



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Perde Tipi Engellerin Gözenek Oran ve Konumlarının Çalkantıyı Sönümleme Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

 Tolga BAYRAMOĞLU ,  Fatih C. KORKMAZ <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği

Bölümü, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [fkorkmaz@yildiz.edu.tr](mailto:fkorkmaz@yildiz.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1081197

### ÖZ

Bu çalışmada farklı gözenek oranına sahip perdelerin çalkantıyı sönümleme etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelde perdeler tankın her iki yan yüzeyine yerleştirilmiş ve salınım hareketine zorlanmıştır. Perdeler için serbest su yüzeyinde, altında ve üstünde olarak üç farklı konum belirlenmiştir. Her bir perde için, serbest su yüksekliğinde okunan basınç değerleri ile akışkan serbest yüzey deformasyonu zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda tank yan yüzeylerine uygulanan perdelerin, yüzey deformasyonunu azaltarak serbest su seviyesinde çalkantı kuvvetlerini düşürdüğü gösterilmiştir. Perdelerin basınç sönümleme oranları karşılaştırıldığında, en iyi oranın gözeneksiz perde olduğu belirtilerek. Serbest su yüzeyine yakın perde yerleşiminin basınç sönümlemede daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak gözenekli perdelerin sönüm oranı katı perdeye yakın olduğu, tanka daha az yük getireceği için bu tip perdenin uygunluğu vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** sönümleyici perde, çalkantı yükleri, nümerik çalışma, dikdörtgen tank.

## Numerical Investigation of solidity rate and position of baffles efficiency on damping sloshing

### ABSTRACT

In this study, the effect of baffle solidity in a partially filled rectangular tank on sloshing was investigated numerically. In the numerical model, the baffles are located on both lateral surfaces of the tank and are forced into oscillating motion. Three different positions were determined for the baffles as free water surface, below and above. For each baffles cases, the pressure values are measured at the free surface level and the free surface deformation of the fluid were compared. The results of the study showed that it reduces the pressures at the free surface level by decaying the surface deformation with applying baffles to the lateral tank walls. When the pressure damping ratios of the baffles are compared, it is seen that the best damping ratio is measured by using the solid baffles. In addition, it has been determined that the baffles placements closed to the free water surface was more effective in pressure damping. However, the better applicable of perforated baffles are emphasized because the damping rates are close to the solid baffles and it will bring less load to the tank.

**Keywords:** baffles, sloshing loads, numerical study, rectangular tank.

# I. GİRİŞ

Çalkantı, kısmen dolu bir tankta akışkana dışardan gelen kuvvet ile tank içerisinde serbest sıvı yüzeyinin deformasyona uğramasıyla oluşan kuvvettir. Akışkanın tank içerisinde oluşturduğu kuvvetler, sıvı seviyesine bağlı olarak değişen doğal frekans ile zorlama frekansının örtüşmesine, akışkanın viskozitesine ve tankın geometrisine bağlı olarak değişir (Akyıldız ve Ünal [1]). Cruchaga vd. [2] ilk iki doğal frekans değerlerini kapsayan, tankın çalkantısını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Jin vd. [3] farklı yükseklik ve viskozitedeki akışkanın çalkantı kuvvetlerini tespit etmişlerdir. Çalkantı tankın iç cidarlarına yükler bindireceği için araştırmacılar bu kuvvetleri sönmölemek için çeşitli uygulamalar yapmıştır. En yaygın uygulama tankın içerisine çeşitli boyutlarda engellerin yerleştirilmesidir. Çelebi ve Akyıldız [4] tank içerisindeki bir akışkan içerisine yatay ve dikey şekilde uygulanan perdelerin etkisini incelemiştir. Yu vd. [5] ise serbest yüzeye yerleştirilen düşey perdeler ile çalkantıyı sönmölemiştir. Yapılan çalışmada perdelerin düşük genliklerde ve doğal frekansa yakın salımlarda önemli oranda çalkantı yüklerini azalttığı belirtilmiştir. Kim vd. [6] eksenel zorlanan model tankının serbest su yüksekliğinde sağ ve sol duvarına yerleştirilen yaylı yatay perdelerle çalkantı kuvvetlerini azaltmıştır. Nasar ve Sannasiraj [7] katı perdeye alternatif olarak gözenekli perdelerin çalkantı yüklerini azaltmadaki etkilerini ve farklı perde formları ile kıyaslamıştır.

Belekroum vd. [8] kısmen dolu tankı salınım hareketine zorlanmış ve sönmö oranlarını analiz etmişlerdir. Akyıldız [9] sabit su yüksekliğinde, tabana yerleştirilen farklı yüksekliğe sahip perdelerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Goudarzi ve Sabbagh-Yazdi [10] sayısal ve deneysel çalışmada, tank içerisine yerleştirilen farklı perdelerin serbest su yüzey deformasyonuna etkisini incelemiştir. Jung vd. [11] ise perdelerin rezonans durumundaki sönmö etkisini sayısal olarak 3B model üzerinde araştırmışlardır. Jin vd. [12] yatay konulan gözenekli perdelerle, tek eksenli hareket altında basınç sönmö oranlarını incelemiştir. Korkmaz ve Guzel [13] ise farklı sayıdaki perdelerin sönmö oranını rezonans ve rezonans olmayan bölgelerde araştırmışlardır. Kim vd. [14] ölçekli LNG tankının serbest yüzeyine, yüzer şekilde örtü yerleştirilerek çalkantı genliğinde ve tank duvarlarında oluşan basınçlarda önemli oranda düşüşe sebep olduğu gösterilmiştir. Hwang vd. [15] çalkantının, perdesiz, rijid ve elastik bir perde yerleşimiyle, Sanapala vd. [16], Koca ve Zabun [17] ise yatay perdelerin çalkantıya etkisini sayısal olarak incelenmişlerdir. Akyıldız [18] tank içerisine yerleştirilen T şekilli perde, düz perde ve perdesiz durumlarda tankı salınım hareketine zorlamışlardır. Yapılan çalışmalarda T şeklindeki perdenin sığ sularda daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Cavalagli vd. [19] tankın zeminine yerleştirilen çalkantı sönmöleyicilerin etkisini incelemiştir. Cho ve Kim [20] gözenekli perdelerin konumlarına ve gözenek çaplarına göre çalkantıya etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Gözenek büyüklüklerinin küçültülmesinin çalkantı sönmölemede etkili olduğu ancak perde üzerine oluşacak yükünde artacağı belirtilmiştir. Gözenek büyüklükleri ile perde sayısı arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiş olup en uygun yöntem için optimizasyon yapılması gerekliliği ifade edilmiştir. Tsao ve Huang [21] gözenekli engellerin kullanıldığı tankın rezonans durumunda meydana gelen çalkantı kuvvetlerini analitik ve nümerik olarak tahmin etmişlerdir. Ayrıca sonuçlarını deneysel verilerle de doğrulamışlardır. Korkmaz vd. [22] tankın içine yerleştirilen farklı sayıda gözenekli perdelerin çalkantının sönmölemede etkisini araştırmışlardır. Sahin ve Bayraktar [23]. tankın ortasına ve yanal yüzeylerine konumlandırılan engellerin sönmö etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Seibi vd. [24] deneysel çalışmada tek yönde sabit ivmeli hareket eden bir tankın ani durması durumunda oluşacak çalkantı hareketini incelemiştir.

