

KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ

Abdulkerim ERGÜT¹ (ORCID: 0000-0002-6678-2872) *
Begum Yurdanur DAGLI² (ORCID:0000-0002-2021-5450)

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü

Geliş / Received: 15.10.2019

Kabul / Accepted: 05.12.2019

ÖZ

Bu çalışmada alt yapısı kazıklar ile modellenen deniz yapılarının dinamik davranışı akışkan-yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak incelenmiştir. Yanal Yatak Katsayısı Yöntemi ile birbirinden bağımsız yay katsayıları kullanılarak zemin mekanik modeli oluşturulmuştur. Alt yapı elemanının zemin içerisine farklı gömülme derinlikleri ele alınarak tabakalaşma etkisi ortaya konulmuştur. Yapı çevresindeki akım, doğrusal olmayan dalga teorilerinden Stokes 3. Mertebe Dalga Teorisi ile temsil edilmiştir. Hidrodinamik sürükleme ve hidrodinamik ataletten oluşan dalga kuvvetleri Morison Denklemi ile hesaplanmıştır. Dış kuvvet olarak ifade edilen dalga kuvvetleri ile hareket denklemi elde edilmiştir. Kazığın dinamik davranışını veren hareket denklemi boyutsuzlaştırılarak malzemeden bağımsız hale getirilmiştir. Sonlu farklar analizi ile boyutsuz denklem nümerik olarak çözülmüş, MAPLE yazılımı kullanılarak moment, dönme, deplasman değerleri belirlenmiştir. Homojen olmayan zeminlerde tabaka kalınlığının, deplasman üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Zemini temsil eden yay sabiti arttıkça yer değiştirme değerleri düşmektedir. Moment değerleri de sert zeminin alt tabakada yer alması durumunda artmaktadır.

Anahtar kelimeler: akışkan-yapı-zemin etkileşimi, hidrodinamik kuvvet, sonlu farklar yöntemi

DYNAMIC ANALYSIS OF STRUCTURES WITH PILES UNDER HYDRODYNAMIC LOADS AND DIFFERENT SOIL CONDITIONS

ABSTRACT

In this study, the dynamic behavior of marine structures modeled with pile infrastructure is investigated by considering fluid-structure-soil interaction. The mechanical model of soil is designed by using independent spring stiffness coefficients with Lateral Subgrade Modulus Method. The different ratios of the embedded length of the substructure to the total length are investigated and the soil stratification effect is presented. Flow around the pile is modeled by Stokes 3rd Order Wave Theory which is an example of nonlinear wave theories. Morison equation is employed to obtain hydrodynamic drag and inertia forces. The equation of motion is obtained by utilizing the wave forces as the external force. The wave forces. The equation of motion of the pile is rendered dimensionless to be expressed independently of the material and to obtain universal results. The dimensionless partial differential equations of motion are solved by using finite difference method (FDM). The displacement, moment and rotation values are achieved by MAPLE software. The layer thickness is more effective on displacement of piles under wave forces for non homogeneous soil. The values of displacement decreases as the stiffness coefficient of soil increases. The bending moment on the piles also increases if the soil represented by greater stiffnesses coefficient is located in the substrate.

Keywords: fluid-structure-soil interaction, hydrodynamic forces, finite difference method (FDM)

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 236 201 23 22; e-mail / e-posta: abdulkerim.ergut@cbu.edu.tr

1. GİRİŞ

Artan enerji talebi ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde deniz yapılarının kullanımı da hızla artmaktadır. Petrol arama-çıkarma platformları, sondaj kuleleri, rüzgar ve güneş enerjisi tesisleri, gemi yanaşma yapıları gibi üst yapının oturduğu bir platform ile platformu taşıyan altyapı ve temelden oluşan deniz ve kıyı yapıları gün geçtikçe önem kazanmaktadır [1,2,3]. Farklı yapı malzemeleri kullanılarak tekil kazık, çoklu kazık, kafes, çerçeve gibi taşıyıcı sistem modelleri ile tasarlanan deniz ve kıyı yapılarına ait alt yapı sistemleri, hizmet ömürleri boyunca dalga, akıntı, deprem gibi kuvvetlere maruz kalmaktadırlar [4,5]. Üst yapıyı oluşturan platformdan gelen düşey kuvvetlere karşı yapılan çalışmalar sayesinde basit matematiksel yaklaşımlar ile güvenilir alt yapı sistemlerini oluşturmak mümkün olmaktadır. Ancak kazık destekli kıyı yapılarında, kazıklar ile dalga arasındaki ilişki son derece karmaşıktır. Dalga hareketinin sahip olduğu karmaşıklığın yanı sıra, tekil kazık ve kazık gruplarına bu hareketin tesiri sonucunda açığa çıkan kuvvetleri belirlemek son derece zordur [6]. Kıyı ve deniz yapılarının dalganın yanı sıra deprem, gemi çarpması, korozyon, buzlanma ve şiddetli fırtına gibi ortaya çıkabilecek ilave kuvvetler altında da stabilitesini koruyabilmesi büyük önem taşımaktadır [7,8]. Belirtilen yükler içinde dinamik, uzun süreli ve kararsız olması nedeni ile dalga kuvvetleri kazıklı deniz ve kıyı yapılarının dayanımını ve fonksiyonelliğini olumsuz yönde etkileyen başlıca kuvvettir [9]. Ancak, yanal yüklü kazıklar konusunda genel kabul görmüş bir tasarım modelinin varlığından söz etmek mümkün değildir. Bunun en büyük nedeni, yanal yüklü kazıkların deplasmana maruz kalmalarından itibaren yüzey alanları boyunca üç boyutlu bir zemin-yapı etkileşimi altında davranış göstermeleridir [10].

