



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**DİKDÖRTGEN BİR HAZNEDEN SUYUN  
BOŞALTILMASI PROBLEMİNİN  
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Kardelen DUMAN**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019



**DİKDÖRTGEN BİR HAZNEDEN SUYUN BOŞALMASI PROBLEMİNİN  
DENEYSSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**Kardelen DUMAN**

**YÜKSEK LİSANS  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2019**

Kardelen DUMAN tarafından hazırlanan "DİKDÖRTGEN BİR HAZNEDEN SUYUN BOŞALMASI PROBLEMİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman ve Başkan:**Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



**Üye:** Doç Dr. Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



**Üye:**Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



TezSavunmaTarihi: 10/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

  
Prof. Dr. Tolga DİŞLİ  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kardelen DUMAN

10/06/2019

# DİKDÖRTGEN BİR HAZNEDEN SUYUN BOŞALMASI PROBLEMİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kardelen DUMAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

## ÖZET

Haznelerin içinde bulunan akışkanı tahliye etmek amacıyla hazne tabanında veya yan duvarlarında oluşturulan boşluklara orifis denilmektedir. Günümüzde içme suyu depoları, dip savaklar gibi pek çok uygulamada orifisler kullanılmaktadır. Haznenin boşalma süresinin hassas olarak belirlenmesi için orifisten çıkan debinin doğru hesaplanması çok önemlidir. Bunun için orifis hesaplamalarında gerçek akıştaki sürtünme ve enerji kayıplarını yansıtan orifis katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Orifisin geometrisi, akışkanın türü ve hızı gibi parametreler orifis katsayısını etkilemektedir.

Bu çalışmada, dikdörtgen haznedeki suyun orifisten boşalması problemi deneysel, sayısal ve analitik çözüm kullanılarak incelenmiştir. Aynı kesit alanına sahip orifislerin farklı geometrilere sahip olması halinde orifis katsayılarının nasıl değişeceği araştırılmıştır. Orifis katsayısındaki değişimin haznenin boşalma süresine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda görüntü işleme yöntemi ile elde edilen ve sayısal çalışmada ise Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile elde edilen su seviyesinin zamana göre değişimleri karşılaştırılmıştır. Akıllı telefon kamerası kullanılarak deneyler kayıt altına alınmıştır. Deneysel sonuçlar ile nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Orifis katsayısı, tank boşalması, görüntü işleme, FLOW-3D  
Sayfa Adedi : 63  
Danışman : Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN  
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜZEL

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE WATER DISCHARGE  
PROBLEM FROM A RECTANGULAR TANK

(M.Sc. Thesis)

Kardelen DUMAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2019

ABSTRACT

The openings located at the bottom or on side walls of the tank to drain the fluid are called orifice. At present, orifices are used in many areas such as drinking water supply tank and bottom outlet of dams. Accurate calculation of the discharge flow from the orifice is very important for the precise determination of the discharge time of the tank. For this purpose, the orifice coefficient reflecting real-flow energy losses should be known in the orifice calculations. Parameters such as the geometry of the orifice, the type and velocity of the fluid affect the orifice coefficient.

In this study, the problem of discharging of the water in a rectangular tank from the orifice was investigated analytically, experimentally and numerically. The effect of the orifices having the same cross-sectional area but different geometries on the orifice coefficient was investigated. Time evolution of the water level, obtained experimentally by using image processing technique and also numerically using a CFD software, was presented comparatively. The experiments were recorded using a smartphone camera. Comparison of the experimental and numerical results showed that both were in good agreement.

Key Words : Orifice coefficient, tank drainage, image processing, FLOW-3D  
Page Number : 63  
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Selhattin KOCAMAN  
Co-Supervisor : Asst. Prof. Dr. Hasan GÜZEL

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesi, araştırılması ve deneylerin yapılması sürecinde sahip olduğu bilgi birikimleri ve tecrübeleriyle çalışmaya yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen çok değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜZEL'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın ortaya konmasında payı büyük olan FLOW-3D yazılımının kullanımını sağladığı için Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deney düzeneğinin hazırlanmasında ve deneylerin yapılması esnasında yardımda bulunan çok değerli Arş. Gör. Kaan DAL ve Arş. Gör. Ada YILMAZ'a teşekkürlerimi iletirim.

Ayrıca eğitim hayatımdaki desteklerinden dolayı anneme, babama ve ağabeyime çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	13
3.1. Deney Düzenegi .....	13
3.2. Ölçüm Tekniği .....	14
3.2.1. Görüntü işleme.....	14
3.2.2. Kamera ve ortam aydınlatılması.....	15
3.2.3. Görüntü işleme analizi.....	15
3.2.4. Kalibrasyonlar.....	17
3.2.4.1. Yatay kalibrasyon .....	19
3.2.4.2. Perspektif kalibrasyon .....	19
3.2.4.3. Metrik kalibrasyon .....	21
3.2.5. Su seviyesi değişimlerinin sanal derinlik ölçer ile belirlenmesi .....	22
3.3. Sayısal Yöntem .....	23
3.3.1. k-ε türbülans modeli.....	25
3.3.2. Ağ yapısı ve sınır şartları.....	27
3.4. Tankın Boşalma Süresinin Elde Edilmesi (Analitik Çözüm) .....	27
3.5. Orifis Katsayısının Grafik Yolla Elde Edilmesi.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	33
4.1. D1, D2 ve D3 için Elde Edilen Deneysel Veriler .....	34
4.2. D1, D2 ve D3 için Boyutsuz Grafikler.....	41
4.3. K1 için Elde Edilen Deneysel Veriler .....	44



	<b>Sayfa</b>
4.4. DD1 için Elde Edilen Deneysel Veriler .....	47
4.5. D1, K1 ve DD1 için Elde Edilen Deney ve Sayısal Verilerin Karşılaştırılması .....	50
5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	56
5.1. Sonuçlar.....	56
5.2. Öneriler .....	57
KAYNAKLAR .....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Plakaların isimleri ve geometrik özellikleri.....	33
Çizelge 4.2. K1 deneyinde aynı su seviyeleri için elde edilen süreler.. ..	45
Çizelge 4.3. Deneyselerde hesaplanan grafiğin eğimi, alfa ve C katsayıları .....	50
Çizelge 4.4. Plakaların deneysel ve sayısal çözümler için orifis katsayıları .....	55



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Deneş düzeneği görüntüsü ve tank boyutları .....	14
Şekil 3.2. Aynı alana sahip dikdörtgen, daire ve kare orifisler .....	14
Şekil 3.3. Bir görüntüde bulunan piksellerin temsili gösterimi (Kocaman, 2007) .....	16
Şekil 3.4. Görüntünün açısai kalibrasyonu a) orijinal hal b) kalibre edilmiş hal (Kocaman, 2007).....	17
Şekil 3.5. Kamera pozisyonundan kaynaklanan çekim hataları .....	18
Şekil 3.6. Görüntünün yataydaki dengesinin sağlanması (Kocaman, 2007) .....	19
Şekil 3.7. Perpektif kalibrasyon a) ham görüntü b) kalibrasyonlu görüntü (Kocaman, 2007).....	20
Şekil 3.8. Metrik kalibrasyon için çizilen referans çizgisi.....	21
Şekil 3.9. Sanal derinlik ölçer ile su seviyesi değişimlerinin ölçülmesi.....	22
Şekil 3.10. Tankın boşalma süresinin şematik olarak gösterimi.....	27
Şekil 4.1. D1 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği.....	35
Şekil 4.2. D1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ – zaman grafiği.....	36
Şekil 4.3. D1 deneyine ait C=0,601 için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H – T grafiği.....	37
Şekil 4.4. D2 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği.....	37
Şekil 4.5. D2 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ – zaman grafiği.....	38
Şekil 4.6. D2 deneyine ait C=0,597 için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H-T grafiği.....	39
Şekil 4.7. D3 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği.....	39
Şekil 4.8. D3 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ – zaman grafiği.....	40
Şekil 4.9. D3 deneyine ait C=0,603 için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H – T grafiği.....	41

Şekil 4.10. D1, D2 ve D3 orifisleri için edilen derinlik zaman grafiği.....	42
Şekil 4.11. D1, D2 ve D3 orifisleri için edilen boyutsuz derinlik zaman grafiği.....	42
Şekil 4.12. D1 deneyine ait elde edilen boyutsuz $(1 - \sqrt{h/H})$ - zaman grafiği .....	43
Şekil 4.13. D2 deneyine ait elde edilen boyutsuz $(1 - \sqrt{h/H})$ - zaman grafiği.....	43
Şekil 4.14. D3 deneyine ait elde edilen boyutsuz $(1 - \sqrt{h/H})$ - zaman grafiği.....	43
Şekil 4.15. Boyutsuz çözümden elde edilen $T - A/a$ grafiği .....	44
Şekil 4.16. K1 deneyine ait sayısal ve deneysel çözümler için H-T grafiği.....	45
Şekil 4.17. K1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ - zaman grafiği.....	46
Şekil 4.18. K1 deneyine ait $C=0,604$ için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H - T grafiği.....	47
Şekil 4.19. DD1 deneyine ait sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği.....	48
Şekil 4.20. DD1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ - zaman grafiği .....	49
Şekil 4.21. DD1 deneyine ait $C=0,608$ için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H - T grafiği.....	49
Şekil 4.22. D1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği ....	51
Şekil 4.23. D1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ - T grafiği.....	52
Şekil 4.24. K1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği ....	52
Şekil 4.25. K1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ - T grafiği.....	53
Şekil 4.26. DD1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği..	54
Şekil 4.27. DD1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$ - T grafiği.....	55

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

$f_i$	Bir akışkan hacmi için Reynolds gerilmeleri
$T_{ij}$	Gerilme hızı tansörü
$g$	Yerçekimi ivmesi
$k_s$	Pürüzlülük
$\mu_T$	T çalkantı gerilmelerinin de hesaba katıldığı toplam viskozite
$u_*$	Kayma hızı
$\kappa$	Von Karman sabiti
$C$	Orifis katsayısı
$A$	Hazne alanı
$a$	Orifis alanı
$H$	Haznenin başlangıçtaki su seviyesi
$h$	Haznedeki herhangi bir zamandaki su seviyesi

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>HAD</b>	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
<b>RANS</b>	Reynolds Averaged Navier-Stokes
<b>VOF</b>	Volume of Fluid-Akışkan Hacmi
<b>FAVOR</b>	Fractional Area/Volume Obstacle Representation
<b>RNG</b>	Renormalized Group
<b>LES</b>	Large – Eddy Simulation

## 1. GİRİŞ

Orifis; haznedeki akışkanın tahliyesinde görev alan, hazne tabanları veya yan duvarlarında bulunan açıklıklardır. Günümüzde orifisler baraj dip savakları, içme suyu depoları gibi daha birçok yapıda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hazne içerisindeki akışkan, daralmış kesit olan orifisten geçmeye zorlanmaktadır. Bu çalışma için debi; orifisten belirli bir zaman diliminde geçen akışkan miktarıdır. Akışkan türü, orifisin şekil ve ebatları, hazne içerisindeki durumu, orifisin kenarlarının yapısı; orifis çıkışındaki hız ve debiyi etkileyebilmektedir. Haznenin boşalma süresinin bulunmasında sağlıklı sonuçlara ulaşılabilmesi için debinin doğru hesaplanması çok önemlidir (Daugherty, Franzini ve Finnemore, 1985; Streeter, Wylie ve Bedford, 1998).

Orifisten geçen akışkanın debi hesabında Bernoulli denkleminden yararlanılır (Saleta, 2005). Orifisteki akış hızının kesit alanı ile çarpılması halinde debi değeri bulunabilmektedir. Orifisteki çıkış hızı ise orifis ile su yüzeyi arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır. Orifiste gerçekleşen enerji kayıplarından dolayı teorik ve gerçekteki debi değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Teorik ve gerçek debi değerleri arasındaki bu farklılık, iki debi değerinin birbirine oranı olan orifis katsayısı ( $C$ ) ile dengelenmektedir. Bu katsayısı; orifisin geometrisi ve boyutu, orifis kenarlarının yapısı, akışkanın türü gibi parametreler etkilemektedir. Mevcut orifis katsayıları hesaplanırken haznedeki su seviyesinin sabit olduğu kabul edilmektedir (Borghai, Jalili ve Ghodsian, 1999; Libii, 2003). Aynı kesit alanına sahip orifislerin daire, kare, dikdörtgen gibi farklı geometrilere sahip olması halinde  $C$  katsayılarının değişiminin nasıl olacağını araştırılması hidrolik mühendisliği uygulamalarında önemli olacaktır. Orifis katsayısının değişimi haznenin boşalma süresi üzerinde etkili olacaktır.

Son yıllarda akışkanlar mekaniği ile ilgili yapılan bilimsel araştırmalarda teorik ve deneysel çalışmalarının yanı sıra Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine dayanan sayısal yöntemler de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu üç yaklaşım birbirini tamamlayıcıdır ve elde edilen sonuçları birbiri ile tutarlı olmalıdır. Özellikle geliştirilen sayısal yöntemlerin gerçek hayatta uygulanabilmesi için bu yöntemlerin çözüm kabiliyetlerinin deneysel çalışmalarla doğrulanması oldukça önemlidir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarların çözüm ve depolama kapasiteleri artmıştır. Bunun yanı sıra 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerine dayanan ve farklı türbülans modellerini de içeren hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları yaygınlaşmış ve gelişmiştir. Böylelikle büyük ölçekli hidrolik problemlerin sayısal çözümü geçmişe göre daha kolay hale gelmiştir ve daha hassas çözümler elde edilebilmektedir (Kocaman, 2007; Kocaman ve Özmen-Çağatay, 2015).

Sonlu hacimler, sonlu farklar yöntemlerine dayanan sayısal çözümlerde olayı idare eden diferansiyel veya integral formdaki denklemler cebrik forma indirgenmektedir. Daha sonra bilinen başlangıç ve sınır şartları kullanılarak bilgisayar ortamında çözülmektedir. Günümüzde sayısal yöntemlerle birlikte deneysel çalışmalar da hidrolik araştırmaların halen önemli bir parçasıdır ve özellikle sayısal yaklaşımların doğrulanması için laboratuvarlardan alınan deneysel verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan çalışmada tankın boşalma süresi ve orifis katsayısı deneysel, sayısal ve analitik olmak üzere üç temel yaklaşım kullanılarak ele alınmış ve elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında dikdörtgen bir haznedeki suyun boşalması problemi ile ilgili bir seri deneysel çalışma yapılmıştır. Farklı geometriye ve alanlara sahip orifisler kullanılarak, bu orifislere ait orifis katsayıları belirlenmiş ve tankın boşalma sürelerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma video kameralar ile kayıt altına alınmış ve su seviyelerinin değişimi video görüntüler üzerinden görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi ile çözümünü yapabilen 3 boyutlu FLOW-3D yazılımı ile karşılaştırılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Lubin (1967); sıvıların dairesel bir tanktan düşey eksendeki bir orifisten aktığında; yüzey seviyesi belli bir yüksekliğe ulaştığı zaman sıvının serbest yüzeyi üzerinde bir daldırma oluştuğunu söylemiştir. Bu daldırmanın oluşumunu; yüksekliği 12 in olan, iç çapları 2,5 ve 9inç olan iki adet pleksiglas silindir tank ile incelenmiştir. 0.125, 0.25, 0.50 ve 0.75 in çaplı orifisler kullanmıştır. Yapılan çalışmada akışkan olarak su kullanmıştır. Fakat yüzey geriliminin etkilerini ve suyun viskozitelerinin ve yoğunluklarının ve bunun üzerindeki sıvının etkilerini incelemek için, aynı zamanda suyun üstüne yerleştirilen sıvılar ile de gerçekleştirmiştir. Deneysel veriler ile analiz sonuçları arasında uyumluluk olduğunu görmüştür.

Zhou ve Graebel (1990); yaptıkları çalışmada sıvının; serbest yüzeyli, altında orifis bulunan bir tanktan boşalmasını potansiyel akış teorisi kullanarak incelemiştir. İki farklı durumu ele almıştır. Çalışmalarında serbest yüzeyli tek sıvı ve yine serbest yüzey fakat farklı yoğunluktaki iki sıvı olması durumunu incelemiştir. Tank duvarı ve yoğunluk ara yüzlerindeki kesişme noktalarındaki sayısal hataları etkin azaltan, yerleşik sınır koşullarına sahip bir simetrik sınır-integral yöntem şeması kullanmışlardır. Tankın boşalma süresi ve başlangıç koşulları farklı olan her iki durumda nümerik sonuçlar elde etmişlerdir. Tank hızlı bir şekilde boşaldığı zaman alt ara yüzün merkezinde bir girdabın hızla oluştuğunu, tankın yavaş boşalması durumunda ise depresyon bölgesinin merkezinde bir jet oluştuğunu gözlemlemiştir. Yaptıkları çalışma ile daha önce yayınlanmış olan önceki veriler arasında bir uyum olduğunu göstermişlerdir.

Sommerfeld (1990); yaptığı deneyde 3 metre yükseklik ve 1,2 metre çapa sahip konik bir tank kullanmıştır. 2,4 metre yüksekliğe kadar su doldurmuştur. Tahliye sisteminden çıkış yüksekliği konik tankın tabanının 1 metre altı olarak tasarlamıştır. Sonuç olarak orifis katsayısının tankın boşalma süresi üzerindeki etkisini incelemiştir.

Van Dongen ve Roche (1999); yaptıkları çalışmada haznenin altındaki açıklık kısmına bağlantı parçalarıyla çıkış borusu monte etmişlerdir. Tankın boşalma süresinin sıvı yüksekliğine bağlı olduğuna değinmiş, ayrıca akış oranının zamanla azaldığına ve bu bağlamda su seviyesi iyice azaldığında sıvı seviyesinin sıfır olduğu zamanı tam olarak belirlemenin çok mümkün olmadığını belirtmişlerdir.



Gürsoy (1999); yaptığı çalışmada orifis yerleştirilen bir boruda türbülanslı ve laminer akış ortamında; basınç, debi ve basınç kayıplarını debi ölçerlerin geometrisine ve Reynolds sayısına bağlı değişimini araştırmıştır. Farklı orifis kalınlık ve açıklık oranları üzerine deneyler yapmıştır. Deneylerinde akışkan olarak motor yağı kullanmıştır. Elde ettiği deneysel veriler ile debi katsayısının Reynolds sayısı, basınç farkının boru mesafesi etkisini araştırmıştır. Her farklı geometriye sahip deneyden elde edilen sonuçların grafiksel olarak göstermiştir. Çalışmasında orifisin sebep olduğu basınç kaybı, basınç dağılımı ve debi katsayısı  $C_d$  deneysel olarak incelenmiş olup, düşük Reynolds sayılarında debi katsayısının açıklık oranlarının artmasıyla azaldığı, Reynolds sayısının 750'yi aşması halinde tersi bir durum gözlemlenmiştir.

Libii (2003); yaptığı çalışmada sıvının irrotasyonel drenajının etkisini teorik olarak ele almıştır. Deneyde akış eksenini dikey olan dairesel kesitli silindirik bir kap kullanılmıştır. Tankın üstü serbest yüzeylidir. Alt merkezinde ise farklı çaplarda orifis deliği bulunmaktadır. Tank belirli bir seviyeye kadar doldurulup durağanlığı sağlandığında orifis kapağı açılıp kronometre ile boşalma süresi tespit edilmiştir. Farklı çaptaki orifisler için de deneylerini tekrarlayarak etkilerini araştırmıştır. Yapılan bu çalışmada küçük çaplı orifislerde başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Joye ve Barrett (2003); tankın boşalması üzerine araştırma yapmışlardır. Tankın boru hattı ile drenajını modellemişlerdir. Çalışmalarında farklı boyutlarda delikler, yatay ve dikey konumlandırılmış boru sistemleri kullanmışlardır. Sonuçlar hem laminer hem türbülanslı akım için geçmişte yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermiştir.

Forbes ve Hocking (2007); yaptıkları çalışmada içerisinde iki farklı yoğunlukta akışkan bulunan sistemin drenajını incelemişlerdir. Alttaki ağır sıvının akışının orifis boyunca sabit hızda olduğunu görmüşlerdir. Bu iki akışkan arasındaki ara yüzün aşağı doğru hareket ettiği ve sonunda drenaj deliğinden çekildiğini ifade etmişlerdir.

Sohn, Gowda ve Ju (2008); yaptıkları çalışmada tam ortasından orifis bulunan silindirik bir tank kullanmışlardır. Tank içerisindeki su boşalırken kritik bir yükseklikten sonra girdap oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Orifisin etkili çapının, girdaptan ötürü azaldığını görmüşlerdir. Dolayısıyla akış oranının düştüğünü gözlemlemişlerdir. Drenaj sırasında eksantrik bir drenaj portu (0,4 e eşit veya daha yüksek) kullanarak bu duruma çözüm

bulmuşlardır.

Ahn (2008); düz plaka üzerindeki orifisteki granül akışını deneysel olarak incelemiştir. Taneciklerin delikten boşalma oranlarını, orifis plakası üzerindeki ortalama normal stresin bir fonksiyonu olarak ele almıştır. Orifisteki normal stresi, deney düzeneğindeki giriş çubuğa bağladığı gerinim ölçer yardımıyla ölçmüştür. Sonuçlarda orifisteki akışın üç rejim ile karakterize edilebildiğini göstermiştir. Rejim 1; akış tıkanmadığında artan normal stresle tahliye oranı artar. Normal stresin daha da artmasıyla deşarj oranı akışın tıkanmaya başlayacağı maksimum bir seviyeye ulaşmıştır. Akış tıkanıldıktan sonra ise deşarj oranı azalmaya başlamıştır (Rejim 2) ve sonra orifis üzerindeki normal stresten bağımsız hale gelmiştir (Rejim 3). Rejim 2’de artan normal stresle, boşaltım hızının azaldığını ve kararsız durum oluştuğunu gözlemlemiştir. Çeşitli orifis ve parçacık boyutları için Rejim 3’teki deşarj oranlarının literatürde mevcut sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğunu görmüştür.

Oğuday (2010); yaptığı çalışmada boru içerisine yerleştirilmiş farklı et kalınlıklarındaki orifislerin çıkışındaki akış yapısını incelemeyi amaçlamışlardır. Reynolds sayısını belirli aralıklarda değişken tutmuşlardır. Çalışmalarında Parçacık Görüntülemeli Hız (PIV: Particle Imaging Velocimetry) tekniğini kullanmışlardır. Deneylelerini, orifis kalınlık oranını 1/8 ile 1 oranları arasında değiştirerek gerçekleştirmişleridir. Deney sonucunda orifis çıkışındaki akış bilgilerine odaklanmışlar ve ayrıca ortalama hız vektörlerinin belirli bir çizgi boyunca değişiminin etkisini araştırmışlardır.

Forbes ve Hocking (2010); yaptıkları çalışmada içerisinde iki akışkan bulunan dairesel kesitli bir sistemdeki drenajı incelemişleridir. Tankın alt tarafında tam merkezde konumlandırılmış dairesel bir orifis bulunması durumunu ele almışlardır. Deneylelerindeki iki akışkan keskin bir arayüzle ayrılmıştır. Akışın aksel olarak simetrik olduğunu görmüşlerdir. Ara yüzün konumunun zamanla aşağı doğru hareket ettiğini ve sonunda ara yüzün bir kısmının drenajla birlikte geri çekildiğini görmüşlerdir. Deney sonuna doğru ara yüzün çekilmesinin çok yüksek eğrilik bölgeleri geliştirebileceğini ve viskozitenin Kelvin-Helmholtz’da olduğu gibi daha sonra arabirim çıkıntısını ve sarılmasını tetikleyebileceğini göstermişlerdir.

