



Makale / Research Paper

**Perde Tipi Engellerin Çalkantı Yüklerini Azaltma Etkileri
Üzerine Deneysel Bir Çalışma**

Fatih C. KORKMAZ^{a*}, Kenan YİĞİT^b, Bülent GÜZEL^c

^{a,b}Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği
Bölümü, İstanbul, Türkiye

^cMekatronik mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
fkorkmaz@yildiz.edu.tr

Received/Geliş: 19.03.2021

Accepted/Kabul: 16.06.2021

Öz: Bu çalışmada bir tank içerisine yerleştirilen perde tipi engellerin çalkantı yüklerine etkisi engelsiz duruma göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Dikdörtgen kesitli bir tank modeli %27 akışkan doluluk oranında eksenel yönde ileri-geri hareket ettirilerek çalkantı oluşturulmuştur. Serbest yüzeyde oluşan deformasyonun etkisiyle yan duvarlarda oluşan basınç kuvvetleri yan duvarlara monte edilen basınç sensörleri vasıtasıyla ölçülmüştür. İlk olarak delikli perdeli ve perdesiz durumlarda oluşan çalkantı aşamaları hızlı kamera vasıtasıyla izlenerek serbest yüzey deformasyonunun değişim aşamaları analiz edilmiştir. Aynı zamanda delikli perdeli ve perdesiz durumlar için deney sistemi aynı frekansta tahrik edilerek basınç değerleri ölçülmüştür. Perdeler sayesinde tank içindeki akışkan kütesinin hareketlerinde değişimler oluşması neticesinde dalga formunun gelişimi ve yan duvarlardaki maksimum basınca ulaşma süreleri değişmiştir. Perdeler sayesinde gerçekleşen bu farklılıklar neticesinde akışkanın yan duvarlarda oluşturduğu basınç değerlerinde % 40-60 oranında azalmalar tespit edilmiştir. Tanklara yerleştirilen bu tür pasif engeller sayesinde tanklarda meydana gelebilecek yapısal zararların önüne geçilerek gemi stabilitesi bozulmadan daha güvenli bir seyir gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çalkantı, Dalga-yapı etkileşimi, Delikli plaka, Serbest yüzey yükselmesi

Experimental Study on Sloshing Reduction Effects of Baffles

Abstract: In this study, the effect of perforated baffles placed in a rectangular tank on sloshing loads is investigated in comparison to the case without any plate. Sloshing is created in a rectangular tank model that is filled with 27% water by a reciprocating motion. The pressure forces acting on the side walls due to the free surface deformations were measured via three pressure transducers installed on the side wall. The stages of the free surface deformations during periodic movements of the rectangular tank with and without the perforated baffles were observed via a high-speed camera. It is shown that in the case of perforated baffles, the free surface elevation on the sidewalls, the waveform development and the time at which the maximum pressures were reached were altered due to the modified movement of the bulk liquid. These changes in the liquid movement due to the perforated baffles resulted in 40-60% reduction in the pressure forces acting on the sidewalls. It is predicted that restraining the liquid movement with the use of passive resistance, e.g. perforated baffle, in sloshing may prevent structural damages and increase ship instability.

Keywords: Sloshing, Wave structure interactions, Perforated baffle, Free surface elevation

1. Giriş

Çalkantı, şiddetli akışkan hareketi neticesinde oluşan ve birçok mühendislik uygulamalarında önem arz eden bir durumdur. Akışkan taşıyan bir vasıtanın hareket ettirildiğinde hareket enerjisinin

Bu makaleye atıf yapmak için

Korkmaz, F.C., Yiğit, K., Güzel, B., "Perde Tipi Engellerin Çalkantı Yüklerini Azaltma Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(3); 1149-1157.

How to cite this article

Korkmaz, F.C., Yiğit, K., Güzel, B., "Experimental study on sloshing reduction effects of baffles" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(3); 1149-1157.

ORCID ID: ^a0000-0001-9250-5265; ^b0000-0002-4165-4081; ^c0000-0001-6915-4209

akışkana transfer olması neticesinde, akışkanın şiddetli yer değişimi ile birlikte vasitanın çeperleri üzerinde ciddi basınçlar oluşur. Çalkantı sadece anlık yapısal zarar vermekle kalmayıp aynı zamanda akışkanın taşındığı tank duvarlarında yorulmalara ve stabilitesinin bozulmasına sebep olur. Bu sebeple çalkantı durumundaki akışkan hareketlerinin tespit edilmesi, çalkantı yüklerinin tahmin ediliyor olabilmemesi, gemi özelinde ise güvenli bir seyir geçirebilmesi için önemlidir. Gemilerde çalkantı kaynaklı problemler ise, zorlu deniz şartlarında meydana gelen yüksek salınımlı gemi hareketleri neticesinde akışkan taşınan bölmelerdeki sıvıların harekete geçerek hareket kuvveti oranında çalkalanıp bölme duvarlarına yapısal zarar vermesidir. Çalkantı problemine anlamaya ve etkilerini azaltmaya yönelik birçok teorik, nümerik ve deneysel çalışma mevcuttur. Kuo vd. [1] yaptıkları literatür incelemesinde LNG tanklarının duvarları üzerinde çalkantı nedeniyle oluşan gerilimlerin hesaplanmasında deneysel çalışmalar vasıtasıyla efektif çözümlerin bulunabileceğini göstermişlerdir. Pistani ve Thiagarajan [2] LNG gemilerinde çalkantı davranış analizlerini deneysel olarak yapmışlardır. Bu çalışmada iki boyutlu olarak tasarlanan tankı ekstenel yönde tahrik ederek belirli noktalardaki çalkantı yüklerini basınç sensörleri kullanarak ölçmüşlerdir. Farklı noktalardan ölçülen basınç değerlerinin karakteristiğini analiz etmiş ve tartışmışlardır. Reed vd. [3] deneysel olarak inceledikleri çalkantı probleminde kayar tabla ile konteynır arasında monte ettikleri kuvvet sensörü vasıtasıyla büyük genliklerdeki sıvı davranışını incelemişlerdir. Faltinsen vd. [4] iki boyutlu bir tankın sıvı çalkantısını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Tankın orta bölümüne farklı oranlarda delikli levhalar yerleştirip, çalkantıya etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada üç farklı zorlama frekansında serbest sıvı yüzeyine olan etkisini teorik olarak tahmin etmiş ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Faltinsen ve Timokha [5] gemi tanklarındaki çalkantı yüklerini analitik ve deneysel yöntemler ile incelemişlerdir.

