

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AFET YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ

**YAMAÇ KENARINA YAKIN BİR YAPIDA
DİNAMİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİM PROBLEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rohat İNATÇI

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Haziran 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AFET YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ

**YAMAÇ KENARINA YAKIN BİR YAPIDA
DİNAMİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİM PROBLEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rohat İNATÇI
(802181232)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdul HAYIR

Haziran 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 802181232 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Rohat İNATÇI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAMAÇ KENARINA YAKIN BİR YAPIDA DİNAMİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİM PROBLEMİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdul HAYIR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doc. Dr. Beyza TAŞKIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan COŞKUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 18 Mayıs 2022
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2022





Annem, Babam, Eşim ve Kardeşlerime



ÖNSÖZ

Tez çalışması esnasında, kıymetli zamanlarını ayırarak projenin planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Abdul HAYIR'a ve yüksek lisans eğitimi boyunca tüm bilgi ve birikimlerini özveriyle paylaşan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama, zihinsel motivasyonumu her daim diri tutan eşime ve kardeşlerime teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2022

Rohat İNATÇI
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Söz Konusu Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 SH Dalgalarının Kırınım ve Saçılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.3 SH Dalgalarının Etkimesi Sonucunda Yapı-Zemin Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
2. MODEL.....	5
2.1 Koordinat Sistemi.....	5
2.2 Modelin Oluşturulması.....	5
3. MATAMATİKSEL PROBLEMİN OLUŞTURULMASI	7
3.1 Zeminde Meydana Gelen Etki.....	7
3.2 Yapıda Oluşan Hareket	9
3.3 Yapı, Temel ve Zeminin Etkileşimi	10
4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ	11
4.1 An, Bn, Cn ve Dn Katsayılarının Belirlenmesi	11
4.1.1 O1 merkezli (r_1, θ_1) eksen takımında toplam yer değiştirme alanının elde edilmesi	11
4.1.2 Yer değiştirme alanlarının O1 merkezli (r_1, θ_1) eksen takımına indirgenmesi.....	11
4.1.3 O2 merkezli (r_2, θ_2) eksen takımında toplam yer değiştirme alanının elde edilmesi	16
4.1.4 Yer değiştirme alanlarının O2 merkezli (r_2, θ_2) eksen takımına indirgenmesi.....	17
4.1.5 Problemin çözümü için denklem takımının oluşturulması	23
4.1.6 Denklem takımının çözümü	26
4.2 Bilinmeyen Yer değiştirmelerin Hesaplanması.....	27
4.2.1 Kuvvet denge denklemlerinin yazılması.....	27
4.2.2 Yer değiştirme genliklerinin bulunması için denklem takımlarının oluşturulması ve çözümü	28
4.3 Görelî Tepki Analizi.....	29
5. SAYISAL ANALİZ.....	31
5.1 Yapı Temelinin Mutlak Yer değiştirme Genlik Değerleri için Sayısal Uygulamalar	31

5.1.1 $\varepsilon = 0$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar	31
5.1.2 $\varepsilon = 2$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar	41
5.1.3 $\varepsilon = 4$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar	51
5.2 Yapının Görelî Mutlak Yer değıştirme Genlik Değerleri için Sayısal Uygulamalar	61
5.2.1 $\varepsilon = 2$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar	61
5.2.2 $\varepsilon = 4$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar	79
6. TARTIşMA VE SONUÇLAR	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİş.....	103



KISALTMALAR

yy. : Yüzyıl





SEMBOLLER

a	: Yarım daire kesitli temelin yarıçapı
A_n, B_n	: Esas yapı için karmaşık katsayılar
C_n, D_n	: Sanal yapı için karmaşık katsayılar
C_x, C_y	: x ve y yönlerindeki faz hızları
D	: Yapı ekseninin dik yamaca olan uzaklığı
f_z^s	: Zeminin birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
f_z^b	: Yapının birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
H	: Yapının yüksekliği
$H_v^{(2)}(kr)$	: İkinci tür Hankel fonksiyonu
i	: İmajiner sayı
$J_v(kr)$	: Birinci tür Bessel fonksiyonu
k	: Zemindeki dalga sayısı
k_b	: Yapıdaki dalga sayısı
M_o	: Temelin birim uzunluğunun kütlesi
M_b	: Yapının birim uzunluğunun kütlesi
M_s	: Temel için hafredilen zeminin birim uzunluğunun kütlesi
r	: Kutupsal koordinatta mesafe
t	: Zaman
w_z^{i+r}	: Gelen ve serbest yüzeyden yansıyan SH dalgalarının yer değiştirme alanı
w_z^R	: Göreli Yer değiştirme alanı
w_z^S	: Temelden saçılan SH dalgalarının yer değiştirme alanı
x_1, x_2, x'_1, x'_2	: Kartezyen koordinat
y_1, y_2, y'_1, y'_2	: Kartezyen koordinat
z	: Kartezyen koordinat
β	: SH dalgalarının zemindeki hızı
β_b	: SH dalgalarının yapıdaki hızı
γ	: SH dalgalarının geliş açısı
Δ	: Temelin yer değiştirme genliği

ε	: Boyutsuz parametre $\varepsilon = \frac{k_b H}{k r}$
θ	: Kutupsal koordinatta açı (Azimut açısı)
μ	: Zeminin rijitliği
μ_b	: Yapının rijitliği
ρ_b	: Yapının özkütlesi
ω	: Açısal frekans
K	: Kısaltma sembolü



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Model	5
Şekil 3.1 : Matematiksel model.	7
Şekil 3.2 : Birim temel uzunluk için kuvvet dengesi.	10
Şekil 4.1 : (r_1, θ_1) koordinatına dönüşüm.	12
Şekil 4.2 : (r_2, θ_2) koordinatına dönüşüm.	18
Şekil 5.1 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	32
Şekil 5.2 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	34
Şekil 5.3 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	36
Şekil 5.4 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.	38
Şekil 5.5 : $\varepsilon = 0$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.	40
Şekil 5.6 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	42
Şekil 5.7 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	44
Şekil 5.8 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	46
Şekil 5.9 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.	48
Şekil 5.10 : $\varepsilon = 2$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.	50
Şekil 5.11 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	52
Şekil 5.12 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	54
Şekil 5.13 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.	56
Şekil 5.14 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.	58
Şekil 5.15 : $\varepsilon = 4$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.	60
Şekil 5.16 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.	62
Şekil 5.17 : $\gamma = 0$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.	64
Şekil 5.18 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.	66
Şekil 5.19 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.	68
Şekil 5.20 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.	70
Şekil 5.21 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.	72
Şekil 5.22 : $D = a$ uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.	74
Şekil 5.23 : $D = 10a$ uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.	76

Şekil 5.24 : $D = 5000$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görelî genlik değerleri.....	78
Şekil 5.25 : $\gamma = 0$ geliş açî değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.....	80
Şekil 5.26 : $\gamma = 0$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.....	82
Şekil 5.27 : $\gamma = \pi/4$ geliş açî değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.....	84
Şekil 5.28 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.....	86
Şekil 5.29 : $\gamma = \pi/2$ geliş açî değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.....	88
Şekil 5.30 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.....	90
Şekil 5.31 : $D = a$ uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görelî genlik değerleri.....	92
Şekil 5.32 : $D = 10$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görelî genlik değerleri.....	94
Şekil 5.33 : $D = 5000$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görelî genlik değerleri.....	96

YAMAÇ KENARINA YAKIN BİR YAPIDA DİNAMİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİM PROBLEMİ

ÖZET

Bu çalışmada, bir yamaç kenarına yakın konumda bulunan bir yapının dinamik yapı zemin etkileşimi problemi ele alınmaktadır. Ele alınan problemde serbest yüzeylerden dalga yansıması ve temellerden dalga saçılması olaylarından dolayı yapının analizini gerçekleştirmek oldukça zor ve karmaşıktır. Bu çalışmada zemin ve yapı homojen izotrop elastik bir malzeme olarak, temel rijit cisim olarak göz önüne alınmıştır. Analizler, frekans ortamında dalga yayılımı yaklaşımı kullanılarak analitik çözüm yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu amaçla analiz için çözüm yapılırken yaygın olarak kullanılan dalga fonksiyonu açılım yöntemi ile birlikte sanal görüntü yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde sınır koşullarının yamaç için sağlatılabilmesi için, yamaç doğrultusuna simetrik olacak şekilde sanal bir yapı oluşturduğu varsayımı yapılmaktadır. Bu kapsamda yapı genlikleri; SH dalgalarının geliş açısına, yapı ve zeminin belli parametrelerindeki değişimine bağlı olarak yapılmaktadır.

γ geliş açısı ile SH dalgalarının serbest yüzeye etkidiği varsayılırsa gelen ve yansıyan dalganın hareketi esas yapı ve sanal yapı için kartezyen koordinat sistemde ayrı ayrı ifade edilir.

İncelenecek yapı temelinin dairesel olması nedeniyle kartezyen koordinat sisteminde gösterilen gelen dalga ve yansıyan dalga denklemleri kutupsal koordinat sisteminde gösterilmelidir.

Temel yüzeyinden saçılan dalgaların oluşturduğu yer değiştirmeler ise esas yapı ve sanal yapı için ayrı ayrı polar koordinat sisteminde ifade edilir.

Zeminde meydana gelen toplam yer değiştirme alanı, gelen ve yansıyan dalgalar ile temelden saçılan dalgaların toplanması sonucunda elde edilmektedir.

Rijit temel genişliğinin (Δ) tespit edilebilmesi için öncelikle A_n , B_n , C_n ve D_n bilinmeyen katsayıları bulunmalıdır.

A_n , B_n , C_n ve D_n katsayıları sınır şartlarına bağlı olarak elde edilmektedir. Her iki eksen takımı içinde Graf Toplam Teoremi ile koordinat dönüşümleri yapılarak $w_{z1}^t(r_1, \theta_1)$ ve $w_{z2}^t(r_2, \theta_2)$ denklemleri oluşturulmaktadır.

Daha sonra yapının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti ve temel etrafındaki zeminin birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti yazılarak hareket denklemi oluşturulur.

Kuvvet denge denklemleri modelde verilen yapı ve sanal yapı için ayrı ayrı yazılarak Δ_1 ve Δ_2 bilinmeyenlerini içeren denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözülmesi ile Δ_1 ve Δ_2 rijit temel yer değiştirmeleri bulunur.

Elde edilen rijit temel yer değiştirme genliği $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$ ile yapının en üst noktasının deplasmanı arasındaki görelî yer değiştirme değeri hesaplanır.

Sayısal sonuçlar yapının konumuna, malzeme özelliklerine, yüksekliğine ve zemin özelliklerine bağlı olarak elde edilmektedir. Yapı yamaç kenarına yaklaştığında elde edilen sonuçlar, yamaç yüzeyinden yansıyan dalgalardan ve dalga geliş açısından önemli derecede etkilenmektedir. Yapının yamaca yakın olması durumunda temel yerdeğiştirmeleri yamaç olmaması durumunda elde edilen sonuçlar civarında değişimler göstermektedir, fakat görelî yer değiştirmeler daha büyük olmaktadır. Eğer yapı yeteri derecede yamaçtan uzaksa, elde edilen sonuçların yamaçtan ve dalga geliş açısından etkilenmediği ve Trifunac'ın çalışmasında elde ettiği yamaçsız sonuçlarla üst üste düştüğü söylenebilir. Grafiklerden yamaç etkisinin, yapının yamaç kenarına olan mesafesinin temelyarı çapının yaklaşık on katından daha yüksek olması durumunda çok azaldığı söylenebilir.



DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION PROBLEM OF A STRUCTURE LOCATED NEAR THE EDGE OF THE SLOPE

SUMMARY

In this study, dynamic soil-structure interaction problem of a structure located near the edge of the slope the analysis of the structure is taken into account. In presented complex problem, due to the reflection of the waves from free surfaces and the scattering of the waves from the foundation, the analysis are very tight. Materials of soil and the structure are considered as homogeneous and isotropic, and foundation is assumed as a rigid body. Analysis in the frequency domain are derived using the analytical method. For this purpose, in the analytical solution the Wave Function Expansion Method, Image Method (IM) and Newton Second Law are derived. To satisfy the free boundary condition on the steep slope, the Image Method is used. The amplitude of the foundation and the relative displacement of the structures are obtained related to the incident angle, material properties of soil and the structure, and the height of the structure.

Since the model discussed in this thesis is on a steep slope, it differs from the dynamic structure-soil interaction problems in the literature. The results are presented as a new contribution to the literature.

The model investigated in this study consists of an infinitely long elastic structure of height H and thickness $2a$. The rigidity and the velocity of the shear waves in the isotropic and homogeneous structure are given by μ_b and β_b , respectively. The structure is erected on a rigid infinitely-long semi-cylindrical foundation of radius a . This assumption of rigidity leads to important simplifications of the method and results. The soil is assumed to be elastic, isotropic and homogeneous with rigidity μ_s and velocity of shear waves β_s .

During the analysis, the assumption is made that the structure at a certain distance from a steep slope creates an imaginary structure symmetrical to the slope direction.

The coordinate system is considered in polar coordinate according to the geometry of the foundation, and the solutions are obtained as Bessel Functions including infinite series. In addition to this situation, the boundary conditions on the foundation surface are more easily expressed in the polar coordinate system.

Assuming that the SH waves act on the free surface with the angle of incidence γ , the motion of the incident and reflected wave is expressed in the cartesian coordinate system.

The incident and reflected wave equations shown in the cartesian coordinate system can be written in the polar coordinate system. Since the boundary conditions on the foundation surface are more easily expressed in the polar coordinate system.

The reflection of waves from semicircular foundations is described as "scattering". These waves scattered from the foundation cause displacement on the soil.

The total field displacement is sum of the free field displacement incident and reflected waves and free field displacement scattering waves. The total field displacement that occurs in the soil should satisfy differential wave equation.

In order to determine the unknown displacement amplitude (Δ), the unknown coefficients A_n , B_n , C_n and D_n must be found first. The coefficients are determined through the boundary condition.

To apply boundary conditions, it is necessary to study in a common coordinate system. For this reason, the displacement fields obtained in the different coordinate system should be reduced to the common coordinate system.

The coefficients A_n , B_n , C_n ve D_n are obtained depending on the boundary conditions. $w_{z1}^t(r_1, \theta_1)$ and $w_{z2}^t(r_2, \theta_2)$ equations are formed by setting coordinate transformations with Graf's Addition Theorem in both polar coordinate system. In the calculations, a computer program called Mathematica was used.

Then, the unknown displacement amplitude Δ is obtained by the equation of motion given by Luco for the rigid foundation.

After that for determining unknown displacement amplitude the base shear force per unit length of the wall and the base shear force per unit length of the wall are obtained equation of motion.

In that case, equations that includes Δ_1 and Δ_2 are determined by using equation of motion on the foundation. After the solution of that equations Δ_1 and Δ_2 is determined for real and image structures.

In the second part of the problem, relative displacements which has an important place in engineering problems are calculated with difference between the top of the structure and displacement amplitude of the foundation $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$.

Numerical results are obtained depending on the location, material properties and the height of the structure, and stiffness of soil. The graphs created in the first section show the absolute displacement amplitude values of the building foundation depending on the change in the wave number. The graphs obtained in the second part show the relative displacement amplitude values of the structure depending on the change in the wave number. Results show that when the structure come nearer the edge of the slope, the response of the foundation are significantly affected from the wave reflection of the slope and the incident angle of the wave. The responses of the foundation near the edge of the slope fluctuate about the results obtained without the slope, but the relative displacements are higher. If the location of the structure is far away from the the edge of the slope, the values approach the results of the structure on the soil without the slope hold by Trifunac. From the figures, the effects of the slope vanish when the distance between the edge of the slope and the center of the structure is larger than ten times of the radius of the foundation. As the distance of the structure to the steep slope increases, the frequencies of troughs and crests formed by the relative displacement amplitude values increase. At a sufficiently far distance, the relative amplitude values converge to the results of Trifunac's analysis for a single structure. It is seen that when the M_b/M_s value approaches zero, that is, as the mass per unit length of the structure

decreases, the structure-soil interaction is neglected and when it increases, the interaction is very clear. In cases where the M_b/M_s value is large, the relative displacement amplitudes do not change depending on the angle of incidence, while for the cases where the M_b/M_s value is small, the relative displacement amplitudes change depending on the angle of incidence.





1. GİRİŞ

1.1 Söz Konusu Çalışmanın Amacı

Kırınım ve saçılım problemleri; elektromanyetik, akustik, spektrometri, optik gibi birçok alanda uzun zamandır kullanılmaktadır. Kırınım ve saçılım problemlerinin elastisite teorisi çalışmalarında kullanılması ise günümüze yakın bir zaman diliminde başlamış ve çalışmalar hızlı bir şekilde ilerlemiştir.

Son zamanlarda yaşanan pek çok gelişme, sismik dalgaların yapılar üzerinde etkisi alanında yapılan çalışmaları arttırmaktadır. Bu sebeple elastik ortamlarda deprem dalgalarının kırınım ve saçılım problemleri mühendislik çalışmalarında oldukça önem kazanmaktadır.

Dalgaların elastik bir ortamda yayılması sonucu önüne sürekliliği bozan bir ortamın veya objenin çıkmasıyla kırınım ve saçılım olayları gerçekleşmektedir. Dalgaların engellerden, boşluklardan veya keskin kenarlı cisimlerden geçişi ile kırınım olayı oluşmaktadır. Saçılım ise dalgaların düzgün sınırlardan geçişi ile meydana gelmektedir.

Deprem mühendisliğinde, jeofizikte, doğalgaz ve petrol araştırmaları teknolojilerinde ve mekanikte dinamik gerilme analizi yapılırken gelen dalganın kırınımı ve saçılımı ile ilgili araştırmalar son yıllarda büyük bir artış göstermektedir [1].

Homojen, elastik yarı uzayda rijit temele oturtulmuş tek bir istinat duvarının yapı-zemin etkileşimi ve aynı yarı uzay özelliklerine sahip iki adet istinat duvarının karşı düzlem etkisinde yapı-zemin-yapı etkileşimi çalışmaları literatürden bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında homojen, elastik yarı uzayda dik bir yamaca belli mesafede inşa edilmiş yapının SH dalgaları etkisinde yapı-zemin-yapı etkileşimi üzerine inceleme yapılmıştır.

1.2 SH Dalgalarının Kırınım ve Saçılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

SH dalgalarının kırınım ve saçılım problemlerinin araştırılmasına 20. yy. ın başlarında elektromanyetik ve akustik alanları öncelikli olmak üzere başlanmış ve günümüze kadar birçok alanda bu konu ile ilgili çalışmalar artarak devam etmiştir.

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalardan ilki, sonsuz bir ortamda yer alan farklı şekillerdeki oyuklardan saçılan dalgaların nümerik çözümleri ile ilgilidir [2]. Çalışmada sabit ve geçici yükleme durumlarına ait, delik etrafında meydana gelen dinamik gerilme yığılmaları, saçılan dalganın şiddetinin açısal dağılımı ve toplam saçılma güçleri elde edilmiştir.

Daha sonra daire yakın silindirik oyuktan saçılan SH dalga şiddetinin açısal dağılımlarını veren denklemin çözümü perturbasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Bu çalışmada saçılan dalganın açısal dağılımında uzun dalga ve kesiti ufak delik hali için şiddetin, delik çevresinin hemen yakınında tesirini yitirdiği ve (ka) argümanı sonsuza giderken ise saçılan dalganın şiddetinin dar bir bantta sonsuza gittiği sonucu ortaya çıkmıştır [3].

Sonraki yıllarda SH dalgalarının kırınımı ve saçılımı üzerine yapılan çalışmalar, yarım uzay durumu için araştırılmış ve SH dalgalarının dairesel bir tünel için çeşitli ortamlarda kırınımının ve saçılımının nümerik çözümleri yapılmıştır [4]. Daha sonra bu nümerik çözümler yarım bir uzayda iki boyutlu bir dairesel oyuk için [5] ve yine yarım uzayda dairesel dolgu malzemeli tünel için elde edilmiştir [6].

Nümerik çözümlerin sınır koşulları yüzeyde ve altında bulunan dairesel sınır kısıtlamalarıdır. Farklı nümerik çözümler, Gregory tarafından boşluk içeren elastik bir yarı oyukta dalga yayılımı problemleri için geliştirilmiştir [7]. Aynı zamanda silindirik bir boşluk içeren elastik yarı uzayda uygulanmıştır [8]. Problem daha sonraları Datta tarafından karşılaştırmalı asimptotik açılım yöntemleri ile yaklaşık olarak çözülmüştür [9]. Dravinski ise ‘Green fonksiyonlarını’ kullanarak farklı şekilli karışık malzemeler için bir sınır integral yaklaşımı elde etmiştir [10].

1.3 SH Dalgalarının Etkimesi Sonucunda Yapı-Zemin Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Zemin boyunca ilerleyen deprem dalgalarının yapıda oluşturduğu yapı-zemin etkileşimi uzun senelerdir mühendislerin ilgisini çekmektedir [11, 12]. Yapı-zemin etkileşimi, yer hareketinin çözümünde ve yapılarda meydana gelen gerilme analizinde önem arz etmektedir.

Luco, elastik, izotropik ve homojen yarı uzay ortamda rijit ve yarı silindirik bir temel üzerinde bulunan sonsuz uzunluktaki dikdörtgen şeklinde bir yapıya SH dalgalarının düşey eksen doğrultusunda etkidiği bir model dizayn ederek yapı-zemin etkileşimi üzerine çalışmalar yapmıştır [13]. Trifunac, Luco'nun bu çalışmasını düşey eksene belli açılar ile gelen SH dalgaları biçiminde genelleştirerek, temel yüzeyindeki zeminin yer değiştirme genliğini araştırmıştır [14].

İlk defa Housner [11] ve Duke [15] tarafından yapı-zemin etkileşimi ile ilgili deneysel çalışmalara başlanılmıştır. Bu çalışmalar bina temelinin ve zemin yüzey hareketinin eşzamanlı ölçümlerine dayanılarak yapılmıştır.

Sonraki yıllarda Luco ve De Barros, yarı uzayda bulunan sonsuz uzunlukta, dairesel kesitli bir kabuğun harmonik düzlem dalgalarına maruz kalması durumunda, kabuğun üç boyutlu harmonik tepkisini analiz etmek için bir model oluşturmuştur [16]. Yapılan çalışmada, Donnell kabuk teorisine dayalı bir boru hattı veya tünel modeli ile dış yarı-uzaydaki alan için dolaylı bir integral gösterimini birleştirilmiştir.

Hasheminejad ve Rajabi tarafından yapılan çalışmada, sıvıya doygun gözenekli, elastik ve sınırsız bir ortamda gömülü rastgele kalın, izotropik ve fonksiyonel olarak derecelendirilmiş sonsuz boyutlu silindirik kabuk etrafında ilerleyen düzlem sismik dalgalarının iki boyutlu dinamik etkileşimi incelenmiştir [17].

Lee vd. tarafından homojen, elastik yarı uzayda gömülü halde bulunan çizgisel daire şeklinde bir tünelin üzerindeki yarım daire biçimli bir kanyon yüzeyi boyunca düzlem SH dalgalarının 2 boyutlu saçılımı ve kırınımı analiz edilmiştir. Genel bir dalga geliş açısı için problemin kesin bir analitik seri çözümü kullanılarak, kanyon üzerindeki ve yakınındaki yarı-uzay yüzeyinin ve yeraltı boşluğunun yer hareketleri değerlendirilmiştir [18]. Bu çalışma kapsamında düzlem SH dalgalarının saçılması ve kırınımı problemi Gao vd. tarafından genişletilerek belli bir kalınlığa haiz yer altında gömülü halde bulunan tünelin analizi yapılmıştır. Sayısal sonuçların analizine bağlı

olarak, tünelin konumunun kanyon yer hareketleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir [19].

Daha sonraki yıllarda Hayır tarafından SH dalgalarının zeminden geçişi sırasında zemin ve kanalda meydana gelen dinamik etkileşimlerinin, zeminin rijit olduğu ve yarı dairesel kesitli sabit kalınlığa sahip kanalın esnek, yarı rijit ve rijit olduğu durumlara göre analizi yapılmıştır [20].

Elastik, homojen, yarı-uzay üzerine konumlandırılmış birden fazla istinat duvarın iki boyutlu SH dalga tipi titreşim analizi Wong ve Trifunac tarafından incelenmiştir [21]. Analiz sonucu komşu binaların mevcudiyetinin, tek bir istinat duvarı zemin-yapı etkileşim probleminin doğasını önemli ölçüde değiştirebileceğini ve gelen SH dalgaları neticesinde oluşan temellerden ve çevrelerinden dalgaların saçılması ve kırılması önemli ölçüde engellemeye yol açabileceğini gösterilmiştir.

Jang vd. tarafından yapılan çalışmada, SH dalgalarına maruz kalan iki malzemeli yarı uzay yüzeyinde gömülü iki alüvyon dolgunun dinamik tepkisi analitik yöntem kullanılarak araştırılmıştır [22]. Yapılan çalışmada, bir dolgu etrafındaki dinamik gerilim yoğunlaşma faktör dağılımının, komşu diğer dolgunun malzeme özelliklerine ve iki malzemenin ara yüzüne güçlü bir şekilde bağlı olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Homojen bir yarı uzaya gömülü iki adet tünel arasındaki etkileşim, sisteminin 2 boyutlu analitik modeli kullanılarak Jin vd. tarafından araştırılmıştır [23]. Tünelin yer değiştirme genliği için oluşturulan kapalı biçimli analitik çözümü genişletme ve yansıtma yöntemleriyle türetilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise SH dalgalarının etkisi altında bulunan dik bir yamacın kenarında yer alan yapının farklı parametrelerin değişimi ile temelde meydana gelen yer değiştirme genliği ve yapının göreli yer değiştirme genlik değerleri incelenmiştir.

2. MODEL

2.1 Koordinat Sistemi

Yapılan çalışmada yarı dairesel kesitli temelin çözümünü basitleştirmek ve sonsuz seri çözüm analizi yapabilmek için koordinat sistemi olarak kutupsal koordinat sistemi seçilmiştir.