Reddy ve Subbarao (2011); yaptıkları çalışmada Newtonyen cinsi akışkanın farklı geometrideki büyük tanklardan boşalması süresi üzerine matematiksel denklemler

geliştirmişlerdir. Denklemleri boyutsuz formda yazmışlardır. Silindirik tanktaki boşalma süresinin daha kısa olduğunu tespit etmişlerdir.

Subbarao, Srinivasa Rao, Raju ve Prasad (2012); yaptıkları çalışmada drenaj borusu olan yatay silindirik bir tank kullanmışlardır. Akımın laminer ve türbülanslı olması durumlarını ele almışlardır. Çıkış borusundaki laminer akışta silindirik, konik ve küresel tanklar için akış zaman denklemleri türetmişlerdir. Silindirdeki akış zamanının en büyük, konideki zamanın en küçük olduğu sonucuna varmışlardır.

Subbarao, Srinivasa Rao, Raju ve Prasad (2012); yaptıkları çalışmada çıkış borusundaki akışı laminer kabul ederek drenaj borusu büyük olan bir küresel tank kullanmışlardır. Deneplerinde akışkan olarak gliserin kullanmışlardır. Farklı çıkış borusu uzunlukları ve farklı hacimli uygulamalar için deneysel değerleri matematiksel model ile karşılaştırmış ve sonuçlarının model ile iyi bir uyum içinde olduğu belirtmişlerdir.

Bulut (2013); yaptığı çalışmada dairesel kesitli bir tabandaki orifisi deneysel olarak araştırmıştır. Değişik çaptaki dairesel orifisleri, değişik akım şartlarında incelemiştir. Kanaldaki su derinliği ve debi değerlerine karşılık; çap, konum ve eğimi bilinen orifisten geçen su debisi tespit etmiştir. Orifis konumu, çapı ve eğimi çalışmadaki değişkenlerdir. Deneysel sonucunda orifislerin çap, konum ve eğim değişkenlerine karşılık debi katsayılarına ( $C_D$ ) ulaşmıştır. Kanal eğiminin değiştirilmesiyle, kanal taban eğiminin debi katsayısına ( $C_D$ ) ve boyut analizinden elde edilen bir diğer katsayıya ( $K$ ) etkisini araştırmıştır. Bu katsayılarla, diğer boyutsuz değişkenler arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak sunmuştur.

Ng, Ng ve Lam (2013); yaptıkları çalışmada boşaltma verimi / tükenme oranını analitik olarak incelemiş ve tankların boşalma zamanında azalmaya yönelik bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Farklı geometrideki tankların boşalma süresini simüle etmek için kullanılan Lagrangian parçacık metodunu kullanmışlardır.

Hicks ve Slaton (2014); yaptıkları çalışmada bir akışkan haznesini modellemek ve bu sistem için deşarj katsayısını belirleyecek deneysel bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında keskin kenarlı ve yuvarlatılmış kenarlı orifisler için deşarj katsayılarını elde etmişlerdir. Yaptıkları araştırmayla, Bernoulli yasasının farklı çaplarda

orifislere sahip açık bir kaptaki deşarj katsayısını belirlemek için doğru bir yöntem olduğunu göstermişlerdir.

Sam Mathew, B S V Patnaik ve T John Tharakan (2014); yaptıkları çalışmada silindirik bir tanktan sıvı boşalmasını incelemişlerdir. Drenaj portunun büyüklüğü, buradaki basınç ve başlangıç rotasyonunun girdap üzerindeki etkisini ele almıştır. Kritik yüksekliğin zamanla değişiminin etkisini araştırmışlardır.

Subbarao, Divya, Appala Naidu ve King (2015); yaptıkları çalışmada serbest yüzeyli silindirik bir tank ve altında çıkış borusu kullanmışlardır. Çıkış borusu uzunluğu azaldığında Froude sayısının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca farklı çaptaki çıkış boruları için farklı hata oranlarına ulaşmışlardır.

Öner ve Sorgucu (2016); yaptıkları çalışmada 12,5 cm kenar uzunluğuna sahip kare orifisleri balık geçidi olarak tasarlamışlardır. Kare kesitli kanalın başlangıcında silindirik bir besleme tankı kullanmışlardır. Buraya suyu pompa ile göndermişlerdir. Su, besleme tankından kanala kendi cazibesıyla ilerlemiştir. Kanala; 12,5 cm kenar uzunluklarında orifisi bulunan 5 perde yardımıyla 4 havuz yapılmıştır. Orifisler şaşırtmalı gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Deney sonuçlarında Froud benzerliği kullanmışlardır. Debilerin ölçülmesinde ultrasonik debi ölçme cihazı kullanmışlardır. Hız ölçümlerini ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini baz alan ADV (Aquistic Doppler Velocimeter) kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Orifis çıkışlarında orifise dik yöndeki hızın nispeten yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Fakat şaşırtmalı orifisler sebebiyle akımın diğer kanada yönelmesiyle diğer orifis girişindeki bu hızın çok azaldığını görmüşlerdir. Orifis girişinden belirli bir mesafeden sonra ters yönde akım oluştuğunu görmüşlerdir. Ayrıca ilk orifiste, orifis doğrultusundaki ( $V_y$ ) hızın düşük olmasıyla birlikte şaşırtmalı orifis sebebiyle diğer orifislerde bu yöndeki hızın arttığını gözlemlemişlerdir.

Ali, Underwood, Lee ve Wilson (2016); yaptıkları çalışmada üç farklı viskozitedeki sıvıyı ele alarak, farklı çap ve eğimlerde bulunan dairesel kesitli borulardaki davranışlarını incelemişlerdir. Bu davranışın aşamalı bir şekilde gerçekleştiğini gözlemlemişleridir. İlk aşamada sıvılar kendi kendilerinin hacimlerinin yarısını kaybedecek kadar aktığını ifade etmişlerdir. Kalan kısmının akışı ise kendiliğinden ilk aşamadaki gibi olmadığını görmüşlerdir. Sayısal modelde ilk aşama için iyi sonuçlar almışlardır. Fakat diğer fazlar

için nümerik ve deneysel sonuçları ilk aşama kadar başarılı olmamıştır. Materyalin kendi kendine tahliye olmasının yüzde 50 hacme kadar mümkün olduğu ancak kalanın kendi kendine tahliye olmadığı için bu durumun önerilmediğini belirtmişlerdir.

Algehani, Alotaibi, Zubaidi, Ibrahim ve Jones (2016); yaptıkları çalışmada haznenin boşalmasını; haznenin altında bulunan farklı çap ve uzunluğa sahip boru hatları olması durumları için incelemiştir. Deney düzeneğinde akış ölçerler, basınç göstergeleri ve seviye sensörleri kullanmış; yazılım olarak Solid Edge kullanılmışlardır. Her bir çap ve uzunlukta yapılan deneyler için elde edilen boşalma sürelerini literatürdeki çalışmalarla kıyaslamışlardır.

Gharehbaghi, Kaya ve Saadatnejadgharahassanlou (2016); yaptıkları çalışmada iki boyutlu dengesiz akışta sıkıştırılmaz akışkanı simüle etmişlerdir. Denklemlerinde Sonlu Hacim Yöntemi kullanmış ve sayısal sonuçları FLOW-3D yazılımında değerlendirmişlerdir. Modelin sayısal sonuçları ile FLOW-3D yazılımının simülasyonlarının uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir.

Ferrand, Favreau, Joubaud ve Freyssingas (2016); yaptıkları çalışmada tabanında orifis bulunan bir tankın boşalmasındaki ıslatmanın etkisini incelemiştir. Deney sonunda akışın her zaman bir Torricelli benzeri davranış göstermesine rağmen ıslatmanın drenaj hızını etkilediğini görmüşlerdir. %60'lık bir statik ıslatma açısı ile akışların yavaşlatılmasında en iyi etkiyi görmüşlerdir.

Aprin, Heymes, Cosenza, Lauret, Slangen ve Floch (2016); yaptıkları çalışmada kimyasal bir maddenin orifisten deşarjını incelemiştir. Farklı orifis ebatları için deşarj edilen kimyasalların miktarları tespit edilmiş ve doğru orantılı bir bağlantı elde etmişlerdir.

Ferro Ardanuy (2016); yaptığı çalışmada kapalı bir tankın aniden açılmasıyla oluşan basınçlı akışı incelemiştir. Kabın boşalması sırasında basıncı, sıcaklığı ve kütle akış hızını boyutsuz formlarda inceleyip sonrasında MATLAB programına aktarmıştır. Oluşturduğu grafikler sayesinde bir tankı boşaltmada genel bir zaman belirlemek için sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akış hesaplamaları için yöntemin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Penney, Servoss, Hestekin ve Clausen (2016); yaptıkları çalışmada keskin kenarlı orifis kullanmışlardır. Orifis katsayısını 0,64 olarak bulmuşlardır. Yaklaşık %3 hata ile literatürdeki verilere yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

Hussain, Ahmad ve Ojha (2016); yaptıkları çalışmada orifisteki deşarjı serbest akış, tamamen batık akış ve kısmen batık akış için analitik denklemlerle incelemişleridir. Boşaltma katsayısının, yaklaşma kanalı Froude sayısına ve serbest akış koşulları altında kanalın delik ve yatak genişliği oranına bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Memon, Siddiqui ve Shah (2017); yaptıkları çalışmada düzensiz, sıkıştırılmaz Newtonyen sıvının kullanıldığı ve katı cidarda hız değerinin sıfır olmasına neden olan kaymama sınır şartının ihmal edildiği bir durumda, tankın boşalma süresini elde etmede kullanılabilecek analitik bir çözüm önermişlerdir. Hız, debi ve başlangıç su derinliği değerlerinin problem üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde inceleyen araştırmacılar, orifis kesitindeki çap değerinin artması ile kesitten çıkan akışkanın hızında azalmalar görüldüğünü vurgulamışlardır.

Belfort, Weill ve Lehmann (2017); iki boyutlu bir akış tankında görüntü işleme kullanarak suyun doygunluk ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Görüntü işleme aşamalarında normalizasyon, filtreleme, arka plan çıkarma, ölçekleme ve kalibrasyon işlemlerini kullanmışlardır. Uyguladıkları prosedürde, çok sayıda fotoğrafın etkili bir şekilde işlenmesini sağlamış ve böylece yüksek zamansal çözünürlükte 2 boyutlu su içerik haritalarını oluşturmuşlardır.

Sakri (2017); yaptığı çalışmasında, sıvıların depolama tankından boşaltılmasının genellikle orifis yardımıyla olduğuna değinmiştir. Yaptığı deneylerde tankların boşaltımı sırasında hava girdabı oluştuğunu görmüştür. Girdap çekirdeği orifise kadar uzandığında boşaltma hızının düştüğünü ve orifisteki akışın kararsız olduğunu gözlemlemiştir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için vorteks kırıcıyı denemiştir ve işe yaradığını görmüştür. Çalışmalarını OpenFOAM yazılımı kullanarak simüle etmiştir. Hava-sıvı arayüzünün incelenmesi için Akışkan hacmi (VOF) yöntemi uygulamıştır. Mevcut çalışma ile daha önce yayınlanmış olan önceki veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

Sadrizadeh, Ghafar, Halilovic ve Hakansson (2017); yaptıkları çalışmada Marsh hunisindeki akışı incelemişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğine dayanan sayısal yöntem ile iki fazlı Newtonian akışını modellemişlerdir. Kullandıkları analitik yaklaşım ile; deneysel ve sayısal yöntemlere göre daha hızlı değerlendirme yapabileceklerini ifade etmişlerdir.

Dachi ve Setiawan (2018); yaptıkları çalışmada, altında farklı orifis açıklıkları bulunan silindirik bir tank kullanmışlardır. Her orifis için aynı başlangıç koşullarında deneylerini tekrarlamışlardır. Kaçak tank yöntemi adını verdikleri sistemde; deney yerindeki yerçekimini ölçmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak sadece %0,85'lik bir hata oranı ile gerçek yerçekimi değerini elde etmişlerdir.

Geeter, Huynh ve Marotta (2018); yaptıkları çalışmada silindirik bir tank kullanmışlardır. Tankın bir boyutlu sürtünmesiz sabit akış modeline karşılık gelen diferansiyel denklemini incelemişlerdir. Sürtünme etkisinin akış hızını azalttığını ve açıklığın geometrisine bağlı olarak, yavaş boşaltmalar için ihmal edilebileceğini göstermişlerdir.

Padulano ve Del Giudice (2018); yaptıkları çalışmada literatürde tabanlarında farklı giriş tipleri ve giriş koşulları bulunan tankların drenajlarını inceleyen deneysel çalışmaları karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Her bir çalışmada kullanılan çıkış kesitlerinin debi üzerindeki etkilerini vurgulayan araştırmacılar, bu kesitlerin oluşturduğu 4 farklı akım rejimi tanımlamışlardır. Literatürdeki ve kendi elde ettikleri yeni verileri, debi katsayılarını ve boyutlu ve boyutsun debi-yükseklik denklemlerinin kalibre etmek için kullanmışlardır.

Vara Prasad, Subbarao ve King (2018); yaptıkları çalışmada tankın boşalma süresi hakkında detaylı bir derleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Literatürdeki farklı kesitlerdeki orifisleri de kapsayan bu çalışmalarında tankın boşalma sürelerini arttırıcı polimer ve diğer çeşitli katkı maddelerinin incelendiği çalışmalar hakkında detaylı bilgiler sunmuşlardır. Kullanılan bu tekniklerin artı ve eksi yönlerini vurgulayan araştırmacılar, farklı orifis geometrileri için farklı polimerler kullanılabilmesi ve tankın boşalma süresini geciktiren mekanizmanın daha derinine incelendiği çalışmaların yapılabileceğini vurgulamışlardır.

David ve Anirudh (2018); yaptıkları çalışmada yan cidarında bir orifis kesiti bulunan silindirik bir tankın boşalması sırasındaki su derinliğinin zamana göre değişimini deneysel ve analitik olarak incelemiştirler. Orifis kesiti çıkışında yatay düzlemde boru kesitli bir uzantının eklenmesinin akış karakteristikleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştirler. Deneysel çalışmalarında bir ve iki silindirik tank kullanmışlardır. Bir tankın kullanıldığı çalışmada akışkan serbest düşüm gerçekleştirirken, iki tanklı çalışmalarında bir tanktan çıkan akışkan diğer tanka boşalmaktadır. Çalışmalarında Hagen – Poiseuille ve Bernoulli denklemlerinden faydalanmışlardır.

Ferro ve Aydın (2018); yaptıkları çalışmada 3,1 m uzunluğunda, 0,3 m genişliğinde ve 0,45 m derinliğinde yatay dikdörtgen bir kanal kullanılarak dikdörtgen bir yarık savağında küçük deşarjları ölçmeyi amaçlamışlardır. Malcherek'in Orifis için önerdiği çıkış akışı teorisini kullanarak seviye-deşarj ilişkisini çıkarmışlardır. Sonuçları mevcut deneysel ölçümlerle karşılaştırmışlar ve hata oranını yaklaşık %5 civarında olduğunu ifade etmişlerdir.

Hajikandi, Vosoughi ve Jamali (2018); çalışmalarında kare ve dairesel orifis kullanarak suyun boşalması sırasında bu orifislerin memba kısmında meydana gelen oyulma problemini ele almışlardır. Kare orifisin yukarıdaki etki bölgesi alanının dairesel orifisten 1.54 kat daha büyük olduğunu saptamışlardır. Her iki orifis için merkez çizgileri boyunca boyuna hız profillerini elde etmişlerdir. Yukarı doğru üç ayrı hız dağılım bölgesinin varlığını göstermişlerdir.

Vatankhah ve Mirnia (2018); yaptıkları çalışmada Buckingham'ın boyut analizi teoremine dayanarak boşalma katsayısı için birkaç model türetmişlerdir. Deneplerinde yan cidarında üçgen orifis bulunan yatay dikdörtgen bir kanal kullanmışlardır. Serbest akış koşulları altındaki bu deşarjı deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır.

Storey (2019); yaptığı çalışmada tankın drenajını analitik olarak ele almıştır. Analitik çözümde Bernoulli denkleminde yararlanmıştır. Laminer durum için hızı, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak elde etmiştir. Sonuç olarak hız ile yükseklik arasındaki boyutsuz ilişkiyi de etmiş ve sonuçları karşılaştırmıştır.



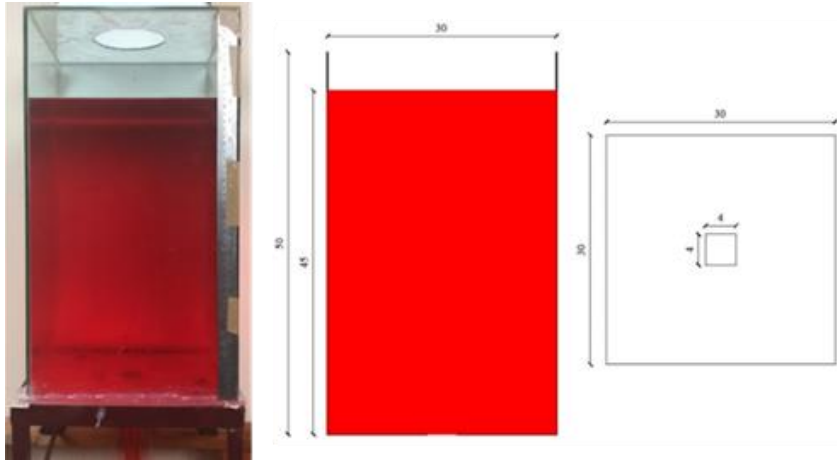
Belinskiy ve White (2019); yaptıkları çalışmada Torricelli yasasından faydalanarak içi dolu bir tanktan akışkanın küçük bir orifis ile boşalması problemini teorik olarak ele almışlardır. Başlangıç su seviyesinin, sıvının orifisteki çıkış hızına etkisini araştırmışlardır. Kısa, geniş bir tankta büyük bir boşalma süresinin ve uzun, dar bir tanktan küçük bir boşalma süresinin elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Alajmi, Ali, Alkudhari, Alqaffas, Carrasco, Payan, Pasamba, Zirakian ve Boyajian (2019); yaptıkları çalışmada farklı geometrideki orifislerin debi katsayıları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Orifisin bulunduğu incelenen hazne ve toplama haznesi olarak iki hazne kullanmışlardır. Haznelerin arasında, kesintisiz su akışını sağlamak için belirli bir yükseklik bırakmışlardır. Üç boyutlu yazıcı ile basılan üç farklı geometrideki orifislerin debi katsayılarını belirlemişlerdir. Teorik çalışma ve deneysel çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Drenaj süresinin orifisin geometrisine bağlı olduğunu göstermişlerdir.

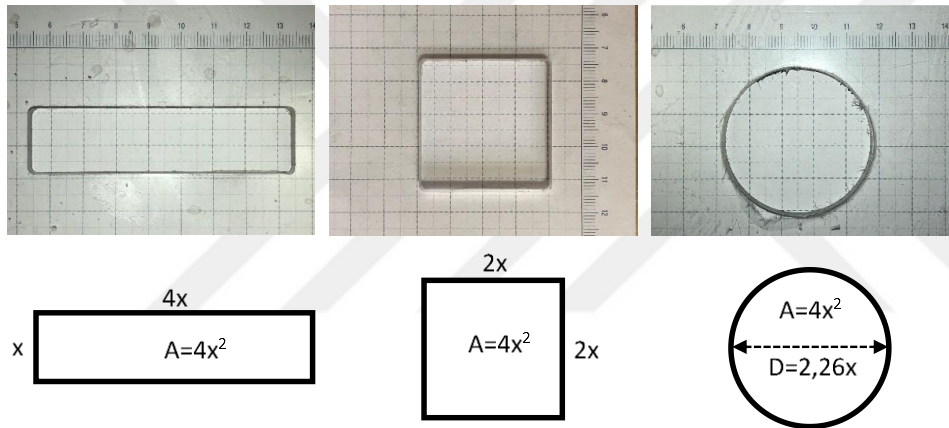
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deney Düzenegi

Yaptığımız çalışmalar İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyde içten içe genişliği 30 cm olan cam malzemedan yapılmış kare prizma şeklinde bir su tankı kullanılmıştır. Üzeri atmosfere açık bırakılan bu tankın yüksekliği 50 cm olarak alınmıştır (Şekil 3.1). Tankın altında tahliye edilen suyun biriktirildiği ayrıca bir tank bulunmaktadır. Üsteki tank, altına koyulan metal ayaklı bir çerçeve yardımıyla alttaki haznenin üzerine yerleştirilmiştir. Tank ön yüzeyine uzunlukların kontrol edilebilmesi amacıyla çelik metre yapıştırılmıştır. Çalışmada, aynı alan ve farklı geometriye sahip orifis delikleri bulunan, pleksiglas malzemesinden yapılmış plakalar kullanılmıştır. Plakaların et kalınlıkları 0,5 cm olarak alınmıştır (Şekil 3.2). Orifis delikleri plakaların tam merkezinde bulunmaktadır. İmalatı yapılan orifislerin çap, uzunluk ve alanları ayrıca görüntü işleme yöntemiyle kontrol edilmiştir. Tankla plakaların birleşiminde soğuk ve sıcak silikondan faydalanılmıştır. Arayüze önce soğuk silikonun uygulanıp, birleşim yerlerinin etrafından sıcak silikonla geçilmiştir. Sıcak silikon işleminde silikon tabancası kullanılmıştır. Bu tabanca elektrik enerjisiyle içindeki silikonun erimesi mantığıyla kullanılmaktadır. Isı yardımıyla eriyen ve hızlı kuruyan silikon yardımıyla çalışmada kısmen de olsa deneylerin arka arkaya yapılmasında zaman kazanılmıştır. Silikonlama işlemi yapılırken hiç boşluk kalmamasına ve silikonun tank içerisinde pürüzlü yüzey oluşturmamasına özen gösterilmiştir. Farklı orifisler için deneyi tekrarlamak istendiğinde maket bıçağıyla tank ve orifisin bulunduğu tabandaki plaka arasındaki silikon kesilmiş ve sonrasında diğer orifislerin bulunduğu plakalar sırasıyla yapıştırılarak aynı koşullarda farklı orifis geometrileri için deneyler tekrarlanmıştır. Ölçüm tekniği olarak görüntü işleme yöntemi kullanıldığından kamera ile çekimlerde yansımaları azaltmak ve arka plandaki görüntü kirliliğini engellemek için tankın arka kısmında beyaz bir fon kullanılmıştır. Ayrıca su seviyesi değişiminin belirgin bir şekilde izlenebilmesi için tank içindeki suya kırmızı renkli gıda boyası katılmıştır. Gıda boyası çok az miktarda kullanıldığından suyun özgül ağırlığı, viskozitesi gibi özelliklerini etkilememektedir (Duman, Yılmaz, Dal, Güzel ve Kocaman, 2018).



