

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 015904 (292-301)  
DOI: 10.5578/fmbd.54008

AKU J. Sci. Eng. 17 (2017) 015904 (292-301)

Araştırma Makalesi / Research Article

## Bir Binek Araç Yakıt Tankının Çalkalanma Davranışının Deneysel İncelenmesi

Elif ERZAN TOPÇU<sup>1</sup>, Eyüp KILIÇ<sup>2</sup>, Kadir ÇAVDAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059, Bursa, TÜRKİYE.

<sup>2</sup>Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Görükle, 16059, Bursa, TÜRKİYE.

erzan@uludag.edu.tr, cavdar@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi:24.11.2016

; Kabul Tarihi:04.04.2017

### Anahtar kelimeler

Yakıt tankı;  
Çalkalanma; Deneysel  
düzeneği tasarımı;  
basınç değişimi; perde

### Özet

Bu çalışmada bir binek araç yakıt tankı içinde meydana gelen çalkalanma hareketi deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle yakıt tankının çalkalanma deneylerinin yapılacağı deney tesisatının tasarımı ile ilgili bilgi verilmiştir. Tankın farklı doluluk oranları ve uyarı yönleri için perdeli ve perdesiz tipteki yakıt tanklarında deneyler yapılmıştır. Tanka sinusoidal giriş verilmiş ve tank üzerindeki çeşitli noktalardan alınan basınç sinyalleri ile tankın ivme sinyali toplanarak yorumlanmıştır.

## Experimental Investigation of a Vehicle Fuel Tank Sloshing Behavior

### Keywords

Fuel tank; sloshing;  
experimental system  
design; pressure  
changes; baffle

### Abstract

In this study, sloshing behavior of a passenger car's fuel tank is investigated experimentally. Firstly, detailed information is given about experimental system. After studies is continued on the baffled and unbaffled tanks. The system behavior is also examined for different fluid filling rate, different excitation conditions such as transverse and longitudinal. Sinusoidal input is given as input to the system and acceleration and pressure signals taken from different points of the tank are evaluated.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

İçinde bir taşıtın çalışması için gerekli olan yakıtı depolayan tanklara “yakıt tankı” denir. Bir yakıt tankı sistemi temel olarak dolun sistemi, yakıtın saklanması için uygun ortam, ölçüm- kontrol sistemi, havalandırma sistemi ve motor besleme elemanlarından oluşmaktadır.

Yakıt tanklarının çok değişik boyutlarda ve farklı malzemeler kullanılarak üretilmesi mümkündür. Taşıtlarda yakıt tankının araç içinde kaplayacağı yer, tankın yerleşimi, yakıt türü önem arz ettiğinden her tipteki araç için değişik yakıt sistemleri tasarlanabilmektedir. 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 konuları önem arz etmektedir. Yüksek ivmelenmeye sahip bir araç düşünüldüğünde, yakıt tankındaki çalkalanma aracın ağırlık merkezinin yerini değiştirebilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Bu da yakıt tankının boyutlarına göre aracın dinamik davranışını negatif yönde etkileyebilecek sonuçlar meydana getirebilmektedir. Dolayısıyla çalkalanmayı analiz ederek, bu esnada oluşan kuvvetlerin azaltılmaya çalışılması çözülmesi gereken problemlerden biridir. Son senelerde otomotiv endüstrisinde, taşıt titreşim ve gürültü kaynaklarının daha ayrıntılı olarak incelenmeye başlaması ile yakıt tanklarındaki çalkalanma konusu da önem kazanmaya başlamıştır (Jadon ve ark. 2014, Wiesche 2003, Kingsley 2005).

İçi kısmi olarak sıvı akışkan ile dolu bir kabın sıvı yüzeyinde serbest sıvı yüzeyi oluşmaktadır. Bu yüzeyin her hareketi çalkalanma olarak

tanımlanmaktadır. Tank hareketinin periyodu sıvının doğal frekansına yakın ise kısmı dolu tankta büyük yükler oluşabilir. Kaba dışarıdan gelen uyarının şekline ve kabın geometrisine göre serbest sıvı yüzeyinin davranışı değişmektedir (İbrahim ve ark. 2001, Akyıldız ve Ünal 2005, Akyıldız ve ark. 2012). Çalkantı hareketinin genliği; uyarı hareketine kap içindeki sıvının derinliğine, sıvının özelliklerine ve kabın geometrisine bağlı olarak değişir (Akyıldız ve ark. 2012). Uyarı genliği arttıkça, tank içindeki çalkalanma olayı türbülans, dalga kırılması ve üç boyutlu etkilerden dolayı daha şiddetli olmaktadır (Panigrahy ve ark. 2009). 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 açabilmektedir. 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).

