

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**TABAKALI ZEMİNE GÖMÜLÜ SİLİNDİRİK KANALDA DEPREM
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aylin NAYMAN

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2018

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**TABAKALI ZEMİNE GÖMÜLÜ SİLİNDİRİK KANALDA DEPREM
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aylin NAYMAN
(501101207)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdul HAYIR

HAZİRAN 2018

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 501101207 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Aylin NAYMAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Tabakalı Zemine Gömülü Silindirik Kanalda Deprem Etkileri” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdul HAYIR**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayfer ERKEN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan COŞKUN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2018**

Savunma Tarihi : **04 Haziran 2018**



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Abdul HAYIR' a gösterdiği ilgi ve değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2018

Aylin NAYMAN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xvii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 SH Dalgalarının Kırınımı ve Saçılımı Üzerine Yapılan Araştırmalar	1
1.3 Karşı Düzlem Durumunda Yapı-Zemin Etkileşimi ile İlgili Çalışmalar	2
2. PROBLEM MODELİ.....	5
2.1 Polar Koordinat Sistemi	5
2.2 Problem Modeli.....	5
3. PROBLEMİN TANIMI.....	7
3.1 Zeminde ve Tabakada Meydana Gelen Etki	7
3.2 Tabaka ve Zemin Etkileşimi	9
4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ.....	11
4.1 a_n, b_n, c_n, d_n, e_n ve g_n Katsayılarının Hesaplanması.....	11
4.1.1 Bilinmeyenlerin bulunması için uygun denklemlerin oluşturulması	11
4.1.2 Denklem takımlarının çözümü.....	17
4.2 Rijit Kanalda Oluşan Yerdeğiştirmenin Hesaplanması.....	17
4.2.1 c_0 ve d_0 bilinmeyen katsayıların hesabı.....	17
4.2.2 Yerdeğiştirme genliğinin bulunması.....	18
5. SAYISAL UYGULAMALAR.....	21
5.1 Zeminin Tabakadan Daha Sert Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar	21
5.2 Zeminin Tabaka ile Aynı Rijitlikte Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar	25
5.3 Zeminin Tabakadan Daha Esnek Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar.....	30
5.4 Zeminin Tabakadan Daha Esnek,Tabaka ile Aynı Rijitlikte ve Tabakadan Daha Sert Olma Durumlarının Karşılaştırılması	34
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49
EKLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	55

SEMBOLLER

l_1	: Yarı dairesel kesitli kanalın yarıçapı
l_2	: Yarı dairesel kesitli silindirik tabakanın yarıçapı
a_n, b_n	: Kanal için karmaşık katsayılar
c_n, d_n, e_n, g_n	: Tabaka için karmaşık katsayılar
C_x, C_y	: x ve y yönlerindeki hızlar
f_z^f	: Kanalın birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
f_z^t	: Tabakanın birim uzunluğuna etkiyen kuvvet
$H_p^{(1)}(x)$: Birinci nevi Hankel fonksiyonu
$H_p^{(2)}(x)$: İkinci nevi Hankel fonksiyonu
i	: Sanal birim
$J_p(x)$: Birinci nevi Bessel fonksiyonu
k	: Topraktaki dalga sayısı
k_r	: Kanaldaki dalga sayısı
k_f	: Tabakadaki dalga sayısı
M_0	: Kanalın birim uzunluğunun kütlesi
M_s	: Zeminin birim uzunluğunun kütlesi
M_f	: Tabakanın birim uzunluğunun kütlesi
r	: Kutupsal koordinatlarda mesafe
t_1	: Kanal kalınlığı
t_2	: Tabaka kalınlığı

u_z^{g+y}	: Gelen ve serbest yüzeyden yansıyan SH dalgaları için yerdeğiştirme alanı
u_z^f	: Tabakada oluşan yerdeğiştirme alanı
u_z^r	: Kanaldan saçılan SH dalgaları için yerdeğiştirme alanı
u_z^s	: Zeminde oluşan toplam yerdeğiştirme alanı
x	: Kartezyen koordinat
y	: Kartezyen koordinat
z	: Kartezyen koordinat
χ	: Zeminin rijitliğinin tabakanın rijitliğine oranı
β_r	: SH dalgalarının kanaldaki hızı
β_f	: SH dalgalarının tabakadaki hızı
β_s	: SH dalgalarının zemindeki hızı
γ	: SH dalgalarının geliş açısı
Δ	: Kanalın yerdeğiştirme genliği
λ	: Kanal yarıçapı ile tabaka yarıçapı arasındaki oran
θ	: Kutupsal koordinatta açı
μ_r	: Kanalın kayma modülü
μ_f	: Tabakanın kayma modülü
μ_s	: Zeminin kayma modülü
ρ_r	: Kanalın özkütlesi
ρ_f	: Tabakanın özkütlesi
ρ_s	: Zeminin özkütlesi
ω	: Açısal frekans

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Model.....	5
Şekil 3.1 : Birim kanal uzunluğu için serbest cisim diyagramı.	10
Şekil 5.2 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	23
Şekil 5.3 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	24
Şekil 5.4 : $\lambda=2.0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	25
Şekil 5.5 : Farklı λ değerlerinin genliğe etkisi.	26
Şekil 5.6 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	27
Şekil 5.7 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	28
Şekil 5.8 : $\lambda=2.0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	29
Şekil 5.9 : Farklı λ değerlerinin genliğe etkisi.	31
Şekil 5.10 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	32
Şekil 5.11 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	33
Şekil 5.12 : $\lambda=2,0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.	34
Şekil 5.13 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.....	35
Şekil 5.14 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.....	36
Şekil 5.15 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.....	37
Şekil 5.16 : $\lambda=1.6$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	38
Şekil 5.17 : $\lambda=1.6$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	39
Şekil 5.18 : $\lambda=1.6$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	40
Şekil 5.19 : $\lambda=1.8$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	41
Şekil 5.20 : $\lambda=1.8$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	42
Şekil 5.21 : $\lambda=1.8$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	43
Şekil 5.22 : $\lambda=2.0$ değerinde Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması	44

- Şekil 5.23** : $\lambda=2.0$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması **45**
- Şekil 5.24** : $\lambda=2.0$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması **46**





TABAKALI ZEMİNE GÖMÜLÜ SİLİNDİRİK KANALDA DEPREM ETKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, γ geliş açılı SH dalgalarının etkidiği, yarım uzay yüzeyinde bulunan yarı dairesel kesitli silindirik kanalın, dış yüzeyine tam bağlı olan yarı dairesel kesitli bir tabakanın zeminden daha sert, daha esnek ve zemin ile eşit rijitlikte olma durumlarındaki analizi yapılmaktadır.

Gelen ve serbest yüzeyden yansıyan SH dalgalarından dolayı oluşan yerdeğiştirme alanı kartezyen koordinatlarda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

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

Bu ifade de;

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

olmaktadır.

Söz konusu problemdeki kanalın yarı dairesel kesitli olması ve sonsuz seri çözümünün kullanılacak olmasından dolayı, koordinat sisteminin kutupsal koordinat sistemi olarak seçilmesi uygun olacaktır. Kutupsal koordinat sistemi ile kanal etrafındaki sınır koşullarının uygulanması kolaylaşacaktır.

Kutupsal koordinat sisteminde (A.1) ifadesi,

$$u_z^{g+y} = u_0 e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (\text{A.3})$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (\text{A.4})$$

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

Tabakadan yansıyan SH dalgaları “saçılma” olarak adlandırılmıştır ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$u_z^r = u_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr) \cos(2n\theta) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (\text{A.5})$$

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

Zemindeki toplam yerdeğiştirme alanı, tabakadan saçılan SH dalgalarından dolayı oluşan yerdeğiştirme alanı ile gelen ve serbest yüzeyden yansıyan SH dalgalarından dolayı oluşan yerdeğiştirme alanlarının toplanması ile elde edilir.

$$u_z^s = u_z^{g+y} + u_z^r \quad (\text{A.6})$$

Tabakada oluşan yerdeğiştirme alanı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$u_z^f = u_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[c_n H_{2n}^{(1)}(k_f r) + d_n H_{2n}^{(2)}(k_f r) \right] \cos(2n\theta) \right. \\ \left. + \left[e_n H_{2n+1}^{(1)}(k_f r) + g_n H_{2n+1}^{(2)}(k_f r) \right] \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (\text{A.7})$$

Burada, c_n , d_n , e_n , g_n bilinmeyen katsayılar; $H_p^{(1)}(k_f r)$, p . dereceden $(k_f r)$ argümanlı birinci nevi Hankel fonksiyonudur.