Çalkantı esnasında çalkantı kuvvetine maruz kalan sıvı deforme olarak içinde bulunduğu çeperlere basınç uygular. Çalkantı neticesinde oluşan dalganın çeperlere çarpma esnasında aldığı form önemlidir. Bu esnada dalga ile duvar arasında hava sıkışması meydana gelebilir ve bir hava yastığı etkisini oluşturabilir. Bu konuda, Lugni vd. [6] çalkantı esnasında rijid ve dikey yüzeye etki eden dalga kuvvetlerini incelemişlerdir. Deneysel verilerde sıkışan havanın miktarına bağlı olarak duvar boyunca üç farklı çalkantı modu gözlemlemişleridir. Colagrossi vd. [7] iki boyutlu bir tankın çalkantı ve çarpma kuvvetlerini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Serbest sıvının deformasyonunu, hava sıkışmasını, tank yüzeyinin üst kısmındaki çarpma kuvvetini, serbest sıvı yüzeyinin alt üst olmasını gözlemlemişlerdir. Cavalaglı vd. [8] çalkantı sönümleyicideki enerji dağılımını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Tanka harmonik yer değiştirme hareketi verildiğinde oluşan farklı genlikler, frekanslar ve sıvı seviyelerini araştırmışlardır. Enerji dağılımı, tank ve kayar tabla arasına yerleştirilen kuvvet sensörüyle kesme kuvveti ölçülerek belirlenmiştir. Hou vd. [9] iki boyutlu bir tank içindeki sıvının çalkantı davranışlarını simüle ederek nümerik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, tankın çoklu tahrik edilmesi ve rezonans tahrik frekansında olması durumunda, sıvı çalkantı yükünün şiddetinin arttığı ve bu durumun tank tavanına bile etki ettiğini tespit etmişlerdir. Celis vd. [10] ise sıvı çalkantısı ve bent kırılması durumlarını göz önüne alarak iki farklı konfigürasyonda geliştirdikleri kodları doğrulamışlardır. Deneysel yöntem ile karşılaştırılan nümerik kodun, akış bölgesi hakkında önemli detaylar verdiğini belirtmişlerdir.

Deneysel olarak yapılan bazı çalışmalarda ise tank ölçeklendirmesi ve sıvı doluluk oranları dikkate alınarak çalkantı yüklerinin etkileri incelenmiştir. Rafiee vd. [11] çalkantı problemini 1:30 ölçekli bir tanka ekstenel düzlemde salınım hareketi vererek nümerik ve deneysel olarak çalışmışlardır. İki farklı çalkantı akışının tahrik frekansı ile doğal frekans oranına bağlı olarak incelemişlerdir. Kim vd. [12] iki farklı ölçekli modeli çalkantı testine tabi tutmuş ve karşılaştırmışlardır. Aynı noktalardan basınç ölçümü yapılmış ve sıvı seviyelerinin %70 üzeri olduğu durumlarda basınç değerlerindeki farklılıkların diğer oranlara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu dolulukta basınç değerlerinin daha kısa zamanda tepe noktasına ulaştığını tespit etmişlerdir. Song vd. [13]

%30 oranında sıvı dolu tankı rezonans frekansında tahrik ederek, şiddetli akış hareketleri oluşturmuştur. Çok fazlı akışkanın hızını görüntü işleme yöntemiyle ölçmüşlerdir. Akyıldız ve Ünal [14] ise tanktaki sıvı çalkantısını deneysel olarak çalışmışlar ve tank iç yüzeylerinde uyguladıkları perdeler sayesinde çalkantının oluşturduğu basınç değerlerinde düşme olduğunu tespit etmişlerdir. Sung-Pill Kim vd. [15] çalkantı hareketini sönmölemek için tanıttıkları hareketli engel kullanmışlardır. İki tip sertliğe sahip yayları serbest su yüzeyi ile tankın birleşme noktasına uygulamışlardır. Yüksek oranda sönmö elde ettikleri deneylerde, yüksek sertliğe sahip yayın sabit engeller gibi bir sönmö oranını gerçekleştiriyorken, yumuşak yaylı sönmö elemanın yapının güvenliği için daha iyi olduğu belirtilmiştir. Tamer Bağatur ve Ömer Faruk Can [16] yaptıkları çalışmada akışkanın enerjisini sönmölemek için kullanılan basamaklı dolusavakları sayısal olarak incelemişlerdir. Duygu Atcı ve Süleyman Murat Bağdatlı [17] içerisinde akışkan taşıyan mikrokirişlerin rezonans davranışları incelenmiştir. X. Jin vd. [18] çalkantı deneylerinde akışkanın viskozitesinin etkisini araştırmışlardır.