Tanktaki çalkantı hareketi sonucunda oluşan dalganın yanal yüzeylere etki oranları farklı olur (Kırıkğöz [25]). Genelde serbest su yüzeyinde en yüksek basınç tespit edilmiş olsa da bazı dalga formlarında maksimum basınç biraz daha yüksek kısımlarda tespit edilmiştir (Lugni vd. [26]). Farklı dalga formlarının fiziksel sonuçlarını ise Kisacik vd. [27] tartışmışlardır. Sanapala vd. [28] 3B dikdörtgen bir tankın boy, boy-yanal ve dalıp çıkma hareketlerinin birleşimi altında çalkantının fiziksel sonuçlarını incelemiştir. Nümerik ve deneysel kısımları bulunan çalışma, çalkantı kaynaklı hidrodinamik kuvvetlerin tankın cidarlarında yorulma hasarlarına sebep olabileceği vurgulanmıştır.

Bir diğer sönüm yöntemi olarak kahve yüzeyindeki köpüğün akışkan hareketini azalttığından yola çıkarak suyun üstüne dairesel köpük koyularak çalkantıyı sönümlenmeye çalışılmasıdır. Ning vd. [29] deneysel çalışmada, tank içerisindeki su üzerinde yüzen dairesel köpükler kullanmış ve etkisini tartışmışlardır. Bir diğer çalışma ise çalkanan akışkanın sabit cisimlere etkisi olmuştur. Demir ve Dinçer [30] çalışmalarında zamanla veya çeşitli çalışmalarla suyun altında kalan cami minarelerinin deprem anında çalkantıyla oluşan akışkan hareketinin etkilerini araştırmışlardır.

Bu çalışmada ise çalkantı esnasındaki sıvı deformasyonu dolayısıyla oluşacak basınçları azaltmak için dikdörtgen tankın yan duvarlarına yatay perde tipi engeller uygulanmıştır. Farklı oranda gözeneğe sahip perde tipi engellerin çalkantı sönümlenme etkilerini araştırılmıştır. Sayısal çalışmada üç farklı gözenek oranına sahip engel uygulanmıştır. Her bir durum için serbest su yüzey deformasyonu incelenerek, basınç ve çalkantı sönüm oranları karşılaştırılmıştır.

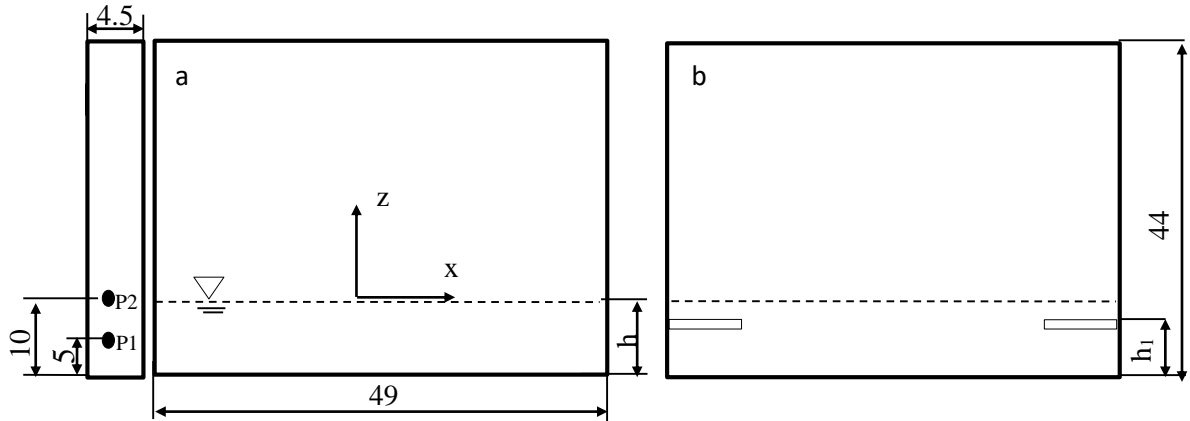
## II. SAYISAL MODEL

### A. MODEL TANITIMI

Serbest su yüzeyine sahip olan dikdörtgen bir tanka, çalkantının azaltılmasına yönelik pasif kontrol yöntemi olan sabit perdeler kullanılmıştır. Perdesiz ve farklı gözenek oranlı perdelerin yanal yüzeylere konumlandırılmasıyla tanktaki çalkantı etkisi araştırılmıştır. RANSE (Reynolds Averaged Navier-Stokes), standard k-ε türbülans modeli kullanılan çalışmada tanka aksel yönde ivme hareketi verilmiştir.