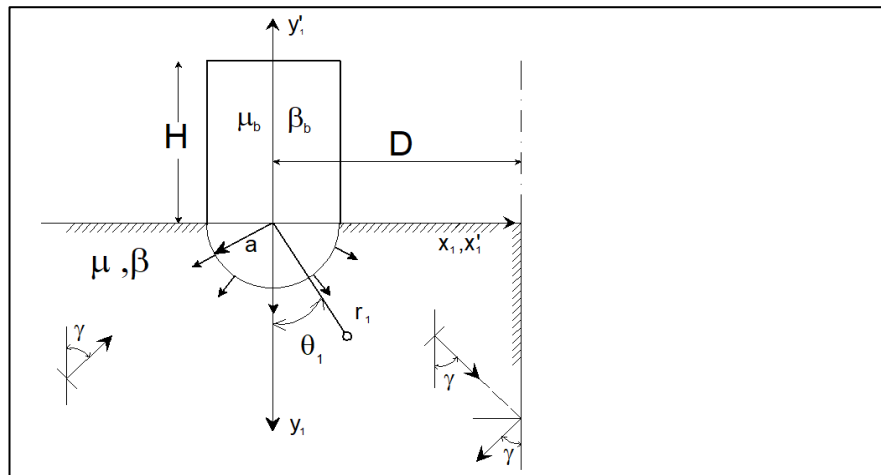
2.2 Modelin Oluşturulması

Ele alınan model, elastik, homojen yarı uzayda, yarım daire kesitli rijit temel üzerine inşa edilmiş sonsuz uzunlukta bir yapıdan oluşmaktadır. Tasarlanan model dik bir yamaca belli bir mesafe uzaklıkta yer almaktadır.

Yarım daire kesitli temelin yarıçapı a ile ifade edilmektedir. Yapının genişliği $2a$, yüksekliği ise H olarak gösterilmektedir. Yapı ekseninin dik yamaca olan mesafesi D olacak şekilde isimlendirilmiştir.

İzotrop ve homojen olduğu varsayılan yapının rijitliği μ_b , birim hacim ağırlığı ρ_b ve SH dalgalarının yapıdaki hızı β_b ile gösterilmektedir.

Zeminin elastik, izotrop ve homojen olduğu varsayılmakta, rijitliği μ birim hacim ağırlığı ρ ve SH dalgalarının yapıdaki hızı β ile gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Model.



Temelden saçılan dalgalardan dolayı oluşan yer değıştirmeler w_z^s ile gösterilmektedir. Yapının hemen bitişiğindeki zeminde oluşan toplam yer değıştirme, gelen ve yansıyan dalgalar ile temelden saçılan dalgaların toplanması sonucunda denklem 3.4 deki gibi elde edilmektedir.

$$w_z^t = w_z^i + w_z^r + w_z^s \quad (3.4)$$

Zeminde meydana gelen toplam yer değıştirme alanı 3.5 yönetici denkleminde $r \geq a$ ve $|\theta| \leq \pm\pi/2$ aralık değeri için sağlanmalıdır:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (3.5)$$

Ayrıca w_z^t serbest yüzeyde denklem 3.6 sınır şartını,

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial w_z^t}{\partial \theta} \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad r > a \quad (3.6)$$

ve rijit temel için denklem 3.7

$$w_z^t = \Delta e^{i\omega t} \quad |\theta| \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad r = a \quad (3.7)$$

şartını sağlamalıdır. Burada Δ , rijit temelin bilinmeyen yer değıştirme genliğı olarak ifade edilir.

Kartezyen koordinat sisteminde ifade edilen (3.1) ve (3.2) denklemleri hem esas yapı hemde sanal yapı için polar koordinat sisteminde sırasıyla denklem 3.8 ve 3.9 da gösterilecek olunursa,

$$w_{z1}^{i+r} = w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_1) + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\ \left. + 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (3.8)$$

$$w_{z2}^{i+r} = w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_2) + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\ \left. - 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (3.9)$$

ifadeleri çıkarılır. Burada,

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10 zeminde meydana gelen dalga sayısı, $J_v(kr)$ v. dereceden (kr) argümanlı birinci tür Bessel fonksiyonu olarak nitelendirilir.

Temelden saçılan dalgaların sebep olduğu yer değiştirmeler w_z^s esas ve sanal yapı için sırasıyla denklem 3.11 ve 3.12 de polar koordinat sisteminde,

$$w_{z1}^s(r_1, \theta_1) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (3.11)$$

$$w_{z2}^s(r_2, \theta_2) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\theta_2) + D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (3.12)$$

şeklinde gösterilir. Burada A_n , B_n , C_n ve D_n bilinmeyen katsayılar, $H_v^{(2)}(kr)$ v. dereceden (kr) argümanlı ikinci tür Hankel fonksiyonu olarak adlandırılır.

3.2 Yapıda Oluşan Hareket

Yapıda oluşan yer değiştirme ifadesi (3.13) diferansiyel denklemini, (3.14) ve (3.15) sınır şartlarını sağlamalıdır.

$$\frac{\partial^2 w_z^b}{\partial y'^2} = \frac{1}{\beta_b^2} \frac{\partial^2 w_z^b}{\partial t^2} \quad 0 \leq y' \leq H \quad (3.13)$$

$$\sigma_{y'z} = \mu_b \frac{\partial w_z^b}{\partial y'} = 0 \quad y' = H \quad (3.14)$$

$$w_z^b = \Delta e^{i\omega t} \quad y' = 0 \quad (3.15)$$

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

(3.13), (3.14) ve (3.15) ifadelerinin çözümü ile denklem 3.16 ifadesi bulunur.

$$w_z^b = \Delta e^{i\omega t} \{ \cos(k_b y') + \tan(k_b H) \sin(k_b y') \} \quad (3.16)$$

Burada,

$$k_b = \frac{\omega}{\beta_b} \quad (3.17)$$

yapı hareketi esnasında oluşan dalga sayısını vermektedir. Yapının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti 3.18 de ($y' = 0$),

$$f_z^b = -\omega^2 M_b \frac{\tan(k_b H)}{k_b H} \Delta e^{i\omega t} \quad (3.18)$$

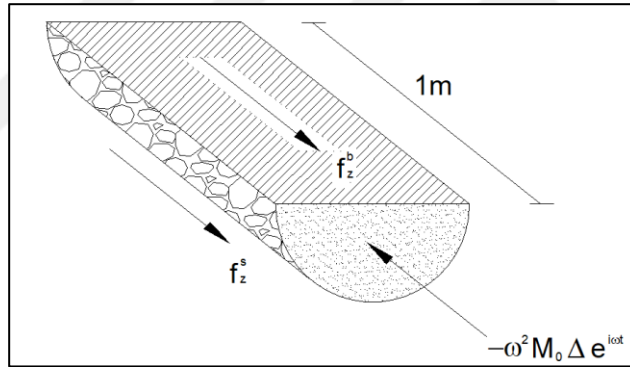
ifade edilir [13]. Burada,

$$M_b = \rho_b 2a H \quad (3.19)$$

yapının birim uzunluğunun kütlesini vermektedir.

3.3 Yapı, Temel ve Zeminin Etkileşimi

Hareket denklemi 3.20 de rijit temel için yazılarak Δ yer değiştirmesi bulunabilir.



Şekil 3.2 : Birim temel uzunluk için kuvvet dengesi.

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^s + f_z^b) \quad (3.20)$$

Temelin birim uzunluğunun kütlesi M_0 ile ifade edilirken, temel etrafındaki zeminin birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti denklem 3.21 ile ifade edilmektedir.

$$f_z^s = - \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_{rz} \Big|_{r=a} d\theta \quad (3.21)$$

Burada σ_{rz} temelde meydana gelen gerilme denklem 3.22 de gösterilmektedir.

$$\sigma_{rz} = \mu \frac{\partial w_z^t}{\partial r} \quad (3.22)$$

4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

4.1 A_n, B_n, C_n ve D_n Katsayılarının Belirlenmesi

A_n, B_n, C_n ve D_n katsayıları sınır şartlarına bağlı olarak elde edilmektedir. Her iki eksen takımı içinde koordinat dönüşümleri yapılarak $w_{z1}^t(r_1, \theta_1)$ ve $w_{z2}^t(r_2, \theta_2)$ denklemleri oluşturulmaktadır.

Hesaplamalar için Mathematica programı kullanılmıştır.

4.1.1 O_1 merkezli (r_1, θ_1) eksen takımında toplam yer değiştirme alanının elde edilmesi

$$w_z^t(r_1, \theta_1) = \sum_{k=1}^2 (w_{zk}^{i+r}(r_1, \theta_1) + w_{zk}^s(r_1, \theta_1)) \quad (4.1)$$

(r_1, θ_1) eksen takımına gelen ve yansıyan dalgayı içeren ifade;

$$w_{z1}^{i+r}(r_1, \theta_1) = w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_1) + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\ \left. + 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir.

4.1.2 Yer değiştirme alanlarının O_1 merkezli (r_1, θ_1) eksen takımına indirgenmesi

Mevcut sınır koşullarının sağlanması amacı ile ortak koordinat sisteminde çalışılması gerekmektedir. Bu sebepten ötürü farklı koordinat takımında elde edilen yer değiştirme alanlarının ortak koordinat sistemine indirgenmesi gerekmektedir.

O_2 merkezli (x_2, y_2) kartezyen koordinat sisteminde gelen ve yansıyan dalgaların oluşturduğu yer değiştirme alanları sırasıyla,

$$w_{z2}^i = \exp i\omega(-x_2 \sin(\gamma) - y_2 \cos(\gamma) + t) \quad (4.3)$$

$$w_{z2}^r = \exp i\omega(-x_2 \sin(\gamma) + y_2 \cos(\gamma) + t) \quad (4.4)$$

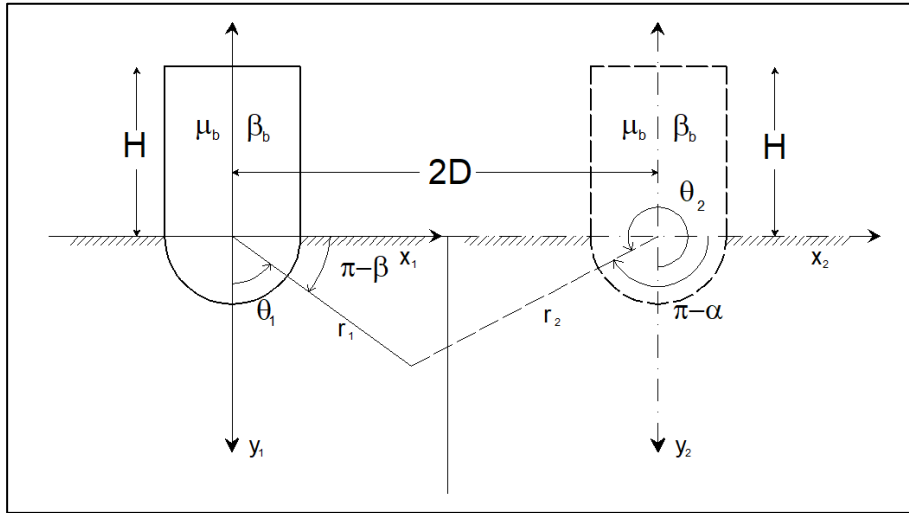
olarak ifade edilebilir.

$y_1 = y_2$ ve $x_1 - x_2 = 2D$ kartezyen koordinat dönüşümleri yapılır ve daha sonra gelen ve yansıyan dalgaların oluşturduğu yer değiştirme alanları polar koordinat sisteminde gösterilecek olunursa,

$$w_{z2}^{i+r}(r_1, \theta_1) = e^{i2kD \sin(\gamma)} w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_1) + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) - 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \quad (4.5)$$

ifadesi ortaya çıkar.

Daha sonra (r_2, θ_2) eksen takımından saçılan dalgalarının yer değiştirme alanları (r_1, θ_1) eksen takımına indirgenmesi için Graf Toplam Teoremi kullanılmaktadır [24].



Şekil 4.1 : (r_1, θ_1) koordinatına dönüşüm.

Graf Toplam Teoremi şu şekilde ifade edilebilir:

$$H_n^{(2)}(kr_2) \begin{Bmatrix} \cos(n\alpha) \\ \sin(n\alpha) \end{Bmatrix} = \sum_{m=0}^{\infty} J_m(kr_1) \begin{Bmatrix} P_{mn}^+(k2D) \cos(m\beta) \\ P_{mn}^-(k2D) \sin(m\beta) \end{Bmatrix} \quad (4.6)$$

Buradaki D yapının yamaca olan uzaklığıdır. $P_{mn}^{\pm}(k2D)$ ise,

$$P_{mn}^{\pm}(k2D) = (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} \left[H_{m+n}^{(2)}(k2D) \pm (-1)^n H_{m-n}^{(2)}(k2D) \right] \quad (4.7)$$

olarak ifade edilir.

$$\varepsilon_m = \begin{pmatrix} m = 0 \text{ için} & 1 \\ m \neq 0 \text{ için} & 2 \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

(3.12) ifadesini dönüşüm formülleri yardımı ile (r_1, θ_1) eksen takımında ifade etmek için (4.9) ile verilen açı dönüşümleri kullanılırsa,

$$\theta_2 = \left(\alpha + \frac{3\pi}{2} \right) \quad \beta = \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.9)$$

$$w_{z2}^s(r_2, \alpha) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos\left(2n\left(\alpha + \frac{3\pi}{2}\right)\right) + D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin\left((2n+1)\left(\alpha + \frac{3\pi}{2}\right)\right) \right\} \quad (4.10)$$

ifadesi elde edilir.

$$\cos(2n\alpha + 3n\pi) = (-1)^n \cos(2n\alpha) \quad (4.11)$$

$$\sin((2n+1)\left(\alpha + \frac{3\pi}{2}\right)) = -(-1)^n \cos((2n+1)\alpha) \quad (4.12)$$

(4.11) ve (4.12) ile verilen yarım açı formülleri yardımıyla, (4.13) ifadesi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$w_{z2}^s(r_2, \alpha) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) (-1)^n \cos(2n\alpha) - D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) (-1)^n \cos((2n+1)\alpha) \right\} \quad (4.13)$$

ifadesi uygun şekilde düzenlenirse,

$$w_{z2}^s(r_2, \alpha) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\alpha) - D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \cos((2n+1)\alpha) \right) \right\} \quad (4.14)$$

ifadesi elde edilir. (4.6) ile verilen koordinat dönüşüm formülü kullanılırsa,

$$\begin{aligned}
& H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\alpha) \\
&= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m\beta) \right\}
\end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\begin{aligned}
& H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \cos((2n+1)\alpha) \\
&= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m\beta) \right\}
\end{aligned} \tag{4.16}$$

dönüşüm ifadeleri elde edilir.(4.15) ve (4.16) dönüşüm ifadeleri (4.14) ifadesinde yerine konursa,

$$\begin{aligned}
w_{z2}^s(r_1, \beta) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ C_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\
\left. \left. \left. + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m\beta) \right\} \right\} \right. \\
\left. - D_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\
\left. \left. \left. + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m\beta) \right\} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.17}$$

ifadesi elde edilir. (4.9) ile verilen açı dönüşümü kullanılarak $w_{z2}^s(r_2, \theta_2)$ ifadesi (r_1, θ_1) eksen takımında aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
w_{z2}^s(r_1, \theta_1) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ C_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
+ (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] \cos \left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right\} \right\} \\
- D_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
+ (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \left. \right] \cos \left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.18)
\end{aligned}$$

(4.19) da gösterilen yarım açı formülü (4.18) de yerine konulursa,

$$\cos \left(m \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right) \right) = \cos(m\theta_1) \cos \left(\frac{m\pi}{2} \right) - \sin(m\theta_1) \sin \left(\frac{m\pi}{2} \right) \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned}
w_{z2}^s(r_1, \theta_1) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ C_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
+ (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] \left(\cos(m\theta_1) \cos \left(\frac{m\pi}{2} \right) \right. \right. \\
- \sin(m\theta_1) \sin \left(\frac{m\pi}{2} \right) \left. \right) \right\} \right\} \\
- D_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
+ (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \left. \right] \left(\cos(m\theta_1) \cos \left(\frac{m\pi}{2} \right) \right. \right. \\
- \sin(m\theta_1) \sin \left(\frac{m\pi}{2} \right) \left. \right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.20)
\end{aligned}$$

ifade elde edilmektedir. (r_1, θ_1) eksen takımındaki toplam yer değiştirme alanı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
& w_z^t(r_1, \theta_1) \\
&= w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\
&+ 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \Big\} \\
&+ w_0 e^{i\omega t} e^{i2kD \sin(\gamma)} \left\{ 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\
&- 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \Big\} \\
&+ w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \right\} \\
&+ w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ C_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\
&+ H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \Big] \left(\cos(m\theta_1) \cos\left(\frac{m\pi}{2}\right) - \sin(m\theta_1) \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right) \right) \right\} \Big\} \Big\} \\
&- D_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_1) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
&- H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \Big] \left(\cos(m\theta_1) \cos\left(\frac{m\pi}{2}\right) - \sin(m\theta_1) \sin\left(\frac{m\pi}{2}\right) \right) \right\} \Big\} \Big\} \Big\} \Big\} \quad (4.21)
\end{aligned}$$

4.1.3 O_2 merkezli (r_2, θ_2) eksen takımında toplam yer değiştirme alanının elde edilmesi

$$w_z^t(r_2, \theta_2) = \sum_{k=1}^2 (w_{zk}^{i+r}(r_2, \theta_2) + w_{zk}^s(r_2, \theta_2)) \quad (4.22)$$

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

$$w_{z2}^{i+r}(r_2, \theta_2) = w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_2) + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\ \left. - 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir.

4.1.4 Yer değiştirme alanlarının O_2 merkezli (r_2, θ_2) eksen takımına indirgenmesi

Mevcut sınır koşullarının sağlanması amacı ile ortak koordinat sisteminde çalışılması gerekmektedir. Bu sebepten ötürü farklı koordinat takımında elde edilen yer değiştirme alanlarının ortak koordinat sistemine indirgenmesi gerekmektedir.

O_1 merkezli (x_1, y_1) kartezyen koordinat sisteminde gelen ve yansıyan dalgaların oluşturduğu yer değiştirme alanları sırasıyla,

$$w_{z1}^i = \exp i\omega(+x_1 \sin(\gamma) - y_1 \cos(\gamma) + t) \quad (4.24)$$

$$w_{z1}^r = \exp i\omega(+x_1 \sin(\gamma) + y_1 \cos(\gamma) + t) \quad (4.25)$$

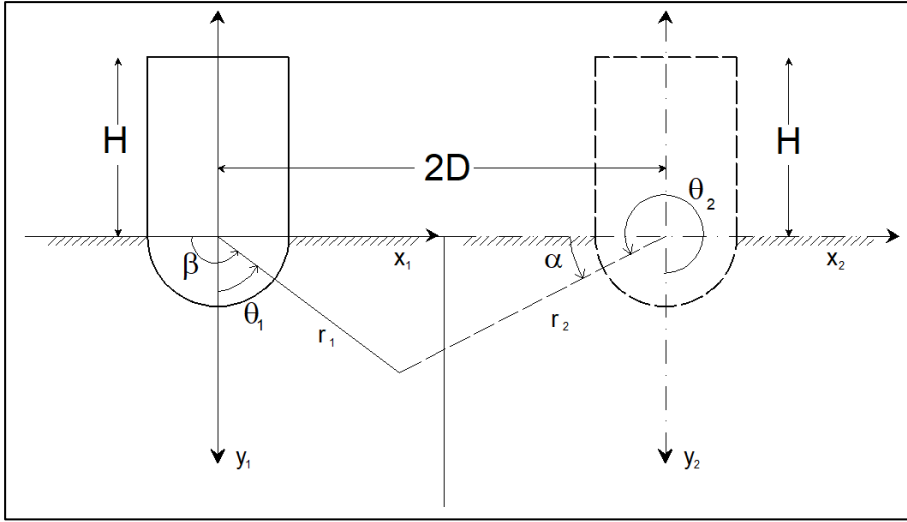
olarak ifade edilebilir.

$y_1 = y_2$ ve $x_1 - x_2 = 2D$ kartezyen koordinat dönüşümleri yapılır ve daha sonra gelen ve yansıyan dalgaların oluşturduğu yer değiştirme alanları polar koordinat sisteminde gösterilecek olunursa,

$$w_{z1}^{i+r}(r_2, \theta_2) = e^{i2kD \sin(\gamma)} w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2J_0(kr_2) \right. \\ \left. + 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\ \left. + 4i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \right\} \quad (4.26)$$

ifadesi ortaya çıkar.

Daha sonra (r_1, θ_1) eksen takımından saçılan dalgalarının yer değiştirme alanları (r_2, θ_2) eksen takımına indirgenmesi için Graf Toplam Teoremi kullanılmaktadır [24].



Şekil 4.2 : (r_2, θ_2) koordinatına dönüşüm.

Graf Toplam Teoremi şu şekilde ifade edilebilir:

$$H_n^{(2)}(kr_1) \begin{Bmatrix} \cos(n(\pi - \beta)) \\ \sin(n(\pi - \beta)) \end{Bmatrix} = \sum_{m=0}^{\infty} J_m(kr_2) \begin{Bmatrix} P_{mn}^+(k2D) \cos(m(\pi - \alpha)) \\ P_{mn}^-(k2D) \sin(m(\pi - \alpha)) \end{Bmatrix} \quad (4.27)$$

Buradaki D yapının yamaca olan uzaklığıdır. $P_{mn}^{\pm}(k2D)$ ise,

$$P_{mn}^{\pm}(k2D) = (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} \left[H_{m+n}^{(2)}(k2D) \pm (-1)^n H_{m-n}^{(2)}(k2D) \right] \quad (4.28)$$

olarak ifade edilir.

$$\varepsilon_m = \begin{pmatrix} m = 0 \text{ için } 1 \\ m \neq 0 \text{ için } 2 \end{pmatrix} \quad (4.29)$$

(3.11) ifadesini dönüşüm formülleri yardımı ile (r_2, θ_2) eksen takımında ifade etmek için (4.30) ile verilen açı dönüşümleri kullanılırsa,

$$\theta_1 = \left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \quad \pi - \alpha = \left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right) \quad (4.30)$$

$$w_{z1}^s(r_1, \beta) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos\left(2n\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin\left((2n+1)\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) \right\} \quad (4.31)$$

ifadesi elde edilir.

$$\cos(2n\beta - n\pi) = (-1)^n \cos(2n\beta) \quad (4.32)$$

$$\sin\left((2n+1)\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right)\right) = -(-1)^n \cos((2n+1)\beta) \quad (4.33)$$

(4.32) ve (4.33) ile verilen yarım açı formülleri yardımıyla, (4.34) ifadesi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$w_{z1}^s(r_1, \beta) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) (-1)^n \cos(2n\beta) - B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) (-1)^n \cos((2n+1)\beta) \right\} \quad (4.34)$$

(4.34) ifadesi uygun şekilde düzenlenirse,

$$w_{z1}^s(r_1, \beta) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\beta) - B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \cos((2n+1)\beta) \right) \right\} \quad (4.35)$$

ifadesi elde edilir. Graf toplam teorisinin uygulanması için (4.34) ifadesinde,

$$\cos(2n\beta) = \cos(2n(\pi - \beta)) \quad (4.36)$$

$$\cos((2n+1)\beta) = -\cos((2n+1)(\pi - \beta)) \quad (4.37)$$

uygun açı dönüşümü yapılmalıdır. Bu dönüşüm (4.34) ifadesinde yerine konursa,

$$w_{z1}^s(r_1, \beta) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left(A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n(\pi - \beta)) + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \cos((2n+1)(\pi - \beta)) \right) \right\} \quad (4.38)$$

ifadesi elde edilir. (4.27) ile verilen koordinat dönüşüm formülü kullanılırsa,

$$\begin{aligned} & H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n(\pi - \beta)) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned}
& H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \cos((2n+1)(\pi - \beta)) \\
&= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \quad (4.40)
\end{aligned}$$

dönüşüm ifadeleri elde edilir. (4.39) ve (4.40) dönüşüm ifadeleri (4.38) ifadesinde yerine konursa,

$$\begin{aligned}
w_{z1}^S(r_2, \alpha) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ A_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
\quad \left. \left. \left. + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \right\} \right. \\
\quad \left. + B_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
\quad \left. \left. \left. + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \right] \cos(m(\pi - \alpha)) \right\} \right\} \right\} \quad (4.41)
\end{aligned}$$

ifadesi elde edilir. (4.30) ile verilen açılı dönüşümü kullanılarak $w_{z1}^S(r_1, \theta_1)$ ifadesi (r_2, θ_2) eksen takımında aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
w_{z1}^S(r_2, \theta_2) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ A_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
\quad \left. \left. \left. + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \right] \cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right)\right) \right\} \right\} \right. \\
\quad \left. + B_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\
\quad \left. \left. \left. + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \right] \cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2} - \theta_2\right)\right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.42)
\end{aligned}$$

(4.43) de gösterilen yarım açılı formülü,

$$\cos\left(m\left(\frac{5\pi}{2}-\theta_2\right)\right) = \cos(m\theta_2) \cos\left(\frac{m5\pi}{2}\right) + \sin(m\theta_2) \sin\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \quad (4.43)$$

(4.42) da yerine konulursa,

$$\begin{aligned} w_{z1}^s(r_2, \theta_2) = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left\{ A_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \right. \\ + (-1)^{2n} H_{m-2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] \left(\cos(m\theta_2) \cos\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \right. \right. \\ + \left. \left. \sin(m\theta_2) \sin\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \\ + B_n \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \frac{\varepsilon_m}{2} J_m(kr_2) \left[H_{m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\ + (-1)^{2n+1} H_{m-2n-1}^{(2)}(k2D) \left. \right] \left(\cos(m\theta_2) \cos\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \right. \right. \\ + \left. \left. \sin(m\theta_2) \sin\left(\frac{m5\pi}{2}\right) \right) \right\} \right\} \right\} \quad (4.44) \end{aligned}$$

ifade elde edilmektedir. (r_2, θ_2) eksen takımındaki toplam yer değıştirme alanı aşağıdaki şekilde elde edilir.