Toplam yerdeğiştirme alanı u_z^s aşağıdaki yönetici denklemi $r \geq l_2$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ için, tabakada oluşan yerdeğiştirme alanı u_z^f ise, $l_2 \geq r \geq l_1$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ için aşağıdaki yönetici denklemi sağlamalıdır:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (\text{A.8})$$

u_z^s , serbest yüzeyde aşağıdaki sınır şartını da sağlamalıdır:

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_s}{r} \frac{\partial u_z^s}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad r > l_2 \quad (\text{A.9})$$

Tabakadaki yerdeğiştirme alanı u_z^f , serbest yüzeyde aşağıdaki sınır şartını sağlamalıdır:

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_f}{r} \frac{\partial u_z^f}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad l_1 \leq r \leq l_2 \quad (\text{A.10})$$

Kanal ile tabakanın birleşme yüzeyi olan $r=l_1$ ' de,

$$u_z^f = \Delta e^{i\omega t} \quad r = l_1 \quad (\text{A.11})$$

sınır şartı sağlanmalıdır. Burada Δ , rijit kanalın bilinmeyen yerdeğiştirme genliğidir.

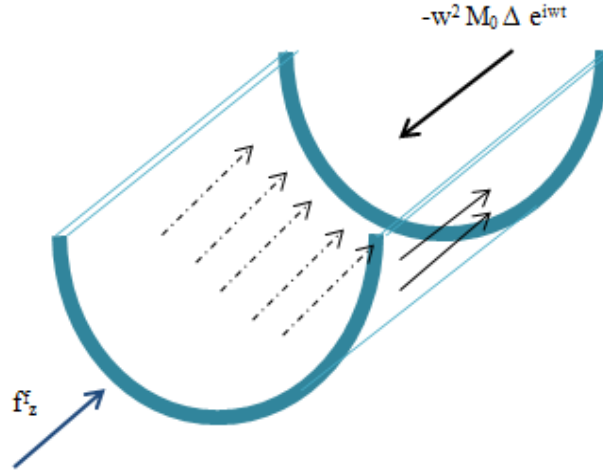
Ayrıca tabaka dış yüzeyi $r = l_2$ ' de,

$$\sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} = \mu_s \frac{\partial u_z^s}{\partial r} \quad r = l_2 \quad (\text{A.12})$$

$$u_z^f = u_z^s \quad r = l_2 \quad (\text{A.13})$$

sınır şartları da sağlanmalıdır.

Bilinmeyen a_n , b_n , c_n , d_n , e_n ve g_n katsayıları, (A.11), (A.12) ve (A.13) sınır şartlarını sağlayacak şekilde bulunurlar. Rijit kanal için Luco (1969) tarafından verilen hareket denklemi yazılarak bilinmeyen Δ yerdeğiştirme genliği bulunabilir.



Şekil A.1 : Birim kanal uzunluğu için kuvvet dengesi.

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^f + f_z^s) \quad (\text{A.14})$$

Burada M_0 kanalın birim uzunluğunun kütlesini, f_z^f kanalı çevreleyen yarı dairesel kesitli silindirik tabakanın birim uzunluğuna etki eden taban kesme kuvvetini ifade etmektedir.

$$f_z^f = -l_1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sigma_{rz}|_{r=l_1} d\theta \quad \rightarrow \quad \sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} \quad (\text{A.15})$$

Burada, kuvvet denge denklemleri ve sınır şartları kullanılarak Δ bilinmeyenini içeren denklem elde edilir ve bu denklem takımının çözülmesi ile de Δ rijit kanalın yerdeğiştirme genliği belirlenir.

Sayısal analizlerle elde edilen sonuçlar, kanalın dış yüzeyine yapışık olan tabakanın zeminden daha esnek, daha sert ve zemin ile eşit rijitlikte olma durumlarında, zeminin ve tabakanın farklı özelliklerine göre elde edilmektedir. Tabakanın zeminden daha esnek olması durumunda kanalda oluşan genlik artarken, tabakanın zeminden daha sert olması durumunda kanalda oluşan genlik azalmaktadır.



EARTHQUAKE EFFECTS ON CYLINDRICAL CHANNEL EMBEDDED IN LAYERED SOIL

SUMMARY

In this study, the effect of γ -angled SH waves is analyzed in the case of a rigid cylindrical channel with a semi-circular cross-section resting on one elastic layer. The layer is more flexible, harder and equally rigid than the half space.

Incident and reflected SH waves can be expressed in cartesian coordinates as

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

where

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

In this problem, polar coordinate system is considered due to the half-circular channel and the layer. The solution of the problem includes infinite series solutions. It is easy to apply boundary conditions around the channel.

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

$$u_z^{g+y} = u_0 e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (\text{A.3})$$

where

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (\text{A.4})$$

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

The waves reflecting from the half-circular channel are called scattering waves and can be expressed as follows;

$$u_z^R = u_0 e^{i \omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(k r) \cos(2 n \theta) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(k r) \sin((2 n+1) \theta) \right\} \quad (\text{A.5})$$

where a_n, b_n are unknown coefficients and $H_p^{(2)}(k r)$ is the Hankel function of the second kind with argument $(k r)$ and order p .

Total displacement in the soil is sum of scattering waves and incident and reflected waves.

$$u_z^s = u_z^{g+y} + u_z^r \quad (\text{A.6})$$

The displacement in the layer can be expressed as

$$u_z^f = u_0 e^{i \omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[c_n H_{2n}^{(1)}(k_f r) + d_n H_{2n}^{(2)}(k_f r) \right] \cos(2 n \theta) + \left[e_n H_{2n+1}^{(1)}(k_f r) + g_n H_{2n+1}^{(2)}(k_f r) \right] \sin((2 n+1) \theta) \right\} \quad (\text{A.7})$$

where c_n, d_n, e_n, g_n are unknown coefficients and $H_p^{(1)}(k_f r)$ is the Hankel function of the first kind with argument $(k_f r)$ and order p .

Total displacement u_z^s and the displacement in the layer u_z^f must satisfy the following governing differential wave equation

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (\text{A.8})$$

for $r \geq l_1$ and $|\theta| \leq \pi/2$.

Also the following boundary conditions must be ensured

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_s}{r} \frac{\partial u_z^s}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad r > l_2 \quad (\text{A.9})$$

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_f}{r} \frac{\partial u_z^f}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad l_1 \leq r \leq l_2 \quad (\text{A.10})$$

$$u_z^f = \Delta e^{i \omega t} \quad r = l_1 \quad (\text{A.11})$$

$$\sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} = \mu_s \frac{\partial u_z^s}{\partial r} \quad r = l_2 \quad (\text{A.12})$$

$$u_z^f = u_z^s \quad r = l_2 \quad (\text{A.13})$$

where Δ is the unknown movement of rigid channel. The unknown $a_n, b_n, c_n, d_n, e_n, g_n$ unknown coefficients are determined as satisfying boundary conditions given by (A.11), (A.12) and (A.13). The unknown movement of rigid channel Δ is determined by the equation given by Luco for rigid foundation.

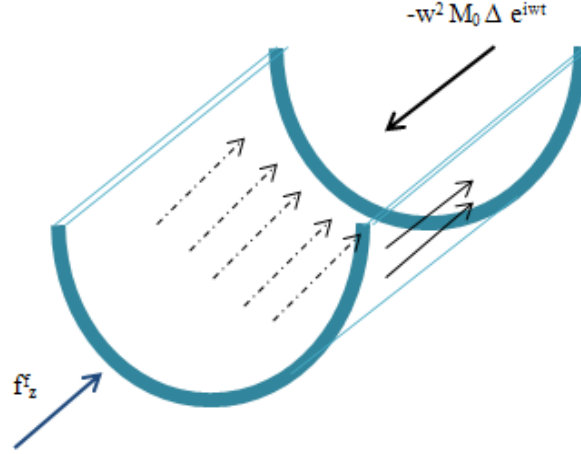


Figure A.1 : Force equilibrium for channel per unit length.

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -(f_z^f + f_z^s) \quad (\text{A.14})$$

where M_0 is mass of channel per unit length, f_z^f is the action of the layer on the channel.

$$f_z^f = -1_1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sigma_{rz}|_{r=1_1} d\theta \quad \rightarrow \quad \sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} \quad (\text{A.15})$$

The impedance function (Δ) is determined by using Newton's second Law. Finally, numerical results are obtained for different parameters of the soil and layer, and discussed. The amplitude of the channel increases when the layer is flexible and the amplitude of channel decreases when the layer is stiff.



1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Son yıllarda sismik dalgaların yapılar ile etkileşimi alanındaki çalışmalar hızla artmaktadır. Elastik ortamda, düzlem SH dalgalarının saçılım ve kırınım problemi mühendislik çalışmalarında oldukça önemlidir.

Dalgaların düzgün sınırlardan geçişi ile saçılım oluşur. Kırınımın ise dalgaların dar boşluklardan, engellerden veya keskin kenarlı cisimlerden geçişi ile oluştuğu söylenebilir. Elastisite teorisi kapsamında kırınım, yakın geçmişte incelenmeye başlanmıştır. Bazı ses testleri, dinamik gerilme artışları ve darbeler bu çerçevede ele alınmaktadır.