Çalkalanma konusunda deneysel ve sayısal yöntemleri içeren pek çok yayın bulunmaktadır. Makalenin literatür araştırması, çalışmanın kapsamına uygun olması açısından daha çok deneysel çalışmaları içeren yayınların incelenmesi ile sınırlandırılmıştır. Çalkalanma hareketi oldukça karmaşık yapıya bir davranış göstermektedir. Bu sebeple deneysel çalışmalar çalkalanma hareketini incelemek ve çalkalanma hareketini azaltmak için kullanılan perde yapılarının sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek için birçok araştırmacı tarafından güvenilir bir yöntem olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Wiesche (2003) farklı geometrilere sahip yakıt tanklarının içindeki akışkanların çalkalanma hareketlerini sayısal olarak hesaplamak için teorik çalışmalardan ve endüstriyel uygulamalardan örneklerle incelemeler yapmıştır. Serbest yüzey akışını hesaplamak için akışkan hacim yöntemini (VoF) kullanmış, seçilen yöntemin verimliliğini ve hata seviyesini görmek için deney düzeneklerinden elde edilen sonuçlardan da faydalanmıştır. Çalışmasında prizmatik, küresel ve

simetrik olmayan yakıt depolarının analizlerini gerçekleştirmiştir. İbrahim ve ark. (2001) çalışmalarında sıvı çalkalanma dinamiği üzerine çok geniş bir inceleme yapmışlardır. Yayınlarının çıktığı tarihe kadar yapılmış olan 1319 adet çalışmayı referanslarında sunmuşlar ve bu çalışmalar hakkında bilgi vermişlerdir. Çalışmada, çalkalanma hareketindeki serbest ve zorlanmış serbest yüzey hareketi, denk mekanik modelleme, çalkalanma denetimi, devrilme hareketine etki eden parametreler, sayısal çözüm yöntemleri, elastik yapılarda çalkalanma hareketi, tanker ve gemilerdeki çalkalanma hareketi gibi konular hakkında bilgi verilmiştir. Akyıldız ve Ünal (2005) dikdörtgen prizma şeklindeki bir tankın içindeki sıvının çalkalanma hareketini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında tank üzerindeki farklı noktaların basınç değişimini ve çalkalanmanın üç boyutlu etkisini incelenmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaca yönelik uygun bir deney tesisatı kurarak, perdeli ve perdesiz tank yapılarında farklı açılarda yerdeğiştirme, sıvı seviyesi ve frekans değerleri için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Akyıldız ve ark. (2013) farklı sıvı seviyelerinde akışkan ile doldurulmuş ve içinde dairesel perdeler bulunan silindirik bir tankın çalkalanma hareketini deneysel olarak incelemişlerdir. Devrilme açısı, sıvı seviyesi ve devrilme frekansı değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda 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 sıvı yüzeyi değişimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın ana amacı dönme etkisiyle silindirik tanklarda oluşan çalkantı problemini incelemek ve tankın çeşitli noktalarının 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. Anderson ve ark. (2001) çalışmalarında sıvı tanklarında meydana gelen çalkalanma hareketinin incelenmesi ve kontrolü amacı ile bir test düzeneği

oluşturmuşlardır. Tank yüzeyi üzerinde iki plakalı, sabit olmayan, sıvı üzerinde yüzen elemanlar kullanılarak sıvı çalkalanması engellenmeye çalışılmıştır. Kingsley (2005) sıvı tanklarının tasarımını iyileştirmek amacıyla çalkalanma ile ilgili çeşitli optimizasyon çalışmaları yapmıştır. Çalışmasında hesaplamalı akışkan dinamiği ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanmış, çalışmasını deneylerle desteklemiştir. Pal ve Bhattacharya (2010) prizmatik bir tanktaki akışkanın doğrusal olmayan çalkalanma hareketini geliştirdikleri sayısal yöntemle incelemiştir. Çalkalanma deney tesisatında, sistem farklı genlik ve frekanslarda hareket ettirilerek, çalkalanma sırasında meydana gelen sıvı seviye değişimleri ölçülmüş ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Jadon ve ark. (2014) günümüzde araçların çalışması esnasında oluşan gürültünün azaldığını belirterek, yakıt tankı içerisinde meydana gelen sesin özellikle hızlanma ve frenleme esnasında sürücüler için rahatsız edici boyutlara gelebileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında çoklu fizik tabanlı bir sayısal yöntem kullanarak, çalkalanma hareketinden ses değişimini tahmin etmişlerdir. Deneyler ve bu bileşik analizler paralel olarak gerçekleştirilerek, karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Yüksek hızlı kamera ile deney esnasında çekilen fotoğraflar, ses ölçüm cihazlarından alınan ölçümler ve kurulan modellerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Panigrahy ve ark. (2009) kare prizma şeklindeki bir tankın doğrusal hareketi sırasında meydana gelen çalkalanmanın etkisiyle tank duvarlarında oluşan basınç değişimlerini ve serbest yüzey hareketlerini deneysel çalışmalarla incelemiştir. Çalışmada perdeli ve perdesiz tank içindeki sıvının hareketi uyarı frekansı ve sıvı seviyesi değiştirilerek incelenmiştir. Eswaran ve Saha (2013) düşük uyarı frekanslarında sıvı çalkalanması sırasında oluşan serbest yüzey değişimini tespit etmek için deneysel çalışmalar yapmıştır. Sıvının davranışını video kamera ile kaydederek, görüntü işleme teknikleri ile farklı uyarı frekanslarında serbest yüzey salınımı hesaplanmıştır. Uyarı genliğinin, frekansının ve tank doluluk oranının çalkalanma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kılıç (2015) bir binek araç yakıt

tankındaki çalkalanma hareketini standart bir giriş değeri için farklı tasarım şekillerine, yakıt doluluk oranlarına ve tank doğrusal hareket yönlerine göre teorik ve deneysel çalışmalarla incelemiştir. Teorik çalışmalar hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmalar ise yakıt tankının üretimini yapan firmada prototip yakıt tankları kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, binek araç yakıt tankındaki çalkalanma olayı deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Deneyler tank üretimini yapan firmada mevcut olan test sisteminin çalışma amacına uygun olarak yeniden düzenlenmesiyle oluşturulan deney tesisatı üzerinde, prototip yakıt tankları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada perdesiz ve perdeli yapıya sahip iki tank kullanılmıştır. Farklı tank yapılarının, sıvı doluluk oranlarının ve uyarı yönlerinin çalkalanma hareketi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Prototip yakıt tankının yapısı**

