

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELASTİK ZEMİNE OTURAN İKİ YAPIYA
SH DALGASI ETKİMESİ DURUMUNDA
YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM PROBLEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Abdullah ALUÇ

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdul HAYIR

ŞUBAT 2007

**ELASTİK ZEMİNE OTURAN İKİ YAPIYA
SH DALGASI ETKİMESİ DURUMUNDA
YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM PROBLEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Abdullah ALUÇ
(501031100)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Abdul HAYIR (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hasan ENGİN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. İrfan COŞKUN (Y.T.Ü.)**

ŞUBAT 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma esnasında değerli bilgi ve yardımlarını gördüğüm sayın hocam Doç. Dr. Abdul HAYIR' a, Anabilim Dalı hocalarıma, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Şubat, 2007

Abdullah ALUÇ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. SH Dalgalarının Kırınım ve Saçılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar	1
1.3. SH Dalgalarının Etkimesi Durumunda Yapı-Zemin Etkileşimi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	3
1.4. SH Dalgalarının Etkimesi Durumunda Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	3
2. MODEL	4
2.1. Koordinat Sistemi	4
2.2. Model	4
3. PROBLEMİN FORMÜLE EDİLMESİ	6
3.1. Zeminin Hareketi	6
3.2. İstinat Duvarının Hareketi	8
3.3. Yapı, Temel ve Zemin Etkileşimi	9
4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ	10
4.1. a_n , b_n , a_n^* , b_n^* Katsayılarının Tespiti	10
4.1.1. Toplam Yerdeğiştirme Alanının (r_1, θ_1) Eksen Takımında Elde Edilmesi	10
4.1.2. Yerdeğiştirme Alanlarının (r_1, θ_1) Ortak Eksen Takımına İndirgenmesi	11
4.1.3. Toplam Yerdeğiştirme Alanının (r_1, θ_1) Eksen Takımında Elde Edilmesi	15
4.1.4. Yerdeğiştirme Alanlarının (r_2, θ_2) Ortak Eksen Takımına İndirgenmesi	15
4.1.5. Denklem Takımının Oluşturulması	20
4.1.6. Denklem Takımının Çözümü	23
4.2. Bilinmeyen Yerdeğiştirmelerin Hesaplanması	24
4.2.1. Kuvvet Denge Denklemlerinin Yazılması	24
4.2.2. Yerdeğiştirmelerin Hesaplanması İçin Denklem Takımının Oluşturulması ve Çözülmesi	25

5. SAYISAL UYGULAMALAR	27
5.1. $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	27
5.2. $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	37
5.3. $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	46
5.4. $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	55
5.5. $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	64
5.6. $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar	73
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	82
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

yy. : Yüzyıl

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Model	5
Şekil 3.1 : Birim Temel Uzunluğu İçin Kuvvet Dengesi.....	9
Şekil 4.1 : Koordinat Dönüşümü.....	11
Şekil 4.2 : Koordinat Dönüşümü.....	15
Şekil 5.1 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	31
Şekil 5.2 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	32
Şekil 5.3 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	33
Şekil 5.4 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	34
Şekil 5.5 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	35
Şekil 5.6 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	36
Şekil 5.7 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	40
Şekil 5.8 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	41
Şekil 5.9 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	42
Şekil 5.10 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	43
Şekil 5.11 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	44
Şekil 5.12 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	45
Şekil 5.13 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	49
Şekil 5.14 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	50
Şekil 5.15 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	51
Şekil 5.16 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	52
Şekil 5.17 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	53
Şekil 5.18 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	54
Şekil 5.19 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	58
Şekil 5.20 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	59
Şekil 5.21 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	60
Şekil 5.22 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	61
Şekil 5.23 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	62
Şekil 5.24 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	63
Şekil 5.25 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	67
Şekil 5.26 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	68
Şekil 5.27 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	69
Şekil 5.28 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	70
Şekil 5.29 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	71
Şekil 5.30 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	72
Şekil 5.31 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	76
Şekil 5.32 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	77
Şekil 5.33 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	78
Şekil 5.34 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	79
Şekil 5.35 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	80
Şekil 5.36 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi.....	81

SEMBOL LİSTESİ

a_1, a_2	: Yarım daire kesitli temellerin yarıçapları
a_n, b_n	: Birinci bina için karmaşık katsayılar
a_n^*, b_n^*	: İkinci bina için karmaşık katsayılar
C_x, C_y	: x ve y yönlerindeki hızlar
f_z^s	: Toprağın birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
f_z^b	: İstinat duvarının birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
H_1	: Birinci İstinat duvarının yüksekliği
H_2	: İkinci İstinat duvarının yüksekliği
$H_p^{(2)}(x)$	: İkinci nevi Hankel fonksiyonu
i	: sanal birim
$J_p(x)$	: Birinci nevi Bessel fonksiyonu
k	: Topraktaki dalga sayısı
k_b^1, k_b^2	: İstinat duvarlarındaki dalga sayısı
M_0^1, M_0^2	: Temellerin birim uzunluğunun kütlesi
M_b^1, M_b^2	: İstinat duvarların birim uzunluğunun kütlesi
M_s^1, M_s^2	: Temeller için hafredilen toprağın birim uzunluğunun kütlesi
r	: Kutupsal koordinatlarda mesafe
t	: Zaman
u_z^{g+y}	: Gelen ve serbest yüzeyden yansıyan SH dalgalar için yerdeğiştirme alanı
u_z^S	: Temelden saçılan SH dalgalar için yerdeğiştirme alanı
x_1, x_2	: Kartezyen koordinat
y_1, y_2, y_1', y_2'	: Kartezyen koordinat
z	: Kartezyen koordinat
β	: SH dalgalarının topraktaki hızı
β_b^1	: SH dalgalarının Birinci istinat duvarındaki hızı
β_b^2	: SH dalgalarının İkinci istinat duvarındaki hızı
γ	: SH dalgalarının geliş açısı
Δ	: Temelin yerdeğiştirme genliği
ε	: Boyutsuz parametre $\varepsilon = \beta H / \beta_b r$, $\varepsilon = k_b H / kr$
θ	: Kutupsal koordinatta açı
μ	: Zeminin rijitliği
μ_b^1	: Birinci istinat duvarın rijitliği
ρ_b^1	: Birinci istinat duvarın özkütlesi
μ_b^2	: İkinci istinat duvarın rijitliği
ρ_b^2	: İkinci istinat duvarın özkütlesi
ω	: Açısal frekans
Γ	: Kısaltma sembolü

ÖZET

Bu çalışmada, γ geliş açılı düzlem SH dalgalarına maruz yarım uzay yüzeyinde bulunan dairesel temele oturtulan iki istinat duvarının analizi yapılmaktadır. Bu bağlamda yapıların genlikleri, yapıların ve zeminin değişik mekanik ve geometrik özelliklerine göre çözümleri yapılmaktadır. Burada ele alınan problem bir dinamik yapı zemin etkileşimi problemidir.

Bu problemde gelen ve serbest yüzeyden yansıyan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirme alanı kartezyen koordinatlarda,

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t - i(\omega x / C_x)} \cos\left(\frac{\omega y}{C_y}\right) \quad (A.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

$$C_x = \frac{\beta}{\sin(\gamma)} \quad \text{ve} \quad C_y = \frac{\beta}{\cos(\gamma)} \quad (A.2)$$

olmaktadır.

İncelenecek binaların temellerinin yarım daire kesitli olması ve sonsuz seri çözümünün kullanılacak olması sebebiyle, koordinat sistemi olarak kutupsal koordinat sisteminin seçilmesi kolaylık sağlamaktadır.

Kartezyen koordinat takımındaki (A.1) ifadesi, kutupsal koordinat takımında,

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (A.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yarım daire kesitli temellerden dalgaların yansıması “saçılma” olarak adlandırılmaktadır. Saçılan bu dalgalar, harici iki ayrı kaynaktan gelen dalgalar gibi davranmakta ve

$$u_z^s(r, \theta) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr) \cos(2n\theta) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (A.4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (A.5)$$

topraktaki dalga sayısı, $J_p(kr)$, p. dereceden (kr) argümanlı birinci nevi Bessel fonksiyonudur.

Birinci ve ikinci bina temelinden saçılan dalgaların sebep olduğu yer değiştirme alanları,

$$u_{z1}^s(r_1, \theta_1) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (A.6)$$

$$u_{z2}^s(r_2, \theta_2) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\theta_2) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (A.7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, a_n , b_n , a_n^* , b_n^* karmaşık katsayılar; $H_p^{(2)}(kr)$, p. dereceden (kr) argümanlı ikinci nevi Hankel fonksiyonudur.

Toplam yerdeğiştirme alanı, gelen ve yansıyan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirme alanı ile saçılan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirme alanlarının toplanması ile elde edilmektedir.

$$u_z = u_z^{g+y} + \sum u_z^s \quad (A.8)$$

u_z aşağıdaki yönetici denklemi, $r \geq a$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ için sağlamalıdır:

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} \quad (A.9)$$

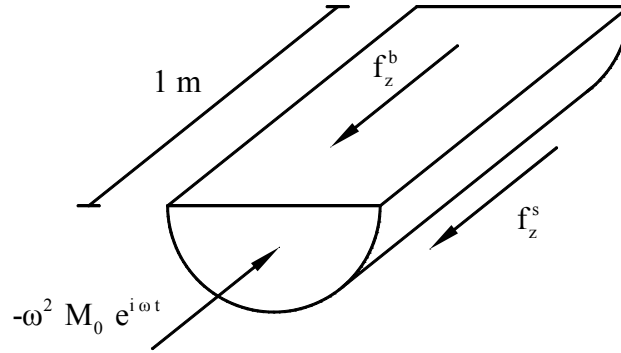
Ayrıca şu sınır şartlarını da sağlamalıdır:

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r > a \quad (\text{A.10})$$

$$u_z = \Delta e^{i\omega t} \quad |\theta| \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r = a \quad (\text{A.11})$$

Burada Δ , bilinmeyen rijit temel hareketidir. Bilinmeyen a_n , b_n , a_n^* , b_n^* karmaşık katsayıları, (A.9) sınır şartını sağlayacak şekilde bulunur.

Rijit temel için Luco tarafından verilen hareket denklemi yazılarak bilinmeyen Δ yerdediştirilmesi bulunabilir.



ŞEKİL A.1 : Birim Temel Uzunluğu İçin Kuvvet Dengesi

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^s + f_z^b) \quad (\text{A.12})$$

Burada M_0 temelin birim uzunluğunun kütlesini, f_z^s temel çevresindeki zeminin birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvvetini temsil etmektedir.

$$f_z^s = -a \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_{rz} \Big|_{r=a} d\theta \quad \rightarrow \quad \sigma_{rz} = \mu \frac{\partial u_z}{\partial r} \quad (\text{A.13})$$

İstinat duvarının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti

$$f_z^b = -\omega^2 M_b \frac{\tan(k_b H)}{k_b H} \Delta e^{i\omega t} \quad (\text{A.14})$$

olarak ifade edilmektedir [13].

Burada,

$$M_b = \rho_b \cdot 2 \cdot a \cdot H \quad (A.15)$$

istinat duvarının birim uzunluğunun kütlesini göstermektedir.

Her iki bina için bu kuvvet denge denklemleri yazılarak Δ_1 ve Δ_2 bilinmeyenlerini içeren denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözülmesi ile Δ_1 ve Δ_2 rijit temel yerdeğiştirmeleri elde edilmektedir.

Sayısal sonuçlar yapıların ve zeminin değişik özelliklerine göre elde edilmektedir. Yapılar arasındaki mesafe artırıldığında, yapıların ikiz yapı olması durumunda elde edilen sonuçlar Trifunac tarafından ele alınan tek yapı için elde edilen sonuçlarla üst üste düşmektedir. Bu durumda genlikler dalganın geliş açısından etkilenmemektedir. Fakat eğer yapılar arasındaki mesafe (L) küçülürse, genlikler birbirlerinden etkilenmeye başlıyor. Örneğin, genlikler dalganın geliş açısına bağlı olarak birbirlerini etkilemektedir, oysa tek yapı için elde edilen genlikler dalganın geliş açısından etkilenmemektedir. Resonans durumunda genliklerden biri sıfıra yaklaşırken diğeri artmaktadır. Gelme açısının sıfır olması durumunda ikiz yapılar için genlikler eşit olmaktadır.

SUMMARY

In this study, two shear walls resting on the half space and subjected to SH waves having incident angle γ are analyzed. In this frame amplitudes of the structures regarding various mechanical properties of structures and half space are determined. The problem considered here are a dynamic soil-structure interaction problem. In this problem, incident and reflected SH waves can be expressed in cartesian coordinates as

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t - i(\omega x / C_x)} \cos\left(\frac{\omega y}{C_y}\right) \quad (A.1)$$

where

$$C_x = \frac{\beta}{\sin(\gamma)} \quad \text{ve} \quad C_y = \frac{\beta}{\cos(\gamma)} \quad (A.2)$$

Due to the shape (half-circular foundation) of the foundations of shear walls, polar coordinate system is considered. Because it is easy to apply boundary conditions around the foundations and allows infinite series solutions for the problem.

Eq(A.1) can be expressed in polar coordinate system as follows

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) \right. \\ \left. - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (A.3)$$

Reflecting of waves from the circular cross-section of foundations create cylindrical waves and are called scattering waves. Scattering waves from the half circular foundation can be represented as follows

$$u_z^s(r, \theta) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr) \cos(2n\theta) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (A.4)$$

where k is the wave number in the soil and $J_p(kr)$ is the Bessel function of first kind with argument (kr) and order p .

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (A.5)$$

Using upon formula, scattering waves from the first and second foundation of the structures are presented similarly as below

$$u_{z1}^s(r_1, \theta_1) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (A.6)$$

$$u_{z2}^s(r_2, \theta_2) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\theta_2) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (A.7)$$

where a_n, b_n, a_n^*, b_n^* complex coefficients and $H_p^{(2)}(kr)$ is the Hankel function of second kind with argument (kr) and order p . Total free field displacement is sum of the free field displacement incident and reflected waves and free field displacement scattering waves.

$$u_z = u_z^{g+y} + \sum u_z^s \quad (A.8)$$

u_z must satisfy the following governing differential wave equation

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} \quad (A.9)$$

for $r \geq a$ ve $|\theta| \leq \pi/2$. It must also satisfy the boundary conditions given by

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r > a \quad (\text{A.10})$$

and

$$u_z = \Delta e^{i\omega t} \quad |\theta| \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r = a \quad (\text{A.11})$$

where Δ is the unknown movement(amplitude) of rigid foundation. The unknown a_n , b_n , a_n^* , b_n^* complex coefficients are determined as satisfying boundary conditions given by (A.9). Δ unknown movement is determined by the equation given by Luco for rigid foundation.

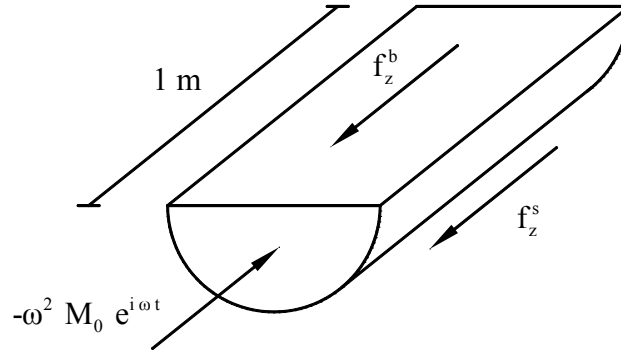


FIGURE A.1 : Force Equilibrium for Foundation per Unit Lenght

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^s + f_z^b) \quad (\text{A.12})$$

where M_0 mass of foundation per unit length, the f_z^s the action of the soil on the foundation, given by

$$f_z^s = -a \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_{rz} \Big|_{r=a} d\theta \quad \rightarrow \quad \sigma_{rz} = \mu \frac{\partial u_z}{\partial r} \quad (\text{A.13})$$

and the f_z^b , the action per unit length of the shear wall on the foundation [13], is given by

$$f_z^b = -\omega^2 M_b \frac{\tan(k_b H)}{k_b H} \Delta e^{i\omega t} \quad (\text{A.14})$$

Where M_b is the mass of shear wall per unit length.

$$M_b = \rho_b 2 a H \quad (A.15)$$

Using the equations of motion for two structures, the unknown amplitudes (impedances) Δ_1 and Δ_2 are determined.

Numerical results are obtained for the various parameters of structures and soils. Results show that when distance between the first and second structures are increased, amplitudes for twin structures approach the results of one structure considered by Trifunac. In this case amplitudes are not effected by angle of the incident. However if the this distance(L) is decreased, the amplitudes started to influence each other. For instance, the amplitudes are effected by incident angles of the waves and in the resonance cases, when one amplitude goes to zero the other increase. When incident angle is vertical, the amplitude for twin structures are equal.

1. GİRİŞ

1.1 Konu ve Çalışmanın Amacı

Kırınım ve saçılım problemleri, ışık ışınlarının kırılma, yansımaya ve kırınımının incelenmesinde, akustik ve elektromanyetik ilişkin çalışmalarda uzun zamandan beri araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu bağlamda sonar bulguları, mimari ve anten tasarımı söz edilebilir. Kırınımın elastisite teorisi alanında incelenmesine yakın geçmişte başlanmıştır. Ultrasonik testler, dinamik gerilme yığılmaları ve çarpma etkileri aynı çerçevede ele alınmaktadır.

Elastik bir ortamda yayılmakta olan bozucu başka bir nesneye ya da ortam süreksizliğine (boşluk, çatlak ya da dolgu malzemesi) rastlarsa yansımaya ve/veya kırılma olgusu oluşur. Keskin sınırlar (kenarlar) boyunca oluşan bu olgulara “kırınım”, düzgün sınırlar boyunca oluşan olgulara “saçılım” denmektedir.

Yer fiziğinde, deprem mühendisliğinde, petrol araştırmaları teknolojisinde ve kırılma mekaniğinin dinamik gerilme yığılmaları hesabında dalga kırınım ve saçılım araştırmaları zamanımızda giderek artan bir önem kazanmaktadır [1].

Elastik homojen yarı uzayda mevcut tek bir istinat duvarının yapı-zemin etkileşimi literatürde bilinmektedir. Bu çalışmada elastik, homojen yarı uzayda inşa edilmiş iki adet istinat duvarının SH dalgaları etkisinde yapı-zemin-yapı etkileşimi ve ikinci bir binanın varlığının sebep olduğu değişiklikler incelenmektedir.

1.2 SH Dalgalarının Kırınım ve Saçılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Düzlem SH dalgalarının kırınım ve saçılım probleminin incelenmesine 20 yy. ın ikinci yarısına doğru başlanmıştır. Daha önceki yıllarda bu tür problemler akustik ve elektromanyetik alanlarda incelemiştir.

Bu alanda yapılan ilk çalışmalar, sonsuz bir ortamdaki oyuktan saçılan dalgaların kapalı çözümleri ile ilgilidir [2]. Bu kaynakta çeşitli frekanslara göre delik etrafında dinamik gerilme yığılmaları, saçılan dalgaının şiddetinin açısal dağılımı ve toplam

saçılma güçleri elde edilmiştir. Bu kitabın yayınlanmasından bir yıl sonra daireye yakın silindirik oyuktan SH dalgalarının saçılmasının perturbasyon yöntemiyle çözümü yapılmıştır [3]. Bu çalışmada, dairesel silindirik oyuktan küçük perturbasyonlarla elde edilebilecek çeşitli silindirik oyuklara gelen SH dalgasının meydana getirdiği gerilme ve yerdeğiştirme alanı ile saçılan dalganın şiddetinin açisal dağılımı incelenmiştir. Burada saçılan dalganın açisal dağılımında perturbasyonun katkısı, çeşitli dalga boylarında perturbasyon etkisinin hangi mertebe olduğu araştırılmıştır. Yine bu çalışmada dairesel silindirik oyuktan saçılan dalga, sonlu delik yarıçapı kısa ve uzun dalga, sonlu dalga boyu, çok küçük veya büyük delik yarı çapları için incelenmiştir. Saçılan dalganın şiddetinin açisal dağılımı, saçılan dalganın kutupsal eksen takımında ışınsal koordinatın çok büyük değeri ($r \rightarrow \infty$) için asimptotik açılımından elde edilmektedir. Sonlu delik yarıçapı için delik çevresinin yakınında tesirlerinin kaybolduğunu göstermişlerdir. Bu sonuç, dalga saçılması etkisinin, yeter uzaklıkta kaybolacağını ortaya koymaktadır.

Daha sonraki yıllarda yarım uzay için bu tür problemler incelenmeye başlanmıştır. Yarım uzayda, gelen SH dalgalarının farklı bir malzemeden saçılımı ve kırınımının kapalı çözümleri de dairesel bir tünel için verilmiştir [4]. Aynı zamanda kapalı çözümler bir yarım uzayda iki boyutlu bir dairesel oyuk için [5] ve yine bir yarım uzayda dönel elipsoit dolgu malzemeli cisim için geliştirilmiştir [6].

Bu kapalı form çözümlerin temel sınırlaması, yüzey ve yüzey altında bulunan serbest dairesel sınır kısıtlamasıdır. Diğer analitik çözümler aynı zamanda Gregory [7] tarafından geliştirilmiştir ve yine Gregory [8] tarafından bir yarım uzayda dairesel şekilli oyuklara uygulanmıştır. Bu çözümler dalga fonksiyonlarına açılım biçimindedir. Datta aynı problemi karşılaştırmalı asimptotik açılım yöntemi ile yaklaşık çözmüştür [9]. Dravinski, Green fonksiyonlarını kullanarak karışık şekilli farklı malzemeler için bir sınır integral yaklaşımı kullanmıştır [10].

Benzer problemlerin çözümünde çeşitli kırınım ve saçılım problemlerinin başlıca çözüm yöntemleri şöyle sıralanabilir [1]:

1. Özfonsiyonlara açılım yöntemi,
2. İntegral denklem yöntemi,
 - 2.a. Green fonksiyonu yöntemi,
 - 2.b. Kirchhoff integral denklem yöntemi,
3. İntegral dönüşüm yöntemi,
4. Sayısal yöntemler (sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır elemanlar yöntemi)

1.3 SH Dalgalarının Etkimesi Durumunda Yapı-Zemin Etkileşimi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Topraktan deprem dalgalarının geçişi sırasındaki yapı-zemin etkileşimi mühendislerin ilgisini çekmektedir [11, 12]. Luco, yapı-zemin etkileşiminin çeşitli özelliklerini ispat etmek için elastik, homojen yarı uzayda rijit yarı silindirik temel üzerine bina edilmiş sonsuz uzunluktaki istinat duvarından oluşan modeli incelemiştir [13]. Luco bu çalışmada dikey SH dalgalarının etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Trifunac, Luco' nun bu çalışmasını açı değişimini kapsayacak şekilde genelleştirip temel yakınındaki zemin yüzey hareketinin tabiatını araştırmıştır [14].

Yapı-zemin etkileşiminin deneysel çalışmaları zemin yüzey hareketi ve bina temelinin eşzamanlı ölçümlerine dayanılarak Housner [12] ve Duke [15] tarafından yapılmıştır.

1.4 SH Dalgalarının Etkimesi Durumunda Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Birden fazla binanın mevcut olduğu yapı-zemin-yapı etkileşimi problemi MacCalden tarafından deneysel olarak [16], Warburton tarafından analitik olarak incelenmiştir [17]. İnceledikleri modeller elastik, homojen yarı uzayda iki dairesel kesitli temelden oluşmaktadır. Luco ve Contesse düzlem dışı titreşimler için dikey SH dalgaları etkisi altındaki yarım daire kesitli bitişik iki temelin etkileşimini incelemişlerdir [18]. Liang benzer düzlem gerilme problemini sonlu elemanlar yaklaşımı ile çözmüştür [19]. Üç binanın etkileşimi Lee ve Wesley tarafından üç boyutlu olarak incelenmiştir [20]. Wong ve Trifunac tarafından iki ya da daha fazla yapının etkileşim problemi SH dalgaları için incelenmiştir [21]. Bu çalışmada gelen ve yansıyan dalgalar için kabul edilen çözümler eksiktir. Buradaki çözümler sadece dalganın düşey yönde gelmesi durumu için geçerlidir. Bizim çalışmamızda iki yapı için elde edilen çözümler gelme açısının her durumunu kapsamaktadır.

2. MODEL

2.1 Koordinat Sistemi

Koordinat sistemi olarak, kutupsal koordinat sistemi seçilmiştir. Bu seçim, yarım daire kesitli temelin analizi için kolaylık sağlamakta ve sonsuz seri çözümüne imkan tanımaktadır.

2.2 Model

İncelenen model, elastik, homojen yarı uzayda, yarım daire kesitli rijit temel üzerine inşa edilmiş sonsuz uzunlukta iki istinat duvarından oluşmaktadır.

a_1 ve a_2 , yarım daire kesitli temellerin yarıçaplarıdır. İstinat duvarlarının genişlikleri $2a_1$ ve $2a_2$, yükseklikleri H_1 ve H_2 ' dir. Bina eksenleri arasındaki mesafe L ile gösterilmektedir.

Rijitlikleri μ_b^1 ve μ_b^2 ile gösterilen istinat duvarlarının izotrop ve homojen olduğu kabul edilmekte, SH dalgalarının duvardaki hızları β_b^1 ve β_b^2 ile temsil edilmektedir. Zeminin elastik, izotrop ve homojen olduğu varsayılmakta, rijitliği μ ile gösterilmekte, SH dalgalarının zemindeki hızı β ile verilmektedir.

3. PROBLEMİN FORMÜLE EDİLMESİ

3.1 Zeminin Hareketi

Yarım uzay, γ geniş açılı SH dalgasına maruz kalsın. Bu durumda gelen ve yansıyan dalganın hareketi şöyle ifade edilebilir:

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t - i(\omega x / C_x)} \cos\left(\frac{\omega y}{C_y}\right) \quad (3.1)$$

Burada;

$$C_x = \frac{\beta}{\sin(\gamma)} \quad \text{ve} \quad C_y = \frac{\beta}{\cos(\gamma)} \quad (3.2)$$

x ve y yönündeki dalga hızlarını göstermektedir.

(3.1) denklemindeki z indisi, hareketin z yönünde olduğunu göstermektedir. g ve y indisleri, gelen (g) ve serbest yüzeyden yansıyan (y) dalgaları temsil etmektedir. Bu denklemden, C_x faz hızı ile pozitif x yönünde üretilen dalgaları; $\cos(\omega y / C_y)$ ise y yönünde üretilen dalgaları göstermektedir.

Temellerden saçılan dalgalar, ayrı iki kaynak gibi davranır ve bu saçılmaların dikkate alınması gerekir. Bu saçılmalarından oluşan yerdeğiştirmeler u_z^S ile gösterilmektedir. Toplam yerdeğiştirme, gelen ve yansıyan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirmeler ile saçılan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirmelerin toplanması ile elde edilmektedir.

$$u_z = u_z^{g+y} + \sum u_z^S \quad (3.3)$$

Zeminde meydana gelen hareket u_z aşağıdaki yönetici denklemi $r \geq a$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ için sağlamalıdır:

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} \quad (3.4)$$

Ayrıca serbest yüzeyde aşağıdaki sınır şartını,

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r > a \quad (3.5)$$

ve rijit temel için

$$u_z = \Delta e^{i\omega t} \quad |\theta| \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad \text{ve} \quad r = a \quad (3.6)$$

şartını sağlamalıdır. Burada Δ , bilinmeyen rijit temel genliğidir.

Kartezyen koordinat takımındaki (3.1) ifadesi, kullanacağımız kutupsal koordinat takımında aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$u_z^{g+y} = e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) \right. \\ \left. - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (3.7)$$

Burada;

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (3.8)$$

zemindeki dalga sayısı, $J_p(kr)$, p. dereceden (kr) argümanlı Birinci nevi Bessel fonksiyonunu göstermektedir.

(3.1) ifadesi, (3.5) ile verilen sınır şartlarını otomatik olarak sağladığından, (3.7) ifadesi de sağlamaktadır.

Saçılan dalgaların sebep olduğu yerdeğiştirmeler u_z^S kutupsal koordinatlarda her bir yapı için,

$$u_{z1}^S(r_1, \theta_1) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (3.9)$$

$$u_{z2}^s(r_2, \theta_2) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n \theta_2) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \right\} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, a_n , b_n , a_n^* , b_n^* bilinmeyen karmaşık katsayılar; $H_p^{(2)}$ ($k r$), p . dereceden ($k r$) argümanlı ikinci nevi Hankel fonksiyonunu göstermektedir.. Bilinmeyen a_n , b_n , a_n^* , b_n^* karmaşık katsayıları, (3.6) sınır şartını sağlayacak şekilde bulunur.

$$u_z^{g+y} + u_{z1}^s + u_{z2}^s = \Delta e^{i\omega t} \quad (3.11)$$

3.2 İstinat Duvarının Hareketi

İstinat duvarının yerdeğiştirme alan ifadesi (3.12) diferansiyel denklemini, (3.13) ve (3.14) sınır şartlarını sağlamalıdır.