Zemin-akışkan-yapı üçlüsünün birbirleri ile olan etkileşimlerinin incelendiği bu çalışmada kazık davranışı Yanal Yatak Katsayısı Yöntemi ile incelenmiştir [11,12]. Zemine gömülme derinliği, zemin cinsine, kazığın eksen etrafındaki eğilme rijitliğine bağlıdır. Özellikle kıyıda açık denize doğru uzanan deniz yapılarında taban eğimine bağlı olarak gömülme derinliği de değişmektedir [13]. Bu nedenle tekil kazık ile mekanik modeli oluşturulan alt yapı elemanlarının zemin içinde kalan kısımları farklı derinlikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Davisson ve Robinson [14] tarafından önerilmiş olan bağıntılar kullanılarak gömülme derinliğinin toplam boya oranı 0.25 ve 0.50 kabul edilmiştir. Bu oranlar, karşılaştırma yapılabilmesi amacı ile çalışmada dikkate alınan tüm zemin koşulları için kullanılmıştır. Farklı tabakalardan meydana gelen zemin koşulları kullanılan farklı yay katsayıları ile temsil edilmiştir. Yay katsayıları, ilgili zemin tipleri için elde edilmiş olan p-y eğrilerine ait değişken eğimlerinin analitik formda yazılması ile belirlenmiştir. Dalga hızı ve ivmesi Stokes 3. Mertebe Dalga Teorisi ile hesaplanmıştır [15]. Dalga parametrelerinin Morison Denklemine kullanılması ile kazığa etkileyen yanal kuvvet hesaplanmıştır. Bu yanal kuvvet hidrodinamik sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin toplamından oluşmaktadır. Zamana ve derinliğe bağlı değişen hidrodinamik kuvvet karşısında kazığın dinamik davranışını veren hareket denklemi elde edilmiştir. Malzemeden bağımsız genel sonuçların elde edilmesi amacı ile diferansiyel denklem boyutsuzlaştırılmıştır. Sonlu Farklar Yöntemi kullanılarak nümerik olarak çözümler yapılmıştır. Sınır şartları ve başlangıç değer atamaları ile MAPLE yazılımı kullanılarak iteratif analiz yapılmıştır. Ankastre temelli tekil kazık üzerinde oluşan kesit reaksiyonları sunulmuştur. Hidrodinamik kuvvetlerin etkisi ile değişen deplasman değerleri hesaplanmıştır.

2. YÖNTEM

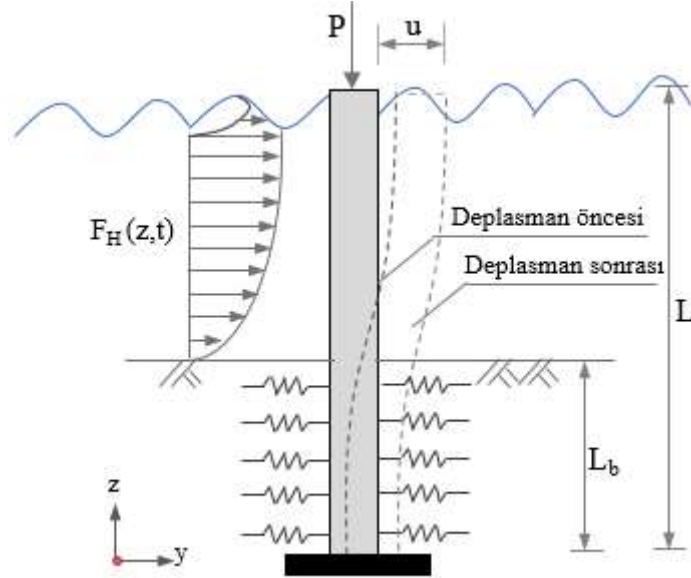
Kazıklı kıyı ve deniz yapılarına ait alt yapı sistemleri tekil kazık ya da kazık grubu ile farklı projelendirme esasları dikkate alınarak ara mesafeleri ve çap oranlarına göre modellenebilmektedirler. Bu çalışma kapsamında, farklı gömülme derinlikleri ile tabakalı zemine sabitlenen tekil kazığın, dalga etkisi ile oluşan hidrodinamik kuvvetler karşısındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Kazığın platformu taşıyan deniz yapısına ait alt yapı sistemin bir elemanı olduğu yaklaşımı ile üst başlık için elastik mesnet sınır koşulları atanmıştır [16]. Kazığın zemine gömülü olmayan kısmı dalganın periyodik salınımından kaynaklanan yanal hidrodinamik kuvvetlerin etkisi altındadır. Morison denklemi ile elde edilen bu kuvvetler hareket denkleminde dış kuvvet olarak dahil edilmiştir. Sonlu Farklar Yöntemini esas alan ve iteratif hesaba imkan sağlayan çözüme ilişkin program MAPLE yazılımı yardımı ile oluşturulmuştur.

