KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ÇALKALANMA YÜKLERİNİN, ARAÇ ÜSTÜ SIVI TANKLARININ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

GÖKHAN SÖNMEZ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ÇALKALANMA YÜKLERİNİN, ARAÇ ÜSTÜ SIVI TANKLARININ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**GÖKHAN SÖNMEZ** 

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ZEREN Danışman, Kocaeli Üniversitesi Prof. Dr. Ahmet ERDİL Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi Doç. Dr. Talha EKMEKYAPAR Jüri Üyesi, Gaziantep Üniversitesi

Atrelie 56mb

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.10.2019

# ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında çalkalanma yüklerinin, araç üstü sıvı tanklarının davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan ZEREN' e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tez yazım aşamasında bana destek olan aileme ve eşim Firdevs SÖNMEZ'e teşekkür ederim.

Haziran – 2019

Gökhan SÖNMEZ

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLOLAR DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. ÇALKALANMA PROBLEMİ VE ANALİZ METOTLARI	2
1.1. Çalkalanma Problemiyle İlgili Karşılaşılan Durumlar	2
1.1.1. Kara taşımacılığında tanklar	2
1.2. Çalkalanma Davranışının Sınıflandırılması	3
1.3. Çalkalanma Simülasyon ve Hesaplama Metotları	4
1.3.1. Boyutsal deneysel metot	4
1.3.2. Teorik hesaplama modelleri	5
1.3.3. Sarkaç modelleri	5
1.3.4. Hesaplamalı akışkanlar metodu (HAD)	5
1.4. Çalkalanma Probleminin Analizinde Kullanılan Formülasyonlar	5
1.4.1. Formülasyon	6
1.4.2. Kinematik	7
1.4.3. Kütlenin korunum prensibi	8
1.4.4. Momentumun korunumu prensibi	9
1.4.5. Navier-stokes denklemleri	10
2. TEHLIKELI MADDE TAŞIMACILIGI	12
2.1. Tehlikeli Madde Nedir?	12
2.2. Tehlikeli Maddelerin Sınıflandırılması	12
2.3. CTP(Cam elyaf takviyeli plastik) Tank Malzeme Bilgileri	13
3. ÇALKALANMA YUKLERININ ETKI ANALIZLERININ	10
	19
3.1. Ts En 13094 : 2015-10 Standartina Göre Tasarim Doğrulama	10
Metotlari	19
3.2. Sonlu Elemanlar Yontemi ve Hesaplamali Akişkan Dinamigi	21
3.2.1. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan frenleme testi analızı	23
3.2.2. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan minimum çapı 15m olan	25
bir dairede yavaş suruş testi analizi	35
3.2.3. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan engebeli pistte suruş testi	4.4
analizi	44
4. SIWULAS I UN SUNUÇLAKI	54
4.1. AINS I S Y azlımlı Kullanlıarak Y aplian Frenleme Testi On Koşul ve	EA
Analiz Sonuçları	54
4.2. AINO I O I azimini Kunaninarak I apilan Winimum Çapi I Jm Olan Bir Dairada Vayag Sürüg Taşti Ön Kaşul ya Analiz Sanyalar	60
Danede I avaş Suruş Tesu On Koşul ve Ananz Sonuçian	02

4.3. ANSYS Yazılımı Kullanılarak Yapılan Engebeli Pistte Sürüş Testi	
Ön Koşul ve Analizi Sonuçları	
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	



# ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kara taşıtlarında çalkalanma yükü etkisi	2
Şekil 1.2.	Çalkalanma etki tiplerine göre sınıflandırılması	3
Şekil 1.3.	Çalkalanma akışkan hareketine bağlı olarak sınıflandırılması	4
Şekil 1.4.	Boyutsal deneysel metot örneği	5
Şekil 1.5.	Koordinat sistemi tanımlaması ve hız bileşenleri	7
Şekil 1.6.	Akış elemanının momentum dengesi	10
Şekil 2.1.	CTP yakıt tankı örneği	15
Şekil 2.2.	Tank modeli genel görünümü	16
Şekil 2.3.	Tank modeli yan kesit görünümü	16
, Şekil 2.4.	Tank modeli ön kesit görünümü	17
Şekil 2.5.	Tank modeli plan görünümü	17
Şekil 2.6.	Tank modeli katman detayı ve ölçekler	18
Şekil 3.1.	Belirlenen model geometrisinin yazılıma aktarılması	23
Şekil 3.2.	Analizi yapılacak olan tank modelinin 3 boyutlu görünümü	24
Şekil 3.3.	İstenmeyen elemanların kaldırılması	24
Şekil 3.4.	Model yüzeyi isimlendirme	25
, Şekil 3.5.	Mesh oluşturma yöntemi	26
Şekil 3.6.	Nodes ve elements sayısı	26
Şekil 3.7.	Mesh oluşturulmuş tank modeli	27
Şekil 3.8.	Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme	27
, Sekil 3.9.	Test aracının ivmelenme	28
, Şekil 3.10.	Yüzeyde oluşan kuvvetlerin hesabı için yapılan seçimler	29
, Şekil 3.11.	Akış hareketine bağlı model tipi seçimi	29
, Şekil 3.12.	Belirlenen modele malzeme tanımlanması	30
, Şekil 3.13.	Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması	31
, Sekil 3.14.	Cözüm metotları penceresi	32
, Şekil 3.15.	Hacim içeriğinin belirlenmesi	32
Şekil 3.16.	Hesaplama Katsayıları Belirleme	33
Şekil 3.17.	Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme	34
, Şekil 3.18.	Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme	34
, Şekil 3.19.	Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme	35
, Şekil 3.20.	Yer çekimi ivmesi değeri	36
Şekil 3.21.	Ölçü birimi ayarları	36
Şekil 3.22.	Yüzeyde oluşan kuvvetlerin hesabı için yapılan seçimler	37
, Şekil 3.23.	Akış hareketine bağlı model tipi seçimi	37
Şekil 3.24.	Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması	38
, Şekil 3.25.	Belirlenen modele malzeme tanımlanması	39
, Sekil 3.26.	Sisteme hareket özellikleri tanımlama	39
, Şekil 3.27.	Çözüm metotları penceresi	40
Sekil 3.28.	Tank ölçüleri penceresi	41
, Sekil 3.29.	Hacim içeriğinin belirlenmesi	41
Şekil 3.30.	Hesaplama kayıt sayısı belirleme	42
,	1 J J	

Şekil 3.31.	Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme	43
Şekil 3.32.	Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme	43
Şekil 3.33.	Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme	44
Şekil 3.34.	Yer çekimi ivmesi değeri	45
Şekil 3.35.	Ölçü birimi ayarları	45
Şekil 3.36.	Yüzeyde oluşan kuvvetlerin hesabı için yapılan seçimler	46
Şekil 3.37.	Akış hareketine bağlı model tipi seçimi	47
Şekil 3.38.	Belirlenen modele malzeme tanımlanması	48
Şekil 3.39.	Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması	48
Şekil 3.40.	Sisteme hareket özellikleri tanımlama	49
Şekil 3.41.	Çözüm metotları penceresi	50
Şekil 3.42.	Tank ölçüleri penceresi	50
Şekil 3.43.	Hacim içeriğinin belirlenmesi	51
Şekil 3.44.	Hesaplama kayıt sayısı belirleme	52
Şekil 3.45.	Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme	52
Şekil 3.46.	Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme	53
Şekil 4.1.	%97 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası	56
Şekil 4.2.	%97 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası	57
Şekil 4.3.	%60 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası	58
Şekil 4.4.	%60 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası	59
Şekil 4.5.	%30 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası	60
Şekil 4.6.	%30 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası	61
Şekil 4.7.	%97 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası	62
Şekil 4.8.	%97 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası	63
Şekil 4.9.	%60 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası	64
Şekil 4.10.	%60 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası	65
Şekil 4.11.	%30 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası	66
Şekil 4.12.	%30 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası	67
Şekil 4.13.	%97 doluluk oranında engebeli pistte sürüş analizi	68
Şekil 4.14.	%60 doluluk oranında engebeli pistte sürüş analizi	69
Şekil 4.15.	%30 doluluk oranında engebeli pistte sürüş analizi	70
Şekil 5.1.	Frenleme testi total deformasyon sütun grafiği	72
Şekil 5.2.	Frenleme testi elastic strain sütun grafiği	73
Şekil 5.3.	Frenleme testi stres değerleri sütun grafiği	73
Şekil 5.4.	Dairede yavaş sürüş testi total deformasyon sütun grafiği	74
Şekil 5.5.	Dairede yavaş sürüş testi elastic strain sütun grafiği	75
Şekil 5.6.	Dairede yavaş sürüş testi stress değerleri grafiği	75
Şekil 5.7.	Engebeli pistte sürüş testi total deformasyon grafiği	76
Şekil 5.8.	Engebeli pistte sürüş testi elastic strain grafiği	77
Şekil 5.9.	Engebeli pistte sürüş testi stres değerleri grafiği	77

# TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Sistemde yer alan bilinmeyenlere ait denklemler	
Tablo 4.1. Modelin parçalara ayrılmış halde geometrik özellikleri	
Tablo 4.2. Modelin malzeme özellikleri	
Tablo 4.3. Modelin mesh özellikleri	
Tablo 5.1. Frenleme testi analiz değerleri tablosu	
Tablo 5.2. Dairede yavaş sürüş testi analiz değerleri tablosu	74
Tablo 5.3. Engebeli pistte sürüs testi analiz değerleri tablosu	



# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

b	: Tankın genişliği, (mm)
c	: Ele alınan ortamdaki ses hızı, (m/s)
dS	: Eğik yüzeyin alanı, (m <sup>2</sup> )
E	: Tankın elastisite modülü, (GPa)
fap	: Doğal frekans, (Hz)
Fn	: Froude sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi, (m/s <sup>2</sup> )
h	: Tanktaki sıvının yüksekliği, (mm)
Ι	: İçsel enerji, (joule)
k	: Termal iletkenlik, (W/mK)
L	: Tankın uzunluğu (küre için çap), (mm)
li	: Sarkaç boyu, (mm)
ML	: Toplam moment değeri, (N.m)
Р	: Basınç, $(N/m^2)$
Prt	: Prandtl sayısı
R	: Boltzman sabiti, (kJ/kmol-K)
Re	: Reynolds sayısı
Ri	: Toplam yüzey kuvveti, (N)
Т	: Dış etkinin periyodu, (s)

# Kısaltmalar

ADR	: The European Agreements Concerning The International Carriage of Dangeous Goods by Road(Tehlikeli Malların Karayolu ile
	Uluslararası Tasımacılığına İliskin Avrupa Anlasması)
API	: Application Programming Interface(Uvgulama Programlama arayüzü)
ASME	: American Society of Mechanical Engineers(Amerikan Makine
	Mühendisliği Birliği)
BEB	: Büyük Eddy Benzeşimi
DNV	: Det Norske Veritas(Norveç merkezli kuruluş)
DPH	: Düzgün Parçacık Hidrodinamiği
FEMA	: Federal Emergency Management Agency(Federal Acil Durum
	Yönetim Teşkilatı)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	: Large Eddy Simulation(Büyük Eddy simülasyonu)
LS	: Level – Set (Seviye set)
MIT	: Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts Teknoloji
	Enstitüsü)
N-S	: Navier – Stokes
RANS	: Reynolds-averaged Navier–Stokes
RTT	: Reynolds Transport Teoremi
VOF	: Volume of Fluid (Akışkan Hacim Metodu)

# ÇALKALANMA YÜKLERİNİN, ARAÇ ÜSTÜ SIVI TANKLARININ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Ekonomik ve ticari açıdan değer taşıyan sıvılar (su, akaryakıt, kimyasal maddeler v.s.) çeşitli araçlarla taşınmakta ve belirli depolama alanlarında saklanmaktadır. Gerek taşımalar sırasında aracın hareketi gerekse de depolama tanklarına taşınma esnasında gelebilecek kuvvetler nedeniyle bu tanklarda sıvı çalkalanması meydana gelmektedir. Bu etki ile meydana gelen basınçlar sıvıyı barındıran tanklarda hasarlar ve genel stabilite problemlerine neden olabilmektedir. Çalkalanma, akışkanlar mekaniğinde bir sıvının bir nesne içindeki hareketi olarak tanımlanır. Sıvı taşıyan bir araç içinde veya bir yakıt tankında, sıvı ile tam doldurulmamış durumlarda nesnenin hareketinin periyodu, akışkanın doğal periyoduna yaklaştığında oluşan çalkalanma, yapının güvenliğini etkileyebilecek ek yükler oluşturabilmektedir. Bu tez çalışmasında, çalkalanma problemi davranışından, problemin tespitinde kullanılan metotlardan, sıvıların taşımacılığında kullanılan ADR (Tehlikeli Maddelerin Uluslararası Karayollarında Taşınmasına Dair Avrupa Anlaşması) mevzuatından ve mevzuata uygun olarak ANSYS yazılımı yardımıyla yapılan analizlerden bahsedilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler ve grafikler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ADR, Akışkanlar Mekaniği, ANSYS, Çalkalanma, Stabilite.

# **RESEARCH OF THE EFFECT OF SLOSHING LOADS ON THE BEHAVIOR OF THE VEHICLE LIQUID TANKS**

#### ABSTRACT

Liquids that have economic and commercial values (water, petroleum products, chemicals, etc.) are transported by various vehicles and kept in specific tanks. Sloshing occurs in these tanks due to motion of vehicles and forces that acts during transportation. Pressures as a consequence of these effects may cause local damages and general stability problems on partial filled tanks. Sloshing is defined in fluid mechanics as movement of a fluid in an object. Sloshing occurs only when the liquid has a free surface that allows interaction with the container system dynamics. Sloshing, the movement of liquid inside another object could be seen in the fluid container located in a vessel. In this thesis, the sloshing problem behavior, the methods used in the solution of the problem, the ADR legislation used in the transportation of liquids and the analyses carried out with the help of ANSYS software are mentioned. Data and graphs obtained from the analysis results are presented.

Keywords: ADR, Fluid Mechanics, ANSYS, Sloshing, Stability.

# GİRİŞ

Çalkalanma, bir kap içerisinde bulunan serbest sıvı yüzeyinin haznede yaptığı hareket olarak adlandırılır. Kısmen sıvı ile doldurulmuş tanklarda da, sıvının hareketine neden olabilecek herhangi bir kuvvette çalkalanmaya sebebiyet verebilir. Tank üzerinde etki eden kuvvet ve tankın geometrisine bağlı bir şekilde oluşan çalkalanma hareketi; düzlemsel, düzlemsel olmayan, simetrik, asimetrik, kaotik veya rotasyonel bir yapıya sahip olabilir. Sıvı çalkalanması sorununun üstesinden gelebilmek için; tanka etki eden kuvvetlerin, momentlerin, hidrodinamik basınçların ve sıvı serbest yüzeyinin doğal frekansının hesaplanabilmesi gerekmektedir.

Çalkalanma, meydana geldiği her sistem için farklı etkilere sebep olabilir.

Örneğin; hareketli bir araç için sıvının tankın yüzeyi ile etkileşime girmesi direksiyon ve fren performansını olumsuz etkileyebilir. Buna benzer olarak uzay gemilerine itici güç sağlayan yakıt tanklarında ki sıvı hareketliliği ve kargo gemilerinde taşınan sıvıların limanlara yaklaşım esnasında yapılan yavaşlama hareketiyle beraber oluşan çalkalanma hareketi de istenmeyen sonuçlar doğurabilir.

