



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT YAKIT DEPOSUNDA ÇALKALANMA
OLAYININ ANALİZİ**

Eyüp KILIÇ

Yrd. Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE TEORİSİ ANABİLİM DALI

BURSA-2015

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Eyüp KILIÇ tarafından hazırlanan “Taşıt yakıt deposunda çalkalanma olayının analizi ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalı’ nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU

Başkan: Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR

İmza

Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU

İmza

Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. Numan YÜKSEL

İmza

Bursa Teknik Üniversitesi
Doğa Bilimleri, Müh. Ve Mim. Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof.Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

.././....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğum,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde her hangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin her hangi bölümünü bu üniversite veya başka üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

18/12/2015

İmza

Eyüp KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
TAŞIT YAKIT DEPOSUNDA ÇALKALANMA
OLAYININ ANALİZİ
Eyüp KILIÇ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU

Bu tez çalışmasında, bir binek araç yakıt tankındaki çalkalanma olayı standart bir giriş değeri için farklı tasarım şekillerine, yakıt doluluk oranlarına ve tank doğrusal hareket yönlerine göre teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Teorik çalışmalar hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmalar ise yakıt tankının üretimini yapan firmada bulunan çalkalanma test düzeneğinin uygun şekilde düzenlenmesiyle, prototip yakıt tankları kullanılarak yapılmıştır.

Tez çalışmasında öncelikle literatür araştırması yapılmış ve bu incelenen eserler arasından çalışmamızdaki gibi yatay salınım yapan prizmatik bir tank sistemi seçilerek bu çalışmanın analiz sonuçları ile karşılaştırmalı bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Daha sonra yakıt tankı üzerindeki çalışmalara devam edilmiştir. Tank sistemi yapısal olarak perdeli/ şamandırasız, perdesiz/şamandıralı ve perdeli/şamandıralı tasarım koşullarında incelenmiştir. Yakıt tankı, tank çalkalanma dayanımı standartlarındaki çalışma koşulları da dikkate alınarak %50-70 doluluk oranlarında çalkalanmaya maruz bırakılmıştır. Tankın enine ve boyuna çalkalanma durumları da dikkate alınarak teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca mevcut tank hacminde dikdörtgen prizma şeklinde bir tank tasarlanarak, farklı perde yapılarının çalkalanma hareketi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan çalışmada perde yapısının ve kısmi olarak tank şamandıra elemanının da tank çalkalanma hareketinde oluşan basınç değişimi üzerinde basınç değişimini düzenleyici yönde etkilerinin olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışması Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 0157 STZ.2013-1 numaralı SAN-TEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Binek araç yakıt tankı, çalkalanma, yakıt tankı perdesi

2015 x+72 Sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS OF SLOSHING IN VEHICLE FUEL TANK

Eyüp KILIÇ

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Dr. Elif ERZAN TOPÇU

In this thesis, sloshing behavior of a passenger car's fuel tank was examined theoretically and experimentally according to different design shapes, tank filling rates and direction of movement. Theoretical studies were done using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. Experimental studies were completed on the fuel tank sloshing test rig and the prototype tanks after restructuring of the system in accordance with our requirements in the producer company.

In the study, firstly a literature research was made and an appropriate study which investigated the sloshing behavior in a prismatic tank according to the lateral movement was chosen and a comparative study was carried out to verify the method. After studies was continued on the fuel tank. Tank system is investigated in different design shapes such as without baffle/without float, without baffle/with float, with baffle/with float. Fuel tank was subjected to slosh in the filling rate of 50-70% at the standard sloshing test conditions. Theoretical and experimental studies were made taking into account of transverse and longitudinal placement conditions. Besides a prismatic tank at the present fuel tank volume was designed and the effect of the different baffle structures on the sloshing was investigated.

As a result of this study, it was shown that baffle and partially float component have a regulatory effect on the pressure change of the fuel tank.

This thesis study was carried out under Industrial Thesis Supporting Program (project number 0157. STZ. 2013-1) with support of the Ministry of Science, Industry and Technology.

Key Words: Vehicle fuel tank design, Sloshing, Baffle.

2015, x+72 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca gece gündüz bilmeden yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU 'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR' a, Uludağ Üniversitesi'ndeki lisansüstü öğrenimim süresince bana yardımcı olan, emeği geçen tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen, AKA Otomotiv Genel Müdürü Sayın Ümit Koray ÖZYANIK' a, AKA Otomotiv AR-GE Direktörü Sayın İlker KUZUCU' ya, AR-GE Ürün Tasarım Mühendisi Sayın Yalçın YILDIRIM' a, AR-GE laboratuvarı çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Çalkalanma konusundaki kıymetli çalışmaları ile çalışmama yol gösteren ve kendisiyle yaptığım görüşmede benden yardımını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hakan AKYILDIZ' a, analiz aşamasında çözüm bulamadığım kilit problemleri açmama yardımcı olan Emre BAYRAKTAR' a ve analiz sürecinde teknik olarak yardım eden Murat Umut YANGAZ' a, tüm süreç boyunca desteğini sürekli hissettiğim kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 0157 STZ.2013-1 numaralı SAN-TEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmamın verimli bir şekilde yürütülmesinde maddi destek sağlayan Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı' na teşekkür ederim.

EYÜP KILIÇ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ÖZETİ ve KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Kaynak Özeti	4
2.2 Kuramsal Bilgiler.....	11
2.2.1 Hidrostatik basınç	11
2.2.2 Akışkan dolu bir kabın sabit ivmeli öteleme hareketi.....	12
2.2.3 Doğrusal dalga teoremine göre prizmatik tankın doğal frekansı	14
2.2.4 Süreklilik Denklemi	14
2.2.5 Momentum Denklemleri.....	15
2.2.6 Sıvı hacmi yöntemi (Volume of Fluid-VoF yöntemi).....	17
2.2.7 Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi.....	18
3 MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1 Prototip yakıt tankının yapısı	20
3.2 Prototip yakıt tankının hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi ile modellenmesi	22
3.2.1 Literatürde incelenen doğrusal salınım yapan bir çalışmanın incelenmesi	22
3.2.2 Sıvı akışkan dolu yakıt tankının çalkalanma hareketinin modellenmesi	23
3.2.3 Farklı perde yapılarının incelenmesi.....	27
3.3 Deneysel Çalışmalar	29
4 BULGULAR ve TARTIŞMA.....	35
5.SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EK 1. Ansys Fluent üzerinde problemi anlama ve analiz süreci.....	66
EK 2: HAD analizinde tankın hareketini veren program.....	67
EK 3- ES31100-01 mühendislik standardı çalkalanma testi kriteri	68

EK 4. Basınç algılayıcılarının kalibrasyonu	69
ÖZGEÇMİŞ	72



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
P	Sıvı basıncı
P _{atm}	Atmosfer basıncı
ν	Kinematik viskozite
ρ	Sıvı yoğunluğu
L	Tank boyu
h_b	Sıvı yüksekliği
h	Tank yüksekliği
ω	Tank içindeki sıvının çalkalama frekansı
ω_n	Tank içindeki sıvının çalkalanma doğal frekansı
D	Tankın eni
x(t)	X yönünde tankın hareketi
y(t)	Y yönünde tankın hareketi

Kısaltmalar	Açıklamalar
HAD	Hesaplamalı Akışkan Dinamiği
CFD	Computational Fluid Dynamics
VoF	Volume of fluid
RANS	Reynolds-averaged Navier–Stokes equations
LES	Large-eddy simulation of turbulence

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Basıncın sıvı yüksekliğine bağlı değişimi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış. 12
Şekil 2.2. Sabit ivmeli doğrusal hareket yapan bir kaptaki bir sıvının rijit cisim hareketi	12
Şekil 3.1. Yakıt tankının genel görünümü ve mesh yapısı	21
Şekil 3.2. Jung ve ark. (2012) çalışmasında kullanılan sistemin şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.3. Tank üzerindeki basınç noktaları.....	24
Şekil 3.4. 50 lt hacimindeki prizmatik tankın boyutları ve basınç ölçüm noktalarının yerleri..	28
Şekil 3.5. Deney sistemi şematik gösterimi	31
Şekil 3.6. Deney tesisatının fotoğrafı.....	31
Şekil 3.7. Veri toplama sistemi MATLAB/Simulink modeli	32
Şekil 3.8. Sistem çalışırken bilgisayar ekranından alınan görüntü	32
Şekil 3.9. Basınç algılayıcılarının tank üzerindeki yerleşimi	36
Şekil 4.1. Perdesiz hal için Jung ve ark. (2012)' nin çalışmasının basınç-zaman eğrilerinin karşılaştırmalı grafikleri (a) P_{T1} , (b) P_{T4} , (c) Jung ve ark. (2012)' nin çalışmasında referans aldığı deneysel çalışmaların basınç- zaman grafikleri.....	37
Şekil 4.2. Perdeli hal (perde yüksekliği/sıvı seviyesi oranı 0,4) için Jung ve ark. (2012)' nin çalışmasının P_{T2} , P_{T3} ve P_{T4} noktalarının basınç-zaman eğrilerinin karşılaştırmalı grafikleri	38
Şekil 4.3. Perdesiz/şamandırasız tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{-x25} , $-x50$, $-x75$ noktaları için)	38
Şekil 4.4. Perdesiz/şamandırasız tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{+x25} , $+x50$, $+x75$ noktaları için).....	38
Şekil 4.5. Perdesiz/şamandırasız tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{-x25} , $-x75$ noktaları için).....	39
Şekil 4.6. Perdesiz/şamandırasız tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{+x25} , $+x75$ noktaları için)	39
Şekil 4.7. Perdesiz/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{-x25} , $-x50$, $-x75$ noktaları için)	40
Şekil 4.8. Perdesiz/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P_{+x25} , $+x50$, $+x75$ noktaları için).....	40

Şekil 4.9. Perdesiz/şamandıralı tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x50, -x75 noktaları için)	41
Şekil 4.10. Perdesiz/şamandıralı tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x50, +x75 noktaları için)	41
Şekil 4.11. Perdeli/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x50, -x75 noktaları için)	43
Şekil 4.12. Perdeli/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x50, +x75 noktaları için)i	43
Şekil 4.13. x yönünde perdeli/ şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P+x25, +x50, +x75 noktaları için)	44
Şekil 4.14. x yönünde perdeli/ şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P+x25, +x50, +x75 noktaları için)	44
Şekil 4.15. y yönünde perdesiz/şamandırasız, %50 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y75, +y50, +y70 noktaları için)	45
Şekil 4.16. y yönünde perdesiz/şamandıralı, %50 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y75, +y50, +y70 noktaları için)	46
Şekil 4.17. y yönünde perdeli/şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y75, +y50, +y70 noktaları için)	47
Şekil 4.18. İvme-zaman grafiği	48
Şekil 4.19. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	49
Şekil 4.20. Perdesiz/şamandırasız tankın %70 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	50
Şekil 4.21. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	51
Şekil 4.22. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	52
Şekil 4.23. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	53
Şekil 4.24. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	54

Şekil 4.25. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	55
Şekil 4.26. Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)	55
Şekil 4.27. Perdeli/şamandıralı tankın %70 doluluk oranında y yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (y-25 noktası).....	56
Şekil 4.28. P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (1-4 numaralı senaryolar için)	57
Şekil 4.29. P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (5-8 numaralı senaryolar için)	58
Şekil 4.30. 2. 4. ve 6. senaryoları için P3 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiklerinin karşılaştırılması	58
Şekil 4.31. P5 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (1-4 numaralı senaryolar için)	59
Şekil 4.32. P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (küçük genlikli hareket) ...	60
Şekil 4.33. P5 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yakıt tankı üzerinde yapılan analizler	25
Çizelge 3.1. Analiz modelleri ve mesh sayıları	26
Çizelge 3.3. Prizmatik tankta kullanılan perde yapıları.....	28
Çizelge 3.4. Deney düzeneğini oluşturan cihazlar ve özellikleri.....	30



1 GİRİŞ

Yakıt tankı taşıtın çalışması için gerekli olan enerjiyi sağlamak amacıyla kullanılan, yakıtın depolandığı tanklara denir. Yakıt tanklarının çok değişik boyutlarda üretilmesi ve farklı malzemelerden imal edilmesi mümkündür. Temel olarak bir yakıt tankı sistemi aşağıdaki alt sistemlerden oluşmaktadır. Bunlar;

- Dolum sistemi (yakıt tankı güvenli bir şekilde doldurulabilmelidir),
- Yakıtın saklanması için uygun ortam (sistem kaçak ve buharlaşmaya karşı güvenli olmalıdır),
- Ölçüm ve kontrol sistemi (tankta kalan yakıt miktarı ölçülebilmelidir, şamandıra elemanı),
- Havalandırma sistemi (eğer yüksek basınç koruması sağlanmamışsa, buharlaşma valfler aracılığıyla salınmalıdır),
- Motoru besleme sistemi (bir pompa yardımıyla) olarak sıralanabilir.

Taşıtlar için yakıt tankının araç içinde kaplayacağı yer çok önemli olduğundan her tipteki araç için değişik yakıt sistemleri tasarlanabilmektedir. Bunun yanı sıra aynı model araç için bile yakıt cinsine bağlı olarak (dizel, benzin vb.) farklı yakıt tankları tasarlanabilir. Otomobillerdeki yakıt tankları genellikle plastik (yüksek yoğunluklu polietilen) veya metal (alüminyum, çelik) malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Yakıt tankı tasarımında tank içindeki çalkalanma ve bunun sonucunda oluşan basınç kuvvetleri, yakıt miktarının azalması sonucu oluşan değişken kütleli hareketin incelenmesi gibi konular önem arz etmektedir. Yüksek ivmelenmeye sahip bir araç düşünüldüğünde yüksek hızlarda araç yakıt tankındaki çalkalanma aracın ağırlık merkezinin yerini değiştirebilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Bu da yakıt tankının boyutlarına göre kontrol sistemini negatif yönde etkileyebilecek sonuçlar doğurabilmektedir. Dolayısıyla bu çalkalanmayı analiz edip var olan kuvvetleri minimize etmek bu konuda çözülmesi gereken problemlerden biridir.

İçerisi kısmi olarak sıvı akışkan ile dolu kabın sıvı yüzeyinde serbest sıvı yüzeyi oluşmaktadır. Bu yüzeyin her hareketi çalkalanma olarak tanımlanmaktadır. Kaba

dışarıdan gelen hareketin şekline ve kabın geometrisine göre serbest sıvı yüzeyi çeşitli hareket türleri sergilemektedir. Bunlar basit düzlemsel, düzlemsel olmayan, çevrıntili, rastgele çarpımlar, simetrik, asimetrik, yarı periyodik ve kaotik olarak sınıflandırılabilir. (İbrahim ve ark. 2001, Akyıldız ve ark. 2012). Çalkantı hareketinin genliği uyarı hareketinin şekline, kap içindeki sıvının derinliğine, sıvının özelliklerine ve kabın geometrisine bağlıdır (Akyıldız ve ark. 2012, Akyıldız ve Ünal 2006).

Kap içindeki sıvının hareketi sonsuz sayıda doğal frekansa sahiptir. Ancak araç hareketi sırasında oluşan uyarı frekansları, bu değerlerden sadece en düşük birkaç moda denk gelmektedir. Birçok çalışma en düşük doğal frekans değerlerindeki (mod sayısı 1) zorlanmış harmonik salınımların incelenmesi üzerine yapılmaktadır. Çalkalanma sırasında genlik sıçraması, parametrik rezonans, kaotik sıvı yüzey hareketi ve doğrusal olmayan çalkalanma modu etkileşimi gibi doğrusal olmayan etkiler ortaya çıkabildiğini ve bu etkilerin ortaya çıktığı frekans değerinin doğrusal doğal frekans değerinden bir miktar farklı ve genliğe bağlı olarak da değişim gösterdiğini belirtmiştir (İbrahim ve ark. 2001).

Doğal frekansa yakın frekans değerlerinde düşük sıvı yüksekliklerinde çalkalanma hidrolik sıçramalar ve hareket eden dalgalar halinde gerçekleşmektedir. Bu tip çalkalama türü kabın yüzeyine yüksek basınçlar uygulamaktadır. Yüksek derinlikte ve rezonans frekansına yakın değerlerde büyük genlikli duran dalgalar oluşabilmektedir. (İbrahim ve ark. 2001, Akyıldız ve ark 2012).

Akışkanın bulunduğu hacim içindeki hareketi uzay araçları, yakıt tankerleri, yüksek su kuleleri gibi pek çok mühendislik sistemini ilgilendirmektedir. Çalkalanma hareketi sonucu oluşan basınç kuvvetleri mekanik sistemlerde zorlanmaya ve güvenlik problemlerine yol açmaktadır. Bu sebeple sıvı çalkalanması sırasında ortaya çıkan hidrodinamik basınç dağılımının, kuvvetlerin ve serbest sıvı yüzeyinin doğal frekansının belirlenmesi önem arz etmektedir (İbrahim ve ark. 2001).

Akışkan parçacıklarının hareket serbestliği tank içindeki sıvı seviyesine bağlı olarak değişir. Çalkantı neticesi akışkanı çevreleyen kabuk malzeme üzerine ve mekanik

taşıyıcı sisteme çarpma yükleri etkimektedir. Bu çarpma yükleri sıvı seviyesine, tank yerleşimine, ivmeye ve tank dış uyarı sinyallerine göre değerlendirildiğinde belli bir maksimum değeri aşmamalı ve güvenlik sınırları içinde kalmalıdır (İbrahim ve ark. 2001).

Çalkalanma hareketinin oluşturabileceği tehlikeli durumları engellemek amacı ile kontrol sistemleri, taşıt elastik yapıları ve sıvı çalkantı frekanslarına dikkat edilerek çeşitli yöntemler gerçekleştirilmektedir. Çalkalanma hareketi sırasında serbest sıvı yüzeyi hareketi viskoz sınır tabaka tarafından oluşturulan sönümleme kuvvetleri sebebiyle zayıflar. Sönümlemenin bir kısmı rijit duvarlarda olmaktadır ve tankın geometrisine bağlı olarak da bu sönümleme kabiliyeti değişmektedir. Temel olarak sönümleme faktörü sıvının yüksekliğine, kinematik viskozitesine ve tank boyutlarına (enine veya çapına) bağlı olarak değişmektedir. Fakat çalkalanma hareket genliğinin azaltılmasında perdesiz bir tank için sıvı viskozitesinin etkisi sınırlıdır. Tank içinde dairesel ve dikey haç şekilli perdelerin, yüzen matların, yüzen kapakların ve esnek perdeli yapıların kullanımı sıvı dalga denetiminde daha etkili bir yöntemdir (İbrahim ve ark. 2001).

Bu tez çalışmasında bir binek araç yakıt tankındaki çalkalanma olayı farklı tasarım şekillerine, yakıt doluluk oranlarına ve tank hareket yönlerine göre teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Çalkalanma olayının teorik çalışmaları hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ise yakıt tankının üretimini yapan firmada bulunan çalkalanma test düzeneğinin çalışma şartlarımıza uygun şekilde düzenlenmesiyle, prototip yakıt tankları kullanılarak tamamlanmıştır. Ayrıca mevcut tank hacminde dikdörtgen prizma şeklinde bir tank tasarlanarak, farklı perde yapılarının çalkalanma hareketi üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

2 KAYNAK ÖZETİ ve KURAMSAL TEMELLER

2.1 Kaynak Özeti

Kaynak araştırmasında yakıt tankları ile ilgili yapılan çalışmaların yanı sıra çalkalanma olayının yapı üzerinde büyük önem arz ettiği gemi, kargo araçları gibi yapılar üzerinde etkisini ele alan çalışmalar da incelenmiştir.

Wiesche (2003) farklı geometrilerdeki yakıt tanklarının içindeki viskoz akışkanların çalkalanma davranışlarını sayısal olarak hesaplamak için teorik çalışmalardan ve endüstriyel uygulamalardan örneklerle incelemeler yapmıştır. Serbest yüzey akışını hesaplamak için akışkan hacim yöntemini (Volume of Fluid- VoF) kullanmış, seçilen yöntemin verimliliğini ve hata seviyesini görmek için test düzeneklerinden elde edilen sonuçlardan da faydalanmıştır. alışmasında prizmatik, küresel ve simetrik olmayan bir yakıt deposunun analizini gerçekleştirmiştir.

İbrahim ve ark. (2001) alışmalarında sıvı çalkalanma dinamiği üzerine çok geniş bir inceleme yapmışlardır. Yayınlarının çıktığı tarihe kadar yapılmış olan 1319 adet çalışma referanslarında sunmuşlar ve hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmada alkalanma hareketindeki serbest ve zorlanmış serbest yüzey hareketi, denk mekanik modelleme, çalkalanmanın denetimi, devrilme hareketine etki eden parametreler, sayısal çözüm yöntemleri, elastik yapılarda çalkalanma hareketi, tankerlerdeki ve gemilerdeki çalkalanma gibi konular hakkında bilgi verilmiştir.

Akyıldız ve ark. (2013) farklı sıvı seviyelerinde akışkan ile doldurulmuş ve dairesel perdelerle sahip silindirik bir tankın çalkalanma dairesel hareketini deneysel olarak incelemişlerdir. Akışkan alkalanmasının davranışını ve sönümlenme karakteristiklerini incelemek için perdeli ve perdesiz tank sistemi farklı sıvı seviyeleri ile test edilmiştir. Devrilme açısı, sıvı seviyesi ve devrilme frekansı değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan dairesel perde düzenlemesinin çalkalanma yüklerini azaltmada önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Akyıldız ve ark. (2012) silindirik bir tank içindeki sıvı çalkantısından dolayı oluşan basınç ve serbest su yüzeyi değişimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın ana amacı dönme etkisiyle silindirik tanklarda oluşan çalkantı problemini incelemek ve tankın içinde bulunan çeşitli noktalardaki basınç değişimlerini ölçmektir. Deney düzeneğinde hem perdesiz hem de çeşitli sönümleyici perde tasarımları test edilmiştir. Yapılan deneylerde tank doluluk oranı, dönme periyodu ve dönme açısı sistematik olarak değiştirilerek bunun hidrodinamik yükler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Akyıldız ve Ünal (2006) kısmi doldurulmuş dikdörtgenler prizması şeklindeki bir tankta çalkalanma hareketiyle oluşan basınç değişimlerini ve üç boyutlu davranışı deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmişlerdir. Çalkantı davranışının doğrusal olmayan dinamik davranış ve sönümleme karakteristiklerini akışkan hacim yöntemini (VoF) temel alan sayısal bir algoritma ile araştırmışlardır.

Akyıldız ve Çelebi (2001) kısmi dolu, kapalı, perdeli ve perdesiz tankların içindeki sıvı çalkantı hareketleri incelemişlerdir. Tank içindeki akışkan homojen, isotropik, viskoz ve belirli oranda sıkıştırılabilir kabul edilmiş ve sistemin hareketi iki boyutlu ele alınmıştır. Kurulan model sonlu farklar yöntemini kullanarak Navier- Stokes denklemlerini çözmektedir. Farklı su derinliklerinde sönümleyici veya sönümleyicisiz on farklı tank kombinasyonu için rezonans frekansında ve civarında hesaplamalar yapıp sunulmuştur. Kullanılan metodun geçerliliğini göstermek amacıyla hesaplamalar deneysel ve teorik sonuçlarla mukayese edilmiştir.

Djavareshkian ve Khalili (2006) çalışmalarında sayısal ve analitik yöntemlerle tank içindeki çalkalanma hareketini incelemişlerdir. Sayısal yöntem olarak akışkan hacim metodunu (VoF) kullanmışlardır. Analitik çalışmada ise sarkaç modelini oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçları hem iki analiz ile hem de literatürde inceledikleri diğer sayısal çalışmalarla karşılaştırmışlardır.

Jaiswal ve ark. (2008) çalışmalarında silindirik, prizmatik, konik gibi farklı şekillerdeki tanklarda akışkanın çalkalanma frekansını elde etmek için deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Elektromanyetik titreştiricili bir deney sistemi ile bu farklı

şekillerdeki tanklar üzerinde deneyler yapmışlardır. Tank-akışkan sistemini sonlu elemanlar yöntemiyle ANSYS programını kullanarak modellemişler ve deneysel çalışmalarla karşılaştırmalı analiz yapmışlardır.

Chen ve ark. (2007) çalışmalarında yatay yönde harmonik salınımlara maruz bir sistemin çalkalanma hareketinin dinamiğini ve fiziksel bileşenlerini incelemek için üç boyutlu bir analiz yapmışlardır. Ayrıca gerçek deprem uyarı sinyalleri ile de aynı tankın çalkalanma davranışını incelemiştir.

Xue ve Lin (2011) perdeli bir tank sisteminde viskoz akışkan çalkalanmasını incelemek için üç boyutlu bir model geliştirmişlerdir. İnceledikleri sistemde farklı şekillerdeki perdelerin tank içinde çeşitli konumlara yerleştirilmeleri durumunda bunların sistemin dinamik davranışına etkisini incelemiştir. FFT (Fast Fourier transform) tekniğini dış uyarılarda akışkan sisteminin baskın cevap frekansını belirlemek için kullanmışlardır. Çalkalanma davranışını perdeli, perdesiz durum için farklı genlik ve frekanstaki uyarılara göre iki ve üç boyutlu analizlerle deneysel ve teorik olarak incelemiştir.

Pal ve Bhattacharya (2010) prizmatik bir tanktaki akışkanın doğrusal olmayan çalkalanma hareketini geliştirdikleri sayısal yöntemle incelemiştir. Çalkalanma deney tesisatında çalkalanmadaki sıvı seviye değişimleri çeşitli genlik ve frekanslardaki uyarı girişlerinde toplanmış ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Rumold (2001) tanktaki sıvı çarpma yüklerine maruz araçların dinamik davranışının modellenmesi ve benzetimi için bir model geliştirmiştir. Çalkantı dinamiği serbest yüzey şartları altında durağan olmayan, sıkıştırılmaz akışkan için Navier- Stokes denklemlerinin çözümünden belirlenmiştir. Tüm sistemin dinamiğini incelemek için sistemi alt sistemlere ayırmış ve modüler simülasyon kavramını uygulamıştır.

Aliabadi ve ark. (2003) yakıt tankındaki çalkantı analizinde kullanışlı bir araç olabilen sarkaç yöntemi ile daha karmaşık olan bir çözüm yöntemi olan sonlu eleman yöntemini akaryakıt taşıyıcı tanker için yaptığı simülasyonla karşılaştırmıştır. İncelenen tankın dairesel kesitli olduğu ve tankerin bağlı olduğu aracın dairesel bir virajda yol aldığı

kabulü yapılmıştır. Sarkaç modelinde tanker içerisindeki akışkan kütlesi sürtünmesiz bir sarkacın ucundaki noktasal bir kütleyle indirgemıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümde serbest yüzeyi belirlemek amacıyla Navier- Stokes denklemleri kullanılmaktadır. Çözüm yapılan her iki yöntemde elde edilen verilerin tankerin az dolu ve yarı dolu olduğu durumlarda çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Tank içindeki sıvı yüksekliği arttıkça sarkaç yöntemine göre daha gerçekçi olan sonlu elemanlar yöntemi simülasyon sonuçlarının birbiriyle farklılık gösterdiği görülmüştür. Buna sarkaç modelinde tanker üzerine ciddi merkezkaç kuvvetlerinin etki etmesinin sebep olduğu tespit edilmiştir.