2.1. Yapısal Model

Zemin içine gömülü derinlik ile birlikte toplam boyu L , kesit alanı A , yoğunluğu ρ_p , birim uzunluk kütlesi m_p olan tekil kazık modeli Şekil 1'de verilmiştir. Homojen malzemeden oluşan üniform kazığın elastisite modülü E ve atalet momenti I ile gösterilmiştir. Platform yükü P ile temsil edilerek üst başlıkta $-z$ yönünde kazığa etkilmiştir. Dayanımına göre tasarım ilkesi esaslarında belirttiği gibi kazıkların zeminle etkileşimi, doğrusal

KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ

elastik zemin yayları ile sadece yatay doğrultuda tanımlanmıştır. Kum zemin, serbest yeraltı suyu varlığında yumuşak kil [17], serbest yeraltı suyu varlığında sert kil [17], sert kil [18] için elde edilmiş P-y eğrilerinin eğimlerinin analitik formda yazılması ile boyutsuz K yay sabitleri; 200, 280, 400 ve 500 olarak belirlenmiştir. Tekil kazıktan oluşan alt yapı elemanının zemin içerisine gömülme derinliği L_b ile verilmiştir. Gömülme derinliğinin kazık toplam boyuna oranı Davisson ve Robinson [14] tarafından önerilmiş olan bağıntılar kullanılarak (L_b/L) 0.25, 0.50 alınmış iki farklı tasarım için hesaplar yapılmıştır. Zeminin homojen ve homojen olmama durumu göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1. Hidrodinamik yükler altındaki tekil kazık modeli

2.2. Deniz Ortamı Modeli

Deniz ortamı, dalga tepesinin daralıp yükselmesi ve dalga çukurunun yayvanlaşıp, derinleşmesi sonucu asimetri ve kütle taşımının olduğu, daha büyük yatay ve düşey hız değerleri ve bunlara bağlı olarak daha büyük hidrodinamik kuvvetlerin elde edildiği Stokes 3. Mertebe Dalga Teorisi kullanılarak modellenmiştir [19,20]. Dalgayı tanımlayan temel parametreler olan dalga yüksekliği H, dalga boyu L, ve dalga periyodu T, ile gösterilmektedir. Ayrıca zemin ile serbest su seviyesi (SSS) arasındaki su derinliği d, ile ifade edilmektedir [21]. Su yüzü profili ile SSS arasındaki düşey mesafe z olmak üzere $S=d+z$ ile gösterilirse; akışkan partikülünün yatay u_f , ve düşey hızları v_f ;

$$u_f = c(F_1 \cdot \cosh kS \cdot \cos \theta + F_2 \cdot \cosh 2kS \cdot \cos 2\theta + F_3 \cdot \cosh 3kS \cdot \cos 3\theta) \quad (1)$$

$$v_f = c(F_1 \cdot \sinh kS \cdot \sin \theta + F_2 \cdot \sinh 2kS \cdot \sin 2\theta + F_3 \cdot \sinh 3kS \cdot \sin 3\theta) \quad (2)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada dalga yayılma hızı $c=L/T$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır. Dalga numarası k, faz açısı θ ile verilmiştir. Denklemden kullanılan F_n sabitleri ise derinlik d, genlik a, ve dalga numarasına k, bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır [22].

$$F_1 = \frac{ka}{\sin kd} - (ka)^2 \cdot \frac{\cosh^2 kd \cdot (1+5\cosh^2 kd)}{8\sinh^5 kd} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{3}{4} (ka)^2 \cdot \frac{1}{\sinh^4 kd} \quad (4)$$

$$F_3 = \frac{3}{64} (ka)^3 \cdot \frac{11-2\cosh 2kd}{\sinh^7 kd} \quad (5)$$

A.ERGÜT, B.Y.DAGLI

Dalga yaklaşım açısı 90^0 ve belirgin dalganın da kırılmamış dalga özelliklerine sahip olduğu kabul edilmiştir.

Bu koşullar altında yapıya etki eden toplam yanal dalga kuvveti F_H , Denklem (6) ile verilen sürüklenme F_D ve atalet F_I terimlerini içeren, Morison denklemi ile hesaplanır.

$$F_H = \int_{-d}^{\eta} \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_f \cdot Du_{(z,t)} \cdot |u_{(z,t)}| dz + \int_{-d}^{\eta} C_M \cdot \rho_f \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \dot{u}_{(z,t)} \cdot dz \quad (6)$$

Bağıntıda kullanılan u' akımın ivmesini, ρ_f deniz suyunun yoğunluğunu, η su yüzü profilini, D silindirik yapının çapını göstermektedir. Hidrodinamik atalet kuvveti katsayısı C_M ve hidrodinamik sürüklenme kuvveti katsayısı C_D hesaplarda sırası ile 2.0 ve 1.0 olarak alınmıştır. Hidrodinamik kuvvet bağıntısı hız ve ivme terimlerini içerdiğinden, hız değiştikçe kuvvetler de değişmektedir. Yatay hızlar dalga tepesi altında dalga yayılma doğrultusunda iken dalga çukuru altında dalga yayılma doğrultusunun tersinedir. Yani dalganın periyodik salınımı kazığın üzerinde çekme ve basınç olarak değişen farklı yükleme durumlarına sebep olmaktadır [23].

2.3. Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Dalga etkilerinden oluşan zorlayıcı dış kuvvet karşısında kazığın dinamik davranışını veren hareket denklemi;

$$EIy^{*IV} + Py^{*u} + K(z^*, y^*)y^* + m_p^* \ddot{y}^* = F_H(z^*, t^*) \quad (7)$$

şekindedir. Koordinat vektörleri olan y ve z , daha önce Şekil 1'de verilmiştir. E ; kullanılan malzemenin elastisite modülünü, I ; sistemin atalet momentini, m_p ; kazığın kütesini, K ; zemini temsil eden yay katsayılarını temsil etmektedir. Eşitliğin sağ tarafında yer alan dış kuvvet F_H zamanla değişen dalga yüklemesini gösterir. Boyutlu terimler $*$ sembolü ile ifade edilmiştir. Ayrıca $(\dot{\quad})$ zamana göre türevi, $(\ddot{\quad})$ ise konuma göre türevi göstermektedir.