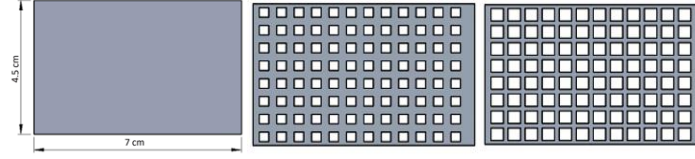
#### A. 1. Perde tipi Perdelerin Tankta Yerleşimi

Çalışmada, salınım hareketine zorlanmış tank içerisindeki suyun çalkantı esnasında tank duvarlarında belirli noktalardan okunan basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de akışkanın özellikleri belirtilmiştir. Şekil 1.’de ise 49 cm uzunluğunda, 44 cm yüksekliğinde ve 4.5 cm genişliğe sahip dikdörtgen tank gösterilmiştir. Tank içerisindeki su yüksekliği 10 cm, hareket genişliği 11 cm ve salınım frekansı ise 4.58 rad/s olarak belirlenmiştir.



*Şekil 1. Sayısal çalışmada kullanılan tank modeli (a) ve perdelerin konumlandırılması (b). Uzunluklar cm birimindedir.*

Çalkantıyı sönümlenmesi için kullanılan gözeneksiz ve farklı orandaki gözenekli perdeler şekil 2’ de gösterilmiştir. Perdeler tabana yerleştirilen engellere nazaran tanka yükleme-boşaltma hususunda daha kolaylık sağlayacağı düşünülerek, tankın yanal yüzeylerine uygulanmıştır. Konum olarak da serbest su seviyesine, altına ve tankın daha yüksek kısımları olarak düşünülmüştür. Perdeler geometrik olarak aynı forma sahip farklı gözenek oranlarında kullanılmıştır. a tipi perde gözeneksiz, b tipi perde %27 oranda gözenekli ve c tipi perde ise %50 oranda gözenekli perde olarak belirlenmiştir.



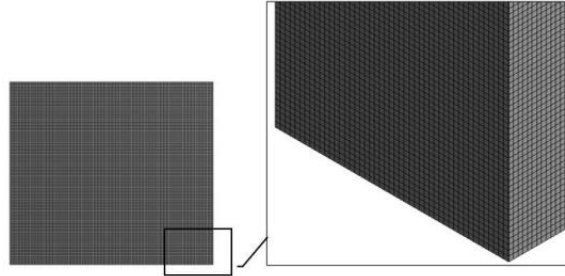
Şekil 2. Perde geometrileri, gözeneksiz perde a, %27 oranlı gözenekli perde tipi b ve %50 oranlı gözenekli perde tipi c

Tablo 1. Suyun akışkan özellikleri

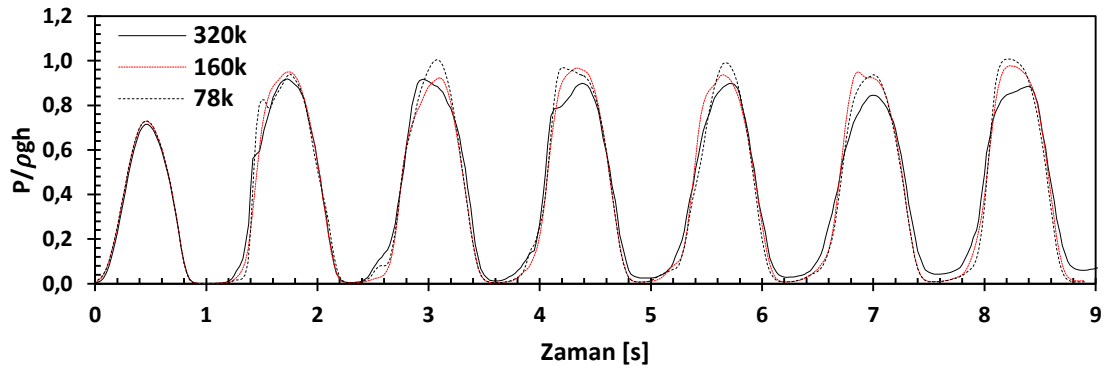
Akışkan	Viskozite (Ns/m <sup>2</sup> )	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Yüzey Gerilimi (N/m)
Su	0.0010005	998	20	0.0728

## A. 2. Ağ yapısı ve Bağımsızlık analizi

Ağ yapısından bağımsızlığı göstermek için üç farklı eleman sayısı kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Sayısal çalışmada modelin bir ağ örgüsü Şekil 3. de gösterilmiştir. Elde edilen boyutsuz basınç değerleri her bir eleman sayısı için hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4’de gösterilmiştir. Tablo 2’de farklı zaman dilimi ve ağ yapısındaki normalize edilmiş basınç değerlerinin hata analizi eklenmiştir. Analiz çalışmaları Intel(R) Xeon (R) CPU E5630 @2,53 GHz 64 GB RAM özellikli bilgisayarda yapılmıştır. Kullanılan eleman sayısı ise 160k elemanlı ağ örgüsü olarak seçilmiştir. Ayrıca sayısal çalışma 0.025 zaman adımında zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Dikdörtgen tank model ağ yapısı



Şekil 4. Ağdan bağımsızlık analizi

Tablo 2. Ağ sayıları ve hata analizi

Ağ sayısı	P/pgh	E
78k	0.913+0.0267	% 6.8
160k	0.909+0.02	% 5.6

### A. 3. Matematik Model

Çalkantı problemini çalışabilmek için kullanılan süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$\nabla(V) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(V)}{\partial t} + V \cdot \nabla(V) = -\frac{1}{\rho} \nabla P + F + \nu \nabla^2 V \quad (2)$$

Burada V hız vektörünü  $\rho$ , P ve F ise sırasıyla akışkanın yoğunluğunu, basıncı, kinematik viskoziteyi ve dış kuvvetleri gösterir.