Nichkawde ve ark. (2003) bir düzlem içinde sıvı dolu bir rijit cismin bütünleşik araç-yakıt dinamiğini incelemiştir. Sıvı hareketi basit sarkaç modeli ile modellenmiştir. Dört serbestlik dereceli çoklu sistemin bütünleşik doğrusal olmayan denklemleri Lagrange dinamiği metodu kullanılarak çıkartılmıştır. Mertebesi düşürülmüş lineer modeller ve anahtar transfer fonksiyonları kararsızlık olayının anlaşılması için çıkarılmıştır.

Cho ve Lee (2003) hareketli sıvı depolama tanklarının dinamik davranışlarını incelemiştir. Hareketli tankın dinamik davranışını belirlemek için Lagrangian-Eulerian sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Akışkan-katı etkileşimli problem için teorik ve sayısal formülasyon verildikten sonra dikey üniform ivmelendirilmiş silindirik akışkan tankı için çözümler yapılmıştır. Sonuçlar perde sayısı, konumu ve dairesel yapıli perdelerin iç çaplarına bağıli olarak irdelenmiştir.

Reis (2004), Reis ve Pala (2006) çalışmalarında harici yakıt tanklarındaki sıvı davranışının aracın fren dinamiğı üzerine etkisini araştırmışlardır. Akışkan kargo taşıyan aracın fren performansı bu etkileşim dahilinde ve sabit sürtünme katsayılı yol kabulü altında tankın farklı doluluk oranları için Msc.Dytran programı yardımı ile yapılan simülasyonlarla ve basit sarkaç yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Farklı doluluk oranlarında akışkan hareketinin araç dinamiğine etkisi karşılaştırılmış ve sarkaç yönteminin kullanılabilirliğı tartışılmıştır. Karşılaştırma sonucu % 50 doluluk oranının altında akışkan davranışının araç dinamiğine etkisinin yüksek doluluk oranına göre daha

fazla olduğu, sarkaç yönteminin ise % 50'nin altındaki doluluk oranlarında ve araç ivmesinin $a \leq (1/2)g$ değerindeki ivme değerleri kullanışlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Xue-lian ve ark. (2012) çalışmalarında yanal uyarılara maruz, kısmi doldurulmuş bir tanktaki sıvı çalkalanması sırasında oluşan kuvvet ve momentleri incelemek için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalkalanma hareketini denk mekanik modelini kullanarak incelemişlerdir. Farklı doluluk oranlarında ve kesitlerdeki çalkalanma hareketinin benzetimini yapmak için kullanılan çalkalanma dinamik parametre değerleri (frekans, kuvvet gibi) FLUENT programı yardımıyla elde edilmiştir. Geliştirdikleri modelin tankın yuvarlanma kararlılık davranışının ve kontrolünün incelenmesinde çözümü kolaylaştırıcı yönde etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Anderson ve ark. (2001) çalışmalarında sıvının çalkalanma ve sıçrama potansiyelinden dolayı sıvı tanklarının içinde gerçekleşen çalkalanma olayının denetlenmesi ve kontrolü amacı ile bir test düzeneği oluşturmuşlardır. Sıvı viskoz olmayan, sıkıştırılmaz ve irrasyonel olarak kabul etmektedir. Tank yüzeyi üzerinde 2 plakalı, sabit olmayan, sıvı üzerinde yüzen dumb-bell elemanlar kullanılarak deneysel olarak sıvı çalkalanmasının engellenmeye çalışılmıştır.

Jung ve ark (2012) dikdörtgen prizma şeklindeki kısmi akışkan dolu bir tankın yatay salınım hareketi incelenmiştir. Tankın içine dikey olarak yerleştirilen farklı uzunluklardaki perdelerin çalkalanma olayında etkisi incelenmiştir. Sıvı hareketinin takibi için VoF yöntemi kullanmıştır. Perde boyunun sıvı yüksekliğine oranını 0-1.2 arasında değiştirilerek çalkalanma durumu torik olarak incelenmiştir. Yaklaşık 0,3 oranında tank içindeki akışkanın tavana ulaşmamakta oldu, 1 değerinden büyük oranlarda ise akışkanın perdenin üzerinden geçemediği ve iki kısımda çalkalama işleminin düzlemsel devam ettiği gözlenmiştir. Çalışmada perde yüksekliğine göre basınç, maksimum basınç ve sıvı yüksekliği değişimi incelemiştir.

Kingsley (2005) sıvı tanklarında tasarım ve analizi geliştirme amacı ile çalkalanma ile ilgili çeşitli optimizasyon çalışmaları yapmıştır. Çalışmasında hesaplamalı akışkan dinamiği ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanmıştır. Bu yöntemleri beraber çok

disiplinli tasarım optimizasyon ortamı oluşturmaya çalışılmıştır. Bu çalışma tek bir yöntem kullanılarak sıvı tanklarının tasarımını gerçekleştirmek amaçlanmıştır.

Hou ve ark. (2012) çalışmasında dikdörtgen tank içerisindeki sıvının 2 boyutlu hareketini Ansys- Fluent programında VoF tekniğini kullanarak incelemiştir. Hareket tipi sallanma, dairesel ve ikisinin birleşimi olarak verilerek sıvının sistemin cevabı incelenmiştir. Dışarıdan gelen bu sallanma tipleri dinamik mesh tekniği kullanarak sisteme verilmiştir Çalışmada rezonans frekansında çalkalanma hareketinde sıvı yüzey hareketlerinin daha şiddetli hale geldiği gözlenmiştir.

Hirt ve Nichols (1981) çalışmalarında sıvı çalkalanmasını incelemek amacı ile pek çok yöntem incelemiştir. İncelenen yöntemlerin sınır değerlerinin çeşitliliğinin çözümlenelerde çeşitli zorluklara sebep olduğu belirtilmiş, oldukça basit ve güçlü bir metot olarak Volume of Fluid yöntemini geliştirmiştir. Bu metodun diğer sıvı yüzey takibi yapan nümerik yöntemlere kıyasla daha esnek ve etkin olduğu görülmüştür. Metodu verimliliğini göstermek amacı ile içerikte gösterilen sıkıştırılmaz hidrodinamik kodu SOLA-VOF, VoF yöntemi tekniği ile yüzey takibi gerçekleştirilmiştir.

Kamiya ve ark. (2002) çalışmalarında tankta çalkalanma olayından kaynaklanan sesi azaltmaya çalışmışlardır. Çalışmasında çalkalanma problemi için bir prototip üretmiş ve bilgisayar üzerinden analizler gerçekleştirerek kurduğu sistemin doğruluğu ve ses azaltıcı etkisi ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Hoi sum ve ark (2004) çalışmalarında çalkalanmadan dolayı oluşan ses üzerinde çalışmışlardır. Bazı perde tasarımları üzerinde durularak çalkalanma etkisi ve oluşan ses seviyesi azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışma Flow-3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz programının değerlerini doğrulama amaçlı bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıvının tahmini ortalama kinetik enerji ve ortalama türbülans kinetik enerji bilgileri bilgisayar programından elde edilip, deneylerden elde edilen ses ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sesi ölçümlerini gerçekleştirme amacı ile bir veri toplama sistemine bağlı yüksek hızlı video ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda iyi bir perde tasarımı ile tankın kinetik enerjisi perdesiz bir tank

sistemine göre % 70 oranında azaltılabilmektedir. Çalışmada dikkat çeken bir husus da düşük sıvı seviyelerinde perde geometrisi ne olursa olsun çalkalanma üzerine olan sönümlenme etkisi hemen hemen birbirinin aynısı olarak görülmekte olmasıdır. Yüksek sıvı seviyelerde ise en iyi perde geometrisi sesi yaklaşık 15 desibel kadar düşürülebilmektedir.

Chitkara ve ark. (2013) kısmi doldurulmuş tanklarda çalkalanmanın etkisini VoF yöntemini kullanarak ve basınç diyagramlarından faydalanarak gerçekleştirmiştir. İki farklı perde modeli seçilerek 40 litrelik bir tank içerisinde %60 hava, %40 gaz yağı olacak şekilde tank içindeki çalkalanma davranışını akışkanın hız analizi ile incelemiştir.

Jadon ve ark. (2014) araçların çalışma esnasında oluşturdukları ses seviyesinin azaltılmaya çalışıldığını ve yakıt tankı içerisinde meydana gelen sesin sürücüler için özellikle hızlanma ve frenleme esnasında rahatsız edici seviyelere ulaşabildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada multifiziktabanlı bir sayısal yöntem kullanarak çalkalanma hareketinden sesi tahmin etmeye çalışılmıştır. Çalışma esnasında hesaplamaları akışkan dinamiği (CFD), sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ve sınır eleman yöntemi (BEM) yöntemleri kullanılarak çalkalanma modeli oluşturulmuştur. Ses oluşumunu incelemek için titreşim temelli bir akustik model oluşturulmuştur. Tüm bu modeller birbirleri ile bağlanarak tank içine oluşan kuvvetlerin ve titreşim değişimlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Deneyler ve bu bileşik analizler paralel olarak gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır. Yüksek hızlı kamera ile deney üzerinden resimler ve ses ölçüm cihazlarından alınan sonuçlar kurulan analiz modellerinden çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Vaishnav ve ark. (2014) çalışmada iki farklı çalkalanma çözüm yönteminin üzerinde durulmuştur. VoF çok fazlı Eulerian metodu olarak Star CD ve Star CCM+ programı altında ve FSI Lagrange ve Eulerian (ALE) formulasyonunda çözülmüştür. LS-DYNA programı altında ise titreşim hesapları gerçekleştirilmiştir. . Bu iki sistemle birlikte pek çok parametre (tank yüzey basıncı, yüzey integral kuvveti, momentum, ortalama kinetik enerji, yüzey şekli vb.) incelenmiştir.

2.2 Kuramsal Bilgiler

Bu kısımda çalkalanma olayının analizinin yapılması için gerekli olan ve akışkan sistemlere ait konuyla ilgili temel denklemler, analizlerde kullanılan sıvının hacmi yöntemi, hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemi hakkında bilgi sunulmuştur.

2.2.1 Hidrostatik basınç

Malzemelerde eğilmeye ve sıkışmaya neden olabilen hidrostatik kuvvetler, malzemenin mukavemetini etkileyebileceğinden boyutlandırma bu kuvvetlerin etkisinin göz önünde bulundurulması gerekir (Umur 2009). Şekil 2.1'den ve (2.1) numaralı denklemden görüldüğü gibi bir akışkan içerisinde basınç değeri derinlik arttıkça artar. Bunun nedeni Çengel ve Cimbala (2012) tarafından “derinlerdeki tabakaların üzerinde daha fazla miktarda akışkan bulunması ve derinde bulunan bir tabaka üzerindeki bu ağırlık etkisinin basınçta meydana gelen artışla dengelenmesi” şeklinde ifade edilmektedir.

Sıvı yüzeyindeki basıncın P_{atm} olması halinde, bir kapta bulunan ρ yoğunluğundaki sıvının kabın herhangi bir h derinliğinde oluşturduğu basınç.

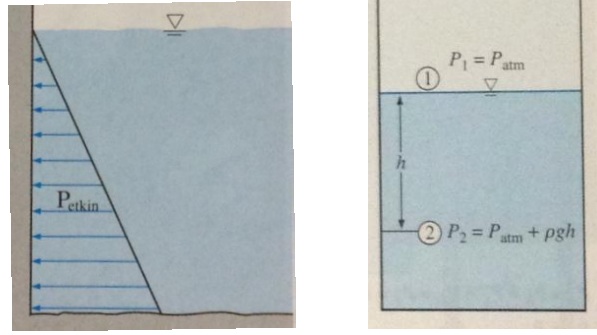
$$P=P_0+\rho gh \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Prizmatik bir tankta sıvının çalkalanması sırasında tank duvarında oluşan net kuvvet sıvı seviyesine bağlı olarak

$$F_{hd} \approx \frac{1}{2} \rho gb(h_r^2 - h_l^2) \quad (2.2)$$

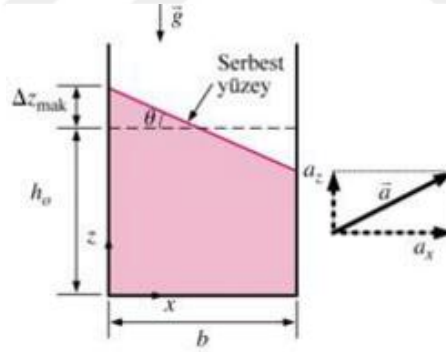
denklemini ile yaklaşık olarak ifade edilebilir. Burada b : tank derinliği veya eni, h_r ve h_l tankın karşılıklı duvarlarındaki sıvı seviyesi yükseklikleridir (Reed ve ark. 2008).



Şekil 2.1 Basıncın sıvı yüksekliğine bağlı değişimi
(Çengel ve Cimbala 2012)

2.2.2 Akışkan dolu bir kabın sabit ivmeli öteleme hareketi

Tanktaki çalkalanma olayı bir sıvı ile kısmen dolu bir kabın doğrusal hareket yaptığı ve sabit bir ivme ile hareket ile açıklanacaktır. Burada sıvı kütle hareketi, rijit bir cisim gibi akışkan parçacıkları arasındaki bağıl hareket ve sürtünme kuvvetleri ihmal edilerek incelenmiştir (Umur 2009, Çengel ve Cimbala 2012).



Şekil 2.2. Sabit ivmeli doğrusal hareket yapan bir kabta bir sıvının rijit cisim hareketi
(Çengel ve Cimbala 2012)

Şekil 2.2' deki sistemde x ve z yönlerindeki ivme bileşenleri a_x ve a_z olsun, y yönünde herhangi bir hareket olmadığı kabul edilsin, bu durumda $a_y=0$ ' dır. Buna göre ivmelenen akışkana ait hareket denklemleri

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\rho a_x ; \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \text{ ve } \frac{\partial P}{\partial z} = -\rho(g + a_z) \quad (2.3)$$

olur. Bu durumda $P=P(x,z)$ ' nin toplam diferansiyeli

$$dP = -\rho a_x dx - \rho(g + a_z) dz \quad (2.4)$$

haline gelir. Akışkanın yoğunluğu $\rho = \text{sabit}$ olduğundan akışkan içindeki iki nokta arasındaki basınç farkı integral alınarak bulunur ve birinci noktanın $P_0(0,0,0)$ olduğu ve ikinci noktanın da akışkan içerisinde herhangi bir nokta olduğu halde basınç dağılımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$P = P_0 - \rho a_x x - \rho(g + a_z) z \quad (2.5)$$

elde edilir. Şekil 2.2' deki düşey yükselme (veya alçalma), iki noktanın serbest yüzeyde seçilmesi haline ($P=P_0$) yüzeydeki düşey yükselme miktarı

$$\Delta z_s = -\frac{a_x}{g+a_z} \Delta x \quad (2.6)$$

Bu denkleme göre, sabit ivmeli doğrusal hareket yapan sıkıştırılamaz bir akışkanın serbest yüzeyler dahil xz-düzlemindeki eğimi

$$-\tan\theta = -\frac{a_x}{g+a_z} \quad (2.7)$$

olarak elde edilir (Umur 2009, Çengel ve Cimbala 2012).

Umur (2009) “hidrostatik incelemenin akışkan yoğunluğunun ve yüzey pozisyonunun bilinmesi probleminde yeterli olduğunu, ancak pek çok akış problemi akışkan hareketinin geometriye, sınır şartlarına ve mekaniğin kurallarına bağlı olduğu, bu yüzden problem çözümünde kontrol hacmi, diferansiyel analiz, deneysel yöntemler, boyut analizi ve benzerlik yöntemlerine başvurulduğunu” belirtmiştir. Çengel ve Cimbala (2012) ise “diferansiyel yaklaşımlarda problemin diferansiyel büyüklüklerle

ifade edilebileceğini, elde edilen denklemin çözümünün zor olduğunu, genellikle sayısal yöntemlerle birlikte kapsamlı yazılımların kullanılması gerektiğini, deneysel yaklaşımların boyut analizi ile tamamlandığında oldukça kesin sonuçlar verdiğini, ancak bu yöntemin pahalı ve uzun süren çalışmalar gerektirdiğini, kontrol hacim yaklaşımının önemli ölçüde hızlı ve basit olduğunu ve birçok uygulama için yeterli doğrulukta sonuç verdiğini” belirtmiştir.

2.2.3 Doğrusal dalga teoremine göre prizmatik tankın doğal frekansı

Doğrusal dalga teoremine göre dikdörtgen prizması şeklindeki bir tank için akışkanın doğal frekansı değişimi;(Kingsley 2005)

$$\omega_n^2 = g \frac{n\pi}{L} \tanh\left(\frac{n\pi}{L} d\right) \quad (2.8)$$

denklemini ile tanımlanabilmektedir. Burada g: yerçekimi ivmesi (m/s^2), L: uyarının olduğu yöndeki tank uzunluğu (m), d: tanktaki sıvı seviyesi (m) ve n: mod numarasıdır. n çalışmalarda genellikle 1 olarak alınmıştır. Buna göre prizmatik tanklarda akışkanın doğal frekansının tank doluluk oranına, tankın uyarının geldiği yöndeki uzunluğuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Tank tam prizmatik bir yapıya sahip olmadığı için bu değer tam olarak doğru olmasa da yaklaşık bir değer vereceği düşünülmektedir.

Aşağıdaki bölümde akışkan hareketini ifade eden diferansiyel denklemlerden kütle korunumu (süreklilik denklemi) ve momentum denklemi (Navier-Stokes denklemi) ifadeleri sunulacaktır. Hava yoğunluğundaki ve sıcaklığındaki değişimlerin önemsiz olduğu problemlerde bu iki hareket denklemini çözmek yeterli olabilmektedir. Gerektiğinde bu denklemler hal denklemi, enerji denklemi gibi ilave denklemlerle beraber kullanılabilir (Çengel ve Cimbala 2012).

2.2.4 Süreklilik Denklemi

Kartezyen koordinatlara boyutları dx,dy ve dz olan bir kontrol hacmi için süreklilik denklemi (kütle korunumu denklemi) genel olarak;

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \nabla \vec{V} = 0 \quad (2.9)$$

ifadesi ile tanımlanır. Eğer akışkan sıkıştırılmazsa yoğunluk ρ =sabit olduğundan denklem

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.10)$$

yazılabilir. Burada u, v ve w sırasıyla x, y ve z koordinatlarına ait hız değerleri tanımlanmaktadır (Umur 2009; Çengel ve Cimbala 2012).

2.2.5 Momentum Denklemleri

Newton'un II. Hareket yasasına göre bir cisme dışarıdan kuvvetler (yerçekimi, basınç, viskoz ve sürtünme kuvvetleri gibi) etki ederse, cisim ya dengede kalır yada ivmelenerek hareket eder.

Akışkanın Newtonian tipi, akışın sıkıştırılmaz akış olduğu ve izotermal şartlar altında olduğu kabulü ile momentum denklemi;

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla \vec{P} + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} + \mathbf{f} \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu denklem sistemi Navier –Stokes hareket denklemi olarak da adlandırılır. Burada f dış kuvvetleri temsil etmektedir. Üç boyutlu laminar akışta Navier-Stokes denklemleri kartezyen koordinatlarda yerçekimi kuvveti dâhil edilerek;

x - yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (2.12)$$

y - yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \quad (2.13)$$

z- yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho g_z. \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir (Umur 2009, Çengel ve Cimbala 2012).

Türbülanslı akışlar için ise laminer akış için verilen süreklilik, momentum denklemlerine düzensiz değişimleri tanımlayan terimlerin eklenmesi gerekmektedir. Bu tip akışta hız, sıcaklık ve basınçta dalgalanmalar meydana gelir. Laminer akıştaki korunum denklemlerine ilaveten türbülanslı akış için korunum denklemleri elde edilir. Buna göre türbülans terimleri cinsinden Kartezyen koordinatlardaki hız ve basınç terimleri sırasıyla

$$u = \bar{u} + u' \quad , \quad v = \bar{v} + v' \quad , \quad w = \bar{w} + w' \quad , \quad P = \bar{P} + P' \quad (2.15)$$

olarak ifade edilir. Burada üstü çizgili hız değerleri zaman ortalamalı türbülans hız değerlerini, üslü ifadeler ise türbülans yoğunluğunu ifade etmektedir. Buna göre Türbülanslı sıkıştırılamaz bir akış için kartezyen koordinatlardaki süreklilik ve momentum denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.16)$$

x- yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial u'^2}{\partial x} + \frac{\partial u'v'}{\partial y} + \frac{\partial u'w'}{\partial z} \right) \quad (2.17)$$

y- yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial v_1^2}{\partial y} + \frac{\partial u_1 v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1 w_1}{\partial z} \right)$$

(2.18)

z- yönünde;

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial w_1^2}{\partial z} + \frac{\partial u_1 w_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1 w_1}{\partial y} \right)$$

(2.19)

2.2.6 Sıvı hacmi yöntemi (Volume of Fluid-VoF yöntemi)

Sıvı hacmi yöntemi birbirine karışmayan sıvıların akışının benzetiminin yapılmasında kullanılan verimli bir çoklu faz yöntemidir (Vaishnav ve ark. 2014). Bu yöntem tank içindeki sıvının çalkalanması sırasında serbest yüzey hareketinin incelenmesi için kullanılmaktadır (Jadon 2014). Hirt ve Nichols (1981) tarafından geliştirilen bu yöntem kısaca bir kapta bulunan sıvının üzerindeki yüzey alanının veya başka bir deyişle fazlar arası yüzeyin takibini yapar. Bu takibi yapmak için mesh yapısı ile tanımlanan sıvıyı sabit veya hareket eden küçük parçacıklara ayırır. VoF yöntemi programcılar ve analizciler tarafından bir hareket veya kuvvet verilen sıvının hareketlerinin takibinde kullanılır.

Bu yöntem serbest yüzey pozisyonunu tanımlamak ve sıvı hacmini yakalamak için F gibi bir fonksiyon tanımlar. F sıvı ile doldurulmuş bir hücrenin hacim kesrini tanımlar ve $F = V_{\text{sıvı}} / V_{\text{toplam}}$ hacim oranı ile tanımlanır. Burada $V_{\text{sıvı}}$ hücredeki sıvı hacmini, V_{toplam} ise toplam hücre hacmini ifade etmektedir.

$$F = \begin{cases} 1 & \text{akışkan} \\ 0 - 1 & \text{arası serbest yüzey} \\ 0 & \text{hava} \end{cases} \quad (2.20)$$

F=0 ve F=1 terimlerinin anlamı hücrenin ara yüzden uzak olduğunu ve hücrenin tamamen hava veya su ile dolu olduğunu ifade etmektedir. $0 < F < 1$ ise serbest yüzeyin

pozisyonunu tanımlar ve hücrenin kısmi olarak sıvı ve hava ile dolu olduğunu belirtir. F fonksiyonunun zaman ile bağıntısı;

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (2.21)$$

Denklemi ile tanımlanır (Hirt ve Nichols, 1981; Vaishnav ve ark. , 2015; Hou ve ark. 2012). Bu denklem Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri ile beraber çözümlenir.

2.2.7 Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi

Çalkalanma problemi analitik olarak çözülmesi zor olan bir olaydır, bazı basit geometrilerin sınırlı analitik çözümleri vardır. Genel olarak silindirik tanklarda ya da dörtgen prizma şeklindeki tanklarda çalkalanma davranışını incelemek karmaşık geometriye sahip tanklara göre daha kolaydır.

1950' li yıllardan beri tank içindeki çalkalanma hareketinin incelenmesinde farklı modelleme teknikleri üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan belki en yaygın kullanılanı denk mekanik modelleridir. Bu yöntemlerden biri denk sarkaç yöntemi diğeri ise denk kütle-yay modelidir. Küçük ivmeler ve küçük açısız yer değiştirme gibi belirli sınırlar içerisinde bu modeller de oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir (İbrahim ve ark 2001, İbrahim 2005, Kingsley 2005).

Günümüzde Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) akışların modellenmesi ve akış özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. HAD akışkan akışı, ısı transferi ve diğeri ilgili fiziksel olayların bilgisayarlar yardımıyla benzetiminin yapılmasını sağlayan bir mühendislik yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Verilen sınır şartları altında ilgili hacimde korunum denklemlerini çözerek benzetimi gerçekleştirir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler HAD modelleme ve çözümündeki zamanı ve dolayısı ile maliyetleri azaltmıştır (Tomaç 2005).

HAD yazılımlarda birçok birbirinden farklı çözüm metoduna rastlanabilir. HAD çözümlerinde kullanılan en çok bilinen yöntem sonlu hacimler yöntemidir. Bu yöntemde öncelikle çözüm almak istediğimiz hacim küçük alt hacimlere bölünür, denklemler her bir hacim için ayrıklaştırılır ve sayısal olarak çözülür. Her bir kontrol hacmini temsil eden sonuçlar, komşu hacimlerle birlikte değerlendirilerek model üzerindeki sonuçlar elde edilir (Erşan 2012).

İçine sıvı akışkan doldurulmuş özel geometrili bir tankın dinamik davranışını incelemek için analitik yaklaşımlar yetersiz kalmaktadır. Bu yöntem ile daha çok düzgün geometrili (prizmatik, silindirik gibi) yapıların analizleri yapılabilmektedir. Tank yapısının düzgün olmadığı veya sıvının dalga yüksekliğinin büyük olduğu durumlarda sayısal yöntemler kullanılarak çözüm yapmak daha faydalı olmaktadır (İbrahim ve ark, 2001).

Günümüzde hem deneysel analiz ve hem de HAD analizleri mühendisler tarafından beraber uygulanabilmektedir. Kaldırma, direnç ve basınç düşüşü gibi temel özellikleri ve HAD analizi ile edilen sonuçları doğrulamak için deneysel analiz yöntemini, kayma gerilmeleri, hız ve basınç dağılımlarını ve akış alanı hakkındaki ayrıntılı bilgileri elde etmek için HAD analizlerini kullanırlar (Çengel ve Cimbala 2012).

HAD ile laminer akış kolay çözümlenirken, türbülanslı akışlar türbülans modellerini kullanmaksızın çözülememektedir. Genel bir türbülans modeli olmamakla beraber bir çok standart türbülans modeli ($k-\varepsilon$ modeli, $k-\omega$ modeli ve $q-\omega$ modeli gibi) tanımlanmıştır. Bu tip akışın çözümlenmesi için doğrusal sayısal simülasyon (DNS) adı verilen bir teknik kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem çok büyük bilgisayarlar ve çok uzun CPU zamanları gerektirebilmektedir. Bu yüzden bir takım basitleştirici kabuller yapılarak DNS' nin bir alt seviyedeki tekniği büyük girdap simülasyonu (Large Eddy Simulation- LES) tekniği kullanılmıştır. Bundan daha düşük zorluk seviyesi türbülans girdaplarının yol açtığı artan karışım ve difüzyonu dikkate almak için türbülans modellerini kullanmaktır. Yukarıda belirtilen modellerden bir tanesi bu işlem sırasında kullanılır ve bu modeli kullanırken Reynolds- Ortalamalı Navier –Stokes (RANS) denklemi ile çözümlenir (Çengel ve Cimbala, 2012).

