E3

225. YIL

UHMK'98

III. ULUSAL HESAPLAMALI MEKANİK KONFERANSI

BİLDİRİLER

Editörler

M. Hasan BODUROĞLU
Mehmet BAKİOĞLU
Mehmet H. OMURTAG

16-18 Kasım 1998
İstanbul

İÇİNDEKİLER

Önsöz

Y. Başar, A. Eckstein, D. Lürding-(RUB-Almanya) 1
An assumed strain finite-element formulation for large strain analysis of shells

B. Temel, H.R. Yerli, E. Kıral-(ÇÜ)
Üç boyutlu dinamik yapı-zemin etkileşimi problemlerinin sonlu-sonsuz elemanlar ile modellenmesi 9

F. Demir-(SDÜ), **Z. Celep**-(İTÜ)
Betonarme plakların iki boyutlu düzlem gerilme durumu kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi 17

A.N. Doğruoğlu, M.H. Omurtag-(İTÜ)
Plak-zemin etkileşiminde Pasternak modellemesi ve karışık sonlu eleman yöntemi kullanılarak stabilite analizi 25

G. Birlik-(ODTÜ)
Frekans davranış fonksiyonu ve FFT 33

S. Adanur, A.A. Dumanoğlu-(KTÜ)
Zıt-fazla yayılan dinamik etkiler için asma köprülerin analizi 41

M. Kutanıs, M. Elmas-(SAÜ)
Sınırsız ortam ve üstyapının dinamik etkileşimi 49

M. Akköse, A.A. Dumanoğlu(KTÜ)
Rezervuar-kemer baraj-zemin sistemlerinin lineer olmayan üç boyutlu dinamik analizi 57

S. Akbarov-(YTÜ), **A.D. Zamanov**-(Azerbaycan), **N. Yahnioğlu**-(YTÜ)
Yerel eğriliği olan kompozit malzemeden yapılmış plağın zorlanmış titreşimlerinin FEM ile incelenmesi 65

A. Bahçıvan-(DPÜ), **V. Karadağ**-(İTÜ)
Serbestlik dereceleri indirgenmiş kalın çubuk sonlu elemanları ile titreşim ve dinamik stabilite analizi 73

F. Kadıoğlu, M.H. Omurtag-(İTÜ)
Ortotrop plak-ortotrop zemin etkileşimindeki serbest titreşim analizi için karışık SE formülasyonu 81

ÜÇ BOYUTLU DİNAMİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNİN SONLU-SONSUZ ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ

Beytullah TEMEL[1] **Hüseyin R. YERLİ**[2] **Erhan KIRAL**[3]

ÖZET

Yarı sonsuz zemin ve prizmatik çubuk elemanlardan oluşan üç boyutlu sistemlerin, dıştan etkiyen keyfi dinamik yükleme etkisi altında yapı-zemin etkileşimi incelenmektedir. Yarı sonsuz zeminde, yakın bölge sonlu elemanlar ile modellenirken, sonsuza uzanan bölgelerde sonsuz elemanlar kullanılmaktadır. Formülasyon Laplace dönüşüm uzayında yapılmaktadır. Uygun bir sayısal ters Laplace dönüşüm yöntemi ile zaman uzayında çözüm elde edilmektedir.

ABSTRACT

Soil-structure interaction analysis of three dimensional systems is investigated under the effect of arbitrary dynamic loadings. Semi-infinite soil medium is modelled by discretizing the near field with standard finite elements and the far field extending to infinity with infinite elements. Structure is composed of three dimensional frame elements. Formulation is performed in the Laplace transform domain. Solution is then obtained in the time domain by an appropriate numerical inverse Laplace transform method.