Bazı çalışmalarda ise basınç sensörlerinin karakteristiği ön planda tutularak, aynı durumlarda farklı basınç sensörlerinin tepkileri incelenmiştir. Kim vd. [19] çalkantı deneyi için farklı tipteki basınç sensörlerinin aynı zorlamalar karşısındaki ölçtüğü değerleri karşılaştırmışlardır.

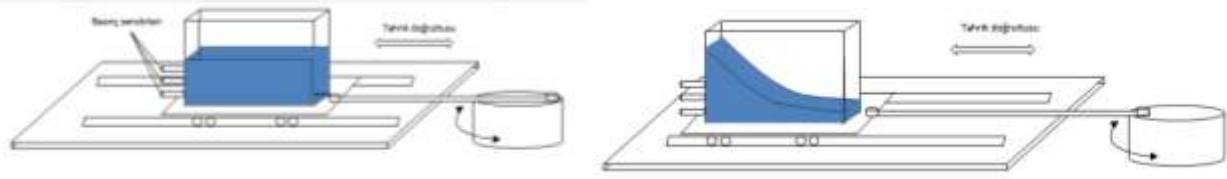
Bazı diğerk çalışmalarda ise görüntü işleme yöntemini ön planda tutarak sıvı-katı etkileşimi analiz edilmiştir. Araştırmacılar tarafından [20-25] tank içindeki serbest sıvı yüzey deformasyonu hızlı kamera kullanarak görüntü işleme metodu ile analiz edilmiş ve verileri nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tosun vd. [26] çalkantı esnasındaki serbest su yüzeyinin hareketini takip ederek çalkantı kuvvetini tahmin eden bir metot geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım ile serbest sıvı yüzeyinde tek noktadan ziyade tüm serbest yüzey hareketi izlenmiştir. Çalkantı sırasında meydana gelen akışkan hareketleri sadece gemilerdeki tanklara yapısal hasar verip stabilitesinin bozulmasına neden olmayıp, farklı uygulamalarda akışkan taşıyan bütün vasıtalarda sorun teşkil eden bir problemdir. Ashlee Vance [27], Elon Musk'ın hayatının anlatıldığı kitapta başarısız füze gönderiminin sebebini; yakıt tankında meydana gelen çalkantı sonucu gerçekleşen yangın olduğu belirtilmiştir. Füze tırmanışa geçtikten sonra yakıtın azalmaya başlamasıyla, yakıt tank içerisinde çalkalanarak yapısal zarar vermiş ve yangına sebebiyet vermiştir.

Literatür araştırmasından görüleceği üzere, bazı araştırmacılar çalkantı probleminin çözümüne sadece nümerik ve teorik yaklaşımlar ile yaklaşmışlardır. Bazı araştırmacılar ise problemin çözümüne deneysel olarak yaklaşmışlardır. Bu çalışmada ise, kısmen doldurulmuş iki boyutlu gemi tankı modelindeki sıvı çalkantı etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yürütölen deneysel çalışmada, tank modelinin tahrik doğrultusunda yanal yüzeylerine aralıklarla yerleştirilen basınç sensörleri ile tank iç yüzeylerine etki eden basınç değerleri ölçölmüştür. Daha sonra, tank modelinin tabanına yerleştirilen perde engelleri ile deneyler tekrarlanmıştır. İki farklı tank modelinde meydana gelen çalkantı etkisinin karşılaştırma analizi yapılmıştır. Aynı zamanda deneylerde hızlı kamerayla görüntü kaydı alınarak, görüntü işleme yapılmış ve perde engelinin çalkantı yüklerine etkisi incelenmiştir.

2. Deney Düzenegi

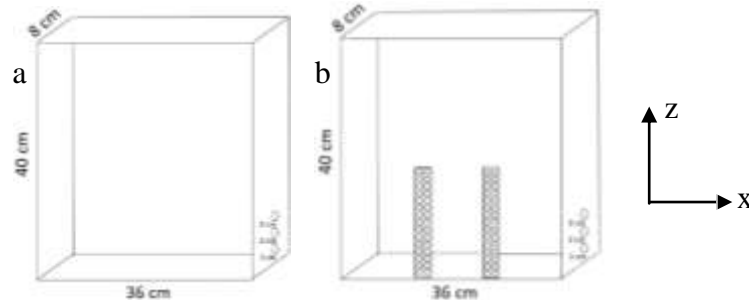
Tankın çalkantı etkilerinin incelenmesi amacı ile Şekil 1'deki deneysel düzenek imal edilmiştir. Tek ekseninde hareket eden platform üzerine yerleştirilen dikdörtgen kesitli modelin hareket doğrultusundaki bir yanal yüzeyine 3 adet SHLLJ marka, PCM300D model, 0-0.4 bar aralığında ölçüm yapabilen basınç sensörleri yerleştirilmiştir. Sıvı hareketini gerçekleştirmek için hız kontrol cihazı ve elektrik motoru (AC 220V 1 faz) bağlantısıyla tanka aksnel yönde hareket verilmiştir. Tank yanal yüzeyinde ölçölen basınç değerleri HIOKI LR-8500 marka veri toplama ünitesiyle kaydedilmiştir. Phantom Miro eX4 marka hızlı kamera kullanılarak sıvı kütlelerinin yanal yüzeylere

