



Earthquake-Induced Sloshing Analysis of Circular Type Clarifier

Murat Aksel¹

¹ Alanya Alaaddin Keykubat University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Alanya, Antalya, Turkey

ORCID: 0000-0002-6456-4396

Keywords

Earthquake, Treatment Plant, Sloshing, Public and Environment Health

Highlights

- * Hydrodynamic variations in the circular type clarifier conditions were investigated during earthquake
- * Sloshing wave heights were calculated
- * Temporal variations were examined on hydrodynamics forces acting on vulnerable equipment

Acknowledgements

The author would like to thank to Prof. Dr. Eren Uçkan and Assoc. Dr. Cengiz İpek about their encouragement and final review of the paper and also would like to thank to Izmit Water and Sewerage Directorate for sharing information of the clarifier.

Aim

Aim of the study to understand earthquake-induced sloshing hydrodynamics of a water treatment unit, circular type clarifier.

Location

Study area was Kocaeli Kullar Wastewater Treatment Plant

Methods

Computational fluid dynamics was used to examine response of a circular type clarifier under sloshing and was calculated acting forces on vulnerable equipment.

Results

Clarifiers and other water treatment units are vulnerable units for earthquake-induced sloshing. Computational fluid dynamics methods are useful to understand water treatment units response under sloshing.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 25.10.2021

Revised: 28.11.2021

Accepted: 08.12.2021

Printed: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1014192

Corresponding Author

Murat Aksel

Email: murat.aksel@alanya.edu.tr

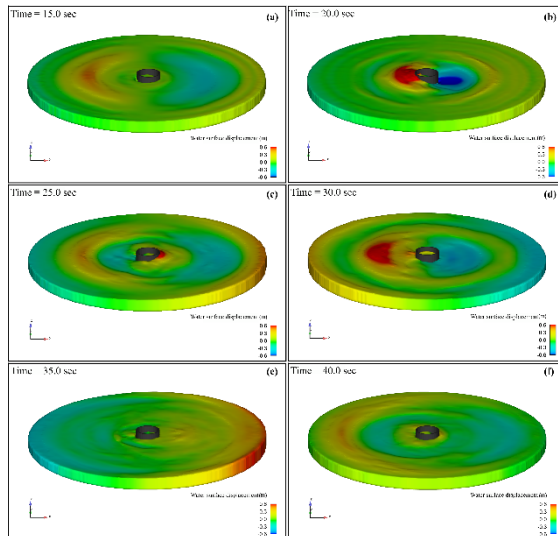


Figure
Figure: Instantaneous earthquake-induced sloshing waves for (a) $t = 15$ s, (b) $t = 20$ s, (c) $t = 25$ s, (d) $t = 30$ s, (e) $t = 35$ s and (f) $t = 40$ s.

How to cite

Aksel M., 2021. Earthquake-Induced Sloshing Analysis of Circular Type Clarifier, Turk. J. Earthq. Res. 3 (2), 149-166, <https://doi.org/10.46464/tdad.1014192>



Dairesel Tipteki Çöktürme Havuzunun Deprem Altındaki Çalkalanma Analizi

Murat Aksel¹

² Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Alanya, Antalya, Türkiye

ORCID: 0000-0002-6456-4396

ÖZET

Büyük tanklar ve içinde hassas karıştırma ekipmanları bulunduran atık su arıtma tesisleri deprem açısından kritik altyapılardır. Depremler sırasında bu tür tesislerdeki yapıların hasar görmesi çevre kirliliğine neden olabilmekte ve halk sağlığına tehdit oluşturabilmektedir. Arıtma tesislerindeki gömülü havuzlar farklı geometri ve boyutlarda olmamasından dolayı çalkalanmaya bağlı dalga yüksekliğinin hava payını aşabilir. Bunu sonucunda deprem sırasında meydana gelebilecek taşmalar yeraltı suyunu kirleterek çevre problemine yol açabilir. Ayrıca bu havuzların içindeki yapısal olmayan elemanların deprem sırasında hasar görmesi sonucu arıtma birimleri devre dışı kalabilir. Bu durum deprem sonrasında tüm tesisin hizmet vermesini aksatacağı için halk sağlığını tehdit edecektir. Bu çalışma kapsamında Kocaeli il sınırları içinde yer alan Kullar Atıksu Arıtma Tesisindeki dairesel tipteki bir son çöktürme havuzunun Kocaeli 1999 deprem sinyali altındaki çalkalanma analizi sayısal modelleme yardımıyla incelenmiştir. Çalkalanmaya bağlı olarak havuz içinde 90 cm yüksekliğinde çalkantı dalgası ve havuz duvarının taban yakınında 5000 Pa hidrodynamic basınç hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler

Deprem, Arıtma Tesisi, Çalkalanma, Çevre Kirliliği

Öne Çıkanlar

- * Dairesel tipteki arıtma ünitesinde depreme bağlı hidrodynamic koşullarda değişim incelenmiştir
- * Çalkalanmaya bağlı olarak meydana gelen dalga yükseklikleri hesaplanmıştır
- * Hassas ekipmanlarda çalkalanmaya bağlı kuvvet değerleri zaman serisi halinde hesaplanmıştır

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.10.2021
Düzeltilme: 28.11.2021
Kabul: 08.12.2021
Basım: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1014192

Sorumlu yazar

Murat Aksel
Eposta:
murat.aksel@alanya.edu.tr

Earthquake-Induced Sloshing Analysis of Circular Type Clarifier

Murat Aksel¹

¹ Alanya Alaaddin Keykubat University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Alanya, Antalya, Turkey

ORCID: 0000-0002-6456-4396

ABSTRACT

Wastewater treatment plants with large tanks and sensitive mixing equipment are earthquake-critical infrastructures. Damage to the structures in such facilities during earthquakes can cause environmental pollution and threaten public health. Since the embedded pools in the treatment plants are not of different geometries and sizes, they may exceed the air share of the wave height due to the sloshing event. As a result, overflows that may occur during an earthquake can cause environmental problems by polluting the groundwater. Besides, treatment units may be disabled due to damage to non-structural elements in these units during an earthquake. This situation will threaten public health as it will disrupt the service of the entire facility after the earthquake. In this study, sloshing analysis under Kocaeli 1999 earthquake signal of a circular type clarifier in Kullar Wastewater Treatment Plant located in Kocaeli district was analyzed using numerical modeling tools. Due to the sloshing, 90 cm high water surface displacement in the clarifier and 5000 Pa hydrodynamic pressure near the bottom of the clarifier wall were calculated.

Keywords

Earthquake, Treatment Plant, Sloshing, Public and Environment Health

Highlights

- * Hydrodynamic variations in the circular type clarifier conditions were investigated during earthquake
- * Sloshing wave heights were calculated
- * Temporal variations were examined on hydrodynamics forces acting on vulnerable equipment

Manuscript

Research Article

Received: 25.10.2021
Revised: 28.11.2021
Accepted: 08.12.2021
Printed: 31.12.2021

DOI

10.46464/tdad.1014192

Corresponding Author

Murat Aksel
Email:
murat.aksel@alanya.edu.tr

1. GİRİŞ

Geçmişteki ve yakın zamandaki önemli depremler (örneğin, Loma Prieta 1989, Kobe 1995, Kocaeli 1999, Tohoku 2011) konutlara olduğu kadar sivil ve endüstriyel altyapılara da zarar vermiştir. Karayolları, havaalanları, köprü ve viyadükler, fabrikalar, depo sahaları, su iletim ve arıtma sistemleri vb. altyapılar örnek olarak verilebilir. Altyapı tesisleri deprem sonrasında fonksiyonelliğini koruması gereken kritik tesislerdir.

