

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TABAK TİPİ GİRDAP KIRICILARIN TANKIN BOŞALTILMASI
ESNASINDAKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tamer Alp ERENDUR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

OCAK 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TABAK TİPİ GİRDAP KIRICILARIN TANKIN BOŞALTILMASI
ESNASINDAKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tamer Alp ERENDUR
(503211127)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sertaç ÇADIRCI

OCAK 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PLATE TYPE
VORTEX BREAKERS DURING TANK DISCHARGE**

M.Sc. THESIS

**Tamer Alp ERENDUR
(503211127)**

Department of Mechanical Engineering

Heat and Fluid Program

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Sertaç ÇADIRCI

JANUARY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 503211127 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tamer Alp ERENDUR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TABAK TİPİ GİRDAP KIRICILARIN TANKIN BOŞALTILMASI ESNASINDAKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Sertaç ÇADIRCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Adil YÜCEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sabiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18.12.2024**
Savunma Tarihi : **07.01.2025**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yapılan tez çalışmasının başta ülkemiz olmak üzere sektörde fayda oluşturacak bir sonuç çıkarması ve eğitimim esnasında elde ettiğim birikim ile ülkeme faydalı bir mühendis olmayı umut ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan beni destekleyip eğitim almam için ellerinden geleni yapan annem Halime Erendur ve babam Ömer Erendur'a tüm içtenliğimde teşekkür ederim.

Tez sürecinde yardımlarından ötürü ROKETSAN A.Ş çalışanlarından Doç. Dr. Mehmet Nazım Tomaç, Alp Kalıpçılar ve Mert Dinler başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma; tez danışmanım Doç. Dr. Sertaç Çadircı'ya teşekkürler.

Tezimin içerisinde gerçekleştirdiğim testler için bana altyapı imkânı sağlayan ROKETSAN A.Ş ve çalışanlarına da teşekkür ederim.

Aralık 2024

Tamer Alp ERENDUR
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tahliye Esnasında Gaz Girişi.....	2
1.1.1 Dip oluşumu.....	2
1.1.2 Girdap kaynaklı gaz girişi.....	3
1.2 Literatür Taraması.....	4
1.3 Tezin Amacı: Tabak Tipi Girdap Kırıcıların Tahliye Esnasında Gaz Girişine Etkisinin İncelenmesi.....	8
2. HAD ÇALIŞMALARI.....	9
2.1 HAD Doğrulama Çalışmaları.....	9
2.2 Tabak Tipi Girdap Kırıcının HAD Analizi.....	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1 Yapılan Deneylerin ve İncelenecek Parametrelerin Belirlenmesi.....	21
3.2 Ölçülen ve Kıyaslanacak Parametrelerin Belirlenmesi.....	23
3.3 Deney Düzenineğinin Oluşturulması.....	24
3.4 Deneyin Yapılışı.....	29
3.5 Deney Sonuçları.....	30
3.5.1 Durgun hal için deney sonuçları.....	30
3.5.2 Açısal hızlı başlangıç koşulu için deney sonuçları.....	35
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49



KISALTMALAR

Dbd	: Dakika Başına Devir
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
D/2	: Tahliye çapının yarısı kadar çaplı dairesel yüzeye sahip girdap kırıcı
1D	: Tahliye çapıyla eşdeğer çaplı dairesel yüzeye sahip girdap kırıcı
2D	: Tahliye çapının 2 katı çaplı dairesel yüzeye sahip girdap kırıcı
3D	: Tahliye çapının 3 katı çaplı dairesel yüzeye sahip girdap kırıcı
4D	: Tahliye çapının 4 katı çaplı dairesel yüzeye sahip girdap kırıcı



SEMBOLLER

A	: Alan
a_n	: Karışımdaki n. fazın hacim oranı
F_x	: X yönündeki dış kuvvet
F_y	: Y yönündeki dış kuvvet
F_z	: Z yönündeki dış kuvvet
g	: Yer çekimi ivmesi
H_c	: Kritik yükseklik
Q	: Debi
k	: Türbülans kinetik enerji
P	: Basınç
r	: Yarıçap
t	: Zaman
u	: X yönündeki hız
V	: 3 boyutlu hız vektörü
v	: Y yönündeki hız
w	: Z yönündeki hız
Ω	: Girdap (çevrinti)
ω	: Açısal hız
ρ	: Yoğunluk
ρ_m	: Karışımın yoğunluğu
ρ_n	: Karışımdaki n. fazın yoğunluğu
μ_m	: Karışımın dinamik viskozitesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı çözüm ağlarında bulunan kritik yükseklik değerleri **12**





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dip oluşum kontrol hacmi (Lubin ve Springer 1967)	3
Şekil 1.2 : Çarpı tipi girdap kırıcının üstten ve önden görünümü (Uki ve diğ. 2012). 5	5
Şekil 1.3 : Ağ tipi girdap kırıcı ve test düzeneği (Gowda ve diğ. 1996)	6
Şekil 1.4 : Sırasıyla 4 kanatlı, 8 kanatlı ve gözenekli duvarlı tabak tipi girdap kırıcı (Mahyari ve diğ. 2012)	6
Şekil 1.5 : Farklı tahliye geometrilerinin girdap yüksekliğine etkisi (Ramamurthi ve Tharakan 1993)	7
Şekil 2.1 : Çözümü gerçekleştirilecek geometri	9
Şekil 2.2 : Çözüm açısından bağımsızlık çalışması sonuçları	13
Şekil 2.3 : Çözüm ağı yapısı.....	13
Şekil 2.4 : Dip başlangıcındaki analiz konturu	14
Şekil 2.5 : Gaz girişinin başladığı kritik yükseklikteki analiz konturu	14
Şekil 2.6 : Gaz girişinden sonraki analiz konturu	15
Şekil 2.7 : Sıvı yüksekliğinin zamanla değişimi	15
Şekil 2.8 : Debinin zamanla değişimi	16
Şekil 2.9 : 4 çap boyutunda girdap önleyiciye sahip tank geometrisi	17
Şekil 2.10 : Girdap önleyici cihazlı tank çözüm ağı	17
Şekil 2.11 : Gaz girişinden önceki kontur	18
Şekil 2.12 : Gaz girişinin başladığı kritik yükseklikteki analiz konturu	18
Şekil 2.13 : Sıvı yüksekliğinin zamanla değişimi	19
Şekil 2.14 : Sıvı yükseklikleri değişimi	19
Şekil 2.15 : Debinin zamanla değişimi	20
Şekil 3.1 : D girdap kırıcı teknik resmi	22
Şekil 3.2 : Sırasıyla 2D ve 3D girdap kırıcı	22
Şekil 3.3 : Girdap önleyici cihazlar	22
Şekil 3.4 : Tankın üstten ve yandan görünümü.....	25
Şekil 3.5 : Borulama ve vana bağlantıları	25
Şekil 3.6 : Kamera ve test tankı	26
Şekil 3.7 : D/2 girdap kırıcının tankın içerisine yerleştirilmiş hali.....	26
Şekil 3.8 : 2D girdap kırıcının tankın içerisine yerleştirilmiş hali	26
Şekil 3.9 : Doğru akımlı elektrik motoru	27
Şekil 3.10 : Güç Kaynağı	27
Şekil 3.11 : Karıştırıcı düzeneği.....	28
Şekil 3.12 : Tankın içerisine yerleştirilmiş karıştırıcı.....	28
Şekil 3.13 : Boş tank durgun hal kritik zaman ve yükseklik	31
Şekil 3.14 : D/2 girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik	31
Şekil 3.15 : D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik	31
Şekil 3.16 : 2D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik	32
Şekil 3.17 : 3D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik	32
Şekil 3.18 : 4D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik	33
Şekil 3.19 : Durgun hal için kritik yükseklik değerleri	33

Şekil 3.20 : Durgun hal için kritik zaman değerleri	34
Şekil 3.21 : Durgun hal için tahliye süreleri	34
Şekil 3.22 : 200 mm 40 devir/dakika girdap boyutlarının değişimi sırasıyla D, 2D ve 3D girdap kırıcılar.....	35
Şekil 3.23 : 40 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.....	36
Şekil 3.24 : 30 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.....	37
Şekil 3.25 : 20 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.....	37
Şekil 3.26 : 10 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.....	38
Şekil 3.27 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik yükseklik değerleri	39
Şekil 3.28 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik yükseklik değerleri	39
Şekil 3.29 : 300 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik yükseklik değerleri	40
Şekil 3.30 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik zaman değerleri	40
Şekil 3.31 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik zaman değerleri	41
Şekil 3.32 : 300 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda kritik zaman değerleri	41
Şekil 3.33 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda tahliye süreleri	42
Şekil 3.34 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda tahliye süreleri	42
Şekil 3.35 : 300 mm sıvı seviyesi için farklı açısallarda tahliye süreleri	43

TABAK TİPİ GİRDAP KIRICININ TANKIN BOŞALTIMASI ESNASINDAKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tezde içi sıvı dolu silindirik bir tankın tahliyesi esnasında tahliye hattına gaz girmesi olayı ve tabak tipi girdap önleyicilerin gaz girme üzerine olan etkilerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Silindir şekle sahip, alt yüzeyinin ortasında tahliye deliği bulunan bir tankta tahliyenin açılması ile hidrostatik basınç gereği debi sıfırdan başlayarak bir değere kadar hızlıca gelir. Sonrasında tankın içerisindeki sıvının azalması ile bu debi yavaş bir şekilde azalır. Deliğin çapı tankın çapından küçük olduğu için deliğin içerisinde akışkan daha hızlıdır ve tankın tahliye olması için deliğin olduğu yerde basıncın düşmesi gerekmektedir. Bu düşüş tankın tahliyesi esnasında belirli bir noktada sıvı gaz yüzeyinin bozularak gazın tahliye hattına gitmesine sebebiyet verir.

Tankın tahliyesi sırasında gaz girme olayını açıklayan iki önemli parametre bulunmaktadır. Bunlardan ilki tahliye hattına gaz girişinin gerçekleştiği andaki sıvının tank tabanına olan yüksekliğidir. Bu yüksekliğe kritik yükseklik ismi verilir. Diğer önemli parametre ise gaz girme olayının gerçekleştiği süredir. Bu süre kritik süre olarak adlandırılır ve tahliyenin başladığı andan ilk gaz girişinin gerçekleştiği ana kadar ölçülür.

Tez çalışmasında öncelikli olarak numerik çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde önceden yapılan deneysel çalışmalardan biri hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsü ANSYS Fluent programı ile tekrar çözülmüş, doğrulaması yapılmış ve gaz girme olayı incelenmiştir. Numerik çalışmaların çok zaman alması, bilgisayar gücü istemesi ve deneysel çalışma imkânı olması sebebiyetiyle çalışmaya deneysel olarak devam edilmiştir. Deney düzeneğinde tankın hatta çabuk bağlantı olarak adlandırılan bağlantısı ile bağlı olması, hattın uzunluğu ve küresel vana gibi bilgisayar ortamında modellenmesi zorlu ve yüksek hesaplama gücü isteyen özellikleri sebebiyle test çalışmalarının numerik doğrulaması yapılmamıştır.

Tezde kullanılan deney düzeneği 500 mm çapında ve 500 mm yüksekliğinde silindirik bir tank, tankın alt kısmının ortasında yer alan 35 mm çapında bir tahliye deliği, bu deliğin devamında borulamalar ve bir vanadan oluşmaktadır. Tankın içerisindeki sıvının tamamını dikey bir şekilde görebilecek bir kamera sabitlenmiştir. Tank üzerindeki cetvel sayesinde istenilen su seviyesinde doldurulur ve vana ile tahliye edilir. Kamera anlık olarak suyun yüksekliğini çeker. Tankın içerisindeki sıvıyı karıştırabilmek için elektrik motor ve sabitleme elemanlarından oluşan bir düzende bulunmaktadır. Sıvı olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

Testlere öncelikli olarak sıvının durgun olduğu koşul ile başlanmıştır. Bu koşul için 3 farklı su yüksekliği 10, 20 ve 30 cm seçilmiştir. Su istenilen seviyeye getirildikten sonra su doldurma bırakılarak suyun durgunlaşması için 1 saat beklenmiştir. Burada amaç suyun içerisinde tahliye esnasında dönmeye sebebiyet verebilecek herhangi bir

hareketin kalmamasıdır. 1 saat beklemenin ardından kamera kaydı açılarak su vanası açılmıştır. Böylece suyun tahliyesi başlamıştır. Su tahliye olurken kritik yükseklik değerine gelince tankın tahliye hattına gaz girişi gözlemlenmiştir. Bu kritik yükseklik ve gaz girişinin gerçekleştiği zaman olan kritik zaman kayıt edilmiştir. Durgun halde tankta da gaz girişi gözlemlendikten sonra gaz giriş yüksekliğini düşürmek ve gaz giriş zamanını daha geç zamanlara taşımak için girdap önleyici cihazlar kullanılmıştır. 3 boyutlu yazıcıdan üretilen üstü dairesel plaka olan girdap önleyici cihazların boyutları tahliye çapının yarısından başlayarak 1,2,3 ve 4 katı olacak şekilde tasarlanmıştır. Burada amaç girdap önleyici cihazın çapının tahliye çapının oranıyla etkisini incelemektir. Tank boşken ve 5 farklı girdap önleyici cihaz tankın tahliye deliğinin üstüne yerleştirilmişken 3 farklı sıvı yüksekliğinde testler 3 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Testleri 3 tekrar yapılmasının sebebi çevresel etkiler sebebiyle testin etkilenmesi ihtimalini ortadan kaldırmaktır. Yapılan 3 tekrarlı testlerden herhangi birinde bir farklılık görülmesi durumunda dördüncü bir test yapılmış ve en az 3 eş değer test sonucu elde edilmiştir. Hiçbir koşul için beşinci testin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Sıvının durgun haliyle yapılan deney sonuçları tabak çapının artışı ile kritik yüksekliğin azaldığı, girdap önleyici cihaz kullanmanın özellikle 2 çap boyuttan sonra etkisi olduğunu ve 4 çap boyutunda girdap önleyici cihaz ile neredeyse kendi yüksekliği kadar gaz girişini engellediğini göstermektedir. Durgun halde iken yapılan testlerde literatürdeki verilere paralel olarak kritik yükseklik değerinin başlangıç su seviyesiyle kayda değer bir değişim göstermediğini göstermiştir.

Tahliye esnasında tahliye edilen tankın dönmesi veya yatay kuvvetlere maruz kalması tahliye esnasında hızlı bir şekilde girdap oluşturacak ve bu girdap tankın merkezinde basınç düşüşüne sebebiyet vererek daha erken gaz girişine neden olacaktır. Bu yüzden sıvının durgun olarak başladığı koşullarda testler tamamlandıktan sonra sıvının başlangıç koşulunda açılma hızına sahip olduğu durum için testler gerçekleştirilmiştir

Durgun hale benzer bir şekilde 3 farklı su seviyesinde bu işlemi gerçekleştirmek için devri voltaj ile ayarlanabilen bir elektrik motoru vidalı bir mekanizmanın üzerine yerleştirilmiştir. Bu mekanizma sayesinde elektrik motorun çıkışına takılan tankın çapının yarısı uzunluğunda bir karıştırıcı plaka farklı su yüksekliklerinde suyun içerisine tam olarak yerleştirilmiştir. Testler 10, 20, 30 ve 40 devir/dakika olmak üzere 4 farklı başlangıç açılma hızı koşulunda gerçekleştirilmiştir. Karıştırıcı vidalı sistem ile sıvı seviyesine kadar ayarlandıktan sonra 2 dakika boyunca belirlenen hızda sıvı karıştırılmıştır. 2 dakikalık karıştırma işlemi bittikten sonra karıştırıcının girdabı engellememesi veya sıvının açılma hızını sönmemesi için elektrik motorun kapatılmasıyla eş zamanlı olarak karıştırıcı sıvının içerisinden çıkarılmıştır. Karıştırıcının çıkarılmasından sonra beklenmeden tahliye vanası açılmıştır. Böylece açılma hızının sıvının tank yüzeyiyle sürtünmesi kaynaklı yavaşlamasının etkisi en aza indirilmiştir. Durgun hale benzer bir şekilde kamera ile gaz girişi gerçekleşen sıvı yüksekliği ve süre kaydedilmiştir.

Test sonuçlarına göre hiçbir girdap kırıcı kullanılmaz ise en ufak bir açılma hızında bile kritik yüksekliğin çok büyük ölçüde arttığı ve gaz girmesi kaynaklı tahliye sürelerinin önemli ölçüde yükseldiği gözlemlenmiştir. Sıvıya başta verilen açılma hızının artışı ile tüm girdap önleyiciler olan ve olmayan koşullarda gaz giriş yüksekliği artmıştır. Bu sonuçlar tankın maruz kaldığı kuvvetlerin gaz girişine önemli etkileri olduğunu göstermektedir.

Kritik yükseklik hiçbir girdap kırıcı olmayan durumdan tahliye ile eş değer çaplı girdap kırıcıya geçince çok önemli ölçüde düşüş göstermiş olup bu girdap kırıcıdan tahliye çapının 2 katı olan girdap kırıcıya geište de gene önemli bir ölçüde düşüş göstermiştir. Yani girdap kırıcıların çaplarının artmasıyla oluşan iyileşme giderek azalmaktadır. 3 çaplı girdap kırıcı ile 4 çap girdap kırıcı arasındaki fark oldukça düşüktür. Bu yüzden çalışmada tahliye çapının 5 veya daha fazla katı girdap kırıcı kullanılmamıştır.

Tahliye çapının 4 katı girdap kırıcı kullanılan durumda 10 ve 20 rpm karıştırma değerlerinde durgun hale benzer bir şekilde gene neredeyse kendi yüksekliğine kadar gaz girişini engellemiştir. 4D olarak adlandırılan bu girdap kırıcının dşk sarsıntılar kaynaklı oluşan girdapların oluşturduğu gaz girişini önemli ölçüde engelleyeceğini göstermektedir.





EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PLATE TYPE VORTEX BREAKERS DURING TANK DISCHARGE

SUMMARY

In this thesis, gas intake into the discharge line during the discharge of a cylindrical tank filled with liquid and the effects of plate type vortex breakers on gas intake were investigated.

In a cylindrical tank with a drain hole in the center of the bottom surface, the flow rate starts from zero and increases rapidly up to a value due to hydrostatic pressure when the drain is opened. Then this flow rate decreases slowly with the decrease of the liquid in the tank. Since the diameter of the hole is smaller than the diameter of the tank, the fluid is faster in the hole and the pressure must drop where the hole is in order for the tank to drain. This drop causes the liquid gas surface to disrupt at a certain point during the drainage of the tank and cause the gas to go to the discharge line.

There are two important parameters that explain the gas entry during the drainage of the tank. The first of these is the height of the liquid to the bottom of the tank at the time of gas entry into the discharge line. This height is called the critical height. The other important parameter is the time when gas entry occurs. This time is called the critical time and is measured from the moment the drain starts until the first gas entry occurs.

In the thesis study, numerical studies are carried out primarily. A previous experimental study in the literature was re-solved and validated with the computational fluid dynamics solver ANSYS Fluent program and the gas entry phenomenon was examined. Since numerical studies are highly time consuming, computer power demanding and experimental work is possible, the study was continued experimentally. No numerical validation of the test studies was performed due to the fact that the tank in the experimental setup is connected to the line with a quick coupling connection, the length of the line and features such as ball valves, which are difficult to model in computer environment and require high computational power.

The experimental setup used in the thesis consists of a cylindrical tank with a diameter of 500 mm and a height of 500 mm, a drain hole with a diameter of 35 mm located in the center of the bottom of the tank, with piping and a valve following this hole. A camera is fixed to the tank to be able to see all the liquid in the tank vertically. The tank is filled to the desired water level with the help of the ruler on the tank and discharged with the valve. The camera instantly captures the height of the water. In order to rotate the liquid in the tank, there is a device consisting of an electric motor, mixer and fixing elements. As liquid, water was used.