Bu tez çalışmasının amacı, çalkalanma problemi davranışından, problemin çözümünde kullanılan metotlardan, sıvıların taşımacılığında kullanılan ADR mevzuatından, mevzuata uygun olarak ANSYS yazılımı yardımıyla yapılan analizlerden ve simülasyon sonuçlarında dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsetmektir. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler ve grafikler sunulmuştur

### 1. ÇALKALANMA PROBLEMİ VE ANALİZ METOTLARI

Sıvı çalkalanmasına sebep olan tank hareketlerinin birden fazla modu, frekansı ve büyüklükleri var olabilir. Tank içerisinde ki mevcut sıvı bu davranışlara farklı tepkiler verir ve bu karmaşık tepkileri yorumlamak oldukça zordur. Bu çalışmada analiz safhasından önce akışkanların hareketiyle ilgili "kütlenin korunumu", "momentumun korunumu" ve diğer denklemleri açığa çıkaracak olan diğer bağıntıları açıklamak gerekmektedir.

# 1.1. Çalkalanma Problemiyle İlgili Karşılaşılan Durumlar

# 1.1.1. Kara taşımacılığında tanklar

Romero, 2005 yılında yaptığı çalışmasında, sıvı yük taşıyan kara taşıtı kazalarının %4'ünün çalkalanma hareketinden dolayı meydana geldiğini söylemiştir [1]. Genellikle virajlarda oluşan çalkalanma sebebiyle, aracın otoyolda şerit değiştirmeye ihtiyaç duyma olasılığı fazladır. Bunların dışında, aracın durmak için yaptığı ani bir fren durumunda da tankta çalkalanma hareketi oluşur. Doluluk oranı az olan bir tanka sahip aracın ani durması esnasında oluşacak dalga, tanka çarparak aracı dalga yönünde itecektir. Benzer durum, sıvı yüklü tankı olan trenler için de aynıdır. Bogomaz, 2004 yılında, sadece bu duruma değinen bir kitap yazmıştır [2,3]. Sıvı yüklü tankerlerin virajdaki davranışı Şekil 1.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kara taşıtlarında çalkalanma yükü etkisi

#### 1.2. Çalkalanma Davranışının Sınıflandırılması

Çalkalanma davranışı tankın doluluk oranına, çalkalanmanın oluşturduğu etkinin tipine veya tankta bulunan sıvıya göre sınıflandırılabilir. Olsen, 1976 yılında çalışmada, çalkalanmayı uyarıcı kuvvetin etki yönüne göre sınıflandırmıştır [4]. Bu sınıflandırmalar aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir;

- Yatay Çalkalanma: Önemli tipteki çalkalanma davranışlarından biridir. Tankların açısal hareketlerinden meydana gelir.
- Dönme Çalkalanması: Tankların geometrisiyle alakalı üç boyutlu durumdur.
- Dikey Çalkalanma: Hareketsiz dalgaların neden olduğu bir durumdur.

Sınıflandırma şekillerinden bir diğeri ise, etkinin tipine göredir. Şekil 1.2 'de, dört farklı etki tipi gösterilmiştir.

Şekil 1.2'de, (a) maddesinde belirtilen şekilde dik dalga etkisi gösterilmiştir. Bu durumda belirgin dalga görülmektedir ve oluşan kuvvet etkisi gaz fazı içermez. Ayrıca şekildeki (b) maddesinde belirtilen durum, kırılan dalga etkisi olarak isimlendirilir. Bu etkide şekilde de açıklandığı gibi bir gaz bölgesi oluşur. Yukarıdaki şekilde (c) maddesinde, havalandırılmış dalga etkisi görülmektedir. Şekildeki taralı kısım, gaz+sıvı karışımını temsil etmektedir. Bu durumun sonuçlarından biride büyük çarpma basınçları oluşmasıdır.

Son maddede beliritlen şekil, yine bir dalga kırılmasını belirtmektedir ve farkı, bir gaz bölgesinin meydana gelmemesidir. Malenica, 2009 tarihli çalışmasında, bu etkinin en büyük yersel basınçları oluşturduğunu ortaya koymuştur [5].



Şekil 1.2. Çalkalanma etki tiplerine göre sınıflandırılması

Bir başka sınıflandırma, akışkanın hareketine bağlı olandır. Akışkan hareketine bağlı olan üç farklı durum, Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çalkalanma akışkan hareketine bağlı olarak sınıflandırılması

Pilipchuck ve İbrahim, 1997 tarihli çalışmalarında, çalkalanma yukarıdaki şekilde de belirtildiği gibi üç farklı durumda sınıflandırmışlardır [6,7].

Yukarıdaki şekilde (a) maddesinde belirtildiği gibi sıvı serbest yüzeyi düzlemsel olduğu durumda çalkalanma davranışı doğrusal denklemler ile tanımlanabilir. Hareketin genliği arttığında ya da dış etkinin frekansı rezonans haline yaklaştığında ise zayıf bir doğrusal olmayan meydana gelir. Bu durumda (b) maddesine karşı gelmektedir. Bu bağlamda doğrusallık kabulü geçerliliğini kaybetmekte ve yüksek mertebe matematiksel modellere başvurulması gerekir. Yukarıdaki şekilde (c) maddesinde anlatılmak istenen ise, akışkan hızında ani değişimler ve gezen dalga oluşumudur.

#### 1.3. Çalkalanma Simülasyon ve Hesaplama Metotları

Boyutsal deney, teorik ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metotları ile yapılabilir.

#### 1.3.1. Boyutsal deneysel metot

Belirli formülasyonlarla fiziksel ortamda gerçekleşecek yüklemeler modellenir. Oldukça pahalı olan bu metot havacılık ve uzay araştırmaları gibi sektörlerde kullanılabilir. Boyutsal deneysel metod örneği Şekil 1.4'de görülmektedir. Fiziksel ortamın uygunluğunu sağlamak ve yüklemelerin modellenmesi açısından oldukça dikkat gerektirir.Farklı geometri ve koşullarda test yapmak oldukça uzun ve maliyetli bir süreçtir.Bu sebeplerden ötürü belli özel konular dışında kullanım alanı oldukça azdır.



Şekil 1.4. Boyutsal deneysel metot örneği

# 1.3.2. Teorik hesaplama modelleri

Potansiyel akım teoremi sayesinde belli başlı geometriler ile HAD çözümlemelerine gerek duyulmadan analitik çözümler elde edilmiştir. Ancak çok sınırlı geometrilerde yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir [7].

# 1.3.3. Sarkaç modelleri

Çalkalanma hareketi oluşturan sıvı sarkaç, statik olarak duran sıvı ise bu sarkaca bağlı bir kütleyi tanımlar. Oluşturulan matematiksel modeller yardımıyla sistemler çözülebilir.

# 1.3.4. Hesaplamalı akışkanlar metodu (HAD)

Bilgisayar programlama(kodlama) ve donanımsal olarak gelişmelerle birlikte HAD kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

HAD içerisinde çeşitli hesaplama yaklaşımları olması ile birlikte en yaygın kullanımı gerçek akışkanların en iyi modellenmesini sağlayan Navier-Stokes denklemleridir.

# 1.4. Çalkalanma Probleminin Analizinde Kullanılan Formülasyonlar

Viskoz ve sıkıştırılamayan bir akışkana ait denklemler, Navier – Stokes denklemleri şeklinde adlandırılır.20. yüzyılda, Navier-Stokes denklemleri özellikle matematikçilerin

büyük ilgisi ile karşılaşmıştır. Söz konusu araştırmalar Leray'in 1930'lu yıllardaki çalışmalarını takip etmişlerdir [8,9].

Bu denklemler isimlerini Claude Navier ve George Stokes'tan almıştır ve akışkanların hareketlerini tanımlayan denklemlerden oluşmuştur. Çalışmaların temelleri Newton'un ivmelenme ilkesine dayanmaktadır. Bu formüller;basınç farklılıklarının ve viskoz kuvvetlerinin toplamının birim kütleye etki eden momentum farklılıklarına eşit olduğunu göstermektedir.

Navier-Stokes denklemleri, 20. yüzyıl modern matematiksel analizinin iki önemli denklemlerinden biri olarak bilinmektedir..Leray'in çalışmalarından sonra Navier-Stokes denklemlerini daha ileri götüren çalışmayı Ladyzhenskaya gerçekleştirmiştir [10]. Bu alanda en yaygın olan çalışmayı ise Ruelle ve Takens gerçekleştirmişlerdir [11]. Bu çalışmada, Navier-Stokes denklemlerinin türbülanslı akışı tanımlamada kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Bu başlık altında, çalkalanma probleminde kullanılan formülasyonlar ve temel matematiksel ifadeler anlatılacaktır.

#### 1.4.1. Formülasyon

Navier-Stokes denklemleri vektörel gösterimde Denklem 1.1'de aşağıdaki formdadırlar.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u = -\frac{1}{p} \nabla p + v \nabla^2 u$$

$$\nabla . u = 0$$

$$(1.1)$$

Denklemde yer alan u terimi hızı ifade etmekte olup bileşenleri Denklem 1.2'de aşağıdaki şekildedir.

$$u=(u,v,w)=(u_1,u_2,u_3)$$
 (1.2)

Denklemde 1.3'te yer alan bir diğer ifade "Nabla Operatörü" olup aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right) = \left(\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial y_2}, \frac{\partial}{\partial z_3}\right)$$
(1.3)

Laplace Operatörü ise Denklem 1.4'te aşağıda tanımlanmıştır.

$$\nabla^{2} = \left(\frac{\partial^{2}}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2}}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2}}{\partial z^{2}}\right)$$
(1.4)

Yukarıdaki 1.1 numaralı denklemde yer alan v terimi kinematik viskoziteyi, p terimi özgül kütleyi ve p terimi ise basıncı ifade etmektedir. Şekil 1.5'de koordinat sistemi ve hız bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Koordinat sistemi tanımlaması ve hız bileşenleri

Özetle, bu kısımın başında verilen 1.2 numaralı denklem Newton'un ikinci hareket kanununun bir akış alanına uygulanmış şekli olup, denklemin sol tarafı (kütle x ivme)'ye, sağ tarafı ise akışkana uygulanan kuvvetlerin toplamına karşı gelir. Bölümün başında verilen ikinci denklem ise kısaca kütlenin korunumunu belirtir [12].

#### 1.4.2. Kinematik

Kinematiğin tanımı hareketin kuvvetler olmadan ifade edilmesidir. Bu bölümde anlatılması gereken ise, Lagrange ve Euler koordinatları olacaktır. Lagrange koordinat sisteminde akışkana ait parçacıklar işaretlenir ve akış boyunca takip edilirler. Bu sistemde bağımsız değişkenler;

 $x_i^0$  akışkan parçacığının başlangıç konumu ve t zamandır.

₽ ile ifade edilen parçacığın izlediği yörünge aşağıdaki Denklem 1.5 ile gösterilir.

 $r_i = r_i(x_i^{0}, t)$ 

Parçacığın hızını, konumundaki değişimin oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki Denklem 1.6'de ki şekilde yazılabilir [13].

$$\mathbf{u}_{i} = \frac{\partial \mathbf{r}_{i}}{\partial t} \tag{1.6}$$

Açıklanan korunum denklemleri ve diferansiyel formları aynı zamanda Newton'un viskozite yasası birlikte Navier-Stokes Denklemleri'ni meydana getirirler [14].

#### 1.4.3. Kütlenin korunum prensibi

Kütlenin korunum prensibi en temel ilkelerdendir. Kütle, bir süreç esnasında yoktan var edilemez veya vardan yok edilemez. Akışkanlar mekaniğinde, diferansiyel bir kontrol hacmi için yazılan kütlenin korunumu prensibi genellikle süreklilik denklemi olarak adlandırılır. Bir önceki kısımda ifade edilen "Reynolds Transport Teoremi" yardımı ile kütlenin korunumuna ait bağıntı Denklem 1.7'de ki gibi elde edilebilir [15].

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \int_{\forall(t)} p \mathrm{d}A = \int_{\forall(t)} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_{k}} (u_{k}p) \right] = 0$$
(1.7)

Bu ifadeyi sadeleştirmek için maddesel türevin tanımından yararlanılırsa;

$$0 = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_{k}} \left( u_{k} p \right) = \frac{\partial p}{\partial t} + u_{k} \frac{\partial p}{\partial x_{k}} + p \frac{u_{k}}{x_{k}} = \frac{dp}{dt} + p \frac{\partial u_{k}}{\partial x_{k}}$$
(1.8)

Yukarıdaki Denklem 1.8'de, numaralandırılmış olan ifadeler aşağıda maddeler halinde tanımlanmıştır.

-  $\frac{\partial p}{\partial t}$  = Ele alınan elemanda biriken kütleyi -  $\frac{\partial}{\partial x_k} (u_k p)$  = Elemandan çıkan net akış oranını -  $\frac{\partial p}{\partial t} + u_k \frac{\partial p}{\partial x_k} + p \frac{u_k}{x_k}$  = Akışkanın özgül kütlesindeki değişim oranını -  $\frac{dp}{dt} + p \frac{\partial u_k}{\partial x_k}$  = Hacimdeki genişlemeyi ifade eder. Birim kütleden, bir büyüklüğün taşınımı kabul edilirse, yani T<sub>ij</sub>=pt<sub>ij</sub> kabulü ile Reynolds Transport Teoremi Denklem 1.9'de ki gibi sadeleştirilebilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( pt_{ij} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left( u_k pt_{ij} \right) = p \frac{Dt_{ij}}{Dt}$$
(1.9)

ve böylelikle Denklem 1.10 aşağıdaki forma ulaşır.

$$\frac{d}{dt} \int_{\forall(t)} pt_{ij} d\forall = \int_{\forall(t)} p \frac{Dt_{ij}}{Dt} d\forall$$
(1.10)

#### 1.4.4. Momentumun korunumu prensibi

Bir cismin hızının ve kütlesinin vektörel çarpımı, cismin doğrusal momentumu olarak isimlendirilebilir.Bir sistemin momentumu, sisteme etki eden net kuvvet sıfır olduğunda sabit kalır ve bu sayede sistemin momentumu korunmuş olur.

Özetle, bu bölgedeki momentum değişimi, o alana etki eden kuvvetlerin toplamına eşit olması gerekmektedir. Momentumun korunumu, integral formda aşağıdaki Denklem 1.11 ile ifade edilebilir[16].

$$\frac{d}{dt} \int_{\forall(t)} pu_i = d\forall = \int_{\forall(t)} pFid\forall + \int_{s(t)} RidS$$
(1.11)

Denklemde geçen büyüklükler;

Fi: Birim kütleye etki eden gövde kuvvetleri Ri: Birim alana etki eden yüzey kuvvetleri pui: Birim hacimdeki momentum'dur.