Elde edilen hareket denklemini geometri ve malzemeden bağımsız hale getirmek için boyutsuzlaştırma yapılmıştır. Boyutsuzlaştırılan terimler Denklem (8)' de verilmiştir.

$$z = \frac{z^*}{L}, \quad y = \frac{y^*}{L}, \quad L_b = \frac{L_b^*}{L}, \quad t = \frac{t^*}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m_p}} \quad (8)$$

Denklem(8)'de verilen konum, zaman ve uzunluğa ilişkin boyutsuz ifadelerin Denklem (7)'de yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen boyutsuz hareket denklemi;

$$\frac{\partial^4 y}{\partial y^4} + \frac{PL^2}{EI} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial y^2} \right) + L[K(z,y)] + \left(\frac{\partial^2 y}{\partial y^2} \right) = \frac{L^3}{EI} F_H \left[(zL)tL^2 \sqrt{\frac{m_p}{EI}} \right] \quad (9)$$

şekindedir. Terimlerin sadeleştirilmesi ile elde edilen ve zemin direncini ifade eden boyutsuz yay katsayısı ve sönüm katsayısı;

$$K = K^* \frac{mL^4}{m_p EI}, \quad C = C^* \frac{L^2}{m_p} \sqrt{\frac{m}{EI}} \quad (10)$$

olarak verilmiştir. Tek serbestlik dereceli sistemin Denklem (7) ile verilen doğrusal olmayan hareket denkleminde dinamik dış yük teriminin sıfır ($F_H(z,t)=0$) olması durumu doğrusal hareket denklemini verir [24]. Modellenen yapının doğal frekansı ise;

KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ

$$\omega^2 = \frac{\int_0^L EI(z)[\psi(z)]^2 dz}{\int_0^L m_p(z)[\psi(z)]^2 dz} \quad (11)$$

olarak elde edilir. Denklemden $\psi(z)$; şekil fonksiyonunu temsil etmektedir.

3. NÜMERİK ANALİZ

Dinamik davranış elde edilen hareket denkleminin lineer olması nedeni ile harmonik kabul edilmiştir [25]. Çözüm Sonlu Farklar Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Tekil kazıktan oluşan model Δz , ile verilen sonlu küçük elemanlara ayrılarak, merkezi farklar yöntemiyle elde edilen sonlu farklar denklemleri kullanılmıştır.

$$Y_n^l = \frac{Y_{n+1} - Y_{n-1}}{2\Delta z} \quad (12a)$$

$$Y_n^{uu} = \frac{Y_{n+1} - 2Y_n + Y_{n-1}}{\Delta z^2} \quad (12b)$$

$$Y_n^{uuu} = \frac{Y_{n+2} - 2Y_{n+1} + 2Y_{n-1} - Y_{n-2}}{2\Delta z^3} \quad (12c)$$

$$Y_n^{lww} = \frac{Y_{n+2} - 4Y_{n+1} + 6Y_n - 4Y_{n-1} + Y_{n-2}}{\Delta z^4} \quad (12d)$$

Kazığın zemine sabitlendiği nokta ile üstyapıyı oluşturan platformla birleşim noktası Y_0 ve Y_L başlangıç ve sınır şartları ile tanımlanmıştır. $z=0$ başlangıç noktasında ankastre mesnet koşulları tanımlanırken, $z=L$ tabliye kazık birleşim noktasında elastik çöken ve elastik dönen mesnet şartları kullanılmıştır. Bu sınır şartları Denklem (13) ile verilmiştir.

$$z = 0 \rightarrow Y(0, t) = 0 \quad (13a)$$

$$z = 0 \rightarrow Y^l(0, t) = 0$$

$$z = L \rightarrow Y^u(L, t) = \frac{\mu}{EI} Y^l(L, t) \quad (13b)$$

$$z = L \rightarrow Y^{uu}(L, t) = \frac{C}{EI} Y(L, t)$$

Burada C; elastik çökme ve μ ; elastik dönme ataletine ait katsayıları ifade etmektedir [26]. Sonlu Farklar açılımları ile $z=L$ noktasında, t anında, sınır şartları sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y_{n+1}^t = \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta z \mu}{2EI}} \right) \left[2Y_n^t - \left(1 + \frac{\Delta z \mu}{2EI} \right) Y_{n-1}^t \right] \quad (14a)$$

$$Y_{n+2}^t = 3Y_{n+1}^t - 3Y_{n-1}^t + Y_{n-2}^t + \frac{2\Delta z^3 C}{EI} Y_n^t \quad (14b)$$

A.ERGÜT, B.Y.DAGLI

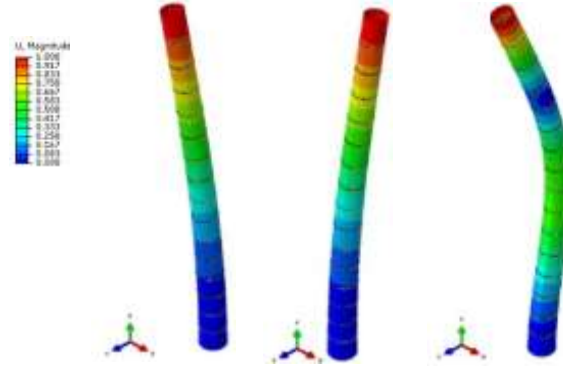
Kazık boyu L boyutsuz olduğundan 0 ile 1 değerleri arasında tanımlanmaktadır. Sınır şartları ve başlangıç koşullarının atanması ile elde edilen i, noktasında t, anında oluşan deplasmanı veren bağıntı;

