

Batık Minarelerde Su Seviyesinin Yapıya Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Abdullah DEMİR^{1*}, Ali Ersin DİNÇER²

ÖZET: Baraj göllerinin, sular altında bıraktığı yerleşim yerlerinin, su üstünde kalan son mirasları minarelerdir. Türkiye’de iki adet batık minare bulunmaktadır ve su üstünden görülebilmeleri ile cazibe merkezleri haline gelmişlerdir. Uzun yıllar sular altında kalması bu yapıların malzeme kalitesinin düşmesine sebep olmuştur/olacaktır. Bunun yanında; olası bir deprem esnasında var olan zemin hareketine ek olarak suyun çalkalanma etkisinin de eklenmesi bu minarelerin davranışlarının öngörülmesini daha da zorlaştırmaktadır. Yüksek Deprem riski barındıran bölgelerde yer alan her bu yapıların deprem esnasında su ile yapacağı etkileşimin sonuçlarının irdelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda su altında kalan minarelerin davranışlarını incelemek için idealleştirilmiş 2 boyutlu model oluşturulmuş ve yakın fay hareketleri uygulanmıştır. İdealleştirilmiş modelin analizi için tam akupajlı bir yapı-sıvı etkileşim (FSI) modeli kullanılmıştır. Bu modelde yapı kısmın modellenmesi için sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sıvı kısmın modellenmesi için ise yumuşatılmış parçacık hidrodinamiği (SPH) kullanılmıştır. Bu iki farklı yöntem ile modellenen alanların etkileşimi için ise kontak mekanik kullanılmıştır. Kullanılan FSI yöntemi birçok problemin çözümü ile doğruluğu kanıtlanan geçerli bir yöntemdir. Farklı su seviyeleri ile oluşturulan idealleştirilmiş modeller, geliştirilen FSI yöntemi ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar batık minarelerde su kütlesi etkisinin yakın fay altında ne kadar yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Su seviyesindeki değişim ile bu etki doğal olarak değişim göstermektedir. Çalışma kapsamında farklı su seviyeleri incelenerek batık minareler üzerindeki su kütlesi etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yapı-sıvı etkileşimi, batık yapılar, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, yumuşatılmış parçacık hidrodinamiği

Numerical Investigation of the Effect of Water Level on Submerged Minarets

ABSTRACT: Minarets are the last relics of settlements submerged by dam reservoirs. There are two submerged minarets in Turkey and they became attraction centers as a result of being visible on surface of reservoir. Being submerged decreased/will decrease material quality of these structures. Beside this fact, additional effect of sloshing occurring at instant of a possible earthquake make the behavior of submerged structure more unpredictable. It is needed to be investigated the results of interaction between water and submerged structure which is settled in earthquake region.

In this scope, an idealized 2D model is formed and near fault excitations are applied to investigate the behavior of submerged minarets. A fully coupled fluid-structure interaction (FSI) method is used for analyses of the idealized model. In this method, finite element method (FEM) is used to model the structural domain of the problem and smoothed particle hydrodynamics (SPH) is used to model the fluid domain of the problem. Contact mechanics is used for interaction between these two different domains. The FSI method is a valid method which was used for solution of many different problems. The idealized models consisting different water levels are analyzed by developed FSI method and results are presented comprehensively. Achieved results set forth the conclusion that mass of fluid has a high level of impact on submerged minarets under near fault excitations. This impact change in water level with change in reservoir water level. In the context of this research, the effect of reservoir level on the submerged minarets are investigated.

Keywords: fluid-structure interaction, submerged structures, computational fluid dynamics, smoothed particle hydrodynamics

¹Abdullah DEMİR (Orcid ID: 0000-0002-6392-648X), Abdullah Gül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik ABD, Kayseri, Türkiye

²Ali Ersin DİNÇER (Orcid ID: 0000-0002-4662-894X), Abdullah Gül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik ABD Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdullah DEMİR, e-mail: abduallah.demir@agu.edu.tr

GİRİŞ

Uzun bir geçmişi bulunmayan batık minareler, baraj göllerinin yapımı sonucu sular altında kalan şehirlerin su üstünde kalan son miraslarıdır. Su üstünde kalması ile simge yapılar haline gelmiş ve turistik cazibe merkezleri oluşturmuştur. Dünyada başka örneği bulunmayan bu yapılardan ülkemizde iki adet bulunmaktadır. İlki Samsun ilinin Bafra ilçesinde yapımı 1990 yılında tamamlanan ve 1991 yılında enerji üretimine başlayan Derbent barajında olup, ikinci ve daha popüler olanı ise Şanlıurfa ilinin Savaşan köyünde yapımı 2001 yılında tamamlanan Birecik barajındadır. Ülkemizde ve dünyada sular altında kalmış birçok yerleşim yeri olsa da yalnızca iki adet minare sular altında kalmıştır.