Şekil 3.1. Deney düzeneği görüntüsü ve tank boyutları



Şekil 3.2. Aynı alan sahip dikdörtgen, daire ve kare orifisler

### 3.2. Ölçüm Tekniği

Deneyde orifislerin çap, kenar uzunlukları ve alanlarının tespitinde ayrıca deney sonuçlarının elde edilmesinde görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, deneyler video kamera yardımıyla kayıt altına alınmış, sonrasında kaydedilen görüntüler üzerinden su seviyelerinin zamanla değişimleri uygun görüntü işleme teknikleri yardımıyla belirlenerek deneysel veriler elde edilmiştir.

#### 3.2.1. Görüntü işleme

Kamera, video gibi makinalardan elde edilmiş olan görüntülerin, bilgisayar ortamında uygun yazılımlar yardımıyla analiz edilmesine görüntü işleme adı verilir. Görüntü işleme

sistemi, nesnelere optik ve geometrik özelliklerinin bilgisayar ortamında incelenmesine olanak vermektedir. Bu teknik ile görüntü üzerinde incelenmek istenen cisim için konum, uzunluk, açı, alan gibi büyüklükler kolaylıkla belirlenebilir. (Kocaman, 2007)

### **3.2.2. Kamera ve ortam aydınlatılması**

Bu çalışmadaki video görüntüler iPhone 8 Plus marka akıllı telefon kamerası kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen 720p (1280x720 piksel) çözünürlüğe sahip video görüntüler saniyede 30 fps olarak kaydedilmiştir. Bir video çekimindeki kameranın bir saniyede ürettiği görüntü karesi sayısı fps (frame per second) olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir ifade ile video görüntüler arka arkaya kaydedilen görüntülerden oluşmaktadır. Yüksek hızda hareket eden cisimlerin analizi için kullanılacak kameralarda detayların kaçırılmaması istendiğinde fps değerinin yüksek olması yani yüksek hızlı kameraların kullanılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada, tanktan suyun boşalması sırasında meydana gelen su seviyesi değişimi çok hızlı olmadığından bir saniye de 30 adet görüntü kaydı yeterli görülmüştür

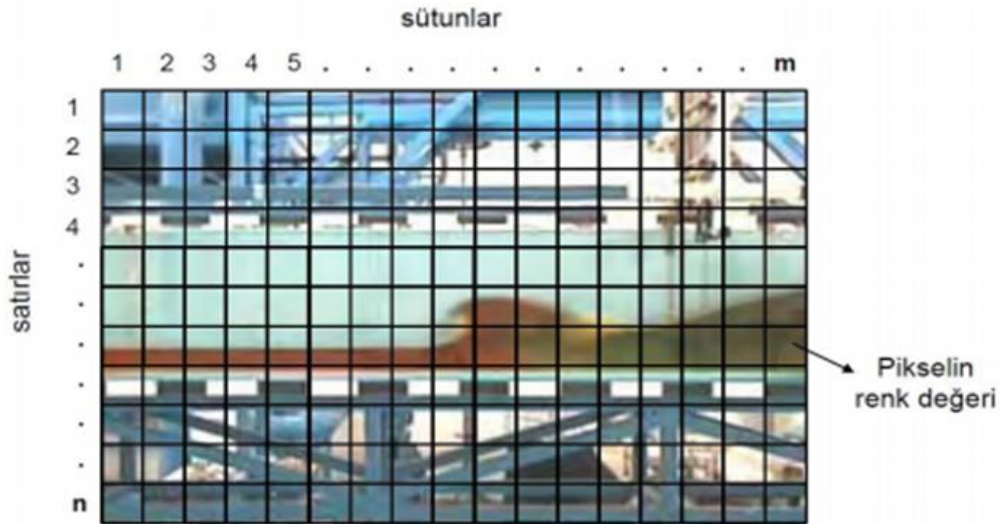
Deney görüntülerinin kaliteli bir biçimde kaydedilebilmesi ve görüntü işleme tekniklerinin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için ortam aydınlatmasının oldukça iyi olması gerekmektedir. İyi ışık iyi görüntü elde edilmesinin ön koşuludur. Deneylerden aynı kalitede görüntülerin alınabilmesi için kontrol edilebilir aydınlatma koşullarında deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle deneyler karanlık bir ortamda yapılmış ve bu amaçla sürekli ışık kaynağı üretebilen ve her biri dört adet led ampül içeren iki adet softboxtan yararlanılmıştır.

### **3.2.3. Görüntü işleme analizi**

Görüntünün elde edilmesini sağlayan en küçük birime piksel denir. Piksel, Türkçede “gözet” olarak adlandırılır. Görüntüler yatayda ve düşeyde birçok pikselden oluşmaktadır. Görüntünün temsili olarak gösterimi Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Görüntü bilgisayar ortamında analiz edilirken n satırlı ve m sütunlu bir matris olarak ele alınmaktadır. Burada n ve m değerlerinin çarpımı diğer bir ifade ile birbirine dik iki doğrultuda kaç adet pikselden oluştuğu görüntünün çözünürlüğü olarak adlandırılmaktadır. Piksel birimlerinin, pikselin matris içindeki koordinatı ve pikselin ışık hassasiyeti değerleri olmak üzere iki

ayrı sayısal özelliği söz konusudur. Görüntü matematiksel olarak  $f(x,y)$  fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Buradaki  $x$  ve  $y$  değişkenleri pikselin koordinatlarını vermektedir. Burada  $x$  koordinatı ekranın yatay yönü,  $y$  koordinatı ise ekranın düşey yönüdür. Örneğin  $1280 \times 720$  piksel yatayda 1280, düşeyde 720 karenin var olduğunu göstermektedir.  $F(x,y)$  fonksiyonun değeri; görüntüdeki  $(x,y)$  noktasının bir renk numarasıyla temsil edildiği ışık hassasiyeti değerini göstermektedir. Ekranın sol üst köşesindeki pikselin koordinatları  $(0,0)$ 'dır. Görüntü üzerindeki herhangi bir cismin konumu bu noktaya göre belirlenebilmektedir (Kocaman, 2007). Çalışmada "Image Pro Plus" ve "Imagej" yazılımları kullanılmıştır. Görüntü işleme analizi çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Dal (2018) baraj yıkılması konusunda görüntü işleme tekniklerini kullanarak su seviyelerini ölçmüştür. Ayrıca Balcı, Altun ve Taşdemir (2016) yaptıkları çalışmalarında, kullandıkları gıda maddesinin boyutlarının tespitinde yine görüntü işleme yönteminden faydalanmışlardır.

Pikselin diğer bir özelliği ise ışık hassasiyeti, diğer bir deyişle gri renk seviyesidir. Gri renk değerleri 0'dan başlayıp 255'te son bulmaktadır. Buradaki 0 değeri siyahı, 255 değeri beyazı göstermektedir. Aradaki değerler ise grinin farklı tonlarıdır. Yani buradan, herhangi bir görüntünün 256 gri tonundan meydana geldiği anlamı çıkarılabilir (Dal, 2018).



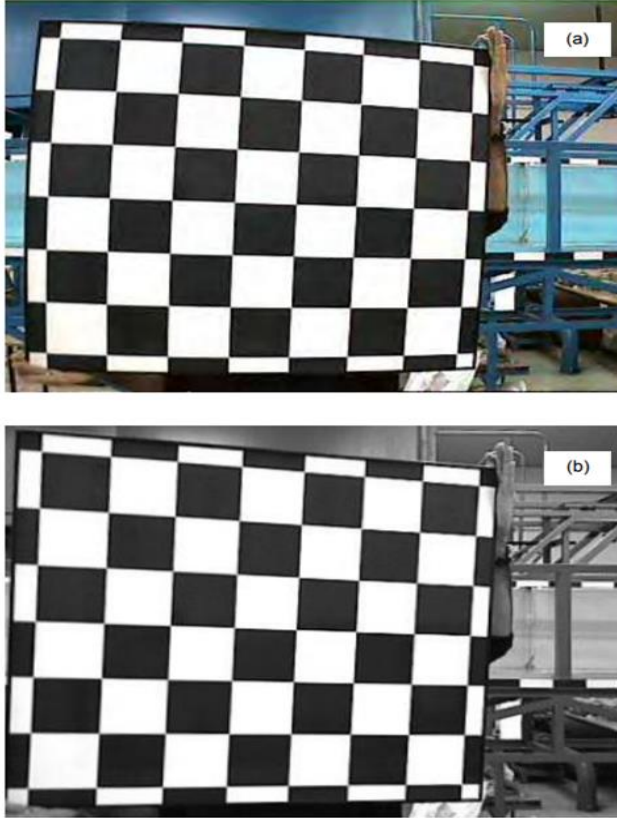
Şekil 3.3. Bir görüntüde bulunan piksellerin temsili gösterimi (Kocaman, 2007)

Görüntüde renklendirme, bölümlenme (segmentation) işlemiyle gerçekleştirilmektedir. Gerektiği takdirde renklerin netleştirilmesi de mümkün olmaktadır. Ayrıca görüntüdeki objelerin birbirinden ayrılması da bölümlenme işlemiyle mümkündür (Kocaman, 2007).

Kırmızı, yeşil ve mavi olarak filtrelenmiş görüntüler çakıştırılarak renkli görüntüler elde edilmektedir. Bu üç rengin denk geldiği farklı dalga boylarında oluşturulan gri seviyeli görüntü monitörde farklı sıralamalarla üstü üste getirilerek gösterildiğinde renkli bir görüntü oluşmuş olur (Dal, 2018).

### 3.2.4. Kalibrasyonlar

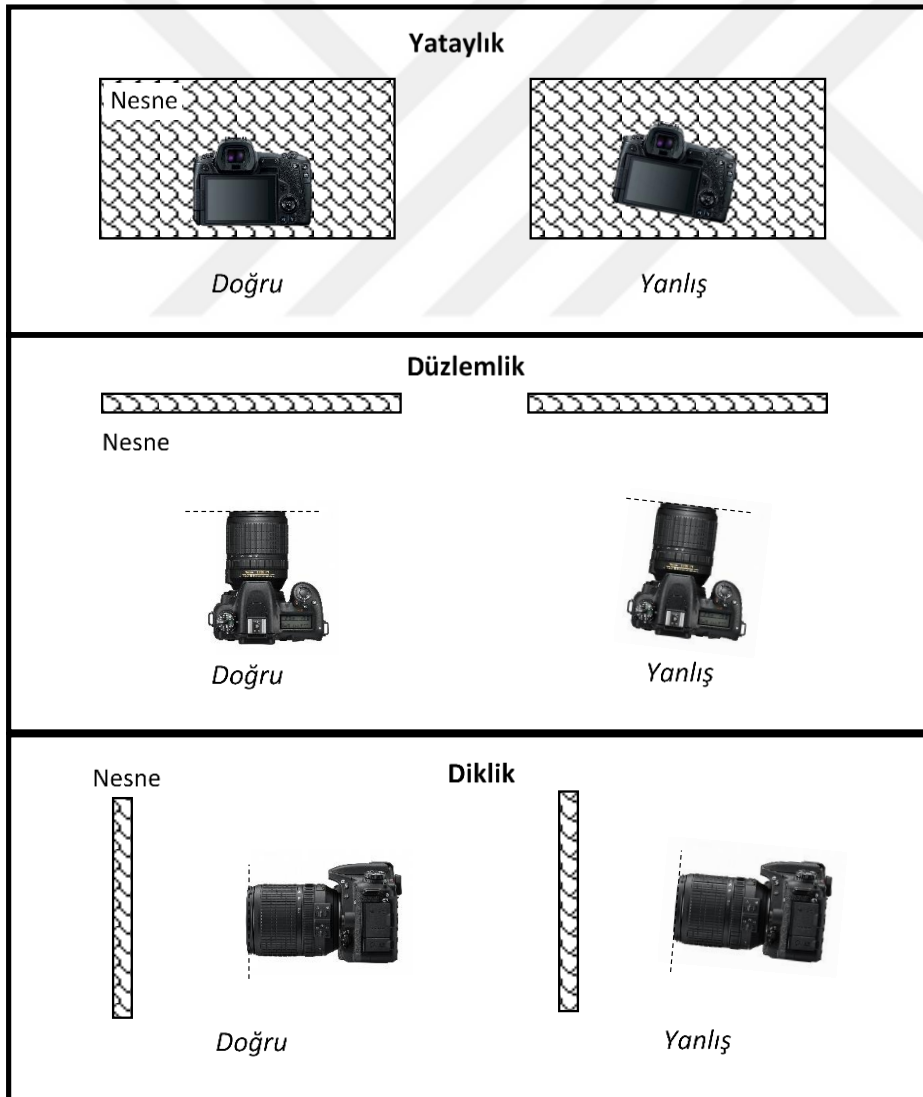
Video kameralar aracılığıyla elde edilen görüntülerin analizi sırasında, görüntüler üzerinde sağlıklı ölçümlerin yapılabilmesi için kameralardan ya da kullanıcıların çekim hatalarından kaynaklanan bir takım hataların farkına varılması ve bunların giderilmesi gerekmektedir. Tüm bu hata giderme ve görüntünün analize uygun hale getirme işlemlerine görüntünün kalibrasyonu adı verilmektedir. Bu hatalara bazı tekniklerle çekim öncesinde kameranın görüntü düzlemine göre pozisyonu gibi çekim koşullarına dikkat edilerek veya çekim sonrasında bilgisayar ortamında yine görüntü işleme teknikleri kullanılarak düzeltilebilmektedir. Elde edilen görüntülerin görüntü işlemede kullanılması için öncelikli olarak bu sistematik hataların mutlaka düzeltilmesi gerekir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Görüntünün açısal kalibrasyonu a) orijinal hal b) kalibre edilmiş hal (Kocaman,2007)

Şekil 3.4'te görülen ve açıl kalibrasyon adı verilen bu kalibrasyon ile görüntüde merceklerden kaynaklanan bombe etkileri uygun yazılımlar kullanılarak bilgisayar ortamında düzeltilebilmektedir (Kocaman, 2007). Bu çalışmada kullanılan akıllı telefon kamerası görüntüleri bilgisayar ortamında incelenmiş ve kameranın ürettiği görüntülerde açıl deformasyon hataları olmadığından bu kalibrasyona ihtiyaç duyulmamıştır.

Yapılan çalışmada, gerek çekim öncesinde kullanıcının kamera düzleminin uygun koşullarda olması için dikkat edilmesi gereken, gerekse çekim sonrasında bilgisayar ortamında görüntüler üzerinde yapılan kalibrasyonlar; perspektif kalibrasyon, yatay kalibrasyon ve metrik kalibrasyondur.



Şekil 3.5. Kamera pozisyonundan kaynaklanan çekim hataları

### 3.2.4.1. Yatay kalibrasyon

Yatay kalibrasyon; kamera ve çekilecek objenin birbirine konumlanmasıyla ilgilidir. Şekil 3.6'da yataylık olarak adlandırılan durumdur. Çekimi yapılacak nesnenin ve kameranın yatay düzlemde olması ve düzlemler arasında sapma olmaması sağlanmalıdır. Aksi halde gerçekte aynı düzlemde olması gereken noktaların konumları, görüntü üzerinde eğimli elde edilen görüntü nedeniyle farklı konumlarda olacaktır. Bu noktalara göre hesaplanan konum ve uzunluklarda doğru olarak belirlenemeyecektir. Bunun için Şekil 3.6'da örneği verilen bir görüntüdeki gibi çekilen objenin grid noktaları ile kullanılan kameradaki gridlerin tam çakışmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca çalışmamızda yatay kalibrasyonu bozacak bir unsur olmaması adına tripod kullanılmıştır. Tripod üzerindeki su terazisi sayesinde kamerada uygun denge sağlanmasına özen gösterilmiştir. Tankın üzerindeki su terazisi ile de tankın yatayda olmasına da dikkat edilmiştir. Bunların yanında, çekim öncesinde akıllı telefonlarda bulunan bir su terazisi uygulaması ile kameraların yatay ve zemine dik bir düzlemde olmaları sağlanmıştır. Ayrıca çekim sonrasında bilgisayar ortamında yazılım üzerinde oluşturulan gridler yardımıyla kaydedilen görüntülerin yatay pozisyonda olup olmadıkları ve kameranın çekim düzleminde herhangi bir sapma olup olmadığı da kontrol edilmiştir.



Şekil 3.6. Görüntünün yataydaki dengesinin sağlanması (Kocaman, 2007)

### 3.2.4.2. Perspektif kalibrasyon

Kamera ile çekimi yapılan tank arasındaki mesafenin her yerde aynı olmasıyla ilgili bir kalibrasyondur. Diğer bir ifade ile görüntüsü alınan tank düzlemi ile kamera düzleminin



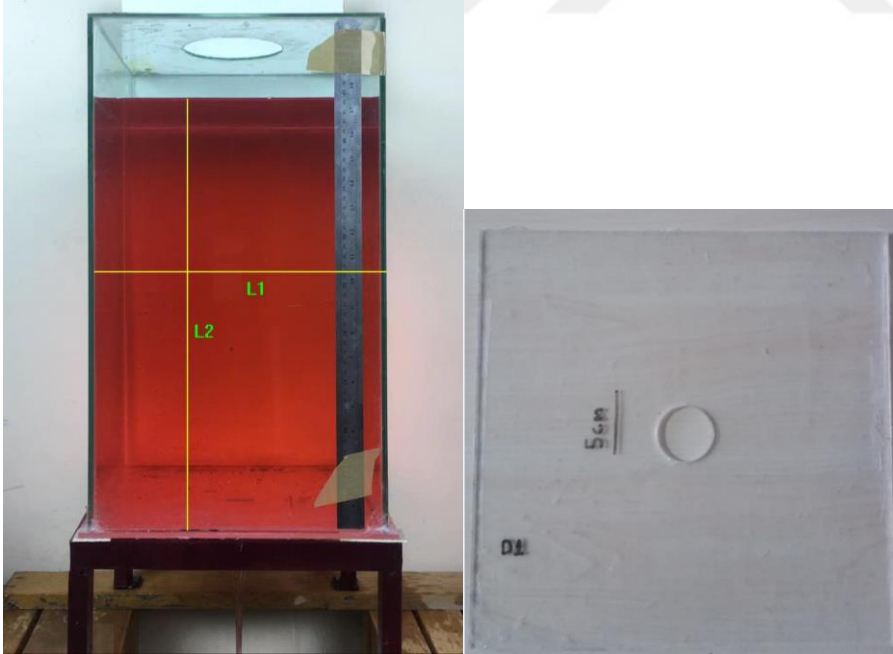
her açıdan birbirine paralel olması gerekmektedir ve kameranın düzleminin zemine dik olması gerekmektedir. Bu durum görüntüde derinlik etkisi olduğundan perpektif kalibrasyon olarak adlandırılmıştır. Şekil.3.5'te görülen düzlemlik ve diklik olarak isimlendirilen durumlarda ortaya çıkmaktadır. Aksi halde kamera çekimi yapılan düzleme açılı bir şekilde konumlandırıldığında perspektif bir görüntü elde edilecektir. Bunun sonucu olarak konum olarak kameraya yakın noktalar büyük uzak noktalar küçük görünecektir (Şekil.3.7). Bu durum video kaydı yapıldıktan sonra bilgisayar ortamında görüntü işleme teknikleri kullanılarak düzeltilebilmektedir (Şekil 3.7b). Ancak çekim öncesinde yukarıda bahsedilen kameranın uygun pozisyonlarda ayarlanması konularında gerekli hassasiyetin gösterilmesi ile sonrasında ölçümler sırasında ve kalibrasyon sırasında yaşanabilecek bir çok sorunun önüne geçmek mümkün olacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek için çekim esnasında akıllı telefon kameralarında bulunan matris çizgileri ile görüntüsü alınan tankın köşe noktaları ve kenar çizgileri eşleştirilerek ayarlanmış ve tankın görüntüsünün dikdörtgen olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca kameranın dikliği akıllı telefon içerisinde bulunan su terazisi uygulaması ile hassas bir şekilde sağlanmış ve sonrasında bilgisayar ortamında bu kalibrasyonun yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.



Şekil 3.7. Perpektif kalibrasyon a) ham görüntü b) kalibrasyonlu görüntü (Kocaman, 2007)

### 3.2.4.3. Metrik kalibrasyon

Daha önce de belirtildiği gibi görüntüler piksellerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Objelerin ölçülerinin belirlenebilmesi için piksel değerlerin metrik değerlere dönüşümü gerekmektedir. Bu olaya metrik kalibrasyon adı verilir. Bunun için görüntüde bir referans uzunluğu olması gerekmektedir. Bu sayede görüntüdeki objenin çap ve uzunluk gibi değerleri bulunabilmektedir. Uzunluk/Piksel oranını bulabilmek için bu referans uzunluğunun kaç piksel olduğu görüntü işleme programından okunur. Örnek vermek gerekirse görüntüdeki 5 cm'lik bir referans çizgisi 10 piksel kabul edilirse piksel/uzunluk oranı  $5/10=0,5$  cm/piksel'dir. Bu oran sayesinde piksel koordinatları metrik koordinatlara çevrilmektedir. Uzunluğun ölçülmesi amaçlandığında ölçülmek istenilen mesafede bulunan piksel sayısı bu oran ile çarpılır (Kocaman, 2007). Yapılan çalışmada orifis alanları belirlenirken orifis genişlikleri ve çapları referans uzunluk olarak alınmıştır. Su seviyesi değişimleri belirlenirken ise 30 cm olan tank genişliği ve 45 cm olan su yükseklikleri metrik dönüşümlerde referans uzunlukları olarak kullanılmıştır. Ayrıca tank üzerine yerleştirilen çelik metre ile de elde edilen uzunlukların kontrolleri yapılmıştır.