3 MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, bir binek araç yakıt tankındaki çalkalanma olayı standart bir giriş değeri için farklı tasarım şekillerine, yakıt doluluk oranlarına ve tank hareket yönlerine göre teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Çalkalanma olayının teorik çalışmaları hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak, ANSYS Fluent programı yardımıyla yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ise yakıt tankının üretimini yapan firmada bulunan çalkalanma test düzeneğinin çalışma şartlarımıza uygun şekilde yeniden düzenlenmesiyle prototip yakıt tankları kullanılarak tamamlanmıştır.

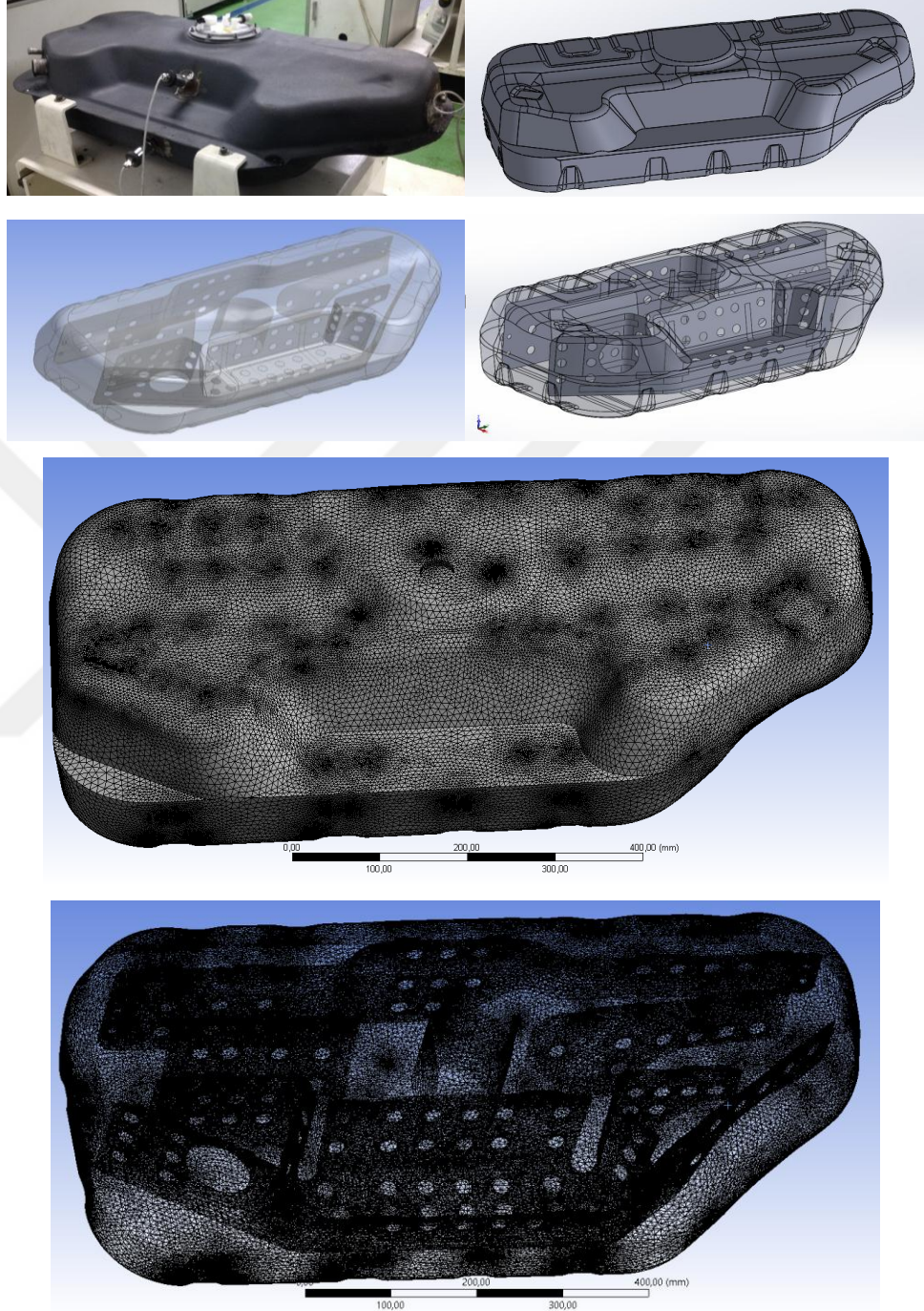
Yakıt tankının modellenmesinden önce literatür çalışması sırasında incelediğimiz yayınlardan yatay salınım hareketi yapan prizmatik bir tank sistemi seçilerek doğrulama amacıyla modellenmiştir. İlk olarak bu çalışmanın sonuçları ile tarafımızdan kurulan modelin sonuçlarının karşılaştırıldığı bir ön çalışma sunulmuştur. Daha sonra tank sistemi yapısal olarak perdesiz/şamandırasız, perdesiz/şamandıralı ve perdeli/şamandıralı tasarım koşullarında incelenmiştir. Yakıt tankı, tank çalkalanma dayanımı standartlarındaki çalışma koşulları da dikkate alınarak %50-70 doluluk oranlarında çalkalanmaya maruz bırakılmıştır. Tankın enine ve boyuna çalkalanma durumları da dikkate alınarak teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca mevcut tank hacminde, dikdörtgen prizma şeklinde bir tank tasarlanarak farklı perde yapılarının çalkalanma hareketi üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar da yapılmıştır.

Bu kısımda anlatılan teorik ve deneysel yöntemlerden elde edilen sonuçların tümü “Bulgular ve Sonuçlar” kısmında sunulmuştur.

3.1 Prototip yakıt tankının yapısı

Çalışmada kullanılan yakıt tankı sedan tipi bir araca ait olup metal malzemeden presleme yöntemi ile elde edilmiştir. Tank hacmi 50 lt' dir. Tank temel olarak preslenen alt ve üst gövde, perde ve şamandıra elemanlarından oluşmaktadır. Perdeler, alt ve üst gövde punto kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş, şamandıra ise yakıt tankının üst kısmından civatalar kullanılarak monte edilmiştir. Tankın genel görünüşü ve iç yapısı

Şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Analizlerde şamandıra tüm detay ve iç yapısıyla modellenmemiş, bulunduğu kısım silindirik bir şekilde sisteme dahil edilmiştir.



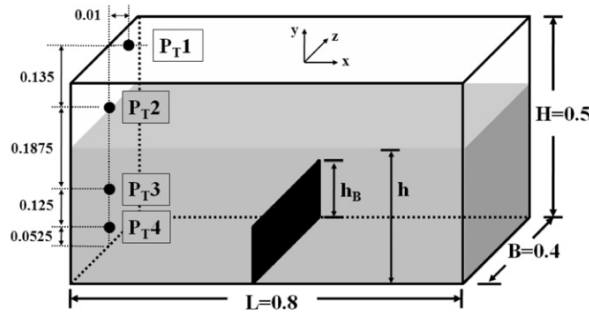
Şekil 3.1 Yakıt tankının genel görünümü ve mesh yapısı

3.2 Prototip yakıt tankının hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi ile modellenmesi

3.2.1 Literatürde incelenen doğrusal salınım yapan bir çalışmanın incelenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında programın eğitim dosyalarından faydalanılarak ön çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarla ilgili detaylar EK 1’ de kısaca anlatılmıştır.

Literatürde incelenen çalışmalardan yatay yönde salınım hareketi yapan, dikdörtgen prizma şeklindeki bir tank sistemi modellenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları ile kurulan modelin sonuçlarının karşılaştırıldığı bir ön çalışma sunulmuştur. Jung ve ark. (2012) tarafından Chen ve ark. (2009)’ da yaptıkları deneysel çalışma teorik olarak hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Belirtilen çalışmanın seçilme sebebi hem tez çalışmasındaki gibi yatay yönde salınım hareketinin tanka giriş olarak verilmesi hem de daha önce yapılmış deneysel çalışmaların sonuçlarını da karşılaştırmalı olarak incelemiş olmasındandır.



Şekil 3.2. Jung ve ark. (2012) çalışmasında kullanılan sistemin şematik gösterimi

Aşağıda belirtilen çalışmalarda kullanılan tankın şematik gösterimi ve basınç ölçüm noktaları gösterilmiştir. Şekil 3.2’den de görüldüğü üzere bir dikdörtgen prizma tanka h_b uzunluğunda perde tankın ortasına yerleştirilmiştir, perdenin kalınlığı önemsenmeyecek kadar ince olarak alınmıştır. Tankın boyutları görüldüğü üzere 0,8 m boyunda, 0,4 m eninde, 0,5 m yüksekliğindedir. Analizlerde sıvı seviyesi tank yüksekliğinin %70’ i kadar alınmıştır. Çalışmada perde boyunun sıvı seviyesine oranı $0,2 < (h_b/h) < 1,2$ arasında belirli değerlerde alınarak perde yüksekliğinin çalkalanma durumuna etkisi

incelenmiştir. Giriş değeri olarak 0,02 m genliğinde ve 5,81 rad/s açısal frekans değerinde sinusoidal konum değişimi tanımlanmıştır.

Tez çalışmasında ise yukarıda belirtilen çalışmanın perdesiz ve perde yüksekliğinin sıvı seviyesine oranının 0,4 olduğu durumlar için çözümleri yapılmış, P_{T1} ve P_{T4} numaralı basınç noktaları için sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2.2 Sıvı akışkan dolu yakıt tankının çalkalanma hareketinin modellenmesi

Yakıt tankının çalkalanmasının incelendiği teorik ve deneysel çalışmalarda ES31100-01 mühendislik standardı çalkalanma testi kriterleri dikkate alınarak sisteme 0,1 m genliğinde 0,8 Hz frekansında sinusoidal giriş verilmiştir. Belirtilen standardın çalkalanma ile ilgili kriterleri EK 3' de verilmiştir.

Bu şekilde bir girişi temsil eden yer değiştirme denklemi genel olarak;

$$x(t) = A \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

hız denklemi;

$$\dot{x}(t) = A \omega \cos(\omega t) \quad (3.2)$$

ivme denklemi;

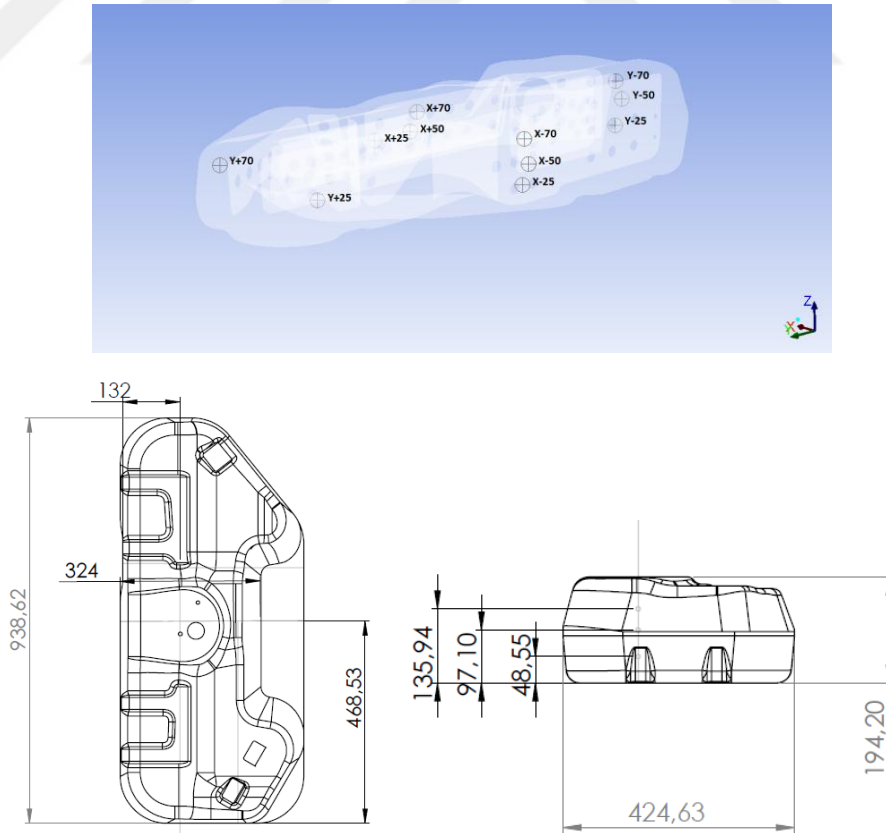
$$\ddot{x}(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t) \quad (3.3)$$

ile ifade edilebilir. Burada A yer değiştirme genliği, ω açısal frekans değeridir. Analiz çalışmasında giriş fonksiyonu ivme değerine bağlı olarak verilmiş ve buna uygun program yazılmıştır. Belirtilen yer değiştirme genliğine ve açısal frekansa bağlı olarak ivme fonksiyonunun genliği 2,52 m/s²'dir.

Yakıt tankının çalkalanma analizi HAD yöntemi ile yapısal olarak 3 farklı durum için, farklı doluluk oranlarında yapılmıştır. Tank içine yerleştirilen perdenin etkinliğinin belirlenmesi amacı ile öncelikle yakıt tankı modelinin içinden şamandıra ve perde elemanlarının geometrileri çıkartılarak, tankın perdesiz/ şamandırasız halde analizi

gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise sadece şamandıra tank içine eklenerek analiz tekrar yürütülmüştür. Son olarak normal çalışma şartlarındaki perdeli ve şamandıralı hal için analiz yapılmıştır. Yakıt tankı, tank çalkalanma testi standartlarındaki çalışma koşulları da dikkate alınarak toplam hacmin %50-70' i kadar doluluk oranlarında çalkalanmaya maruz bırakılmıştır. Tankın enine ve boyuna çalkalanma durumları da dikkate alınarak farklı durumlar için analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarla tank perde yapısının, tank doluluk oranının ve tank çalkalanma yönünün çalkalanma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mevcut tankın katı modeli yakıt tankı üretici firmadan alınmış ve analiz için uygun hale getirilmiştir.

Şekil 3.1' de yakıt tankının katı modeli, perde yapısı, yerleşimi ve Şekil 3.3' de ise tank üzerinde analizde ve deneylerde basınç ölçümlerinin yapıldığı noktalar gösterilmiştir. Tankın normalde araç üzerine x yönünde çalkalanacak şekilde yerleştirilmektedir. Ancak tankın y yönünde çalkalanmaya maruz kalacak şekilde yerleştirilmesi durumunda oluşacak farklılıkları görmek amacıyla da analizlerin bir kısmı y yönünde de yapılmıştır.



Şekil 3.3. Tank üzerindeki basınç noktaları

Analizler ve deneysel çalışmalar eşlenik olarak yürütülemedi. Analizler deneysel çalışmalardan önce gerçekleştirilmiş ve deneylerde dizel yakıtta yakın özelliklere sahip gaz yağı kullanılabilirliği konusu görüşüldükten sonra perdesiz/şamandırasız ve perdesiz/şamandıralı tank yapısında %50 ve %70' lik doluluk oranlarında yapılan analizlerde sıvı akışkan olarak gaz yağı seçilmiştir. Ancak deneylere başlangıç sürecinde firma tarafından ilgili laboratuvarında herhangi bir yakıcı ve yanıcı akışkanın kullanılmayacağı açıklanmıştır. Bu yüzden son analizler olan perdeli ve şamandıralı, y yönünde % 70 doluluk oranı ve x yönünde %50-%70 doluluk oranı tank analizlerinde ve tüm deneylerde sıvı olarak su kullanılmıştır. Analizlerde sıvı; homojen, izotropik, viskoz, Newtonian ve sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Yakıt tankı çalkalanma analizi ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 3.1' de liste halinde verilmiştir.

Çalışmada yapılan analizlerin mesh sayıları Çizelge 3.2' de mesh yapıları da Şekil 3.1' de verilmiştir. Endüstriyel tank modelinde maksimum yüz boyutu 7,5 mm ve maksimum boyut ise 12 mm olarak seçilmiştir. Tank modelinde ise maksimum yüzey köşesi boyutu 10 mm, maksimum hacmin köşe boyutu 15 mm olarak mesh atma bölümünde boyutlandırma kısmında seçilmiştir. Çalışmada sadece delikli perdeli ve kare delikli perdeli durumlarda mesh sayısını azaltmak amacı ile multizone yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 3.1 Yakıt tankı üzerinde yapılan analizler

Hareket yönü	Tank yapısı	Doluluk oranı
x yönünde	Şamandırasız /perdesiz	%50
		%70
	Şamandıralı /perdesiz	%50
		%70
	Şamandıralı /perdeli	%50
		%70
y yönünde	Şamandırasız/perdesiz	%50
	Şamandıralı/perdesiz	%50
	Şamandıralı/perdeli	%70

Çizelge 3.2. Analiz modelleri ve mesh sayıları

Tank modeli	Düğüm sayısı	Eleman sayısı	Model
Perdesiz/şamandırasız yakıt tankı	4488320	1228068	-
Perdesiz/şamandıralı yakıt tankı	598296	1489204	-
Perdeli/şamandıralı yakıt tankı	889632	2298548	-
Perdesiz prizmatik tankı	55025	50400	-
Perdeli prizmatik tankı	55800	50730	
Üstten perdeli prizmatik tankı	55800	50760	
Delikli perdeli prizmatik tankı	121807	115183	Multizone
Dikdörtgen perdeli prizmatik tankı	442080	422476	Multizone
Çoklu perdeli prizmatik tankı	55800	49950	-
Açılı taban perdeli prizmatik tankı	56451	51300	-
Açılı duvar perdeli prizmatik tankı	56265	50910	-

HAD analizlerinde ilk adım olarak analiz için uygun şekilde düzenlenen tank modeli küçük hacimlere ayrılmıştır diğer bir deyişle mesh yapısı oluşturulmuştur. Mesh işlemi gerçekleştirilip programına tanıtıldıktan sonra analiz koşulları tanımlaması yapılmıştır. Analiz çalışmasında tankın hareketini ifade eden giriş fonksiyonu (3.3) numaralı denklemlerle gösterilen ivme değerine bağlı olarak verilmiş ve buna uygun program yazılmıştır (EK 2).

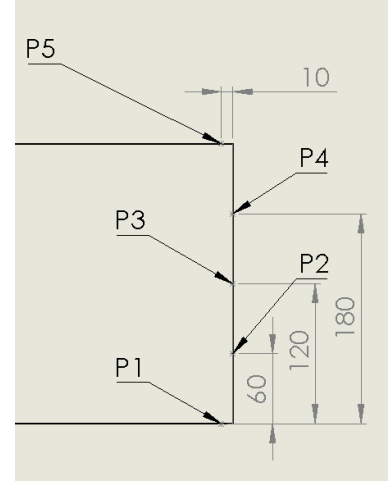
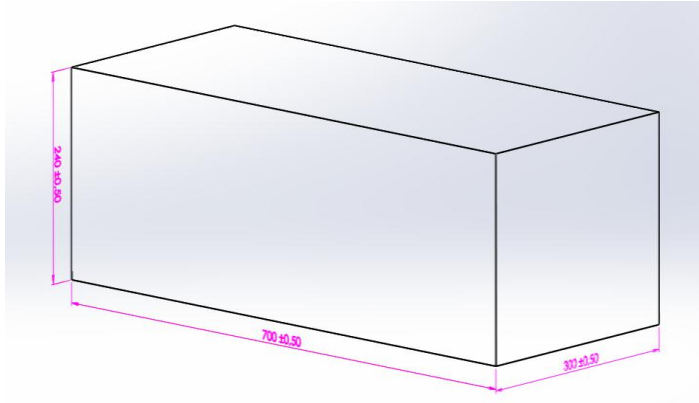
Analizde öncelikle çözümleyici ayarlamaları yapılır, çözümün zamana bağımlı olduğu belirlenir. Sistem sıvı akışkan ve hava fazlarından oluştuğu için çok fazlı akışkanlar modeli “Multi Phase” model yapısı “Volume of Fluid” modeli olarak seçilir. Çok fazlı akışkanlar simülasyonunun çözümünde en önemli işlem mevcut fazları birbirinden ayırmaktır, bunu gerçekleştirmek için öncelikle fazların hacimsel yüzdelere göre mesh alanı bölümlere, alanlara ayrılır. Sonrasında ise ilgili faz alanına ait sıvılar tanımlanır. Yerçekiminin etkisi ile fazlar ilk durum da yoğunluklarına göre sıralanır. Sistemde kullanılacak akışkanlar ve fazları tanımlanır. 2 faz olarak belirlenen hava ve sıvı akışkandan hava birincil fazı, su ise ikincil faz olarak tanımlanır. Sınır şartları tanımlanır. Çözüm yöntemleri uygun şekilde seçilir. “Pressure-Velocity Coupling”

yöntemi olarak akış zaman bağımlı olduğu için “Fractional step algorithm” seçilir. Hesaplamanın CPU duyarlılığını azalmak için “Non-Iterative Time Advancement” seçilir. “Green-Gauss Node Based” ayrıklaştırma şeması olarak seçilir. Sisteme hareket vermek amacı ile sinüsoidal giriş denklemi C programla dilinde farklı bir dosyada yazılır sonrasında programa okutulur. Momentum denklemlerinde yazılır. Mevcut basınç çıktıları elde etmek amacı ile model üzerine önceden belirlenmiş noktalara (%25 %50 %70 doluluk oranlarına göre) nokta yüzey tanımlanarak bu noktalara zamana bağlı monitörler oluşturulur. Simülasyon oluşturulduktan sonra çözme işlemine geçilir.

3.2.3 Farklı perde yapılarının incelenmesi

Yakıt tankının planlanan temel analizleri tamamlandıktan sonra, perde geometrilerinin etkisini daha yakından incelenmek amacı ile hacmi (50 lt) ve boyutları yakıt tankına yakın bir prizmatik tank üzerinde çalışmalar sürdürülmüştür. Bu şekilde bir yapı analiz zamanını kısaltmak amacıyla tercih edilmiştir. Tankın simetrik ve homojen yapıda olmasından dolayı basınç ölçüm noktaları tankın sadece bir yan duvarına ortalanarak yerleştirilmiştir. Şekil 3.4’ de ayrıntılı bir şekilde basınç noktalarının yerleşim noktaları ve tankın yapısı gösterilmiştir. Tank hareketi yatay salınım yapacak şekilde verilmiştir.

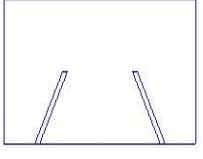


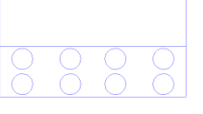
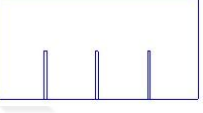
Farklı perde yapılarının incelendiği çalışmada için 12 farklı senaryo gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin ilk sekizinde frekans ve genlik değerleri yakıt tankının giriş değerleri ($f=0,8$ Hz, $a=2,52$ m/s²) ile aynı alınarak perde çeşitlerinin etkinliğine bakılmış. Kalan dört senaryoda ise ilk sekiz senaryo içinden seçilen 3 perde yapısı ve perdesiz tank sistemlerinin çalkalanma davranışı, tank yer değiştirmesinin $A=2$ cm ve $\omega=\omega_n$ alınarak daha düşük genlikli giriş değeri için incelenmiştir. Burada açısal frekans değeri (2.8) numaralı denklem yardımı ile tankın boyutlarına ve sıvı seviyesine bağlı olarak hesaplanmıştır. Literatürde perdelerin etkinliğini görmek için yapılan çalışmalarda giriş genliği çalışmamızdaki genlik değerinden oldukça küçük kaldığı için son dört senaryo küçük genlikli durum için incelenmiştir. Farklı frekans, genlik giriş değerlerinde perde yapılarını incelemek için yapılan analizlere ait senaryolar Çizelge 3.3’ de tablo halinde sunulmuştur.



Şekil 3.4. 50 lt hacmindeki prizmatik tankın boyutları ve basınç ölçüm noktalarının yerleri

Çizelge 3.3. Prizmatik tankta kullanılan perde yapıları

Tank yapısı	Doluluk	Perde şekli
1. Perdesiz tank	$h_{SIVI} = \%50h_{tank}$	
2. Düz perdeli tank- tankın tabanından montajlı	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$	
3. Düz perdeli tank, tankın tavanından montajlı	$h_{perde} = h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$	
4. Delikli perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$ Perdede 2,5 cm çapında 8 delik bulunmaktadır.	
5. Kare delikli perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$ Perde üzerinde 20x140 mm boyutunda 8 adet dikdörtgen delikler bulunmaktadır.	
6. Çoklu perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$ Perdeler $\%80H_{SIVI}$ boyutunda tabana yerleştirilmiş 3 adet perde	

7. Açılı perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50H_{tank}$ Taban yüzeyine 45° açı ile yerleştirilmiş, karşılıklı 2 perde yapısı şeklindedir.	
8. Duvar açılı perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%50h_{tank}$ Perdeler 12cm yükseklikte 45° açı ile duvara yerleştirilmiş 9.6 cm boyunda perde	
9. Boş dikdörtgen tank	Perdesiz $h_{SIVI} = \%70h_{tank}$	
10. Perdeli dikdörtgen tank	Perdeli $h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%70h_{tank}$	
11. Delikli perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%70h_{tank}$ Perdede 2,5 cm çağında 8 delik bulunmaktadır.	
12. Çoklu perdeli tank	$h_{perde} = \%80h_{SIVI}$; $h_{SIVI} = \%70h_{tank}$ Perdeler $\%80h_{SIVI}$ boyutunda tabana yerleştirilmiş 3 adet perde	

3.3 Deneysel Çalışmalar

Yakıt tankı üzerindeki deneysel çalışmalar firmada ES31100-01 mühendislik standardı çalkalanma testi kriterleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bu standartta yer alan yakıt çalkalanma dayanımı testinde tankın $\%70'$ i akışkan ile doldurulur. Tank 0,1 m genişliğinde 0,8 Hz frekansında sinüzoidal giriş verilerek çalkalanma tablası ve buna rijit bağlı olan tank sistemi ileri geri hareket ettirilir. Bu test sonucunda herhangi bir sızıntı, kırılma, parçalarda hasar vb. durumlar gözlenmemelidir. Mevcut düzenekte yakıt deposu üzerinde yapılan testlerde doğrusal hareket temel alınmaktadır.