çarpması, dalga şekilleri ve yükseklikleri analiz edilmiştir. Görüntülerin net bir şekilde elde edilmesi için hızlı kameranın aksi yönüne Led aydınlatma konulmuştur. Tüm deneylerde görüntünün açıklığı ve anlaşılabilirliği için 800 x 600 çözünürlük tercih edilmiş, 1400 fps oranında görüntü alınmıştır.



Şekil 1. Tank çalkantı yükü ölçümü test düzeneği.

Perdesiz (Engelsiz) olarak imal edilen tank modeli ile testler gerçekleştirilip ölçümler alındıktan sonra 8 cm genişliğinde, 19 cm yüksekliğinde iki adet delikli perde engeli yerleştirilmiştir. Şekil 2’de bu çalışmada kullanılan tank modelinin engelsiz ve engelli hallerinin detayları gösterilmiştir.



Şekil 2. Dikdörtgen kesitli tank Perdesiz düzenek ^a, Perdeli (süzgeç tipli) düzenek ^b

Doluluk seviyesi, çalkalama probleminde önemli bir parametredir. Serbest su yüzeyinin bozulma seviyesi, tankın doğal frekansları ve dışardan verilen tahrik frekansının yakınlığı oranında önemli seviyelere ulaşabilir. Dolu seviyesi ve tank uzunluğuna bağlı olarak sistemin doğal frekansı;

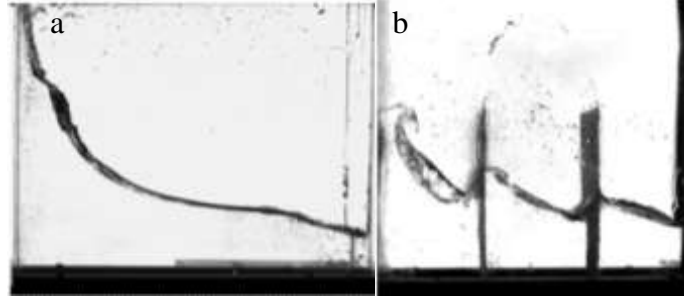
$$\omega_n = \sqrt{g \frac{n\pi}{L} \tanh\left(\frac{n\pi}{L} h\right)} \quad (1)$$

L tank uzunluğu, h su derinliği ve n mod sayısıdır. Çalkantı şiddeti incelenmesinde, en düşük doğal frekans önem arz etmektedir. Bu çalışmada 10.8 cm su seviyesiyle $\omega_1=7.93$ rad/s’dir. Çalkantı deneyinde zorlama frekansı 6.28 rad/s rezonans bölgesine yakın olarak seçilerek perdeli durumun etkisi, yan yüzeylere gelen basınç değerleri ölçülerek tespit edilmiştir. Basınç değerleri, statik basınç değerleri ile normalize edilmiştir ($P_{\text{statik}}=\rho gh$ burada ρ akışkanın yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini ve h serbest su yüzeyinin seviyesini gösteriyor).

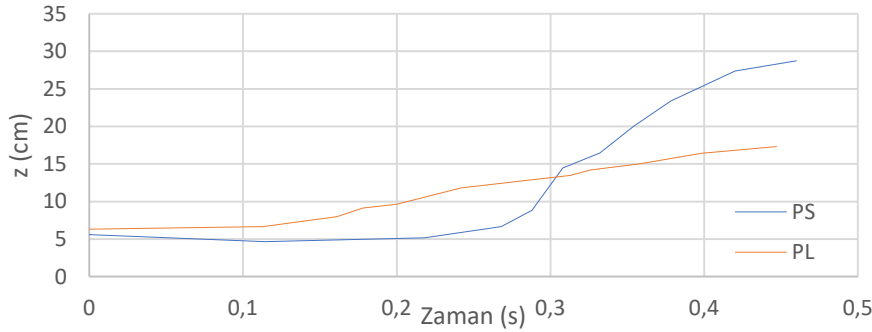
3. Deney Sonuçları

Tank içerisinde çeşitli su seviyeleri yüksekliğinde perdesiz ve perdeli olarak çalkantı deneyleri atmosferik basınçta gerçekleştirilmiştir. Tahrik sistem mekanizması tankı aksel yönde sinüzoidal olarak, $A \sin 2\pi t/T$, hareket edecek şekilde tahrik etmektedir. Burada T dalga periyodunu, A maksimum tank deplasmanı ifade etmektedir. Çalkantı esnasında oluşan maksimum su yüksekliği perdesiz ve perdeli durumlar için Şekil 3’de gösterilmiştir. Perdesiz durumda kuvvet yönündeki yan duvar üzerinde akışkanın ulaştığı maksimum yükseklik ile zıt taraftaki yan duvar üzerinde ulaştığı yükseklik oranı 5 iken, perdeli durumda bu oran 1.7 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3). Perdeli durumda akışkana daha az enerji transferi gerçekleştiği için serbest yüzey deformasyonu da daha