Su üstünde bulunan minareler konusunda yapılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar minarelerin dinamik analizleri ve deprem altındaki davranışlarının incelenmesi konularında yoğunlaşmaktadır (Oğuzmert, 2002; Serhatoğlu, 2015; Ural ve ark., 2018). Tarihi yığma minareler için de bu analizler gerçekleştirilmiştir (Çalik ve ark., 2017; Günaydın, 2018). Bunlara ek olarak, ince ve narin bir yapıya sahip minarelerin yıkılma sebepleri de araştırma konusu olmuştur (Nuhoğlu ve ark., 2005). Ayrıca yapısal farklılıklar içeren minareler için de analizler gerçekleştirilmiştir (Ökten ve ark., 2013; Pekgökgöz ve ark., 2017; Arda Uğurlu ve ark., 2017). Minarelerin deprem altındaki davranışları (Mutlu & Şahin, 2016) ve rüzgar yükü altındaki davranışları (Temüz, 2007) da incelenmiştir.

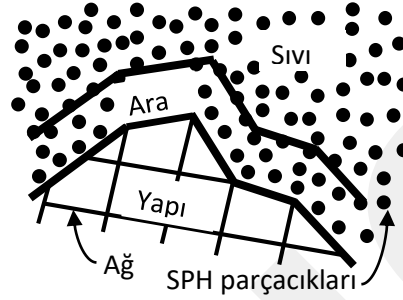
Su altında kalan minareler için literatürde hiçbir çalışmaya ulaşılamamıştır. Su ile etkileşimi bulunan yapılar olan denizaşırı (offshore) (Morison ve ark., 1950; Orgill ve ark., 1985; Jeon ve ark., 2013) yapılar veya teknolojik yapılar olan batık yüzen tüneller (Submerged Floating Tunnel) (SFT) (Remseth ve ark., 2005; Dong ve ark., 2016; Jin ve ark., 2018) üzerine ise literatürde birçok çalışma yürütülmüştür. Bu yapıların davranışının incelenebilmesi için yapı-sıvı etkileşim (FSI) modellerine ihtiyaç vardır. Literatürde çok farklı model kombinasyonları içeren yapı-sıvı etkileşim yöntemleri önerilmiştir (Fourey ve ark., 2014; Demir ve ark., 2017; Cheng ve ark., 2018). Yapı kısmı için yaygın olarak sonlu eleman modeli, sıvı kısmı için ise ağ tabanlı modellerin yanı sıra parçacık tabanlı modeller olan hareketli parçacık yarı-kesin (MPS) (Demir ve ark., 2017) yöntemi ya da yumuşatılmış parçacık hidrodinamiği (SPH) (Demir ve ark., 2019; Dinçer, 2019) yöntemi gibi modeller kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında birçok problemin çözümü ile test edilmiş olan SPH-FEM tabanlı FSI yöntem (Demir ve ark., 2019) kullanılmıştır.

Bu çalışmada kısmen ya da tamamen sular altında kalmış yapıların idealize edilmiş modelinin yakın fay hareketleri altındaki davranışı iki boyutlu olarak incelenecektir. Kullanılan sayısal model SPH-FEM tabanlı bir yapı-sıvı etkileşim modelidir. Çalışmada gerçek bir yapının davranışlarından ziyade iki boyutlu idealleştirilmiş yapıların üzerindeki su etkisi gözlemlenecektir.