Sismolojide, doğalgaz ve petrol arama çalışmalarında, jeofizikte ve mekanikte dinamik gerilme hesapları yapılırken dalga saçılımı ve kırınım ile ilgili araştırmalar son zamanlarda artmıştır [1].

Homojen elastik yarı düzlemde olan tek bir yapının yapı-zemin etkileşimi ve yine aynı yarı düzlemde yapılmış olan iki adet yapının karşı düzlem etkisinde yapı-zemin-yapı etkileşimi çalışmaları literatürde yapılmıştır. Homojen ve elastik yarı uzaydaki, deprem dalgaları etkisi altındaki bir yapının dinamik yapı-zemin etkileşimi, temele tam bağlı olan yarı dairesel kesitli bir katmanın farklı esneklik özelliklerine göre incelendiği bir çalışma da literatürde mevcuttur.

Bu tezde, homojen, elastik yarı düzlemde, karşı düzlem etkisi altındaki silindirik ince bir tabakanın zemin ile etkileşimi, kanala tam bağlı olan yarı dairesel en kesitli silindirik bir tabakanın farklı esneklik değerlerine göre incelemesi yapılmıştır.

1.2 SH Dalgalarının Kırınımı ve Saçılımı Üzerine Yapılan Araştırmalar

SH dalgalarının kırınım ve saçılımı ile ilgili çalışmalara 20. yüzyıl başlarında başlanmış ve hızla geliştirilmiştir. Geçmiş yıllarda bu çeşit araştırmalar akustik ve elektromanyetik konuları üzerine yapılmıştır.

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların ilki, sonsuz bir ortamda bulunan oyuktan saçılan dalgaların analitik analizleri üzerinedir [2]. Söz konusu çalışmada farklı frekanslarda delik etrafındaki dinamik gerilme artışları, delikten saçılmış olan dalganın şiddeti, açılma dağılımı ve saçılma gücü hesaplanmıştır.

Daha sonraki dönemlerde yarım düzlem için bu çeşit durumlar araştırılmış ve gelen SH dalgalarının dairesel tünel için farklı bir ortamdan saçılımının ve kırınımının analitik çözümleri yapılmıştır [3]. Bu analitik çözümler yarım uzayda düzlem dairesel delik için [4] ve yarım uzayda dönel elipsoid dolgu malzemeli cisim için elde edilmiştir [5].

Çeşitli kapalı çözümler Gregory [6] tarafından araştırılmış ve bu çözümler yarı uzaydaki dairesel oyuklar için uygulanmıştır [7]. Bu problemi Datta asimptotik açılım yöntemi ile çözerek geliştirmiştir [8]. Dravinski, karmaşık şekilli çeşitli malzemeler için Green fonksiyonlarını kullanmış ve sınır integral yaklaşımı ile sonuçlar elde etmiştir [9].

1.3 Karşı Düzlem Durumunda Yapı-Zemin Etkileşimi ile İlgili Çalışmalar

Sismik dalgaların etkimesi sonucu oluşan dinamik yapı-zemin etkileşimi son yıllarda çalışmaların arttığı bir konudur. Bu etkileşim, yapıdaki gerilmelerin hesabında ve meydana gelen yer hareketinin çözümünde önemli rol oynamaktadır [9, 10].

Yapı ile zemin arasındaki etkileşimin birkaç özelliğini kanıtlamak amacı ile Luco, homojen, elastik, yarı uzay ortamında bulunan rijit ve yarı silindirik bir temel üzerinde sonsuz uzunluğa sahip dikdörtgen şeklindeki yapıya SH dalgalarının etkidiği modeli incelemiştir [12]. Trifunac, Luco' nun bu araştırmasını geliştirerek SH dalgalarının açı değişimini ekleyip, temel etrafındaki zemin yüzey genliklerini irdelemiştir [13].

Yapı ile zemin arasındaki etkileşim hakkındaki deneysel çalışmalar, zeminin yüzey hareketi ve yapı temellerinin eşzamanlı olarak elde edilen değerlerine bağlı olarak Housner [11] ile Duke [14] tarafından ele alınmıştır.

Luco tarafından ileriki dönemlerde ortaya konulan metot, tabakalı yarım düzlemde ve harmonik düzlemsel dalgalara maruz kalan dairesel kesitli sonsuz uzunluktaki kabuğun üç boyutlu harmonik davranışını içermektedir [15].

Hasheminejad ve Rajabi, elastik ortamda sıvıya doygun, gözenekli, zemine gömülü, keyfi kalınlıkta, izotropik ve işlevselliğine göre düzenlenmiş silindirik kabukta ilerleyen düzlem sismik dalgaların iki boyutlu dinamik etkileşimini araştırmışlardır [16].

Yakın zamanlarda ise Fang fonksiyonel olarak düzenlenmiş dairesel boşluklu maddeden oluşan yarı sonsuz bir levhada kesme dalgalarının ve gerilme enerjisi yoğunluğunun saçılması üzerine bir araştırma yapmak için teorik bir metot üzerine çalışma yapmıştır [17].



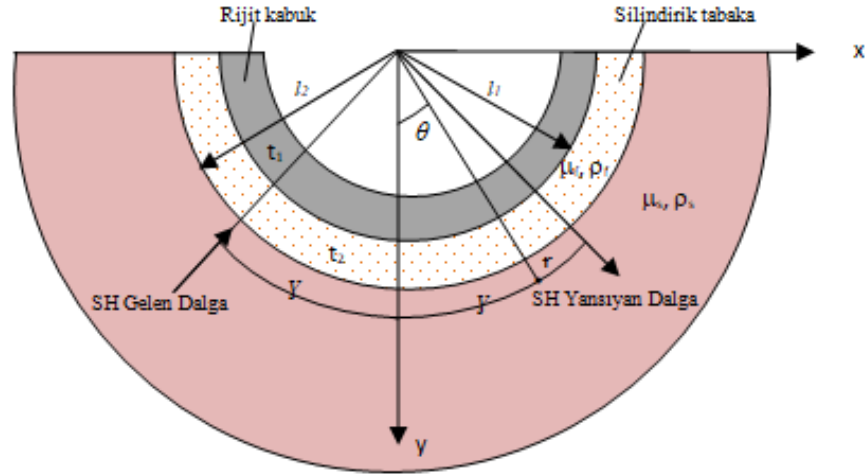


2. PROBLEM MODELİ

2.1 Polar Koordinat Sistemi

Bu çalışmada, yarı dairesel en kesitli bir kanalın analizini gerçekleştirebilmek ve sonsuz seri çözümünü elde edebilmek için, polar koordinat sistemini seçmek uygundur.

2.2 Problem Modeli



Model.

Ele alınan modelde, homojen elastik yarı düzlemde, dış yüzeyine tam bağlı yarı dairesel kesitli silindir şeklindeki bir tabakanın (katmanın) yarı dairesel kesitli kanala yerleşmiş durumu gösterilmektedir.

Yarı dairesel kesitli kanalın yarıçapı l_1 , kanalın üzerine tam bağlı olan yarı dairesel kesitli silindirik tabakanın kalınlığı $t_2 = (l_2 - l_1)$ ' dir.

Homojen, izotrop kanalın rijitliği (kayma modülü) μ_r , yoğunluğu ρ_r , SH dalgalarının kanaldaki hızı β_r ile ifade edilmektedir.

Tabaka, homojen, elastik ve izotrop olarak ele alınmaktadır. SH dalgalarının tabakadaki hızı β_f , rijitliği (kayma modülü) μ_f ve yoğunluğu ρ_f ile ifade edilmektedir.

Zeminin elastik, homojen ve izotrop olduğu farz edilmekte, SH dalgalarının zemindeki dalga hızı β_s , rijitliği (kayma modülü) μ_s ve yoğunluğu ρ_s ile ifade edilmektedir.



3. PROBLEMİN TANIMI

3.1 Zeminde ve Tabakada Meydana Gelen Etki

SH dalgalarının geliş açısı γ ile serbest yüzeye çarpması durumunda gelen ve yansıyan dalga hareketi,

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

şeklinde ifade edilir. Burada,

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

x ve y doğrultusundaki dalga hızlarını göstermektedir.

(3.1) denkleminde z alt indisi, yer değiştirmenin z doğrultusunda, hareketin x ve y düzlemlerinde meydana geldiğini gösterir. Denklemindeki g ve y , yüzeydeki hareketin gelen ve yansıyan dalgalarını temsil etmektedir. Bu denklemde x yönünde üretilen dalgalar C_x , y yönündeki dalgalar ise C_y ile gösterilmektedir.