küçük olmuştur. Bu da yan duvarlara gelen statik ve dinamik basınçların da daha az olacağını göstermektedir. Şekil 4'de her iki yanal duvarda gerçekleşen su yükselmesi zamana bağlı olarak çizilmiştir. Perdesiz durumda (PS) su yükselmesi daha ani ve daha şiddetli olurken perdeli durumda (PL) yükselme daha düşük hızlarda gerçekleşmekte ve nihai şiddeti çok daha küçük olmaktadır. Perdeli durumda serbest yüzey hareketinin daha durağan olduğu gözlemlenmiştir. Perdesiz durumda yükselen su yukarı noktalara ilerlerken hacmi azalmakta ve tepe noktaya yaklaştıkça bir film tabakası halini almaktadır. Perdeli durumda ise film tabakası oluşumu hiçbir zaman gözlemlenmemiştir.



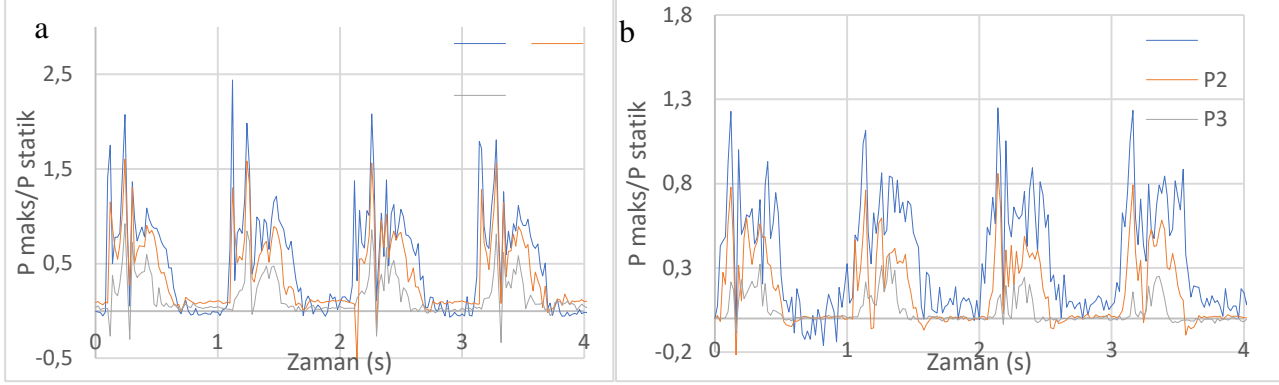
Şekil 3. Çalkantı sırasında serbest su yüzeyinin yanal duvarda ulaştığı maksimum yükseklik Perdesiz ^a, Perdeli ^b



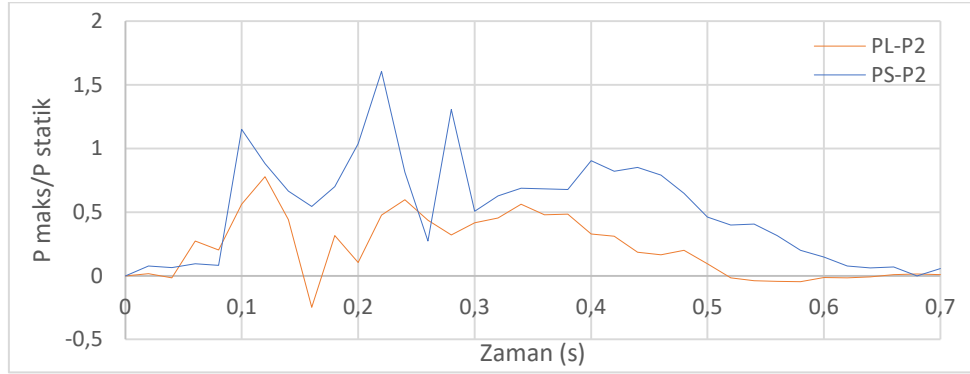
Şekil 4. Yanal duvarlardaki akışkan yüksekliğinin zamana göre değişimi. PS; perdesiz, PL; perdeli