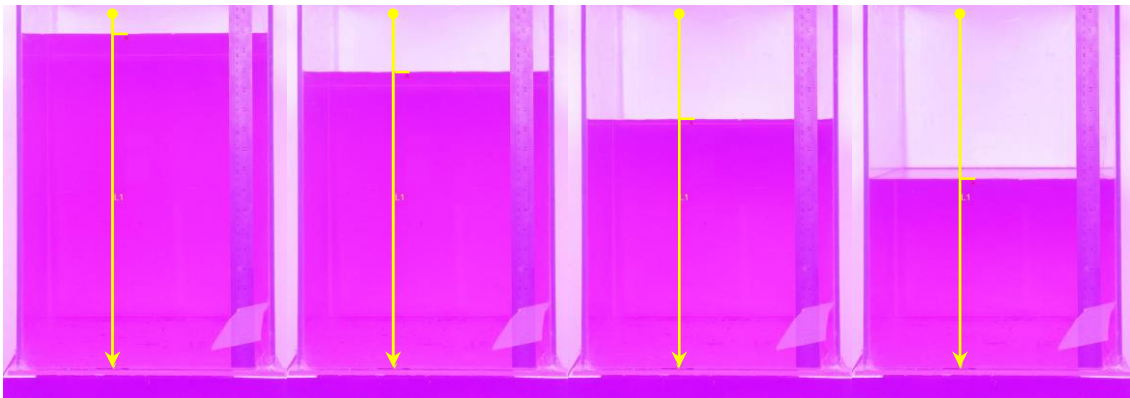


Şekil 3.8. Metrik kalibrasyon için çizilen referans çizgisi

### 3.2.5. Su seviyesi değişimlerinin sanal derinlik ölçer ile belirlenmesi

Yapılan çalışmada orifisten suyun boşalması sırasında tanktaki su seviyesinin azalması görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla Kocaman (2007), tarafından geliştirilen ve “sanal derinlik ölçer” olarak tanımlanan bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem bir çok araştırmacı tarafından kullanılmış ve baraj yıkılması, çalkantı gibi ani su seviyesi değişimlerinin olduğu problemlerde bile su derinliklerinin ölçümünde doğru ve hassas sonuçlar alınabildiği ultrasonik sensör sonuçları ile karşılaştırılarak gösterilmiştir. (Kocaman ve Ozmen-Cagatay, 2015; Dal, 2018; Erdoğan 2018; Yılmaz 2019)

Bu yöntemde su seviyeleri görüntü işleme tekniklerinden kenar tanıma fonksiyonu kullanılarak yapılmaktadır. Serbest su yüzeyinin diğer bir ifade ile su hava arakesitinin bir kenar olarak tanımlanabilmesi için su içerisine gıda boyası katılarak renklendirilmektedir. Su hava arakesitindeki keskin renk farklılığından kaynaklanan bu zıtlıktan yararlanılarak serbest su yüzeyinin yazılım tarafından bir kenar olarak algılanması sağlanmaktadır. Sanal derinlik ile ölçüm yapılmak istendiğinde, ilk olarak görüntü üzerinde koordinat girilerek Şekil 3.9’da görüldüğü gibi bir nevi cetveli temsil eden bir vektör görsel olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm yeri belirlenen yerdeki bu vektör üzerinde ani renk değişiminin olduğu nokta kolaylıkla kenar olarak tanımlanabilmekte ve görüntüden bu noktanın piksel olarak konum değerleri alınabilmektedir. Metrik kalibrasyon ile piksel/uzunluk değeri bilindiğinden bu konum değerleri uzunluk değerlerine dönüştürülmektedir. Video kaydı alınan deney görüntülerinin arka arkaya oynatılması ve bu işlemlerin ardışık olarak tekrar edilmesiyle zamana bağlı su değişimleri sanal derinlik ölçer ile hassas bir biçimde elde edilmektedir. (Kocaman, Özmen Çağatay, 2015)



Şekil 3.9. Sanal derinlik ölçer ile su seviyesi değişimlerinin ölçülmesi

Bu yöntem, diğer su seviyesi ya da derinlik ölçüm yöntemleri ile kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir. Bunların başında akımı rahatsız etmeden ölçüm alınabilmesi, video görüntü kayıtları üzerinden deney sonrası istenilen her noktada deney tekrarlanmasına gerek kalmaksızın su derinliklerinin kolaylıkla belirlenebilmesi ve sayısız veri elde edilebilmesi gibi özellikler sayılabilir. Ayrıca günümüzde akıllı telefon kameralarının kolaylıkla ulaşılabilir olması nedeniyle ucuz ve pratik bir yöntem olarak hidrolik problemlerin özellikle laboratuvar ortamında analizlerinde etkili bir yöntem olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

### 3.3. Sayısal Yöntem

Çalışmamızda sayısal uygulamalar FLOW-3D yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program özellikle açık kanallı akımlarda kullanılmakla birlikte; momentum, süreklilik ve enerji temel kanunlarına dayandığından akışkanlar mekaniği problemleri çözümünde oldukça kullanışlıdır.

Program süreklilik ve hareket (RANS: Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemlerinden oluşan üç boyutlu diferansiyel denklemleri sonlu hacimler yöntemiyle çözmektedir. Çözümler dikdörtgen meshlerden oluşan sistem üzerinde yapılmaktadır. Yoğunluk, basınç ve hız vektörleri kontrol hacmi yardımı ile hesaplanabilmektedir.

Her kontrol hacmini bir hücre olarak düşündüğümüzde bu hücrelere katı ve sıvı özelliği atanması ile laboratuvardaki deney düzeneği programa aktarılmaktadır. Hücrenin engellerle kapatılmasıyla oluşan katı maddenin; kontrol hacminin ne kadarını kapladığı ve kontrol hacminde ne kadar alan kapattığı hesaplanır ve birbirine oranlanır. Hücre tamamiyle katı dolu ise bu değer 1, tamamiyle boş ise 0 değerini almaktadır. Hücrenin kısmi dolu olması halinde bu değer hacim oranına bağlı olarak sıfır ile 1 arası değer almaktadır. Bu yöntem Fractional Area/Volume Obstacle Representation (FAVOR) metodu denilmektedir. Meshler sıklaştırıldığı takdirde bu değerler daha sağlıklı tespit edilebilmektedir.

Programda akışkan hacmi metodu (Volume of Fluid – VOF) ile serbest yüzeyler tespit edilmektedir. Bu yöntemle, doluluk oranı ile çözüme ulaşılmasından dolayı FAVOR

Yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Bu metotta serbest yüzeyler tespit edilir. Tespit edilen arakesite sıfır kayma gerilmesi ve sabit sınır şartları uygulanır. F akışkanla aynı yönde bir hacim fonksiyonu olmak üzere;

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

Problem; kontrol hacminin hepsi sıvı, hepsi katı, bir miktarı sıvı kalanı katı, bir miktarı sıvı kalanı boş ve hepsi boş durumlarının nümerik çözümleri için programın farklı şartları vardır. Bunlar outflow, basınç, hız, duvar, bağlayıcı, periyodik gibi çeşitli koşullardır. Ayrıca yazılımda iki denklemlilik k- $\epsilon$ , Renormalized Group (RNG) ve Large-Eddy Simulation (LES), k- $\omega$  gibi çeşitli türbülans modelleri bulunmaktadır.

Yazılımın kullandığı 3 boyutlu süreklilik ve hareket denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_j} + g_i + f_i \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte P basınç,  $u_i$  i doğrultusundaki akım hızı,  $A_i$  i doğrultusundaki her hücredeki akışkan alanı,  $V_F$  her hücrenin hacmi,  $g_i$  kütlelesel kuvvet,  $F_i$  herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini göstermektedir.

$$f_i = \frac{1}{\rho V_F} \left[ w s_i - \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \tau_{ij}) \right] \quad (3.4)$$

Burada  $\tau_{ij}$ ; gerilme hızı tansörünü,  $w s_i$ ; duvar kayma gerilmesini ifade etmektedir.

Duvar kayma gerilmeleri aşağıdaki gibidir.

$$\tau_{ij} = -2\mu_T \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (3.5)$$

$$\tau_{ij} = -\mu_T \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (3.6)$$

$\mu_T$ ;  $T$ ; çalkantı gerilmelerinin de hesaba katıldığı toplam dinamik viskozitedir.

FLOW-3D programı pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler için kayma hızını ( $u_*$ ) aşağıdaki fonksiyon kullanarak hesaplamaktadır.

$$u_0 = u_* \left[ \frac{1}{K} \ln \frac{\rho u_* y_0}{\mu + \rho a u_* k_s} + 5 \right] \quad (3.7)$$

Eşitlikte  $k_s$  pürüzlülük,  $\kappa$  Von Karman sabiti,  $y_0$  teğetsel hızın engele mesafesi,  $a$  k- $\epsilon$  modelinde 0,247'ye eşit olan ve türbülans modeline göre değişen bir katsayıdır.

Kontrol hacmin laminer alt tabaka olması durumunda ise;

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu u_0}{\rho y_0}} \quad (3.8)$$

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

$$w_{S_i} = \sum_j \frac{2\rho u_* u_{*j}}{\Delta x_j} \quad (3.9)$$

Elde edilen bu duvar kayma gerilmesi momentum denkleminin çözümüne katılmaktadır.

### 3.3.1. k- $\epsilon$ türbülans modeli

Çalışmamızda FLOW-3D programıyla yapılan nümerik analiz kısımlarında yapılan araştırmalar sonucu serbest yüzeyli problemlerin çözümünde iyi sonuçlar verebilen bir metot olan k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Bunun sebebi; araştırmalar doğrultusunda

en doğru çözüm veren metot olarak gösterilmesi ve yaygın olarak kullanılmasıdır. (Kocaman ve Özmen Çağatay, 2015)

Bu modelde Reynolds gerilmesini verecek türbülans viskozitesi aşağıdaki gibidir;

$$\mu_t = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (3.10)$$

Denklemden  $k$  kinetik enerji,  $\varepsilon$  ise sönmülme oranı olarak ifade edilmektedir. Bu terimler için kapatma eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon_2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (3.12)$$

Kapatma katsayıları ve diğer değişkenler şu şekildedir;  $C_{\varepsilon_1}= 1,44$ ;  $C_{\varepsilon_2}= 1,92$ ;  $C_\mu= 0,09$  ve  $\sigma_k=1,0$

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_\mu k}, l = \frac{C_\mu k^{\frac{3}{2}}}{\varepsilon} \quad (3.13)$$

$$\tau_{ij} = 2\nu_t e_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3.14)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.15)$$

Burada  $\tau_{ij}$  Reynolds gerilme tansörü,  $e_{ij}$  ortalama gerilme oranı tansörüdür.

Aşağıdaki eşitlikte bulunan  $k$  ve  $\varepsilon$  ifadeleri ile ilgili olan sınır şartları Eş. 3.15 ve Eş. 3.16'da verilen fonksiyonlar yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}}, \varepsilon = \frac{u_*^3}{k y_0} \quad (3.16)$$

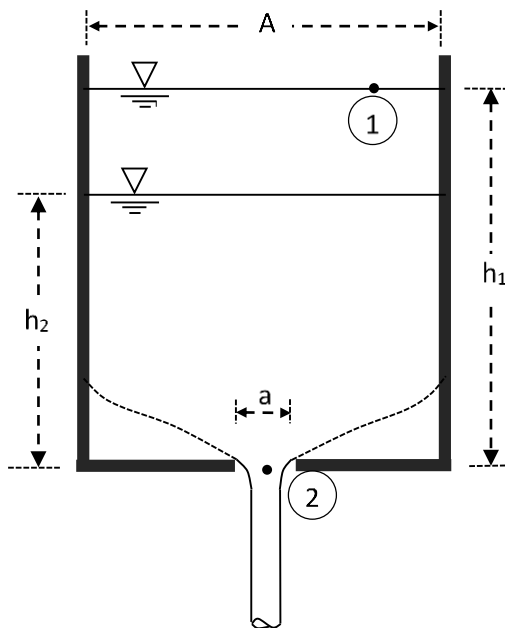
### 3.3.2. Ağ yapısı ve sınır şartları

Yazılımda deney modellenirken 0.005 m boyutlu kare şekilli uniform ağ yapısı kullanılmıştır. Çözüm ağını temsil eden elemanların sayısını azaltıp çözüm süresinden tasarruf sağlamak amacı ile model iki doğrultuda simetri eksenini kullanarak  $\frac{1}{4}$  oranında modellenmiştir. Orifisten çıkan suyun hareketini de takip etmek amacıyla orifis kesitinin altında ve tankın üst tarafında 5 cm lik kısımlar bırakılmıştır. Orifis geometrilerinin doğru olarak tanımlanabilmesi için orifis civarında ağ aralıkları 0.0025 m olarak şekilde sıklaştırılmıştır. Böylelikle çıkış kesitindeki hız ve türbülans değerlerinin hassas bir şekilde temsil edilmesi de amaçlanmıştır.

Yazılımda deney düzeneğinin cidar kısımları için sınır şartı olarak duvar (wall) ve kaymama (no-slip) tanımlanmıştır. Deney düzeneğinin altı serbest düşümü yansıtmaya adına çıkış kesiti (outlet) olarak, üst kısmı serbest yüzeyli akışkan olduğundan basınç olarak tanımlanmıştır. İki yüzeyde simetri eksenini tanımlanmıştır. Türbülans modeli olarak k- $\epsilon$  türbülans modeli seçilmiştir.

### 3.4. Tankın Boşalma Süresinin Elde Edilmesi (Analitik Çözüm)

Tankın boşalma süresinin analitik olarak belirlenebilmesi için süreklilik ve Bernoulli denklemlerinden yararlanılır.



Şekil 3.10. Tankın boşalma süresinin şematik olarak gösterimi



Tanktan boşalan suyun diğer bir ifade ile orifisten çıkan akımın debi değerini elde etmek için Şekil 3.10'da 1 ve 2 noktaları arasında Bernoulli denklemi uygulanırsa aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (3.17)$$

Burada  $z$  herhangi bir referans noktasına göre yüksekliği,  $\gamma$  özgül ağırlığı,  $P$  rölatif basıncı,  $V$  hızı ve  $g$  de yerçekimi ivmesini göstermektedir. Burada 1 noktasındaki su seviyesindeki hız değişiminin çok küçük olduğu kabulü yapılmaktadır. Bu nedenle  $V_1$  hızı ihmal edilmektedir. Rölatif basınçlar dikkate alındığından  $P_1$  ve  $P_2$  basınçları da birbirini götürecektir.

$$\frac{V_1^2}{2g} = 0 \text{ ve } \frac{P_1}{\gamma} = 0 \text{ ve } \frac{P_2}{\gamma} = 0 \quad (3.18)$$

Bu değerler Eş. 3.17'de yerine konulursa bu durumda eşitlik aşağıdaki hali alır.

$$\frac{V_2^2}{2g} = z_1 - z_2 = h \quad (3.19)$$

Burada  $V_2$  hızı yalnız bırakılırsa ideal akışkan için hız değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (3.20)$$

$C$  birden küçük bir katsayı olmak üzere gerçek akışkan için hız değeri;

$$V_2 = C\sqrt{2gh}$$

olacaktır. Debi hız ve alanın çarpımı ( $Q=VA$ ) ile bulunacağından tanktan boşalan suyun debi değerini veren eşitlik ise aşağıdaki gibi olacaktır.

$$Q = Ca\sqrt{2gh} \quad (3.21)$$

Burada  $a$  orifis alanını  $C$  orifis için debi katsayısını  $h$  ise tanktaki su derinliğini göstermektedir.

Tankın boşalma süresinin süreklilik denklemi yardımıyla elde edilebilir. Kütlelin korunumu prensibine göre bir kontrol hacmine giren ve çıkan akımların farkı kontrol hacminde zamanla bir değişime neden olacaktır. Bu prensibi veren ifade aşağıdaki gibidir.

$$Q_g - Q_ç = \frac{dV}{dt} \quad (3.22)$$

Burada;  $Q_g$  tankta giren debi miktarını,  $Q_ç$  tanktan çıkan debi miktarını,  $V$  tanktaki su hacmini,  $t$  de zamanı göstermektedir. Buradan anlaşılacağı üzere tanka giren ve çıkan su debilerinin farkı birim zamanda tanktaki su hacmindeki değişime eşittir. Tankta herhangi bir su girişi olmadığından  $Q_g$  sıfır olacaktır.  $A$  tankın yüzey alanını göstermek üzere tankın hacmi  $dV = A \cdot dh$  şeklinde yazılabilir. Bu durumda Eş. 3.22;

$$-Q_ç = \frac{A dh}{dt} \quad (3.23)$$

halini alacaktır. Buradaki (-) tankta su seviyesindeki azalmayı göstermektedir.

Tanktan çıkan debiyi veren ifade  $Q_ç = -Ca\sqrt{2gh}$  yerine koyulursa,

$$Ca\sqrt{2gh} = \frac{A dh}{dt} \quad (3.24)$$

Eş. 3.24 eşitliği elde edilecektir. Eşitlik düzenlenerek  $dt$  yalnız bırakıldığında

$$dt = \frac{A dh}{Ca\sqrt{2gh}} \quad (3.25)$$

Eş. 3.25 eşitliği elde edilir. Şekil 3.11 de görüldüğü gibi su seviyesinin  $h_1$  den  $h_2$  seviyesine düşmesi sırasında geçen zamanın  $T$  olduğu düşünülerek bu denklemin her iki tarafının integrali alındığında eşitlik;

$$\int_0^T dt = \frac{A}{Ca\sqrt{2g}} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\sqrt{h}} \quad (3.26)$$

Eş. 3.26 halini alır. Sonuç olarak integralin çözüm aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$T = \frac{A}{ca\sqrt{2g}} \int_{h_1}^{h_2} h^{-\frac{1}{2}} dh \quad (3.27)$$

$$T = -\frac{2A\sqrt{h}}{ca\sqrt{2g}} \Big|_{h_1}^{h_2} \quad (3.28)$$

İntegral çözümünde tankın iki su seviyesi arasındaki boşalma süresini veren ifade aşağıdaki gibi olacaktır.

$$T = \frac{2A(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})}{ca\sqrt{2g}} \quad (3.29)$$

Tankın tamamen boşalması için geçen süre istenildiğinde  $h_2=0$  olacağından eşitlik aşağıdaki hali alır.

$$T = \frac{2A\sqrt{h}}{ca\sqrt{2g}} \quad (3.30)$$

Bu eşitliğin pay ve paydası  $\sqrt{h}$  ile çarpılarak eşitlik düzenlenirse tankın tamamen boşalması için geçen süreyi veren ifade aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$T = \frac{2Ah}{ca\sqrt{2gh}} \quad (3.31)$$

Bu durumda  $h$  başlangıçta tanktaki su derinliğini göstermektedir.

### 3.5. Orifis Katsayısının Grafik Yolla Elde Edilmesi

Bernoilli denklemi ve Torricelli'nin teoremi kullanıldığında bir tankın boşalma süresini veren ifade Eş. 3.31'de verildiği gibi aşağıdaki formda yeniden yazılabilir.

$$T = \frac{2AH}{ca\sqrt{2gH}} \quad (3.32)$$

Burada  $T$  tankın boşalma süresini,  $H$  tanktaki su yüksekliğini,  $A$  tankın kesit alanını,  $a$  orifisin kesit alanını,  $g$  yerçekimi ivmesini ve  $C$  de orifis katsayısını göstermektedir.  $C$  katsayısı orifis şekline göre değişmektedir ve ideal akışkan ile gerçek akışkan arasındaki enerji kayıplarını yansıtan bir düzeltme katsayı olarak düşünülebilir. Bu ifade Eş. 3.29'da görüldüğü gibi düzenlenirse tanktaki başlangıçtaki su seviyesinden farklı bir su seviyesine kadar azalması için geçen süre aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$T = \frac{2A(\sqrt{H}-\sqrt{h})}{ca\sqrt{2g}} \quad (3.33)$$

Bu durumda;  $h$  herhangi bir andaki su seviyesini,  $T$  ise başlangıçtan bu su seviyesine düşülmesi için geçen süreyi verecektir. Buradan  $C$  orifis katsayısı bulunmak istenirse eşitlik aşağıdaki şekli alacaktır.

$$C = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} \frac{(\sqrt{H}-\sqrt{h})}{T} \quad (3.34)$$

Burada  $\frac{2A}{a\sqrt{2g}}$  değeri problem için sabit olacaktır. İşlem kolaylığı olması bakımından bu sabit  $\alpha$  ile gösterilebilir.

$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} \quad (3.35)$$

Eğer  $(\sqrt{H}-\sqrt{h})$  değerlerine karşılık gelen zaman değerlerinin ( $T$ ) grafiği çizilirse, doğrusal bir grafik elde edilecektir. Bu durumda,  $C$  katsayısı bu doğrunun eğiminin bir fonksiyonu olacaktır. Diğer bir ifade ile grafiğin eğimi  $(\sqrt{H}-\sqrt{h})/T$ =eğim olarak tanımlanırsa, bu durumda orifis katsayısı çizilecek bu grafiğin eğiminden yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$C = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} \times (\text{eğim}) \quad (3.36)$$

Daha basit gösterilirse  $C$  katsayısı aşağıdaki ifade ile kolaylıkla bulunabilir.

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) \quad (3.37)$$

Tankın boşalma süresinin hassas olarak hesaplanabilmesi için orifis katsayısı  $C$ 'nin bilinmesi gereklidir. Herhangi bir zamanda gerçek akışkan için tanktaki su seviyesini veren ifade Eş. 3.34'te  $h$  değerinin yalnız bırakılmasıyla bulunabilir (Güzel, Duman, Yılmaz, Dal ve Kocaman, 2019).

$$h = \left( \sqrt{H} - t \frac{ca\sqrt{2g}}{2A} \right)^2 \quad (3.38)$$

İdeal akışkan için  $C=1$  olacağından analitik çözüm için herhangi bir anda tanktaki su derinliğini veren ifade aşağıdaki gibi olacaktır.

$$h = \left( \sqrt{H} - t \frac{a\sqrt{2g}}{2A} \right)^2 \quad (3.39)$$

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, 30 cm eninde, 30 cm boyunda ve 50 cm yüksekliğinde su tankı kullanılmıştır. Haznenin altına, üzerinde farklı alan ve geometriye sahip orifis delikleri bulunan pleksiglastan yapılmış plakalar sırasıyla yapıştırılmıştır. Başlangıçtaki su derinliği 45 cm olarak alınmıştır. Her bir orifis plakası için suyun zamanla boşalması incelenmiştir. Toplamda 5 adet orifis plakası için deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmada kolaylık olması adına bu plakalar Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi isimlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Plakaların isimleri ve geometrik özellikleri

Plaka Adı	Orifis Geometrisi	Orifis Alanı (cm <sup>2</sup> )
D1	Daire	16,05
D2	Daire	3,84
D3	Daire	0,97
K1	Kare	15,75
DD1	Dikdörtgen	15.81

Yapılan çalışmada; orifis deliklerinin tankı tam merkezlemesi, sızdırmazlık, tüm eksenlerde su terazisinin dengede olması, aydınlatmanın yeterli olması, yansıma olmamasına özellikle dikkat edilmiştir.

Yapılan deneylerde sızdırmazlığın önemi büyüktür. Bu sebepten dolayı plakalar tanka yapıştırılırken sızma olmamasına özen gösterilmiştir. Tank camdan ve orifisler pleksiglas malzemedan yapılmış olduğundan iki farklı malzemenin yapıştırılması önemli bir problem olmuştur. Yapıştırma işleminde öncelikle sıcak silikon kullanılmıştır. Sıcak silikonun öncelikli olarak tercih edilmesindeki temel sebep soğuk silikona göre daha çabuk kurumasıyla deneylerin hızlı tekrarlanabilmesi için zaman konusunda avantaj sağlamasıdır. Fakat gerçek deneyler öncesi yapılan deneme deneylerinde sıcak silikonun tek başına sızdırmazlık konusunda başarılı olmadığı gözlenmiştir. Sonrasındaki yapılan denemelerde tankın alt kısmına soğuk silikon uygulanması ve plakaya yerleştirildikten sonra etrafına sıcak silikon uygulanmasının ardından yeterli süre beklemesiyle sızdırmazlıkta kesin sonuç verdiği görülmüştür. Sıcak silikon uygulaması yapılırken iki yüzey arasında boşluk kalmamasına da özen gösterilmiştir. Böylelikle yapılan her deneyde aynı şekilde bir yapıştırma tekniği uygulanmıştır.