Kanaldan saçılmış olan dalgalardan dolayı oluşan yerdeğiştirme u_z^r ile gösterilmektedir. Tabakanın bitişiğinde zeminde meydana gelen yer değiştirmenin alanı, gelen - yansıyan dalgalar ile kanaldan saçılan dalgaların toplamından oluşmaktadır.

$$u_z^s = u_z^{g+y} + u_z^r \quad (3.3)$$

Katmanda meydana gelen yerdeğiştirme alanı ise u_z^f ile gösterilmektedir. Toplam yerdeğiştirme alanı u_z^s , aşağıdaki yönetici denklemi $r \geq l_2$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ için, katmanda meydana gelen yerdeğiştirme alanı u_z^f ise aynı denklemi $l_2 \geq r \geq l_1$ ve $|\theta| \leq \pi/2$ aralıklarında gerçekleştirmelidir:

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

u_z^s , serbest yüzeyde aşağıdaki sınır şartını da sağlamalıdır:

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_s}{r} \frac{\partial u_z^s}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad r > l_2 \quad (3.5)$$

Katmanda oluşan yerdeğiştirme alanı u_z^f , aşağıdaki sınır şartını tabaka (katman) sınırları içinde gerçekleştirmelidir:

$$\sigma_{\theta z} = \frac{\mu_f}{r} \frac{\partial u_z^f}{\partial \theta} = 0 \quad \theta = \pm \frac{\pi}{2} \quad l_1 \leq r \leq l_2 \quad (3.6)$$

Bununla birlikte katman dış yüzeyi $r=l_2$ ' de, zeminde oluşan yerdeğiştirme ve gerilme, katmanda oluşan yerdeğiştirme ve gerilme ile eşit olmalıdır.

$$\sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} = \mu_s \frac{\partial u_z^s}{\partial r} \quad r = l_2 \quad (3.7)$$

$$u_z^s = u_z^f \quad r = l_2 \quad (3.8)$$

Kanal ile katmanın temas yüzeyi olan $r=l_1$ ' de,

$$u_z^f = \Delta e^{i\omega t} \quad r = l_1 \quad (3.9)$$

sınır koşulu gerçekleşmelidir. Burada Δ , rijit kanalın mutlak yerdeğiştirme genliğidir.

Bu sınır koşulları ile dikdörtgen koordinat sistemindeki (3.1) denklemini tekrar polar koordinat takımında gösterirsek:

$$u_z^{g+y} = u_0 e^{i\omega t} \left\{ J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(kr) \cos(2n\gamma) \cos(2n\theta) \right. \\ \left. - 2i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(kr) \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (3.10)$$

ifadesi çıkarılır. Burada,

$$k = \frac{\omega}{\beta} \quad (3.11)$$

zeminde oluşan dalga sayısını, $J_p(kr)$, p. dereceden (kr) argümanlı birinci tip Bessel fonksiyonlarını ifade eder.

Kanaldan saçılan dalgalardan dolayı oluşan yerdeğişmeler u_z^r polar koordinatlarda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$u_z^r = u_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n H_{2n}^{(2)}(kr) \cos(2n\theta) + b_n H_{2n+1}^{(2)}(kr) \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (3.12)$$

Burada, a_n ve b_n bilinmeyen kompleks katsayılar; $H_p^{(2)}(kr)$, p. dereceden (kr) argümanlı ikinci tip Hankel fonksiyonunu göstermektedir.

Tabakada oluşan u_z^f ise,

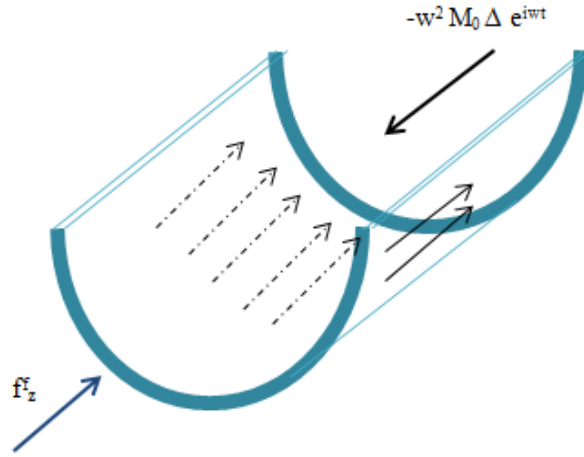
$$u_z^f = u_0 e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[c_n H_{2n}^{(1)}(k_f r) + d_n H_{2n}^{(2)}(k_f r) \right] \cos(2n\theta) + \left[e_n H_{2n+1}^{(1)}(k_f r) + g_n H_{2n+1}^{(2)}(k_f r) \right] \sin((2n+1)\theta) \right\} \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır [17]. Burada, c_n , d_n , e_n , g_n bilinmeyen katsayılar; $H_p^{(j)}(k_f r)$, p. dereceden ($k_f r$) argümanlı birinci tip Hankel fonksiyonunu gösterir.

Bilinmeyen katsayılar olan a_n , b_n , c_n , d_n , e_n ve g_n (3.7), (3.8) ve (3.9) sınır koşullarını sağlayacak şekilde bulunurlar.

3.2 Tabaka ve Zemin Etkileşimi

Gelen SH dalgalarının rijit kanal üzerine tam bağlı olan katmandan geçerek etkimesi durumunda kanalda meydana gelen mutlak yerdeğiştirme genliği Δ , yüksek esneklikli kanal için Newton'un ikinci kanunu ile elde edilebilir [12].



Şekil 3.1 : Birim kanal uzunluğu için serbest cisim diyagramı.

$$-\omega^2 M_0 \Delta e^{i\omega t} = -f_z^f \quad (3.14)$$

$$f_z^f = -l_1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sigma_{rz}|_{r=l_1} d\theta \quad \rightarrow \quad \sigma_{rz} = \mu_f \frac{\partial u_z^f}{\partial r} \quad (3.15)$$

Burada, M_0 kanalın birim uzunluğunun kütlesi olurken, f_z^f kanalı saran yarı dairesel kesitli silindirik katmanın birim boyuna gelen kesme kuvvetini göstermektedir.

4. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

4.1 a_n , b_n , c_n , d_n , e_n ve g_n Katsayılarının Hesaplanması

Bilinmeyen katsayılar olan a_n , b_n , c_n , d_n , e_n ve g_n (3.7), (3.8) ve (3.9) sınır koşullarına yerleştirilerek bulunacak denklemler yardımı ile hesaplanacaktır.

4.1.1 Bilinmeyenlerin bulunması için uygun denklemlerin oluşturulması

(3.7) sınır koşulları yeniden ifade edilirken basitlik sağlanması amacı ile;

$$\frac{\mu_s}{\mu_f} = \chi \quad (4.1)$$

eşitliği tanımlanır. Burada,

$$\chi = \chi_1^2 \chi_2 \quad (4.2)$$

$$\chi_1 = \frac{\beta_s}{\beta_f} \quad (4.3)$$

$$\chi_2 = \frac{\rho_s}{\rho_f} \quad (4.4)$$

eşitlikleri tanımlandığı durumda;

χ_1 , SH dalgalarının zemindeki hızının katmandaki hızına oranını, χ_2 ise zeminin yoğunluğunun katmanın yoğunluğuna oranını gösterir. Buradaki tanımlar yardımıyla sonuç kısmında, tabakanın zeminden daha rijit, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha yumuşak olduğundaki durumlar irdelenecektir. Buradaki açıklamalar ile (3.7) sınır koşulu tekrar yazılırsa,

$$\begin{aligned}
& e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left(c_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n-1}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + d_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n-1}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2) \right] \right) \cos(2n\theta) \right. \\
& \quad \left. + \left(e_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(1)}(k_f l_2) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + g_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k_f l_2) \right] \right) \sin((2n+1)\theta) \right\} \\
& = e^{i\omega t} \chi \left\{ -k J_0(k l_2) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n \frac{k}{2} \left[J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \cos(2n\gamma) \sin(2n\theta) \right\} \right. \\
& \quad \left. - 2i \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \frac{k}{2} \left[J_{2n}(k l_2) - J_{2n+2}(k l_2) \right] \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \sin((2n+1)\gamma) \sin((2n+1)\theta) \right\} \right. \\
& \quad \left. + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n \frac{k}{2} \left[H_{2n-1}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k l_2) \right] \cos(2n\theta) \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + b_n \frac{k}{2} \left[H_{2n}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k l_2) \right] \sin((2n+1)\theta) \right\} \right.
\end{aligned} \tag{4.5}$$

eşitliği elde edilir. Uygun basitleştirmelerle $\sin((2n+1)\theta)$ ve $\cos(2n\theta)$ ifadeleri ile karşılıklı eşitlemeler yapılırsa ve sadece parantez içindeki ifadeler dikkate alınarak tekrar düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left(c_n \frac{k_f}{2} [H_{2n-1}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2)] + d_n \frac{k_f}{2} [H_{2n-1}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2)] \right) \right\} \\
& - 2 \chi \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n \frac{k}{2} [J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2)] \cos(2n\gamma) \right\} \\
& - \chi \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n \frac{k}{2} [H_{2n-1}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k l_2)] \right\} = 0
\end{aligned} \tag{4.6}$$

ve,

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left(e_n \frac{k_f}{2} [H_{2n}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(1)}(k_f l_2)] + g_n \frac{k_f}{2} [H_{2n}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k_f l_2)] \right) \right\} \\
& + 2 i \chi \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \frac{k}{2} [J_{2n}(k l_2) - J_{2n+2}(k l_2)] \sin((2n+1)\gamma) \right\} \\
& - \chi \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ b_n \frac{k}{2} [H_{2n}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k l_2)] \right\} = 0
\end{aligned} \tag{4.7}$$

denklem takımları elde edilmektedir.