MATERYAL VE METOT

Su altında kalmış yapıların üzerine etkileyen su yüklerinin etkisini ve önemini göstermek üzere tam akupaj sağlayan bir yapı-sıvı etkileşim yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntem birçok yapı-sıvı etkileşim probleminde uygulanmış (Demir ve ark., 2019; Dinçer ve ark., 2019) ve gerekli doğrulamaları gerçekleştirilmiş geçerli bir yöntemdir. Bu yöntemde sistemin yapı kısmı geçerliliğini uzun yıllar önce kanıtlamış sonlu elemanlar yöntemi ile modellenir. Sıvı kısmı ise literatüre daha yakın bir tarihte kazandırılan ve parçacık tabanlı bir yöntem olan yumuşatılmış parçacık hidrodinamiği (SPH) yöntemi ile modellenir. Bu iki farklı alanın etkileşimi ise kontak mekanik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı denklem çıkarımları, SPH ve sonlu eleman yöntemlerinde kullanılan denklemler, literatürdeki çalışmalardan takip edilebilir (Dinçer, 2017; Dinçer ve ark., 2018; Dinçer ve ark., 2019; Demir ve ark., 2019).

Kuvvet tabanlı ve yer değiştirme tabanlı olarak iki farklı şekilde geliştirilen yöntemin temeli yapıya yaklaşan sıvı parçacıkların uzaklaştırılmasıdır. Sıvı parçacıklarının yapıya yaklaşıp yaklaşmadığı, bir kontak algoritması ile tanımlanan ara alanda incelenir. İki farklı alan (yapı-sıvı) arasında tanımlanan bu bölgeye giren sıvı parçacıkları (Şekil 1) ya kuvvete ya da yer değiştirmeye maruz bırakılır. Dolayısı ile yapı alanını işgal etmesi önlenmiş olur. Bu makalede sıvı parçacıklarının yer değiştirmeye maruz bırakıldığı yöntem kullanılmıştır.



Şekil 1. Yapı-sıvı etkileşim şeması

SPH parçacıklarının dinamik analizinde leap frog algoritması kullanılmaktadır. Ara alanı işgal eden SPH parçacıkları (işgalci parçacıklar) ise yapı alanı ile beraber çözüldükleri için Wilson-Teta yöntemi kullanılarak dinamik hareketleri sağlanmaktadır. İşgalci parçacıklara uygulanan kuvvet aşağıdaki eksponansiyel fonksiyon ile belirlenmektedir.

$$\left(\vec{\Delta}_p^{(i-1)} \right)_n = \left(\vec{\Delta}_p^{(i-1)} \right)_n - \vec{d} + e^{-\left(\frac{|\left(\vec{\Delta}_p^{(i-1)} \right)_n|}{|\vec{d}|} \right)} \vec{d} \quad (1)$$

Burada, $\left(\vec{\Delta}_p^{(i-1)} \right)_n$ işgalci p parçacığının sınır yüzeyinde yaptığı lokal dik yöndeki işgal miktarının uzunluğu, $\left(\vec{\Delta}_p^{(i-1)} \right)_n$ varsayılan yeni işgal miktarı (başka bir deyişle; işgalci p parçacığına uygulanacak olan yer değiştirme miktarı) ve \vec{d} local dik yöndeki akışa bağımlı vektördür. Bu vektör ara alan sınırının işgaline ne kadar izin verileceğini belirleyen bir parametredir. Daha geniş bir ara alan işgali daha fazla SPH parçacığının yapı ile çözülmesi ve dolayısı ile daha uzun analiz süresi anlamına gelmektedir. Denklem (1)'deki eksponansiyel SPH parçacığının ara alan işgal miktarından daha az uzaklaştırılmasını sağlayarak ara alanda asılı kalmasını sağlamaktadır. Dolayısı ile sıvı alanının yapı alanı ile olan etkileşiminin bu işgalci SPH parçacıkları sürekli olarak sağlamaktadır. Askıda kalacak olan SPH parçacıkları önceden belirlenmiş değildir ve sürekli askıda kalmamaktadır. İşgalci parçacıklar kendiliğinden alana giriş yapmakta ve akış karakterine göre ara alan dışındaki başka SPH parçacıkları ile yer değiştirebilmektedir.

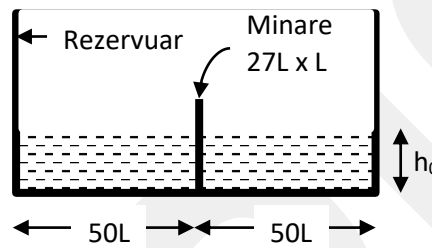
Sıvı parçacıkları eğer ara alanda değilse SPH denklemlerine tabi olarak davranışlarını sergilerler. Fakat ara alanda bulunan sıvı parçacıkları kütle katılımları sağlanarak yapı kısmının hareket denklemlerine tabi olarak davranışlarını sergilerler. Dolayısı ile batık yapıların su ile olan fiziksel iletişimi tam bir akupaj ile sağlanmış olur.

