutlu baraj yıkılması akımının etkileşimli parçacık hidrodinamiği ile simülasyonu. **2. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi**, 25-27 Ekim 2017, Adana.
- Kocaman, S., ve Ozmen-Cagatay, H. 2012. The effect of lateral channel contraction on dam break flows: Laboratory experiment. **Journal of Hydrology**, 432, 145-153.
- Kocaman, S. ve Ozmen-Cagatay H., 2015. Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall. **Journal of Hydrology**, 525: 1-12.
- Lauber, G. ve Hager, W. H., 1997. Positive front of dambreak wave. **27th IAHR Congress**, San Francisco A: 729-739.
- Lauber, G. ve Hager, W.H., 1998a. Experiments to dambreak wave: horizontal channel. **Journal of Hydraulic Research**, 36(3): 291-308.
- Lauber, G. ve Hager, W. H., 1998b. Experiments to dambreak wave: sloping channel. **Journal of Hydraulic Research**, 36 (5): 761-773.
- Mohapatra, P. K. ve Bhallamudi, S. M., 1996. Computation of a dam- break flood wave in channel transitions. **Advances in Water Resources**, 19 (3): 181-187.
- Mohapatra, P. K., Eswaran, V. ve Bhallamudi, S. M., 1999. Two-dimensional analysis of dam-break flow in vertical plane. **Journal of Hydraulic Engineering**, 125 (2): 183-192.
- Monaghan, J. J., ve Lattanzio J.C., 1985. A refined method for astrophysical problems. **Astron. Astrophys**, 149: 135–143.
- Monaghan, J. J., 1992. Smoothed particle hydrodynamics. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, 30, 543-574.
- Nsom, B., Debiante, K. ve Piau, M. J., 2000. Bed slope effect on dam break problem. **Journal of Hydraulic Research**, 38 (6): 459-464.
- Ozmen-Cagatay, H., ve Kocaman, S. 2010. Dam-break flows during initial stage using SWE and RANS approaches. **Journal of Hydraulic Research**, 48(5), 603-611.
- Ozmen-Cagatay, H., ve Kocaman, S. 2011. Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD simulation. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, 5(4): 541-552.
- Ozmen-Cagatay, H., ve Kocaman, S. 2012. Investigation of dam-break flow over abruptly contracting channel with trapezoidal-shaped lateral obstacles. **Journal of Fluids Engineering**, 134(8): 081204.
- Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S. ve Guzel, H., 2014. Investigation of dam-break flood waves in a dry channel with a hump, **Journal of Hydro-environment Research**, 8(3): 304-315.
- Shigematsu, T., Liu P. L.-F. ve Oda, K., 2004. Numerical modeling of the initial stages of dam-break waves. **Journal of Hydraulic Research**, 42 (2): 183-195.
- Soares-Frazão, S., Bueger, C. D., Dourson, V. ve Zech, Y., 2002. Dam-break wave over a triangular bottom sill. **Proceedings River Flow Conference**, Louvain-la-Neuve, Belgium, September 2002, Balkema, Vol. 1, pp. 437-442.
- Soares-Frazão, S. ve Zech, Y., 2002. Dam break in channels with 90° bend. **Journal of Hydraulic Engineering**, 128 (11): 956-968.
- Stansby, P. K., Chegini, A. ve Barnes, T. C. D., 1998. the initial stages of dam-break flow. **J. Fluid Mech.**, 374: 407-424.

- Turhan, E., 2017. Baraj yıkılması akımının deneysel ve interpolasyonlu parçacık hidrodinamiği (SPH) yöntemi ile incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Wilcox, D. C., 2000. Turbulence modeling for CFD, DCW **Industries, Inc.**, La Canada, CA.
- Zhang, Y. ve Weilin X., 2017. Retarding effects of an intermediate intact dam on the dam-break flow in cascade reservoirs, **Journal of Hydraulic Research**, 55 (3): 438–444.
- Zoppou, C. ve Roberts, S., 1999. Catastrophic collapse of water supply reservoirs in urban areas. **Journal of Hydraulic Engineering**, 125 (7): 686-695.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1991 yılında Antakya'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Antakya'da tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2009 yılında kazandı. Üniversiteden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Özel sektör kapsamında bir süre yurt içi ve yurt dışında inşaat mühendisi olarak çalışan yazar şu anda İskenderun Teknik Üniversitesi'nin Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü'nün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