Şekil 1.6'da kontrol hacmi içerisindeki bir akış elemanının yüzey kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Akış elemanının momentum dengesi

Şekilde yer alan R (n), dS yüzeyindeki birim alana etkiyen yüzey kuvvetini, n ise şeklin normalini göstermektedir. Bu akışkan parçacığının momentum korunumu aşağıdaki Denklem 1.12 ile açıklanabilir.

$$p\frac{Du_{t}}{Dt}dsdl = pF_{1}dSdl + R_{i}(n_{j}^{1})dS + R_{i}(n_{j}^{11})Ds + \sum_{k}R_{i}(n_{j}^{111(k)})\Delta s^{(lk)}dl$$
(1.12)

n: yüzeyin normal vektörü

n<sub>j</sub><sup>1</sup>: yüzeyin yatay doğrultuda ki normali

n<sub>i</sub><sup>11</sup>: yüzeyin yatay doğrultuda ki normali

n<sub>j</sub><sup>111</sup>: yüzeyin dikey doğrultuda ki normali

dS: yüzey alanı

Bu denklemler, bir yüzeydeki kuvvetin karşı yüzeyde aynı miktarda bir kuvvetle dengelendiğini ifade eder.

#### 1.4.5. Navier-stokes denklemleri

Önceki bölümlerde anlatılan kütlenin korunumu ve momentumun korunumu kanunları sonucu aşağıdaki 1.13,1.14,1.15,1.16,1.17'te Navier-Stokes denklemleri elde edilir.

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}p + p\frac{\partial u_{k}}{\partial x_{k}} = 0 \tag{1.13}$$

$$p\frac{du_{t}}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_{i}} + \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_{j}} + pF_{i}$$
(1.14)

$$p\frac{d}{dt}e = -p\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \emptyset + \frac{\partial}{\partial x_i} (K\frac{\partial T}{\partial X_i})$$
(1.15)

$$\varnothing = T_{iJ} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$
(1.16)

$$T_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{2}{3} \frac{\partial u_r}{\partial x_r} S_{ij}\right)$$
(1.17)

Bu denklemlerin haricinde termodinamik bağıntı denklemleri ve ideal gaz denklemleri, denklem 1.18 ve 1.19'te gösterilmiştir.

$$e=e(T,p)$$
 (1.18)

p=pRT

Sistem denklemlerinin çözülmesi için 7 adet denklem ve 7 adet bilinmeyen elde edilmiştir.

(1.19)

Tablo 1.1. Sistemde yer alan bilinmeyenlere ait denklemler

Bilinmeyen		Denklemler	
р	1	Süreklilik	1
ui	3	Momentum	3
р	1	Enerji	1
e	1	Termodinamik	1
Т	1	İdeal Gaz Kanunu	1
Σ	7	$\Sigma$	7

Bu sayede bilinmeyenler için yeterli sayıda denklemler bulunmuştur. Navier-Stokes denklemleri için kütle korunumu ve momentum korunumu hakkında 1.20 ve 1.21 denklemleri sırasıyla yazılır.

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} p + p \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1.20}$$

$$p\frac{d}{dt}u_{i} = -\frac{\partial p}{\partial x_{i}} + \frac{\partial_{Tij}}{\partial x_{j}} + pF_{i}$$
(1.21)

Akışkan için kütle korunumu ve momentum korunumu denklemleri sayesinde bulunan denklemler Navier-Stokes Denklemleri olarak ifade edilir.

# 2. TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞI

Ulaşım sektöründe de şirketler ve müşteriler için olanaklar artarken daha faydalı hizmetler sağlanmaktadır. Tehlikeli maddeler, ulaşım sektöründe çevreye zarar verebilecek maddelerdir; bunlara özgü uygulamalar yapılması ve taşıma sürecinin güvenli gerekir. Günümüzde kullanımda olan ama taşınması diğer maddelerden farklı olarak özel ilgi isteyen tehlikeli maddelerin, bir yerden bir yere taşınmasının belirli bir düzen içerisinde ve gerekli adımlar uygulanarak yapılması gerekmektedir. Bunun için tehlikeli madde taşımacılığı sektörü için, çevreye zarar vermemesi amacıyla çeşitli yönetmelikler çıkarılmıştır. Karayollarında ADR, denizyolunda IMDG, demiryolunda RID, havayolunda IATA/DGR, iç sular ve kanallarda ADN/ADNR standartları vardır. Ülkemizde "Tehlikeli Maddelerin Uluslararası Karayollarında Taşınmasına Dair Avrupa Anlaşması" olarak tanımlanan ADR Konvansiyonu da bunlardan biridir. Konvansiyon karayolları için tehlikeli madde taşıması için sorumlulukları ve yükümlülükleri belirlemektedir [17].

#### 2.1. Tehlikeli Madde Nedir?

ADR mevzuatına göre tehlikeli maddenin tanımı şöyledir: Tehlikeli maddeler; doğaları, özellikleri, durumları itibari ile taşıma işlemine bağlantılı olarak; genel güvenliği ve düzeni, toplumu, hayat kaynaklarını, canlıları tehlikeye düşürebilecek olan maddelerdir [18].

#### 2.2. Tehlikeli Maddelerin Sınıflandırılması

Tehlikeli maddeler dokuz sınıfa ayrılır. Bunlar:

- Sınıf 1- Patlayıcı Maddeler
- Sınıf 2.1- Yanıcı Gazlar
- Sınıf 2.2- Yanıcı ve Zehirli Olmayan Gazlar
- Sınıf 2.3- Zehirli Gazlar
- Sınıf 3- Yanıcı Sıvılar

- Sınıf 4.1- Yanıcı Katılar
- Sınıf 4.2- Kendi Kendine Yanan Maddeler
- Sınıf 4.3- Su İle Temasında Yanıcı Gaz Çıkaran Maddeler
- Sınıf 5.1- Yakıcı (oksitleyici) Maddeler
- Sınıf 5.2- Organik Peroksitler (Alt sarı/ üst kırmızı ve ortada alev) [19].
- Sınıf 6.1- Zehirli Maddeler
- Sınıf 6.2- Bulaşıcı Maddeler
- Sınıf 7- Radyoaktif Maddeler
- Sınıf 8- Aşındırıcı Maddeler
- Sınıf 9- Farklı Tehlikeleri Olan Madde ve Nesneler [20].

### 2.3. CTP(Cam elyaf takviyeli plastik) Tank Malzeme Bilgileri

Bir önceki bölümde tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan mevzuatlardan bahsedilmiştir. Bu bölümde ise tehlikeli madde taşımacılığında yaygın olarak kullanılan CTP(Cam elyaf takviyeli plastik) tankın malzeme bilgileri hakkında bilgiler verilmiştir.

Cam elyaf ve taşıyıcı bir matriks reçinenin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeye CTP denir.CTP, ortam koşullarına dayanımlı (asit, korozyon vb.), esnek ancak mukavemet değerleri düşük plastik esaslı bir malzeme ile (polyester) yüksek mukavemet dayancına sahip cam elyafın birleştirilmesi ile oluşan kompozit bir malzemedir.

Özel tasarım ve hesaplama ve deneylerle elde edilen malzemeler aşağıda bulunan avantajlara sahiptir.

 Hafif olması: Her nakliye işleminde karayollarının müsaade ettiği maksimum yükleme ağırlık miktarı bulunmaktadır. Bu miktarın üzerinde ki sevkiyatlara karayolları kesinlikle müsaade etmeyip sıkı bir kontrol mekanizması ile kontrolleri gerçekleştirmektedir.Özellikle metal gövdelere göre ağırlık avantajı sağlayan CTP yapılar hem ekonomi hem güvenlik açısından avantajlı durumda olmaktadır.

- Yüksek korozyon direnci: Metal ve türevlerine göre çok yüksek korozyon dirençlerine sahip olmasından ötürü ADR mevzuatında önemli bir yere sahiptir
- Kolay onarılabilirlik: Herhangi bir hasar durumunda daha kolay tamirat işlemleri yapılabilir.

Bu ana sebeplerden ötürü tehlikeli malzeme taşımacılığı mevzuatında CTP malzemeler çok önemli bir alana sahiptir.

CTP İki ana malzemeden oluşur:

- Doymamış polyester
- Cam elyaf

En çok kullanılan polyester reçineler termoset grubuna dahil olan reçinelerdir. İstenilen kimyasal dayanımlara göre farklı kimyasal bileşimlerle üretilebilirler. Cam elyaf ise alümina, kum, kireçtaşı, kolemanit vb. hammaddelerin öğütülüp pişirilme yöntemi ile oluşturulur.

CTP kompoze malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri reçine ve cam elyaf arasında ki oluşacak bağ dayanımı ile doğru orantılıdır. Cam elyafın oranına, dağılma yönü ve dağılma şekline göre mukavemet değerleri farklılık gösterebilir.

CTP kompozit Yapısı Genel Olarak:

- Kimyasallara karşı yüksek dayanım direnci
- Yüksek mukavemet dayanımı
- Düşük özgül ağırlık(taşımacılıkta daha fazla malzeme taşınımı)
- Yüksek alev dayanımı
- Düşük bakım maliyet giderleri
- Farklı renk seçeneklerinde üretim
- Farklı imalat yöntemine uygun
- Yüksek yaşlanma direnci

gibi hususlardan ötürü özellikle asit vb. malzemelerin taşınmasında ön plana çıkmaktadır.

#### CTP Kullanım Alanları:

- Nakliye sektörü: Hafif ve dayanımlı olması nakliye sektöründe büyük avantaj sağlanmaktadır. Frigrotik kamyon kasaları vb.
- Otomotiv sektörü: Otomobil iç gövde ve bazı dış parçalarında, kamyon tavan kısımlarında kullanılır.
- Raylı sistemler: Vagon ve tramvay gövdeleri.
- İnşaat sektörü: Dış cephe kaplama, aydınlatma alanları, korozyona karşı direnç istenilen tüm yapı alanları ve köprülerde
- Havacılık sektörü: Uçak gövde ve kanat malzemeleri
- Savunma Sanayi: Hücum botlar ve mayın tarama gemileri, roketatar gövdeleri.



Şekil 2.1. CTP yakıt tankı örneği

Analizlerde kullanılan FRP gövde yapısına sahip tank modeli;

İçte 4mm PVC plakaya, üzerinde Vinilester reçine ile iki kat 450 gr/m<sup>2</sup> cam elyaf keçeye sahiptir. Bu iki katmanın üzerine 4 katman genel amaçlı reçine ile 800 gr/m<sup>2</sup> cam örgüye ilave olarak 450 gr/m<sup>2</sup> keçe katmanları serilmiştir. Son katman ise Tiksotrofik yanma gecikmeli reçine ile 450 gr/m<sup>2</sup> iki kat cam elyafla kaplanmıştır, Şekil 2.1. Aşağıdaki şekil 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2,8 polyester tank imalatı yapan bir firmadan alınan imalat paftalarına ve tank ölçülerine yer verilmiştir [21].







Şekil 2.3. Tank modeli yan kesit görünümü



Şekil 2.4. Tank modeli ön kesit görünümü



Şekil 2.5. Tank modeli plan görünümü



Şekil 2.6. Tank modeli katman detayı ve ölçekler

Şekil 2.6 görüleceği üzere tank gövde yapısı,katmanlı bir yapıya sahiptir.

### 3. ÇALKALANMA YÜKLERİNİN ETKİ ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ

#### 3.1. Ts En 13094 : 2015-10 Standartina Göre Tasarım Doğrulama Metotları

A.1.Genel

Tankın taşınmasında ve tankın araca monte edilmesinde A.2.'de belirtilen yöntemler kullanılacaktır [22].

A.2.Dinamik Test Aşaması

A.2.1 6.4.2.(Dinamik yükleme koşullarıyla ilgili EN 13094 ek kısım yönetmeliği)'de belirtilen yüklerin doğrulanması için yöntemler

A.2.1.1 Genel

İvmelenme ve bağlı gerinme ölçümü aşağıdaki testlerle yapılır:

- Frenleme (A.2.1.2)
- Engebeli pistte sürüş (A.2.1.3);
- En az 15 m çapında bir dairede yavaş sürüş (toplam uzunluk 18,65m'yi aşmayan araç kombinasyonları için geçerlidir; diğer araç kombinasyonları için diğer dönüş çapları geçerli olabilir (A.2.1.4)

A.2.1.2 ila A.2.1.4'te belirtilen testler, kapasitelerinin en az % 97'sine kadar su dolu depo ile yapılmalıdır. Test aracının aşırı yüklenmesi durumunda, yetkili mercilerle bu durum kararlaştırılmalıdır. Örneğin, bölmeli tanklar için bazı bölmeler doldurulmadan bırakılabilir ve bu bölmeler doldurulmuş olarak test tekrarlanabilir. Bununla birlikte, her durumda, her bölme test sıvısı ile nominal kapasitesine kadar doldurulacak ve sadece ağırlıkla yüklenmeyecektir.

Ölçülen gerinmelerin doğrusal değeri aşağıdaki durumlar dikkate alınarak hesaplanacaktır: Ölçülen ivmelenmeler ile A.2.1.2 ila A.2.1.4'te belirtilen tasarım ivmelenmeleri arasındaki fark. Sıvının kütlesi ile tank plakasında gösterilen maksimum madde kütlesi arasındaki fark.

#### A.2.1.2 Frenleme testi

Frenleme, yaklaşık 0,6 g kuvvetinde yavaşlama ile düz ve kuru bir yolda yapılmalıdır. Ölçülen değerler, istenen 2 g kuvvetine kadar doğrusal olarak hesaplanmalıdır.

#### A.2.1.3 Engebeli pistte sürüş testi

Dayanıklılığı sağlamak için otomobil yapımında kullanılan bir test yoluna sürmek gerekli değildir. Engelli düz yollar (örneğin, 45 mm yüksekliğinde ve yol yönünde eğimli tahta kasisler, tank aracının ilk ve son aksı arasındaki mesafeye denk gelen) yeterlidir.

Engeller, sağ ve sol taraflara dönüşümlü olarak yerleştirilmelidir. Tank aracının hızı ve engellerin yüksekliği, elde edilen değerler 2 g kuvvetine kadar ekstrapolasyona izin verecek şekilde olmalıdır.

### A.2.1.4 Minimum çapı 15m olan bir dairede yavaş sürüş testi

Hız, tank aracının devrilme sınırına ulaşılmayacak şekilde olmalıdır. Gerekirse, bir destekleyici araç sağlanmalıdır. 0,4 g kuvvetinde bir enine ivmeye ulaşıldığında, doğrusal olarak hesaplanmalıdır.

Test programının içeriği ve detayları, yetkili otorite ile birlikte her bir vaka için kararlaştırılmalıdır.

Gerinim ölçerler, tank yüzey alanında ve en fazla gerilmenin beklendiği ek yerlerine bağlanmalıdır (özellikle stres tepe noktalarının yaşandığı yerlerde kendi kendini destekleyecek şekilde inşa edilmiş tank araçlarının alt tarafındaki alanlar), gerinim ölçerler sıfır yükte (boş depo) kalibre edilmelidir.

x-,y- ve z- koordinatlarının ivme değerleri, tankın aşağıdaki destek yapılarına yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülmelidir:

- Rijit tank kamyonları için, tankın ön ve arka desteklerinde;
- Yarı römorklar için aks başı ve arka bojinin üstünde;

- Çekme çubuğu römorklarında, ön ve arka bojinin üstünde;
- Kendinden destekli tanklar için (altta uzunlamasına bir çerçeve olmadan), ön tarafta,
- Tankın çekiş yönünde ve seyir ettiği yönde meydana gelebilecek maksimum basınç, tank bölmesinin ön ucunda, en yüksek hacimli ve tankın tabanından üçte bir derinliğinde bulunan bir sensör ile belirlenmelidir.