1. GİRİŞ

Sayısal çözüm teknikleri kullanılarak yarı sonsuz ortamların modellenmesi, dinamik yapı-zemin etkileşimi problemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Yarı sonsuz zemin üzerindeki yapılar, trafik ve rüzgar yükleri nedeniyle meydana gelen titreşim, zemin içinde yayılan çeşitli tipte dalgalar oluşturmaktadır. Yeraltı iletişim hatları, tüneller, kanalizasyonlar, hassas cihazların yerleştirildiği kanallar, nükleer artıkların depolanması gibi sebeplerle, yeraltında bazı yapılar inşaa edilmektedir. Yeryüzünde oluşan titreşimden dolayı, bu yapıların ne ölçüde etkilendiğinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapı-zemin problemlerinde esas olarak iki önemli bileşen bulunmaktadır. Bunlar, sonlu bir boyuta sahip olan yapı ve yarı sonsuz zemindir. Yapı-zemin sistemlerinin analizinde sonlu elemanlar metodu kullanılabilmektedir. Bu metodla,

[1] Yrd.Doç., Ç.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 01330-Balcalı/ADANA
[2] Dr., Ç.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 01330-Balcalı/ADANA
[3] Prof.Dr., Ç.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 01330-Balcalı/ADANA

homojen ve/veya heterojen ortamlar ile lineer veya nonlineer problemler ele alınabilmektedir. Bu çalışmada, keyfi dinamik dış yüklemenin etkisindeki üç boyutlu yapı-zemin sistemleri incelenmektedir. Yapı-zemin problemleri ele alınırken, kaynağa yakın bölgelerde sonlu elemanlar, uzak bölgelerde ise, sonsuzda sönen dalga özelliklerini içeren sonsuz elemanlar kullanılmaktadır [1, 2]. Deprem etkisindeki üç boyutlu yapı-zemin etkileşim problemlerinin analizi, alt yapı yöntemiyle, yapı ve zemin ayrı ayrı ele alınarak gerçekleştirilmektedir [3].

Bu çalışmada, üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemlerinin formülasyonu Laplace dönüşüm uzayında yapılmaktadır. Dönüşüm uzayında çözüm bulunduktan sonra zaman uzayına geçiş için Durbin'in sayısal ters Laplace dönüşüm metodu kullanılmaktadır [4]. Sonlu eleman formülasyonu sonucu bulunan sonlu ve sonsuz eleman matrisleri sayısal olarak hesaplanmaktadır. Sonsuz eleman matrislerinin tarifinde görülen, sonlu yöndeki integraller Gauss-Legendre metodu, sonsuz integraller ise Newton-Cotes yöntemi ile hesaplanmaktadır [1].

2. HAREKET DENKLEMİ

Üç boyutlu bir problemde, elemanter bir hacim elemanı gözönüne alındığında, elemana etkiyen kuvvetlere ait denge denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{ij,j} + f_i - \rho \ddot{u}_i = 0 \qquad i,j=1,2,3 \tag{1}$$

Burada, σ_{ij} normal ve kayma gerilmelerini, f_i yayılı hacim kuvvetlerini, ρ elemanın kütlesel yoğunluğunu ve u_i ise deplasman bileşenlerini temsil etmektedir.

Uzama oranları ile deplasmanlar arasında,

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \qquad i,j = 1, 2, 3 \tag{2}$$

bağıntıları mevcuttur. Üç boyutlu lineer elastik ve izotrop bir cisim için bünye denklemi matris formunda,

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \tag{3}$$

kapalı olarak göstermektedir. Cismin yüzeyindeki sınır şartları da,

$$t_i = \sigma_{ij} n_j \qquad i,j=1, 2, 3 \tag{4}$$

şeklinde verilmektedir.

2.1. Ağırlıklı Artıklar Yöntemiyle İntegral Forma Geçiş

Başlangıç şartları sıfır kabul edilerek, (1) bağıntısı ile verilen denge denklemlerinin Laplace dönüşümü alınıp, ψ_i ağırlık fonksiyonu ile çarpılarak, tipik bir

hacım elemanı üzerinde integralinin alınmasıyla, diferansiyel denklemden integral forma geçilmektedir.

$$W_i = \int_{V_e} \psi_i \left(\bar{\sigma}_{ij,j} + \bar{f}_i - \rho s^2 \bar{u}_i \right) dV_e = 0 \qquad i,j = 1,2,3 \tag{5}$$