$$Y_i = \frac{\Delta z^4 \Delta t^2 F_H(z_i^t) - EI \Delta t^2 [Y_{i+2}^t - 4(Y_{i+1}^t - Y_{i-1}^t) + Y_{i-2}^t] - P \Delta z^2 \Delta t^2 (Y_{i+1}^t - Y_{i-1}^t) - \Delta z^4 m_p (Y_i^{t+1} - Y_i^{t-1})}{(6EI \Delta t^2) - 2[(P \Delta z^2 \Delta t^2) + (m \Delta z^4)] + (K \Delta z^4 \Delta t^2)} \quad (15)$$

olarak verilmiştir. Kazığa ait kesit reaksiyonları MAPLE programı kullanılarak iteratif olarak uygulanan yazılım yardımıyla elde edilmiştir.

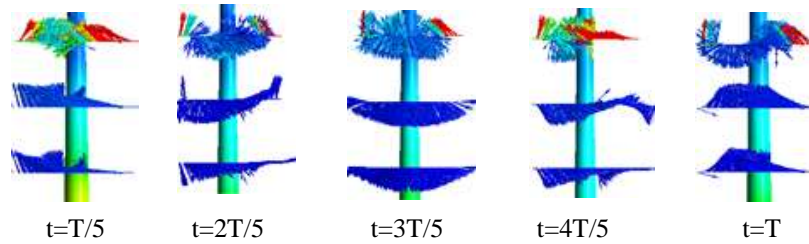
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal frekanslarda yer değiştirme vektörünün genliği belirsizdir. Bu vektör, titreşen sistemin her doğal frekansta farklı olan şeklini tanımlar. Bu da titreşim modunu ifade eder [27]. Tekil kazık ile modellenen alt yapı elemanının serbest titreşim hareketi ile elde edilen mod şekilleri ilk üç mod için Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tekil kazık ilk üç mod şekli

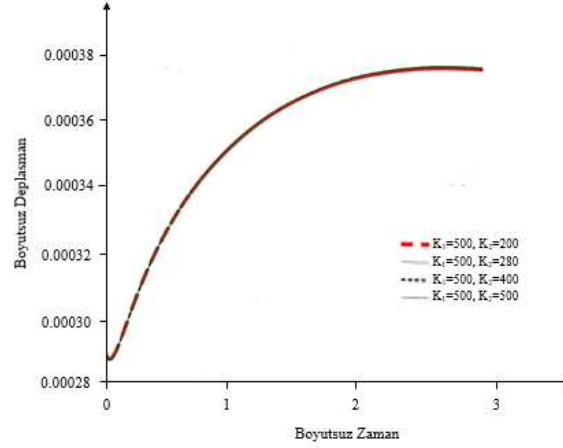
Şekilde görülen serbest titreşim modları yapının zorlayıcı kuvvetler altındaki tepkisinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Çalışma kapsamında zorlayıcı dış kuvvetleri oluşturan dalgaya ait hız vektörleri $\Delta t = T/5$ zaman aralıkları ile Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Dalganın etkisiyle kazık çevresinde oluşan hız vektörleri

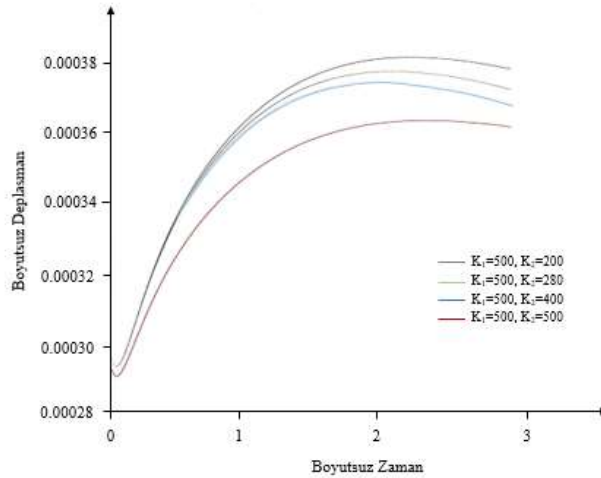
Tekil kazığa ait mekanik modelde zemin için birbirinden bağımsız yay katsayıları kullanılmıştır. Boyutsuz yay katsayıları için 200, 280, 400, 500 değerleri dikkate alınmıştır. Şekil 4’de hidrodinamik yük etkisi altında kazık model üzerinde oluşan deplasmanın zamana bağlı değişimi verilmiştir.

KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ



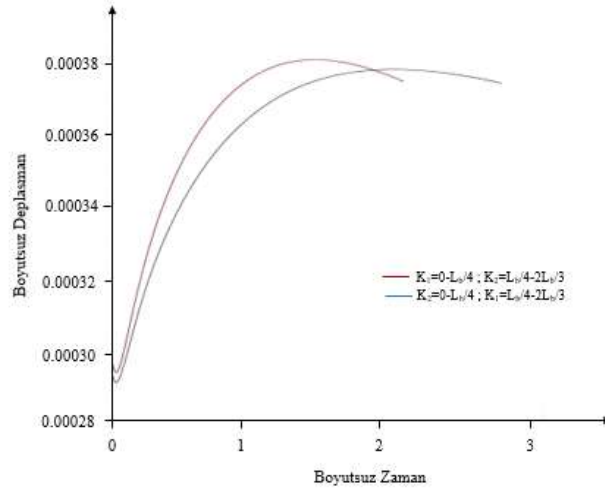
Şekil 4. Farklı zemin türleri için kazıkta oluşan deplasmanın zamana bağlı değişimi ($L_b/L = 0.25$)