Şekil 5'te sistem sabit frekans ile tahrik edildiğinde perdeli ve perdesiz durumlarda ölçülen basınç değerleri gösterilmiştir. Tankın yan duvarına farklı yüksekliklerde yerleştirilmiş 3 adet basınç sensörü (Şekil 2) ile çalkantı kaynaklı olarak akışkanın oluşturduğu toplam basınç değerleri ölçülmüştür. Perdesiz durumda birinci sensörden üçüncü sensöre doğru ölçülen normalize basınç değerleri sırasıyla 2, 1.56 ve 0.84'dür. Perdeli durumda yapılan çalkantı deneylerinde ise aynı frekans ve su seviyesinde bu değerler sırasıyla; 1.24, 0.868 ve 0.32 seviyelerine düşmüştür. Basınç değerlerindeki bu düşüş, oransal olarak sırasıyla %40, %45 ve %60 olarak gerçekleşmiştir. Dalga oluşumunu büyük ölçüde azaltan perdeler sayesinde tankın üst kısımlarındaki oluşan dinamik çarpma basınç değerlerinde (P3) daha fazla azalma tespit edilmiştir. Perdeli durumda serbest su yüzeyindeki deformasyon daha fazla sönümlendiği için tankın üst kısımlarındaki basınçtaki azalma daha fazla olmuştur. Ayrıca her bir çarpmada perdesiz deneylerde özellikle birinci basınç sensöründe birbirine yakın iki tepe değer ölçülürken, perdeli deneylerde de gözlemlenen bu iki tepe değerinin ikincisinde %20'lik bir değer kaybı yaşanmaktadır. Aynı zamanda birinci sensörde ilk çarpma anından sonra perdesiz durumda maksimum noktaya ulaşma süresi 0.24 s iken perdeli durumda bu süre 0.12 s'dir. İkinci sensörde ise perdesiz durumda maksimum değere 0.14 s'de ulaşırken, perdeli durumda bu süre 0.8 s olarak ölçülmektedir (Şekil 6). Üçüncü sensörde ise sırasıyla bu süreler 0.14 s ve 0.24 s değerlerine gözlemlenmiştir. Yani tanka perde yerleştirildiğinde maksimum basınç değerine daha kısa sürede ulaşılmaktadır.

Çalkantı sırasında akışkana transfer edilen enerjinin sebep olduğu dalga hareketinin gerçekleşme ve yan duvara çarpma aşamaları Şekil 7'de gösterilmektedir. Perdesiz durumda akışkan bir bütün halinde hareket ederken, perdeli durumda üç farklı hazneye ayrılmış gibi olan akışkan kütleleri bir hazneden diğer hazneye geçerken enerji kaybetmekte ve bu düşük enerji ile yan duvara çarpılmaktadırlar.

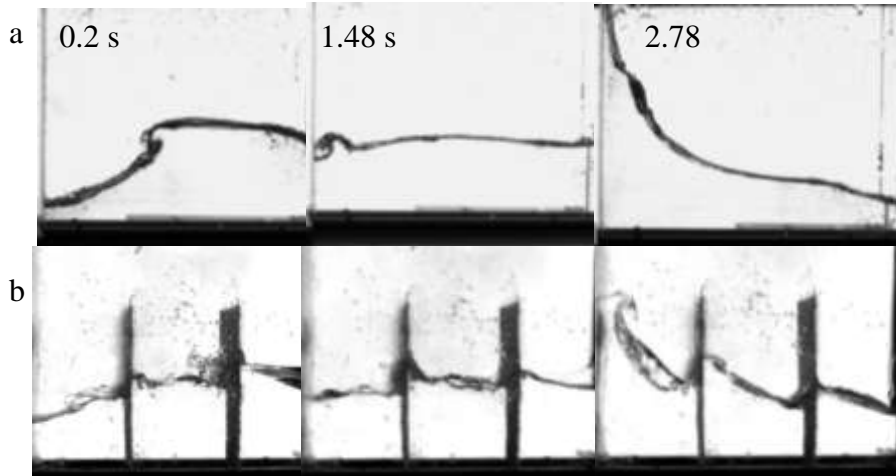


Şekil 5. 10.8 cm seviyesi için perdesiz ^a ve perdeli ^b tankın basınç değerleri



Şekil 6. 10.8 cm seviyesi için ikinci basınç sensörünü değerleri

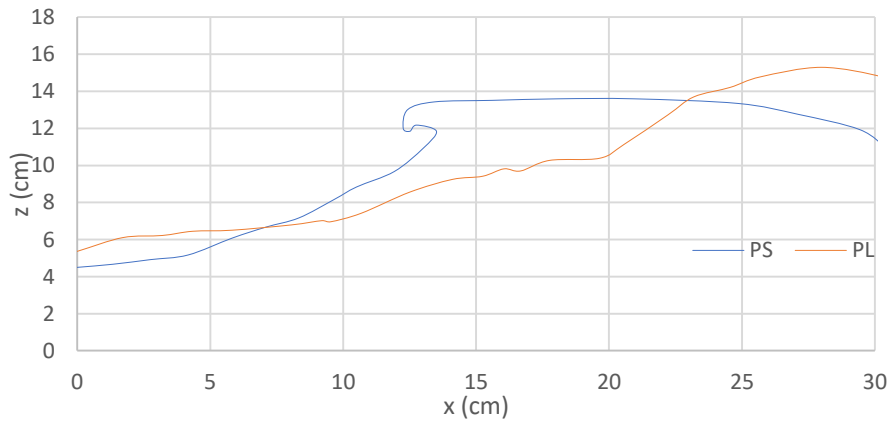
Perdeli durumda her bir bölmede bulunan akışkanlar, tahrik yönüne doğru daha erken z ekseninde yükselmektedir. Tank, perdeler ile 3 ayrı akışkan kütlelerinin bölünmüş, bir kısım akışkan diğer bölmeye geçerken bir kısmı daha az uzunlukta ama aynı tahrik frekansına maruz kalması sebebiyle kendi bölmesinde böyle bir yükselme meydana getirmiştir.



Şekil 7. Tanka soldan sağa doğru verilen tahrik sonucunda perdesiz ^a ve perdeli ^b durumlarda gerçekleşen akışkan hareketleri.