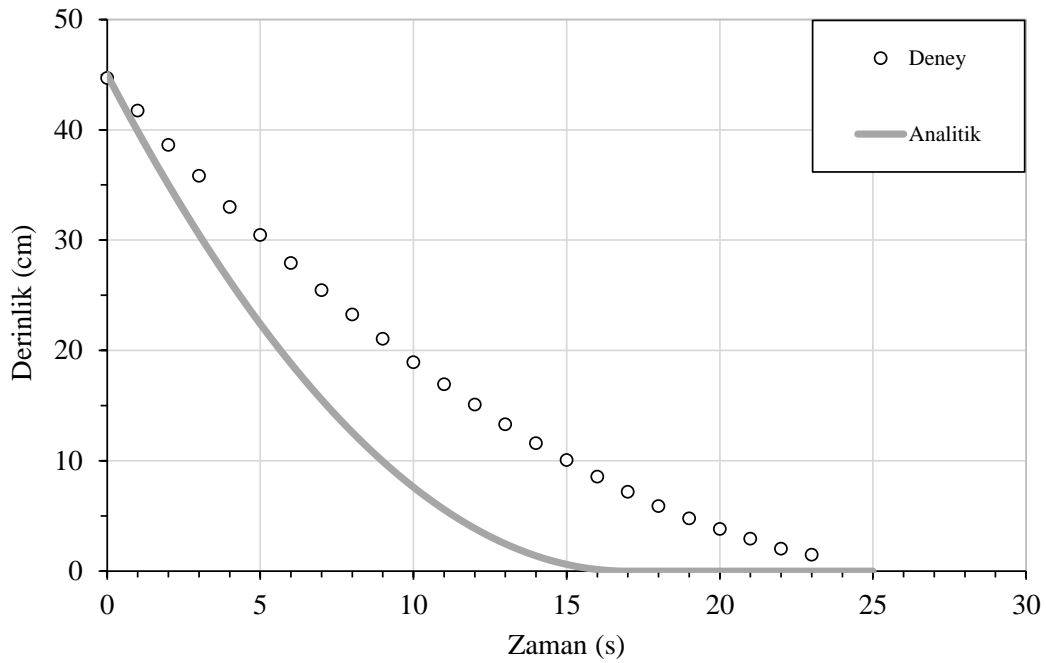
Yapıştırma işlemi sırasında; tankın, orifis plakasını tam merkezlemesine özen gösterilmiştir. Orifis açıklığı, tankın her iki boyutta da ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Doğru yerleştirildiğinden emin olunması adına plakanın kenar boşlukları cetvelle ölçülmüştür. Tank, altında hazne bulunan 4 ayaklı bir taşıyıcı üzerine yerleştirilmiştir. Çekim yapılacak yüzeye düşey doğrultuda çelik cetvel yerleştirilmiştir. Tankın arka yüzeyine sağlıklı görüntüler elde edebilmek için beyaz bir fon yerleştirilmiştir. Çekimlerden elde edilen görüntülerde yansıma olmaması ve iyi bir aydınlatma olması için deneyler karanlık ortamda gerçekleştirilerek kontrol edilebilir bir aydınlatma için iki adet softbox kullanılmıştır. Çekimler 1280x720 piksel çözünürlüğe ve saniyede 30 kare çekim hızına sahip akıllı telefon kamerası yardımıyla yapılmıştır.

Tank içerisindeki su derinliğinin zamana bağlı değişimi, orifis katsayılarının belirlenmesi, yapılan her bir deney için sayısal ve deneysel çözümlerinin karşılaştırmalı grafikleri aşağıdaki gibidir.

#### **4.1. D1, D2 ve D3 için Elde Edilen Deneysel Veriler**

Bu çalışmada öncelikle alanı  $16,05 \text{ cm}^2$  olan daire (D1) orifis plakası kullanılmıştır. Tankın orifis kesiti kapatılıp 45 cm seviyesine kadar su ile doldurulduktan sonra içerisine kırmızı gıda boyası katılmıştır. Karıştırıcıyla gıda boyasının homojen karışmasına özen gösterilmiştir. Su yüzeyi durgun bir hal aldıktan sonra orifis delikleri ani olarak açılarak deneyler başlatılmıştır. Tank tamamen boşalincaya kadar kamera kaydına devam edilmiştir.

D1 orifis plakasına ait deneysel ve analitik çözümlerden elde edilen yüksekliklerin zamanla değişimini veren grafikleri Şekil 4.1'deki gibidir. D1 deneyinin süresi yaklaşık 25 saniyedir. Su derinliği 45 cm seviyesinden başlayıp, değişim hızının her iki yöntem sonucunda düzenli parabolik bir azalış gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebi ise orifis üzerindeki basıncın; su seviyesine bağlı olmasıdır. Su seviyesi azaldıkça orifis üzerindeki basınç da azalmaktadır. Buna bağlı olarak çıkan su miktarı da azalmaktadır. Bundan dolayı birim zamandaki su seviyesi değişiminin, azalış gösterdiği görülmektedir. Analitik çözümdeki su seviyesi değişimi Eş. 3.39'dan elde edilmektedir.



Şekil 4.1. D1 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği

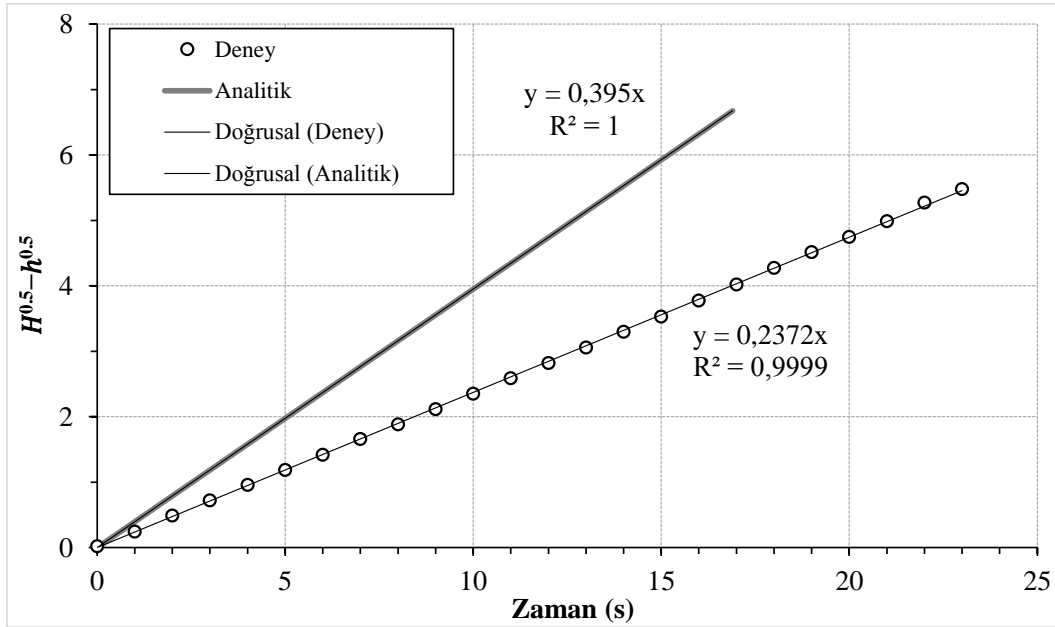
D1 orifis plakasına ait deneysel ve analitik verilerin  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği Şekil 4.2'deki gibidir. Deneysel verilerin yukarı yönde lineer gittiği ve analitik çözüme ait verilerin ise tam bir doğru olduğu görülmüştür. Excel programından bu eğrilere ait korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve eğilim çizgisi denklemleri elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı, bize denklemin doğruluğunu göstermektedir. Deneysel grafikte  $R^2=0,9999$  olduğundan doğruya çok yakın olduğunu görülmüştür. Bu eğriler elde edilirken orifis civarında girdap oluştuğundan ve son anlarda serbest yüzeyle akım meydana geldiğinden su seviyesi 2.5 cm'ye kadar olan veriler dikkate alınmıştır.

Deneysel  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiğinin eğimi 0,2372 olarak görülmektedir. Eş. 3.35'ten  $\alpha$  değeri bulunmuş ve bu değer Eş. 3.37'de yerine konulduğunda orifis katsayısına ulaşılmıştır.

$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} = \frac{2 * 900}{16,05\sqrt{2} * 981} = 2,531$$

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) = 2,531 * 0,2372 = 0,601$$

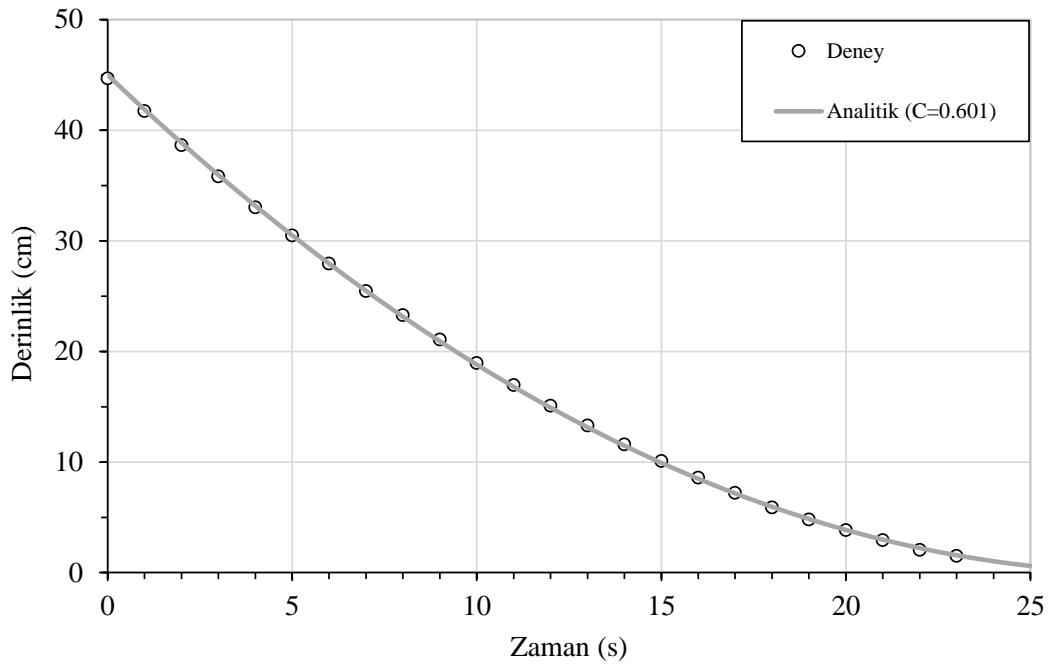




Şekil 4.2. D1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$  - zaman grafiği

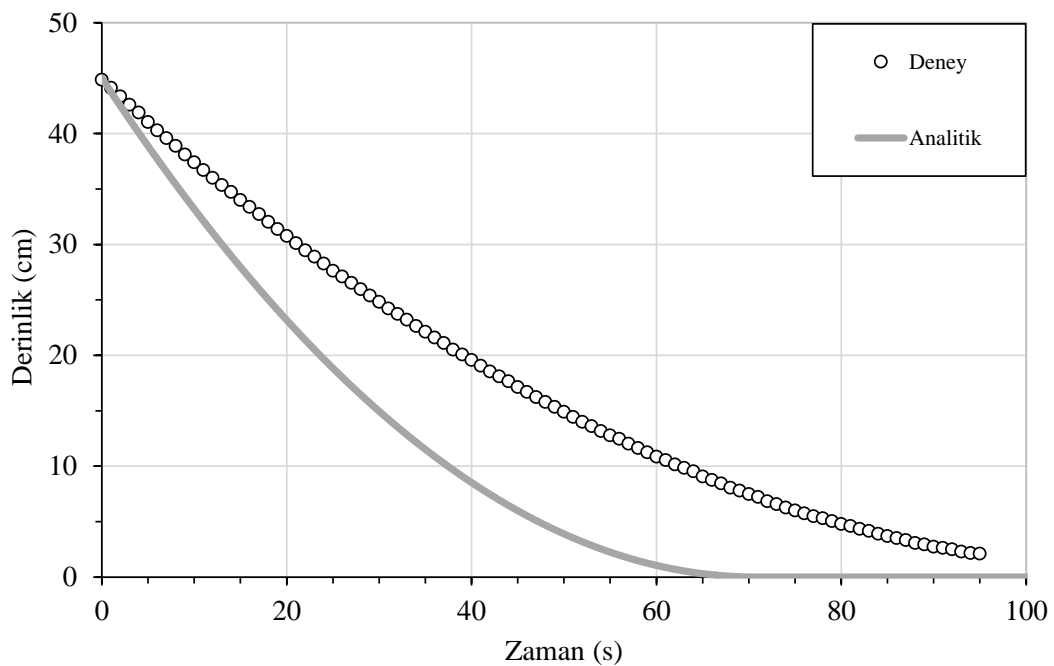
Benzer biçimde orifis katsayısı  $C$ , deney ve analitik verilere ait eğilim çizgisi denklemlerinin katsayılarının oranlanmasıyla da bulunabilir. Şekil 4.2'de görüleceği gibi analitik çözüm için elde edilen katsayı 0,395 ve deney için elde edilen katsayı 0,2372'dir. İki değerlerin oranlanmasıyla  $C=0,2372/0,395=0,601$  değeri bulunacaktır. Bu yaklaşımda  $C$ 'nin bulunması için alternatif bir yöntem olarak düşünülebilir.

Bulduğumuz  $C$  katsayısını; Eş. 3.38'de yerine koyduğumuzda (D1 için  $C=0,601$ ) deneysel ve analitik H-T grafiklerinin Şekil 4.3'teki gibi çakıştığı görülmektedir. Bu da bize  $C$  katsayısının doğruluğunu ve tankın boşalma süresinin analizinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.3. D1 deneyine ait  $C=0,601$  için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H – T grafiği

D2 orifis plakasına ait deneysel ve analitik çözümlerden elde edilen yüksekliklerin zamanla değişimini veren grafikleri Şekil 4.4'deki gibidir. Deneyinin süresi yaklaşık 100 saniye sürmektedir. Su derinliği D1 deneyinde olduğu gibi 45 santimetre seviyesinden başlayıp, değişim hızının her iki yöntem sonucunda düzenli parabolik bir azalış gösterdiği görülmektedir.



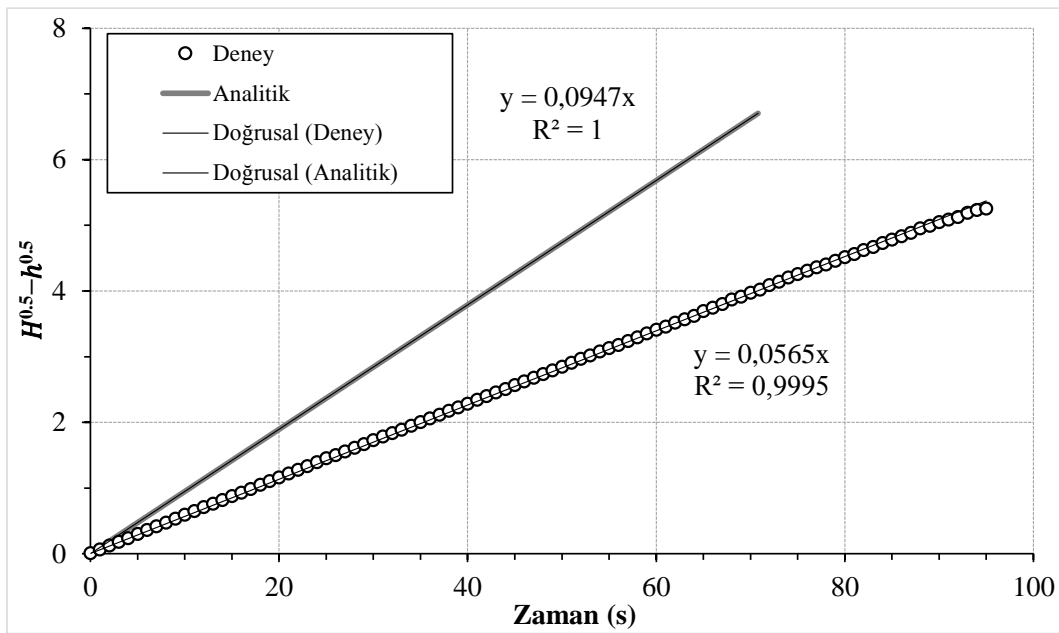
Şekil 4.4. D2 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği

D2 orifis plakasına ait deneysel ve analitik verilerin  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği Şekil 4.5'teki gibidir. Grafiğin D1 plakasında olduğu gibi yukarı yönde yaklaşık lineer gittiği görülmüştür. Excelden elde edilen korelasyon katsayısının 0,9995 olduğu görülmektedir. Bu durum elde edilen denklemin doğruluğunu göstermektedir.

$[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiğinin eğimi 0,0565 olarak görülmektedir. Bu değerlerin; D2 orifisi için hesaplanan  $\alpha$  değeri ile çarpılması bize orifis katsayısını verecektir.

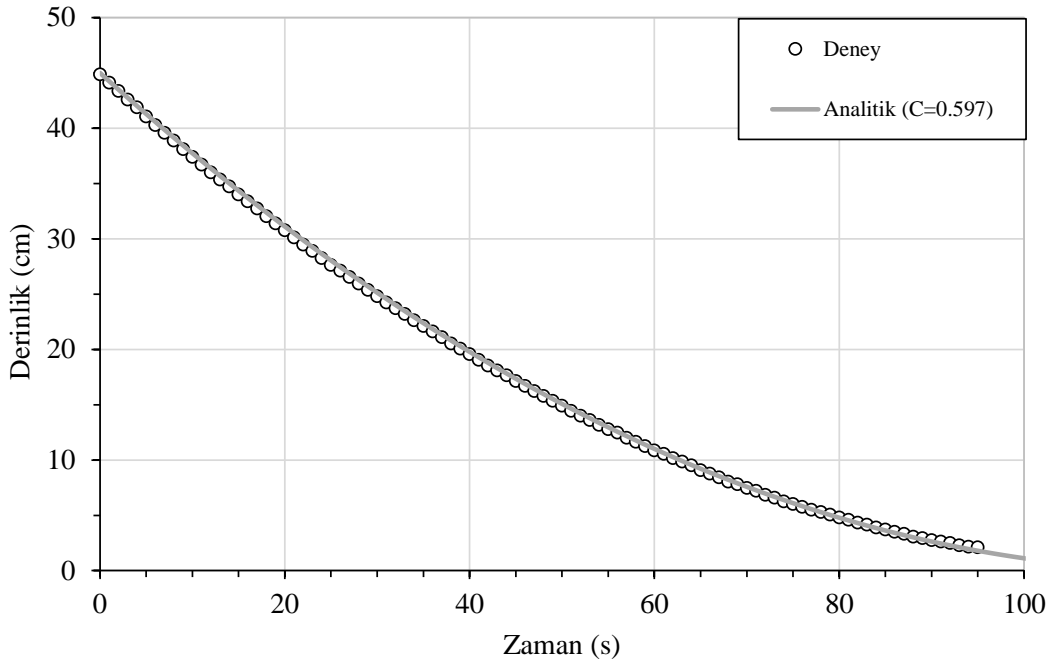
$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} = \frac{2 * 900}{3,84\sqrt{2 * 981}} = 10,555$$

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) = 10,555 * 0,0565 = 0,597$$



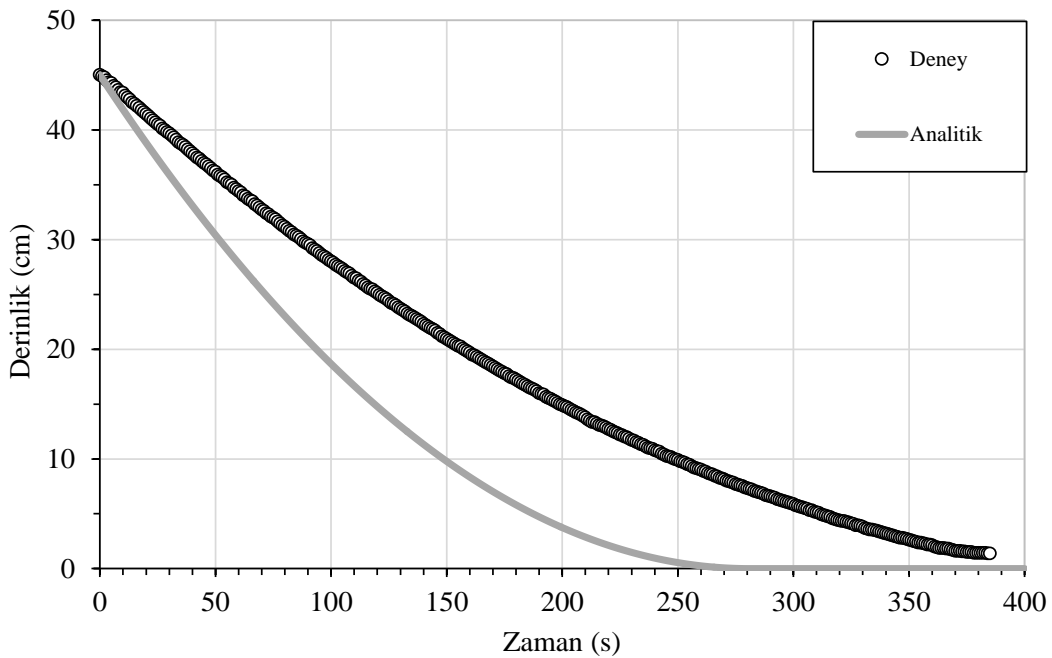
Şekil 4.5. D2 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - \text{zaman}$  grafiği

Aynı sonuç yukarıda bahsedildiği gibi eğilim çizgisi denklemlerinin katsayılarının oranlanmasıyla da bulunabilir ( $C=0,0565/0,0947=0,597$ ). Bulduğumuz C katsayısını; Eş. 3.38'de yerine koyduğumuzda (D2 için  $C=0,597$ ) deneysel ve analitik H-T grafiklerinin Şekil 4.6'daki gibi çakıştığı görülmektedir. Buda bulunan orifis katsayısının boşalma süresinin analizinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.6. D2 deneyine ait  $C=0,597$  için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H – T grafiği

D3 orifis plakasına ait deneysel ve analitik çözümlerden elde edilen yüksekliklerin zamanla değişimini veren grafikleri Şekil 4.7'deki gibidir. Deneyinin süresi yaklaşık 400 saniye sürmektedir. Su derinliği diğer deneylerde olduğu gibi 45 santimetre seviyesinden başlayıp, değişim hızının her iki yöntem sonucunda düzenli parabolik bir azalış gösterdiği görülmektedir.