#### 3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Hesaplamalı Akışkan Dinamiği

ANSYS yazılımı ile yapılan analizlerde teorik olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi referans alınmıştır. Sonlu Eleman Yöntemi, birçok farklı mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Söz konusu yöntem bu çalışmada çalkalanma problemine de uyarlanmıştır. Sonlu Eleman yönteminde, akış alanı elemanlara bölünür ve şekil fonksiyonları bu elemanlar üzerinde kullanılır. Yöntemim üç farklı niteliği vardır. Birinci adımda geometrik anlamda karmaşık olan hesaplama bölgesi sonlu eleman yöntemi şeklinde isimlendirilen basit alanlara ayrılır. İkinci durumda her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu şeklinde tanımlanabileceği varsayılır. Üçüncü durumda ise, bulunmak istenen değerlerin her elemanın tanım denklemlerinin düğüm noktalarında ki değerlerinin bulunması problemin çözümünde kabul edilebilirdir. Belirtilen yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisi kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır. Sürekli ortam değişkenleri sonsuz sayıda değerlere sahiptir. Sürekli bir ortamında belirli bölgelerinin aynı durumda sürekli ortam gibi özellikler gösterdiği durumlarda, bu alt bölgede ki değişimler sonlu bilinmeyen fonksiyonlarıyla tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir.

Sonlu elemanlar yönteminin ana prensibi, bir elemana ait sistem özelliklerini bulunduran denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi kapsayacak şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının bulunmasıdır. Bir elemana ait denklemlerin elde edilmesinde değişi yöntemler kullanılabilir. Bunlar içinde en çok kullanılan dört temel yöntem şunlardır:

- Direkt Yaklaşım
- Varyasyonel Yaklaşım
- Ağırlıklı Kalanlar Yaklaşımı
- Enerji Dengesi Yaklaşımı

Sonlu eleman yöntemiyle çözümde birimci adımda eleman tipinin kararlaştırılması ve çözüm alanının elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm alanının geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya uygun olan elemanlar seçilmelidir. Seçilen elemanların çözüm alanını temsil etme oranında, elde edilecek neticeler gerçek çözüme yaklaşmış olacaktır. Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre dört kısma ayrılabilir:

- Tek boyutlu elemanlar
- İki boyutlu elmanlar
- Dönel elemanlar
- Üç boyutlu elemanlar
- İzoparametrik elemanlar

Sonlu elemanlar yönt eminden yukarıdaki şekilde bahsedilmiştir. Bu tez için yapılan analizler dolayısıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği'ne değinilecektir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), akışkan akışlarını içeren problemleri analiz etmek ve çözmek için sayısal analiz ve veri yapılarını kullanan akışkanlar mekaniğinin bir dalıdır. Bilgisayarlar, sıvının serbest akış akışını ve sıvının (sıvı lar ve gazlar) sınır koşullarıyla tanımlanan yüzeylerle etkileşimini simüle etmek için ve gereken hesaplamaları gerçekleştirmek için kullanılır. Yüksek hızlı süper bilgisayarlarda, daha iyi çözümler elde edilebilir ve genellikle en büyük ve en karmaşık sorunları çözmek için gereklidir. Devam eden araştırmalar, transonik veya çalkantılı akışlar gibi karmaşık simülasyon senaryolarının doğruluğunu ve hızını artıran yazılımlar ortaya attırır. Bu tür yazılımların ilk doğrulaması genellikle rüzgar tünelleri gibi deneysel cihazlar kullanılarak gerçekleştirilir. Buna ek olarak, belirli bir sorunun daha önce gerçekleştirilen analitik veya ampirik analizi karşılaştırma için kullanılabilir. Son doğrulama genellikle uçuş testleri gibi tam ölçekli testler kullanılarak gerçekleştirilir.

### 3.2.1. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan frenleme testi analizi

Frenleme testi analizi, TS EN 13094 : 2015-10 standartlarında belirtildiği gibi düz ve kuru bir yolda 0,6 g kuvvetinde frenleme yapılarak meydana gelen çalkalanmayı göstermek amacıyla yapılmıştır.

Bu bölümde frenleme testi analizleri, ANSYS yazılımı üzerinden yapılacaktır. Analizde ilk olarak tank geometrisi modellenmelidir. Şekil 3.1'de ki adımlar takip edilerek belirlenen model yazılıma aktarılır [23]



Şekil 3.1.Belirlenen model geometrisinin yazılıma aktarılması



Şekil 3.2. Analizi yapılacak olan tank modelinin 3 boyutlu görünümü

Model aktarımı yapıldıktan sonra Şekil 3.3'te belirtildiği gibi, sıvının temas ettiği yüzeyler haricinde kalan elemanlar "suppress" butonuyla kaldırılır



Şekil 3.3. İstenmeyen elemanların kaldırılması

Analizi yapılacak modelde katı eleman ile sıvı arasındaki yüzey seçimi yapılır ve analiz esnasında kolaylık olması adına model yüzeyine isimlendirme yapılır.

Aşağıdaki görüntüde belirtilen adım isimlendirme amacıyla uygulanır.isimlendirme adımı sıvı ve akışkan arasında ki yüzey ve giriş,çıkış doğrultuları açısından önem arzetmektedir.farklı verilmesi durumunda analiz sonuçlarını etkileyecektir.



Şekil 3.4. Model yüzeyi isimlendirme

Analizi yapılacak modelin geometrik özellikleri belirlendikten sonra analiz için model yüzeyine hesaplama aracı olarak "mesh" oluşturulması gerekmektedir. Şekil 3.5'de ki adımla "mesh" oluşturulur. Şekil 3.6'da ki adımla ise "mesh" detaylandırma yapmak amacıyla eleman ve düğüm sayısı istenildiği takdirde değiştirilebilir.Uygulanacak olan mesh sayısı optimum değerde olmak zorundadır, az olması durumunda hata oranı analiz yüksek sonuçlar,fazla olması sürecinin uzun sürmesine sebep olacaktır.Optimum mesh sayısını bulmak için önce birkaç analiz yapılmalı ve sonuçlar değerlendirilerek en uygun mesh sayısı belirlenmelidir. Yapacağımız analize en uygun mesh sayısı belirlendikten sonra modele işlenmelidir. Böylelikle en uygun şartlarda en doğru değerler elde edilmiş olacaktır.Mesh oluşturma yöntemi şekil 3.5 de görülmektedir.
E 2 12			
Project	H (A3)		
· · ·	Geometry		
中心之	Coordinate Systems		
-	Connectoria		
±− 🌚	Insert		
	🔰 Update		
	Generate Mesh		
	-		
	Preview		1
	Show	•	
	3 Create Pinch Controls		
	Clear Generated Data		
	(ID Rename (F2)		
	📋 Group All Similar Children		
	Start Recording		
	-		

Şekil 3.5. Mesh oluşturma yöntemi

Mesh oluşturduktan sonra "sizing" komutuyla "element size" değeri 35mm yapıldığında düğüm ve eleman sayısı değişmekte ve model yüzeyinde yeni bir "mesh" meydana gelmektedir.Mesh işleminde tank bombe cidarlarında oluşabilecek düzensizlikler ,tekrar mesh işlemi ve yüzey düzenleme ile düzeltilebilir. Mesh yapılmış model şekil 3.6 görülebilir.Mesh oluştuktan sonraki Nodes ve Elements sayıları şekil 3.7 de mevcuttur.



Şekil 3.6. Mesh oluşturulmuş tank modeli

De	etails of "Mesh"	÷		
Ξ	Display			
	Display Style	Body Color		
Ξ	Defaults	n		
	Physics Preference	CFD		
	Solver Preference	Fluent		
	Export Format	Standard		
	Export Preview Surface Mesh	No		
	Element Order	Linear		
۲	Sizing			
Ŧ	Quality			
æ	Inflation			
Ŧ	Assembly Meshing			
÷	Advanced			
Ξ	Statistics			
	Nodes	221130		
	Elements	212640		

Şekil 3.7. Nodes ve elements sayısı

Analiz kısmına geçildiğinde ise "setup" komutunun "processing options" kısmından, daha hızlı çözümleme yapılabilmesi için çekirdek sayısı 4 yapılır.

• A		
1 🛞 Fluid Flow (Fluent)		
2 😡 Geometry 🗸	7	
3 🥥 Mesh 🗸		
🕼 Setup 🥔		
🕼 Solution 🏾 🚏		
i 🎯 Results 🛛 🍸		
Fluid Flow (Fluent)		
	Fluent Launcher (Setting Edit Only)	
	ANSYS	Fluent Launche
	Dimension Option 2D 3D Display Options Workbench Color Scheme Do not show this panel again ACT Option Load ACT Q	ns suble Precision eshing Mode se Job Scheduler e Remote Linux Nodes enal anallel (Local Machine) wer Processes GPGPUs per Machine None
	E Show More Options	
	OK Cancel	Help •

Şekil 3.8. Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme

Şekil 3.8 deki gibi çekirdek sayısının düzenlerken setup komutu kullanılır Çözümleme için çizim açıldıktan sonra sıkıştırılamaz bir sıvının analizi yapılacağından, çözücü tipini değiştirmek için "solver" sekmesinden "pressure-based" butonu seçilir.

Zamana bağlı bir analiz yapıldığı için "time" sekmesinden "transient" butonu seçilir.Şekil 3.9 da test aracının ivmelenme durumundaki ivme değerleri ve "time" sekme değerlerinin seçimi gösterilmiştir.

Daha sonra frenleme hareketindeki ivmelenmeyi tanımlamak için "gravitational acceleration" sekmesinden x düzleminde 5,8 m/s<sup>2</sup> değeri yazılır. Yazılan değer, TS EN 13094 : 2015-10 standartlarında belirtilen 0,6 g ivmeyle yapılan frenleme hesabıyla bulunur. Yer çekimi ivmesini belirtmek amacıyla y düzleminde -9,81 m/s<sup>2</sup> değeri yazılır.

General	
Mesh	
Scale Check Repo	ort Quality
Diselar	
Display	
Solver	
Type Velocity Form	ulation
Pressure-Based  Absolute	
O Density-Based	
Time	
Steady	
Transient	
Transient	
Transient     Gravity	
Transient     Gravity     Units	
Transient     Gravity     Units     Gravitational Acceleration	
Transient     Gravity     Units     Gravitational Acceleration     X (m/s2) 5.8	P
Transient Gravity Gravity Units Gravitational Acceleration X (m/s2) 5.8 Y (m/s2) -9.81	P

Şekil 3.9. Test aracının ivmelenme

Bir sonraki adım için "model" sekmesinden "multiphase" penceresi açılır ve "volume of fluid" butonuna tıkladıktan sonra, yüzeyde oluşan kuvvetlerin daha doğru sonuçlar vermesi adına Şekil 3.10'da ki seçimler yapılır.

Tree	Task Page		×
Filter Text Setup General	Models Models		
B Multiphase ( E Energy (Off)	Multiphase Model	Number of Eulerian Phases	
B Viscous (Lam Radiation (O Heat Exchang Species (Off) B Discrete Phas B Solidification	Off     Off     Moture     Eulerian     Wet Steam	2	
문 Acoustics (Of 문 Eulerian Wall 문 Electric Poter	Coupled Level Set + VOF	VOF Sub-Models Open Channel Flow Open Channel Wave BC	
<ul> <li>Cell Zone Condit</li> <li>Cell Zone Condit</li> <li>Boundary Condit</li> <li>Dynamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Solution</li> <li>Methods</li> <li>Controls</li> <li>Report Definition</li> <li>Monitors</li> <li>Cell Registers</li> <li>Initialization</li> <li>Fill Calculation Active</li> </ul>	Volume Fraction Parameters Formulation Explicit Implicit Volume Fraction Cutoff 1e-06 Default Body Force Formulation Implicit Body Force	Options Interface Modeling Type Sharp Sharp/Dispersed Dispersed Interfacial Anti-Diffusion	
<ul> <li>✓ Run Calculation</li> <li>✓ Results</li> <li>✓ ③ Graphics</li> <li>▷ △ Plots</li> </ul>	<b>R</b> G	ancei Help	

Şekil 3.10. Yüzeyde oluşan kuvvetlerin hesabı için yapılan seçimler

Yapılan analizde sıvılar türbülanslı bir akış hareketi gerçekleştireceğinden, "viscous" sekmesinden "k-epsilon" model tipi işaretlenir. Bu seçimler şekil 3.11 de görülmektedir.

Tree	Task Page	×
Filter Text	Viscous Model	
Setup     General     General     B? Models     B? Multiphase ()     B? Energy (Off)     Genergy	Model Model Inviscid Laminar Spalart-Allmaras (1 eqn) k-omega (2 eqn) Transition k-kl-omega (3 eqn) Transition k-kl-omega (3 eqn) Scale-Adaptive Simulation (SAS) Detached Eddy Simulation (DES)	Model Constants Cmu 0.09 C1-Epsilon 1.44 C2-Epsilon 1.92 TKE Prandti Number 1 TDE Prandti Number
Eulerian Wall     Gallerian Wall     Gall Zone Condit     Diff. Boundary Condit     Dynamic Mesh     Geference Value:     Goution     One Controls     Goution     Controls     Gell Registers     Volumitalization     Monitors     Cell Registers     Volumitalization	Large Eddy Simulation (LES)     k-epsilon Model     Standard     RNG     Realizable     Near-Wall Treatment     Standard Wall Functions     Scalable Wall Functions     Enhanced Wall Treatment     Menter-Lechner     User-Defined Wall Functions	1.3
Run Calculation     Results     P      Graphics     E, Plots     D      Animations     D      Parameters & Custo	Options Curvature Correction Production Kato-Launder Production Limiter	User-Defined Functions Turbulent Viscosity none

Şekil 3.11. Akış hareketine bağlı model tipi seçimi

Model tanımlama işlemi yapıldıktan sonra malzeme tanımlanmalıdır. Bunun için "setup" sekmesinden "materials" alt sekmesi açılır. Havanın yanında ekstra tanımlamamız gereken akışkan madde su olduğu için açılan pencerede "fluent database" butonuna tıklanır ve listeden "water-liqued" seçimi yapılır. Malzeme tanımlanması ve fazının belirlenme durumu şekil 3.12 de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Belirlenen modele malzeme tanımlanması

Tanımlanan malzemeleri fazlara ayırmak için "setting up physics" sekmesinden "Phases list/show all" butonuna tıklanır ve "phase 1" hava, "phase 2" su olarak seçim yapılır.

Faz seçimi; iki farklı fiziksel özelliğe sahip malzemenin yüzeyleri arasında etkileşim davranışları açısından önemlidir.Faz seçimi sadece sıvı-gaz malzemelerde değil ; sıvısıvı, gaz-gaz gibi aynı haller içerisinde de farklı fiziksel özelliklere sahip malzemelerin modellenmesinde de kullanılmaktadır.Malzemelerin içerisinde bulunduğu çevre şartları da(basınç,sıcaklık vb) etmenler de dikkate alınmalıdır.