Başlıca elemanları Şekil 3.5' de ve fotoğrafı Şekil 3.6' de gösterilen bu düzenekte çalkalama ünitesi bir adet elektrik motoru, redüktör, krank biyel mekanizması ve çalkalanma tablasından oluşmaktadır. Yakıt deposundaki titreşim hareketi elektrik

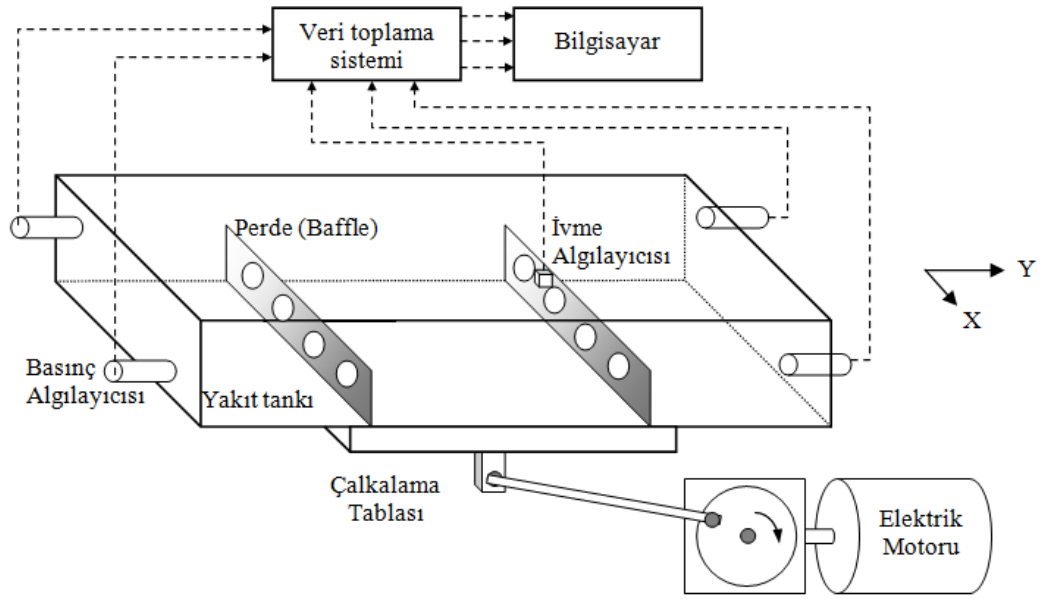
motoruna bağılı olan krank biyel mekanizma ile dönme hareketinin doğrusal harekete çevrilmesi ile oluşturulmaktadır. Çalkalama sistemine yakıt tankı rijit olarak bağlanır. Çalkalanma hareketinde yakıt tankının çeşitli noktalarında oluşan basınç değişimlerini ölçmek için 4 adet basınç algılayıcısı, tankın ivmesini ölçmek için 1 adet ivme ölçer, bir adet veri toplama ve denetim kartı ile PC bilgisayar da sistemden alınan bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi kullanılmıştır. Deney düzeneğini oluşturan donanım ve cihazların temel özellikleri Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Sistemde gerçek zamanlı testlerin yürütülmesinde MATLAB/Simulink/Real Time Windows Target Toolbox kullanılmıştır. Simulink programında hazırlanan veri toplama sistemine ait model Şekil 3.7’ de, deneyler sırasında sistemin çalışırken verdiği cevapları ve modeli gösteren ekran görüntüsü Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.

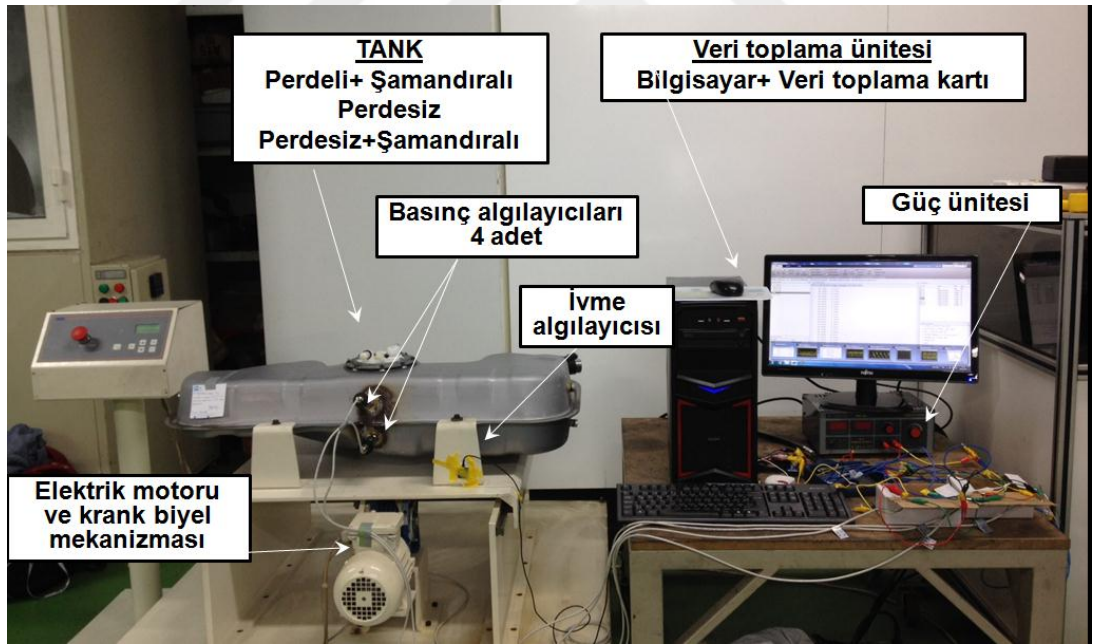
Yapılan her bir deney altı kere tekrarlanmıştır ve veri toplama sırasında örnekleme zamanının 25 ms olarak alınması yapılan bir seri testten sonra uygun görülmüştür.

Çizelge 3.4. Deney düzeneğini oluşturan cihazlar ve özellikleri

Donanım-Cihaz	Özellikleri
Veri toplama ve denetim kartı	National Instrument PCI 6221, M Series DAQ (16 Analog giriş, 24 Digital I/O, 2 Analog çıkış), bağlantı bloğu ve aksesuarları
İvme ölçer	Dytran 7504A1, $\pm 2g$ ölçüm aralığı $\pm 2V/g$, 9V pil ile besleme
Basınç algılayıcısı	3 adet Mesens marka MPS500 Series, 0-10 kPa giriş/ 0-10 V çıkış, 16 volt besleme gerilimi 1 adet Mesens marka MPS500 Series, 0-25 kPa giriş/0-10 V çıkış, 16 V besleme gerilimi, %0.5 fs
Çalkalama ünitesi	1 adet elektrik motoru (0.37 kW), redüktör, krank biyel mekanizması, çalkalanma tablası
Bilgisayar	Masa üstü, işlemci Intel® Core (TM) i5, 357 CPU 3,40 GHz, RAM 4 GB

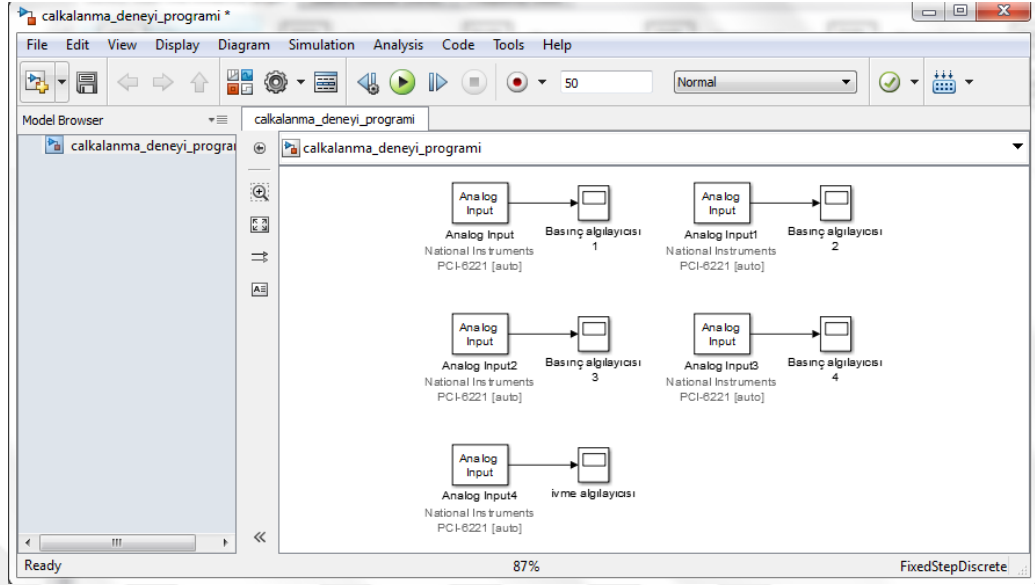


Şekil 3.5. Deney sistemi şematik gösterimi

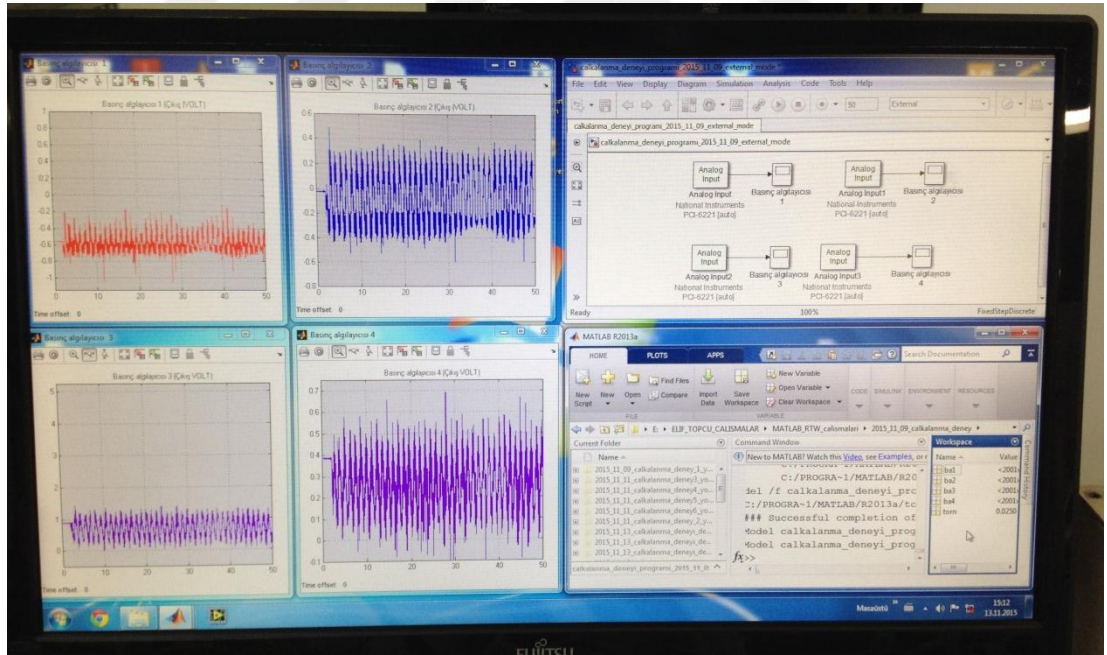


Şekil 3.6. Deney tesisatının fotoğrafı

Deneyler standartlardan ve önceki araştırmalarda ön görülen %50 lik ve %70 lik akışkan doluk oranlarında teste tabi tutulacaktır. Şekilde kurulan sistemin şematik bir gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.7. Veri toplama sistemi MATLAB/Simulink modeli



Şekil 3.8. Sistem çalışırken bilgisayar ekranından alınan görüntü

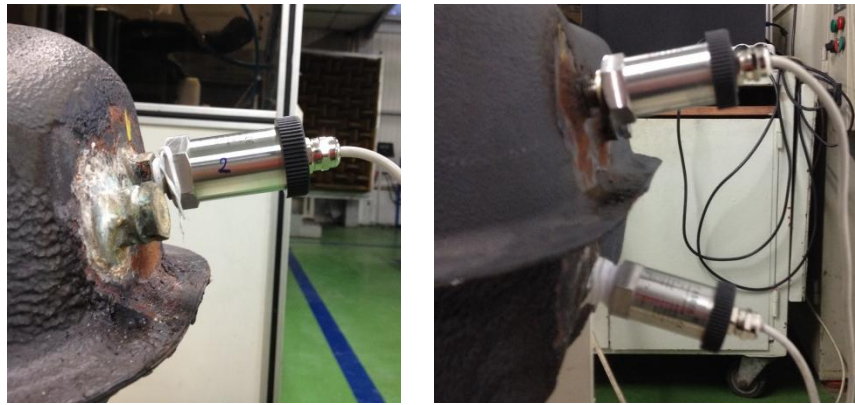
Yukarıda detayları verilen bu deney düzeneğinde yakıt tankı ayrı ayrı enine (x yönünde) ve tankın çevrilerek boyuna (y yönünde) çalkalanma hareketine tabi tutulmuştur. X yönündeki çalkalanmada basınç değişimleri tankın 4 farklı yerinden,

y yönündeki çalkalanmada ise tankın 3 farklı yerinden ölçülen basınç değerleri toplanmıştır. Şekil 3.10' da basınç algılayıcılarının tank üzerindeki yerleşimleri gösterilmiştir. Basınç algılayıcıları bilgisayar analizleri ile karşılaştırma yapılabilmesi açısından analizlerde basınç değişiminin incelendiği noktalara yerleştirilmeye çalışılmıştır.

Deneyler x ve y yönünde, %50,%70 tank doluluk oranları için perdesiz/şamandırasız, perdesiz/şamandıralı, perdeli/şamandıralı çalışma şartları altında tekrarlanmıştır. Bu şekilde hem perdenin hem de şamandıranın çalkalanma üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.



a. Tank x yönünde çalkalanırken kullanılan algılayıcılar



b. Tank y yönünde çalkalanırken kullanılan algılayıcılar

Şekil 3.9. Basınç algılayıcılarının tank üzerindeki yerleşimi

Sistemde kullanılan basınç algılayıcılarının da deneylerden önce kalibrasyonları kontrol edilmiş ve basınç-gerilim eğrileri elde edilmiştir. Yapılan kalibrasyon işlemi ile ilgili detaylar EK 4' de, ivme algılayıcısının kalibrasyon sertifikası ise EK 4' da sunulmuştur.

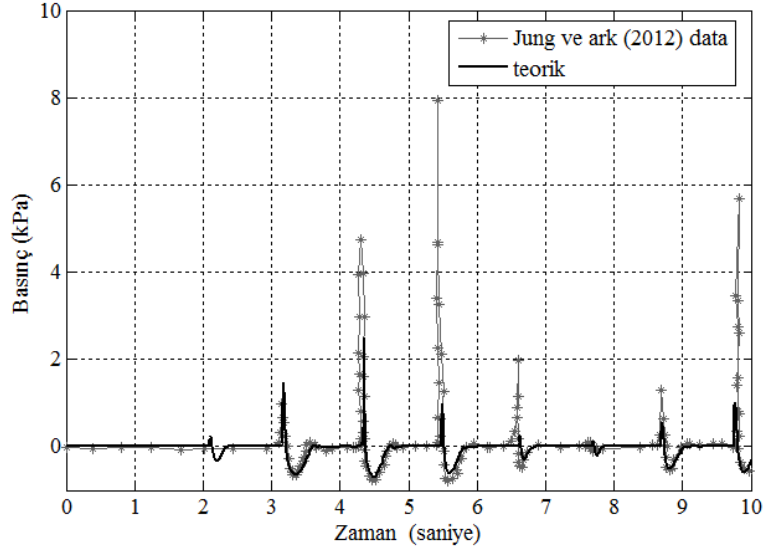


4 BULGULAR ve TARTIŞMA

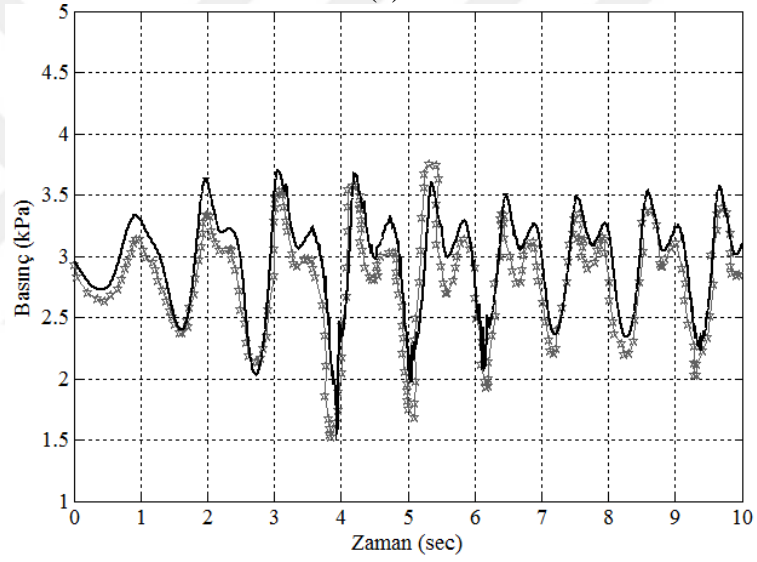
Bulgular ve Tartışma kısmında öncelikli olarak yapılan doğrulama çalışması ile ilgili kısım sunulmuştur. Daha sonra yakıt tankı ve prizmatik tanktaki çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir.

Jung ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmanın seçilme sebebi, incelenen sistemin yapısı Bölüm 3.2.1' de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Tez çalışmasında belirtilen çalışmanın perdesiz ve perde yüksekliğinin sıvı seviyesine oranının 0,4 olduğu durumlar için çözümler yapılmış, P_{T1} ve P_{T4} numaralı basınç noktaları için sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.1' de perdesiz tankın çalkalanma hareketi sırasında P_{T1} , (b) P_{T4} noktalarından elde edilen basınç- zaman grafikleri gösterilmiştir. Teorik olarak isimlendirilen eğriler tez çalışması kapsamında yapılan analizlerin sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.1c' de ise Jung ve ark. (2012)' nin kendi çalışmasının P_{T1} noktasına ait sonuçlarını başka deneysel çalışmalarla karşılaştırdığı grafik verilmiştir. Şekil 4.1a görüldüğü üzere yaptığımız analizde elde edilen basınç değerleri Jung ve ark. (2012)' nin sonuçlarına göre düşük kalmaktadır. Ancak Şekil 4.1.c' de gösterilen Chen ve ark. (2009) yayınının deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında analizin sonuçlarının bu değerlere oldukça yaklaştık olduğu görülmektedir.

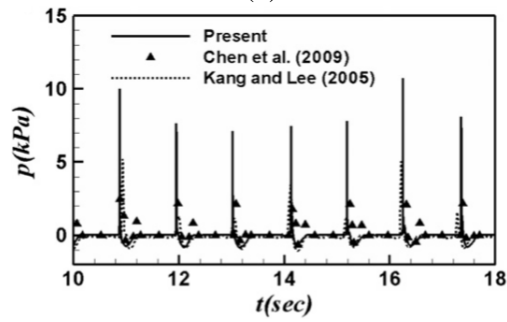
Şekil 4.2' de ise Jung ve ark. (2012)' nin tankın orta kısmına yerleştirilmiş olan perdeli hali, perde yüksekliği/sıvı seviyesi oranının 0,4 olduğu durum için karşılaştırmalı çalışmanın basınç-zaman grafikleri P_{T2} , P_{T3} ve P_{T4} noktaları için sunulmuştur. Bu perde yüksekliğinde 1 numaralı noktaya sıvı ulaşmadığı için ilgili noktada basınç değişimi olmamaktadır. Perdeli hal için de analiz sonuçları teorik olarak isimlendirilen basınç-zaman eğrilerinden görüldüğü gibi oldukça yakın sonuçlar vermiştir.



(a)

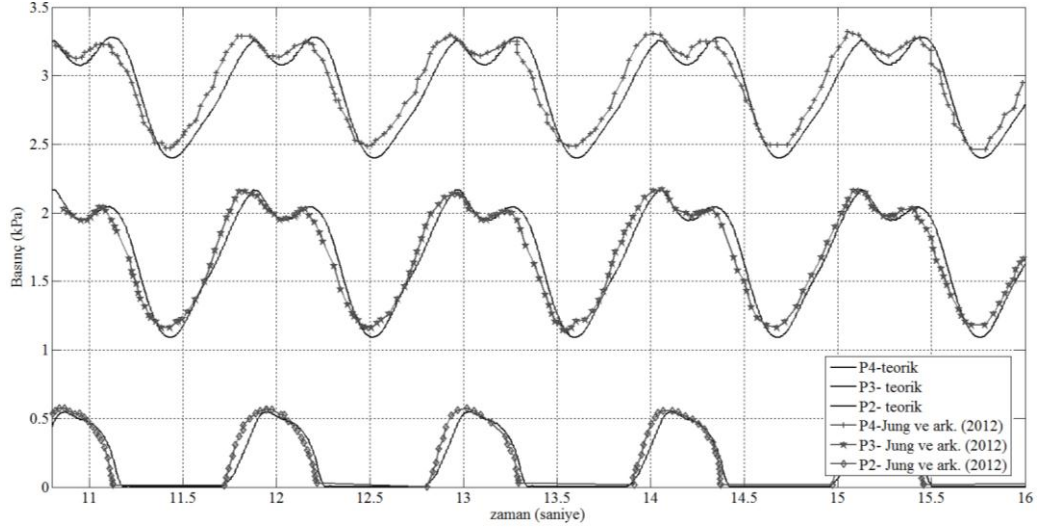


(b)



(c)

Şekil 4.1. Perdesiz hal için Jung ve ark. (2012)' nin çalışmasının basınç-zaman eğrilerinin karşılaştırmalı grafikleri (a) P_{T1} , (b) P_{T4} , (c) Jung ve ark. (2012)' nin çalışmasında referans aldığı deneysel çalışmaların basınç- zaman grafikleri

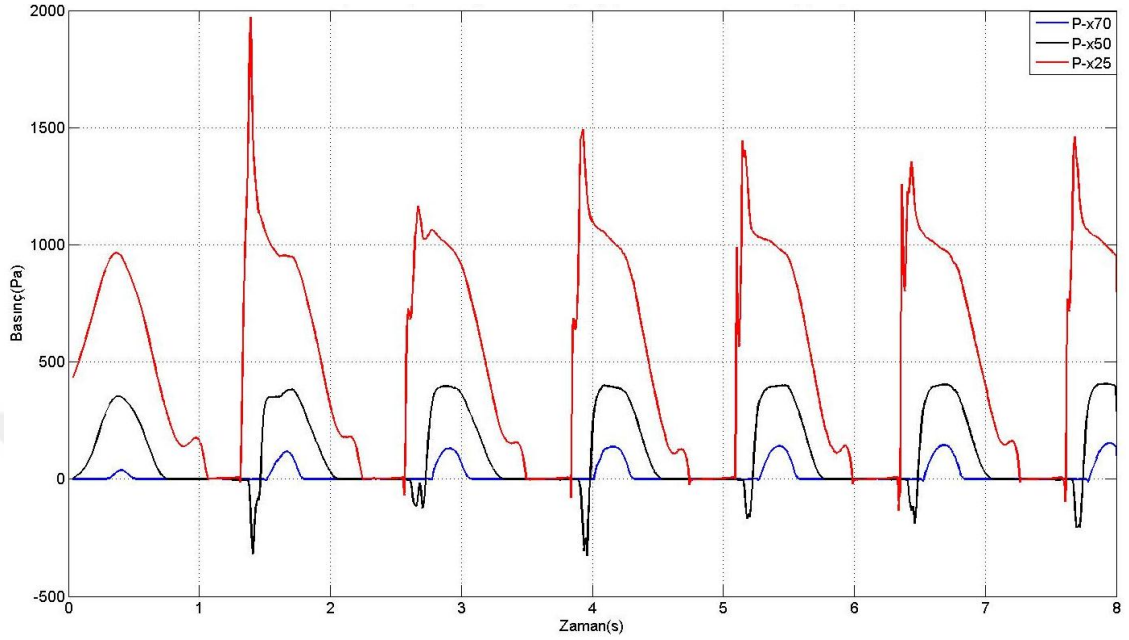


Şekil 4.2. Perdeli hal (perde yüksekliği/sıvı seviyesi oranı 0,4) için Jung ve ark. (2012)'nin çalışmasının P_{T2} , P_{T3} ve P_{T4} noktalarının basınç-zaman eğrilerinin karşılaştırmalı grafikleri

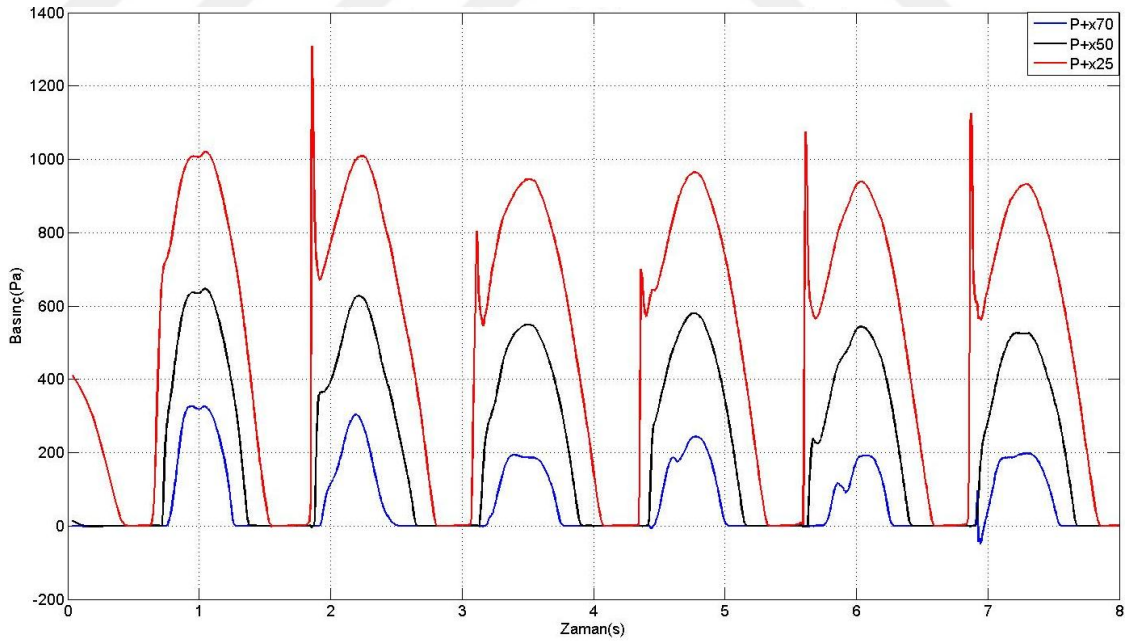
Doğrulama çalışmaları tamamlandıktan sonra yakıt tankı ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Yakıt tankı üzerinde yapılan analiz çalışmaları hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 3.2.2' de, analiz çalışmaları Çizelge 3.1' de, yakıt tankı üzerindeki basınç noktaları ise Şekil 3.3' de gösterilmiştir. Analizler 8 saniye zaman dilimleri için çözdürülmüştür.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de perdesiz/şamandırasız yakıt tankının %50 gaz yağı ile dolu olduğu ve x yönünde hareket ettirildiği durum için elde edilen basınç-zaman grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'den görüldüğü en yüksek basınç değeri P-x25 ve P+x25 noktalarında oluşmaktadır. %50' lik doluluk oranında sıvı ile temas halinde olan noktalardır. Bu noktalardaki basınç değeri atmosfer basıncına kadar düşmektedir. Çalkalanma sırasında sıvının hareketinden dolayı buradan akışkanın ilgili nokta ile teması kestiği söylenebilir. En üst noktada yer alan P-x70 ve P+x70 noktalarında ise basınç en düşük değerde kalmaktadır. $\pm x50$ ve $\pm x 70$ noktaları durağan halde sıvı ile temas halinde değildir. Ancak çalkalanma sırasında sıvının hareketinden dolayı bu noktalarda basınç artışı görülmektedir. P-x70 ile P+x70 ve P-x50 ile P+x50 noktalarındaki basınç şiddetlerinin eşit olmasının sebebi tankın yapısının simetrik olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu genliklerde giriş genliği değerleri çalkalanma

hareketinin şiddetini önemli oranda arttırmaktadır. Sinusoidal giriş erildiği içinde karşılıklı olarak faz farkı oluşmaktadır.