W_i ifadesinde, ψ_i ağırlık fonksiyonu ile tüm terimler çarpılıp kısmi integrasyonlar alınmaktadır. Galerkin metodu uygulanırken ağırlık fonksiyonu olarak deplasmanların varyasyonu ($\psi_i = \delta\bar{u}_i$) seçilmektedir. Burada, s Laplace dönüşüm parametresini göstermektedir. İntegral fomlar oluşturulduktan sonra denklemler yeniden düzenlenirse,

$$\int_{V_e} \left\{\delta\bar{\varepsilon}\right\}^T \left\{\bar{\sigma}\right\} dV_e + s^2 \int_{V_e} \rho \left\{\delta\bar{u}\right\}^T \left\{\bar{u}\right\} dV_e = \int_{V_e} \left\{\delta\bar{u}\right\}^T \begin{Bmatrix} \bar{f}_1 \\ \bar{f}_2 \\ \bar{f}_3 \end{Bmatrix} dV_e + \int_{A_e} \left\{\delta\bar{u}\right\}^T \begin{Bmatrix} \bar{t}_1 \\ \bar{t}_2 \\ \bar{t}_3 \end{Bmatrix} dA_e \tag{6}$$

eşitliği elde edilir. Bulunan bu eşitlik, Laplace dönüşüm uzayında virtüel iş ilkesini göstermektedir. Eşitliğin sol tarafı iç kuvvetlerin yaptığı virtüel işi, sağ tarafı ise dış kuvvetlerin yaptığı virtüel işi göstermektedir.

Standart sonlu eleman adımları uygulanarak eleman hareket denklemi ve buradan da sistem hareket denklemi oluşturulmaktadır. Viskoelastik ortamların da göz önüne alınabilmesi için, sistem hareket denklemi, Laplace dönüşüm uzayında elastik-viskoelastik analojisi yardımı ile,

$$\left((1 + g\,s) \left[\bar{K}\right] + s^2 \left[\bar{M}\right] \right) \left\{\bar{U}_d\right\} = \left\{\bar{P}\right\} \tag{7}$$

lineer cebrik denklem takımı olarak elde edilir. Burada, g viskoz sönüm oranını temsil etmektedir.

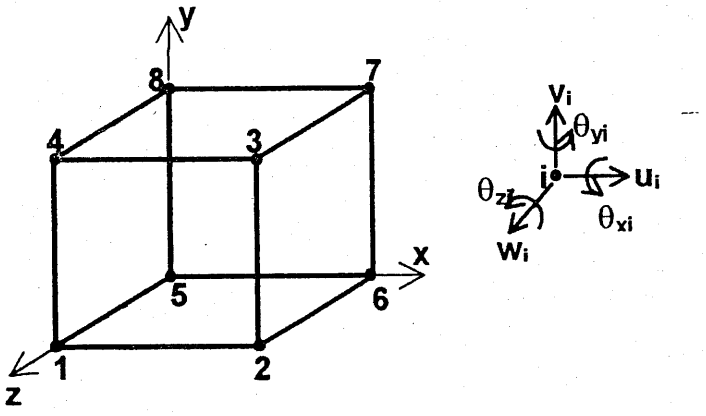
3. SONLU VE SONSUZ ELEMANLAR

Üç boyutlu yapı-zemin etkileşim problemleri, yarı sonsuz bir bölge ve sonlu bir boyuta sahip üst yapıdan meydana gelmektedir. Yarı sonsuz ortamda, kaynaktan uzaktaki bölge sonsuz elemanlar kullanılarak modellenirken, yakın bölgede sonlu elemanlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sonlu boyuta sahip olan üst yapı çeşitli tipteki sonlu elemanlar ile modellenmektedir.

3.1. Sonlu Eleman Seçimi

Yakın bölgedeki zemin modellenirken, 8 düğümlü, lineer, izoparametrik sonlu eleman (24 serberstlik dereceli brick eleman) kullanılmaktadır. Üst yapı ise prizmatik çubuk elemanların oluşturduğu kiriş-kolon sisteminden meydana gelmektedir. Bununla birlikte, her düğümünde, deplasmanlardan oluşan 3 serbestlik derecesine sahip brick eleman ile her düğümünde 6 serbestlik derecesine sahip (3 deplasman, 3 dönme) çubuk elemanların birarada kullanılabilmesi için, her iki elemanın birleşim yerlerinde özel bir

geçiş elemanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, brick eleman ve çubuk elemanların birleştiği noktalarda, her düğümünde 6 serbestlik derecesi (3 deplasman, 3 dönme) bulunan üç boyutlu geçiş elemanı (48 serbestlik dereceli rotational brick eleman) geliştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. 48 Sebestlik dereceli geçiş elemanı

Geçiş elemanının herhangi bir noktasındaki deplasmanlar için,

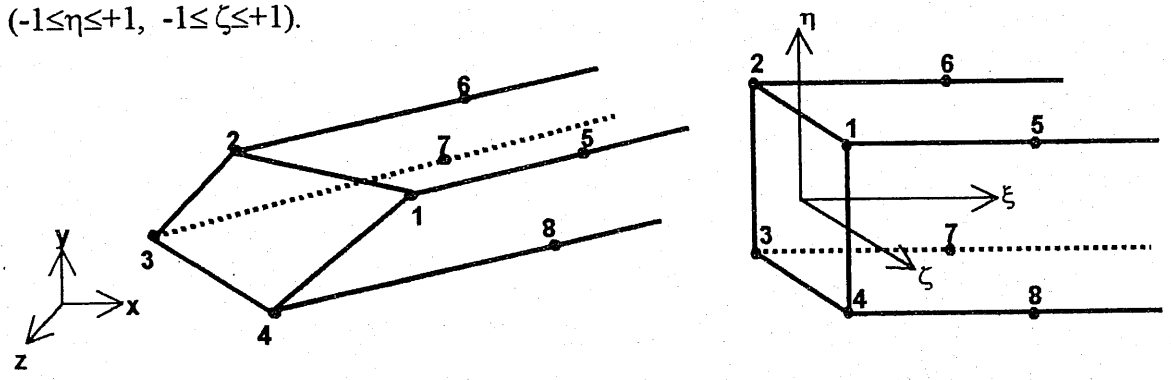
$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [\, P(x, y, z) \,] \{ \alpha \} \tag{8}$$

şeklinde parametrik bir yaklaşım yapılmaktadır. Bu elemanda, dönmeler, deplasmanlar cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilmektedir[1].

$$\theta_x = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right] \quad , \quad \theta_y = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right] \quad , \quad \theta_z = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right] \tag{9}$$

3.2. Sonsuz Eleman

Bu kısımda, azalan fonksiyonlu sonsuz eleman için formülasyon yapılırken Şekil 2'de görülen, 8 düğümlü eleman modeli kullanılmaktadır. Gerçek sonsuz eleman, yine sonsuz bir bölgeye tasvir edilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, bu elemanda bir doğrultu sonsuza giderken ($0 \le \xi \le \infty$), diğer doğrultular sonlu bir boyuta sahiptir ($-1 \le \eta \le +1$, $-1 \le \zeta \le +1$).



(a) Gerçek eleman **(b)** Referans elemanı

Şekil 2. Sonsuz eleman

Gerçek eleman ile referans elemanı arasındaki geometrik dönüşüm,

$$x=\sum_{i=1}^{8} M_i x_i \qquad y=\sum_{i=1}^{8} M_i y_i \qquad z=\sum_{i=1}^{8} M_i z_i \tag{10}$$

şeklinde tarif edilmektedir. Buradaki geometrik şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned} M_1 &= \tfrac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta) & M_2 &= \tfrac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta) \\ M_3 &= \tfrac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta) & M_4 &= \tfrac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta) \\ M_5 &= \tfrac{1}{4}\xi(1+\eta)(1+\zeta) & M_6 &= \tfrac{1}{4}\xi(1+\eta)(1-\zeta) \\ M_7 &= \tfrac{1}{4}\xi(1-\eta)(1-\zeta) & M_8 &= \tfrac{1}{4}\xi(1-\eta)(1+\zeta) \end{aligned} \tag{11}$$

olarak verilmektedir [5].

Yukarıda görülen sonsuz elemana ait deplasman yaklaşımı,

$$\overline{u}=\sum_{i=1}^{4} \overline{N}_i \overline{u}_i \quad , \quad \overline{v}=\sum_{i=1}^{4} \overline{N}_i \overline{v}_i \quad , \quad \overline{w}=\sum_{i=1}^{4} \overline{N}_i \overline{w}_i \tag{12}$$

ile tariflenmektedir. $\overline{N}_i$ interpolasyon şekil fonksiyonları, Laplace dönüşüm parametresine bağlı olarak,

$$\begin{aligned} \overline{N}_1(\xi,\eta,\zeta,s) &= \overline{P}(\xi,s)\left[\tfrac{1}{4}(1+\eta)(1+\zeta)\right] \\ \overline{N}_2(\xi,\eta,\zeta,s) &= \overline{P}(\xi,s)\left[\tfrac{1}{4}(1+\eta)(1-\zeta)\right] \\ \overline{N}_3(\xi,\eta,\zeta,s) &= \overline{P}(\xi,s)\left[\tfrac{1}{4}(1-\eta)(1-\zeta)\right] \\ \overline{N}_4(\xi,\eta,\zeta,s) &= \overline{P}(\xi,s)\left[\tfrac{1}{4}(1-\eta)(1+\zeta)\right] \end{aligned} \tag{13}$$

şeklinde seçilmektedir [1]. Burada, $\overline{P}(\xi,s)$, Laplace dönüşüm uzayında deplasman yayılma fonksiyonu olup, aşağıdaki formda olduğu kabul edilmektedir.

$$\overline{P}(\xi,s) = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \qquad \beta = \frac{s}{c} L \tag{14}$$

Burada, α ve β sırasıyla, deplasman genlik azaltma faktörü ve dalga sayısıdır. c, dalga hızını (c_P , c_S veya c_R) gösterirken, L ise karakteristik bir uzunluğu temsil etmektedir.

(12) de verilen interpolasyon şekil fonksiyonlarının,

$$\overline{N}_i = \overline{P}(\xi,s)\, L_i(\eta,\zeta) \tag{15}$$

formunda olduğu düşünülürse, referans koordinatlarına göre türevleri,

$$\overline{N}_i = L_i\, e^{-(\alpha+\beta)\xi}$$

$$\overline{N}_{i,\xi} = -(\alpha+\beta)\, L_i\, e^{-(\alpha+\beta)\xi} \qquad (16)$$

$$\overline{N}_{i,\eta} = L_{i,\eta}\, e^{-(\alpha+\beta)\xi}$$

$$\overline{N}_{i,\zeta} = L_{i,\zeta}\, e^{-(\alpha+\beta)\xi}$$

olur. Bu tariflere göre şekil fonksiyonları matrisi,

$$\left[\overline{N}\right] = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \left[\begin{array}{ccc|c|ccc} L_1 & 0 & 0 & \cdots & L_8 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & \cdots & 0 & L_8 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 & \cdots & 0 & 0 & L_8 \end{array}\right] \qquad (17)$$

$$\left[\overline{N}\right] = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \left[\overline{N}^*\right]$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu form gözönüne alınırsa, eleman kütle matrisi referans koordinatlarına dönüşmüş olarak,

$$\left[\overline{m}^S\right]_{(12\times12)} = \int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1}\int_{0}^{\infty} \left(\rho \left[\overline{N}^*\right]^T \left[\overline{N}^*\right] |J|\right) e^{-2(\alpha+\beta)\xi}\, d\xi\, d\eta\, d\zeta \qquad (18)$$

olarak bulunur. Şekil değiştirme matrisi ise, şekil fonksiyonlarının türevleri kullanılarak,

$$\left[\overline{B}\right]_{(6\times12)} = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \left[\overline{B}^*\right] \qquad (19)$$

şekline dönüşür. Bu durumda, referans koordinatlarında eleman rijitlik matrisi,

$$\left[\overline{k}^S\right]_{(12\times12)} = \int_{-1}^{+1}\int_{-1}^{+1}\int_{0}^{\infty} \left(\left[\overline{B}^*\right]^T [D] \left[\overline{B}^*\right] |J|\right) e^{-2(\alpha+\beta)\xi}\, d\xi\, d\eta\, d\zeta \qquad (20)$$

formunda bulunmaktadır. Eleman matrisleri, (18) ve (20)'de görüldüğü formda elde edildikten sonra, sonlu yönde Gauss-Legendre (2 nokta), sonsuz yönde ise Newton-Cotes integrasyon yöntemi (12 nokta) uygulanarak sayısal olarak hesaplanmaktadır.

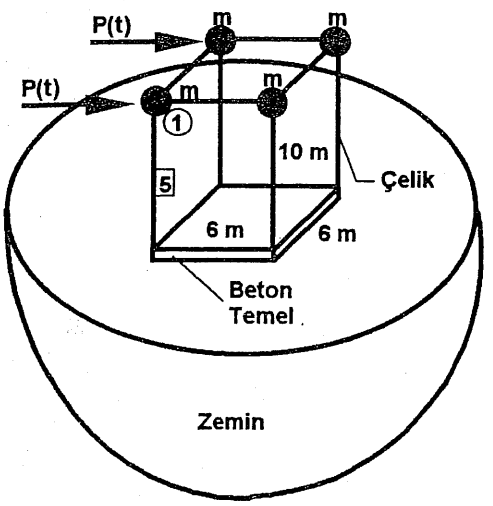
4. UYGULAMALAR

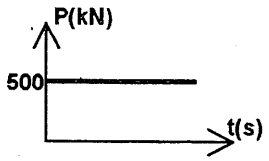
Keyfi değişen dinamik yüklemenin etkisi altındaki sistemlerin analizi için, yukarıda anlatılan sonlu-sonsuz eleman modelinin kontrolü yapılmış ve modelin güvenli bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür [1]. Bu nedenle burada, dıştan etkiyen yüklemenin etkisindeki sistemler için, zeminin mevcudiyetinin ve rijitliğinin yapının davranışına olan etkisi, bir örnek üzerinde incelenmektedir.

4.1. Yarı Sonsuz Zemin Üzerinde Temel-Çerçeve Sistemi

Elastik yarı sonsuz zemin üzerinde, çubuk elemanlardan oluşan ve kat hizasında adım tipi dinamik tekil yüklemenin etkisindeki tek katlı çerçeve ele alınmaktadır. Ayrıca, çerçevenin üst düğümlerinde tekil kütleler mevcuttur (Şekil 3). Bu

problemde, zeminin mevcudiyetinin yapının davranışına olan etkisi araştırıldığından, üç değişik zemin rijitliği göz önüne alınmıştır. Özel olarak, zemin, sonsuz rijit düşünülerek de çözüm yapılmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Çerçevenin üst düğümlerinde bulunan tekil kütleler m=25000 kg ve sonsuz elemanlara ait azaltma parametresi α=2.07 olarak seçilmiştir.







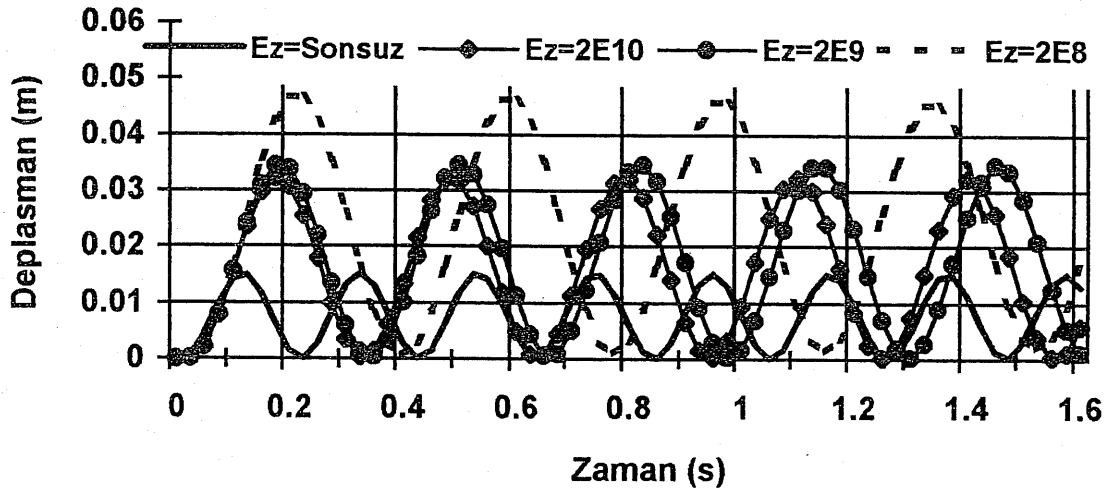
D_d=1 m
D_i=0.9 m
A=0.15 m^2
$I_y=I_z$=0.0169 m^4
J=0.0338 m^4