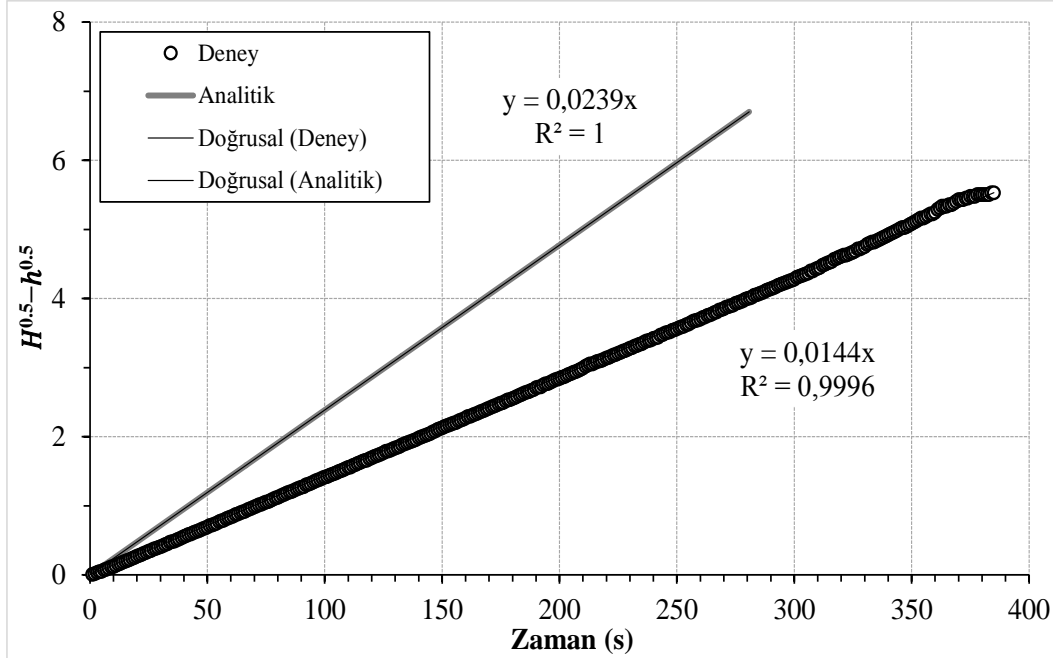
Şekil 4.7. D3 deneyine ait deneysel ve analitik çözümler için H-T grafiği

D3 orifis plakasına ait deneysel ve analitik verilerin  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği Şekil 4.8'deki gibidir. Grafiğin, diğer plakalarda olduğu gibi yukarı yönde yaklaşık lineer gittiği görülmüştür. Analitik çözümün korelasyon katsayısından ( $R^2=1$ ) eğilim çizgisinin tam doğru olduğu anlaşılmaktadır. Excelden elde edilen deneysel korelasyon katsayısının 0,9996 olduğu görülmektedir. Bu durum da bize, eğilim çizgisinin doğruya çok yakın olduğunu göstermektedir.

$[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiğinin eğimi 0,0144 olarak görülmektedir. Bu değerlerin; D3 orifisi için hesaplanan  $\alpha$  değeri ile çarpılması bize orifis katsayısını verecektir.

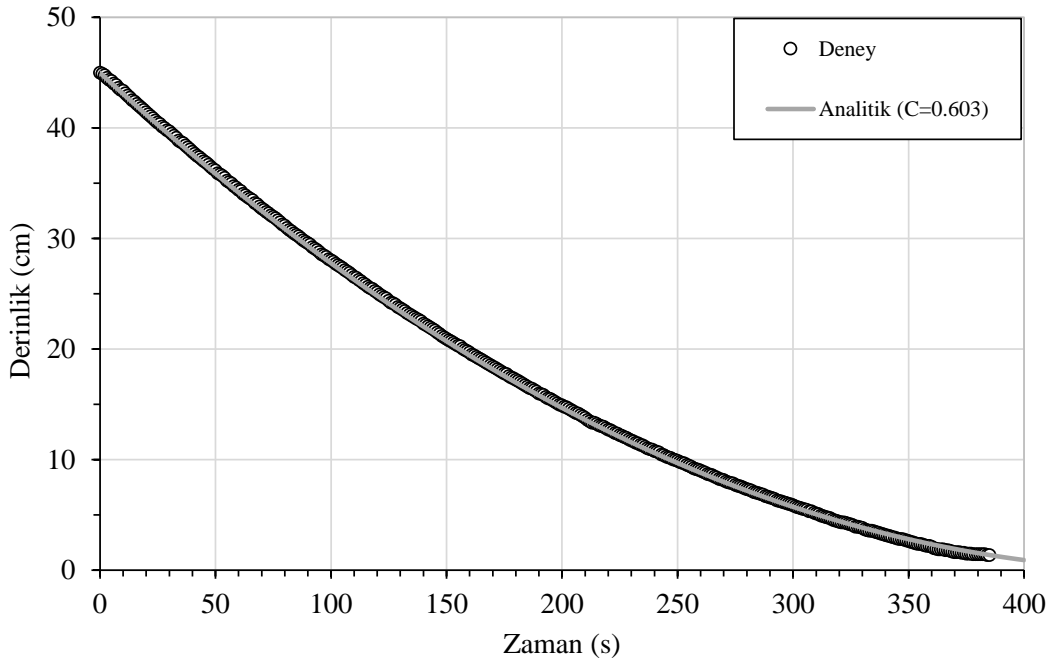
$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} = \frac{2 * 900}{0,97\sqrt{2 * 981}} = 41,893$$

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) = 41,893 * 0,0144 = 0,603$$



Şekil 4.8. D3 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - \text{zaman}$  grafiği

Bulduğumuz  $C$  katsayısını; formülde yerine koyduğumuzda (D3 için  $C=0,603$ ) deneysel ve analitik  $H-T$  grafiklerinin Şekil 4.9'daki gibi çakıştığı görülmektedir. Bu da bize  $C$  katsayısının boşalma süresinin analizinde kullanılabileceğini göstermektedir.

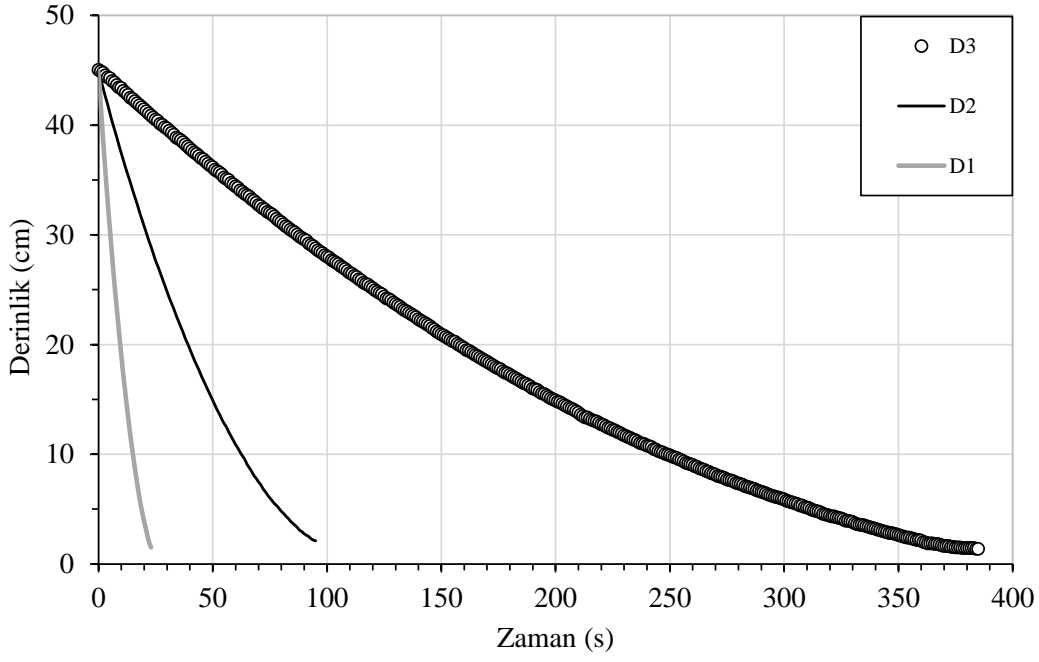


Şekil 4.9. D3 deneyine ait  $C=0,603$  için deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $H - T$  grafiği

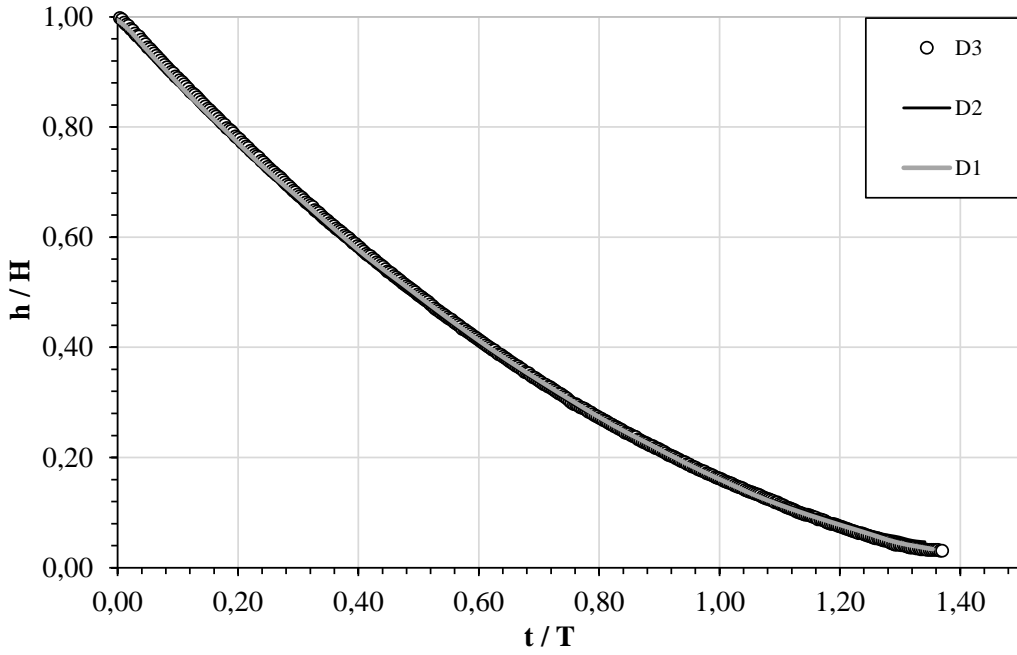
#### 4.2. D1, D2 ve D3 için Boyutsuz Grafikler

Şekil 4.10'da D1, D2 ve D3 için su seviyelerinin zamanla değişimi aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Tahmin edileceği üzere orifis çapı küçüldükçe tankın boşalma süresinin arttığı görülmektedir. Orifis çapları yaklaşık olarak 2 kat küçüldüğünde boşalma süresi 4 kat artmaktadır.

D1, D2 ve D3 için deneysel veriler için boyutsuzlaştırma yapıldığı durumda Şekil 4.10'daki grafik elde edilmektedir. Burada su derinlikleri başlangıçtaki su derinliğine ( $H=45\text{cm}$ ) ve zaman ise Eş. 3.32'deki analitik çözümden elde edilen boşalma süresi ( $T$ ) değerine bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Üç farklı çap için boyutsuz su seviyesi-zaman grafikleri çizildiğinde üç eğrinin de üst üste çakıştığı görülmektedir. Buda boyutsuz olarak çizildiğinde su seviyesi ve boşalma zamanı arasında bir fark olmadığını orifis katsayılarının aynı olacağını göstermektedir.

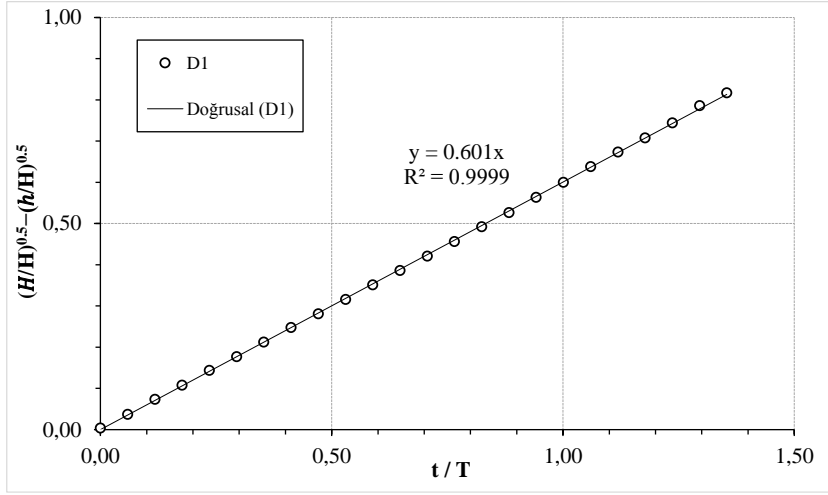


Şekil. 4.10. D1, D2 ve D3 orifisleri için edilen derinlik zaman grafiği

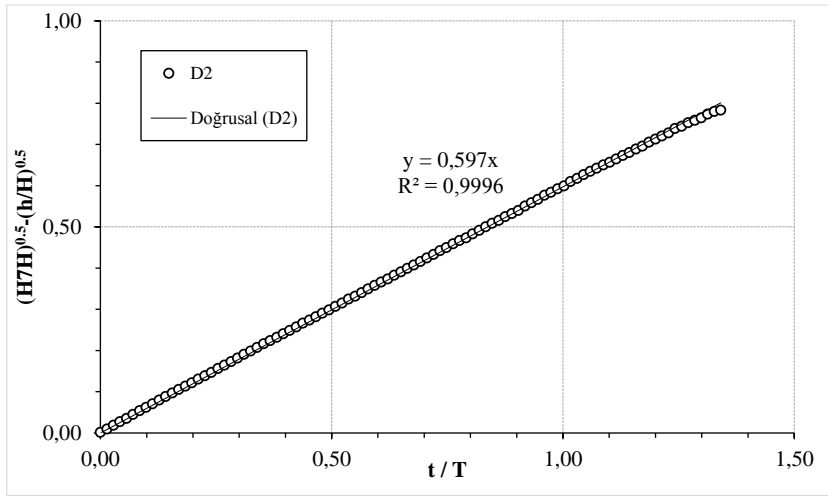


Şekil 4.11. D1, D2 ve D3 orifisleri için edilen boyutsuz derinlik zaman grafiği

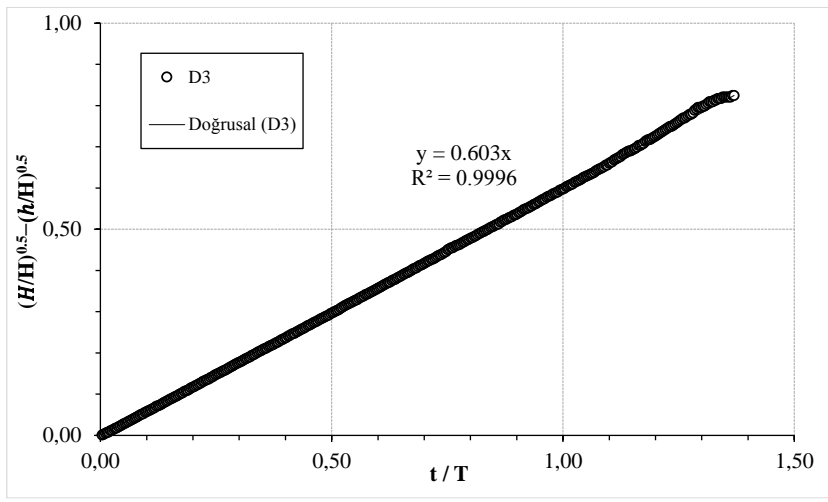
Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 grafiklerine bakıldığında;  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafikleri benzer şekilde sırasıyla  $H$  ve  $T$  ile boyutsuzlaştırılırsa elde edilen  $[1 - \sqrt{h/H}] - t/T$  grafiğinin eğimi doğrudan  $C$  katsayısını vermektedir. Grafiklere bakıldığında eğilim çizgisi denklemlerinin katsayıları daha önce bulunan orifis  $C$  katsayılarına eşit olmaktadır.



Şekil 4.12. D1 deneyine ait elde edilen boyutsuz  $(1 - \sqrt{h/H})$  - zaman grafiği



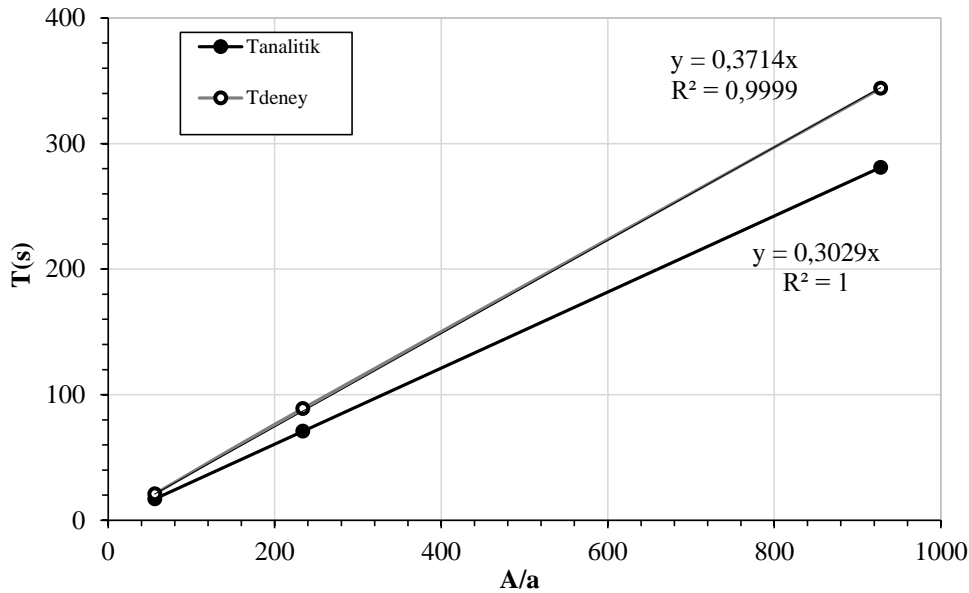
Şekil 4.13. D2 deneyine ait elde edilen boyutsuz  $(1 - \sqrt{h/H})$  - zaman grafiği



Şekil 4.14. D3 deneyine ait elde edilen boyutsuz  $(1 - \sqrt{h/H})$  - zaman grafiği



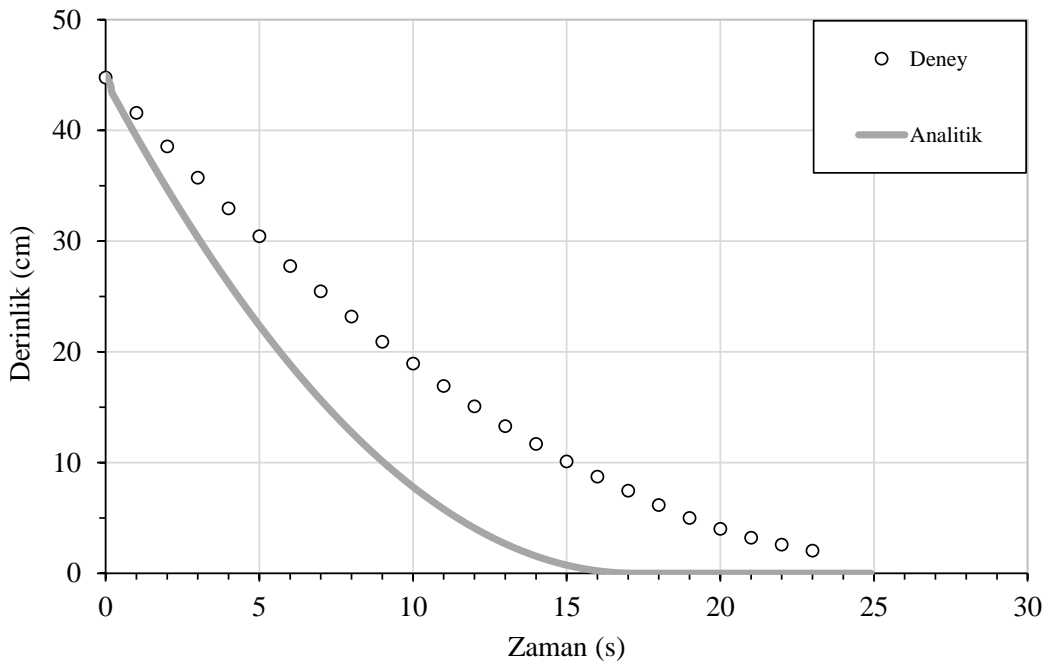
Şekil 4.15’de  $A/a$  oranına karşılık boşalma sürelerinin grafiği verilmiştir. Grafikten  $A/a$  değişimi ile boşalma süresi arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu görüldü. Bu grafik sayesinde 45 cm’lik başlangıç su seviyesine ait herhangi bir tank alanı ( $A$ ) ve orifis alanı ( $a$ ) oranı için boşalma süresini doğrudan elde edilebilecektir.



Şekil 4.15. Boyutsuz çözümden elde edilen  $T - A/a$  grafiği

### 4.3. K1 için Elde Edilen Deneysel Veriler

K1 orifis plakasına ait deneysel ve analitik çözümlerden elde edilen yüksekliklerin zamanla değişimini veren grafikleri Şekil 4.16’daki gibidir. Çizelge 4.2’de de bu veriler fikir vermesi bakımından beşer saniyelik aralıklarla sayısal olarak verilmiştir. Deneyinin süresi yaklaşık 25 saniyedir. Diğer deneylerle aynı şekilde; su derinliği 45 santimetreden başlayıp, su seviyesi değişim hızının analitik ve deney verileri için düzenli parabolik bir azalış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.16. K1 deneyine ait sayısal ve deneysel çözümler için H-T grafiği

Deneysel yöntemde  $T=22$  s zamanından itibaren verilerin doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi zamanla su seviyesindeki azalmadan kaynaklı girdap oluşumudur. Bu nedenle her iki çözümde de su seviyesinin  $h=2,5$  cm'ye kadar olan kısmı dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.2. K1 deneyinde aynı su seviyeleri için elde edilen süreler.

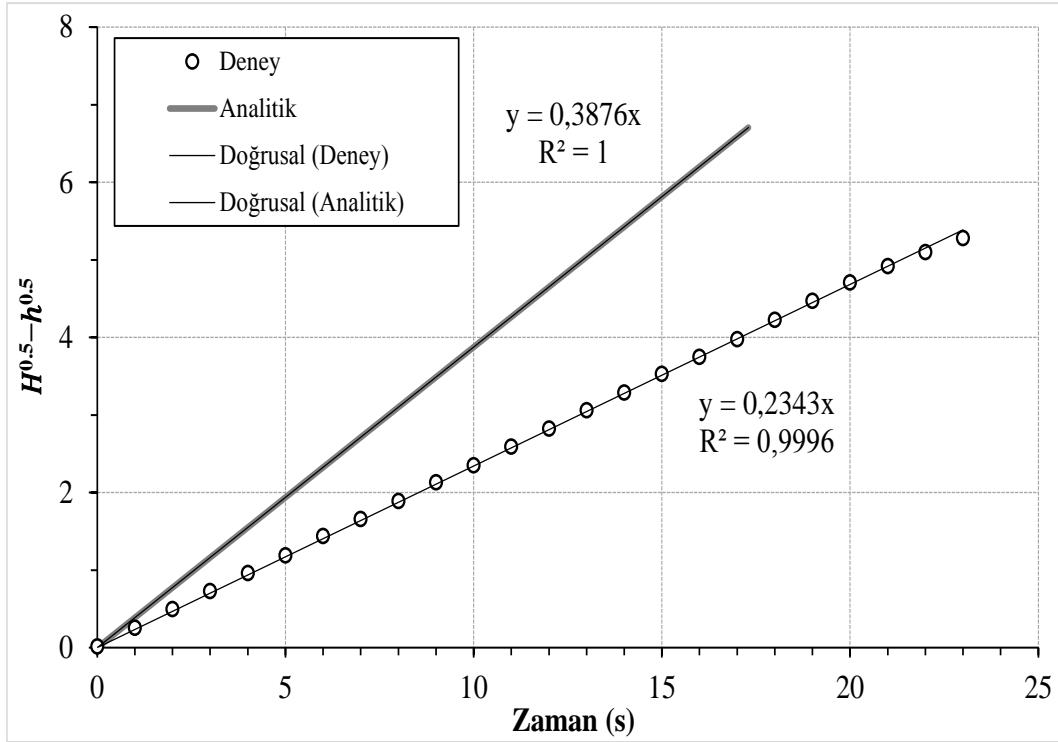
Su Seviyesi	Deneysel Çözüm (s)
45	0
40	1,522
35	3,264
30	5,163
25	7,202
20	9,462
15	12,037
10	15,064
5	18,984
3	21,322

K1 orifis plakasına ait deneysel ve analitik verilerin  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği Şekil 4.17'deki gibidir. Grafiğin yukarı doğru oldukça doğrusal olduğu görülmektedir. Doğrusal eğilim çizgisi denklemindeki katsayı bize eğimi vermektedir. Bu değer deneysel veriler için

0,2343 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin; K1 orifisi için hesaplanan  $\alpha$  değeri ile çarpılması bize orifis katsayısını verecektir.