4.1.5 Problemin çözümü için denklem takımının oluşturulması

(4.21) ifadesi düzenlenirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned}
& w_z^t(r_1, \theta_1) \\
& = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ 2 (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\
& \quad + 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \} \\
& \quad + e^{i2kD \sin(\gamma)} \{ 2 (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \\
& \quad - 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \} \\
& \quad + \{ A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \} \\
& \quad + \frac{1}{2} (-1)^n \left\{ \varepsilon_{2n} J_{2n}(kr_1) \cos(2n\theta_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ C_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \Big] + D_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \Big\} \right\} \\
& \quad + \varepsilon_{2n+1} J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n \\
& \quad + 1)\theta_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ C_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k2D) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + D_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k2D) \right] \right\} \right\} \Big\} \Big\} \quad (4.46)
\end{aligned}$$

(4.46) ifadesi bilinmeyen katsayıların çözümü için $\cos(2n\theta_1)$, $\sin((2n+1)\theta_1)$ ve sabit terimler olarak gruplandırılırsa,

$$\begin{aligned}
w_z^t(r_1, \theta_1) = & w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2 J_0(kr_1) + e^{i2kD \sin(\gamma)} 2 J_0(kr_1) + A_0 H_0^{(2)}(kr_1) \right. \\
& + \frac{1}{2} J_0(kr_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ C_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
& + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] \\
& + D_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \\
& + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \right. \\
& + e^{i2kD \sin(\gamma)} 4i (-1)^{n+1} J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_1) \\
& + B_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \\
& + (-1)^n J_{2n+1}(kr_1) \sin((2n+1)\theta_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ C_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
& + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \left. \right] \\
& + D_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \left. \right\} \\
& + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ 4 (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \right. \\
& + e^{i2kD \sin(\gamma)} 4 (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_1) \\
& + A_n H_{2n}^{(2)}(kr_1) \cos(2n\theta_1) \\
& + (-1)^n J_{2n}(kr_1) \cos(2n\theta_1) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ C_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
& + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] \\
& + D_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \left. \right\} \left. \right\}
\end{aligned} \tag{4.47}$$

ifadesi oluşur. (4.45) ifadesi uygun şekilde düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& w_z^t(r_2, \theta_2) \\
& = w_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ 2 (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\
& \quad + 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \} \\
& \quad + e^{i2kD \sin(\gamma)} \{ 2 (-1)^n \varepsilon_n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \\
& \quad - 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \} \\
& \quad + \{ C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\theta_2) + D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \} \\
& \quad + \frac{1}{2} (-1)^n \left\{ \varepsilon_{2n} J_{2n}(kr_2) \cos(2n\theta_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ A_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \Big] - B_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \Big\} \Big\} \\
& \quad - \varepsilon_{2n+1} J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n \\
& \quad + 1)\theta_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ A_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k2D) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - B_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k2D) \right] \right\} \right\} \Big\} \Big\} \quad (4.48)
\end{aligned}$$

ifadesi elde edilir. (4.48) ifadesi bilinmeyen katsayıların çözümü için $\cos(2n\theta_2)$, $\sin((2n+1)\theta_2)$ ve sabit terimler olarak gruplandırılırsa,

$$\begin{aligned}
& w_z^t(r_2, \theta_2) \\
& = w_0 e^{i\omega t} \left\{ 2 J_0(kr_2) + e^{i2kD \sin(\gamma)} 2 J_0(kr_2) + C_0 H_0^{(2)}(kr_2) \right. \\
& + \frac{1}{2} J_0(kr_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ A_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \right] \right. \right. \\
& - B_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \\
& + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ 4i (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \right. \\
& + e^{i2kD \sin(\gamma)} 4i (-1)^{n+1} J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta_2) \\
& + D_n H_{2n+1}^{(2)}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \\
& + (-1)^n J_{2n+1}(kr_2) \sin((2n+1)\theta_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ A_m \left[H_{-2m+2n+1}^{(2)}(k2D) + H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \right. \right. \\
& - B_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+2}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \\
& + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ 4 (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \right. \\
& + e^{i2kD \sin(\gamma)} 4 (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta_2) \\
& + C_n H_{2n}^{(2)}(kr_2) \cos(2n\theta_2) \\
& + (-1)^n J_{2n}(kr_2) \cos(2n\theta_2) \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ (-1)^m \left\{ A_m \left[H_{-2m+2n}^{(2)}(k2D) \right. \right. \right. \\
& + H_{2m+2n}^{(2)}(k2D) \left. \right] - B_m \left[H_{-2m+2n-1}^{(2)}(k2D) - H_{2m+2n+1}^{(2)}(k2D) \right] \left. \right\} \left. \right\} \left. \right\} \quad (4.49)
\end{aligned}$$

şeklini alır.

4.1.6 Denklemin çözümü

$$w_z^t(r_1, \theta_1) = \Delta_1 e^{i\omega t} \quad | \theta_1 | \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad r_1 = a \quad (4.50)$$

$$w_z^t(r_2, \theta_2) = \Delta_2 e^{i\omega t} \quad | \theta_2 | \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad r_2 = a \quad (4.51)$$

(4.50) ve (4.51) de gösterilen sınır şartları yardımıyla oluşturulan denklem takımının çözümünden A_n, B_n, C_n ve D_n katsayıları bulunur. Bilinmeyen katsayılar Mathematica programı yardımıyla tespit edilmektedir.

4.2 Bilinmeyen Yer değıştirmelerin Hesaplanması

4.2.1 Kuvvet denge denklemlerinin yazılması

A_n, B_n, C_n ve D_n katsayılarının (3.21) ifadesinde yerine yazılmasıyla f_{z1}^s ve f_{z2}^s ifadeleri,

$$f_{z1}^s = e^{i\omega t} \mu (K_0^1 + K_1^1 \Delta_1 + K_2^1 \Delta_2) \quad (4.52)$$

$$f_{z2}^s = e^{i\omega t} \mu (K_0^2 + K_1^2 \Delta_1 + K_2^2 \Delta_2) \quad (4.53)$$

şeklinde elde edilir.

Esas yapının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti f_{z1}^b , ve sanal yapının birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvveti f_{z2}^b ,

$$f_{z1}^b = -\omega^2 M_b^1 \frac{\tan(k_{b1}H)}{k_{b1}H} \Delta_1 e^{i\omega t} \quad (4.54)$$

$$f_{z2}^b = -\omega^2 M_b^2 \frac{\tan(k_{b2}H)}{k_{b2}H} \Delta_2 e^{i\omega t} \quad (4.55)$$

şeklinde ifade edilebilir. Esas yapı ve sanal yapı için ayrı ayrı denge denklemleri yazılacak olunursa,

$$f_{z1}^s + f_{z1}^b = \omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} \quad (4.56)$$

$$f_{z2}^s + f_{z2}^b = \omega^2 M_0^2 \Delta_2 e^{i\omega t} \quad (4.57)$$

ifadeleri oluşur.

4.2.2 Yer değiştirme genliklerinin bulunması için denklem takımlarının oluşturulması ve özümü

Esas yapı ve sanal yapı için kuvvet denge denklemleri sırasıyla,

$$e^{i\omega t} \mu (K_0^1 + K_1^1 \Delta_1 + K_2^1 \Delta_2) - \omega^2 M_b^1 \frac{\tan(k_{b1}H)}{k_{b1}H} \Delta_1 e^{i\omega t} = \omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} \quad (4.58)$$

$$e^{i\omega t} \mu (K_0^2 + K_1^2 \Delta_1 + K_2^2 \Delta_2) - \omega^2 M_b^2 \frac{\tan(k_{b2}H)}{k_{b2}H} \Delta_2 e^{i\omega t} = \omega^2 M_0^2 \Delta_2 e^{i\omega t} \quad (4.59)$$

olarak yazılır. Burada,

$$\mu = \frac{\omega^2 2 M_s^1}{\pi (kr_1)^2} \quad (4.60)$$

$$\varepsilon = \frac{k_{b1}H}{k r_1} \quad (4.61)$$

ifadeleri denklem (4.59) de yerlerine yazılırsa,

$$e^{i\omega t} \frac{\omega^2 2 M_s^1}{\pi (kr_1)^2} (K_0^1 + K_1^1 \Delta_1 + K_2^1 \Delta_2) - \omega^2 M_b^1 \frac{\tan(\varepsilon kr_1)}{\varepsilon kr_1} \Delta_1 e^{i\omega t} = \omega^2 M_0^1 \Delta_1 e^{i\omega t} \quad (4.62)$$

elde edilir.

Denklem (4.62) de gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\left(\frac{2}{\pi (kr_1)^2} (K_0^1 + K_1^1 \Delta_1 + K_2^1 \Delta_2) - \frac{M_b^1}{M_s^1} \frac{\tan(\varepsilon kr_1)}{\varepsilon kr_1} \Delta_1 \right) = \frac{M_0^1}{M_s^1} \Delta_1 \quad (4.63)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Aynı ifadeler denklem (4.59) te yerlerine yazılır ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$\left(\frac{2}{\pi (kr_2)^2} (K_0^2 + K_1^2 \Delta_1 + K_2^2 \Delta_2) - \frac{M_b^2}{M_s^2} \frac{\tan(\varepsilon kr_2)}{\varepsilon kr_2} \Delta_2 \right) = \frac{M_0^2}{M_s^2} \Delta_2 \quad (4.64)$$

ifadesi elde edilir.

Δ_1 ve Δ_2 bilinmeyenlerini içeren (4.63) ve (4.64) ifadelerindeki denklem takımları Mathematica programı yardımıyla özölür. Daha sonra çeşitli parametrelerin değiştirilmesiyle sayısal sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

4.3 Görelî Tepki Analizi

Deprem mühendisliğinin ilgi alanlarından en önemlilerinden biri, yapının en üst kısmının temel genliğine göre yer değıştirme hareketidir. (3.16) denkleminde gerekli düzenlemeler yapılsa,

$$|w_z^R| = |w_{z_{y'=H}} - \Delta| = \left| \Delta \left(\frac{1}{\cos(k_b H)} - 1 \right) \right| \quad (4.65)$$

Görelî yer değıştirme tepki genliği (4.65) ifadesi şeklinde yazılır.

(4.65) ifadesinde etkileşim ihmal edilirse, $\Delta = 1$

$$|w_z^R| = \left| \left(\frac{1}{\cos(k_b H)} - 1 \right) \right| \quad (4.66)$$

ifadesi elde edilir. Dikkat edileceğı üzere (4.67) doğal ankastre tabanlı yapının frekansları (4.66) da yerine yazılırsa,

$$k_b H = (2n + 1)\pi/2 \quad n = 0, 1, 2 \quad (4.67)$$

denklem (4.66) da $|w_z^R|$ sonsuza gitmektedir. Eğer etkileşim ihmal edilmez ise görelî yer değıştirme genliği denklem (4.65) ifadesinden elde edilmektedir. Tüm sonuçlar sayısal uygulama kısmında grafikler üzerinde gösterilmiştir.



5. SAYISAL ANALİZ

Çalışmada ele alınan dinamik yapı-zemin etkileşim probleminin sayısal sonuçları yapı ve zemin parametrelerine, yapının dik yamaca olan mesafesine ve dalganın geliş açısına bağlı olarak elde edilmiştir. Birinci bölümde oluşturulan grafikler dalga sayısının değişimine bağlı olarak yapı temelinin mutlak yer değiştirme genlik değerlerini göstermektedir. İkinci bölümde elde edilen grafikler ise dalga sayısının değişimine bağlı olarak yapının göreceli yer değiştirme genlik değerlerini göstermektedir. Dalga sayısının yaklaşık sıfır olduğu mutlak yer değiştirme genlik değeri ‘bir’ olarak normalize edilmiştir.

5.1 Yapı Temelinin Mutlak Yer değiştirme Genlik Değerleri için Sayısal Uygulamalar

5.1.1 $\varepsilon = 0$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar

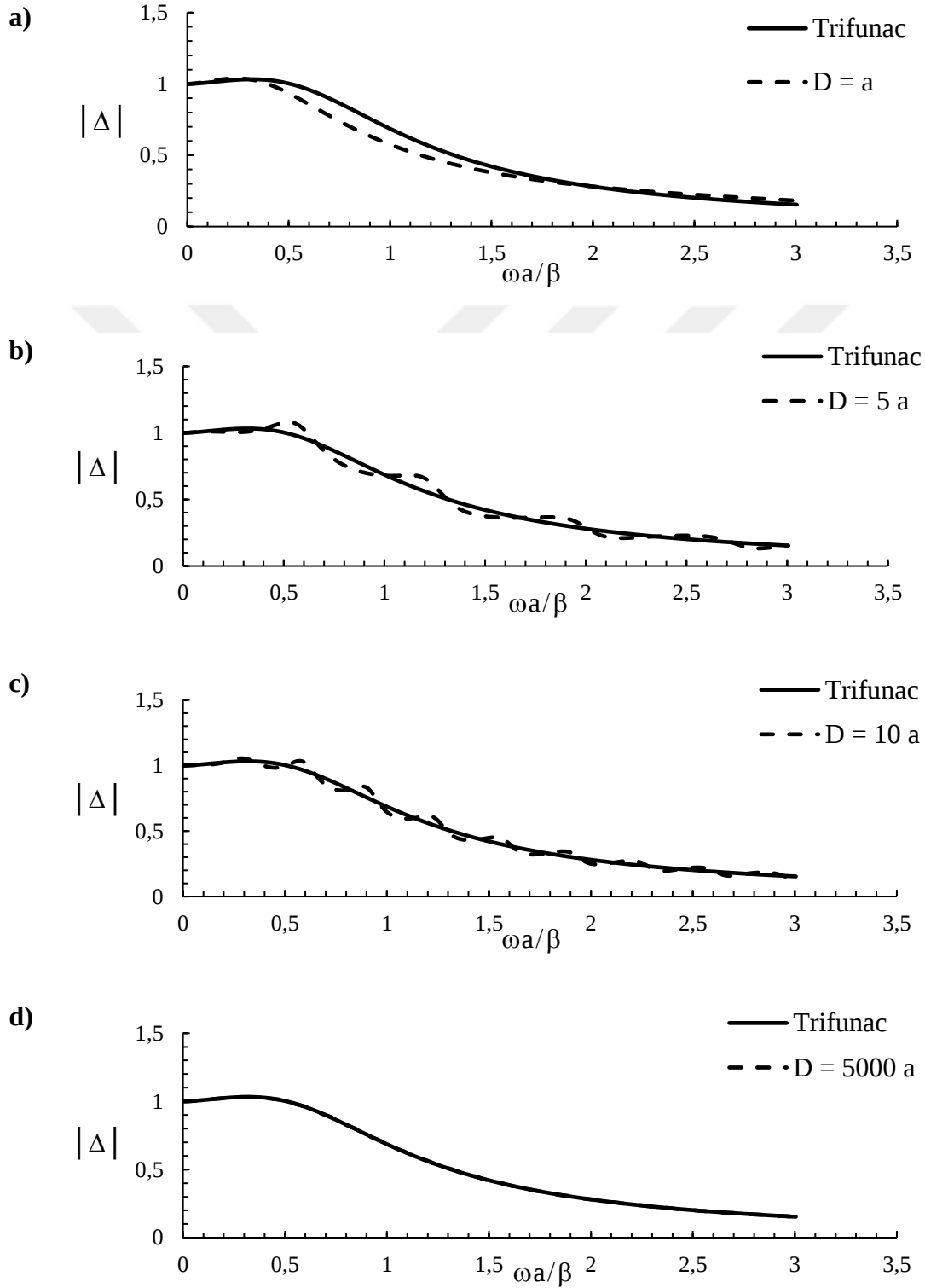
Şekil 5.1 (a)’ da, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ’ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac tarafından incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçlarıyla [14] karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1 (b)’ de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ’ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac’ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1 (c)’ de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ’ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac’ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1 (d)’ de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ’ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac’ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.1 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

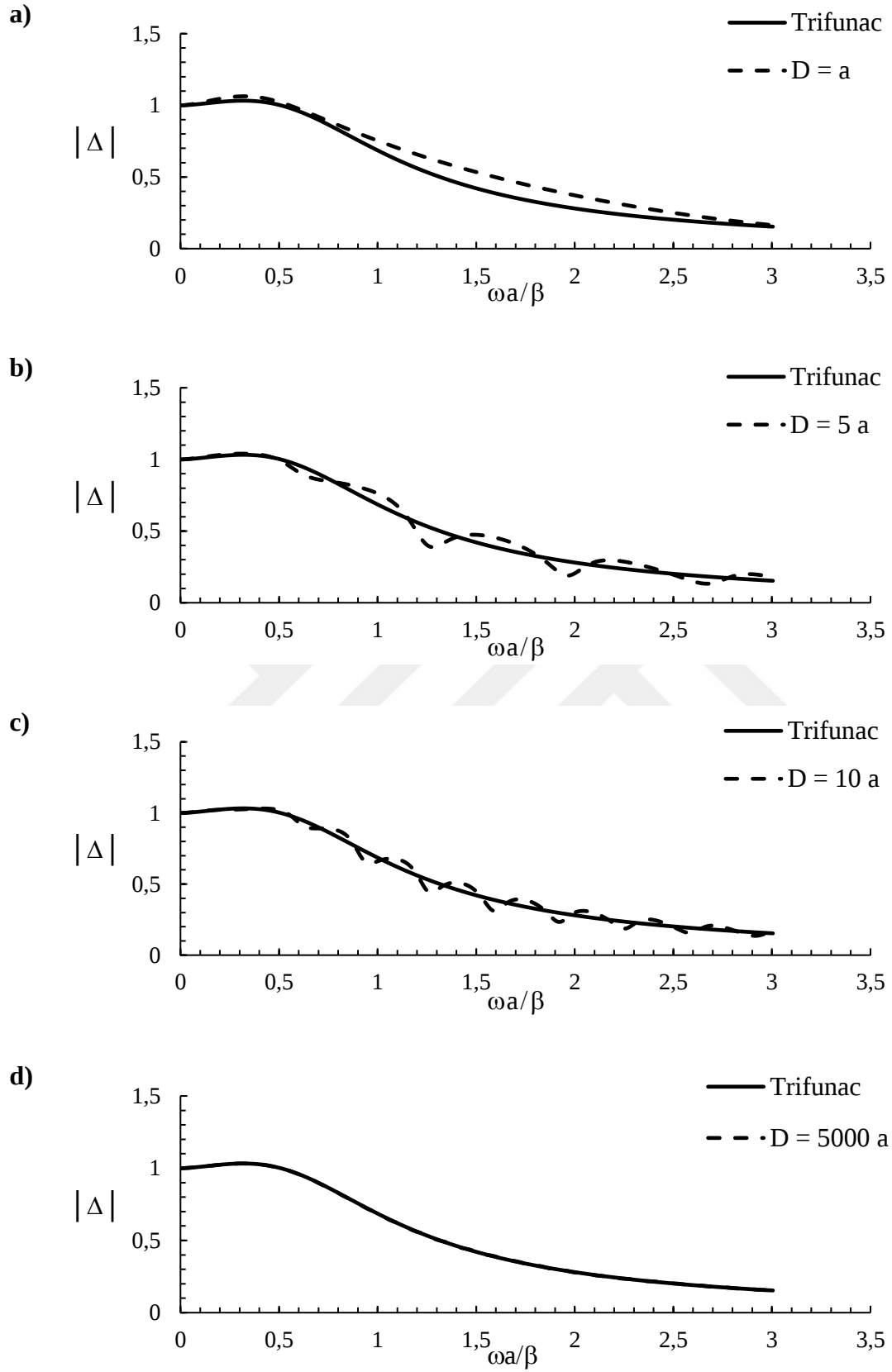
Şekil 5.2 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac tarafından incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçlarıyla [14] karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.2 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.2 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.2 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.2 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

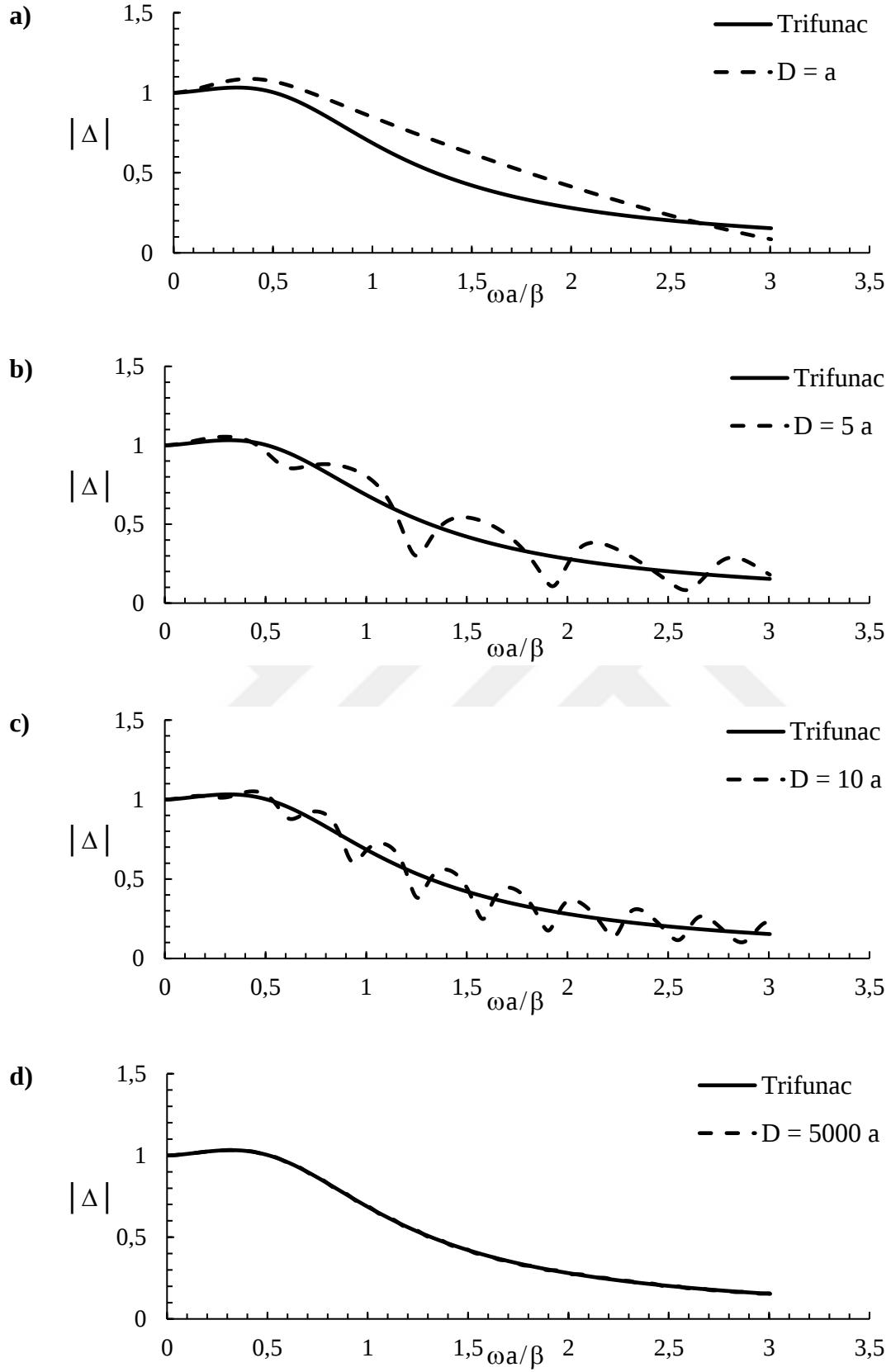
Şekil 5.3 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac tarafından incelenen yapı-zemin etkileşim probleminin sonuçlarıyla [14] karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.3 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.3 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.3 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.3 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

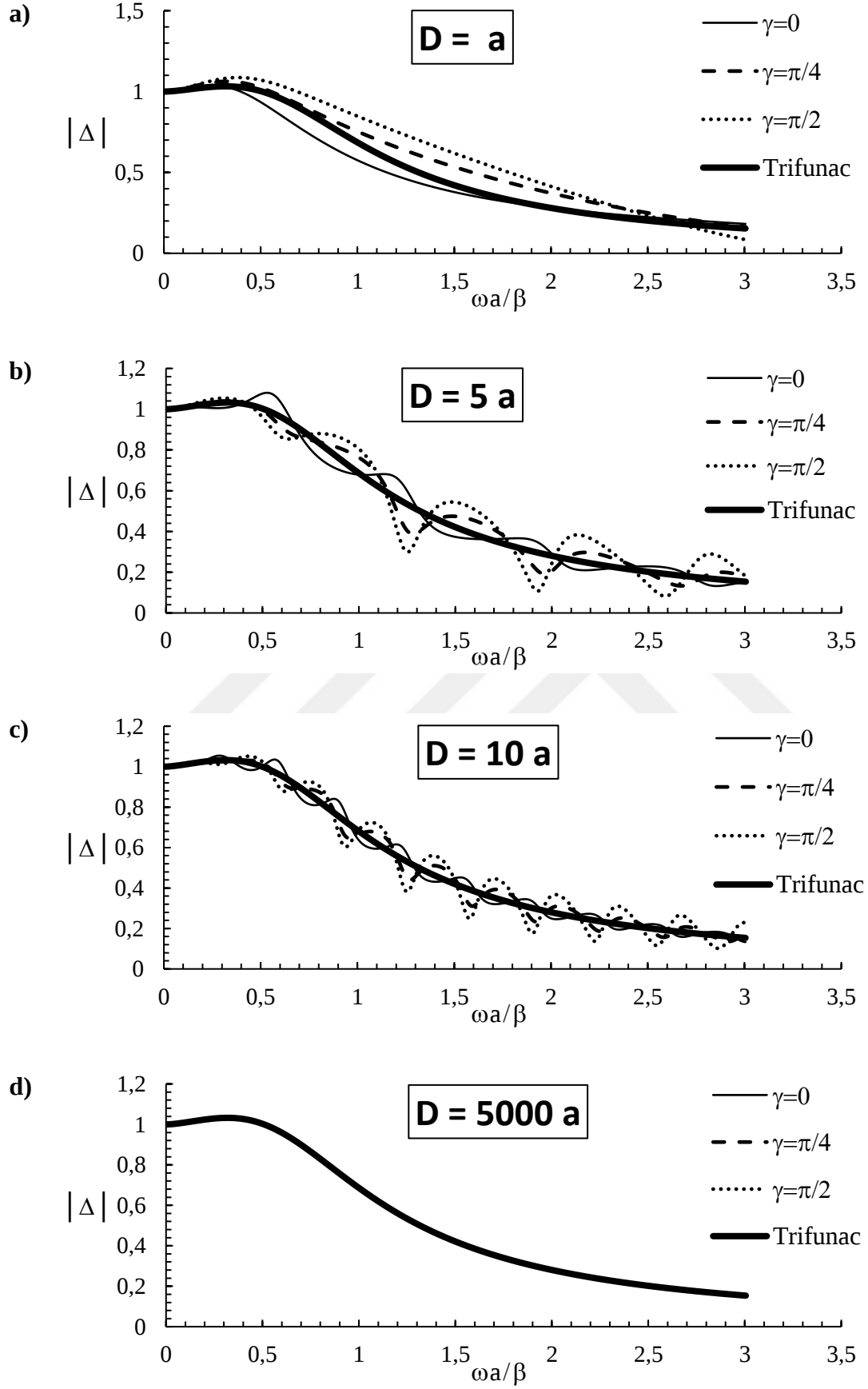
Şekil 5.4 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.4 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.4 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.4 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi nispeten az olduğu durumlarda dalga geliş açısı arttıkça genlik değerlerinin arttığı ve Trifunac'ın çalışmasında ortaya çıkan genlik değerlerinden uzaklaştığı görülmektedir. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise genlik değerleri dalga geliş açısından tamamen bağımsız olmakta ve Trifunac'ın yaptığı çalışmayla birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