The tests were started with the condition in which the liquid was stagnant. For this condition, 3 different water heights of 10, 20 and 30 cm were selected. After the

water was filled to the desired level, the water filling was stopped and 1 hour was waited for the water to stagnate. The aim here is to prevent any movement in the water that may cause rotation during draining. After 1 hour of waiting, the camera recording was turned on and the water valve was opened. Thus, the drainage of the water started. During water drainage, when the critical height was reached, gas entry into the drain line of the tank was observed. This critical height and the critical time when gas entry occurred were recorded. After gas entry was observed in the tank at stagnant state, anti-vortex devices were used to reduce the gas entry height and delay the gas entry time to later times. 3D printed anti-vortex devices with a circular plate on top were designed to be 1,2,3 and 4 times the size of the discharge diameter starting from half of the discharge diameter. The aim here is to examine the effect of the diameter of the anti-vortex device on the ratio of the discharge diameter. The tests were carried out in 3 repetitions at 3 different heights and 5 Different anti-vortex devices were placed on top of the drain hole of the tank. Reason for performing the tests 3 times is to eliminate the possibility of the test being affected due to environmental impacts. In case of a difference in any of the 3 repeated tests, a fourth test was performed and at least 3 equivalent test results were obtained. A fifth test was not required for any condition.

Stagnant liquid test results show that the critical height decreases with the increase of the plate diameter, the use of an anti-vortex device has an effect especially after 2 diameters, and at 4 diameters, the anti-vortex device prevents gas ingress almost as much as its own height. The tests carried out in the stationary state showed that the critical height value did not show a significant change with the initial water level in compliance with the data in the literature.

The rotation of the tank or exposure to horizontal forces during evacuation will quickly create a vortex and this vortex will cause a pressure drop in the center of the tank, resulting in earlier gas entry. For this reason, after the tests were completed in the conditions where the liquid started at rest, tests were carried out for the case where the liquid had radial velocity in the initial condition.

Similar to the stagnant state, an electric motor, whose speed can be adjusted by voltage, is placed on a mechanism with screws to perform this process at 3 different water levels. By this mechanism, an agitator plate which is half the length of the diameter of the tank attached to the outlet of the electric motor was fully positioned in the water at different water heights. The tests were carried out at 4 different initial radial velocity conditions of 10, 20, 30 and 40 rpm. After the stirrer was adjusted to the liquid level with the screw system, the liquid was stirred at the determined speed for 2 minutes. After 2 minutes of stirring, the mixer was removed from the liquid simultaneously with the shutdown of the electric motor in order to prevent the mixer from blocking the vortex or damping the radial velocity of the liquid. After the removal of the mixer, the discharge valve was opened without waiting. Thus, the effect of radial velocity deceleration due to friction with the tank surface was minimized. Similar to the steady state, the height of the liquid and the time of gas entry were recorded with a camera.

According to the test results, it is observed that if no vortex breaker is used, the critical height increases significantly even at the slightest radial velocity and the discharge times increase significantly due to gas intake. With the increase of the initial radial velocity of the liquid, the gas inlet height increased for all conditions

with and without vortex breakers. These results show that the applied forces on the tank have a significant effect on the gas entry.

The critical height decreased significantly from the case with no vortex breaker to the case with a vortex breaker with a diameter equal to the discharge, and again decreased significantly from this vortex breaker to a vortex breaker with a diameter twice the diameter of the discharge. So, the improvement gradually decreases with increasing diameter of the vortex breakers. The difference between a 3-diameter vortex breaker and a 4-diameter vortex breaker is small. Therefore, vortex breakers of 5 or more times the discharge diameter were not used in the study. In the case where 4 times the discharge diameter vortex breaker was used, it still prevented gas entry almost up to its own height, similar to the steady state at 10 and 20 rpm mixing values. This shows that this vortex breaker, called 4D, will significantly prevent the gas intake caused by the vortices generated by low forces.





1. GİRİŞ

İnsanlık yıllar boyunca sıvıları farklı kaplarda saklama ihtiyacı duymuştur. Bu sakladıkları sıvıları ise gerektiği zaman kullanmak için genellikle alt kısımlarına tahliye delikleri açmışlar ve tahliye deliklerinden istedikleri ölçüde almaya çalışmışlardır. Sıvıyı tanktan alırken alınmak istenen sıvının üzerinde bulunan akışkan alınmak istenmez. Fakat doğa kanunları gereği sıvı tahliye edilirken belirli bir yükseklikten sonra sıvıyla beraber sıvının üzerindeki itici akışkan olarak adlandırılan akışkanın da girişi gerçekleşir. Bu gaz girişinin gerçekleştiği yüksekliğe kritik yükseklik ve gaz girişinin başladığı zamana kritik zaman adı verilir (Lubin ve Springer, 1967).

Tanktaki sıvıyı saf bir şekilde almak farklı sektörler için kritik öneme sahiptir. Bu sektörlerin başında uzay ve havacılık çalışmaları gelir. Sıvı yakıtlı itki sistemlerinde motora yakıt ve oksitleyici beslemek için belirli hacimlerde tanklarda yanıcı ve oksitleyici depolanır. Motora beslenecek yanıcı ve oksitleyicinin gazsız olması kritik öneme sahiptir. Eğer gaz motora giriş yaparsa oksitleyici yanıcı oranı bozulur. Bu durum motorun kararsız çalışmasına hatta infilak etmesine bile sebebiyet verebilir. Bu durumu önlemek için yakıt yönetim cihazları kullanılabilir. Yakıt ile gaz arasında bariyer görevi gören diyafram, kese ve piston gibi yakıt yönetim cihazları hem yer çekimsiz ortamlarda hem de yer çekimi olan ortamlarda tanktan motora gaz gidiş tamamen engellenebilir (Hardwig, 2016). Fakat yer çekimli ortamlarda gerçekleştirilecek operasyonlarda yakıt tanklarına bu tarz yakıt yönetim cihazlarını kullanarak yapmak pahalı veya uygun olmayan bir çözüm olabilir.

Gaz girişinin kritik olduğu bir diğer örnek ise kimya sanayisinde ayrıştırma işlemleridir. Gaz ve sıvının karışımının ayrıştırılması için siklon yapıda döndürülerek hızlandırılır. Bu hızlandırmanın sonucunda hafif olan gaz ortada birikirken, sıvı kenarlara yapışarak aşağıya doğru akar. Fakat sıvının açılma hızı ile oluşan girdap sıvı çıkış hattına gaz alımı oluşturabilir (Uki ve diğ. 2012).

Tahliye esnasında gaz girişi durumunu önlemek için girdap kırıcı veya girdap önleyici cihaz olarak adlandırılan yapılar kullanılır. Bu yapılar genellikle tankın

tahliye hattına bağlandığı en alt kısmına yerleştirilir. Farklı tiplerde girdap önleyici cihazlar farklı koşullar için itici akışkanın tahliye hattına ulaşmasını önemli ölçüde engeller. Girdap önleyici cihaz tasarımı yapmak ve kullanmak için öncelikle gazın tahliye hattına girmesinin fiziğini anlamak önemlidir.

1.1 Tahliye Esnasında Gaz Girişi

Tahliye esnasında gaz girişini etkileyen en önemli faktörlerden birisi sıvının tahliyeden önceki durumudur. Tank dış etkiler tarafından kuvvete maruz kalırsa tankın içerisindeki sıvı çalkalanabilir veya tankın merkezi etrafında dönmeye başlayabilir. Bu etkiler tahliye esnasında girdap oluşumuna sebebiyet verebilir (Abramson ve diğ. 1962). Bu yüzden durgun hal ve farklı dönme hızlarındaki halleri incelemek daha doğru olacaktır.

1.1.1 Dip oluşumu

Tankın içerisindeki sıvının başlangıç koşulunda durgun olması halinde sıvının tahliyesi esnasında açısız hız kazanmasına sebep olacak herhangi bir etki olmayacaktır. Bu durumda sıvı belirli bir seviyeye gelene kadar gaz girişi gerçekleşmeden tahliye olacak sonrasında ise sıvı gaz ara yüzeyi tankın dibine doğru çökecektir. Bu çöküntü dip olarak adlandırılır.

Navier stokes denklemini del operatörü ile çarpaz çarpım yapılarak girdap (çevrinti) taşınım denklemi elde edilir. Girdap taşınım denklemi Denklem 1.1'de verilmiştir. Buna göre eğer ilk koşulda açısız hız yok ise, denklemin 2 tarafı da 0 olacak ve açısız hız dış bir etki olmaksızın üretilmeyecektir. Bu yüzden başlangıç koşulunda açısız bir hız ya da onu üretecek bir etki olmaması durumunda sadece dip oluşumu gerçekleşir.

$$\frac{D\vec{\Omega}}{Dt} = \nu \nabla^2 \vec{\Omega} + (\vec{\Omega} \cdot \nabla) \vec{V} \quad (1.1)$$

Bazı kabuller ve basitleştirmeler ile dip oluşumunun gerçekleşeceği yükseklik hesaplanabilir. Bu hesaplama hata payı olsa da ilk tasarım aşamalarında kullanılabilecek önemli bir parametre olur.

Bu durumu Lubin ve Springer (1967) açıklamak için çalışmalar yürütmüştür. Yaptıkları çalışmada farklı sıvılar kullanarak farklı başlangıç yüksekliklerinde sıvıyı

sebepl olur. Denklem 1.1'de sağ taraftaki son terim girdabın gerilme terimidir. Akış başlaması ile akış yönündeki hız sıfırdan hızlı bir şekilde bir değere kadar artacak ve girdabın etkisi zamanla artacaktır.

Tahliye deliği çapı tankın çapından küçüktür. Bu yüzden tankın dikey yüzey alanı her zaman deliğin dikey yüzey alanından büyük olacaktır. Tankın tahliyesi boyunca toplam debinin sabit kalması gerektiği için x yönündeki hızın tahliye deliğine gelince artması gerekmektedir. Denklem 1.3 ve denklem 1.4'ten sıvın tank içerisindeki ve tahliye çapındaki hesaplarını vermektedir.

$$\dot{m} = \rho VA = \rho V_{tank} A_{tank} = \rho V_{delik} A_{delik} \quad (1.3)$$

$$V_{delik} = V_{tank} \frac{A_{tank}}{A_{delik}} \quad (1.4)$$

Böylece tahliye deliğindeki açısal hızın artması ile başlangıçta olan girdap etkisi büyüyecektir. Yang ve diğ. (2013) bu durumu bir buz patencisinin kendi etrafında dönerken kollarını kapatması ile dönme hızının artmasına benzetmiştir. Açısal momentumun korunması için tanktan tahliye deliğine geçişteki daralma açısal hızı arttırmalıdır.

Tankın içerisindeki sıvın açısal hızı tahliye ile artacak ve bu da gaz girişini artıracaktır. Çünkü sıvının açısal hızı santrifüj etkisi ile tankın merkezinde basıncın düşmesine sebebiyet verecektir. Denklem 1.5 açısal hız ile oluşacak basınç düşüşünü göstermektedir.

$$\nabla p = \rho \omega^2 r \quad (1.4)$$

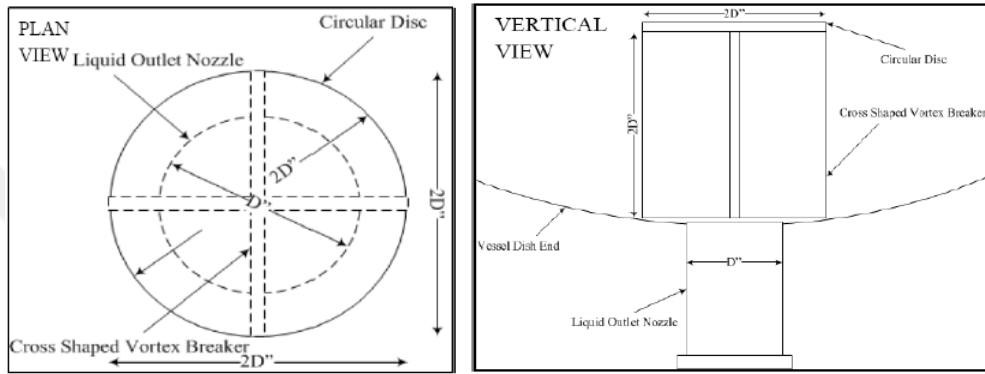
1.2 Literatür Taraması

Literatür araştırması farklı tipte girdap önleyici cihazların araştırılması ile başlamıştır. Farklı tiplerdeki girdap önleyici cihazların ve gaz girişini engelleyen yöntemlerin oluşturdukları etkiler incelenmiştir.

Çarpı tipi girdap kırıcılar sık kullanılan bir girdap kırıcı türüdür. Abramson ve diğ. (1962) akış yönüne dik ve paralel olacak şekilde çarpı tipi plakalar kullanmışlardır. Çalışmaların sonucunda akış yönüne dik olarak yerleştirilen plakalar çalkantıyı önlerken, girdap oluşumunu %50 ile %70 arasında nleyebilmiştir. Akışa dik

plakaların konik bir şekilde kullanılması ise çalkantıyla beraber girdap oluşumunu da engelleyebilmiştir. Akışa paralel olarak yerleştirilen çarpı şeklindeki plakalar ise girdap oluşumunu engellemiştir.

Uki ve diğ. (2012) bir gaz-sıvı ayrıştırıcısı tasarımında çarpı tipi girdap kırıcıyı tercih etmişlerdir. Bu girdap kırıcının uzunlukları tahliye çapının 2 katı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1.2 girdap kırıcının üstten ve önden görünümü göstermektedir. Sonrasında bu girdap kırıcı için yaptıkları HAD analizleri ile gaz girişini önlediğini gözlemlemişlerdir.



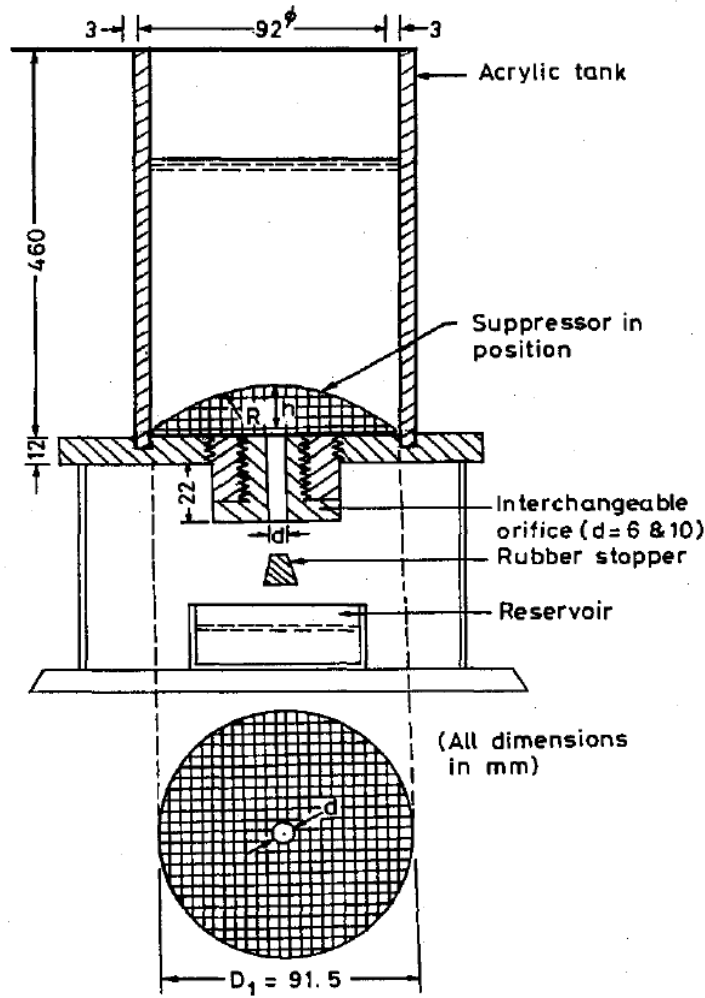
Şekil 1.2 : Çarpı tipi girdap kırıcının üstten ve önden görünümü (Uki ve diğ. 2012).

Gowda ve diğ. (1996) çalışmasında tank tahliye deliği üzerine küresel bir şekilde ağ yapısı koyulmuştur. Şekil 1.3 kullanılan test düzeneği ve girdap kırıcıyı göstermektedir. Bu ağın delik boyutları ve yarım kürenin çapının değişikliği ile gaz girişine etkisini incelemiştir. Çalışmalarında farklı açısal hızlar ile sıvı karıştırılmış ve sonrasında tahliye başlatılarak gaz girişi incelenmiştir.

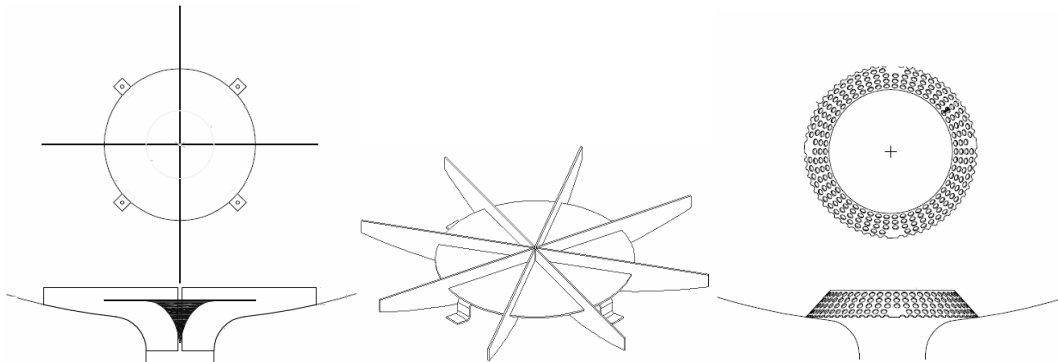
Mahyari ve diğ (2012) kritik yükseklik için analitik bir yaklaşım geliştirmiş ve tabak tipi girdap kırıcılar için numerik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneysel olarak 4 kanatlı, 8 kanatlı ve gözenekli duvarları olan tabak tipi girdap kırıcıların testlerini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 1.4'te bu girdap kırıcıların resimleri verilmiştir. Plakaların çapı tahliye çapının 3 katı çapta alınmış ve tankın tabandan çapın 0,25 katı üzerine yerleştirilmiştir. Plaka çapının 3 katı olmasının en iyi sonucu vereceği belirtilmiştir. Kritik yükseklik düz plaka ile %11 azalırken, 4 adet kanat olan düz plaka ile %18, delikli düz plaka ile ise %30 oranında azalmıştır.

Abdala ve Berenyi (1969) çalışmasında tankın tahliyesi esnasında gaz girişini yer çekimli ve yer çekimsiz ortam simülasyonu için atış kulesinde test etmiştir. Test

sonuçlarına göre yer çekimsiz ortamlarda kritik yüksekliğin aynı koşullardaki normal yer çekimli ortamdan daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 1.3 : Ağ tipi girdap kırıcı ve test düzeneği (Gowda ve diğ. 1996).

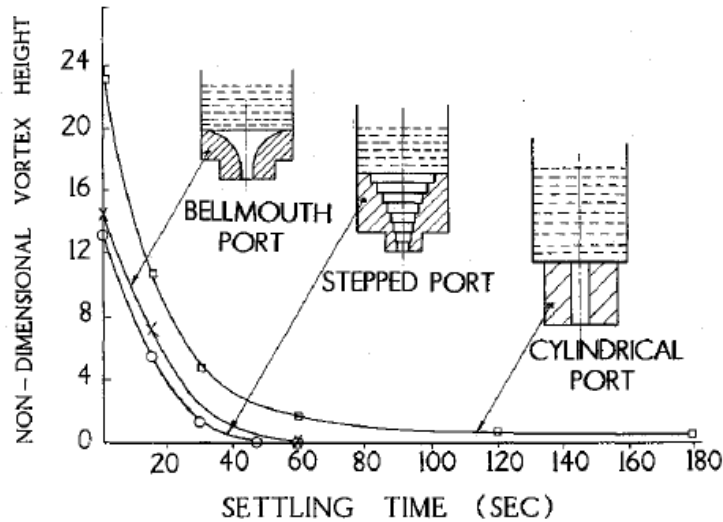


Şekil 1.4 : Sırasıyla 4 kanatlı, 8 kanatlı ve gözenekli duvarlı tabak tipi girdap kırıcı (Mahyari ve diğ. 2012).