Deprem, su ve atıksu arıtma tesislerine (SAT ve AAT) direkt ve dolaylı etkilerde bulunur (EERI 1995, Kuraoka ve Rainer 1996, Schiff 1998, EERI 2001, Erdik 2001, Eindinger 2002, Rodriguez-Marek vd. 2003, Eidinger ve Yashinsky 2004, Yashinsky 2004, Kayen vd. 2007, Strand ve Masek 2007, EERI 2010, Tang ve Schiff 2010, Evans ve McGhie 2011, Tang vd. 2011, Eindinger ve Tang 2012, Wareham ve Bourke 2013, Panico vd. 2017). Tsunami, sel ve uzun süreli elektrik kesintileri depremin arıtma tesislerine dolaylı etkileridir. Direkt etkiler ise yapısal elemanlarda deformasyon ve kırılmalar (borular, tank duvarları, havuz perdeleri, taşıyıcı elemanlar vb.), zemin sıvılaşmasına bağlı farklı hasarlar (oturmalar, çökmeler, göçmeler, şev akması vb.) ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasarlar (sıyırıcılar, karıştırıcılar, havalandırma başlıkları, ayırıcı panel ve perdeler, izleme ve kontrol ekipmanları vb.) (NIST 2014). Hasar nedenleri üç başlık altında toplanarak incelenebilir. Bu tür hasarlar genellikle kuvvetli yer hareketi, zemin göçmesi ve atalet kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır (Panico vd. 2017). Atalet kuvvetler, havuz geometrisi, derinliği ve deprem özelliklerine bağlı olarak arıtma havuzları içinde çalkalanmaya neden olmaktadır. Fay kırılmasına bağlı yer değiştirme sonucunda meydana gelen yapısal olmayan eleman hasarlarına ek olarak havuzlarda meydana gelen çalkalanma da yapısal olmayan elemanlarda hasara neden olmaktadır (Chung vd. 1996, Ballantyne ve Crouse 1997, Rodriguez-Marek vd. 2003, Meneses vd. 2010, Evans ve McGhie 2011, Eindinger ve Tang 2012, Wareham ve Bourke 2013, Panico vd. 2017).

Çalkalanma sadece yapısal olmayan elemanlarda hasarlara neden olarak tesisin kullanım dışı kalmasına sebep olmamakta ayrıca yetersiz hava payı sebebiyle havuzlardan suyun taşmasına da neden olmaktadır. Havuzlardan taşan atık veya kimyasal içerikli su yeraltı suyunu kirletmekte ve çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir (Standley vd. 2008, McArthur vd. 2012, El Heloui vd. 2016). Arıtma sisteminde meydana gelecek hasarlar deprem sonrası halk sağlığı açısından kritik görevde olacak arıtma tesislerinin işlevselliği yitirmesine neden olacaktır. Hasarlı tesisler sebebiyle faaliyetini sürdüremeyen SAT ve AAT'ler, deprem sonrasında halkın temiz suyu erişimine ve kanalizasyonun sağlıklı arıtımına engel olacak ve halk sağlığını bozacaktır. Bu durum daha önceki deprem vakalarında da görüldüğü üzere salgın hastaların görülmesine ve hatta can kayıplarına neden olacaktır (Watson vd. 2007, Du vd. 2012, Kouadio vd. 2012, Marahatta 2015, Nelson vd. 2015, Lee vd. 2020, Maleki vd. 2020).

Deprem öncesinden arıtma tesislerindeki ünitelerin deprem kırılabilirliğinin ve hassasiyetinin tespit edilerek önlem alınması hem çevre ve halk sağlığının korunması açısından hem de sonrasında yaşanacak ekonomik kayıpların azaltılması açısından önemlidir. Arıtma tesisi üniteleri ile ilgili kırılabilirlik ve tesislerin deprem hassasiyetlerinin tespit edilmesi ile ilgili literatürde bazı tahmin yöntemleri bulunmaktadır (FEMA 2003, Pitilakis vd. 2007, Zare vd. 2010, Kakderi ve Argyroudís 2014, Yazıcı vd. 2015). Ancak bu yöntemler limit tasarım standartlarını net olarak belirlemede sadece tesislerin zemin koşulu, yapım yılı, kullanılan yapı malzeme özelliği ve deprem etki bölgesine göre risk tahmini yapılmasına olanak tanımaktadır. Arıtma tesislerinin deprem sonrasında hasarlarının tespiti ve tespit edilen hasarların onarılması ve tesislerin tekrar devreye alınması olası risklerin azaltılması ile karşılaştırıldığında daha zor, uzun ve pahalı bir yaklaşımdır (Wang ve Fu 2011, Liu vd. 2013).

Literatürdeki arıtma tesisleri için hazırlanan yönetmelik, standart ve şartnameler çevre mühendisliği açısından hazırlanmıştır. Ülkemizdeki deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde bu tür büyük ölçekli tesisler bulunmaktadır. Örneğin, İstanbul, Kocaeli, İzmir, Muğla,

Antalya vb. nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde özellikle bu tür tesisler daha büyük ölçekte dirler. Diğer taraftan bu tür tesisler su toplama kolaylığı açısından şehrin düşük kotlu ve genellikle alüvyonlu karakterdeki bölgelerinde konumlanmaktadır. Bu sebeple bu tür tesisler yüksek deprem riski barındıran kritik tesisler sınıfına dâhil edilebilir (Panico vd. 2013, Yazıcı vd. 2015). Mevcut deprem yönetmeliklerinde bu tür tesislerin deprem tasarım ve performanslarına ilişkin yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Önemli depremler sonrasında yapılan saha incelemelerinde görülmektedir ki arıtma tesislerinde çalkalanmaya bağlı yapısal olmayan eleman hasarları en çok son çöktürme havuzlarında meydana gelmektedir (Wang ve Fu 2011, Eindinger ve Tang 2012, Panico vd. 2013, Kakderi ve Argyroudis 2014, NIST 2014, Panico vd. 2017). Son çökeltme havuzları çevre mühendisliği prosesi optimizasyonu gereği genellikle dairesel kesitli ve çap/derinlik oranı 4-9 olacak şekilde projelendirilirler (Metcalf ve Eddy 2003, Alpaslan vd. 2004). Bu boyutlar hem Türkiye’de hem de pek çok dünya ülkesinde uygulanan uluslararası standartlardır. Oranları ve içinde bulundukları kırılgen yapısal olmayan elemanları sebebiyle de arıtma tesislerinde deprem sonrasında en çok yapısal olmayan hasar gözlenen ünitelerdir.

Literatürde dairesel kesitli arıtma ünitelerinin çalkalanma analizine dair çalışmalar sınırlıdır. Dikici vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada farklı sonlu eleman yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Dairesel kesitli rijit tanklarla ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar yakıt depolama üniteleri ve içme/kullanma suyu depolarına ait çalışmalardır (Aslam vd. 1979, Isaacson ve Subbiah 1991, Nezami vd. 2014, Caron vd. 2018, Sun vd. 2020). Bu çalışmalarda referans model olarak seçilmiş senaryolardaki deneysel ve/veya matematiksel modellerde kullanılan dairesel kesitli yapının sıvı dolu iç kısmında herhangi bir yapısal eleman bulunmamaktadır. Silindirik yapının ortası boşken meydana gelen çalkalanma dalgası, kararlı bir çalkalanma dalga yüksekliğinde ve yapının derinlik/çap oranına bağlı olarak karakteristik bir periyotta tekrar eden şekildedir. Çalkalanmanın azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda ise iç bölgeye çalkalanma sönümleyici perde yapılar kullanılmaktadır. Bu perdeler iki şekilde konumlanmaktadır: 1) yatay, 2) düşey. İki durumda da perdeler çalkalanmayı azaltmakta, çalkalanma dalgalarındaki düzenli periyodu ve dalga yüksekliği karakterini etkilemektedir. Bu perdeli tank yapıları çöktürme havuzları ile geometrik benzerlikler taşımaktadır.

Gömülü çöktürme havuzları geometrilerinin deprem hareketine bağlı sıvı çalkalanmasında ne derece etkin bir rol oynadığı bilinmemektedir. Havuz içindeki yapısal olmayan elemanların çalkalanma sonucunda hasara açık noktaları ve hasar başlangıç durumları da belirsizlik taşınmaktadır. Ek olarak, bu havuzlarda meydana gelecek çalkalanma yükseklikleri de eksik olduğundan planlamada kullanılan şartname ve yönetmeliklerde deprem sebebiyle çalkalanma için hava payı gereksinimin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu eksikliklerden yola çıkarak yapılan bu çalışmada arıtma tesisi ünitesinin önemli bir parçası olan dairesel tipli çöktürme havuzunun deprem altındaki davranışı incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Türkiye için dönüm noktası olan 1999 Kocaeli Depremi sonrasında ülke genelinde inşa edilmiş pek çok arıtma tesisi bulunmaktadır. Özellikle deprem riski yüksek, deprem şiddeti büyük ve nüfus yoğunluğu fazla olan il ve ilçelerdeki arıtma tesislerinde tasarım kriterleri en uç değerlerde tutulmaktadır. Bunun başlıca nedeni arazi maliyetleri ve arıtma gerektiren debi miktarının da nüfusla orantılı şekilde yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında tasarım kriterleri açısından literatür değer üst limitinde çap 45 m olarak verilmektedir (Metcalf ve Eddy 2003, Alpaslan vd. 2004). Bu değer bahse konu olan İstanbul, Kocaeli, İzmir, Antalya gibi nüfus yoğun bölgelerde de sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında da bu durum göz önüne alınarak Kocaeli ili sınırları içinde bulunan Kullar Atıksu Arıtma Tesisinde (Şekil 1) çapı 45 m ve ortalama derinliği 3,5 m olan son çöktürme havuzuna ait geometri kullanılmıştır.