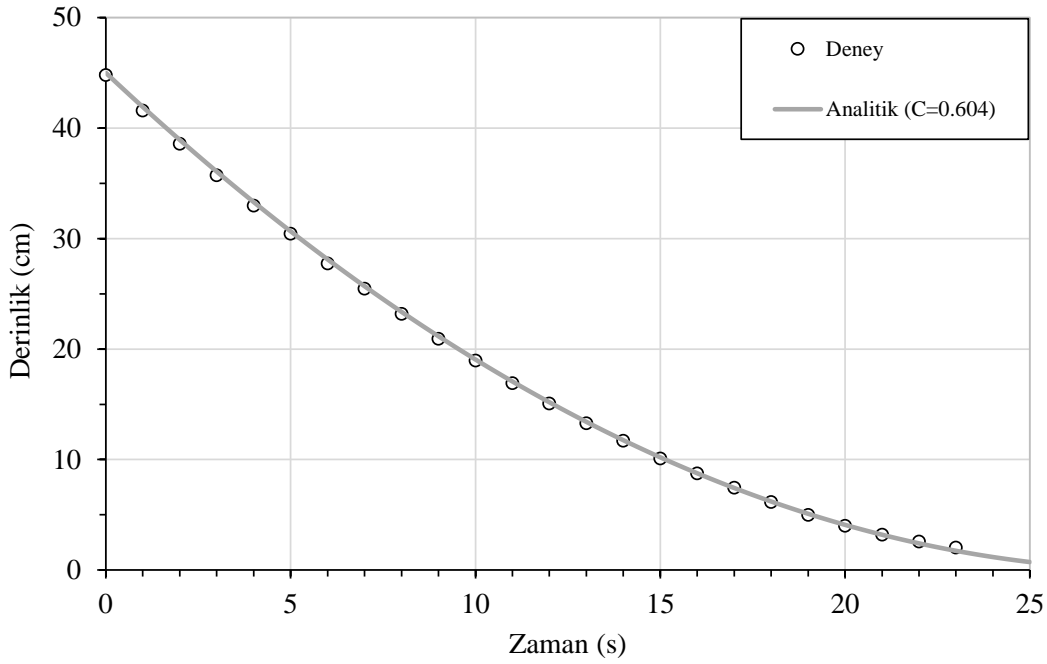
$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} = \frac{2 * 900}{15,75\sqrt{2} * 981} = 2,580$$

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) = 2,580 * 0,2343 = 0,604$$



Şekil 4.17. K1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$  - zaman grafiği

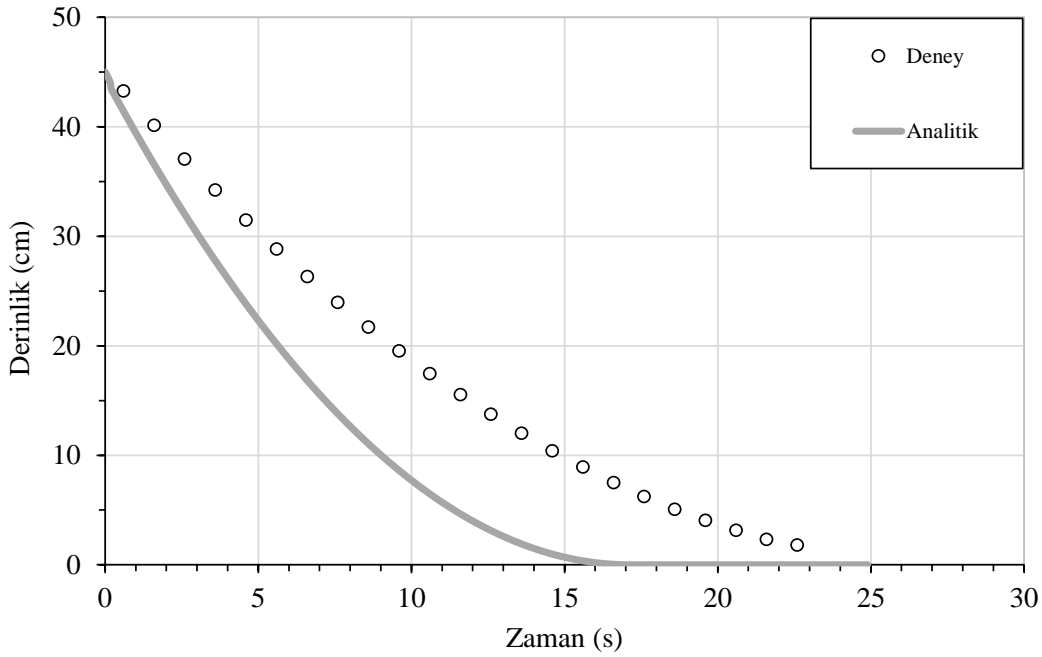
Benzer şekilde C katsayısı eğilim çizgisi denklemlerinin katsayılarının oranlanmasıyla da bulunacaktır ( $C=0,2343/0,3876=0,604$ ). Bulduğumuz C katsayısını; ilgili formülde yerine koyulduğunda (K1 için  $C=0,604$ ) deneysel ve analitik H-T grafiklerinin Şekil 4.18'deki gibi çakıştığı görülmektedir. Tankın boşalması için doğru belirlenen C katsayısı ile zamana bağlı olarak su seviyesi değişimlerinin hassas bir biçimde bulunabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.18. K1 deneyine ait  $C=0,604$  için deneysel ve analitik verilerden elde edilen H – T grafiği

#### 4.4. DD1 için Elde Edilen Deneysel Veriler

DD1 orifis plakasına ait deneysel ve analitik çözümlerden elde edilen yüksekliklerin zamanla değişimini veren grafikleri Şekil 4.19'daki gibidir. Deneyin süresi yaklaşık 25 saniyedir. Başlangıç su seviyesi diğer deneylerle aynı şekilde 45 santimetredir. Deneysel ve analitik H-T grafik eğrilerinin düzenli parabolik azalış gösterdiği görülmektedir. Deneyde tankın daha geç boşaldığı görülmektedir. Bu durum analitik çözümün ideal akışkan için elde edilmesi ve enerji kayıplarını içermemesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle orifis katsayısının belirlenerek denklemin bu katsayıyı içerecek şekilde düzenlenmesiyle tankın boşalma süresi ve su seviyelerinin zamanla değişimleri kolaylıkla belirlenecektir.



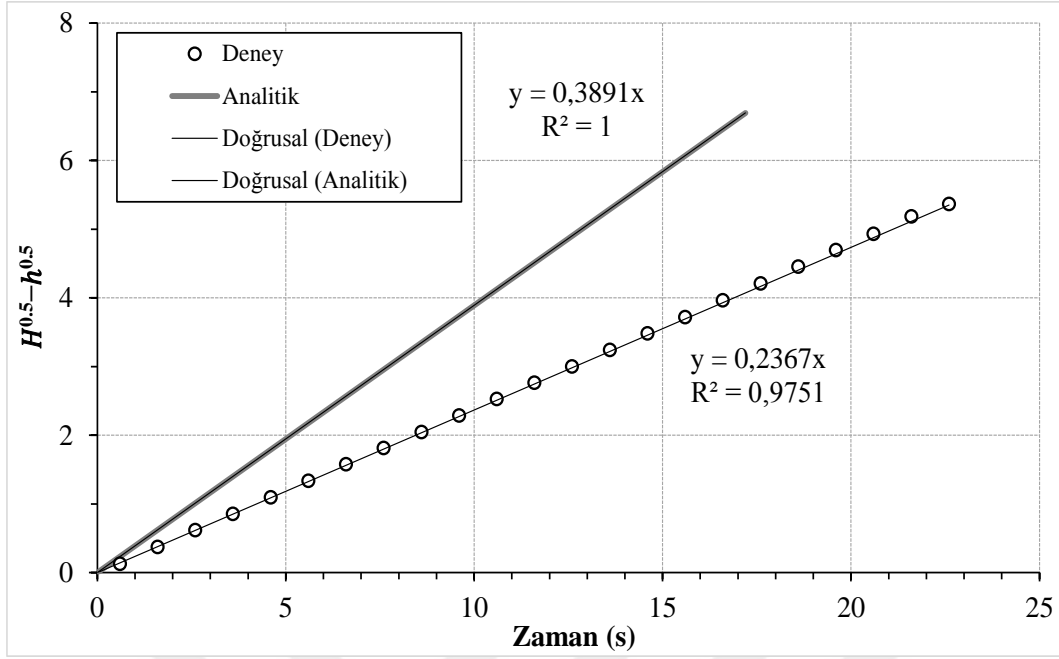
Şekil 4.19. DD1 deneyine ait sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği

DD1 plakasına ait deneysel ve analitik verilerin  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği oluşturulduğunda, diğer plakalarda olduğu gibi yukarı yönde oldukça doğrusal olduğu görülmüştür (Şekil 4.20). Excelden elde edilen korelasyon katsayısının 0,9751 olduğu görülmektedir. Bu durum bize, doğruya çok yakın bir denklem elde ettiğimizi göstermektedir.

$[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiğinin eğimi 0,2367 olarak görülmektedir. Bu değerlerin; DD1 orifisi için hesaplanan  $\alpha$  değeri ile çarpılması bize orifis katsayısını verecektir.

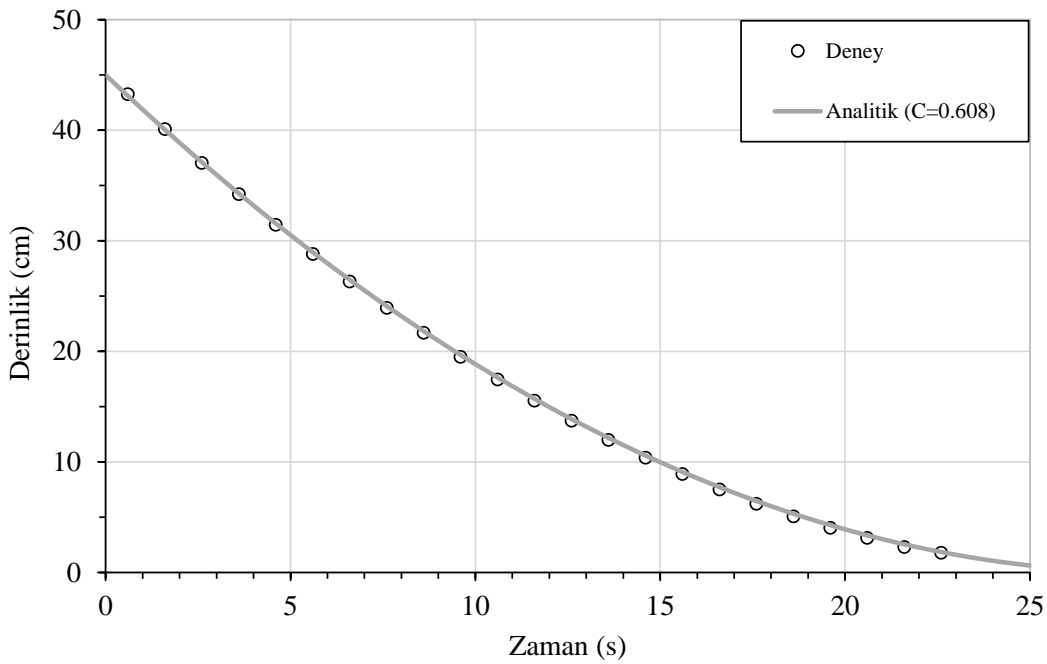
$$\alpha = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} = \frac{2 * 900}{15,81\sqrt{2 * 981}} = 2,570$$

$$C = \alpha \times (\text{eğim}) = 2,570 * 0,2367 = 0,608$$



Şekil 4.20. DD1 deneyine ait deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $(\sqrt{H} - \sqrt{h})$  - zaman grafiği

Bulduğumuz  $C$  katsayısını; formülde yerine koyduğumuzda (DD1 için  $C=0,608$ ) deneysel ve analitik derinlik-zaman grafiklerinin Şekil 4.21'deki gibi çakıştığı görülmektedir. Bu da bize  $C$  katsayısının doğruluğunu ve enerji kayıplarını yansıtmada başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.21. DD1 deneyine ait  $C=0,608$  için deneysel ve analitik verilerden elde edilen  $H - T$  grafiği

Daha önce de bahsedildiği gibi  $C$  katsayıları  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiklerinin eğimleri oranından da bulunabilmektedir. Şekil 4.20 DD1 orifisi için örneklendirirsek Eş. 4.1 elde edilir;

$$C = \frac{\text{Deneysel çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} \quad (4.1)$$

$$\frac{\text{Deneysel çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2367}{0,3891} = 0,608$$

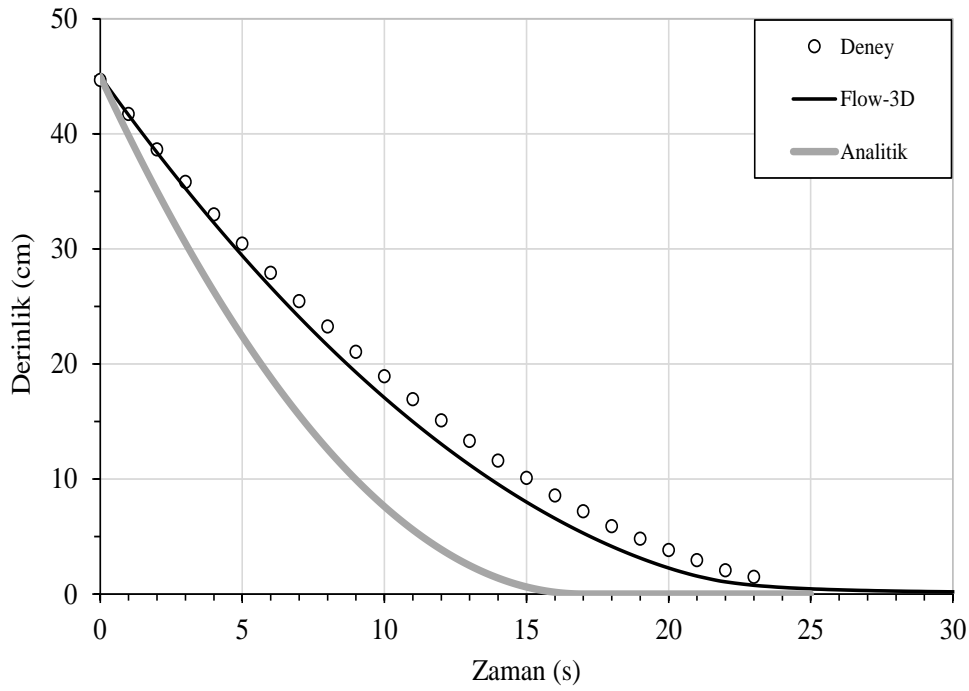
Çizelge 4.3'te tüm deneylerden elde edilen  $C$  katsayıları görülmektedir. Daire kesin için  $C$  katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Daire kesit için ortalama  $C=0.60$  alınabilir. DD1 orifisi için orifis katsayısı ( $C=0,608$ ) en yüksek değeri almakla birlikte tüm orifisler için katsayıların birbirlerine çok yakın değerler aldığı söylenebilir.

Çizelge 4.3. Deneyselde hesaplanan grafiğin eğimi, alfa ve  $C$  katsayıları

Deney	Alan	Eğim	Alfa ( $\alpha$ )	C Katsayısı
D1	16,05	0,2372	2,531	0,601
D2	3,84	0,0565	10,555	0,597
D3	0,97	0,0144	41,893	0,603
K1	15,75	0,2343	2,580	0,604
DD1	15,81	0,2367	2,570	0,608

#### 4.5. D1, K1 ve DD1 için Elde Edilen Deney ve Sayısal Verilerin Karşılaştırılması

Şekil 4.22'de D1 plakası için deneysel, sayısal ve analitik çözüm için derinlik-zaman grafiği oluşturulup eğriler karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel verilere göre aynı su seviyesine farklı zamanlarda ulaşıldığı ve sayısal çözümlerde tankın daha hızlı boşaldığı görülmüştür. Bu durum gerçek deneyin sayısal modelde tam olarak ifade edilememesinden kaynaklanmaktadır. Sayısal çözümlerde ağ yapısının daha sık olması özellikle orifisin olduğu bölgelerinde daha da sıklaştırılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca daha iyi bir sonuç elde edebilmek için farklı türbülans yöntemleri ve türbülans karışım boyu değerlerinin test edilmesi gerekmektedir.



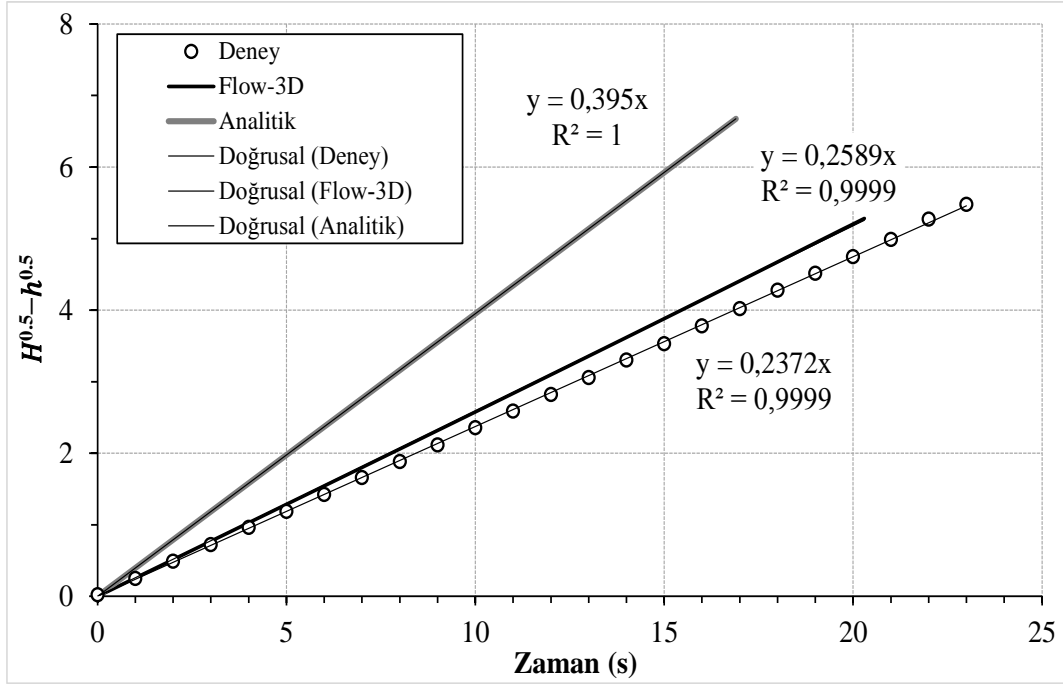
Şekil 4.22. D1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği

Şekil 4.23 ile D1 için C katsayılarının;  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiklerinin eğimleri oranından da aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\frac{\text{Deneysel çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2372}{0,395} = 0,601$$

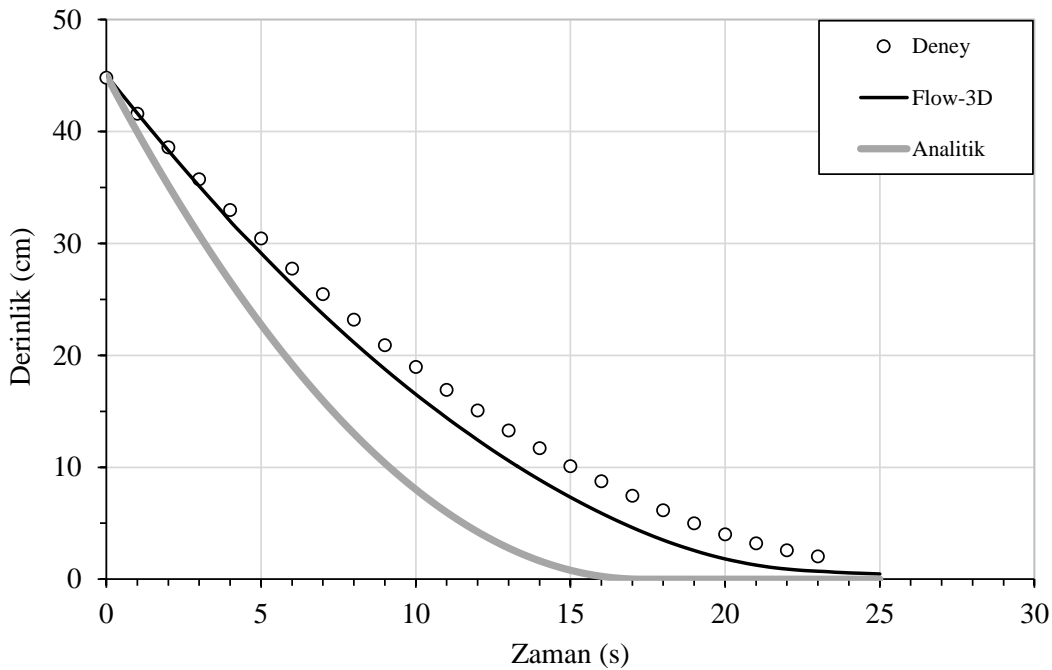
$$\frac{\text{Sayısal çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2589}{0,395} = 0,655$$





Şekil 4.23. D1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği

Şekil 4.24'de K1 plakası için deneysel, sayısal ve analitik çözümlerde derinlik-zaman grafiği oluşturulup eğriler karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlarda boşalmanın daha hızlı olduğu ve deneysel verilere göre aynı su seviyesine farklı zamanlarda ulaşıldığı görülmektedir.