Şekil 4'de görüldüğü kazığın gömülü olduğu zemin, K_1 ve K_2 yay katsayıları ile ifade edilen iki farklı sınıftan oluşmaktadır. K_1 , 500 olarak alınırken K_2 , değişmektedir. İki farklı zemin tabakasının kalınlıkları birbirine eşittir. K_1 , 0 ile $L_b/2$ aralığında, K_2 ise $L_b/2$ ile L_b aralığında yer almaktadır. L_b/L oranı da 0.25 olarak kabul edilmiştir. Grafikler $i=3L/4$ noktasında elde edilen deplasman, dönme ve moment değerlerini vermektedir. Zemin sertliği arttıkça hidrodinamik kuvvete maruz kalan kazık elemanın yapacağı deplasman azalmaktadır. Yay katsayılarındaki değişimin önemli bir fark yaratmaması, kazığın zemin içerisinde kalan kısmının kazık boyuna oranının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5'de aynı yay katsayıları ile çalışılmış ancak L_b/L oranı da 0.50 olarak kabul edilmiştir.

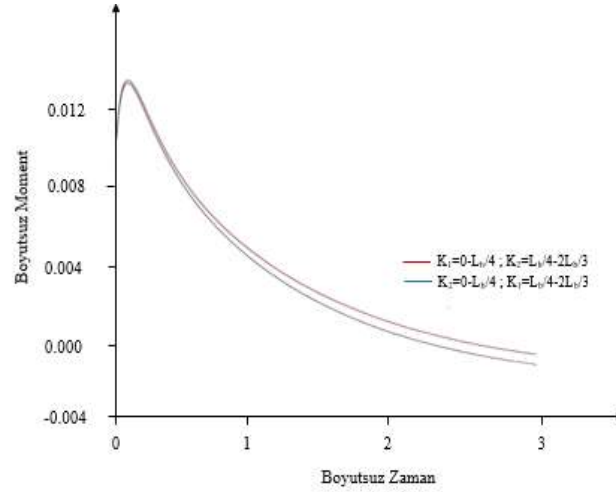


Şekil 5. Farklı zemin türleri için kazıkta oluşan deplasmanın zamana bağlı değişimi ($L_b/L = 0.50$)

Şekil 5'de verilen grafikten anlaşıldığı üzere kazığın zemin içerisine gömüldüğü derinlik arttıkça farklı yay katsayıları yani farklı zemin sınıflarının deplasman üzerindeki etkisi de artmaktadır. Kumlu zemin için elde edilen en büyük deplasman değeri ile sert kil zeminin için elde edilen en büyük deplasman değeri oranı yaklaşık %87 olarak hesaplanmıştır. K_1 ve K_2 ile modellenen zeminlerin farklı tabakalaşması da hidrodinamik yük etkisindeki kazığın stabilitesi üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 6 zemin tabakalaşmasının deplasman üzerindeki karşılaştırmasını, Şekil 7 ise moment değeri açısından değişimi göstermektedir.

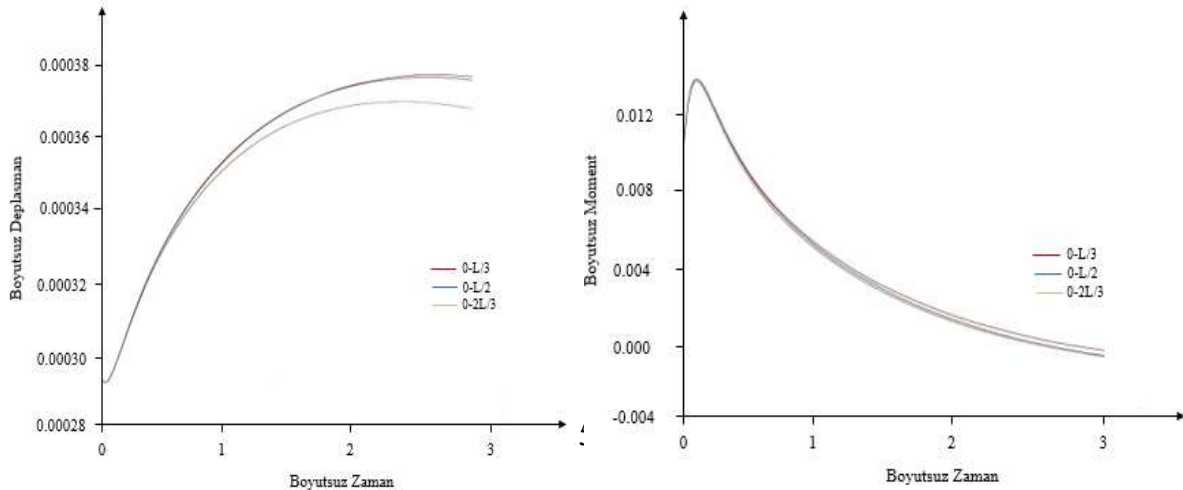


Şekil 6. Farklı tabakalı zemin türleri için kazıkta oluşan deplasmanın zamana bağlı değişimi ($K_1=500$, $K_2=200$)



Şekil 7. Farklı tabakalı zemin türleri için kazıkta oluşan momentin zamana bağlı değişimi ($K_1=500$, $K_2=200$)

Şekil 6 ve 7’de görüldüğü üzere yay sabiti büyük olan sert zeminin üst tabakada yer alması kazığın burkulma boyunu aşağı çekmektedir. Bu da yapının zemin içerisindeki kısmının daha rijit olmasını sağlamaktadır. Ayrıca 200 alınarak modellenen daha yumuşak zemin tabakasının alt tabaka da yer aldığı durumda oluşacak deplasmanın analiz süresi de kısalmaktadır. Moment değerleri de sert zeminin alt tabakada yer alması durumunda artmaktadır. Homojen zemin koşullarının değerlendirilmesi amacı ile $K=400$ alınarak tabaka kalınlıkları değiştirilmiş ve kazık üzerinde elde edilen ($i=3L/4$) kesit reaksiyonları Şekil 8-9 ile sunulmuştur.

