

# TRANSIENT INTERACTION OF GIBSON SOIL AND PILE FOUNDATION

**Semih KÜÇÜKARSLAN**

Istanbul Technical University, Engineering Sciences Department, Maslak 34469 İstanbul

[kucukarslan@itu.edu.tr](mailto:kucukarslan@itu.edu.tr)

## ABSTRACT

In this study, a numerical investigation is performed for interaction of pile and Gibson soil in time domain. For the analysis, a hybrid boundary element method for half space and finite element method for piles is used in modelling. The Green functions used in boundary element method are approximated by using the formula of homogenous half space. The results are compared with the available Laplace solutions.

**Key words:** Pile-soil interaction, geomechanics, boundary element method, dynamic analysis.

## KAZIKLI TEMEL VE GIBSON ZEMİNİNİN ZAMAN TANIM ALANINDA ETKİLEŞİMİ

**Semih KÜÇÜKARSLAN<sup>3</sup>**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Maslak 34469 İstanbul

[kucukarslan@itu.edu.tr](mailto:kucukarslan@itu.edu.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada, kazıklı temel ve Gibson zemininin etkileşimi zaman tanım alanında sayısal olarak incelenecektir. Sayısal yöntem olarak hibrit sınır eleman yöntemi yarı uzay için, kazıklar içinde sonlu elemanı kullanılmaktadır. Sınır eleman yöntemi için kullanılan Green fonksiyonları yaklaşık ve homojen sürekli ortam formüllerinden elde edilmiştir. Sonuçlar, mevcut Laplace çözümleri ile karşılaştırılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Kazık-zemin etkileşimi; geomekanik, sınır eleman yöntemi, dinamik analiz.

---

<sup>3</sup> Tel: 0-212-2856824

## GİRİŞ

Kazıklı temeller zayıf zeminlerdeki yapıları taşıtmak için kullanılmaktadır. Kazık üzerine inşaa edili nükleer amaçlı yapılar, köprüler ve çok katlı yapıların temel tasarımı için güvenilir analiz ve tasarım yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, Kaynia and Kausel [1] tarafından katmanlı zeminler için kazık etkileşimi üzerine frekans uzayında dinamik çalışmalar yapılmıştır.

Gibson zemini için statik analizler, Poulus [2] tarafından Midlin denklemlerini [3] kullanarak elde edilmiştir. Sınır eleman yöntemi kullanarak iki katmanlı zeminler için zaman tanım alanındaki çalışmalarda Banerjee and Davies [4] tarafından yapılmıştır. Randolph [5] ise sonlu elamanlar kullanarak etkileşim problemini incelemiştir.

Bu çalışmada ise, Mamoon and Banerjee [6] tarafından frekans uzayı için kullanılan Gibson zeminine ait Green fonksiyonları zaman tanımı altındaki dinamik yükler için kullanılarak analizler gerçekleştirilmektedir.

## ANALİTİK DENKLEMLER

Analiz için kazık ve kazık grupları çubuk elaman biçiminde modellenerek sonlu eleman yöntemi ve yarı uzay olan zemin içinde sınır eleman yöntemi hibrit olarak kullanılmaktadır.

### *Sürekli ortam denklemleri*

İzotrop homojen zeminler için Navier çözümünün ifadesi:

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u_p}{\partial x_p \partial x_q} + \mu \frac{\partial^2 u_q}{\partial x_p \partial x_p} - \rho \ddot{u}_q = 0 \quad (1)$$

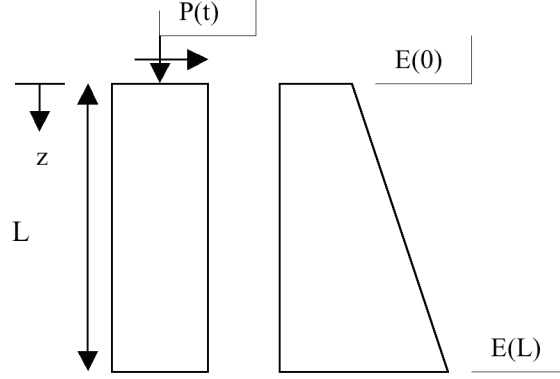
ile ifade edilir. Burada  $\lambda$  ve  $\mu$  Lamé sabitleri,  $\rho$  kütle yoğunluğunu tanımlamaktadır.

Denklem (1) için sınır eleman ile integral ifade

$$u_p(\xi, t) = \int_0^t \int_S G_{pq}(x, t; \xi, \tau) t_q(x, \tau) d\tau ds \quad (2)$$

şeklinde yazılmaktadır. Bu denklemde  $u_p$  zemin deplasmanını,  $G_{pq}$  ise Green fonksiyonunu ve  $t_p$  de kazık zemin arasındaki sürtünme gerilemelerini göstermektedir. Gerilmeler denge denklemlerinden etkilendiği için Gibson zemini (Şekil 1) için kullanılacak Green

fonksiyonları homojen çok katmanlı zemin şeklinde ifade edilerek, elastisite modülü yaklaşık olarak komşu iki katmanının değerlerinin ortalaması olarak hesaplanabilir.