Serbest yüzey dağılımının tespiti için uygulanan VOF denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (a_b \rho_b) + \nabla \cdot (a_b \rho_b \vec{v}_b) \right] = S_{a_b} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{ab} - \dot{m}_{ba}) \quad (3)$$

Burada,  $\dot{m}_{ab}$  a fazından b fazına kütle transferini,  $\dot{m}_{ba}$  b fazından a fazına kütle transferini ifade etmektedir. Denklemin sağ tarafında  $S_{a_b}$  kaynak terimini ifade etmektedir. n faz için;

$$\sum_{b=1}^n a_b = 1 \quad (4)$$

İki fazlı akışın fiziksel parametreleri hesaplamak için kullanılan aşağıda denklemler belirtilmiştir;

$$\rho = \alpha \rho_b + (1 - \alpha) \rho_a \quad (5)$$

$$\mu = \alpha \mu_b + (1 - \alpha) \mu_a \quad (6)$$

Burada  $\alpha$ , su için 1, hava için 0 olarak belirtilir.

Türbülans modeli için k, türbülans kinetik enerji ve  $\varepsilon$ , yayılma hızı çözümünü gerektiren standart k-  $\varepsilon$  seçilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu_t + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \varepsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu_t + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (8)$$

Aşağıda verilen Tablo 3'de k-  $\varepsilon$  türbülans modelinde kullanılan katsayılar verilmiştir.

**Tablo 3.** Türbülans model sabitleri

Model sabitleri	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$\sigma_\varepsilon$	$\sigma_k$	$C_\mu$
Değer	1.44	1.92	1	1.3	0.09

Su ile dolu tankın doğal frekansı, su yüksekliği  $d$  ve tank uzunluğu  $l$  oranına bağlı olarak ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Yu et al. [5]).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{4\pi l} \tanh\left(\frac{\pi d}{l}\right)} \quad (9)$$

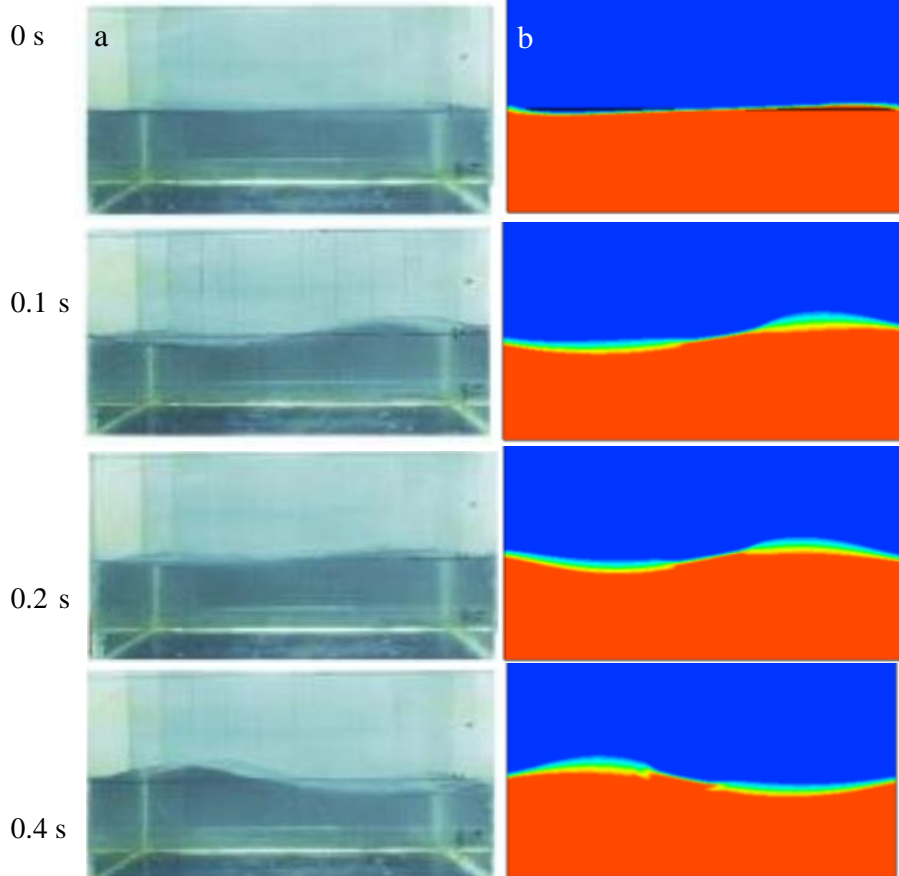
Sayısal analiz çalışmasında tank doğal frekansı  $\omega_n = 1.16 \text{ Hz}$  olarak hesaplanmıştır. Salınım hareketine zorlanan sistemin hareket denklemi ise aşağıdaki gibidir;

$$X = A \sin(\omega t) \quad (10)$$

Burada,  $A$  tank hareket genliğini ve çalışmada  $0.11 \text{ m}$ 'dir,  $\omega$  hareket frekansını ve  $t$  de zamanı ifade etmektedir.