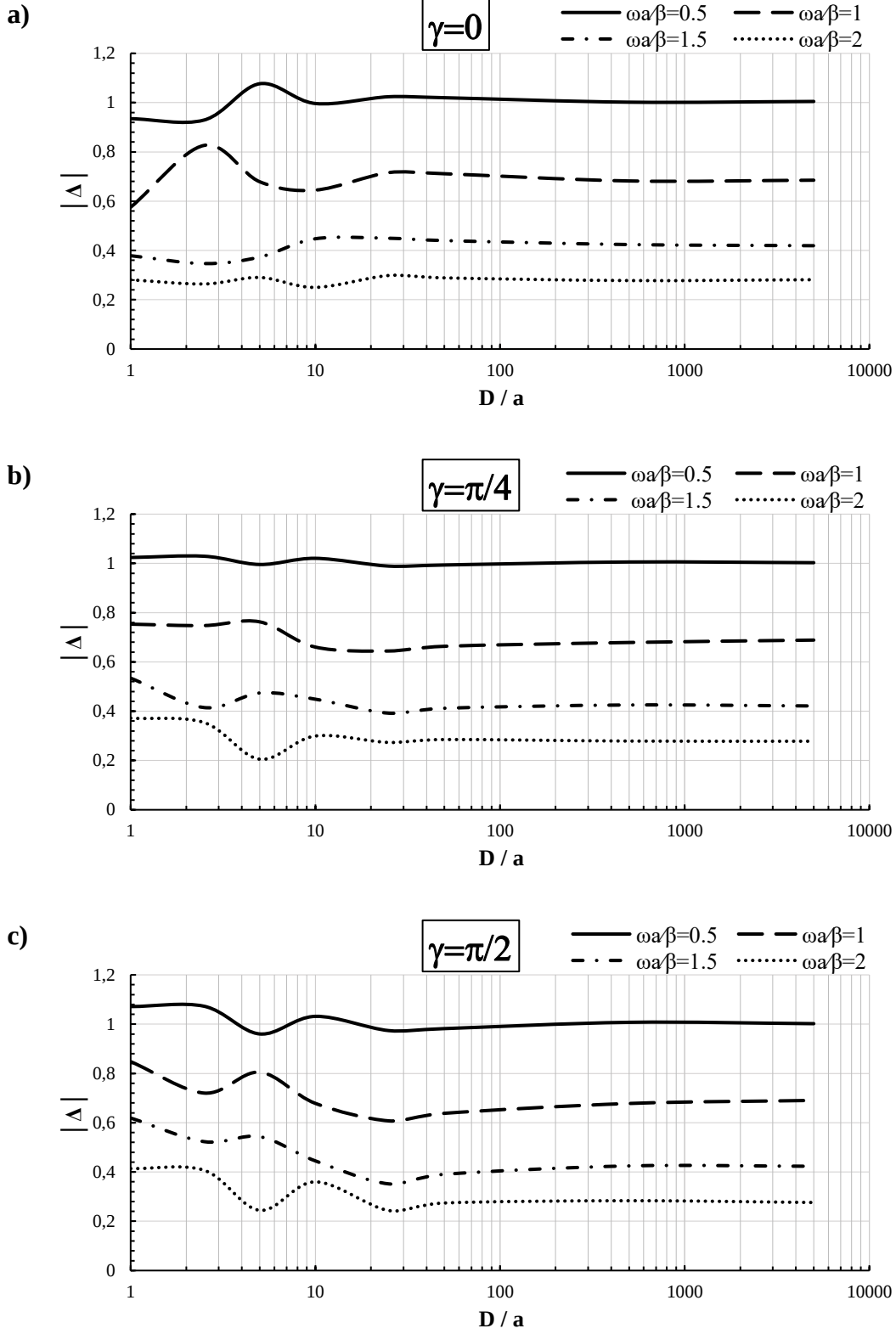
Şekil 5.4 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.5 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.5 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.5 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapının genlik değerleri dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta stabil duruma gelmektedir.



Şekil 5.5 : $\varepsilon = 0$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.

5.1.2 $\varepsilon = 2$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar

Şekil 5.6 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

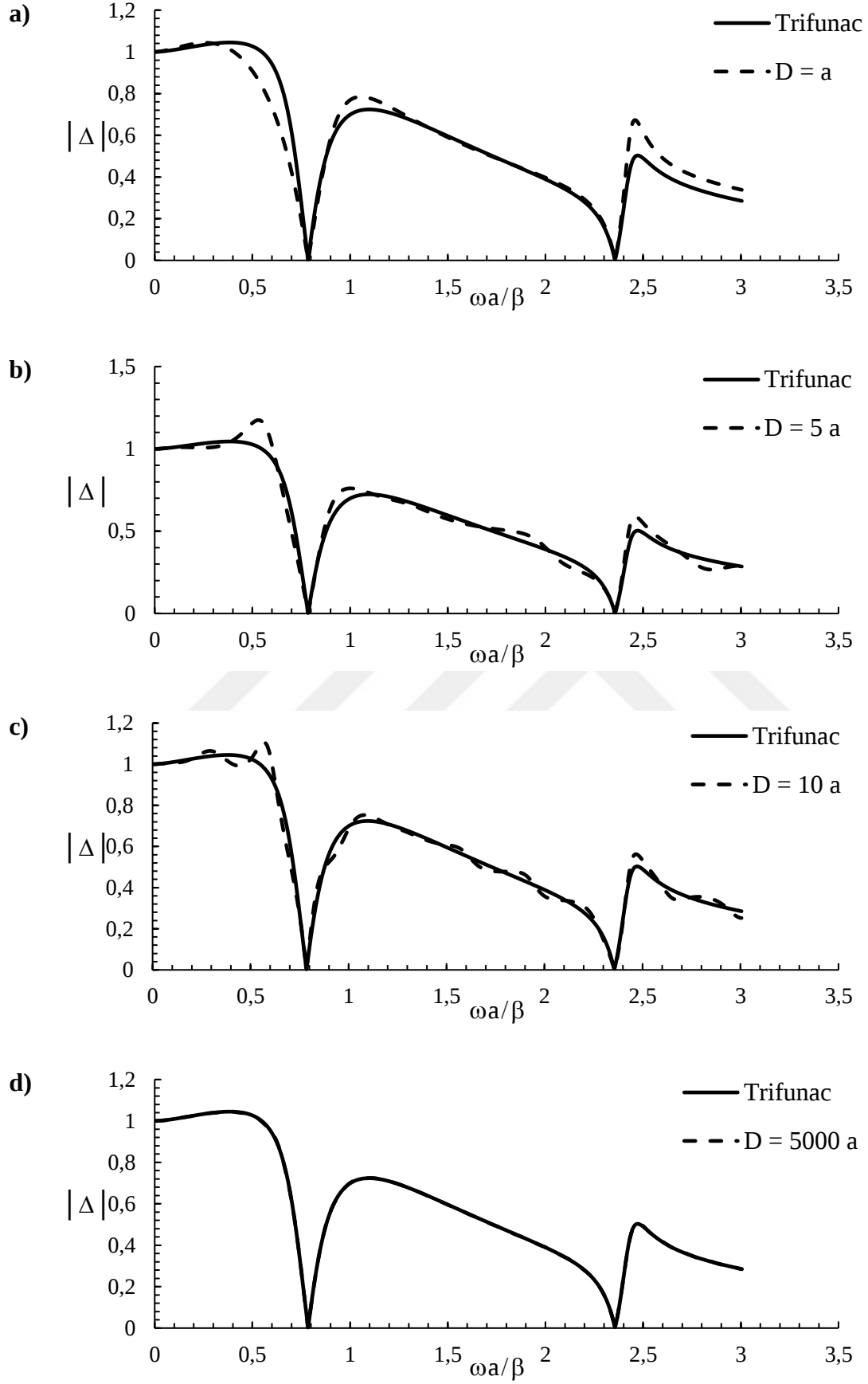
Şekil 5.6 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.6 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.6 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.

$\varepsilon = 2$ için çizilen grafiklerde genliklerin iki noktada sıfır olduğu görülmektedir. Bu noktalar yapının ankastre temel doğal frekansına karşılık gelmektedir. Bu noktaların varlığı Trifunac tarafından ortaya konmuştur [14].



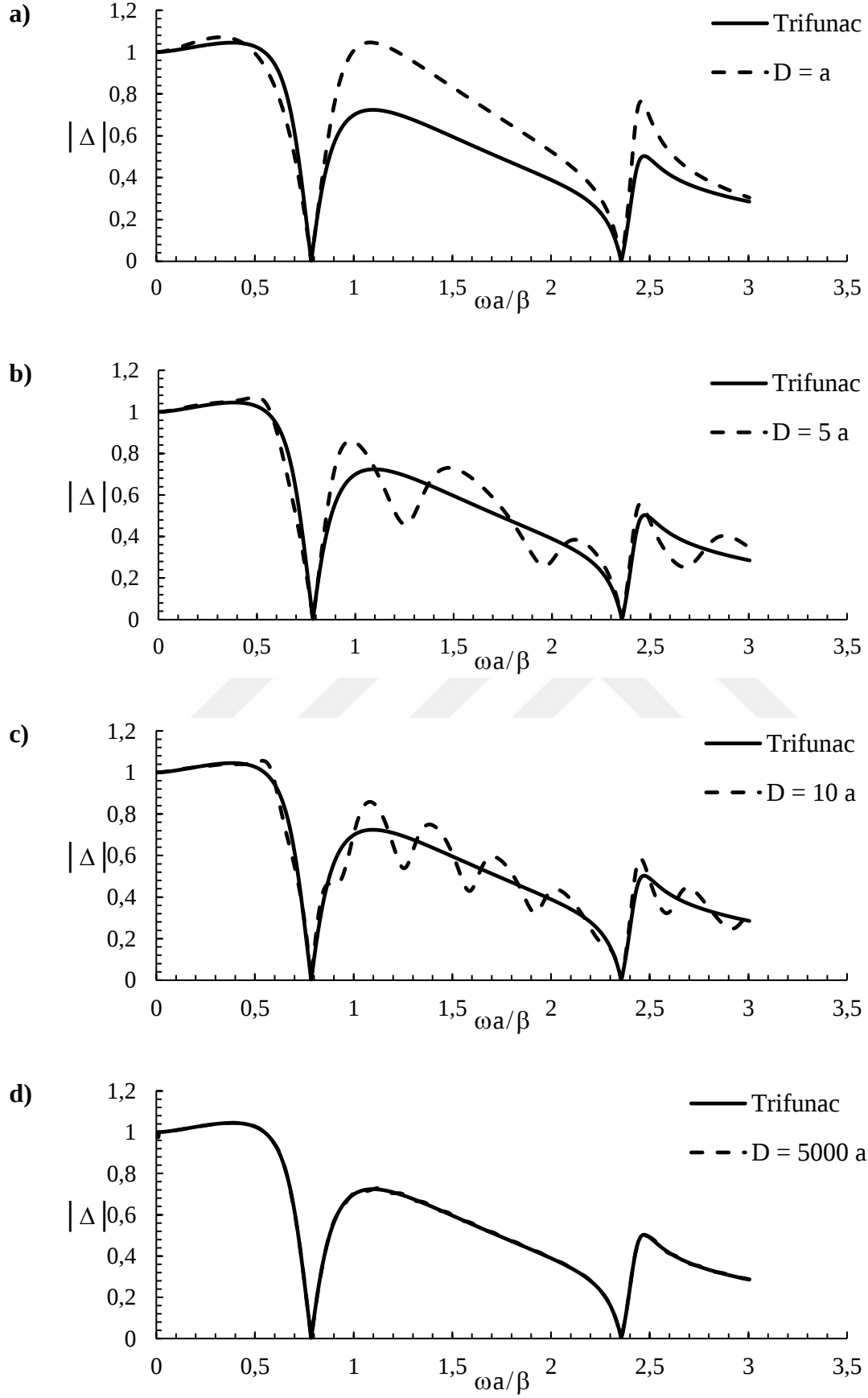
Şekil 5.6 : $\gamma = 0$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.7 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.7 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.7 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.7 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır. Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



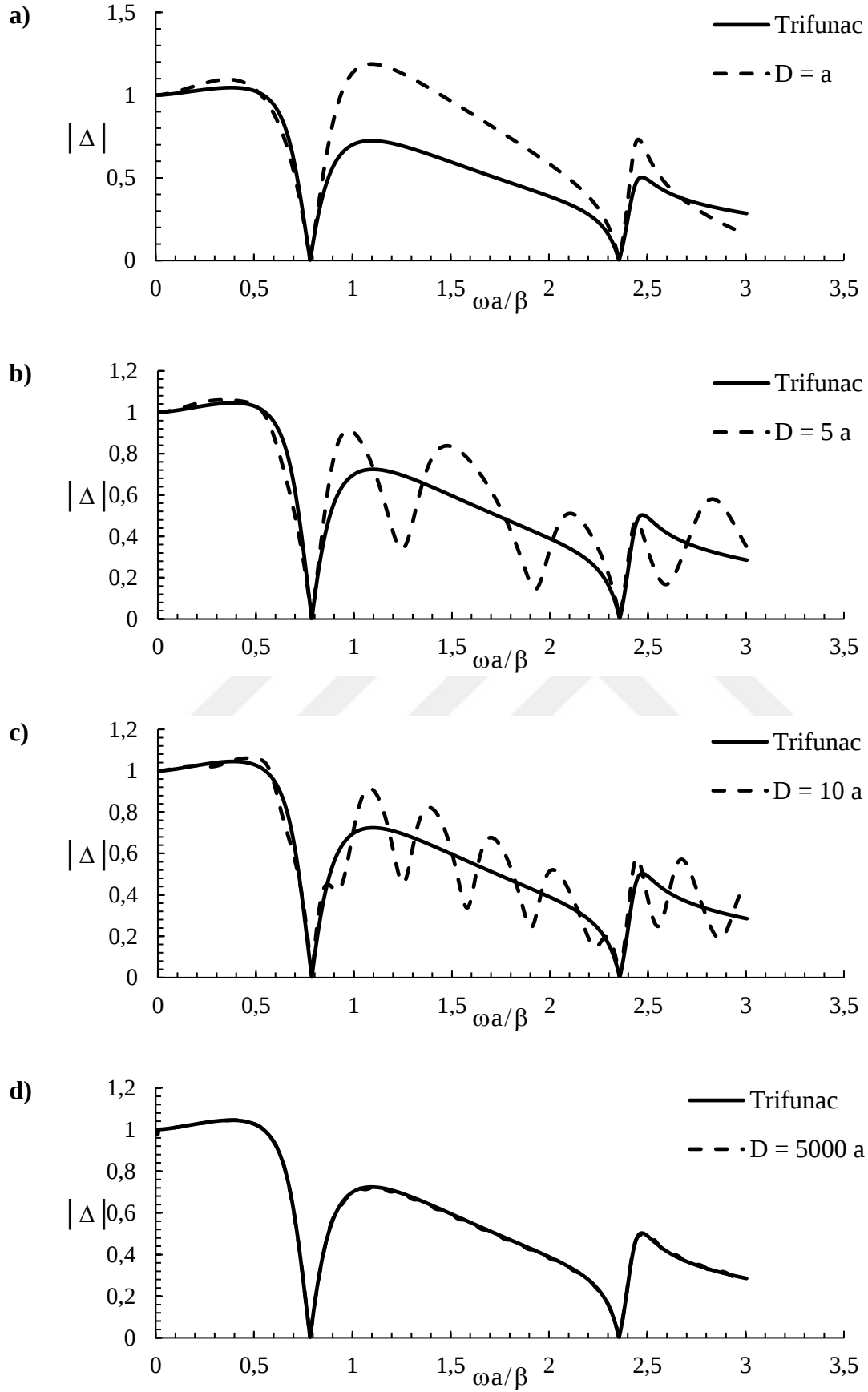
Şekil 5.7 : $\gamma = \pi/4$ geliş açılı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.8 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.8 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.8 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.8 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır. Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.8 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

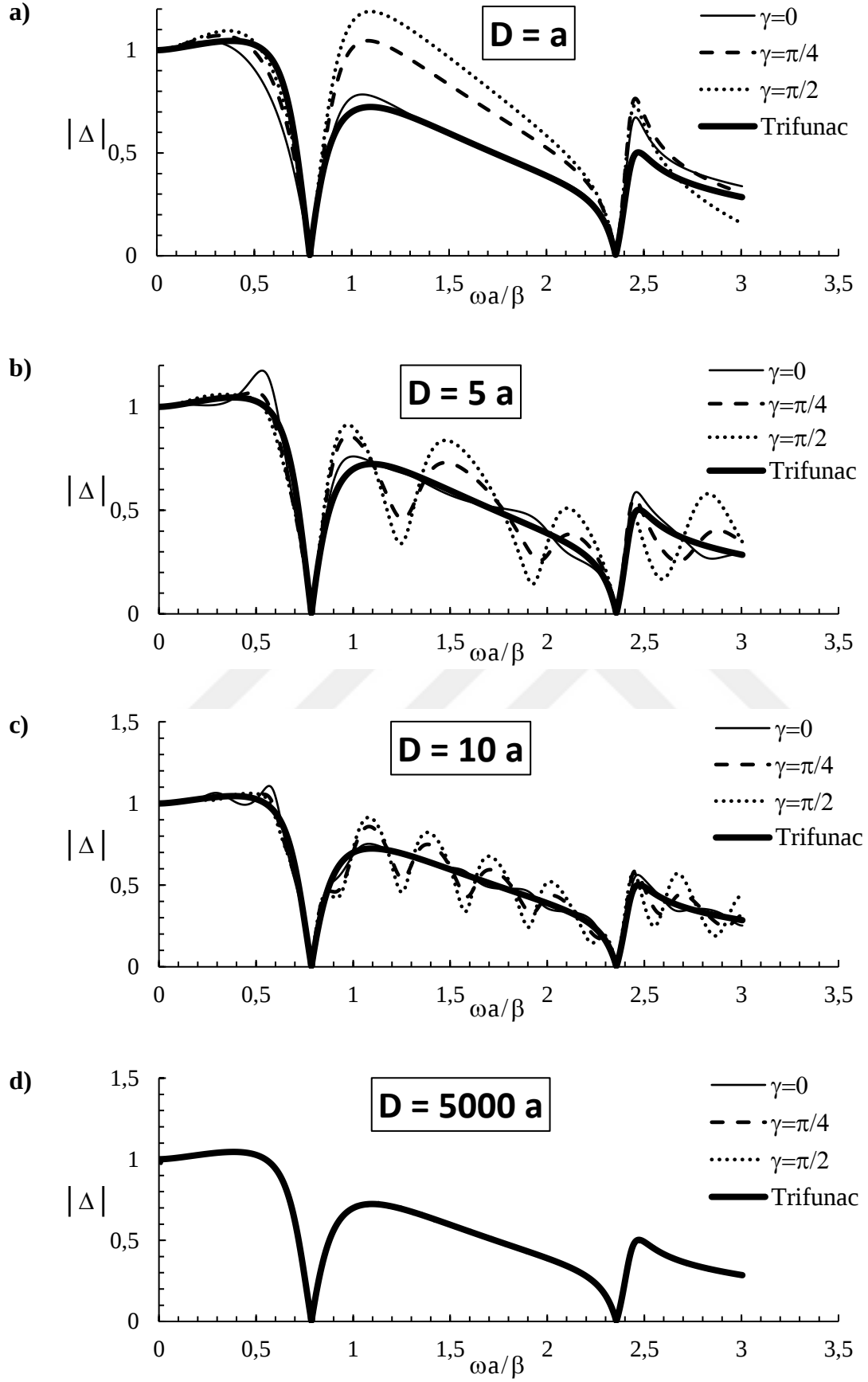
Şekil 5.9 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.9 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.9 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.9 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi nispeten az olduğu durumlarda dalga geliş açısı arttıkça genlik değerlerinin arttığı ve Trifunac'ın çalışmasında ortaya çıkan genlik değerlerinden uzaklaştığı görülmektedir. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise genlik değerleri dalga geliş açısından tamamen bağımsız olmakta ve Trifunac'ın yaptığı çalışmayla birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



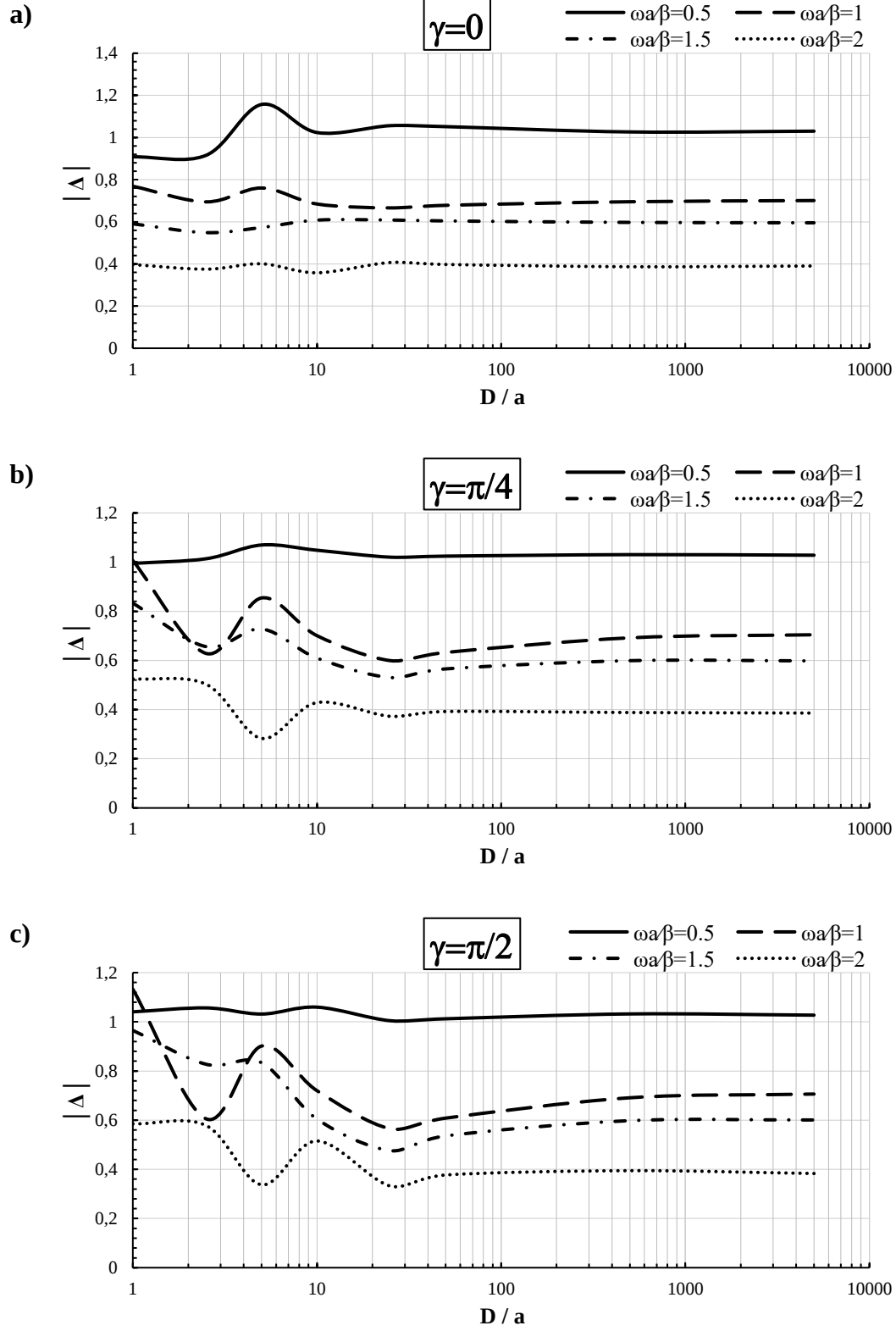
Şekil 5.9 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.10 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.5 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.10 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta temel genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışında ise stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 : $\varepsilon = 2$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.