Kumar ve diğ. (2016) çalışmasında farklı tahliye ve tank çapı oranlarında sıvının açısal hızını değiştirerek deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sabit tank çapı için

tahliye çapının artışı ile gaz girişinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yani tahliye çapının artışı ile kritik yükseklik artmaktadır. Tahliye deliğini merkez yerine eksantrik olarak yerleştirerek kritik yüksekliğin azaltılabileceğini gözlemlemişlerdir. Çap oranının 0,03 değerinin üzerine çıktığında girdap oluşumunun gerçekleştiği ve tahliye deliğinin 11 mm merkezden kayık olması durumunda çap oranının 0,04 değerine kadar girdap oluşumu olmadığını gözlemlemişlerdir. Bu da tahliye çapının eksantrik olmasının kritik yükseklikte azalmayı sağlayabileceğini göstermektedir.

Ramamurthi ve Tharakan (1993) çalışmasında farklı sıvılar için delik çapları ve tank çaplarında tahliye esnasında oluşan girdabın yüksekliğini incelemişlerdir. Tahliye çapının artışı ile girdabın yüksekliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Girdap yüksekliğinin tahliye çapına olan oranını boyutsuz girdap yüksekliği olarak kabul etmişler ve tahliye deliğinin geometrisini değiştirerek bu değer değişimini incelemişlerdir. Şekil 1.5 kullanılan farklı tahliye geometrilerini ve boyutsuz girdap sayısına olan etkisini göstermektedir. Boyutsuz girdap sayısının değişimi karıştırma işlemi tamamladıktan sonra beklenen süre değiştirilerek yazılmıştır. Buna göre tankın karıştırma işlemi bittikten sonra beklenen sürenin artması ile girdap yüksekliği önemli ölçüde azalmaktadır. Kademeli ve zil benzeri tahliye hattı kullanmak girdap yüksekliğini azaltılmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.5 : Farklı tahliye geometrilerinin girdap yüksekliğine etkisi (Ramamurthi ve Tharakan 1993).

Kabiri-Samani ve Borghei (2013) çarpı tipi girdap kırıcının farklı uzunluklarda ve açılarda olması durumu için testler gerçekleştirmiş ve testlerin sonucunda çarpı tipi girdap kırıcı için kullanılabilecek bir korelasyon elde etmeye çalışmıştır.

Zhou ve Graebel (1990) çalışmasında tankın hızlı tahliye edilmesi durumunda dip oluşumun tankın merkezinden başlayarak sonrasında hızlıca ilerleyeceğini fakat daha yavaş tahliyelerde geriye doğru jet şeklinde vuracağını numerik olarak elde etmiştir. Benzer durum bu çalışmada yapılan girdap kırıcıların olduğu ve düşük sıvı seviyeleriyle başlatılan testlerde gözlemlenmiştir.

1.3 Tezin Amacı: Tabak Tipi Girdap Kırıcıların Tahliye Esnasında Gaz Girişine Etkisinin İncelenmesi

Sıvının hem durgun olduğu hem de başlangıçta açısız hızının olduğu koşullarında tahliye esnasındaki gaz girişini engellemek kritik öneme sahiptir. Bu gaz girişini önlemek için farklı tiplerde girdap kırıcılar kullanılmaktadır. Bu girdap önleyici cihazların gaz girişini önleme performansları tasarımlarına göre farklılık gösterir. Bu yüzden tasarım yapılırken parametreler doğru seçilmeli ve gaz girişini engellemesi sağlanmalıdır. Gaz girişini önlemede başarılı bir yöntem olan tabak tipi girdap kırıcıların kullanımı yaygındır. Çalışmada tabak tipi girdap kırıcıların farklı parametreler altında performansları değerlendirilmiştir. Bu parametreler sıvının ilk açısız hızı, başlangıç sıvı yüksekliği ve girdap kırıcının çapıdır.

çizilmiştir. Böylece daha sağlıklı çözüm ağı oluşturma işlemi gerçekleştirilebilecektir.

2.1.2 Çözüm Yöntemi

HAD analizi için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Tankın içerisindeki sıvı miktarı zamanla azalacağı için tankın çözüm zamana bağlı olarak yapılmalıdır. Çözümde tankın içerisinde sıvı bulunmakta sıvının üzeri ve alt kısmı ise atmosfere açık şekilde modellenmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında Mayhari ve diğ. (2010), Basu ve diğ. (2013), Robinson ve diğ. (2010) ve Sakri ve diğ. (2017) çok fazlı çözüm için VOF yöntemini türbülans için k-epsilon modelini kullanmıştır. Yapılan analizlerde literatüre paralel olarak çok fazlı çözüm için VOF yöntemi seçilmiştir. Türbülans modeli k-epsilon kullanılmıştır.

2.1.2.1 Yönetici Denklemler

Bu bölümde kullanılan yöntemlere ait kütle korunumu, momentum denklemleri ve türbülans denklemleri verilmektedir.

İlk denklem kütle korunum denkleminin hacim oranlarıyla olan halidir. Akış sıkıştırılmaz ve herhangi bir ısı alışverişi söz konusu olmadığı için denklemde yoğunluk teriminin değişimi olmayacak denklem 2.3'e dönüşecektir.

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_k \vec{V}) = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2.3)$$

Burada m alt indisi karışım özelliğini gösterir ve n endeksi her bir akışkanı temsil etmektedir. Akışkanların toplam hacimsel kesirleri 1 olmalıdır.

$$\sum \rho_m = a_n \rho_n \quad (2.4)$$

$$\sum a_n = 1 \quad (2.5)$$

Denklem 2.6 momentum denklemidir.

$$\frac{\partial \rho_m u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m u \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla u) + \rho_m g_x + F_x \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \rho_m v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m v \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla v) + \rho_m g_y + F_y \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \rho_m w}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m w \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla w) + \rho_m g_z + F_z \quad (2.8)$$

Türbülans çözümünün elde edilmesi için RANS modeliyle momentum denklemini tekrar düzenlenmek gerekir. Hız ifadeleri değiştirildikten sonra gerekli düzenlemeler yapılarak momentum denklemine yeni eklenen terim ile tekrar oluşturulur.

$$u = \bar{u} + u' \quad (2.9)$$

$$v = \bar{v} + v' \quad (2.10)$$

$$w = \bar{w} + w' \quad (2.11)$$

$$p = \bar{p} + p' \quad (2.12)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial \rho_m \bar{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \bar{u} \vec{V}) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla \bar{u}) + \rho_m g_x + F_x + \nabla \cdot (-\rho_m \overline{u'V'}) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial \rho_m \bar{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \bar{v} \vec{V}) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla \bar{v}) + \rho_m g_y + F_y + \nabla \cdot (-\rho_m \overline{v'V'}) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial \rho_m \bar{w}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \bar{w} \vec{V}) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \nabla \cdot (\mu_m \nabla \bar{w}) + \rho_m g_z + F_z + \nabla \cdot (-\rho_m \overline{w'V'}) \quad (2.16)$$

Boussinesq yaklaşımı kullanılarak Reynolds gerilim terimi ve türbülans kinetik enerjisi hesaplanılır.

$$-\rho_m \overline{V_i'V_j'} = \mu_T \left(\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} m \delta_{ij} k \quad (2.17)$$

$$k = \frac{1}{2} \overline{V_i'V_i'} \quad (2.18)$$

Denklem 2.19 ve denklem 2.20 türbülans çözümü için k ve ϵ için modelleri göstermektedir.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k \vec{V}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right) + 2\mu_t \vec{S} \cdot \vec{S} - \rho \epsilon \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \epsilon \vec{V}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t \vec{S} \cdot \vec{S} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2.20)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.21)$$

Sabitlerin deneysel değerleri de denklem 2.22’de gösterildiği gibi alınır.

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3 \quad (2.22)$$

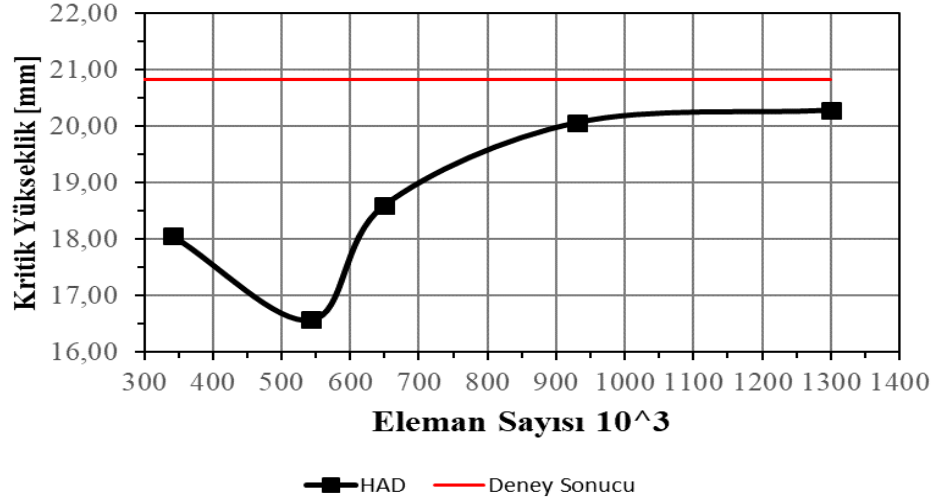
2.1.3 Çözüm Ağı

Çözümün ağdan bağımsız hale gelmesi için çözüm ağı analizi yapılmıştır. Ağdaki eleman sayısı 332880’den başlayarak kademeli olarak 1303700’e kadar artırılmıştır. Çizelge 2.1 çözüm ağıyla sonuçtaki değişiklikleri göstermektedir. Bu sonuçlara göre 944411 çözüm ağının yeterli olduğu kanaatine varılmıştır. Ayrıca sonuçlar Şekil 2.2’de de görülebilir.

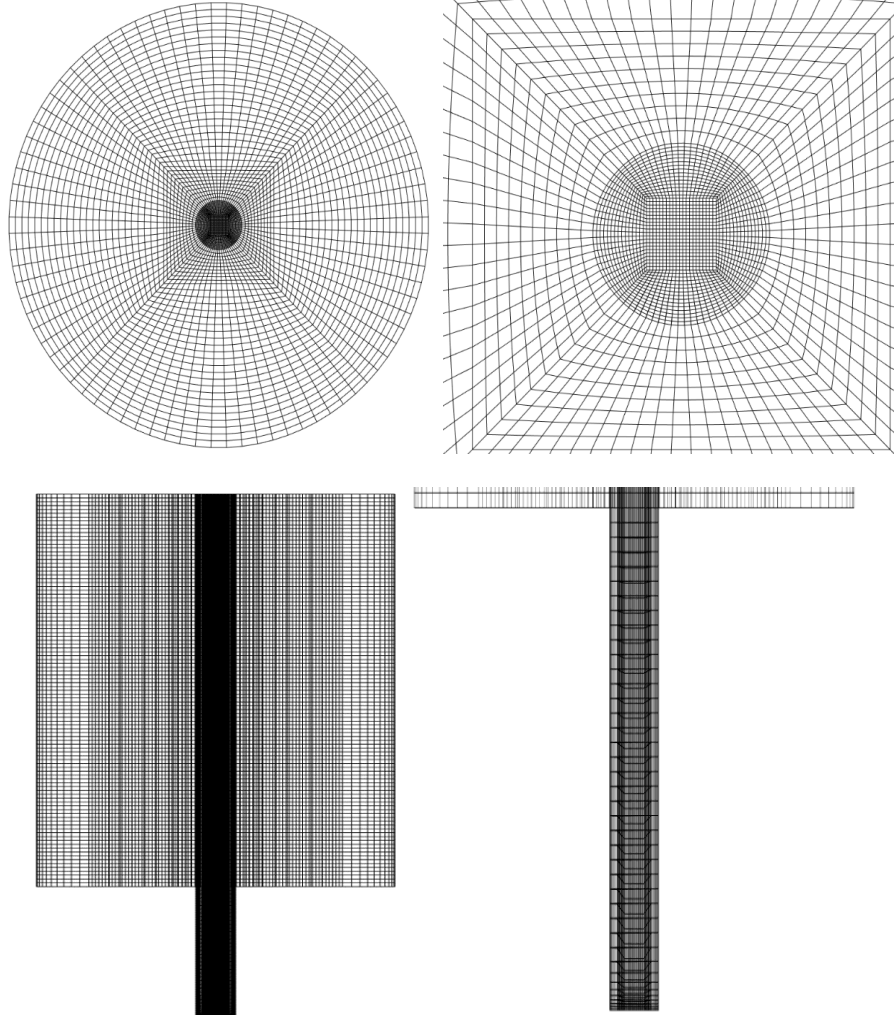
Çizelge 2.1 : Farklı çözüm ağlarında bulunan kritik yükseklik değerleri.

	Eleman Sayısı [bin]	Kritik yükseklik [mm]	Kritik Yükseklik Deneysel Hata [%]
Deneysel	-	20.83	-
Ağ 1	341	18.06	13.30
Ağ 2	543	16.57	20.45
Ağ 3	650	18.60	10.71
Ağ 4	930	20.06	3.70
Ağ 5	1300	20.28	2.64

Şekil 2.3 çözüm ağı yapısının üstten ve yandan görüşünü göstermektedir. Izgara olarak adlandırılan yöntem kullanılırken merkezdeki eleman sayısı artırılmıştır. Böylece çözüm için daha kritik olan ve gaz girişinin gerçekleştiği merkez bölgesinde gaz girişi daha rahat yakalanabilmektedir.



Şekil 2.2 : Çözüm ağından bağımsızlık çalışması sonuçları.

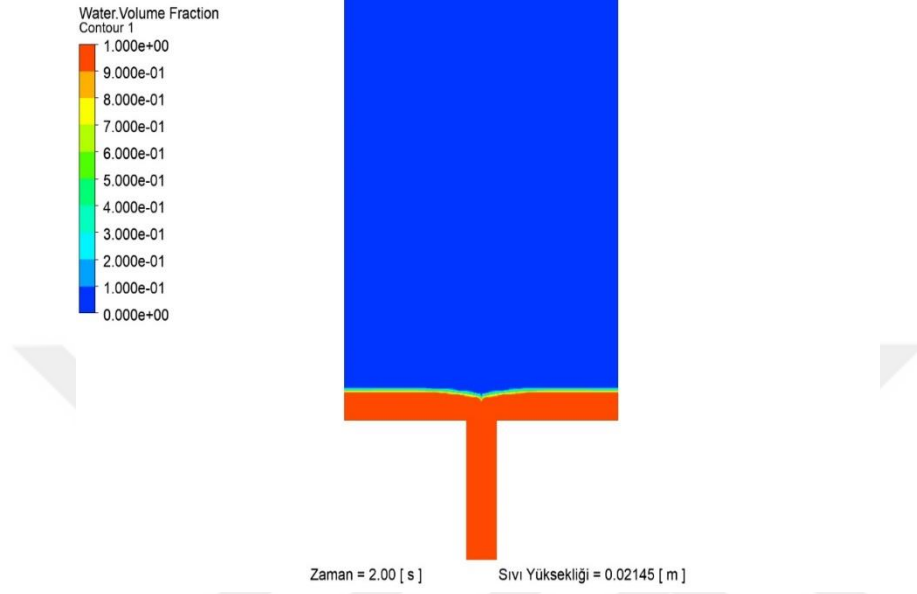


Şekil 2.3 : Çözüm ağı yapısı.

Çözüm ağının kalite değerleri minimum diklik 0,72, maksimum çarpıklık 0,47 ve maksimum hücre en boy oranı 8,42 şeklindedir.

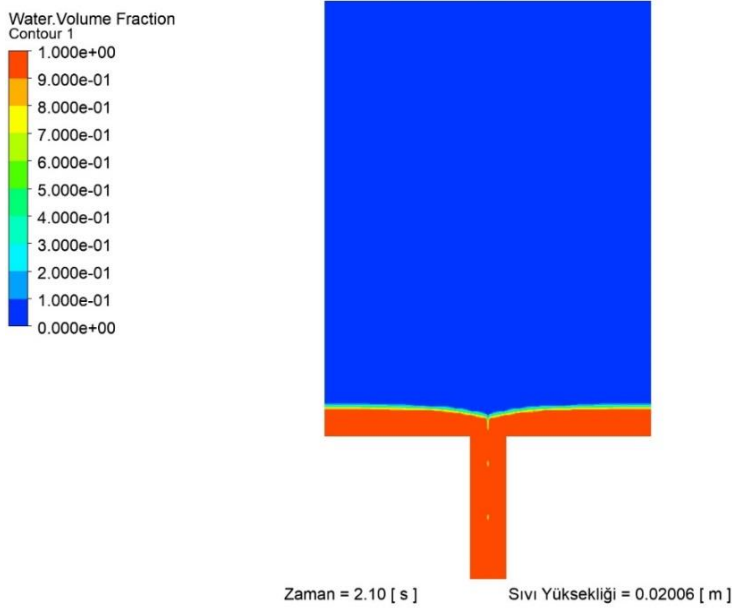
2.1.4 Sonuçlar

Sıvının farklı anlardaki yüksekliği alınmıştır. şekil 2.4 dip oluşmadan önceki ana ait görseli göstermektedir. Sıvı gaz ara yüzü bozulmaya ve gaz sıvının içerisine doğru kmeye başlamıştır.



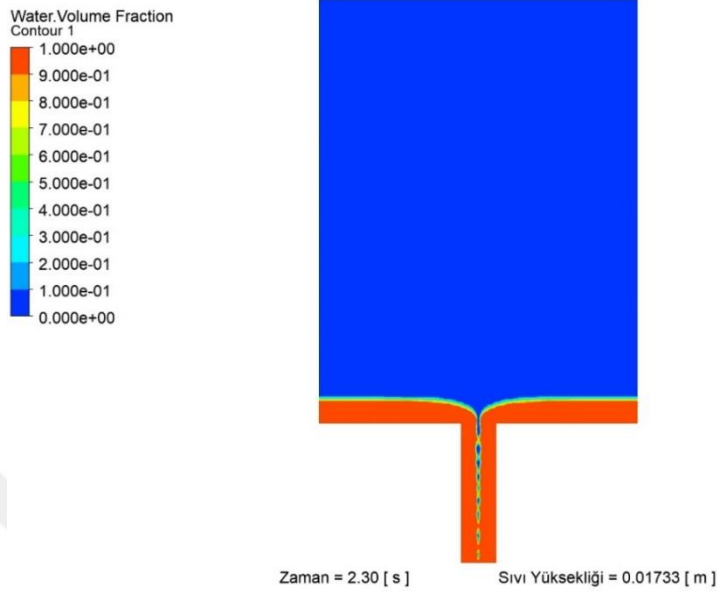
şekil 2.4 : Dip başlangıcındaki analiz konturu.

şekil 2.5 ise gaz girişinin gerçekleştiği kritik yüksekliği göstermektedir. Bu andan itibaren tahliye hattına tamamen gaz girişi gerçekleşecektir. Bu zm ağı için kritik yükseklik 20,06 mm olarak kmıştır.



şekil 2.5 : Gaz girişinin başladığı kritik yükseklikteki analiz konturu.