(4.6) denklemi yardımı ile;

$$\begin{aligned}
& c_n \frac{k_f}{2} [H_{2n-1}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2)] + d_n \frac{k_f}{2} [H_{2n-1}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2)] - \\
& 2 \chi (-1)^n \frac{k}{2} [J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2)] \cos(2n\gamma) - a_n \chi \frac{k}{2} [H_{2n-1}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+1}^{(2)}(k l_2)] = 0; \\
& (n=1,2,\dots)
\end{aligned}$$

ve,

$$c_0 \frac{k_f}{2} \left[H_{-1}^{(1)}(k_f l_2) - H_{+1}^{(1)}(k_f l_2) \right] + d_0 \frac{k_f}{2} \left[H_{-1}^{(2)}(k_f l_2) - H_{+1}^{(2)}(k_f l_2) \right] \\ - a_0 \chi \frac{k}{2} \left[H_{-1}^{(2)}(k l_2) - H_{+1}^{(2)}(k l_2) \right] - k \left[J_{-1}(k l_2) - J_{+1}(k l_2) \right] = 0$$

denklemleri yazılabilir.

(4.7) denklemi yardımı ile;

$$e_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n}^{(1)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(1)}(k_f l_2) \right] + g_n \frac{k_f}{2} \left[H_{2n}^{(2)}(k_f l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k_f l_2) \right] + \\ 2 \chi (-1)^n \frac{k}{2} \left[J_{2n}(k l_2) - J_{2n+2}(k l_2) \right] \sin((2n+1)\gamma) - b_n \chi \frac{k}{2} \left[H_{2n}^{(2)}(k l_2) - H_{2n+2}^{(2)}(k l_2) \right] = 0; \\ (n=0, 1, 2, \dots)$$

denklemleri yazılabilir.

(3.8) sınır koşulu, basitleştirmeler yapıp $\sin((2n+1)\theta)$ ve $\cos(2n\theta)$ parantezlerine alındıktan sonra,

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ c_n \left[H_{2n}^{(1)}(k_f l_2) \right] + d_n \left[H_{2n}^{(2)}(k_f l_2) \right] \right\} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left[J_{2n}(k l_2) \right] \cos(2n\gamma) \right\} \\ - \sum_{n=1}^{\infty} a_n H_{2n}^{(2)}(k l_2) = 0 \quad (4.8)$$

ve

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left\{ e_n \left[H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2) \right] + g_n \left[H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2) \right] \right\} \\ + 2i \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (-1)^n \left[J_{2n+1}(k l_2) \right] \sin((2n+1)\gamma) \right\} - \sum_{n=0}^{\infty} b_n H_{2n+1}^{(2)}(k l_2) = 0 \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir.

(4.8) denklemi yardımı ile;

$$c_n [H_{2n}^{(1)}(k_f l_2)] + d_n [H_{2n}^{(2)}(k_f l_2)] - 2(-1)^n [J_{2n}(k l_2)] \cos(2n\gamma) - a_n H_{2n}^{(2)}(k l_2) = 0;$$

$$(n=1,2,\dots)$$

ve,

$$c_0 [H_0^{(1)}(k_f l_2)] + d_0 [H_0^{(2)}(k_f l_2)] - [J_0(k l_2)] - a_0 H_0^{(2)}(k l_2) = 0$$

yazılabilir.

(4.9) denklemi yardımı ile;

$$e_n [H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2)] + g_n [H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2)] + 2i(-1)^n [J_{2n+1}(k l_2)] \sin((2n+1)\gamma) -$$

$$b_n H_{2n+1}^{(2)}(k l_2) = 0;$$

$$(n=0,1,2,\dots)$$

yazılabilir.

(3.9) sınır koşulu, basitleştirmeler yapıлып $\sin((2n+1)\theta)$ ve $\cos(2n\theta)$ parantezlerine alındıktan sonra,

$$\sum_{n=1}^{\infty} \{c_n [H_{2n}^{(1)}(k_f l_1)] + d_n [H_{2n}^{(2)}(k_f l_1)]\} = 0 \quad (4.10)$$

ve

$$\sum_{n=1}^{\infty} \{e_n [H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_1)] + g_n [H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_1)]\} = 0 \quad (4.11)$$

denklemler elde edilir.

(4.10) ve (4.11) denklemlerinin yardımı ile;

$$c_0 = \frac{\Delta - d_0 [H_0^{(2)}(k_f l_1)]}{[H_0^{(1)}(k_f l_1)]};$$

$$c_n = -d_n \frac{[H_{2n}^{(2)}(k_f l_1)]}{[H_{2n}^{(1)}(k_f l_1)]}; \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$e_n = -g_n \frac{[H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_1)]}{[H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_1)]}; \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

denklemleri yazılabilir.

(4.9) denklemini yardımı ile;

$$e_n [H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_2)] + g_n [H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_2)] + 2i(-1)^n [J_{2n+1}(k l_2)] \sin((2n+1)\gamma) -$$

$$b_n H_{2n+1}^{(2)}(k l_2) = 0;$$

$$(n=0, 1, 2, \dots)$$

yazılabilir.

(3.9) sınır koşulu, basitleştirmeler yapıp $\sin((2n+1)\theta)$ ve $\cos(2n\theta)$ parantezlerine alındıktan sonra,

$$\sum_{n=1}^{\infty} \{c_n [H_{2n}^{(1)}(k_f l_1)] + d_n [H_{2n}^{(2)}(k_f l_1)]\} = 0 \quad (4.10)$$

ve

$$\sum_{n=1}^{\infty} \{e_n [H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_1)] + g_n [H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_1)]\} = 0 \quad (4.11)$$

denklem takımları elde edilir.

(4.10) ve (4.11) denklemlerinin yardımı ile;

$$c_0 = \frac{\Delta - d_0 \left[H_0^{(2)}(k_f l_1) \right]}{\left[H_0^{(1)}(k_f l_1) \right]};$$

$$c_n = -d_n \frac{\left[H_{2n}^{(2)}(k_f l_1) \right]}{\left[H_{2n}^{(1)}(k_f l_1) \right]}; \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$e_n = -g_n \frac{\left[H_{2n+1}^{(2)}(k_f l_1) \right]}{\left[H_{2n+1}^{(1)}(k_f l_1) \right]}; \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

denklemleri yazılabilir.

4.1.2 Denklem takımlarının çözümü

Bilinmeyen a_n , b_n , c_n , d_n , e_n ve g_n karmaşık katsayıları, (4.6), (4.7), (4.8), (4.9), (4.10) ve (4.11) denklemleri yardımı ile hesaplanır [Ek 1]. Çözümler Mathematica paket programı kullanılarak yapılmaktadır.

4.2 Rijit Kanalda Oluşan Yerdeğiştirmenin Hesaplanması

(3.9) sınır şartı $n=0$ için yazılırsa,

$$\left[c_0 H_0^{(1)}(k_f l_1) + d_0 H_0^{(2)}(k_f l_1) \right] = \Delta \quad (4.12)$$

eşitliği elde edilir. Δ bilinmeyen rijit kanalın mutlak yerdeğiştirme genliği, sadece $n=0$ değeri için elde edilmekte olup, c_0 ile d_0 karmaşık katsayılarına bağlıdır. Aynı zamanda Δ , SH dalgalarının geliş açısı γ 'dan da bağımsızdır. Çözüm $n=0$ değeri için elde edileceğinden, c_0 ve d_0 kompleks bilinmeyenleri hesaplamak için Newton'un ikinci yasası yazılarak mutlak Δ yerdeğiştirmeler hesaplanacaktır.

4.2.1 c_0 ve d_0 bilinmeyen katsayıların hesabı

(4.6) ifadesi $n=0$ için tekrar yazılacak olursa,

$$\begin{aligned}
c_0 \frac{k_f}{2} \left[H_{-1}^{(1)}(k_f l_2) - H_{+1}^{(1)}(k_f l_2) \right] + d_0 \frac{k_f}{2} \left[H_{-1}^{(2)}(k_f l_2) - H_{+1}^{(2)}(k_f l_2) \right] \\
- a_0 \frac{k}{2} \left[H_{-1}^{(2)}(k l_2) - H_1^{(2)}(k l_2) \right] - \frac{k}{2} \left[J_{-1}(k l_2) - J_{+1}(k l_2) \right] \\
= 0
\end{aligned} \tag{4.13}$$

elde edilir.