5.1.3 $\varepsilon = 4$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar

Şekil 5.11 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

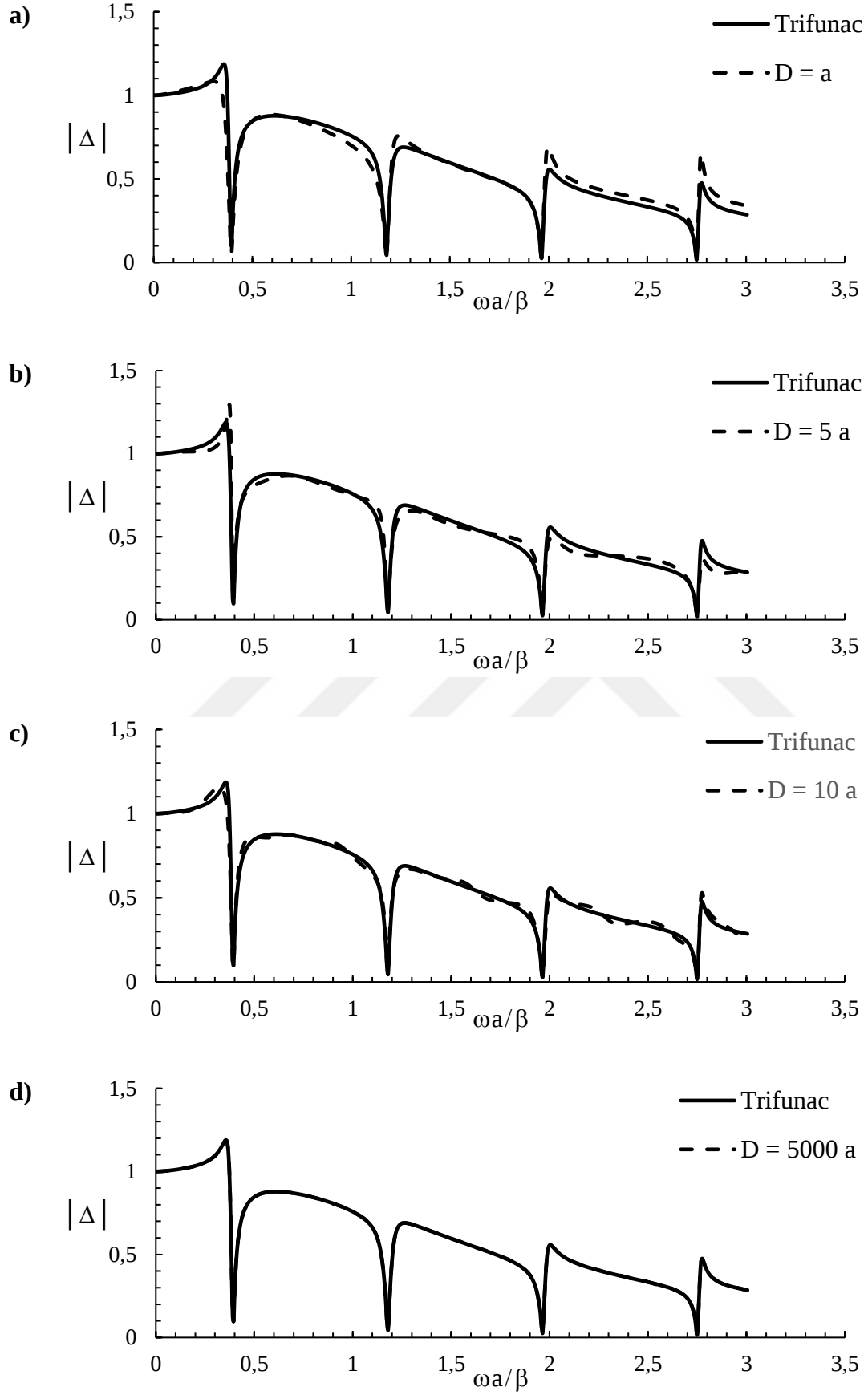
Şekil 5.11 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.11 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.11 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a / \beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.

$\varepsilon = 4$ için çizilen grafiklerde genliklerin dört noktada sıfır olduğu görülmektedir. Bu noktalar yapının ankastre temel doğal frekansına karşılık gelmektedir. Bu noktaların varlığı Trifunac tarafından ortaya konmuştur [14].



Şekil 5.11 : $\gamma = 0$ geniş açılı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

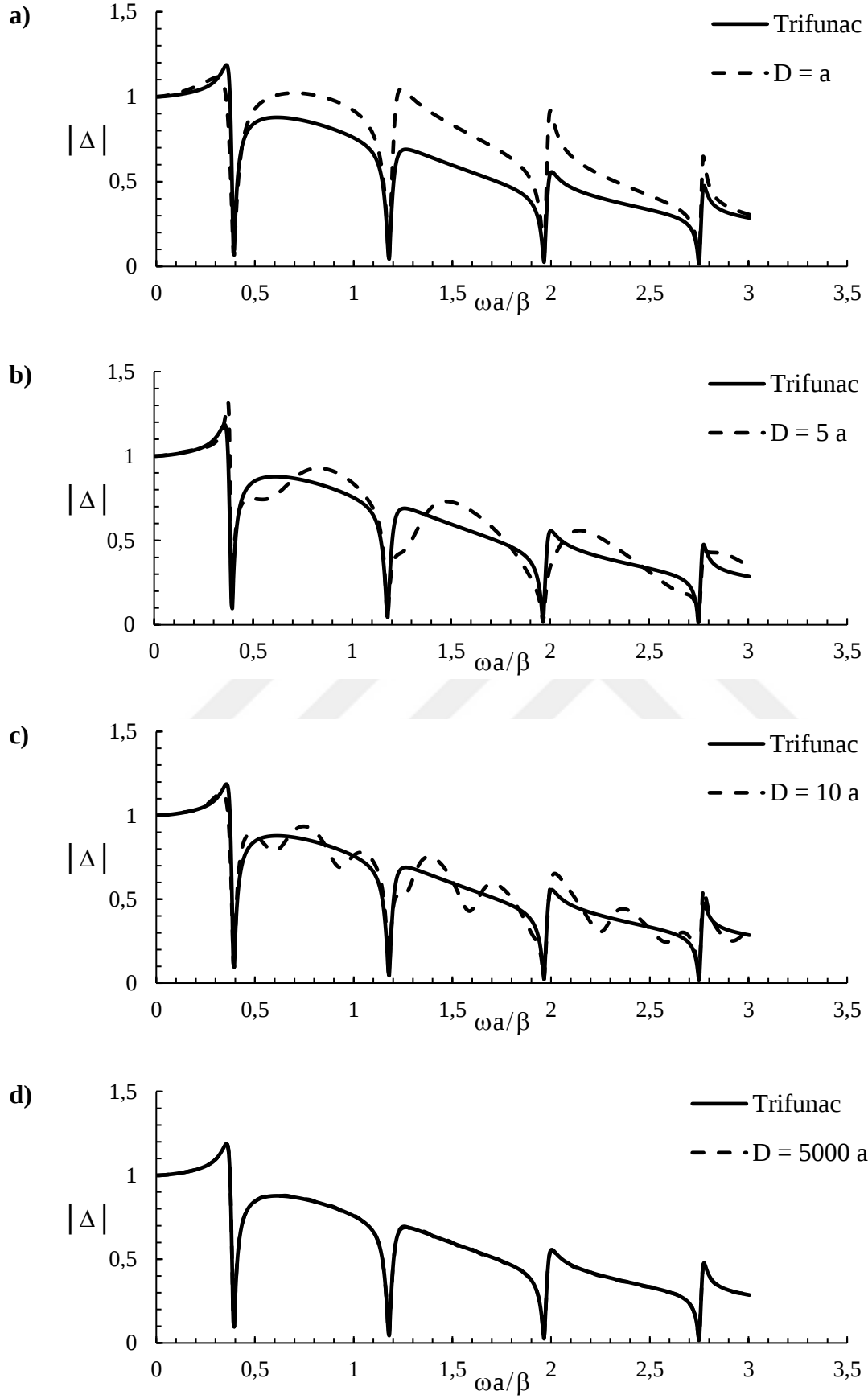
Şekil 5.12 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.12 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.12 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.12 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.12 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

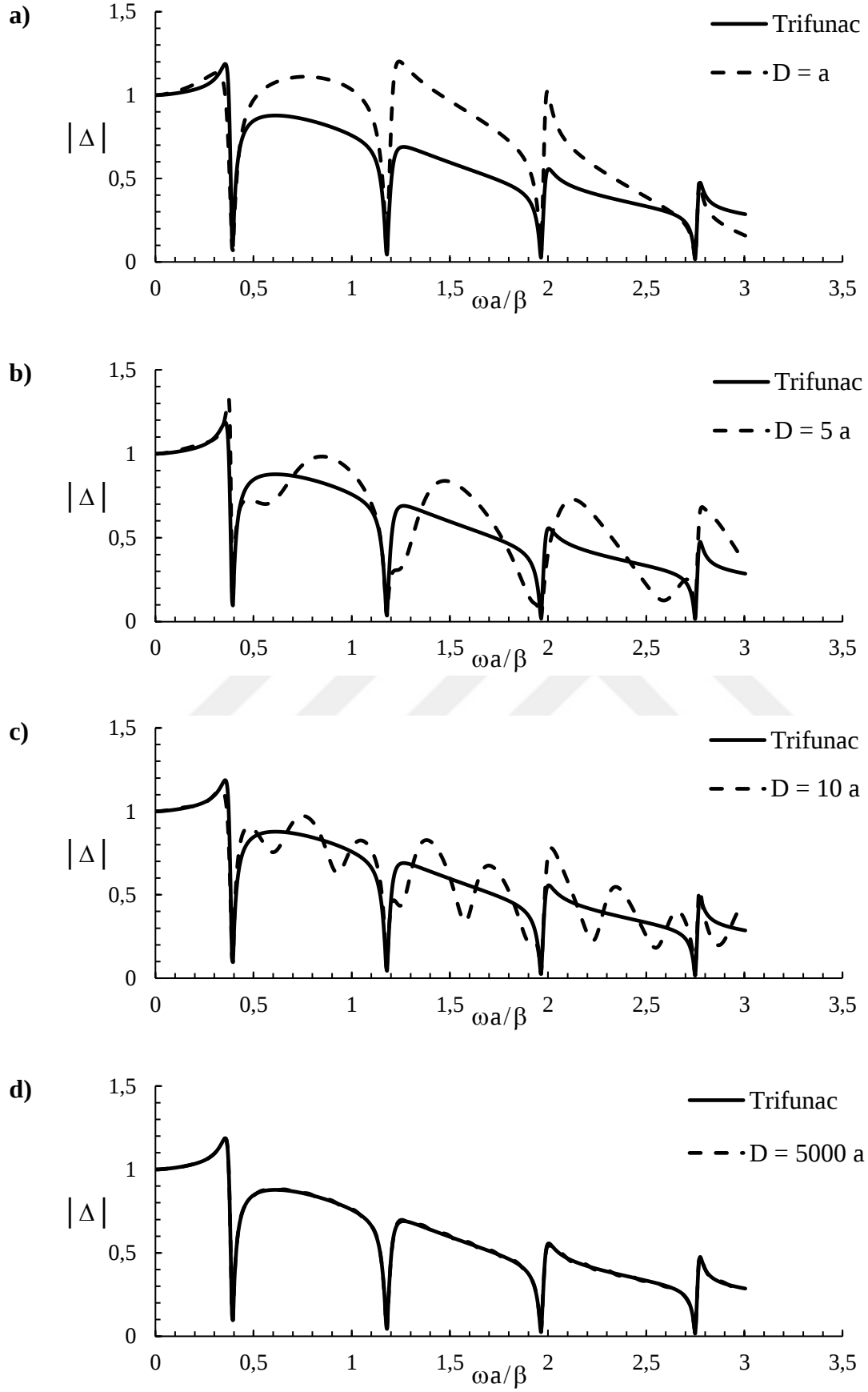
Şekil 5.13 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.13 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.13 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.13 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmakta ve genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasına yakınsamaktadır. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise Trifunac'ın yaptığı çalışma ile birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.13 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinin genliğe etkisi.

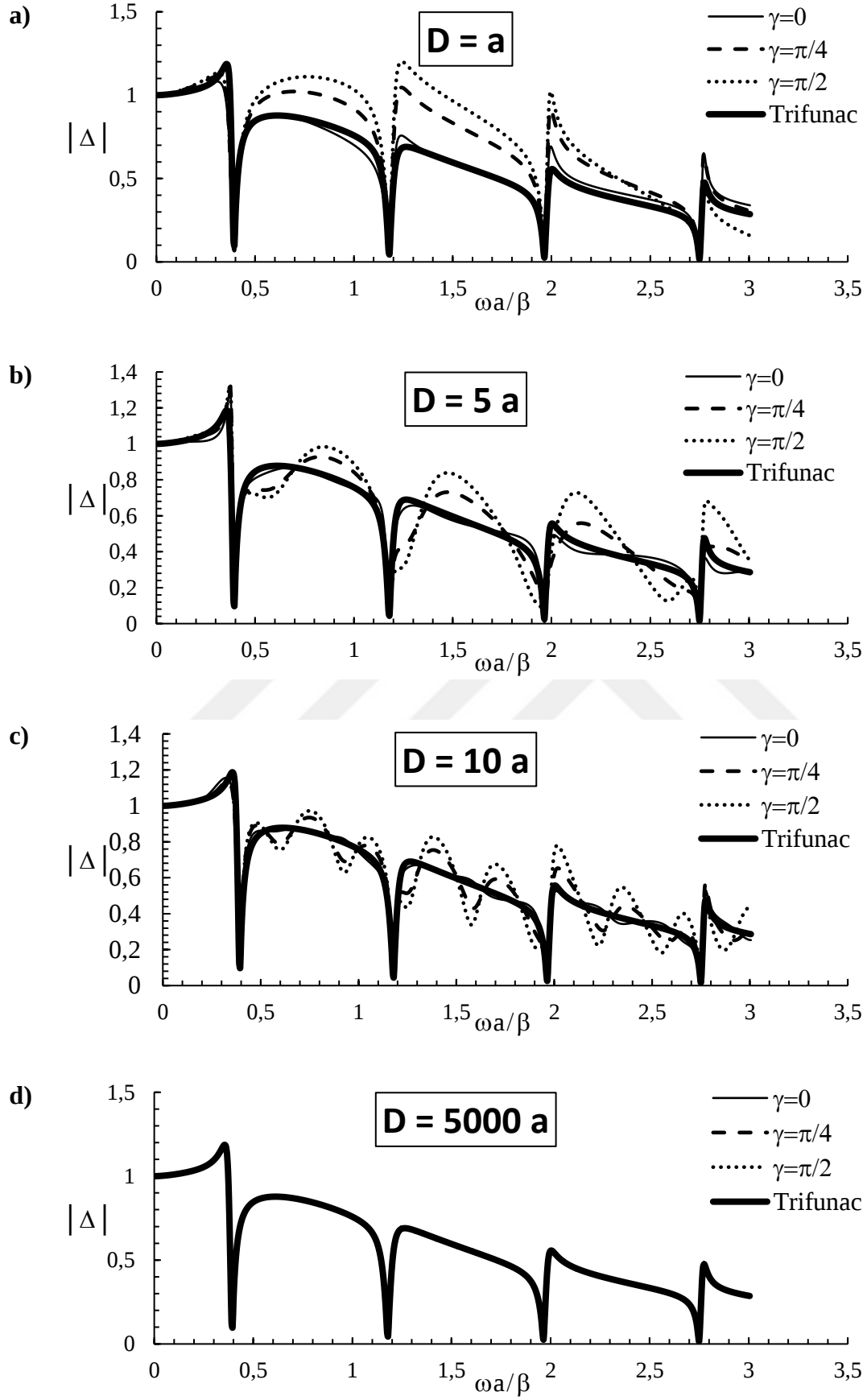
Şekil 5.14 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın [14] yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.14 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.14 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.14 (d)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 0$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, ve $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Ayrıca değerler Trifunac'ın yaptığı çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Yapının dik yamaca olan mesafesi nispeten az olduğu durumlarda dalga geliş açısı arttıkça genlik değerlerinin arttığı ve Trifunac'ın çalışmasında ortaya çıkan genlik değerlerinden uzaklaştığı görülmektedir. Dik yamaçtan yeteri kadar uzaklıkta ise genlik değerleri dalga geliş açısından tamamen bağımsız olmakta ve Trifunac'ın yaptığı çalışmayla birebir aynı genlik değerleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.14 : Farklı D mesafelerinde γ geliş açısı değerlerinin genliğe etkisi.

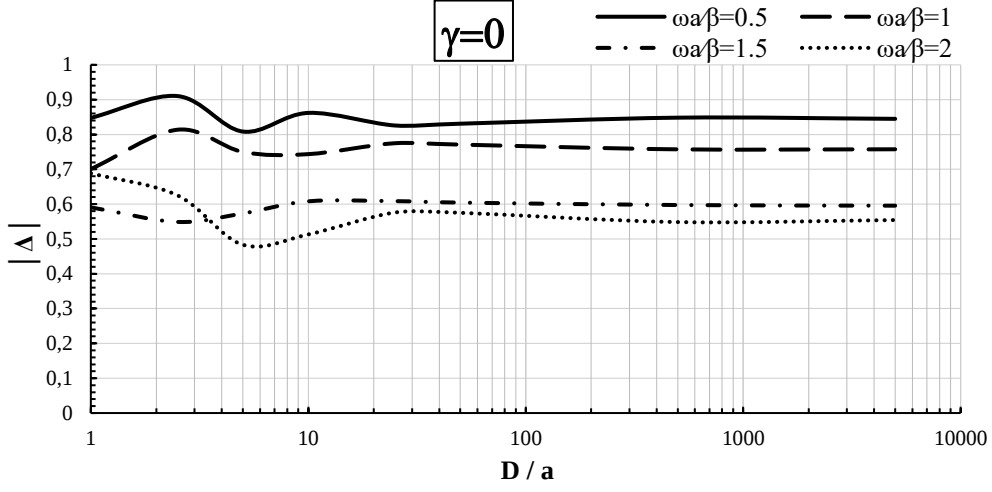
Şekil 5.15 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.15 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

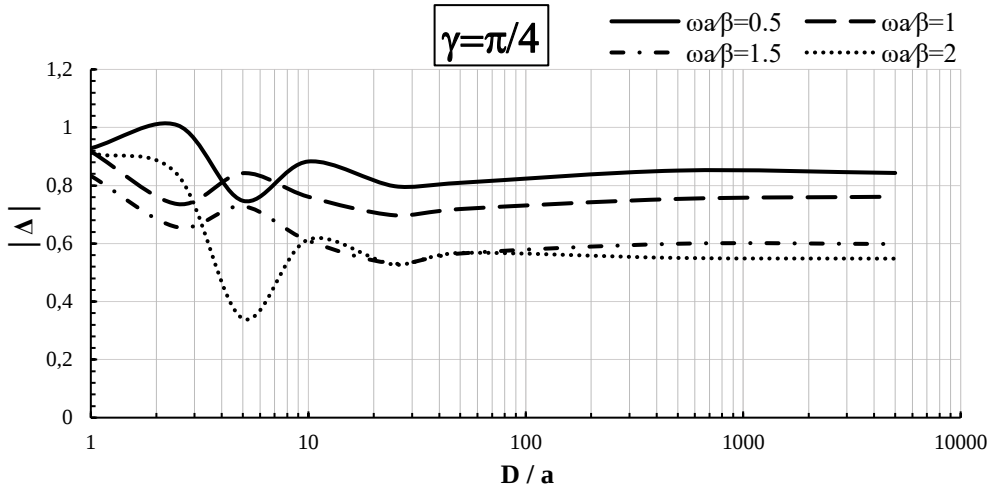
Şekil 5.15 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta temel genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışıyla ise stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.

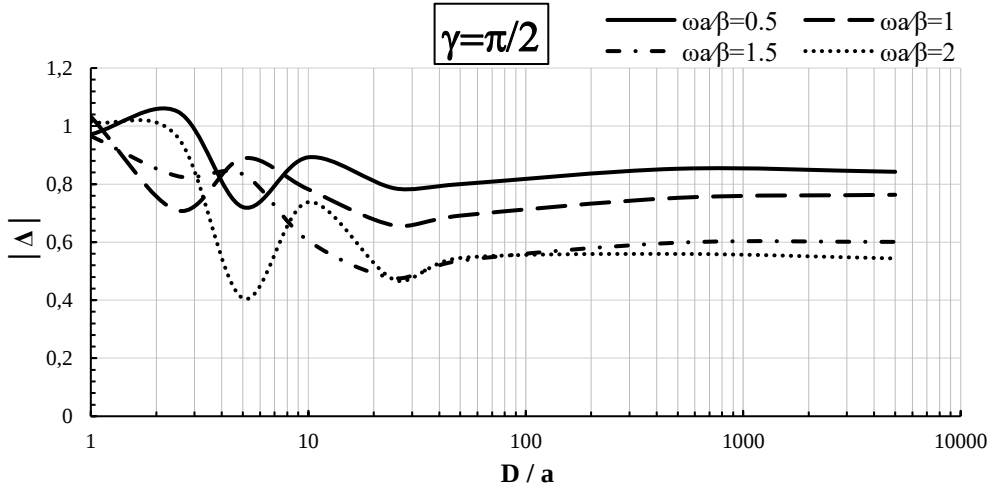
a)



b)



c)



Şekil 5.15 : $\varepsilon = 4$ durumu için belirli dalga sayısı değerlerinde D mesafelerinin genliğe etkisi.

5.2 Yapının Görelî Mutlak Yer değiştirme Genlik Değerleri için Sayısal Uygulamalar

5.2.1 $\varepsilon = 2$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar

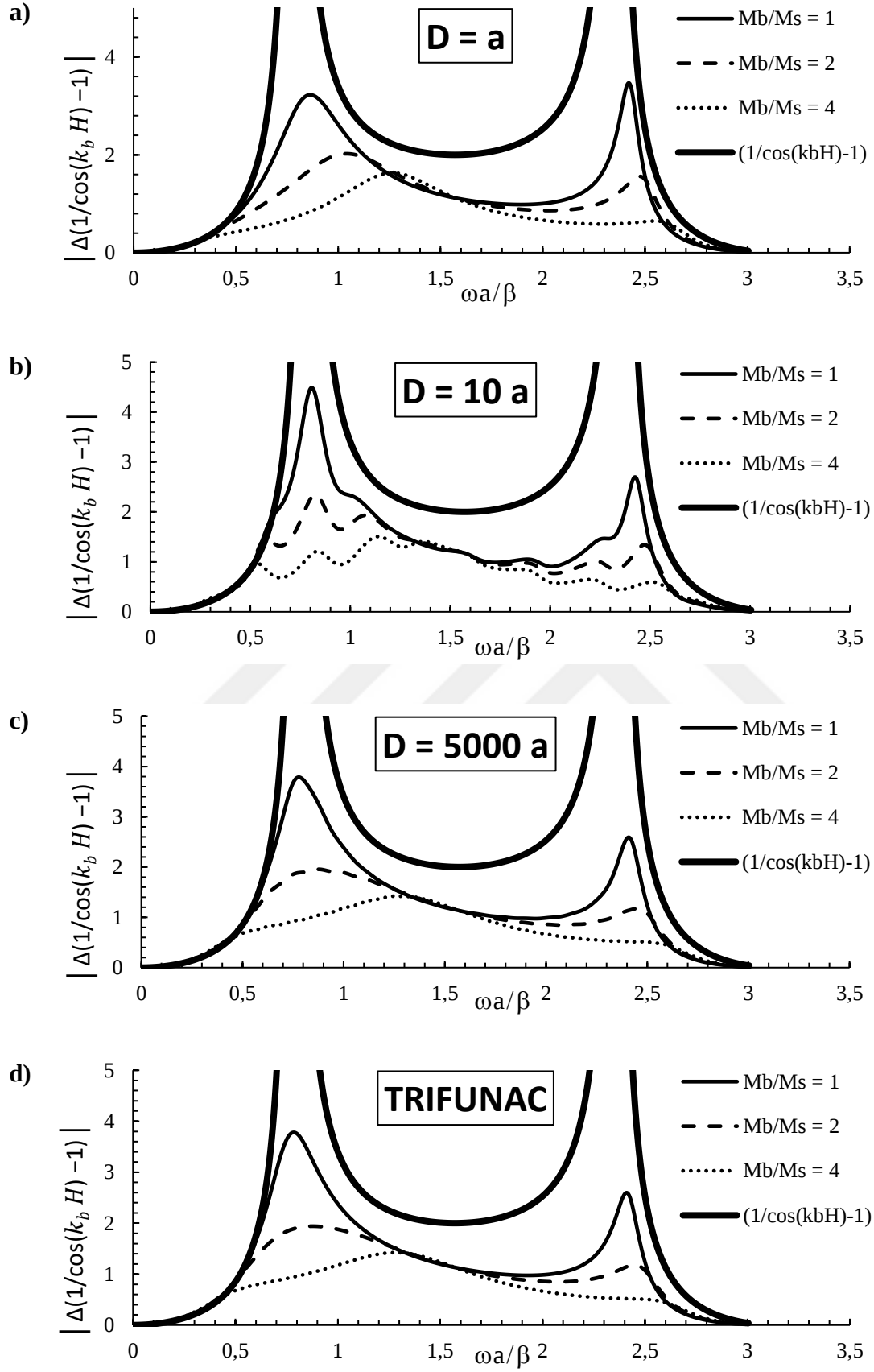
şekil 5.16 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya gre değişimi gsterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gsterdiği zere etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gsterilmiştir.

şekil 5.16 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ iin $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya gre değişimi gsterilmektedir.

şekil 5.16 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya gre değişimi gösterilmektedir.