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial y'^2} = \frac{1}{\beta_b^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} \quad 0 \leq y' \leq H \quad (3.12)$$

$$\sigma_{y'z} = \mu_b \frac{\partial u_z}{\partial y'} = 0 \quad y' = H \quad (3.13)$$

$$u_z = \Delta e^{i\omega t} \quad y' = 0 \quad (3.14)$$

x kartezyen koordinatına bağıllık temelin rijit olduğu varsayımı ile yok edilebilir.

(3.12), (3.13) ve (3.14) ifadelerinin çözümü,

$$u_z = \Delta e^{i\omega t} \left\{ \cos(k_b y') + \tan(k_b H) \sin(k_b y') \right\} \quad (3.15)$$

şeklinde verilebilir. Burada,

$$k_b = \frac{\omega}{\beta_b} \quad (3.16)$$

istinat duvarındaki dalga sayısını göstermektedir. İstinat duvarının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti,

$$f_z^b = -\omega^2 M_b \frac{\tan(k_b H)}{k_b H} \Delta e^{i\omega t} \quad (3.17)$$

olarak ifade edilmektedir [13].

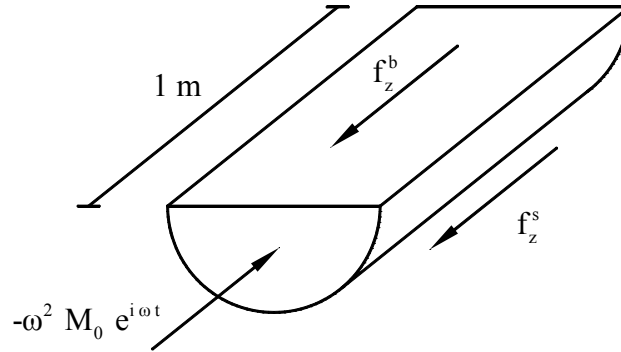
Burada,

$$M_b = \rho_b 2 a H \quad (3.18)$$

istinat duvarının birim uzunluğunun kütleini göstermektedir.

3.3 Yapı, Temel ve Zemin Etkileşimi

Rijit temel için hareket denklemi yazılarak Δ yerdeğiştirmesi bulunabilir [13].



ŞEKİL 3.1 : Birim Temel Uzunluğuna İçin Kuvvet Dengesi

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^s + f_z^b) \quad (3.19)$$

$$f_z^s = -a \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_{rz} \Big|_{r=a} d\theta \quad (3.20)$$

M_0 temelin birim uzunluğunun kütleini, f_z^s temel çevresindeki zeminin birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvvetini temsil etmektedir.

$$\sigma_{rz} = \mu \frac{\partial u_z}{\partial r} \quad (3.21)$$

4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

4.1 a_n, b_n, a_n^*, b_n^* Katsayılarının Tespiti

(3.3) ifadesi, bilinmeyen katsayıların tespiti için koordinat dönüşümleri kullanılarak $u_z(r_1, \theta_1)$ ve $u_z(r_2, \theta_2)$ olarak iki eksen takımı için de yazılmaktadır. Daha sonra bu formüllerde bulunan a_n, b_n, a_n^*, b_n^* katsayıları sınır koşulları kullanılarak elde edilmektedir.

Hesaplamalarda, Mathematica programı kullanılmaktadır.

4.1.1 Toplam Yerdeğiştirme Alanının (r_1, θ_1) Eksen Takımında Elde Edilmesi

$$u_z(r_1, \theta_1) = u_z^{g+y}(r_1, \theta_1) + \sum u_z^s(r_1, \theta_1) \quad (4.1)$$

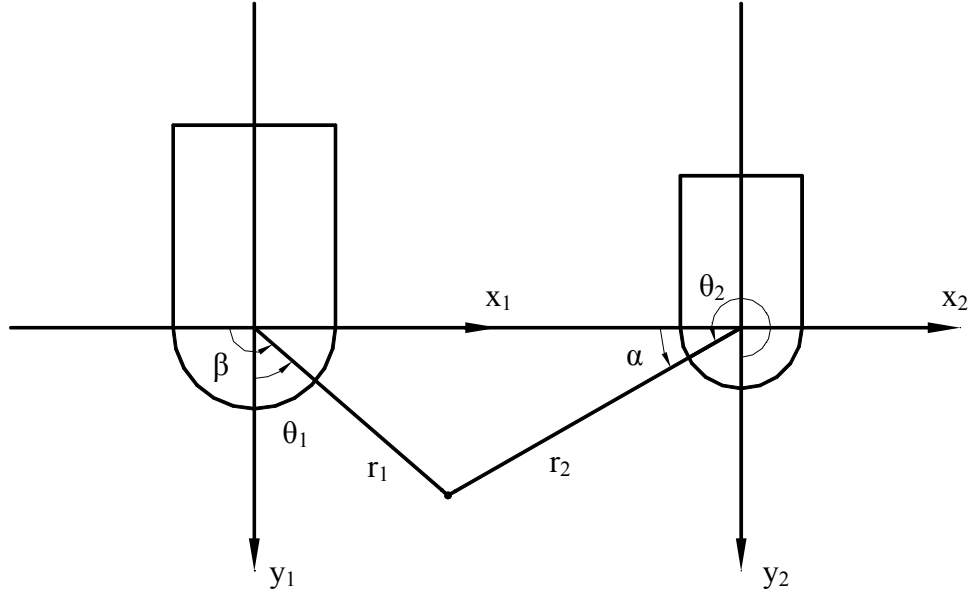
r_1, θ_1 eksen takımında gelen ve yansıyan dalgayı içeren ifade;

$$u_z^{g+y}(r_1, \theta_1) = e^{i\omega t} [J_0(k r_1) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(k r_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1)] \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. (r_1, θ_1) eksen takımında birinci temelden saçılan dalgayı içeren ifade (3.9) ile, (r_2, θ_2) eksen takımında ikinci temelden saçılan dalgayı içeren ifade (3.10) ile verilmektedir.

4.1.2 Yerdeğiştirme Alanlarının (r_1, θ_1) Ortak Eksen Takımına İndirgenmesi

Ele alınan problemde mevcut sınır koşullarını sağlayabilmek için ortak koordinat takımında çalışmakta yarar vardır. Bu sebepten farklı koordinat takımlarında elde edilen yerdeğiştirme alanlarını ortak koordinat takımlarına indirmek gerekir. Aşağıda verilen Graf toplam teoremi bu amaçla kullanılmaktadır.



ŞEKİL 4.1 : Koordinat Dönüşümü

Graf toplam teoremi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$H_n^{(2)}(k r_2) \begin{Bmatrix} \cos(n \alpha) \\ \sin(n \alpha) \end{Bmatrix} = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \left[H_{m+n}^{(2)}(k L) \pm (-1)^n H_{m-n}^{(2)}(k L) \right] \begin{Bmatrix} \cos(n \beta) \\ \sin(n \beta) \end{Bmatrix} \quad (4.3)$$

L bina eksenleri arasındaki uzaklıktır.

$$\epsilon_m = \begin{pmatrix} 1 & m = 0 \\ 2 & m \neq 0 \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

(3.10) ifadesini dönüşüm formülleri yardımı ile (r_1, θ_1) eksen takımında ifade etmek için (4.5) ile verilen açı dönüşümleri kullanılırsa,

$$\theta_2 = \alpha + \frac{3\pi}{2} \quad \beta = \theta_1 + \frac{\pi}{2} \quad (4.5)$$

$$u_{z2}^S(r_2, \alpha) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} (a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n(\frac{3\pi}{2} + \alpha)) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \sin((2n+1)(\frac{3\pi}{2} + \alpha))) \quad (4.6)$$

$$\cos\left(2n\left(\frac{3\pi}{2} + \alpha\right)\right) = (-1)^n \cos(2n\alpha) \quad (4.7)$$

$$\sin\left((2n+1)\left(\frac{3\pi}{2} + \alpha\right)\right) = -(-1)^n \cos((2n+1)\alpha)$$

olarak elde edilir. (4.7) ile verilen yarım açı formülleri yardımıyla, (4.8) ifadesi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$u_{z2}^S(r_2, \alpha) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) (-1)^n \cos(2n\alpha) - b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) (-1)^n \cos((2n+1)\alpha) \right\} \quad (4.8)$$

(4.8) ifadesini düzenlenirse;

$$u_{z2}^S(r_2, \alpha) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n\alpha) - b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \cos((2n+1)\alpha) \right) \right\} \quad (4.9)$$

ifadesi elde edilir. (4.3) ile verilen dönüşüm formülü işleme kullanılırsa,

$$H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n\alpha) = \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \cos(m\beta) \right\} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned}
& H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \cos((2n+1) \alpha) \\
& = \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \cos(m \beta) \right\} \quad (4.11)
\end{aligned}$$

dönüşüm ifadeleri elde edilir. (4.10) ve (4.11) dönüşüm ifadeleri (4.9) ifadesinde yerlerine konursa,

$$\begin{aligned}
& u_{z2}^s(r_1, \beta) = \\
& e^{i \omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \cos(m \beta) \right\} \right\} \right. \\
& \quad \left. - b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \cos(m \beta) \right\} \right\} \right\} \quad (4.12)
\end{aligned}$$

ifadesi elde edilir. (4.5) ile verilen açı dönüşümü kullanılarak $u_{z2}^s(r_2, \theta_2)$ ifadesi, (r_1, θ_1) eksen takımında aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned}
& u_{z2}^s(r_1, \theta_1) = \\
& e^{i \omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \cos\left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right)\right) \right\} \right\} \right. \\
& \quad \left. - b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \cos\left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right)\right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.13)
\end{aligned}$$

Yarım açı formülleri,

$$\cos\left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right)\right) = \cos(m \theta_1) \cos\left(\frac{m \pi}{2}\right) - \sin(m \theta_1) \sin\left(\frac{m \pi}{2}\right) \quad (4.14)$$

(4.13) ifadesinde yerine konursa,

$$\begin{aligned}
u_{z2}^s(r_1, \theta_1) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_1) \cos\left(\frac{m \pi}{2}\right) - \sin(m \theta_1) \sin\left(\frac{m \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right. \\
& - b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_1) \cos\left(\frac{m \pi}{2}\right) - \sin(m \theta_1) \sin\left(\frac{m \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right) \right\} \quad (4.15)
\end{aligned}$$

elde edilmektedir. (r_1, θ_1) eksen takımında toplam yerdeğiştirme alanı,

$$\begin{aligned}
u_z(r_1, \theta_1) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(k r_1) \cos(2n \gamma) \cos(2n \theta_1) \right. \\
& \left. - 2i (-1)^n J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1) \gamma) \sin((2n+1) \theta_1) \right\} \\
& + e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n \theta_1) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \sin((2n+1) \theta_1) \right\} \\
& + e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_1) \cos\left(\frac{m \pi}{2}\right) - \sin(m \theta_1) \sin\left(\frac{m \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right. \\
& - b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_1) \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_1) \cos\left(\frac{m \pi}{2}\right) - \sin(m \theta_1) \sin\left(\frac{m \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right) \right\} \quad (4.16)
\end{aligned}$$

olarak ifade edilebilir.

4.1.3 Toplam Yerdeğiştirme Alanının (r_2, θ_2) Eksen Takımında Elde Edilmesi

$$u_z(r_2, \theta_2) = u_z^{g+y}(r_2, \theta_2) + \sum u_z^s(r_2, \theta_2) \quad (4.17)$$

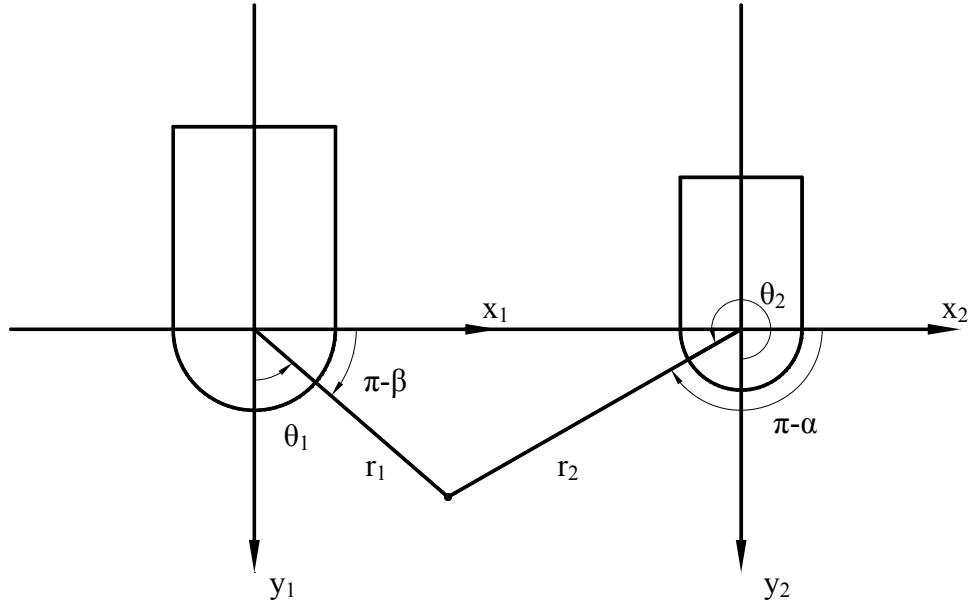
(r_2, θ_2) eksen takımında gelen ve yansıyan dalgayı içeren ifade;

$$u_z^{g+y}(r_2, \theta_2) = e^{i\omega t} \left\{ J_0(k r_2) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(k r_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\ \left. - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (4.18)$$

şeklinde yazılabilir. (r_1, θ_1) eksen takımında birinci temelden saçılan dalgayı içeren ifade (3.9) ile, (r_2, θ_2) eksen takımında ikinci temelden saçılan dalgayı içeren ifade (3.10) ile verilmektedir.

(3.9) ifadesine, (4.17) ifadesinin elde edilebilmesi için dönüşüm uygulanmalı, bu ifade (r_2, θ_2) eksen takımında yeniden düzenlenmelidir.

4.1.4 Yerdeğiştirme Alanlarının (r_2, θ_2) Ortak Eksen Takımına İndirgenmesi



ŞEKİL 4.2 : Koordinat Dönüşümü

Graf toplam teoremi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
& H_n^{(2)}(k r_1) \begin{Bmatrix} \cos(n(\pi-\beta)) \\ \sin(n(\pi-\beta)) \end{Bmatrix} \\
& = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+n}^{(2)}(k L) \pm (-1)^n H_{m-n}^{(2)}(k L) \right] \begin{Bmatrix} \cos(n(\pi-\alpha)) \\ \sin(n(\pi-\alpha)) \end{Bmatrix}
\end{aligned} \tag{4.19}$$

olarak verilmektedir. L bina eksenleri arasındaki uzaklıktır.

(3.9) ifadesini dönüşüm formülleri yardımı ile (r_2, θ_2) eksen takımında ifade etmek için (4.20) ile verilen açı dönüşümleri kullanılırsa,

$$\begin{aligned}
\theta_1 &= \beta - \frac{\pi}{2} \\
\pi - \alpha &= \frac{5\pi}{2} - \theta_2
\end{aligned} \tag{4.20}$$

$$\begin{aligned}
u_{z1}^S(r_1, \beta) &= e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos\left(2n\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \right. \\
&\quad \left. + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \sin\left((2n+1)\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \right\}
\end{aligned} \tag{4.21}$$

$$\begin{aligned}
\cos\left(2n\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) &= (-1)^n \cos(2n\beta) \\
\sin\left((2n+1)\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) &= -(-1)^n \cos((2n+1)\beta)
\end{aligned} \tag{4.22}$$

olarak elde edilir. (4.22) ile verilen yarım açı formülleri yardımıyla,

$$\begin{aligned}
u_{z1}^S(r_1, \beta) &= e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) (-1)^n \cos(2n\beta) \right. \\
&\quad \left. - b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) (-1)^n \cos((2n+1)\beta) \right\}
\end{aligned} \tag{4.23}$$

ifadesi elde edilir. (4.23) ifadesini düzenlenirse,

$$u_{z_1}^s(r_1, \beta) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n\beta) - b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \cos((2n+1)\beta) \right) \right\} \quad (4.24)$$

elde edilir. Bu adımda dönüşüme devam edilebilmesi için (4.24) ifadesinde,

$$\begin{aligned} \cos(2n\beta) &= \cos(2n(\pi-\beta)) \\ \cos((2n+1)\beta) &= -\cos((2n+1)(\pi-\beta)) \end{aligned} \quad (4.25)$$

ara aç dönüşümünü yapılmalıdır. Bu yapıldığında,

$$u_{z_1}^s(r_1, \beta) = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n(\pi-\beta)) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \cos((2n+1)(\pi-\beta)) \right) \right\} \quad (4.26)$$

ifadesi elde edilmektedir. (4.19) ile verilen Graf toplam teoremi uygulanırsa,

$$\begin{aligned} &H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n(\pi-\beta)) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \cos(m(\pi-\alpha)) \right\} \end{aligned} \quad (4.27)$$

$$\begin{aligned} &H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \cos((2n+1)(\pi-\beta)) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \cos(m(\pi-\alpha)) \right\} \end{aligned} \quad (4.28)$$

ifadeleri yazılabilir. (4.27) ve (4.28) dönüşüm ifadeleri (4.26) ifadesinde yerlerine konursa,

$$\begin{aligned}
u_{z1}^s(r_2, \beta) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_2) \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left[H_{m+2n}^{(2)}(kL) + H_{m-2n}^{(2)}(kL) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \right\} \right. \\
& \left. + b_n \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_2) \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(kL) - H_{m-2n-1}^{(2)}(kL) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \right\} \right\} \quad (4.29)
\end{aligned}$$

ifadesi elde edilmektedir. (4.20) ile verilen açı dönüşümü kullanılarak,

$$\begin{aligned}
u_{z1}^s(r_2, \theta_2) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(kL) + H_{m-2n}^{(2)}(kL) \right] \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right)\right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.30) \\
& + b_n \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\epsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(kL) - H_{m-2n-1}^{(2)}(kL) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right)\right) \right\} \right\} \right\}
\end{aligned}$$

(r_2, θ_2) eksen takımındaki ifade elde edilir. Yarım açı formülleri,

$$\cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right)\right) = \cos(m\theta_2) \cos\left(\frac{m5\pi}{2}\right) + \sin(m\theta_2) \sin\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \quad (4.31)$$

(4.30) ifadesinde yerine konursa,

$$\begin{aligned}
u_{z1}^s(r_2, \theta_2) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_2) \cos\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) + \sin(m \theta_2) \sin\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right\} \right\} \quad (4.32) \\
& + b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_2) \cos\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) + \sin(m \theta_2) \sin\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right\} \right\}
\end{aligned}$$

ifadesi yazılabilir. (r_1, θ_1) eksen takımında toplam yerdeğiştirme alanı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned}
u_z(r_2, \theta_2) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ a_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left[H_{m+2n}^{(2)}(k L) + H_{m-2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_2) \cos\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) + \sin(m \theta_2) \sin\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right\} \right\} \\
& + b_n^* \left(\sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(k r_2) \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k L) - H_{m-2n-1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left(\cos(m \theta_2) \cos\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) + \sin(m \theta_2) \sin\left(\frac{m 5 \pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right\} \right\} \\
& + e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(k r_2) \cos(2n \gamma) \cos(2n \theta_2) \right. \\
& \left. - 2i (-1)^n J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1) \gamma) \sin((2n+1) \theta_2) \right\} \quad (4.33) \\
& + e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n \theta_2) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \right\}
\end{aligned}$$

4.1.5 Denklem Takımının Oluşturulması

(4.16) ifadesini düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
 u_z(r_1, \theta_1) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left\{ (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(k r_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \right. \\
 & - 2i (-1)^n J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \Big\} \\
 & + \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n\theta_1) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \\
 & + \frac{1}{2} (-1)^n \left\{ \varepsilon_{2n} J_{2n}(k r_1) \cos(2n\theta_1) \right. \\
 & \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m^* \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(kL) + H_{2m+2n}^{(2)}(kL) \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + b_m^* \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(kL) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(kL) \right] \right) \right\} \\
 & + \varepsilon_{2n+1} J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1)\theta_1) \\
 & \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m^* \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(kL) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(kL) \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + b_m^* \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(kL) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(kL) \right] \right) \right\} \Big\} \Big\} \Big\} \quad (4.34)
 \end{aligned}$$

elde edilir. (4.34) ifadesi, (3.6) ifadesi uyarınca (A) + (B) cos(θ_1) + (C) sin(θ_1) şeklinde düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
u_z(r_1, \theta_1) = & e^{i\omega t} \left\{ J_0(k r_1) + a_0 H_0^{(2)}(k r_1) \right. \\
& + \frac{1}{2} J_0(k r_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m^* \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + b_m^* \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \\
& + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n 2 J_{2n}(k r_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\
& \quad + a_n H_{2n}^{(2)}(k r_1) \cos(2n\theta_1) \\
& \quad + (-1)^n J_{2n}(k r_1) \cos(2n\theta_1) \\
& \quad \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m^* \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + b_m^* \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \Bigg\} \\
& + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^{n+1} 2i J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \right. \\
& \quad + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r_1) \sin((2n+1)\theta_1) \\
& \quad + (-1)^n J_{2n+1}(k r_1) \sin((2n+1)\theta_1) \\
& \quad \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m^* \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + b_m^* \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \Bigg\} \Bigg\}
\end{aligned} \tag{4.35}$$

elde edilir. (4.33) ifadesi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
u_z(r_2, \theta_2) = & e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2} (-1)^n \left\{ \varepsilon_{2n} J_{2n}(k r_2) \cos(2n \theta_2) \right. \right. \\
& \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. - b_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \\
& - \varepsilon_{2n+1} J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \\
& \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. - b_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \\
& + \left\{ (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(k r_2) \cos(2n \gamma) \cos(2n \theta_2) \right. \\
& \left. - 2i (-1)^n J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1) \gamma) \sin((2n+1) \theta_2) \right\} \quad (4.36) \\
& + \left\{ a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n \theta_2) + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \right\}
\end{aligned}$$

elde edilir. (4.36) ifadesi, (3.6) ifadesi uyarınca (D) + (E) $\cos(\theta_2)$ + (F) $\sin(\theta_2)$ şeklinde düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
u_z(r_2, \theta_2) = & e^{i\omega t} \left\{ \frac{1}{2} J_0(k r_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - b_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \right. \\
& + J_0(k r_2) + a_0^* H_0^{(2)}(k r_2) \\
& + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n J_{2n}(k r_2) \cos(2n \theta_2) \right. \\
& \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - b_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \right. \\
& + (-1)^n 2 J_{2n}(k r_2) \cos(2n \gamma) \cos(2n \theta_2) \\
& + a_n^* H_{2n}^{(2)}(k r_2) \cos(2n \theta_2) \left. \right\} \\
& + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^{n+1} J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \right. \\
& \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left(a_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k L) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k L) \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - b_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k L) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k L) \right] \right) \right\} \right. \\
& - (-1)^n 2 i J_{2n+1}(k r_2) \sin((2n+1) \gamma) \sin((2n+1) \theta_2) \\
& + b_n^* H_{2n+1}^{(2)}(k r_2) \sin((2n+1) \theta_2) \left. \right\}
\end{aligned} \tag{4.37}$$

şeklini alır.

4.1.6 Denklem Takımının Çözümü

$$\begin{aligned}
u_z(r_1, \theta_1) &= \Delta_1 e^{i\omega t} & |\theta_1| &\leq \pm \frac{\pi}{2} & \text{ve} & r_1 = a_1 \\
u_z(r_2, \theta_2) &= \Delta_2 e^{i\omega t} & |\theta_2| &\leq \pm \frac{\pi}{2} & \text{ve} & r_2 = a_2
\end{aligned} \tag{4.38}$$

(4.38) ile verilen sınır şartları yardımıyla oluşturulan denklem takımının çözümünden a_n, b_n, a_n^*, b_n^* katsayıları tespit edilmektedir.

4.2 Bilinmeyen Yerdeğiştirmelerin Hesaplanması

4.2.1 Kuvvet Denge Denklemlerinin Yazılması

a_n, b_n, a_n^*, b_n^* katsayılarının yerlerine konması ile f_{z1}^s ve f_{z2}^s ifadeleri

$$\begin{aligned} f_{z1}^s &= e^{i\omega t} \mu \left(\Gamma_0^1 + \Gamma_1^1 \Delta_1 + \Gamma_2^1 \Delta_2 \right) \\ f_{z2}^s &= e^{i\omega t} \mu \left(\Gamma_0^2 + \Gamma_1^2 \Delta_1 + \Gamma_2^2 \Delta_2 \right) \end{aligned} \quad (4.39)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Birinci bina için,

$$-\omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} = -(f_{z1}^s + f_{z1}^b) \quad (4.40)$$

yazılabilir. birinci istinat duvarının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti

$$f_{z1}^b = -\omega^2 M_{b1} \frac{\tan(k_{b1} H_1)}{k_{b1} H_1} \Delta_1 e^{i\omega t} \quad (4.41)$$

olarak ifade edilebilir.

Aynı şekilde ikinci bina için,

$$-\omega^2 M_0^2 \Delta_2 e^{i\omega t} = -(f_{z2}^s + f_{z2}^b) \quad (4.42)$$

yazılabilir. İkinci istinat duvarının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti

$$f_{z2}^b = -\omega^2 M_{b2} \frac{\tan(k_{b2} H_2)}{k_{b2} H_2} \Delta_2 e^{i\omega t} \quad (4.43)$$

olarak ifade edilebilir.

4.2.2 Yerdeğiştirmelerin Hesaplanması İçin Denklem Takımının Oluşturulması ve özölmesi

Birinci bina için kuvvet denge denklemi,

$$-\omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} = - \left(e^{i\omega t} \mu \left(\Gamma_0^1 + \Gamma_1^1 \Delta_1 + \Gamma_2^1 \Delta_2 \right) - \omega^2 M_{b1} \frac{\tan(k_{b1} H_1)}{k_{b1} H_1} \Delta_1 e^{i\omega t} \right) \quad (4.44)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada,

$$\mu = \frac{\omega^2 2 M_s}{\pi (k r_1)^2} \quad (4.45)$$

$$k_{b1} H_1 \equiv \varepsilon k r_1$$

eşitlikleri yerlerine yazılırsa,

$$-\omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} = - \left(e^{i\omega t} \frac{\omega^2 2 M_s}{\pi (k r_1)^2} \left(\Gamma_0^1 + \Gamma_1^1 \Delta_1 + \Gamma_2^1 \Delta_2 \right) - \omega^2 M_{b1} \frac{\tan(\varepsilon k r_1)}{\varepsilon k r_1} \Delta_1 e^{i\omega t} \right) \quad (4.46)$$

elde edilmektedir.

(4.46) ifadesinin her iki tarafı M_s ye bölünür ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\frac{M_0^1}{M_s^1} \Delta_1 = \left(\frac{2}{\pi (k r_1)^2} \left(\Gamma_0^1 + \Gamma_1^1 \Delta_1 + \Gamma_2^1 \Delta_2 \right) - \frac{M_b^1}{M_s^1} \frac{\tan(\varepsilon k r_1)}{\varepsilon k r_1} \Delta_1 \right) \quad (4.47)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Aynı işlemler ikinci bina için tekrarlandığında,

$$\frac{M_0^2}{M_s^2} \Delta_2 = \left(\frac{2}{\pi (k r_2)^2} \left(\Gamma_0^2 + \Gamma_1^2 \Delta_1 + \Gamma_2^2 \Delta_2 \right) - \frac{M_b^2}{M_s^2} \frac{\tan(\varepsilon k r_2)}{\varepsilon k r_2} \Delta_2 \right) \quad (4.48)$$

ifadesi yazılabilmektedir.

Denklem takımı, Δ_1 ve Δ_2 bilinmeyenlerini içeren (4.47) ve (4.48) ifadeleri ile oluşturulur. Denklem takımının Mathematica programı ile çözülmesi ile Δ_1 ve Δ_2 yerdeğiştirmeleri bulunmuş olur.

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Ele alınan dinamik yapı-zemin-yapı etkileşim probleminde sayısal sonuçlar, yapı ve zemin özelliklerine, yapıların birbirlerine göre konumlarına, boyutlarına ve dalganın geliş açısına göre elde edilmiştir. Grafikler birinci ve ikinci yapının mutlak genliklerinin dalga sayısına göre değişimlerini göstermektedir.

5.1 $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.1(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.1(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte, 1 civarında $|\Delta_1|$ genliği sıfıra yaklaşırken $|\Delta_2|$ genliği artmaktadır.

Şekil 5.1(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte yine 1 civarında $|\Delta_1|$ genliği sıfıra yaklaşırken $|\Delta_2|$ genliği artmakta, yine $|\Delta_2|$ genliğinin 2.6 civarında 0 olduğu görülmektedir.

Bu her üç grafikte gerek $|\Delta_1|$ gerek $|\Delta_2|$ genlikleri $\omega a/\beta = 0$ alması durumunda 1' e eşit olmaktadır. Bu da gelen ve yansıyan dalganın genliğine karşılık gelir ve etkileşim söz konusu değildir.