Deneylerde kullanılan yakıt tankının fotoğrafı basınç algılayıcısı yerleşim noktaları ve tank içindeki perde yapısı Şekil 1' de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan yakıt tankı sedan tipi bir araca ait olup metal malzemedен üretilmiştir. Tank hacmi 50 lt' dir. Tank temel olarak alt ve üst gövde, perde ve şamandıra elemanlarından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan perdeler de firmanın üretimini yaptığı bir modeldir. Metal malzemedен üretilmektedir. Perdenin boyutları ve perde yerleşimi tankın yapısına ve yakıt tankının araç üzerindeki yerleşim durumuna göre belirlenmektedir. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalardan da görüldüğü üzere perdedeki delikler, perde sayısı gibi özellikler perdenin çalkantı hareketindeki etkinliğini olumlu yönde değiştirmektedir. Bu sebeple perdenin üzerinde delikler bulunmaktadır. Perdeler, alt ve üst gövde kaynak ile birleştirilmekte, şamandıra ise yakıt tankının üst kısmından civatalar kullanılarak monte edilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi tank oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.



Şekil 1. Yakıt tankının genel görünümü, basınç ölçüm noktaları ve tank içindeki perde yapısı

## 2.1. Deney tesisatı ve deneylerin yapılışı

Yakıt tankının çalkalanma hareketinin incelendiği deneysel çalışmalarda firmanın “çalkalanma testi” kriterleri dikkate alınmıştır. Bu test kriterlerinde, ana sanayinin firmaya verdiği bir standart kullanılmaktadır. İlgili standartta yer alan yakıt çalkalanma dayanımı testinde tank su ile doldurulur. Tanka yatayda 0.1 m genişliğinde, 0.8 Hz frekansında sinüsoidal hareket verilerek, çalkalanma tablası ve buna rijit olarak bağlı olan tank sistemi ileri-geri hareket ettirilir. Bu test sonucunda herhangi bir sızıntı, kırılma, parçalarda hasar vb. durumlar gözlenmemesi gerekmektedir.

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

$$x(t) = A \sin(\omega t) \quad (1)$$

ivme denklemi;

$$x''(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t) \quad (2)$$

ile ifade edilebilir. Burada A yer değiştirme genliği (m),  $\omega$  açısal frekans (rad/s) değeridir.

Başlıca elemanları Şekil 2’de gösterilen bu düzenekte çalkalama ünitesi bir adet elektrik motoru, redüktör, krank biyel mekanizması ve çalkalanma tablasından oluşmaktadır. Çalkalama sistemine yakıt tankı civatalarla bağlanır. Yakıt deposunun hareketi elektrik motoruna bağlı olan krank biyel mekanizmasının dönme hareketini

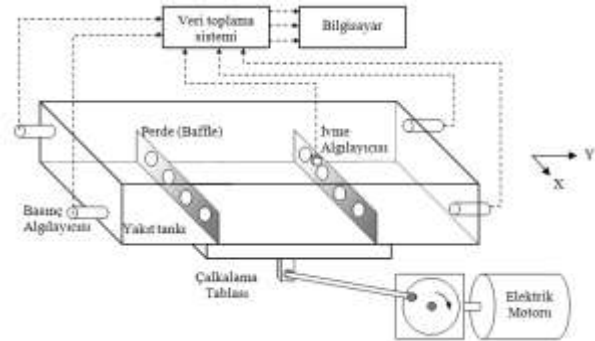
doğrusal harekete çevrilmesi ile oluşturulmaktadır. Çalkalanma hareketinde yakıt tankının çeşitli noktalarında oluşan basınç değişimlerini ölçmek için dört adet basınç algılayıcısı, tankın ivmesini ölçmek için bir adet ivme ölçer, sistemden alınan bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi için bir masaüstü bilgisayar, bir adet veri toplama ve denetim kartı kullanılmıştır. Deney düzeneğini oluşturan donanım ve cihazların temel özellikleri Tablo 1’ de sunulmuştur.

Sistemde gerçek zamanlı testlerin yürütülmesinde MATLAB/Simulink/Real Time Windows Target Toolbox kullanılmıştır. Deneyler sırasında sistemin çalışırken verdiği cevapları ve modelin görülebileceği ekran Şekil 3’ de verilmiştir.

Yapılan her bir deney dört defa tekrarlanmıştır. Yapılan bir seri testten sonra veri toplama örnekleme zamanının 25 ms olarak alınması uygun görülmüştür.