Şekil 1: Kullar Atıksu Arıtma Tesisi yerbulduru haritası

Dairesel kesitli havuza ait geometri kullanılarak hidrodinamik modelleme metodu yardımıyla havuzun Kocaeli deprem verisi altında çalkalanma analizi gerçekleştirilmiştir.

2.1) Hidrodinamik Modelleme

Çalkalanma analizi, farklı uygulama alanlarında farklı disiplin ve akademik çevreler tarafından hidrodinamik problemlerin çözümlenmesinde kullanılan, Flow-3D yazılımı yardımıyla Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılarak yapılmıştır (Richardson ve Panchang 1998, Smith ve Foster 2005, Najafi-Jilani vd. 2014, Bayon vd. 2016, Ghasemi ve Soltani-Gerdefaramarzi 2017, Musa vd. 2017, Chen ve Tfwala 2018, Li vd. 2020). Program çalkalanma analizlerinde de deneysel çalışmalarla doğrulamalı olarak kullanılmakta ve deney sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar hesaplanmaktadır (Ransau ve Hansen 2006, Brizzolara vd. 2009, Ma ve Oka 2020).

Kullanılan temel denklemler aşağıda açıklanmıştır.

$$V_F = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (1)$$

Denklem 1'de V_F akıma açık hacmi, u , v ve w hız bileşenlerini, ρ akışkan yoğunluğunu, R_{DIF} türbülans difüzyon katsayısını ve R_{SOR} kütle parametresini göstermektedir (FLOW-3D Version 12.0 Users Manual 2018).

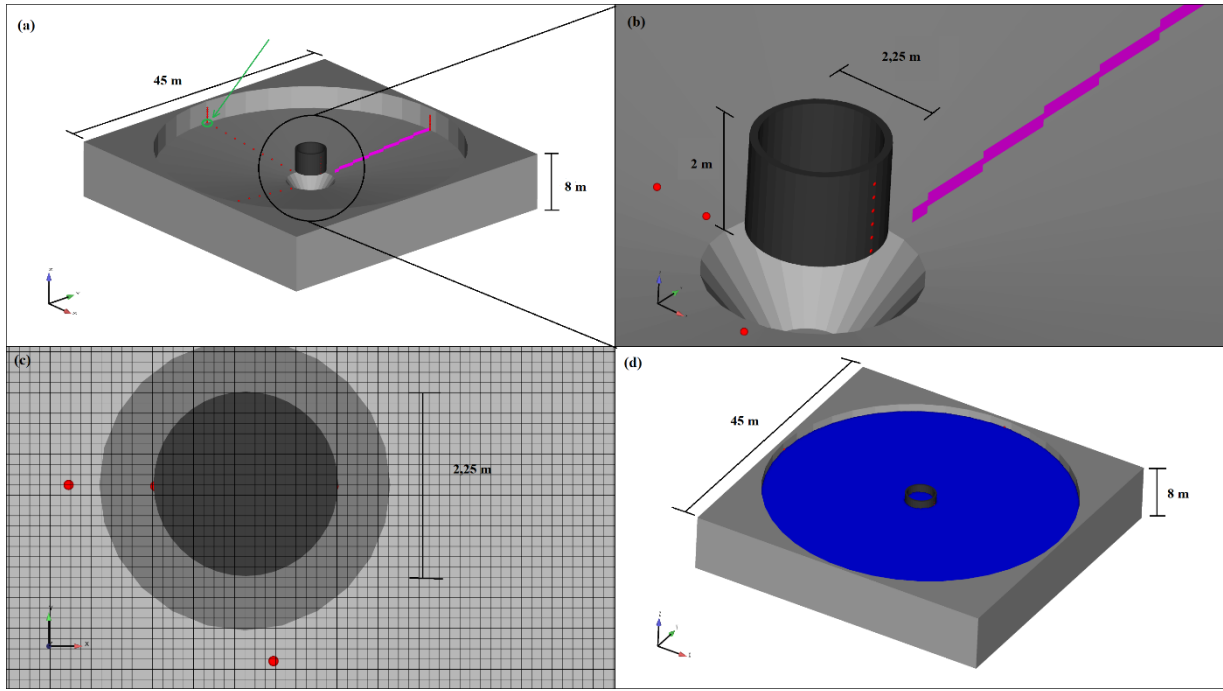
$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + R v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + R v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y u v}{x V_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + R v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem 2'de G (G_x , G_y , G_z) kütle kuvveti, f viskoz kuvvet, b porozite, U_w (u_w , v_w , w_w) hız kaynağı bileşenlerini, U_s (u_s , v_s , w_s) akışkan hızını ifade etmektedir (FLOW-3D Version 12.0 Users Manual 2018).

Modelleme kapsamında katı elemanlar hareketli eleman olarak işaretlenmiş hareket sınırları ve koşulları bir sonraki bölüm içinde tarif edilmiştir.

2.1.1) Modelin Tanıtımı, Koşulları ve Kabuller

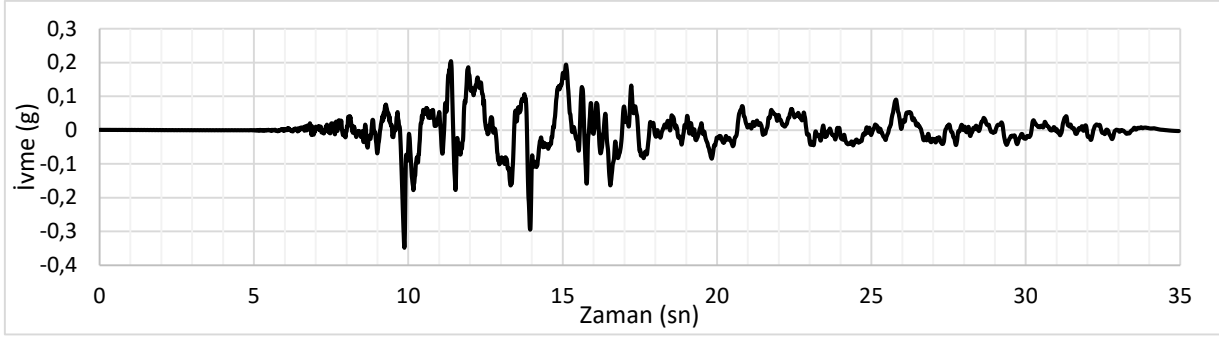
Modelleme aşamalarının ilk adımında çöktürme havuzunun geometrik ölçüleri kullanılarak üç boyutlu katı bir modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan katı model dikdörtgenler prizması olarak hazırlanmış, çözüm hacmi içine yüklenmiş ve kare ağ elemanları ile sonlu hacimlere ayrılmıştır. Çözümleme de kullanılan eleman boyutu 12,5 x 12,5 x 12,5 cm olarak seçilmiştir. Sınır koşulları olarak üst sınır atmosfere açık sınır diğer beş sınır ise geçirimsiz olarak alınmıştır. Akışkan ortamı sürekli kabul edilmiş ve ünite içindeki çamur/su fazı ayrımı ihmal edilmiştir. Yerçekimi ivmesi (-z) doğrultusunda 9,81 m²/s kabul edilmiş ve akışkan özellikleri olarak 20 °C sıcaklıktaki su özelliklerinde akışkan başlangıç durumunda işletme derinliğinde hesaplama hacmi içine işaretlenmiştir.



Şekil 2: Sayısal modellemede kullanılan (a) katı modelin isometrik görünümü (b) toplama konisi ve besleme kuyusunun yakın görünümü (c) eleman yapısı ve (d) başlangıç durumu

Şekil 2’de modelin geometrik özelliklerinin ve eleman yapısının bir görseli sunulmaktadır. Aynı görselde izleme noktaları kırmızı ile işaretlenmiştir. Ayrıca görselde (a) ve (b)’de görülen mor renkle işaretli bir yüzey izleme bölgesi de tanımlanmıştır. Bu tür ünitelerde bulunan taban sıyrıcılarına gelecek olan hidrodinamik kuvvetin hesaplanması adına bu bölge işaretlenmiştir. Deprem hareketi modelde x doğrultusunda tanımlanmış, model merkez noktası koordinat sisteminde orijin noktası olarak model hazırlanmıştır. Çamur sıyrıcının çalkalanma durumunda en olumsuz koşulda bulunması durumu olan harekete dik yüzey normaline sahip olacak şekilde yerleşim planlaması yapılmıştır.