şekil 5.16 (d) 'de Trifunac'ın tek bir yapı için rölatif yereğiştirme genlik sonuçları $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Rölatif yerdeğiştirme genliklerinin geliş açısından bağımsız olması sebebiyle Trifunac'ın sonuçları sadece $\gamma = 0$ için gösterilmiştir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölatif genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



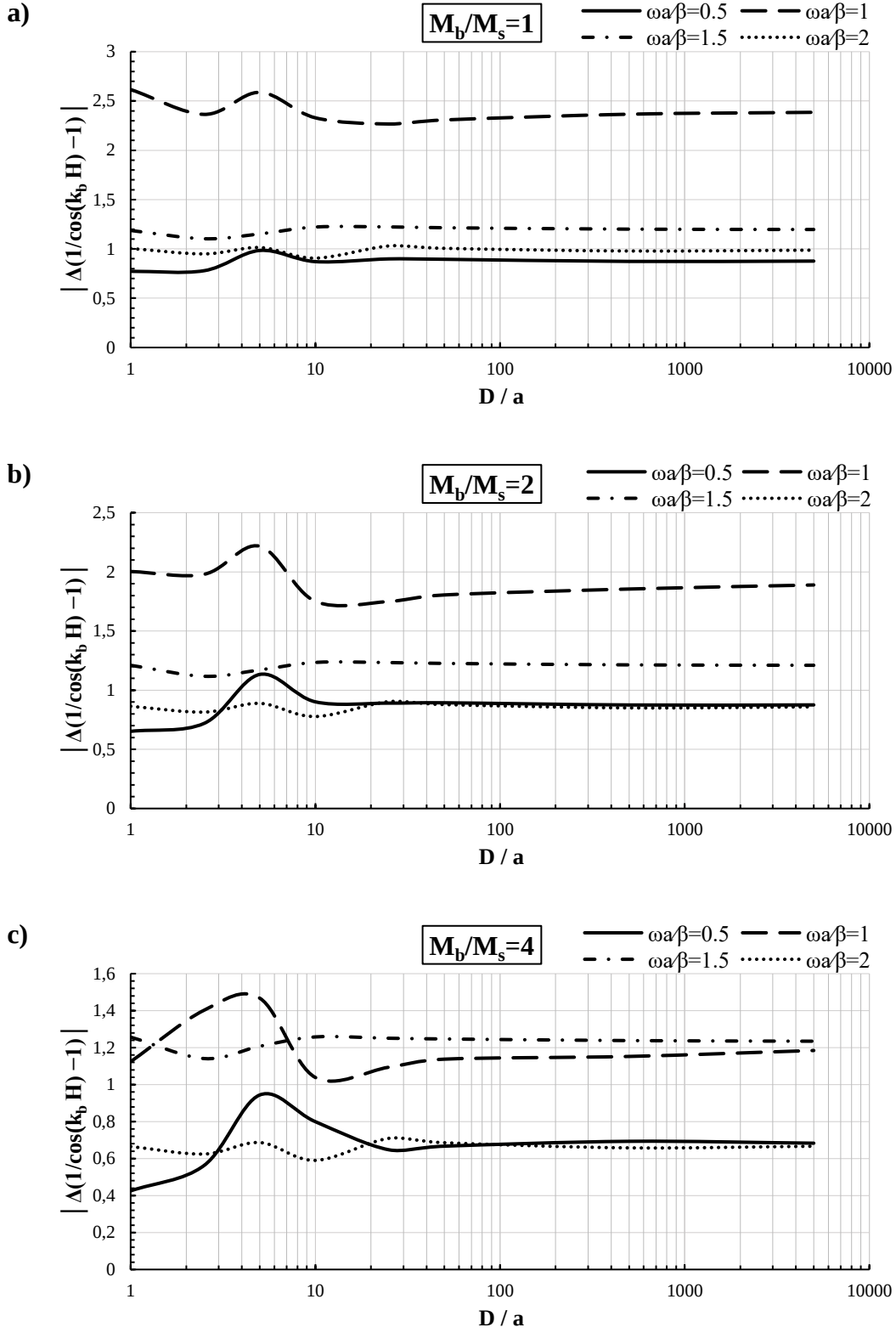
Şekil 5.16 : $\gamma = 0$ geniş açılı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.17 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.17 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.17 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışıında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



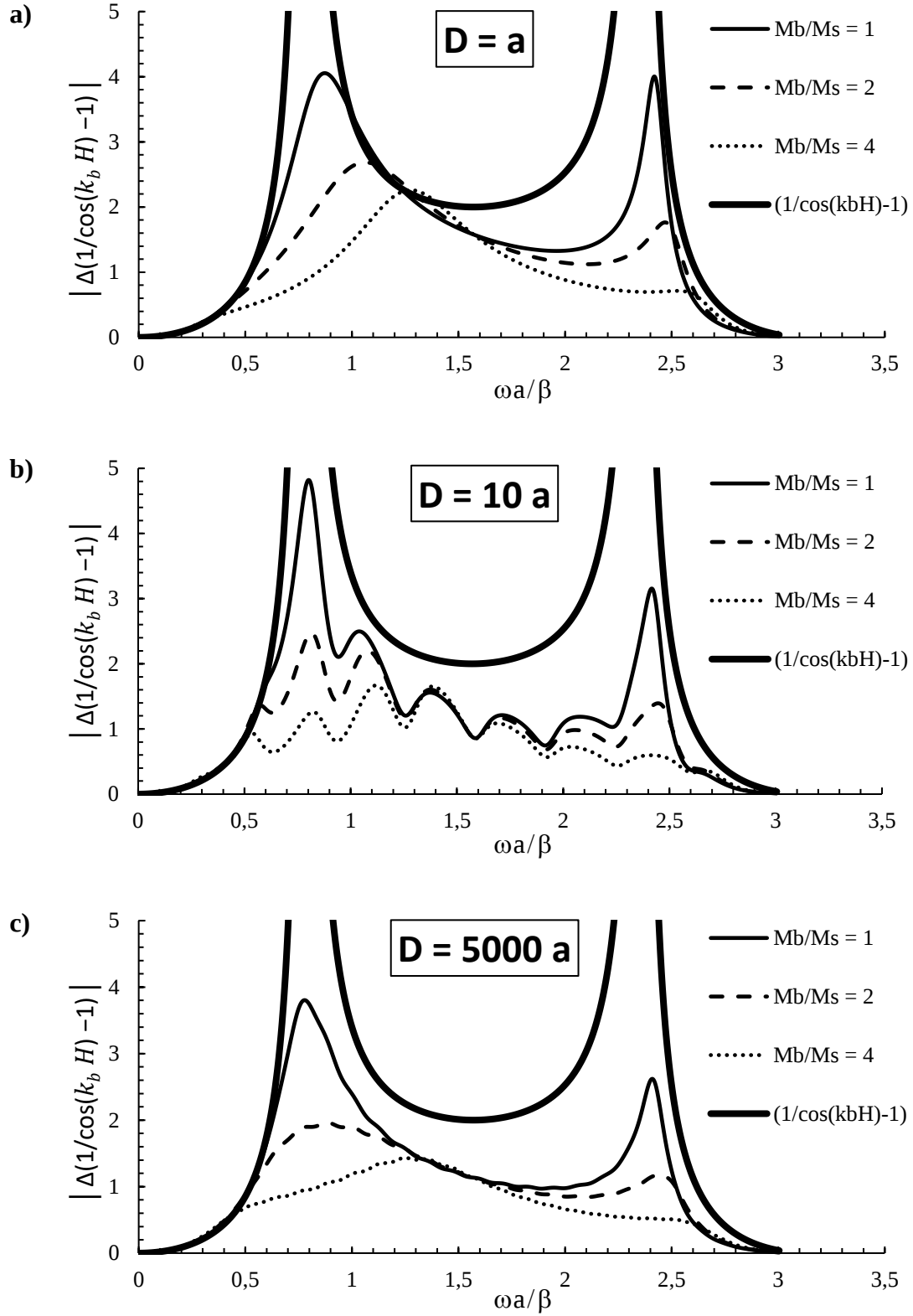
Şekil 5.17 : $\gamma = 0$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.18 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.18 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.18 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölâtif genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise etkileşimin çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



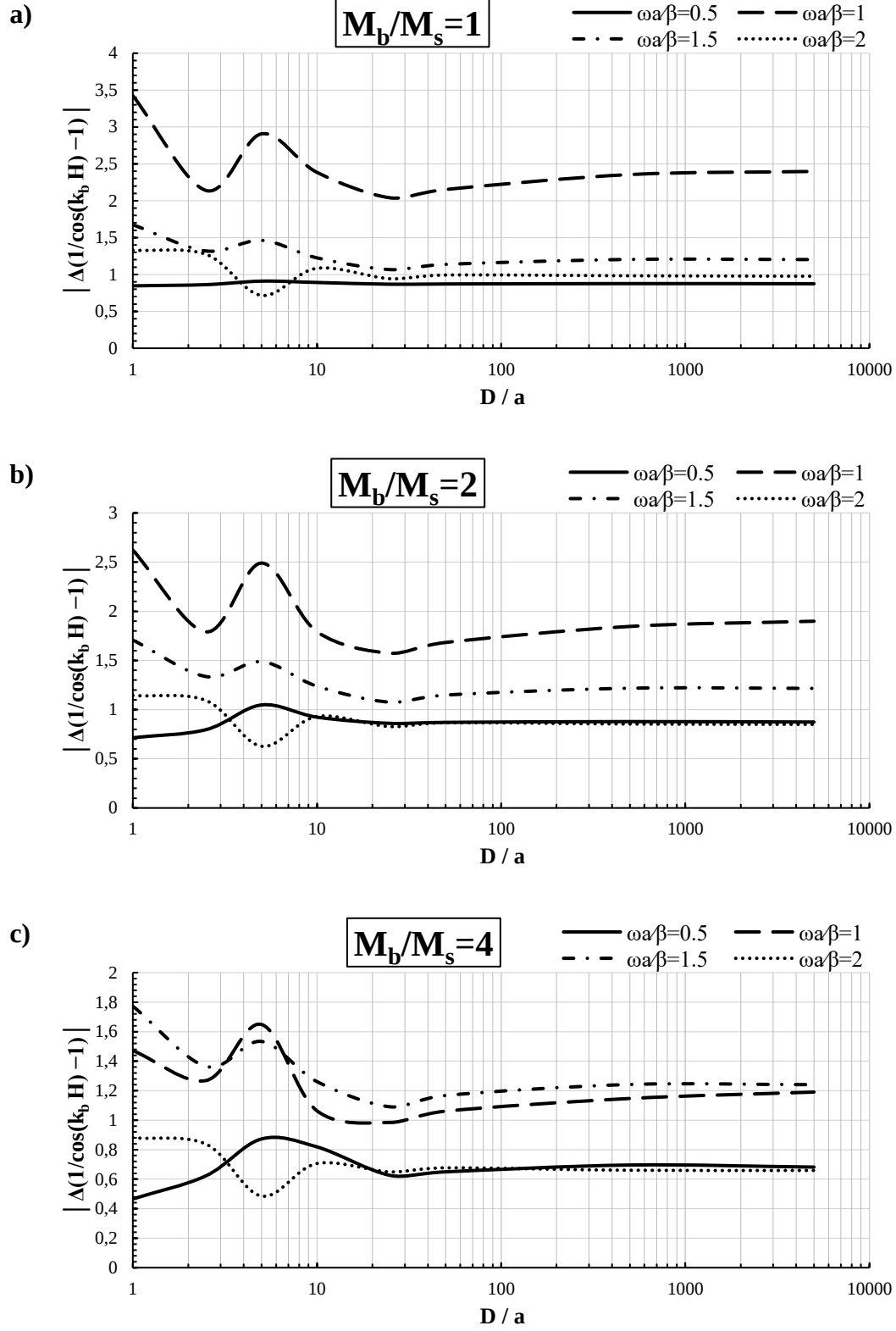
Şekil 5.18 : $\gamma = \pi/4$ geniş açı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.19 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.19 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.19 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



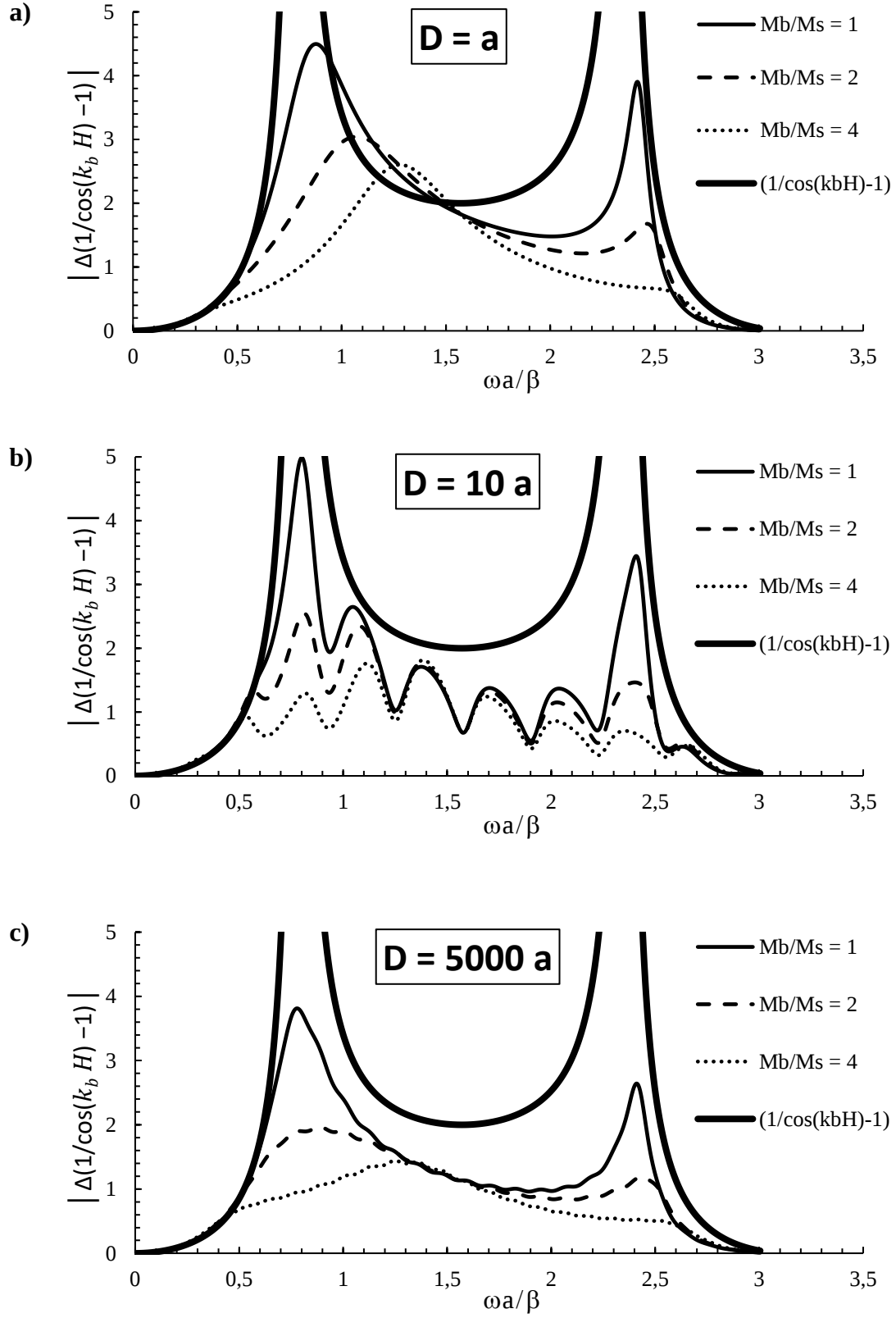
Şekil 5.19 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.20 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.20 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.20 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölatif genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise etkileşimin çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



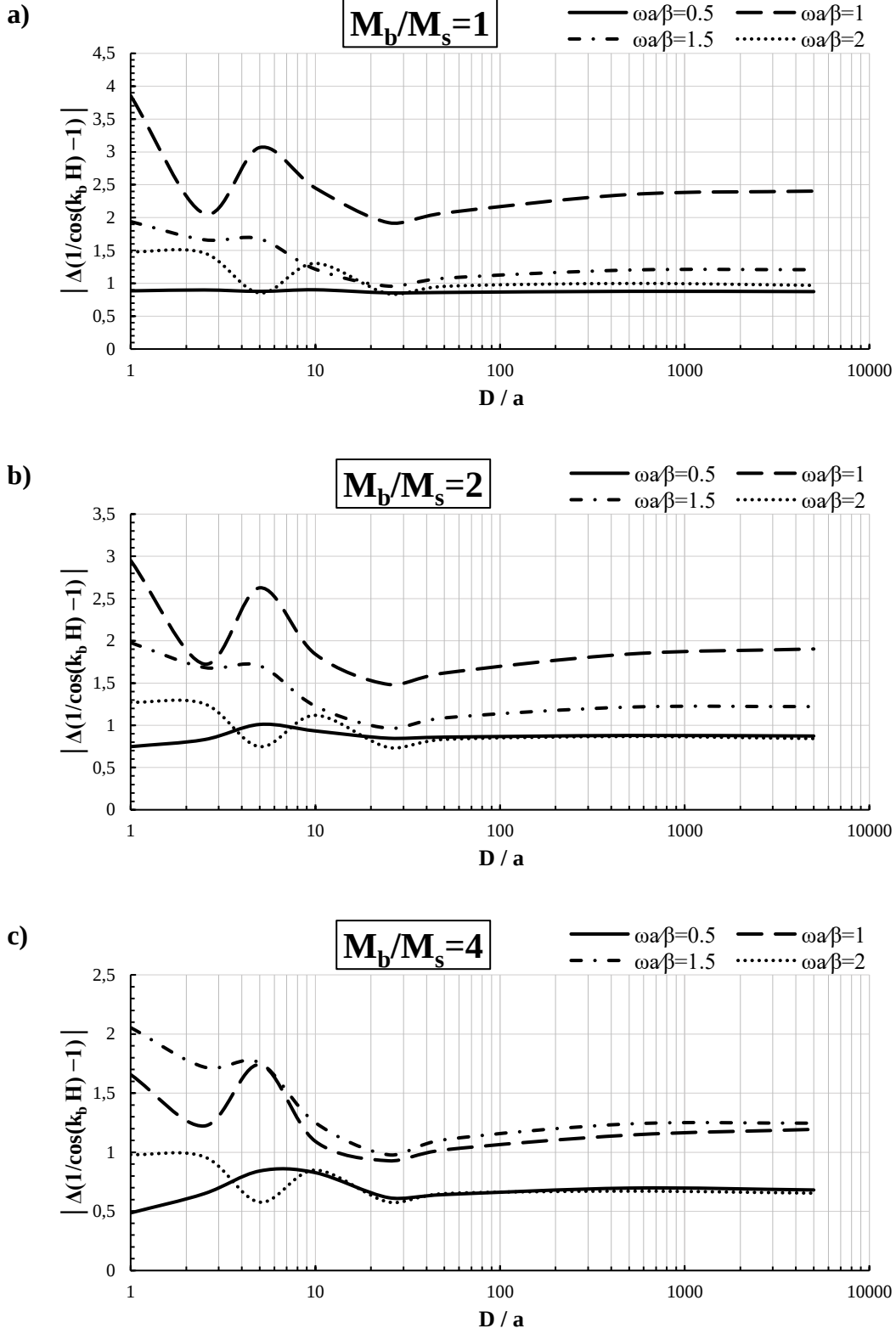
Şekil 5.20 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.21 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.21 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.21 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



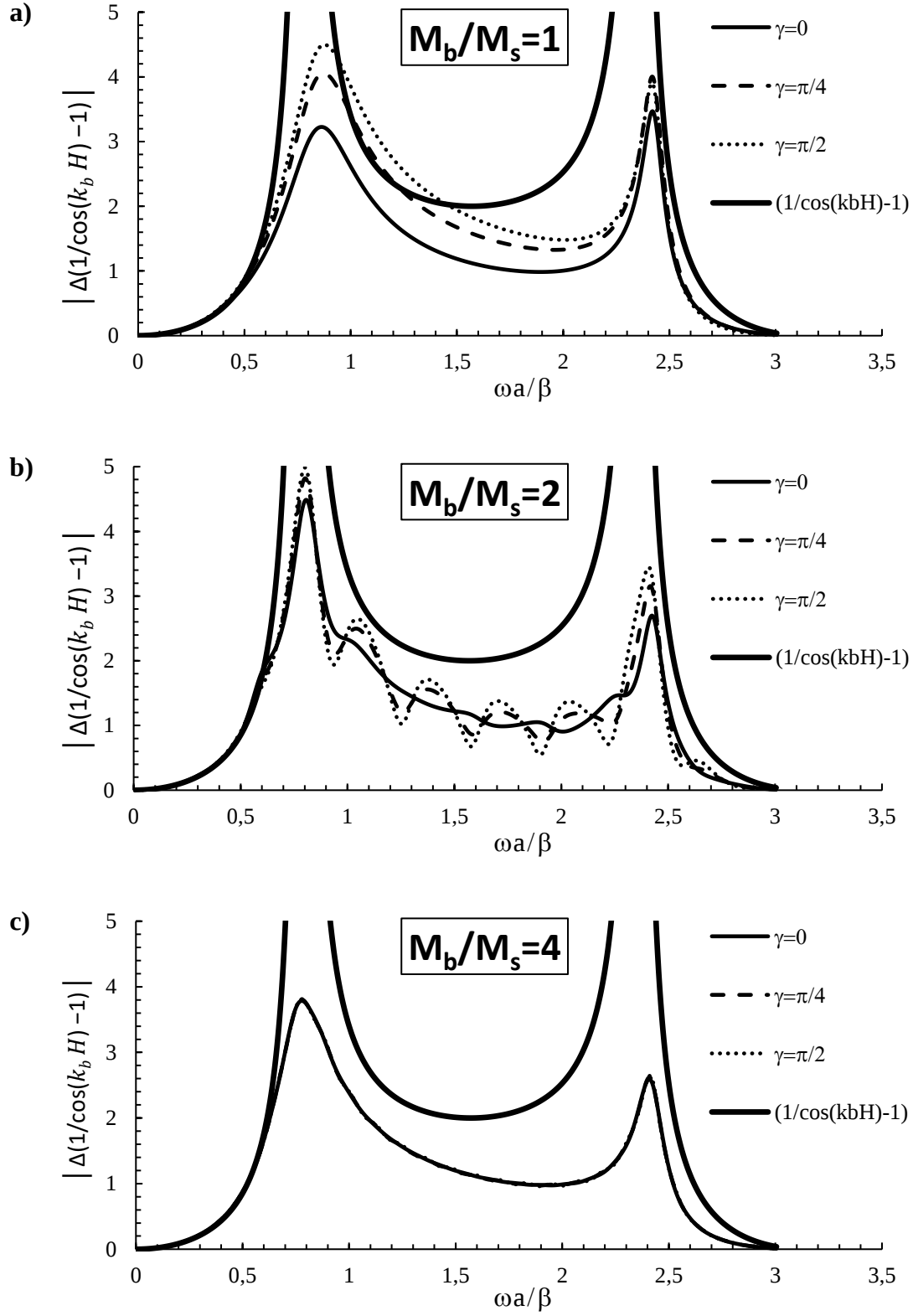
Şekil 5.21 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.22 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.22 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.22 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir.



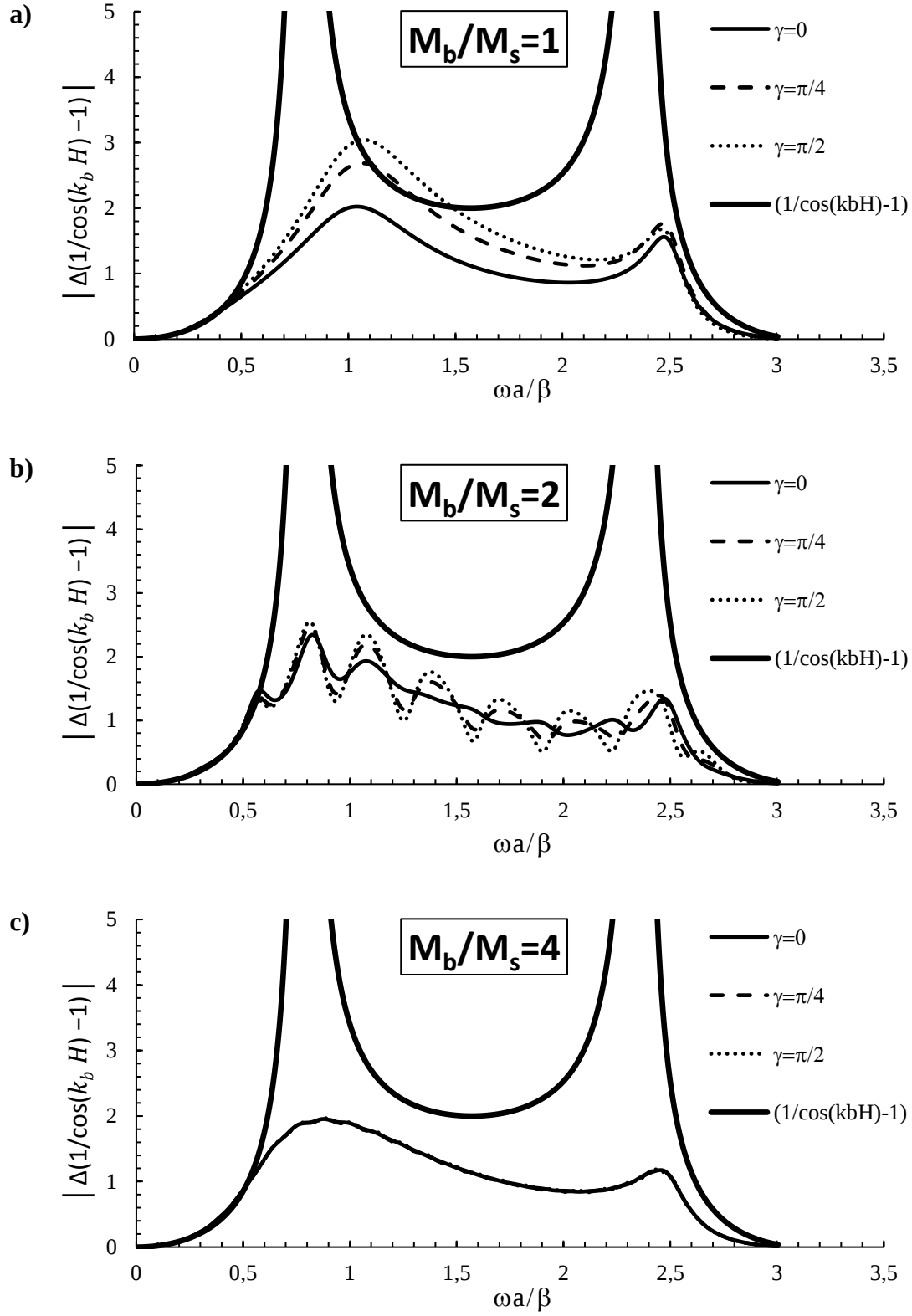
Şekil 5.22 : $D = a$ uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.