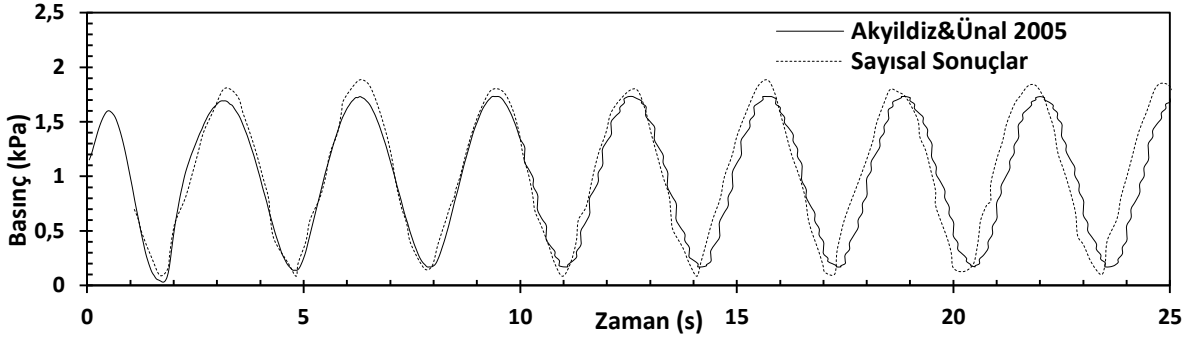
#### A. 4. Modelin Doğrulanması

Modelin doğrulanması için farklı refereranslar seçilmiştir. Serbest yüzey deformasyonunu karşılaştırmak için Cruchaga vd. [2] yapılan deneyler ele alınmış ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Aynı frekans salınımında, serbest su yüzeyi deformasyonu yapılan sayısal çalışmayla da yakalanmıştır. Akyildiz ve Unal [1] çalışması ile basınç değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Basınç ölçümleri de tanka  $2 \text{ rad/s}$  tahrik verildiğindeki değerler alınmıştır. Tankın salınım frekansı sistemin doğal frekansı ile örtüşmeyen yani rezonans olmayan bölgede yapılan karşılaştırma deneysel veriye oldukça iyi yaklaşmıştır.

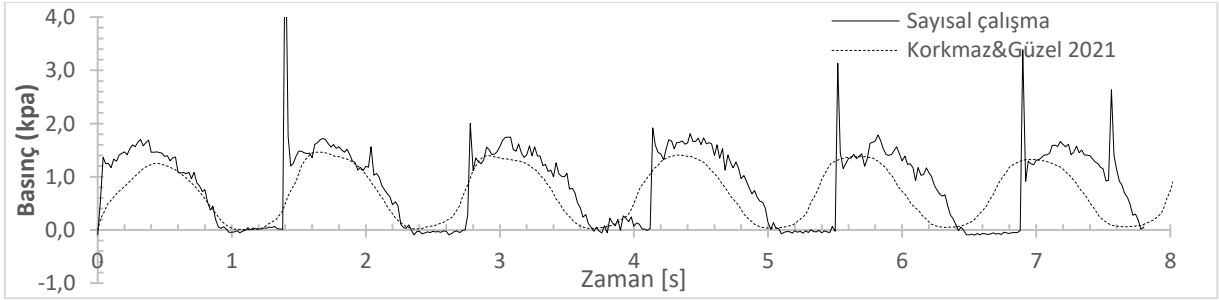


*Şekil 5. Serbest su yüzeyi karşılaştırması Cruchaga vd. [2]<sup>a</sup>, sayısal çalışma<sup>b</sup>*

Yalnız eğer sistemin doğal frekansı ile örtüşen değerlerde salınım yapılırsa, serbest su yüzeyindeki deformasyonun çok artmasıyla dalga uç formunun açık hale gelmesi, hava sıkışması veya hava ile karışık çarpma neticesinde basınç ölçümlerinin tekrar edilebilirliği düşmektedir (Kısacık vd. [27], Korkmaz ve Guzel [13]). Buna ek olarak sayısal çalışmada kırılan dalganın sonucu, tank yüzeyi ile dalga ucu arasında sıkışan havanın etkisini yakalanamadığı için bu rezonans bölgesindeki numerik yaklaşımla bulunan basınç değerleri, rezonans dışı bölgedeki doğruluk oranından daha düşük çıkmıştır. Şekil 7’de rezonans bölgesine yakın frekanstaki tank salınımının basınç karşılaştırması gösterilmektedir.



*Şekil 6. Rezonans dışındaki bölgedeki çalkantı basınçlarının karşılaştırılması*



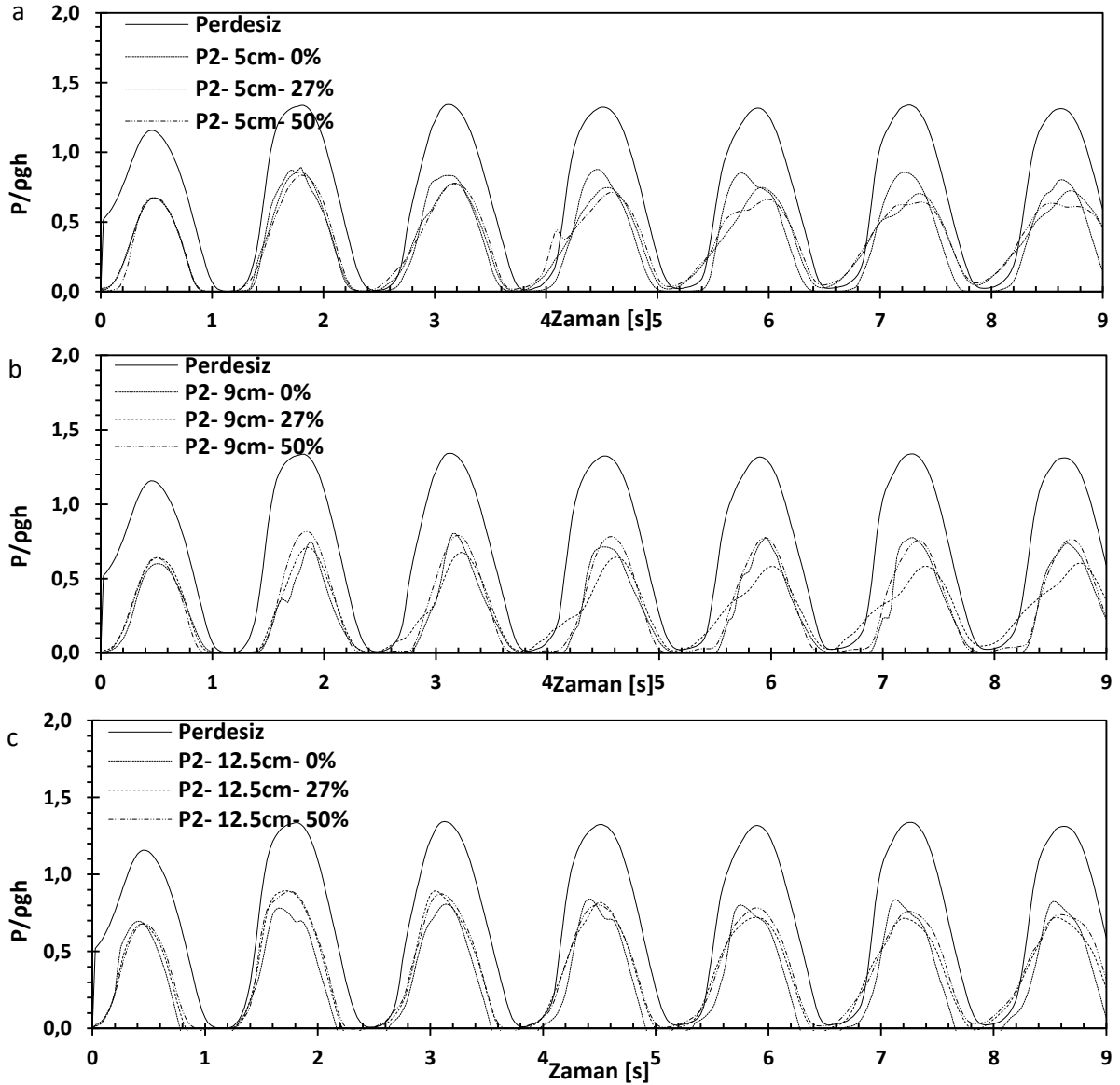
*Şekil 7. Rezonans bölgesi yakınlarındaki çalkantı basınçlarının karşılaştırılması*