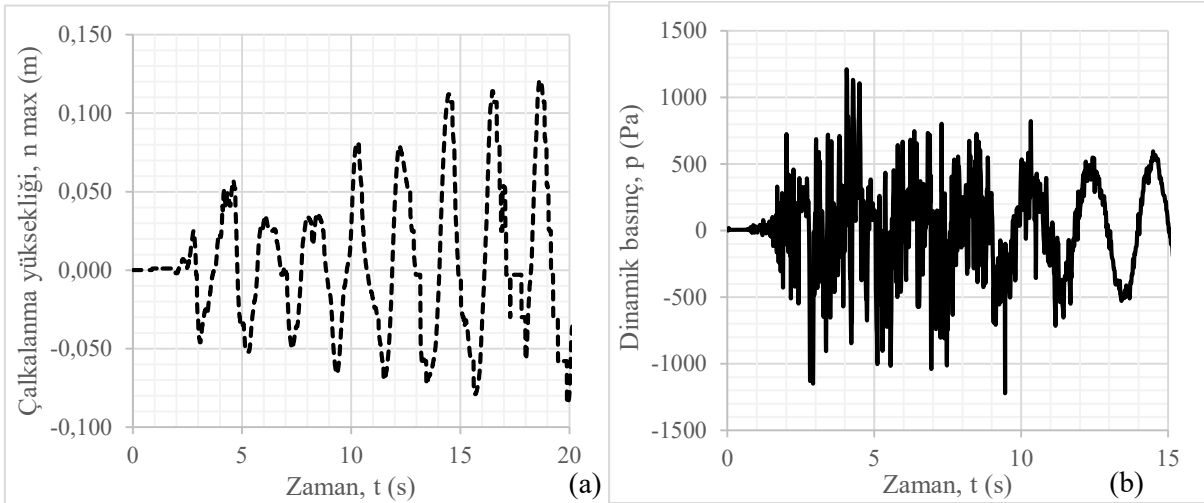
Model içine belirlenen arıtma ünitesine ait katı kısım hareketli katı kısım olarak seçilmiştir. Hareketli kısımdaki hareket tanımı 1999 Kocaeli Depremi’nin Şekil 3’te verilen ivme kaydına göre ivme-hız dönüşü yapıldıktan sonra hız- zaman serisi halinde tanımlanmıştır. Katı elemanlarda elastik deformasyon ihmal edilmiş, yapısal elemanlar rijit kabul edilerek çözüm yapılmıştır.



Şekil 3: Analizde kullanılan deprem sinyali (Kocaeli, 1999)

2.1.2) Modelin Doğrulanması ve Kalibrasyonu

Yerçekimi ivmesi dışında ilave ivmeye maruz kalan akışkanların davranışı yıllardır üzerinde farklı araştırmacıların çalıştığı önemli bir akışkanlar mekaniği sorunudur. Özellikle deprem ivmesi altında sıvı yakıt tankları ve su depoları ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında akışkan davranışının hesaplanması için çeşitli teoriler geliştirilmiş, farklı geometrilerde ve akışkan özellikleri kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüş, vaka çalışmaları ve sahadan hasar bilgileri paylaşılmış ve sayısal modelleme yardımıyla koruma önlemleri ve durum analizleri yapılmıştır (Faltinsen 1974, Shemer 1990, Waterhouse 1994, Minowa ve Kiyosumi 1997, Pilipchuk ve Ibrahim 1997, Solaas ve Faltinsen 1997, Faltinsen vd. 2000, Faltinsen ve Timokha 2001, Ibrahim vd. 2001, Lee vd. 2002, Xu ve Dai 2005, Hernandez vd. 2007, Kim 2007, Liu ve Lin 2008, Eswaran ve Saha 2011, Faltinsen vd. 2011, Luo ve Chen 2011, Eswaran ve Saha 2012, Ji vd. 2012, Xue vd. 2012, Buldakov 2013, Chen vd. 2013, Elahi vd. 2016, Liu vd. 2016, Chen ve Xue 2018, Guray vd. 2018, Dikici vd. 2019, Dinçer 2019, Pradeepkumar vd., 2020, Barrows ve Orr 2021, Zhang ve Wei 2021).



Şekil 4: Doğrulama modeline ait (a) çalkalanma yüksekliği- zaman ve (b) dinamik basınç - zaman grafikleri

Bu çalışmada model sınır koşulları, kabuller, başlangıç koşulları ve yöntemin doğrulanması amacıyla ile Phan vd. (2020) çalışmasındaki deney koşulları, sayısal modelleme girdileri ve sonuçları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında konu alınan model koşullarının doğrulanması için yapılan doğrulama modelinde referans kaynaktaki gibi tankın ivme doğrultusundaki sol kenara

izleme noktası tanımlanmış ve izleme noktasında zamana bağlı çalkalanma yüksekliği ve basınç değerleri hesaplatılmıştır. Hesap sonuçları Şekil 4'te verilmektedir. Phan vd. (2020) tarafından çalışmalarında paylaşılan (Şekil 6, 7) ile genlik ve periyod açısından son derece uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Model yaklaşımının doğrulaması sonrasında modelin kalibrasyonu için parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu parametrik analizler kapsamında ağ yapısı hassasiyeti ve geometrik katsayıların etkisi incelenmiştir. Bu hassasiyet ve etki incelemelerinde kullanılan yöntemler standartlarda belirtilen şekilde uygulanmıştır (Coleman 2009). Bu kalibrasyonlarla doğru eleman sayısı oranı ve başta katı cidar pürüzlülük katsayısı olmak üzere değerlerin model üzerindeki etkisinin < %1 olduğu hesaplanmıştır.

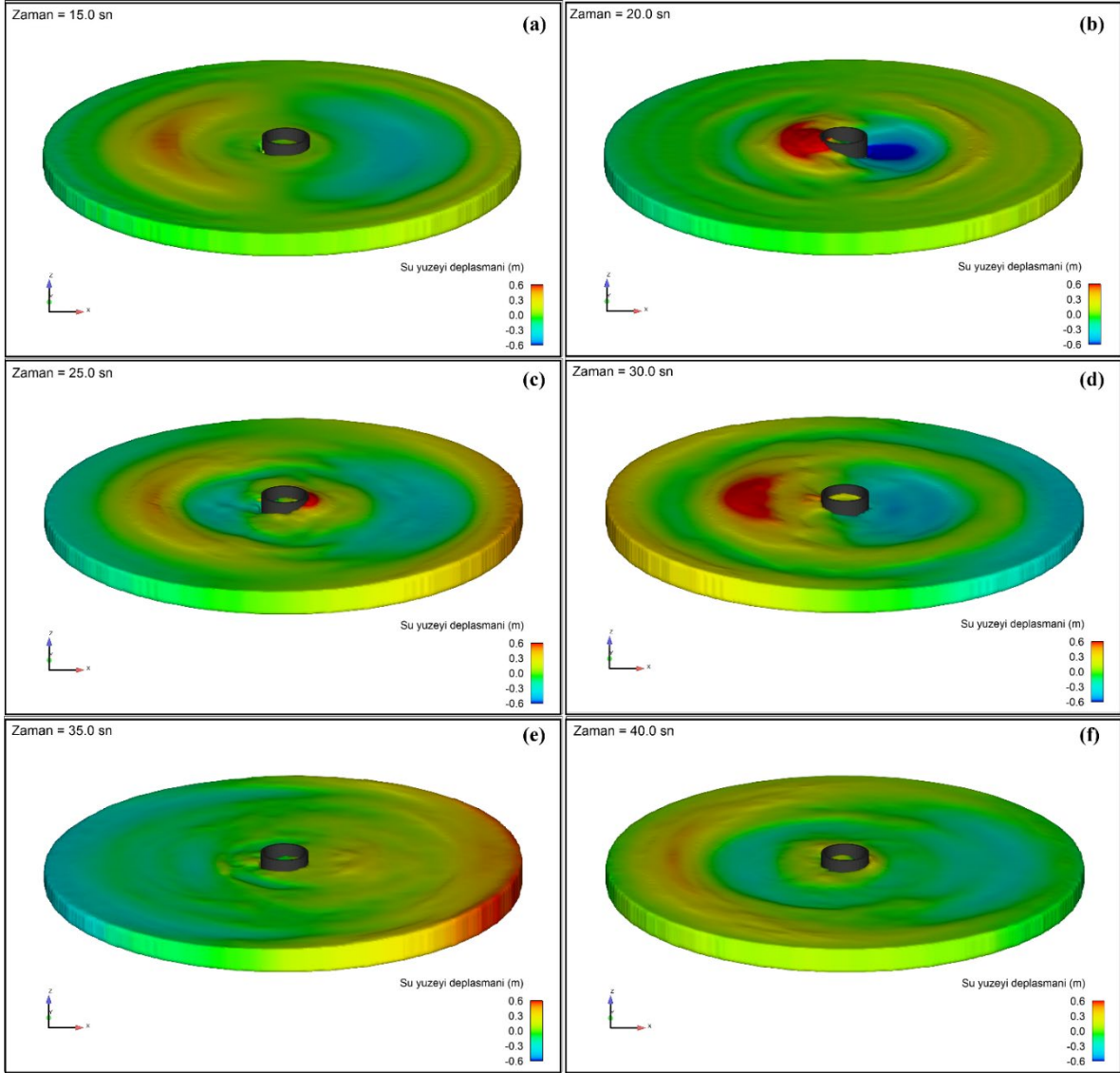
3. MODEL SONUÇLARI

Kocaeli Depremi sinyaline bağlı zamansal hareketini tamamlayan Kullar AAT'deki çöktürme havuzunda çalkalanma hesaplanmıştır. Deprem sırasında ve sonrasındaki su yüzeyi değişimi tüm çözüm hacmi için hesaplatılmış olup belirli zaman adımları için görselleştirilerek Şekil 5(a-f)'te sunulmuştur. Şekil 5'te verilen görsellerin aralığı 10 saniyedir ve 10 saniyelik periyod içinde havuz içindeki suyun çalkantı profili verilmiştir.