Şekil 1. Gibson zemini ve kazık geometrisi.

$$E_{s,avg} = \frac{E_{s,i} + E_{s,j}}{2} \quad (3)$$

#### Kazık denklemleri

Eksenel ve yatay yönde harmonik yükleme için kazık denklemleri şu denklemlerle ifade edilir:

$$m\ddot{u}_z^j - E_p A_p \frac{d^2 u_z^j}{dz^2} = -\pi D t_z^j \quad (4)$$

$$m\ddot{u}_x^j + E_p I_p \frac{d^4 u_x^j}{dz^4} = -D t_x^j \quad (5)$$

Bu denklemlerin sonlu eleman ifadesi ise:

$$\begin{bmatrix} M_{uu} & M_{u\theta} \\ M_{\theta u} & M_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}^j \\ \ddot{\theta}^j \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{uu} & C_{u\theta} \\ C_{\theta u} & C_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}^j \\ \dot{\theta}^j \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{uu} & K_{u\theta} \\ K_{\theta u} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u^j \\ \theta^j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_u^j \\ f_\theta^j \end{Bmatrix} \quad (6)$$

biçiminde tanımlanır.

#### Kazık ve zemin denklemlerinin sürekliliği

Deplasman süreklilik ve gerilme denge denklemleri kazık ve zemin etkileşim yüzeyi için kullanılacak olursa:

$$\Delta u_s = \Delta u_p \quad (7)$$

$$\Delta t_s = -\Delta t_p \quad (8)$$

ifadeleri yazılır. Denklemler (2) ve (6) ifadeleri ise tek bir kazık için

$$\begin{bmatrix} G + D + K^{-1} & b_p \\ B & -E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta t_p^j \\ \Delta u_c^j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_s^j \\ \Delta F_c^j - H^j \end{Bmatrix} \quad (9)$$

ile ifade edilebilir. Kazık grubu için ise

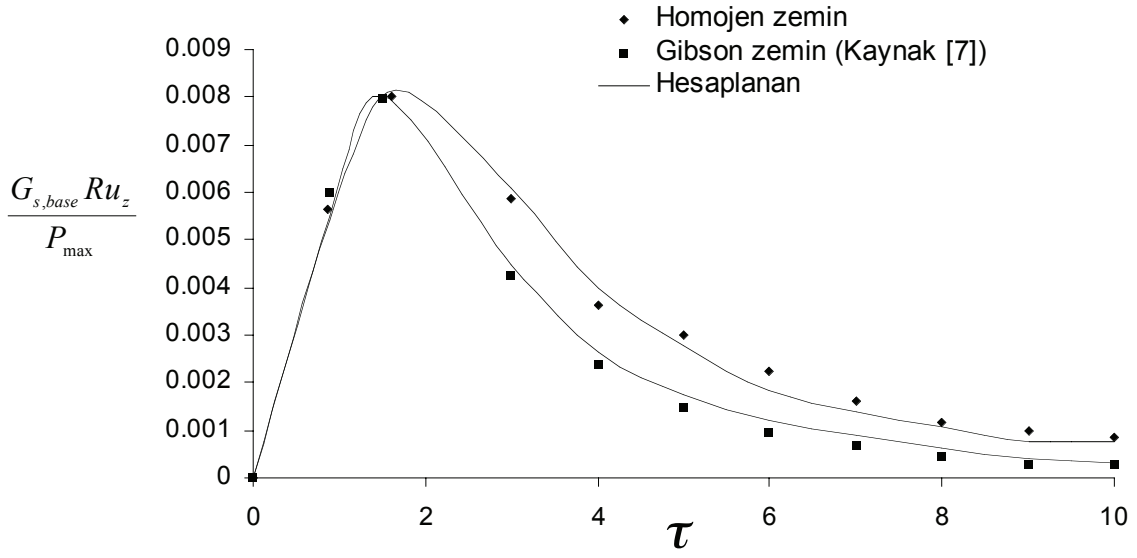
$$\begin{bmatrix} G_{11} + D_{11} + K_{11}^{-1} & G_{12} & b_{p_1} \\ G_{21} & G_{22} + D_{22} + K_{22}^{-1} & b_{p_2} \\ B_1 & B_2 & -E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta t_{p1}^j \\ \Delta t_{p2}^j \\ \Delta u_c^j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_{s1}^j - B_{p1}^j \\ R_{s2}^j - B_{p2}^j \\ \Delta F_c^j - H^j \end{Bmatrix} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemde 1 ve 2 alt indisleri kazık grub numarasını tanımlamaktadır.

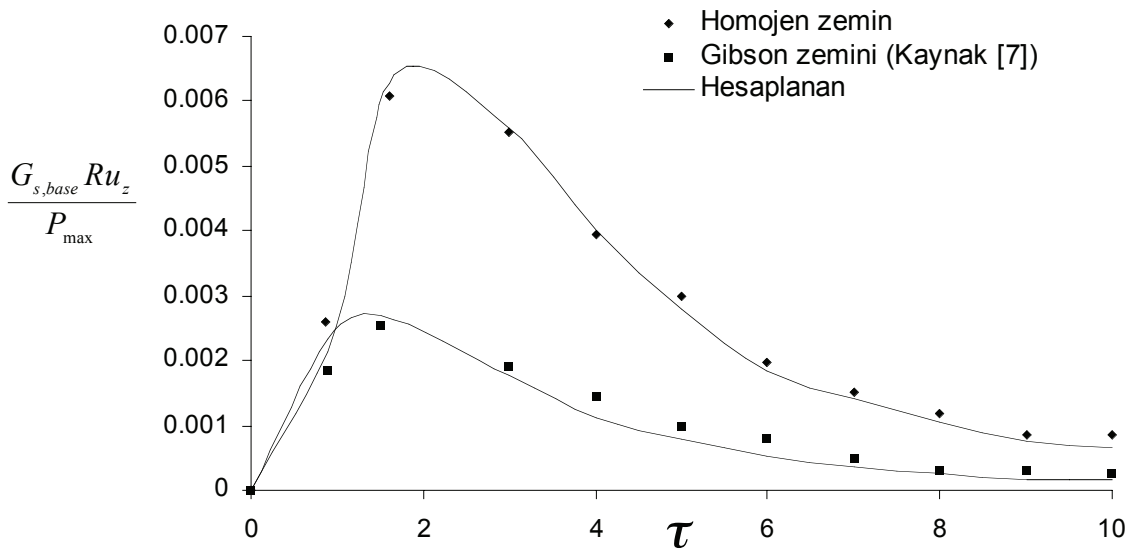
## SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, Militano and Rajapakse [7] tarafından elde edilen (Laplace) sonuçların karşılaştırması yapılmaktadır. Heaviside (rampa) fonksiyonu altında dinamik yükler altında farklı elastisite modülü değerlerinde boyutsuzlaştırılmış deplasman değerleri mevcut yapılan çalışma sonuçları için şekil 2 ve 3 te sunulmaktadır.

Analizlerde kazık boyu ile kazık yarıçapı arasındaki oran ( $L/R = 30$ ). Poisson's oranı zemin için 0.4 ve kazık ile zemin kütle yoğunluk oranı 1.3 olarak kullanılmıştır. Elastisite modül oranları için 2 farklı oran kullanılmıştır:  $E_p/G_o = 1000$  ve 10000.



Sekil 2 .Boyutsuz deplasman ve zaman degisimi  $E_p/G_o = 1000$ .



Sekil 3.Boyutsuz deplasman zaman degisimi  $E_p/G_o = 10000$ .

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, sayısal olarak verimli sınır eleman ve sonlu eleman yöntemleri hibrit kullanılarak kazık ve Gibson zemini etkileşimi için zaman tanım alanında incelenmiştir. Yarı

uzay homojen olmayan Green fonksiyonları için elastisite modülleri yaklaşık olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, Laplace çözümleri ile karşılaştırılmış ve iyi neticeler elde edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Kaynia AM, Kausel E., "Dynamic stiffness and seismic response of pile groups", *Technical Report R82-03*, Massachusetts Inst. of Technology, 1982, USA.
2. Poulos HG., "Settlement of single piles in non-homogeneous soils", *ASCE J. Geo. Eng.*, 105(5), 1979, 627-641.
3. Mindlin RD., "Force at a point in the interior of a semi-infinite solid", *Physics*, ; 7, 1936, 195-202.
4. Banerjee PK, Davies TC., "The behavior of axially and laterally loaded piles embedded in non-homogeneous soils", *Geotechnique*, 28(3), 1978 309-326.
5. Randolph MF., "The response of flexible piles to lateral loading", *Geotechnique*, 31(2), 1981, 247-259.
6. Mamoon SM, Banerjee PK., "Time domain analysis of dynamically loaded single piles." *ASCE J. Engng. Mech.*, 118(1), 1992, 140-160.
7. Militano G, Rajapakse RK., "Dynamic response of pile in a multi layered soil to transient torsional and axial loading", *Geotechnique*, 49(1), 1999, 91-109.