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Çalkantıya zorlanan tank, sabit basınca ulaşana kadar ölçümler alınmıştır. Aynı ölçümler farklı perde uygulamaları için de tekrar edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Akışkan serbest sıvı yüzeyi yüksekliğine uygulanan P2 basınç ölçüm noktasında meydana gelen basınç değişimleri farklı gözenek oranlarında ve farklı yüksekliklere yerleştirilen perdelerle Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 8 a, b ve c sırasıyla tank tabanından 5 cm, 9 cm ve 12.5 cm yüksekliğe yerleştirilen perdelerin P2 yani serbest su yüksekliğinde oluşan basınçlara etkisini göstermektedir. Bir tanka salınım esnasında en yüksek basınç, dalganın formuna göre değişiklik gösterir. Çoğu dalga formunda, serbest su yüksekliği bölgesindeki basınç değerleri diğer noktalara göre daha yüksek olurken (Kırıköz [25]). Dalga ile tabandan gelen akış yanıl yüzeyde buluşup, tankın üst kısımlarına doğru hızlıca enerji aktarımı gerçekleşiyorsa serbest sıvı bölgesinden biraz daha yukarı bölgelerde maksimum basınç gerçekleşir (Lugni vd. [26]).

Serbest su yüksekliğine yakın alınan sonuçlar, akışkan serbest yüzeyinden okunan basınç değerlerin perde kullanımı ile büyük oranda azaldığı belirlenmiştir. En düşük sönümlenme oranının ise serbest yüzeyden en uzak nokta olan 5 cm ye yerleştirilen perde ile gerçekleşmiştir. Serbest su bölgesine yerleştirilen perdelerin basınç karşılaştırmasında ise en iyi sönümlenme oranı tank tabanından 9 cm yüksekliğe yerleştirilen b tipi perdelerin sağladığını görülürken, 9 cm’ye yerleştirilen c tipi ve a tipi

perdelerin basınç sönümlenme değerlerinin birbirine yakın ve diğer perde uygulama yüksekliklerinde daha iyi olduğu belirlenmiştir. Örneğin Şekil 8<sup>b</sup>'de %52 ile en iyi sönümlenme oranına sahip gözeneksiz perde, c tipi perde ise %43 sönüm gerçekleştirmiştir. Ancak gözeneksiz perde her ne kadar daha iyi sönüm gerçekleştirmiş olsa da yarı yarıya gözenekli olan perdenin kullanımı tanka getireceği ek konstrüksiyon ve ağırlıktan dolayı gözenekli perdenin kullanımı daha optimumdur. Serbest sıvı yüzeyine yerleştirilen perdelerin daha etkin olması, o bölgelerde dinamik basıncın daha etkili olduğu içindir. Ama tankın derinliklerinde statik basınç dinamik basınca göre dominant olduğu için sönüm oranı daha az olmuştur. Perde engellerdeki gözenek oranının artması daha fazla akışkanın aksi yöne geçmesiyle sönüm oranını azaltmaktadır. Perde kullanımıyla yalnız akışkanın oluşturduğu basınç düşmemiş aynı zamanda gözenek oranının küçülmesiyle maksimum basınca ulaşma süresi uzamıştır. Şekil 8<sup>b</sup>'de perdesiz ve katı perdeli karşılaşmada 0.2 s gecikmeli olarak maksimum basınç değerine ulaşmıştır. Bu süre %50 gözenek oranlı perde ile 0.02 s ek süre gerekmiştir.