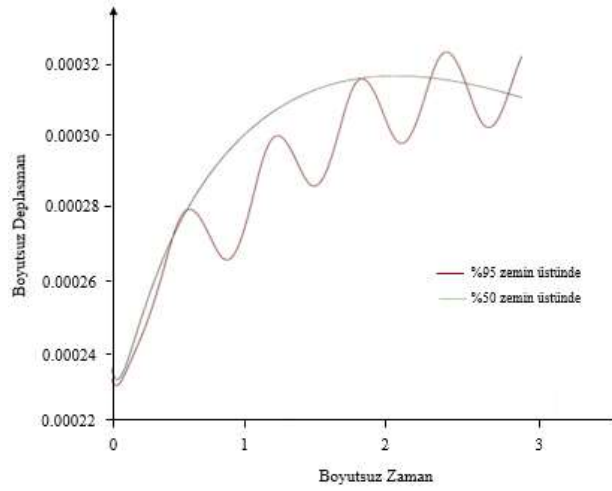


KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ

Şekil 8. Deplasman değerlerinin değişimi
(K=400)

Şekil 9. Moment değerlerinin değişimi
(K=400)

Yanal ve düşey yüklerin aynı kalması koşulu ile farklı derinlikteki zemin tabakaları ile oluşturulan tasarım sonucu elde edilen sonuçlar, tabaka kalınlığının artması ile deplasman ve moment değerlerinin azaldığını göstermektedir. Kazığın %95 ve %50 olarak kabul edilen bölümünün zemin üzerinde olması durumunda oluşacak deplasman değerlerinin zamana bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da verilmiştir. Kazığın %95'lik kısmının zemin üzerinde olması durumunda hidrodinamik kuvvet etkisinde deplasman değerleri daha değişkendir.



Şekil 10. Kazığın gömülme derinliklerinde oluşan deplasmanın zamana bağlı değişimi

Şekil 10'da görüldüğü gibi zemin etkisi azaldığından deplasman dalga formunda oluşmaktadır. Hidrodinamik kuvvetlerin etkisi baskın hale gelmektedir. Bu nedenle deniz yapılarında alt yapıyı oluşturan kazıkların gömülme derinliği stabilite açısından çok önemlidir.

5. SONUÇLAR

Kazıklı alt yapı sistemlerine sahip deniz yapılarının zemin-akışkan-yapı etkileşimi yaklaşımı ile dinamik davranışına ilişkin yapılan çalışmada tekil kazıktan oluşan model ele alınmıştır. Dalga kökenli hidrodinamik kuvvetler Stokes 3. Mertebe Dalga Teorisi esas alınarak Morison Denklemi ile belirlenmiştir. Kazığın zemin içerisine gömülü olan kısmında birbirinden bağımsız yay katsayıları ile tasarım yapılmıştır. Homojen ve homojen olmayan olmak üzere 2 farklı durum analiz edilmiştir. Homojen olmayan zemin için iki farklı yay sabiti kullanılmıştır. Kazığın zemin içerisine gömüldüğü derinlik arttıkça farklı yay katsayıları yani farklı zemin sınıflarının deplasman üzerindeki etkisi de artmaktadır. Deplasmanın en büyük değeri 3.8×10^{-4} olarak $K_1=500$ ve $K_2=200$ koşulunda belirlenmiştir. Farklı sınıflardan oluşan zemin tabakalarının yerleşimi değiştirilerek deplasman ve kesit reaksiyonları değerlendirilmiştir. Yay sabiti büyük olan sert zeminin üst tabakada yer alması ile kazığın burkulma boyunun azaldığı ve altyapının daha rijit olduğu görülmüştür. Moment değerleri de sert zeminin alt tabakada yer alması durumunda artmaktadır. Sonuç olarak zeminlerin farklı tabakalaşmasının da hidrodinamik yük etkisindeki kazığın stabilitesi üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Homojen olan koşullarda ise boyutsuz yay sabiti 400 alınarak en büyük yanal deplasman ve moment değerleri sırası ile 3.72×10^{-4} , ve 13.18×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. Zeminin tabaka derinliğinin artması ile hidrodinamik kuvvet karşısındaki direnci de artmakta deplasman ve moment değerleri azalmaktadır. Hidrodinamik kuvvetlerin deniz yapılarının alt yapısını oluşturan kazık sistemlerindeki yıpratıcı etkisini ortaya koymak amacı ile kazığın %95 zemin üzerinde kaldığı şartlarda analizler tekrarlanmıştır. Deplasman değişiminin dalga formuna uygun şekilde harmonik olarak gerçekleştiği görülmüştür. Hidrodinamik sürüklenme ve hidrodinamik atalet kuvvetlerinin zamana bağlı pozitif ve negatif değerler alması kazık üzerinde çekme ve basınç olmak üzere değişen yük dağılımlarına sebep olmakta bu da deplasman değerlerini etkilemektedir. Yapılan çalışma ile