Ancak en nihayetinde erken yükselmeler, perdesiz durumdaki enerjisini toplayarak gelen akışkan hareketinin seviyesine ulaşamaz ve son resimdeki gibi (Şekil 7^b, 2.78 s) maksimum yüksekliğe kavuşur. Yani perdeli durumda akışkan parçalı olarak yan duvara etki etmekteyken, perdesiz durumda yekpare halde bütün enerjisiyle duvara çarpmaktadır.

Tanka perde yerleştirilmesi duvarlarda oluşan basınç değerlerinin azalmasını sağlarken aynı zamanda dalga formunu da değiştirerek dalga kırılması, hava sıkışması gibi diğer fiziksel olayların oluşmasına sebep olmaktadır. Şekil 8’de tankın aksel hareketi sırasında, serbest su yüzeyinin 0.2 s sonraki anı gösterilmiştir. Perdesiz durumda, daha büyük miktardaki bir akışkan kütlesi tankın soluna doğru hareket ederken, dalga tepesinde oluşan kıvrım duvara çarptığı esnada hava cebi oluşturmaktadır ve bu da basıncın azalmasına sebep olup bir nevi hava yastığı görevi görmektedir. Buna karşın perdeli durumda dalga formu farklı gerçekleşmekte ve böylece farklı bir olgu gözlemlenmektedir. Yani perdeler sadece akışkanın enerjisini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda dalga formunu da değiştirerek meydana gelen fiziksel neticeleri de değiştirmektedir.



Şekil 8. Perdesiz ve perdeli durumunda 0.2 s anındaki serbest su yüzeyinin durumu

Çalkantı problemi, içerisinde akışkan bulunan bütün hareketli sistemlerde önlem alınması gereken bir durumdur. Deniz ve kara taşıtlarında sadece cidara etki eden bir kuvvet olmayıp aynı zamanda taşıtın stabilitesini de bozan bu iç kuvvetlerin hareketinin anlaşılması ve azaltılması önemlidir. Hareket kaynaklı kazanılan akışkan enerjisinin çeşitli yöntemlerle sönmülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada uygulaması yapılan perdeleme ile basınçlarda düşüş sağlanmıştır ve yapılan karşılaştırma ile bunun etkili bir yol olduğu gösterilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Zorlu deniz koşullarında yol alan gemiler yapısal bazı hasarlarla karşı karşıya kalabilirler ve bu hasarlar genellikle dalga yükleri ilgili olur. Bu yükler sadece dış yapıya zarar vermekle kalmaz aynı zamanda eğer gemide bir akışkan taşınımı söz konusuysa, çarpma enerjisinin gemide taşınan akışkana transfer edilerek hem çalkantı oluşturup ek yüklerle maruz kalmasına hem de stabilitesinin bozulmasına sebep olabilmektedir. Ticari zaman kaygısı veya teknolojik gelişmeler gibi farklı sebeplerle gemiler olması gerekenden daha yüksek hızlara ulaşabilmekte ve daha fazla çalkantı yüklerine maruz kalabilmektedirler. Dalgalar neticesinde oluşan farklı gemi hareketleri, gemi tanklarındaki sıvıları da tahrik ederek iç duvarlarda basınç oluşturabilir. Çalkantı yüklerinin önceden doğru bir biçimde öngörülebilmesi gemilerin ve açık deniz yapılarının güvenli dizaynı için önemli bir faktördür. Yapısal anlamda tank duvarı ile sıvı arasındaki etkileşimin anlaşılması önemli bir gereksinimdir.

Bu çalışmada, dikdörtgen tank modelinin çalkantı etkisi nedeni ile yan duvarlarda meydana getirdiği basınçlar deneysel olarak incelenmiştir. Tank modelinin içine perdeler yerleştirilerek yan duvarlarda meydana gelen basınç düşüşleri ölçülmüştür. Neticede hem basınç değerlerinde düşüşler elde edilmiş hemde dalga formunun değiştiği gözlemlenmiştir. Tanklar, aynı frekansta tahrik edildiği halde araya yerleştirilen perdeler sayesinde akışkan enerjisinin bir kısmını perdelerden geçerken sönmülmekte ve böylece bir basınç kaybı gerçekleşmektedir. Ölçüm yapılan yere göre %40 ile %60 oran aralığında basınç değerlerinde azalmalar ölçülmüştür. Aynı zamanda perdeli durumda maksimum basınç oluşum sürelerinde de %60'lık bir orana kadar gecikme meydana geldiği ölçülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2018-3341.