(4.8) denklemi $n=0$ için yeniden ifade edilecek olursa,

$$c_0 \left[H_0^{(1)}(k_f l_2) \right] + d_0 \left[H_0^{(2)}(k_f l_2) \right] - [J_0(k l_2)] - a_0 H_0^{(2)}(k l_2) = 0 \tag{4.14}$$

elde edilmektedir.

Sonuç olarak (4.12), (4.13) ve (4.14) ifadelerinden c_0 ve d_0 hesaplanır.

$$\begin{aligned}
c_0 = & \left\{ k \chi H_1^{(2)}(k l_2) \left[J_0(k l_2) H_0^{(2)}(k_f l_1) - \Delta H_0^{(2)}(k_f l_2) \right] \right. \\
& \left. + H_0^{(2)}(k l_2) \left[-k \chi J_1(k l_2) H_0^{(2)}(k_f l_1) + k_f \Delta H_1^{(2)}(k_f l_2) \right] \right\} / \\
& \left\{ k \chi H_1^{(2)}(k l_2) \left[H_0^{(1)}(k_f l_2) H_0^{(2)}(k_f l_1) - H_0^{(1)}(k_f l_1) H_0^{(2)}(k_f l_2) \right] \right. \\
& \left. - k_f H_1^{(1)}(k_f l_2) H_0^{(2)}(k l_2) H_0^{(2)}(k_f l_1) + k_f H_0^{(1)}(k_f l_1) H_0^{(1)}(k l_2) H_1^{(2)}(k_f l_2) \right\}
\end{aligned} \tag{4.17}$$

$$\begin{aligned}
d_0 = & \left\{ \Delta \left[k_f H_1^{(1)}(k_f l_2) H_0^{(2)}(k l_2) - k \chi H_0^{(1)}(k_f l_2) H_1^{(2)}(k l_2) \right] \right. \\
& \left. + k \chi H_0^{(1)}(k_f l_1) \left[J_0(k l_2) H_1^{(2)}(k l_2) - J_1(k l_2) H_0^{(2)}(k l_2) \right] \right\} / \\
& \left\{ H_0^{(1)}(k_f l_1) \left[H_0^{(2)}(k_f l_2) k \chi H_1^{(2)}(k l_2) - k_f H_1^{(2)}(k_f l_2) H_0^{(2)}(k_f l_2) \right] \right. \\
& \left. - H_0^{(2)}(k_f l_1) \left[H_0^{(1)}(k_f l_2) k \chi H_1^{(2)}(k l_2) - k_f H_1^{(1)}(k_f l_2) H_0^{(2)}(k l_2) \right] \right\}
\end{aligned} \tag{4.18}$$

4.2.2 Yerdeğiştirme genliğinin bulunması

Newton ifadesini yazabilmek amacıyla kanalı saran yarı dairesel enkesitli silindirik katmanın birim hacim boyuna gelen yüzey kesme kuvveti $n=0$ değerine bağlı olarak yazılır ve

$$f_z^f = l_1 \mu_f \pi e^{i\omega t} \left[c_0 k_f H_0^{(1)}(k_f l_1) + d_0 k_f H_0^{(2)}(k_f l_1) \right] \quad (4.19)$$

eşitliği elde edilir.

Kanala tam bağlı olan yarı dairesel kesitli silindirik tabakanın alanı,

$$A = \frac{\pi(l_2^2 - l_1^2)}{2} \quad (4.20)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $l_2 = l_1 \lambda$ tanımı yapılır ise tabakanın alanı,

$$A = \frac{\pi}{2} l_1^2 (\lambda^2 - 1) \quad (4.21)$$

şeklini alır. Bu tanımla, tabakanın kalınlığı $t_2 = l_1(\lambda - 1)$ olarak ifade edilir ise, tabakanın kalınlığının değişimi λ terimine bağlı olur. Katmanın birim boyundaki kütlesi ise,

$$M_f = A \rho_f l \quad (4.22)$$

biçiminde gösterilir ve,

$$\rho_f = \frac{k_f^2}{\omega^2} \mu_f \quad (4.23)$$

eşitliğinden yararlanılarak f_z^f ifadesi tekrar yazılır ise,

$$f_z^f = \frac{2 \omega^2 M_f e^{i\omega t}}{k_f (\lambda^2 - 1)} \left[c_0 H_0^{(1)}(k_f l_1) + d_0 H_0^{(2)}(k_f l_1) \right] \quad (4.24)$$

elde edilmektedir.

Böylece Newton'un ikinci yasası kullanılıp gerekli basitleştirmeler yapılarak ve bütün ifade tabaka ağırlığı olan M_f 'ye bölünerek yazılırsa,

$$-\frac{M_0}{M_f} \Delta = -\frac{2}{k_f l_1 (\lambda^2 - 1)} \left[c_0 H_0^{(1)}(k_f l_1) + d_0 H_0^{(2)}(k_f l_1) \right] \quad (4.25)$$

elde edilmektedir. Burada M_0 kanalın ağırlığını gösterir.

(4.25) ifadesindeki denklem takımının Mathematica programı yardımıyla çözümlenerek rijit kanalın yer genliği Δ bulunabilir.

$$\Delta = \frac{((kM_f \chi (J_0(kl_2) H_1^{(1)}(kl_2) (H_1^{(1)}(kfl_1) H_0^{(2)}(kfl_1) - 1. H_0^{(1)}(kfl_1) H_1^{(2)}(kfl_1)) + J_1(kl_2) H_0^{(1)}(kl_2) (-1. H_1^{(1)}(kfl_1) H_0^{(2)}(kfl_1) + 1. H_0^{(1)}(kfl_1) H_1^{(2)}(kfl_1))))}{((k\chi(kfl_1 M_0 (0.5 - 0.5\lambda^2) H_0^{(1)}(kfl_1) + 1. M_f H_1^{(1)}(kfl_1)) H_1^{(1)}(kl_2) H_0^{(2)}(kfl_2) + k\chi H_0^{(1)}(kfl_2) H_1^{(1)}(kl_2) (kfl_1 M_0 (-0.5 + 0.5\lambda^2) H_0^{(2)}(kfl_1) - 1. M_f H_1^{(2)}(kfl_1)) + k_f H_0^{(1)}(kl_2) (H_1^{(1)}(kfl_2) (kfl_1 M_0 (0.5 - 0.5\lambda^2) H_0^{(2)}(kfl_1) + 1. M_f H_1^{(2)}(kfl_1)) + (kfl_1 M_0 (-0.5 + 0.5\lambda^2) H_0^{(1)}(kfl_1) - 1. M_f H_1^{(1)}(kfl_1)) H_1^{(2)}(kfl_2)))}$$



5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde elde edilen sayısal sonuçlar, kanala tam bağlı olan katmanın rijitliğinin zemine göre daha sert, zeminden daha yumuşak ve zemin ile eşit rijitlikte olma durumları için ele alınmıştır. Bu durumları göz önüne alarak, zemin ve katmanın farklı özelliklerine ve boyutlarına göre analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen grafikler mutlak genliğin değişimlerini göstermektedir.

5.1 Zeminin Tabakadan Daha Sert Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar

Bu kısımda analiz edilmiş sonuçlar zeminin tabakadan daha sert olma durumunu içermektedir. Tabakanın zeminden daha esnek olması durumu,

$$\chi_1 = \frac{\beta_s}{\beta_f} = 3$$

ve

$$\chi_2 = \frac{\rho_s}{\rho_f} = 1.5$$

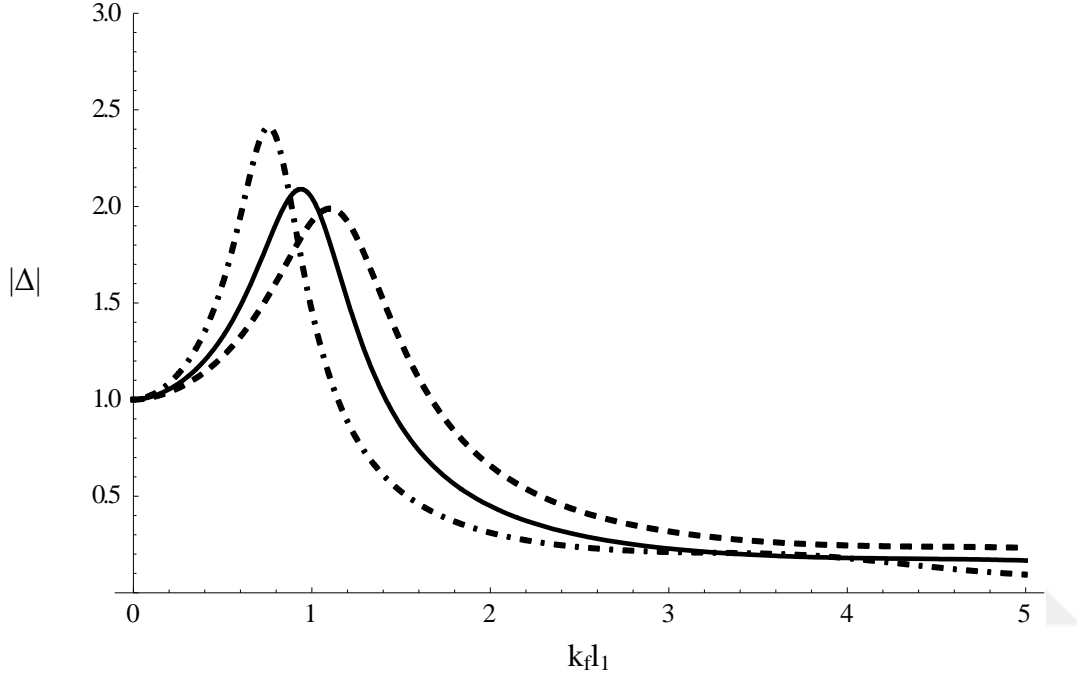
varsayımlarıyla ifade edilmektedir.