Bu seçimler malzeme özellikleri ve analiz sonuç doğruluğu açısından öneme arzetmektedir. Faz sınıflandırılmasının yapılması şekil. 3.13 de gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması

Model ve malzemeyle ilgili tanımlamalar yapıldıktan sonra çözüm metotlarını belirlemek için "solution" sekmesinden, "methods" alt sekmesi seçilir ve metot olarak "simple" yöntemi seçilir. ve gerekli seçimler Şekil 3.14'de ki gibi yapıldıktan sonra "initialization" alt sekmesi seçilir ve hibrit çözüm yöntemi belirlemek amacıyla "hybrid initialization" butonuna tıklanır. Ardından "initialize" butonuyla onaylama yapılır ve tankın ölçülerini tanımlamak amacıyla üst menüden "adapt" sütunu altındaki "Mark/adapt cells" butonuna tıklanır. Listeden "region" seçimi yapılır ve açılan pencereye gerekli tank boyutu değerleri girilir. Daha sonra onaylamak için "mark" butonuna tıklanır ve "close" butonuyla pencere kapatılır.

isk Page	🛎 🧫 🗖	Mesh
olution Methods	3	
ressure-Velocity Coupling	*	
Scheme	۲	
SIMPLE	<u> </u>	
patial Discretization	€	
Gradient	• *	
Least Squares Cell Based		
Pressure	•	
PRESTO!	-	
Momentum	S. 19	
Second Order Upwind	<b>ヨース</b>	
Volume Fraction	50	
Compressive		
Turbulent Kinetic Energy		
Second Order Upwind	- P3+	
ransiant Formulation		
First Order Implicit		
The Broke Time Adversariat	Ø	
Non-iterative Time Advancement	1000	
_ Frozen Flux Formulation		
Warped-Face Gradient Correction		
High Order Term Relaxation Options		
Default		

Şekil 3.14. Çözüm metotları penceresi

Tree	Task Page		×/ 🖴		Mesh
Filter Text	Solution Initialization Initialization Methods Hybrid Initialization Standard Initialization More Settings Initialize Fatch Reset DPM Sources Reset Statistics	]	ି ÷ ଉ ଉ ଏ ଭ ଭ		
▶       ■ Report Definitions         ▶       ■ Monitors         □ Cell Registers         ▶       ■ Mail Activities         ♥ Min Calculation Activities         ♥ Min Calculation         ♥ Graphics         ▶ ■ Plots         ■ ■ Animations         ▶ ● Parameters & Customizati	Patch     Reference Frame     Relative to Cell Zone     Absolute  Phase water Variable Volume Fraction	Value 1 Use Field Function	L X	Zones to Patch Filter Text Zone0101176-180920-01-01_ Registers to Patch [1/1]	7enplast_tank
	- Volume Fraction Patch Options Patch Reconstructed Interface Volumetric Smoothing	P	atch	Help	

Şekil 3.15. Hacim içeriğinin belirlenmesi

Tank ölçülerinin tanımlama işleminin ardından, hacimde ki sıvının tipi tanımlanmalıdır. Bu işlem için aynı şekilde "initialization" sekmesinden "patch"

butonuna tıklanır şekil 3.15'de gösterildiği gibi gerekli seçimler yapılır ve hacmin %97'lik kısmının su, %3'lük kısmının hava olduğu tanımlanır.

Sıradaki işlem için "calculation activities" sekmesi açılır ve programın her hesaplama adımında bir kayıt alabilmesi için "Autosave every(time steps)" satırına "1" yazılır.

Analiz sonucunda görmek istediğimiz veri çıktılarını belirlemek için ise; yine aynı şekilde "calculation activities" sekmesi altında "create" butonuna tıklayarak "solution data export" seçimi yapılır. Açılan pencerede "file type" kısmında "CFD-post compatible" seçilir ve hangi büyüklüklerin analiz sonucu isteniyorsa listeden seçim yapılır. Kullanılan sıvının basınç ve özgül kütle değerleri modele işlenerek en uygun sonuçlar bulunur. Şekil 3.16'da göründüğü gibi bu analizde basınç ve özgül kütle sonuçları seçilmiştir. Şekil 3.17'de analiz sonucu çıktılarının seçimi gösterilmiştir

Automatic Export	* (*)		100			<b>X</b>
Name export-1 File Type	Cell Zones Filter Text				Quantities [14/107]	
CFD-Post Compatible Format Binary ASCII Write Case File Every Time	Zone0101176-180920-01-01_7enp	last_tank	fluid solid interface Interior-zone0101176-180920	-01-01_Tenplast_tank	Mass Imbalance Strain Rate dX-Velocity/dx dX-Velocity/dx dZ-Velocity/dx dX-Velocity/dy dX-Velocity/dy dZ-Velocity/dz dZ-Velocity/dz dp-dX dp-dX dp-dX dp-dX dp-dt Density (air) Volume fraction (air) Molecular Viscosity (air) Volume fraction (water) Molecular Viscosity (water)	,
Frequency (Time Steps)						
File Name FFF			Browse			
Append File Name with						
time-step			-			
		8	Cancel Help			

Şekil 3.16. Hesaplama katsayıları belirleme

Tree	Task Page	×	Mesh
Filter Text	Calculation Activities	S	
- 🍓 Setup	Autosave Every (Time Steps)	+ <u>*</u> +	
B Models	1 Edit	۲	
Materials	Automatic Export		
Cell Zone Conditions		e a	
P Boundary Conditions Dynamic Mesh		1	
Reference Values			
<ul> <li>Solution</li> </ul>		۹	
So Methods		Q	
Controls     Benort Definitions			
Monitors	Country Colt. Deline		
Cell Registers	Create Edit Delete	100	
P <sub>1:D</sub> Initialization	Solution Data Export		
Autocause (Suscer Ti	Particle History Data Export	12-	
Execute Commands			
티 Solution Animations		đ	
Cell Register Oper		æ	
Run Calculation			
B Graphics			
Plots		·	
Scene	Create/Edit		
Animations	Automatically Initialize and Modify Case		
<ul> <li>Reports</li> <li>Reports</li> <li>Reports</li> <li>Customizati</li> </ul>			
	Initialization: Initialize with Values from the Case	r l	
	Original Settings, Duration = 1	Const	
		Init	ialize using the hybrid initialization method
			serve using the syste initialization method.
		Chec	king case topology
		-Cas	se will be initialized with constant parameters

Şekil 3.17. Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme

Tree	Task Page		3
Filter Text	Run Calculation		
General	Check Case	Preview Mesh Motio	m
Models	Time Stepping Method	Time Step Size (s)	
Materials Generations	Fixed -	0.25	P
Boundary Conditions	Settings	Number of Time Step	os
🛃 Dynamic Mesh		30	\$
Reference Values	Options		
Solution     Solution	Extrapolate Variables		
Controls	Data Sampling for Tin	ne Statistics	
Report Definitions	Sampling Interval	Campling Options	
Monitors     Cell Registers     Initialization	1 (4)	Damping Options	
	Time Sampled (	s) 0	
• 同 Calculation Activities	Solid Time Step		
印 Autosave (Every T 问 Execute Commands	Oser Speched     Automatic		
局 Solution Animations			
Cell Register Oper	May Borations/Time Ston	Penerting Istangel	
Results	35		(A)
Graphics	Profile Update Interval		141
Plots	1		
Scene	Data File Quantities	Acquistic Signals	
Reports	Data File Quantudes	Autoria algineratio	
🖻 🎒 Parameters & Customizati		Acoustic Sources FF	-T
	Calculate		
	Help		

Şekil 3.18. Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme

Analizi başlatmadan önce ki son adımda ise analiz boyunca yapılan iterasyon sayısı belirlenir. Bu analizde 0,25 saniye uzunluğunda 30 adım gerçekleştirilecektir ve her adımda 35 iterasyon yapılacaktır. Yani analiz boyunca toplamda 1050 adet iterasyon

yapılacaktır. Şekil 3.18'de gösterildiği gibi belirtilen değerler girildikten sonra "calculate" butonuyla analize başlanır.

# 3.2.2. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan minimum çapı 15m olan bir dairede yavaş sürüş testi analizi

Dairede yavaş sürüş testi analizi, TS EN 13094 : 2015-10 standartlarında belirtildiği gibi; hız, tank aracının devrilme sınırına ulaşılmayacak şekilde olmalıdır ve 0,4 g kuvvetinde bir enine ivmeye ulaşıldığında, doğrusal bir ekstrapolasyon yapılmalıdır.Bu bölümde, dairede yavaş sürüş testi analizleri, ANSYS yazılımı aracılığıyla yapılacaktır. Modelleme ve "mesh" oluşturma adımı, frenleme testi analizi hesaplanırken yapıldığı için bu analizde önceki adımların ardından "setup" menüsüyle devam edilmektedir. Sıradaki adım olarak "setup" komutunun "processing options" kısmından, Şekil 3.19 daki gibi daha hızlı çözümleme yapılabilmesi için çekirdek sayısı 4 yapılır.



Şekil 3.19. Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme

Bir sonraki adım için şekil 3.20'de görüldüğü gibi "setup" menüsü açıldıktan sonra zamana bağlı akış hesabı için "transient" seçimi yapılır ve yer çekimi ivmesi için y düzleminde -9,81m/s<sup>2</sup> değeri girilir. Daha sonra şekil 3.21 de olduğu gibi ölçü birimini ayarlamak için "units" penceresinden uzunluk milimetreye çevrilir.

Tree	Task Page	×
Filter Text	General Mesh	
<ul> <li>General</li> <li>General</li> <li>B<sup>®</sup> Models</li> <li>Materials</li> <li>Cell Zone Conditions</li> <li>Dynamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Solution</li> <li>Solution</li> <li>Methods</li> <li>Controls</li> <li>Report Definitions</li> <li>Monitors</li> <li>Cell Registers</li> <li>Na Initialization</li> </ul>	Scale Check Rep Display Solver Type Velocity Form @ Pressure-Based @ Absolute @ Density-Based @ Relative Time @ Steady @ Transient	nulation
Run Calculation	Gravity Units	
Graphics     Plots	X (m/s2) 0	P
Animations	Y (m/s2) -9.81	P
<ul> <li>Pereports</li> <li>Parameters &amp; Customizati</li> </ul>	Z (m/s2) 0	P
	Help	

Şekil 3.20. Yer çekimi ivmesi değeri

Tree	Task Page	3	< 📩 🔁	
Filter Text	General Mesh Scale Check Re Display Solver Type Velocity For @ Pressure-Based @ Absolut @ Density-Based @ Relative	eport Quality mulation te	ି ÷ ଉ ଉ ୧	
<ul> <li>图 Report Definitions</li> <li>에 Monitors</li> <li>Cell Registers</li> <li>Initialization</li> <li>레 Calculation Activities</li> <li>왕 In Calculation</li> </ul>	Time Set Units Quantities Tength	Units	<u>x</u>	Set Al
Presults     Graphics     Graphics     Pots     Animations     Prots     Prots     Prots     Prots     Prots     Prots     Parameters & Customize	length-inverse length-time-inverse mag-permeability mass mass-diffusivity mass-flow mass-flow-per-depth	cm mm in ft		si britis cgs
	mass-flux mass-transfer~rate	Factor 0.00 Offset 0 New List Clog	1 Help	

Şekil 3.21. Ölçü birimi ayarları

Bir sonraki adım için "model" sekmesinden "multiphase" penceresi açılır ve "volume of fluid" butonuna tıkladıktan sonra, yüzeyde oluşan kuvvetlerin daha doğru sonuçlar vermesi adına Şekil 3.22'de ki ve Şekil 3.23 seçimler yapılır.





![](_page_47_Picture_2.jpeg)

Şekil 3.23. Akış hareketine bağlı model tipi seçimi

Yapılan analizde sıvılar türbülanslı bir akış hareketi gerçekleştireceğinden, "viscous" sekmesinden "k-epsilon" model tipi işaretlenir. Model tanımlama işlemi yapıldıktan sonra malzeme tanımlanmalıdır. Bunun için "setup" sekmesinden "materials" alt sekmesi açılır. Havanın yanında ekstra tanımlamamız gereken akışkan madde su olduğu için açılan pencerede "fluent database" butonuna tıklanır ve listeden "water-liquid" seçimi yapılır Şekil 3.24.

![](_page_48_Figure_1.jpeg)

Şekil 3.24. Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması

Tanımlanan malzemeleri fazlara ayırmak için "setting up physics" sekmesinden "Phases list/show all' butonuna tıklanır ve "phase 1" hava, "phase 2" su olarak seçim yapılır.Malzeme tanımlama seçimleri şekil 3.25 de gösterilmiştir. Malzeme özellikleri de tanımlandıktan sonra sisteme hareket tanımlamak amacıyla şekil 3.26 da görüldüğü gibi "cell zone conditions" sekmesinden seçim yapılır. Daha sonra "frame motion" ve "mesh motion" butonu aktif hale getirilir. Tank 15 metre yarı çapında olan dairesel hareket yapacağı için Şekil 3.27'de gösterildiği gibi z-eksenine 15m ve y-eksenine 1 yazılır. Sistem 1,5 rad/s hızıyla döndüğü için "rotational velocity" kısmına bu değer yazılır. "copy to frame motion" butonuna tıklanarak aynı seçimler "frame motion" içinde belirlenir.

🍓 Setting Up Physics User Defined 🔞 Solving 🤿	Postprocessing Viewing	Parallel Design	
Solver Velocity Formulation aed  Absolute Operating Conditions d  Relative Reference Values	S Radiation ₩ Heat Exchanger Viscous	Models       Multiphase	Materials Phases Ust/Show All 0 Interactions E Add Phase.
Task Page	× 🗖 🗖	Mesh	
- Materials			
Materials			
Fluid water-liquid			
air			
aluminum			
	۹		
	<b>Q</b>		
Phases 83	X .		
Phases	20		
air - Primary Phase	19-		
water - Secondary Phase	0		
	a		
-			
	Console		
Edit Interaction ID 3	Done. Writing Settings fi writing rp var. writing domain	lle "C:\Users\serhat\AppData\Local\Te iables Done. variables Done.	mp\WB_SERHAT-PC_serhat_4904_2\unst
Help	writing interio writing fluid	or-zone0101176-180920-01-01?enplast_tank (t) solid interface (type wall) (mixture	<pre>ype fluid) (mixture) Done. t_tank (type interior) (mixture) Done.</pre>

Şekil 3.25. Belirlenen modele malzeme tanımlanması

ree	Task Page		×				Mesh		
<ul> <li>ilter Text.</li> <li>Setup</li> <li>General</li> <li>B: Models</li> <li>B: Models</li> <li>Materials</li> <li>Cell Zone Conditions</li> </ul>	Cell Zone Condi Zone Filter Text	itions 80920-01-013f_enplast_	ank_0101176-18092	• • •					
<ul> <li>Boundary Conditions</li> </ul>		E Fluid		1					- X
Dynamic Mesh Beference Values		Zone Name				Phase			
Report Definitions     Generations     Generation     Generation     Generation     Generation     Generation     Generation		Mesh Motion     Laminar Zone     Fixed Values     Porous Zone     IES Zone     Reference Frame     Mesh Motion     Porous Zone     Relative Specification     UDF     Relative To Cell Zone absolute     Zone Motion				nbedønd LES	Reaction Source T	forms Fooid Viel	ues Multiphase
<ul> <li>B Graphics</li> </ul>		Rotation-Axis Origin	1		Rotation-Ax	ds Direction			
Plots		X (mm) 0	constant		XO	constan	t <u>·</u>		
Animations P P Reports		7 (mm) 0	constant		7 0	constan	t <u>-</u>		
Parameters & Customizati		Rotational Velocity	Constant		Translat	ional Velocity	<u> </u>		
	•	Speed (rad/s) 1.5	constant		• X (m/s)	0	constant	-	
	Phase T	[automatics			Y (m/s)	0	constant	-	
	Intoxed re	Copy to Frank Mode	0		7 (m/s)	0	constant		

Şekil 3.26. Sisteme hareket özellikleri tanımlama

Model ve malzemeyle ilgili tanımlamalar yapıldıktan sonra çözüm metotlarını belirlemek için "solution" sekmesinden , "methods" alt sekmesi seçilir ve gerekli seçimler Şekil 3.27'de ki gibi yapıldıktan sonra "initialization" alt sekmesi seçilir ve hibrit çözüm yöntemi belirlemek amacıyla "hybrid initialization" butonuna tıklanır. Ardından "initialize" butonuyla onaylama yapılır ve tankın ölçülerini tanımlamak amacıyla üst menüden "adapt" sütunu altındaki "Mark/adapt cells" butonuna tıklanır. Listeden "region" seçimi yapılır ve açılan pencereye Şekil 3.28'da gösterildiği gibi gerekli tank boyutu değerleri girilir. Daha sonra onaylamak için "mark" butonuna tıklanır ve "close" butonuyla pencere kapatılır.