Çizelge 1. Malzeme özellikleri

Çelik	Beton	Zemin
$E_ç=21\times10^{10}$ N/m^2	$E_b=2\times10^{10}$ N/m^2	$E_{z1}=2\times10^{10}$ N/m^2
$\rho_ç$=7800 kg/m^3	ρ_b=2400 kg/m^3	$E_{z2}=2\times10^{9}$ N/m^2
$\nu_ç$=0.30	ν_b=0.15	$E_{z3}=2\times10^{8}$ N/m^2
	t=0.5 m (kalınlık)	ρ_z=2000 kg/m^3
		ν_z=0.30

Şekil 3. Yarı sonsuz zemin üzerinde çerçeve sistem

Çeşitli zemin elastisite modülleri gözönüne alınarak, yapıda 1 numaralı düğümün yatay deplasmanı (u) ile 5 numaralı kolon elemanının alt ucundaki kesme kuvveti (F_y) ve eğilme momentinin (M_z) zamanla değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. Yatay deplasmanın zamanla değişimi

Grafikler incelendiğinde, zeminin mevcudiyetinin yapının davranışında değişiklikler meydana getirdiği gözlenmektedir. Çerçevenin üst noktasının yatay deplasmanı zemin yumuşadıkça artmaktadır (Şekil 4). Kesme kuvveti incelendiğinde

çeşitli zeminler için sonuçlar birbirlerine yakın çıkmaktadır. Buna karşılık, zemin sertleştikçe eğilme momenti büyümektedir.

5. SONUÇLAR

Yarı sonsuz ortamların incelenmesinde sadece sonlu elemanların kullanılması ile kaynaktan uzak bölgelerde, yapay sınırlar oluşturulmakta ve ortamda yayılan dalgalar bu sınırlara çarparak yansımaktadır. Bu durum, sonsuza uzanan ortamlardaki dalgaların gerçek davranışına uymamaktadır. Sonsuza uzanan ortamlarda, sonlu elemanlarla birlikte sonsuz elemanların kullanılması, daha gerçekçi olmaktadır. Ayrıca, sonlu eleman formülasyonu uygulandığından dolayı sistem matrisleri simetrik ve bant tipi olma özelliklerini korumaktadır. Bu çalışmada, keyfi yükleme etkisindeki sistemler, bir dizi Laplace parametresi için çözülmektedir. Yakın bölgede kullanılan sonlu elemanlar Laplace parametresinden bağımsız olduğundan, bu elemanların oluşturduğu bölge için sistem matrislerinin, çözüm esnasında bir kez teşkil edilmesi yeterli olmaktadır. Bunlara ilaveten, sonlu-sonsuz eleman formülasyonu ile homojen olmayan, elastik ve/veya viskoelastik ortamlar kolaylıkla ele alınabilmektedir.

Ele alınan problemin sonuçlarından, zeminin mevcudiyeti (rijitliğine bağlı olarak) yapının davranışında değişiklikler meydana getirdiği gözlenmektedir. Kolondaki eğilme monetleri karşılaştırıldığında, zeminin rijitleşmesi ile maksimum değerlerin büyüdüğü ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] YERLİ, H. R. (1998): İki ve Üç Boyutlu Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar Kullanılarak Analizi, Doktora Tezi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[2] BETTESS, P. (1977): Infinite Elements, Int. J. Num. Meth. Engrg., 11, 53-64.

[3] YERLİ, H. R. KIRAL, E., (1996): Deprem Etkisindeki Üç Boyutlu Sistemlerin Alt Yapı Metudu İle Yapı-Zemin Etkileşim Analizi, Çukurova Üniv., Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt:11, Sayı:2, 33-41.

[4] DURBIN, F. (1974): Numerical Inversion of Laplace Transforms: An Efficient Improvement to Dubner and Abate's Method, The Computer Journal, 17,. 4, 371-376.

[5] CHONGBIN, Z., VALLIAPPAN, S. (1993): A Dynamic Infinite Element for Three-Dimensional Infinite-Domain Wave Problems, Int. J. Num. Meth. Engrg., 36, 2567-2580.