Şekil 5.23 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.23 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.23 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir.



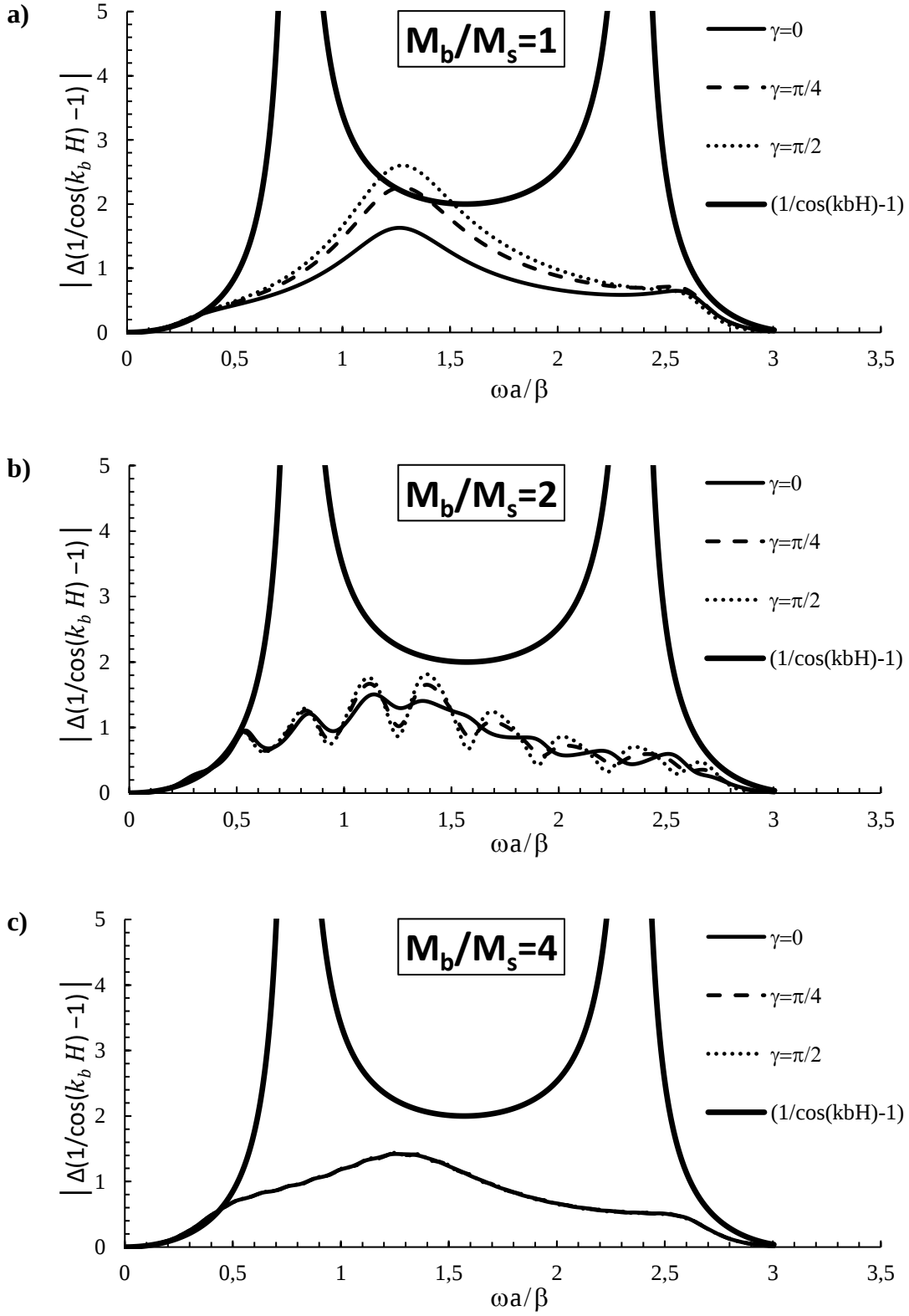
Şekil 5.23 : $D = 10$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görece genlik değerleri.

Şekil 5.24 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.24 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.24 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 2$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir. Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'ye bakıldığında yapının yamaca olan mesafe arttığında geliş açısına bağlı genlik aralıkları azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.24 : $D = 5000$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği görelî genlik değerleri.

5.2.2 $\varepsilon = 4$ durumunda farklı γ açıları ve D mesafeleri için sayısal uygulamalar

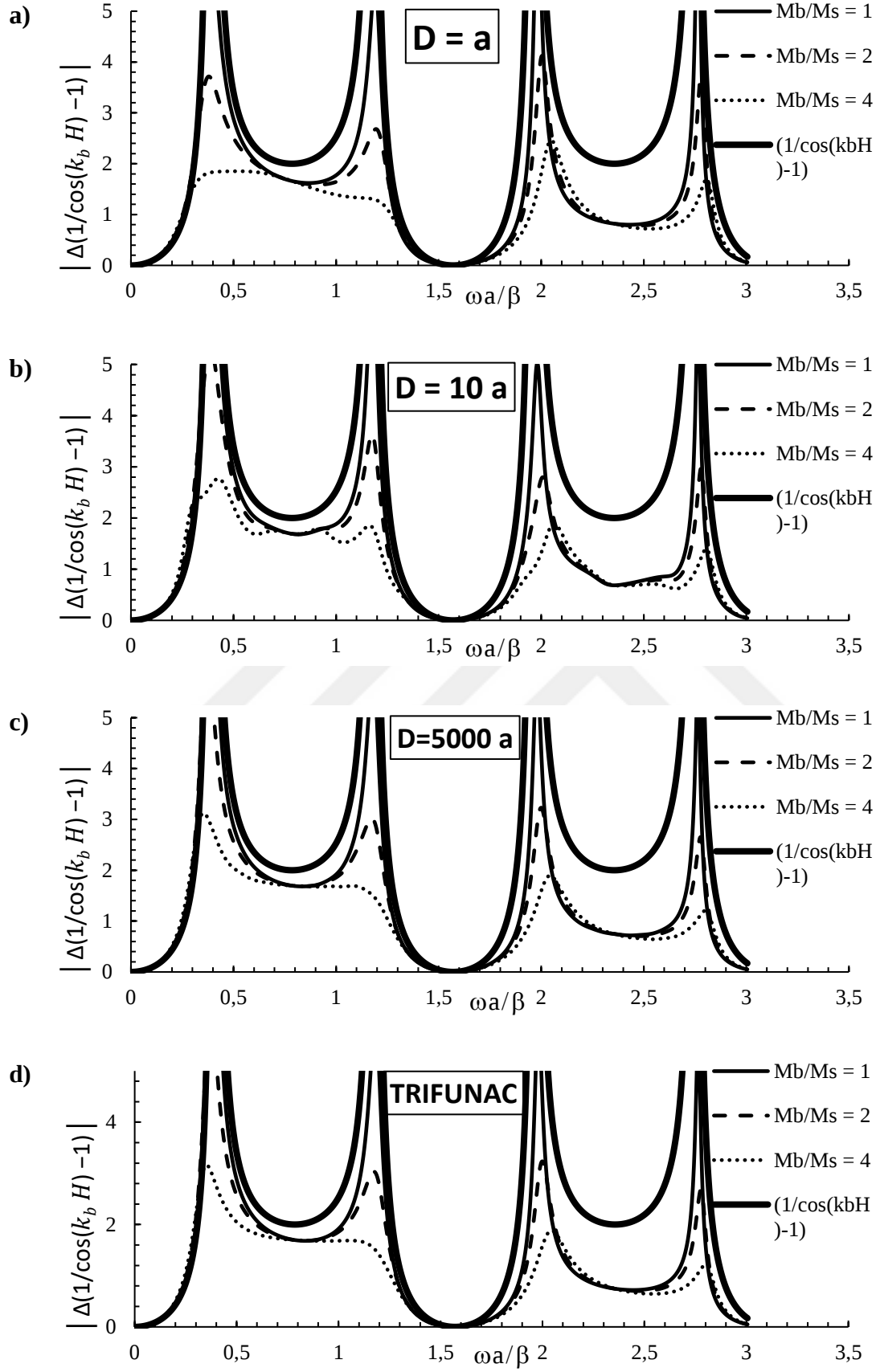
Şekil 5.25 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.25 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.25 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta(1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.25 (d) 'de Trifunac'ın tek bir yapı için rölatif yereğiştirme genlik sonuçları $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Rölatif yerdeğiştirme genliklerinin geliş açısından bağımsız olması sebebiyle Trifunac'ın sonuçları sadece $\gamma = 0$ için gösterilmiştir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değıştirme genlik değêrlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölatif genlik değêrleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



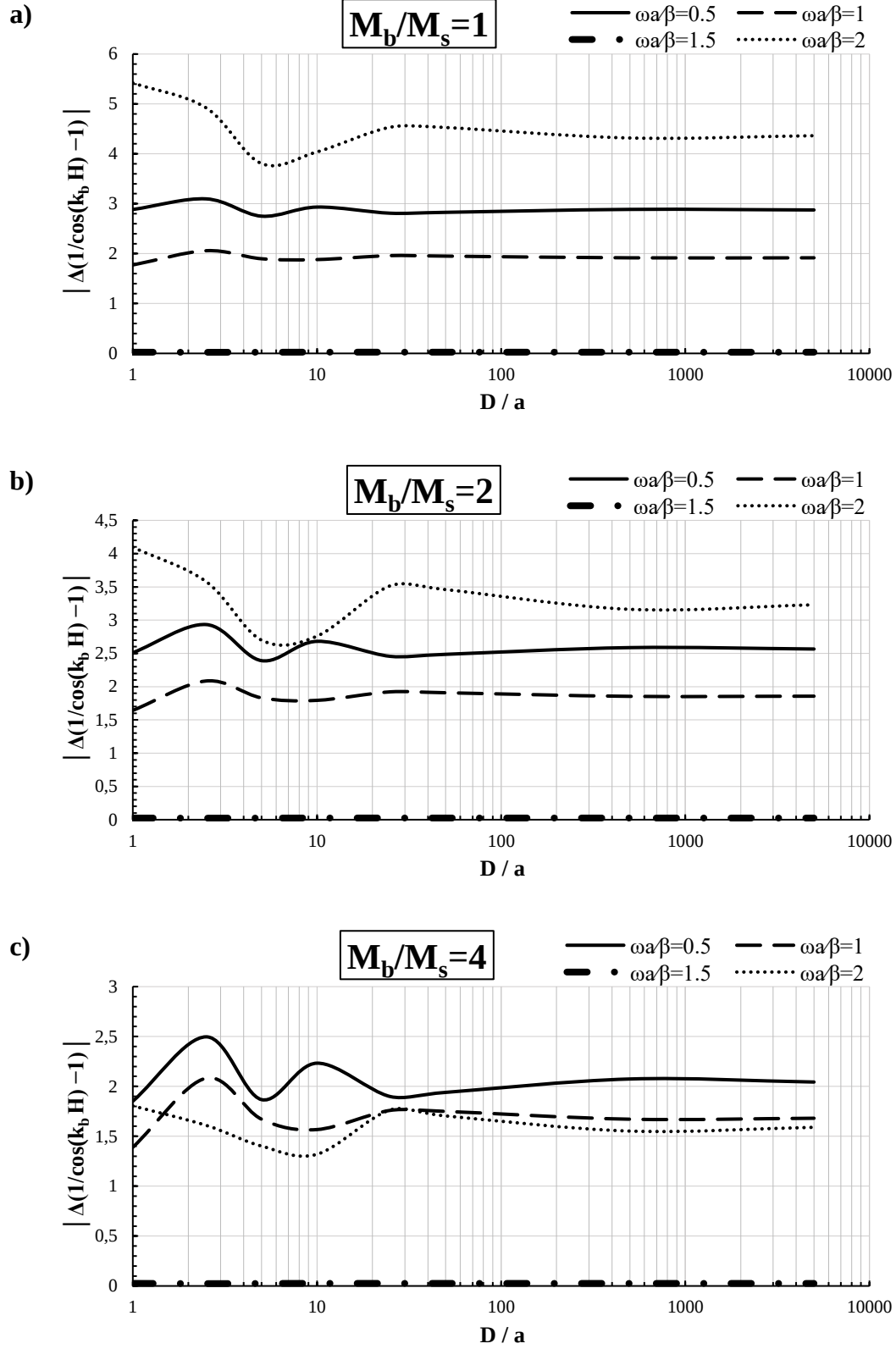
Şekil 5.25 : $\gamma = 0$ geniş açılı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.26 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.26 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.26 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



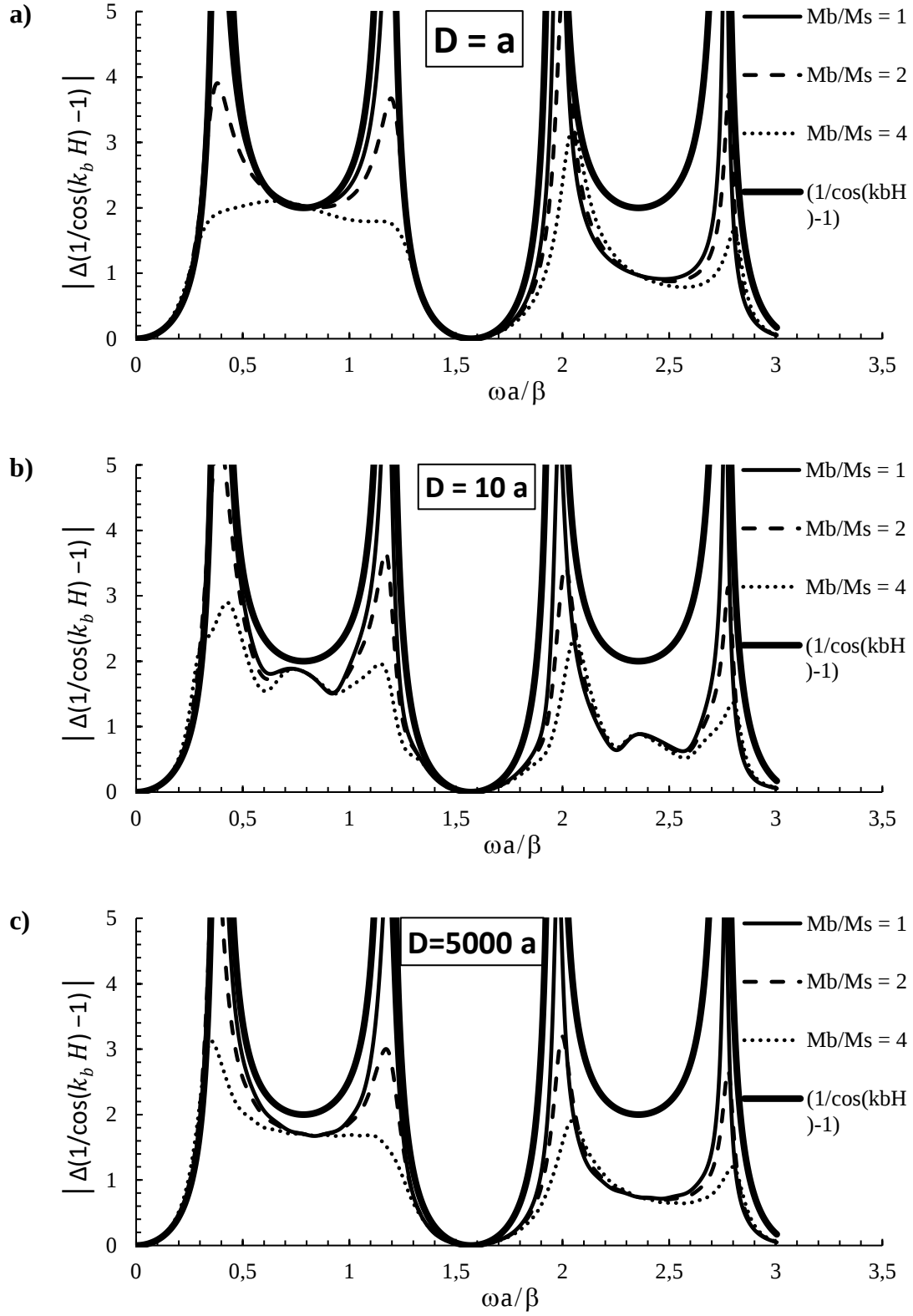
Şekil 5.26 : $\gamma = 0$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.27 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.27 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.27 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölâtif genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise etkileşimin çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



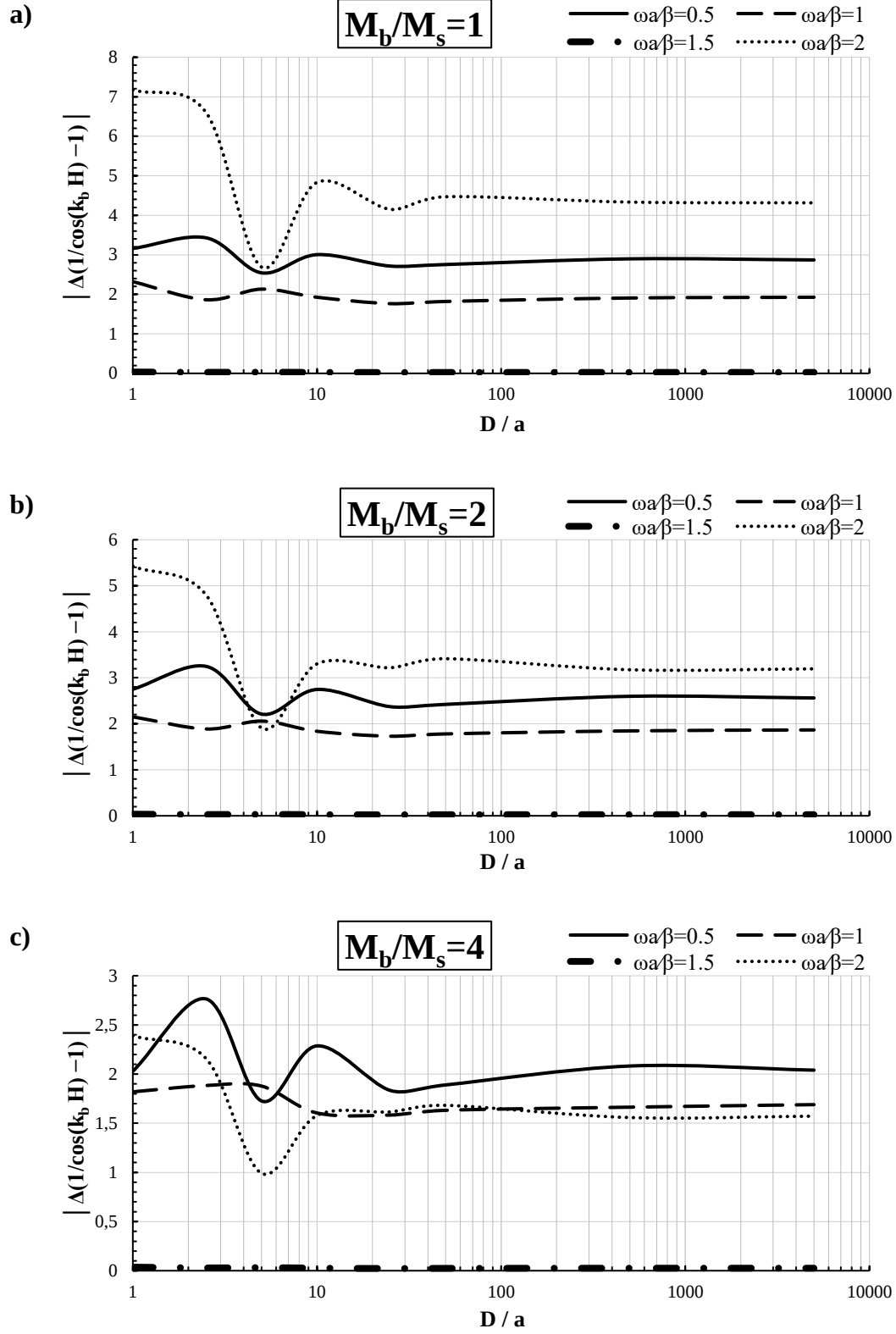
Şekil 5.27 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.28 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.28 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.28 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışıında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



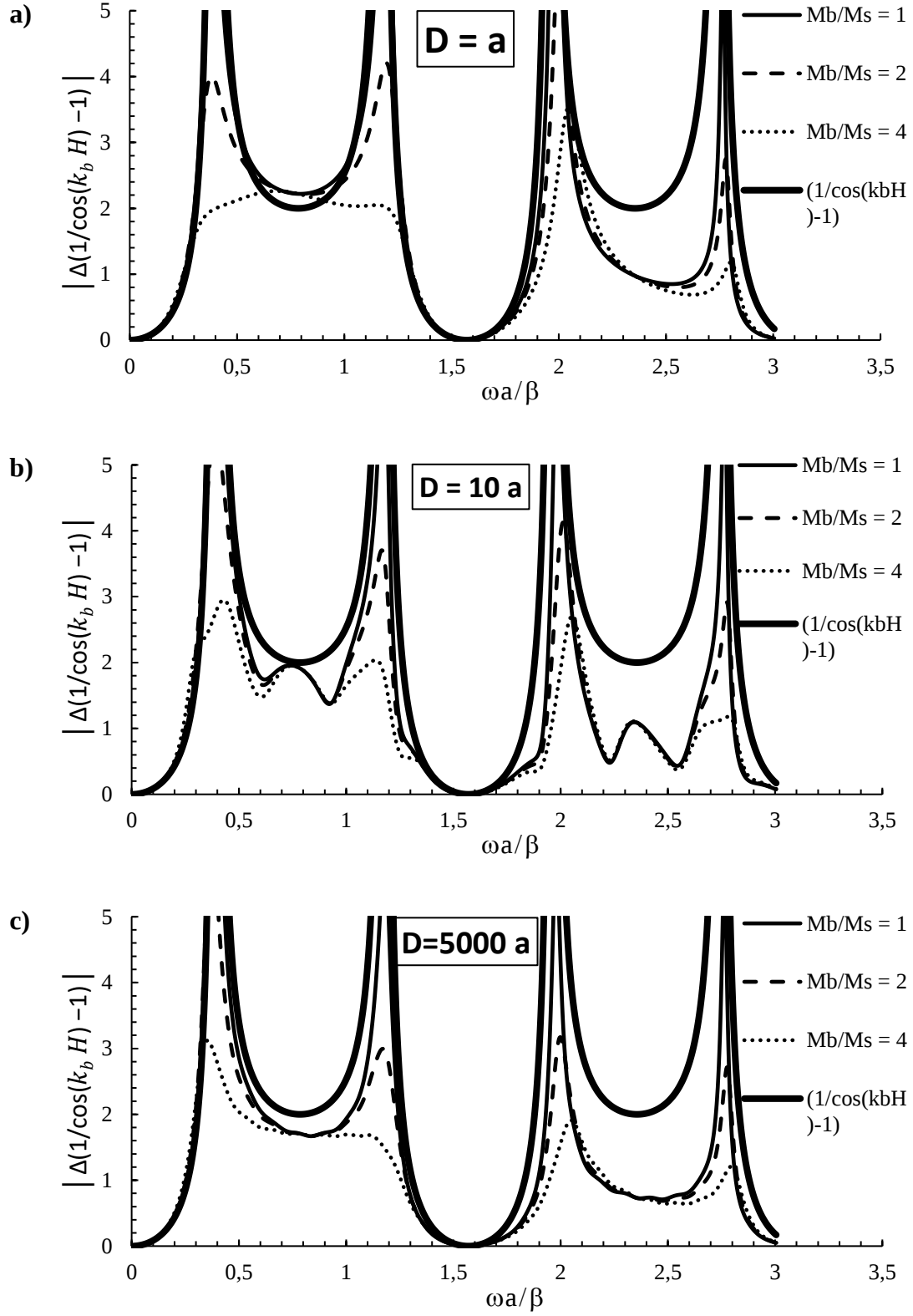
Şekil 5.28 : $\gamma = \pi/4$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.29 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.29 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.29 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölatif genlik değerleri Trifunac'ın çalışmasında gösterilen sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken etkileşimin ihmal edildiği, arttığında ise etkileşimin çok belirgin olduğu görülebilmektedir.