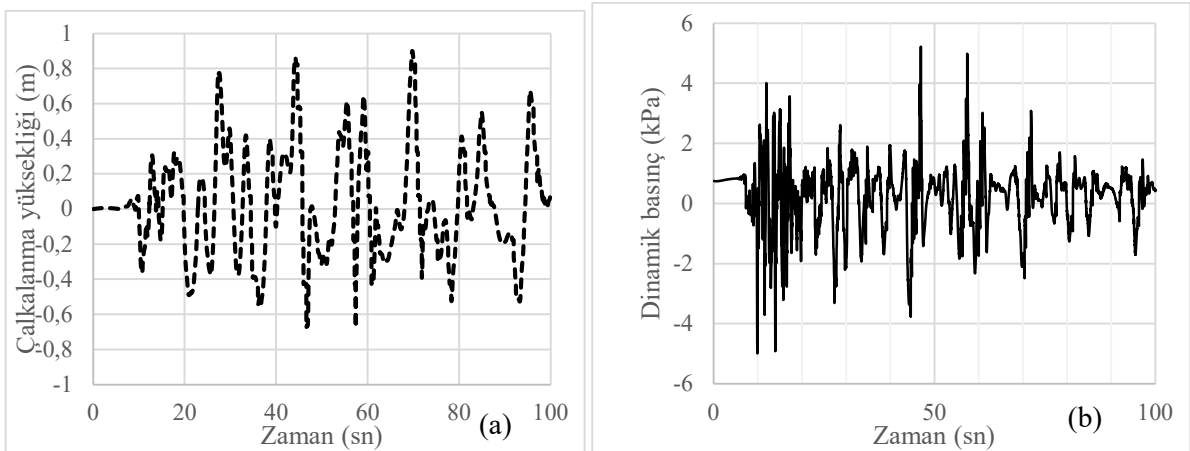
Havuzun içindeki besleme kuyusunda ve havuzun kendisinde ayrı ayrı farklı periyotlarda çalkantı hesaplanmıştır. Çalkantı sebebiyle meydana gelen çalkalanma yüksekliğinin (su yüzeyi değişimi) zamanla değişimi Şekil 6a'da sunulmuştur. Çöktürme havuzunun geometrik yapısı, su derinliği ve deprem ivme karakteristiğinin bir fonksiyonu olarak yaklaşık 10 sn periyodunda bir büyük salınım, yaklaşık 4 sn periyodunda ise küçük bir salınım hesaplanmıştır. Özellikle iki salınımın çakıştığı durumlarda sakin durumdaki su seviyesinden yaklaşık 90 cm yüksekliğinde çalkalanma yüksekliği hesaplanmıştır. Alçalma durumuna bakıldığında ise su seviyesi en fazla 70 cm aşağıya kadar düşmüştür.

Sunulan diğer bir sonuç grafiği ise Şekil 6b'de verilmekte olan ve Şekil 6a'daki hesaplama noktası ile aynı noktadaki statik basınç değerinin toplam basınç değerinden çıkartılması ile hesaplanmış dinamik basıncın zamanla değişim grafiğidir. Hesaplama noktasında özellikle 10 - 20 saniye aralığında en fazla - 5 kPa negatif basınç hesaplanmıştır. Yine aynı zaman aralığında en fazla 4 kPa pozitif basınç hesaplanmıştır. Model analizin 40 - 60 saniye aralığındaki zaman ise pozitif basınç değerinin 5 kPa'ın üzerine iki kere çıktığı görülmektedir. 70 inci saniyeden sonrasında çalkantının şiddetinin azaldığı ve giderek sönümlendiği tespit edilmiştir.

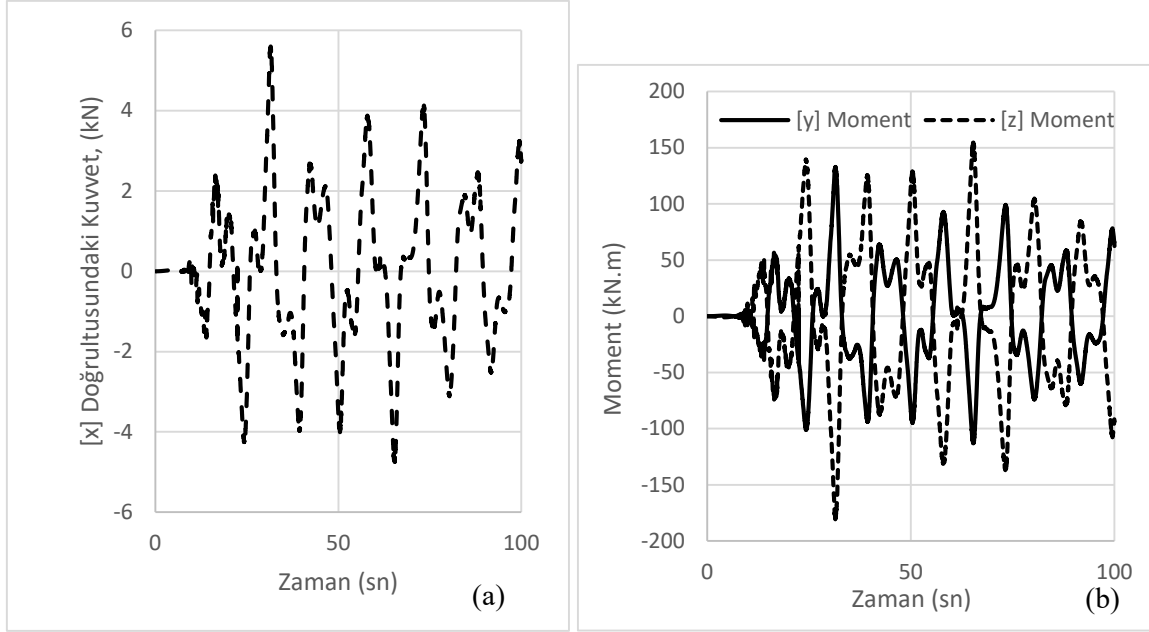
Şekil 7a'da Şekil 2'de mor ile işaretlenmiş ve tabandaki bir sıyırıcıyı temsil edecek alanda meydana gelen kuvvet değerinin zamana göre değişimi sunulmuştur. Havuz tabanında yer alan bir sıyırıcının 5,8 kN kuvvete maruz kalacağı hesaplanmış bu kuvvet serisine ek olarak Şekil 7b'de [y] ve [z] doğrultularında sıyırıcının maruz kalacağı moment değerleri verilmiştir.



Şekil 5: Hesaplanan su yüzeyi değişimine bağlı renklendirilmiş akışkan hacminin (a) $t = 15$ sn, (b) $t = 20$ sn, (c) $t = 25$ sn, (d) $t = 30$ sn, (e) $t = 35$ sn ve (f) $t = 40$ sn için görselleri



Şekil 6: Deprem doğrultusundaki duvarda tabandan 0.2 m yukarıdaki bir noktada (a) çalkalanma yüksekliği - zaman ve (b) dinamik basınç - zaman grafikleri (İzleme noktası Şekil 2'de yeşil daire ile işaretlenmiştir.)



Şekil 7: Sıyırıcı olarak işaretlenmiş alanda hesaplanan (a) deprem doğrultusundaki [x] kuvvet - zaman ve (b) [y] ve [z] doğrultularında hesaplanan moment - zaman grafikleri (Sıyırıcı alanı Şekil 2'de fuşya renk ile renklendirilmiş alandır.)