Şekil 5.1' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 1$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 1$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 1$ değerleri için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Şekil 5.2' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 3$, $\chi_2 = 1.5$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	M_0/M_f
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1

$\lambda = 1.6$ - - - - -
 $\lambda = 1.8$ —————
 $\lambda = 2.0$ - . - . - .

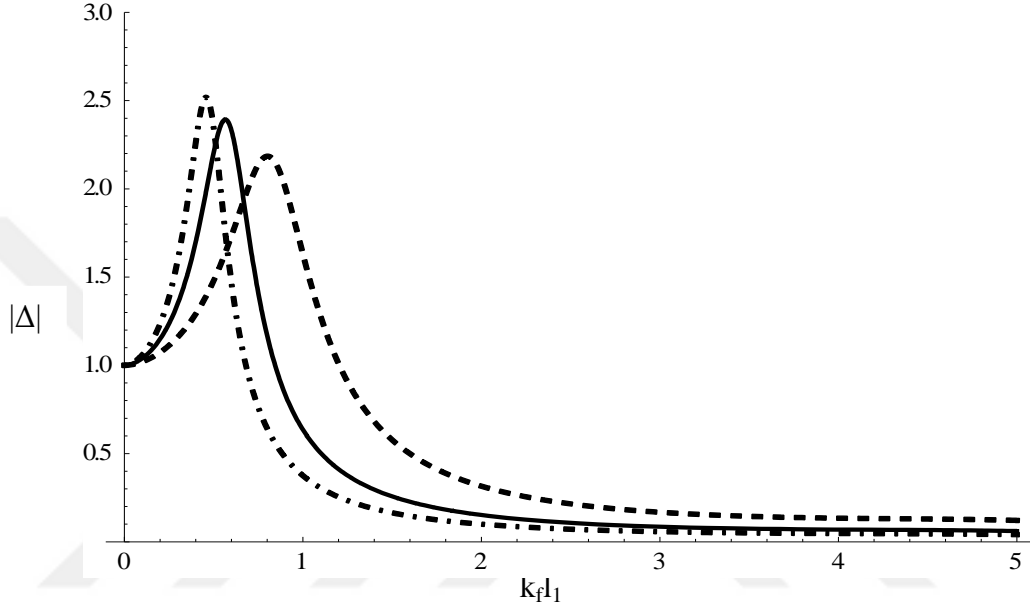


Şekil 5.1 : Farklı λ değerlerinin genliğe etkisi.

Bu grafikte tabaka kalınlığının artmasıyla beraber yerel tepelerin belirginleştiği ve genliğin azaldığı görülebilmektedir. Bununla beraber farklı tabaka kalınlıkları için genliğin yaklaşık olarak aynı noktalarda sıfıra yaklaştığı görülebilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.6

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ ————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



Şekil 5.2 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

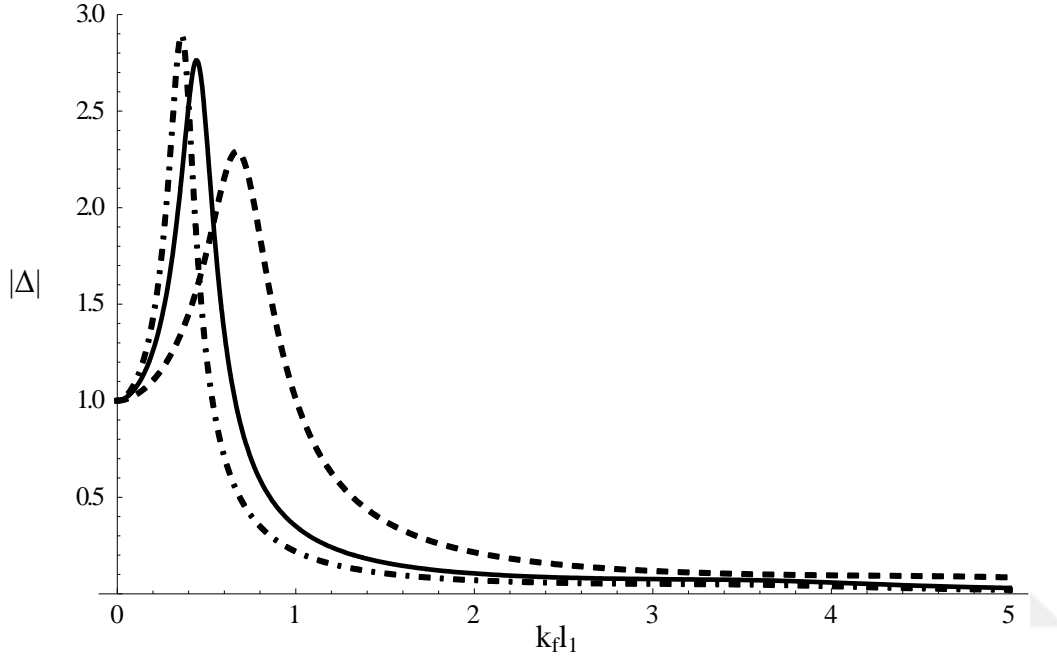
Şekil 5.2’de tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=1,6$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepe değerlerinin de arttığı ve belirginleştiği görülebilmektedir. Bununla birlikte her üç durum içinde genliğin sıfırlandığı değerler yaklaşıktır.

Şekil 5.3’ de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Şekil 5.4’ de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=3$, $\chi_2=1.5$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.8

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ —————
 $M_0/M_f = 6$ -



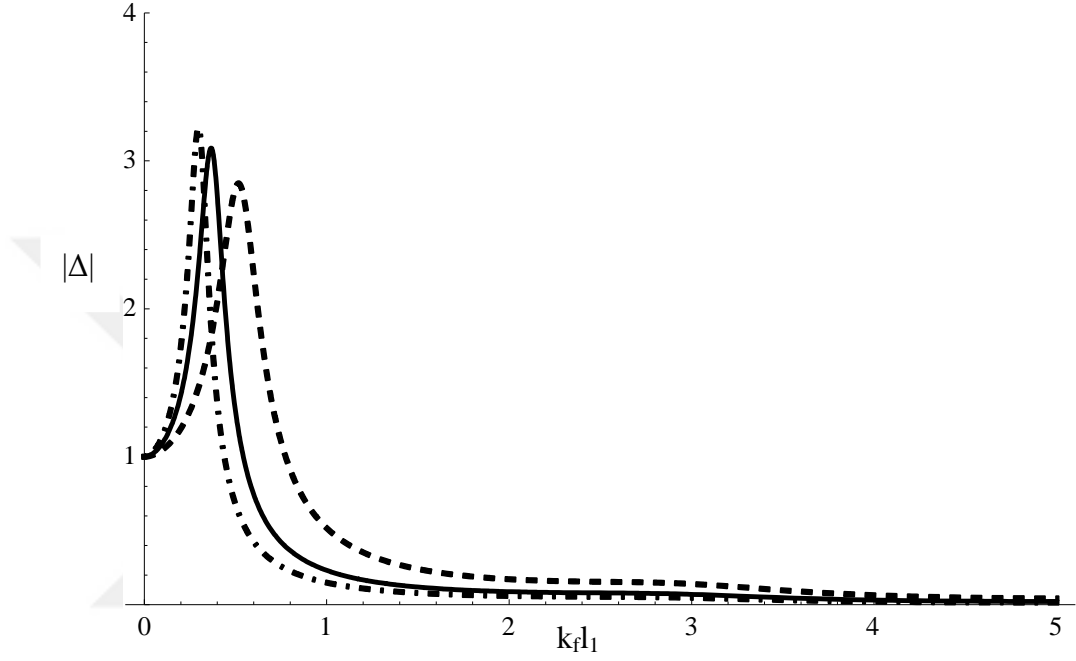
Şekil 5.3 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.3' de görüldüğü gibi tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=1,8$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepe değerlerinin de arttığı görülebilmektedir. Bununla birlikte her üç durum için de genliğin sıfırlandığı değerlerin yaklaşık olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.4' de görüldüğü gibi tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=2,0$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepe değerleri de artmıştır. Bununla birlikte her üç durum içinde genliğin sıfırlandığı değerlerin yaklaşık olduğu görülebilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	2.0

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ —————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



Şekil 5.4 : $\lambda=2.0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

5.2 Zeminin Tabaka ile Aynı Rijitlikte Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar

Bu kısımda katmanın zemin ile eşit rijitlikte olması durumu için analiz yapılmıştır.