Yazar(lar)ın Katkıları

FCK, KY ve BG. Deney ve analiz çalışmaları yapmış ve makalenin yazımını gerçekleştirmişlerdir. Yazar makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Kuo J.F., Campbell R.B., Ding Z., Hoie S.M., Rinehart A.J., Sandström R.E., Yung T.W., Greer M.N., Danaczko M. A., LNG Tank Sloshing Assessment Methodology, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 2009, 19(4): 241–253.
- [2]. Pistani F., Thiagarajan K.P., Experimental Measurements and Data Analysis of the Impact Pressures in a Sloshing Experiment, Ocean Engineering, 2012, 52: 60–74.
- [3]. Reed D., Yeh H., Yu J. and Gardarsson S., Tuned Liquid Dampers Under Large Amplitude Excitation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, Vols. 74-76, 923-930.
- [4]. Faltinsen O.M., Firoozkoobi R., Timokha A.N., Steady-State Liquid Sloshing In a Rectangular Tank With a Slat-Type Screen in The Middle: Quasilinear Modal Analysis and Experiments, Physics of Fluids, 2011, 23, 042101.
- [5]. Faltinsen OM, Timokha AN., Multimodal Analysis of Weakly Nonlinear Sloshing in a Spherical Tank, J. Fluid Mech., 2013, 719, 129–164.
- [6]. Lugni C., Brocchini M., Faltinsen O.M., Wave Impact Loads: The role of the Flip-through, Phys. Fluids, 2006, 18, 122101.
- [7]. Colagrossi A., Lugni C., Greco M., Faltinsen O.M., Experimental and Numerical Investigation of 2D Sloshing with Slamming, International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, 2014, Osaka, Japan,.
- [8]. Cavalagli N., Biscarini C., Biscarini C., Facci C., Ubertini A.F., Ubertini S., Experimental and Numerical Analysis of Energy Dissipation in a Sloshing Absorber, Journal of Fluids and Structures, 2017, 68: 466-481.
- [9]. Hou L., Li F., Wu C.J., A Numerical Study of Liquid Sloshing In a Two-Dimensional Tank Under External Excitations, Marine. Sci. Appl., 2012, 11: 305-310.
- [10]. Celis M., Wanderley J.B.V., Neves M.A.S., Numerical Simulation of Dam Breaking and The Influence of Sloshing on The Transfer of Water Between Compartments, Ocean Engineering, 2017, 146:125-139.

- [11]. Rafiee A., Pistani F., Thiagarajan K., Study of Liquid Sloshing: Numerical and Experimental Approach, *Comput Mech*, 2011, 47: 65-75.
- [12]. Kim S.Y., Kim K.H., Kim Y., Comparative Study on Moda-Scale Sloshing Test, *J Mar Sci Technol*, 2012, 17:47-58.
- [13]. Song, Y.K., Chang K., Ryu Y., Kwon S.H., Experimental Study on Flow Dynamics and Impact Pressure In Liquid Sloshing, *Exp Fluids*, 2013, 54:1592.
- [14]. Akyildiz H., Unal E., Dönme Hareketi Verilen Rijit Silindirik Bir Tankta Sıvı Çalkantısının Deneysel İncelenmesi, *Journal of ETA Maritime Science*, 2014, 2(2): 131-142.
- [15]. Kim. S.P., Chung, S.M., Shin, W.J., Cho, D.S., Park, J.C., Experimental Study on Sloshing Reduction Effects of Baffles Linked To a Spring System, *Ocean Engineering* 2018, 170: 136-147.
- [16]. Bağatur, T., Can Ö. F., Basamaklı Dolusavaklarda Nap Akımının Nümerik İncelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018, 5(3): 856-861.
- [17]. Atıcı, D., Bağdatlı, S.M., İdeal Olmayan Sınır Şartları Altındaki Akışkan Taşıyan Mikrokirişlerde Temel Parametrik Rezonans, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018, 5(2): 671-680.
- [18]. Kim, S.Y., Kim, K. H. and Kim Y., Comparative Study on Pressure Sensors For Sloshing Experiment, *Ocean Engineering*, 2015, 94: 199-212.
- [19]. Jin, X., Tang, J., Tang, X., Mi, S., Wu, J., Liu, M., Huang, Z., Effect of Viscosity on Sloshing in a Rectangular Tank with Intermediate Liquid Depth, *Experimental Thermal and Fluid Science* 2020, 118:110-148.
- [20]. Brizzolara S., Savio L., Viviani M., Chen Y., Temarel P., Couty N., Hoflack S., Diebold L., Moirod N., Iglesias A.S., Comparison of Experimental and Numerical Sloshing Loads In Partially Filled Tanks, *Ships Offshore Structure*, 2011, 6 (1-2): 15-43.
- [21]. Iglesias A.S., Bulian G., Verac E.B., A Set of Canonical Problems in Sloshing. Part 2: Influence of Tank Width on Impact Pressure Statistics in Regular Forced Angular Motion, *Ocean Engineering*, 2015, 105(1): 136-159.
- [22]. Bouscasse B., Antuono M., Colagrossi A., Lugni C., Numerical and Experimental Investigation of Nonlinear Shallow Water Sloshing, *Int. J. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 2013, 14 (2): 123-138.
- [23]. Bredmose H., Brocchini M., Peregrine D.H., Thais L., Experimental Investigation and Numerical Modelling of Steep Forced Water Waves, *J. Fluid Mech.*, 2003, 490(1): 217-249.
- [24]. Korkmaz F.C, Güzel B., Silindir ve Kürelerin Suya Girişlerinde Esnekliğin ve Katı Yüzey Özelliklerinin Dönme Yüklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *J ETA Maritime Sci.*, 2017, 5(3): 258-270.
- [25]. Korkmaz F.C, Güzel B., Water Entry of Cylinders and Spheres Under Hydrophobic Effects; Case for Advancing Deadrise Angles, *Ocean Engineering*, 2017, 129(1): 240-252.
- [26]. Tosun U., Aghazadeh R., Sert C. and Özer M.B., Tracking Free Surface and Estimating Sloshing Force Using Image Processing, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2017, 88(1): 423-433.
- [27]. Vance A., Elon Musk: Tesla, SpaceX, and the Quest for a Fantastic Future, New York, USA, Virgin Books, 2015.