özellikle iskele, rıhtım gibi kazıkların büyük kısmının zemin üzerinde bulunduğu yapılarda hidrodinamik kuvvetlerin daha dikkatli incelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] CHANDRASEKARAN, S., “Dynamic Analysis And Design of Offshore Structures”. New Delhi: Springer India, 2015.
- [2] ZHANG, B. L., HAN, Q. L., & ZHANG, X. M., “Recent Advances In Vibration Control Of Offshore Platforms, Nonlinear Dynamics”, 89(2), 755-771, 2017.
- [3] YAN, H.K., WANG, N., WU, N., LİN, W., “Maritime Construction Site Selection from the Perspective of Ecological Protection: the Relationship Between the Dalian Offshore Airport and Spotted Seals (Phoca Larga) in China Based on the Noise Pollution”, Ocean and Coastal Management, Vol. pp. 152, 145–153, 2018.
- [4] PÉREZ-COLLAZO, C., GREAVES, D., & IGLESÍAS, G.,A “Review Of Combined Wave And Offshore Wind Energy. Renewable And Sustainable Energy Reviews”, 42, 141-153, 2015.
- [5] RANDOLPH, M., & GOURVENEC, S., Offshore geotechnical engineering. CRC press, 2017.
- [6] TOPSOY, E., “Kıyı Yanaşma Yapılarının Tasarımı, Onarım Ve Güçlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü)”, 2016.
- [7] LÍ, W., HUANG, Y., TĪAN, Y., “Experimental Study of the Ice Loads on Multi-Piled Oil Piers in Bohai Sea, Marine Structures”, Vol. 56, pp. 1-23, 2017.
- [8] ZHANG, Q., ZHOU, X.L., WANG, J.H.,” Numerical Investigation of Local Scour Around Three Adjacent Piles with Different Arrangements under Current, Ocean Engineering”, Vol. 142, pp. 625–638. 2017a.
- [9] LÍ, M., ZHANG, H., GUAN, H., “Study of Offshore Monopile Behaviour due to Ocean Waves, Ocean Engineering”, Vol. 38, No. 17–18, pp. 1946–1956, 2011.
- [10] ZHANG, Q., ZHOU X.L., WANG, J.H., GUO, J.J., “Wave-Induced Seabed Response around an Offshore Pile Foundation Platform”, Ocean Engineering, Vol. 130, pp. 567–582, 2017b.
- [11] FENG, S., LIU, X., & CUI, H., “Dynamical Response Of An Elastic Supporting Pile Embedded In Saturated Soil Under Horizontal Vibration, Civil Engineering Journal-Stavebni Obzor”, 2, 99-113, 2017.
- [12] YETER, B., GARBATOV, Y., & SOARES, C. G., “Uncertainty Analysis Of Soil-Pile Interactions Of Monopile Offshore Wind Turbine Support Structures”, Applied Ocean Research, 82, 74-88, 2019.
- [13] ERKAN, Ş., DORAN, B., SELÇUK, M. E., BERİLGİN, M. M., YÜKSEL, Y.,” İskele Kazıklarının Sayısal Analizleri”, 8. Kıyı Mühendisli Sempozyumu, 2014.
- [14] DAVISSON, M.T., ROBINSON, K.E., “Bending and Buckling of Partially Embedded Piles.”l Proc. Sixth International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering. University of Toronto Press, Montreal, Canada. 243-246., 1965.
- [15] YÜKSEL, Y., ÇEVİK, E., Kıyı Mühendisliği, Beta Basım Yayım, İstanbul, 2009.
- [16] DEMİRDAĞ, O., “Elastik Mesnetli Kolonların Kayma Ve Eksenel Tesirler Dikkate Alınarak Serbest Titreşim Analizi”, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20(3), 35-46, 2005.
- [17] MATLOCK, H., “Correlations For Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay”. Offshore Technology in Civil Engineering’s Hall Of Fame Papers From The Early Years, 77-94, 1970.
- [18] REESE, L. C., & WELCH, R. C., “Lateral Loading Of Deep Foundations in Stiff Clay”. Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, 101(ASCE# 11456 Proceeding),1975.
- [19] CERC., Coastal engineering manual, Wave Mechanics, Part II, USA,2002.
- [20] ERGİN, A., Coastal engineering, Metu Press, 2010.
- [21] SORENSEN, R. M., Basic Coastal Engineering (Vol. 10). Springer Science & Business Media,2005.
- [22] GODA, Y., Random Seas And Design Of Maritime Structures (Vol. 33), World Scientific Publishing Company,2010.
- [23] DAGLI, B.Y.; YIGIT, M.E.; GOKKUS, U., “Behaviour of Large Cylindrical Offshore Structures Subjected to Wave Loads”. TEM Journal, 6.3: 550, 2017.
- [24] DAGLI, B. Y., TUSKAN, Y., & GÖKKUŞ, Ü., “Evaluation of Offshore Wind Turbine Tower Dynamics with Numerical Analysis”. Advances in Civil Engineering, 2018.
- [25] HABERMAN, R., “Mathematical Models: Mechanical Vibrations, Population Dynamics”, And Traffic Flow (Vol. 21), Siam, 1998.

KAZIKLI YAPILARIN HİDRODİNAMİK YÜKLER VE FARKLI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ

- [26] EICHER, J. A., GUAN, H., & JENG, D. S., “Stress and Deformation of Offshore Piles under Structural and Wave Loading”. *Ocean engineering*, 30(3), 369-385, 2003.
- [27] UMUDUM, A., *Yapı sistemlerinde özdeğer problem ve çözüm yöntemleri (Doctoral dissertation)*, 2014.