Simülasyon Parametreleri

Minareler mimari olarak birçok farklı ayrıntıda inşa edilmiş olsa da ülkemizde klasik bir minare yapısal olarak ortalama benzer özellikler taşımaktadır (Gürsoy, 2018). Diyanet işleri başkanlığı ve vakıflar genel müdürlüğünün yeni yapılacak camiler için gövde ve minare yüksekliği oranı ile kubbe yüksekliği ve kubbe çapı oranı belirlenmiştir (Gürsoy, 2018). Bu oranlar camilerin öngörülen

kapasitelerine göre değişmektedir. 2019 yılında ibadete açılan Çamlıca camisinin minareleri 107.1 ve 90'ar metre yüksekliğe sahiptir. Bu yükseklik bir köy camisinde 10 ila 20 metre arasında değişmektedir. Gerçek boyutlu bir örnek için tam akupajlı bir yapı-sıvı etkileşim yöntemi ile zaman serisi analizi yapmak standart bir bilgisayar ile çok uzun süreceği için analizler idealize edilmiş model ile gerçekleştirilmiştir.

Yapının içinde bulunduğu rezervuar dikdörtgen olarak Şekil 2'deki gibi tanımlanmıştır. Yapının genişliğinin 100 katı genişliğindeki rezervuarın bir baraj gölü modellemesi için yeterli olduğu varsayılmıştır. Bir kısmı su ile dolu olan rezervuar farklı yakın fay hareketleri verilerek çalkalanmıştır. Şekil 2'de belirtilen boyutlar tüm analizler için sabit tutulmuştur. Batık yapının bir kısmının su üstünde kaldığı veya tamamının sular altında kaldığı durumlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan su seviyeleri h_0 ; 0L, 14L ve 28L'dir.



Şekil 2. Model geometrisi

Rezervuarın sınırları rijit varsayılmıştır. Bu rijit duvarlar SPH sınır parçacıkları kullanılarak modellenmiştir. Batık yapı ise yapılan yakınsama analiz değerlendirmesi sonucu 200 sonlu eleman ile modellenmiştir. Su alanının modellenmesi için kullanılan parçacıklar arası mesafe 0.5L'dir. Bu değer de yakınsama analizi sonucu elde edilmiştir. Farklı su seviyeleri için aynı parçacıklar arası mesafe kullanılmıştır. Sıvı alanı için bağıl yoğunluk 1.0 iken, minare için 2.5 alınmıştır. Batık yapının elastisite modülü idealize edilmiş modelde yapının tümü için homojen olup, yapının deplasmanını daha net yakalayabilmek için C20 betonun elastisite modülünün 0.0875 katı olarak alınmıştır. Boyutsuz zaman diskritizasyon basamağı için ise 9.15×10^{-4} kullanılmıştır.

Boyutsuz model için yer değiştirme, hız, ivme, zaman ve basınç sırasıyla aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Bu çalışma boyunca boyutsuz değişkenler kullanılmıştır.