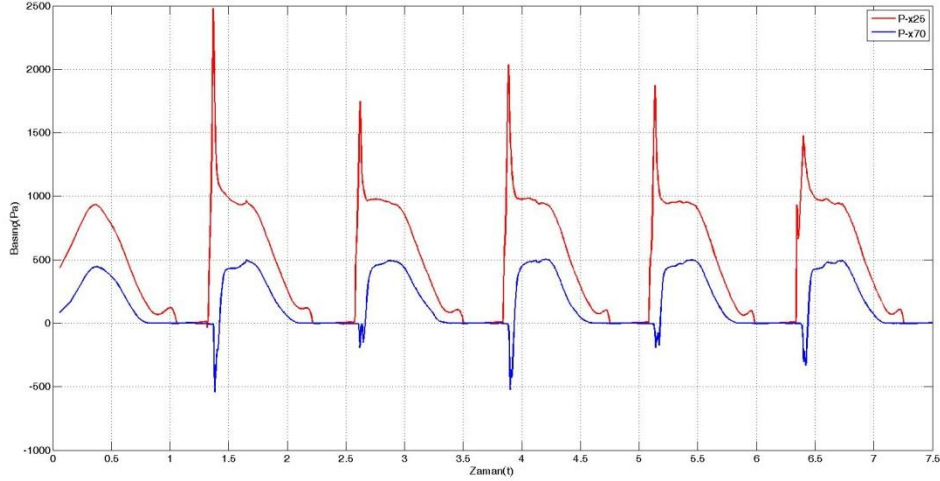


Şekil 4.3. Perdesiz/şamandırasız tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25,-x50,-x70 noktaları için)

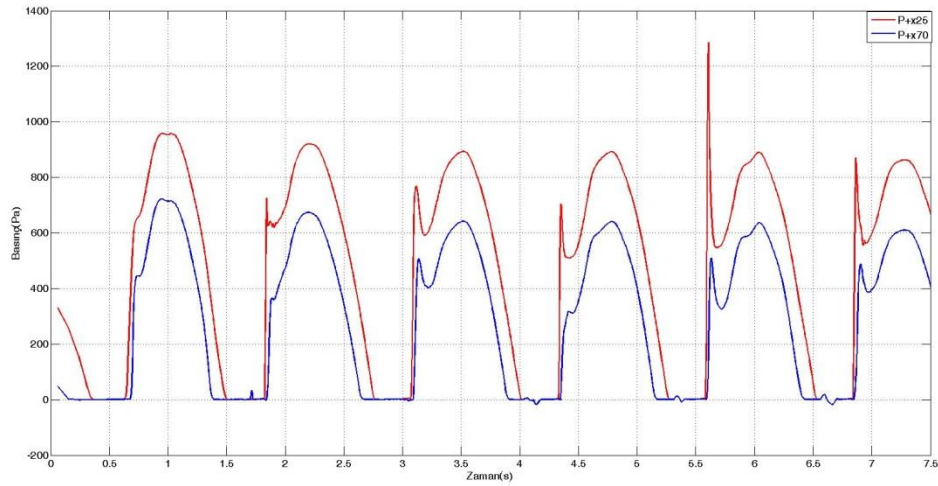


Şekil 4.4. Perdesiz/şamandırasız tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25,+x50,+x70 noktaları için)

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da perdesiz/şamandırasız yakıt tankının %70 gaz yağı ile dolu olduğu ve x yönünde hareket ettirildiği durum için elde edilen basınç-zaman grafikleri sunulmuştur. Doluluk oranının artması ile tanktaki basınç değişimi ve çalkalanma hareketi %50 doluluk oranına göre artmıştır.



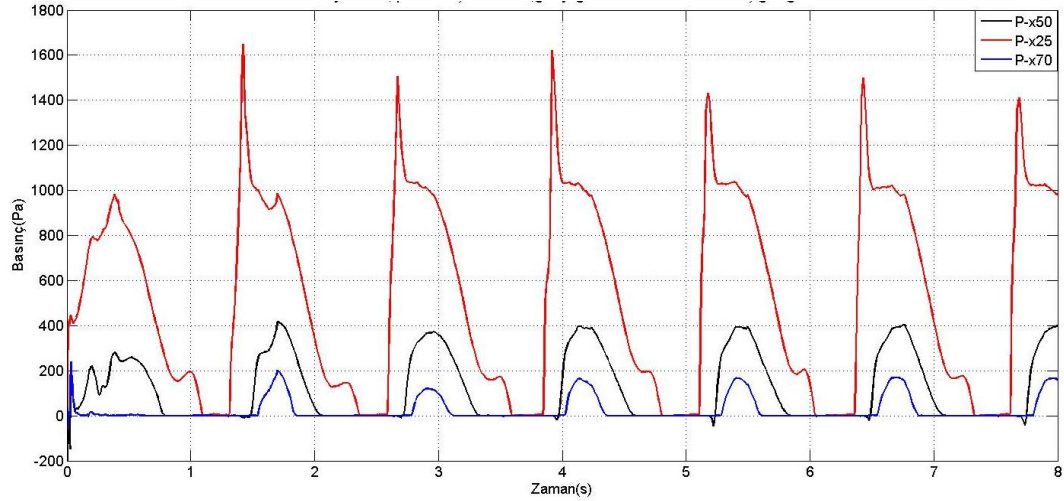
Şekil 4.5. Perdesiz/şamandırasız tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x70 noktaları için)



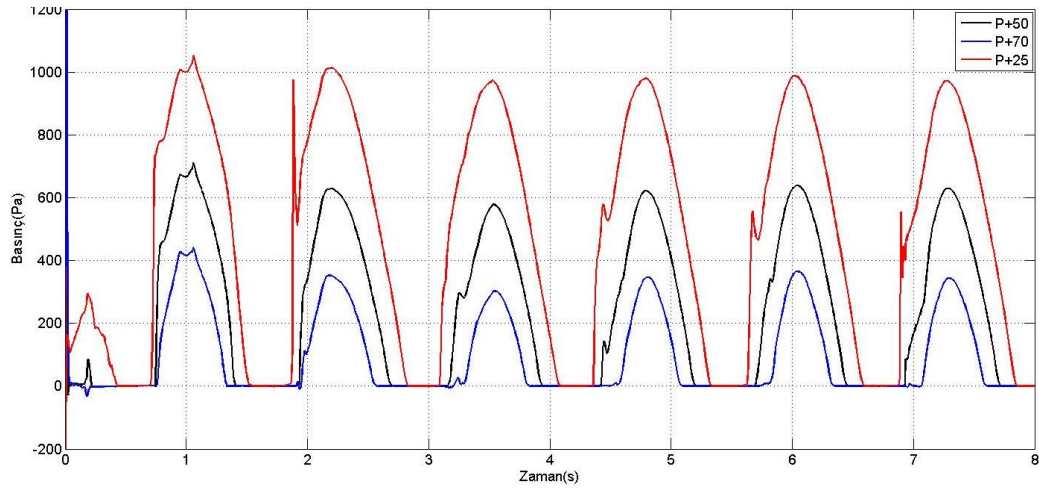
Şekil 4.6. Perdesiz/şamandırasız tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x70 noktaları için)

Perdesiz/ şamandırasız %50 ve %70 doluluk oranlarında yapılan analizlerden sonra model içine şamandırayı temsil eden şamandıra elemanı çapında silindirik bir yapı yerleştirilerek analizler tekrar yapılmıştır.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de perdesiz/şamandırasız %50 doluluk oranı için yapılan analizden elde edilen basınç-zaman grafikleri görülmektedir. % 50 doluluk oranında mevcut uç noktaları sadece şamandıra elemanının dahil edildiği durumda özellikle +x25 noktasında anlık basınç sıçramalarının azaldığı görülmektedir. P-x25,P-50 ve P-75 numaralı basınç noktalarında basınç sıçramalarının oluşumunun devam ettiği, +x yönündeki basınç noktalarında bu sıçrama değerlerinin azaldığı gözlenmektedir.

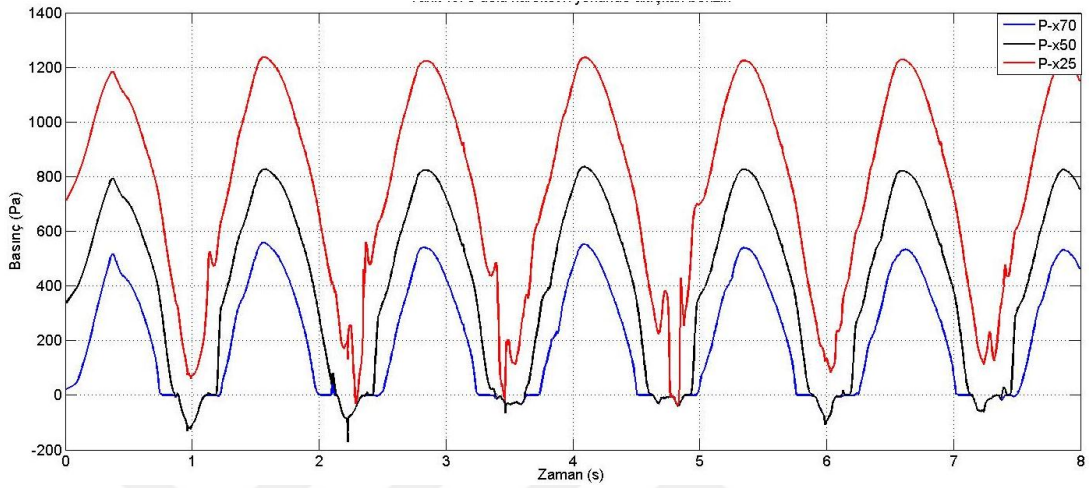


Şekil 4.7. Perdesiz/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x50, -x70 noktaları için)

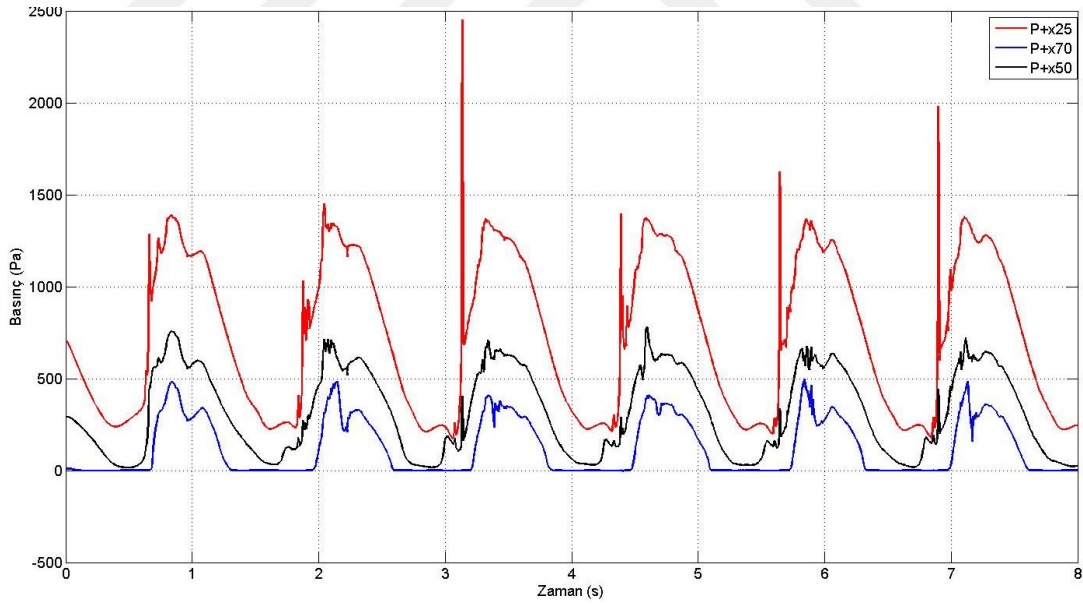


Şekil 4.8. Perdesiz/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x50, +x70 noktaları için)

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’ da perdesiz/şamandıralı tankın %70 doluluk oranında tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde edilen basınç-zaman grafikleri sunulmuştur. Grafiklerde de görüldüğü üzere basınç sıçramaları perdesiz/ şamandırasız duruma göre şiddet olarak çok fazla değişim gözlenmemiştir.



Şekil 4.9. Perdesiz/şamandıralı tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x50, -x70 noktaları için)



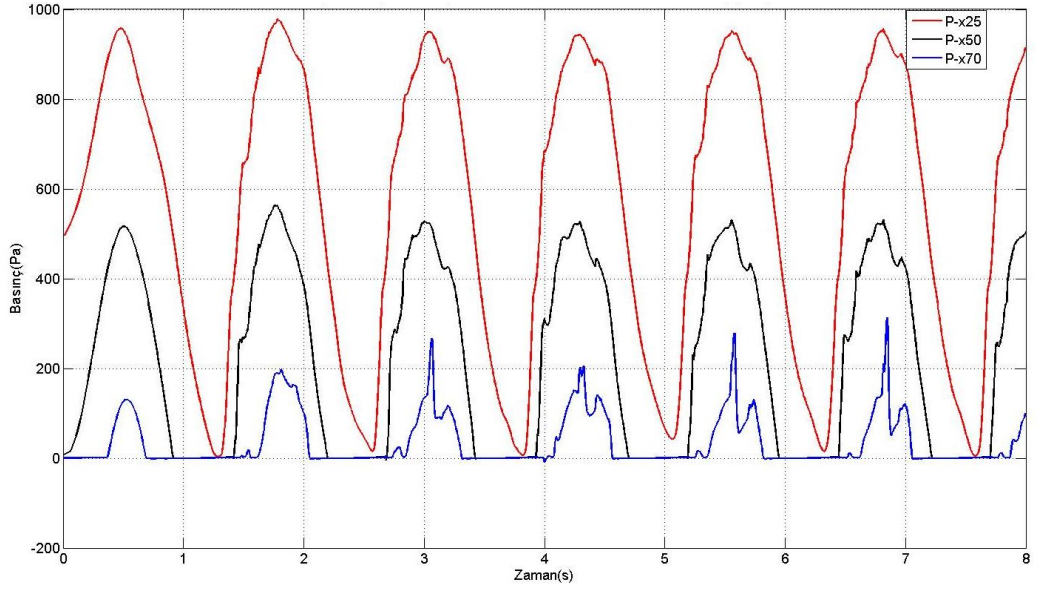
Şekil 4.10. Perdesiz/şamandıralı tank, %70 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x50, +x70 noktaları için)

Basınç ölçme noktaları perdeli/şamandıralı durumda şamandıranın tank üzerine yerleştiği kısımda bulunmaktadır. Bu noktalarda basınç değişiminin

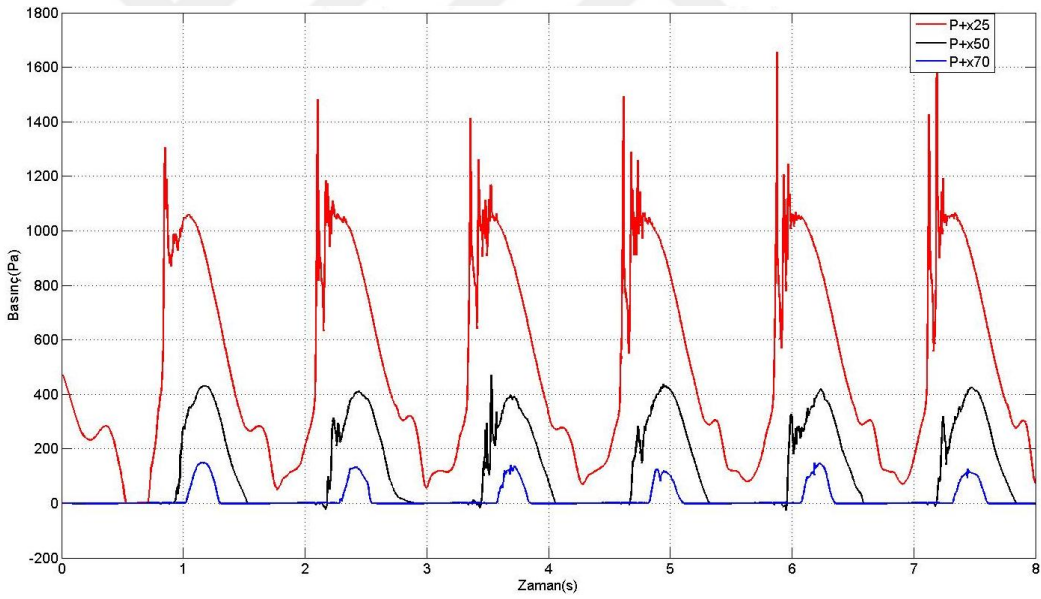
perdesiz/şamandırasız duruma göre doluluk oranına bağlı olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Tankın diğer kısımlarındaki basınç değişiminin perdesiz/şamandırasız duruma yakın olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de perdeli/şamandıralı tankın %50 oranında su ile dolu olduğu durumda yapılan analizlerden elde edilen basınç- zaman grafikleri sunulmuştur. Perdesiz/şamandırasız ve perdesiz/şamandıralı hale göre özellikle P-x noktalarında gözlenen ani basınç yükselmelerinin perdeli/şamandıralı durumda ortadan kalktığı görülmektedir. Grafiklerde P+x25 seviyesinde perdenin etkinliği baskın olarak görülmemektedir. Bunun sebebinin perdenin tankın üst kısmından yerleştirilmesi ve perdenin bütünüyle tankın alt noktasına kadar yerleşmemesinden ve tankın doğrusal olmayan yapısından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ancak perdeli/şamandıralı tankın P+x50 ve P+x70 basınç noktalarında perdesiz/ şamandırasız, perdesiz/şamandıralı analiz sonuçlarına göre basınç değerleri azalmıştır.

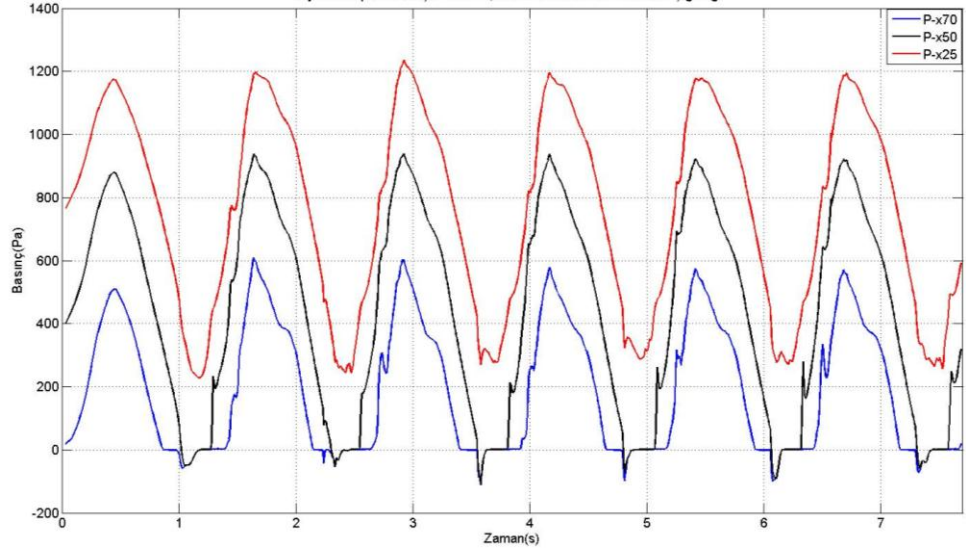
Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’ de perdeli/şamandıralı tankın %70 oranında su ile dolu olduğu durumda yapılan analizlerden elde edilen basınç- zaman grafikleri sunulmuştur. Perdesiz/şamandırasız, perdeli/şamandıralı tankın sonuçlarıyla karşılaştırıldığında basınç sıçramalarının burada ortadan kalktığı daha düzgün bir basınç değişimi olduğu görülmektedir. Basıncın periyot boyunca dağılımı daha dengeli bir hale gelmiştir.



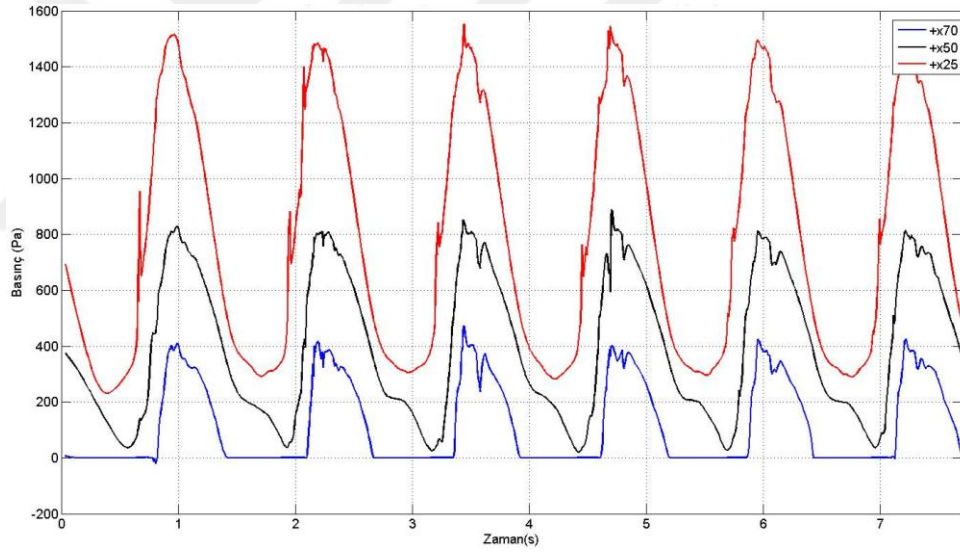
Şekil 4.11. Perdeli/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P-x25, -x50, -x70 noktaları için)



Şekil 4.12. Perdeli/şamandıralı tank, %50 doluluk, x yönünde harekete ait basınç-zaman grafiği (P+x25, +x50, +x70 noktaları için)

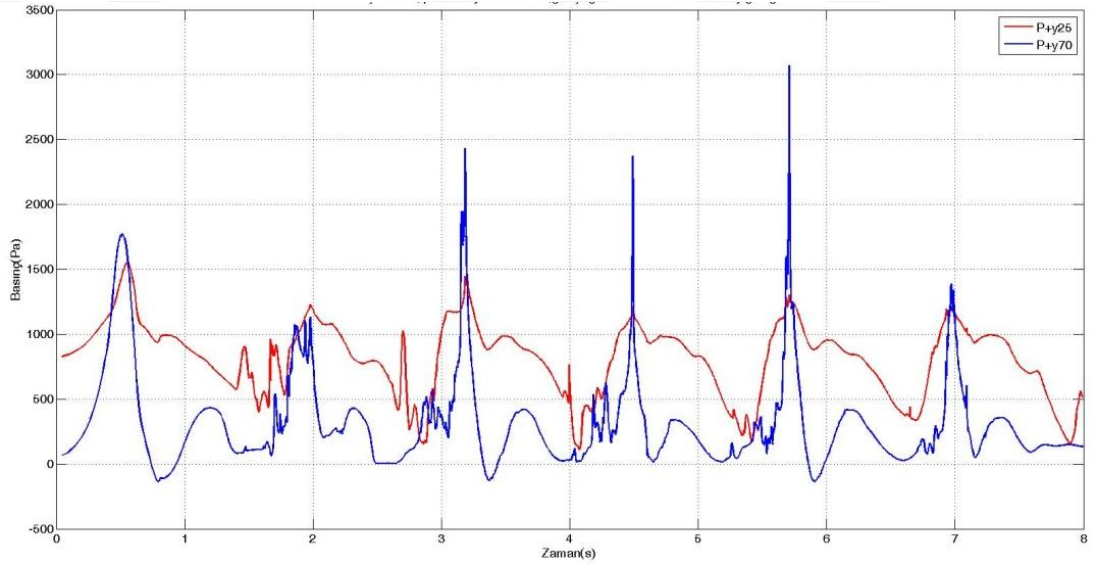
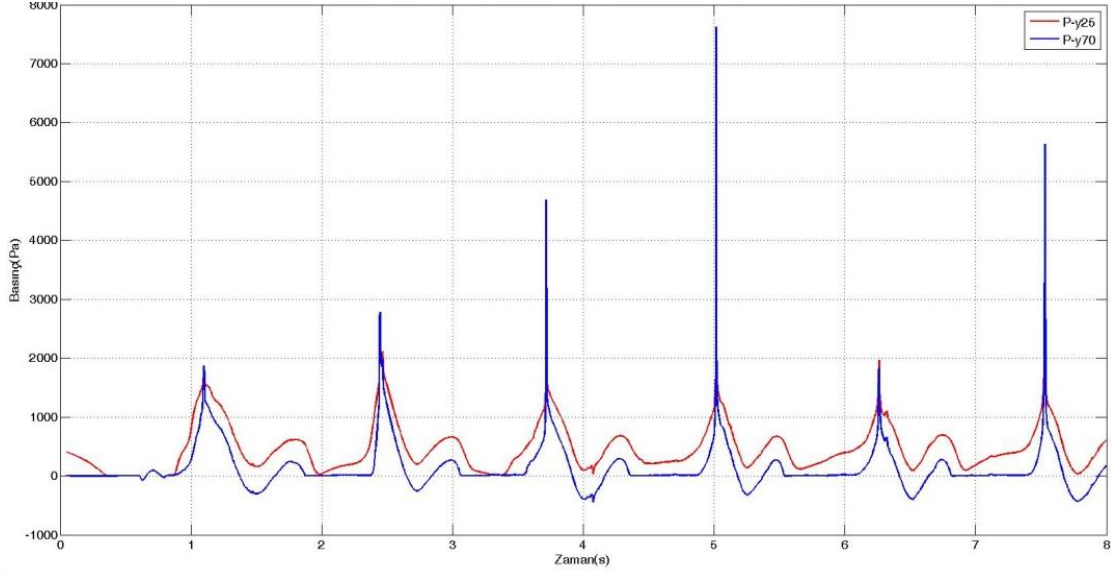


Şekil 4.13. x yönünde perdeli/şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P+x25, +x50, +x70 noktaları için)



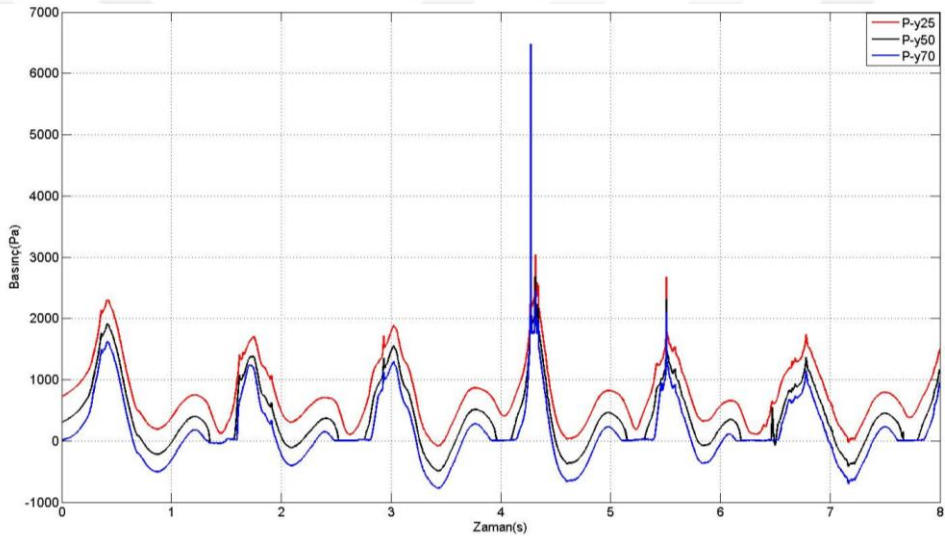
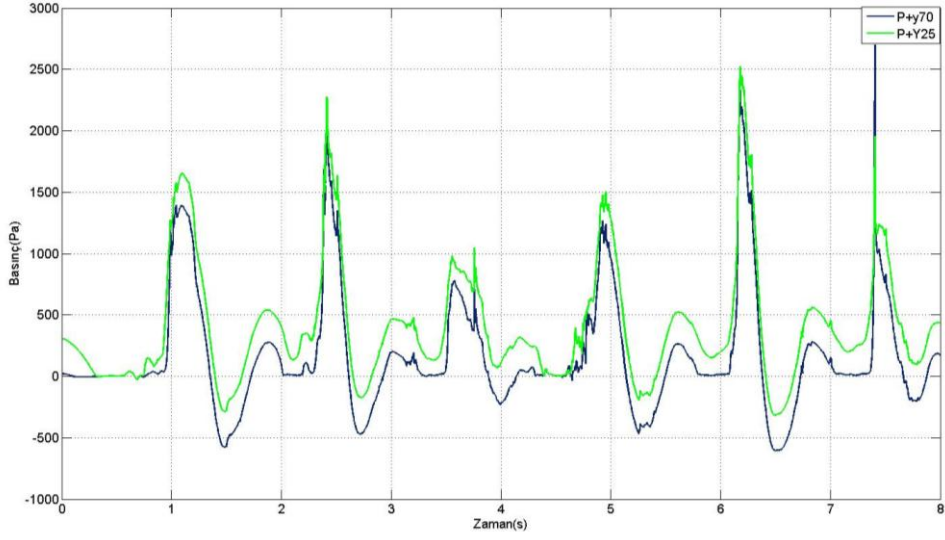
Şekil 4.14. x yönünde perdeli/şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P+x25, +x50, +x70 noktaları için)

Şekil 4.15' de perdesiz/şamandırasız tankın %50 oranında su ile dolu olduğu durumda yapılan analizlerden elde edilen basınç- zaman grafikleri sunulmuştur.