(a)

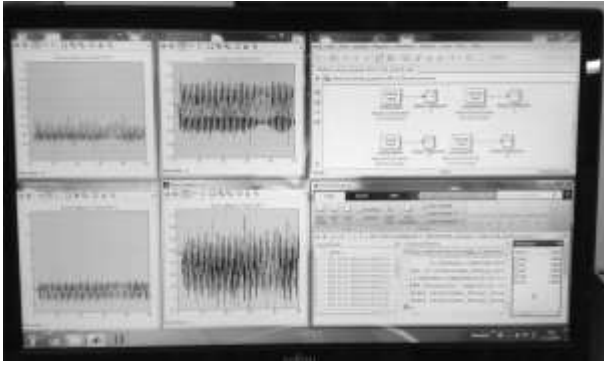


(b)

Şekil 2. Deney tesisatı (a) fotoğrafı (b) şematik gösterimi

Tablo 1. 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. Veri toplama sistemi ekran görüntüsü

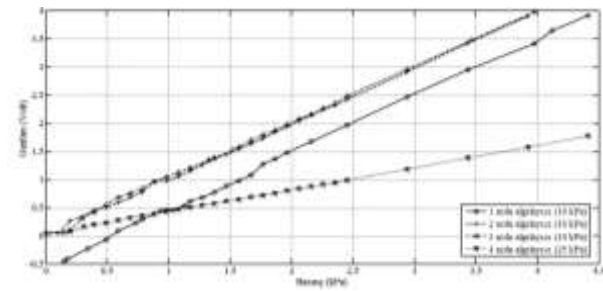
Tablo 2. Yapılan deneylerin sınıflandırılması

Hareket yönü	Tank yapısı	Doluluk oranı
x yönü (enine)	Perdesiz	50%
	Perdeli	85%
y yönü (boyuna)	Perdesiz	50%
	Perdeli	85%

Deney düzeneği üzerinde tankın enine (x yönü) ve boyuna (y yönü) hareketi incelenmiştir. Bu iki hareket yönünde, tankın içine perde yerleştirilmediği (perdesiz) ve yerleştirildiği (perdeli) iki durum için deneyler yapılmıştır. Her iki tank içine sırasıyla tank hacminin %50, %85' i kadar su konularak farklı sıvı seviyelerinde çalkalanma davranışı incelenmiştir. Yapılan deneyler Tablo 2' de sınıflandırılmış şekilde gösterilmiştir. X yönünde

inceleme yapıldıktan sonra tank çalkalama tablası üzerinden sökülerek  $90^\circ$  döndürülmüş ve y yönünde çalkalanma davranışı incelenmiştir.

Çalkalanma deneylerinden önce basınç algılayıcılarının ölçüm doğruluğunu kontrol etmek için ön deneyler yapılmış ve algılayıcının basınç-gerilim eğrileri elde edilmiştir. Bu düzenekte bir adet su tankı (0.5 m yüksekliğinde), şerit metre, multi metre, güç kaynağı ve basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Basınç algılayıcıları sırası ile su tankının tabanına bağlanmıştır. Tanka su ilave edilerek tankın içindeki şerit metre yardımıyla sıvı seviyesi ve sıvı seviyesine bağlı olarak değişen gerilim değeri ölçülmüştür. İkinci aşamada basınç algılayıcıları su tankının yan yüzeyine monte edilerek deneyler tekrar edilmiştir. Şekil 4' de bu sistemin fotoğrafı ve elde edilen basınç-gerilim eğrileri gösterilmiştir.

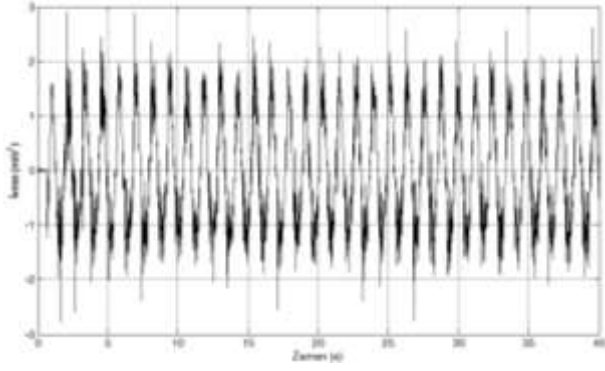


Şekil 4. Basınç algılayıcısı test düzeneği fotoğrafı ve basınç-gerilim eğrileri

### 3. Bulgular

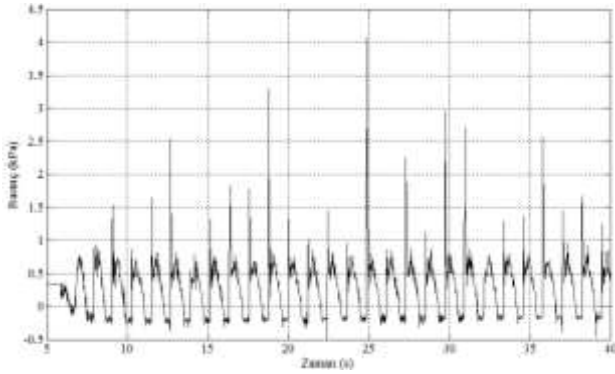
Şekil 5' de tankın hareketi sonucu ivme algılayıcısı üzerinden elde edilen ivme-zaman grafiği verilmiştir.