Şekil 5.1(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.2(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte, 2 civarında $|\Delta_1|$ genliği sıfıra yaklaşırken $|\Delta_2|$ genliği artmaktadır.

Şekil 5.2(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte yine 2 civarında $|\Delta_1|$ genliği sıfıra yaklaşırken $|\Delta_2|$ genliği artmaktadır.

Şekil 5.3(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.3(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.3(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Son üç grafikte aç değişiminin genliklerin değişimine etkisinin nispeten azaldığı gözlenebilmektedir.

Şekil 5.4(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.4(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.4(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu üç grafikte genliklerin yerel tepe ve çukur değerlerinin sıklaştığı görülebilir.

Şekil 5.5(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.5(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.5(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu üç grafikte, genliklerin yerel tepe ve çukur değerlerinin son derece sıklaştığı, açı değişiminin genliklerin değişimine etkisinin, ihmal edilebilecek kadar azaldığı görülebilir.

Şekil 5.6(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülebilmektedir.

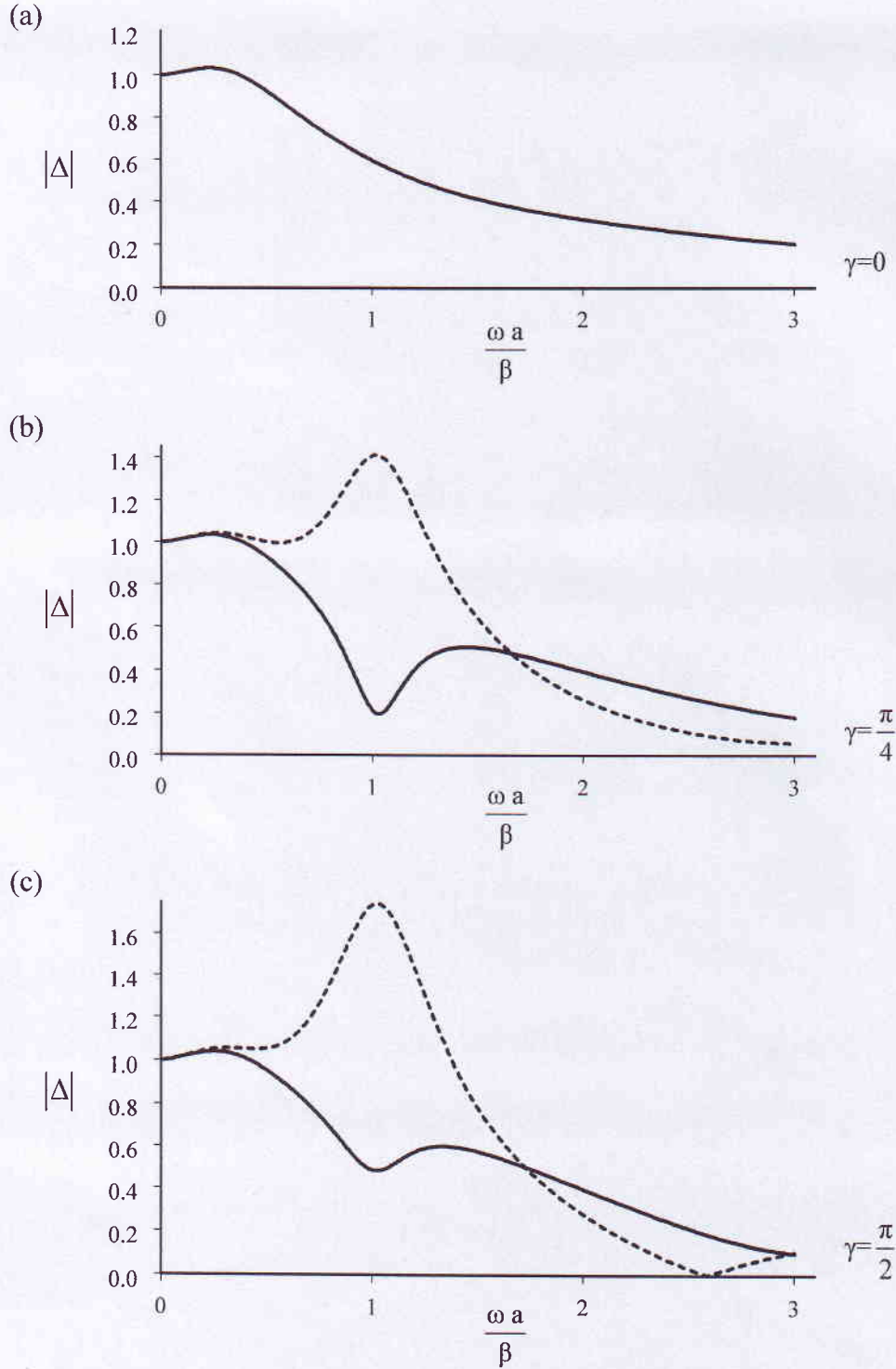
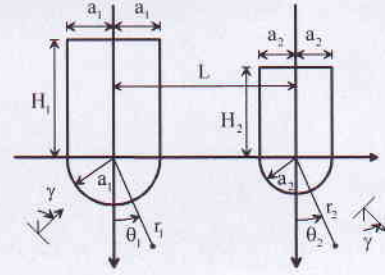
Şekil 5.6(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.6(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin

$\omega a/\beta'$ a göre değişimi gösterilmektedir. Bu üç grafikte, genliklerin yerel tepe ve çukur değerlerinin seçilemeyecek duruma geldiği görülmektedir. Bu grafikler, Trifunac tarafından tek yapı için incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçları [14] ile st üste düşmektedir. Trifunac, bu çalışmasında yerdeğiştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğunu göstermiştir. Burada da yerdeğiştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğu görülebilmektedir. Binalar arasındaki mesafenin bina temel yarıçapına oranının çok büyük olduğu bu durumda etkileşimden söz edilemeyeceği açıktır.

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	2.5	0	1	1	1	1

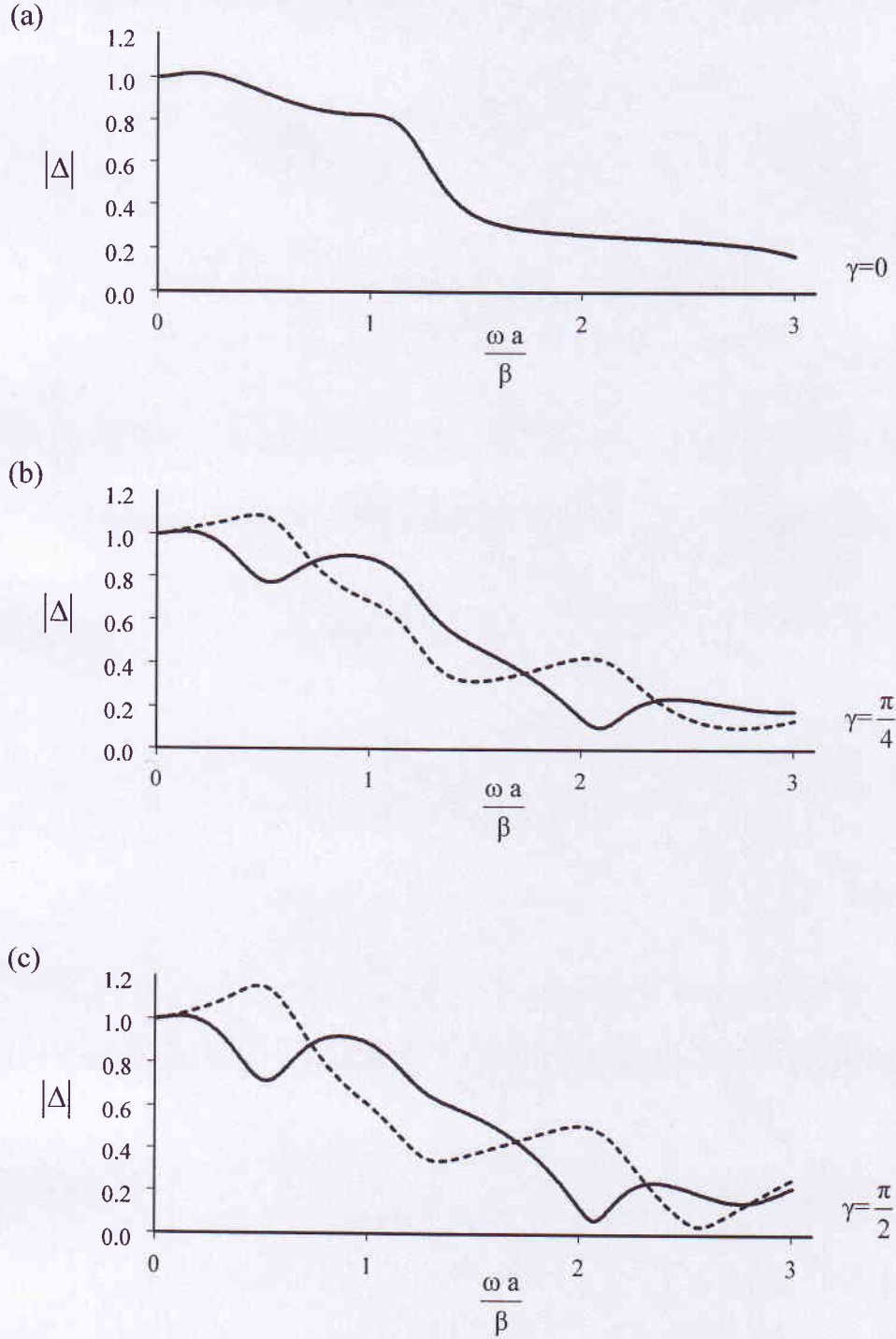
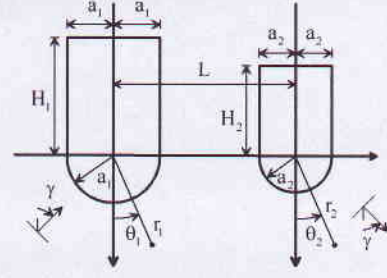
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.1 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	5	0	1	1	1	1

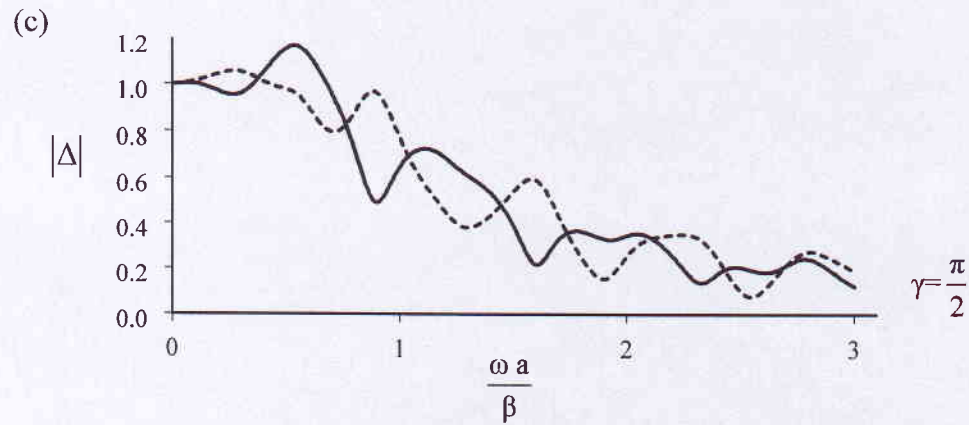
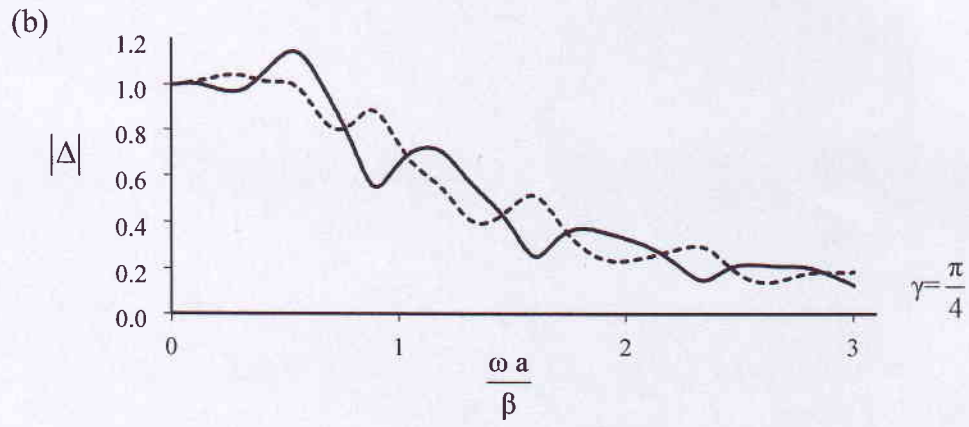
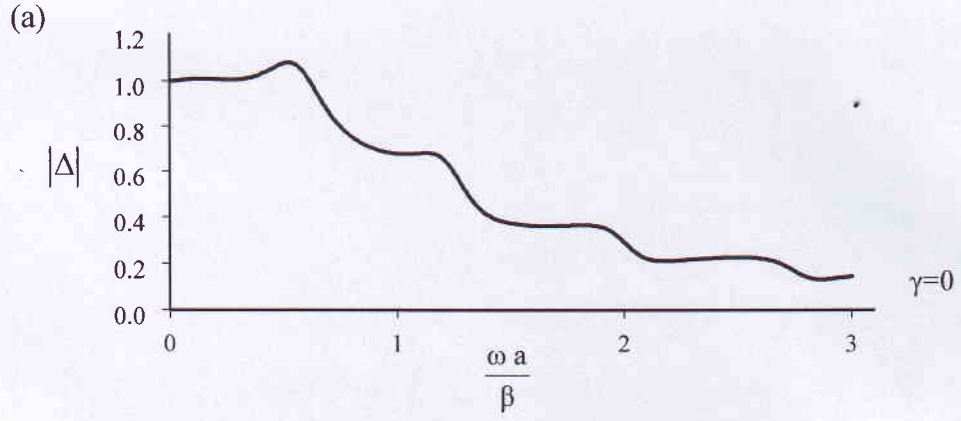
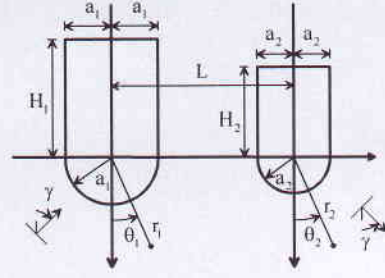
$|\Delta_1|$ —————
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.2 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	10	0	1	1	1	1

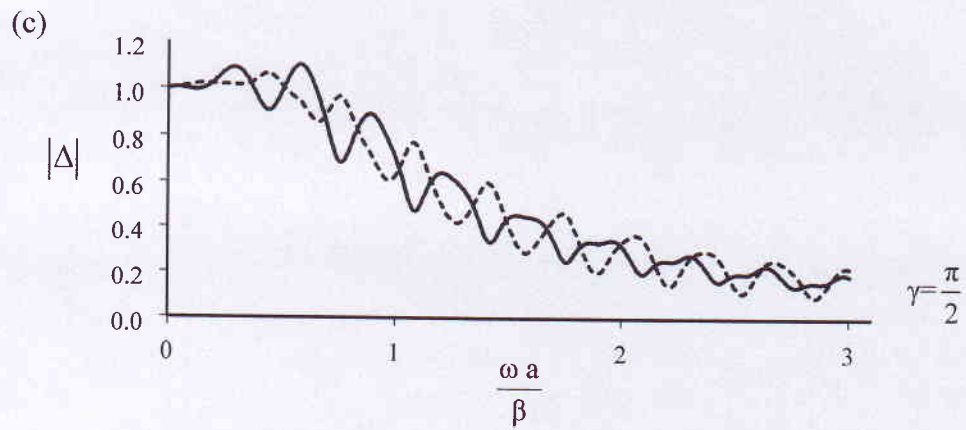
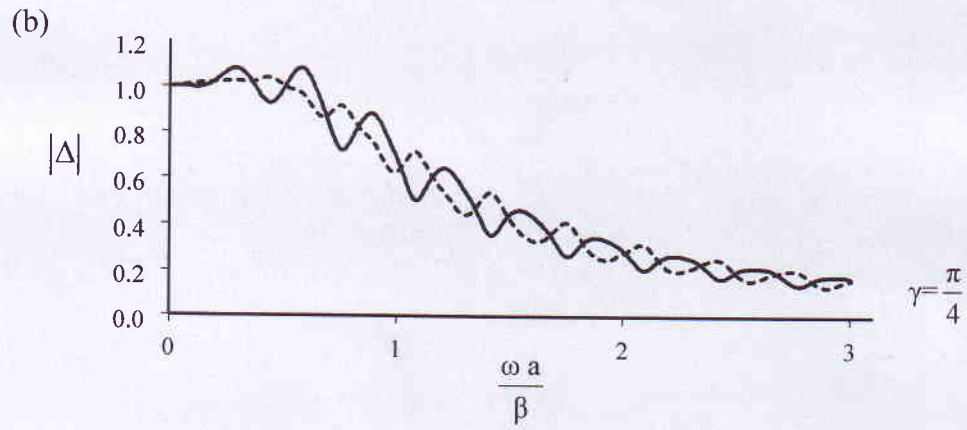
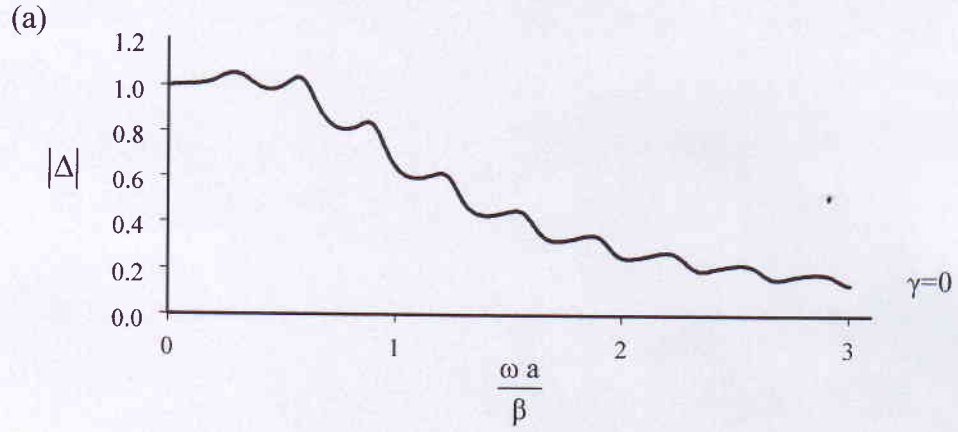
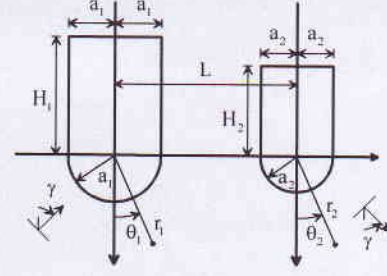
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.3 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20	0	1	1	1	1

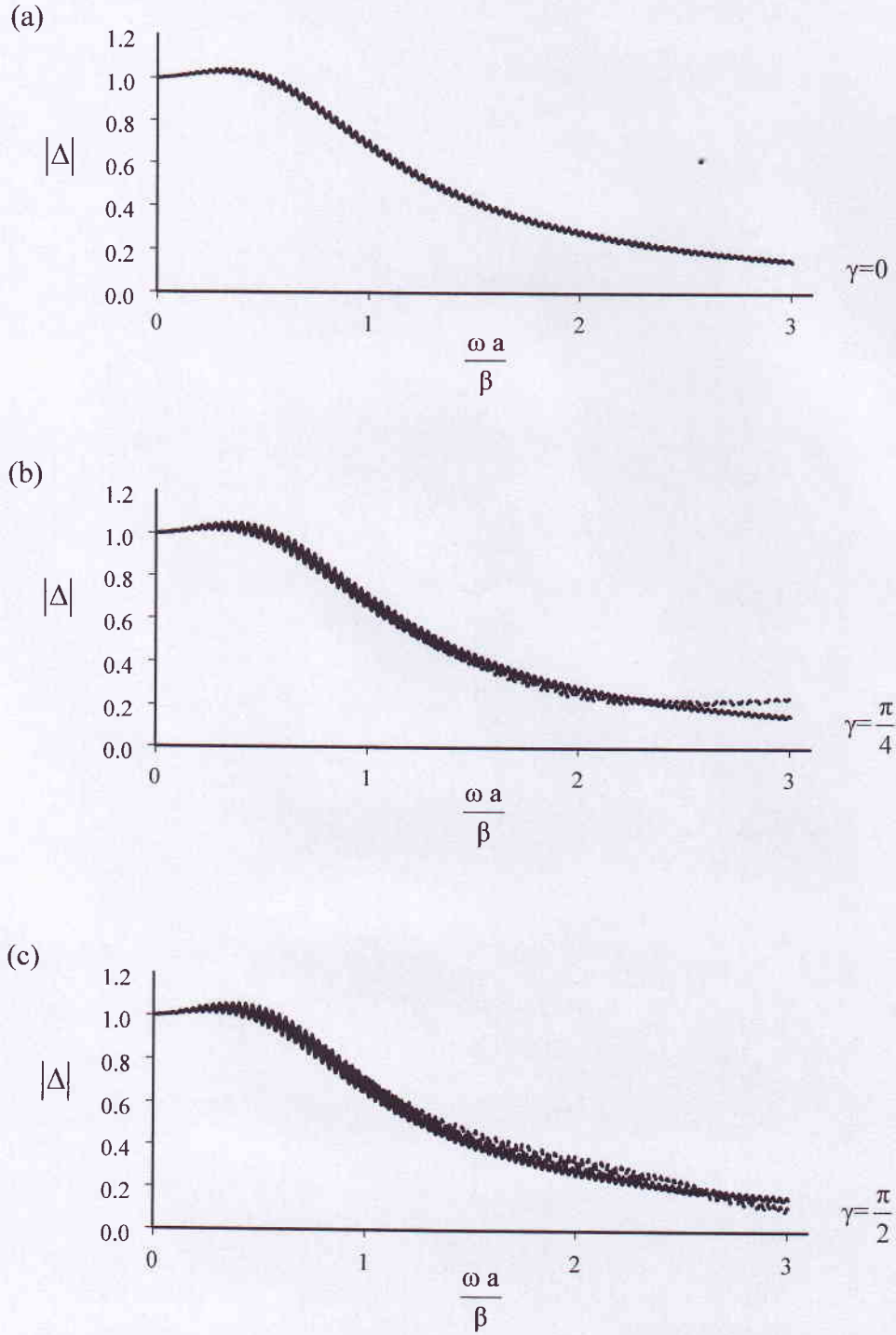
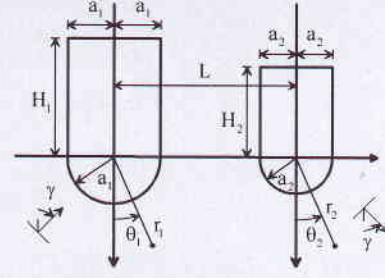
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.4 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	200	0	1	1	1	1

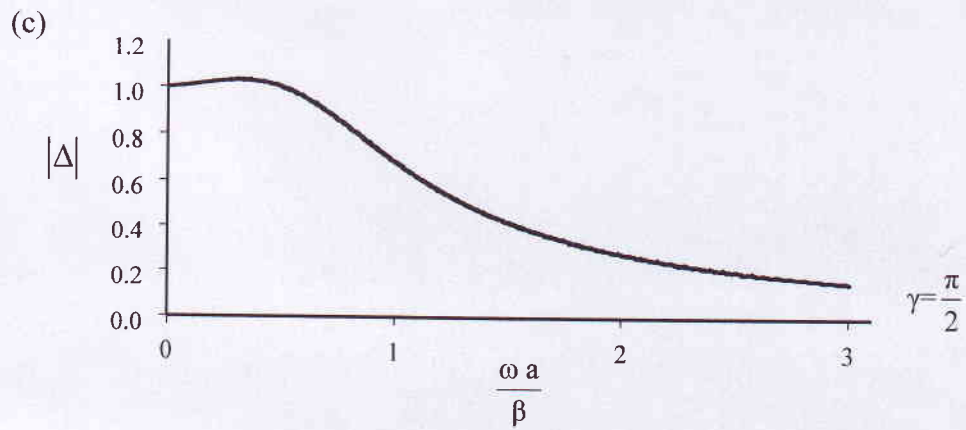
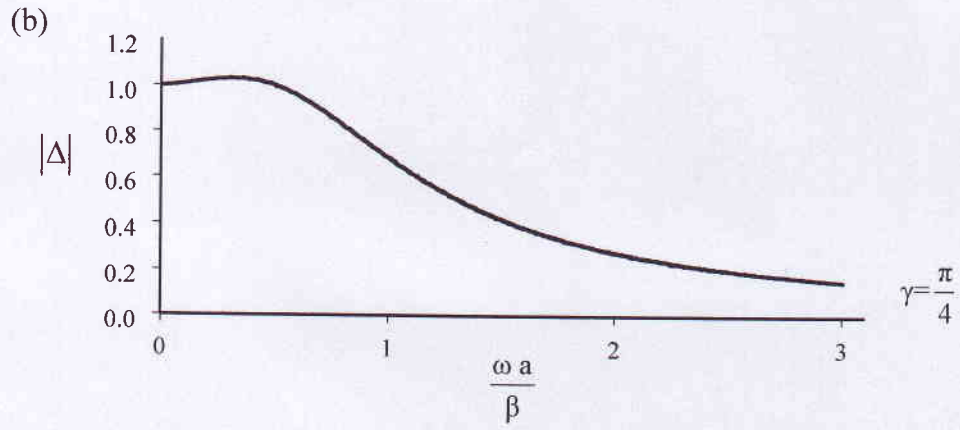
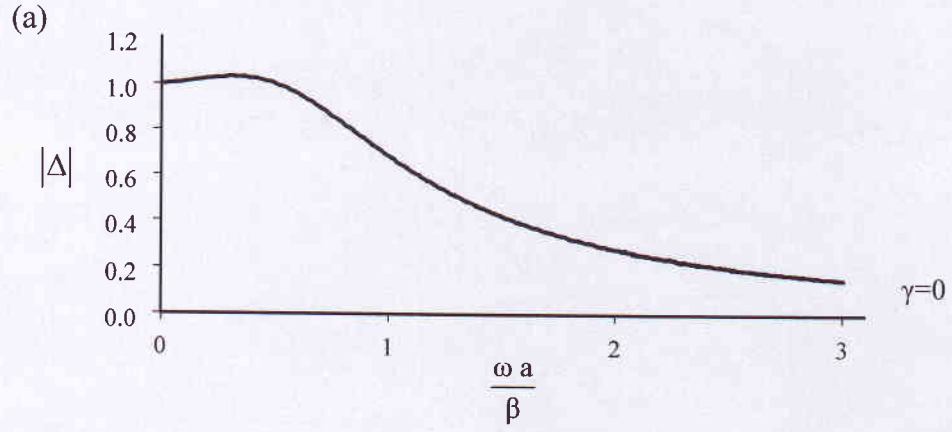
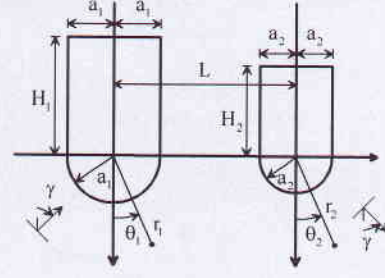
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.5 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20000	0	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.1 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

5.2 $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.7(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.7(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Yapılar arasındaki mesafenin az olması sebebiyle sıra dışı yerel tepe ve çukur noktaları gözlenmektedir.

Şekil 5.8(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.8(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.8(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, ve $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.9(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.9(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.9(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.10(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.10(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.10(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Yapılar arasındaki mesafenin yapı temel yarıçapına olan oranının artmasıyla etkileşim azalmakta, genliklerdeki yerel tepe ve çukur noktaları daha düzenli bir hal almaktadır.

Şekil 5.11(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.11(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.11(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin

$\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Gelme açısının değişiminin, genliklerin değişimine olan etkisinin oldukça azaldığı görülebilir.