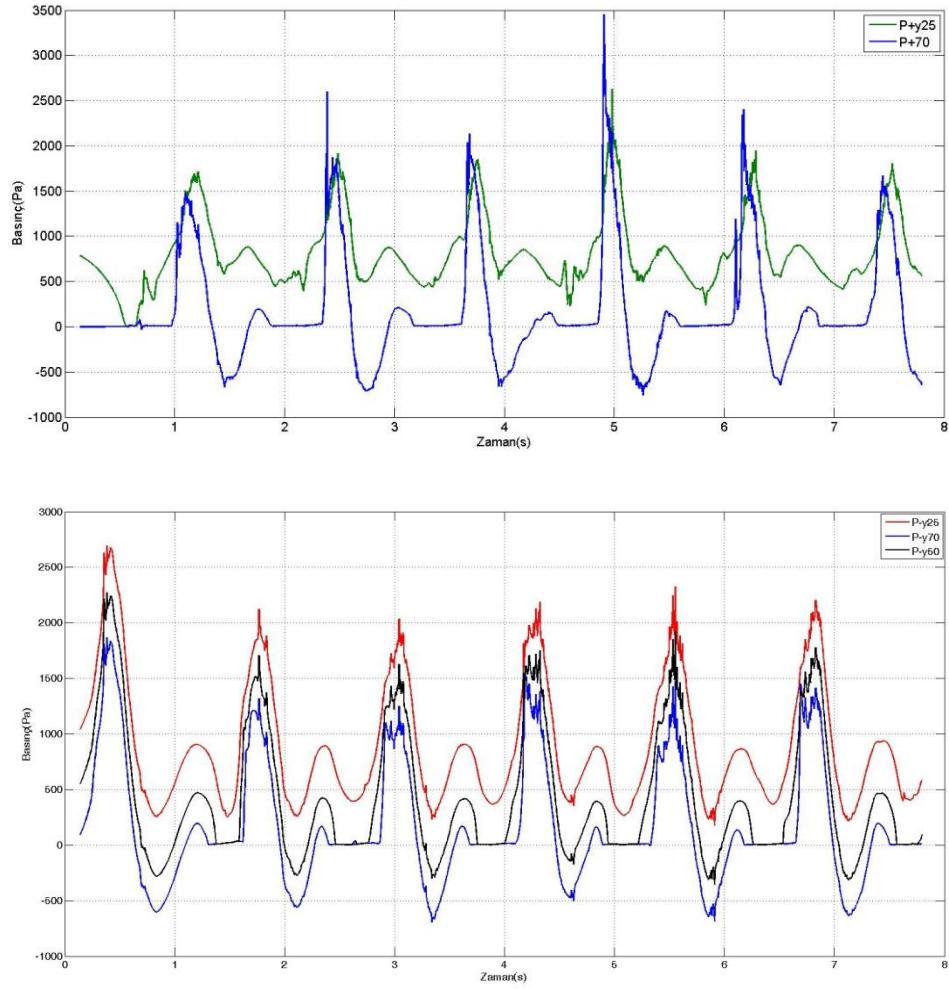
Şekil 4.15. y yönünde perdesiz/şamandırasız, %50 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y70, +y50, +y70 noktaları için)

Şekil 4.16' da perdesiz/şamandıralı tankın %50 oranında su ile dolu olduğu durumda yapılan analizlerden elde edilen basınç- zaman grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.16. y yönünde perdesiz/şamandıralı, %50 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y70, +y50, +y70 noktaları için)

Şekil 4.17' de perdeli/şamandıralı tankın %70 oranında su ile dolu olduğu durumda yapılan analizlerden elde edilen basınç- zaman grafikleri sunulmuştur.



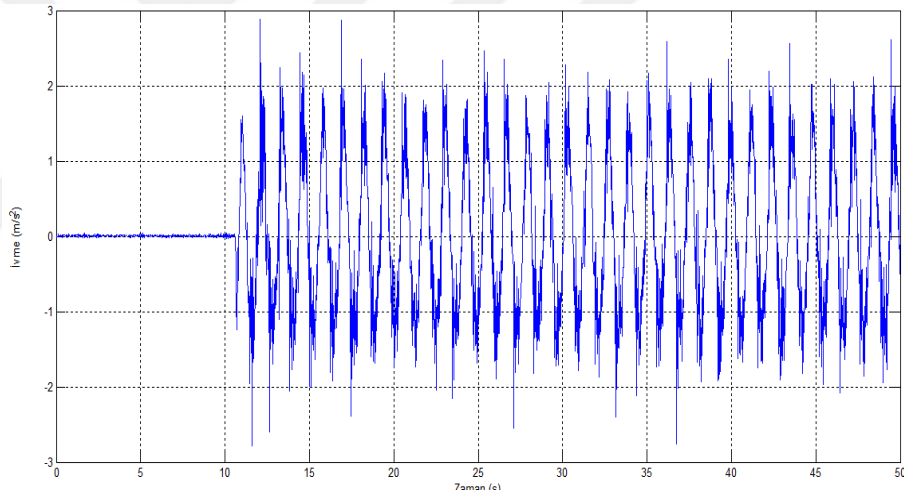
Şekil 4.17. y yönünde perdeli/şamandıralı, %70 doluluk oranı basınç grafiği (P-y25, -y50, -y70, +y50, +y70 noktaları için)

Deneysel çalışmalarda kullanılan sistem hakkında ayrıntılı bilgi “Materyal ve Yöntem” bölümünde 3.3 numaralı kısımda verilmiştir. Deneyler 50 s süre ile yapılmıştır ve her bir deney dört kere tekrarlanmıştır. Deneyler sırasında x yönündeki harekette dört adet basınç algılayıcısı, y yönünde ise 3 adet basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Bu algılayıcıların yerlerinin mümkün olduğunca analizlerde yer alan basınç noktaları (± 25 ve ± 70 noktaları) ile aynı yerlerde olması istenmiştir. Ancak yapısal bazı problemlerden dolayı bir miktar kaymalar olmuştur. Deneyler sırasında üst kısımdaki algılayıcılardan gerek algılayıcı yerleşiminden gerekse algılayıcının ölçüm ucunun yüzeye göre daha içerde kalmasından ve anlık sıçramalarda bu kısma akışkanın temas edememesinden dolayı problemliler durumlar oluşmuştur. Bu sebeple düşük sıvı seviyelerinde tabana yakın

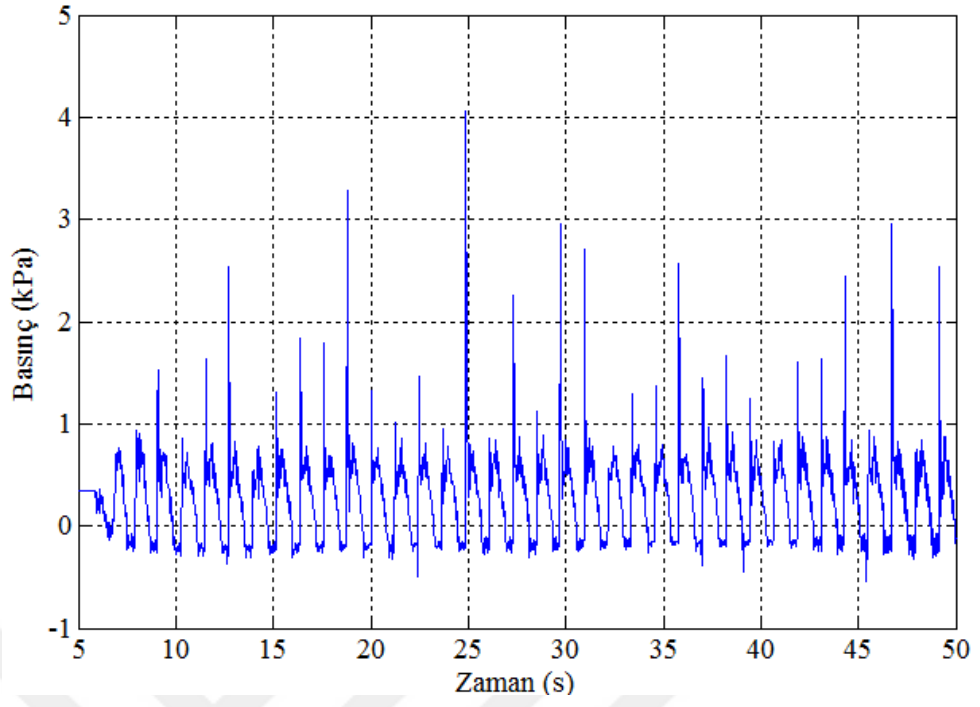
algılayıcılardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca perdeli ve perdesiz yapıların incelendiği durumlarda iki farklı tank kullanılmak durumunda kalınmış ve basınç algılayıcılarının iki tankta birbirine göre bir miktar farklı yerlere yerleştirilmesinden kaynaklı bir problem yaşanmıştır.

Sisteme hareket elektrik motorunun çalıştırılmasını sağlayan bir düğme yardımıyla verilmektedir. Bu hareket sırasındaki ivme değişimleri de tankın üzerine yerleştirilen ivme algılayıcısından veri toplama sistemi ile toplanmış ve elde edilen ivme-zaman grafiği Şekil 4.18’ de gösterilmiştir.

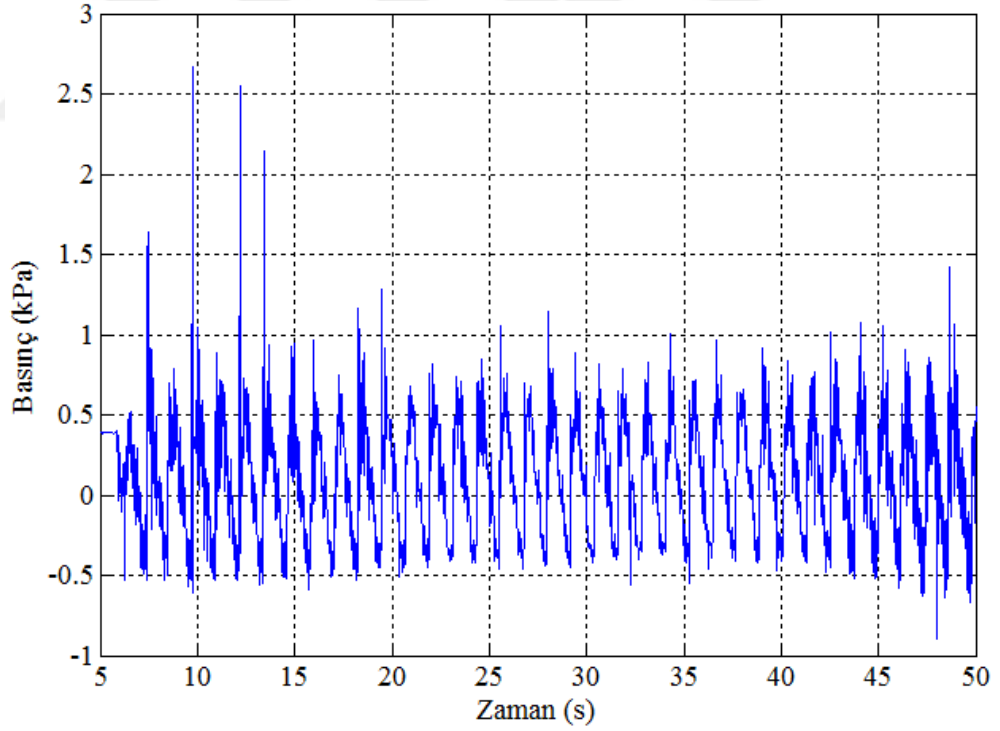
%50 su ile dolu perdesiz/şamandırasız tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.19’ de sunulmuştur.



Şekil 4.18 İvme-zaman grafiği



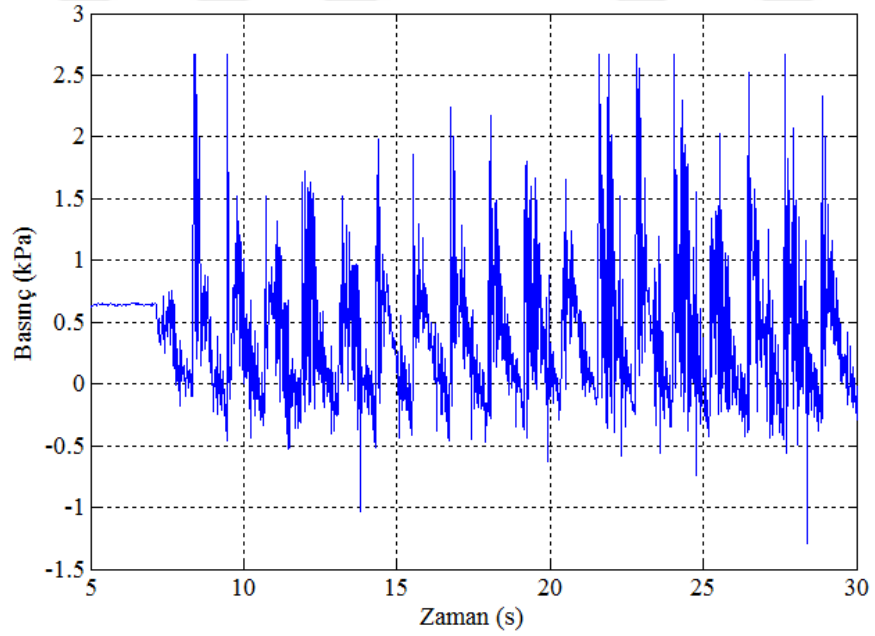
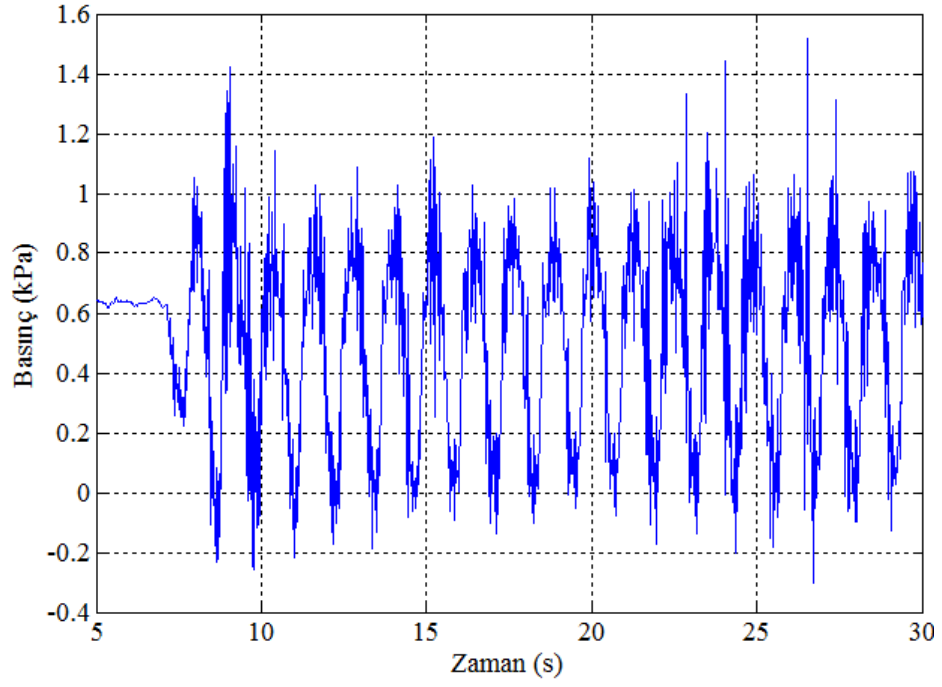
(a)



(b)

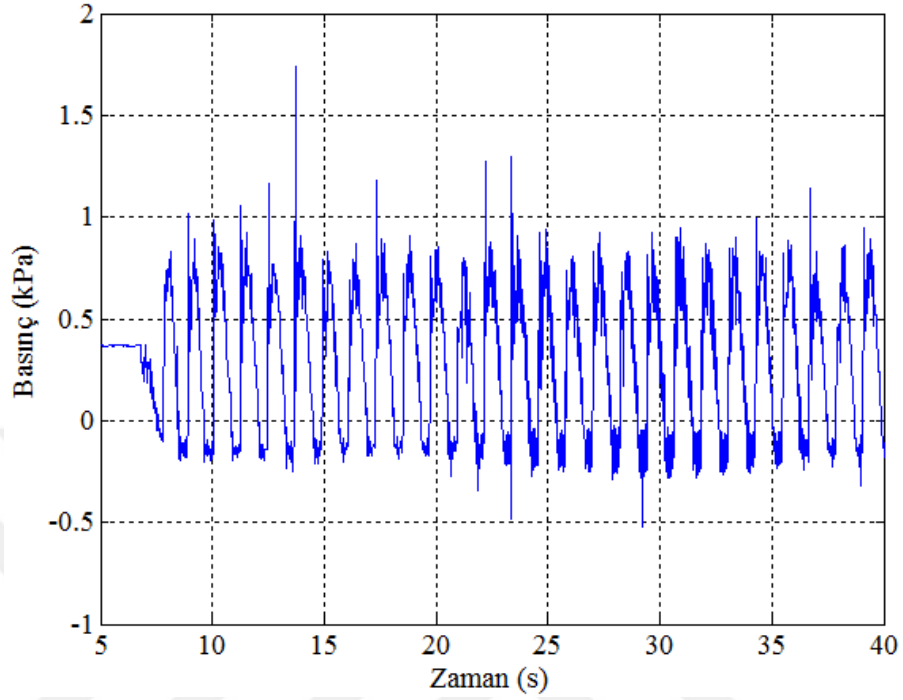
Şekil 4.19 Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x=25 noktası, b. x=25 noktası)

%70 su ile dolu perdesiz/şamandırasız tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.20' de sunulmuştur.

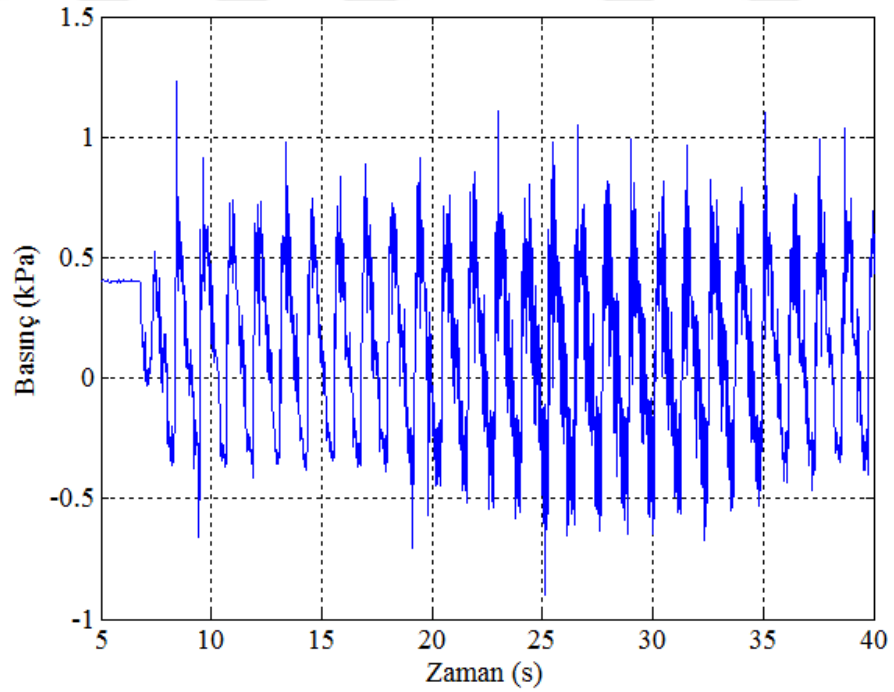


Şekil 4.20 Perdesiz/şamandırasız tankın %70 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)

%50 su ile dolu perdesiz/şamandıralı tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.21’ de sunulmuştur.



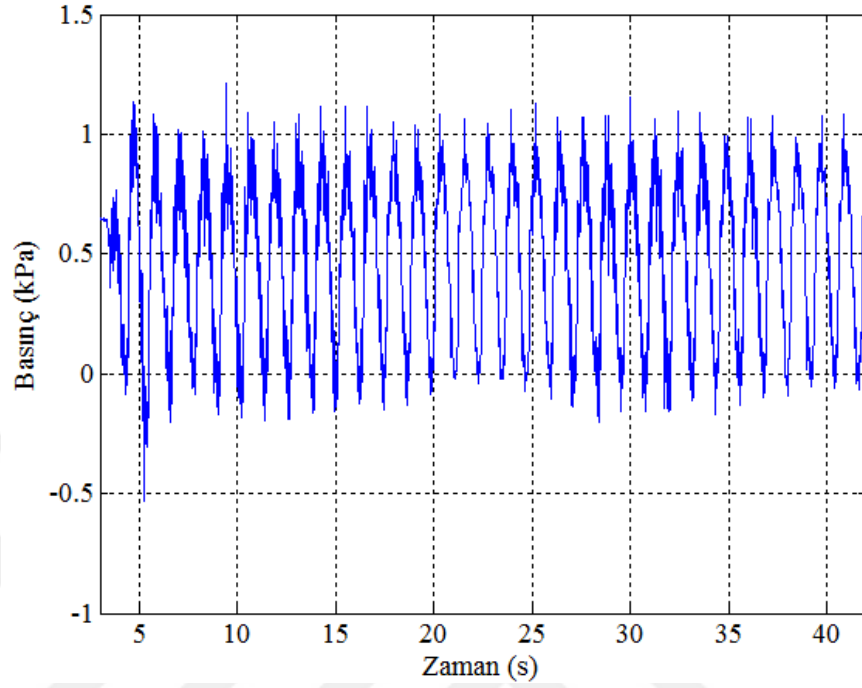
(a)



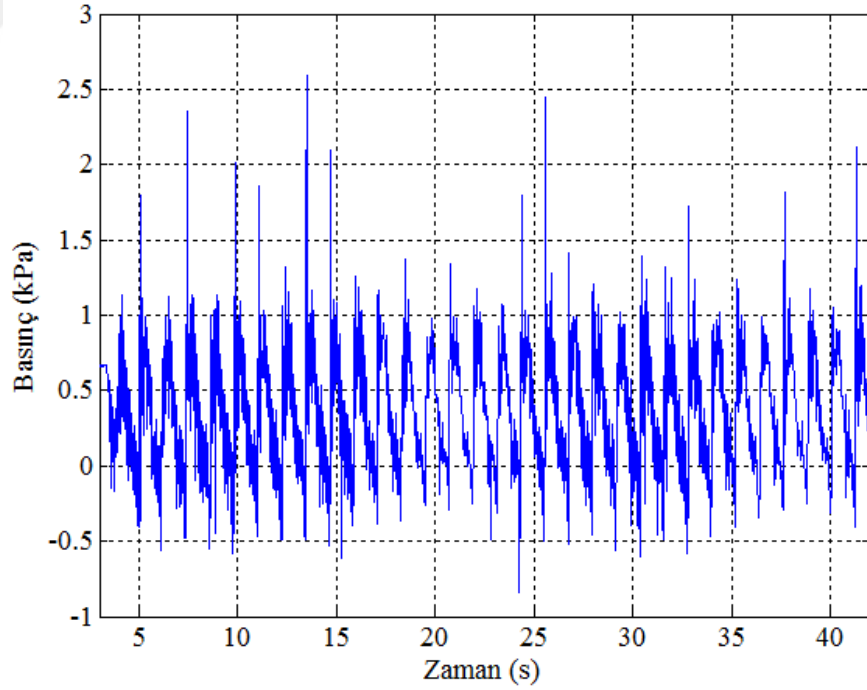
(b)

Şekil 4.21 Perdesiz/şamandıralı tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)

%70 su ile dolu perdesiz/şamandıralı tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.22’ de sunulmuştur.