Tank ölçülerinin tanımlama işleminin ardından, hacimde ki sıvının tipi tanımlanmalıdır. Bu işlem için aynı şekilde "initialization" sekmesinden "patch" butonuna tıklanır Şekil 3.29'da gösterildiği gibi gerekli seçimler yapılır ve hacmin %97'lik kısmının su, %3'lük kısmının hava olduğu tanımlanır

Task Page		Mesh
Solution Methods	3	
Pressure-Velocity Coupling	4	
Scheme		
SIMPLE		
Spatial Discretization		
Gradient	- /	
Least Squares Cell Based		
Pressure		
PRESTO	<b>I</b>	
Momentum		
Second Order Upwind	코 것	
Volume Fraction	-	
Compressive	* <u>61</u>	
Turbulent Kinetic Energy		
Second Order Upwind	- <sup>1</sup> 2-	
Transient Formulation	0	
First Order Implicit	8	
Non-Iterative Time Advancement		
Frozen Flux Formulation		
Warped-Face Gradient Correction		
High Order Term Relaxation Octions		
opuons		
Default		
		Aller -
1100		
neip		

Şekil 3.27. Çözüm metotları penceresi

	Task Page		
Filter Text	Solution Initi Initialization Hybrid Ir Standard More Settin Patch Reset DPM S	ialization Methods itielization Initialization gs Initialize Nources Reset St	ratistics
Report Definitions     Monitors     Cell Registers	Region Ada	ption	-×-
<sup>14</sup> Initialization	Options	Input Coordinate	es
P El Calculation Activities Run Calculation	Inside     Outside	X Min (mm)	X Max (mm)
✓ Results		-1000	1000
	Shapes		1050
Image: Graphics			1 11. 191
Graphics     Graphics     Graphics     Graphics	© Sphere	7 Min (mm)	7 May (mm)
	Sphere Cylinder	Z Min (mm)	Z Max (mm)
<ul> <li>Graphics</li> <li>Plots</li> <li>Scene</li> <li>Animations</li> <li>Reports</li> </ul>	Sphere Cylinder	Z Min (mm) -954	Z Max (mm) 954
<ul> <li>♥ Graphics</li> <li>▷ Plots</li> <li>⇒ Scene</li> <li>▷ Ⅲ Animations</li> <li>▷ ☞ Reports</li> <li>▷ Parameters &amp; Customizati</li> </ul>	Sphere Cylinder	Z Min (mm) -954 0	Z Max (mm) 954

Şekil 3.28. Tank ölçüleri penceresi

Tree	Task Page	× 📩 / 🗳		Mesh
Filter Text	Solution Initialization Initialization Methods Hybrid Initialization Standard Initialization More Settings Initialize Patch Reset DPM Sources Reset Statistics	े र (0 (0 () () () () () () () () () () () () ()		
▷       B. Monitors         □       Cell Registers         Pin Initialization         ▶       B. Calculation Activities         ♥       Run Calculation         ♥       B. Calculation Activities         ♥       B. Calculation Activities         ♥       B. Calculation Activities         ♥       B. Calculation Activities         ♥       Prophics         ♥       Graphics         ▶       © Scene         ■       Animations         ▶       Parameters & Customizati	Patch Reference Frame Relative to Cell Zone Absolute Phase water Variable Volume Fraction	Value 1 Use Field Function Field Function	Zones to Patch Filter Text Zone0101176-180920-01-01_?enp Registers to Patch [1/1]	Jast_tank
	Volume Fraction Patch Options Patch Reconstructed Interface	Patch Close F	ielp	

Şekil 3.29. Hacim içeriğinin belirlenmesi

Sıradaki işlem için "calculation activities" sekmesi açılır ve programın her hesaplama adımında bir kayıt alabilmesi için "Autosave every(time steps)" satırına "1" yazılır. Şekil 3.30 da görüldüğü gibi hesaplama kayıt sayısı modele işlenmiş olur.

Analiz sonucunda görmek istediğimiz veri çıktılarını belirlemek için ise; yine aynı şekilde "calculation activities" sekmesi altında "create" butonuna tıklayarak "solution data export" seçimi yapılır. Açılan pencerede "file type" kısmında "CFD-post compatible" seçilir ve hangi büyüklüklerin analiz sonucu isteniyorsa listeden seçim yapılır. Şekil 3.31'de göründüğü gibi bu analizde basınç ve özgül kütle sonuçları seçilmiştir.

![](_page_52_Picture_2.jpeg)

Şekil 3.30. Hesaplama kayıt sayısı belirleme

Analizi başlatmadan önce ki son adımda ise analiz boyunca yapılan iterasyon sayısı belirlenir. Bu analizde 0,25 saniye uzunluğunda 30 adım gerçekleştirilecektir ve her adımda 35 iterasyon yapılacaktır. Yani analiz boyunca toplamda 1050 adet iterasyon yapılacaktır. Şekil 3.32'de gösterildiği gibi belirtilen değerler girildikten sonra "calculate" butonuyla analize başlanır.

Automatic Export		
Name		
export-1		
File Type CFD-Post Compatible CEll Zones Filter Text	To T Surfaces Filter Text	Z TX Quantities [14/107]
Format Binary MSTI Write Case File Every Time	Tenplast_tank fluid_solid_interface Interior-zone0101176-180920-01-01Tenplast_tank	Mass imbalance Strain Rate dx-Velocity/dx dx-Velocity/dx dx-Velocity/dx dx-Velocity/dy dx-Velocity/dy dx-Velocity/dy dx-Velocity/dz dy-Velocity/dz dy-dx dp-dx dp-dx dp-dx dp-dx dp-dt Density (air) Density (air) Density (air) Density (air) Nelecular (Viscosity (air) Density (vater) Molecular (Viscosity (water) Molecular (Viscosity (water)
Frequency (Time Steps)		
Hie Name	Browse	
Annead Edg Hame with		
time-step	*	
	Cancel Help	

Şekil 3.31. Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme

Tree	Task Page		
Filter Text	Run Calculation		
<ul> <li>Setup</li> <li>General</li> </ul>	Check Case	Preview Mesh Mob	on
▷ B Models	Time Stepping Method	Time Step Size (s)	
Materials	Fixed -	0.25	P
Cell Zone Condition	5 Settings	Number of Time Ste	DS
Dynamic Mesh	iz Sermile	30	0
Reference Values	Options	and the second sec	-
<ul> <li>Solution</li> </ul>	Extrapolate Variables		
to Methods	Data Sampling for Ti	me Statistics	
Controls     Depart Definitions	Sampling Interval	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Monitors	1	Sampling Options	
Cell Registers	Time Sampled	(s) [0	1
Pt.p Initialization	E Colid Time Stop	(a) [w	4
A 🗐 Calculation Activitie	s Solid Fime Step		
테 Autosave (Ever)	nds @ Automatic		
句 Solution Animat	ions		
🕒 Cell Register Op	er		
Run Calculation	Max Iterations/ Time Step	Reporting Interval	(A)
Graphics	Drafile Undate Interval	· 1	*
Plots	Prome opdate interval		
Cene Scene	1	•	1
Animations	Data File Quantities	Acoustic Signals	
Reports	zati	Acoustic Sources F	FT
	Calculate		
	15		
	Help		

Şekil 3.32. Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme

#### 3.2.3. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan engebeli pistte sürüş testi analizi

Engebeli pistte sürüş testi analizi TS EN 13094 : 2015-10 standartlarında belirtildiği gibi , 45 mm yüksekliğinde ve yol yönünde eğimli tahta kasisler üzerinde yapılacaktır. Engeller, sağ ve sol taraflara dönüşümlü olarak yerleştirilmelidir. Tank aracının hızı ve engellerin yüksekliği, elde edilen değerler 2 g kuvvetine kadar ekstrapolasyona izin verecek şekilde olmalıdır.

Bu bölümde engebeli pistte sürüş testi analizleri, ANSYS yazılımı aracılığıyla yapılacaktır. Modelleme ve "mesh" oluşturma adımı, frenleme testi analizi hesaplanırken yapıldığı için bu analizde önceki adımların ardından "setup" menüsüyle devam edilmektedir. Sıradaki adım olarak "setup" komutunun "processing options" kısmından, daha hızlı çözümleme yapılabilmesi için çekirdek sayısı 4 yapılır. Çekirdek sayısı düzenleme işlemi Şekil 3.33 de görülmektedir.

![](_page_54_Picture_3.jpeg)

Şekil 3.33. Setup komutuyla çekirdek sayısı düzenleme

Bir sonraki adım için Şekil 3.34'de görüldüğü gibi "setup" menüsü açıldıktan sonra zamana bağlı akış hesabı için "transient" seçimi yapılır ve yer çekimi ivmesi için y düzleminde -9,81m/s<sup>2</sup> değeri girilir. Daha sonra ölçü birimini ayarlamak için "units" penceresinden uzunluk milimetreye çevrilir.

Tree	Task Page	×
Filter Text	General	
<ul> <li>General</li> <li>Models</li> <li>Models</li> <li>Materials</li> <li>Cell Zone Conditions</li> <li>E Boundary Conditions</li> <li>Dynamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Solution</li> <li>Solution</li> <li>Methods</li> <li>Controls</li> <li>Report Definitions</li> <li>S Monitors</li> <li>Cell Registers</li> <li>Initialization</li> </ul>	Scale Check Display Solver Type Velo Pressure-Based Density-Based Time Steady Transient	Report Quality city Formulation Absolute Relative
Pil Calculation Activities     Pil Calculation     Pil Calcul	Gravity Units. Gravitational Acceleration X (m/s2) Y (m/s2) -9.81	··· P
<ul> <li>P Parameters &amp; Customizati</li> </ul>	Z (m/s2) 0	P

Şekil 3.34. Yer çekimi ivmesi değeri

Filter Text	General Mesh
<ul> <li>General</li> <li>General</li> <li>Models</li> <li>Materials</li> <li>Cell Zone Conditions</li> <li>E Boundary Conditions</li> <li>Opmamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Gontrols</li> <li>General Controls</li> <li>Report Definitions</li> <li>Monitors</li> <li>Cell Registers</li> <li>Unitialization</li> </ul>	Scale     Check     Report Quality       Display     Display       Solver     Yelocity Formulation       Image: Pressure-Based     Image: Absolute       Density-Based     Relative       Time     Steady       Image: Steady     Transient
<ul> <li>Pli Caculation Activities</li> <li>Run Calculation</li> <li>Results</li> <li>P Graphics</li> <li>Plots</li> <li>Plots</li> <li>Reports</li> <li>Parameters &amp; Customizati</li> </ul>	✓ Gravity     Units       Gravitational Acceleration       × (m/s2)     0       Y (m/s2)     -9.81       Z (m/s2)     0       Help

Şekil 3.35. Ölçü birimi ayarları

Bir sonraki adım için "model" sekmesinden "multiphase" penceresi açlılır ve "volume of fluid" butonuna tıkladıktan sonra, yüzeyde oluşan kuvvetlerin daha doğru sonuçlar vermesi adına Şekil 3.36'de ki seçimler yapılır.

Elitar Toxt		
General	Models Models	
Models	Multiphase Model	
	Model Off Volume of Fluid Mixture Eulerian Wet Steam	Number of Eulerian Phases
E Acoustics (Of E Eulerian Wall E Electric Poten Materials	Coupled Level Set + VOF Level Set	VOF Sub-Models Open Channel Flow Open Channel Wave BC
<ul> <li>Cell Zone Conditi</li> <li>It Boundary Conditi</li> <li>Dynamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Solution</li> <li>Solution</li> <li>Methods</li> <li>Controls</li> <li>Report Definition</li> <li>Monitors</li> </ul>	Volume Fraction Parameters Formulation Explicit Implicit Volume Fraction Cutoff 1e-06 Default	Options Interface Modeling Type Sharp Sharp/Dispersed Dispersed Interfacial Anti-Diffusion
Image: Second secon	Body Force Formulation	ncel Help

Şekil 3.36. Yüzeyde oluşan kuvvetlerin hesabı için yapılan seçimler

Yapılan analizde sıvılar türbülanslı bir akış hareketi gerçekleştireceğinden, "viscous" sekmesinden "k-epsilon" model tipi işaretlenir.Bu model tipi birbiri içerisinde türbülanslı olarak karışan malzemelerle alakalı,en doğru sonucu verebilecek türbülans modelidir.

Şekil 3.37'de akış hareketlerine bağlı model tipi ekranında,seçilmesi gereken türbülans modeli görülmektedir

![](_page_57_Picture_0.jpeg)

Şekil 3.37. Akış hareketine bağlı model tipi seçimi

Model tanımlama işlemi yapıldıktan sonra malzeme tanımlanmalıdır. Bunun için "setup" sekmesinden "materials" alt sekmesi açılır. Havanın yanında ekstra tanımlamamız gereken akışkan madde su olduğu için açılan pencerede "fluent database" butonuna tıklanır ve listeden "water-liqued" seçimi yapılır. Şekil 3.38 de görülebileceği gibi akışkan malzeme seçilmiştir

Akışkan malzeme seçiminde, malzemelerin çevre koşullarına da dikkat etmek gerekir. Aynı malzemeler farklı çevre koşullarında, farklı fiziksel özellikler gösterebilmektedir.

		, , ,				
Solver			Models		Materials	Phases
d      Absolute     Operating Conditions		Radiation	Multiphase	a Solidify/Melt	<b>X</b> +.	List/Show All
C Relative	Energy	<sup>2</sup> / <sub>₹</sub> Heat Exchanger	Species	D) Acoustics	<u>.</u>	Interactions
Reference Values		Viscous	Discrete Phase	More 🔹	Create/Edit	Add Phase
Task Page	×			Mesh		
Materials						
Materials		*				
Fluid		<b>e</b>			-	and the second se
water-liquid air		•				
Solid		1				
aluminum					1	
		4				
		a				
Phases	83	X				
Phases		13-				
air - Primary Phase water - Secondary Phase		- W.				
Concern and Concer		0				
		Ø				
		Console				
Edit Interaction		Writing Settings fi	le "C:\Users\serhat	L\AppData\Local\Temp\	WB_SERHAT-PC_s	erhat_4904_2\1
		writing rp var: writing domain	variables Done.			
Clige		writing zone010 writing interio	01176-180920-01-01 or-zone0101176-1809	?enplast_tank (type 20-01-01_?enplast_ta	fluid) (mixtu ank (type inte	re) Done. rior) (mixture

Şekil 3.38. Belirlenen modele malzeme tanımlanması

Tanımlanan malzemeleri fazlara ayırmak için "setting up physics" sekmesinden "Phases list/show all' butonuna tıklanır ve "phase 1" hava, "phase 2" su olarak seçim yapılır.