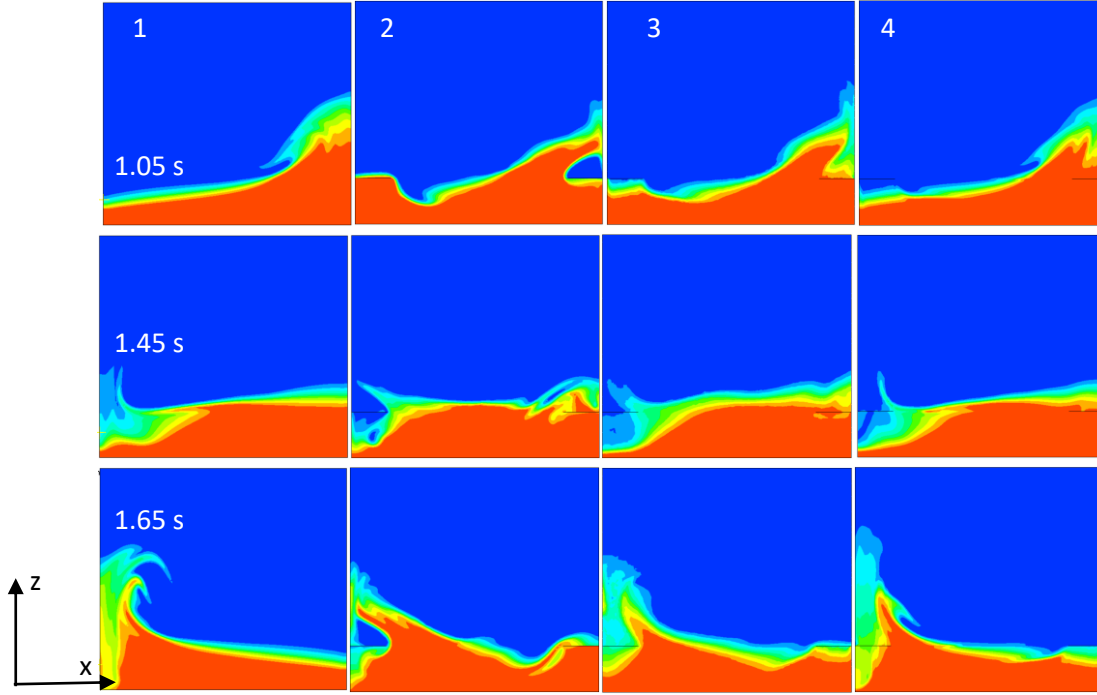


Şekil 8. Farklı yüksekliklere yerleştirilen perdeler için P2 noktası boyutsuz basınç değerleri

Şekil 9'de  $t=0$  saniyeden  $t=1.65$  saniyeye kadar çeşitli zamanlarda 9 cm ye yerleştirilen farklı perde yerleşimleri için aksenal zorlama altında serbest su yüzeyinin deformasyonu verilmiştir. Akışkan başlangıçta +x yönüne doğru salınım yaptığı için o yöne doğru hareket etmeye başlar, duvara çarparak



yükselir. Hareket etkisi ile kazanılan enerji duvara aktarılır. Daha sonra tankın -x istikametinde ilerlemesiyle akışkan sol duvara aynı şekilde çarpıp, harekete dik yönde tankın tavanına doğru enerjisi doğrultusunda tırmanır. Akışkanın bu hareketi tank duvarlarında çarpma kuvvetleri oluşturur. Tankın perdesiz ve perde yerleştirilmiş halleri akışkanın tank içerisindeki serbest su yüzey deformasyonunun farklı olmasına sebep olur. Akışkan perdesiz tankta enerji kaybetmeden tank yanal yüzeylerinde yükselirken, perdeler akışkanın bir kısmı enerjisini alarak daha az enerjiyle yanal yüzeye çarpmasını sağlar. Gözeneksiz perde akışkan hareketini daha çok engellerken, gözenek oranı arttıkça daha az sönümlenme gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Perdesiz 1, a tipi perde 2, b tipi perde 3 ve c tipi perde 4

Yanal yüzeylere uygulanan perdelerle serbest su yüzey bölgesinde deforme olan akışkan ciddi oranda azalmış olduğu halde özellikle gözeneksiz perde de daha yüksek yanal yüzeylere bir miktar da olsa akışkan taşınımı gerçekleşmiştir. Dolayısıyla gözeneksiz perde serbest su yüzeyinde ciddi oranda sönüm gerçekleştiği durumda, b ve c tipi perde de ile daha az sönüm oran elde edilmiştir. Ancak daha yüksek seviyelerde, gözenekli perdenin akışkanın enerjisini yayararak dağıttığından, o bölgelerde akışkan daha az enerjiye sahiptir.

#### **IV. SONUC**

Bu çalışmada çalkantı etkisinin azaltılması için dikdörtgen tankın yanal yüzeylerine gözeneksiz perde ve çeşitli oranlarda gözenekli perdeler yerleştirilmiştir. Yapılan sayısal çalışmada aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Tank yanal duvarlarına yerleştirilen perdelerin çalkantı şiddetini azaltmada tıpkı tabana yerleştirilen engeller gibi etkili olduğu ve tank duvarlarında oluşan basınçlarda perdesiz konuma göre azalma olduğu gösterilmiştir.

•Serbest yüzeyinde alınan basınç değerleri, serbest yüzeye yerleştirilen perdelerin basınç sönümleme oranları diğer bölgelere yerleştirilen perdelerle göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Gözenek oranının artmasıyla beraber bu sönüm oranının azaldığı görülmüştür. Ancak yarı yarıya gözenek olduğu perdelerde, gözeneksiz perdeye oranda %9 daha az sönüm gerçekleştirmiştir. Bu sebepten perdelerde optimum gözenek oranının tespit edilerek uygulanması tanka getirecek ek yüklerden kaçınmak için katı perdelerin kullanımına göre daha uygun olacaktır.