$$X' = \frac{x}{L} \quad (2)$$

$$V' = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (3)$$

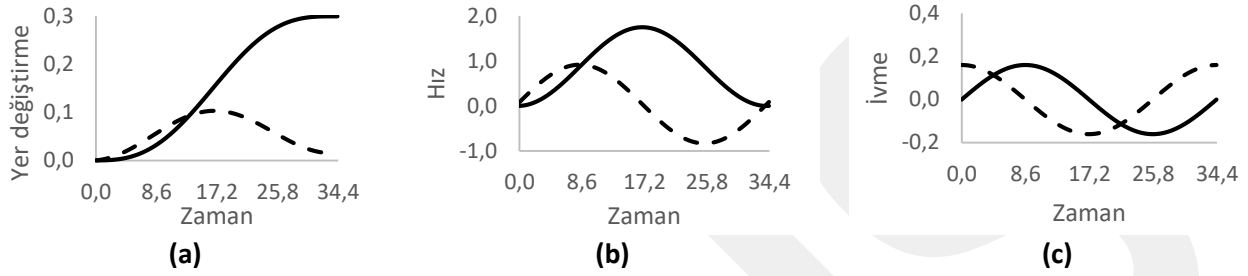
$$a' = \frac{a}{g} \quad (4)$$

$$T' = t \left(\sqrt{\frac{g}{L}} \right) \quad (5)$$

$$P' = \frac{P}{\rho g L} \quad (6)$$

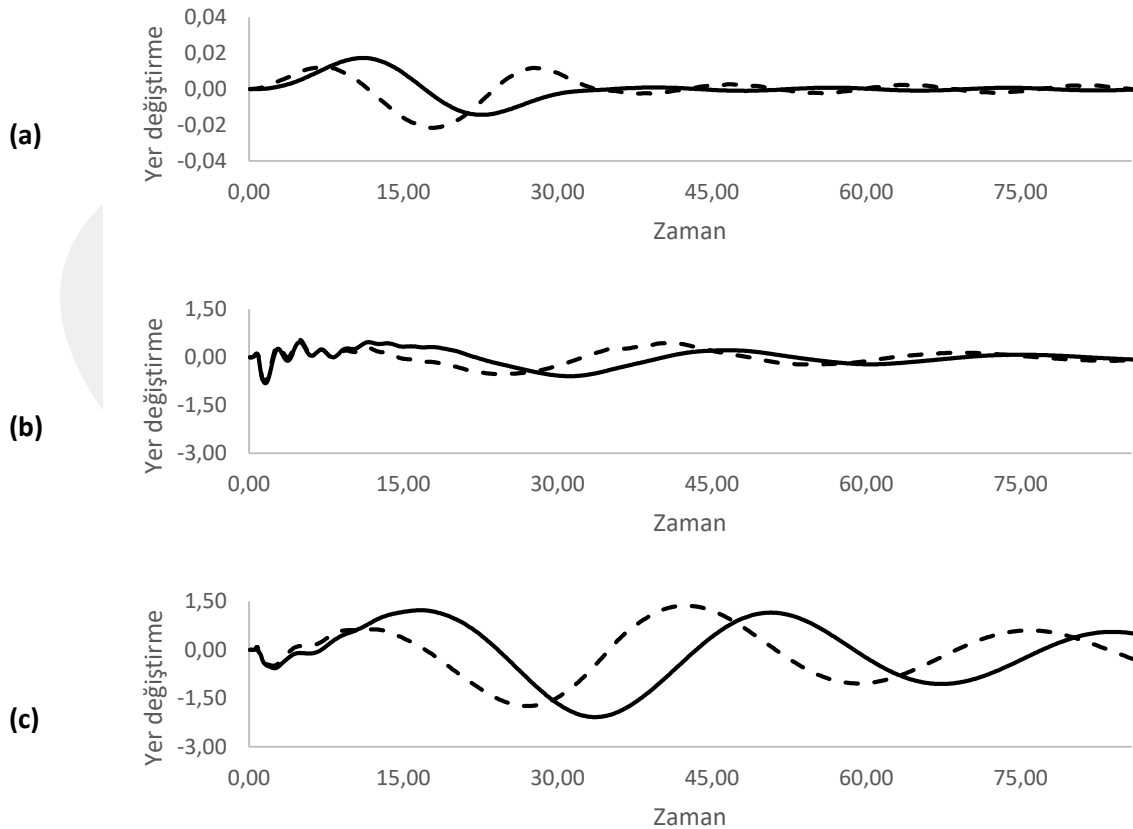
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarıda tanımlanan idealize edilmiş modele 2 farklı yakın fay yer hareketi uygulanmıştır. Literatürde Tip A (sinüs) ve Tip B (kosinüs) olarak sınıflandırılan bu sarsıntıların yer değiştirme hız ve ivme grafikleri Şekil 3’de görülebilir. Kullanılan iki yakın fay hareketinin ivmesi için de aynı genlik ve periyod kullanılmıştır. Genlik için $0.9L$, periyod için ise $T' = 26.5$ kullanılmıştır. Kullanılan genlik miktarı yapının uç noktasında gözlemlenebilir miktarda yer değiştirme oluşturması bakımından $0.9L$ olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Uygulanan A tipi (sürekli çizgi) ve B tipi (kesik çizgi) yakın fay yer hareketlerinin yer değiştirme (a) hız (b) ve ivme (c) grafikleri

Uygulanan yer sarsıntıları altında yapının uç noktasında meydana gelen yer değiştirmeler Şekil 4’de Tip A ve Tip B için ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