4. TARTIŞMA

Modelleme sonuçlarına göre 1999 Kocaeli Depremi ile eşdeğer enerjide bir deprem gerçekleşmesi durumunda Kullar Arıtma Tesisine ait dairesel kesitli çöktürme havuzunda meydana gelebilecek taşma riski mevcuttur. Deprem anında işletme durumunda bulunan havuz en yüksek yük durumunda ise taşma riskinin daha da artacağı söylenebilir.

Çalkalanma dalga karakteri açısından sonuçlar incelendiğinde çalkalanma önleyici batık dikey perde yapılar bulunan tankların çalkalanma karakterine benzer su yüzeyi profili hesaplanmıştır. Ancak perdeli dairesel tank çalkalanmasında bulunan iki veya daha fazla farklı periyotta çalkalanma dalgası yerine çöktürme havuzunun merkezinde bulunan besleme yapısı kaynaklı tamamen kaotik bir çalkalanma izlenmiştir.

Literatürdeki hasar tespitleri ile havuz içinde hesaplanan dinamik basınç yükü değerleri birlikte değerlendirildiğinde özellikle bakımı yapılmayan, montajı düzgün yapılmamış ve yeterli ankrajlaması bulunmayan yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelecektir. Kullar AAT çöktürme havuzunun Kocaeli Deprem sinyali etkisinde hesaplanan dinamik basınç değerleri Chi-Chi Deprem sinyali kullanılarak hesaplanmış ve Phan vd. (2020) tarafından sunulmuş çalışmadaki yakıt tankının maruz kaldığı değerlerle karşılaştırıldığında yıkıcılığı daha anlaşılır durumdadır.

Hesaplanan kuvvet ve moment değerlerine bağlı olarak imal edilecek veya kullanımda olan yapısal olmayan elemanların ve bağlantı sistemlerinin gözden geçirilmesi ve yetersiz bulunması durumunda ilave bağlantı sayısı ile güçlendirilmesi önem arz edecektir.

5. SONUÇLAR

Arıtma tesisleri deprem etkisi altında meydana gelen çalkalanma sonucunda kırılabilirliğe sahip olan pek çok yapısal olmayan elemana sahiptirler ve çalkalanmaya bağlı taşma ile yeraltı

suyunu kirletme riski teşkil ederler. Kullar AAT çöktürme havuzuna ait yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen önemli çıkarımlar aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir.

- Arıtma tesislerindeki havuzların hava payları hesaplanırken mutlaka inşa edilecekleri bölgedeki deprem özellikleri dikkate alınmalı, gerekli olması durumunda hava payı arttırılmalı veya çalkalanmaya bağlı olası atıksu taşması durumunda yeraltı suyuna sızmayı önleyici tedbirler planlanmalıdır.
- Başta çöktürme havuzları olmak üzere kırılğanlığa sahip yapısal olmayan elemanların depreme bağlı çalkalanma sonucundaki kırılğanlık analizlerinin yapılması ve gerekli tedbirlerin alınması deprem gibi bir afet sonucunda meydana gelebilecek tesis devre dışı kalma ve halk sağlığı bozulmasını engellenmesi açısından önemlidir.
- Arıtma tesisleri ile ilgili kırılğanlık tespitlerinin yapılması için sayısal modelleme metodu uygun bir araç olup, hasar öncesi önlemlerin doğru planlamasında kullanılabilir.

Arıtma ünitelerindeki çalkalanma problemi literatürde farklı araştırmacılarca çalışılmış kimyasal deposu, yakıt tankı ve su depolarındaki çalkalanma problemlerinden akışkanın viskozitesi ve yapı içindeki yapısal ve yapısal olmayan elemanlar kaynaklı davranışlar sebebiyle ayrı tutularak incelenmelidir.

Bu çalışmanın devamında arıtma tesislerindeki dairesel tipli çöktürme havuzlarının dışındaki ünitelerin durumlarının incelenmesi, kapsayıcı bir standart çalışması yürütülmesi, çamur/su karışımli fazlı modellemelerin gerçekleştirilerek daha gerçekçi araştırmaların yürütülmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazar, çalışmanın planlamasında ve son okumasında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Eren Uçkan ve Doç. Dr. Cengiz İpek'e ve ayrıca modelleme çalışmasındaki tesis bilgilerini paylaşan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Alpaslan M.N., Dölgen D., Sarptaş H., 2004. Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım ve İşletme Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇEVMER), İzmir, Türkiye, 268 p.

Aslam M., Godden W.G., Scalise D.T., 1979. Earthquake Sloshing in Annular and Cylindrical Tanks, *ASCE J. Eng. Mech. Div.* 105 (3), 371-389.

Ballantyne D., Crouse C., 1997. Reliability and Restoration of Water Supply Systems for Fire Suppression and Drinking Following Earthquakes, National Institute of Standards and Technology, Report Number NIST/GCR-97-730, 206 p.

Barrows T., Orr J. 2021. Dynamics and Simulation of Flexible Rockets, Academic Press, 327p.

Bayon A., Valero D., Garcia-Bartual R., Valles-Moran F.J., Lopez-Jimenez P.A., 2016. Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump, *Environmental Modelling and Software* 80, 322-335. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.018>.

Brizzolara S., Savio L., Viviani M., Chen Y., Temarel P., Couty N., Iglesias, A.S. 2009. Comparison of experimental and numerical sloshing loads in partially filled tanks. Analysis and Design of Marine Structures: Including CD-ROM, (Lloyd 1989), 13-26. <https://doi.org/10.1201/9780203874981.ch2>.

Buldakov E., 2013. Lagrangian modelling of fluid sloshing in moving tanks, *Journal of Fluids and Structures* 45 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2013.12.003>.

Caron P.A., Cruchaga M.A., Larreteguy A.E., 2018. Study of 3D sloshing in a vertical cylindrical tank, *Physics of Fluids*, 30 (8), 82112. <https://doi.org/10.1063/1.5043366>.

Chen S.C., Tfwala S. S., 2018. Performance assessment of FLOW-3D and X flow in the numerical modelling of fish-bone type fishway hydraulics, 7th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 15-18 May 2018, Aachen-Germany, p:272-282. <https://doi.org/10.15142/T3HH1J>.

Chen Y., Xue M.A., 2018. Numerical Simulation of Liquid Sloshing with Different Filling Levels Using OpenFOAM and Experimental Validation, *Water* 10, 1752. <https://doi.org/10.3390/w10121752>.

Chen Z., Zong Z., Li H. T., Li J., 2013. An investigation into the pressure on solid walls in 2D sloshing using SPH method, *Ocean Engineering* 59 (1), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.12.013>.

Chung R.M., Ballantyne D.B., Comeau E., Holzer T.L., Madrzykowski D.M., Schiff A.J., Stone W.C., Wilcoski J., Borchardt R.D., Cooper J.D., Lew H.S., Moehle J.P., Sheng L.H., Taylor A.W., Bucker I., Hayes J.R., Leyendecker E.V., O'rourke T., Singh M.P., Whitney M., 1996. The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake: Performance of Structures, Lifelines, and Fire Protection Systems, National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Report, Gaithersburg, Maryland, USA.

Coleman H., Members C., 2009. ASME V&V 20-2009 Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer, (V&V20 Committee Chair and principal author), ASME.

Dikici M., Aksel M., Kaya E.S., İpek C., 2019. Earthquake Induced Sloshing Analysis for Circular Type Clarifier, VI. International Earthquake Symposium, 25-27 September 2019, Kocaeli, Türkiye, p: 548-552.

Dinçer A., 2019. Investigation of the Sloshing Behavior Due to Seismic Excitations Considering Two-Way Coupling of the Fluid and the Structure, *Water* 11, 2664. <https://doi.org/10.3390/w11122664>.

Du P., Chen J., Chen C., Liu Y., Liu J., Wang H., Zhang X., 2012. Environmental risk evaluation to minimize impacts within the area affected by the Wenchuan earthquake, *Science of The Total Environment* 419, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.017>.

EERI, 1995. Earthquake of January 17, 1995: Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, USA.

EERI, 2001. The Nisqually Earthquake of 28 February 2001: Preliminary Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, USA.

EERI, 2010. El Mayor Cucapah, Baja California Earthquake of April 4, 2010: Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, USA.

Eindinger J., 2002. Performance of water systems in the Mw 8.4 Atico (Peru) earthquake of June 23, 2001. (In: Atico, Peru, Mw 8.4 Earthquake of June 23, 2001: Lifeline Performance, Editor: Edwards, C.L., ASCE, 163 p), 27-30.