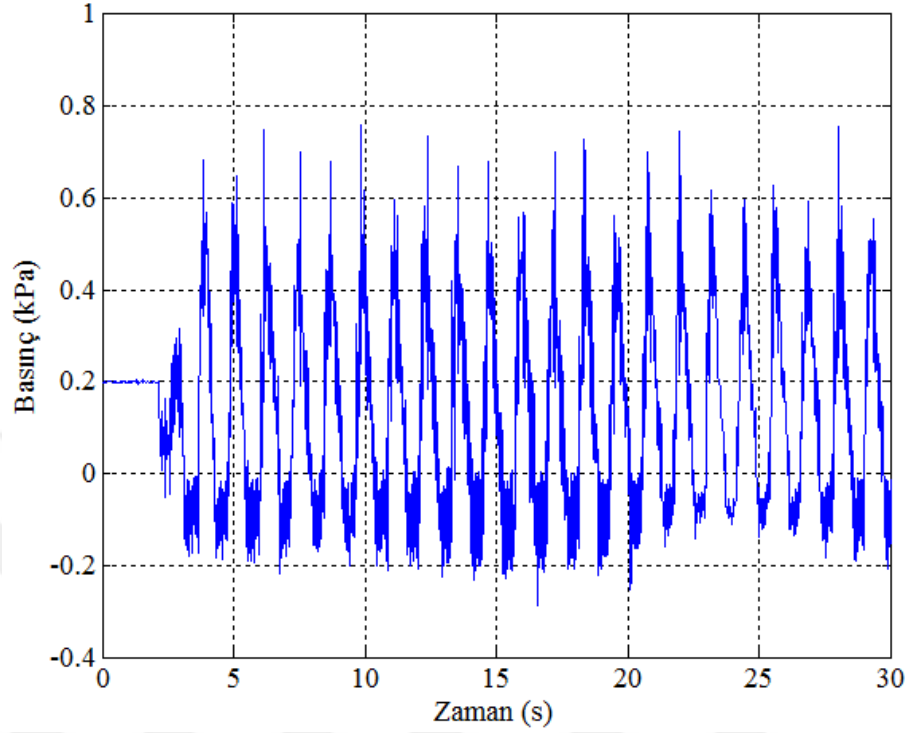
(a)



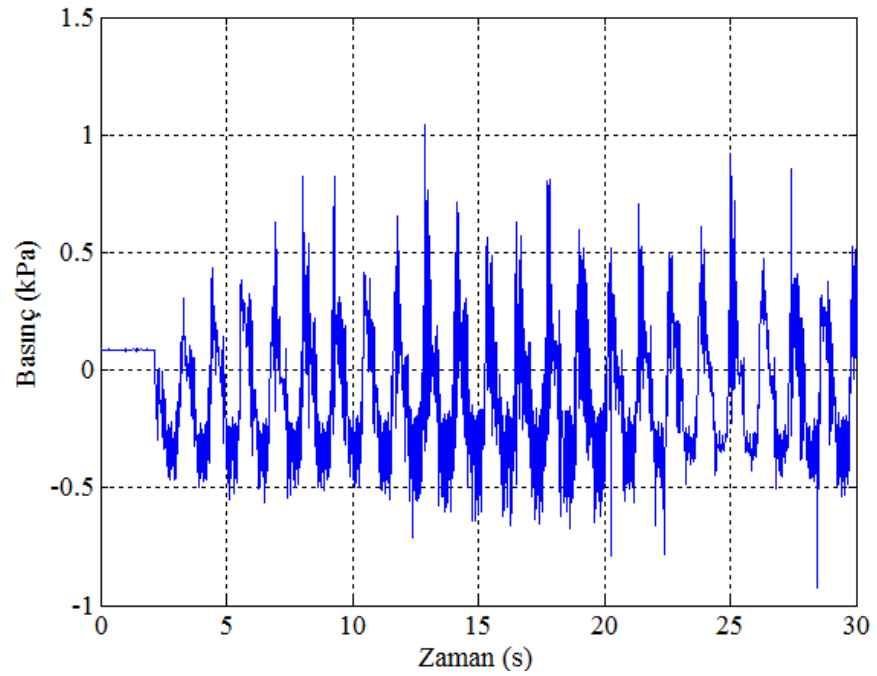
(b)

Şekil 4.22 Perdesiz/şamandıralı tankın %70 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)

%50 su ile dolu perdeli/şamandıralı tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.23' de sunulmuştur.



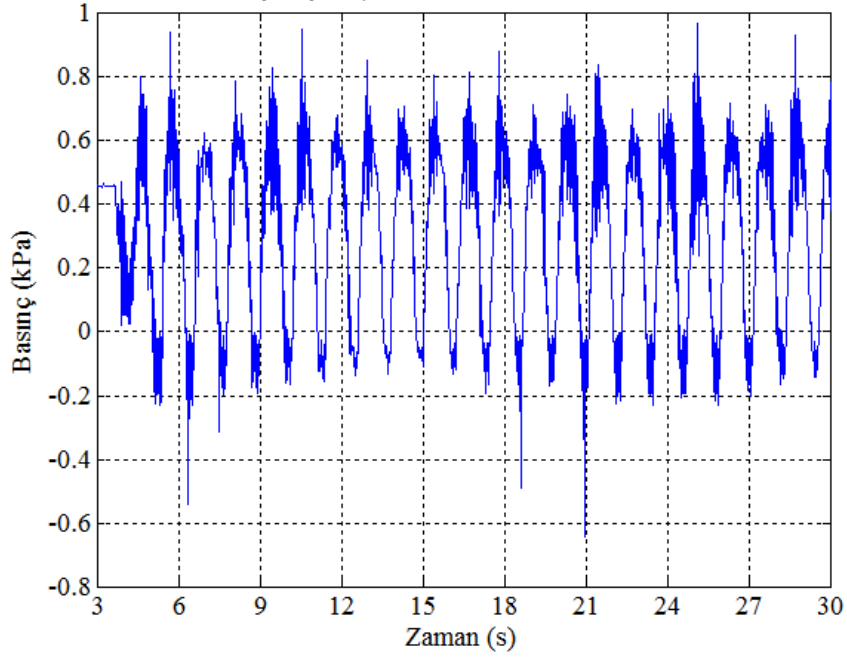
(a)



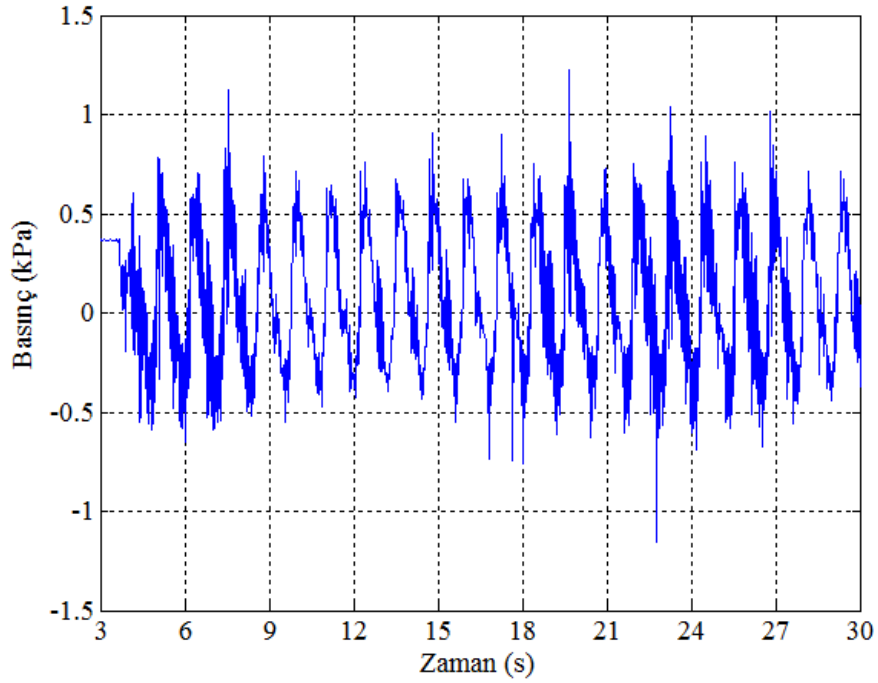
(b)

Şekil 4.23 Perdeli/şamandıralı tankın %50 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)

%70 su ile dolu perdeli/şamandıralı tankın x yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri Şekil 4.24' de sunulmuştur.



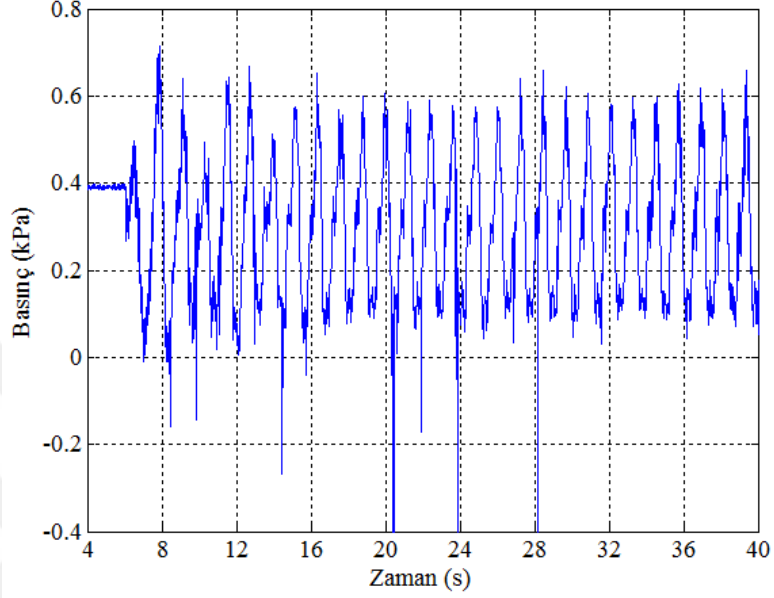
(a)



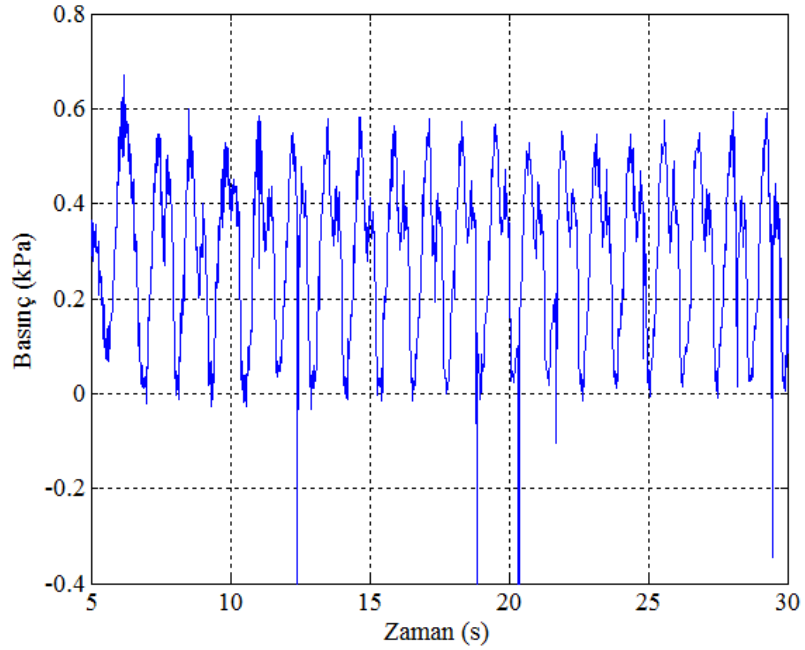
(b)

Şekil 4.24 Perdeli/şamandıralı tankın %70 doluluk oranında x yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (a. x-25 noktası, b. x+25 noktası)

%50 su ile dolu perdesiz/şamandırasız ve perdesiz/şamandıralı tankın y yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' da sunulmuştur.

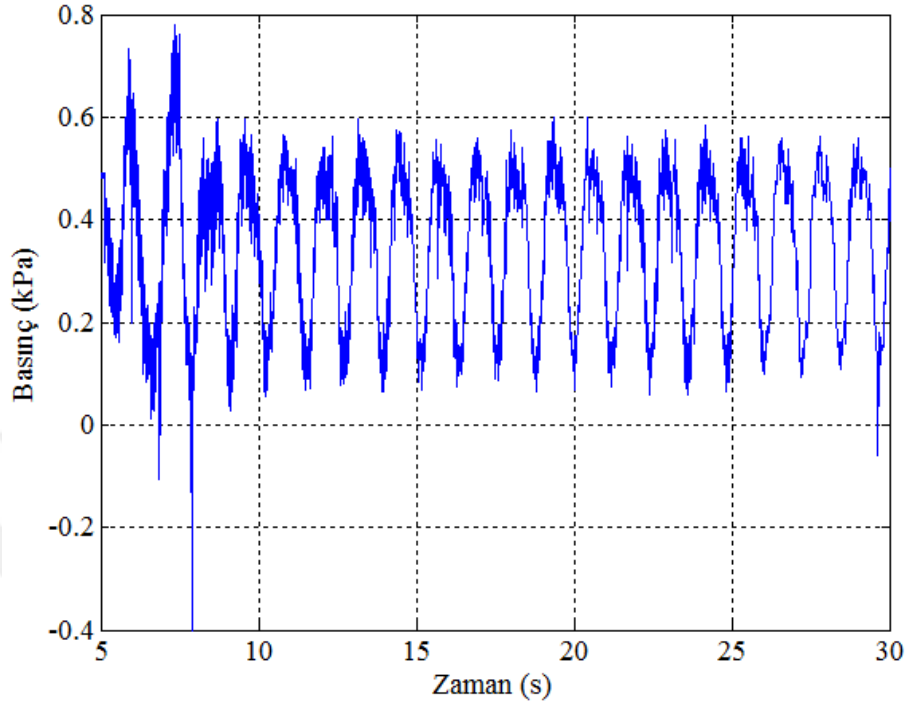


Şekil 4.25 Perdesiz/şamandırasız tankın %50 doluluk oranında y yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (y-25 noktası)



Şekil 4.26 Perdesiz/şamandıralı tankın %50 doluluk oranında y yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (y-25 noktası)

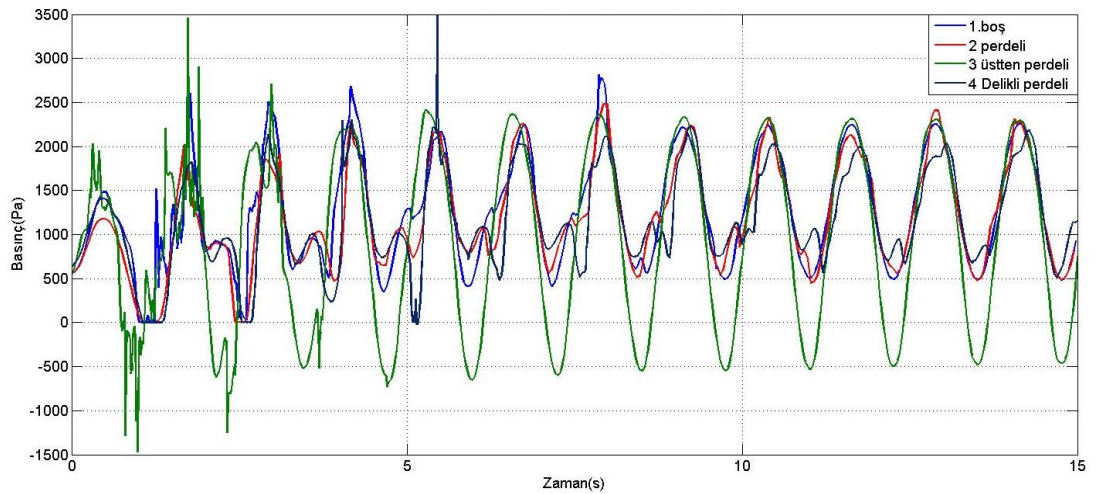
%70 su ile dolu perdesiz/şamandıralı tankın y yönünde hareket ettirilmesi sonucunda elde basınç grafikleri sırasıyla Şekil 4.27’ da sunulmuştur.



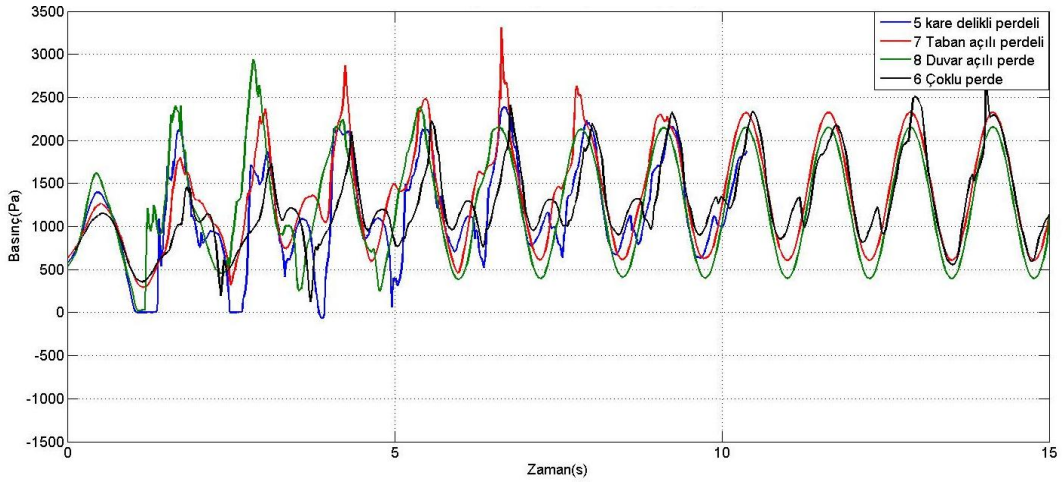
Şekil 4.27 Perdeli/şamandıralı tankın %70 doluluk oranında y yönünde hareketi ile elde edilen basınç-zaman grafiği (y-25 noktası)

Yakıt tankı ile ilgili analizler tamamlandıktan sonra farklı perde yapılarının tankın çalkalanma hareketi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla Çizelge 3.3’ de verilen farklı perde yapıları kullanılarak analizler yapılmıştır. Tez çalışmasının başlangıcında yakıt tankının mevcut perdesinin yerine analizlerden sonra elde edilen verileri de göz önünde bulundurarak farklı bir perde tasarımlarının incelenerek tekrar analizlerin mevcut tank yapısı kullanılarak gerçekleştirilmesi planlanmaktaydı. Fakat yakıt tankı ve perde geometrisinin karmaşık yapısı nedeni ile yapılan her bir analiz yaklaşık 1400000-2100000 meshten oluşmaktadır. Analizlerin çözülmesi de mevcut bilgisayarlar ile 10-12 gün sürmekte idi. Tezin son analiz aşaması olan bu kısımda da “Materyal ve Yöntem” kısmında belirtildiği gibi yakıt tankı hacminde prizmatik bir tank üzerinde farklı perde geometrileri denenerek çalkalanma senaryoları oluşturularak basınç-zaman grafikleri elde edilmiştir. İlk 8 senaryoda giriş hareket değeri olarak yakıt tankının hareket genliği ve frekansı kullanılmıştır. İlk 8 senaryo analiz edilerek karşılaştırmalı grafikleri aşağıda sunulmuştur.

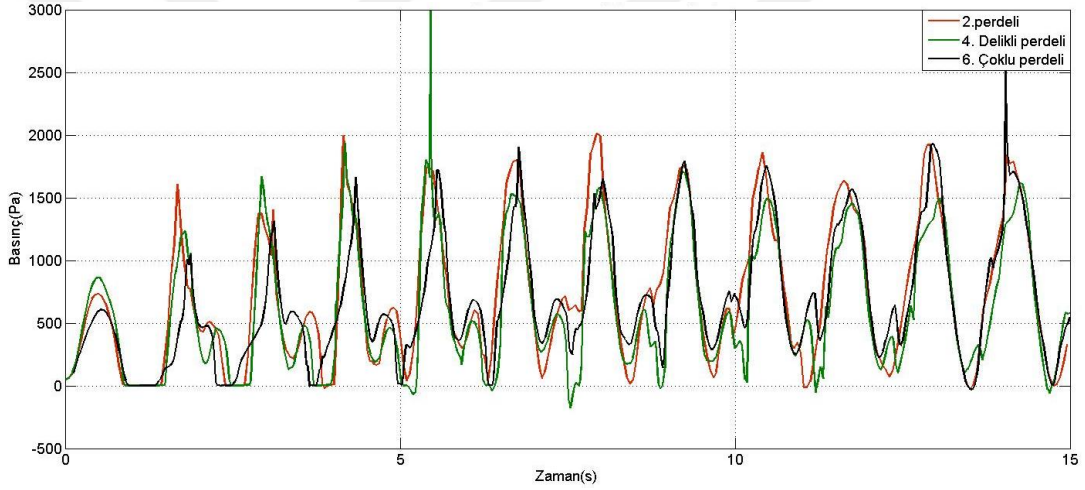
Şekil 4.28’de ve Şekil 4.29’ da Şekil 3.4’ de gösterilen tankın P2 noktasında oluşan basınç değişimleri sırasıyla 1-4 arası ve 5-8 arası senaryoları için sunulmuştur. Perdeli ve perdesiz tank basınç değişimleri incelenebilir. Grafiklerden perde yapılarına bağlı olarak basınç değerlerinde geçici durum davranışını tamamladıktan sonra çok fazla bir fark oluşmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin sistem giriş sinyalinin genliğinin literatürde incelenen çalışmalar göre oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Çalkalanma davranışında harmonik giriş sinyali genliği sistemin davranışı üzerinde büyük öneme sahiptir. Giriş genliği büyük olduğu için sistem içindeki sıvı yakıt tankının tavanına ulaşarak hidrolik sıçrama (splashing) olayına dönüşerek serbest yüzey bütünlüğünü kaybetmektedir. Şekil 4.28’ den görüldüğü üzere delikli perdeli ve perdeli yapıların enerjiyi geçici ve kalıcı durumda daha iyi sönümleyebildikleri söylenebilir. Perdenin üstten monte edildiği yapıda ise basınç değişiminin daha da arttığı herhangi bir sönümlenme etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.29’ da ise kare delikli ve çoklu perdeli yapı diğer ikisine yapıya göre daha iyi görünmektedir. Şekil 4.30’ da perdeli, çoklu perdeli ve delikli perdeli tankta oluşan basınç değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada geçici durumda çoklu perdeli yapının, geçici durum davranışından sonra delikli perdeli yapının basıncı daha etkili bir şekilde azaltabildiği görülmüştür. Bu genlikte delikli perdenin diğer perdeler göre basıncı % 5-10 seviyelerinde daha düşüktür. Ancak çalkantı çok şiddetli olduğu için perdelerin etkinliği çok fazla gözlenmemektedir.



Şekil 4.28 P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (1-4 numaralı senaryolar için)

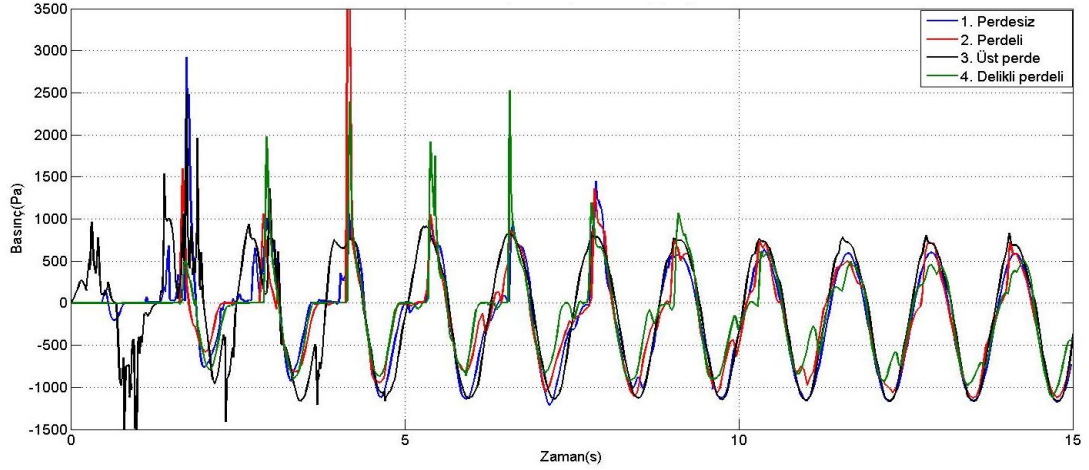


Şekil 4.29 P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (5-8 numaralı senaryolar için)



Şekil 4.30 2. 4. ve 6. senaryoları için P3 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiklerinin karşılaştırılması

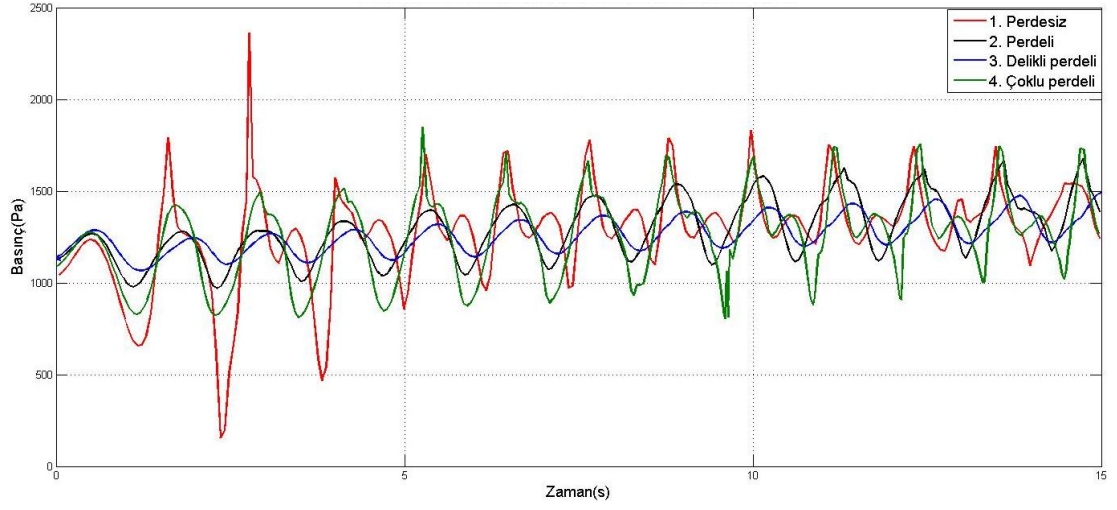
Şekil 4.31' de ilk dört senaryo için tankın tavanında yer alan P5 noktasındaki basınç değişimleri sunulmuştur. Yapılan analizlerde giriş hareketinin genliğinin yüksek olmasından ve sıvının derinliğine de bağlı olarak dolaylı çalkalanma hareketinin oldukça şiddetli olduğu, akışkanın tankın tavanına da ulaştığı yaklaşık 8 s' ye kadar yüksek anlık basınç değerleri oluşturduğu ve hidrolik sıçramalarla beraber tank tavanında da sürekli olarak akışkanın temas ettiği ve basınç değişimi yarattığı görülmüştür.