Tree	Task Page	×/	Mesh
Filter Text	Materials Materials Fluid air Solid aluminum	÷ Q Q √ ≪ Q ×	
⇒       Controls         >       Report Definitions         >       Ell Registers         Image: Second		Material Type  Muid  Order Materials by  Name  Chemical Formula    y  Closs Help  iange/Create Delete Coss Help	Order Materials by     Order Materials by     Orderical Formula     Orderical Formula     Fluent Database     User-Defined Database

Şekil 3.39. Tanımlı malzemelere faz sınıflandırma yapılması

Malzeme özellikleri de tanımlandıktan sonra sisteme hareket tanımlamak amacıyla "cell zone conditions" sekmesinden seçim yapılır. Daha sonra "frame motion" ve "mesh motion" butonu aktif hale getirilir. Tank 45mm yüksekliğinde eğimli kasislerden geçeceği için Şekil 3.40'de gösterildiği gibi y-eksenine 0,045m yazılır. Aynı değerlerle ikinci analiz yapılırken y-eksenine -0,045m yazılmalıdır. Daha sonra "copy to frame motion" butonuna tıklanarak aynı seçimler "frame motion" içinde belirlenir.

Filter Text	Cell Zone Conditions								
<ul> <li>✓ integration Setup</li> <li>☐ General</li> <li>▷ Ⅰ Models</li> </ul>	Zone Filter Text	11-01 Zenolast tank	-0						
D      D     D    D	Fluid     Zone Name     zone0101176-180920-01-0     Frame Motion     Sone State	1-01_remplast_tank 1?enplast_tank n Zone		Q	Phase	) ire			× ×
Controls  Contr	Mesh Moton     Lamir     Forous Zone     LES Z     Reference Frame     Mes     Relative Specification     Relative To Cell Zone ab     Rotation-Axis Origin	ar Zone Tixed Values one h Motion Porcus Zone 3 UDF Zone Motion Fun	D Fan 2	one Rotation-Axis Dire	ection	Reaction	Source Terms	Found Value	es Multiphase
P C Plots	X (mm) 0	constant 💌	x	0	consta	ant	<b>•</b>		
Animations	Y (mm) 0	constant _	I Y	0	consta	ant	-		
<ul> <li>Parameters &amp; Customizat</li> </ul>	Z (mm) 0	constant _	z	1	consta	ant	•		
	Rotational Velocity		Translational Velocity						
	Speed (rad/s) 0	constant	-	X (m/s) 0		constant		•	
	Copy To Frame Motion			Y (m/s) 0.045		constant		·	
				Z (m/s) 0		constant		<u> </u>	
				Cancel	Help				

Şekil 3.40. Sisteme hareket özellikleri tanımlama

Model ve malzemeyle ilgili tanımlamalar yapıldıktan sonra çözüm metotlarını belirlemek için "solution" sekmesinden, "methods" alt sekmesi seçilir ve gerekli seçimler şekil 3.41'de ki gibi yapıldıktan sonra "initialization" alt sekmesi seçilir ve hibrit çözüm yöntemi belirlemek amacıyla "hybrid initialization" butonuna tıklanır. Ardından "initialize" butonuyla onaylama yapılır ve tankın ölçülerini tanımlamak amacıyla üst menüden "adapt" sütunu altındaki "Mark/adapt cells" butonuna tıklanır. Listeden "region" seçimi yapılır ve açılan pencereye Şekil 3.42'da gösterildiği gibi gerekli tank boyutu değerleri girilir. Daha sonra onaylamak için "mark" butonuna tıklanır ve "close" butonuyla pencere kapatılır.

Task Page		Mesh
Solution Methods		
Pressure-Velocity Coupling	÷.	
Scheme	۲	
SIMPLE		
Spatial Discretization		
Gradient	- /	
Least Squares Cell Based		
Pressure		
PRESTO!	3	
Momentum		
Second Order Upwind		
Volume Fraction		
Compressive		
Turbulent Kinetic Energy		
Second Order Upwind	- <sup>1</sup> 2-	
	<u> </u>	
Transient Formulation	0	
First Order Implicit	4	
Non-Iterative Time Advancement		
Erozen Flux Formulation		
Warped-Face Gradient Correction		
High Order Term Relaxation		
Options		
Default		
Help		

Şekil 3.41 Çözüm metotları penceresi

Filter Text	luok raye		
<ul> <li>Setup</li> <li>General</li> <li>Sf Models</li> <li>Materials</li> <li>Cell Zone Conditions</li> <li>F Boundary Conditions</li> <li>Dynamic Mesh</li> <li>Reference Values</li> <li>Solution</li> <li>Methods</li> <li>Controls</li> <li>Report Definitions</li> </ul>	Addition Intro Initialization     Hybrid In     Standard     More Settin     Patch      Reset DPM S	Methods itielization Initialization gs] Initialize	tatistics
Monitors     Cell Registers	🔁 Region Ada	ption	
has Initialization	Options	Input Coordinat	es V Nou (mm)
Run Calculation	<ul> <li>Inside</li> <li>Outside</li> </ul>	-1600	1600
🛎 🥪 Results	Chanes	Y Min (mm)	Y Max (mm)
In the second	Hex	0	1850
Scene	O Sphere	Z Min (mm)	Z Max (mm)
Animations	Cylinder	-954	954
P P Reports	Manage	0	
P arameters & customizati			
	Controle	Splort P	ninte with Mouro I

Şekil 3.42. Tank ölçüleri penceresi

Tank ölçülerinin tanımlama işleminin ardından, hacimde ki sıvının tipi tanımlanmalıdır. Bu işlem için aynı şekilde "initialization" sekmesinden "patch"

butonuna tıklanır Şekil 3.43'da gösterildiği gibi gerekli seçimler yapılır ve hacmin %97'lik kısmının su, %3'lük kısmının hava olduğu tanımlanır

Tree	Task Page	×	/ <b>2</b>		Mesh
Filter Text	Solution Initialization Initialization Methods Hybrid Initialization Standard Initialization More Settings Initialize Patch Reset DPM Sources Reset Statistics	8	• • • • • • • •		
Keport Definitions     G Monitors     Cell Registers	Patch		艾		
Post Initialization         Post Initialization         Attractivities         Attractivitities	Variable Volume Fraction Volume Fraction Volume Fraction Patch Options Patch Reconstructed Interface	Voice 1 Use Field Function Field Function		Zones to Patch [Pilter Text Zone0101176-180920-01-01_ Registers to Patch [1/1] hexahedron-r0	Penplast_tank
	Volumetric Smoothing	Pato	Close He	lp	

Şekil 3.43. Hacim içeriğinin belirlenmesi

Sıradaki işlem için "calculation activities" sekmesi açılır ve programın her hesaplama adımında bir kayıt alabilmesi için "Autosave every(time steps)" satırına "1" yazılır.

Analiz sonucunda görmek istediğimiz veri çıktılarını belirlemek için ise; yine aynı şekilde "calculation activities" sekmesi altında "create" butonuna tıklayarak "solution data export" seçimi yapılır. Açılan pencerede "file type" kısmında "CFD-post compatible" seçilir ve hangi büyüklüklerin analiz sonucu isteniyorsa listeden seçim yapılır.

Şekil 3.45'de göründüğü gibi bu analizde basınç ve özgül kütle sonuçları seçilmiştir. Bu kısımda hangi büyüklüklerin analiz sonucu isteniyorsa veya değerlendirilmesi gerekiyorsa o büyüklüğü seçmek, yapılan analizlerin sonuçlarını değerlendirme de büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tree	Task Page	×	Mesh Mesh
Filter Text	Calculation Activities	5	
4 🌒 Setup	Autosave Every (Time Steps)	+ <u>*</u> +	
General	1 Edit	0	
Models     Materials		9	
Cell Zone Conditions	Automatic Export		
Boundary Conditions			
🛃 Dynamic Mesh		1	
Reference Values		۲	
Solution     Solution		4	
K Controls			
Report Definitions		<u>x</u>	
Monitors	Create _ Edit Delete		
Cell Registers	Solution Data Export		
<ul> <li>Galculation Activities</li> </ul>	E Particle History Data Export		
Autosave (Every Ti			
团 Execute Commands			
Solution Animations		0	
Bun Calculation		Ø	
✓ Results			
Graphics			
Plots	Create/Edit		
Scene			
P Beports	Automatically Initialize and Modify Case		
Parameters & Customizati			
	Initialization: Initialize with Values from the Case		
	Original Settings, Duration = 1	Conse	he
		Init	tialize using the hybrid initialization method.
		-Th	cking case topology is case has no inlets & no outlets
		-Ca	se will be initialized with constant parameters

Şekil 3.44. Hesaplama kayıt sayısı belirleme

Automatic Export	* 6		100			×
Name	-					
export-1						
File Type CFD-Post Compatible	Cell Zones Filter Text		Surfaces Filter Text		Quantities [14/107]	
Format S Binary ASCII Write Case File Every Time	200601101176-1200920-01-01_	?enplast_tank	fuid_solid_interface interior-zone0101176-180920-	01-01_Templast_tank	Mass Imbalance Strain Rate dX-velocity/dx dY-velocity/dx dY-velocity/dx dZ-velocity/dy dX-velocity/dy dX-velocity/dz dX-velocity/dz dY-velocity/dz d	ŋ
Frequency (Time Steps)	× 1					
4 File Manue	<u>x</u>					
ECC			Browse			
Annend File Name with						
time-step			<u>-</u>			
		8	Cancel Help			

Şekil 3.45. Analiz sonucu veri çıktılarını belirleme

Analizi başlatmadan önce ki son adımda ise analiz boyunca yapılan iterasyon sayısı belirlenir. Bu analizde 0,05 saniye uzunluğunda 20 adım gerçekleştirilecektir ve her

adımda 40 iterasyon yapılacaktır. Yani analiz boyunca toplamda 800 adet iterasyon yapılacaktır. Şekil 3.46'da gösterildiği gibi belirtilen değerler girildikten sonra "calculate" butonuyla analize başlanır

Tree	Task Page		
Filter Text	Run Calculation		
<ul> <li>Setup</li> <li>General</li> </ul>	Check Case	Preview Mesh Motio	n
▶ 🗄 Models	Time Stepping Method	Time Step Size (s)	
Materials	Fixed -	0.05	P
Cell Zone Conditions	Cottings	Number of Time Step	s
Dynamic Mesh	setungs	20	121
Reference Values	Ontions		
<ul> <li>Golution</li> </ul>	Extrapolate Variables		
S Methods	Data Sampling for Tin	no Statistics	
Controls	Sampling Interval		
Report Definitions     Monitors	t E	Sampling Options	
Cell Registers	Time Complet (		
Pto Initialization	Time Sampled (s	s) [u	
P 🛱 Calculation Activities	Solid Time Step		
🕴 Run Calculation	O User Specified		
Results	@ Automatic		
P B Plots			
Scene	Max Iterations/Time Step	Reporting Interval	
Animations	40	1	*
🕨 🈰 Reports	Profile Update Interval		
Parameters & Customizati	1		
	Data File Quantities	Acoustic Signals	
		[	
		Acoustic Sources FF	Tree
	Calculate		
	Help		

Şekil 3.46. Analiz boyunca yapılacak olan iterasyon sayısını belirleme

#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Çalkalanma yüklerinin etki analizlerinin ANSYS yazılımı kullanılarak nasıl yapıldığı bir önceki bölümde anlatılmıştır. Simülasyon sonuçları ve analiz raporları bölümünde ise yapılan analiz sonuçlarının model üzerindeki etkileri ve analiz raporları gözden geçirilmektedir. Tank modeli üzerinde yapılan analizler üç farklı doluluk oranıyla yapılmıştır. Bu bölümde 97%, 60% ve 30% doluluk oranlarıyla yapılan analizlerin, model üzerinde ki toplam deformasyon, elastik deformasyon ve gerilme mukavemeti değerleri incelenmiştir.

### 4.1. ANSYS Yazılımı Kullanılarak Yapılan Frenleme Testi Ön Koşul ve Analiz Sonuçları

Frenleme testi analizi için yazılımın verdiği 97% doluluk oranında ki modelin geometri ve malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir. Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3 modelin geometrik özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

				Mod	el (B3) > Geomet	try > Parts					
Object Name	0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER_3f 2\0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER?	0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER_3f 3\0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER?	0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER_3f 3\0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER?	0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER_3f 3\0101176- 010201- 1811201130 TANK ALT KEMER?	0101176- 180920-01-01 3f ENPLAST TANK01011176- 180920-01-01 ? ENPLAST TANK	0101176- 180920-01-01 _3f_ENPLAST _TANK-4 10101176- 180920-01- 01 ?ENPLAST _TANK	0101176- 180920-01-01 _3f_ENPLAST _TANK-5 \0101176- 180920-01- 01 ?ENPLAST _TANK	0101176- 180920-01-01 _3f_ENPLAST _TANK-6 \0101176- 180920-01- 01 ?ENPLAST _TANK	0101176- 180920-01-01 3f ENPLAST TANK-7 10101176- 180920-01- 01 ?ENPLAST TANK	0101176- 180920-01-01 _3f_ENPLAST TANK-8 \0101176- 180920-01- 01 ?ENPLAST TANK	18 _3 1 01
State		Me	shed		Suppressed			Mes	shed		_
					Graphics	Properties					
Visible		Y	es		No			Y	es		
Transparency			1						1		_
					Defi	nition					_
Suppressed		N	lo		Yes			N	lo		
Stiffness Behavior						Flexible					
Coordinate System		Default Coordinate System									
Reference Temperature	By Environment										
Behavior						None					_
					Ma	terial					
Assignment		Structure	al Steel 2				Structural Steel 2	2		Resin Polyester	_
Nonlinear Effects						Yes					_
Thermal Strain Effects						Yes					
					Bound	ling Box					
Length X		27.71	13 mm		3150. mm	260.01 mm				414.5 mm	
Length Y		100	. mm		1908. mm	1340. mm			1936.2 mm		
Length Z		24.	mm		1908. mm	2056.6 mm 1936.2 mm				2 mm	
					Prop	perties					_
Volume		3098	0 mm²		8.2604e+009 mm <sup>3</sup>	1	1.2639e+007 mm	1ª	6.6175e+	+007 mm*	2
Mass		0.243	319 kg				99.217 kg		79.4	1 kg	
Centroid X	-1105. mm	1075. mm	380.01 mm	-1005. mm	-14.994 mm	-1055. mm	330. mm	1025. mm	1411. mm	-1441. mm	-
Centroid Y		1088	.9 mm		1084.5 mm		2003.5 mm		1084	5 mm	
Centroid Z	1005.6 mm			-5.8415e-004 mm	-1.3356e-007 mm	4.4125e-007 mm	6.5788e-007 mm	-8.2784e-002 mm	8.2785e-002 mm		
Moment of Inertia		250.18	kg·mm²			3.1	3.7449e+007 kg·mm <sup>2</sup> 4.1745e+00			107 kg·mm²	2
Moment of Inertia		13.721	kg∙mm⁼			2	2.57e+007 kg·mn	nª	2.1622e+0	l07 kg·mm²	3
Moment of Inertia	250.18 kg·mm <sup>3</sup>					1.	2675e+007 ka·m	m²	2.1624e+0	07 ka∙mm²	3