Eidinger J., Yashinsky M., 2004. Oil and water system performance - Denali M 7.9 earthquake of November 3, 2002. (In: San Simeon Earthquake of December 22, 2003 and Denali, Alaska, Earthquake of November 3, 2002, Editor: Yashinsky, M., ASCE, Reston VA, USA, 148 p), 53-56.

Eidinger J., Tang, A., Editors, 2012. Christchurch, New Zealand Earthquake Sequence of Mw 7.1 September 04, 2010 Mw 6.3 February 22, 2011 Mw 6.0 June 13, 2011: Lifeline Performance, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph 40, ASCE, Reston, VA.

El Heloui M., Mimouni R., Hamadi F., 2016. Impact of treated wastewater on groundwater quality in the region of Tiznit (Morocco), *Journal of Water Reuse and Desalination* 6 (3), 454-463. <https://doi.org/10.2166/wrd.2015.061>.

Elahi R., Passandideh-Fard, M., Javanshir, A., 2016. Simulation of liquid sloshing in 2D containers using the volume of fluid method, *Ocean Engineering*, 96, 226-244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.12.022>.

Erdik M., 2001. Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes, Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering, World Scientific. Publishing, 149-186. https://doi.org/10.1142/9789812811707_0018.

Eswaran M., Saha U. 2011. Sloshing of liquids in partially filled tanks-A review of experimental investigations, *Ocean Systems Engineering* 1(2), 131-155. <https://doi.org/10.12989/ose.2011.1.2.131>.

Eswaran M., Saha U., 2012. Finite Difference Based Sigma - Transformation Approach for Liquid Sloshing in a Rectangular Tank under Regular Wave Excitation, *CFD Letters*, 4, 173-192.

Evans N.L., Mc Ghie C., 2011. The performance of lifeline utilities following the 27th February 2010 Maule Earthquake Chile, Proceedings of the 9th Pacific Conference on Earthquake Engineering Building and Earthquake.14-16 April 2011, Auckland, New Zealand, p:36.

Faltinsen O., 1974. A Nonlinear Theory of Sloshing in Rectangular Tanks, *Journal of Ship Research* 18, 224-241. <https://doi.org/10.5957/jsr.1974.18.4.224>.

Faltinsen O., Firoozkoobi R., Timokha A., 2011. Analytical modeling of liquid sloshing in a two-dimensional rectangular tank with a slat screen, *Journal of Engineering Mathematics* 70, 93-109. <https://doi.org/10.1007/s10665-010-9397-5>.

Faltinsen O., Rognebakke O., Lukovsky I., Timokha A., 2000. Multidimensional modal analysis of nonlinear sloshing in a rectangular tank with finite water depth, *Journal of Fluid Mechanics* 407, 201-234. <https://doi.org/10.1017/S0022112099007569>.

Faltinsen O., Timokha A., 2001. An adaptive multimodal approach to nonlinear sloshing in a rectangular tank, *Journal of Fluid Mechanics* 432, 167-200. <https://doi.org/10.1017/S0022112000003311>.

FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2003. Multi-hazard Loss Estimation Methodology (HAZUS) Manual.

FLOW-3D Version 12.0 Users Manual 2018. Flowscience 2019. FLOW-3D [Computer software]. Santa Fe, NM: Flow Science, Inc. Erişim adresi: <https://www.flow3d.com>

- Ghasemi M., Soltani-Gerdefaramarzi S., 2017. The Scour Bridge Simulation around a Cylindrical Pier Using Flow-3D, *Journal of Hydrosiences and Environment* 1(2), 46-54. <https://doi.org/10.22111/JHE.2017.3357>.
- Guay E., Yazıcı G., Aksel M., 2018. Analysis of Seismic Sloshing Displacements in Rectangular Liquid Storage Tanks with SPH Method, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering* 18(1), 375-381. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66714>.
- Hernandez H., Heredia-Zavoni E., Aldama-Rodríguez A., 2007. Nonlinear sloshing response of cylindrical tanks subjected to earthquake ground motion, *Engineering Structures* 29, 3364-3376. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.08.023>.
- Ibrahim R., Pilipchuk V., Ikeda T., 2001. Recent Advances in Liquid Sloshing Dynamics. *Applied Mechanics Reviews* 54 (2), 133-199. <https://doi.org/10.1115/1.3097293>.
- Isaacson M., Subbiah K., 1991. Earthquake-induced sloshing in a rigid circular tank, *Canadian Journal of Civil Engineering* 18(6), 904-915. <https://doi.org/10.1139/I91-112>.
- Ji Y., Shin Y., Park J., Hyun J., 2012. Experiments on non-resonant sloshing in a rectangular tank with large amplitude lateral oscillation, *Ocean Engineering* 50, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.04.007>.
- Kakderi K., Argyroudis S., 2014. Fragility Functions of Water and Waste-Water Systems. In *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering* 27, 221-258. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7872-6_8.
- Kayen R., Collins B., Abrahamson N., Ashford S., Brandenberg S. J., Cluff L., Youso K., 2007. Investigation of the M6.6 Niigata-Chuetsu Oki, Japan, Earthquake of July 16, 2007, Report 2007-1365, USGS.
- Kim Y., 2007. Experimental and numerical analyses of sloshing flows, *Journal of Engineering Mathematics* 58, 191-210. <https://doi.org/10.1007/s10665-006-9124-4>.
- Kouadio I.K., Aljunid S., Kamigaki T., Hammad K., Oshitani H., 2012. Infectious diseases following natural disasters: prevention and control measures. *Expert Review of Anti-Infective Therapy* 10(1), 95-104. <https://doi.org/10.1586/eri.11.155>.
- Kuraoka S., Rainer J. H., 1996. Damage to water distribution system caused by the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *Canadian Journal of Civil Engineering* 23(3), 665-677. <https://doi.org/10.1139/I96-882>.
- Lee J., Perera D., Glickman T., Taing L., 2020. Water-related disasters and their health impacts: A global review, *Progress in Disaster Science* 8, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100123>.
- Lee T., Zhou Z., Cao Y., 2002. Numerical Simulations of Hydraulic Jumps in Water Sloshing and Water Impacting, *Journal of Fluids Engineering* 124(1), 215-226. <https://doi.org/10.1115/1.1436097>.
- Li J., Alinaghian S., Joksimovic D., Chen L., 2020. An Integrated Hydraulic and Hydrologic Modeling Approach for Roadside Bio-Retention Facilities, *Water* 12(5), 1248. <https://doi.org/10.3390/w12051248>.

- Liu D., Lin P., 2008. A numerical study of three-dimensional liquid sloshing in tanks, *Journal of Computational Physics* 227, 3921-3939. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.12.006>.
- Liu D., Tang W., Wang J., Xue H., Wang K., 2016. Comparison of laminar model, RANS, LES and VLES for simulation of liquid sloshing, *Applied Ocean Research* 59, 638-649. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.07.012>.
- Liu M., Giovinazzi S., MacGeorge R., Beukman P., 2013. Wastewater Network Restoration Following the Canterbury, NZ Earthquake Sequence: Turning Post-Earthquake Recovery into Resilience Enhancement. Sixth China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, 28 May-1 June 2013, Chengdu, China, 160-167. <https://doi.org/10.1061/9780784413234.021>.
- Luo Z., Chen Z., 2011. Sloshing simulation of standing wave with time-independent finite difference method for Euler equations, *Applied Mathematics and Mechanics* 32, 1475-1488. <https://doi.org/10.1007/s10483-011-1516-6>.
- Ma C., Oka M., 2020. Numerical Investigation on Sloshing Pressure for Moss-Type LNG Tank Based on Different SPH Models, The 30th International Ocean and Polar Engineering Conference, Virtual, October 2020, 3248.
- Maleki F., Hemati S., Pourashraf R., 2020. Prevalence Waterborne Infections after Earthquakes Considered as Serious Threat to Increasing Victims in Disaster-Affected Areas, *Egyptian Journal of Veterinary Sciences* 51(1), 111-117. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2019.18629.1114>.
- Marahatta S.B., 2015. Control of the Outbreak of Disease Aftermath Earthquake: an Overview, *Nepal Journal of Epidemiology* 5(2), 468-469. <https://doi.org/10.3126/nje.v5i2.12828>.
- McArthur J.M., Sikdar P.K., Hoque M.A., Ghosal U., 2012. Waste-water impacts on groundwater: Cl/Br ratios and implications for arsenic pollution of groundwater in the Bengal Basin and Red River Basin, Vietnam, *Science of The Total Environment* 437, 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.068>.
- Meneses J., Anderson R., Angel J., Edwards C., Everingham L., Garcia-delgado V., Poland C., 2010. California Earthquake, Exponent Failure Analysis Associates, EERI Special Earthquake Report, July 2010.
- Metcalf and Eddy I., 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw-Hill, New York, USA, 1819 p.
- Minowa C., Kiyosumi K., 1997. Sloshing impact analysis of roof damaged water tank in Kobe earthquake, ASME Symposium Adv. Anal. Exper. Comp. Tech. Fluid Str. Trans. Nat. Hazards, 27-31 June 1997, Orlando, Florida, USA, 355, 271-278.
- Musa A., Maliki Y., Ahmad M., Sani W.N., Yaakob, O., Samo, K., 2017. Numerical Simulation of Wave Flow Over the Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC) Device, *Procedia Engineering* 194, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.131>.
- Najafi-Jilani A., Niri M.Z., Naderi N., 2014. Simulating three dimensional wave run-up over breakwaters covered by antifer units, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 6(2), 297-306. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0180>.