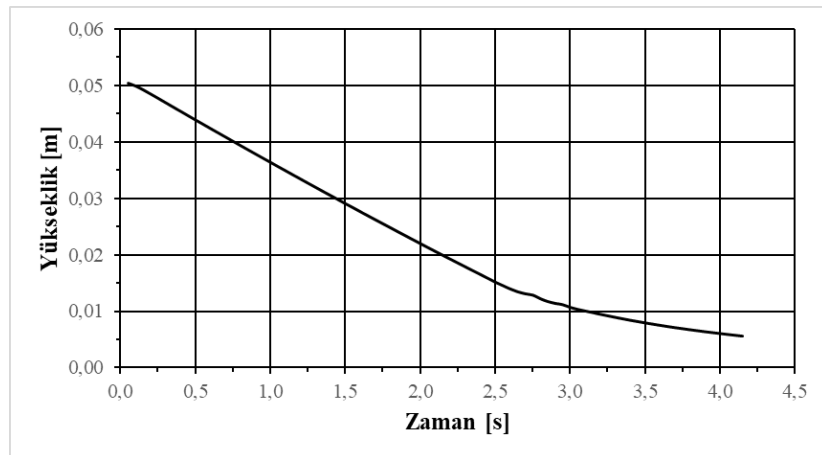
Kritik yükseklik geçilip gaz girişi başladıktan sonra ise gaz girişi devamlı hale gelmekte ve büyüyerek hatta girmektedir. Şekil 2.6 ise gaz hattında ilerleyişini göstermektedir.



Şekil 2.6 : Gaz girişinden sonraki analiz konturu.

Kritik yükseklik 20,83 mm olması gerekirken 20,06 mm çıkmıştır. Bu da %3,7'lik bir hataya tekabül etmektedir.

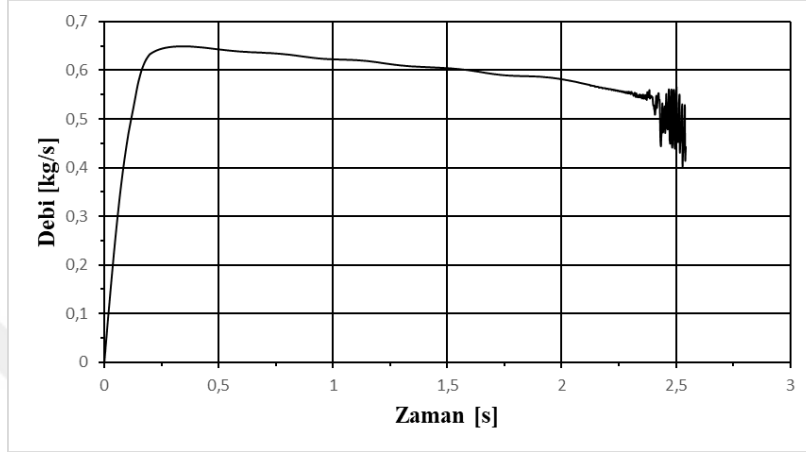
Şekil 2.7 sıvı yüksekliğinin zamanla değişimini göstermektedir. Sıvı yüksekliğindeki iniş lineer bir şekilde ilerlerken kritik yüksekliğin altına inilmesi ile sıvı yüksekliği azalma hızı azalmaya başlamıştır.



Şekil 2.7 : Sıvı yüksekliğinin zamanla değişimi.

Bu durum debiden de anlaşılabilir. Şekil 2.8 debinin zamanla değişimini göstermektedir. Akışın başlaması ile debi sıfırdan hızlı bir şekilde artmıştır.

Sonrasında sıvı miktarının azalması ile çok yavaş bir azalma eğilimindedir. Lubin ve Springer (1967) çalışmasında belirtilen debinin sabit kabul edilme durumu bu sebepten ötürüdür. Kritik yüksekliğe gelinip gaz girişinin başlaması ile debi çalkantılı bir hal almış ve daha hızlı azalmıştır. Çünkü gaz girişi kaynaklı sıvının geçebileceği efektif alan düşmektedir.



Şekil 2.8 : Debinin zamanla değişimi.

Lubin ve Springer (1967) çalışmasında kabul ettikleri debiyi paylaşmamıştır. Gaz girişi gerçekleşmeden önceki debiyi kullanarak denklemlerinden kritik yüksekliği hesaplamışlardır. Analiz sonucuna gaz girişi başlayan 2,10 saniyede kütsel debi 0,57 kg/s değerindedir. Hacimsel debi $0.00057 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak denklem 1.2'e uyguladığımızda kritik yükseklik 22,04 mm çıkmaktadır. Bu da deney sonucuyla %5,8 hataya tekabül etmektedir.

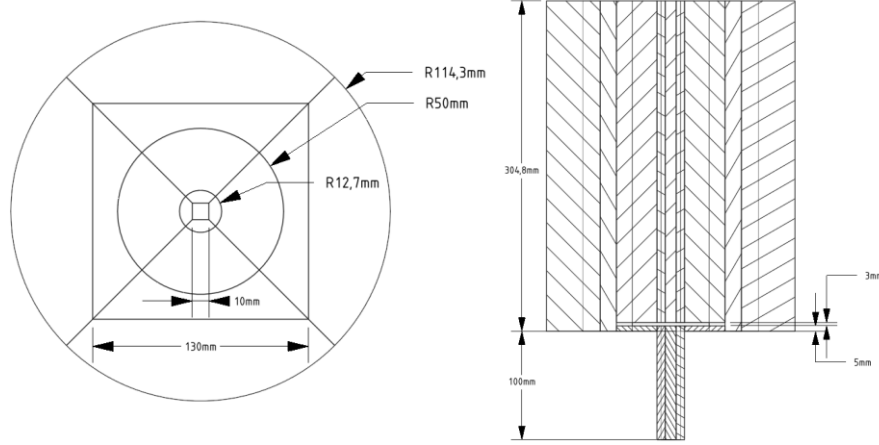
Hem verilen denklem hem de numerik çözüm test ile düşük bir hata oranı ile sonuç vermiştir. Burada tankın hemen altından tahliye edilmesi durumu bulunmaktadır. Gerçek sistemlerde borulama bağlantıları ve başka basınç kayıp elemanlarının bulunması sebebiyle denklem eşleşmeyebilir.

2.2 Tabak Tipi Girdap Kırıcının HAD Analizi

Yapılan çözüm açısından bağımsızlık çalışmalarından sonra aynı geometri üzerinde tabak tipi girdap kırıcı ile analiz edilmiştir. Analiz deneysel sonuçta en iyi sonucu veren 4 tahliye çapı boyutunda girdap kırıcı ile yapılmıştır. Çözüm yöntemi olarak doğrulama çalışmasıyla aynı yöntem kullanıldığı için çözüm yöntemi bu bölümde tekrar verilmemiştir. Değişen geometri, çözüm ağı ve sonuçlar aktarılmıştır.

2.2.1 Geometri

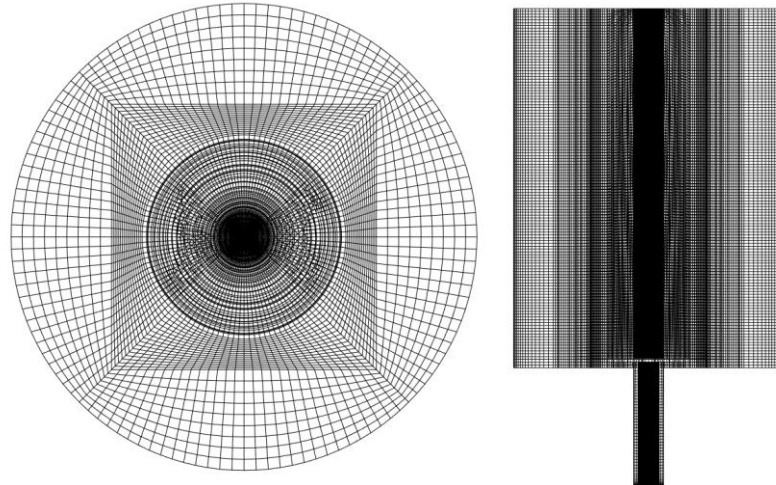
Şekil 2.9 Space Claim programında oluşturulan geometrinin üstten ve yandan kesit görünümünü göstermektedir. Tank geometrisi aynı kalırken tankın alt yüzeyinin 5 mm üzerine 3 mm kalınlığında 100 mm çapında girdap önleyici yapı eklenmiştir. Geometri çizilirken önceki çizimdeki gibi çözüm ağı atmayı kolaylaştıracak kare yapılar eklenmiştir.



Şekil 2.9 : 4 çap boyutunda girdap önleyiciye sahip tank geometrisi.

2.2.2 Çözüm Ağı

Çözüm ağı yapısı oluşturulurken ağdan bağımsızlık çalışmaları ışığında 1073338 düğüm ve 1053196 elemana sahip bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Şekil 2.10 kullanılan çözüm ağını göstermektedir

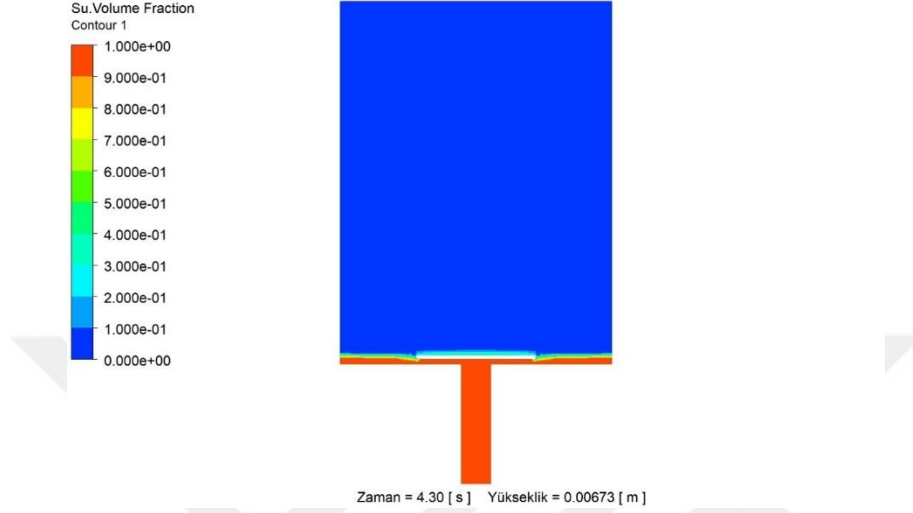


Şekil 2.10 : Girdap önleyici cihazlı tank çözüm ağı.

Çözüm ağının kalite değerleri minimum diklik 0,63, maksimum çarpıklık 0,5 ve maksimum hücre en boy oranı 14,5 şeklindedir.

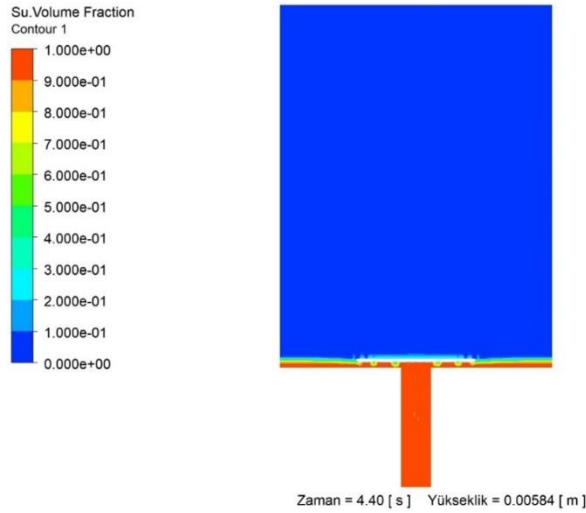
2.2.3 Sonuçlar

Sıvının farklı anlardaki yüksekliği alınmıştır. şekil 2.11 dip oluşmadan önceki ana ait görseli göstermektedir. Sıvı seviyesi girdap önleyicinin yüksekliğine kadar inmiş ve yan taraflardan çökmeler başlamıştır.



şekil 2.11 : Gaz girişinden önceki kontur.

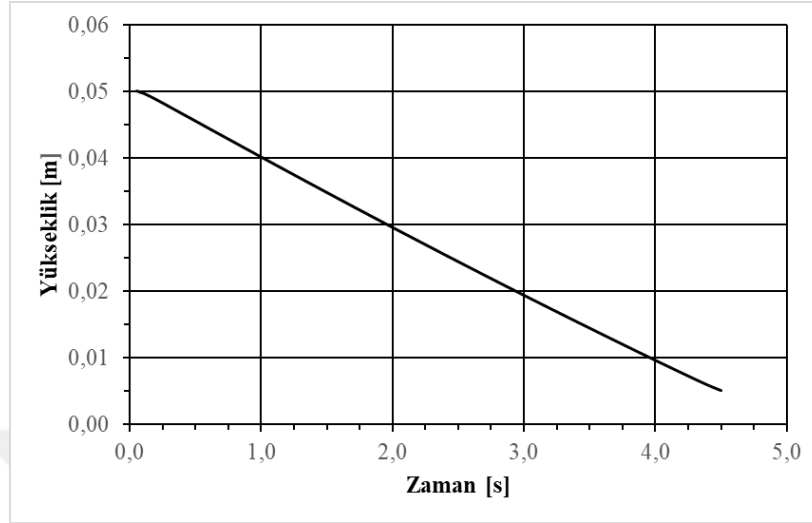
şekil 2.12 ise gaz girişinin gerçekleştiği kritik yüksekliği göstermektedir. Sürekli halde olmasa ve baloncuk şeklinde olsa bile kritik yükseklik olarak ilk gaz girişi gerçekleştiği yükseklik alınmıştır. Kritik yükseklik 5,84 mm olarak çıkmıştır.



şekil 2.12 : Gaz girişinin başladığı kritik yükseklikteki analiz konturu.

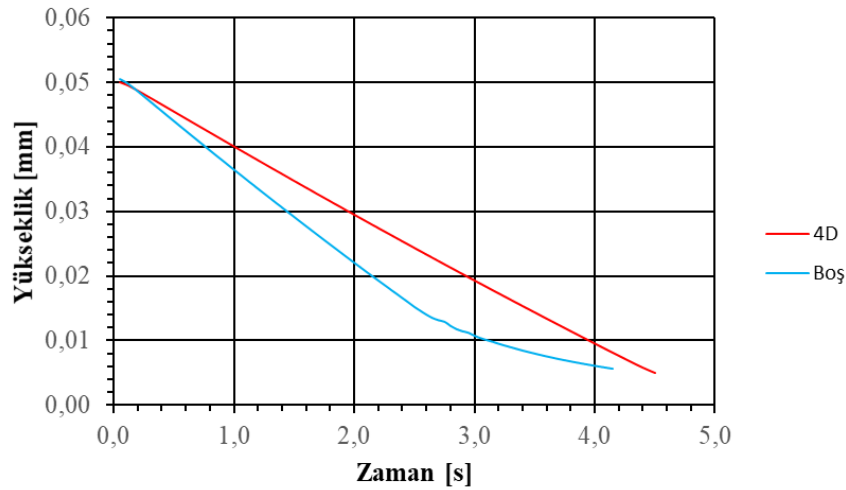
Kritik yükseklik 20,83 mm değerinden 5,84 mm değerine kadar düşmüştür. Bu da yaklaşık %72 oranında bir düşüşü gösterir. Tabak tipi girdap kırıcıların gaz girişini önemli bir lde azaltabileceği görünmektedir.

Şekil 2.13 sıvı yüksekliğinin zamanla değişimini göstermektedir. Sıvı yüksekliği lineer bir şekilde inmiştir. Gaz girişi gerçekleşmediği için girdap önleyici olmayan durum gibi sıvı yüksekliği aniden azalmamıştır.



Şekil 2.13 : Sıvı yüksekliğinin zamanla değişimi.

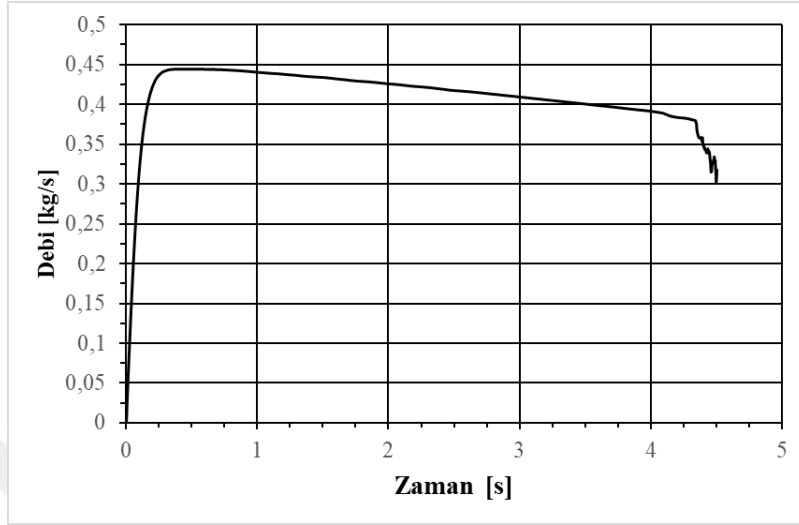
Şekil 2.14 boş tank ve 4 çaplı girdap kırıcı olan durumdaki sıvı yüksekliğinin değişimini göstermektedir. Basınç kayıplarının düşük olması sebebiyle boş tank daha hızlı bir şekilde tahliyeye başlarken yüksekliği daha hızlı azalmaktadır. Fakat gaz giriş ile tahliye hızı azalmaktadır. Son durumda ise aralarında 0,5 saniyelik fark oluşmuştur.



Şekil 2.14 : Sıvı yükseklikleri değişimi.

Şekil 2.15 debinin zamanla değişimini göstermektedir. Boş tanka benzer bir şekilde debi sıfırdan hızlıca yükselmiş sonrasında sıvı yüksekliğinin azalması ile düşüşe geçmiştir. Gaz girişinin gerçekleştiği anda gene benzer bir şekilde hızlı bir şekilde

düşüş yaşanmıştır. Boş tankta gaz girişi öncesi kütleli debi ortalama 0,60 kg/s iken girdap önleyici ile yapılan analizde 0,40 kg/s olmaktadır. Bu da yaklaşık %33'lük bir düşüşü göstermektedir.



Şekil 2.15 : Debinin zamanla değişimi.

Analiz sonucuna gaz girişi başlayan 4,40 saniyede kütleli debi 0,35 kg/s değerindedir. Hacimsel debi 0,00035 m³/s olarak denklem 1.2'e uyguladığımızda kritik yükseklik 18,12 mm çıkmaktadır. Bu da analiz sonucundan oldukça uzaktır. Buradan verilen denklemin tahliye hattında veya tankta basınç düşüşü oluşturacak herhangi bir nesnenin bulunmasıyla doğru sonuç çıkarmadığı görülmektedir. Ayrıca denklemin girdap kırıcıların performanslarının değerlendirilmesi için kullanılması doğru sonuç vermeyecektir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bilgisayar üzerinden HAD analizleri yapmak farklı parametrelere bakmak ve herhangi bir üretim yapmadan sonuç elde etmek için başarılı olsa da çoğu zaman maliyetli olabilir. Gerçek hayatta sistemler karmaşıktıkça bilgisayar destekli hesaplamalar yapmak için çok fazla hesaplama gücüne ihtiyaç duyulabilir. Bu yüzden problemin deneysel olarak kurgulanmasının mümkün olduğu durumlarda deney yapmak hem zaman kazancı sağlarken hem de numerik çözümlerde oluşan hataları ortadan kaldırır.

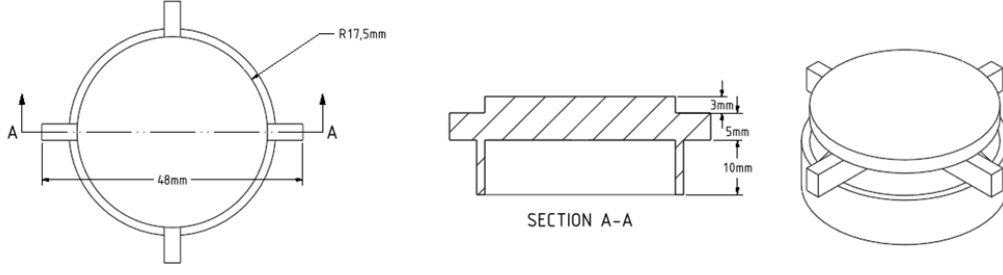
3.1 Yapılan Deneylerin ve İncelenecek Parametrelerin Belirlenmesi

Deneysel çalışmada incelenecek ve değiştirilecek parametrelerin belirlenmesi önemlidir. Değişiklik yapılan parametreler çalışmanın amacına uygun olmalı ve incelenecek parametreler üzerinde etkisi olması gerekmektedir.