şekil 5.12(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

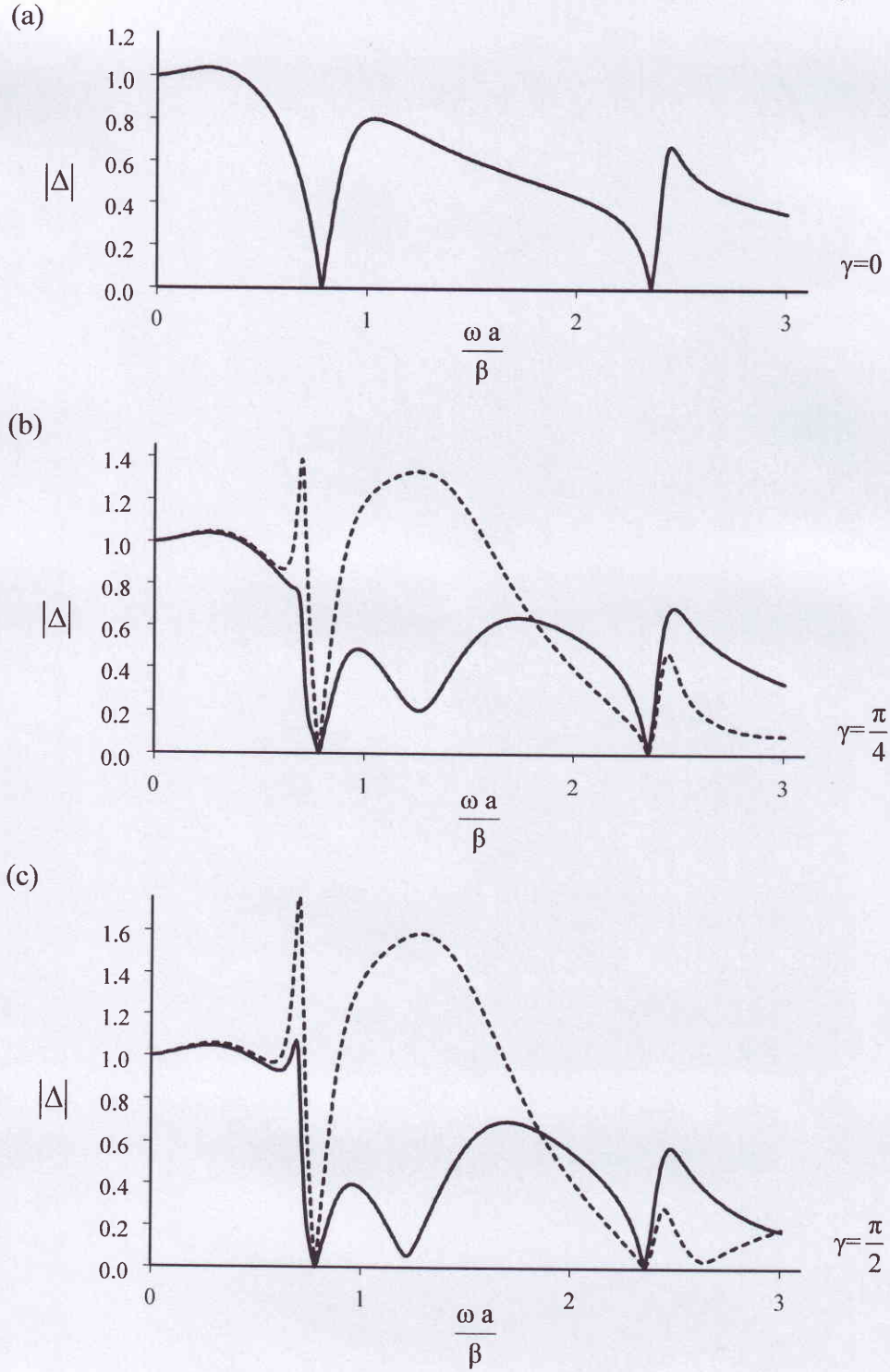
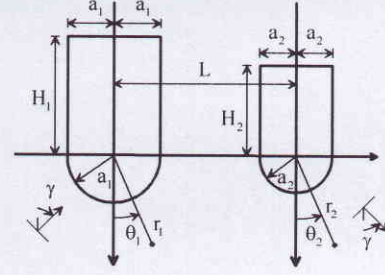
şekil 5.12(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

şekil 5.12(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu üç grafikteki sonuçlar, Trifunac tarafından tek yapı için incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçları [14] ile hemen hemen aynıdır. Burada yerdeğiştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğu görülebilmektedir. Binalar arasındaki mesafenin bina temel yarıçapına oranının çok büyük olduğu bu durumda etkileşimden söz edilemeyeceği görülebilir.

$\varepsilon = 2$ için çizilen grafiklerde genliklerin iki noktada sıfır olduğu görülmektedir. Bu noktalar istinat duvarlarının ankastre temel doğal frekansına karşılık gelmektedir. Sıfır noktalarının varlığı Luco ve Trifunac tarafından ortaya konmuştur [13, 14].

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ϵ	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	2.5	2	1	1	1	1

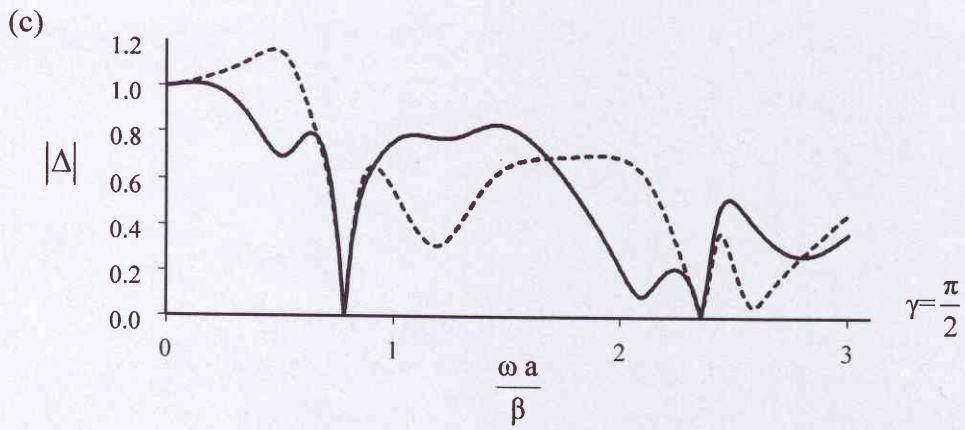
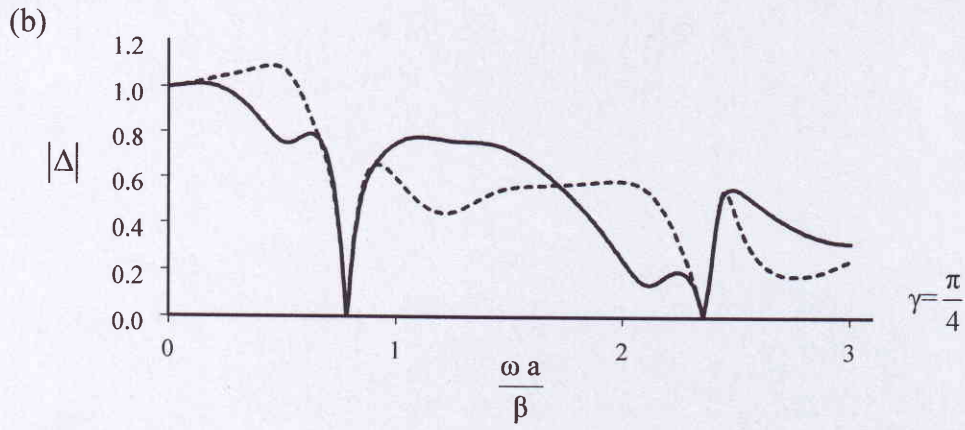
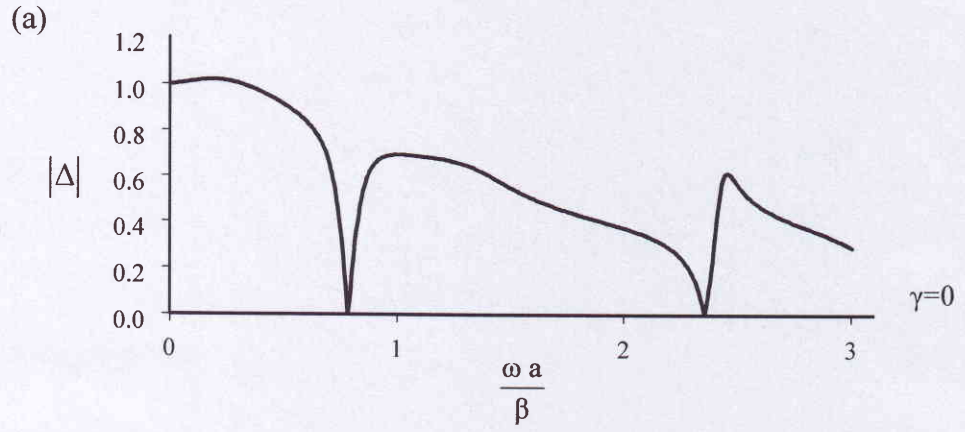
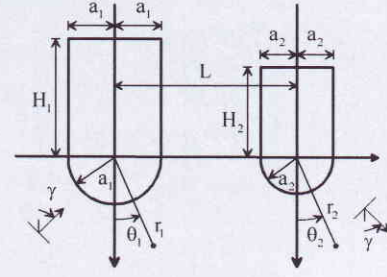
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.7 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^I/M_s^I	M_0^I/M_s^I	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	5	2	1	1	1	1

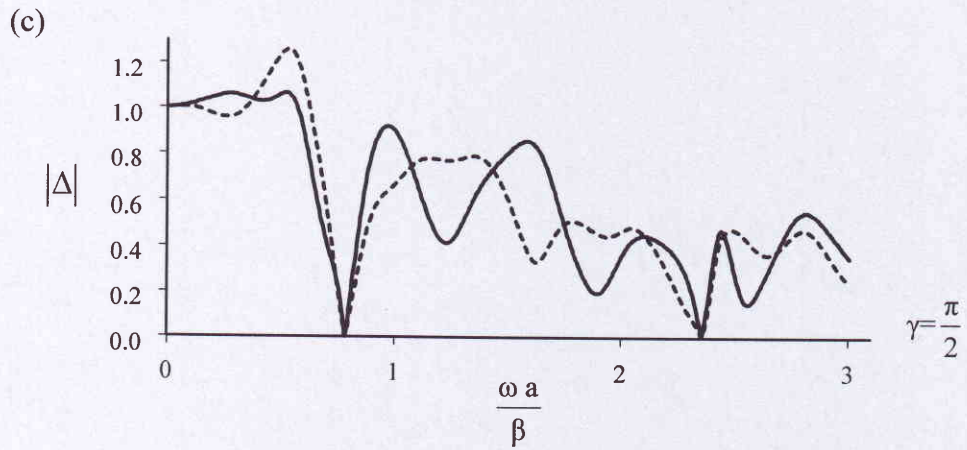
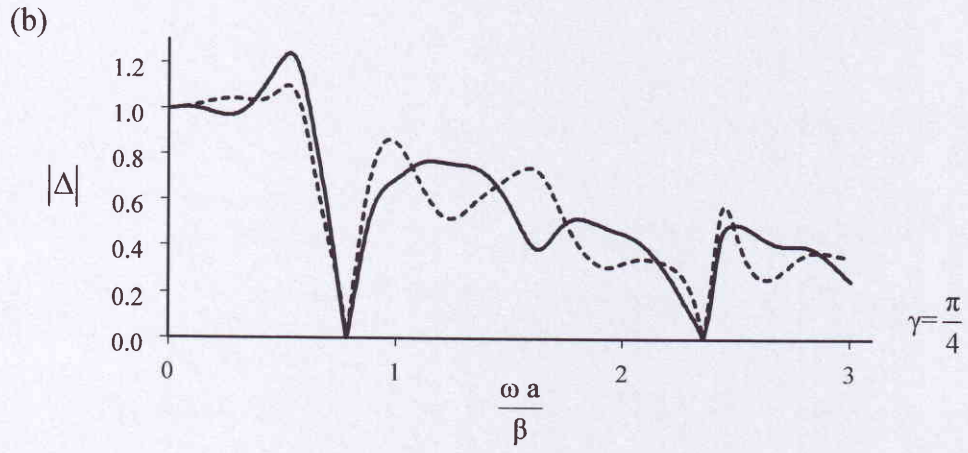
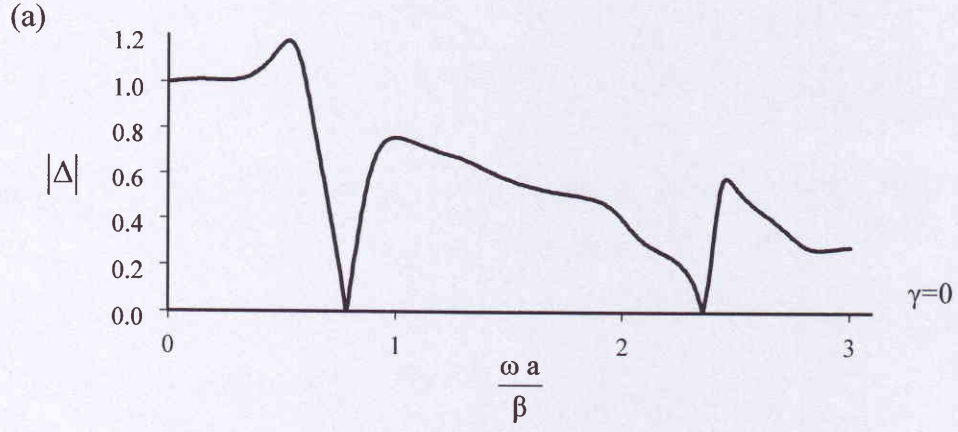
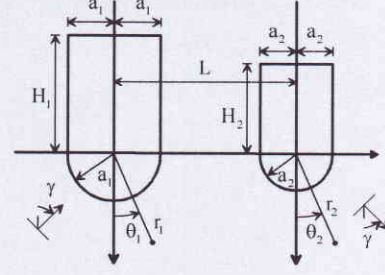
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.8 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	10	2	1	1	1	1

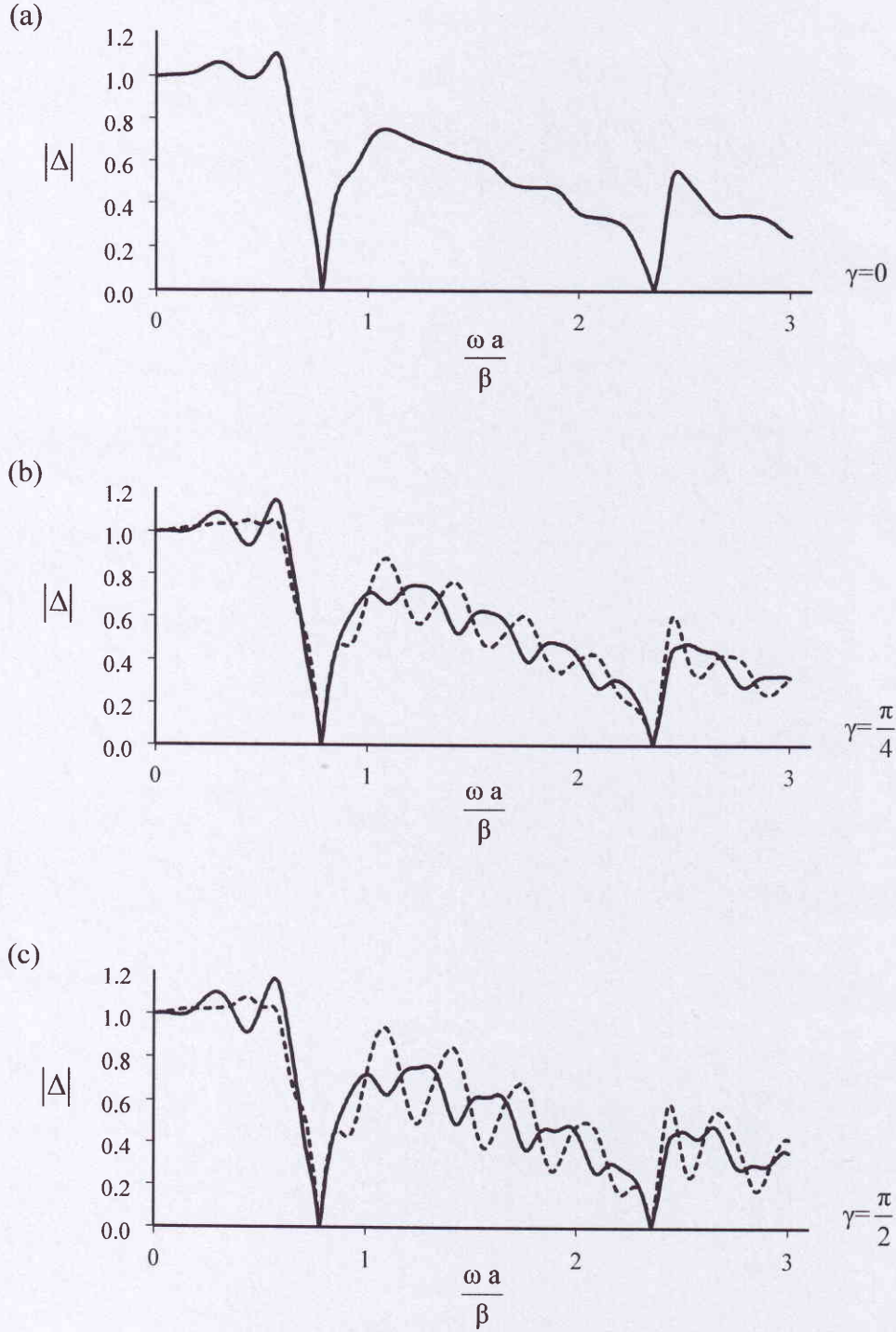
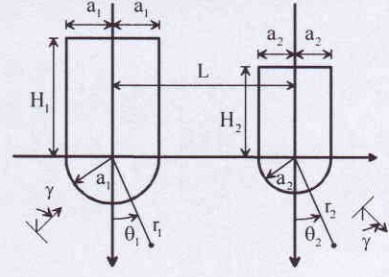
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.9 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20	2	1	1	1	1

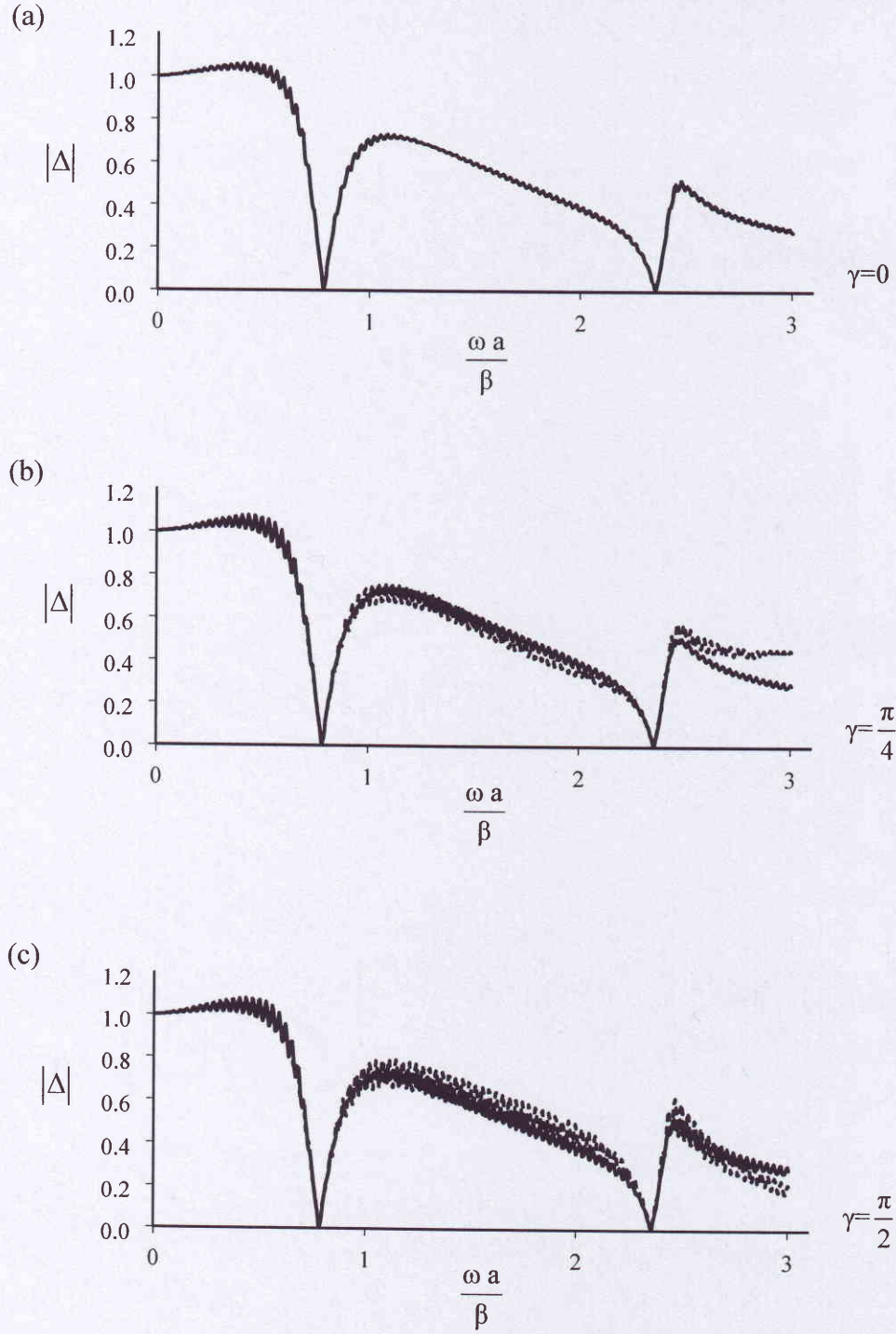
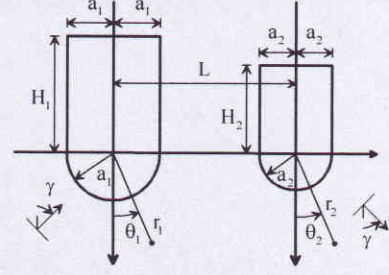
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.10 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	200	2	1	1	1	1

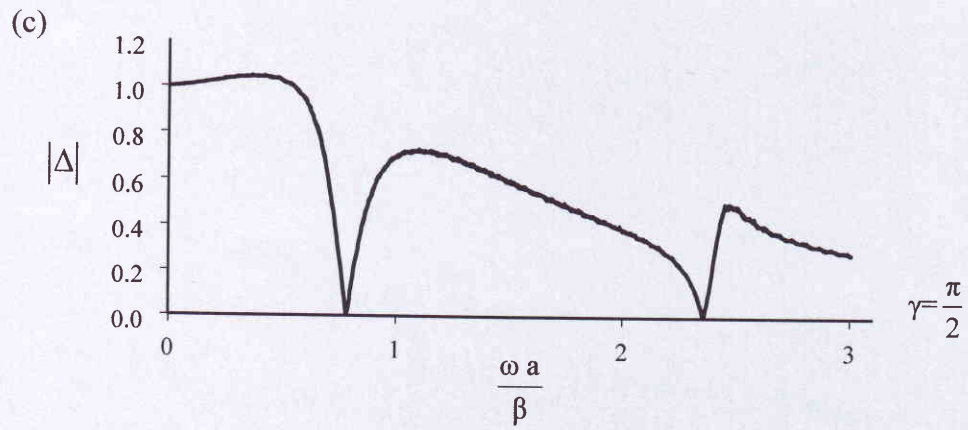
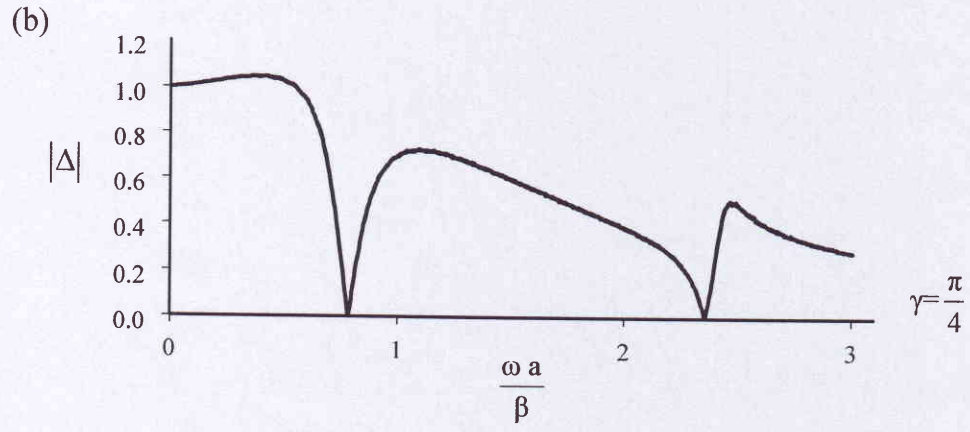
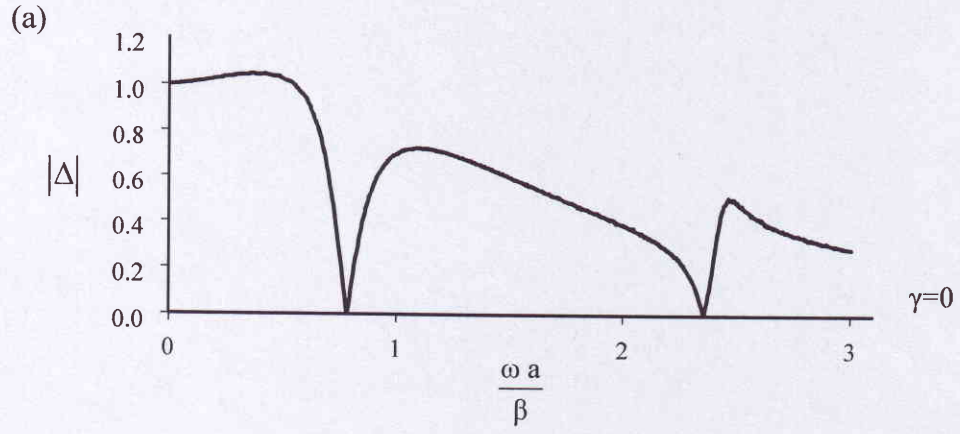
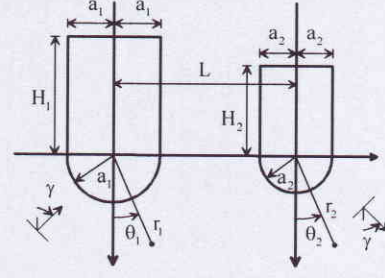
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.11 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20000	2	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.12 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

5.3 $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.13(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.13(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.13(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Yapılar arasındaki mesafenin yapı temel yarıçapına olan oranının küçük olduğu bu durumda, gelme açısı değişiminin etkileşime olan tesiri görülebilir.

Şekil 5.14(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.14(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.14(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.15(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.15(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.15(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Genliklerdeki yerel tepe ve çukur noktalarının sıklaştığı görülebilir.

Şekil 5.16(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.16(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.16(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.17(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.17(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

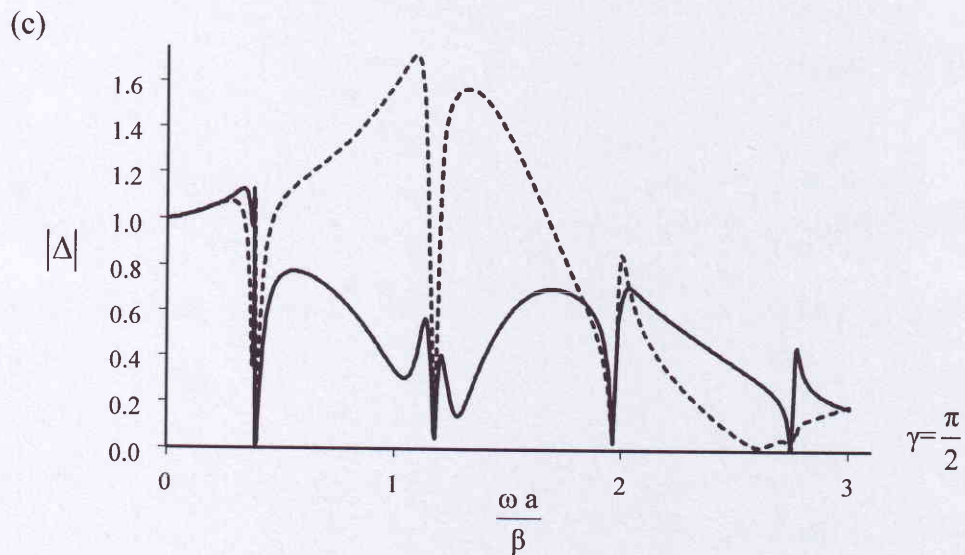
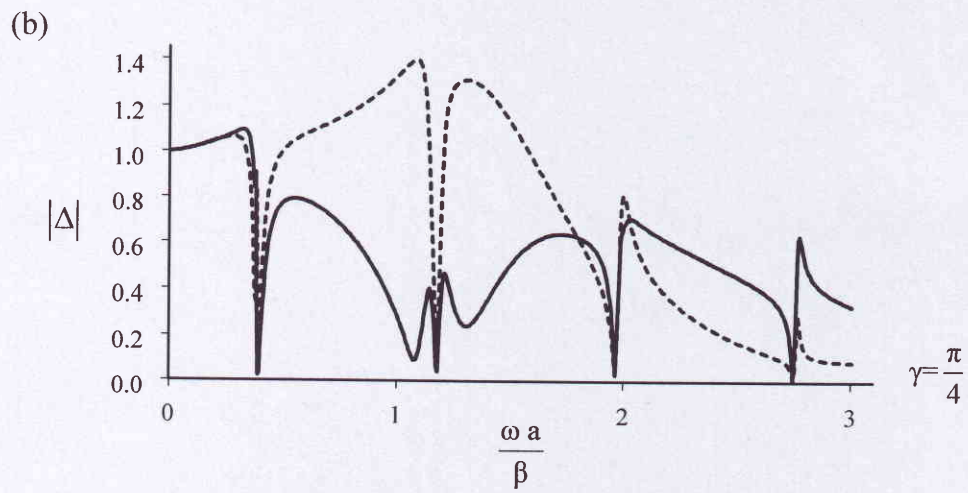
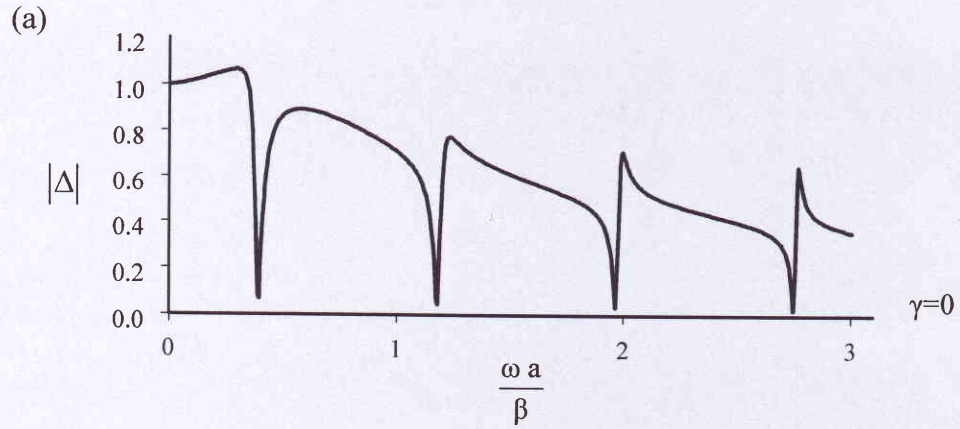
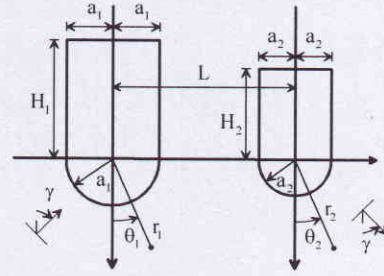
Şekil 5.17(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Tepe ve çukur noktalarının yoğunlaştığı, gelme açısının değişiminin, genliklerin değişimine olan etkisinin azaldığı görülebilir.