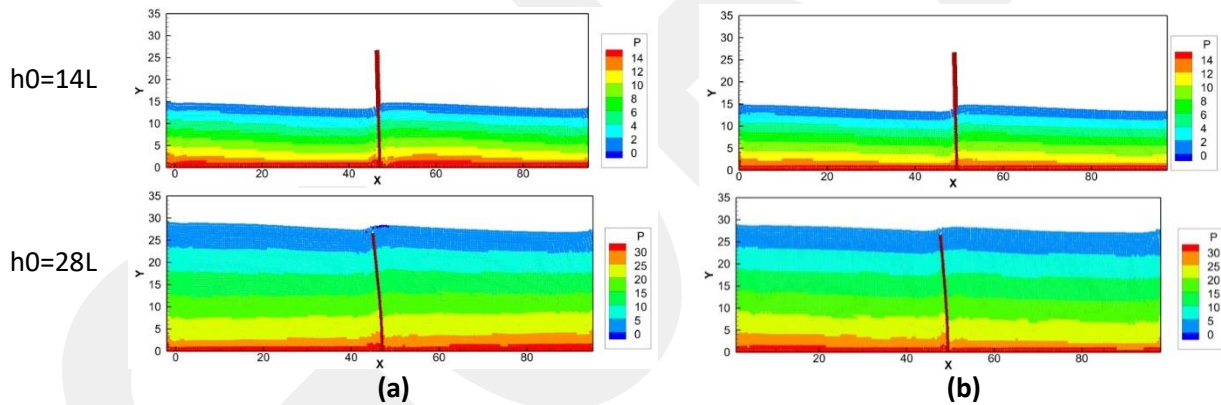


Şekil 4. Uygulanan A tipi (sürekli çizgi) ve B tipi (kesik çizgi) yakın fay yer hareketleri altında boş rezervuar (a) yarı dolu rezervuar (b) ve tam dolu rezervuar (c) için yapı uç noktasında oluşan yer değiştirmeler.

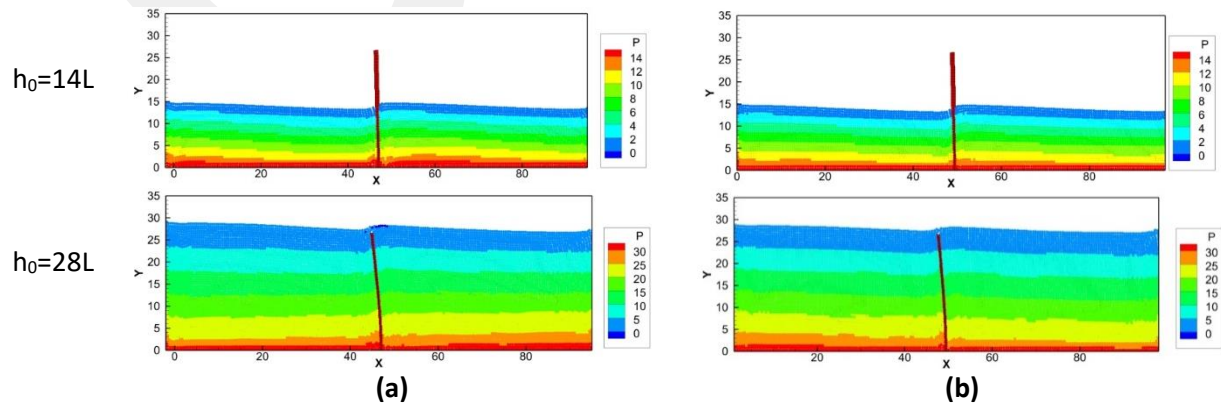
A tipi yakın fay yer hareketinde rezervuar boşken en yüksek yer değıştirme 0.015L iken 14L ve 28L su seviyelerine sahipken en yüksek yer değıştirmeler sırasıyla 0.6L ve 2L'dir. Rezervuar boşken en yüksek yer değıştirme ilk hareket dalgasının oluştuğu $T' = 11$ 'de gözlemlenirken, yapının yarı batık ve tam batık olduğu durumlarda ikinci hareket dalgasının oluştuğu yaklaşık olarak $T' = 35$ 'de gözlemlenmektedir. B tipi yakın fay yer hareketinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek yer değıştirmeler sırasıyla 0.015L, 0.5L ve 1.75L'dir. Yine tip A'da olduğu gibi tip B'de de rezervuar boşken en yüksek yer değıştirme ilk hareket dalgasında gözlemlenirken ($T' = 10$) yarı ve tam batık yapılarında en yüksek yer değıştirme ikinci hareket dalgasında ($T' = 30$) gözlemlenmektedir.