Nelson E.J., Andrews J.R., Maples S., Barry M., Clemens J.D., 2015. Is a Cholera Outbreak Preventable in Post-earthquake Nepal?, *PLOS Neglected Tropical Diseases* 9(8), e0003961. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003961>.

Nezami M., Mohammadi M.M., Oveisi A., 2014. Liquid Sloshing in a Horizontal Circular Container with Eccentric Tube under External Excitation, *Shock and Vibration* 2014, 507281. <https://doi.org/10.1155/2014/507281>.

NIST, 2014. Disaster Resilience Framework, National Institute of Standards and Technology, USA, https://www.nist.gov/system/files/documents/el/building_materials/resilience/Disaster_Resilience_Chapter_9_Water_and_Wastewater_50-Draft_102014.pdf

Panico A., Basco A., Lanzano G., Pirozzi F., Santucci de Magistris F., Fabbrocino G., Salzano E., 2017. Evaluating the structural priorities for the seismic vulnerability of civilian and industrial wastewater treatment plants, *Safety Science* 97, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.030>.

Panico A., Lanzano G., Salzano E., De Magistris F.S., Fabbrocino G., 2013. Seismic vulnerability of wastewater treatment plants, *Chemical Engineering Transactions* 32(January), 13-18. <https://doi.org/10.3303/CET1332003>.

Phan H. N., Paolacci F., Di Filippo R., Bursi O. S., 2020. Seismic vulnerability of above-ground storage tanks with unanchored support conditions for Na-tech risks based on Gaussian process regression, *Bulletin of Earthquake Engineering* 18(15), 6883-6906. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00960-7>.

Pilipchuk V., Ibrahim R., 1997. The dynamics of a non-linear system simulating liquid sloshing impact in moving structures, *Journal of Sound and Vibration* 205, 593-615. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1997.1034>.

Pitilakis K., Anastasiadis A., Kakderi K., Argyroudis S., Alexoudi M., 2007. Vulnerability Assessment and Risk Management of Lifelines, Infrastructures and Critical Facilities: The Case of Thessaloniki's Metropolitan Area, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 25-28 June 2007, Thessaloniki, Greece, 1774.

Ransau S., Hansen E., 2006. Numerical Simulations of Sloshing in Rectangular Tanks, 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 4-9 June 2006, Hamburg, Germany, 675-682. <https://doi.org/10.1115/OMAE2006-92248>.

Richardson J.E., Panchang V.G., 1998. Three-Dimensional Simulation of Scour-Inducing Flow at Bridge Piers, *Journal of Hydraulic Engineering* 124(5), 530-540, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:5\(530\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:5(530))

Rodriguez-Marek A., Williams J., Wartman J., Repetto, P., 2003. Ground motion and site response Southern Peru Earthquake of June 21, 2001, *Earthquake Spectra* 19 (1), 11-34. <https://doi.org/10.1193%2F1.1737246>.

Pradeepkumar K.S., Selvan V., Satheshkumar K.R.P., 2020. Review of Numerical Methods for Sloshing, *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 8 (6), 247-252. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.32116>.

Schiff A.J., 1998. Hyogoken-Nanbu (Kobe), Earthquake of January 17, 1995, Lifeline Performance, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering (TCLEE) Monograph 14, ASCE, 335 p.

- Shemer L., 1990. On the directly generated resonant standing waves in a rectangular tank, *Journal of Fluid Mechanics* 217, 143-165, <https://doi.org/10.1017/S0022112090000660>.
- Smith H.D., Foster D.L., 2005. Modeling of Flow Around a Cylinder Over a Scoured Bed, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 131(1), 14-24. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2005\)131:1\(14\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2005)131:1(14)).
- Solaas F., Faltinsen O.M., 1997. Combined numerical and analytical solution for sloshing in two-dimensional tanks of general shape, *J. Ship Res.* 41 (2), 118-129.
- Standley L.J., Rudel R.A., Swartz C.H., Attfeld K.R., Christian J., Erickson M., Brody J. G., 2008. Wastewater-contaminated groundwater as a source of endogenous hormones and pharmaceuticals to surface water ecosystems, *Environmental Toxicology and Chemistry* 27(12), 2457-2468. <https://doi.org/10.1897/07-604.1>.
- Strand C., Masek J., 2007. Sumatra-Andaman Islands Earthquake and Tsunami of December 26, 2004: Lifeline Performance. ASCE Reston, VA, USA, 342 p.
- Sun Y., Zhou D., Wang J., Han H., 2020. Liquid Sloshing in a Cylindrical Tank with Multiple Baffles Under Horizontal and Pitching Motions, *International Journal of Applied Mechanics* 12(07), 2050080. <https://doi.org/10.1142/S1758825120500805>.
- Tang A.K., Schiff A., 2010. Kashiwazaki, Japan, Earthquake of July 16, 2007: Lifeline Performance, ASCE, Reston VA, USA, 324 p.
- Tang A.K., Eng P., Eng C.F., 2011. Lifelines Performance of the Mw 8.8 off Shore Biobío, Chile Earthquake, *Procedia Engineering* 14, 922-930. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.116>.
- Wang X.Y., Fu A.M. 2011. Earthquake Impact on the Sewage Treatment Plant and Emergency Measures, *Advanced Materials Research* 243-249, 5076-5079, 5076-5079. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.5076>.
- Wareham D.G., Bourke M., 2013. The 2010-2011 Canterbury earthquakes: impact on the liquid waste management system of Christchurch, New Zealand, *Civil Engineering and Environmental Systems* 30(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/10286608.2012.709507>.
- Waterhouse D., 1994. Resonant sloshing near a critical depth, *Journal of Fluid Mechanics* 281, 313-318. <https://doi.org/10.1017/S0022112094003125>.
- Watson J.T., Gayer M., Connolly M.A., 2007. Epidemics after Natural Disasters, *Emerging Infectious Diseases* 13(1), 1-5. <https://doi.org/10.3201/eid1301.060779>.
- Xu L., Dai L., 2005. A Numerical Approach of Assessing Fluid Oscillatory Motions in 3D Partially Filled Horizontal Cylindrical Tanks, In American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division Publication, Vol. 118. <https://doi.org/10.1115/IMECE2005-81301>.
- Xue M.A., Zheng J., Lin P., 2012. Numerical Simulation of Sloshing Phenomena in Cubic Tank with Multiple Baffles, *Journal of Applied Mathematics* 2012, Article ID 245702, 21 p. <https://doi.org/10.1155/2012/245702>.
- Yashinsky M., 2004. San Simeon Earthquake of December 22, 2003, and Denali, Alaska, Earthquake of November 3, 2002, ASCE, Reston, VA, USA, 147 p.

Yazıcı G., Köroğlu A., Aksel M., Önen Y.H., 2015. Seismic Vulnerability of Treatment Plants in Istanbul, International Burdur Earthquake and Environment Symposium, 7-9 May 2015, Burdur, Türkiye, 260-266.

Zare M. R., Wilkinson S., Potangaroa R., 2010. Vulnerability of Wastewater Treatment Plants and Wastewater Pumping Stations to Earthquakes, *International Journal of Strategic Property Management* 14(4), 408-420, <https://doi.org/10.3846/ijspm.2010.30>.

Zhang Q., Wei W., 2021. Numerical Simulation on the Sloshing Characteristics of Gasliquid Flow in Cargo Tank and Anti-sloshing Methods, *Journal of Physics: Conference Series* 1746, 12046, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1746/1/012046>.

ARAŞTIRMA VERİSİ

Çalışma kapsamında kullanılan arıtma ünitesine ait geometri Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nden (İSU) temin edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI

Katkı Türü	Yazarlar
Çalışmanın tasarlanması	M.A
Literatür araştırma	M.A.
Saha çalışması, veri temini/derleme	M.A.
Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi	M.A
Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması	M.A.
Bulguların yorumlanması	M.A
Makale yazımı, düzenleme, kontrol	M.A.