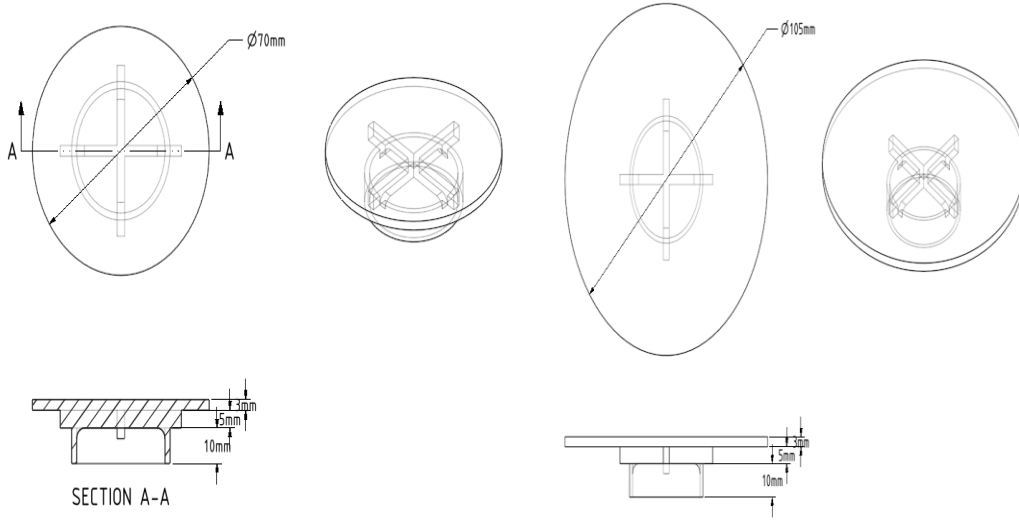
Çalışmada değiştirilecek ilk parametre çalışmanın amacını oluşturan girdap önleyici cihazların tabak çaplarıdır. Tabak çapının arttıkça girdap kırıcıların performansının artması ve gaz girişini daha çok önlemesi beklenmektedir. Fakat etkilerinin birbirleriyle sayısal olarak kıyaslanması ve farklı koşullarda etki güçlerinin karşılaştırılması da önemlidir. Bu tabak çapları tahliye çapına göre oranlanmıştır. Sırasıyla tahliye çapının yarısından başlayarak 1, 2, 3 ve 4 katı olarak seçilmiştir. Şekil 3.1 D girdap çaplı girdap kırıcıyı göstermektedir. Üst yüzeyinde 3mm kalınlıkta 35 mm çapta bir daire bulundurmaktadır. Bu daireyi tankın tabanından 5 mm yukarı taşıyacak 48 mm uzunluğunda 2 kanat vardır. Daire ve kanat tankın içerisine girecek 10 mm derinliğinde bir silindire oturtulmuştur. Böylece tankın tahliye deliğine kolaylıkla girdap kırıcı koyulabilecektir.

Benzer şekilde Şekil 3.2 2D ve 3D girdap kırıcıyı göstermektedir. Şekillerden anlaşılacağı üzere girdap kırıcılar arasındaki fark sadece üstte bulunan tabak çapını değişimidir.

Şekil 3.3 3 boyutlu yazıcı ile üretilen girdap kırıcıların yan yana olduğu bir görseldir. Soldan sağa doğru girdap kırıcı çapları artışı görülebilir.



Şekil 3.1 : D girdap kırıcı teknik resmi.



Şekil 3.2 : Sırasıyla 2D ve 3D girdap kırıcı.



Şekil 3.3 : Girdap önleyici cihazlar.

Girdap kırıcılardan ilk ikisinin renginin farkının kaynağı tamamen üretimde kullanılan malzemenin rengiyle ilgilidir. Çalışmada girdap kırıcının içerisinde

gözükeceği girdap kırıcı kullanmanın herhangi bir fayda göstermeyeceği anlaşılınca diğer girdap önleyici cihazlar siyah renkli filamentler ile üretim yapılmıştır.

Değiştirilecek diğer parametre ise başlangıç sıvı seviyesidir. Literatürdeki çalışmalarda sıvı seviyesinin gaz girişine önemli bir etkisi olmadığı geçmektedir. Fakat farklı açısızlızlara sahip sıvılarda ve farklı çaplarda girdap kırıcıların kullanıldığı durumda bu durumun aynen devam edip etmeyeceği belli değildir. Bu yüzden hem durgun hem de başlangıçta açısızlıza sahip koşullar için 3 farklı sıvı yüksekliği kullanılmıştır. Tank yüksekliğini de göz önüne alarak bunlar 10, 20 ve 30 cm olarak seçilmiştir.

Değiştirilecek son parametre ise sıvının başlangıç koşulundaki açısızlız hızıdır. Sıvıların açısızlız hızına sahip olması tahliye esnasında hızlıca girdap oluşumuna sebebiyet verir. Oluşan girdap da gaz giriş yüksekliğini önemli ölçüde artırır. Bu yüzden farklı tabak çaplarının farklı açısızlız hızların olduğu koşullarda da gaz girişini önleme performanslarının incelenmesi önemlidir. Hız seçimi yaparken sıvının çalkalanmaması için açısızlız hız çok artırılmayıp en fazla 40 devir/dakika olacak şekilde sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 devir/dakika açısızlız hızlar verilmiştir.

3.2 Ölçülen ve Kıyaslanacak Parametrelerin Belirlenmesi

Çalışmanın asıl amacına ulaşması için girdap önleyici cihazların gaz girişini engelleme performanslarının ölçülmesi gerekmektedir. Bunu ölçmek için literatürde bilinen ve kullanılan parametrelerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

İlk ölçülen parametre kritik yükseklik olarak adlandırılan tahliye hattına gaz girişini gerçekleştirdiği esnadaki sıvı yüksekliğidir. Kritik yükseklik tankın belirlenen koşulda gaz almadan ne kadar miktarda sıvı besleyebildiğinin göstergesidir. Buradaki yükseklik değeriyle tankın dikey alanı çarpılarak veya tankın şekline göre integral işlemi uygulanarak sisteme gaz girişi gerçekleştiğinde bulunan sıvı miktarı bulunabilir. Bu değerin kritik olmasının örneklerinden biriside sıvı yakıtlı itki sistemlerinde bulunan yakıt tanklarıdır. Çünkü gaz girdikten sonra hala yakıtı kullanmak tehlikeli olacağı için gaz girişinin gerçekleştikten sonra ki yakıt, artık yakıt olarak bırakılır ve kullanılmaz. Artık yakıtta kullanılmayan bir kütle oluşumuna sebebiyet verir. Her bir kütlenin çok kritik olduğu uzay sistemlerinde artık yakıt miktarını azaltmak büyük öneme sahiptir.

Diğer ölçülecek parametre ise tahliyenin başlamasıyla gaz girişinin gerçekleşmesi arasındaki zamandır. Bu zaman kritik zaman olarak adlandırılır. Kritik zaman gaz girişi gerçekleşmeden ne kadar süre boyunca sıvı beslenebileceğinin göstergesidir. Kritik zamanı tek başına değerlendirmek pek doğru bir sonuç vermeyebilir. Çünkü sisteme eklenen girdap kırıcılar basınç kaybı oluşturacak ve hidrostatik yükseklik ile oluşan basınç farkından tahliye olan sistemin tahliye süreleri değişecektir. Bu sebepten ötürü kritik zaman sonuçları incelenirken kritik yüksekliğin göz önünde tutulması öneme sahiptir.

Ölçülecek bir diğer parametrede tankın içerisindeki sıvının tahliye olma süresidir. Tankın silindirik olması sebebiyle düşük tahliye hızlarında alt yüzeyinde bir miktar sıvı kalacaktır. Ayrıca kalan sıvı tankın yüzeyiyle gerilimi sebebiyle yüzeye tutulacaktır. Bu yüzden tahliye süreleri alınırken sıvının 5 mm yüksekliğine kadar gelme süresine bakılmıştır.

Ölçülecek son parametre ise gaz giren bölgenin çapı ve yüksekliğidir. Tabak tipi girdap kırıcıların kullanılması ile oluşan girdabın çapının tabak çapıyla oranlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda girdabın derinliği de değişmektedir.

3.3 Deney Düzeneginin Oluşturulması

Deney düzenegi deney sonucundan incelenecek parametrelerin ölçümünü sağlamaya uygun olmalı ve değiştirilecek parametrelerinin istenilen ölçüde değiştirilebilmesini sağlamalıdır. Yapılan testlerin tutarlı ve tekrar edilebilir olması da büyük öneme sahiptir.

Test düzeneginin ilk parçası test tankıdır. Test tankının yanal yüzeyleri akrilik malzemedir. Tankın tabanı ise paslanmaz çeliktir. 500 mm çapa ve 500 mm yüksekliğe sahiptir. Tankın tabanın ortasında 35 mm'lik bir delik bulunmaktadır. Şekil 3.4 test tankının üstten ve önden görünümünü göstermektedir.

Tahliye deliği çabuk kavrama bağlantısı ile 1 metre boyutunda bir tahliye hortumuna bağlıdır. Bu hortumda küresel bir vanaya bağlıdır. Şekil 3.5 küresel vanayı ve borulamaları göstermektedir. Vana çıkışı da 2 metre uzunluğunda bir hortum ile tahliye edilmektedir. Deney düzeneginde bulunan bu elemanlar testler esnasında bir miktar basınç kaybı oluşturacaktır. Ayrıca geometrilerinin karmaşıklığı bilgisayar ortamında numerik çözümlerinin yapılmasını zorlaştıracaktır.



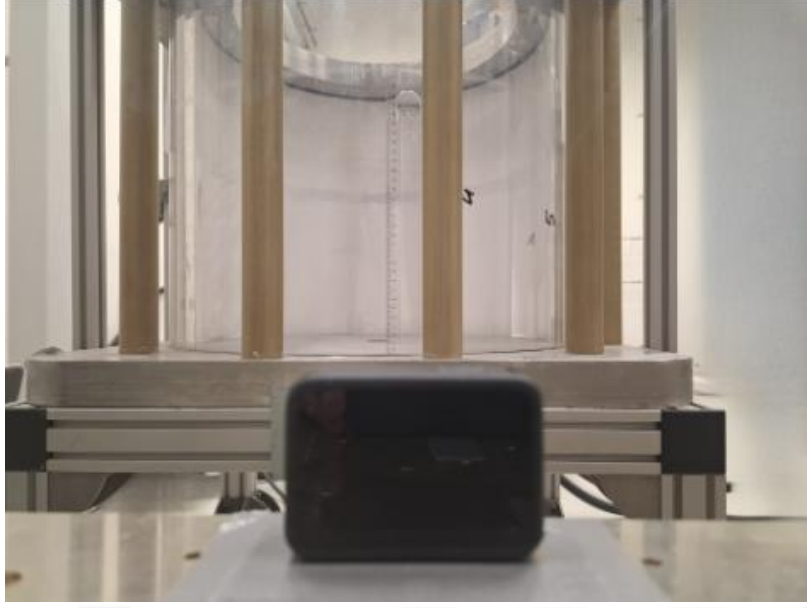
Şekil 3.4 : Tankın üstten ve yandan görünümü.



Şekil 3.5 : Borulama ve vana bağlantıları.

Sıvı yüksekliğini anlık olarak almak için test tankının içerisine bir cetvel yerleştirilmiştir. Tüm tankı görebilen bir kamera ile sıvının her yükseklikteki zamanı anlık olarak çekilmektedir (Şekil 3.6). Çekimler 2700 bin çözünürlük, 4:3 ekran oranı ve 50 saniye kare hızı ile yapılmıştır.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 sırasıyla D/2 ve 2D girdap kırıcının tanka yerleşmiş halini göstermektedir. 10 mm'lik alt yüzey tankın içerisine oturtulur ve kanatlar girdap kırıcıyı tutar. Bu tutucu kanatlar aynı zamanda girdap kırıcı olarak işlev görecektir. Tezin hedefi doğrultusunda tüm girdap kırıcılarda kanat yapısı aynıdır.



Şekil 3.6 : Kamera ve test tankı.



Şekil 3.7 : D/2 girdap kırıcının tankın içerisine yerleştirilmiş hali.



Şekil 3.8 : 2D girdap kırıcının tankın içerisine yerleştirilmiş hali.

Sıvıya istenilen açısız hızları başlangıç koşulu olarak verebilmek için doğru akım ile çalıştırılan Şekil 3.9’te gösterilen elektrik motoru kullanılmıştır. Kullanılan doğru akım elektrik motoru kendi içerisinde bulunan dişli mekanizma ile yüksek devirli motorun çıkışını istenilen devirlere kadar indirmektedir.



Şekil 3.9 : Doğru akımlı elektrik motoru.

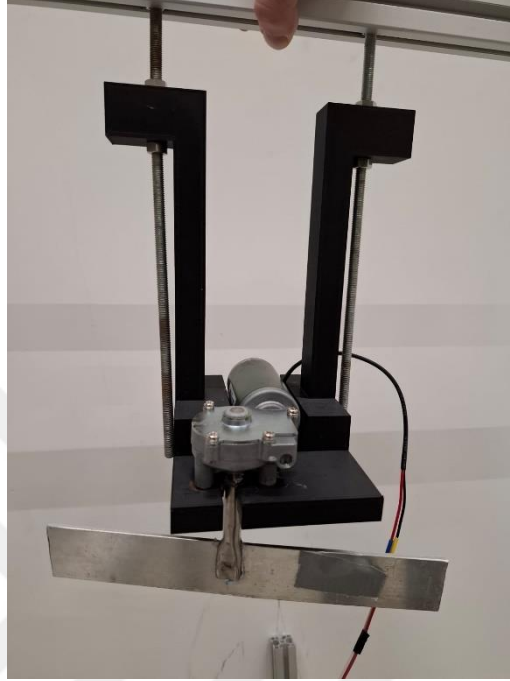
Nominal çalışma devri 37 devir/dakika olan motorun farklı devirlerde dönmesi sağlanması için Şekil 3.10'daki güç kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada sırasıyla 8, 12, 16 ve 20 volt değerleri verilmiştir.



Şekil 3.10 : Güç Kaynağı.

Elektrik motorun ucuna tank çapının yarısı kadar yani 250 mm uzunlukta bir plaka karıştırıcı olarak kama yardımı ile sabitlenmiştir. Karıştırıcı sistemin farklı sıvı yüksekliklerinde tankın merkezinden dönme hareketi vermesi gerekmektedir. Bunun

için motor 3 boyutlu yazıcıdan üretilen bir yuvaya oturtulmuştur. Bu yuvanın 2 yanından geçen metrik 8 saplamlar yardımıyla üst tarafta bir sigma profile bağlanmıştır. Şekil 3.11 motor, karıştırıcı plaka, yuva ve diğer bağlantı elemanlarından oluşan karıştırıcı kompleksi göstermektedir.



Şekil 3.11 : Karıştırıcı düzeneği.

Bu sigma profil de tankın üst yüzeyine yerleştirilmiştir. Böylece her saplama da 2 adet metrik 8 somun kullanılarak karıştırıcı sistemin farklı yüksekliklerde çalışması için yüksekliği ayarlanabilmektedir. Şekil 3.12 karıştırıcı düzeneğinin tankın içerisine yerleştirilmiş halini göstermektedir.



Şekil 3.12 : Tankın içerisine yerleştirilmiş karıştırıcı.

3.4 Deneyin Yapılışı

Deneyle sınının durgun hali ve açısız hızı sahip olduğu koşullar olmak üzere 2 ana kategoride gerçekleştirilmiştir.

Sınının durgun hali için öncelikle sıvı istenilen seviyeye kadar tankın üzerindeki cetvel yardımı ile doldurulmuştur. Sıvı doldurulduktan sonra eğer istenilen değerin üzerine çıkıldıysa fazla sıvı tahliye edilmiştir. İstenilen sıvı seviyesine gelindikten sonra testin koşuluna göre kullanılacak girdap kırıcı tankın içerisine yerleştirilmiştir. Girdap kırıcıların sıvı doldurulduktan sonra yerleştirilmesindeki amaç alt yüzeylerinde gaz kalması durumunu önlemektir. Yerleşimden sonra sınının durgunlaşması için 1 saat beklenmiştir. Ardından kamera kaydı açılarak sınının tahliyesi için vana açılmıştır. Vananın açılması ile kameranın açılması arasında ufak bir zaman farkı bulunmaktadır. Bu süre video kayıtlarında elimine edilerek ölçüm yapılan parametrelerin ölçüm değerlerini uzatması engellenmiştir. Sıvı tamamen tahliye olduktan sonra kamera kaydı kapatılarak test tamamlanmış olacaktır. Bu işlem her sıvı yüksekliği ve girdap kırıcı kombinasyonu için 3 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Bu da 3 farklı yükseklik ve boş hal dahil 6 farklı girdap önleyici koşuluyla 18 testin 3 tekrarı yani 54 teste tekabül etmektedir.

Durgun haldeki testlerin tamamlanmasının ardından sıvıya başlangıç koşulu açısız hız verilen testler gerçekleştirilmiştir. Benzer bir şekilde tankın içerisindeki cetvel yardımıyla tank istenilen yüksekliğe kadar doldurulmuş ve test koşulu olan girdap önleyici cihaz tankın içerisine yerleştirilmiştir. Ardından yüksekliği somunlar ile yüksekliği ayarlanan karıştırıcı tankın üst kısmına yerleştirilerek karıştırıcı plakamın tamamının sınının içerisine girmesi sağlanmıştır. Karıştırıcı plaka tamamen sınının içerisindeki iken elektrik motoru ve motoru taşıyan yuvanın sıvıya temas etmemesine dikkat edilmiştir. Kamera açılarak güç kaynağı testin yapılacağı devri verecek voltaj değerine ayarlanır ve sıvı 2 dakika boyunca aralıksız olarak karıştırılmıştır. Burada 2 dakika süreyi seçmenin sebebi yapılan deneme testlerinde 2 dakika sonrasında fazla karıştırmanın test sonucunu değiştirmediği yani sınının sürekli duruma geldiği gözlemlenmesidir. 2 dakikalık karıştırmanın ardından güç kaynağı kapatılarak motorun dönmesi durdurulur. Karıştırıcının plakasının sınının içerisinde durmuş halde bulunması sınının açısız hızını azaltacak ve girdap önleyici olarak işlev görecektir. Bu durumu engellemek için güç kaynağının kapatılmasıyla eş zamanlı

olarak karıştırıcı sistem tankta daha üst bir noktaya koyularak tamamen sıvının içerisinden çıkması sağlanır.

Karıştırıcının çıkarılmasının ardından hiç beklenilmeden tahliye vanası açılır. Sıvı tamamen tahliye olana kadar kayıt devam eder ve sonrasında test tamamlanmış olur. Benzer şekilde testler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu da 3 farklı yükseklik, boş hal dahil 6 farklı girdap önleyici ve 4 farklı devir kombinasyonun 3 tekrarı ile 216 teste tekabül etmektedir.

Belirtilen şekillerde toplamda 270 adet testin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Fakat nadiren testlerin sonuçları önceki testlerden farklı çıkmaktadır. Bunların kaynağı ise test esnasında yapılan hatalar veya çevresel koşullardır. Böyle bir durumun oluşması durumunda dördüncü bir test gerçekleştirilerek tutarlı 3 testin olması sağlanmış ve tutarsız olan testin sonucuna dikkat edilmemiştir.

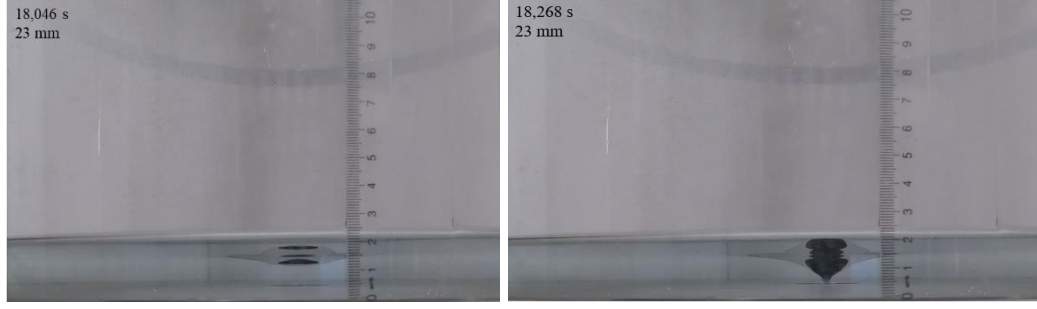
3.5 Deney Sonuçları

270 adet testin sonuçları alınan videolar üzerinden incelenmiştir. Deney sonuçlarına ulaşmak için yapılan deneylerde incelenecek parametrelerin belirlenmesi ve inceleme esnasında da bu parametrelere sadık kalmak önemlidir. Her koşul için kritik yükseklik, kritik zaman ve tahliye süreleri kaydedilmiştir. Deney sonuçlarında verilen değerler yapılan 3 tekrarlı testin ortalamasıdır.

3.5.1 Durgun hal için deney sonuçları

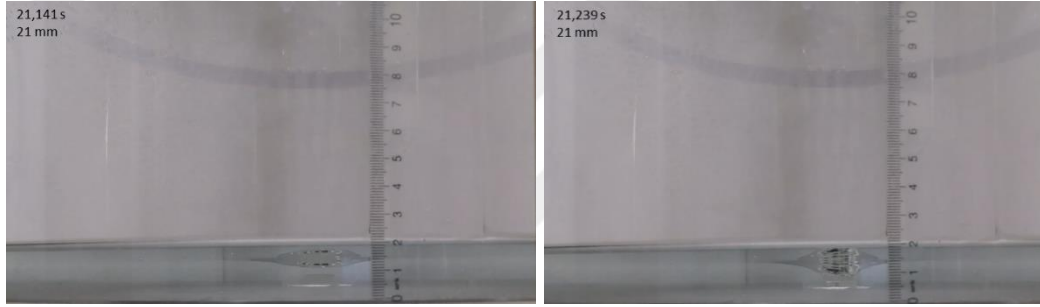
Durgun hal için yapılan deneylerde farklı sıvı yüksekliklerinin gaz giriş yüksekliğine önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu beklenen ve literatürde belirtilen bir durumdur. Şekil 3.13 tankın boş hali için sırasıyla dip oluşumun başladığı ve gaz girişinin gerçekleştiği anı göstermektedir. Kritik yükseklik 23 mm iken kritik zaman yaklaşık 18 sn olarak kaydedilmiştir. Tankın içerisindeki sıvının tamamen durgunlaşması sağlandığı için tahliye esnasında sıvıda herhangi bir açılmal hız gözlemlenmemiştir.

Dip oluşmaya başladıktan sonra çok hızlı bir şekilde tahliye hattına ulaşarak gaz girişine sebebiyet vermiştir. Bu fark 220 mili saniye kadardır. Çökmenin başlaması ile gaz girişi arasında bu kadar az süre olması Lubin ve Springer (1967) çalışmasındaki kabulün geçerli olabileceğini göstermektedir.



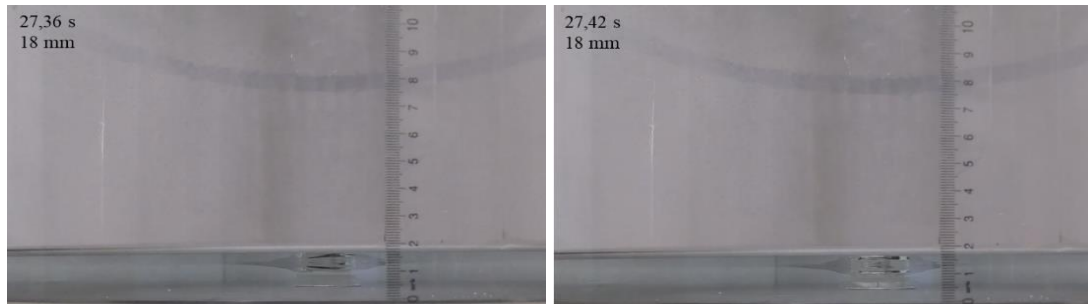
Şekil 3.13 : Boş tank durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

Şekil 3.14 tahliye çapının yarısı kadar olan girdap kırıcının kullanıldığı durumda dip oluşumu ve gaz girişini göstermektedir. Bu girdap kırıcının kullanıldığı durumda boş tanka göre kritik yükseklikte 2 mm azalma gözlemlenmiştir. Fakat kritik zamanda 4 saniyeye yakın artış görülmektedir. Çünkü gaz girişi gerçekleştiği an da sıvı seviyesi daha aşağıdadır ve girdap kırıcı bir miktar basınç düşüşü oluşturacaktır.



Şekil 3.14 : D/2 girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

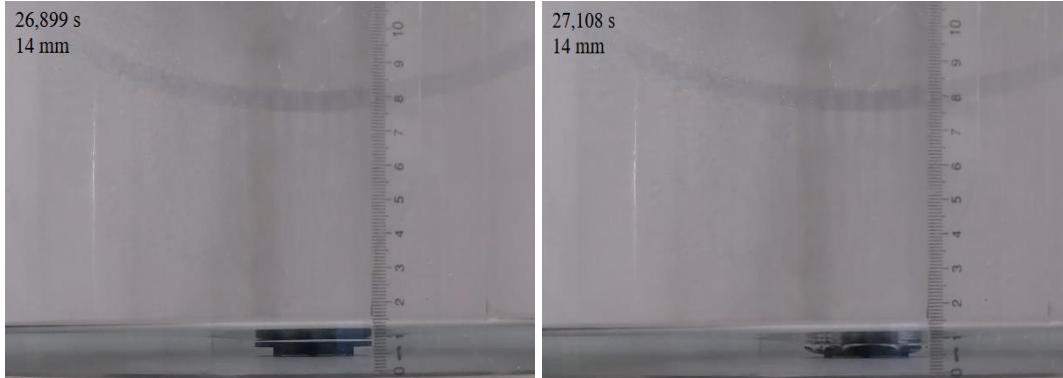
Şekil 3.15 ise tahliye çapıyla eşdeğer girdap önleyicinin kullanıldığı durumun sonuçlarını göstermektedir. Beklenen şekilde çap artışı ile kritik yükseklikteki düşüş devam etmektedir. Kritik yükseklik 18 mm ve kritik zaman yaklaşık 27 saniye olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.15 : D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

Şekil 3.16 tahliye çapının 2 katı boyutta girdap kırıcının sonucunu göstermektedir. Kritik yükseklik 14 mm değerine kadar düşerek önemli ölçüde azalmıştır. Bir çaplı

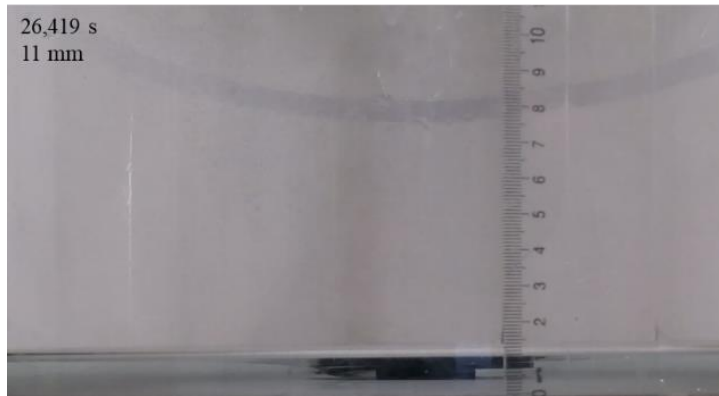
girdap kırıcıya göre 4 mm boş tanka göre 9 mm kadar kritik yüksekliğin azalması gerçekleşirken kritik zaman tahliye ile eş değer çaplı girdap kırıcıya göre daha az çıkmıştır.



Şekil 3.16 : 2D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

Şekil 3.17 tahliye çapının 3 katı boyutta girdap kırıcının sonucunu göstermektedir. Dip oluşumu ile gaz girişi arasındaki zaman çok azaldığı için yakalanması mümkün olmamaktadır. Bu sebepten ötürü sadece gaz girişinin gerçekleştiği kritik zamanın resmi alınmıştır.

Bir önceki tahliye çapının 2 katı girdap önleyiciye göre 3 mm bir kritik yükseklikte düşüş gözlemlenmiştir. Kritik zamandaki azalma tekrar devam ederek 27 saniyeden 26,5 saniyeye kadar düşüş gerçekleşmiştir.



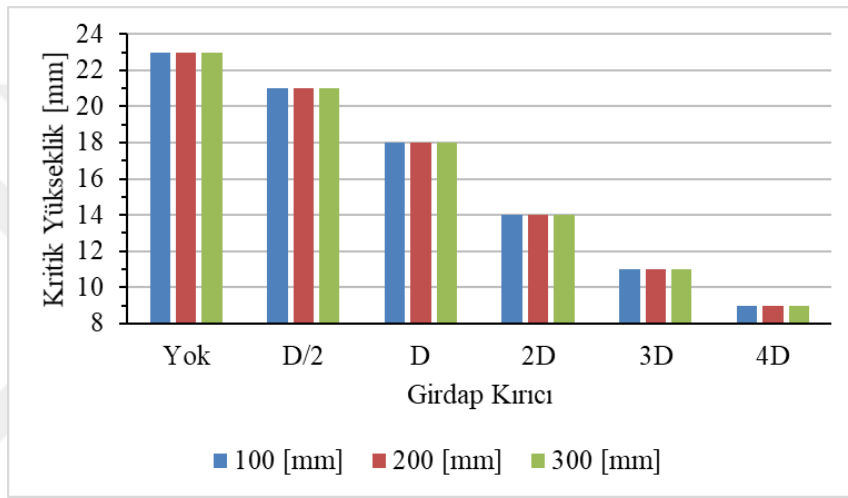
Şekil 3.17 : 3D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

Şekil 3.18 tahliye çapının 4 katı boyutta girdap kırıcının sonucunu göstermektedir. Kritik yükseklik 9 mm olarak neredeyse girdap önleyicinin üst yüzeyinin yüksekliği olan 8 mm yüksekliğe kadar gelmiştir. Bu sebepten gaz girişini durgun hal için tamamen önlediği kabul edilebilir. Kritik zaman ise tahliye çapının 3 katı olan girdap kırıcıya göre artış göstermiştir.



Şekil 3.18 : 4D girdap önleyici cihaz durgun hal kritik zaman ve yükseklik.

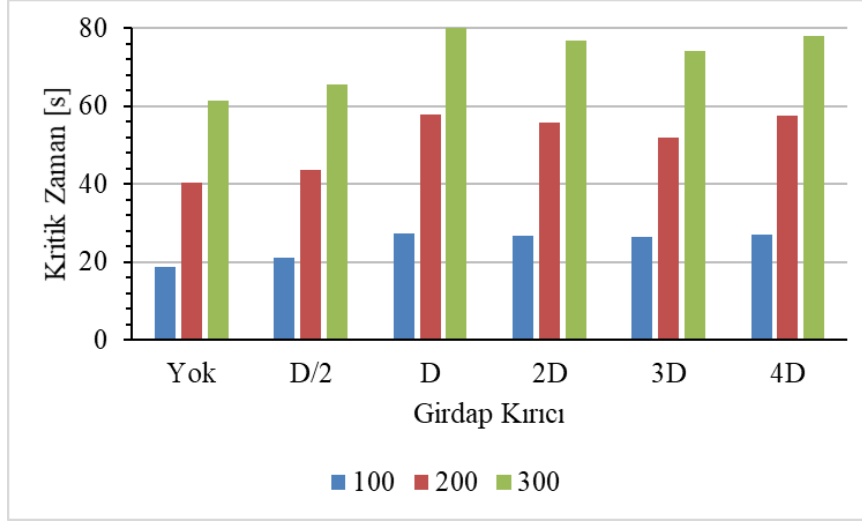
Şekil 3.19 farklı yüksekliklerdeki kritik yükseklikleri toplu halde göstermektedir. Sıvı seviyesi değişimi ile kritik yükseklikte bir değişim görülmemektedir.



Şekil 3.19 : Durgun hal için kritik yükseklik değerleri.

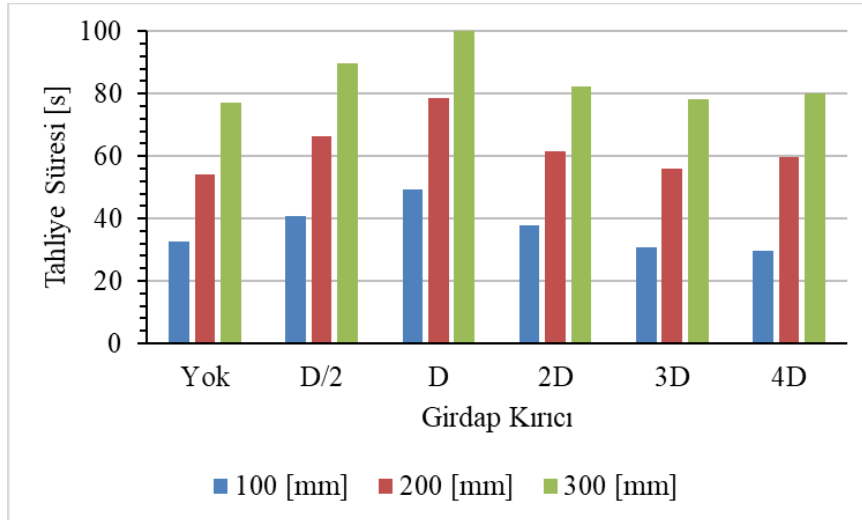
Şekil 3.20 durgun hal için farklı sıvı yüksekliklerinde gaz girişinin başladığı kritik zaman değerlerini vermektedir. Başlangıç sıvı seviyesi düşük iken kritik zaman değerlerinde önemli farklar görülmemektedir. Fakat sıvı seviyesindeki artış ile farklar daha görünür hale gelmiştir. Kritik zamanı kritik yükseklikten bağımsız değerlendirmek doğru bir sonuç vermeyecektir.

Farklı girdap kırıcıların kritik yükseklik değerleri de göz önüne alınırsa tahliye çapının 3 katı büyüklüğündeki 3D olarak adlandırılan girdap kırıcı en başarılı sonucu vermiştir. Çünkü tahliye çapının yarısı kadar olan girdap kırıcı ve boş tankta kritik yükseklik değeri çok yüksektir ve erken gaz girişi gerçekleşir. 3D girdap kırıcı D ve 2D girdap kırıcıdan daha düşük seviyelere kadar gaz girişini engellese de kritik zamanda daha düşük kalarak en başarılı girdap önleyici cihaz olmuştur. D girdap kırıcı ise hem yüksek kritik yükseklik hem de en yüksek kritik zamanı vererek en başarısız girdap kırıcı olmuştur.



Şekil 3.20 : Durgun hal için kritik zaman değerleri.

Şekil 3.21 durgun hal için sıvı seviyesinin 0,5 mm yüksekliğine gelme sürelerini göstermektedir. 100 mm testlerinde en hızlı tahliye 4D ve 3D girdap kırıcıların olmuştur. Bu da sıvı seviyesi düşük iken gaz girişi kaynaklı tahliye hızının düşüşü girdap kırıcıların oluşturduğu basınç kaybından daha etkili olduğunu göstermektedir. Sıvı seviyesinin artması ile boş tank en hızlı tahliyeyi sağlarken onu sırasıyla 3D, 4D, 2D, D/2 ve D girdap kırıcılar takip etmiştir. Bu da girdap kırıcılar arasında basınç kaybı ve gaz girişi kaynaklı oluşan tahliye hızı azalmasında en iyi performansı 3D girdap kırıcının verdiğini göstermektedir. Kritik zaman sonuçlarına benzer bir şekilde D girdap kırıcı en başarısız sonuçları vermiştir.



Şekil 3.21 : Durgun hal için tahliye süreleri.

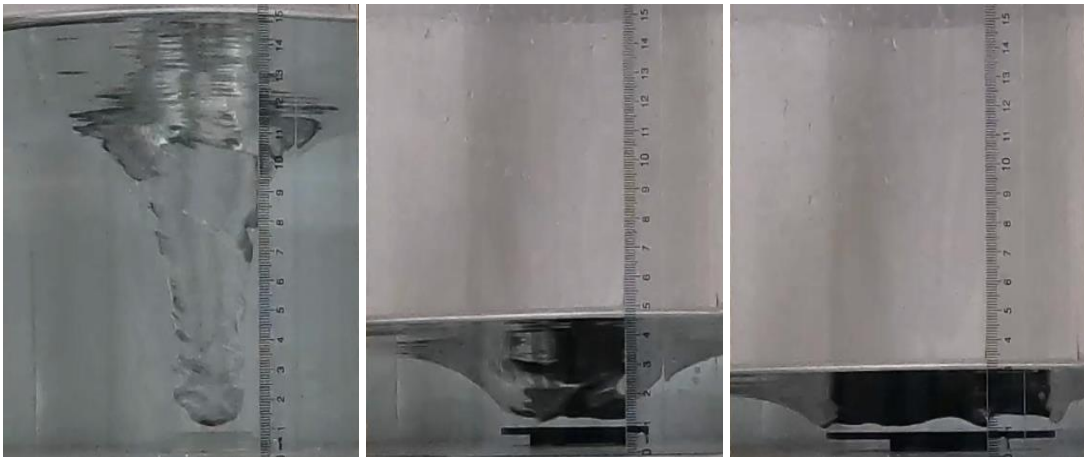
Sıvının başlangıçta herhangi bir hızının olmadığı ve akış esnasında açılal hızının olmadığı durgun hal için sonuçlara bakıldığında 3D girdap kırıcıyı kullanmanın en

iyi performansı sağlayacağı görülmektedir. 4D girdap kırıcı 3D girdap kırıcıya karşın 2 mm'lik bir kritik yükseklik iyileşmesi sağlasa da tahliye süresi ve kritik zamandan anlaşılacağı üzere basınç kaybındaki avantaj 3D girdap kırıcıyı durgun haldeki tahliyeler esnasında kullanmayı daha mantıklı kılmaktadır.

3.5.2 Açısal hızlı başlangıç koşulu için deney sonuçları

Başlangıç koşulunda açısal hız olan durum test sonuçlarında beklendiği gibi kritik yükseklik değerleri yüksek çıkmış olup kritik zaman azalmıştır. Bunun sebebi bölüm 2'de belirtilen sıvının açısal hızının merkezde oluşturduğu basınç kaybıdır. Tabak tipi girdap kırıcı merkezdeki akış yönündeki hızı engelleyerek gaz girişini engellemede oldukça başarılı olmuştur.

Açısal hızın artışı ile kritik yüksekliğin arttığı yani merkezde oluşan girdabın derinliğinin arttığı bilinmektedir. Tabak tipi girdap önleyici kullanıldığı zaman oluşan girdabın çapının tabak çapıyla orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.22 D, 2D ve 3D girdap kırıcıların 40 devir/dakika başlangıç hızı ve 200 mm başlangıç yüksekliği koşulu için oluşturdukları girdapları göstermektedir. Girdap çapları ile girdap kırıcı çapları arasında ilişki net bir şekilde görülmektedir. Girdap kırıcının çapının artmasıyla girdabın derinliğinin azalıp çapının artması sabit bir girdap hacmi olma ihtimalini göstermektedir. Fakat test sonuçlarına göre girdap kırıcının çapıyla girdabın derinliği arasında ilişki olsa da doğru orantılı bir sonuç çıkmamıştır. Bu da girdabın hacmiyle doğru orantılı olamayacağı sonucunu getirmektedir. Bunun sebebi girdabın üst kısımdaki çapının girdap kırıcının çapından büyük olmasıdır.



Şekil 3.22 : 200 mm 40 devir/dakika girdap boyutlarının değişimi sırasıyla D, 2D ve 3D girdap kırıcılar.

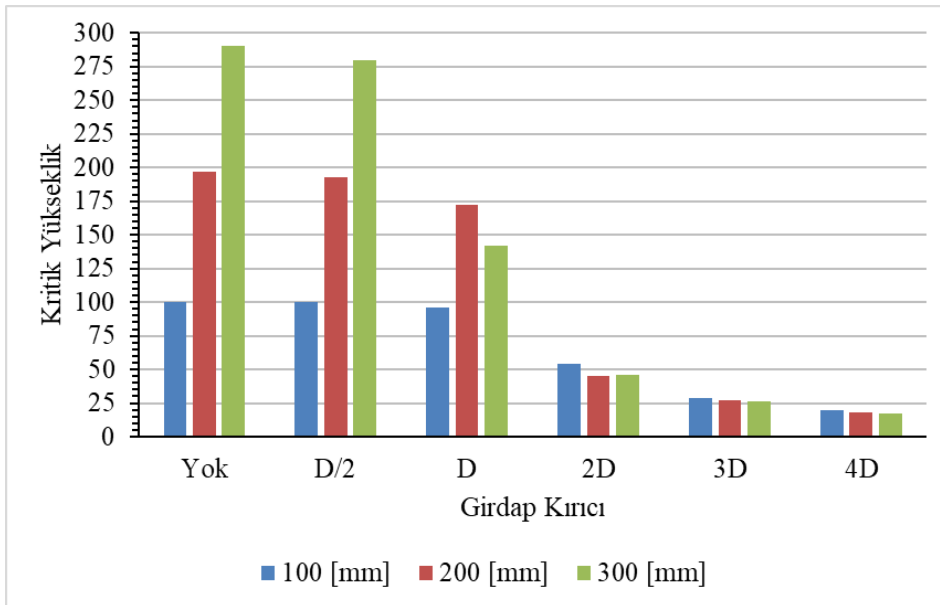
Durgun halden farklı olarak farklı sıvı yüksekliklerinde kritik yükseklik değerleri değişmiştir. Bu sebepten dolayı test sonuçları incelenirken farklı yüksekliklerinin ve açısal hızlarının etkilerine ayrı ayrı bakmak daha anlaşılır olacaktır.

3.5.2.1 Sıvı yüksekliğinin etkisi

Başlangıç sıvı yüksekliğinin değişimi ile kritik zaman ve tahliye sürelerinin değişmesi beklenen bir durumdur. Fakat kritik yüksekliğin değişmesi durgun halde gözlemlenmeyen bir olaydır. Sıvı seviyesindeki değişikliğin etkisi girdap kırıcı kullanımı ile çok düşük seviyelere kadar düşmüştür.

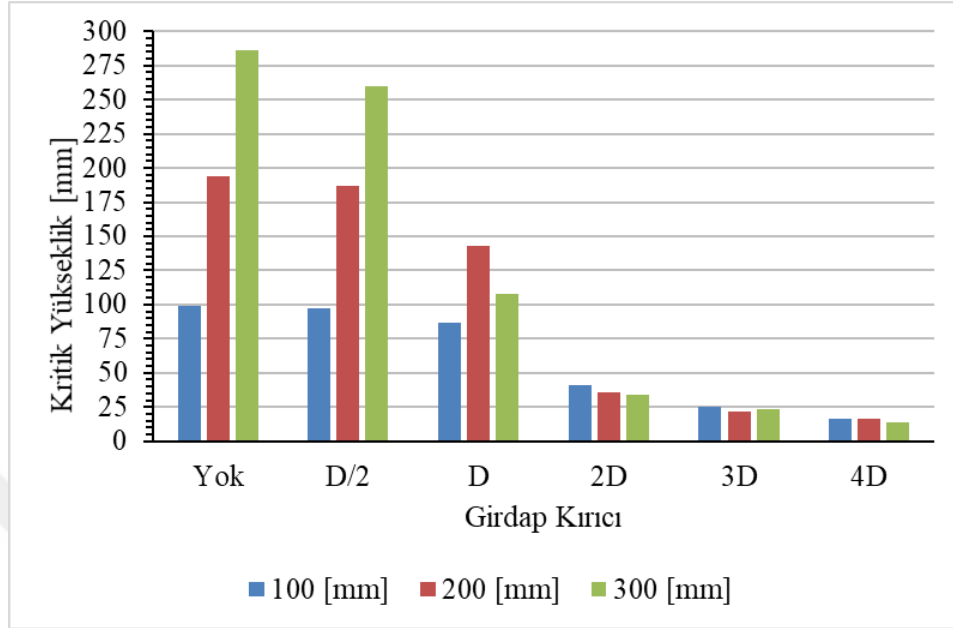
Şekil 3.23 40 devir/dakika başlangıç hız koşulu için kritik yükseklikleri göstermektedir. Boş tank ve D/2 girdap kırıcılarda başlangıç sıvı yüksekliğinin artması ile kritik yükseklik büyük ölçüde artmıştır. Bu durum aslında kritik yüksekliğin başlangıç sıvı seviyesinden fazla olmayacağından kaynaklıdır. Kritik yükseklik değerinden daha yüksek bir sıvı seviyesinde tahliye başlayan koşullarda benzer durum görülmektedir.

2D, 3D ve 4D tarafına bakıldığında ise sıvı seviyesindeki artış ile kritik yükseklikte düşük de olsa bir azalma görülmektedir. Bu durumun sebebi ise tankın içerisindeki sıvıya uygulanan aynı süre ve hızda uygulanan karıştırmanın etkisinin sıvı seviyesinin artması ile azalmasıdır. Sıvı kütlesi arttıkça karıştırma etkisi azalacak ve kritik yükseklik azda olsa düşecektir.

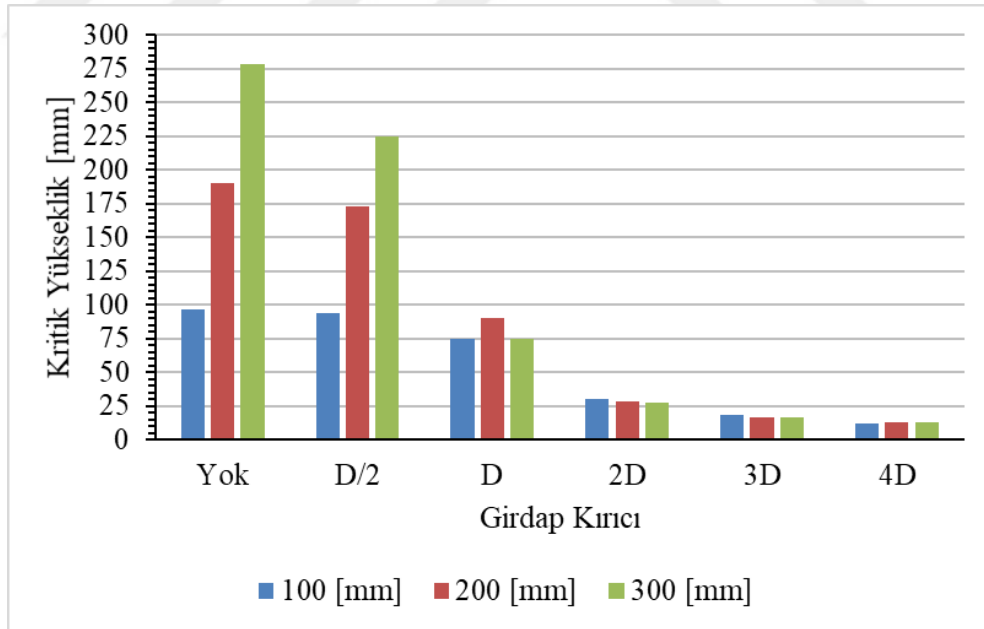


Şekil 3.23 : 40 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.

Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 sırasıyla 30 ve 20 devir/dakika başlangıç hız koşulu için kritik yükseklik değerlerini göstermektedir. 40 devir/dakikaya benzer sonuçlar elde edilmiştir.



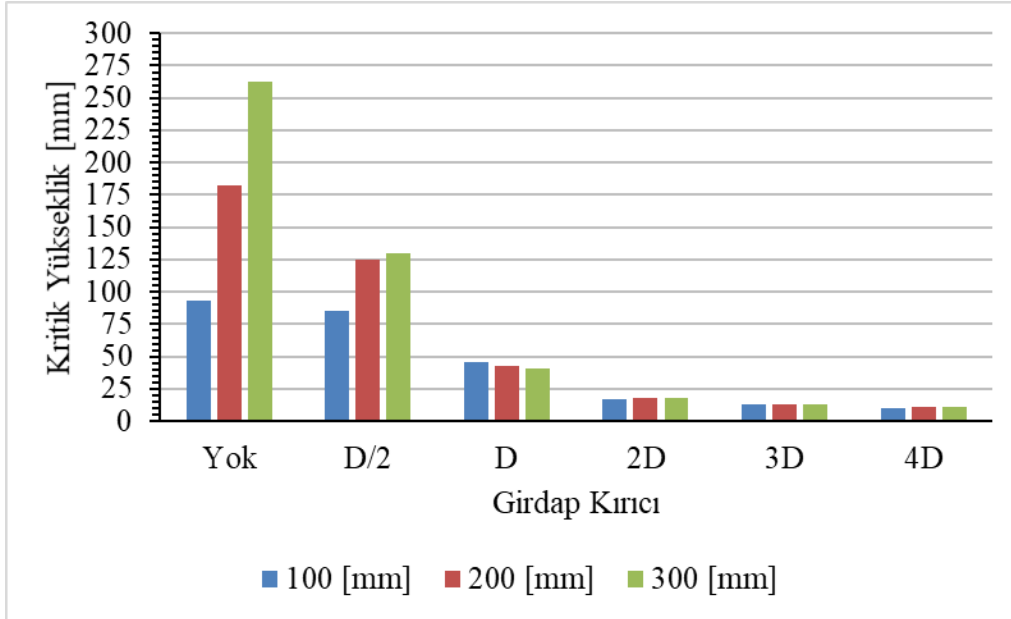
Şekil 3.24 : 30 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.



Şekil 3.25 : 20 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.

Şekil 3.26 10 devir/dakika başlangıç hızı için kritik yükseklik sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar önceki sonuçlara benzer çıksa da D girdap kırıcıda farklılık görülmektedir. D girdap kırıcısı da 2D, 3D ve 4D girdap kırıcılara benzer bir

şekilde sıvı yüksekliği artışı ile kritik yükseklikte az miktarda azalma görülmüştür. Bunun sebebi ise açılal hızın azalması ile D çaplı girdap kırıcısındaki kritik yüksekliğin sıvı seviyesinin yeterince altına inmiş olmasıdır.



Şekil 3.26 : 10 devir/dakika koşulu için farklı sıvı seviyelerinde kritik yükseklik değerleri.

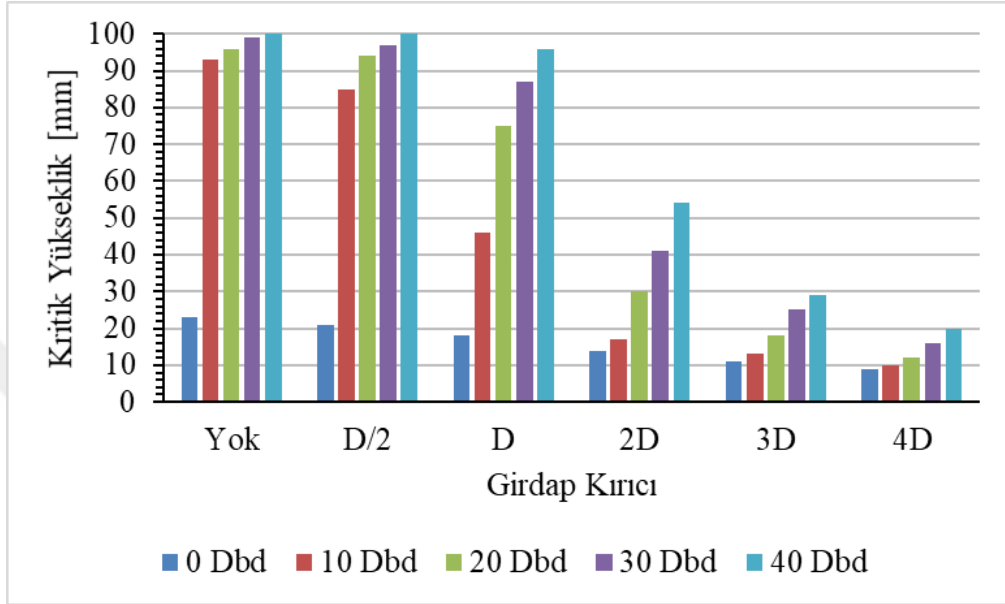
3.5.2.2 Başlangıç açılal hızının etkisi

Açılal hızındaki artışı ile kritik yükseklik ve kritik zamanın artması beklendiği gibi tüm girdap kırıcılarda gerçekleşmiştir. Tahliye süreleri girdap kırıcısına çok daha fazla bağımlı hale gelmiştir. Çünkü gaz girişi ile sıvının tahliyesi için kullanılan efektif alan azalacaktır. Bu azalma da doğrudan tahliye süresinin uzamasına sebep olacaktır.

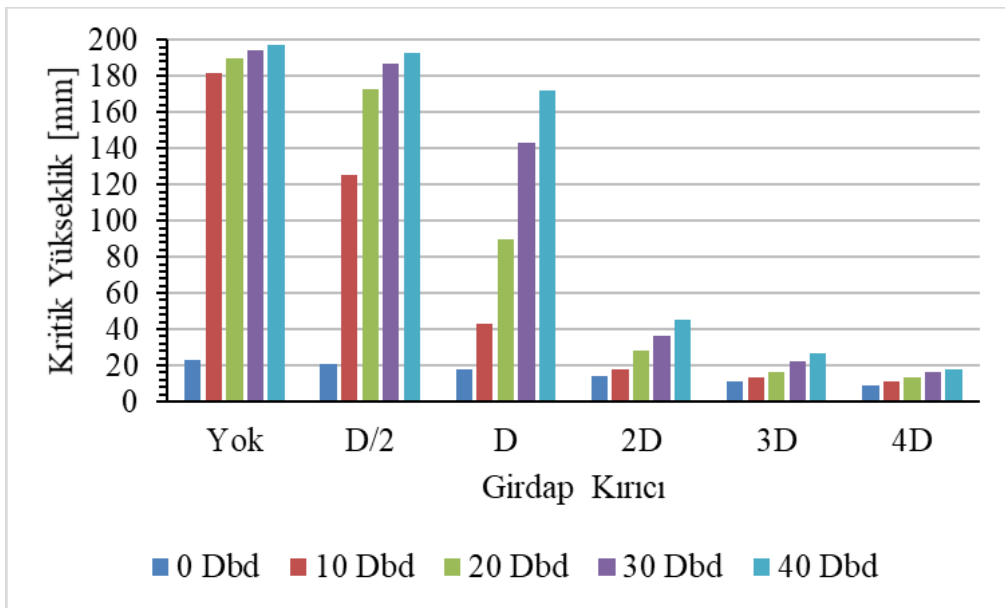
Şekil 3.27 100 mm başlangıç sıvı seviyesi için farklı girdap kırıcıların 0'dan 40 devir/dakikaya kadar olan kritik yükseklik değerlerini göstermektedir. Düşük devirlerde bile olsa boş tank ve D/2 girdap kırıcı kullanımı gaz girişini önleyememiş olup kritik yükseklik nerede ise başlangıç sıvı seviyesindedir.

Beklendiği üzere girdap kırıcının çapının artması ile kritik yükseklik önemli ölçüde düşmüştür. Başlangıç açılal hızın artması ile bu düşüş daha önemli bir hal almıştır. Örneğin 3D ve 4D girdap kırıcılar arasında durgun ve 10 devir/dakika koşullarında kritik yükseklik farkı 2 ve 3 mm'dir. Fakat bu fark 30 ve 40 devir/dakika koşullarında 9 mm kadar çıkmıştır. Bu da durgun hal için yapılabilen 3D girdap kırıcının en iyi performans verdiği durumu tankta açılal hız bulunması durumunda geçersiz olduğunu gösterir.

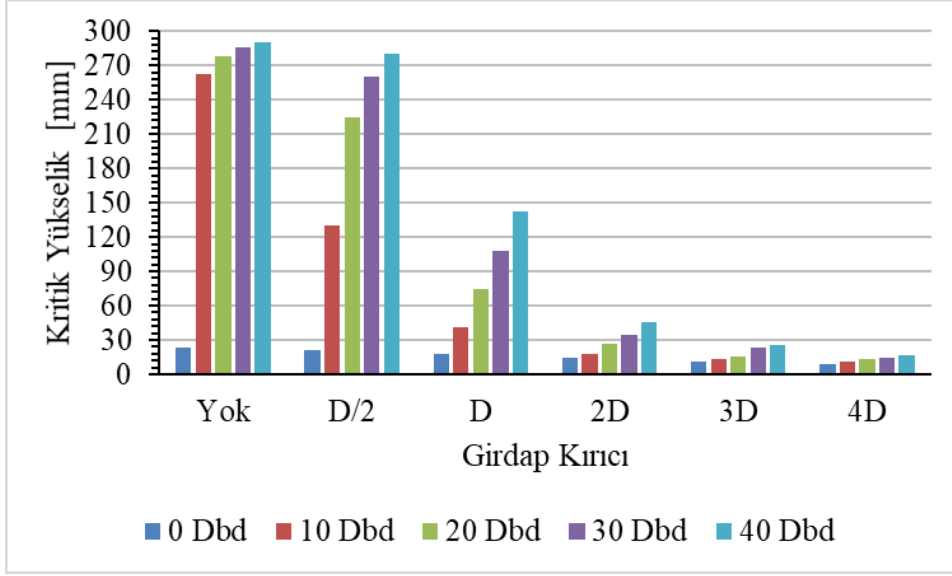
4D girdap kırıcı durgun hal için 9 mm kritik yüksekliği sonucunun neredeyse girdap kırıcının yüksekliğine eşit olduğu gaz girişini tamamen engellediği durumu da başlangıç koşulunda açısız hız olması durumunda geçersizdir. Çünkü kritik yükseklik değeri 40 devir/dakika için 20 mm kadar çıkmış olup girdap kırıcının yüksekliğinin 2 katından fazladır.



Şekil 3.27 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açısız hızlarda kritik yükseklik değerleri. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 sırasıyla 200 ve 300 mm başlangıç sıvı seviyesi için kritik yükseklik sonuçlarını vermektedir. Sonuçlar arasındaki ilişki 100 mm sonuçlarına benzerdir.



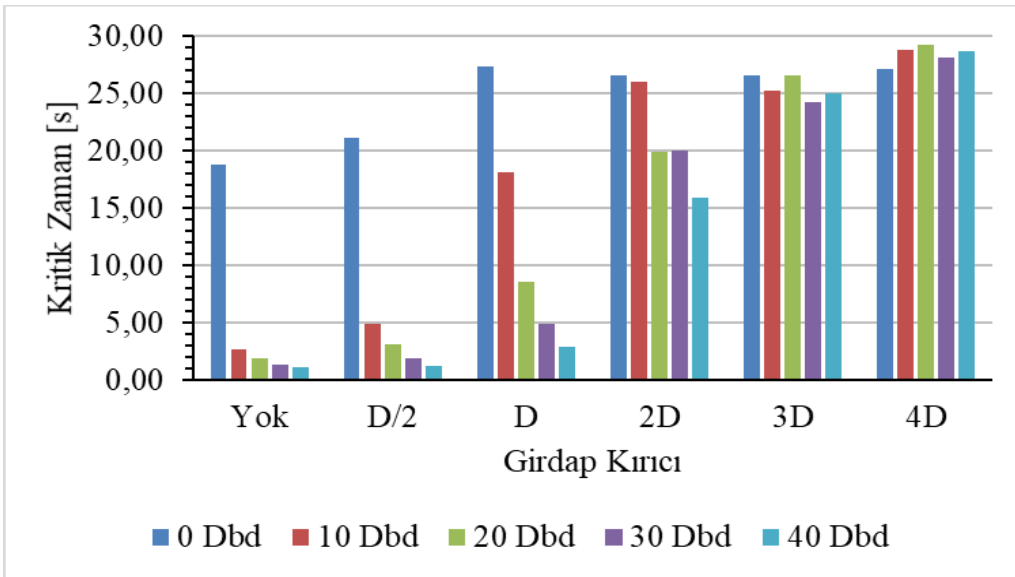
Şekil 3.28 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açısız hızlarda kritik yükseklik değerleri.



Şekil 3.29 : 300 mm sıvı seviyesi için farklı açılarda kritik yükseklik değerleri.

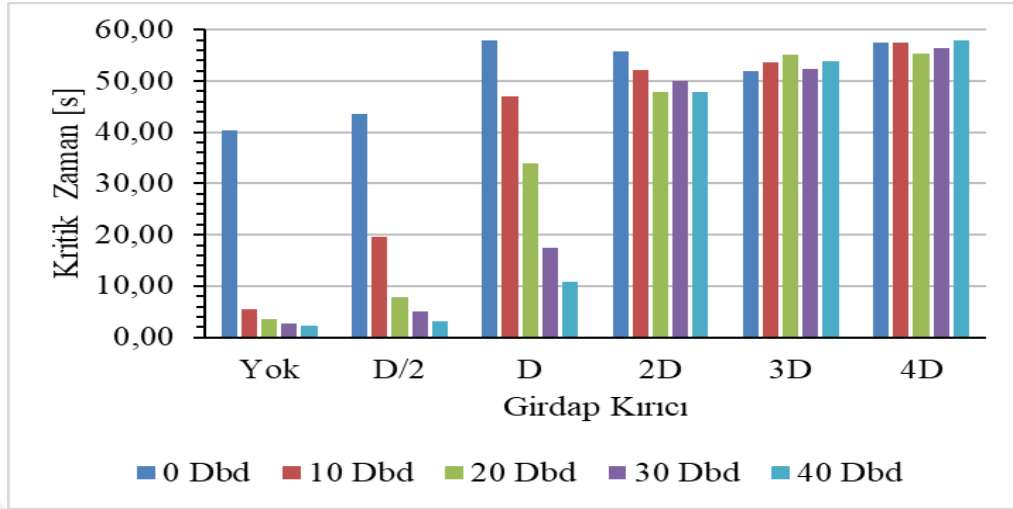
Şekil 3.30 100 mm başlangıç sıvı seviyesi için farklı açılardaki kritik zaman değerlerini göstermektedir. Kritik yükseklik değerlerine benzer şekilde gaz girişinin yeterince engellenemediği D/2, D girdap kırıcılar ve boş tankta kritik zaman değerleri açılarda ani düşüş yaşamıştır. Gaz girişinin büyük ölçüde engellendiği 4D girdap kırıcısında ise arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi açılarda artması ile kritik yükseklik önemli bir ölçüde değişmezken tahliye hızı düşmesidir.

3D girdap önleyici 2D girdap önleyiciye göre daha yüksek kritik zaman sonucuna sahip olarak durgun haldeki en iyi performans gösterme özelliğini devam ettirmektedir.



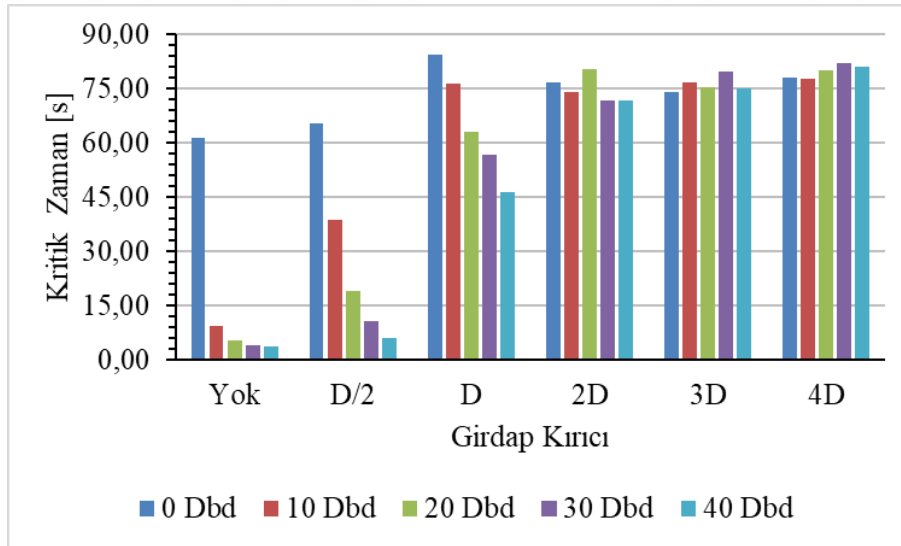
Şekil 3.30 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açılarda kritik zaman değerleri.

Şekil 3.31 200 mm başlangıç sıvı seviyesi için kritik zaman sonuçlarını göstermektedir. 100 mm sıvı seviyesi sonuçlarına benzer sonuçlar görülmektedir.



Şekil 3.31 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açılarda kritik zaman değerleri.

Şekil 3.32 300 mm başlangıç sıvı seviyesi için kritik zamanı göstermektedir. Diğer sıvı yüksekliklerindeki ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sıvı seviyesinin artması ile beklendiği üzere kritik yükseklik değeri de artmıştır.



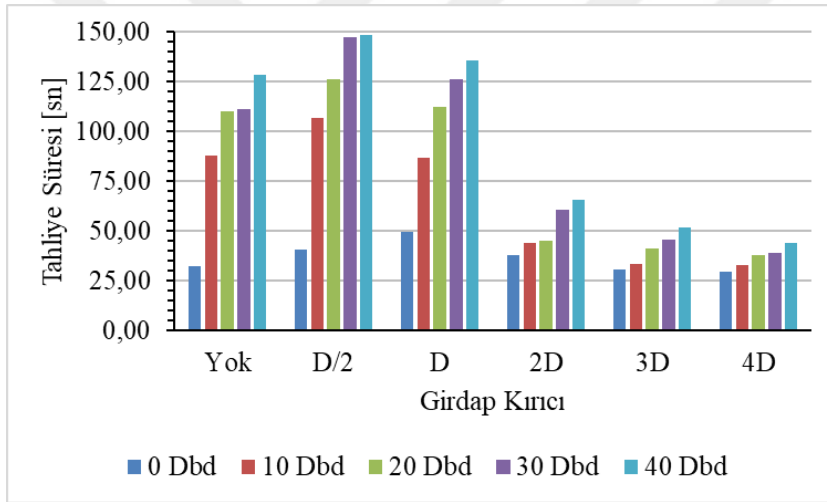
Şekil 3.32 : 300 mm sıvı seviyesi için farklı açılarda kritik zaman değerleri.

Son incelenecek parametre ise tahliye süresidir. Şekil 3.33 100 mm başlangıç seviyesi için tahliye sürelerini göstermektedir. Gaz girişini engellemede yeterli olmayan girdap önleyicilerde tahliye süreleri durgun hale göre önemli ölçüde artış göstermiştir.

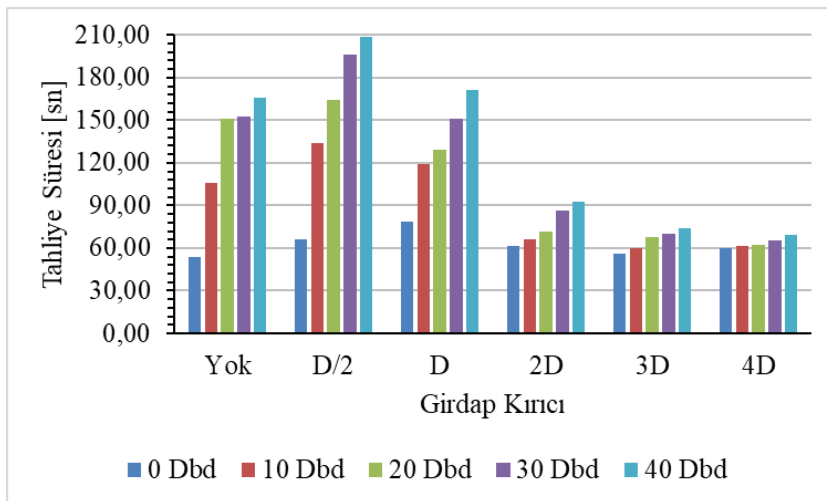
Durgun halde en yüksek tahliye süresi D girdap kırıcı iken açısal hız ile birlikte D/2 en uzun tahliye süresine sahip girdap kırıcı olmuştur. Kritik yüksekliği de en yüksek girdap kırıcı olduğu göz önüne alınırsa en kötü performans gösteren girdap kırıcı olmuştur.

Açısal hızın artışı ile 3D girdap kırıcı 4 D girdap kırıcıdan daha uzun tahliye sürelerine sahip olmuştur. Bunun sebebi ise artan açısal hızlarla gaz girişi kaynaklı debi düşüşünün, girdap kırıcı kaynaklı debi düşüşünden daha baskın hale gelmesidir. En kısa tahliye süresi ve en düşük kritik yükseklik ile 4D girdap kırıcı en iyi performansı gösteren girdap kırıcı olmuştur.

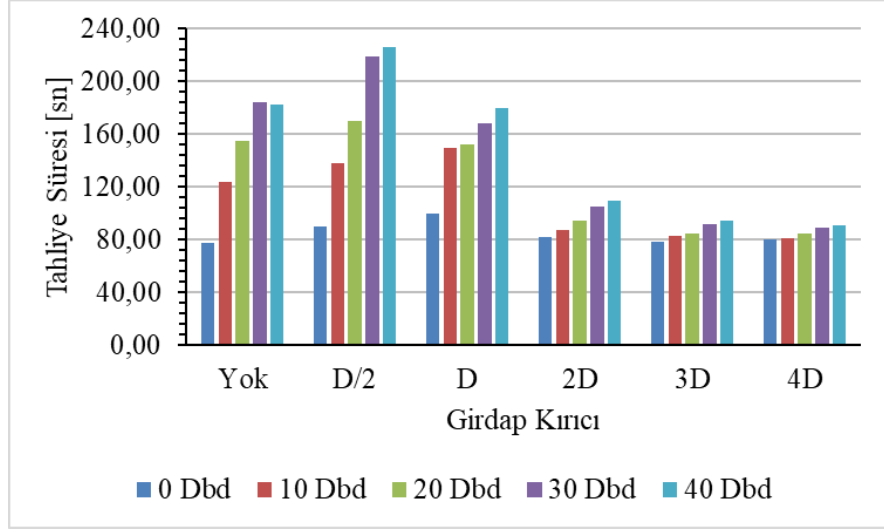
Şekil 3.34 ve Şekil 3.35 sırasıyla 200 ve 300 mm için tahliye sürelerini göstermektedir. Sonuçlar 100 m ile benzer olup en iyi performans gösteren girdap kırıcı 4D olmuştur.



Şekil 3.33 : 100 mm sıvı seviyesi için farklı açısal hızlarda tahliye süreleri.



Şekil 3.34 : 200 mm sıvı seviyesi için farklı açısal hızlarda tahliye süreleri.



Şekil 3.35 : 300 mm sıvı seviyesi içi farklı açısal hızlarda tahliye süreleri.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tabak tipi girdap kırıcıların tahliye esnasında gaz girişine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Girdap kırıcının tabak çapının değişmesi ile oluşan değişimler; farklı başlangıç sıvı yükseklikleri ve açısız hızlar altında test edilmiştir. Her bir test için görseller kaydedilmiş, tahliye esnasında gaz girişi için önemli parametreler olan kritik yükseklik, kritik zaman ve tahliye süreleri toplanmıştır.

Çalışma tahliye esnasında tanka gaz girişinin fiziğinin incelenmesi ile başlamış olup, literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca farklı tiplerdeki girdap kırıcılar içinde literatür araştırması yapılmıştır.

Hem daha fazla durumu incelemek hem de daha hızlı ve doğru sonuç alabilmek için deneysel çalışma yürütülmüş olsa da literatürde bulunan bir örnek numerik olarak tekrar çözülmüştür. Bu çözülen örneğe tabak tipi girdap kırıcının etkisi de numerik olarak incelenmiştir.

Yapılan tez çalışması sonucu elde edilen çıktılar şu şekilde özetlenebilir:

- Sıvının durgun halinin ve başlangıç koşulunda açısız hıza sahip olduğu durum halinin tahliyesi esnasında farklılıklar oluşmaktadır.
- Sıvının durgun olduğu hal için kritik yükseklik genellikle başlangıç sıvı yüksekliğinden bağımsızdır. Fakat sıvının tahliye esnasında açısız hızı olması durumunda bu geçerli değildir.
- Tabak tipi girdap kırıcı bir tankın esnasında gaz girişini önemli ölçüde azaltabilir. Gaz girişindeki sıvı yüksekliği olan kritik yükseklik tabak çapının artması ile önemli ölçüde azalır.
- Durgun hal için tahliye süresi, gaz giriş zamanı olan kritik zaman ve kritik yükseklik sonuçları incelendiğinde en iyi performansı 3D girdap kırıcı sağlamıştır. 4D girdap kırıcı 3D girdap kırıcıya göre 2 mm daha düşük kritik yükseklik değerine sahip olsa da tahliye hızını durgun hal için önemli ölçüde artırmaktadır.

- Sıvının ilk hızı olduğu durumda girdap kırıcı kullanmak daha büyük öneme sahiptir. Kritik yükseklik açısız hızın artışı ile artar. Bu artış boş tank, $D/2$ ve D girdap kırıcılarda büyük değişimlere sebebiyet verirken; performansı daha iyi olan $2D$, $3D$ ve $4D$ girdap kırıcılarda daha küçük değişikliklere yol açmıştır.
- Tahliye esnasında açısız hızı artışı $3D$ girdap kırıcı ile $4D$ girdap kırıcı arasındaki farkı arttırmaktadır. Benzer şekilde diğer girdap kırıcıları arasındaki fark daha belirgin hale gelmektedir. Bu durumdan ötürü $3D$ girdap kırıcı durgun hal için en iyi performans veren girdap kırıcı olabilir açısız hızların olduğu koşul için geçersizdir.
- Açısız hızdaki artış ile tahliye süreleri önemli ölçüde artmaktadır. Girdap kırıcı kullanımı bu artışı azaltmaktadır. Girdap kırıcının çapının büyümesi tahliye hızını azaltmaktadır. Sıvı seviyesinden bağımsız olarak en hızlı tahliye en büyük çaplı girdap kırıcının olduğu durumda gerçekleşmektedir.
- Tahliye esnasında açısız hız kaynaklı oluşan girdabın çapının girdap kırıcının çapıyla ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın devamı olarak başka çalışmalarda aşağıdakilerin çalışılması faydalı olabileceği düşünülmektedir;

- Tabak tipi girdap kırıcıların bir roketin uçuş koşulu için test veya analizlerinin yapılarak incelenmesi yapılabilir. Çalışmaların farklı ivme koşulları ve basınçlı bir tank için yapılabileceği düşünülmektedir.
- Tabak tipi girdap kırıcıların tabak çapı artması ile oluşan basınç kaybını azaltmak için farklı geometrik tasarımların üzerine çalışılmaları yapılabilir.
- Tabak tipi girdap kırıcıların 0 yerçekimi ortam ve sabit debi çekimi ile etkilerinin incelenmesi yapılması faydalı olabilir.
- Açısız hareket sonrası oluşan girdabın hacmi ve iz düşüm alanlarının girdap kırıcının çapına olan ilişkisi incelenerek girdabın şeklini değiştirecek ve böylece gaz girişini engelleyecek tasarımlar üzerine çalışılabilir.

KAYNAKLAR

- Abramson H. N., Chu W. H., Garza L. R., Ransleben G. E.** (1962). Some studies of liquid rotation and vortexing in rocket propellant tanks (Rapor No: D-1212). Washington: National Aeronautics and Space Administration.
- Abdalla K. L., Berenyi S. G.** (1969). Vapor ingestion phenomenon in weightlessness (Rapor No: D-5210). Washington: National Aeronautics and Space Administration.
- Basu, P., Agarwal, D., Tharakan, T. J., & Salih, A.** (2013). Numerical Studies on Air-Core Vortex Formation During Draining of Liquids from Tanks, *International Journal of Fluid Mechanics Research*, 40(1), 27–41.
- Gowda, B. H. L., Joshy, P. J., & Swarnamani, S.** (1996). Device to suppress vortexing during draining from cylindrical tanks, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 33(4), 598–600.
- Hartwig, J. W.** (2016). A detailed historical review of propellant management devices for low gravity propellant acquisition, *52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*, Cleveland, Ohio, USA: July 22.
- Hirt, C., & Nichols, B.** (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225
- Kabiri-Samani, A. R., Borghei, S.** (2013). Effects of anti-vortex plates on air entrainment by free vortex, *Scientia Iranica*, 20(2), 251–258.
- Kumar, R. A., Joykutty, J., Shaji, R. K., Srikrishnan, A. R.** (2016). Vortex Suppression through Drain Port Sizing, *Journal of Aerospace Engineering*, 29(4): 0000609.
- Launder, B. E., Spalding, D. B.** (1972). *Lectures in mathematical models of turbulence*. London, UK: Academic Press
- Lubin, B. T., & 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.
- Mahyari, M. N., Karimi, H., Naseh, H., Mirshams, M.** (2010). Numerical and experimental investigation of vortex breaker effectiveness on the improvement in launch vehicle ballistic parameters, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24(10), 1997–2006.
- Ramamurthi, K., Tharakan, T. J.** (1993). Shaped discharge ports for draining liquids, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 30(6), 786–788.
- Robinson, A., Morvan, H., Eastwick, C.** (2010). Computational Investigations Into Draining in an Axisymmetric Vessel, *Journal of Fluids Engineering*, 132(12): 121104.

- Sakri, F. M., Ali, M. S. M., Salim, S. a. Z. S., Muhamad, S.** (2017). Numerical simulation of liquids draining from a tank using OpenFOAM, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, Melaka, Malaysia: May 6-7.
- Uki, T., Sarda, S. T., Mathew, T.** (2012). Design of Gas-Liquid separator for complete degassing, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3(6), 477–480.
- Yang H. Q., Peugeot J. W. West J. S.** (2017). A computational fluid dynamics study of swirling flow reduction by using anti-vortex baffle, *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Grapevine, Texas, USA: January 9-13.
- Zhou, Q., Graebel, W. P.** (1990). Axisymmetric draining of a cylindrical tank with a free surface, *Journal of Fluid Mechanics*, 221(1), 511–532.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tamer Alp ERENDUR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021-2024 yılları arasında Arçelik A.Ş' de çalıştı.
- 2024 yılından itibaren Roketsan A.Ş' de çalışıyor.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Erendur T. A., Çadırcı S.** 2024. Experimental Study Of Gas Entry Prevention During The Drainage Of A Cylindrical Tank With Plate-type Vortex Breakers. 19. Uluslararası İstanbul Fen, Mühendislik, Mimarlık ve Matematik Bilimlerinde Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Kasım 16-18, 2024 İstanbul, Türkiye.