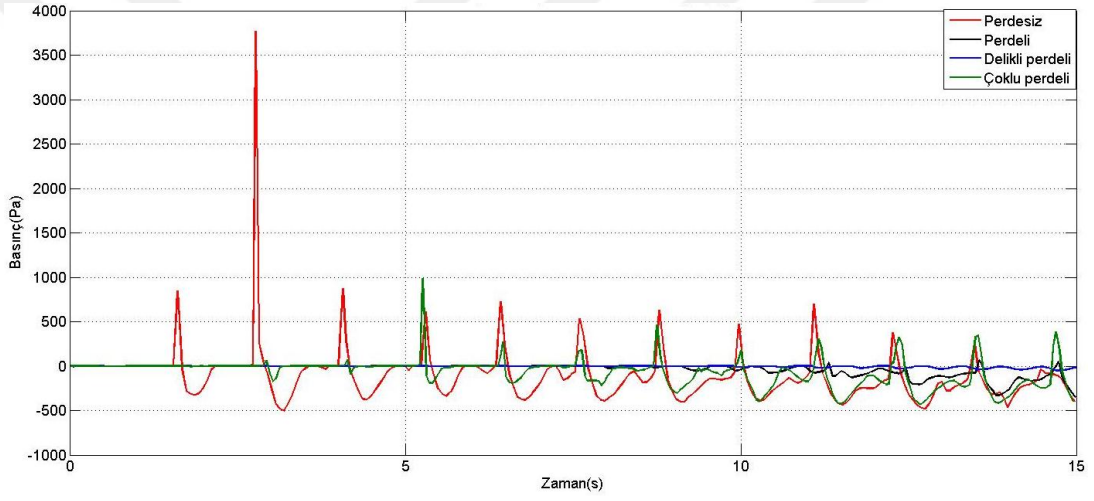
Şekil 4.31 P5 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (1-4 numaralı senaryolar için)

Prizmatik bir tankta farklı perde yapılarının incelendiği ilk sekiz analizde hareket genliği çok yüksek olduğu için çalkalanma da şiddetli olmaktadır. Bu sebeple tankın yer değiştirme genliği 0,02 m alınarak daha düşük genlikli bir harmonik hareket ile çalkalanma davranışı perdesiz, perdeli, delikli perdeli ve çoklu perdeli yapılar için tekrar incelenmiştir. Burada açısal frekans doğal frekansa eşit ($\omega=\omega_n$) alınmıştır. Doğal frekans değeri tank boyutlarına ve akışkan seviyesine bağlı olarak numaralı denklem yardımı ile hesaplanmıştır.

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33' de perdesiz, perdeli, delikli perdeli ve çoklu perdeli yapılara sahip tankların sırasıyla P2 ve P5 noktalarının basınç değişim eğrileri sunulmuştur. Burada perdeli tasarımların etkinlikleri oldukça belirgin şekilde gözlemlenebilmektedir. Delikli perdeli yapının diğer perde yapılarına göre enerji daha iyi sönümlenerek daha iyi bir dinamik performans gösterdiği söylenebilir. Tank tavanında bulunan P5 noktasına ait grafikler incelendiğinde sistemde kullanılan perde yapıları çalkalanma hareketini kontrol altına aldıkları ve sönümleme yapabildikleri için tavanda yüksek değerli anlık basınç değişimi oluşmamaktadır. Delikli perdeli tankta ise akışkan tavana hiç ulaşmamaktadır.



Şekil 4.32 P2 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (küçük genlikli hareket)



Şekil 4.33 P5 nolu basınç noktasının basınç-zaman grafiği (küçük genlikli hareket)

5.SONUÇ

Bu çalışmada bir binek araç yakıt tankındaki çalkalanma olayı perdesiz, perdesiz/şamandıralı ve perdeli/ şamandıralı gibi farklı tasarım şekillerine göre çeşitli yakıt doluluk oranlarında teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Teorik çalışmalarda analiz yöntemi olarak hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar ise yakıt tankının üretimini yapan firmada bulunan çalkalanma test düzeneğinin uygun şekilde düzenlenmesiyle, prototip yakıt tankları kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca mevcut tank hacminde ve yaklaşık tank boyutları da dikkate alınarak dikdörtgen prizma şeklinde bir tank tasarlanmış ve farklı perde yapılarının çalkalanma hareketi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu analizlerde düşük ve yüksek genlikli hareketin çalkalanma davranışı üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Tez çalışmasında öncelikle geniş kapsamlı literatür araştırması yapılmış ve bu incelenen eserler arasından salınım yapan prizmatik bir tank sistemi seçilerek bu çalışmanın analiz sonuçları ile karşılaştırmalı bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma ile analiz çalışma sonuçları perdeli ve perdesiz durumlar için karşılaştırılmıştır. Elde edilen basınç-zaman grafikleri birbiriyle uyumlu çıkmıştır.

Yakıt tankı, tank çalkalanma standartlarındaki çalışma koşulları da dikkate alınarak %50-70 doluluk oranlarında çalkalanmaya maruz bırakılmıştır. Tankın enine ve boyuna çalkalanma durumları da dikkate alınarak teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her iki çalkalanma hareketinde de perdeli/şamandıralı yapının basınç dağılımını düzenleyici, ani yüksek değerli hidrolik sıçramaları engelleyici etkisinin olduğu görülmüştür.

Yakıt tankının perdesiz/ şamandırasız analizinde tank içinde çalkalanma davranışı boş tank yapısı için incelenmiş, sonuçlar perdeli ve şamandıralı durumlarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Perdeli/ şamandıralı tank yapısının boş haldeki tanka göre basınç dağılımlarını daha dengeli hale getirdiği ve hidrolik sıçramaları engellediği ve hareketi sönümlendiği görülmüştür.

Büyük boyutlu bazı tank sistemlerinde perdesiz halde tank içindeki basınç değeri aracın dinamik davranışına olumsuz yönde etki edecek boyutlara ulaşabilmektedir. Çalışmamızda her ne kadar basınç değerleri büyük boyutlu tanklara göre düşük olsa da çalkalanma gürültüsü açısından değerlendirildiğinde perdesiz durumda daha yüksek ses oluşturmakta olduğu ve perde yapısı ile bu gürültünün önemli oranda azaldığı deneyler sırasında tespit edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları ile analiz sonuçları beraber değerlendirildiğinde genel olarak birbiriyle uyumlu sonuçlar çıktığı söylenebilir.

Farklı perde yapılarının çalkalanma hareketindeki etkisini incelemek için düşük seki farklı perde yapısı ile yüksek genlikli hareket için analiz çalışması yapılmıştır. Yüksek genliklerde perdeli yapıların da çalkalanma hareketini yeterli düzeyde sönümleyemediği görülmüştür. Perdeli yapı kullanılsa bile akışkan tavana ulaşmakta ve akışkanın bütünlüğü bozulmaktadır. Çalışmadaki genlik değeri literatürde yer alan çalışmalara göre yüksek değerlerdedir. Bu sebeple perdelerin etkinliği perdesiz, perdeli, delikli perdeli ve çoklu perdeli tank yapıları için düşük genlikli hal için de incelenmiştir. Tank sistemine göre beş kat daha düşük bir genlikte ve kısmen daha düşük bir frekansla yapılan analizlerde delikli perdeli yapının enerjiyi daha iyi sönümleyebildiği görülmüştür. Prizmatik tankın düşük frekanslarda yapılan analiz çalışmasında perdeli ve özellikle delikli perdenin etkinliği %40-50 oranlarında olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlara dayalı olarak binek araçlarında yakıt tanklarında kullanılan perde geometrilerinde delikli perdeler tercih edilmelidir fakat tank boyutu büyüdükçe yani kargo gemileri gibi göreceli olarak daha düşük ivme ile hareket eden araçların tanklarında çoklu perdeli tasarımlar kullanılmalıdır yorumu yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, H., Ünal, N. E., Aksoy, H. 2013.** An experimental investigation of the effects of the ring baffles on liquid sloshing in a rigid cylindrical tank. *Ocean Engineering*, 59: 190-197.
- Akyıldız, H., Ünal, N. E. 2006.** Sloshing in a three-dimensional rectangular tank: Numerical simulation and experimental validation. *Ocean Engineering*, 33:2135-2149.
- Akyıldız H., Ünal N.E., Bağcı T. 2012.** Rijit Silindirik Bir Tankta Sıvı Çalkantısının Deneysel İncelenmesi. İMO Teknik Dergi, 6089-611.
- Akyıldız H., M.S. Çelebi. 2001.** Numerical Computation of Pressure in a Rigid Rectangular Tank due to Large Amplitude Liquid Sloshing. *Turk J. Engin. Environ. Sci.* 25: 659– 674.
- Aliabadi, S., Johnson, A., Abedi, J. 2003.** Comparison of finite element and pendulum models for simulation of sloshing. *Computers & Fluids*,32: 535-545.
- Anderson, J.G., Turan, Ö.F., Semercigil, S.E. 2001.** Expperiments to control sloshing in cylindrical containers. *Journal of Sound and Vibration*, 240:398-404.
- Chen, J.K.L., Noguchi,H., Koshizuka,S. 2007.** Fluid–shell structure interaction analysis by coupled particle and finite element method. *Computers & Structures*, 85:688-697.
- Chen, Y. G., K. Djidjeli, Price W. G. 2009.** Numerical simulation of liquid sloshing phenomena in partially filled containers". *Computer and Fluids Journal*. *Computers & Fluids*, Volume 38, Issue 4, April 2009, Pages 830-842
- Cho, J.R., Lee, H.W. 2004.** Numerical study on liquid sloshing in baffled tank by nonlinear finite element method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 193:2581-2598.
- Chitkara T.K., Kittur, Z., Soman R. 2013.** Computational Simulation of Fuel Tank Sloshing using CFD Techniques. *SAE International* doi:10.4271/2013-01-2868.
- Çengel Y. Cimbala J.M. 2005.** Akışkanlar Mekaniği, Temelleri ve Uygulamaları. Güven yayıncılık. 938s.

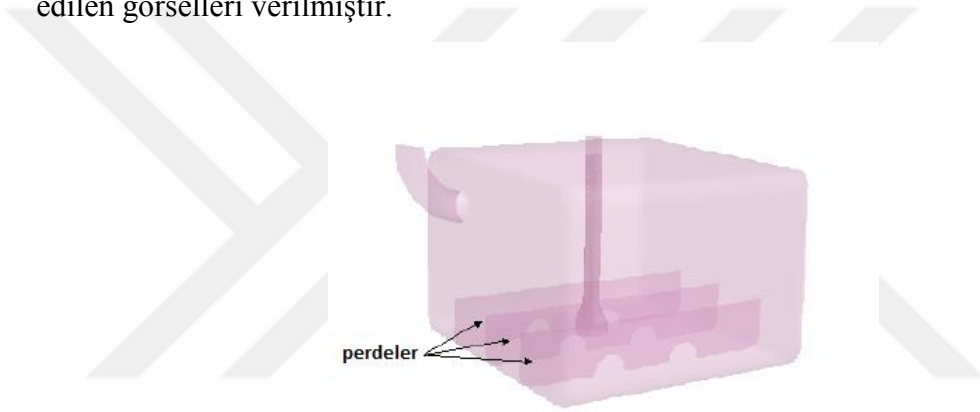
- Djavareshkian, M. H., Khalili, M. 2006.** Simulation of Sloshing with the Volume of Fluid Method. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 2:299-308.
- Erşan, H.A. 2012.** Dış türbülansın akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerine etkilerinin sayısal olarak araştırılması. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.184 s.
- Hirt, C.V., Nichols, B.D. 1981.** Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational physics*, 39: 201-225.
- Hoi Sum I., Cleghorn W.L., Mills J.K.,** Simulation Studies of Sloshing in a Fuel Tank, *SAE technical paper series*, 2002-01-0574, doi:10.4271/2002-01-0574.
- Ibrahim, R.A., Pilipchuk, V.N., Ikeda, T. 2001.** Recent advances in liquid sloshing dynamics. *Appl. Mech. Rev.* 54 (2): 133–199.
- Ibrahim, R.A., 2005.** Liquid Sloshing Dynamics: Theory and Applications. M. Cambridge University Press, New York.
- Jadon V., Agawane G., Baghel A., Balide V., Banerjee R., Getta A., Viswanathan H., Awasthi A.** An Experimental and Multiphysics Based Numerical Study to Predict Automotive Fuel Tank Sloshing Noise. SAE Technical Paper 2014-01-0888, 2014, doi:10.4271/2014-01-0888.
- Jaiswal OR, Kulkarni S., Pathak P. 2008.** A study on sloshing frequencies of fluid-tank system” The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Jung, J. H., Yoon, H. S., Lee, C.Y., and Shin, S. C., (2012).** Effect of the vertical baffle height on the liquid sloshing in a threedimensional rectangular tank. *Ocean Engineering*. 44: 79-89
- Kamiya, K., Yamaguchi, Y., Vries, E. 2002.** Simulation Studies of Sloshing in a Fuel Tank. SAE Technical Paper 2002-01-0574, 2002, doi:10.4271/2002-01-0574.
- Kingsley, T.C. 2005.** Multidisciplinary Design and Optimisation of Liquid Containers for Sloshing and Impact. University of Pretoria. 133. S
- Nichkawde, C., Harish, P.M., Ananthkrishnan, N. 2004.** Stability analysis of a multibody system model for coupled slosh–vehicle dynamics. *Journal of Sound and Vibration*, 275:1069-1083.

- Pal P., Bhattacharya S.K. 2010.** Sloshing in partially filled liquid containers: Numerical and experimental study for 2-D problems. *Journal of Sound and Vibration* 329. pp: 4466–4485.
- Reed, D., Yu, J., Yeh, H., Gardarsson, S. 2008.** Investigation of tuned liquid dampers under large amplitude excitation. *Journal Of Engineering Mechanics*, 124:405-413.
- Reis M., Y. Pala. 2006.** Akışkan kargo taşıyan aracın fren dinamiğinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 12(3), s:303-312.
- Reis M. 2004.** Harici yakıt tanklarındaki sıvı hareketinin araç dinamiğine etkisi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. 74. S
- Rumold, W. 2001.** Modeling and simulation of vehicles carrying liquid cargo. *Kluwer Academic Publishers*, 5:351-374.
- Umur H. 2009.** Akışkanlar mekaniği. Dora yayıncılık. 553s.
- Hou L., Li F., Wu C. 2012** A Numerical study of liquid sloshing in a two-dimensional tank under external excitations. *J. Marine Sci. Appl.*, 11: 305-310.
- Tomaç, M.N. 2005.** Turbo makinelerin akış karakteristiklerinin sayısal incelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 104s.
- Xue M., Lin,P. 2011.** Numerical study of ring baffle effects on reducing violent liquid sloshing. *Computers & Fluids*, 52:116-129.
- Vaishnav, D., Dong, M., Shah, M., Gomez, F. 2014.** Investigation and Development of Fuel Slosh CAE Methodologies," *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.* 7(1):2014, doi:10.4271/2014-01-1632.
- Xue-lian Z., Xian-sheng L. ve Yuan-yuan R. 2012.** Equivalent Mechanical Model for Lateral Liquid Sloshing in Partially Filled Tank Vehicles. Hindawi Publishing Corporation, *Mathematical Problems in Engineering*, 2012. makale ID 162825, 22 s.
- Wiesche S. 2003.** Computational slosh Dynamics: theory and industrial application. *Computational mechanics*. 30: 374-387.

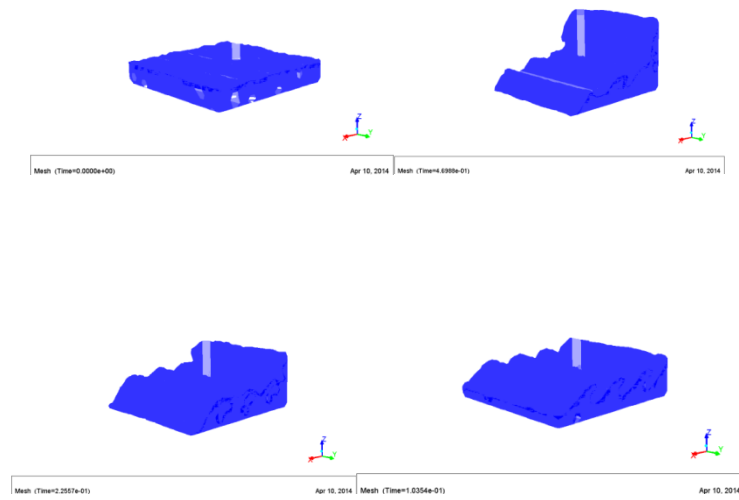
EK 1. Ansys Fluent üzerinde problemi anlama ve analiz süreci

Aşağıda programın eğitim dosyalarında sunulan çalışma hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Eğitim dosyasındaki adımlar takip edilerek modelleme hakkında bilgi edinilmiştir.

Bu örnek prizmatik bir tanka tek yönde $t=1.5$ sn, $a=9.81$ m/ s² büyüklüğünde darbe sinyali şeklinde bir ivme ile hareket verilmesi sonucunda tankın içindeki sıvının hareketinin görsel olarak nasıl elde edileceğini göstermektedir. Şekil ek 1.1' de örnek olarak incelenen perdeli tank yapısı gösterilmiştir. Şekil ek1.2' de de bu eğitim dosyasına göre elde edilen çalkalanma hareketinin çeşitli zaman değerlerinde elde edilen görselleri verilmiştir.



Şekil ek 1.1. Eğitim dosyasındaki tank yapısı



Şekil ek 1.2. Ansys/Fluent ile gerçekleştirilen ilk çalkalanma analizi

EK 2: HAD analizinde tankın hareketini veren program

```
#include "udf.h"

#define w 5.81 /* Frequency of the vibration in rad/s */

#define A -0.67 /* Maximum aceleration */

#define Durac 8.0 /* Duration of the vibrationin seconds */

DEFINE_SOURCE(GravDin,c,t,dS,eqn)
{
    real time;
    real source;

    time=CURRENT_TIME;

    if(time<Durac)

        source=A*sin(w*time)*C_R(c,t);

    else

        source=0;

    return source;
```


EK 3- ES31100-01 mühendislik standardı çalkalanma testi kriteri

Yakıt deposuna ait standartlarda mazot veya benzin akışkan depolayan yakıt tankları için ES31100-01 numaralı mühendislik standardı kullanılmaktadır. Bu standartla ilgili temel bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Bu standart oda sıcaklığında benzin, dizel vb. tipte akışkan taşıyan yakıt tanklarının özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu standart ile genel ihtiyaçlar, çevresel, performans, sızdırmazlık, çalkalanma, tank düşme dayanımı, yakıt buharlaşma, gürültü ve kalite (kaynak, temizlik, montaj kalitesi) performansı standartları ve test şartları belirtilmiştir. Ayrıca titreşim, vakum, çalkalanma, paslanma, termal dayanım ile ilgili yapılacak testler de belirtilmiştir. Burada titreşim, çalkalanma ve gürültü ile ilgili standart hakkında bilgi verilmiştir.

Tank titreşim dayanımı testinde tankın %84'ünden fazlası su ile doldurulur. İlk testte 3G şiddetinde 13 Hz frekansında ivme ile 150000 kere titreşim hareketi yaptırılır. İkinci testte ise 30 m/s² şiddetinde 30 Hz frekansında bir ivme değeri ile 4 saat aşağı/yukarı, 2 saat sağa sola ve 2 saat ileri geri titreşim hareketi yaptırılır. Bu test sonunda tankta herhangi bir sızıntı, kırılma vb. bozulmalar olmamalıdır.

Yakıt çalkalanma dayanımı testinde tankın %70' i dizel yakıt ile doldurulur. Tank 0,1 m genliğinde 0,8 Hz frekansında ileri geri hareket ettirilir. Bu test sonucunda herhangi bir sızıntı, kırılma, parçalarda hasar vb. durumlar gözlenmemelidir.

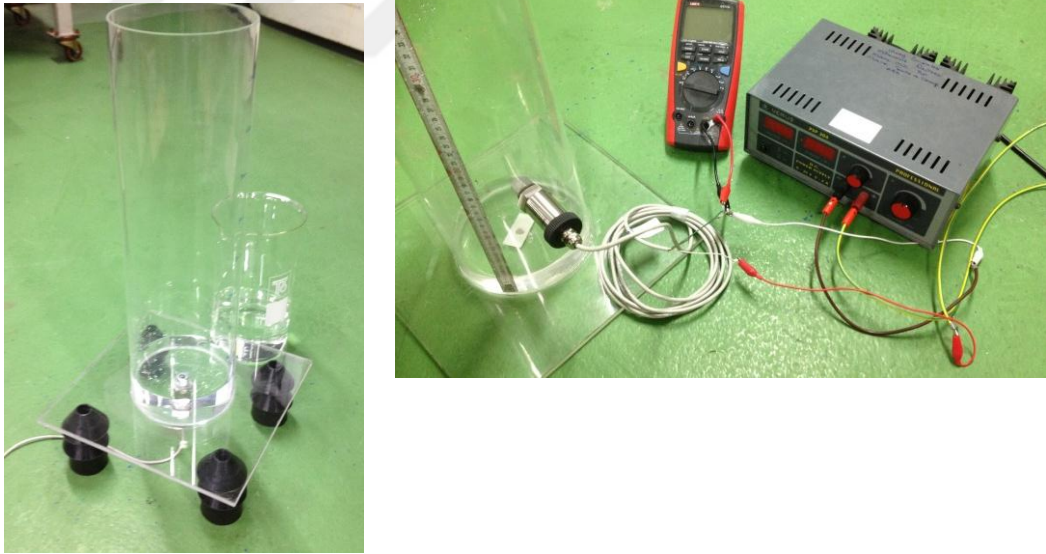
Yakıt çalkalanma gürültüsü testinde tankın %80-100 doluluk oranında tank yatay olarak 0.2G, 0.4G ve 0.6G genlikli ivme değerleri ile ileri/geri hareket ettirilir. İleri hareket geriye 30 eğimle, geri harekette ileriye 30 eğimle sonlandırılır. Basınç değişimi 1 kPa' dan az olmalıdır. Bu testlerde perde kısmından herhangi bir titreşim sesi oluşmamalıdır.

EK 4. Basınç algılayıcılarının kalibrasyonu

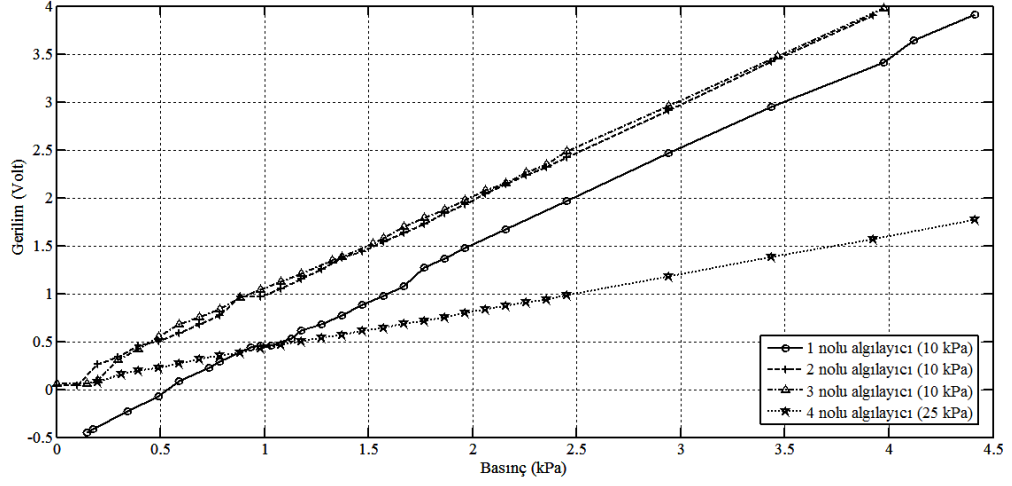
Sistemde kullanılan basınç algılayıcılarının kalibrasyonu için Şekil X1' de gösterilen düzenek kullanılmıştır. Bu düzende bir adet su tankı (50 cm yükseklikte), şerit metre, multi metre, güç kaynağı ve basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Öncelikle basınç algılayıcıları sırası ile su tankının tabanına bağlanmıştır. Tanka su ilave edilerek tankın içindeki şerit metre yardımıyla sıvı yüksekliği ve sıvı seviyesinin değişimine bağlı olarak değişen gerilim değeri not edilmiştir. İkinci aşamada aynı deneyler basınç algılayıcılarının su tankının yan yüzeyine monte edilerek tekrar edilmiştir. Sıvı seviyesine bağlı olarak oluşan basınç değişimi;

$$P = \rho gh \quad (\text{ek 4.1})$$

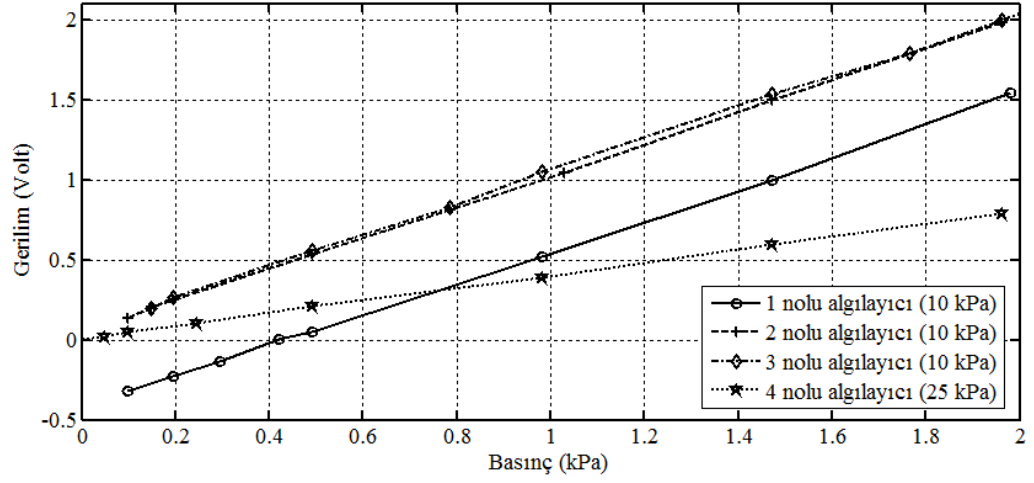
Formülü yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre düzenlenmiş grafikler Şekil ek 4.1 ve Şekil ek 4.2' de sunulmuştur.



Şekil Ek 4.1. Basınç algılayıcıları kalibrasyon test düzeneği

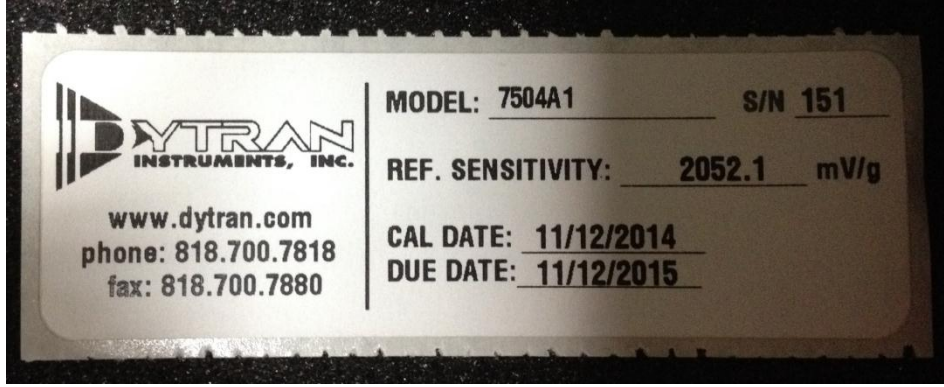


Şekil ek 4.1. Basınç algılayıcılarının su tankının tabanına yerleştirildiği hal için basınç-gerilim eğrileri



Şekil ek 4.2. Basınç algılayıcılarının su tankının yan yüzeyine yerleştirildiği hal için basınç-gerilim eğrileri

EK 5. İvme algılayıcısının kalibrasyon sertifikası



Şekil Ek 5.1. ivme algılayıcısı kalibrasyon sertifikası

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eyüp KILIÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : 30.06.1989
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Orhaneli Türkan Sait Yılmaz Anadolu Lisesi, 2007
Lisans : U.Ü. Mühendislik fakültesi Makine Müh. 2011
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : FCB Ar-Ge/2013
İletişim (e-posta) : eyup-kilic@windowslive.com
Yayınları* : ---