Şekil 5.18(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin de aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.18(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.18(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = r_2 = a$, $H_1 = H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Binalar arasındaki mesafenin bina temel yarıçapına oranının çok büyük olduğu bu durumda iki yapının birbirleriyle etkileşimi olmadığından yerdeğiştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğu görülebilmektedir. Bu üç grafikteki sonuçlar, Trifunac tarafından tek yapı için incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçları [14] ile aynıdır.

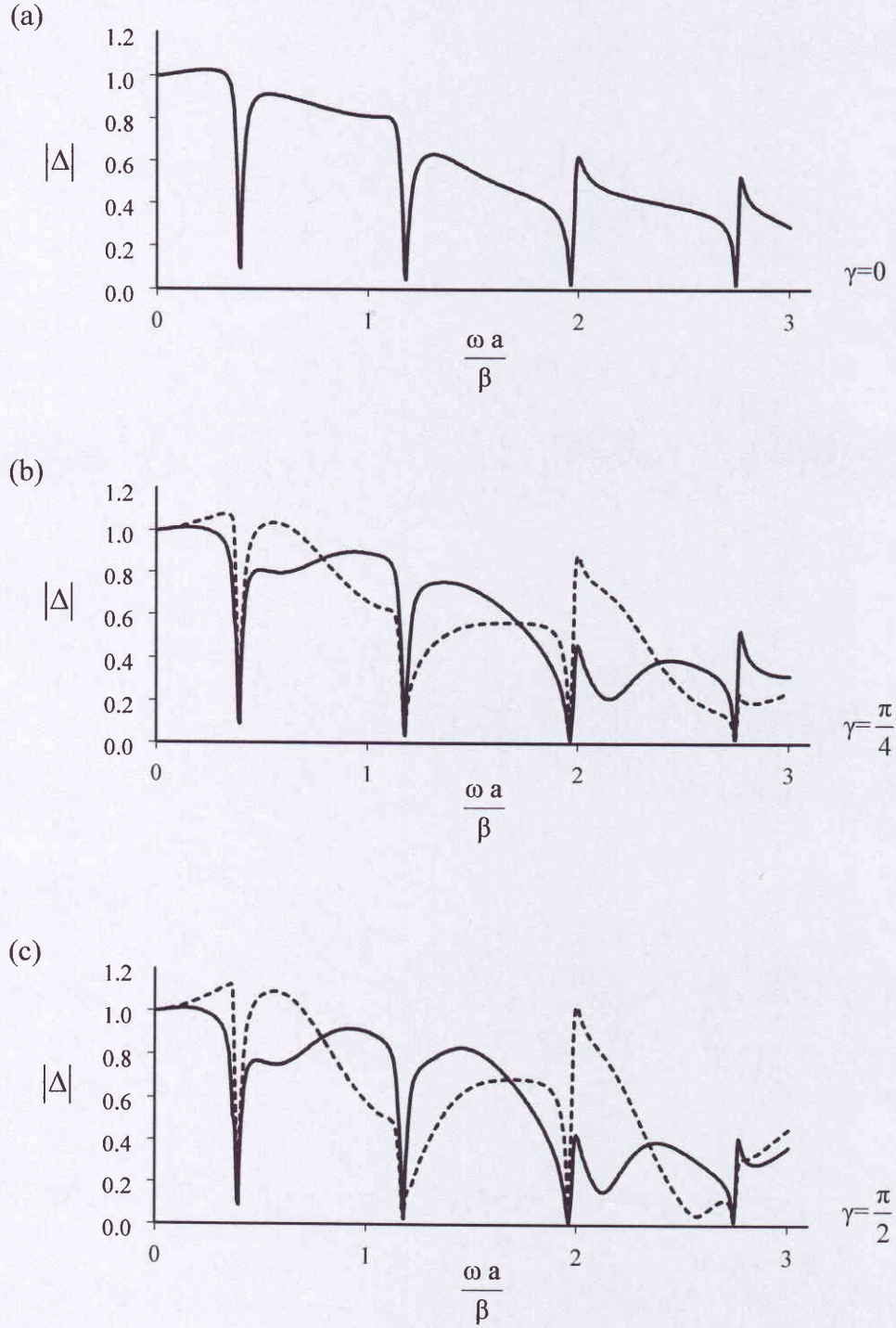
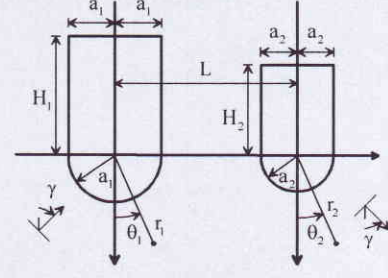
$\varepsilon = 4$ için çizilen grafiklerde genliklerin sıfır olduğu noktalar, istinat duvarlarının ankastre temel doğal frekansına karşılık gelmektedir.

$$\begin{array}{l} |\Delta_1| \text{ ————— } \\ |\Delta_2| \text{ - - - - - } \end{array}$$


ŞEKİL 5.13 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ϵ	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	5	4	1	1	1	1

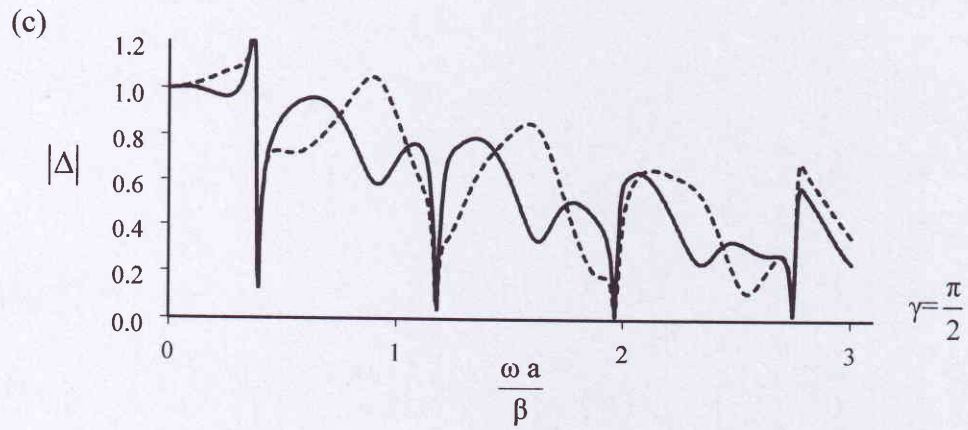
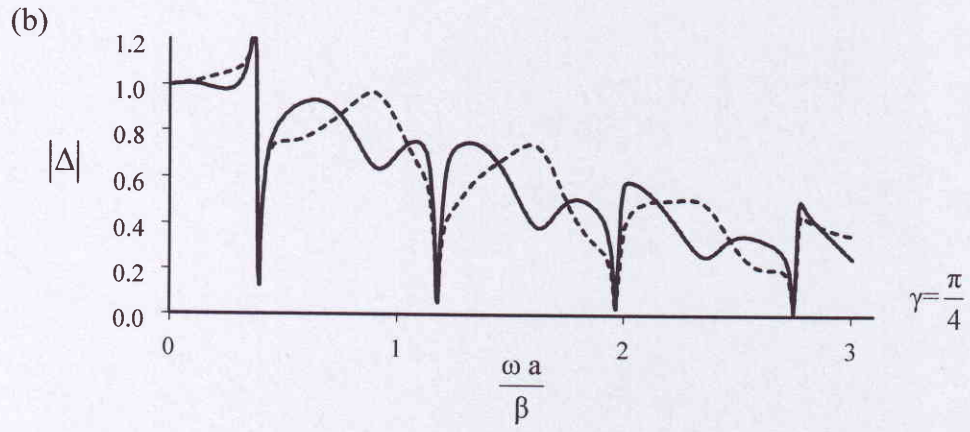
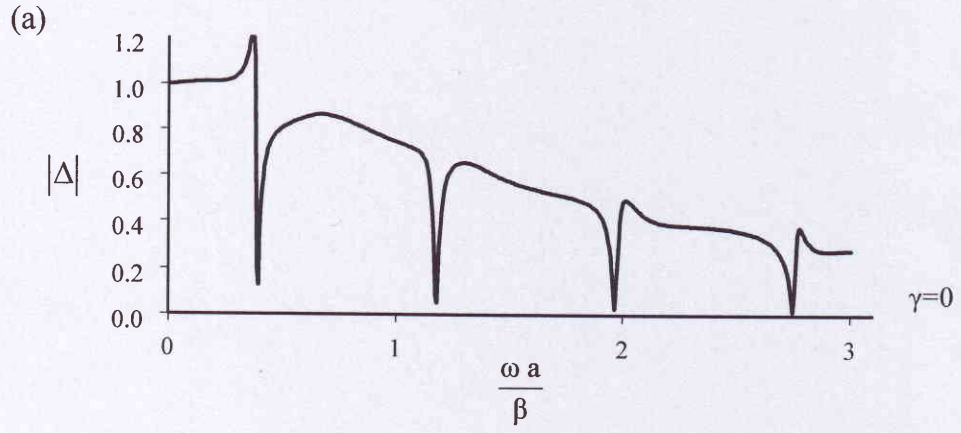
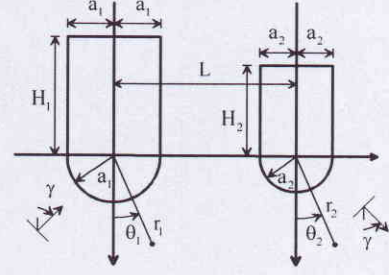
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.14 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	10	4	1	1	1	1

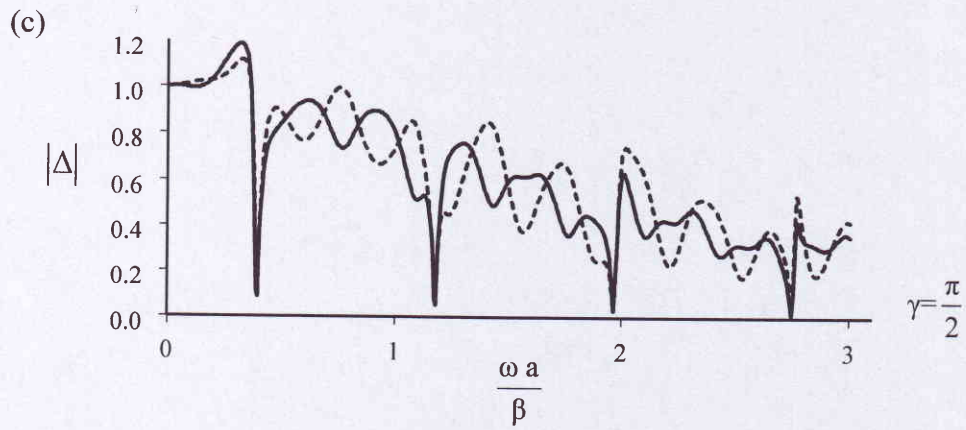
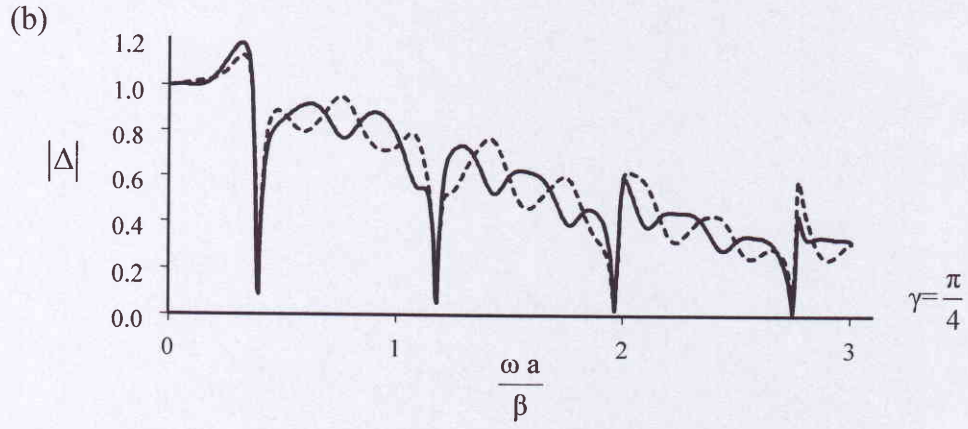
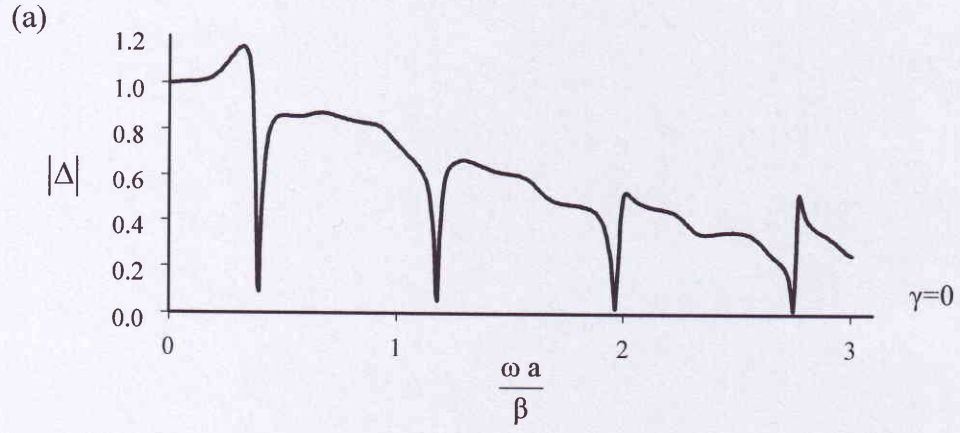
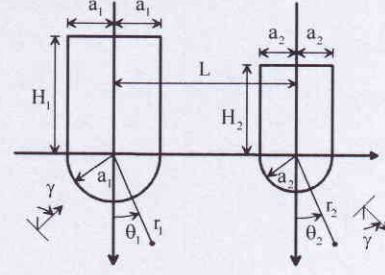
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.15 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20	4	1	1	1	1

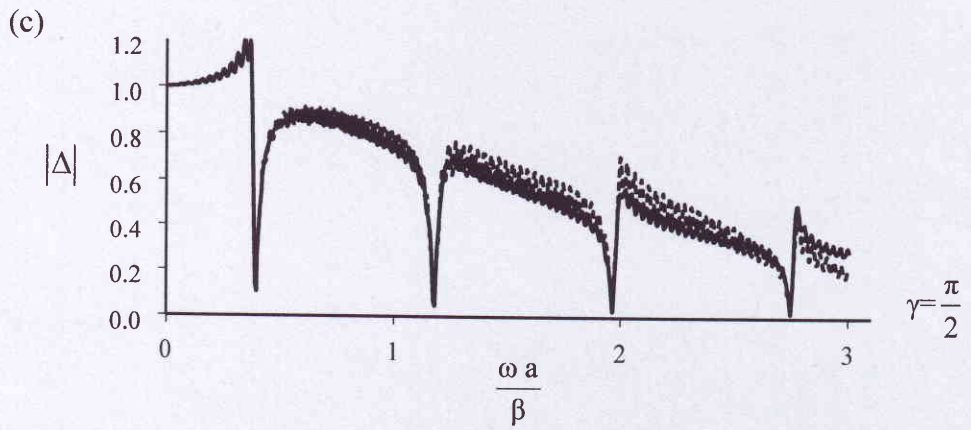
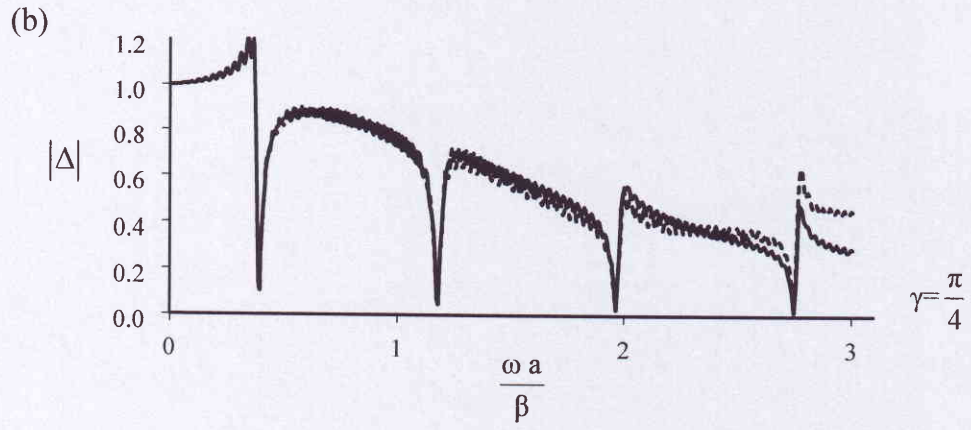
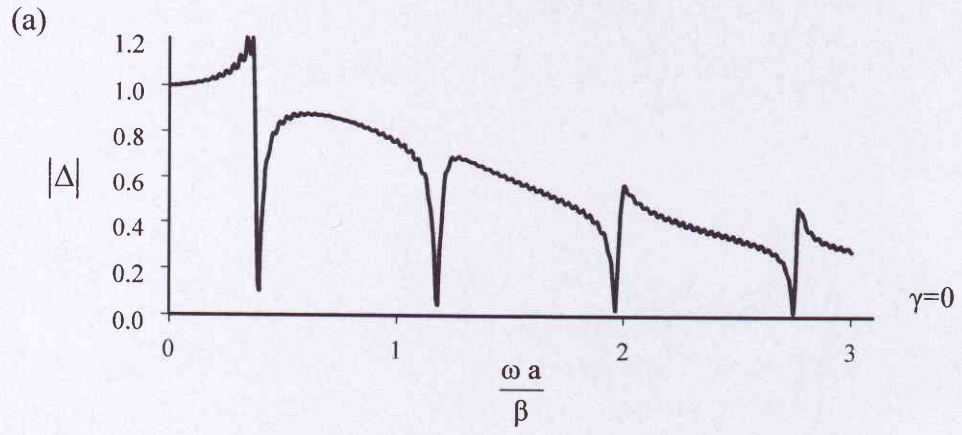
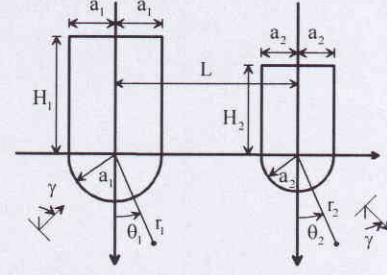
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.16 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	200	4	1	1	1	1

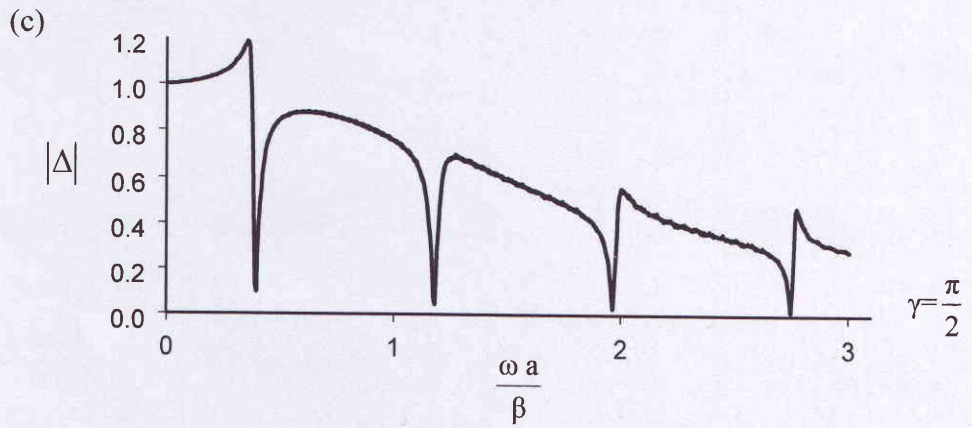
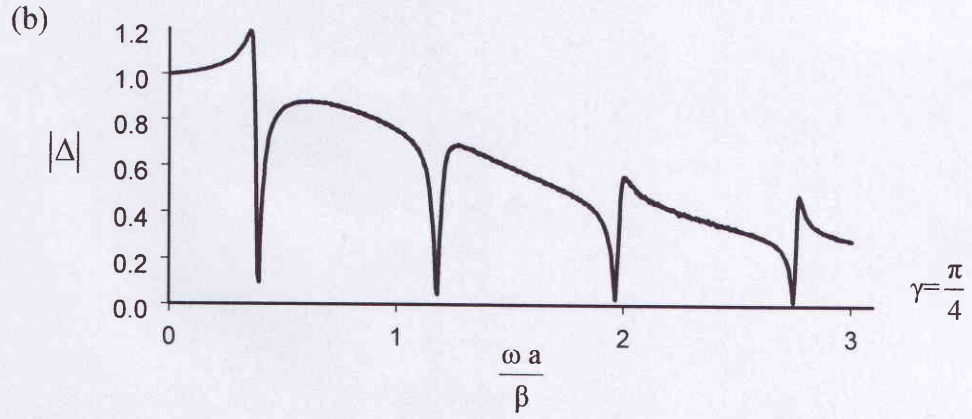
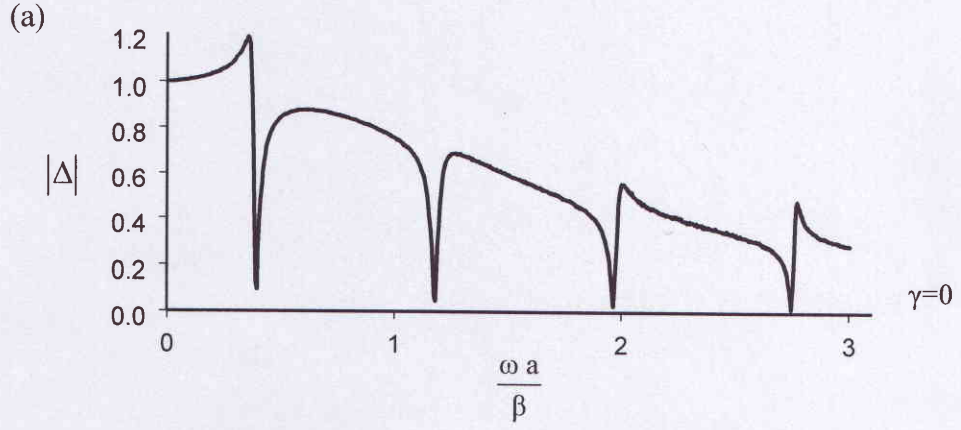
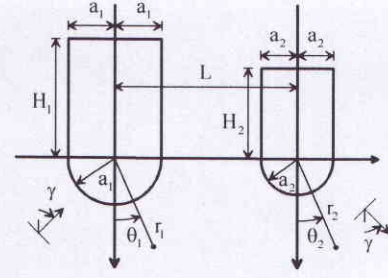
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.17 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	a	a	20000	4	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.18 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

5.4 $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.19(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin benzer karakter göstermekle beraber aynı olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.19(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.19(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Yapılar arasındaki mesafenin yapı temel yarıçapına olan oranının küçük olduğu bu durumda etkileşimin önemli olduğu görülebilir.

Şekil 5.20(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.20(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.20(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.21(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.21(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.21(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.22(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.22(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.22(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.23(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.23(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.23(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.24(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

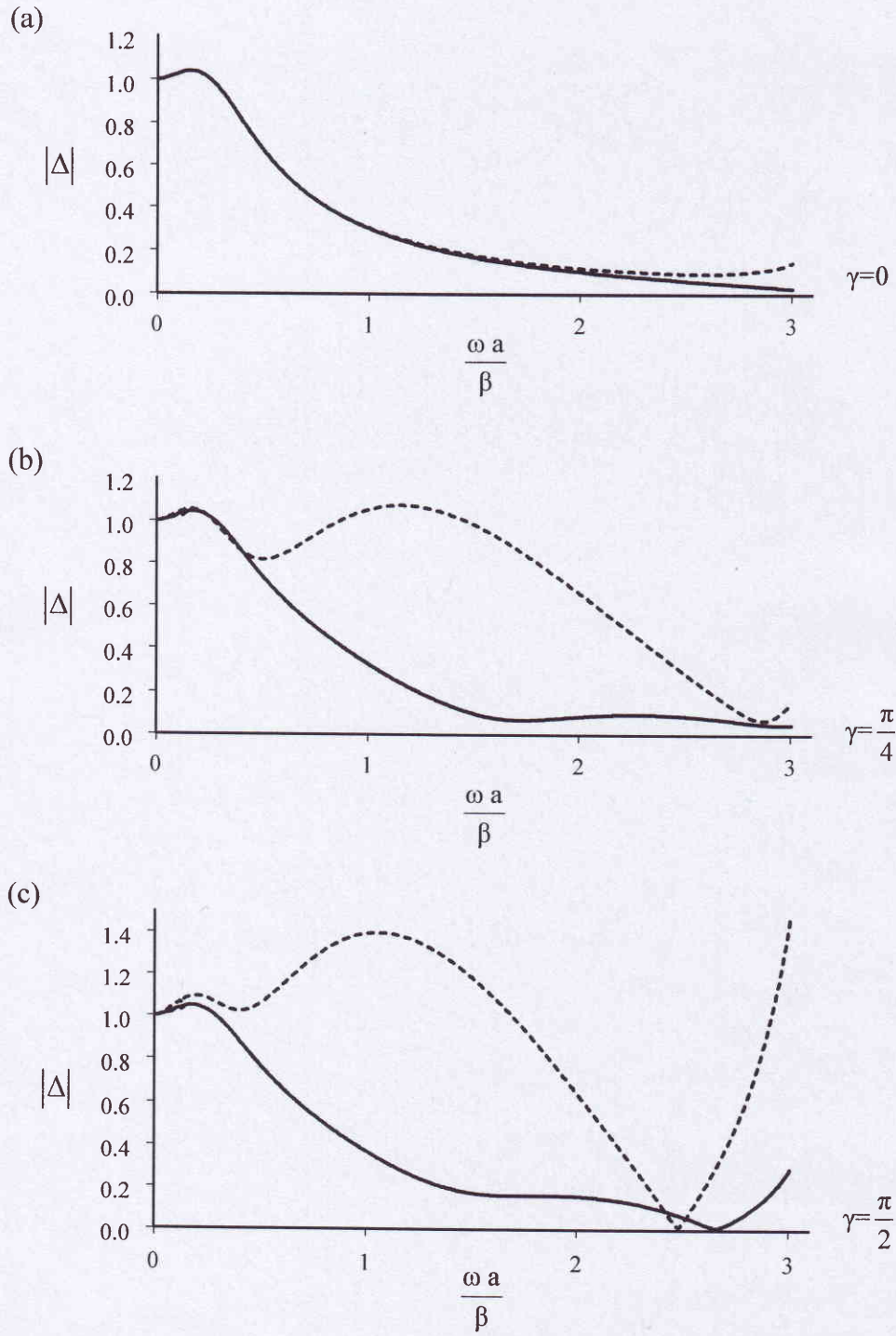
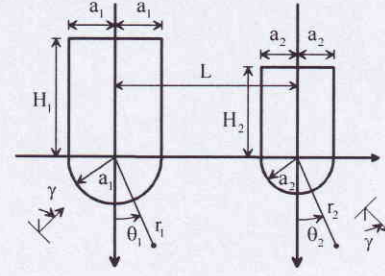
Şekil 5.24(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.24(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 0$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Binalar arasındaki mesafenin bina temel yarıçapına oranının çok büyük olduğu bu üç grafikte etkileşimden söz edilemeyeceğinden yerdeğştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğu görülebilmektedir.

$\varepsilon = 0$ için çizilen bu grafiklerde birinci binanın boyutları, ikinci binanın boyutlarına göre daha büyüktür. İki yapının birbirleriyle etkileşiminden söz edilebilen durumlarda ikinci bina, daha küçük kütleye sahip olduğu için yerdeğştirmeleri daha büyük olmaktadır. Ayrıca gelme açısı değişiminden daha fazla etkilendiği görülmektedir.

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	2.5	0	1	1	1	1

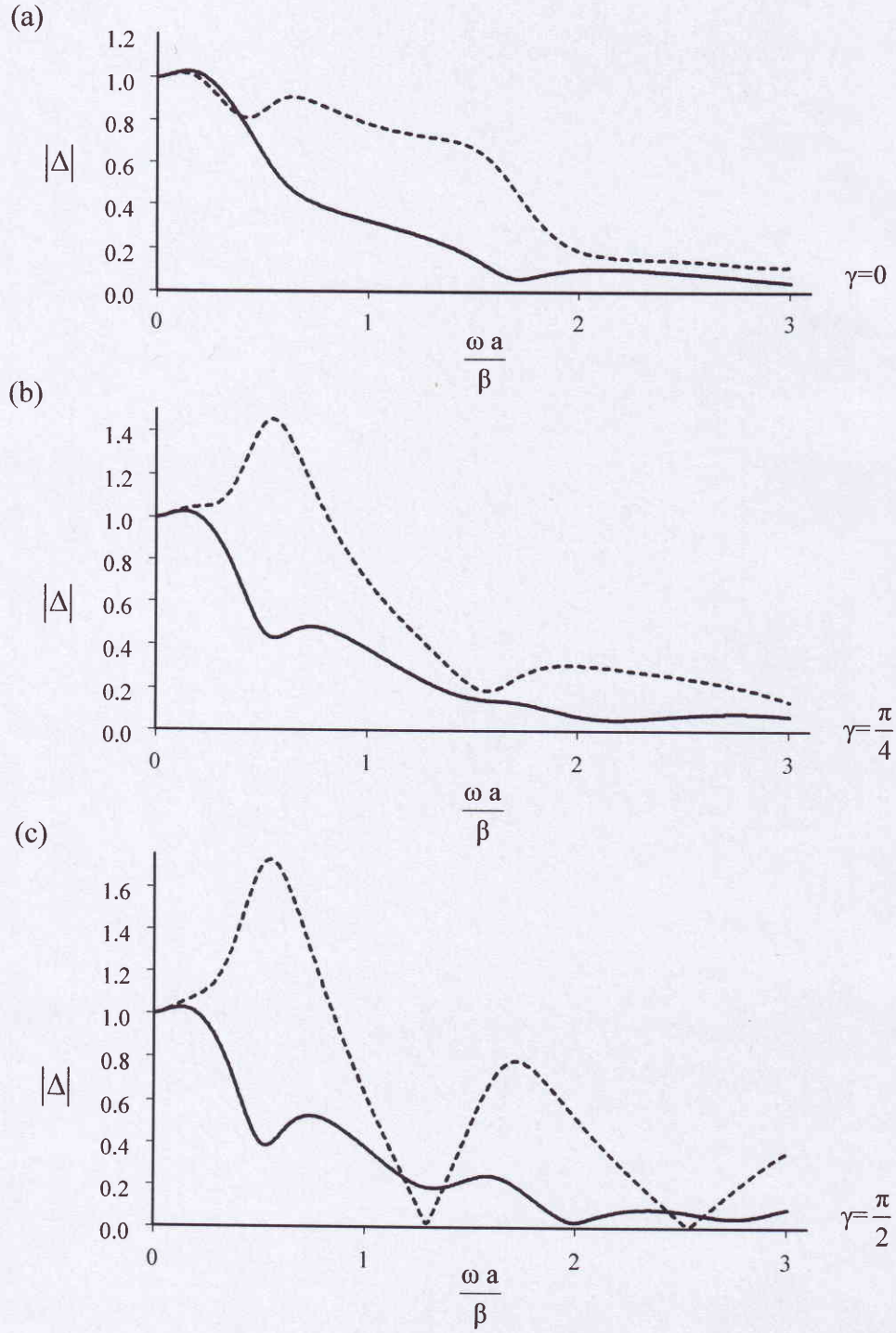
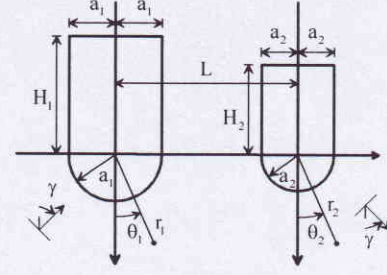
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.19 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	5	0	1	1	1	1

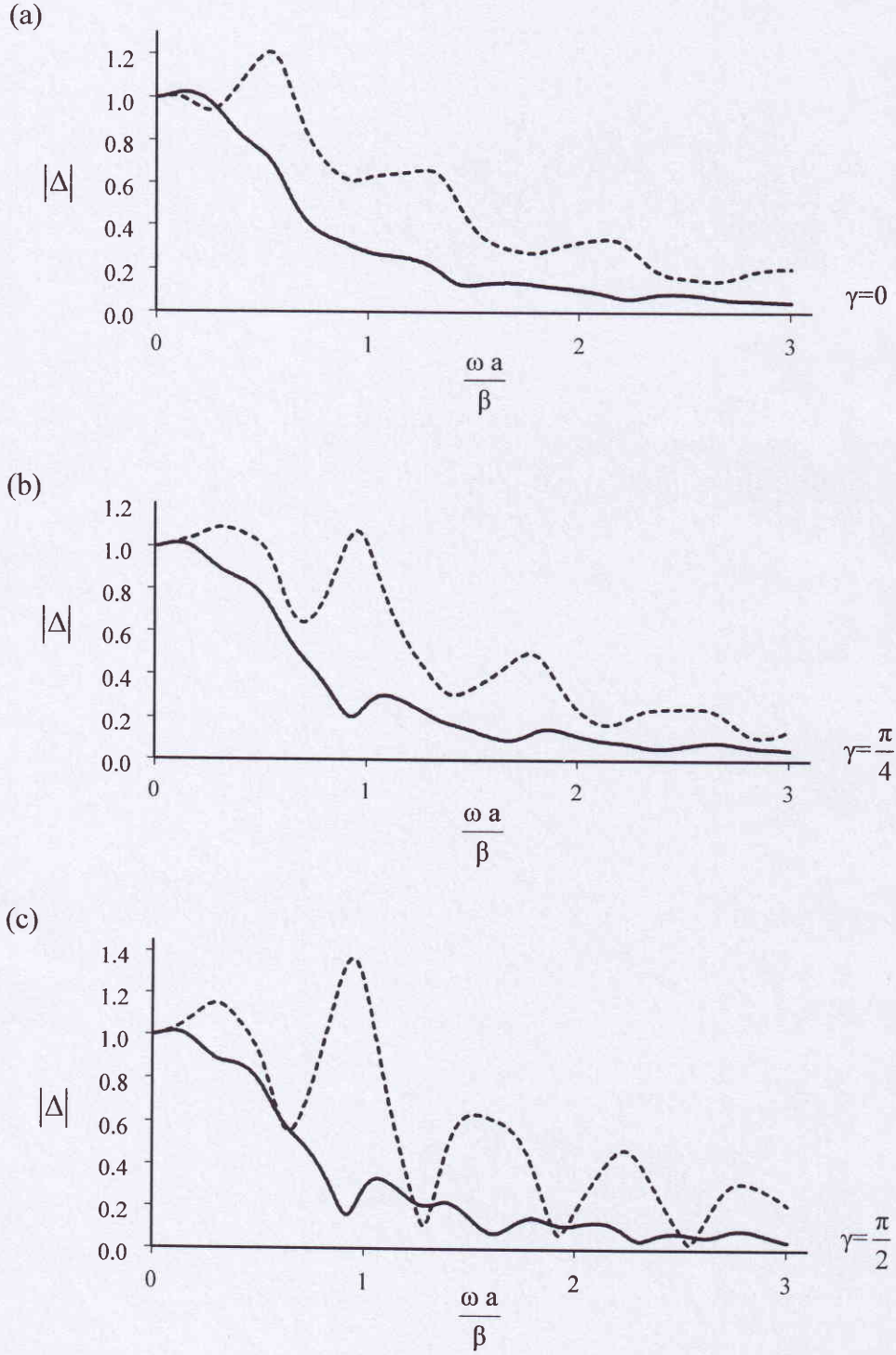
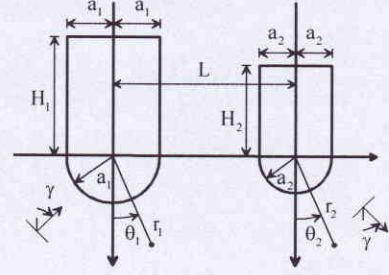
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.20 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	10	0	1	1	1	1

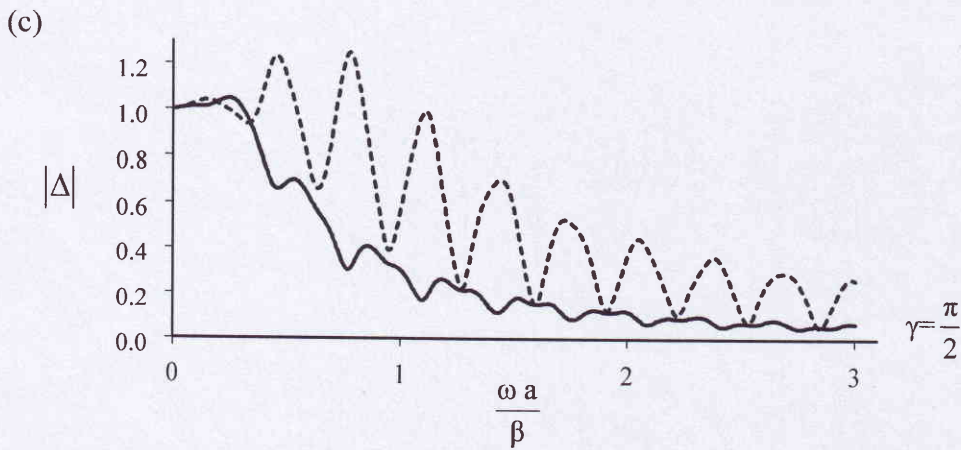
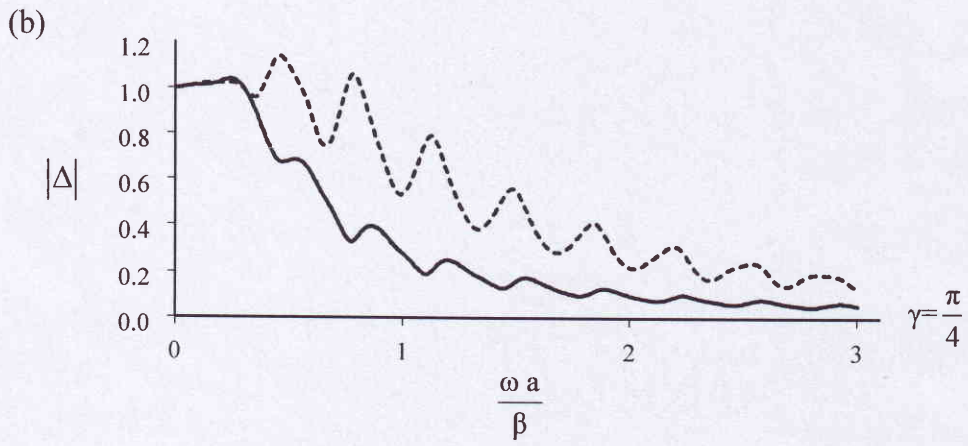
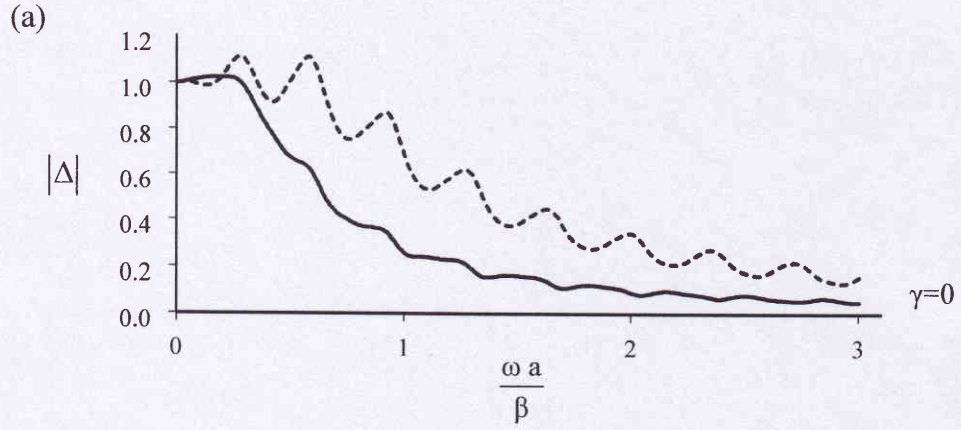
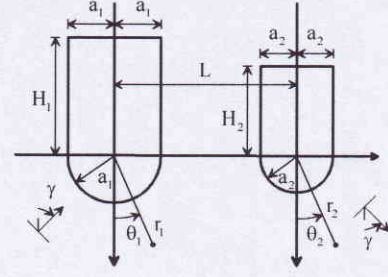
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.21 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	20	0	1	1	1	1

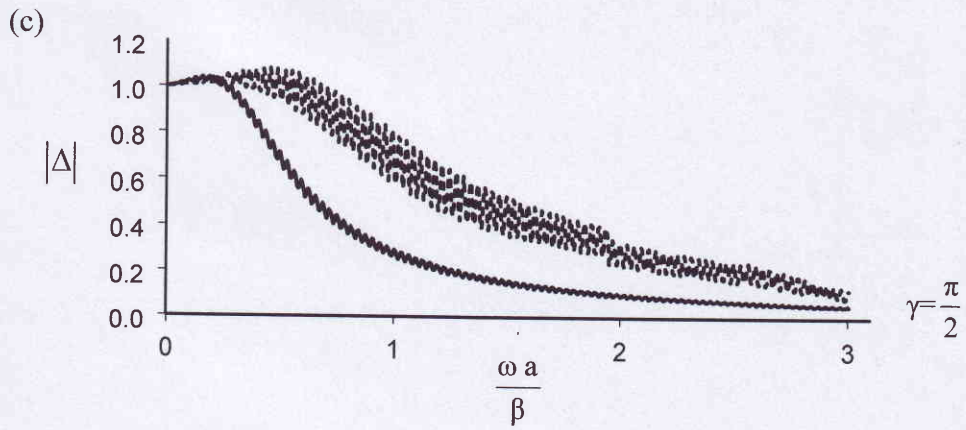
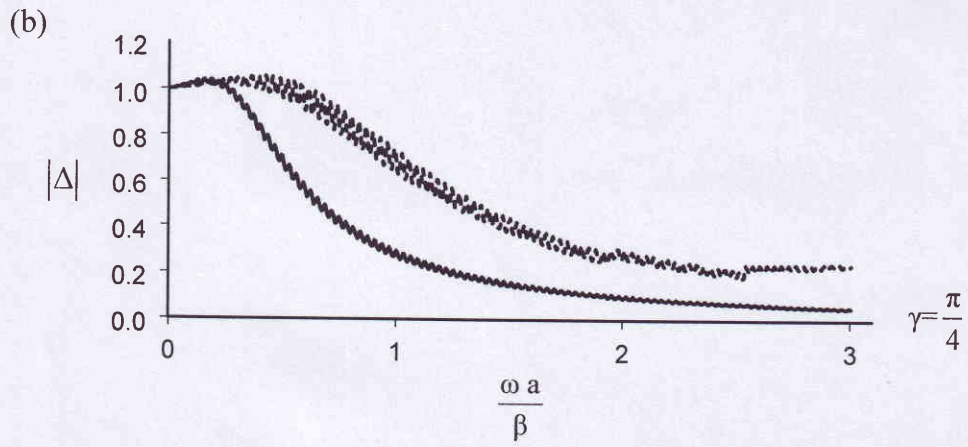
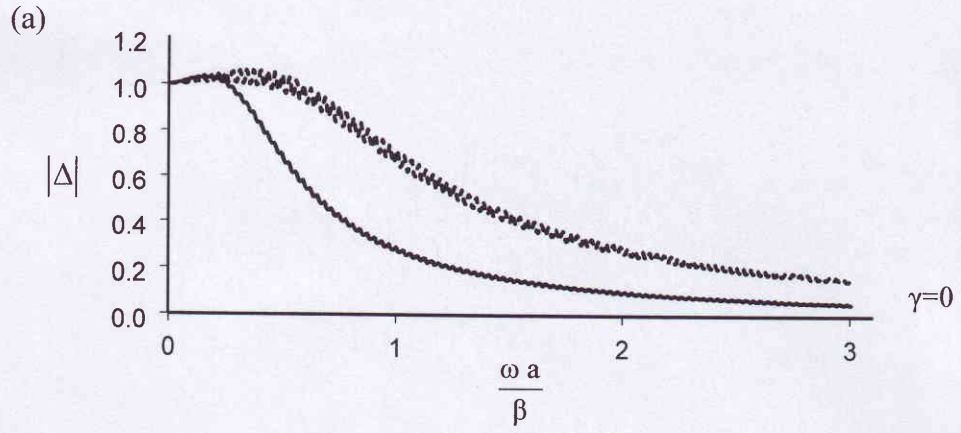
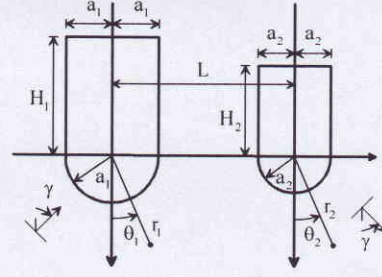
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.22 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	200	0	1	1	1	1

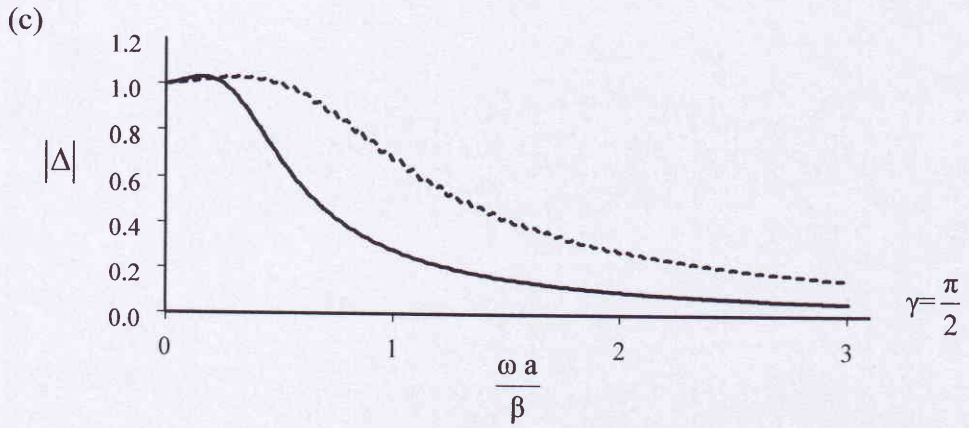
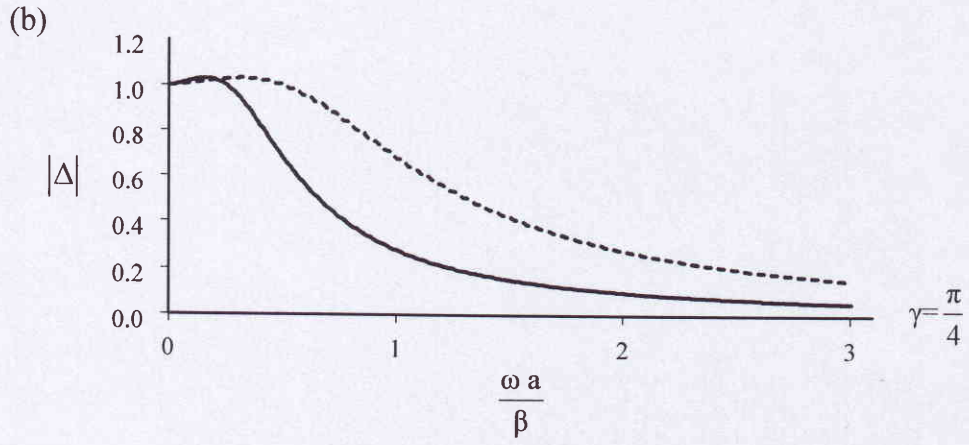
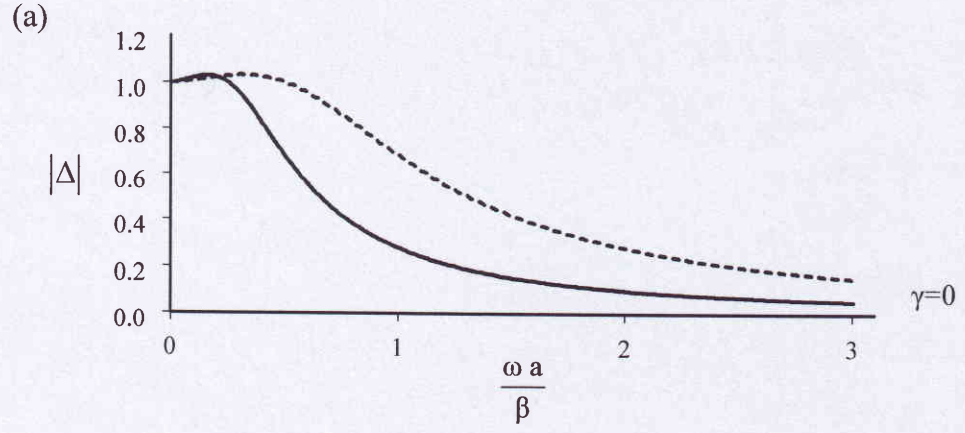
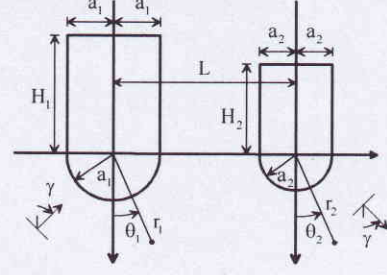
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.23 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	20000	0	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.24 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

5.5 $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.25(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin benzer karakter göstermekle beraber aynı olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.25(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.25(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.26(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.26(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.26(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.27(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.27(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.27(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.28(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.28(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.28(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Geliş açısının değişiminin boyutları daha küçük olan ikinci yapının genliğine etkisinin hala dikkate değer olduğu görülmektedir.

Şekil 5.29(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.29(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.29(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Geliş açısının değişiminin daha büyük boyutlara sahip olan birinci yapının genliğine etkisinin çok çok az olduğu görülmektedir.

Şekil 5.30(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

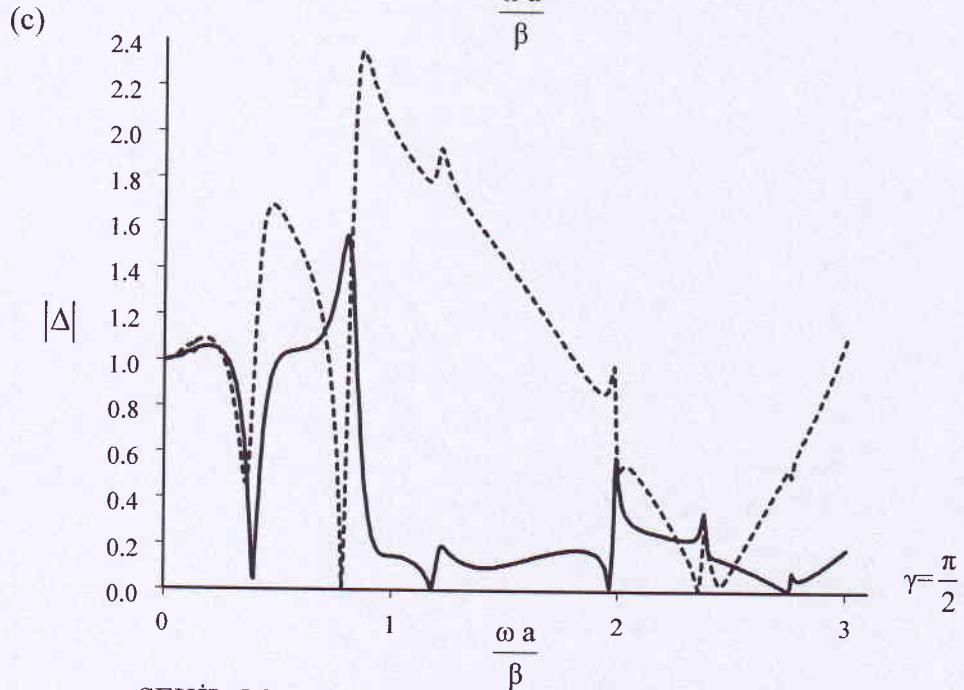
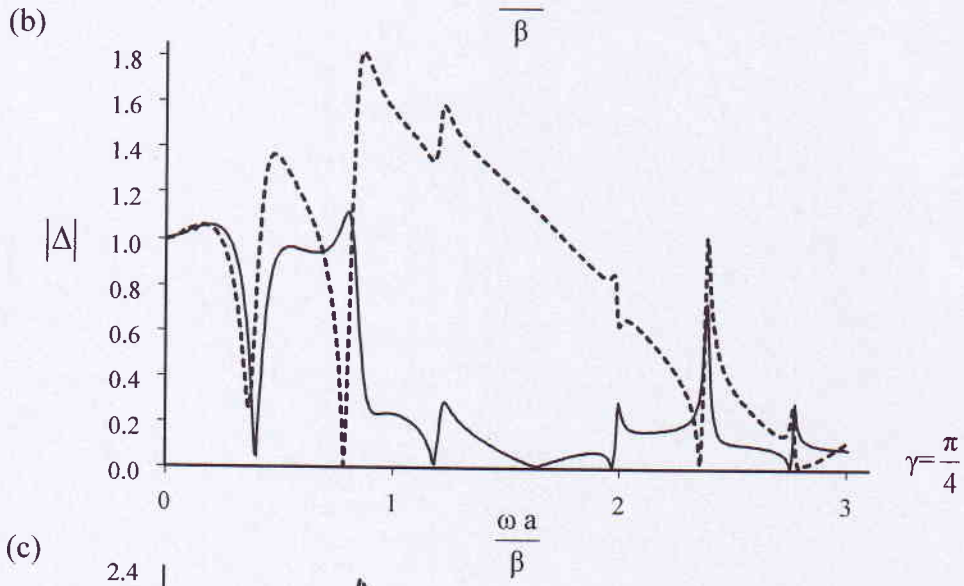
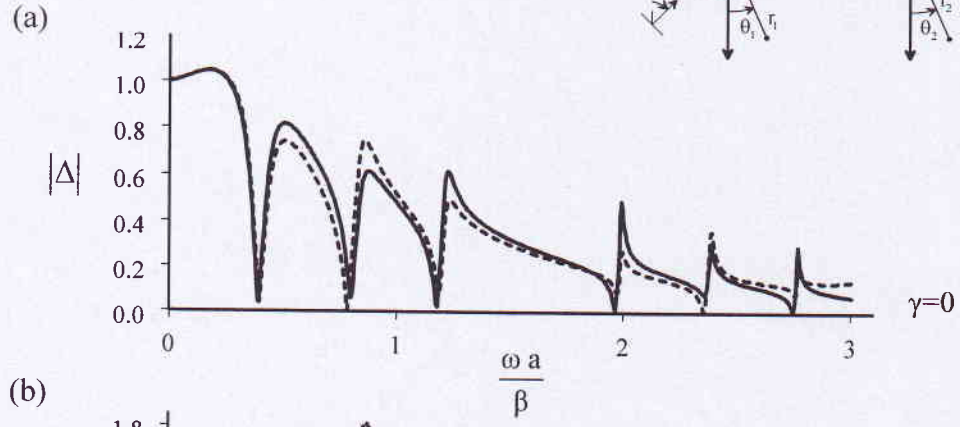
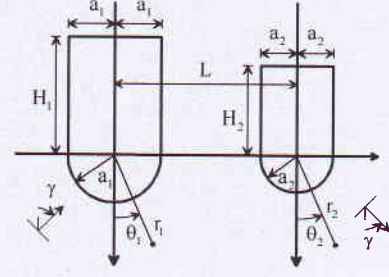
Şekil 5.30(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.30(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 2$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Binalar arasındaki mesafenin bina temel yarıçapına oranının çok büyük olduğu bu üç grafikte artık iki yapının birbirleriyle etkileşimi olmadığından yerdeğştirmelerin dalga geliş açısından bağımsız olduğu görülebilmektedir.

$\varepsilon = 2$ için çizilen bu grafiklerde boyutları iki kat büyük olan birinci binanın dört adet sıfır noktası bulunurken, ikinci binanın iki adet sıfır noktasının olduğu görülmektedir. Daha büyük kütleye sahip birinci yapının yerdeğştirme genliklerinin, ikinci yapıya göre daha az olduğu dikkati çekmektedir.

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ϵ	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	2.5	2	1	1	1	1

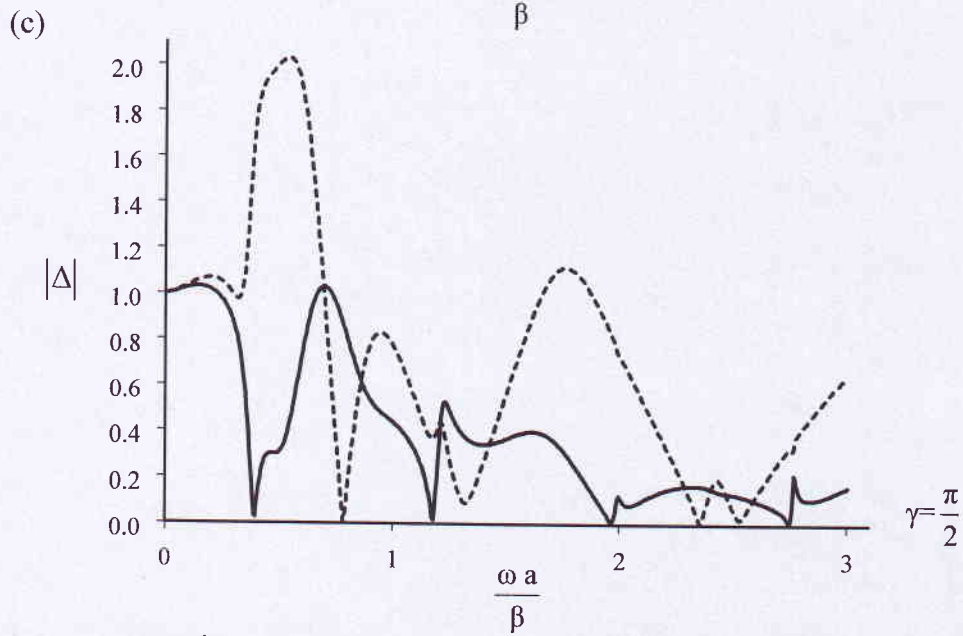
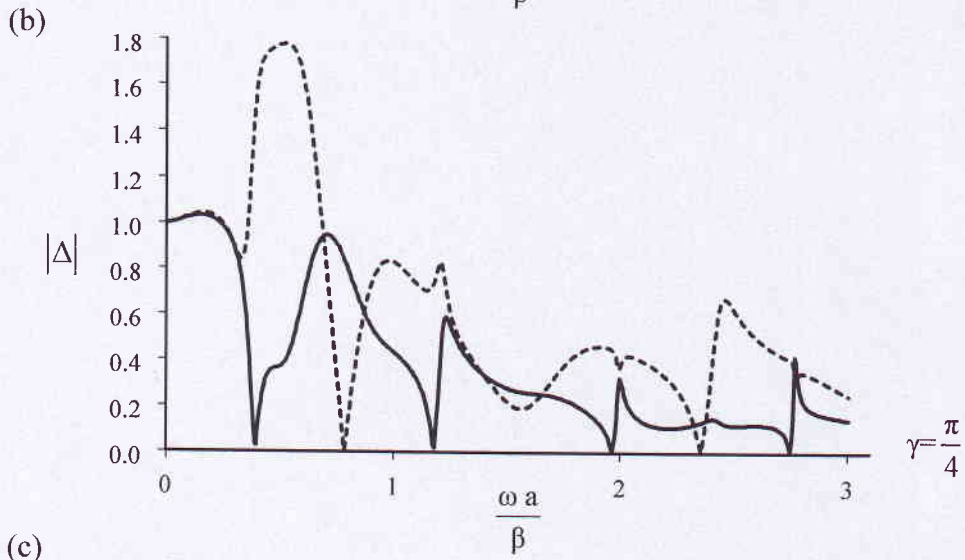
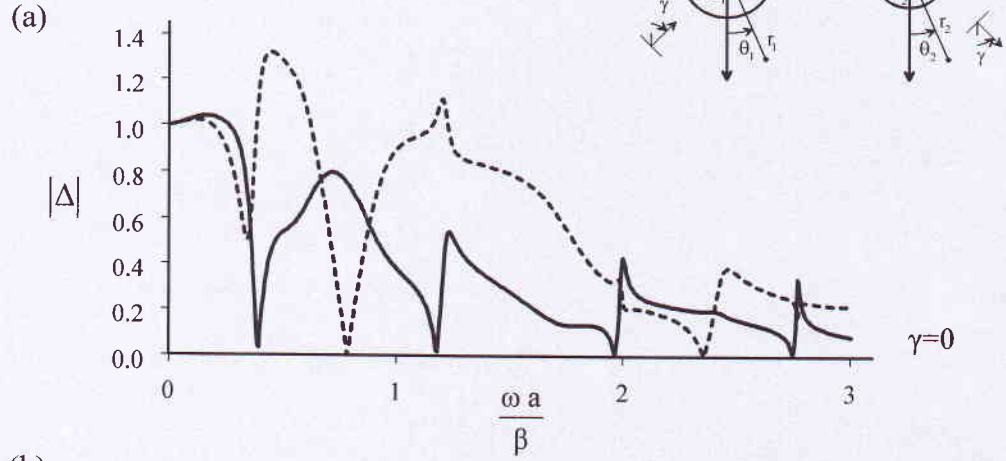
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.25 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	5	2	1	1	1	1

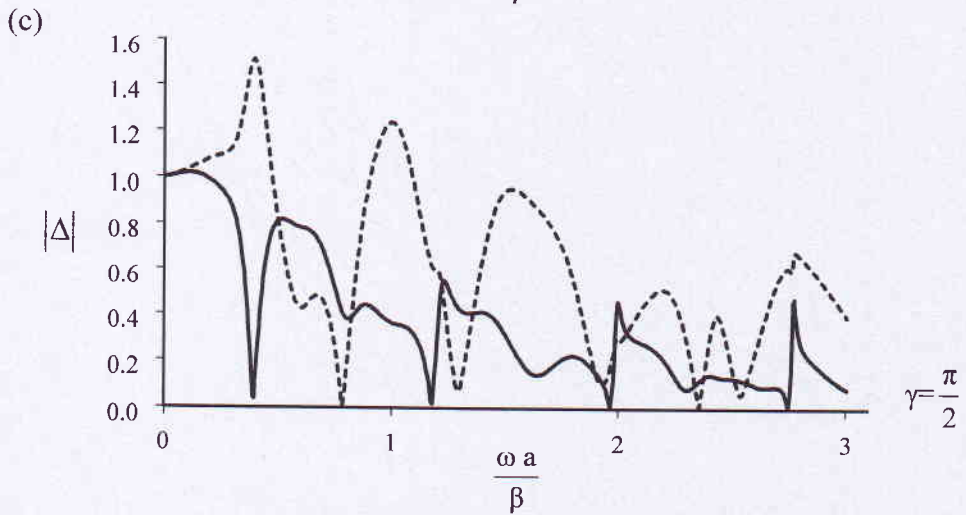
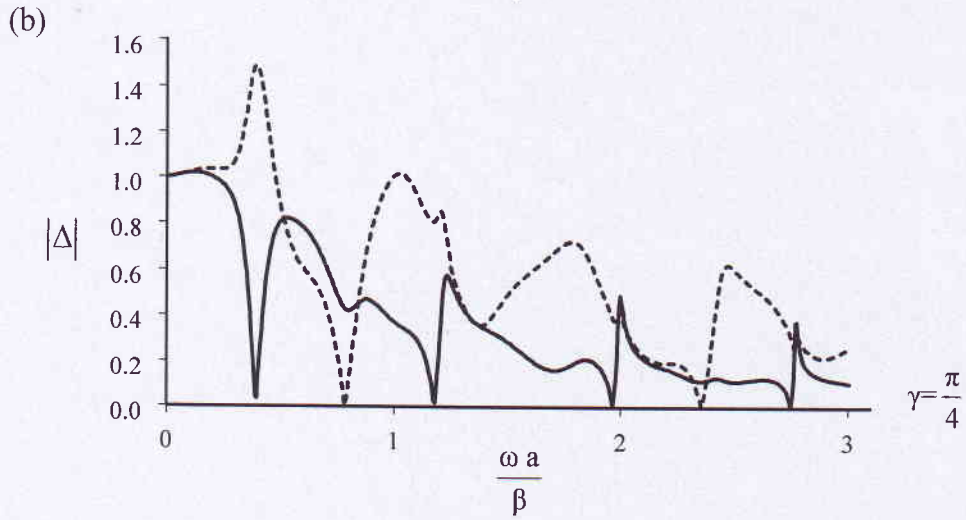
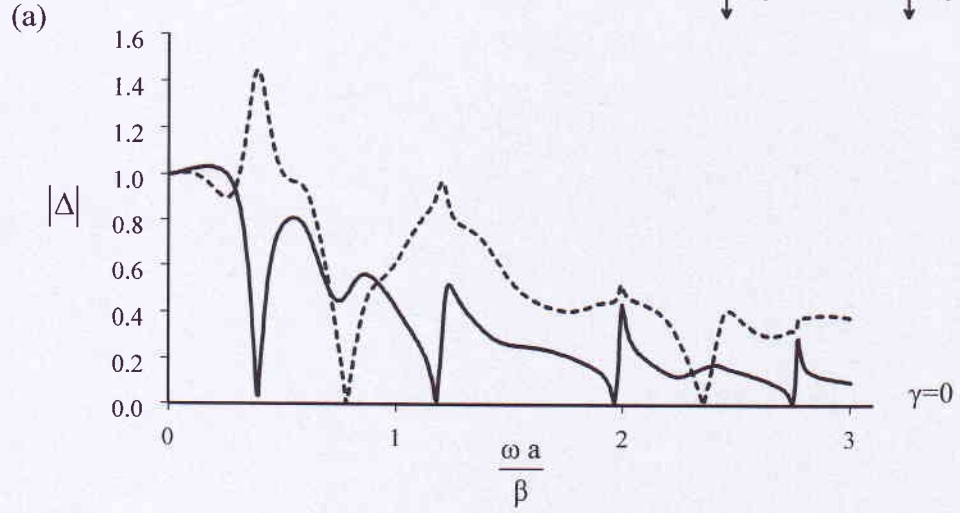
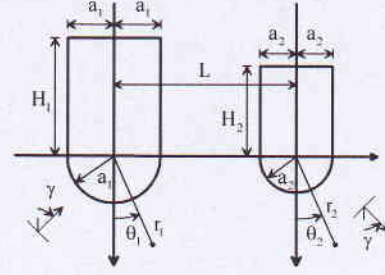
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - -



ŞEKİL 5.26 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	10	2	1	1	1	1

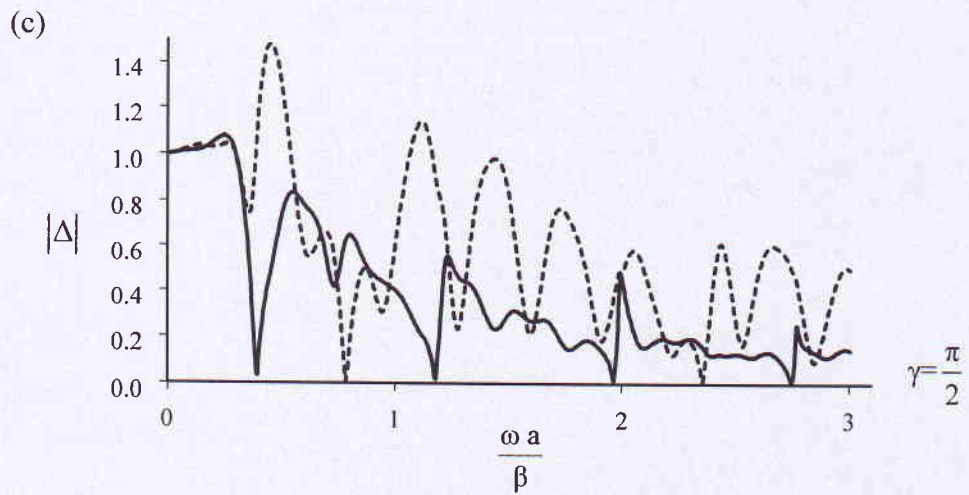
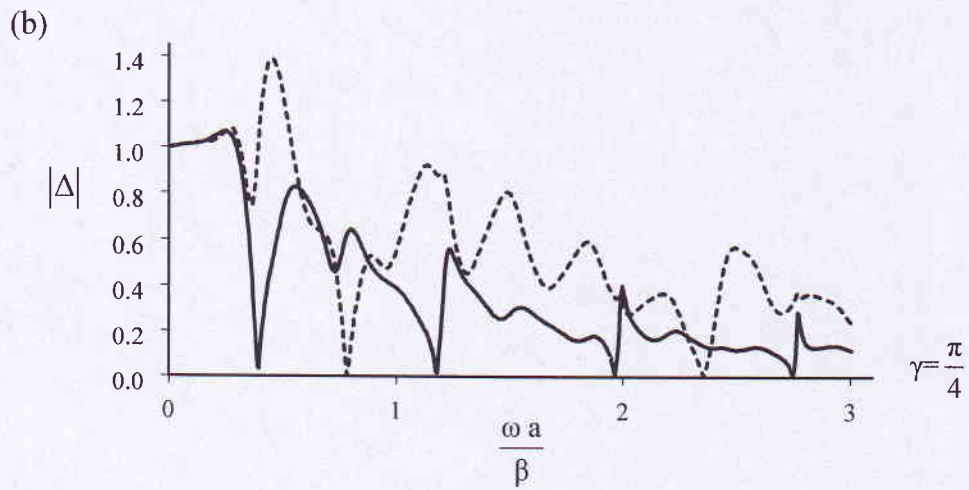
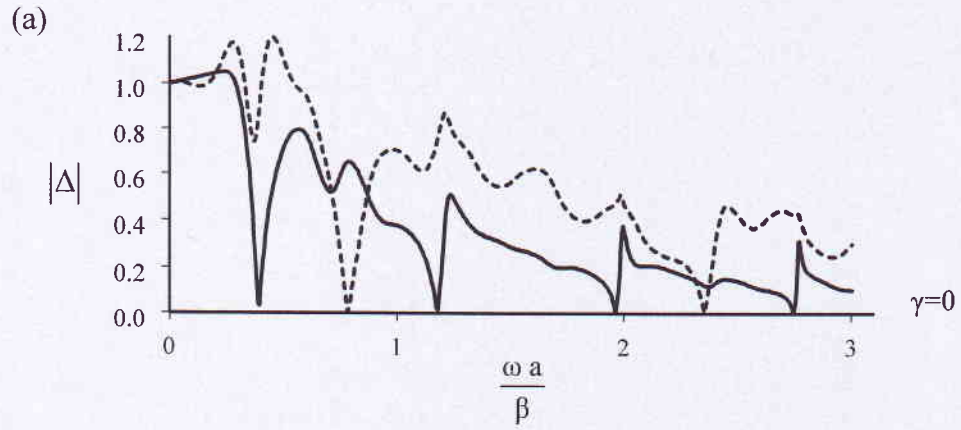
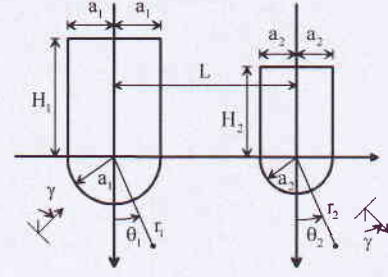
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.27 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	20	2	1	1	1	1

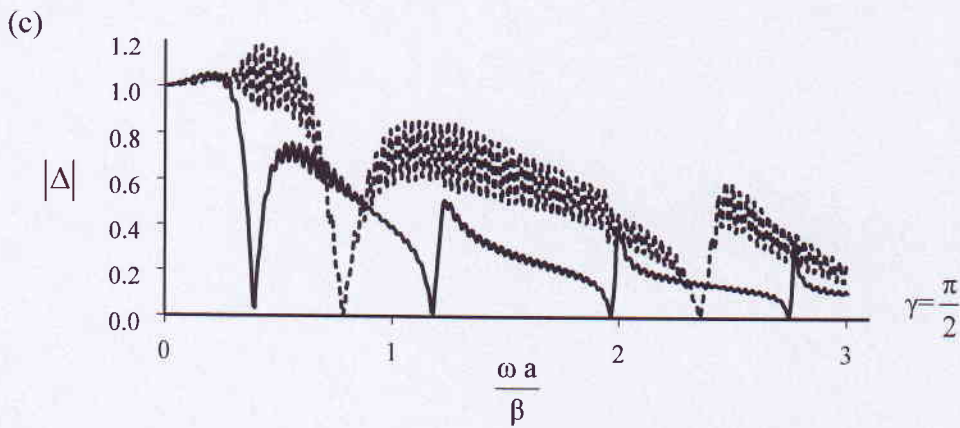
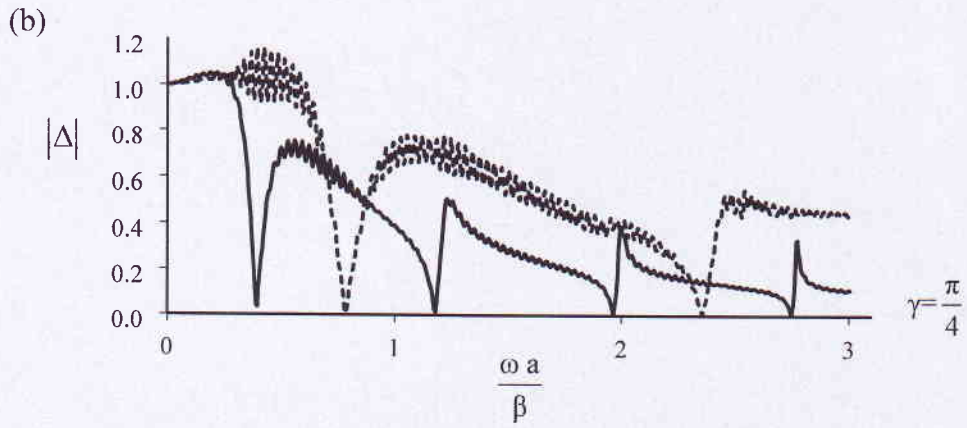
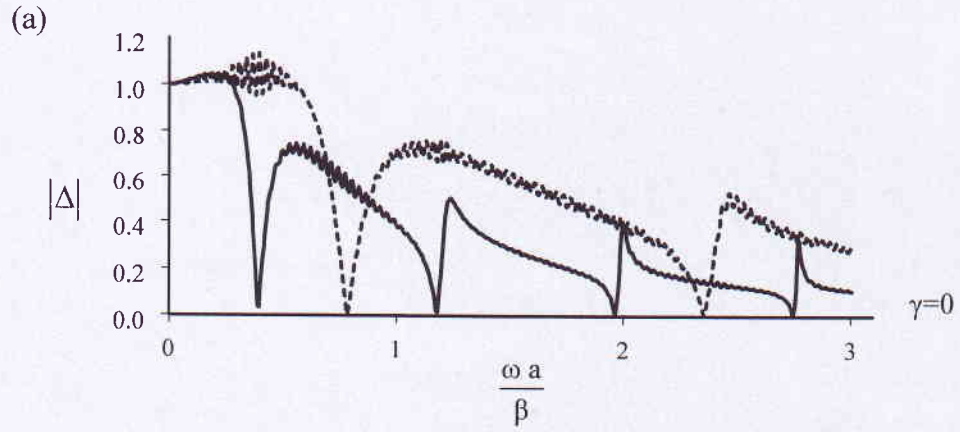
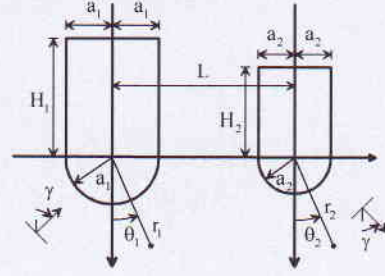
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



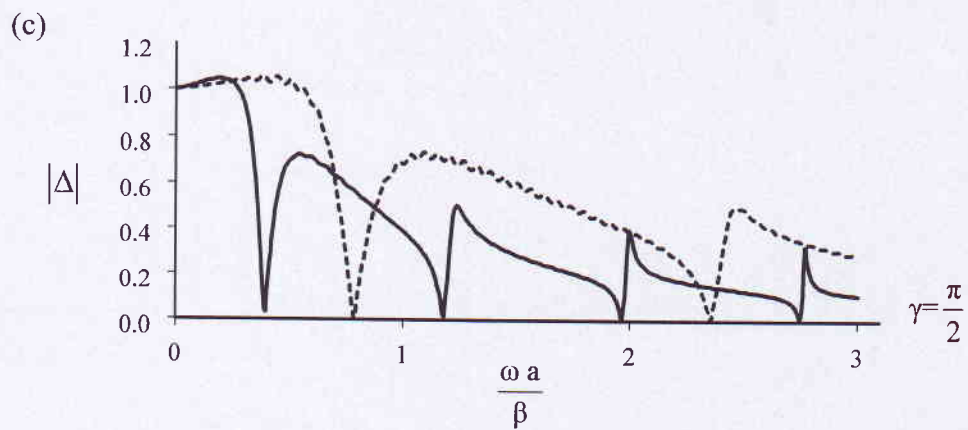
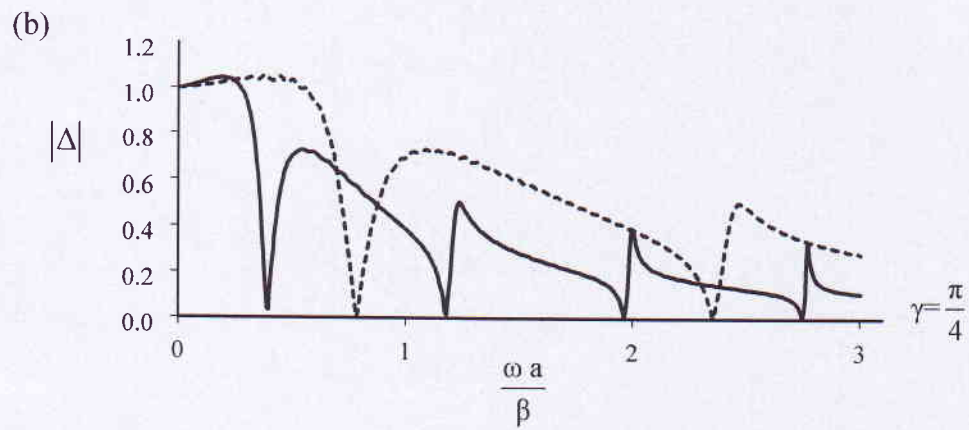
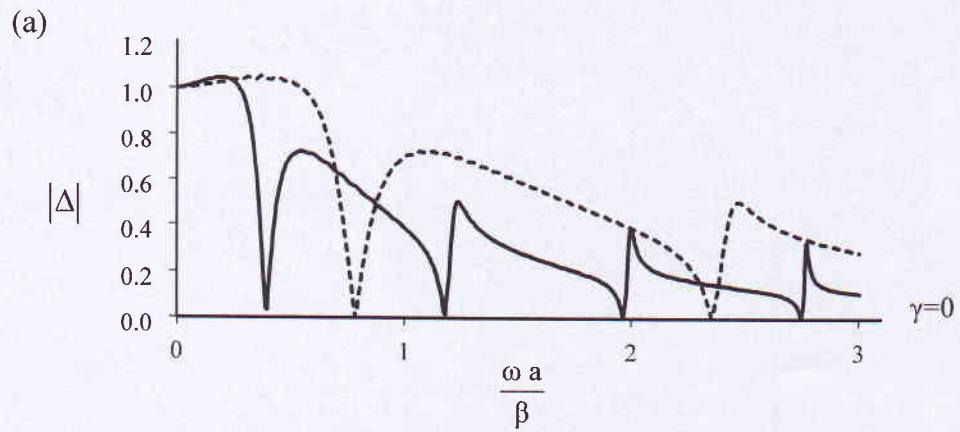
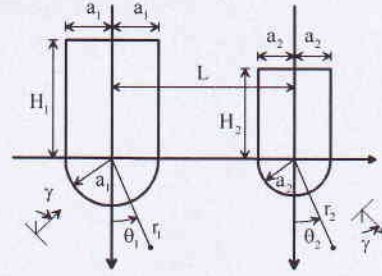
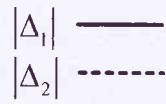
ŞEKİL 5.28 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	200	2	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.29 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi



ŞEKİL 5.30 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

5.6 $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$ Durumu İçin Sonuçlar

Şekil 5.31(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir. Bu grafikte iki genliğin benzer karakter göstermekle beraber aynı olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.31(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.31(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 2.5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.32(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.32(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.32(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 5$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.33(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.33(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.33(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 10$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.34(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.34(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.34(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.35(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.35(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.35(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 200$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.36(a)' da, geliş açısı $\gamma = 0$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

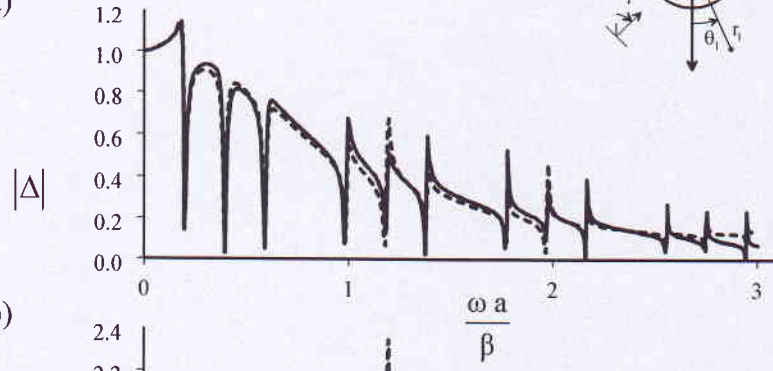
Şekil 5.36(b)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/4$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.36(c)' de, geliş açısı $\gamma = \pi/2$, $L/a = 20000$, $\varepsilon = 4$, $r_1 = 2a$, $r_2 = a$, $H_1 = 2H$, $H_2 = H$, $M_b^1/M_s^1 = 1$, $M_0^1/M_s^1 = 1$, $M_b^2/M_s^2 = 1$, $M_0^2/M_s^2 = 1$ için $|\Delta_1|$ ve $|\Delta_2|$ genliklerinin $\omega a/\beta$ ' a göre değişimi gösterilmektedir.

$\varepsilon = 2$ için çizilen bu grafiklerde boyutları iki kat büyük olan birinci binanın sekiz adet sıfır noktası bulunurken, ikinci binanın dört adet sıfır noktasının olduğu görülmektedir. Daha büyük kütleyle sahip birinci yapının yerdeğiştirme genliklerinin, ikinci yapıya göre daha az olduğu dikkati çekmektedir.