Rezervuar boşken her iki tip yakın fay yer hareketinde de yapının uç noktasında çok küçük yer değıştirmeler gözlemlenmektedir. Bu hareket, ortamda sıvının olmaması sebebi ile yer hareketinin sonlaması sonrası yapının hareketinin sönümlenmesi ile sonuçlanmaktadır. Fakat rezervuarda sıvı bulunması durumunda yapının hareketi sadece yer hareketine bağımlı olmaktan çıkıp sıvının hareketinden de etkilenmekte ve yer hareketi sonlanmasına rağmen yapı hareketine sıvının etkisi ile devam etmektedir. Her iki tip yer hareketinde de yapının uç noktasındaki yer değıştirmelerin periyodu yer hareketinin periyodu ile aynıdır. Fakat bu iki periyodik hareket arasında yaklaşık $T' = 6.5$ 'lik bir fark mevcuttur.

Yapının ucunda oluşan en yüksek yer değıştirmelerin farklı su seviyeleri ve yer hareketleri için farklı zamanlarda oluştuğu gözlemlenmiştir. En yüksek uç yer değıştirmenin oluştuğu bu anlardaki sıvıda basınç profilleri



Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Yapıdaki uç yer değıştirmenin en yüksek olduğu durumda gözlemlenen su yüzü profilleri (a) Tip A, (b) Tip B

Elde edilen bulgular literatürde batık yapılarda yakın fay hareketleri altında su yüksekliği etkisinin gözlemlenmesi açısından bir ilktir. Batık yapılarda yapı-sıvı etkileşimi üzerine literatürde çalışmalar (Dong ve ark., 2016; Yan ve ark., 2016; Jin ve ark., 2018) vardır. Fakat bu çalışmalardan hiçbirinde yakın fay hareketi incelenmemiştir. Elde edilen bulgular bu yönü ile literatürde bir başlangıç yaratmıştır ve gelecek çalışmalara yol göstereceği öngörülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada idealize edilmiş bir batık minare modeli farklı su seviyeleri için tam akupajlı yapı-sıvı etkileşim yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan dinamik analizler için literatürde Tip A ve B olarak adlandırılan iki farklı yakın fay yer hareketi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rezervuarda hiç sıvı bulunmaması ve bulunması durumları kıyaslandığında yapının uç noktasında oluşan yer değiştirme üzerindeki sıvının etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Yapının kısmi batık ve tam batık durumdaki hareketleri kıyaslandığında su seviyesi arttıkça yapıda oluşan uç yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir. Sayısal olarak özetlemek gerekirse, her iki yakın fay yer hareketinde de boş rezervuarda görülen yapı uç noktasında oluşan deplasmanların yarı dolu rezervuarda yaklaşık 40 katına, tam dolu rezervuarda ise yaklaşık 140 katına çıktığı görülmüştür.

Daha gerçekçi 3 boyutlu analizler ile daha geçerli sonuçlar elde edileceği açıktır. Fakat gerçek boyutlardaki bir batık minare modeli için gerçekleştirilecek tam akupajlı yapı-sıvı etkileşim analizinin hesaplama süresi uzun olacaktır. Dolayısı ile bu çalışmada idealize edilmiş 2 boyutlu bir model kullanılmış ve modele idealize edilmiş yakın fay yer hareketleri uygulanmıştır.

Batık minarelerin incelenmesi konusunda yapılan ilk tam akupajlı yapı-sıvı etkileşim analizi olması sebebi ile kullanılan modelin ve analiz yönteminin bu konuda yapılacak çalışmalara öncülük edebileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda daha gerçekçi boyutlarda ve daha gerçekçi yer hareketleri ile yeni bilimsel çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Uğurlu MA, Erdemli Günaslan S, Karaşin A, 2017. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 8(2): 413–422.
- Çalık İ, Bayraktar A, Türker T, 2017. Tarihi yağma taş minareler için deneysel yöntemlere dayalı basitleştirilmiş doğal frekans formülleri. In Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, pp: 523–532.
- Cheng X, Jing W, Gong L, 2018. Dynamic Responses of a Sliding Base-isolated RLSS Considering Free Surface Liquid Sloshing. KSCE Journal of Civil Engineering, 22(12): 4964–4976.
- Demir A, Dinçer A E, 2017. MPS ve FEM Tabanlı Akışkan-Yapı Etkileşimi Modelinin Çoruh Nehri Üzerindeki Ardıl Baraj-Yıkılma Problemine Uygulanması. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2): 64-69.
- Demir A, Dinçer A E, Bozkus Z, Tijsseling A S, 2019. Numerical and experimental investigation of damping in a dam-break problem with fluid-structure interaction. Journal of Zhejiang University: Science A, 20(4): 258–271.
- Dinçer A E, 2017. Numerical investigation of free surface and pipe flow problems by smoothed particle hydrodynamics. Middle East Technical University.
- Dinçer A E, 2019. Investigation of the Sloshing Behavior Due to Seismic Excitations Considering Two-Way Coupling of the Fluid and the Structure. Water, 11(12): 2664.
- Dinçer A E, Bozkus Z, Tijsseling A S, 2018. Prediction of Pressure Variation at an Elbow Subsequent to a Liquid Slug Impact by Using Smoothed Particle Hydrodynamics. Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME, 140(3).