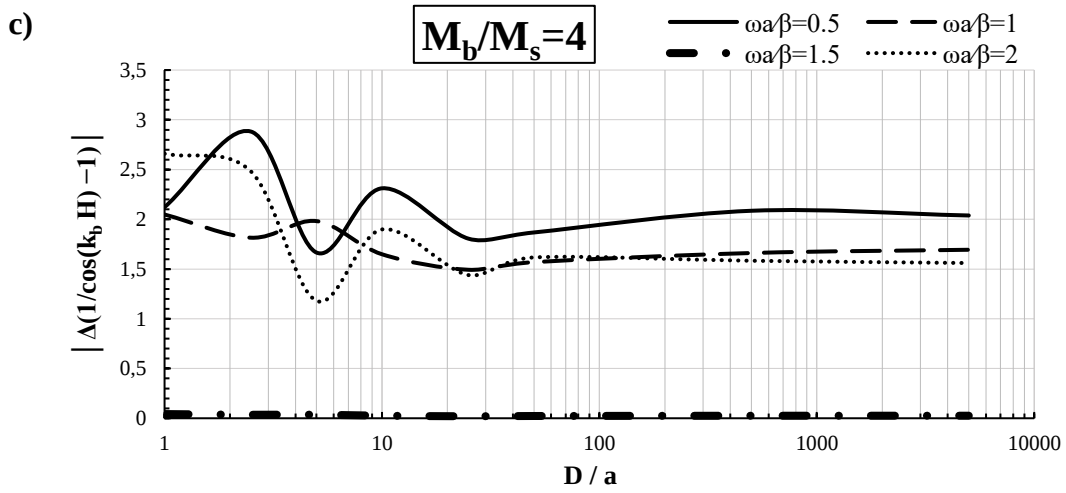
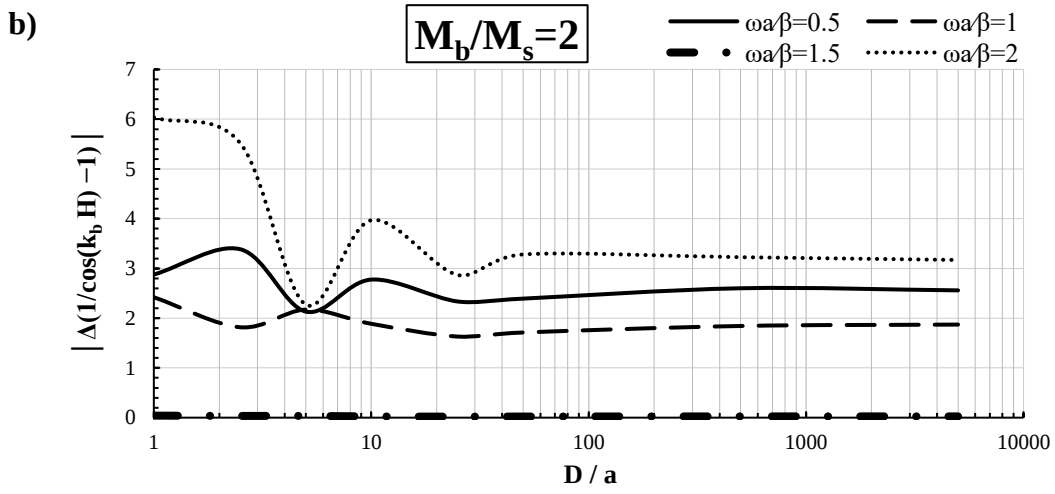
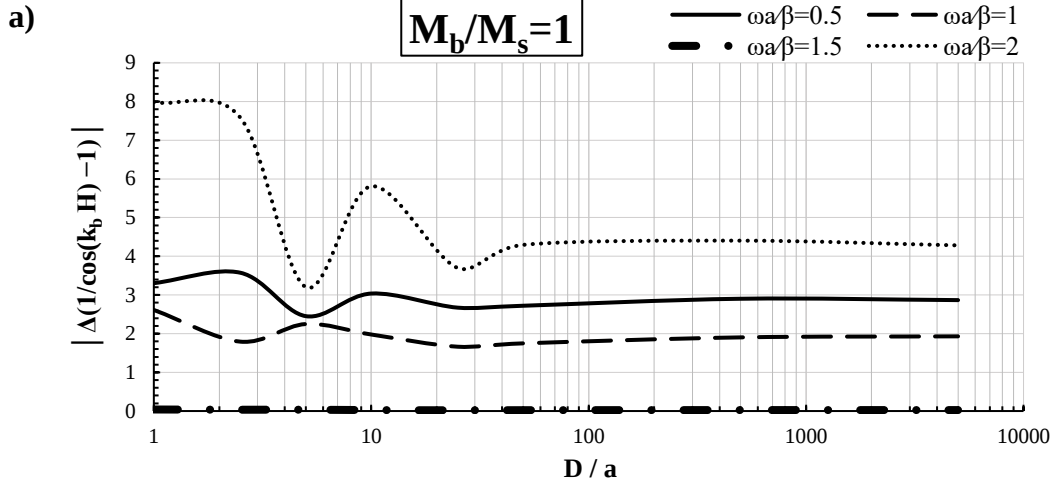
Şekil 5.29 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı değerinde farklı D mesafelerinde bulunan ve farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıda oluşan genlik değerleri.

Şekil 5.30 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.30 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.30 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 0.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 1.5$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $\omega a/\beta = 2$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin D/a' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Yapı dik yamaca yeteri kadar uzaklıkta rölatif genlik değerleri stabil duruma gelmektedir. Gelme açısı artışında ise rölatif genliğin stabil olma durumu binanın dik yamaca olan uzaklığıyla doğru orantılı olduğu görülmektedir.



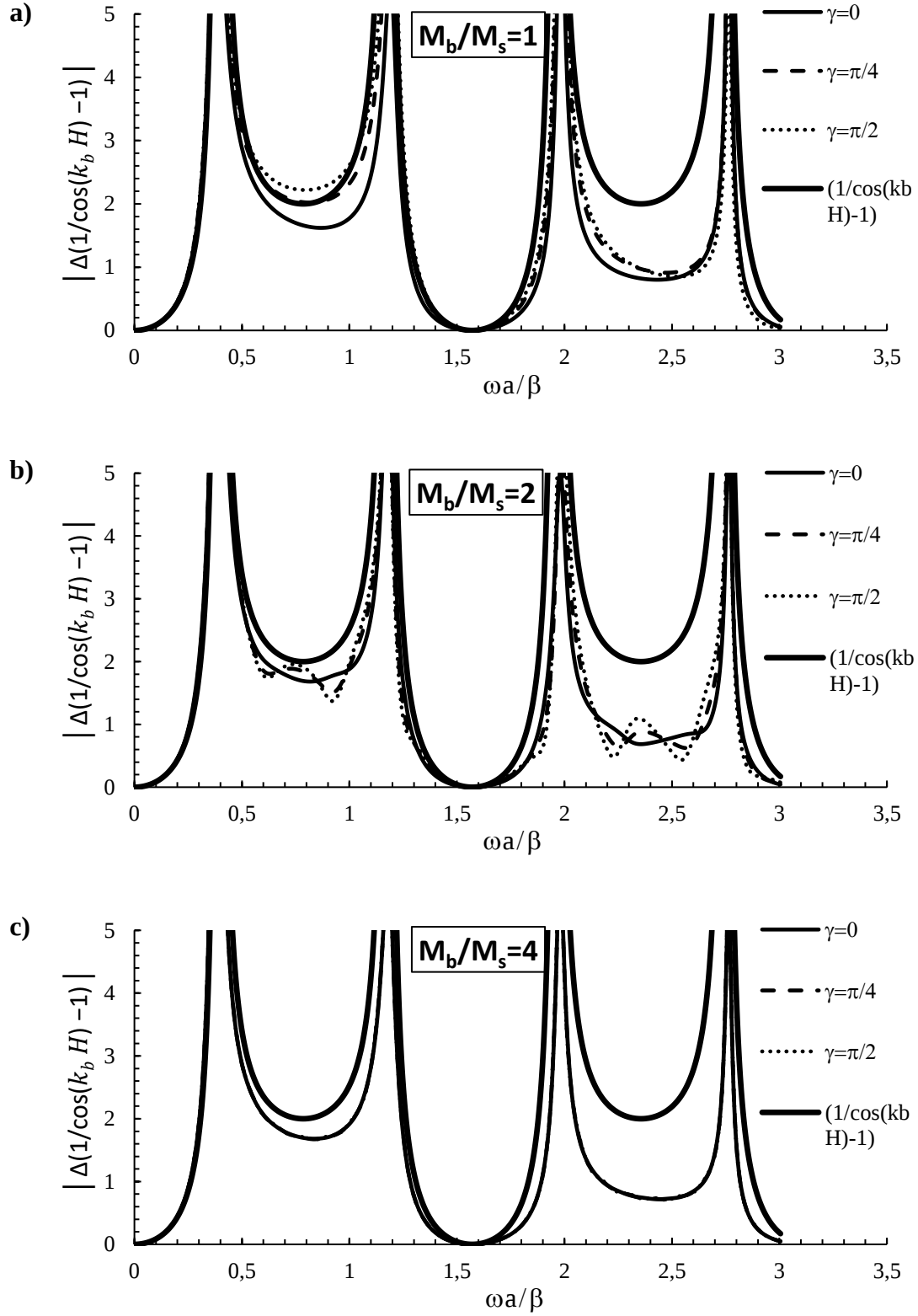
Şekil 5.30 : $\gamma = \pi/2$ geliş açısı için belli dalga sayısı değerlerinde D mesafesi değişiminin genliğe etkisi.

Şekil 5.31 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.31 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.31 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 1$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta$ ' ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir.



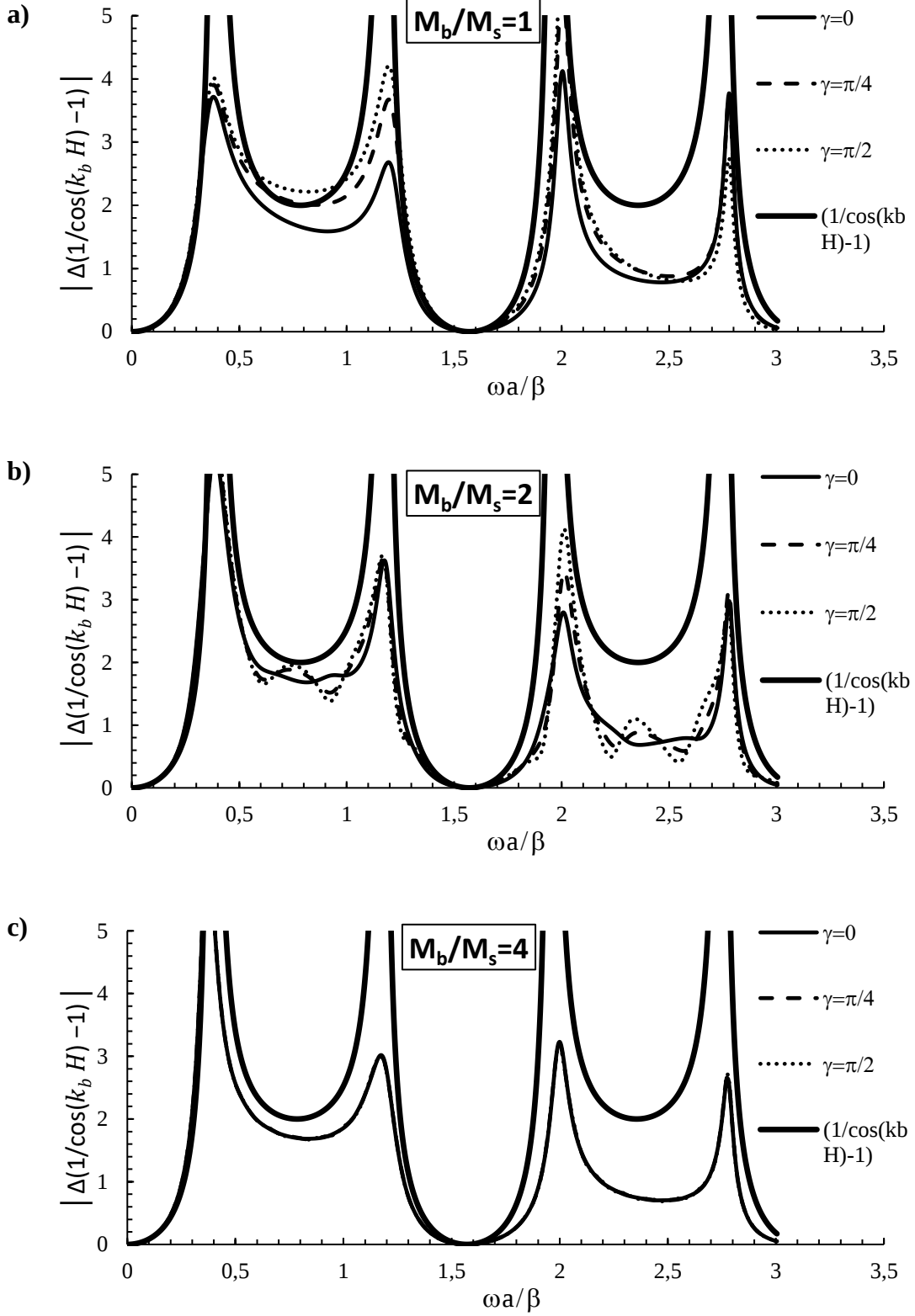
Şekil 5.31 : $D = a$ uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.

Şekil 5.32 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.32 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.32 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 10$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a/\beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir.



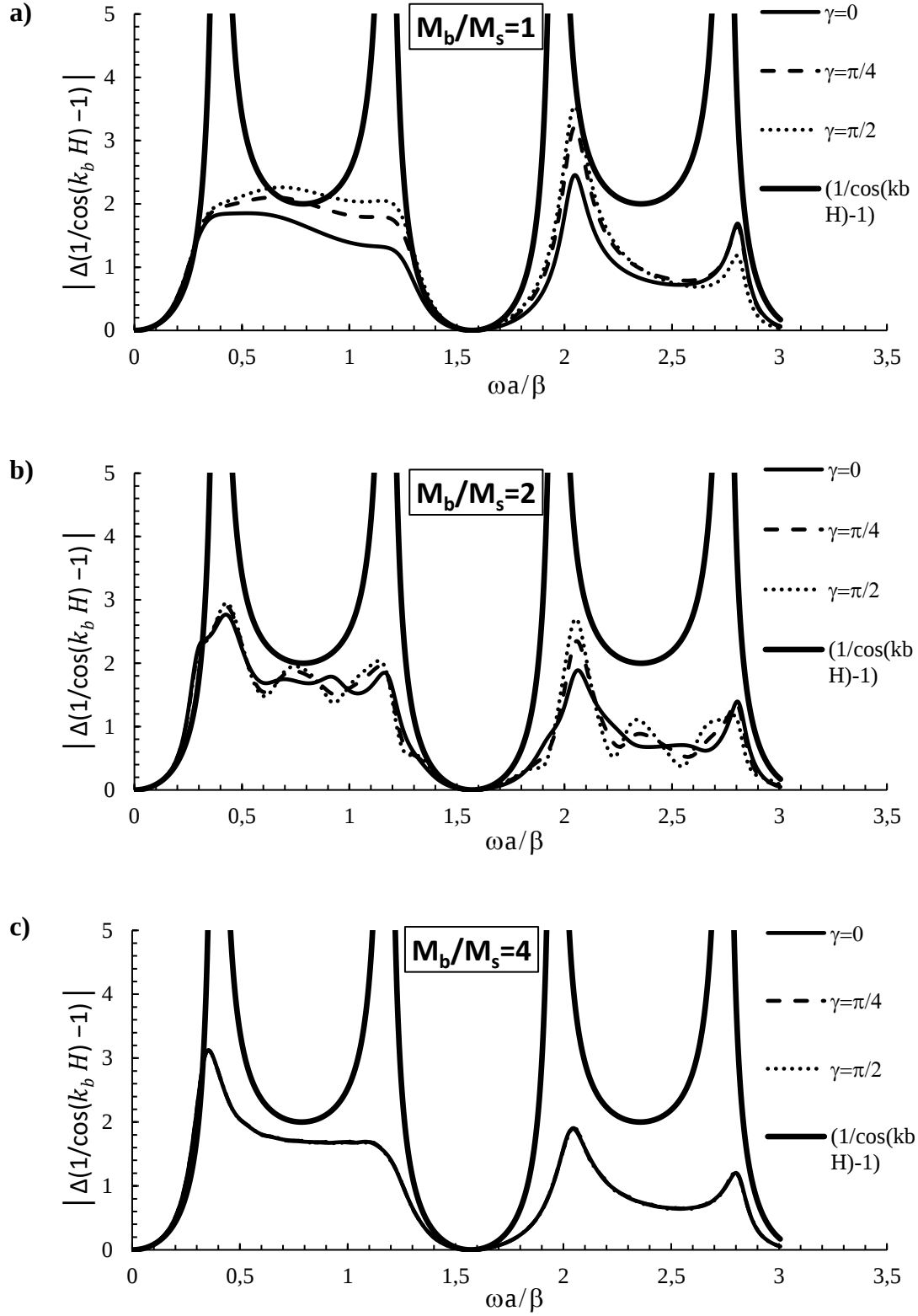
Şekil 5.32 : $D = 10$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.

Şekil 5.33 (a)' da, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 1$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir. Trifunac'ın [14] çalışmasında gösterdiği üzerine etkileşimin ihmal edildiği durum karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir.

Şekil 5.33 (b)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 2$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.33 (c)' de, $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = 0$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ile $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/4$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ ve $r = a$, $\varepsilon = 4$, $\gamma = \pi/2$, $D/a = 5000$, $M_0/M_s = 1$, $M_b/M_s = 4$ için $|\Delta (1/\cos(k_b H) - 1)|$ genliğinin $\omega a / \beta'$ ya göre değişimi gösterilmektedir.

M_b/M_s 1 ve 2 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişirken, M_b/M_s 4 değeri için rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. Dalga geliş açısı arttıkça rölatif yer değiştirme genlikleri artmakta ve genliklerde düzensizlikler belirginleşmektedir. Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'e bakıldığında yapının yamaca olan mesafe arttığında geliş açısına bağlı genlik aralıkları azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.33 : $D = 5000$ a uzaklıkta yer alan farklı M_b/M_s değerlerine sahip yapıya etkileyen farklı γ geliş açılı dalgaların yapıda meydana getirdiği göreceli genlik değerleri.

Sayısal sonuçlar iki bölüm şeklinde ele alınmıştır. İlk bölümde temelin mutlak yer değiştirme genliği üzerinde durulmuştur. Öncelikle simetrik olması sebebiyle esas yapının ve sanal yapının mutlak yer değiştirme genlikleri eşit çıkmaktadır. Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça genlik değerlerinin yapıya etkiyen SH dalgası geliş açısından bağımsız olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça bulunan değerler Trifunac'ın tek yapı için incelediği yapı-zemin etkileşim probleminde elde ettiği değerlerle bire bir örtüşmektedir. Yapının yamaca yakın konumlarda yer aldığı durumlarda ise yapı geliş açısından etkilenmekte, geliş açısı arttıkça genlik değerlerinin arttığı ve yerel tepe ve çukur noktalarının belirginleştiği görülmektedir. İkinci bölümde ise yapının rölatif yer değiştirme genliği irdelenmiştir. Yapının dik yamaca olan mesafesi arttıkça görelî yer değiştirme genlik değerlerinin oluşturduğu çukur ve tepe sıklıkları artmaktadır. Yeteri kadar uzak mesafede ise rölatif genlik değerleri Trifunac'ın tek yapı için analiz ettiği çalışmada elde ettiği sonuçlara yakınsamaktadır. M_b/M_s değeri sıfıra yaklaşırken yani yapının birim uzunluğunun kütlesi azaldıkça yapı-zemin etkileşiminin ihmal edildiği, arttığında ise etkileşimin çok belirgin olduğu görülmektedir. M_b/M_s değerinin büyük olduğu durumlarda rölatif yer değiştirme genlikleri geliş açısına bağılı olarak değişiklik göstermez iken, M_b/M_s değerinin küçük olduğu durumlar için rölatif yer değiştirme genliklerinin geliş açısına bağılı olarak değiştiği sonucu ortaya çıkmaktadır.



6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapıların deprem etkilerine karşı tasarlanması ve inşa edilmesi için hemen hemen depremin etkili olduğu bütün ülkelerde depreme karşı yapıların tasarımı için yönetmelikler mevcuttur. Bu tasarım kodları malzeme özelliklerinin, teknolojinin ve yapım tekniklerinin ilerlemesine bağlı olarak depreme karşı daha dayanıklı yapılar için geliştirilmektedir. Ülkemizde de 1975, 1998, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri örnek olarak gösterilebilir. Bu yönetmeliklerin oluşturulmasında deprem sonrası binalarda yapılan hasar incelemeleri, deneysel ve kuramsal çalışmaların sonuçlarından faydalanılmıştır. Bu sebeple bu konuda literatüre katkı sağlayacak bütün çalışmalar önem arz etmektedir. Genellikle literatürde depreme dayanıklı yapı tasarımlarında lineer veya nonlinear zaman tanım alanında analizler yapılmaktadır. Yapılan bu analizlerin çoğunda yapı zemin etkileşimi dikkate alınmamaktadır. Fakat frekans ortamında yapılan analizlerde dalga yayılımı yöntemiyle daha doğru bir şekilde ele alınabilmektedir. Bu yöntemde bütün ortamalar elastik kabul edilerek çözümler yapılabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajlarından en önemlisi karmaşık yapıların sınır koşullarına bağlı olarak analizlerinde bir çok zorluğun mevcut olmasıdır. Dalga yayılımı yöntemiyle geometrik olarak basit yapıların kapalı çözümleri yapılabilmektedir. Bu yöntemle yapıların fiziksel davranışları belirlenebilmekte ve daha karmaşık yapıların davranışları hakkında önemli bilgiler verebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, dik bir yamaç veya bir fay hattına yakın dairesel enkesitli bir yapının SH dalgasına karşı davranışları ele alınmaktadır. Burada amaç yamaç veya yakın fay etkisinin yapı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu çalışmada ele alınan model literatürde yaygın olarak kullanılan bir modeldir, bu model için literatürde yakın fay etkisi ve yamaç etkisi ele alınmaktadır.

Ele alınan problemde çeşitli parametrelerin değiştirilmesi ile oluşturulan grafikler Trifunac'ın ankastre temelli tek bir yapı için elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında ele alınan modelin dik bir yamaç kenarında olması sebebiyle literatürde yer alan dinamik yapı-zemin etkileşim problemlerinden ayrılmaktadır.

Sayısal sonuçlar yapının konumuna, malzeme özelliklerine, yüksekliğine ve zemin özelliklerine bağlı olarak elde edilmektedir. Yapı yamaca veya fay hattına yaklaştığında elde edilen sonuçlar, yamaç yüzeyinden yansıyan dalgalardan ve dalga geliş açısından önemli derecede etkilenmektedir. Yapının yamaca yakın olması durumunda temel yerdeğiştirmeleri yamaç olmaması durumunda elde edilen sonuçların civarında değişimler göstermektedir, fakat relatif yer değiştirmeler daha büyük olmaktadır. Eğer yapı yeteri derecede yamaçtan uzaksa, elde edilen sonuçların yamaçtan ve dalga geliş açısından etkilenmediği ve Trifunac'ın çalışmasında elde ettiği yamaçsız sonuçlarla üst üste düştüğü görölmektedir. Grafiklerden yamaç etkisinin ve geliş açısının yapının yamaç kenarına olan mesafesinin temel yarıçapının yaklaşık on katından daha yüksek olması durumunda azaldığı görölmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Graff, K.** (1991). *Wave Motion in Elastic Solids*. New York: Dover Publications.
- [2] **Pao, Y. H. ve Mow, C. C.** (1973). *Diffraction of Elastic Waves and Dynamics Stress Concentrations*. New York: Crane Russak.
- [3] **Çakıroğlu, A. O.** (1974). *Daireye Yakın Silindirik Oyuklardan SH Dalgasının Saçılması*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [4] **Lee, V. W. ve Trifunac M. D.** (1979). Response of Tunnels to Incident SH Waves. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 105(4), 643-659.
- [5] **Lee, V. W.** (1977). On Deformations Near Circular Underground Cavity Subjected to Incident Plane SH Waves. Vol. II, *Proceedings of the Applications of Computer Methods in Engineering Conference*, (pp.951-962). University of Southern California, Los Angeles.
- [6] **Lee, V. W. ve Manoogain, M. E.** (1996). Diffraction of SH Waves by Subsurface Inclusions. *Journal of Engineering Mechanics*, 122 (2), 123- 128
- [7] **Gregory, R. D.** (1967). An Expansion Theorem Applicable to Problems of Wave Propagation in an Elastic Half-Space. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 63, 1341-1367.
- [8] **Gregory, R. D.** (1970). The Propagation of Waves in an Elastic Half-Space Containing a Circular Cylindrical Cavity. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 67, 689-710.
- [9] **Datta, S. K.** (1978). Scattering of Elastic Waves. *Mech. Today*, 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*, 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. *Journal of Engineering Mechanics*, 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., Luco, J. E., Carriveau, A. R., Hradilek, P. J., Lastrico, R. ve Ostrom D.** (1970). Strong Earthquake Motion and Site Conditions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60, 1271-1289.
- [16] **Luco, J. E. ve De Barros F. C. P.** (1994). Seismic Response of a Cylindrical-Shell Embedded in a Layered Viscoelastic Half-Space. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23, 553-567.
- [17] **Hasheminejad, S. M. ve Rajabi, M.** (2008). Effect of FGM Core on Dynamic Response of a Buried Sandwich Cylindrical Shell in Poroelastic Soil to Harmonic Body Waves. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 85, 762-771.
- [18] **Lee, V. W., Chen, S. ve Hsu, I. R.** (1999). Antiplane Diffraction from Canyon above Subsurface Unlined Tunnel. *Journal of Engineering Mechanics*, 125(6), 668–675.
- [19] **Gao, Y., Chen, X., Zhang, N., Dai, D. ve Yu, X.** (2018). Scattering of Plane SH Waves Induced by a Semicylindrical Canyon with a Subsurface Circular Lined Tunnel. *International Journal of Geomechanics*, 18(6), 06018012.
- [20] **Hayir, A.** (2009). Dynamic Response of Long Channel Resting on the soil and excited by SH waves. *Structures Congress 2009*, (pp.1-10). United States : Texas, April 30-May 2.
- [21] **Wong, H. L. ve Trifunac, M. D.** (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.
- [22] **Jang, P., Yun, K., Paek, U., Ri, Y., Pak, H. ve Sok, M.** (2019). Dynamic response of two adjacent semi-cylindrical alluvial inclusions embedded in a bi-material half space surface by SH waves. *Waves in Random and Complex Media*, 31(6), 1416-1432.
- [23] **Jin, L., Liu, X., Sun, H. ve Zhou, Z.** (2021). An Analytical Solution for 2D Dynamic Structure-Soil-Structure Interaction for Twin Flexible Tunnels Embedded in a Homogeneous Half-Space. *Applied Science*, 11(21), 10343.
- [24] **Abramowitz, M. ve Stegun, I. A.** (1972). *Handbook of Mathematical Function with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*. New York.: Dover Publication.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Rohat İNATÇI

--

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü