

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYSEL VE GÖMÜLÜ TEMELLERDE
KONİ MODELLERİYLE
ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Dinçer Mete**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

**YÜZEYSEL VE GÖMÜLÜ TEMELLERDE
KONİ MODELLERİYLE
ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Dinçer Mete
(501021169)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan BODUROĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Necmettin GÜNDÜZ (İ.T.Ü.)**

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Eğitimim sırasında nişanlandığım, okul dönemim ve tez çalışmalarım sırasındaki en büyük desteğim Nigar Can, öğrenim hayatımın her safhasında yanımda olan annem Nihal Mete, babam Abdullah Mete ve ağabeyim Alper Mete'ye teşekkür ediyorum. Danışman Hocam Prof. Dr. Hasan Boduroğlu'nun yardım ve katkılarıyla, resmi öğrenim hayatımın son çalışması olarak hazırladığım yüksek lisans tezimin, benden sonra bu konuyla ilgilenen İnşaat Mühendisliği öğrencilerine yardımcı olabilmesini umuyorum.

12. 2004

Dinçer Mete

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. KONİ MODELLERİ	2
2.1. Yüzeysel Temellerde Tek Taraflı Koni Modeli	2
2.1.1. Dinamik rijitlik katsayısı	5
2.1.2. Rijitlik formülasyonu	10
2.1.3. Fleksibilite Formülasyonu	13
2.1.4. Duhamel İntegralinin Rekürans Bağıntılılarıyla Hesaplanması	14
2.1.5. Örnek	16
2.2. Derin Temellerde Çift Koni Modeli	19
2.2.1. Gömülü disk ve simetri yöntemi	20
2.2.2. Yarı sonsuz ortamda gömülü temel	20
2.2.3. Dinamik fleksibilite matrisi	21
2.2.4. Matris metotlar	22
2.2.5. Dinamik rijitlik katsayısı	23
2.2.6. Efektif temel hareketi	24
2.2.7. Zaman tanım alanında formülasyon	26
2.2.8. Zaman integrasyonu	27
2.2.9. Örnek	28
2.2.9.1. Parametreler	28
2.2.9.2. Dinamik rijitlik katsayısı	28
2.2.9.3. Efektif temel girdi hareketi	33
3. GÖMÜLÜ TEMELLERİN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ HESABI	34
3.1. Formülasyon	34
3.2. Örnek	37
4. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	48
EKLER	49-57
ÖZGEÇMİŞ	58

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : z_0/r_0 değişimi	4
Tablo 2.2 : Örnek 2.1.5 için tablo	18
Tablo 3.1 : Kütle ve atalet momenti değerleri	40
Tablo 3.2 : Efektif temel girdi hareketi değerleri	40
Tablo 3.3 : Rijitlik katsayıları	40
Tablo 3.4 : Yay ve sönüm matrisini oluşturan değerler	41

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Tek taraflı koni modeli	3
Şekil 2.2a : Harmonik yüklü yatay hareket yapan yüzeysel temelin değişen v poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)	5
Şekil 2.2b : Harmonik yüklü yatay hareket yapan yüzeysel temelin değişen v poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)	6
Şekil 2.3a : Harmonik yüklü düşey hareket yapan yüzeysel temelin değişen v poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)	6
Şekil 2.3b : Harmonik yüklü düşey hareket yapan yüzeysel temelin değişen v poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)	7
Şekil 2.4a : Harmonik yüklü burulma hareketi yapan yüzeysel temelin değişen dinamik rijitlik katsayısı (yay)	8
Şekil 2.4b : Harmonik yük. bur. har. yap. yüz. tem. d. din. rij. kts (sönüm)	8
Şekil 2.5a : Harmonik yüklü devrilme hareketi yapan yüzeysel temelin değişen v Poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)	9
Şekil 2.5b : Harmonik yüklü devrilme hareketi yapan yüzeysel temelin değişen v Poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)	9
Şekil 2.6 : Ötelenme için ayrık-eleman modeli	10
Şekil 2.7a : Dönme için ayrık-eleman modeli; Monkey-Tail modeli	11
Şekil 2.7b : Dönme için ayrık-eleman modeli; Yay-sönüm modeli	11
Şekil 2.8 : Çift-koni modeli	19
Şekil 2.9a : Koni modelleri; Gömülü disk	20
Şekil 2.9b : Koni modelleri; Disk ve ayna-görünütüsü simetri kavramı	20
Şekil 2.10 : Gömülü silindirik zemin alanının disk ve ayna disklerle uz. ayr.	22
Şekil 2.11 : Disklere etkileyen kaynak kuvvetlerinin zamansal ayırımı	26
Şekil 2.12 : Gömülü temeller için statik rijitlik katsayıları	29
Şekil 2.13a: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): düşey	30
Şekil 2.13b: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): düşey	30
Şekil 2.14a: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): yatay	31
Şekil 2.14b: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): yatay	31
Şekil 2.15a: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): burulma	32
Şekil 2.15b: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): burulma	32
Şekil 2.16a: Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): devrilme	33
Şekil 2.16b: Gömülü temeller için dinamik rijitlik ktsları (sönüm): devrilme	33
Şekil 3.1 : Gömülü temel üzerinde tek serbestlik dereceli sistem	38
Şekil 3.2a : Efektif temel girdi hareketi: yatay (reel)	38
Şekil 3.2b : Efektif temel girdi hareketi: yatay (imajiner)	39
Şekil 3.2c : Efektif temel girdi hareketi: dönme (reel)	39
Şekil 3.2d : Efektif temel girdi hareketi: dönme (imajiner)	39
Şekil 3.3a : Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=0.5$)	45
Şekil 3.3b : Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=1$)	46
Şekil 3.3c : Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=2$)	46

SEMBOL LİSTESİ

ρ	: Kütle yoğunluğu
G	: Kayma modülü
ν	: Poisson oranı
c_s, V_s	: Kesme dalgası yayılma hızı
c_p	: Dilatasyon dalgası yayılma hızı
I_0	: Atalet momenti
z_0	: Koni tepe noktası yüksekliği
r_0	: Temel yarıçapı
A_0	: Disk alanı
ϑ_0	: Temel tabanı dönme açısı
K	: Ötelenme rijitlik katsayısı
K_ϑ	: Dönme rijitlik katsayısı
a_o	: Boyutsuz frekans
ω	: Titreşim frekansı
$S(\omega)$	: Dinamik rijitlik katsayısı
$k_h(a_0), c_h(a_0)$	: Boyutsuz frekansa bağlı koni yay ve sönüm katsayıları
$(u_0^g/u^f), S_{HB}$ ve S_{RB}	:Efektif temel girdi hareketinin, serbest alan hareketine oranı

ÖZET

Yüzeysel temellerin dinamik analizleri zeminin kesik koni modeliyle idealleştirilmesiye yapılabilir. Bu çalışmada, koni modelleri sadece yüzeysel temelerde değil gömülü temeller içinde incelenmiştir. Koni modeliyle temel yay ve sönüm fonksiyonları hesaplanmış ve bunların kesin sonuçlarla karşılaştırmalarının yapıldığı referanslara yer verilmiştir. Koni modellerinin hassasiyetinin yeterli olduğu görülmüştür. Yüzeysel temeller için Duhamel integral metodu yerine rekürans bağıntılarının kullanımı açıklanmış ve bununla ilgili örnek çözüm yapılmıştır. Çift koni yöntemiyle efektif temel hareketi hesabı gösterilmiş, bu hesaplamada Green fonksiyonları ve geleneksel matris metotlarından faydalanılmıştır. Gömülü temellerin taban seviyesinde hesaplanan direnç ve efektif temel girdi hareketlerinin, temel üst seviyesine taşınması yöntemi örnekle açıklanmıştır. Örnekler değişen temel gömülme oranlarına göre genişletilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin yapı etkileşimi, efektif temel girdi hareketi, gömülü temel

ABSTRACT

The dynamic analysis of surface foundations can be processed accurately by idealizing the soil as a truncated cone. In this study, cone models are not only introduced for surface foundations but is also extended to represent embedded foundations. Impedance functions for foundations are evaluated and comparison of those quantities with rigorous results shown in other studies are compared. The accuracy of cone models are discovered to be satisfactory. For surface foundations recursive evaluation methods of convolutions are explained with an example. A stack of disk pairs and double cone models are used in evaluating the effective foundation input motions of embedded foundations. Green functions and general matrix methods are performed for the evaluations. Impedances and foundation input motions at the bottom of an embedded foundation is transformed to the corresponding values at the top of the foundation. Examples are extended for various embedment ratios.

Keywords: Soil structure interaction, effective foundation input motion, embedded foundation

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yıllarda temel dinamiği problemlerinin çözümü için sonlu elemanlar ve sınır elemanlar gibi zeminin elastik, yarı sonsuz ortam olarak idealize edildiği metodlar geliştirilmiştir. Tüm bu metotlarda son derece geniş bir teorik altyapıya dayanmaktadır.

Bu metotlara alternatif olarak zemin; elastik yarı sonsuz ortam yerine bir boyutlu kesik koni yöntemiyle modellenebilir. Ötelenme (Ehlers 1942) ve dönme (Meek ve Veletsos 1974) hareketleri için kullanılan orjinal koni modelleri; disk şeklindeki yüzeysel temellerin davranışını temsil eder. Bu yöntemin hassasiyeti gerçek tasarım işlerinde kullanılmasına uygundur.

Bu çalışmada, koni modeli kavramının yüzeysel ve gömülü silindirik temeller için uygulanışı gösterilmiş ve tek serbestik dereceli bir yapının kat ötelenmesi hesap yöntemi örnekle tarif edilmiştir.

2. KONİ MODELLERİ

2.1. Yüzeysel Temelerde Tek Taraflı Koni Modeli

Zemin, kütle yoğunluğu ρ olan lineer elastik yarı-sonsuz ortam olarak idealize edilmiş, elastik özelliklerin tanımlanmasında kayma modülü G ve Poisson oranı ν kullanılmıştır.

$$G = \rho c_s^2 \quad (2.1a)$$

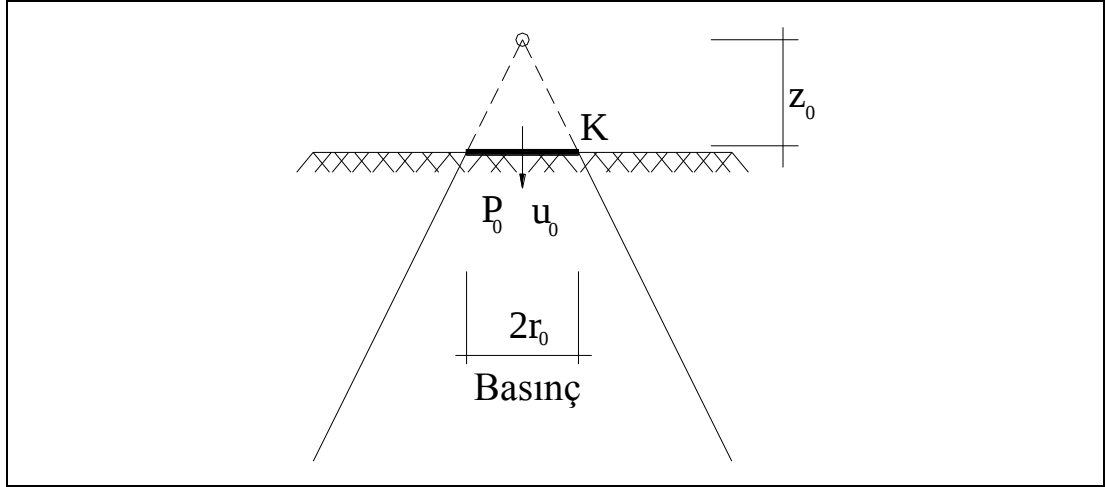
$$\nu = \frac{\left(\frac{c_p}{c_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{c_p}{c_s}\right)^2 - 2} \quad (2.1b)$$

Yapı ve zemin önce ayrı incelenmiş daha sonra birleştirilmiştir. Temel küteside içeren yapı bölümü, kütleler, yay sabitleri ve sönüm değerleriyle modellenmiştir.

İlk olarak; yapı temeli alt seviyesinden başlayarak aşağı doğru uzanan zemin modeline değinilecektir. Yapı-zemin arayüzeyi, temel taban hareketinin gözlemlendiği kütsüz rijit bir temel ayağı olarak düşünülebilir. Bu zahiri temel ayağının alanı A_0 ve dönme eksenini etrafındaki atalet momentide I_0 dır (burulma için I_0 = polar atalet momentidir).

Zemin, Şekil 2.1 de görülen, uç yüksekliği z_0 olan yarı-sonsuz bir kesik koni olarak idealize edilir. P_0 kuvvetine tepki olarak temel u_0 kadar deplasman yapmaktadır. Şekilde P_0 ve u_0 dikey olarak etkimektedir ancak koni yöntemi yatay etkiyen P_0 , u_0 veya diskin devrilme veya dönme M_0 momentleri ile yüklü olup, θ_0 açısıyla döndüğü durumlar içinde geçerlidir. Bunun için deformasyon şekline göre ötelenme(yatay ve

düşey hareket) ve dönme (burulma ve devrilme hareketi) olarak iki çeşit koni tanımlanmıştır.



Şekil 2.1 Tek taraflı koni modeli

Yarı sonsuz ortam üzerindeki diskin dinamik rijitlik ilişkisi, zeminin uygun kesik koni modeliyle tanımlanmasıyla yaklaşık ama oldukça hassas bir şekilde belirlenebilir. z_0 tepe yüksekliğinin uygun seçimi koninin statik rijitliğini yarı sonsuz ortam üzerindeki diskinkine eşitler. Koninin z_0/r_0 oranı; hareket bileşenine ve dilatasyonel ile kesme dalgası yayılma hızları arasındaki orana (c_p/c_s) bağlıdır. Bahsedilen eşitliğe örnek olarak; düşey hareket için yüzeysel temelin z_0/r_0 oranı hesaplanması şu şekildedir (Wolf, 1994 s.35)

$$\frac{4\rho c_s^2 r_0}{1-\nu} = \frac{\rho c^2 \pi r_0^2}{z_0} \quad (2.2)$$

buradan,

$$\frac{z_0}{r_0} = \frac{\pi}{4} (1-\nu) \left(\frac{c}{c_s} \right)^2 \quad (2.3)$$

Tablo 2.1 de z_0/r_0 değerleri değişen ν Poisson oranlarına göre belirlenmiştir. Bu tablodada gösterildiği gibi uygun dalga yayılma hızları; yatay ve burulma konileri için $c = c_s$, düşey ve devrilme konileri içinse $c = c_p$ olarak alınır.

z_0 değerinin bilinmesiyle koninin K (ötelenme) ve K_9 (dönme) statik rijitlikleri şu şekilde verilmiştir;

$$K = \frac{\rho c^2 A_0}{z_0} \quad (2.4a)$$

$$K_g = \frac{3\rho c^2 I_0}{z_0} \quad (2.4b)$$

Burada $A_0 = \pi r_0^2$ = disk alanı ve I_0 = diskin dönme eksenini doğrultusundaki atalet momenti; $\pi r_0^4/4$ (devrilme) veya $\pi r_0^4/2$ (dönme) dir.

Tablo 2.1 Koni modellerinde z_0/r_0 oranı hesaplanması

Koni Modeli	Hareket	C	r_0	z_0/r_0				
				Sıkıştırılabilir zemin $\nu < 1/3$				
				Genel Formül (5)	$c_p/c_s=\sqrt{2}$ (6)	$\nu=0$ (7)	$c_p/c_s=2$ (8)	$\nu=1/3$ (9)
Ötelenme	Dikey	c_p	$\sqrt{A_0/\pi}$	A	1.5708	$2\pi/3$	2.0944	$2\pi/3$
$K = \rho c^2 A_0/z_0$	Yatay	c_s	$\sqrt{A_0/\pi}$	B	0.7854	$5\pi/24$	0.6545	$5\pi/24$
$C = \rho c A_0$	Devrilme	c_p	$^4\sqrt{4I_0/\pi}$	C	1.7672	$3\pi/4$	2.3562	$3\pi/4$
Dönme	Burulma	c_s	$^4\sqrt{2I_0/\pi}$	D	0.8836	$9\pi/32$	0.8836	$9\pi/32$
$K_g = 3\rho c^2 I_0/z_0$								
$C_g = \rho c I_0$								
$I_g = \rho c^2 I_0$								
A= $\pi/8(c_p/c_s)^4/[(c_p/c_s)^2-1]$				C= $9\pi/16(c_p/c_s)^4/[(c_p/c_s)^2-1]$				
B= $\pi/16[3(c_p/c_s)^2-2]/[(c_p/c_s)^2-1]$				D= $9\pi/32$				

2.1.1 Dinamik rijitlik katsayısı

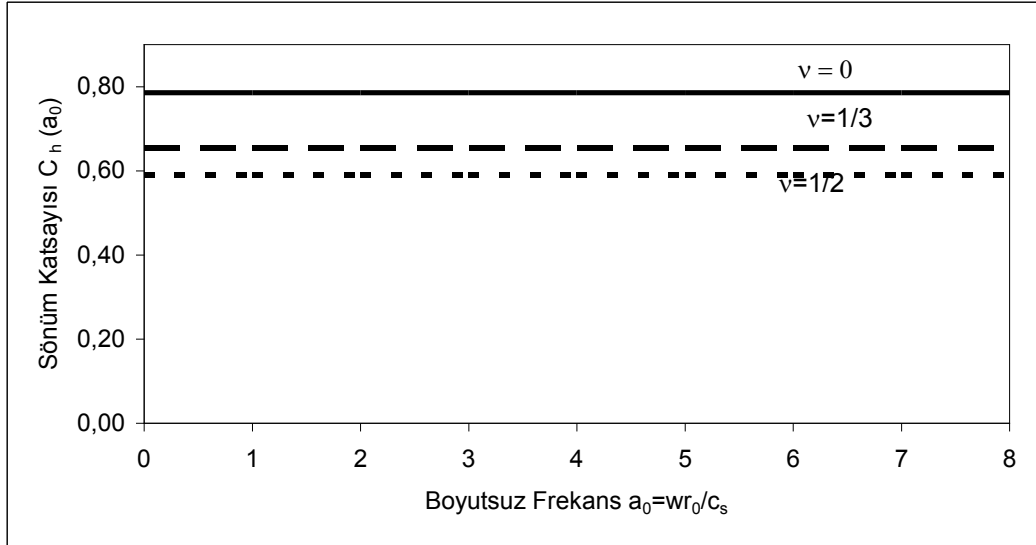
Ötelenme harmonik hareketi yapan yüzeysel temelin dinamik rijitlik katsayısı, yüzeysel diskin statik rijitliği K ve boyutsuz frekans parametresi $a_0 = \omega r_0 / c_s$ terimleri cinsinden şu standart formda ifade edilebilir:

$$S(\omega) = P_0 / u_0 = K [k(a_0) + i a_0 c(a_0)] \quad (\text{ötelenme için}) \quad (2.5a)$$

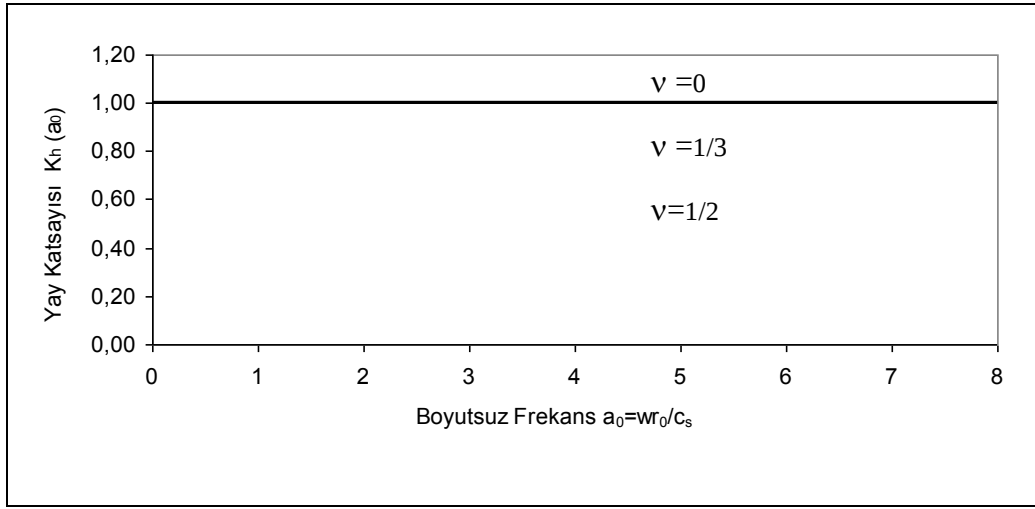
$$k(a_0) = 1 - \frac{\mu}{\pi} \frac{z_0}{r_0} \frac{c_s^2}{c^2} a_0^2 \quad (2.5b)$$

$$c(a_0) = \frac{z_0}{r_0} \frac{c_s}{c} \quad (2.5c)$$

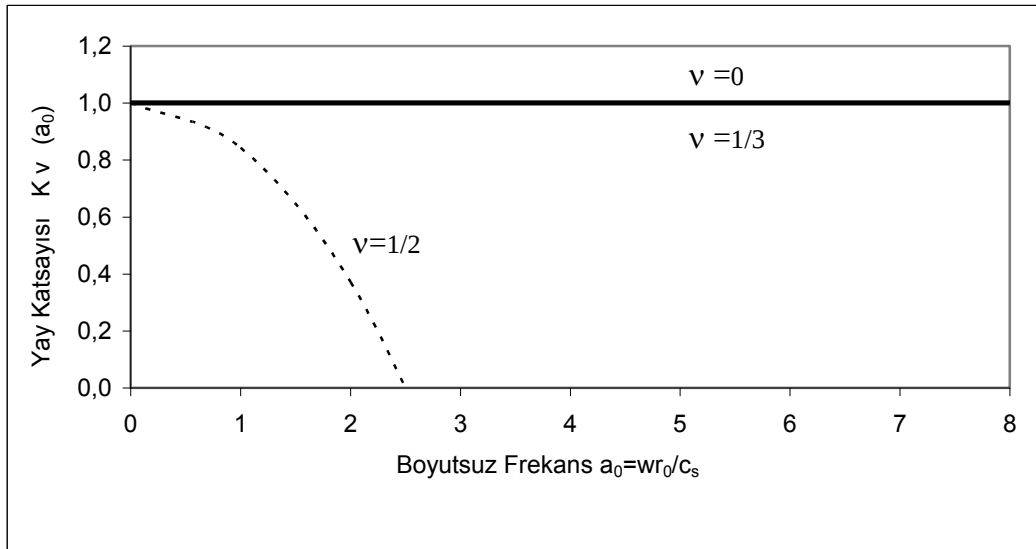
Değişken ν Poisson oranlarına göre, yatay hareket için $k_h(a_0)$, $c_h(a_0)$ Şekil 2.2, düşey hareket için $k_v(a_0)$, $c_v(a_0)$ yay sönüm katayıları Şekil 2.3 ile verilmiştir.



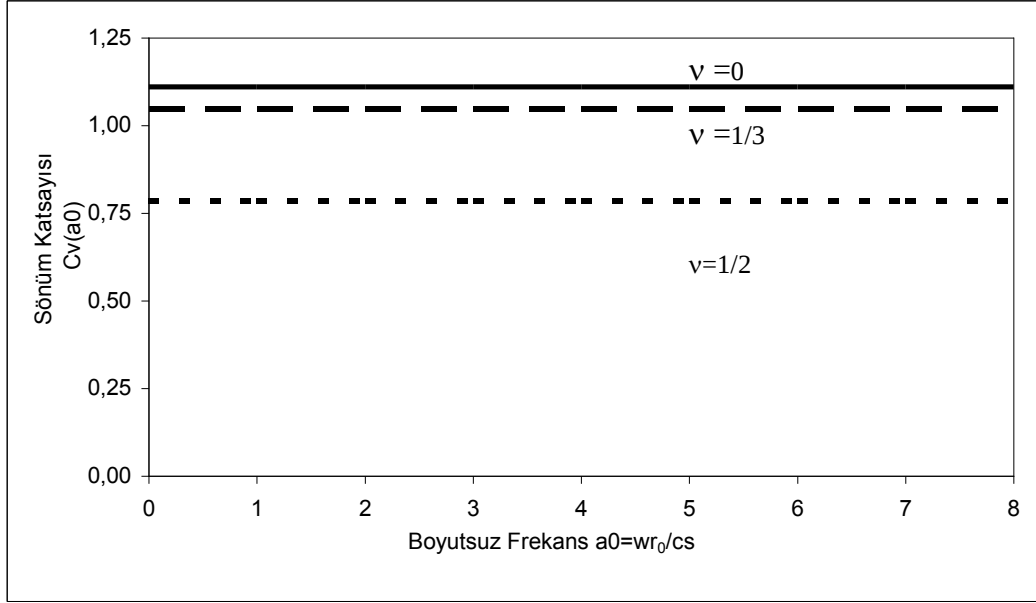
Şekil 2.2a Harmonik yüklü yatay hareket yapan yüzeysel temelin değişen ν poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)



Şekil 2.2b Harmonik yüklü yatay hareket yapan yüzeysel temelin değişen ν poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)



Şekil 2.3a Harmonik yüklü düşey hareket yapan yüzeysel temelin değişen ν poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)



Şekil 2.3b Harmonik yüklü düşey hareket yapan yüzeysel temelin değişen ν poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)

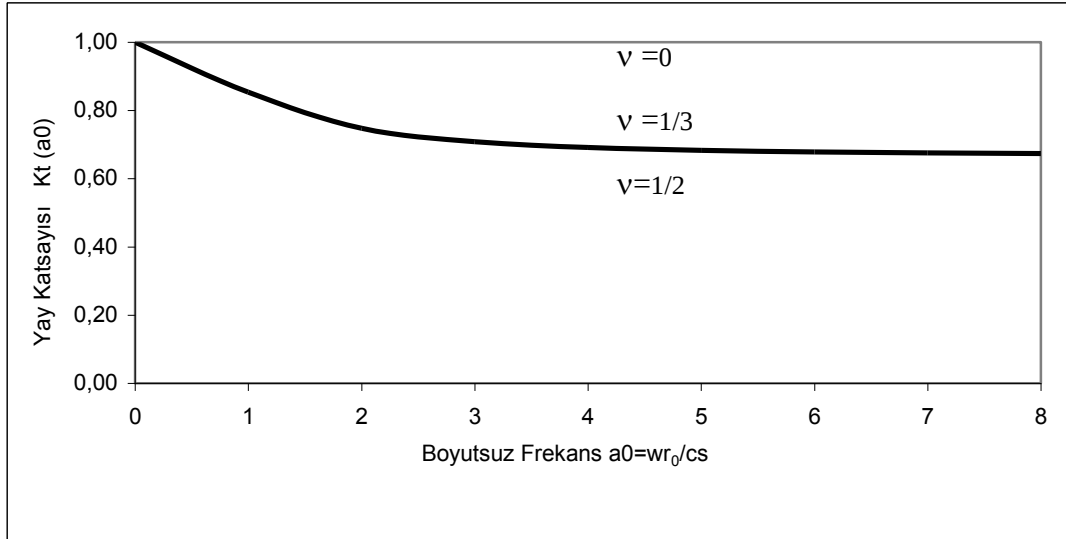
Dönme harmonik hareketi yapan yüzeysel temelin dinamik rijitlik katsayısı ise yüzeysel diskin statik rijitliği K_g ve boyutsuz frekans parametresi $a_0 = \omega r_0 / c_s$ terimleri cinsinden şu standart formda ifade edilebilir:

$$S(\omega) = M_0 / \theta_0 = K_g [k_g(a_0) + i a_0 c_g(a_0)] \text{ (dönme için)} \quad (2.6a)$$

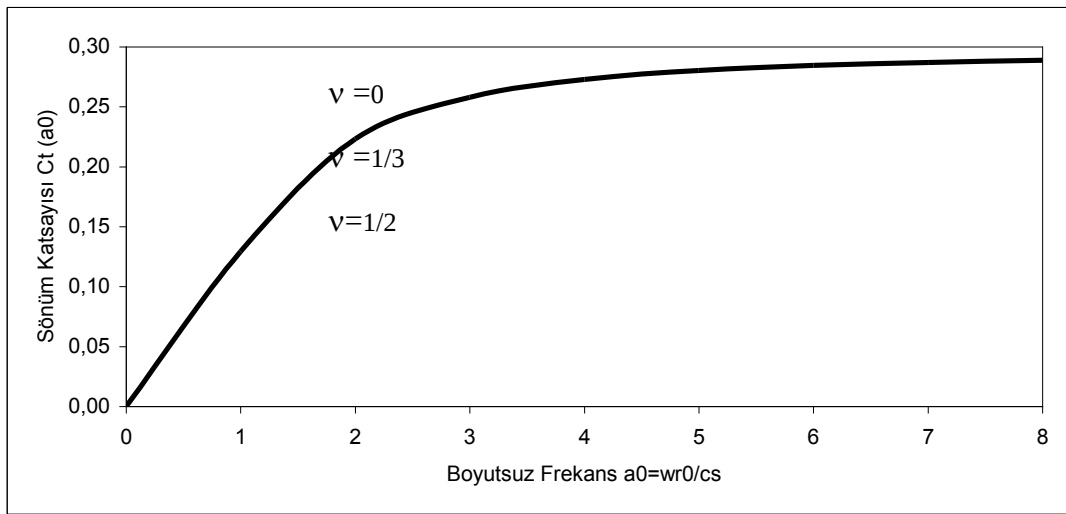
$$k_g(a_0) = 1 - \frac{4}{3} \frac{\mu_g}{\pi} \frac{z_0}{r_0} \frac{c_s^2}{c^2} a_0^2 - \frac{a_0^2}{\left(\frac{r_0 c}{z_0 c_s} \right)^2 + a_0^2} \quad (2.6b)$$

$$c_g(a_0) = \frac{1}{3} \frac{z_0}{r_0} \frac{c_s}{c} \frac{a_0^2}{\left(\frac{r_0 c}{z_0 c_s} \right)^2 + a_0^2} \quad (2.6c)$$

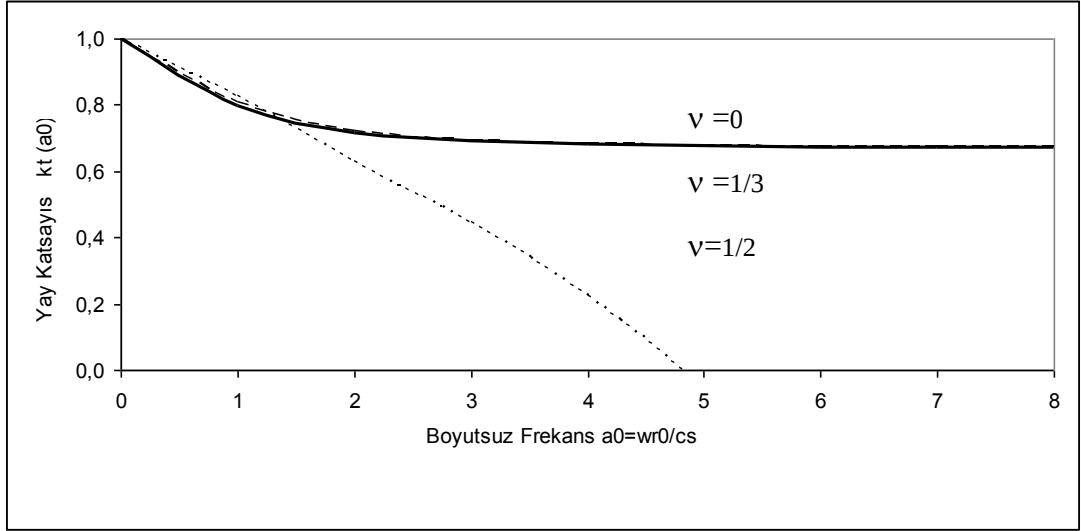
Değişken ν Poisson oranlarına göre, burulma hareket için $k_t(a_0)$, $c_t(a_0)$ Şekil 2.4, devrilme hareketi için $k_r(a_0)$, $c_r(a_0)$ yay sönüm katayıları Şekil 2.5 de verilmiştir.



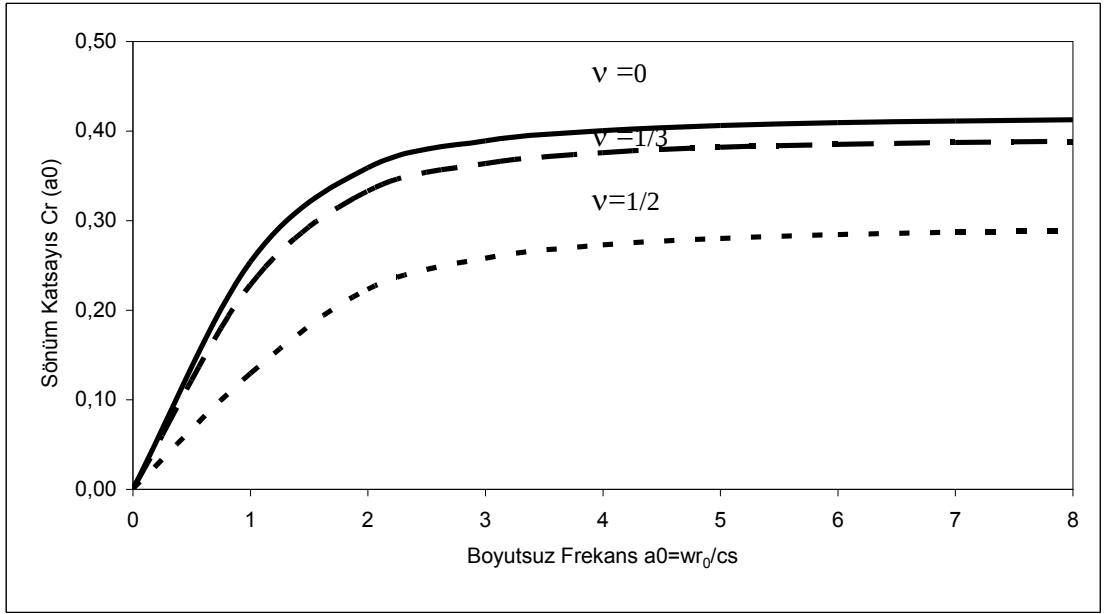
Şekil 2.4a Harmonik yüklü burulma hareketi yapan yüzeysel temelin değişen dinamik rijitlik katsayısı (yay)



Şekil 2.4b Harmonik yüklü burulma hareketi yapan yüzeysel temelin değişen dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)



Şekil 2.5a Harmonik yüklü devrilme hareketi yapan yüzeysel temelin değişen ν Poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (yay)

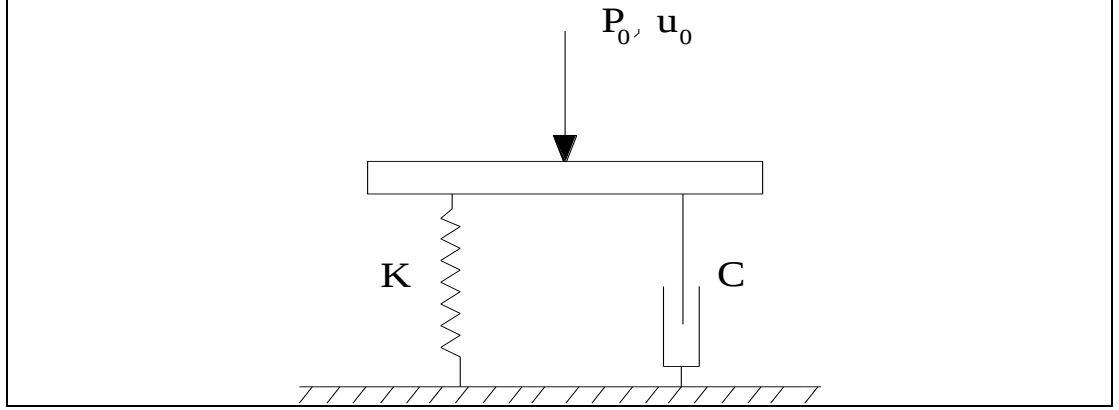


Şekil 2.5b Harmonik yüklü devrilme hareketi yapan yüzeysel temelin değişen ν Poisson oranlarına göre dinamik rijitlik katsayısı (sönüm)

Koni modeliyle hesaplanan dinamik rijitlik katsayılarının doğruluğunun kesin hesaplarla bulunan katsayılarla karşılaştırılması Wolf, (1994) de verilmiş ve iki yöntem için elde edilen sonuçların yeterince yakın olduğu gösterilmiştir.

2.1.2 Rijitlik formülasyonu

Koni modelinin pratikteki uygulanmısında kullanılmak üzere Şekil 2.6 de gösterilen ayırık eleman modeli tanımlanmıştır (Ehlers 1942).



Şekil 2.6 Ötelenme için ayırık-eleman modeli

İlk olarak ötelenme konisinin rijitlik formülasyonunu ele alırsak;

$$P_0 = Ku_0 + C\dot{u}_0 \quad (2.7)$$

K ve C değerleri sırasıyla alışımlı yay ve sönüm değerleri olarak anlaşılabilir, $C = \rho c A_0$ ve K ise (2.4a) denkleminde ifade edildiği gibidir. Ötelenme hareketide yapı-zemin etkileşimini dikkate almak için yay ve sönümü yapısal modelin hemen altına yerleştirilir. Bu şekilde tüm sistem genel amaçlı bir bilgisayar programıyla analiz edilebilir. Deprem analizi için, zemin hareketi yapı-temel arayüzeyine değil K ve C nin uzak uçlarına etki ettirilir (Bu hareket sonsuz uzaklıktaki ana kaya hareketi olarak değil, yapının yokluğunda kütsüz temel ayağının hareketi olarak anlaşılmalıdır).

Dönme konisi içinse (2.5) denklemi şu şekli alır (Meek, J.W. ve Wolf, J.P. 1992),

$$M_0 = K_g \theta_0 + C_g \dot{\theta}_0 - h_1 \star C_g \dot{\theta}_0 \quad (2.8)$$

$C_g = \rho c I_0$ ve K_g değeri (2.4b) denklemindeki gibidir. Wolf (1988) tepkiye anlık katkıyı tekil(singular) kısım (M_0^s) olarak ifade etmiştir (2.8 denklemin ilk iki terimi). Aynı denklemden önünde eksi işareti olan ve yıldız $\star$ ile gösterilen son terim ise duhamel integralidir.

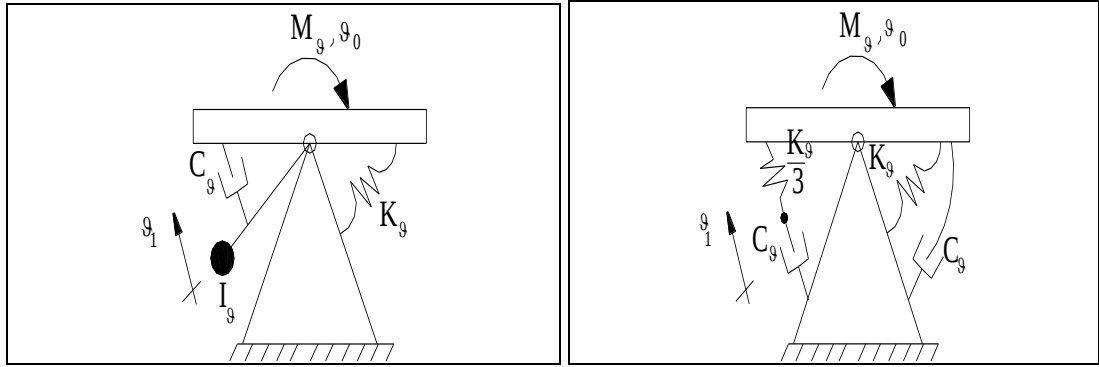
$$-h_1 \star C_g \dot{\theta}_0 = -\int_0^t h_1(t-\tau) C_g \dot{\theta}_0(\tau) d\tau \quad (2.9a)$$

$$t \geq 0 \quad \text{için} \quad h_1(t) = \frac{c}{z_0} e^{-ct/z_0} \quad (2.9b)$$

$$t < 0 \quad \text{için} \quad h_1(t) = 0 \quad (2.9c)$$

integral açısal hızın $\dot{\theta}_0$ tüm geçmiş değerlerine bağlıdır ve sistemin hafızası olarak düşünülebilir. Wolf(1988) de regular kısım M_0^r olarak ifade edilmiştir.

Karmaşık integral çözümüne alternatif olarak Şekil (2.7a) ve (2.7b) da dönme konisi için tanımlanmış ayırık-eleman modelleri gösterilmiştir. Şekil (2.7a) da K_g yayının yanı sıra, ek bir dönme kütle atalet momenti $I_g = \rho c^2 I_0$, θ_1 serbestlik derecesi ve C_g sönümü tanımlanmıştır. Matematik modelin (2.6) nolu formüle eşitliği **Meek and Veletsos (1974)** yayınında gösterilmektedir. Mekanik model yayılma sönümünü içermektedir ancak kolaylıkla malzeme sönümünü içerecek şekilde değiştirilebilir Wolf (1988 s.41-48), burada deyiniilmemiştir.



(a)

(b)

Şekil 2.7 Dönme için ayırık-eleman modeli; (a) Monkey-Tail modeli; (b) Yay-sönüm modeli

Şekil (2.7a) da gösterilen ayırık-eleman modeli yerine Şekil (2.7b) deki yay-sönüm kombinasyonu önerilmiştir (Wolf 1988). Buradada dahili bir serbestlik derecesi tanımlanmıştır. Diğer değerler şekil üzerinde gösterilmiştir. Ancak burada kavramsal bir zorluk vardır: negatif yay ve sönümler gerçekte mevcut değildir. Pratikte heriki modelde yapı sistemi altında kullanılabilir ve tüm sistem uygun genel-amaçlı bilgisayar programlarıyla analiz edilebilir.

$C = \rho c A_0$ ve $C_9 = \rho c I_0$ değerleri z_0 tepe yüksekliğinden bağımsız hesaplanır ancak yay ifadelerinde $K = \rho c^2 A_0 / z_0$ ve $K_9 = 3 \rho c^2 I_0 / z_0$ koninin tepe yüksekliğine bağlı değişir.

Kayma deformasyonu yapan orijinal devrilme koni modelinin (Meek and Veletsos 1974) tersine burada sözü geçen devrilme koni modeli basınç ve çekme şeklinde deforme olmaktadır. Bu model $c_p/c_s \leq 2$ (poisson oranı $\nu \leq 1/3$) değerleri için çok daha kesin sonuç verir. Orijinal kayma konisi ise sıkıştırılamayan zemin durumlarında daha uygun sonuçlar vermektedir. $\nu = 1/2$ için devrilme konisinin yayılma sönümü şu şekli alır;

$$C_v = \frac{16}{9} \rho c_s r_0^4 \quad (2.10a)$$

Bu ifade devrilme basınç konisine eşitlenebilir

$$C_v = \rho c_p I_0 = \frac{\pi}{4} \rho c_p r_0^4 \quad (2.10b)$$

ve hız oranının yüksek limiti için çözülür

$$\frac{c_p}{c_s} \leq \frac{64}{9\pi} = 2.264 \quad (2.10c)$$

Basınç konisi ile çalışılırken dilatasyonel hız $c_p > 2.264$ değerleri kullanılamaz, aksi takdirde yayılma sönüm değerleri yüksek çıkacaktır. Bu durum devrilme konisinde gösterilmiştir ancak ötelenme konisi içinde geçerlidir.

Gazetas ve Dobry (1984) düşey ve devrilme hareketi yapan basınç konilerinde c_p yerine Lysmer hız değerrinin c_{La} kullanılmasını savunmaktadır.

$$c_{La} = \frac{3.4c_s}{\pi(1-\nu)} \quad (2.11)$$

Basınç durumu için ($\nu = 1/2$) $c_{La} = 2.165c_s$ değeri daha önce bahsedilen üst limit değeri $2.264c_s$ ile uyumludur. Ancak basınç konisi için c_p yerine c_{La} kullanılması önerilmez. Düşey ve devrilme hareketleri için kullanılan kesin denklemler ($\nu \leq 1/3$)

birim alandaki yayılma sönüm değerlerinin yüksek frekans limitinde ρc_p ifadesine yakınsadığını göstermektedir.

2.1.3 Fleksibilite formülasyonu

(2.7) ve (2.8) denklemlerinde deplasman ve dönmeler girdi, kuvvet ve momentler ise çıktı olarak gösterilmiştir. Fleksibilite denklemlerinde durum tam tersidir. Bilinen kuvvet ve moment değerleri girdi olarak, bilinmeyen deplasman ve dönme değerleri ise tepki olarak ele alınır.

Temel bir fleksibilite formülasyonunda aranan çözüm Dirac-delta impulsu etkisine (normalize kuvvet P_0/K veya normalize moment M_0/K) olan tepkidir (deplasman veya dönme). Dirac-impuls tepkisi genelde $h(t)$ sembolü ile gösterilir.

Dönme konisi için fleksibilite denklemleri sonuç deplasman ve dönme değerlerini h_1 ve h_2 tepki değerlerini içeren Duhamel integralleriyle ifade eder (h_1 ve h_2 ifadeleri).

$$t \geq 0 \text{ için } h_1(t) = \frac{c}{z_0} e^{-ct/z_0} \quad (2.12a)$$

$$t < 0 \text{ için } h_1(t) = 0 \quad (2.12b)$$

$$t \geq 0 \text{ için } h_2(t) = \frac{c}{z_0} e^{-1.5ct/z_0} \left(3 \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{ct}{z_0} - \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{ct}{z_0} \right) \quad (2.12c)$$

$$t < 0 \text{ için } h_2(t) = 0 \quad (2.12d)$$

(2.12) denklemlerindeki impals tepki fonksiyonlarının doğrulanması amacıyla Meek ve Wolf (1992) de kesin değerlerle karşılaştırmalı grafikler verilmiştir.

$$u_0(t) = h_1 \star \frac{P_0}{K} = \int_0^t h_1(t-\tau) \frac{P_0(\tau)}{K} d\tau \quad (2.13a)$$

$$\vartheta_0(t) = h_2 \star \frac{M_0}{K} = \int_0^t h_2(t-\tau) \frac{M_0(\tau)}{K_g} d\tau \quad (2.13b)$$

2.1.4 Duhamel integrallerinin rekürans bağıntılarıyla hesaplanması

Duhamel integral çözümü yerine daha uygun bir yaklaşım olarak rekürans formülleri kullanılabilir. Rekürans metodunda genel olarak $x_n = x(n\Delta t)$ eşit aralıklı değerlerle ifade edilen $x(t)$ zorlaması, yine $y_n = y(n\Delta t)$ eşit aralıklarıyla verilmiş $y(t)$ tepkisi dikkate alınarak $y = h \star x$ integral ifadesiyle ilişkilendirilir. Duhamel integrali 0 dan t anına kadar tüm zaman geçmişini dikkate alırken, koni için hesaplanan rekürans ifadesi anlık geçmişten az sayıda örneği içermektedir.

$$y_n = a_1 y_{n-1} + a_2 y_{n-2} + b_0 x_n + b_1 x_{n-1} + b_2 x_{n-2} \quad (2.14)$$

Bu yöntemin deprem gibi uzun süreli sarsıntılarda hesap kolaylığı sağladığı açıkça görülmektedir. a_1 ve a_2 sabitleri h_1 için şu şekildedir;

$$a_1 = e^{-c\Delta t/z_0} \quad (2.15a)$$

$$a_2 = 0 \quad (2.15b)$$

h_2 için ise;

$$a_1 = 2e^{-1.5c\Delta t/z_0} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c\Delta t}{z_0} \quad (2.15c)$$

$$a_2 = -e^{-3c\Delta t/z_0} \quad (2.15d)$$

b_0 , b_1 ve b_2 sabitlerinin hesaplanması ise:

Dirac impuls tepkisi $h(t)$ ile gösterilmiştir. Dirac impulsının ikinci integralide ramp fonksiyonudur.

$$t \geq 0 \text{ için } x(t) = t \quad (2.16a)$$

$$t < 0 \text{ için } x(t) = 0 \quad (2.16b)$$

sonuç olarak $s(t)$ ile gösterilen $h(t)$ nin ikinci integrali ramp fonksiyonuna tepkidir. Özel olarak $t \geq 0$ için,

$$s_1(t) = t - \frac{z_0}{c} (1 - e^{-ct/z_0}) \quad (2.17a)$$

$$s_2(t) = t - \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{z_0}{c} e^{-1.5ct/z_0} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{ct}{z_0} \quad (2.17b)$$

ve $t < 0$ için $s_1(t) = s_2(t) = 0$.

Ramp fonksiyonu örnekleri; $x_{-1}=x_0$; $x_1=\Delta t$; $x_2=2\Delta t$ ve $x_3=3\Delta t$. Bunlara karşılık gelen (2.17a) ve (2.17b) ile hesaplanan tepki değerleri ise; $y_{-1}=y_0=0$; $y_1=s(\Delta t)$; $y_2=s(2\Delta t)$; ve $y_3=s(3\Delta t)$.

$$y_n = a_1 y_{n-1} + a_2 y_{n-2} + b_0 x_n + b_1 x_{n-1} + b_2 x_{n-2} \quad (2.18)$$

$n = 1$ için hesaplandığında;

$$s(\Delta t) = b_0 \Delta t \quad (2.19a)$$

$n = 2$ için

$$s(2\Delta t) = a_1 s(\Delta t) + 2b_0 \Delta t + b_1 \Delta t \quad (2.19b)$$

$n = 3$ için

$$s(3\Delta t) = a_1 s(2\Delta t) + a_2 s(\Delta t) + 3b_0 \Delta t + 2b_1 \Delta t + b_2 \Delta t \quad (2.19c)$$

Bu üç eşitlik b_0 , b_1 ve b_2 için çözülebilir

$$b_0 = \frac{s(\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.20a)$$

$$b_1 = \frac{s(2\Delta t) - (2 + a_1)s(\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.20b)$$

$$b_2 = \frac{s(3\Delta t) - (2 + a_1)s(2\Delta t) + (1 + 2a_1 - a_2)s(\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.20c)$$

a_2 ve b_2 sabitlerinin herikiside benzer impals tepkisini içeren $h_1(t)$ için sıfırdır.

Rekürans algoritması $t = 0$ anındaki durağan başlangıç koşullarıyla başlar. Yakın geçmiş (2.12) denklemini $n = 1$ den başlatır, y_0 , y_{-1} , x_0 , x_{-1} değerlerinin hepsi sıfırdır, bu yüzden $y_1 = b_0 x_1$ dir.

(2.14) nolu denklemde gösterilen rekürans formülü yaklaşık bir numerik integrasyon değildir, sonuçlar kesindir. Burada bahsi geçen koni modellerinin yanısıra sonlu

sayıda yay, sönüm ve kütlelerle tanımlanabilen herhangi bir lineer sistem içinde kullanılabilir. Şekil 2.7 da gösterilenden daha karmaşık modeller için ek sabitler (a_n ve b_n , $n>2$) gereklidir. Bunlar, Wolf ve Motosoka (1989) ile Meek (1990) da gösterilen yöntemlerle hesaplanabilirler.

2.1.5 Örnek

Aşağıda tanımlı deplasman ve dönme eşitlikleriyle koni modelleri için recursion formülleri kullanılarak dikey ve devrilme hareketleri için tepki hesaplanışı gösterilebilir.

$$u_0 = u_{0\max} \frac{1 - \cos \frac{2\pi t}{T_0}}{2}, \quad 0 < t < T_0 \quad (2.21a)$$

$$\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}_{0\max} \frac{1 - \cos \frac{2\pi t}{T_0}}{2}, \quad 0 < t < T_0 \quad (2.21b)$$

bunlara karşılık gelen hız ise;

$$\dot{u}_0 = u_{0\max} \left(\frac{\pi}{T_0} \right) \sin \frac{2\pi t}{T_0} \quad (2.21c)$$

$$\dot{\mathcal{G}}_0 = \mathcal{G}_{0\max} \left(\frac{\pi}{T_0} \right) \sin \frac{2\pi t}{T_0} \quad (2.21d)$$

$\Delta t = T_0/8$ olarak alınmıştır. $\dot{u}_0 \Delta t$ (veya $\dot{\mathcal{G}}_0 \Delta t$) numerik değerleri Tablo 2.2 nin 3 ve 4 üncü kolonlarında listelenmiştir. Tablonun basitleşmesi için $u_{0\max}$ ve $\mathcal{G}_{0\max}$ değerleri dikkate alınmamıştır.

Etki süresi T_0 , r_0 ve c cinsinden ifade edilirse $4r_0/c$ olacaktır. Buna göre zaman artımı $\Delta t = 0.5r_0/c$ ve rekörans sabitlerini simgeleyen boyutsuz parametre $c\Delta t/z_0 = 0.5/(z_0/r_0)$ dir. Tablo 2.1 e göre uygun z_0/r_0 oranları sırasıyla; dikey hareket için 2.0944, devrilme için 2.3562 dir. Buna göre sırasıyla $c\Delta t/z_0 = 0.2387319$ ve 0.2122061 dir.

(2.5) nolu denklem tekrar düzenlenirse

$$\frac{P_0}{K} = u_0 + \frac{u_0 \Delta t}{\left(\frac{K}{C}\right) \Delta t} \quad (2.22)$$

$K = \rho c^2 A_0 / z_0$, $C = \rho c A_0$ ve $c \Delta t / z_0 = 0.2387319$ değerleri yerine konursa

$$\frac{P_0}{K} = u_0 + 4.1888 u_0 \Delta t \quad (2.23)$$

(2.23) sonuçları 5 nolu kolonda gösterilmiştir.

Uygun recursion sabitleri ilgili formüllerle hesaplanmıştır: $a_1 = 0.787626051$; $b_0 = 0.110408003$; $b_1 = 0.101965946$. Bu sabitler ve (2.12) nolu denklem kullanılarak 6. kolon oluşturulmuştur. Tipik bir değer şu şekilde hesaplanır:

$n = 3$ için

$$u_0 = 0.787626051 \cdot 0.4842 + 0.110408003 \cdot 2.0167 + 0.101965946 \cdot 2.1449 = 0.8228 \quad (2.24)$$

6. kolondaki sonuçlarla 3.kolondaki orijinal değerler birbirlerine son derece yakındır.

Devrilme hareketi için (2.5) nolu eşitlik tekrar düzenlenirse

$$\frac{M_0^s}{K_g} = g_0 + \frac{g_0 \Delta t}{\left(\frac{K_g}{C_g}\right) \Delta t} \quad (2.25)$$

yukarıdakine benzer işlemler devrilme hareketine uygun olarak değiştirilerek

$$\frac{M_0^s}{K_g} = g_0 + 1.5708 g_0 \Delta t \quad (2.26)$$

değerleri 7. kolonda gösterilmiştir.

Regular kısım ise şu şekildedir

$$\frac{M_0^r}{K_g} = h_1 \star (-1.5708 g_0 \Delta t) \quad (2.27)$$

dikey hareket konisinde yapılan işlemler devrilme konisi için uyarlanarak oluşturulan 7 ve 8 nolu kolonlar toplanarak M_0/K_9 değeri elde edilmiş ve 9. kolon oluşturulmuştur.

Tablo 2.2 Örnek 2.1.5 için tablo

n	t/T ₀	u ₀ veya g ₀	u ₀ Δt	P ₀ /K	u ₀ (6)	M _{0s} /K ₉	M _{0r} /K ₉	M ₀ /K ₉	g ₀
0	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	0,125	0,1464	0,2777	1,3096	0,1446	0,5826	-0,0432	0,5395	0,1493
2	0,250	0,5000	0,3927	2,1449	0,4842	1,1169	-0,1362	0,9807	0,4937
3	0,375	0,8536	0,2777	2,0167	0,8228	1,2897	-0,2102	1,0795	0,8370
4	0,500	1,0000	0,0000	1,0000	0,9641	1,0000	-0,2102	0,7898	0,9817
5	0,625	0,8536	-0,2777	-0,3096	0,8271	0,4174	-0,1269	0,2905	0,8448
6	0,750	0,5000	-0,3927	-1,1449	0,4935	-0,1169	-0,0013	-0,1182	0,5076
7	0,875	0,1464	-0,2777	-1,0167	0,1597	-0,2897	0,0990	-0,1908	0,1679
8	1,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0221	0,0000	0,1203	0,1203	0,0247
9	1,125	0,1464	0,0000	0,0000	0,0174	0,0000	0,0973	0,0973	0,0124
10	1,250	0,5000	0,0000	0,0000	0,0137	0,0000	0,0787	0,0787	0,0047
11	1,375	0,8536	0,0000	0,0000	0,0108	0,0000	0,0636	0,0636	0,0001
12	1,500	1,0000	0,0000	0,0000	0,0085	0,0000	0,0515	0,0515	-0,0023
13	1,625	0,8536	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0416	0,0416	-0,0033
14	1,750	0,5000	0,0000	0,0000	0,0053	0,0000	0,0337	0,0337	-0,0036
15	1,875	0,1464	0,0000	0,0000	0,0042	0,0000	0,0272	0,0272	-0,0033
16	2,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033	0,0000	0,0220	0,0220	-0,0029

2.2 Gömülü Temelerde Çift Koni Modeli

Şekil 2.7 de olduğu gibi; r_0 yarıçaplı bir diskin yarı sonsuz ortam yüzeyine oturtulması yerine sonsuz bir ortama gömüldüğünü kabul edelim. Bu durum Şekil 1 ile aynı z_0/r_0 oranı kullanılarak, çift koni modeliyle yaklaşık olarak tanımlanabilir. Simetriden dolayı, P_0 kuvvetinin yarısı çekme (üst koni), yarısı basınç (alt koni) ile karşılanabilir. Başka bir deyişle; yüzey konisinin rijitliği iki katına çıkar. (2) nolu denklemin çift koni modeline uygulanmış şeklinde α (veya α_9) rijitlik çarpanları 2.0 değerini alır. Boyutsuz yay ve sönüm katsayıları k (veya k_9) ve c (veya c_9) aynı kalır.

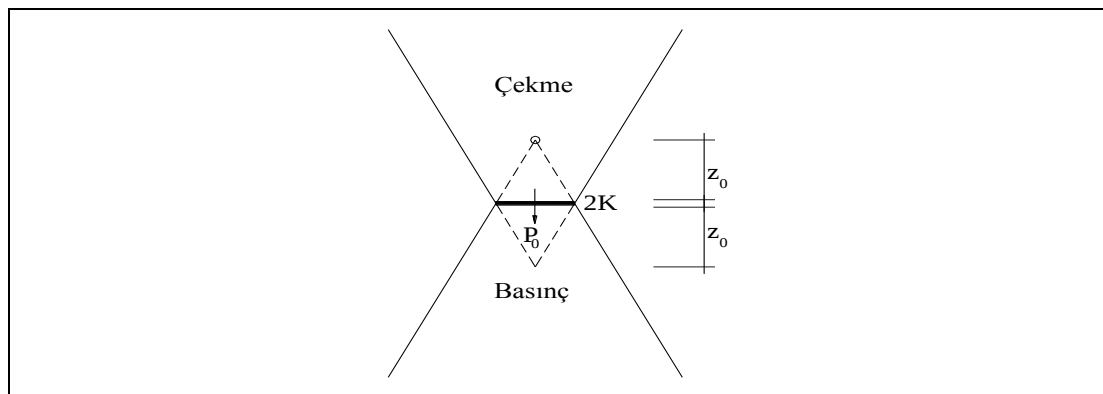
Tüm kuvvet ve tepki değerlerinin zamanla harmonik olarak değiştiğinden gömülü temel analizlerini frekans alanında yapmak daha kolaydır. Hareketin dairesel frekansı ω (rad/s.), $i = \sqrt{-1}$ olmak üzere $P_0 = P_0(\omega).e^{i\omega t}$, örnek olarak gösterilebilir. İşaretlerde kolaylık için, zaman değişimi $e^{i\omega t}$ genellikle gösterilmez ve $P_0(\omega)$ karmaşık değerli bir büyüklük olarak anlaşılır.

Harmonik hareket yapan gömülü temelin dinamik rijitlik katsayısı, yüzeysel diskin statik rijitliği (K veya K_9) ve boyutsuz frekans parametresi $a_0 = \omega r_0 / c_s$ terimleri cinsinden şu standart formda ifade edilebilir:

$$S(\omega) = P_0/u_0 = \alpha K [k(a_0) + ia_0 c(a_0)] \quad (\text{ötelenme için}) \quad (2.28)$$

$$S(\omega) = M_0/\theta_0 = \alpha_9 K_9 [k_9(a_0) + ia_0 c_9(a_0)] \quad (\text{dönme için}) \quad (2.29)$$

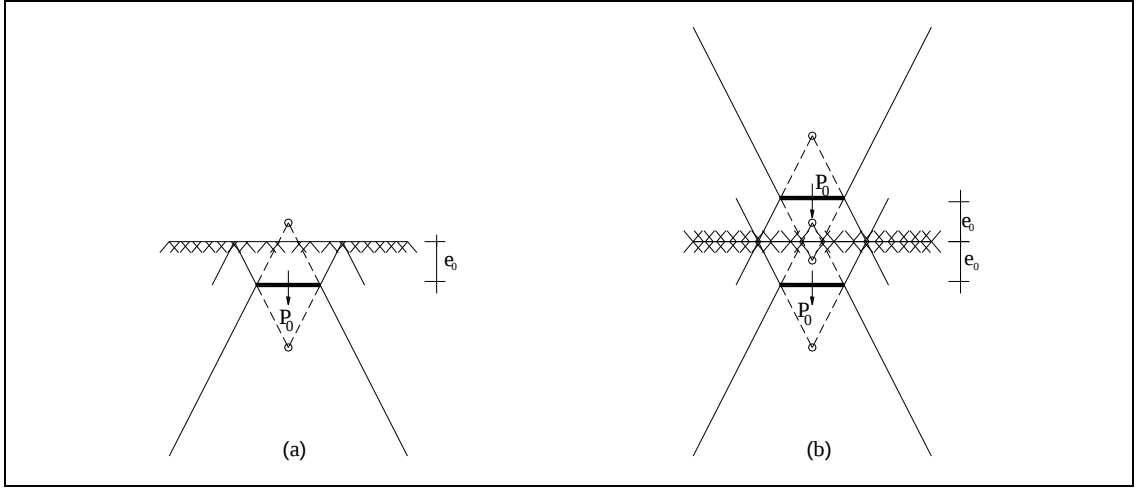
α (veya α_9) çarpanları, gömülü temelin yüzeysel temele göre ne kadar rijit olduğunu göstermektedir (statik durum). k (veya k_9) ve c (veya c_9) fonksiyonları, a_0 frekans parametresine bağlı boyutsuz yay ve sönüm katsayılarıdır.



Şekil 2.8 Çift-koni modeli

2.2.1 Gömülü disk ve simetri yöntemi

Şekil 2.9(a), elastik yarı sonsuz ortam (elastik yarı uzay) yüzeyinde e sonlu mesafesi kadar gömülü rijit bir disk göstermektedir. Bu durumun hassas analizi son derece karışık üç boyutlu elastodinamik bir problemdir. Buna rağmen bir boyutlu çift koni yöntemiyle hassas bir yaklaşık çözüm bulmak kolaydır. Anafikir Şekil 2.9(b) de görülen simetriyi kullanmaktır. Sonsuz ortamda, aralarında $2e$ mesafesi olan ve aynı $P_0(t)$ kuvvetiyle aynı anda hareket ettirilmiş, iki aynı çift koni gözönüne alınmaktadır. Alt diskten yukarı yayılan çekme dalgaları, üst diskten aşağı yayılan basınç dalgalarıyla aynı anda orta düzleme ulaşır. Gerilmeler, Şekil 2.9(a) da deyinilen zemin yüzeyindeki gerilmesiz sınır koşulunu sağlayarak, orta düzlemde yok olurlar. Orta düzlem, devrilme, dönme ve yatay hareketler içinde gerilmesizdir.



Şekil 2.9 Koni modelleri: (a)Gömülü disk (b) Disk ve ayna-görüntüsü simetri kavramı

2.2.2 Yarı sonsuz ortamda gömülü temel

Şekil 2.10, e derinliğinde, r_0 yarıçapında silindirik bir zemin bölgesini göstermektedir. Daha sonra kazılarak çıkarılacak olan ρ kutle yoğunluğundaki zemin, kalınlığı Δe olan $N-1$ katmana bölünmüş N rijit disk içerdiği gösterilmiştir. Bu yarı sonsuz ortam problemini sonsuz ortam olarak formüle edebilmek için ek olarak N tane aynalanmış disk görüntüsü tanımlanmıştır. Her disk ve aynalanmış görüntüsüne aynı P_i kuvveti uygulanmış ve böylelikle aynı u_i ($i=1,2,\dots,N$) deplasmanları yaptırılmıştır. Bu durum orta düzlemin gerilmesiz kalmasını sağlamaktadır.

N elemanlı $\mathbf{u}$ deplasman vektörü, N elemanlı $\mathbf{P}$ kuvvet vektörü ile $N \times N$ elemanlı $\mathbf{G}$ fleksibilite matrisiyle ilişkilendir.

$$\mathbf{u} = \mathbf{G}\mathbf{P} \quad (2.30a)$$

Eğer deplasman ve kuvvet büyüklükleri yerine, moment ve dönme büyüklükleri gözönüne alınırsa benzer bir fleksibilite ilişkisi ortaya çıkar;

$$\mathbf{\vartheta} = \mathbf{G}_{\vartheta}\mathbf{M} \quad (2.30b)$$

Koni modellerinin önemli bir özelliği; disk hareketinin dört bileşeninin (yatay ötelenme, düşey ötelenme, dönme ve devrilme) birbirinden bağımsız olmasıdır. $N \times N$ elemanlı $\mathbf{G}_H$, $\mathbf{G}_V$, $\mathbf{G}_{\vartheta T}$ ve $\mathbf{G}_{\vartheta R}$ matrisleri çift oluşturmazlar ve ayrı düşünülmelidirler.

2.2.3 Dinamik-fleksibilite matrisi

Fleksibilite matrisinin tipik g_{ij} katsayısı, j inci disk ve onun aynalanmış görüntüsüne (kaynak) uygulanan P_j birim harmonik kuvvetten dolayı i ninci diskte (alıcı) meydana gelen deplasmanı simgeler. Şekil 2.10 da görüldüğü gibi alıcı disk, kaynak çiftinin arasında veya ikisininde altında yer alabilir. Her iki örnekte de alıcı disk ile iki kaynak disklerinin arasındaki mesafe aynı formülle verilir.

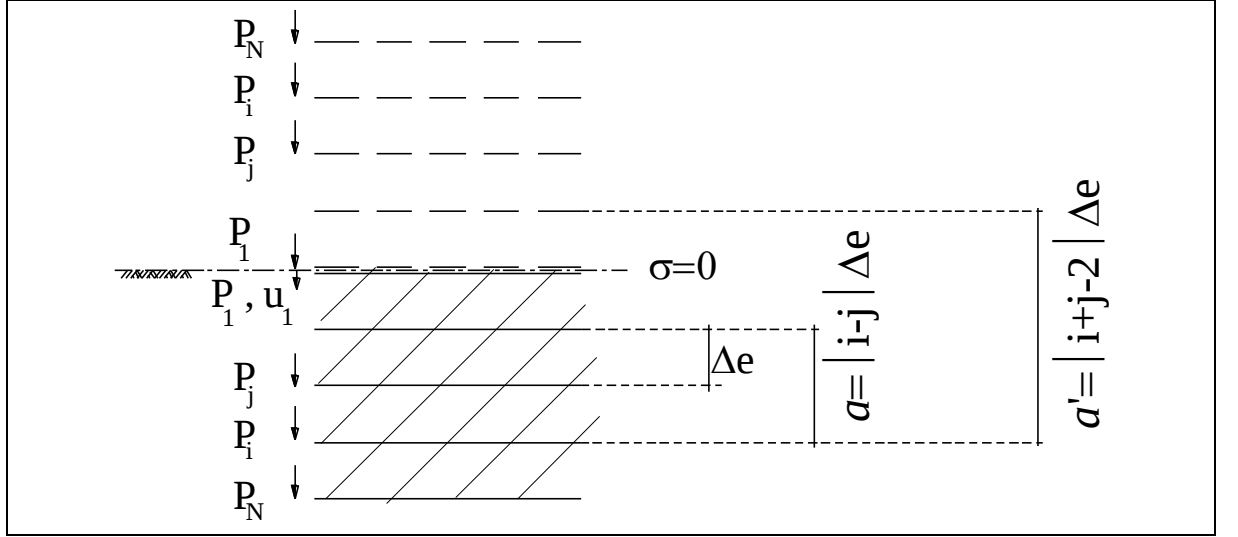
$$a = |i - j| \Delta e \quad (2.31a)$$

$$a = (i + j - 2) \Delta e \quad (2.31b)$$

(2.31a) daki mutlak değer işareti mesafenin her zaman pozitif değer olduğunu göstermektedir. Ek1 de, alıcı diske a kadar mesafedeki bir kaynak diskine etkileyen birim harmonik kuvvetten dolayı çift koni modelindeki deplasman olarak tanımlanan, frekans alanındaki Green fonksiyonları $g(a, \omega)$ verilmiştir. Kaynak ve aynalanmış kaynak etkilerinin toplanması şu ifadeyi oluşturur;

$$g_{ij} = g(a, \omega) + g'(a, \omega) \quad (2.32)$$

[Ek1 ayrıca dönme hareketi Green's fonksiyonlarını $g_{\vartheta}(a, \omega)$ kapsamaktadır]. Denklem (2.32) ile oluşturulan g_{ij} elemanlı $\mathbf{G}$ fleksibilite matrisi simetriktir.



Şekil 2.10 Gömülü silindirik zemin alanının disk ve ayna disklerle uzaysal ayırımı

2.2.4 Matris metotlar

G fleksibilite matrisinin tersi alınarak (2.30a) **P** için çözülür;

$$\mathbf{P} = \mathbf{S}_{bb}^f \mathbf{u} \quad (2.33)$$

$\mathbf{S}_{bb}^f = \mathbf{G}^{-1}$ serbest alanın (kazıdan önceki örselenmemiş zemin) rijitliğini göstermektedir. Semboller Wolf (1985) yayınına uygun seçilmiştir.

Kazıdan önce örselenmemiş zeminde, **u** deplasman vektörünün bileşenleri birbirinden bağımsızdır. Buna karşılık gömülü temelde, serbestlik derecesi sayısı vektörel olarak **u**₀ ile gösterilen, izin verilen rijit-gövde hareket bileşeni sayısıyla sınırlıdır. Gömülü bir temel için **u**₀ deplasman elemanlarını temelin merkez noktasında seçmek uygundur. Disklerin **u** deplasmanları rijit-gövde hareketi **u**₀ ile kinematik-sınır matrisi **A** ilişkilendirilir;

$$\mathbf{u} = \mathbf{A} \mathbf{u}_0 \quad (2.34)$$

virtuel iş prensibi **u**₀ ile ilişkili **Q**₀ kuvvet vektörünün varlığını belirtmektedir ;

$$\mathbf{Q}_0 = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \quad (2.35)$$

(2.33), (2.34) ve (2.35) in kombinasyonu şu şekilde sonuçlanır;

$$\mathbf{Q}_0 = \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb}^f \mathbf{A} \mathbf{u}_0 \quad (2.36)$$

(2.36) daki üçlü matris çarpımı, şekil 2 deki taralı hacmin dinamik rijitliğini simgelemektedir. Diskler ve aralarındaki zemin, rijit-gövde hareketi gösterecek şekilde sınırlandırılmıştır. Bu yüzden (2.36) dan ρ yoğunluğundaki rijit içeriğin kütle, ivme çarpımı çıkartılarak zemin analitik olarak kazılır. Sonrasında modifiye kuvvet vektörü $\mathbf{P}_0$ şu sekli alır:

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb}^f \mathbf{A} \mathbf{u}_0 - \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_0 \quad (2.37)$$

burada $\mathbf{M}$ = ivme vektörü ($\ddot{\mathbf{u}}_0$) ne karşılık gelen rijit-gövde kütle matrisidir. Harmonik hareket için $\ddot{\mathbf{u}}_0 = -\omega^2 \mathbf{u}_0$ dir; bu ifadenin (2.38) da kullanılması şu sonucu doğurur:

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{S}_{00}^g \mathbf{u}_0 \quad (2.39)$$

$\mathbf{S}_{00}^g$ = rijit gömülü kütesiz temelin istenen rijitlik matrisi hesaplanışı;

$$\mathbf{S}_{00}^g = \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb}^f \mathbf{A} + \omega^2 \mathbf{M} \quad (2.40)$$

2.2.5 Dinamik-rijitlik katsayısı

Dinamik rijitlik matrisi $\mathbf{S}_{00}^g$ diagonaldir; hareketin yatay ve devrilme bileşenleri çift oluşturur. Çeşitli dinamik rijitlik katsayılarını ayrı hesaplamak avantajlıdır. Bu yapılırsa $\mathbf{A}$ kinematik matrisi bir vektöre dönüşür. Bu vektör birlerden oluşan bir kolonu, $\mathbf{1}$ veya $\mathbf{e}$ vektörlerini kapsayabilir.

$$\mathbf{e} = \begin{Bmatrix} e \\ e - \Delta e \\ e - 2\Delta e \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta e \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.41)$$

$\mathbf{1}$ vektörü disklerdeki sabit ötelenme veya dönmeyi göstermektedir, $\mathbf{e}$ vektöründe temel çevresi etrafındaki rijit-gövde dönmesine karşılık gelmektedir. Bunlar kullanılarak çeşitli rijitlik katsayıları şöyle ifade edilir

$$S_{HH} = \mathbf{1}^T S_{bbH}^f \mathbf{1} + \omega^2 m \quad (2.42a)$$

$$S_{VV} = \mathbf{1}^T S_{bbV}^f \mathbf{1} + \omega^2 m \quad (2.42b)$$

$$S_{TT} = \mathbf{1}^T S_{bbT}^f \mathbf{1} + \frac{\omega^2 m r_0^2}{2} \quad (2.42c)$$

$$S_{RR} = e^T S_{bbH}^f e + \frac{\omega^2 m e^2}{3} + \mathbf{1}^T S_{bbR}^f \mathbf{1} + \frac{\omega^2 m r_0^2}{4} \quad (2.42d)$$

$$S_{HR} = S_{RH} = e^T S_{bbH}^f \mathbf{1} + \frac{\omega^2 m e^2}{2} \quad (2.42e)$$

Çeşitli atalet değerleri $m = A_0 \rho$ kazılmış zemin silindiri kütlesini kapsar.

Dönel rijitlik S_{RR} (2.42d) nin iki ayrı katkı içerdiği gözlenebilir. Temel merkezi çevresindeki rijit-gövde dönmesi; disklerin dönmesiz, üçgen şekilli ötelenmesi ile ($\mathbf{e}$ vektörü), disklerin ötelenmesiz sabit dönmesinin ($\mathbf{1}$ vektörü) toplanması olarak görülebilir.

2.2.6 Efektif temel hareketi

Kesme dalgalarının $e^{i\omega t}$ harmonik zaman değişimiyle yarı-sonsuz ortamda yukarı yayıldığını kabul edilmiştir. Kazı veya dolgunun olmadığı örselenmemiş zeminde kesme dalgaları zemin yüzeyinden yansıtılacak ve bir kalıcı dalga gözlenecektir. Bu serbest alan hareketinin büyüklüğü z derinliği ile değişir (yüzeyden aşağı doğru ölçülür).

$$u = u^f \cos \frac{\omega^2 z}{c_s} \quad (2.43)$$

Söz konusu bölgedeki gömülü temelde $\mathbf{u}^f$ vektörü şekil 2.10 daki disklerin bulunduğu bölgelerde (2.43) nolu eşitlik yardımıyla oluşturulabilir. Adım adım gidilerek devam eden serbest alan hareketine rağmen gömülü temel inşa edilebilir. Önce, kazılacak zemin $-\mathbf{u}^f$ deplasmanı yaptıran fiktif yatay kuvvetler uygulanarak serbest konuma getirilmelidir. (2.33) nolu eşitliğe göre serbest kuvvetler şu şekildedir;

$$\mathbf{P}^f = - S_{bbH}^f \mathbf{u}^f \quad (2.44)$$

Bu kuvvetler uygulanırken zemin kazılıp çıkarılabilir. Silindirik bölge dengede olduğu için, zeminle dolu olması, kazı sonrası boş olması veya kütsüz gömülü temelin yapılmasından sonra rijit sınırlanmış olması koşullarından etkilenmeyerek hiçbir atalet kuvveti göstermeyecektir. Sonuç olarak; $\mathbf{P}^f$ vektörü inşaat süresince değişmeden kalacaktır.

Gömülü temel bir kere rijitliğe ulaştıktan sonra diskleri tutmaya gerek kalmayacaktır. Temel kesmesi ve momentini hesaplamak için $\mathbf{A}^T$ matrisi kullanılarak hesaplanan temel reaksiyonları uygulanır.

$$\mathbf{P}_0^f = \mathbf{A}^T \mathbf{P}^f = -\mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bbH}^f \mathbf{u}^f \quad (2.45)$$

Son olarak $\mathbf{P}_0^f$ fonksiyonları yok edilerek temel serbest bırakılabilir. $\mathbf{P}_0^f$ ifadesinin çıkartılışı istenen efektif temel hareketini verir. Bu hareket; serbest alan hareketi dalgalarının rijit gömülü temele çarpmasıyla oluşan dalga ve serbest alan hareketinin toplamı olarak tanımlanır. (2.39) in ters çevrilmesiyle şu ifade elde edilir;

$$\mathbf{u}_0^g = -\mathbf{S}_{00}^{g-1} \mathbf{P}_0^f = +\mathbf{S}_{00}^g \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bbH}^f \mathbf{u}^f \quad (2.46)$$

Burada $\mathbf{u}^f$ N -elemanlı bir vektör, $\mathbf{S}_{bbH}^f$ $N \times N$ lik bir matristir. $\mathbf{A}^T$ ve $\mathbf{S}_{00}^g$ şu şekildedir;

$$\mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ e & e - \Delta e & \dots & \Delta e & 0 \end{bmatrix} \quad (2.47a)$$

$$\mathbf{S}_{00}^g = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HR} \\ S_{HR} & S_{RR} \end{bmatrix} \quad (2.47b)$$

(2.46) nın elde edilışine alternatif bir yöntem Wolf (1985 s.25) yayınında verilmiştir.

Efektif temel hareketi kütsüz rijit gömülü temelin yerel hareketidir. Global kabul edilen serbest alan dalgalarından farklıdır. Serbest alan hareketi tamamen yatay olmasına karşın efektif temel hareketi sadece öteleme u_0^g hareketini değil dönmeyide θ_0 kapsar.

2.2.7 Zaman tanım alanında formülasyon

Serbest alan hareketinin katkısı kısaltma amacıyla ihmal edilmiştir. Ancak bunun katkısı zaman tanım alanında frekans alanında olduğu gibi kolaylıkla dahil edilebilir.

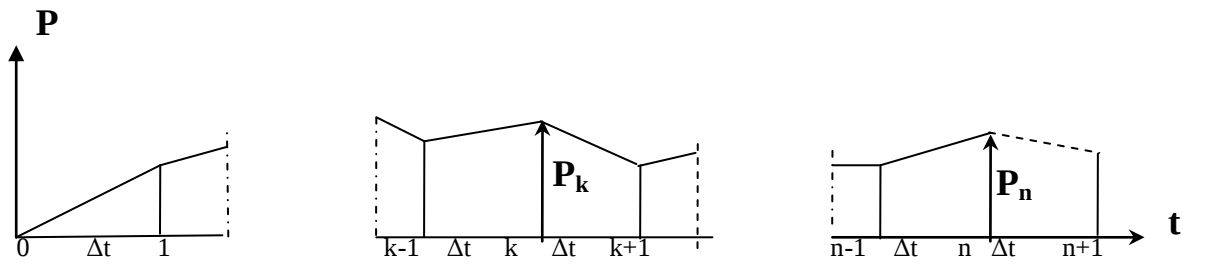
N-adet disk ve ayna-görüntüsü için frekans tanım alanında (2.30a) daki matris çarpımıyla ifade edilen dinamik fleksibilite ilişkisi zaman tanım alanında şu şekilde gösterilir;

$$\mathbf{u}(t) = \int_0^t \mathbf{G}(t - \tau) \mathbf{P}(\tau) d\tau \quad (2.48)$$

G matrisi Ek1 de gösterilen zaman alanındaki Green's fonksiyonlarından oluşturulur. Tipik fleksibilite katsayısı $g_{ij}(t)$, $t = 0$ anındaki biri kaynağa (mesafe $a = |i - j| \Delta e$) diğeri ayna-kaynağa [mesafe $a = (i + j - 2) \Delta e$] olmak üzere j inci disk çiftine etkileyen birim kuvvetlerden dolayı t anında i diskinde meydana gelen deplasmanın zamanla değişimini göstermektedir.

$\mathbf{P}(\tau)$ zorlama vektörü, $k\Delta t$ zaman aralıklarındaki $\mathbf{P}_k$ değerleriyle ifade edilir. Bu örnekler arasında kuvvet fonksiyonu Şekil 2.11 de olduğu gibi enterpole edilir. Zamansal ayırım, integrali, toplama ifadesine indirger.

$$\mathbf{u}_n = \sum_{k=1}^n \mathbf{G}_{n-k} \mathbf{P}_k \quad (2.49a)$$



Şekil 2.11 Disklere etkileyen kaynak kuvvetlerinin zamansal ayırımı

$$\mathbf{u}_n = \sum_{k=1}^{n-1} \mathbf{G}_{n-k} \mathbf{P}_k + \mathbf{G}_0 \mathbf{P}_n \quad (2.49b)$$

n zamanında $\mathbf{P}_k$ vektörü k dan $n - 1$ ekadar tanımlanmıştır. (2.49b) deki ilk terim bilinen bir deplasman vektörüdür.

$$\mathbf{u}_n = \sum_{k=1}^{n-1} \mathbf{G}_{n-k} \mathbf{P}_k \quad (2.50)$$

Devam eden harekette n nin büyük değerleri için $\ddot{\mathbf{u}}_n$ değerinin (2.50) ile hesaplanması uygun değildir. Deplasmanları spesifik bir zaman anında, aynı andaki kuvvetlerin ve iki andan daha fazla olmayan bir zaman anı öncesindeki kuvvet ve deplasmanların lineer kombinasyonu olarak tanımlayan recursion formülünü kullanmak çok daha akıllıca bir yaklaşımdır.

(2.49b) ye dönersek, $\mathbf{G}_0$ matrisi sadece $n - 1$ den n ekadar olan n inci zaman adımıdaki kuvvetlerin katkısının gözönünde tutulduğu serbest-alan anlık fleksibilitesini göstermektedir (ve şekil 2.11 de çizgilerle gösterilen n den $n + 1$ ekadar olan zaman adımını kapsamamaktadır). Matrisin terside serbest alanın anlık dinamik rijitliğini $\mathbf{S}_{bb0}^f = \mathbf{G}_0^{-1}$ verir, buda (2.49b) ve (2.50) nin bilinmeyen $\mathbf{P}_n$ kuvvetlerinin çözümü için kullanılabilir.

$$\mathbf{P}_n = \mathbf{S}_{bb0}^f \mathbf{u}_n - \mathbf{S}_{bb0}^f \ddot{\mathbf{u}}_n \quad (2.51)$$

Sonuçta (2.34) ve (2.35) de ifade edilen rijit gövde sınırlarından, (2.37) denkleminin zaman tanım alanındaki şekli elde edilir.

$$\mathbf{P}_{0n} = \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb0}^f \mathbf{A} \mathbf{u}_{0n} - \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb0}^f \ddot{\mathbf{u}}_{0n} - \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_{0n} \quad (2.52)$$

2.2.8 Zaman integrasyonu

Zaman integrasyonu β ve γ parametreleriyle Newmark metoduna göre oluşturulur.

$$\mathbf{u}_{0n} = \mathbf{u}_{0n-1} + \Delta t \dot{\mathbf{u}}_{0n-1} + (0.5 - \beta) \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_{0n-1} + \beta \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_{0n} \quad (2.53a)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_{0n} = \dot{\mathbf{u}}_{0n-1} + (1 - \gamma) \Delta t \ddot{\mathbf{u}}_{0n-1} + \gamma \Delta t \ddot{\mathbf{u}}_{0n} \quad (2.53b)$$

(2.53a) ifadesini $\ddot{\mathbf{u}}_{0n}$ için çözüp (2.52) denklemine eklenerek $\mathbf{u}_{0n}$ için şu eşitlik sistemi oluşturulur.

$$\left(\mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb0}^f \mathbf{A} - \frac{1}{\beta \Delta t^2} \mathbf{M} \right) \mathbf{u}_{0n} = \mathbf{P}_{0n} + \mathbf{A}^T \mathbf{S}_{bb0}^f \mathbf{u}_n + \mathbf{M} \left(-\frac{1}{\beta \Delta t^2} \mathbf{u}_{0n-1} - \frac{1}{\beta \Delta t^2} \dot{\mathbf{u}}_{0n-1} - \frac{0.5 - \beta}{\beta} \ddot{\mathbf{u}}_{0n-1} \right) \quad (2.54)$$

Bu farklı eşitlik sadece gömülü temellerde uygulanır (rijit kütlesiz kazı). Özellikle küçük Δt için, kazılan zeminin kütlesi **M** (sol taraftaki eksi işaretinden dolayı) sabit-ivme metodu için $\gamma = 0.5$ ve $\beta = 0.25$ katsayılarıyla dengesiz bir algoritma oluşturacaktır. Tek başına gömülü temel analizindeki bu dengesizliği engellemek için, sönüm tanımlayan daha büyük bir γ gerekir. Pratikte karşılaşıldığı gibi; eğer bir yapı kendi kütlesi ve rijitliğiyle temelle beraber analiz ediliyorsa standart sabit ivme yöntemi kullanılabilir.

2.2.9 Örnek

2.2.9.1 Parametreler

Burada sunulan sonuçlar frekans parametresi $a_0 = 4$ ekadar olan değerleri için hesaplanmıştır. Dilim kalınlığı Δe nin dik yayılan dalgaların küçük dalga boyuna ulaşmaması için hesaplarda $N = 8$ adet disk kullanılmıştır.

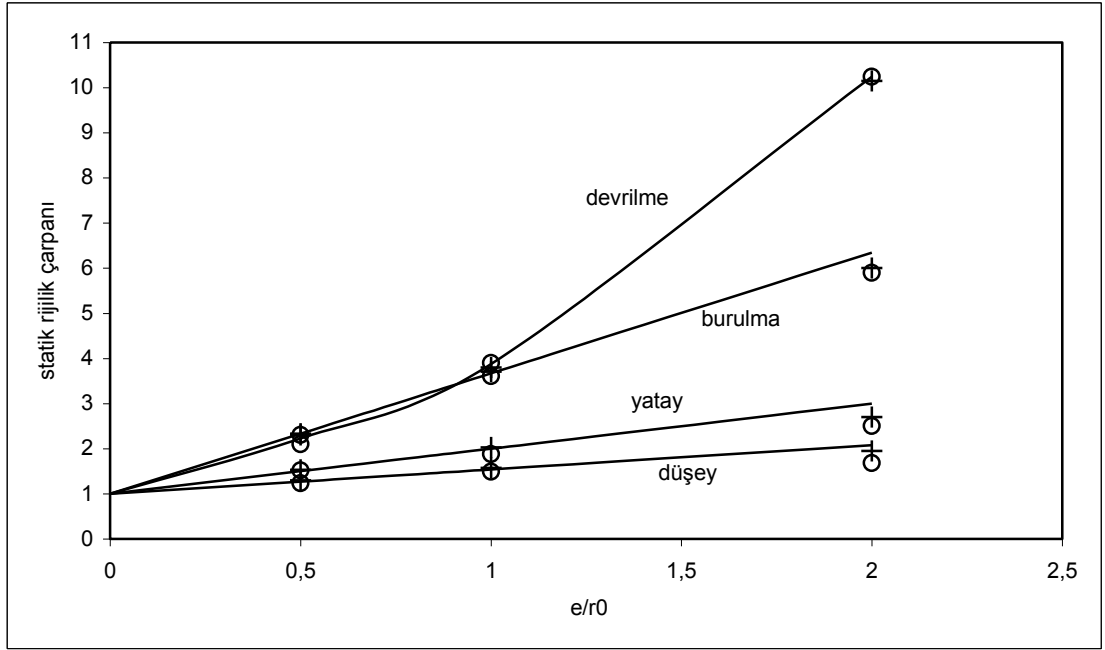
$$\frac{c2\pi}{\omega} = \frac{2\pi_0 c}{c_s a_0} = 6\Delta e = \frac{6e}{N-1} \quad (2.55)$$

Bu çalışmada sunulan tüm sayısal sonuçlar $c_p/c_s = \sqrt{3}$ için (Poisson oranı=1/4) $z_0/r_0=0.6872$ (yatay hareket), $z_0/r_0=1.7671$ (dikey hareket), $z_0/r_0=0.8836$ (dönme), $z_0/r_0=1.9880$ (devrilme) değerlerine göre hesaplanmıştır.

Hesaplanan Green fonksiyonlarına örnek Ek 2 de verilmiştir.

2.2.9.2 Dinamik rijitlik katsayısı

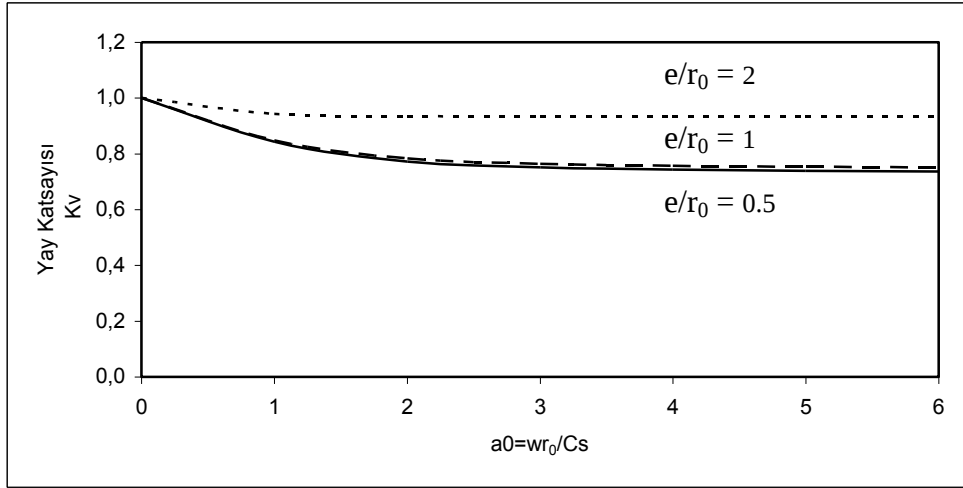
Şekil 2.12 gömülü temeller için koni modeliyle hesaplanan statik-rijitlik çarpanları α (veya α_9) nin Apsel ve Luco (1987) tarafından hassas yöntemlerle hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmasını göstermektedir (koni modeli için çember, Apsel ve Luco için + işaretleri kullanılmıştır). Kesik çizgili eğriler Pais ve Kausel (1988) tarafından önerilen ampirik formüllere karşılık gelmektedir. Koni modelinin hassasiyeti özellikle en karmaşık hareket olan devrilme dahil tüm hareket bileşenleri için mükemmeldir.



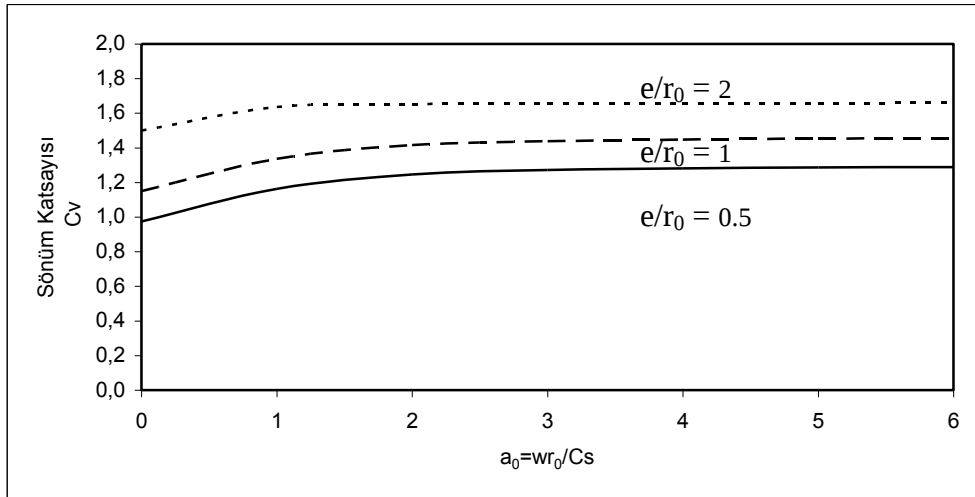
Şekil 2.12 Gömülü temeller için statik rijitlik katsayıları

Yay ve sönüm katsayıları k ve c nin boyutsuz frekansa bağlı değişimi Şekil 2.13-2.16 de verilmiştir. Apsel ve Luco'nun sonuçlarından sapmalar (burada gömülme oranı $e/r_0 = 1$ için verilmiştir ancak diğer oranlar içinde karşılaştırılabilir) genel olarak %10 un altındadır (Wolf, 1994).

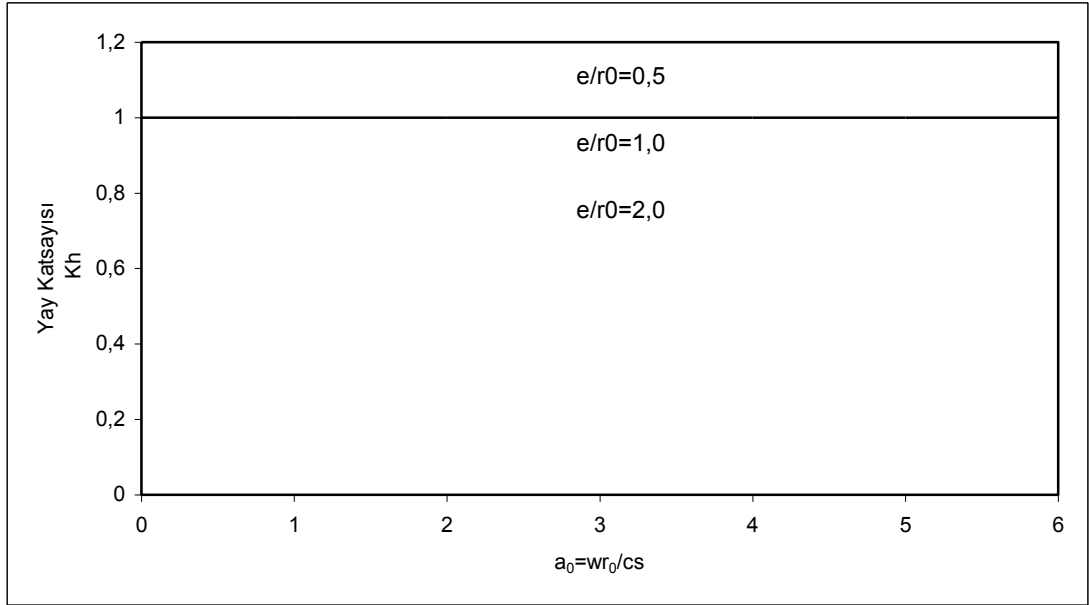
Zaman tanım alanında kalıcı harmonik tepki; geçici başlangıç hareketinin yok oluşundan sonra temeli birçok sinuziodal harekete maruz bırakarak hesaplanabilir. Direk olarak zaman alanına bağlı olan sonuçlar Şekil 2.13-16 da gösterilmiştir. Statik limitte ($a_0 \rightarrow 0$) $\gamma = 0.5$ seçilebilirken sayısal sönüm dinamik durumda tanımlanmalıdır ($0 < a_0 \leq 2$; $\gamma = 0.65$; $2 < a_0 \leq 4$; $\gamma = 0.75$). β parametresi her durumda $0.25(\gamma + 0.5)^2$ olarak belirlenir. Karşılaştırma doğruluğu için, geçici analizler zemin silindirini kazıp çıkarmadanda yapılmalıdır (serbest alan durumu) [$\mathbf{M} = 0$ alarak (2.52) nin $\mathbf{u}_{0n}$ için direk çözümü]. Karşı gelen dinamik-rijitlik katsayısı belirlendikten sonra, kazılan kısmın etkisi $-\omega^2 \mathbf{M}$ ifadesi çıkarılarak hesaba katılır. Bu sonuçlar, gömülü sistemin geçici analizlerine nazaran özellikle yüksek frekans değerleri için daha hassastır (Wolf, 1994). Deprem gibi herhangi bir geçici salınım, harmonikler hareketlerin toplamı şeklinde gösterilebileceğinden, harmonik salınıma olan tepkinin zaman tanım alanında hassasiyetle hesaplanabileceği gerçeği, zaman tanım alanı yaklaşımının uygulanabilirliğini doğrulamaktadır.



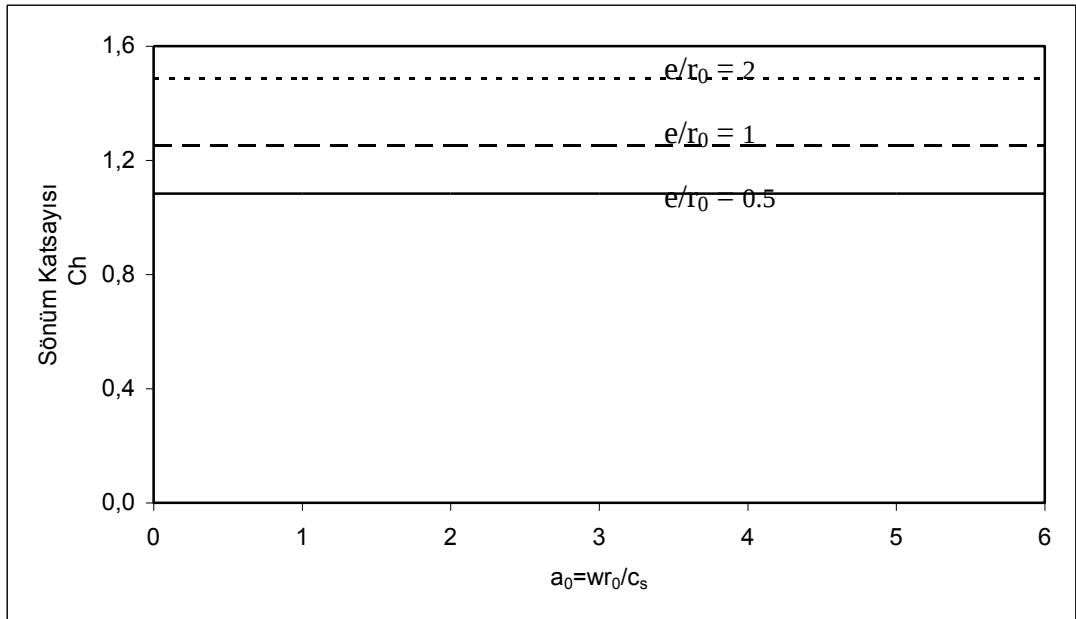
Şekil 2.13a Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları(yay): düşey



Şekil 2.13b Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): düşey

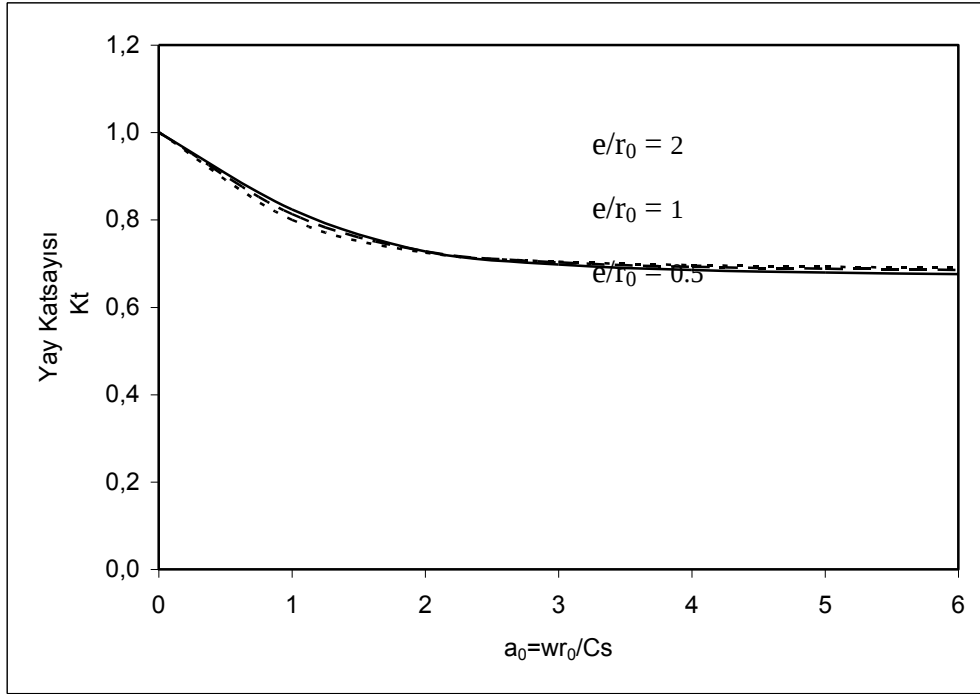


Şekil 2.14a Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): yatay

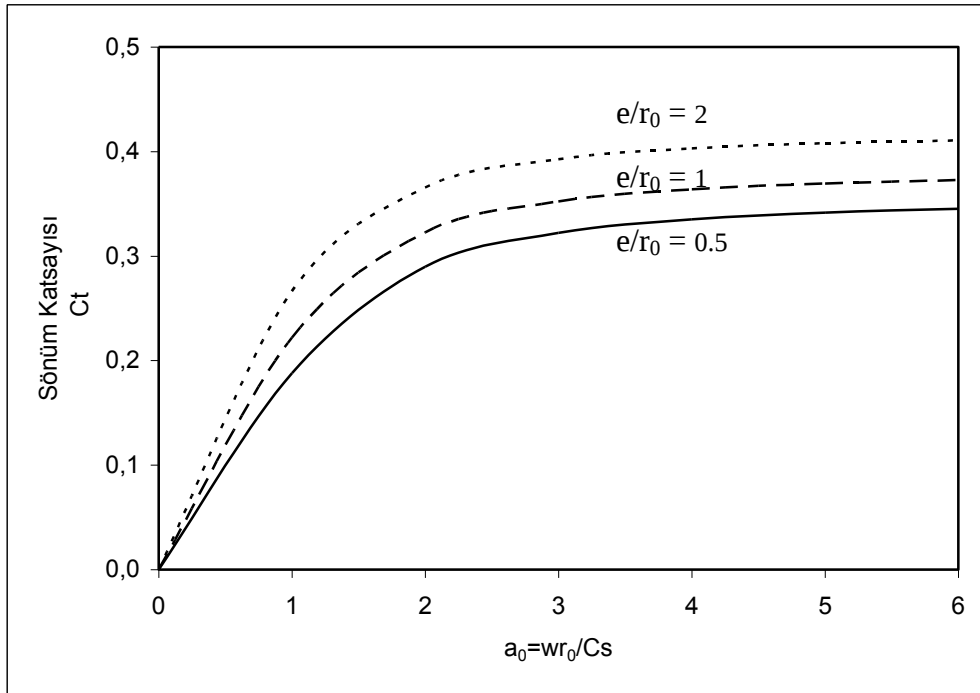


Şekil 2.14b Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): yatay

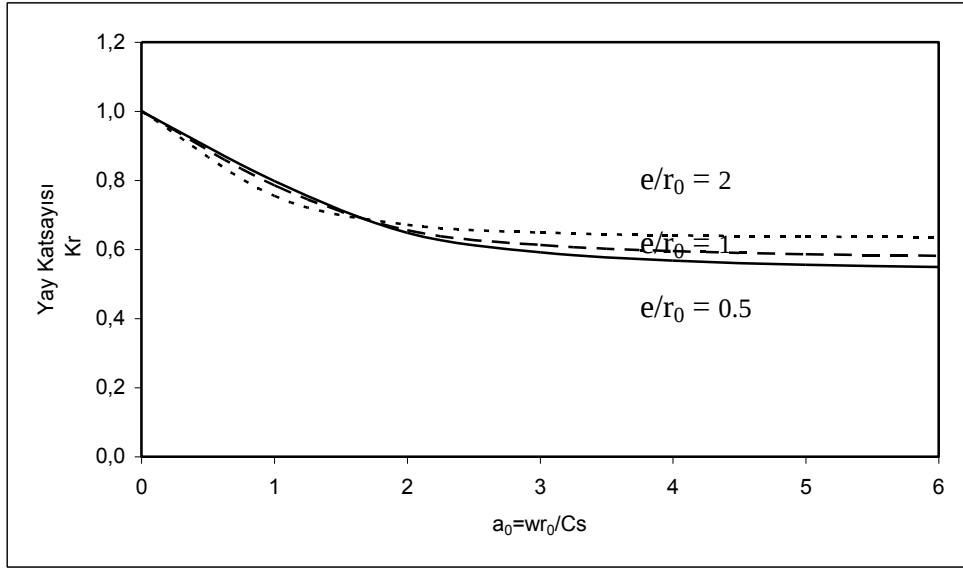
Büyük şekil değiştirme değerlerinde, gerçek zemin lineer elastik davranışı oluşmayacaktır. Nonlineerite, malzeme sönümü tanımlanmasıyla belirlenebilir. Bunu elde etmek için şekil 2.13-2.16 denklemlerinin tekrar hesaplanmasına gerek yoktur. Bunun yerine bu eğriler “benzetme prensibi” ne göre modifiye edilir. Bu prensip reel değerli c yayılma hızının, c^* karmaşık hızla değiştirilmesinden ibarettir. Gerekli cebrik işlemler Wolf (1988 s.41-48) den verilmiştir.



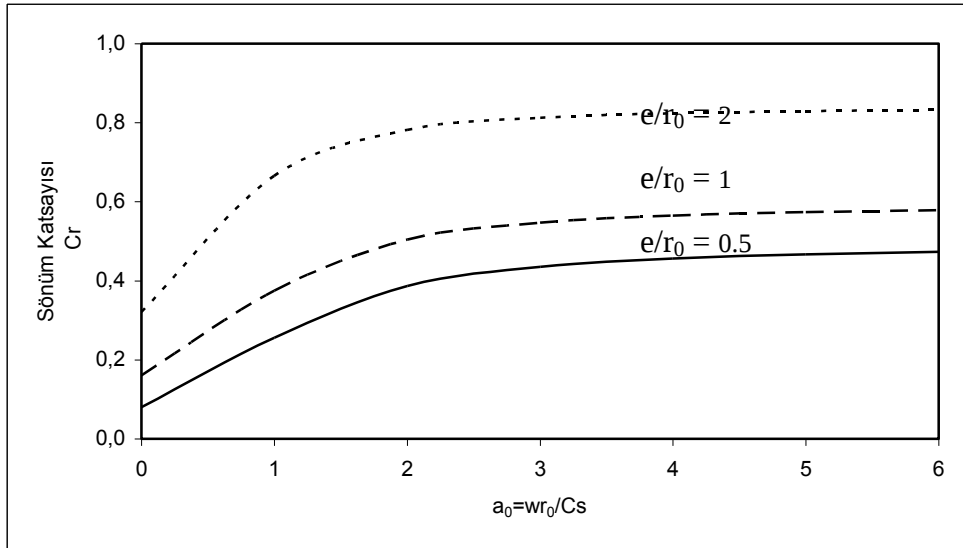
Şekil 2.15a Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları(yay): burulma



Şekil 2.15b Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): burulma



Şekil 2.16a Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (yay): Devrilme



Şekil 2.16b Gömülü temeller için dinamik rijitlik katsayıları (sönüm): Devrilme

2.2.9.3 Efektif temel girdi hareketi

Efektif temel girdi hareketi için reel ve karmaşık bölümlerle ifade edilen uygun transfer fonksiyonları ötelenme hareketi için Şekil 3.1 da (u_0^g/u^f) ve devrilme $(r_0\vartheta_0^g/u^f)$ için şekil 10 da gösterilmiştir. Koni modelleri ile hesaplanan sonuçlar Luco ve Wong (1987) un hassas çözümleriyle (kesik çizgili eğriler) uyum göstermektedir (Wolf, 1994). Efektif temel girdi hareketine koni yaklaşımı en azından Iguchi (1982) tarafından önerilmiş ve Pais ve Kausel (1989) tarafından geliştirilmiş diğer yaklaşık yöntemle karıştırılabilecek kadar hassastır.

3. GÖMÜLÜ TEMELLERİN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ HESABI

Bu çalışmada bahsedilen koni yöntemiyle hesaplanan efektif temel hareketinin tek katlı bir yapıya etkisi ve meydana getirdiği katlararası transfer fonksiyonu büyüklüğü hesaplanmıştır. Bu hesapların yapıldığı koşul ve durumlarla ilgili bilgi şekil () de verilmiştir.

3.1 Formülasyon

U_0^* ve Θ_0^* sembolleri sırasıyla yatay ve dönme hareketleri için temel tepe noktasındaki efektif girdi hareketini ifade etmektedir. U_1, U_T, Θ_T sırasıyla; üst yapının devrilme hareketi bileşeni olmadan temele göre relatif hareketinin Fourier dönüşümünü, temel tepe noktasının U_0^* hareketine göre relatif yatay ötelenmesi Fourier dönüşümünü, ve temelin Θ_0^* hareketine göre relatif dönme açısı Fourier dönüşümlerini göstermektedir. Bu bileşenler vektörel olarak $U = \{U_1 \ U_T \ \Theta_T\}^T$ şeklinde gösterilir. U_T ve Θ_T değerlerine karşılık gelen kuvvet ve momentlerin Fourier dönüşümleri P_T ve M_T ile ifade edilir. Eğer yatay serbest zemin hareketi ivmesi $\mathcal{U}_g(\omega)$ ile gösterilirse, efektif temel girdi hareketlerine $[\mathcal{U}_0^* (= -\omega^2 U_0^* = S_{HT}(\omega) \mathcal{U}_g(\omega)) \text{ ve } \mathcal{\Theta}_0^* (= -\omega^2 \Theta_0^* = S_{RT}(\omega) \mathcal{U}_g(\omega))]$ maruz kalan tek serbestlik dereceli (TSD) üst yapının frekans alanındaki hareket denklemi şöyle yazılabilir. Kullanılan semboller Takewaki(2003) makalesine uyumlu şekilde seçilmiştir.

$$\{-\omega^2 M + i\omega[C_S + C_F(\omega)] + [K_S + K_F(\omega)]\} U(\omega) = -M \{r_1 S_{HT}(\omega) + r_2 S_{RT}(\omega)\} \mathcal{U}_g(\omega) \quad (3.1)$$

burada i karmaşık birimi ve ω sarsıntı frekansını göstermektedir.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & m_1 & m_1 H_1 \\ m_1 & m_0 + m_1 & m_1 H_1 \\ m_1 H_1 & m_1 H_1 & I_0 + I_1 + m_1 H_1 \end{bmatrix} \quad (3.2a)$$

$$\mathbf{K}_S = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2b)$$

$$\mathbf{K}_F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{HH}^* & k_{HR}^* \\ 0 & k_{RH}^* & k_{RR}^* \end{bmatrix} \quad (3.2c)$$

$$\mathbf{C}_S = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2d)$$

$$\mathbf{C}_F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{HH}^* & c_{HR}^* \\ 0 & c_{RH}^* & c_{RR}^* \end{bmatrix} \quad (3.2e)$$

$$\mathbf{r}_1 = \{0 \quad 1 \quad 0\}^T \quad (3.2f)$$

$$\mathbf{r}_2 = \{0 \quad 0 \quad 1\}^T \quad (3.2g)$$

$k_{HH}^*, k_{HR}^*, k_{RH}^*, k_{RR}^*$ katsayıları temel tepesindeki frekansa bağlı temel rijitlikleri, $c_{HH}^*, c_{HR}^*, c_{RH}^*, c_{RR}^*$ katsayıları da temel tepesindeki frekansa bağlı temel sönüm değerleridir. Bu katsayıların elde edilişi ileride gösterilmiştir.

(3.1) denklemindeki S_{HT} ve $S_{RT}(\omega)$ temel üst seviyesindeki frekans alanındaki efektif girdi hareketinin sırasıyla yatay ve dönme hareketleri için yatay zemin-yüzey deplasmanı Fourier dönüşümüne oranlarını göstermektedir. Burada sadece dikey yayılan kesme dalgası (SH dalgası) incelenmiştir. S_{HT} ve $S_{RT}(\omega)$ değerleri daha önce bulunan S_{HB} ve $S_{RB}(\omega)$ cinsinden yatay ve dönme hareketleri için ifade edilişi;

$$S_{HT}(\omega) = S_{HB}(\omega) + (e/r_0) S_{RB}(\omega) \quad (3.3a)$$

$$S_{RT}(\omega) = (1/r_0) S_{RB}(\omega) \quad (3.3b)$$

U_B ve Θ_B sırasıyla, temel alt seviyesinin U_0^* hareketine göre relatif yatay hareketi Fourier dönüşümünü ve Θ_0^* hareketine göre relatif dönme Fourier dönüşümünü göstermektedir. Bunlara karşılık gelen kuvvet ve momentler ise P_B ve M_B ile ifade edilir. Temel alt seviyesindeki dirençler şu şekilde ifade edilebilir

$$\begin{Bmatrix} P_B \\ M_B \end{Bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} k_{HH} & k_{HR} \\ k_{RH} & k_{RR} \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} c_{HH} & c_{HR} \\ c_{RH} & c_{RR} \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} U_B \\ \Theta_B \end{Bmatrix} \equiv (\mathbf{K} + i\omega\mathbf{C}) \begin{Bmatrix} U_B \\ \Theta_B \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

$\mathbf{K}$ ve $\mathbf{C}$ daha önceki bölümlerde verilmiştir ve bileşenleri şu şekilde ifade edilebilir

$$k_{HH}(\omega) + i\omega c_{HH}(\omega) = \frac{8\rho V_s^2 r_0^3}{2-\nu} \left(1 + \frac{e}{r_0} \right) \{k_H(a_0) + ia_0 c_H(a_0)\} \quad (3.5a)$$

$$k_{RR}(\omega) + i\omega c_{RR}(\omega) = \frac{8\rho V_s^2 r_0^3}{3(1-\nu)} \left(1 + 2.3 \left(\frac{e}{r_0} \right) + 0.58 \left(\frac{e}{r_0} \right)^3 \right) \{k_H(a_0) + ia_0 c_H(a_0)\} \quad (3.5b)$$

$$k_{HR}(\omega) = k_{RH}(\omega) = \frac{e}{3} k_{HH}(\omega) \quad (3.5c)$$

$$c_{HR}(\omega) = c_{RH}(\omega) = \frac{e}{3} c_{HH}(\omega) \quad (3.5d)$$

c_s zemin kesme dalgası hızını göstermektedir. Denklem 3.5 (a)-(d) ifade edilen boyutsuz parametreler daha önce zaman tanım alanında hesaplanan değerler göre: $e/r_0=0.0, 0.5, 1.0, 2.0$ için $k_H(a_0)=1.0$; $e/r_0=0.0, 0.5, 1.0, 2.0$ için $c_H(a_0)=0.6, 1.08, 1.250, 1.490$ olarak alınmıştır. $k_R(a_0)$ ve $c_R(a_0)$ değerleri Şekil (2.15) de verilmiştir.

(3.2a)-(3.2g) denklemlerinde ifade edilen rijitlik ve sönüm katsayıları türetilebilirler. Temel tepe noktasındaki deplasmanlar, taban seviyesindekilerle ilişkilendirilir;

$$\begin{Bmatrix} U_T \\ \Theta_T \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & e \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_B \\ \Theta_B \end{Bmatrix} \equiv \mathbf{T} \begin{Bmatrix} U_B \\ \Theta_B \end{Bmatrix} \quad (3.6a)$$

$$\begin{Bmatrix} U_B \\ \Theta_B \end{Bmatrix} = \mathbf{T}^{-1} \begin{Bmatrix} U_T \\ \Theta_T \end{Bmatrix} \quad (3.6b)$$

Katsayı matrisi $\mathbf{T}$ nin tersi:

$$\mathbf{T}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -e \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \equiv \mathbf{T}^* \quad (3.7)$$

Temel tepe noktası kuvvet ve momentlerinin, tabandakiler cinsinde ifadesi:

$$\begin{Bmatrix} P_T \\ M_T \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -e & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_B \\ M_B \end{Bmatrix} \equiv \mathbf{T}^{*T} \begin{Bmatrix} P_B \\ M_B \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\begin{Bmatrix} P_T \\ M_T \end{Bmatrix} = (\mathbf{T}^{*T} \mathbf{K} \mathbf{T}^* + i\omega \mathbf{T}^{*T} \mathbf{C} \mathbf{T}^*) \begin{Bmatrix} U_T \\ \Theta_T \end{Bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} k_{HH}^* & k_{HR}^* \\ k_{RH}^* & k_{RR}^* \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} c_{HH}^* & c_{HR}^* \\ c_{RH}^* & c_{RR}^* \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} U_T \\ \Theta_T \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

Denklem (3.1) un çözümü şu sonucu ortaya çıkarır

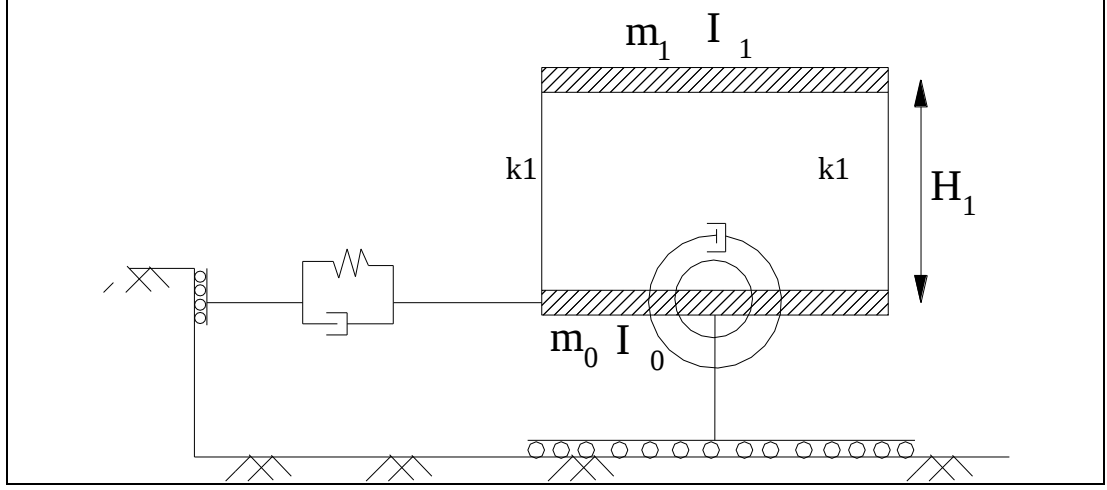
$$\frac{\mathbf{U}(\omega)}{\mathbf{U}_g(\omega)} = - \left\{ -\omega^2 \mathbf{M} + i\omega(\mathbf{C}_S + \mathbf{C}_F) + (\mathbf{K}_S + \mathbf{K}_F) \right\}^{-1} \times \mathbf{M} \{ \mathbf{r}_1 S_{HT}(\omega) + \mathbf{r}_2 S_{RT}(\omega) \} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10) daki ilk değerin mutlak değeri zorlama frekansının bir fonksiyonudur ve katlararası deplasmanın transfer fonksiyonu büyüklüğü olarak adlandırılır. (3.10) denklemi kullanılarak yapılan işlem sonucunda bulunan değerin ilk bileşeninin mutlak değeri transfer fonksiyonu büyüklüğünü verir.

3.2 Örnek

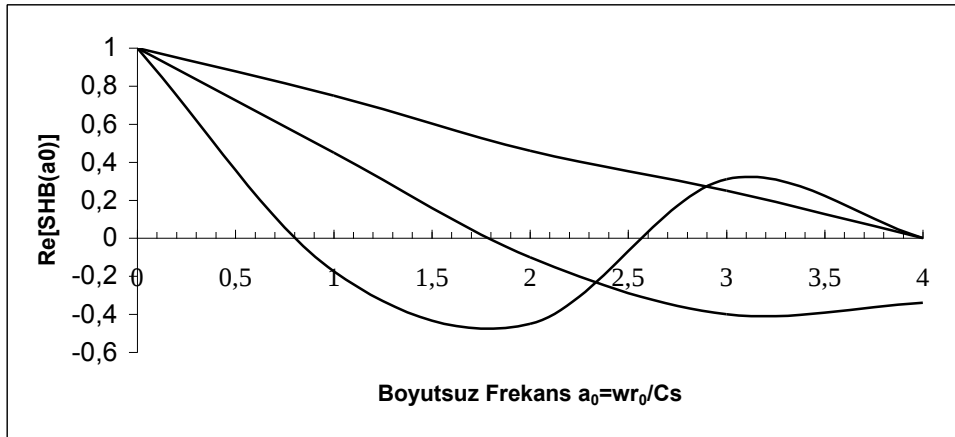
Transfer fonksiyonun bulunması için Şekil (3.1) de gösterilen tek serbestlik dereceli gömülü temel üzerindeki sistem Takewaki(2003) de yer alan analiz örneği, e/r_0 ve c_s kesme dalgası yayılma hızı değişkenleri için birçok a_0 boyutsuz parametresi için çözülmüş ve $e/r_0=0.5$ noktasında $c_s=50$ m/s ve $a_0=0, 1, 2, 3, 4$ boyutsuz frekansları için Excel programı yardımıyla yapılan hesaplar tablo 3.1, 3.2, 3.3 de verilmiş ve hesabı yapılan bir nokta için Matlab program çıktıları şeklinde gösterilmiştir, diğer noktalar içinde aynı yöntem kullanılacağından hesapların tümüne yer verilmemiştir. Kullanılan parametreler; üstyapı için: kütle $m_1=62.8 \cdot 10^3$ kg, atalet momenti $I_1=5.23 \cdot 10^5$ kg.m², ve zeminden yükseklik $H_1=4$ m, periyot $T_1=0.3$ s, doğal frekans $\omega_1=2\pi/T_1=20.9$ rad/s, $k_1=\omega_1^2 m_1$, $c_1=(2h_1/\omega_1)k_1$, en düşük sönüm oranı $h_1=0.02$ olarak verilmiştir. $\rho=1.8 \cdot 10^3$ kg/m³, $\nu=0.25$, temel yarıçapı $r_0=5$ m, derinliğe bağlı temel kütlesi m_0 ve alalet momenti I_0 değişimleri ise: $e/r_0=0.5$ ise $m_0=2.52 \cdot 10^5$ kg,

$I_0=2.62*10^6 \text{ kg.m}^2$. $e/r_0=1.0$ ise $m_0=3.60*10^5$, $I_0=6*10^6 \text{ kg.m}^2$. $e/r_0=2.0$ ise $m_0=6.48*10^5 \text{ kg}$, $I_0=2.7*10^7 \text{ kg.m}^2$.

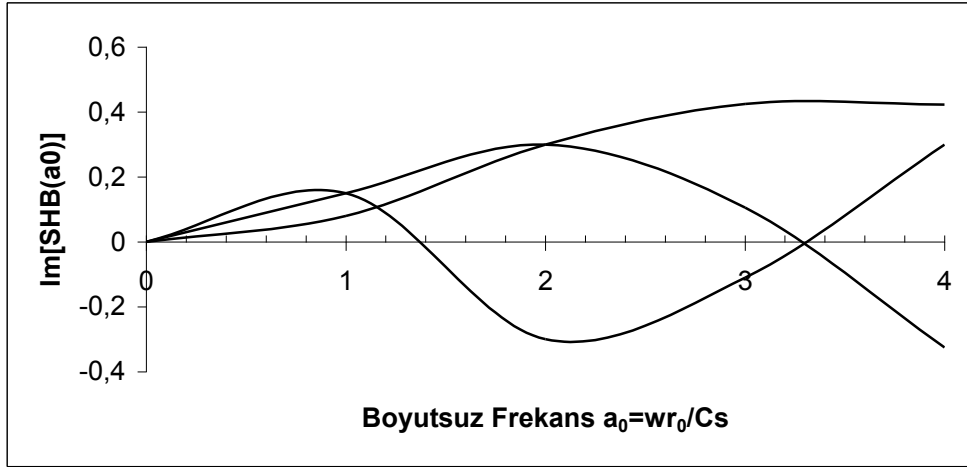


Şekil 3.1 Gömülü temel üzerinde tek serbestlik dereceli sistem

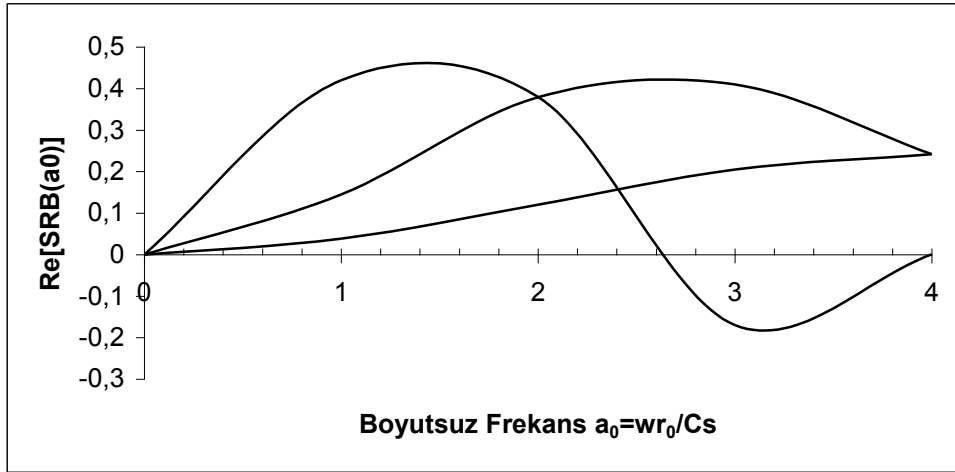
Şekil (3.2) de verilmiş S_{HB} değerleri kullanılarak (3.10) denklemi hesaplanışı ve sonuçları 5 noktada gösterilmiştir (EK 4) $c_s=200, 100, 50 \text{ m/s}$. hızlarında $a_0=0,1,2,3,4$ için $e/r_0= 0.5, 1.0, 2.0$ değişken değerlerindeki sonuç ve yöntemler gösterilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.3 de gösterilmiştir.



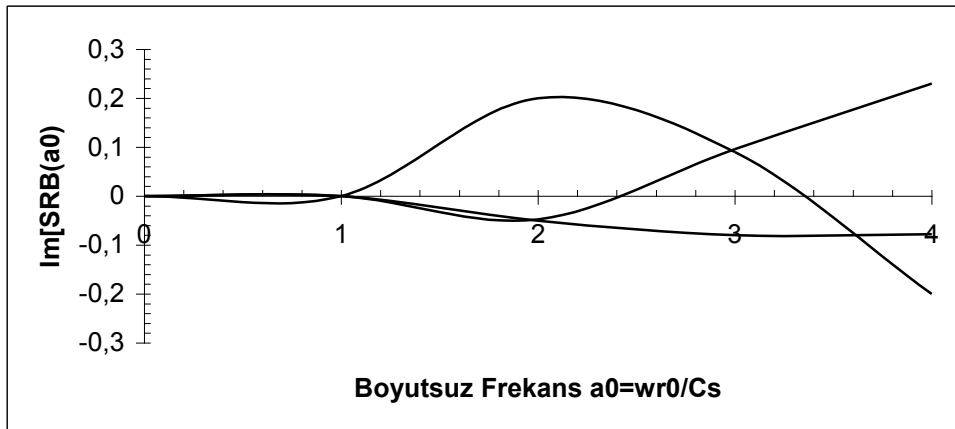
Şekil 3.2a Efektif temel girdi hareketi: Yatay (reel)



Şekil 3.2b Efektif temel girdi hareketi: Yatay (imajiner)



Şekil 3.2c Efektif temel girdi hareketi: Dönme (reel)



Şekil 3.2d Efektif temel girdi hareketi: Dönme (imajiner)

Şekil (3.2) Takeawaki(2003) makalesinden alınmıştır.

Tablo 3.1. Kütle ve atalet momenti değerleri

m_1	H_1	m_0	m_0+m_1	m_1H_1	I_0	I_1	$I_0+I_1+m_1H_1^2$	e/r_0
62800	4	252000	314800	251200	2620000	523000	4147800	0,5

Tablo 3.2. Efektif temel girdi hareketi değerleri

a_0	ReS_{HB}	ImS_{HB}	ReS_{RB}	ImS_{RB}	ReS_{HT}	ImS_{HT}	ReS_{RT}	ImS_{RT}	e	r_0	e/r_0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	2,5	5	0,5
1	0,75	0,075	0,04	0	0,77	0,075	0,008	0	2,5	5	0,5
2	0,55	0,3	0,12	-0,04	0,61	0,28	0,024	-0,008	2,5	5	0,5
3	0,25	0,425	0,2	-0,08	0,35	0,385	0,04	-0,016	2,5	5	0,5
4	0	0,427	0,245	-0,079	0,1225	0,3875	0,049	-0,0158	2,5	5	0,5

Tablo 3.3 Rijitlik katsayıları

a_0	$k_H(a_0)$	$c_H(a_0)$	$k_R(a_0)$	$c_R(a_0)$	e	r_0	e/r_0	v	c_s	R
0	1	1,08	1	0,08	2,5	5	0,5	0,25	50	1800
1	1	1,08	0,798	0,256	2,5	5	0,5	0,25	50	1800
2	1	1,08	0,648	0,387	2,5	5	0,5	0,25	50	1800
3	1	1,08	0,592	0,435	2,5	5	0,5	0,25	50	1800
4	1	1,08	0,568	0,456	2,5	5	0,5	0,25	50	1800

Tablo 3.4 Yay ve sönüm matrisini oluşturan değerler

a_0	k_{HH}^+	$i\omega c_{HH}$	k_{RR}^+	$i\omega c_{RR}$	k_{HR}^+	$i\omega c_{HR}$
0	154285714,3	0	4,445000E+09	0	128571428,6	0
1	154285714,3	166628571,4	3,547110E+09	1137920000	128571428,6	1,39E+08
2	154285714,3	333257142,9	2880360000	3440430000	128571428,6	2,78E+08
3	154285714,3	499885714,3	2631440000	5800725000	128571428,6	4,17E+08
4	154285714,3	666514285,7	2524760000	8107680000	128571428,6	5,55E+08

Oluşturulan tablolardaki değerler kullanılarak MATLAB ile işlemler yapılmıştır;

$a_0=1$, $e/r_0=0.5$, $V_s=50$

```
>> T*=[1 -2.5;0 1]
```

T* =

```
1.0000 -2.5000
```

```
0 1.0000
```

```
>> T*T=[1 0;-2.5 1]
```

T*^T =

```
1.0000 0
```

```
-2.5000 1.0000
```

```
>> M=[62800 62800 251200;62800 314800 251200;251200 251200 4147800]
```

M =

```
62800 62800 251200
```

```
62800 314800 251200
```

```
251200 251200 4147800
```

```
>> Cs=[52721.84211 0 0;0 0 0;0 0 0]
```

```
Cs =
```

```
1.0e+004 *
```

```
5.2722    0    0
    0    0    0
    0    0    0
```

```
>> Ks=[27547162.5 0 0;0 0 0;0 0 0]
```

```
Ks =
```

```
1.0e+007 *
```

```
2.7547    0    0
    0    0    0
    0    0    0
```

```
>> K=[154285714.3 128571428.6;128571428.6 3547110000]
```

```
K =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0.1543  0.1286
0.1286  3.5471
```

```
>> C=[166628571.4 138857142.9;138857142.9 1137920000]
```

```
C =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0.1666  0.1389
0.1389  1.1379
```

```
>> Kt=AT*K*A
```

```
Kt =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0.1543 -0.2571
```

```
-0.2571 3.8685
```

```
>> Ct= T*T'·C· A
```

```
Ct =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0.1666 -0.2777
```

```
-0.2777 1.4851
```

```
>> Kf=[0 0 0;0 154300000 -257100000;0 -257100000 3868500000]
```

```
Kf =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0      0      0
```

```
0 0.1543 -0.2571
```

```
0 -0.2571 3.8685
```

```
>> Cf=[0 0 0;0 166600000 -277700000;0 -277700000 1485100000]
```

```
Cf =
```

```
1.0e+009 *
```

```
0      0      0
```

```
0 0.1666 -0.2777
```

```
0 -0.2777 1.4851
```

```

>> r1=[0;1;0]

r1 =

    0
    1
    0

>> r2=[0;0;1]

r2 =

    0
    0
    1

>> P=-100*M+i*10*(Cs+Cf)+(Ks+Kf)

P =

1.0e+010 *

    0.0021 + 0.0001i -0.0006      -0.0025
-0.0006      0.0123 + 0.1666i -0.0282 - 0.2777i
-0.0025      -0.0282 - 0.2777i  0.3454 + 1.4851i

>> W=-1*inv(P)

W =

1.0e-007 *

-0.4705 + 0.0148i -0.0006 + 0.0044i -0.0004 + 0.0015i
-0.0006 + 0.0044i -0.0010 + 0.0086i -0.0004 + 0.0015i
-0.0004 + 0.0015i -0.0004 + 0.0015i -0.0002 + 0.0009i

>> Sht=0.77+i*0.075

Sht =

    0.7700 + 0.0750i

>> Srt=0.008+i*0

```

Srt =

0.0080

>> Q=M*(r1*Sht+r2*Srt)

Q =

1.0e+005 *

0.5037 + 0.0471i

2.4441 + 0.2361i

2.2661 + 0.1884i

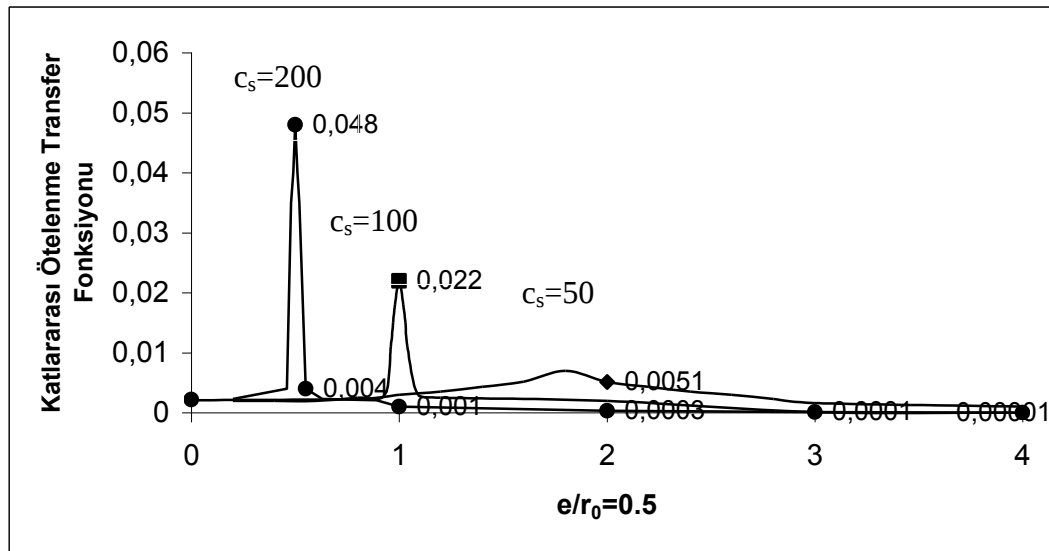
>> U=W*Q

U =

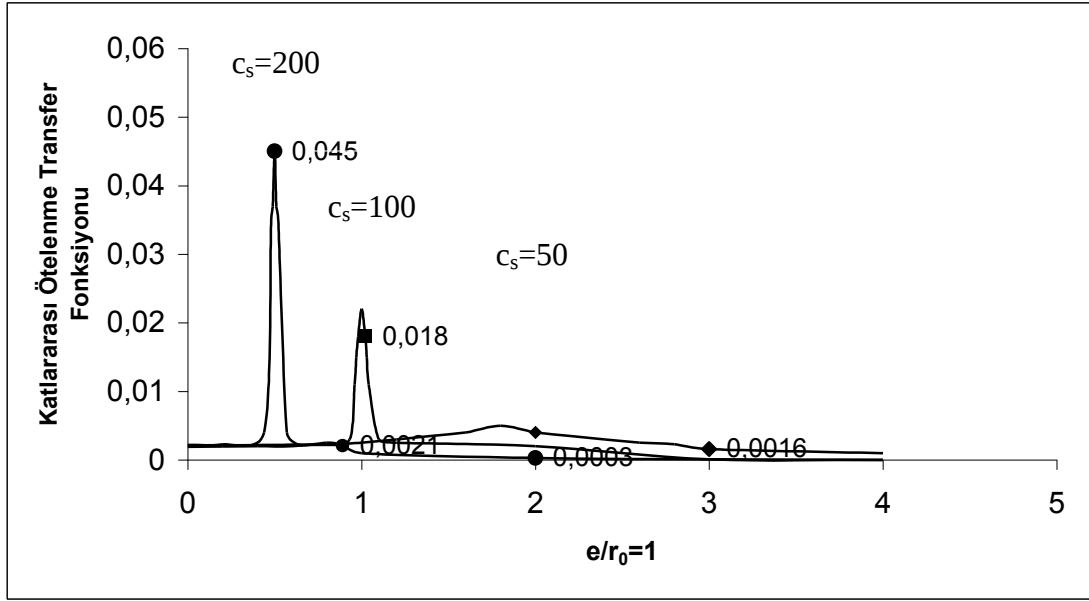
-0.0024 - 0.0000i

-0.0001 + 0.0003i

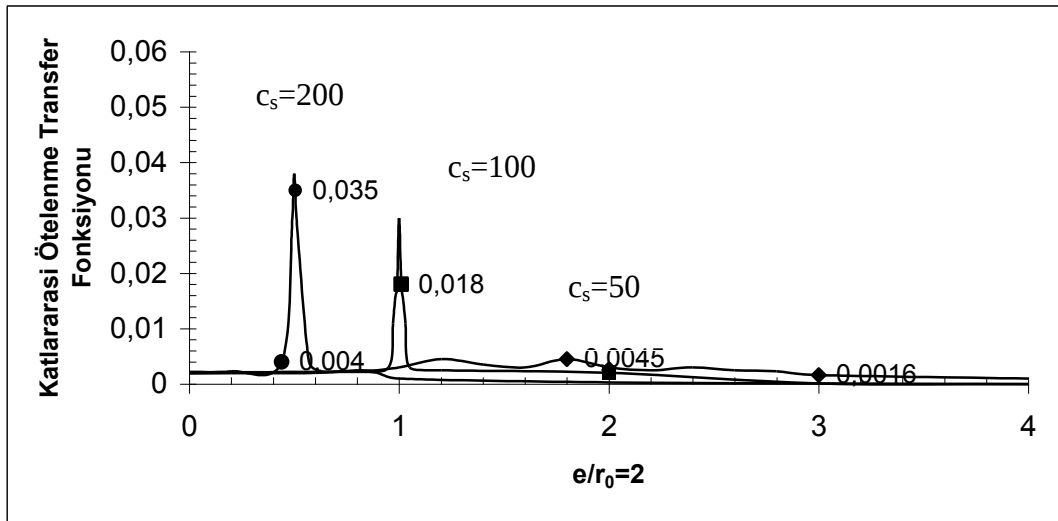
-0.0000 + 0.0001i



Şekil 3.3a Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=0.5$)



Şekil 3.3b Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=1$)



Şekil 3.3c Değişken c_s için kat ötelenmesi transfer fonksiyonları ($e/r_0=2$)

4. SONUÇLAR

Hassas elastodinamik çözümlere alternatif olarak, koni modellerinin oluşturulmasının esas sebebi yarı sonsuz ortamdaki diskin dinamik rijitliğini belirlemektir. Çift koni, yöntemin uygulanabilirliğini elastik sonsuz ortamdaki disklere de taşımıştır. Simetri ve süperpozisyon prensipleri kullanılarak gömülü temel temsil edilebilmektedir. Zemin dinamik fleksibilite matrisi bir kez oluşturulduğunda frekans yada zaman tanım alanındaki analizlerin geri kalanı geleneksel matris metodlar ile yapılmaktadır.

Koniler tek başına modellenen fiziksel bir nicelik olarak görülmemelidir. Onları genişletilmiş elastik bir ortamdaki yaklaşık Green's fonksiyonlarını belirlemek için kullanılan birer araç gibi düşünmek daha uygundur. Mühendislik giriş teorisinin hassas çözümler yerine tahmini deplasman durumlarına göre oluşturulması gibi koni modelleride temel dinamiği için kesin olmasada mühendislik tasarımları için yeterince hassas ve uygulamalar içinde anlaşılması kolay, malzeme dayanımı yaklaşımını mümkün kılmaktadır.

Yapılan hesaplar ve Şekil (3.3) de verilen sonuçlar incelendiğinde c_s kayma dalgası yayılma hızının 100m/s değerinden büyük olduğu taktirde kat ötelenmesi transfer fonksiyonu büyüklüğünün e/r_0 temel derinliği oranından fazla etkilenmediği görülmüştür; 100m/s nin altındaki değerlerde ise durum tam tersidir.

KAYNAKLAR

- Apsel, R. J., and Luco, J. E.,** 1987. Impedance functions for foundations embedded in a layered medium: an integral equation approach, *Earthquake Engng. And Struct. Dynamics*, **15(2)**, 213-231.
- Ehlers, G.,** 1942. The effect of soil flexibility on vibrating systems (in German), *Beton und Eisen, Berlin, Germany*, **41(21/22)**, 197-203.
- Gazetas, G. and Dobry, R.,** 1984. Simple radiation damping model for piles and footings, *J Engng Mech. Div., ASCE*, **110(6)**, 937-956.
- Iguchi, M.,** 1982. An approximate analysis of input motions for rigid embedded foundations, *Transactions, Arch. Institute of Japan*, **No315**, 61-75.
- Luco, J. E. and Wong, H. L.,** 1987. Seismic response of foundations embedded in a layered halfspace, *Earthquake Engng. And Struct. Dynamics*, **15(2)**, 233-247.
- Meek, J.W. and Wolf, J.P.,** 1994. Cone models for embedded foundation, *J Geotechnical Engng, ASCE*, **120(1)**, 60-80.
- Meek, J.W. and Veletsos, A.S.,** 1974. Simple models for foundations in lateral and rocking motion, *Proc. 5th World Conf. On Earthquake Engineering, Int. Assoc. of Earthquake Engrg., Rome, Italy*, **2**, 2610-2613.
- Meek, J.W. and Wolf, J.P.,** 1992. Cone models for homogenous soil, *J Geotechnical Engng, ASCE*, **118(5)**, 667-685.
- Pais, A. and Kausel, E.,** 1988. Approximation formulas for dynamic stiffness for rigid foundations, *Soil Dynamics and Earthquake Engng*, **7(4)**, 213-227.
- Pais, A. and Kausel, E.,** 1989. On rigid foundations subjected to seismic waves, *Soil Dynamics and Earthquake Engng*, **18(4)**, 475-489.
- Wolf, J.P. and Motosoka, M.,** 1989. Recursive evaluation of interaction forces of unbounded soil in the time domain from dynamic-stiffness coefficients in the frequency domain, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, **18(3)**, 365-376.
- Wolf, J.P.,** 1994. *Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Wolf, J.P.,** 1985. *Dynamic Soil Structure Interaction*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Wolf, J.P.,** 1988. *Soil Structure Interaction Analysis in Time Domain*, NJ: Prentice-Hall.

EKLER

EK A Çift Koni Green Fonksiyonları

Elastik sonsuz ortamdaki rijit disk yaklaşık olarak çift koni modeliyle Şekil (1b) deki gibi gösterilebilir. Simetriye çift koni dinamik rijitliği;

$$S(\omega) = 2K \left(1 + \frac{i\omega z_0}{c} \right) \quad (1)$$

yarı sonsuz ortamdaki diski temsil eden orijinal tek taraflı koni modelinin iki katıdır [Şekil 1(a)]. $u(a)$ diskin aşağısında veya yukarısında a kadar mesafedeki harmonik ötelenme hareketi büyüklüğü olsun (a her zaman pozitiftir). O halde $u(0)$ aşağıda tanımlanan $P(0)$ kuvvet büyüklüğünden dolayı oluşan diskin kendi hareketidir.

$$P(0) = S(\omega)u(0) \quad (2)$$

a mesafede t zamanında gözlenen $u(a)e^{i\omega t}$ hareketi, kaynak diskinden $t - a/c$ zamanında yayılmış olacaktır. Bu iki etkinin birleşimi şu sonucu oluşturur;

$$u(a)e^{i\omega t} = u(0) \frac{e^{-i\omega(t-a/c)}}{1 + \frac{a}{z_0}} \quad (3)$$

ve bu formül, ortak $e^{i\omega t}$ teriminin sadeleştirilmesiyle şu şekli alır;

$$u(a) = \frac{e^{-i\omega a/c}}{1 + \frac{a}{z_0}} u(0) \quad (4)$$

koni tepe yüksekliğinden olan mesafeyle bu büyüklük ters orantılıdır. (4) nolu formülün (2) da kullanılmasıyla dinamik fleksibilite katsayısı oluşturulur.

$$g(a, \omega) = \frac{u(a)}{P(0)} = \frac{e^{-i\omega c}}{S(\omega)} \frac{1}{1 + \frac{a}{z_0}} \quad (5)$$

$g(a, \omega)$ sembolü, ω ile simgelenen frekans alanı içinde tanımlanmış bir Green's deplasman fonksiyonunu göstermektedir. Sonsuz ortamda tanımlı hassas çözüme nazaran, çift koni için kullanılan Green's fonksiyonu kısmen basittir çünkü sadece eksen boyunca tanımlı a mesafesine bağlıdır.

Ötelenme: Zaman Tanım Alanında

Green's fonksiyonunun zaman alanına çevrimi (5) nolu ifadenin Fourier transformasyonudur.

$$g\left(a, t - \frac{a}{c}\right) = \frac{1}{2K} \frac{1}{1 + \frac{a}{z_0}} h_1\left(t - \frac{a}{c}\right) \quad (6)$$

$$t - \frac{a}{c} \geq 0 \text{ için } h_1\left(t - \frac{a}{c}\right) = \frac{c}{z_0} e^{-c(t - a/c)/z_0} \quad (7a)$$

$$t - \frac{a}{c} < 0 \text{ için } h_1\left(t - \frac{a}{c}\right) = 0 \quad (7b)$$

$g(a, t - a/c)$ ifadesi a mesafedeki noktanın $t - a/c$ anında kaynak noktasından başladığını göstermektedir. c = uygun dalga yayılma hızı.

Dönme: Frekans Tanım Alanı

Aynı mantıksal adımlar dönme durumu için uygulanır (Meek and Wolf 1992). Sonsuz ortamdaki çift koni için dönme rijitlik katsayısı;

$$S_g(\omega) = 2K_g \left[1 - \frac{1}{3} \frac{\left(\frac{\omega z_0}{c}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega z_0}{c}\right)^2} + \frac{1}{3} \frac{i \left(\frac{\omega z_0}{c}\right)^3}{1 + \left(\frac{\omega z_0}{c}\right)^2} \right] \quad (8)$$

yarı sonsuz ortamdaki koni modelinin iki katıdır. Uygulanan momente karşılık gelen disk dönmesi $\mathfrak{g}(0)$ dır.

$$M(0) = S_g(\omega)\mathfrak{g}(0) \quad (9)$$

$\mathfrak{g}(a)$ olarak diskin aşağısında veya yukarısında a kadar mesafede gözlenen dönme $e^{-i\omega a/c}$ çarpanı ve büyüklüğündeki azalma ile karakterize edilir.

$$\mathfrak{g}(a) = e^{-i\omega a/c} \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{c}\right)^2} + \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^3} - \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^2} \right] \cdot \frac{1}{1 + \frac{i\omega z_0}{c}} \right\} \mathfrak{g}(0) \quad (10)$$

Dönme büyüklüğü koni tepe noktasına olan mesafenin karesi ve kübüyle ters orantılı azalır. $1 + i\omega z_0/c$ terimi Meek and Wolf 1992 deki bir katlı integralden gelmektedir. (32) ye benzer olarak frekans alanı Green's fonksiyonu şöyle verilir:

$$g_g(a, \omega) = \frac{\mathfrak{g}(a)}{M(0)} = \frac{e^{-i\omega a/c}}{S_g(\omega)} \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^2} + \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^3} - \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^2} \right] \frac{1}{1 + \frac{i\omega z_0}{c}} \right\} \quad (11)$$

Dönme: Zaman Tanım Alanı

Ötelenmedeki gibi dönme için zaman alanı Green's fonksiyonu (11) in Fourier değişimi ile elde edilir.

$$g_g(a, \omega) = \frac{1}{2K_g} \left\{ \frac{h_2\left(t - \frac{a}{c}\right)}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^2} + \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^3} - \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{z_0}\right)^2} \right] \cdot h_3\left(t - \frac{a}{c}\right) \right\} \quad (12)$$

$t - \frac{a}{c} \geq 0$ için,

$$h_2\left(t - \frac{a}{c}\right) = \frac{c}{z_0} e^{-1.5c(t-a/c)/z_0} \left[3 \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c\left(t - \frac{a}{c}\right)}{z_0} - \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c\left(t - \frac{a}{c}\right)}{z_0} \right] \quad (13a)$$

$t - \frac{a}{c} < 0$ için,

$$h_2\left(t - \frac{a}{c}\right) = 0 \quad (13b)$$

ve

$t - \frac{a}{c} \geq 0$ için,

$$h_3\left(t - \frac{a}{c}\right) = 2\sqrt{3} \frac{c}{z_0} e^{-1.5c(t-a/c)/z_0} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c\left(t - \frac{a}{c}\right)}{z_0} \quad (14a)$$

$t - \frac{a}{c} < 0$ için,

$$h_3\left(t - \frac{a}{c}\right) = 0 \quad (14b)$$

h1 ve h2 etki-tepki fonksiyonları yüzeysel diskede uygulanır ancak h3 fonksiyonu sadece gömülü temeller için gereken yeni bir sonuçtur.

EK B Hesaplanan Green Fonksiyonları

a0=1 de yatay ötelenme için yapılmis fleksibilite katsayıları

>> g11= 1/(1+i*0.6872)

g11 = 0.6792 - 0.4668i

>>g12= (cos(1/7)-i*sin(1/7)-i*0.6872*cos(1/7)+i^2*0.6872*sin(1/7))*0.8279/1.4722

g12 = 0.5016 - 0.4626i

>>g13= (cos(2/7)-i*sin(2/7)-i*0.6872*cos(2/7)+i^2*0.6872*sin(2/7))*0.7063/1.4722

$g_{13} = 0.3674 - 0.4515i$
 $\gg g_{14} = (\cos(3/7) - i \sin(3/7) - i \cdot 0.6872 \cos(3/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(3/7)) \cdot 0.6158 / 1.4722$
 $g_{14} = 0.2610 - 0.4353i$
 $\gg g_{15} = (\cos(4/7) - i \sin(4/7) - i \cdot 0.6872 \cos(4/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(4/7)) \cdot 0.5459 / 1.4722$
 $g_{15} = 0.1741 - 0.4149i$
 $\gg g_{16} = (\cos(5/7) - i \sin(5/7) - i \cdot 0.6872 \cos(5/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(5/7)) \cdot 0.4903 / 1.4722$
 $g_{16} = 0.1017 - 0.3911i$
 $\gg g_{17} = (\cos(6/7) - i \sin(6/7) - i \cdot 0.6872 \cos(6/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(6/7)) \cdot 0.4449 / 1.4722$
 $g_{17} = 0.0408 - 0.3644i$
 $\gg g_{18} = (\cos(7/7) - i \sin(7/7) - i \cdot 0.6872 \cos(7/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(7/7)) \cdot 0.4072 / 1.4722$
 $g_{18} = -0.0105 - 0.3354i$
 $\gg g_{22} = ((1 - i \cdot 0.6872) + (\cos(2/7) - i \sin(2/7) - i \cdot 0.6872 \cos(2/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(2/7)) \cdot 0.7063) / 2.9444$
 $g_{22} = 0.5233 - 0.4592i$
 $\gg g_{23} = ((\cos(1/7) - i \sin(1/7) - i \cdot 0.6872 \cos(1/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(1/7)) \cdot 0.8279 + ((\cos(3/7) - i \sin(3/7) - i \cdot 0.6872 \cos(3/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(3/7)) \cdot 0.6159)) / 2.9444$
 $g_{23} = 0.3813 - 0.4490i$
 $\gg g_{24} = ((\cos(2/7) - i \sin(2/7) - i \cdot 0.6872 \cos(2/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(2/7)) \cdot 0.7063 + (\cos(4/7) - i \sin(4/7) - i \cdot 0.6872 \cos(4/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(4/7)) \cdot 0.5460) / 2.9444$
 $g_{24} = 0.2708 - 0.4332i$
 $\gg g_{25} = ((\cos(3/7) - i \sin(3/7) - i \cdot 0.6872 \cos(3/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(3/7)) \cdot 0.6159 + (\cos(5/7) - i \sin(5/7) - i \cdot 0.6872 \cos(5/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(5/7)) \cdot 0.4903) / 2.9444$
 $g_{25} = 0.1814 - 0.4132i$
 $\gg g_{26} = ((\cos(4/7) - i \sin(4/7) - i \cdot 0.6872 \cos(4/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(4/7)) \cdot 0.5460 + (\cos(6/7) - i \sin(6/7) - i \cdot 0.6872 \cos(6/7) + i^2 \cdot 0.6872 \sin(6/7)) \cdot 0.4450) / 2.9444$
 $g_{26} = 0.1075 - 0.3897i$

$$\begin{aligned} >>g27=((\cos(5/7)-i*\sin(5/7)- \\ i*0.6872*\cos(5/7)+i^2*0.6872*\sin(5/7))*0.4903+(\cos(7/7)-i*\sin(7/7)- \\ i*0.6872*\cos(7/7)+i^2*0.6872*\sin(7/7))*0.4073)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g27 = 0.0456 - 0.3633i$$

$$\begin{aligned} >>g28=((\cos(6/7)-i*\sin(6/7)- \\ i*0.6872*\cos(6/7)+i^2*0.6872*\sin(6/7))*0.4450+(\cos(8/7)-i*\sin(8/7)- \\ i*0.6872*\cos(8/7)+i^2*0.6872*\sin(8/7))*0.3755)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g28 = -0.0064 - 0.3346i$$

$$\begin{aligned} >>g33=((1-i*0.6872)+(\cos(4/7)-i*\sin(4/7)- \\ i*0.6872*\cos(4/7)+i^2*0.6872*\sin(4/7))*0.5460)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g33 = 0.4267 - 0.4409i$$

$$\begin{aligned} >>g34=((\cos(1/7)-i*\sin(1/7)- \\ i*0.6872*\cos(1/7)+i^2*0.6872*\sin(1/7))*0.8279+(\cos(5/7)-i*\sin(5/7)- \\ i*0.6872*\cos(5/7)+i^2*0.6872*\sin(5/7))*0.4903)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g34 = 0.3017 - 0.4268i$$

$$\begin{aligned} >>g35=((\cos(2/7)-i*\sin(2/7)- \\ i*0.6872*\cos(2/7)+i^2*0.6872*\sin(2/7))*0.7063+(\cos(6/7)-i*\sin(6/7)- \\ i*0.6872*\cos(6/7)+i^2*0.6872*\sin(6/7))*0.4450)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g35 = 0.2041 - 0.4080i$$

$$\begin{aligned} >>g36=((\cos(3/7)-i*\sin(3/7)- \\ i*0.6872*\cos(3/7)+i^2*0.6872*\sin(3/7))*0.6159+(\cos(7/7)-i*\sin(7/7)- \\ i*0.6872*\cos(7/7)+i^2*0.6872*\sin(7/7))*0.4073)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g36 = 0.1253 - 0.3854i$$

$$\begin{aligned} >>g37=((\cos(4/7)-i*\sin(4/7)- \\ i*0.6872*\cos(4/7)+i^2*0.6872*\sin(4/7))*0.5460+(\cos(8/7)-i*\sin(8/7)- \\ i*0.6872*\cos(8/7)+i^2*0.6872*\sin(8/7))*0.3755)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g37 = 0.0602 - 0.3599i$$

$$\begin{aligned} >>g38=((\cos(5/7)-i*\sin(5/7)- \\ i*0.6872*\cos(5/7)+i^2*0.6872*\sin(5/7))*0.4903+(\cos(9/7)-i*\sin(9/7)- \\ i*0.6872*\cos(9/7)+i^2*0.6872*\sin(9/7))*0.3483)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g38 = 0.0061 - 0.3319i$$

$$\begin{aligned} >>g44=((1-i*0.6872)+(\cos(6/7)-i*\sin(6/7)- \\ i*0.6872*\cos(6/7)+i^2*0.6872*\sin(6/7))*0.4450)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{44} = 0.3600 - 0.4156i$$

$$\begin{aligned} >>g_{45}=((\cos(1/7)-i*\sin(1/7)- \\ i*0.6872*\cos(1/7)+i^2*0.6872*\sin(1/7))*0.8279+(\cos(7/7)-i*\sin(7/7)- \\ i*0.6872*\cos(7/7)+i^2*0.6872*\sin(7/7))*0.4073)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{45} = 0.2456 - 0.3991i$$

$$\begin{aligned} >>g_{46}=((\cos(2/7)-i*\sin(2/7)- \\ i*0.6872*\cos(2/7)+i^2*0.6872*\sin(2/7))*0.7063+(\cos(8/7)-i*\sin(8/7)- \\ i*0.6872*\cos(8/7)+i^2*0.6872*\sin(8/7))*0.3755)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{46} = 0.1569 - 0.3782i$$

$$\begin{aligned} >>g_{47}=((\cos(3/7)-i*\sin(3/7)- \\ i*0.6872*\cos(3/7)+i^2*0.6872*\sin(3/7))*0.6159+(\cos(9/7)-i*\sin(9/7)- \\ i*0.6872*\cos(9/7)+i^2*0.6872*\sin(9/7))*0.3483)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{47} = 0.0858 - 0.3541i$$

$$\begin{aligned} >>g_{48}=((\cos(4/7)-i*\sin(4/7)- \\ i*0.6872*\cos(4/7)+i^2*0.6872*\sin(4/7))*0.5460+(\cos(10/7)-i*\sin(10/7)- \\ i*0.6872*\cos(10/7)+i^2*0.6872*\sin(10/7))*0.3248)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{48} = 0.0277 - 0.3274i$$

$$\begin{aligned} >>g_{55}=((1-i*0.6872)+(\cos(8/7)-i*\sin(8/7)- \\ i*0.6872*\cos(8/7)+i^2*0.6872*\sin(8/7))*0.3755)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{55} = 0.3128 - 0.3858i$$

$$\begin{aligned} >>g_{56}=((\cos(1/7)-i*\sin(1/7)- \\ i*0.6872*\cos(1/7)+i^2*0.6872*\sin(1/7))*0.8279+(\cos(9/7)-i*\sin(9/7)- \\ i*0.6872*\cos(9/7)+i^2*0.6872*\sin(9/7))*0.3483)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{56} = 0.2061 - 0.3677i$$

$$\begin{aligned} >>g_{57}=((\cos(2/7)-i*\sin(2/7)- \\ i*0.6872*\cos(2/7)+i^2*0.6872*\sin(2/7))*0.7063+(\cos(10/7)-i*\sin(10/7)- \\ i*0.6872*\cos(10/7)+i^2*0.6872*\sin(10/7))*0.3248)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{57} = 0.1243 - 0.3457i$$

$$\begin{aligned} >>g_{58}=((\cos(3/7)-i*\sin(3/7)- \\ i*0.6872*\cos(3/7)+i^2*0.6872*\sin(3/7))*0.6159+(\cos(11/7)-i*\sin(11/7)- \\ i*0.6872*\cos(11/7)+i^2*0.6872*\sin(11/7))*0.3043)/2.9444 \end{aligned}$$

$$g_{58} = 0.0594 - 0.3210i$$

$$>>g66=((1-i*0.6872)+(\cos(10/7)-i*\sin(10/7)-i*0.6872*\cos(10/7)+i^2*0.6872*\sin(10/7))*0.3248)/2.9444$$

$$g66 = 0.2802 - 0.3533i$$

$$>>g67=((\cos(1/7)-i*\sin(1/7)-i*0.6872*\cos(1/7)+i^2*0.6872*\sin(1/7))*0.8279+(\cos(11/7)-i*\sin(11/7)-i*0.6872*\cos(11/7)+i^2*0.6872*\sin(11/7))*0.3043)/2.9444$$

$$g67 = 0.1797 - 0.3346i$$

$$>>g68=((\cos(2/7)-i*\sin(2/7)-i*0.6872*\cos(2/7)+i^2*0.6872*\sin(2/7))*0.7063+(\cos(12/7)-i*\sin(12/7)-i*0.6872*\cos(12/7)+i^2*0.6872*\sin(12/7))*0.2862)/2.9444$$

$$g68 = 0.1037 - 0.3124i$$

$$>>g77=((1-i*0.6872)+(\cos(12/7)-i*\sin(12/7)-i*0.6872*\cos(12/7)+i^2*0.6872*\sin(12/7))*0.2862)/2.9444$$

$$g77 = 0.2596 - 0.3200i$$

$$>>g78=((\cos(1/7)-i*\sin(1/7)-i*0.6872*\cos(1/7)+i^2*0.6872*\sin(1/7))*0.8279+(\cos(13/7)-i*\sin(13/7)-i*0.6872*\cos(13/7)+i^2*0.6872*\sin(13/7))*0.2701)/2.9444$$

$$g78 = 0.1644 - 0.3015i$$

$$>>g88=((1-i*0.6872)+(\cos(14/7)-i*\sin(14/7)-i*0.6872*\cos(14/7)+i^2*0.6872*\sin(14/7))*0.2557)/2.9444$$

$$g88 = 0.2492 - 0.2875i$$

yapılan bu hesaplar sonucunda oluşturulan simetrik G_h matrisinin Reel ve İmajinar bölümleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Re } G = \begin{bmatrix} 0.6792 & 0.5016 & 0.3674 & 0.2610 & 0.1741 & 0.1017 & 0.0408 & -0.0105 \\ & 0.5233 & 0.3813 & 0.2708 & 0.1814 & 0.1075 & 0.0456 & -0.0064 \\ & & 0.4267 & 0.3017 & 0.2041 & 0.1253 & 0.0602 & 0.0061 \\ & & & 0.3600 & 0.2456 & 0.1569 & 0.0858 & 0.0277 \\ & & & & 0.3128 & 0.2061 & 0.1243 & 0.0594 \\ & & & & & 0.2802 & 0.1797 & 0.1037 \\ & & & & & & 0.2596 & 0.1644 \\ & & & & & & & 0.2492 \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{Im} G = i \cdot \begin{bmatrix} -0.4668 & -0.4626 & -0.4515 & -0.4353 & -0.4149 & -0.3911 & -0.3644 & -0.3354 \\ & -0.4592 & -0.4490 & -0.4332 & -0.4132 & -0.3897 & -0.3633 & -0.3346 \\ & & -0.4409 & -0.4268 & -0.4080 & -0.3854 & -0.3599 & -0.3319 \\ & & & -0.4156 & -0.3991 & -0.3782 & -0.3541 & -0.3274 \\ & & & & -0.3858 & -0.3677 & -0.3457 & -0.3210 \\ & & & & & -0.3533 & -0.3346 & -0.3124 \\ & & & & & & -0.3200 & -0.3015 \\ & & & & & & & -0.2875 \end{bmatrix}$$

ÖZGEÇMİŞ

20.02.1979 Gölcük/Kocaeli doğumlu olan Dinçer Mete, ilk ve orta öğrenimini sırasıyla Donanma İlkokulu ve Kocaeli Anadolu Lisesinde tamamlamış, 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak İzmir'e yerleşmiştir. IAESTE (International Association for the Exchange of Students for Technical Experience) kurumunun yapmış olduğu İngilizce sınavında birinci olup Kahire/Mısır'da staj hakkı kazanmış, Arab Contractor Osman Ahmed Osman CO. GIS (Geographical Information Systems) bölümünde 2 ay süreyle görev yapmıştır. Lisans eğitimini tamamlamasına müteakip, Ankara'da bulunan Genel Mühendislik ve Mimarlık A.Ş. de 2 yıl statik proje ve fiyat analiz işlerinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Eğitimi yapmakta olup, 2005 Ocak ayından itibaren İSDEMİR (İskenderun Demir Çelik) A.Ş. İnşaat Proje Bölümünde göreve başlayacaktır.

Annesi öğretmen, babası Deniz Subayı olan Dinçer Mete'nin bir de erkek kardeşi vardır.

ÖZGEÇMİŞ

20.02.1979 Gölcük/Kocaeli doğumlu olan Dinçer Mete, ilk ve orta öğrenimini sırasıyla Donanma İlkokulu ve Kocaeli Anadolu Lisesinde tamamlamış, 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak İzmir e yerleşmiştir. IAESTE (International Association for the Exchange of Students for Technical Experience) kurumunun yapmış olduğu İngilizce sınavında birinci olup Kahire/Mısır da staj hakkı kazanmış, Arab Contractor Osman Ahmed Osman CO. GIS (Geographical Information Systems) bölümünde 2 ay süreyle görev yapmıştır. Lisans eğitimini tamamlamasına müteakip, Ankara da bulunan Genel Mühendislik ve Mimarlık A.Ş. de 2 yıl statik proje ve fiyat analiz işlerinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Eğitimi yapmakta olup, 2005 Ocak ayından itibaren İSDEMİR (İskenderun Demir Çelik) A.Ş. İnşaat Proje Bölümünde göreve başlayacaktır.

Annesi öğretmen, babası Deniz Subayı olan Dinçer Mete nin bir de erkek kardeşi vardır.