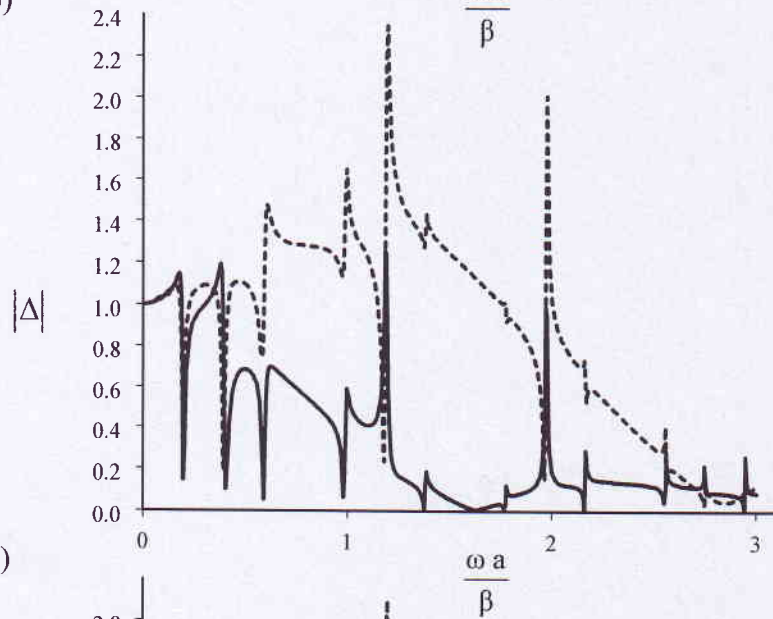
r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	2.5	4	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -
 (a)



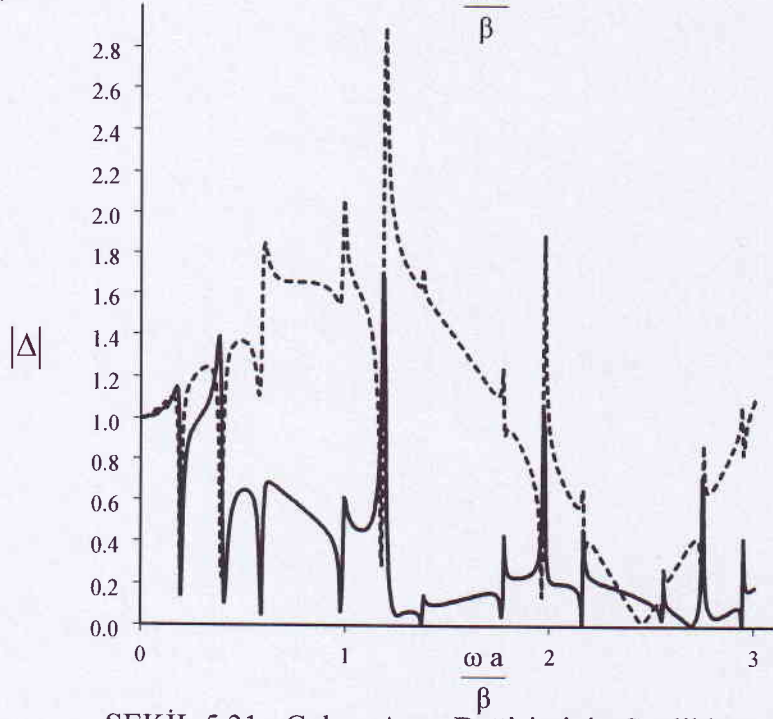
$\gamma=0$

(b)



$\gamma=\frac{\pi}{4}$

(c)

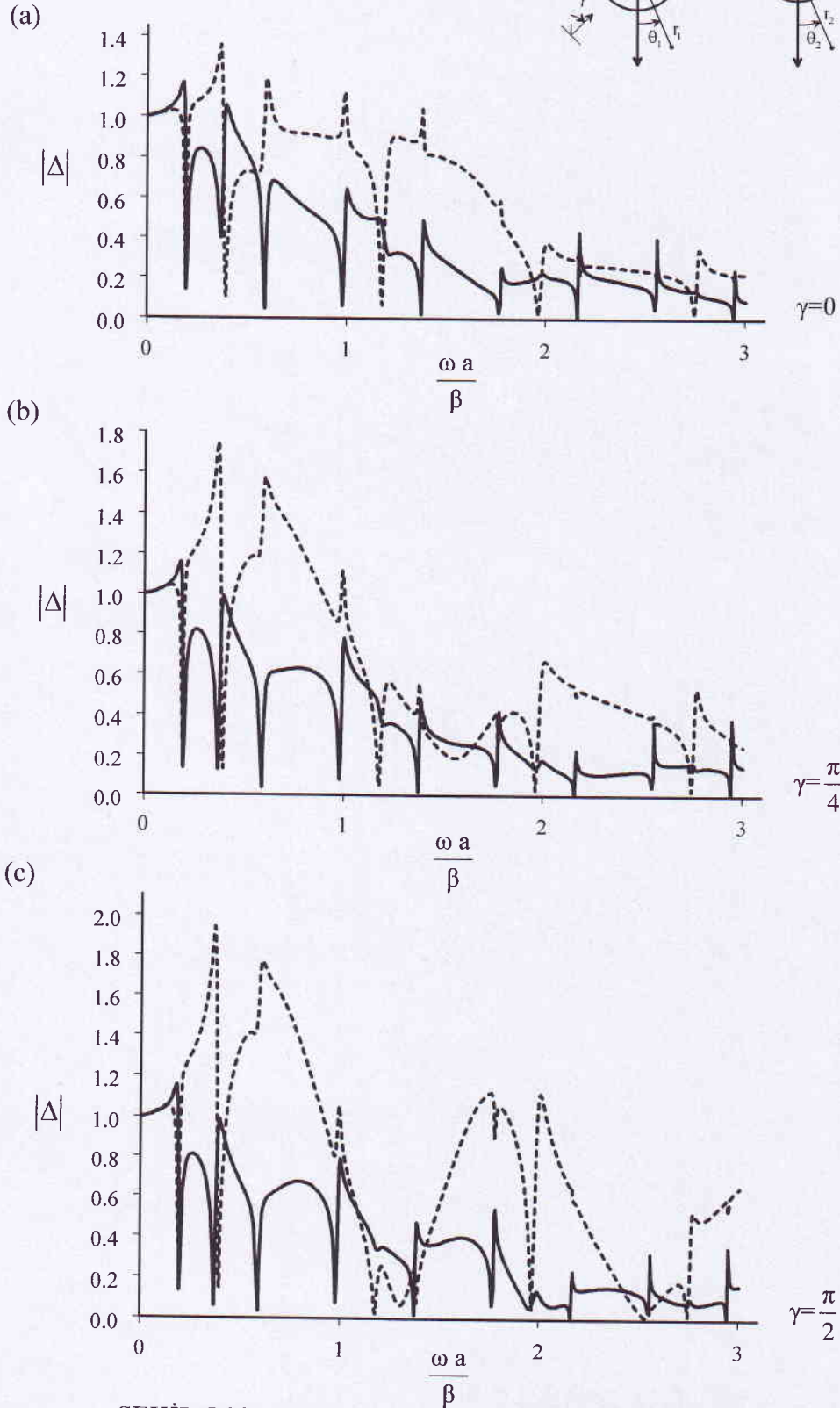
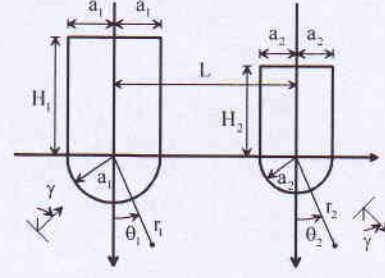


$\gamma=\frac{\pi}{2}$

ŞEKİL 5.31 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	5	4	1	1	1	1

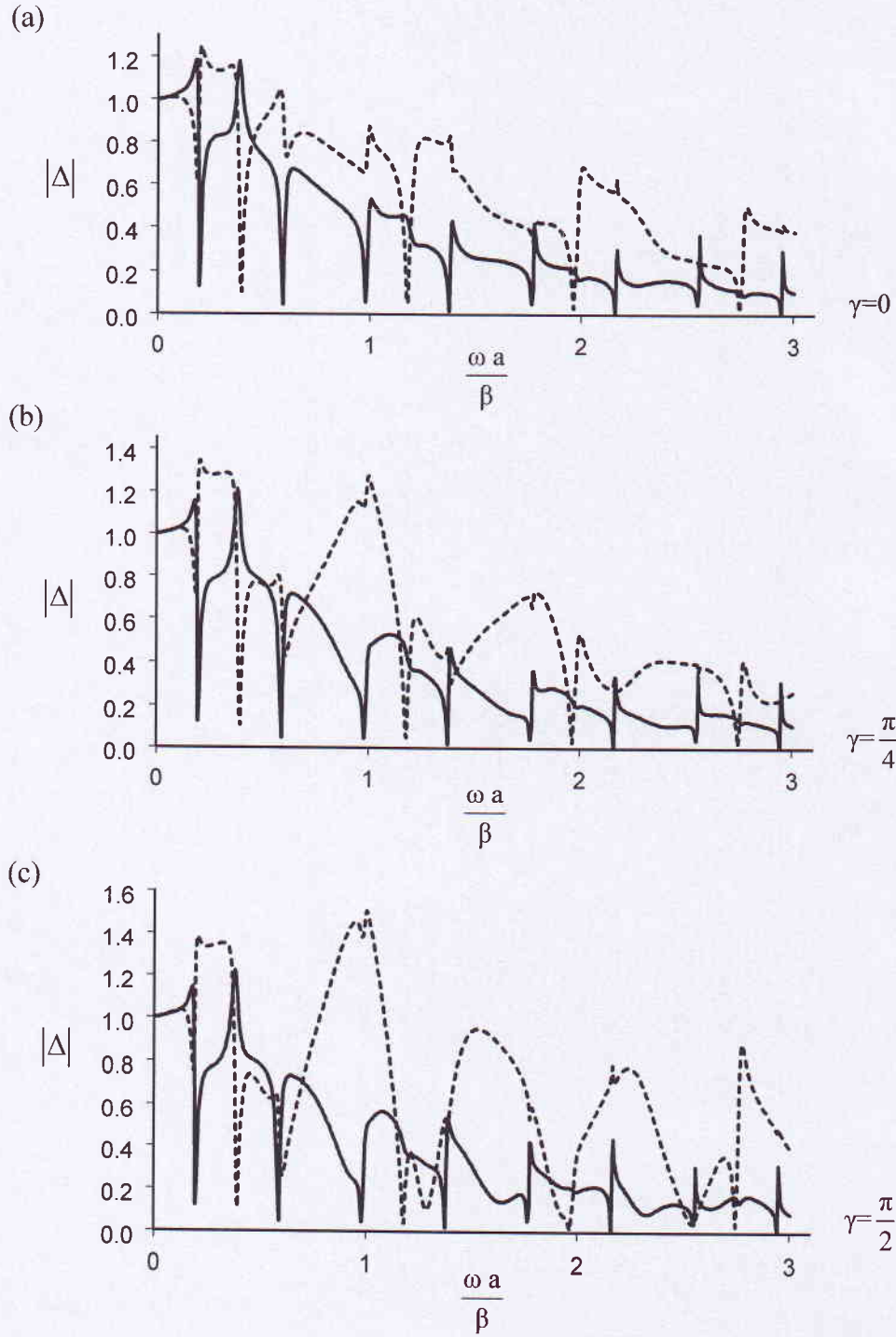
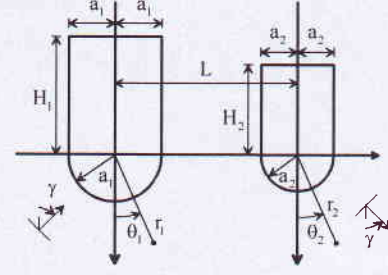
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.32 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ϵ	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	10	4	1	1	1	1

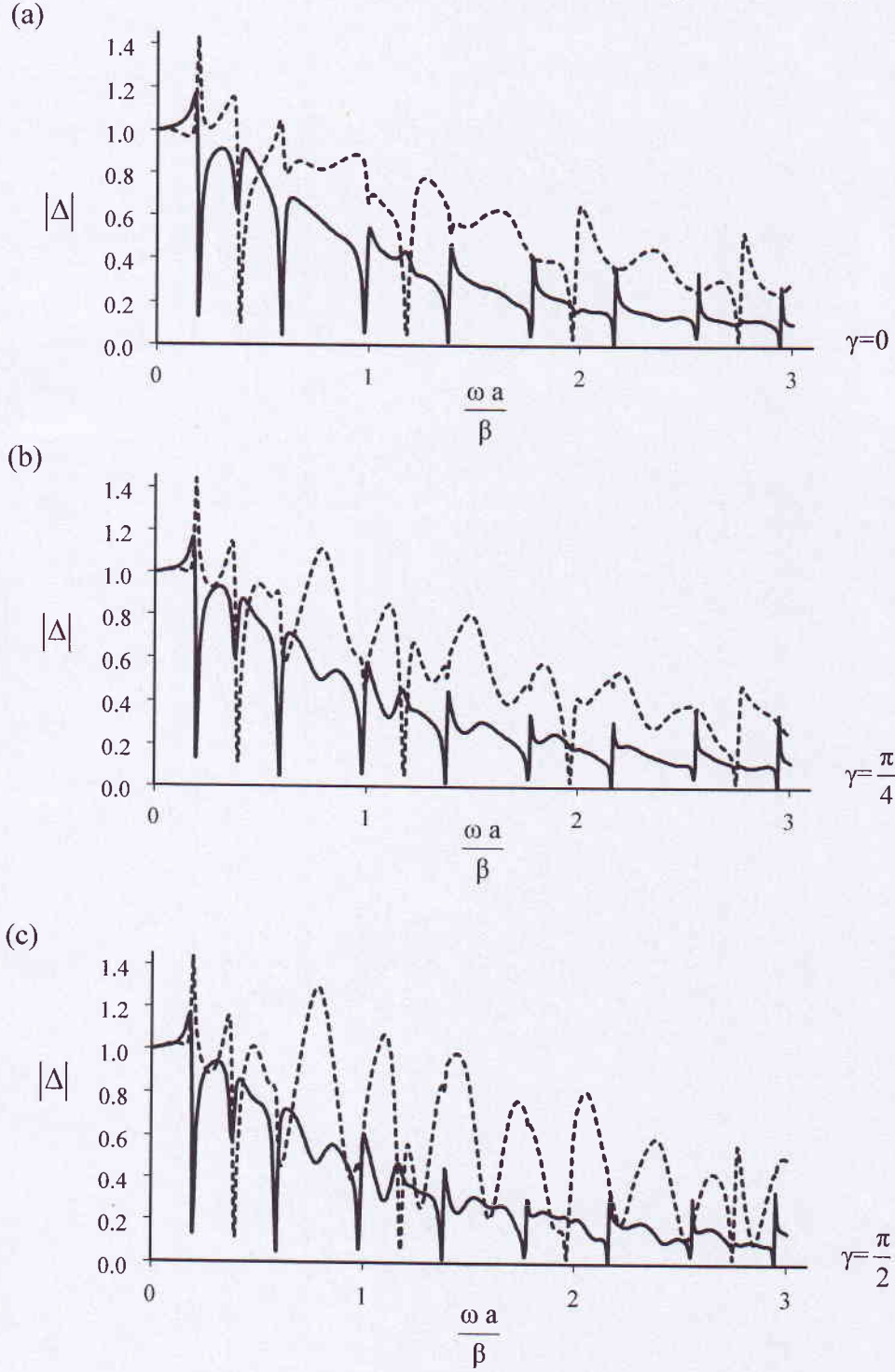
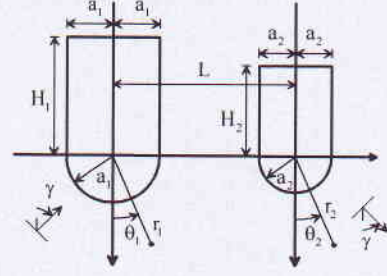
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.33 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	20	4	1	1	1	1

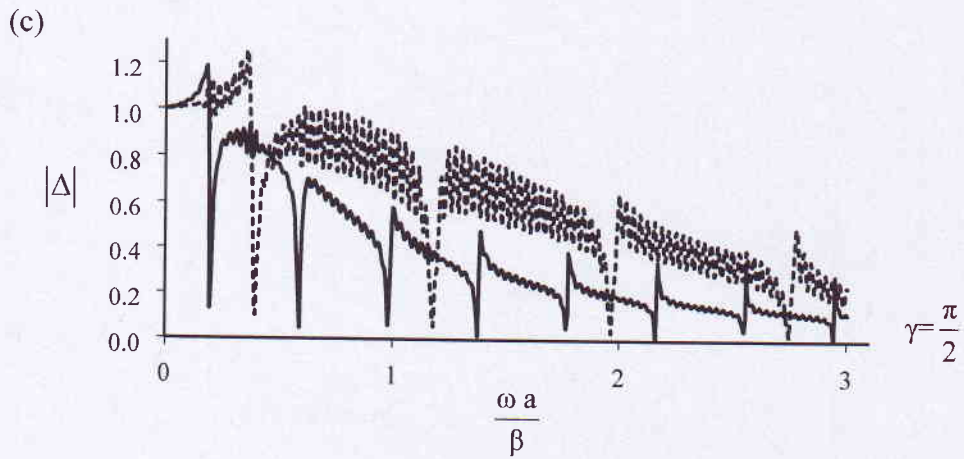
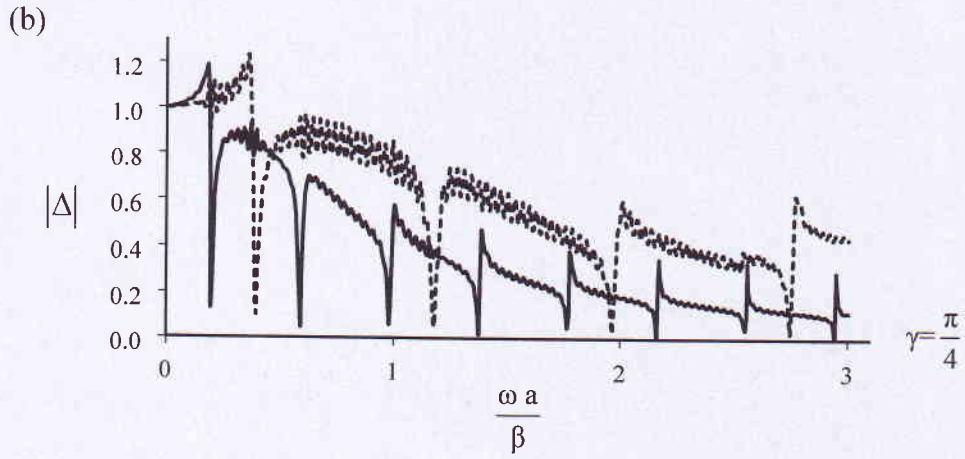
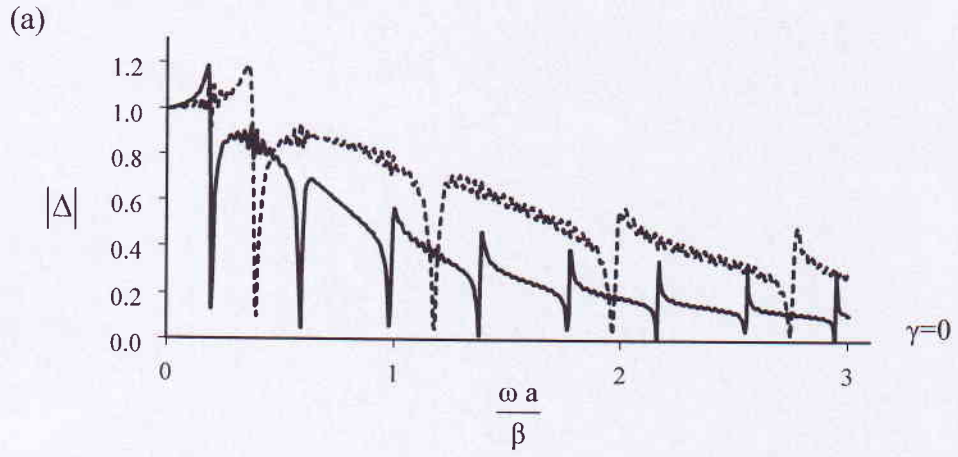
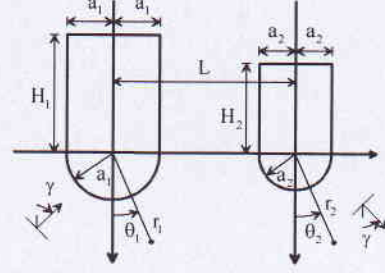
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.34 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	200	4	1	1	1	1

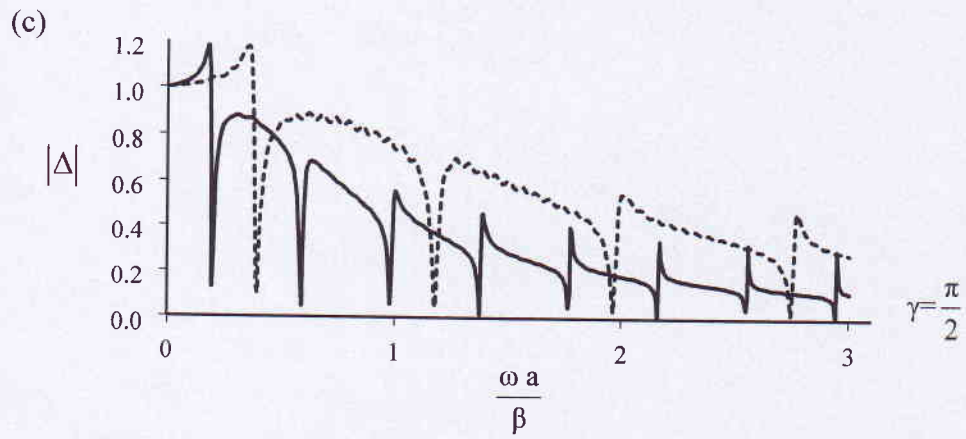
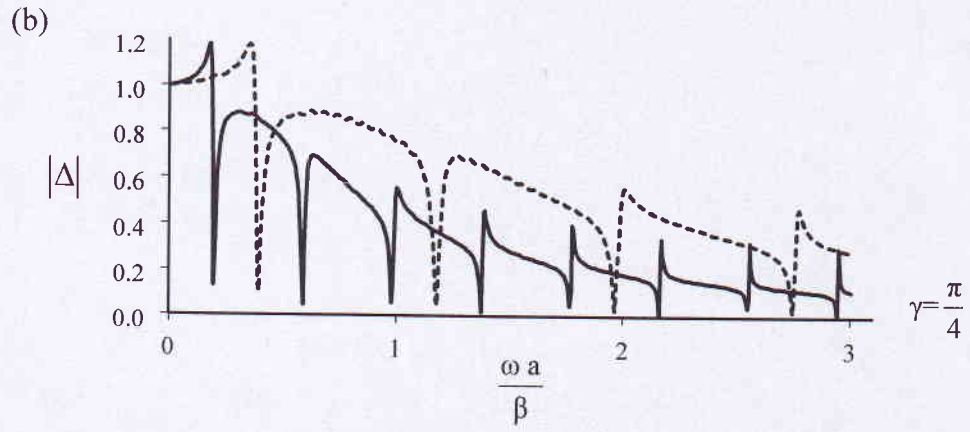
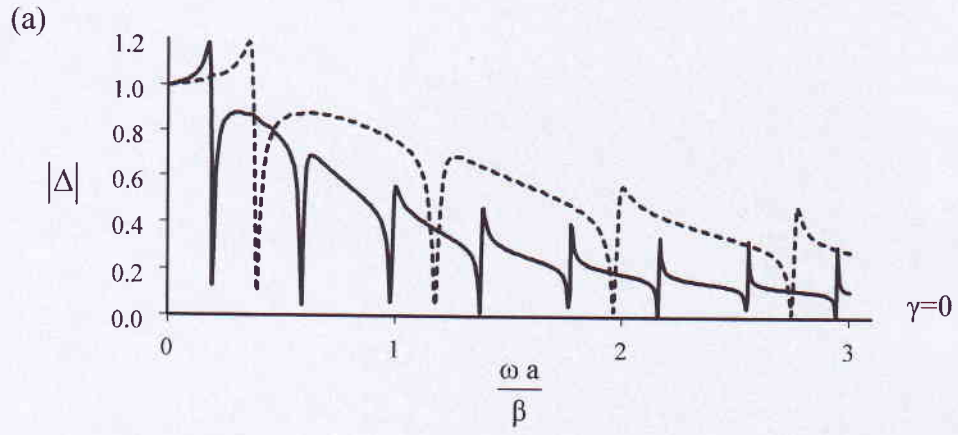
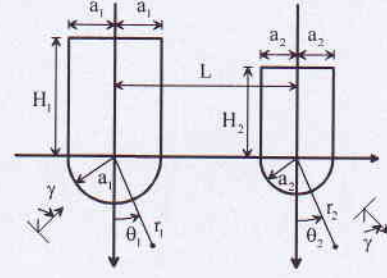
$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - - -



ŞEKİL 5.35 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

r_1	r_2	a_1	a_2	L/a	ε	M_b^1/M_s^1	M_0^1/M_s^1	M_b^2/M_s^2	M_0^2/M_s^2
a_1	a_2	$2a$	a	20000	4	1	1	1	1

$|\Delta_1|$ ———
 $|\Delta_2|$ - - - -



ŞEKİL 5.36 : Gelme Açısı Değişiminin Genliklere Etkisi

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sayısal sonuçlar yapıların ve zeminin değişik özelliklerine göre elde edilmektedir. Yapılar arasındaki mesafe artırıldığında, yapıların ikiz yapı olması durumunda elde edilen sonuçlar Trifunac tarafından ele alınan tek yapı için elde edilen sonuçlarla üst üste düşmektedir. Bu durumda genlikler dalganın geliş açısından etkilenmemektedir. Fakat eğer yapılar arasındaki mesafe (L) küçülürse, genlikler birbirlerinden etkilenmeye başlıyor. Örneğin, genlikler dalganın geliş açısına bağlı olarak birbirlerini etkilemektedir, oysa tek yapı için elde edilen genlikler dalganın geliş açısından etkilenmemektedir. Rezonans durumunda genliklerden biri sıfıra yaklaşırken diğeri artmaktadır. Gelme açısının sıfır olması durumunda ikiz yapılar için genlikler eşit olmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan problem, geometri ve malzeme özellikleri bakımından basit olsa da, yapılan çözüm analitik bir çözüm olduğu için, elde edilen sonuçlar yapının fiziksel davranışı ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Daha sonra geliş güzel bir geometriye sahip yapıya uygulanacak olan sayısal yöntemlere öncülük edeceğinden önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Graff, K.**, 1991. Wave Motion in Elastic Solids, Dover Publications, Inc, New York.
- [2] **Pao, Y. H., Mow, C. C.**, 1973. Diffraction of Elastic Waves and Dynamics Stress Concentrations, Crane, Russak and Co. Inc., New York.
- [3] **Çakıroğlu, A. O.**, 1974. Daireye Yakın Silindirik Oyuklardan SH Dalgasının Saçılması, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [4] **Lee, V. W., Trifunac M. D.**, 1979. Response of Tunnels to Incident SH Waves, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE* Vol. **105-4**, 643-659.
- [5] **Lee, V. W.**, 1977. On Deformations Near Circular Underground Caviyt Subjected to Incident Plane SH Waves, Proceedings of the Applications of Computer Methods in Engineerig Conference, Vol. II, University of Southern California, Los Angeles, Calf., 951-962.
- [6] **Lee, V. W., Manoogain, M. E.**, 1996. Diffraction of SH Waves by Subsurface Inclusions, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. **122-2**, 123-128
- [7] **Gregory, R. D.**, 1967. An Expansion Theorem Applicable to Problems of Wave Propagation in an Elastic Half-Space, Proc., Camb. Philos Soc., Vol. 63, 1341-1367.
- [8] **Gregory, R. D.**, 1970. The Propagation of Waves in an Elastic Half-Space Containing a Circular Cylindrical Cavity, Proc., Camb. Philos Soc., Vol. 67, 689-710.
- [9] **Datta, S. K.**, 1978. Scattering of Elastic Waves, Mech. Today, Vol. 4, 149-208.
- [10] **Dravinski, M.**, 1983. Ground Motion Amplification Due to Elastic Inclusion in a Half-Space, Int. J. Earthquake Engrg. and Struct. Dynamics, Vol. 11, 313-335.
- [11] **Housner, G. W.**, 1954. Effect of Foundation Compliance on Earthquake Stresses in Multistory Buildings, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **44**, 551-569.
- [12] **Housner, G. W.**, 1957. Interaction of Building and Ground During an Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **47**, 179-186.

- [13] **Luco, J. E.**, 1969. Dynamic Interaction of a Shear Wall with the Soil, *J. Eng. Mech. Division*, ASCE, **95**, 333-346.
- [14] **Trifunac, M. D.**, 1972. Interaction of a Shear Wall with the Soil for Incident Plane SH-Waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **62-1**, 63-83.
- [15] **Duke, C. M., J. E. Luco, A. R. Carriveau, P. J. Hradilek, R. Lastrico and D. Ostrom** 1970. Strong Earthquake Motion and Site Conditions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **60**, 1271-1289.
- [16] **MacCalden, P. B.**, 1969. Transmission of Steady State Vibrations Between Circular Footings, *Ph. D. Thesis*, Universty of California, Los Angeles.
- [17] **Warburton, G. B., J. D. Richardson and J. J. Webster**, 1971. Forced Vibration of Two Masses on an Elastic Half Space, *J. Appl. Mech., A.S.M.E.*, **38**, 148-156.
- [18] **Luco, J. E. and L. A. Contesse**, 1973. Dynamic Structure-Soil-Structure Interaction, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **63**, 1289-1303.
- [19] **Liang, V. C.**, 1974. Dynamic Response of Structures in Layered Soil, *Ph. D. Thesis*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- [20] **Lee, T. H. and D. A. Wesley**, 1973. Soil-Structure Interaction of Nuclear Reactor Structures Considering tthrough-Soil Coupling between Adjacent Structures, *Nuclear Eng. Design*, **24**, 374-384.
- [21] **Wong, H. L. and M. D. Trifunac**, 1975. Two-Dimensional, Antiplane, Building-Soil-Building Interaction for Two or More Buildings and for Incident Plane SH Waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65-6**, 1863-1885.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ALUÇ, 1979 yılında İstanbul’ da doğmuş olup ilk, orta ve lise öğrenimini burada tamamlamıştır. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi’ nden İnşaat Mühendisi olarak mezun olmuştur. Halen bir firmada inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.