- Dinçer A E, Demir A, Bozkus Z, Tijsseling A S, 2019. Fully Coupled Smoothed Particle Hydrodynamics-Finite Element Method Approach for Fluid-Structure Interaction Problems With Large Deflections. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 141(8): 1–13.
- Dong MS, Man L, 2016. The Dynamic Responses of the of the Submerged Floating Tunnel under Seismic effect. In *Procedia Engineering*, 166: 152–159.
- Fourey G, Oger G, Le Touzé D, Alessandrini B, 2014. Violent Fluid-Structure Interaction simulations using a coupled SPH/FEM method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 10(1).
- Günaydın M, 2018. Tarihi Bir Yığma Minarenin Onarım Sonrasındaki Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- Gürsoy E, 2018. Cami tip projelerinde ölçü-oran ilişkisi. *Türk Dünyası Araştırmaları*, 118(232): 211–228.
- Jeon S H, Cho Y U, Seo M W, Cho J R, Jeong W B, 2013. Dynamic response of floating substructure of spar-type offshore wind turbine with catenary mooring cables. *Ocean Engineering*, 72: 356–364.
- Jin C, Kim M-H, 2018. Time-Domain Hydro-Elastic Analysis of a SFT (Submerged Floating Tunnel) with Mooring Lines under Extreme Wave and Seismic Excitations. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(12).
- Morison J R, Johnson J W, Schaaf S A, 1950. The Force Exerted by Surface Waves on Piles. *Journal of Petroleum Technology*, 2(05): 149–154.
- Mutlu Ö, Şahin A, 2016. Investigating the effect of modeling approaches on earthquake behavior of historical masonry minarets-bursa grand mosque case study. *Sigma J Eng Nat Sci*, 7(2): 123–136.
- Nuhoğlu A, Şahin S, 2005. Sanayi bacalarının ve minarelerin dinamik davranışlarının incelenmesi. In *Deprem Sempozyumu. Kocaeli*.
- Oğuzmert M 2002. Dynamic behavior of masonry minarets. *İstanbul Technical University*.
- Ökten M S, Haydaroğlu C, Ökten Balaban B, Bozdağ B, 2013. Ahşap Minarelerin Taşıyıcı Sistemleri ve Zıbcı Camii Örneği Mehmet Selim Ökten. In 4.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu,. İstanbul: İTÜ.
- Orgill G, Wilson J F, Schmertmann G R, 1985. Static Design of Cable Mooring Arrays for Offshore Guyed Towers. *Applied Ocean Research*, 7(3): 166–174.
- Pekgökgöz R K, Taş G, 2017. Ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiş betonarme yüksek minarelerin dinamik analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1): 287–304.
- Remseth S, Leira B J, Rönnquist A, Udahl G, 2005. Dynamic response and fluid structure interaction of submerged floating tunnels. In *WIT Transactions on the Built Environment*, 84: 247–257. WITPress.
- Serhatoğlu C, 2015. Bursa tarihi minarelerinin dinamik davranışlarının ve performanslarının incelemesi. *Uludağ Üniversitesi*.
- Temüz HT, 2007. Minarelerin rüzgâr yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve bunların rüzgâra göre hesabı. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*
- Ural A, Celik T, 2018. Dynamic Analyses and Seismic Behavior of Masonry Minarets with single Balcony. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 2(1): 13-27
- Yan H, Luo Y, Yu J, 2016. Dynamic Response of Submerged Floating Tunnel in the Flow Field. In *Procedia Engineering*, 166: 107–117.