•Serbest su yüzey deformasyonuna bakıldığında ise her bir perde yerleşiminde akışkanın daha az deforme olduğu görülmüştür. Fakat gözenekli perde gelen akışkanı serbest su yüzeyinden yukarı noktalara yükü dağıtarak yaydığı halde katı perde belirli bölgelere daha fazla yük aktarmıştır. Bu da tek noktada daha fazla enerji aktarımına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Katı perde kullanımının bir diğer durumu ise çalkantı yükünü daha çok sönümlemesi sonucu malzemenin yorulması daha olasıdır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] H. Akyildiz and E. Ünal, “Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing,” *Ocean Eng.*, vol. 32, no. 11-12, pp. 1503-1516, 2005.
- [2] M. A. Cruchaga, R. S. Reinoso, M. A. Storti, DJ Celentano and TE Tezduyar, “Finite element computation and experimental validation of sloshing in rectangular tanks,” *Comput. Mech.*, vol. 52, no. 6, pp. 1301-1312, 2013.
- [3] X. Jin, J. Tang, X. Tang, S. Mi, J. Wu, Mi Liu and Z. Huang, “Effect of viscosity on sloshing in a rectangular tank with intermediate liquid depth,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 118, pp. 110-148, 2020.
- [4] M.S. Celebi and H. Akyildiz, “Nonlinear modeling of liquid sloshing in a moving rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 29, no. 12, pp. 1527–1553, 2002.
- [5] Y. M. Yu, N. Ma, S. M. Fan and X. C. Gu, “Experimental and numerical studies on sloshing in a membrane-type LNG tank with two floating plates,” *Ocean Eng.*, vol. 129, pp. 217–227, 2016.
- [6] S. P. Kim, S. M. Chung, W. J. Shin, D. S. Cho and J. C. Park, “Experimental study on sloshing reduction effects of baffles linked to a spring system,” *Ocean Eng.*, vol. 170, pp. 136–147, 2018.
- [7] T. Nasar and S. A. Sannasiraj, “Sloshing dynamics and performance of porous baffle arrangements in a barge carrying liquid tank”, *Ocean Eng.*, vol. 183, pp. 24–39, 2019.
- [8] R. Belakroum, M. Kadja, T. H. Mai and C. Maalouf, “An efficient passive technique for reducing sloshing in rectangular tanks partially filled with liquid,” *Mech. Res. Commun.*, vol. 37, no. 3, pp. 341–346, 2010.
- [9] H. Akyildiz, “A numerical study of the effects of the vertical baffle on liquid sloshing in two-dimensional rectangular tank,” *J. Sound Vib.*, vol. 331, no.1, pp. 41–52, 2012.
- [10] M. A. Goudarzi and S. R. Sabbagh-Yazdi, “Analytical and experimental evaluation on the effectiveness of upper mounted baffles with respect to commonly used baffles,” *Ocean Eng.*, vol. 42, pp. 205–217, 2012.
- [11] J. H. Jung, H. S. Yoon, C. Y. Lee and S. C. Shin, “Effect of the vertical baffle height on the liquid sloshing in a three-dimensional rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 44, no. 79–89, 2012.

- [12] H. Jin, Y. Liu and H. J. Li, “Experimental study on sloshing in a tank with an inner horizontal perforated plate,” *Ocean Eng.*, vol. 82, pp. 75–84, 2014.
- [13] F. C. Korkmaz and B. Güzel, “On the effects of the number of baffles in sloshing dynamics,” *Ships and Offshore Structures*, vol. 18, no. 1, pp. 21-33, 2023.
- [14] Y. Kim, S. M. Hwang, S. E. Chun, Y. S. Suh, J. J. Park and Y. J. Lee, “Model-scale sloshing tests for an anti-sloshing blanket system,” *Int. J. Offshore Polar Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 254–262, 2013.
- [15] S.C Hwang, J. C. Park, H. Gotoh, A. Khayyer and K.J. Kang, “Numerical simulations of sloshing flows with elastic baffles by using a particle-based fluid- structure interaction analysis method,” *Ocean Eng.*, vol. 118, pp. 227–241, 2016.
- [16] V. S. Sanapala, M. Rajkumar, K. Velusamy and B. S. V. Patnaik, “Numerical simulation of parametric liquid sloshing in a horizontally baffled rectangular container,” *J. Fluids Struct.*, vol. 76, pp. 229–250, 2018.
- [17] F. Koca ve M. Zabun, “Çoklu Bölmeli Kare Tankta Su Çalkalanmasının Sayısal Araştırması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 28, ss. 1062-1070, 2021.
- [18] H. Akyildiz “Sloshing in a T-baffled rectangular storage tank numerical study for 2-D problems,” *GİDB Dergi*, s. 1, ss. 13–34, 2014.
- [19] N. Cavalagli, C. Biscarini, A. L. Facci, F. Ubertaini and S. Ubertaini, “ Experimental and numerical analysis of energy dissipation in a sloshing absorber,” *J. Fluids Struct.*, vol. 68, pp. 466–481, 2017.
- [20] I. H. Cho and M. H. Kim, “Effect of dual vertical porous baffles on sloshing reduction in a swaying rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 126, pp. 364–373, 2016.
- [21] W. H. Tsao and Y. L. Huang, “Sloshing force in a rectangular tank with porous media,” *Results in Engineering*, vol. 11, 100250, 2021.
- [22] F. C. Korkmaz, K. Yigit ve B. Guzel “Perde Tipi Engellerin Çalkantı Yüklerini Azaltma Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma,” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 1149-1157, 2021.
- [23] G. Sahin and S. Bayraktar, “Flow Visualization of Sloshing in an Accelerated Two-Dimensional Rectangular Tank,” *International Journal of Engineering Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 106-112, 2015.
- [24] C. Seibi, A. Goharzadeh and L. Khezzar, “Water Sloshing in Rectangular Tanks– An Experimental Investigation Numerical Simulation,” *Int. J. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 174–184, 2009.
- [25] M. S. Kirkgoz, “Impact Pressure of Breaking Waves on Vertical and Sloping Walls,” *Ocean Engineering*, vol. 18, no. 1-2, pp. 45-59, 1991.
- [26] C. Lugni, M. Brocchini and O. M. Faltinsen, “Wave impact loads: The role of the flip-through,” *Phys Fluids*, vol. 18, 122101, 2006.
- [27] D. Kisacik, P. Troch and P. Van Bogaert, “Description of loading conditions due to violent wave impacts on a vertical structure with an overhanging horizontal cantilever slab,” *Coastal Eng.*, vol. 60, pp. 201–226, 2012.

- [28] V.S. Sanapala, K. Velusamy and B.S.V. Patnaik, "Numerical study of coupled slosh modes in a 3D vessel subjected to multi-directional excitations," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 175, 109197, 2022.
- [29] D. Z. Ning, P. Su and C. W. Zhang, "Experimental Study on A Sloshing Mitigation Concept Using Floating Layers of Solid Foam Elements," *China Ocean Eng.*, vol. 33, no. 1, pp. 34-43, 2019.
- [30] A. Demir ve A. E. Dinçer, "Batık Minarelerde Su Seviyesinin Yapıya Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 325-332, 2021.