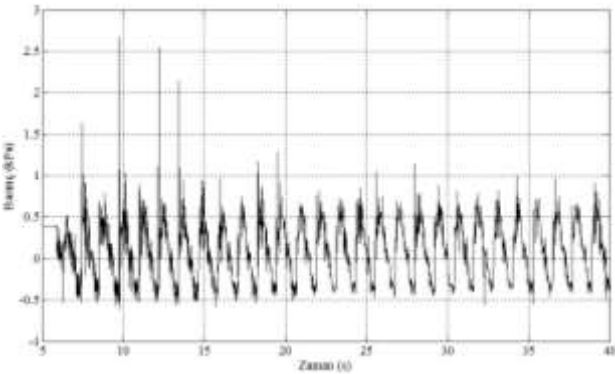


Şekil 5. Tank ivme-zaman grafiği

Şekil 6' da %50 su dolu, perdesiz tankın x yönünde hareketi sırasında, tankın x-25 ve x+25 ile belirtilen noktalarında meydana gelen basınç değişimi eğrileri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere x-25 noktasında 3-4 kPa değerine ulaşan ani basınç değişimleri görülmektedir. Minimum basınç değeri ise -0.25 kPa civarındadır. x+25 noktasında ise basınç değeri hareketin başlangıcında 2-2.5 kPa ulaşmış daha sonra maksimum değeri ortalama olarak 0.75 kPa olan basınç değişimleri oluşmuştur. Ölçülen minimum basınç değeri ise -0.45 kPa civarındadır. Tankın hareketi ile aynı frekansta değişen basınç değişimleri elde edilmiştir.



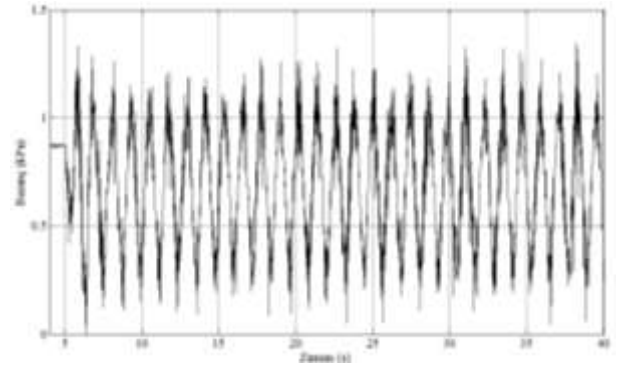
(a) x-25 konumu adlı algılayıcı



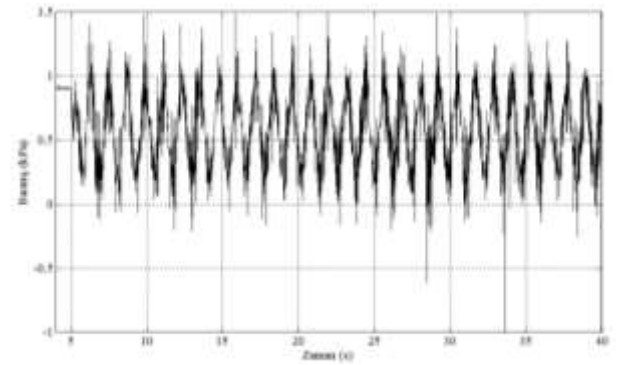
(b) x+25 adlı algılayıcı

Şekil 6. %50 akışkan dolu, perdesiz tankın x yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği

Şekil 7' de %85 dolu, perdesiz tankın x yönünde aynı frekans ve genlik değerinde hareketi sırasında tankın x-25 ve x+25 ile belirtilen noktalarında meydana gelen basınç değişimi eğrileri gösterilmiştir. Sıvı seviyesinin artması ile x-25 basınç ölçüm noktasında %50 doluluk oranında görülen ani basınç sıçrama durumu ortadan kalkmıştır. Bu durumda ölçülen maksimum basınç değeri 1.2 kPa, minimum basınç değeri de 0.25 kPa civarındadır. x+25 ölçüm noktasında ise ölçülen maksimum basınç değeri 1.1 kPa ve minimum basınç değeri ise ortalama 0 kPa değerindedir. Basınç değişimlerinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark her iki doluluk oranında da yaklaşık bir değerde elde edilmiştir.



(a) x-25 adlı algılayıcı

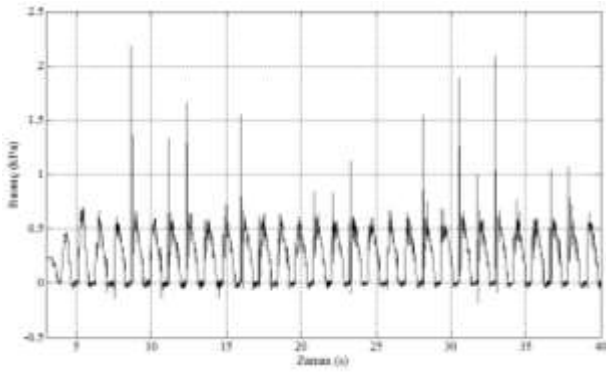


(b) x+25 adlı algılayıcı

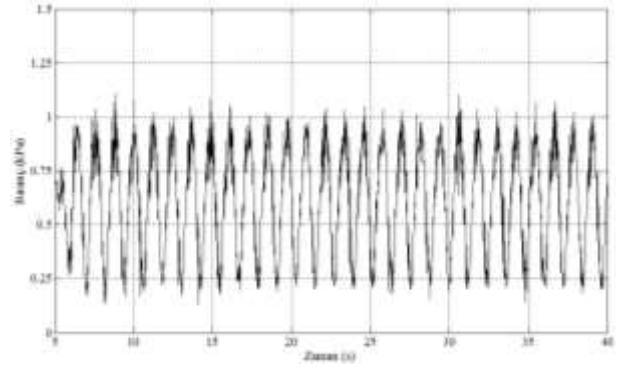
Şekil 7. %85 akışkan dolu, perdesiz tankın x yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği

Şekil 8' de %50 dolu perdeli tankın x yönünde hareketi esnasında, tankın x-25 ve x+25 nolu basınç algılayıcılarından ölçülen basınç değişimi eğrileri verilmiştir. Tanka perde eklenmesi ile perdesiz haldeki ani basınç değişim değerlerinin azaldığı

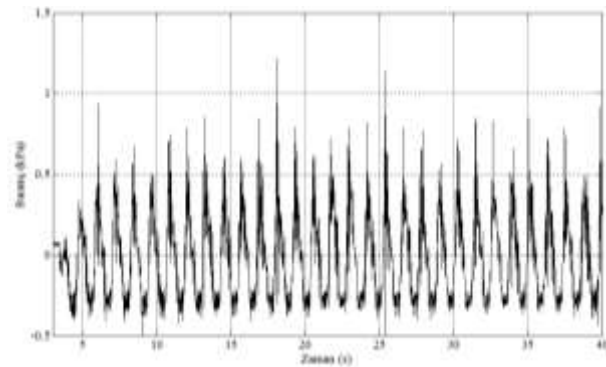
gözlemlenmiştir. x-25 nolu basınç algılayıcısı ile ölçülen maksimum basınç değeri 2-2.25 kPa değerlerine düşmüştür. x+25 numaralı ölçüm noktasında perdesiz halde görülen ani, yüksek basınç değişimleri gözlenmemiştir. Basınç değişim değerlerinin perdesiz hale göre çok fazla azalmadığı görülmüş, maksimum ve minimum basıncın ortalama değerleri 0.6 kPa ve -0.37 kPa olarak ölçülmüştür. Çalışmada ikinci bir tanka Şekil 1' de gösterilen perde yapıları ilave edilmiştir. Bu tankta da basınç algılayıcılarının yerleşim noktalarının aynı olması hedeflenmiştir. Ancak bir takım yapısal zorluklardan dolayı x+25, x-25 ve y-25 nolu basınç algılayıcıları perdesiz tanktaki yerlerinden yukarı yerleştirilebilmişlerdir. Bu durumda ölçüm noktaları sıvı yüzeyine daha yakın noktalarda kalmıştır. Bu durumda aynı hacimde su bulunan tankta sıvı yüzeyine daha yakın noktalarda çalkalanma davranışının daha etkili olması beklenirken, perdeli tankta beklenen ani basınç değişimlerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tankta perde ilavesinin bir etkisi olarak görünmektedir. Sisteme perde ilavesinin ani basınç değişimlerini azalttığı söylenebilir.



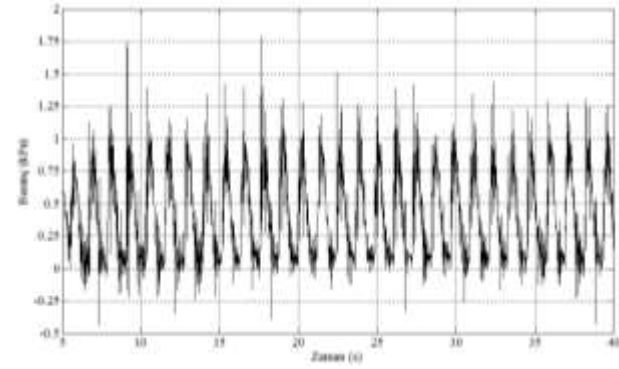
(a) x-25 adlı algılayıcı



(b) x+25 adlı algılayıcı



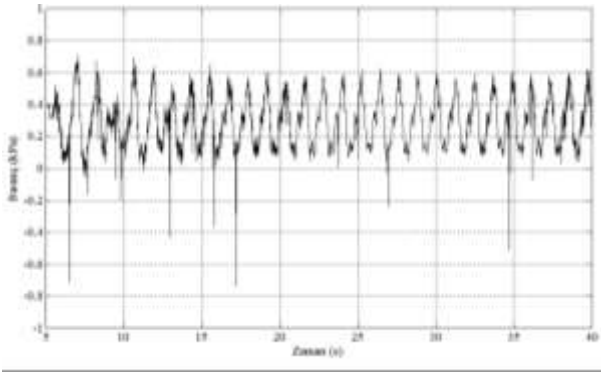
(a) x-25 adlı algılayıcı



(b) x+25 adlı algılayıcı

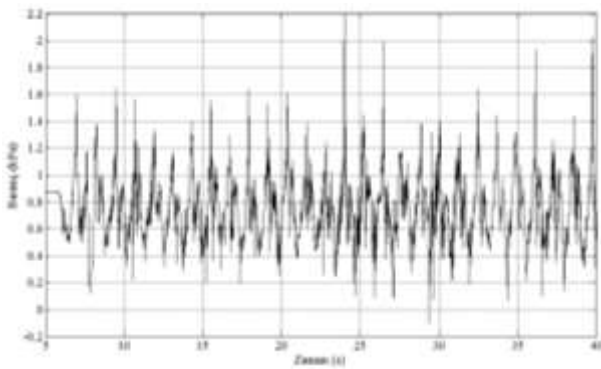
**Şekil 9.** %85 akışkan dolu, perdeli tankın x yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği

Şekil 10' da %50 dolu, perdesiz tankın çalkalama tablası üzerinde 90° döndürülerek y yönünde hareket ettirilmesi ile y-25 numaralı algılayıcısından elde edilen basınç değişimi eğrisi sunulmuştur. Basıncın maksimum değeri 0.6 kPa, minimum değeri 0.06 kPa civarındadır. Ancak negatif yönde ani basınç sıçramaların olduğu gözlemlenmiştir. Tankın yapısından dolayı y+70 nolu basınç algılayıcısından bu hacimde sıvı dolu iken basınç değişimi izlenememiştir.

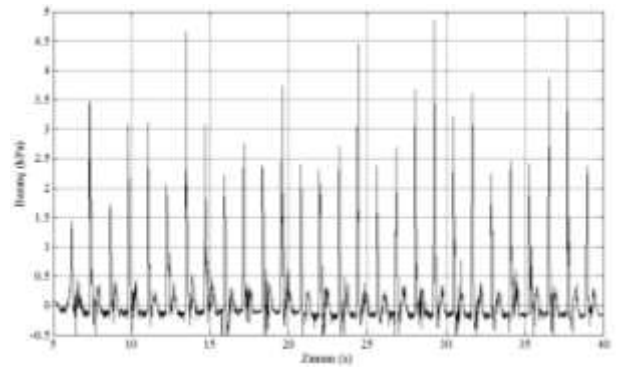


**Şekil 10.** %50 akışkan dolu, perdesiz tankın y yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği (y-25 adlı algılayıcı)

Şekil 11' de %85 dolu, perdesiz tankın y yönünde hareketi sırasında y-25 ve y+70 ile belirtilen basınç algılayıcılarından ölçülen basınç değişimleri gösterilmiştir. Tankın içindeki sıvı hacminin artışı basınç değişiminin karmaşık yapılı bir hal aldığı gözlemlenmiştir. Maksimum basıncın 1.6 kPa, minimum basıncın 0.3 kPa civarında değiştiği söylenebilir. y+70 numaralı algılayıcıdan elde edilen sonuçlardan maksimum değeri 4-4.5 kPa değerine ulaşan ani basınç değişimlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Tankın yapısal durumu da değerlendirildiğinde bu noktada sıvı seviyesinin sığ olduğu ve bu şekilde bir değişimin tankın 50 lt sıvı ile dolu iken x yönünde hareket ettiği halde x-25 nolu algılayıcıdan elde edilen sonuçlara benzer olduğu söylenebilir.



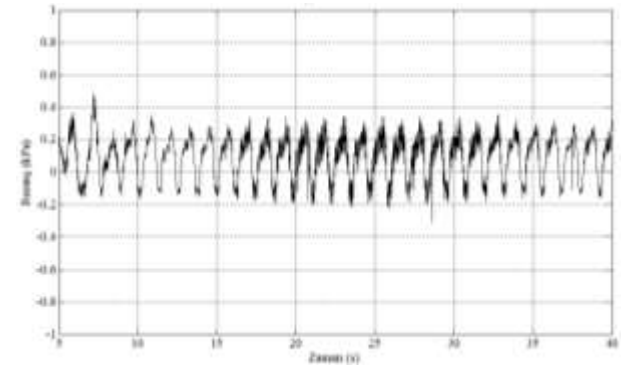
(a) y-25 adlı algılayıcı



(b) y+70 adlı algılayıcı

**Şekil 11.** %85 akışkan dolu, perdesiz tankın y yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği

Şekil 12' de %50 dolu, perdeli tankın y yönünde hareket ettiği durumda y-25 noktasında ölçülen basınç değişim eğrisi gösterilmiştir. Basıncın maksimum değeri 0.3 kPa, minimum değeri -0.2 kPa civarındadır. Şekil 10' da görülen negatif yöndeki ani basınç sıçramalarının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu halde y yönünde çalkalanmayı azaltacak etkin bir perde yapısı kullanılsa da mevcut perde yapısının kısmen çalkalanma davranışını iyileştirdiği söylenebilir.