Tablo 4.1. Modelin parçalara ayrılmış halde geometrik özellikleri

## Tablo 4.2. Modelin malzeme özellikleri

Model (B3	Model (B3) > Materials > Structural Steel 2 Assignment						
Object Name	Structural Steel 2 Assignment Resin Polyester Assignn						
State	Fully Defined						
General							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	6 Bodies	3 Bodies					
	Definition	•					
Material	Structural Steel 2	Resin Polyester					
Nonlinear Effects	Yes						
Thermal Strain Effects	Yes						
Reference Temperature	By Environment						
Suppressed	N	0					

## Tablo 4.3. Modelin mesh özellikleri

Model (B3) > Mest	1
Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Solver Preference	Mechanical APDL
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Derault
I ransition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	4010.8 mm
Average Surface Area	1.4748e+005 mm-
Minimum Edge Length	0.7842 mm
Check Mech Quality	Vec Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	64544
Elements	31389

![](_page_66_Figure_0.jpeg)

Şekil 4.1. %97 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası

![](_page_67_Figure_0.jpeg)

Şekil 4.2. %97 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası

Frenleme testi analizi yapılan tank modeli için %60 doluluk oranında ki analiz görüntülerine aşağıda yer verilmiştir

![](_page_68_Figure_1.jpeg)

Şekil 4.3. %60 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası

![](_page_69_Figure_0.jpeg)

Şekil 4.4. %60 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası

ensity olume Rendering 1 9.982e+02 7.490e+02 4.997e+02 2.505e+02 1.225e+00 [kg m^-3] Ŀ nsity ume Rendering 1 9.982e+02 7.490e+02 4.997e+02 2.505e+02 1.225e+00 [kg m^-3] Ŀ 1.000 ensity lume Rendering 1 9.982e+02 7.490e+02 4.997e+02 2.505e+02 1.225e+00 [kg m^-3] 1. 1.000

Frenleme testi analizi yapılan tank modeli için %30 doluluk oranında ki analiz görüntülerine aşağıda yer verilmiştir.

Şekil 4.5. %30 doluluk oranında frenleme analizi 1-3 periyotlar arası

![](_page_71_Figure_0.jpeg)

Şekil 4.6. %30 doluluk oranında frenleme analizi 4-6 periyotlar arası
### 4.2. ANSYS Yazılımı Kullanılarak Yapılan Minimum Çapı 15 m Olan Bir Dairede Yavaş Sürüş Testi Ön Koşul ve Analiz Sonuçları

T S EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %97 doluluk oranında ki dairede yavaş sürüş testi analizinin raporları ve model görünümleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.7. %97 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası



Şekil 4.8. %97 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası



TS EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %60 doluluk oranında ki dairede yavaş sürüş testi analizinin raporları ve model görünümleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.9. %60 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası



Şekil 4.10. %60 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası

TS EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %30 doluluk oranında ki dairede yavaş sürüş testi analizinin raporları ve model görünümleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.11. %30 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 1-3 periyotlar arası



Şekil 4.12. %30 doluluk oranında dairesel sürüş analizi 4-6 periyotlar arası

# 4.3. ANSYS Yazılımı Kullanılarak Yapılan Engebeli Pistte Sürüş Testi Ön Koşul ve Analizi Sonuçları

TS EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %97 doluluk oranında ki engebeli pistte sürüş testi analizinin raporları ve model görünümleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.13. %97 doluluk oranında engebeli pistte sürüş analizi

TS EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %60 doluluk oranında ki engebeli pistte sürüş testi analizinin model görünümleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.14. %60 doluluk oranında engebeli pisttesürüş analizi

TS EN 13094 : 2015-10 standartlarına göre yapılan %30 doluluk oranında kiengebeli pistte sürüş testi analizinin model görünümleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.15. %30 doluluk oranında engebeli pistte sürüş analizi

### 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalkalanma, kara taşımacılığında kullanılan yakıt tankları benzeri dinamik sistemlerde mühendislik problemi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu sistemlerin dinamik davranışları genellikle serbest sıvı yüzeyinin dinamiğinden etkilenmektedir. Bu nedenle, taşımacılık, insan hayatı ve çevre şartları gibi nedenlerle güvenlik önemlidir. Kısmi dolu tanklarda, eğer tank hareketinin periyodu tankın doğal periyoduna yaklaşırsa tankta bulunan sıvıda çalkalanma hareketi başlamaktadır. Dolayısıyla çalkalanma hareketinin başladığı zorlama periyodunu tespit etmek gerekir. Çalkalanmanın başladığı periyotlarda tanklarda önemli derecede yapısal yükler oluşabilmektedir. İçerisinde serbest yüzeyli sıvı bulunan bir yakıt tankında çalkalanma hareketi oluşabilir. Tankın şekline ve dağılımın tipiyle alakalı olan serbest sıvı yüzeyi, basit yüzeysel, yüzeysel olmayan, çevrintili, rastgele çarpmalar, simetrik, asimetrik, yarı-periyodik ve kaotik gibi çeşitli şekillerde olmaktadır. Genellikle, çalkalanma hareketinin genliği, tank hareketinin frekansına (periyoduna), genliğine, sıvı derinliğine, sıvının özelliklerine ve tankın geometrisine bağlıdır.

Bu tez çalışmasında, çalkalanma problemi davranışından, problemin çözümünde kullanılan metotlardan, sıvıların taşımacılığında kullanılan ADR mevzuatından ve mevzuata uygun olarak ANSYS yazılımı yardımıyla yapılan analizlerden bahsedilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler ve grafikler sunulmuştur. Çalışmada yapılan analizler TS EN 13094 : 2015-10 standartlarında belirtilen koşullar varsayılarak yapılmıştır.

Frenleme testi analizinin, üç farklı doluluk oranında ki maksimum ve minimum değerleri Tablo 5.1'de belirtilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en büyük stres değerleri; %60 doluluk oranında gözlemlenmiştir. Tasarım esnasında belirtilen değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Ts En 13094 standartında yapılacak olan strain-gauge testlerinde çalkalanma etkileri incelenirken %60 doluluk oranı göz önünde bulundurulması oluşabilecek gerilimler açısından daha doğru sonuçlar verecektir.

Frenleme Testi Analiz Değerleri Tablosu									
TOTAL DEFORMATION (mm)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
85.961	56.476	562.36	1.2341	463.97	3.3398				
ELASTIC STRAIN(mm/mm)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
0.00096743	8.97E-08	0.0095759	3.97E-06	0.007237	1.26E-06				
STRESS(Mpa)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
4.2869	0.003136	38.909	0.014734	24.2	0.012511				

Tablo 5.1. Frenleme testi analiz değerleri tablosu



Şekil 5.1. Frenleme testi total deformasyon sütun grafiği

Frenleme test grafiklerinde görüldüğü Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 deki gibi total deformasyon veya elastic strain değerleri doluluk oranı maksimumken en az tehlikeli durumda olmaktadır. En tehlikeli durum ise %60 lık doluluk oranına sahipken oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Frenleme testi elastic strain sütun grafiği



Şekil 5.3. Frenleme testi stres değerleri sütun grafiği

Dairede yavaş sürüş testi analizinin, üç farklı doluluk oranında ki maksimum ve minimum değerleri Şekil 5.3'de belirtilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en büyük stres değerleri; %97 doluluk oranında gözlemlenmiştir. Tasarım esnasında belirtilen değerler göz önünde bulundurulmalıdır.





Ts En 13094 standartında yapılacak olan strain-gauge testlerinde çalkalanma etkileri incelenirken %97 doluluk oranı göz önünde bulundurulması oluşabilecek gerilimler açısından daha doğru sonuçlar verecektir.

	Dairede Y	avaş Sürüş Test	i Analiz Değer	leri Tablosu	
		TOTAL DEFO	RMATION(mm	)	
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
26380	26079	12017	11876	341.68	339.84
		ELASTIC STR	RAIN(mm/mm)		
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
0.0089062	3.44E-07	0.0047597	2.32E-07	4.61E-05	7.30E-10
		STRES	SS(Mpa)		
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
	0.010505	10.2	0.015040	0 20070	0.00010406

Tablo 5.2. Dairede yavaş sürüş testi analiz değerleri tablosu



Şekil 5.5. Dairede yavaş sürüş testi elastic strain sütun grafiği



Şekil 5.6. Dairede yavaş sürüş testi stress değerleri grafiği

Engebeli pistte sürüş testi analizinin, üç farklı doluluk oranında ki maksimum ve minimum değerleri Şekil 5.6'da belirtilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en büyük stres değerleri; %60 doluluk oranında gözlemlenmiştir. Tasarım esnasında belirtilen değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Ts En 13094 standartında yapılacak olan strain-gauge testlerinde çalkalanma etkileri incelenirken %60 doluluk oranı göz önünde bulundurulması oluşabilecek gerilimler açısından daha doğru sonuçlar verecektir.

Engebeli Pistte Sürüş Testi Analiz Değerleri Tablosu									
TOTAL DEFORMATION(mm)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
2.1012	1.8524	13.921	12.591	4.3726	3.85				
ELASTIC STRAIN(mm/mm)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
5.79E-05	5.12E-08	0.0002788	1.46E-07	1.59E-04	4.82E-08				
STRESS(Mpa)									
DOLULUK ORANI: %97		DOLULUK ORANI: %60		DOLULUK ORANI: %30					
Max	Min	Max	Min	Max	Min				
9.9953	0.000666	22.503	0.010243	19.454	0.0039				

Tablo 5.3. Engebeli pistte sürüş testi analiz değerleri tablosu



Şekil 5.7. Engebeli pistte sürüş testi total deformasyon grafiği

Engebeli pistte sürüş testi deformasyon grafikleriyle Şekil 5.7 frenleme etkisindeki deformasyon grafikleri bize %60 lık doluluk oranına sahipken en tehlikeli durumda olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.8. Engebeli pistte sürüş testi elastic strain grafiği



Şekil 5.9. Engebeli pistte sürüş testi stres değerleri grafiği

ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan simülasyonlarda; yaklaşık 0.6 g kuvvetinde yavaşlama ile düz ve kuru bir yolda yapılan frenleme testi analizinde elde edilen sonuçta ön bombe cidar yüzeylerinde ve birleşim noktalarında, silindir kısım bombe birleşim noktalarında en yüksek gerilmeler gözlemlenmiştir. Bu etkinin, tankı kalıcı

deformasyona uğratmaması için tasarım ve imalat aşamasında bombe yüzeylerinin kesit kalınlıklarının artırılması ve birleşim yüzeylerinin kuvvet aktarımına uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Minimum çapı 15m olan bir dairede yavaş sürüş testi analizinde elde edilen sonuca göre; dönme yönüne bağlı olarak tankın silindirik yüzeylerinde en yüksek gerilmeler gözlemlenmiştir. Çap daraldıkça tankta yüzey gerilmelerinden daha çok ön plana çıkan sonuç tankın devrilmeye daha istekli olması durumudur.

Engebeli pistte sürüş analizinin sonucunda; tankın içinde bulunan sıvının sıçrama hareketinden dolayı tankın üst, alt ve yan cidarlarında en yüksek gerilmeler tespit edilmiştir. 45mm'den daha yüksek engebeli arazilerde ve daha yüksek hızlarda; tankın yer çekimi etkisiyle alt cidarlarında da ciddi gerilmelere ulaşıldığı analiz sonuçlarında gözlemlenmiştir.



#### KAYNAKLAR

- [1] Romero J.A., Hildebrand R., Martinez M., Ramirez O., Fortanell J.A., Natural Sloshing of Liquid Cargoin Road Tankers, *Int. Journal of Heavy Vehicle Systems* **2** (2), 121-138, 2005.
- [2] Bogomaz G.I., *Dynamics of the Railway Systems*, Naukova Dumka Kiev, 2004.
- [3] İtibar M.D., Küre Biçimli Tanklardaki Çalkantının Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [4] Guilcher P. M., Ducorzet G., Alessandrini B. and Ferrant P., Water Wave Propagation Using SPH Models, *Proceeding of 2nd International SPHERIC Workshop*; Spain, 119-124, 2007.
- [5] Malenica S., Mravak Z., Besse P., Kaminski M., and Bogaert H., Full Scale Experiments and New Methodology to Assess The Structural Behaviour of a Membrane LNGC Containment System Under Breaking Waves Project SLOSHEL, In 24th Gastech Conference, 2009.
- [6] Pilipchuk V., Ibrahim R., The Dynamics of a Non-Linear System Simulating Liquid Sloshing İmpact in Moving Structures. *Journal of Sound and Vibration* 1997, **205**, 593-615.
- [7] Faltinsen O., A Nonlinear Theory of Sloshing in Rectangular Tanks, *Journal* of Ship Research 18, 224-241, 1974.
- [8] Leray J., Etude de Diverses Equations İIntegrals Non Lineaires et de Quelquesproblemes Que Pose L'hydrodynamique, J. Math. Pures Appl., 1933, 12, 1–82.
- [9] Leray J., Essai Sur Les Mouvemnts D' un Liquidevisqueaux Que Limitent Des Parois, *J. Math. Pures Appl.*, 1934, **13**, 331–418.
- [10] Ladyzhenskaya O., *The Mathematical Theory of Viscous Incompressible Flow*, Revised English Edition. Translated From the Russian by Richard A. Silverman. Gordon & Breach, New York, 1963.
- [11] Ruelle D., Takens F., On The Nature of Turbulence. *Comm. Math. Phys.*, 1979, 20, 167–192.
- [12] Faltinsen O.M., *Sloshing*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2009.

- [13] McDonough J.M., Lectures in Computational Fluid Dynamics of Incompressible Flow. Department of Mathematics, University of Kentucky, 2007.
- [14] İtibar M.D, Küre Biçimli Tanklardaki Çalkantının Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [15] ANSYS Fluent Theory Guide, 2013.
- [16] Özer B.B., Türkiye'de Karayolu İle Tehlikeli Madde Taşımacılığının Avrupa Anlaşması (Adr)'ye Geçiş Kapsamında Analizi, 2011.
- [17] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Tehlikeli Malların Karayolu İle Taşınmasına İlişkin Avrupa Anlaşması (ADR), Cenevre, 2007.
- [18] http://www.spenak.com>, (Ziyaret tarihi 19 Haziran 2019)
- [19] http://adr.und.org.tr>, (Ziyaret tarihi 19 Haziran 2019).
- [20] Şenplast Polyester ve Kimya Sanayi A. Ş.
- [21] TS EN 13094 : 2015-10

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 2006 yılında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2006-2009 yılları arasında Safmak firmasında çalışmıştır. 2010 yılından günümüze kurucusu olduğu DYM Makina firmasında iş hayatına devam etmektedir.