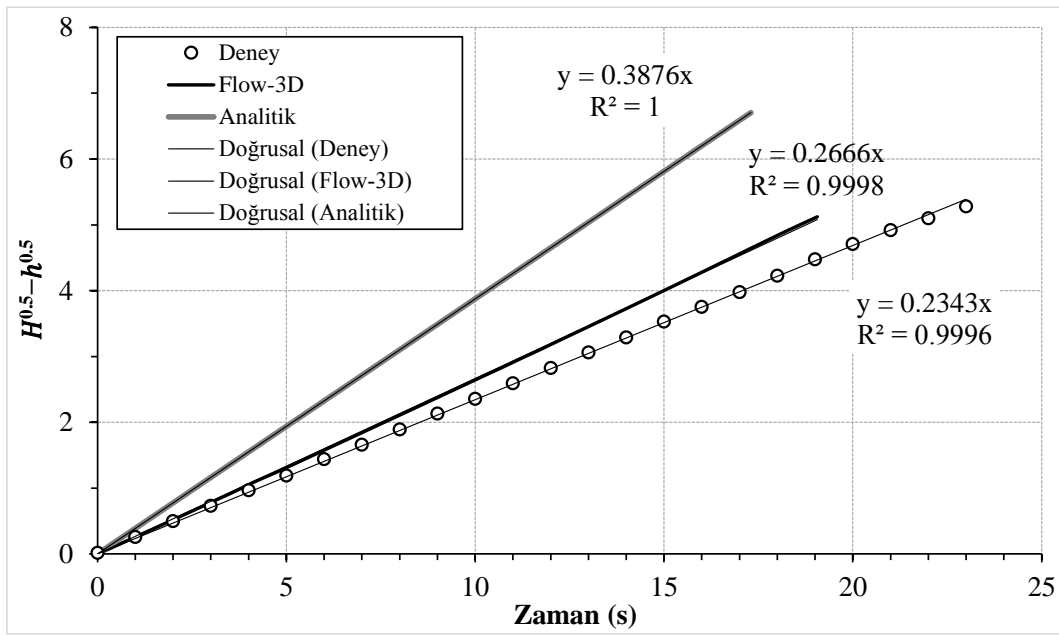


Şekil 4.24. K1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği

Şekil 4.25 ile sayısal ve deneysel orifis katsayıları;  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiklerinin eğimleri oranından da aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

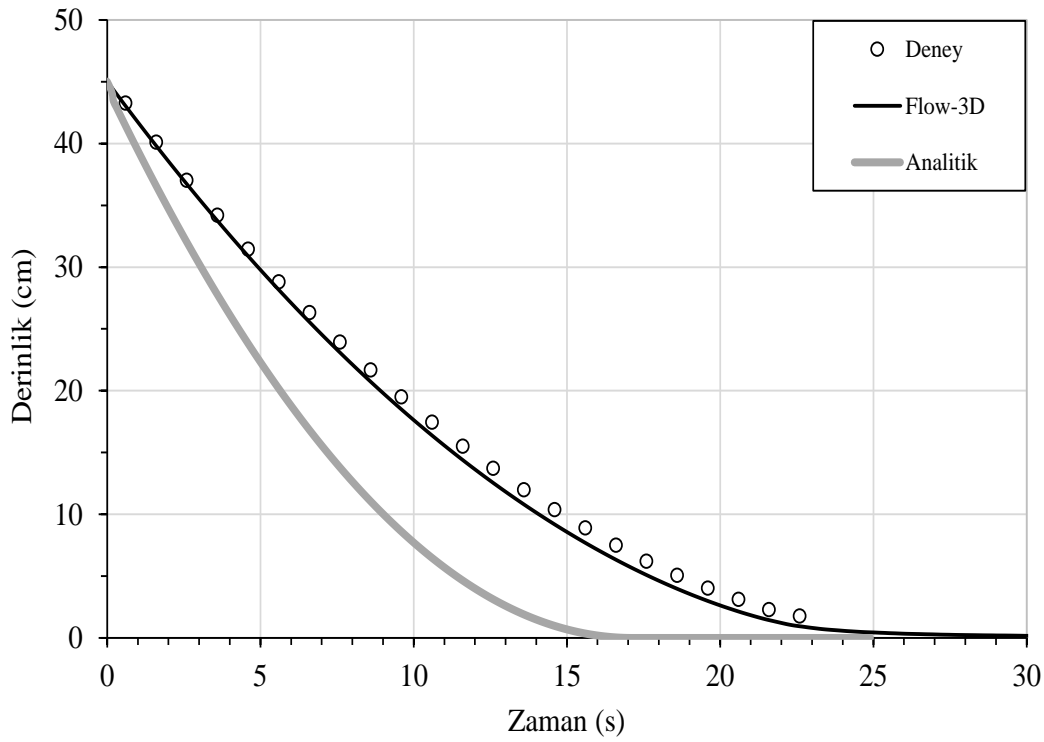
$$\frac{\text{Deneysel çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2343}{0,3876} = 0,604$$

$$\frac{\text{Sayısal çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2666}{0,3876} = 0,687$$



Şekil 4.25. K1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği

Şekil 4.26'de DD1 plakası için deneysel, sayısal ve analitik çözümlerde derinlik-zaman grafiği oluşturulup eğriler karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel verilere birbirine yakın olmakla birlikte deneyde aynı süreye karşılık gelen su seviyelerinin daha fazla olduğu diğer bir ifade ile tankın deneyde daha geç boşaldığı görülmektedir.

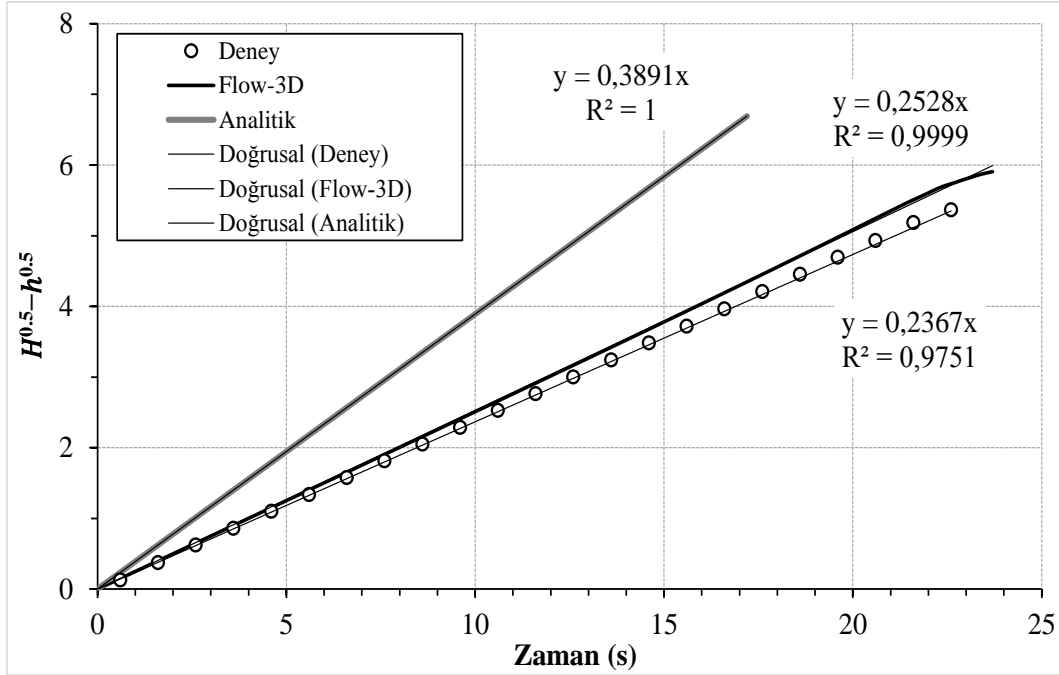


Şekil 4.26. DD1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için H-T grafiği

Şekil 4.27 ile sayısal ve deneysel orifis  $C$  katsayıları;  $[\sqrt{H} - \sqrt{h}] - T$  grafiklerinin eğimleri oranından hesaplanarak aşağıdaki değerler bulunmuştur.

$$\frac{\text{Deneysel çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2367}{0,3891} = 0,608$$

$$\frac{\text{Sayısal çözüm grafiğinin eğimi}}{\text{Analitik çözüm grafiğinin eğimi}} = \frac{0,2528}{0,3891} = 0,649$$



Şekil 4.27. DD1 plakasına ait deneysel, sayısal ve analitik çözümler için  $(\sqrt{H} - \sqrt{h}) - T$  grafiği

Sayısal ve deneysel verilerden elde edilen orifis katsayıları arasındaki mutlak bağıl hata Eş. 4.2'deki gibi hesaplanmış ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

$$\%Hata = \left| \frac{C_{sayısal} - C_{deney}}{C_{deney}} \right| \times 100 \quad (4.2)$$

Buradan mutlak bağıl hata D1 için %8,98, K1 için %13,7 ve DD1 için %6,7 bulunmuştur. En fazla hata kare orifisten meydana gelmiştir. Aradaki bu sapma sayısal modellemenin daha iyi yapıp ağ yapısının sıklaştırılması ile farklı ağ yapılarının denenmesi ve farklı türbülans yöntemlerinin test edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.4. Plakaların deneysel ve sayısal çözümler için orifis katsayıları

Plaka Adı	C <sub>deney</sub>	C <sub>sayısal</sub>	% Hata Oranı
D1	0,601	0,655	8,9
K1	0,604	0,687	13,7
DD1	0,608	0,649	6,7

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada dikdörtgen bir hazneden suyun boşalması deneysel, teorik ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneysel ölçümlerde akıllı telefon kamerası aracılığıyla kaydedilen video görüntüler üzerinden su seviyesi değişimleri görüntü işleme teknikleri kullanılarak elde edilmiştir ve FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Farklı geometriye aynı kesit alanına sahip orifisler için orifis katsayıları belirlenmiştir. Orifis katsayıları  $C=0,60$  civarlarında bulunmuştur. Sayısal sonuçlarda tanktaki su seviyelerinin deneydekilerine kıyasla daha hızlı boşaldığı ve orifis katsayılarının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bir haznenin boşalma süresinin tespitinde ihtiyaç duyulan orifis katsayısının grafiksel olarak nasıl elde edileceği boyutlu ve boyutsuz veriler kullanılarak gösterilmiştir. Farklı geometriye fakat aynı kesit alanına sahip orifislerin katsayılarında değişiklikler olduğu ve kesit geometrisinin etkisinin olduğu görülmüştür.

Görüntü işleme tekniklerinden yararlanmak için üst düzey bir profesyonel fotoğraf makinasına ihtiyaç olmadığı gösterilmiştir. Bu teknikte günümüzde yaygın olarak kullanılan akıllı telefonların kameralarından elde edilen görüntülerin deneysel çalışmalarda yeterli olduğu tespit edilmiş ve su seviyesi ölçümlerinde etkili bir ölçüm aracı olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Akıllı telefon markaları arasındaki rekabet ile birlikte eskiye nazaran teknolojinin, dolayısıyla akıllı telefonlardaki görüntü kalitesinin çok geliştiğini düşündüğümüzde bu sonucun akıllı telefon markasından bağımsız olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmamızda yazılım olarak FLOW-3D kullanılmıştır. Elde edilen nümerik ve deneysel sonuçlar kıyaslanarak uyumluluğuna bakılmıştır. Sayısal sonuçların deneysel olarak elde edilmiş su seviyelerine göre bir miktar aşağıda kaldığı gözlenmiştir. Böylelikle yazılımın başarısı tankın boşalma süresi, orifis katsayıları ve su seviyeleri açısından değerlendirildiğinde, yeterli hassasiyette sonuç verdiği fakat yazılım parametreleri üzerinde bir takım iyileştirilmelerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Görüntü işleme tekniğinde çekimlerdeki ışıklandırma, görüntü kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle ışıklandırmanın daha iyi olması ve yansımaların en aza indirgenmesi çözüme daha kolay gidilmesini sağlayacaktır.
- Orifis alanlarının sonuçlar üzerinde oldukça etkili olduğu ve hassas olarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Bu nedenle bir lazer kesim gibi daha hassas bir yöntemler kesilmesi uygun olacaktır.
- Bu deney farklı yoğunluktaki sıvılar için ve birden fazla sayıda orifis deliği bulunan plakalar kullanılarak tekrarlanması viskozite etkisi ve orifislerin bir arada çalışması sırasında orifis katsayısının bundan nasıl etkileneceğini göstermesi açısından yararlı olacaktır.
- Tankın yan cidarlarındaki orifis etkisinin, orifislerin giriş ağzlarının geometrisindeki değişikliklerin etkisi ayrıca araştırılması gereken konular arasındadır.
- Sayısal modelde çözüm hassasiyetini etkileyecek ağ yapısı, türbülans yöntemi gibi parametrelerin etkisinin irdelenmesi gerekmektedir. Farklı çözüm yapan sonlu farklar, sonlu hacimler, sonlu elemanlar, akışkan parçacığı gibi sayısal yöntemlerin problemi çözebilme becerileri irdelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ahn, H., Başaranoğlu, Z., Yılmaz, M., Buğutekin, A., and Gül, M. Z. (2008). Experimental investigation of granular flow through an orifice. *Powder Technology*, 186(1), 65-71.
- Algehani, Z., AlOtaibi, H., Al Zubaidi, I., Ibrahim, H., & Jones, R. Efflux Time from Vertical Cylindrical Tank Design and Construction. Proceedings of the 3rd International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'16), May 2 – 3 2016, Ottawa Canada.
- Ali, A., Underwood, A., Lee, Y. R., and Wilson, D. I. (2016). Self-drainage of viscous liquids in vertical and inclined pipes. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 38-50.
- Abdalla Alajmi, S. S. A., Alkhudhari, M., Alqaffas, J., Carrasco, Z., Payan, J., Pasamba, M., ... & Boyajian, D. (2019). A Civil Engineering Senior Design Research Effort to Ascertain Discharge Coefficients of Different Orifice Geometries. David Publishing Company [www.davidpublisher.com](http://www.davidpublisher.com), 13, 204-208.
- Aprin, L., Heymes, F., Cosenza, M., Lauret, P., Slangen, P., & Le Floch, S. (2016). Experimental Study of Submerged Leakage from a Shipwreck Involving Floating Chemicals Cargo. *Chemical Engineering Transactions*, 53, 343-348.
- Ardanuy, A. F. (2016). Variation of Properties during a Vessel Discharge. URJ-UCCS: Undergraduate Research Journal at UCCS, 9(2), 33-40.
- Balcı, M., Altun, A. A., ve Taşdemir, Ş. (2016). Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Napolyon Tipi Kirazların Sınıflandırılması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(3), 221-237.
- Belfort, B., Weill, S., & Lehmann, F. (2017). Image analysis method for the measurement of water saturation in a two-dimensional experimental flow tank. *Journal of hydrology*, 550, 343-354.
- Belinskiy, B. P., & White, D. C. (2019). Time Optimization of a Draining Tank and Some Similar Problems on Star Graphs. *Journal of Mathematics (ISSN 1016-2526)*, 51(7), 1-18.
- Borghei, S. M., Jalili, M. R., & Ghodsian, M. A. S. O. U. D. (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1051-1056.
- Bulut, M., (2013). *Hydraulics Of Circular Bottom Intake Orifices (Doctoral Dissertation, Middle East Technical University)*.
- Dachi, R., & Setiawan, I. (2018). Measurement of gravitational acceleration with the leak tank method. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 2(1), 19-26.
- Dal, K., (2018). Eğimli kanalda ardışık baraj yıkılmasının deneysel ve sayısal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri

Enstitüsü, Hatay.

- Daugherty, R. L., J. B. Franzini, and E. J. Finnemore. 1985. *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. McGraw–Hill, Inc. 8ed.
- Duman, K., Yılmaz, A., Dal, K., Güzel, H., Kocaman, S., (2018). Tabanında Kare Orifis Bulunan Bir Tankın Boşalma Süresinin Deneysel ve Sayısal Analizi. *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 30 Kasım – 2 Aralık 2018, Samsun, Türkiye.
- Erdoğan, B., (2018). Dikdörtgen tank içerisindeki çalkantı hareketinin deneysel ve nümerik olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay*.
- Ferrand, J., Favreau, L., Joubaud, S., & Freyssingeas, E. (2016). Wetting Effect on Torricelli's Law. *Physical review letters*, 117(24), 248002.
- Ferro, V., & Aydin, I., (2018). Testing the outflow theory of Malcherek by slit weir data. *Flow Measurement and Instrumentation*, 59, 114-117.
- Forbes, L. K., and Hocking, G. C. (2007). Unsteady draining flows from a rectangular tank. *Physics of Fluids*, 19(8), 082104.
- Forbes, L. K., and Hocking, G. C. (2010). Unsteady draining of a fluid from a circular tank. *Applied Mathematical Modelling*, 34(12), 3958-3975.
- Geeter, C., Huynh, R., & Marotta, S. M. (2018). *One-Dimensional Unsteady Flow From A Cylindrical Draining Tank*.
- Gharehbaghi, A., Birol, K. A. Y. A., & Saadatnejadgharahassanlou, H. Numerical Simulation of Two Dimensional Unsteady Flow By Total Variation Diminishing Scheme. *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 8(3), 1-14.
- Güzel, H., Duman K., Yılmaz A., Dal K., Kocaman S., (2019). Tabanında dikdörtgen Orifis Bulunan Bir Tankın Boşalma Süresinin Analizi. *iSTE-CE'2019, International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering*, 13-15 Haziran 2019, İskenderun, Hatay, Türkiye
- Gürsoy G., (1999). Lüle, orifis ve venturimetrede basınç kaybının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Hajikandi, H., Vosoughi, H., & Jamali, S. (2018). Comparing the scour upstream of circular and square orifices. *International Journal of Civil Engineering*, 16(9), 1145-1156.
- Hicks, A., & Slaton, W. (2014). Determining the coefficient of discharge for a draining container. *The Physics Teacher*, 52(1), 43-47.
- Hussain, A., Ahmad, Z., & Ojha, C. S. P. (2016). Flow through lateral circular orifice under free and submerged flow conditions. *Flow Measurement and Instrumentation*,



52, 57-66.

- Kocaman, S., (2007). Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kocaman, S., & Ozmen-Cagatay, H. (2015). Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall. *Journal of Hydrology*, 525, 1-12.
- Libii, J. N. (2003). Mechanics of the slow draining of a large tank under gravity. *American Journal of Physics*, 71(11), 1204-1207.
- Lubin, B. T., and Springer, G. S. (1967). The formation of a dip on the surface of a liquid draining from a tank. *Journal of Fluid Mechanics*, 29(2), 385-390.
- Mathew, S., Patnaik, B. S. V., & Tharakan, T. J. (2014). Numerical study of air-core vortex dynamics during liquid draining from cylindrical tanks. *Fluid Dynamics Research*, 46(2), 025508.
- Memon, K., Siddiqui, A., & Shah, S. (2017). Exact Solution of Tank Drainage for Newtonian Fluid with Slip Condition. *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*, 49(2).
- Ng, K. C., Ng, Y. L., & Lam, W. H. (2013). Particle simulation and flow sequence on drainage of liquid particles. *Computers & Mathematics with Applications*, 66(8), 1437-1451.
- Oğuday M., 2010. PIV tekniği kullanılan orifis etrafındaki akış karakteristiği. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi
- Padulano, R., & Del Giudice, G. (2018). Vertical Drain and Overflow Pipes: Literature Review and New Experimental Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6), 04018010.
- Penney, W. R., Servoss, S. L., Hestekin, C. N., & Clausen, E. C. (2016). A Simple Sharp-edged Orifice Demonstration for the Fluid Mechanics Classroom.
- Prasad, C. V., Subbarao, C. H. V., & King, P. (2018), Efflux Time-Mini Review. 12th International Conference on Recent Innovations in Science, Engineering and Management, 17th February 2018, Sri Venkateswara College of Engineering and Technology, Etcherla, Srikakulam.
- Reddy, G. V. S. K., & Subbarao, C. V. (2011). Comparison of Efflux Times between cylindrical and spherical tank through an exit pipe. *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 3(2), 61-68.
- Sadrizadeh, S., Nejad Ghafar, A., Halilovic, A., & Håkansson, U. (2017). Numerical, experimental and analytical studies on fluid flow through a Marsh funnel. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 10(6), 1501-1507.

- Sakri, F. M., Ali, M. S. M., Salim, S. A. Z. S., and Muhamad, S. (2017, August). Numerical Simulation of Liquids Draining From a Tank Using OpenFOAM. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 226, No. 1, p. 012152). IOP Publishing.
- Saleta, M. E., Tobia, D., & Gil, S. (2005). Experimental study of Bernoulli's equation with losses. *American journal of physics*, 73(7), 598-602.
- Sommerfeld, J. T. (1990). Drainage of conical tanks with piping. *Chem. Eng. Educ.*, 24, 145-147.
- Sohn, C. H., Gowda, B. L., & Ju, M. G. (2008). Eccentric drain port to prevent vortexing during draining from cylindrical tanks. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 45(3), 638-640.
- Storey B.D. (2019). Analysis of a draining tank. URL: <http://faculty.olin.edu/bstorey/Notes/tank.pdf>. Son Erişim Tarihi: 18.05.2018.
- Streeter, V. L., E. B. Wylie, and K. W. Bedford. 1998. *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, Inc. 9ed.
- Subbarao, C. V., Appala Naidu, D., & King, P. (2015). Mechanics of slow draining of large cylindrical tank under gravity.
- Subbarao, C. H. V., Rao, P. S., Raju, G. M. J., & Prasad, V. S. R. K. (2012). Review on efflux time. *Int. J. Chem. Sci*, 10(3), 1255-1270.
- Subbarao, C. V., Rao, P. S., Raju, G. M. J., & VSR, K. P. (2012). Slow draining of large spherical tank under gravity. *Chemical Engineering, Elixir International Journal*, 50, 10346-10348.
- Van Dongen, D. B., & Roche, E. C. (1999). Efflux time from tanks with exit pipes and fittings. *International Journal of Engineering Education*, 15(3), 206-212.
- Vatankhah, A. R., & Mirnia, S. H. (2018). Predicting Discharge Coefficient of Triangular Side Orifice under Free Flow Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(10), 04018030.
- W R David ve P P Anirudh (2018), Water Flow Experiments Single and Double Bottle Systems, *Resonance*, 23(1), 69-81.
- Zhou, Q. N., and Graebel, W. P. (1990). Axisymmetric draining of a cylindrical tank with a free surface. *Journal of Fluid Mechanics*, 221, 511-532.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :DUMAN, Kardelen  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 11.06.1992, Gaziantep  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon :  
 Faks :.  
 e-mail : kardelen.duman.mfbe16@iste.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016
Lise	Özel Çağdaş Bilgi Okulları	2010

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2017	VERİM YAPI DENETİM	Kontrol Mühendisi
2017-2018	STATİK YAPI İNŞ. LTD. ŞTİ	Saha Mühendisi
2018-Halen	IRMAK – DOĞA MÜHENDİSLİK.	Proje Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Yayınlar

1. Duman, K., Yılmaz, A., Dal, K., Güzel, H., Kocaman, S., (2018). Tabanında Kare Orifis Bulunan Bir Tankın Boşalma Süresinin Deneysel ve Sayısal Analizi. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 30 Kasım – 2 Aralık 2018, Samsun, Türkiye.

### Hobiler

Müzik, Yüzme

**DİZİN**

---

**A**

Açısal Kalibrasyon · 19,21

---

**F**

FLOW-3D 9, 24, 27, 57, 60,63  
Fps ( frame per second) 17

---

**G**

Görüntü işleme 12, 13, 14, 15,  
16, 17, 18, 19, 20,  
47, 48, 49, 50, 51, 52, 61, 62,  
63, 64

---

**İ**

*Image pro plus* 18

---

**K**

Kalibrasyonlar · 15

---

**N**

Nümerik 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11,  
24,25,43,45,46,47,48,49,50,51  
,55,56,59,60,61,62,63

---

**M**

Metrik kalibrasyon · 19

---

**R**

RANS · 2, 9, 25

---

**S**

serbest yüzey · 3, 5, 19,25

---

**Y**

Yatay kalibrasyon · 17



**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