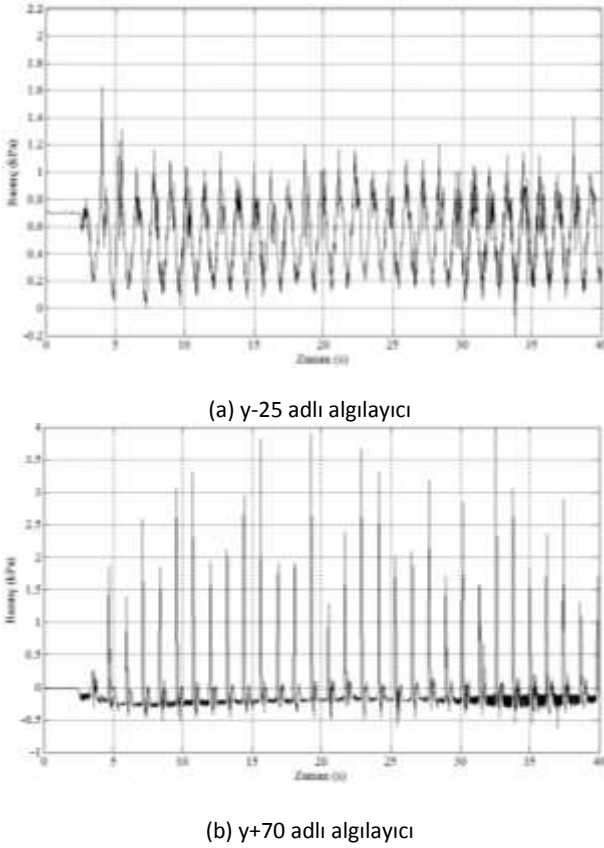


**Şekil 12.** %50 akışkan dolu, perdeli tankın y yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği (y-25 adlı algılayıcı)

Şekil 13' de %85 dolu, perdeli tankın y yönünde hareketi sırasında y-25 ve y+70 ile belirtilen basınç algılayıcılarından ölçülen basınç değişimleri gösterilmiştir. Şekil 11' deki duruma göre basınç değişimi daha düzgün bir yapıdadır. Maksimum basıncın 1.1 kPa, minimum basıncın 0.2 kPa civarında değiştiği söylenebilir. y+70 numaralı algılayıcıdan elde edilen sonuçlardan ani basınç



değişimlerinin yine olduğu ancak maksimum değerinin 3-3.5 kPa değerlerine gerilediği söylenebilir.



Şekil 13. %85 akışkan dolu, perdesiz tankın y yönünde hareketi ile elde edilen basınç- zaman grafiği

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bir binek araç yakıt tankında oluşan çalkalanma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında çalkalanma deneylerinin yapılacağı deney düzeneğinin tasarımı ve kurulumu ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Perdeli ve perdesiz yapıya sahip iki farklı tankta, %50-%85 doluluk oranlarında, farklı uyarı yönleri için deneyler yapılmıştır. Tankta yatayda sinusoidal giriş verilmiş, tankın ivme sinyali ve tankın çeşitli noktalarından alınan basınç sinyalleri veri toplama sistemi ile toplanarak sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada sisteme giriş olarak verilen genlik ve frekans değerleri literatürdeki çalışmalara göre oldukça yüksek bir değerdedir. Bu durum çalkalanma hareketinin daha şiddetli olmasına sebep olmaktadır. Giriş değerleri firmanın test normlarına uygun olan değerler dikkate alınarak uygulanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan, sıvı seviyesinin az olduğu veya serbest sıvı yüzeyine yakın yerlerde çalkalanma davranışının ani basınç değişimleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Sıvı seviyesi artınca aynı noktalardan ölçülen ani sıçramaların ortadan kalktığı, sıvı hareketinin daha düzgün bir hale geldiği görüldü. Ancak basınç değerlerinin arttığı görülmüştür.

Tank içine yerleştirilen perdenin ise sıvının çalkalanma hareketi üzerinde basınç değerlerini düşürme konusunda etkili olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 0157.STZ.2013-1 numaralı SAN-TEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve proje ortağımız AKA Otomotiv'e teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Jadon V., Agawane G., Baghel A., Balide V., Banerjee R., Getta A., Viswanathan H. and Awasthi A., 2014. An Experimental and Multiphysics Based Numerical Study to Predict Automotive Fuel Tank Sloshing Noise. *SAE Technical Paper*, 2014-01-0888.
- Wiesche S., 2003. Computational slosh Dynamics: theory and industrial application, *Computational Mechanics*. **30(5)**, 374-387.
- Kingsley, T.C., 2005. Multidisciplinary design and optimisation of liquid containers for sloshing and impact. Master's Dissertation, University of Pretoria, Pretoria. 133.
- İbrahim, R.A., Pilipchuk, V.N., Ikeda, T., 2001. Recent advances in liquid sloshing dynamics, *Applied Mechanics Reviews*. **54 (2)**, 133-199.
- Akyıldız H., Ünal E., 2005. Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing, *Ocean Engineering*, **32 (11)**, 1503-1516.
- Akyıldız H., Ünal N.E., Bağcı T., 2012. Rijit silindirik bir tankta sıvı çalkantısının deneysel incelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 6089-6112.
- 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.
- Panigrahy, P.K., Saka, U.K., Maity, D., 2009. Experimental studies on sloshing behavior due to horizontal

- movement of liquids in baffled tanks. *Ocean Engineering*. **36(3-4)**. 312-222.
- Anderson, J.G., Turan, Ö.F., Semercigil, S.E. 2001. Experiments to control sloshing in cylindrical containers. *Journal of Sound and Vibration*, **240**, 398-404.
- 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**, 4466–4485.
- Eswaran, M., Saha K., 2013. Experimental investigation for capturing liquid free surface elevation in an externally induced tank. *Development and Applications of Ocean Engineering*, **2(1)**, 15-24.
- Kılıç, E., 2015. Taşıt yakıt deposunda çalkalanma olayının analizi. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa. 72.