Katmanın zemin ile eşit rijitlikte olması durumu,

$$\chi_1 = \frac{\beta_s}{\beta_f} = 1$$

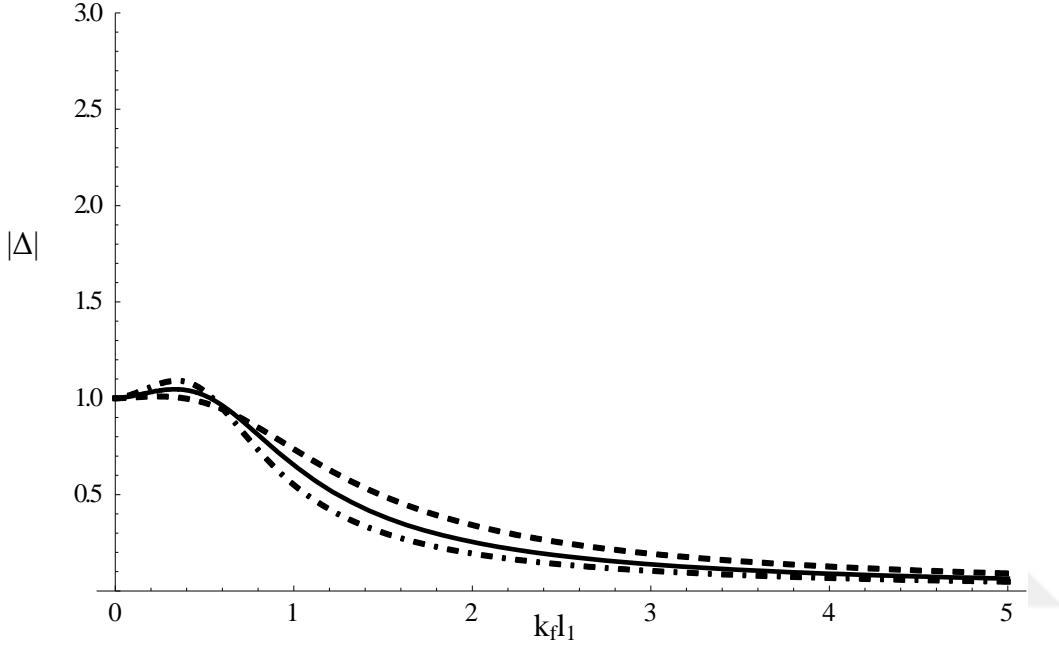
ve

$$\chi_2 = \frac{\rho_s}{\rho_f} = 1$$

varsayımlarıyla ifade edilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	M_0/M_f
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1

$\lambda = 1.6$ - - - - -
 $\lambda = 1.8$ - - - - -
 $\lambda = 2.0$ - . - . - .



Şekil 5.5 : Farklı λ değerlerinin genliğe etkisi.

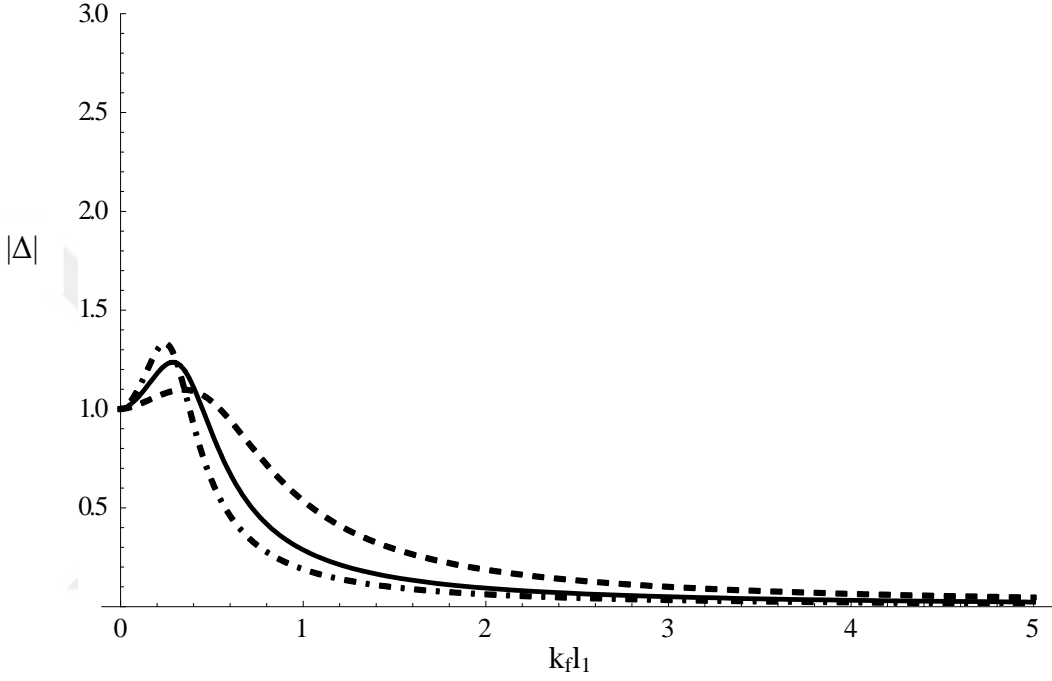
Şekil 5.5' de, $r_1 = l_1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 1$ ile $r_1 = l_1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 1$ ve $r_1 = l_1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 1$ değerleri için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Bu grafikte tabaka kalınlığının artmasının eşit rijitlikteki zemin ve tabaka için çok büyük değişim yaratmadığı görülebilmektedir. Tabaka kalınlığının en az olduğu durum için genlik daha büyük iken, tabaka kalınlığının artmasıyla azalma söz konusu olmuştur.

Şekil 5.6' da, $r_1 = l_1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = l_1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = l_1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1$, $\chi_2 = 1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.6

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ ————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



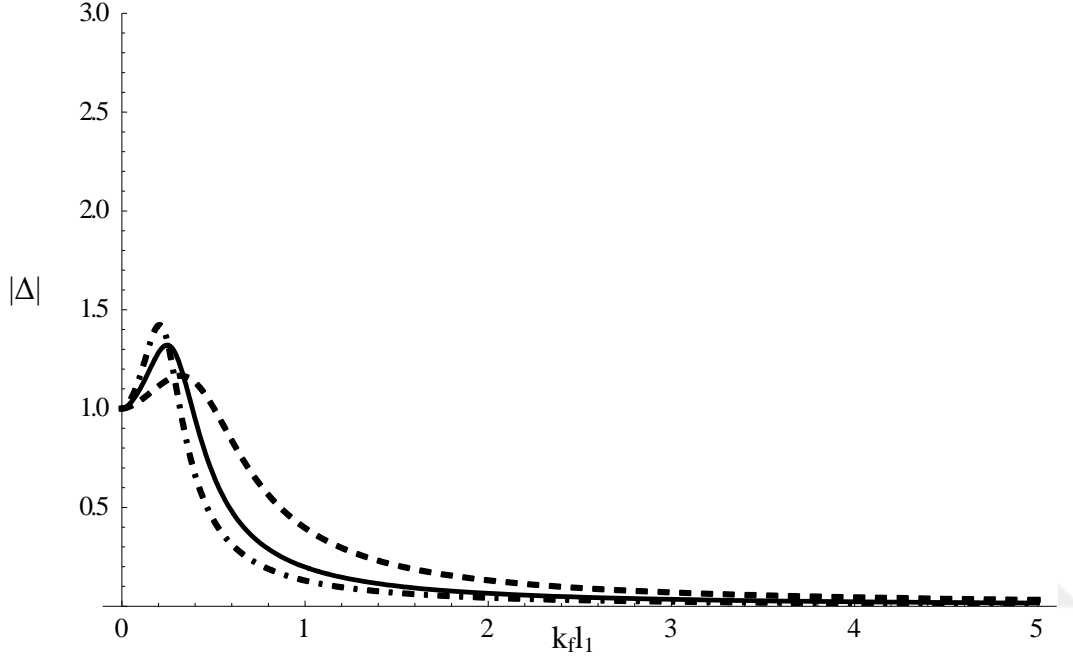
Şekil 5.6 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.6' da yukarıdaki üç durumun karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Buradaki üç grafikte görüldüğü gibi tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=1,6$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepe değerlerinin de arttığı ve belirginleştiği görülebilmektedir.

Şekil 5.7' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.8

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ —————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



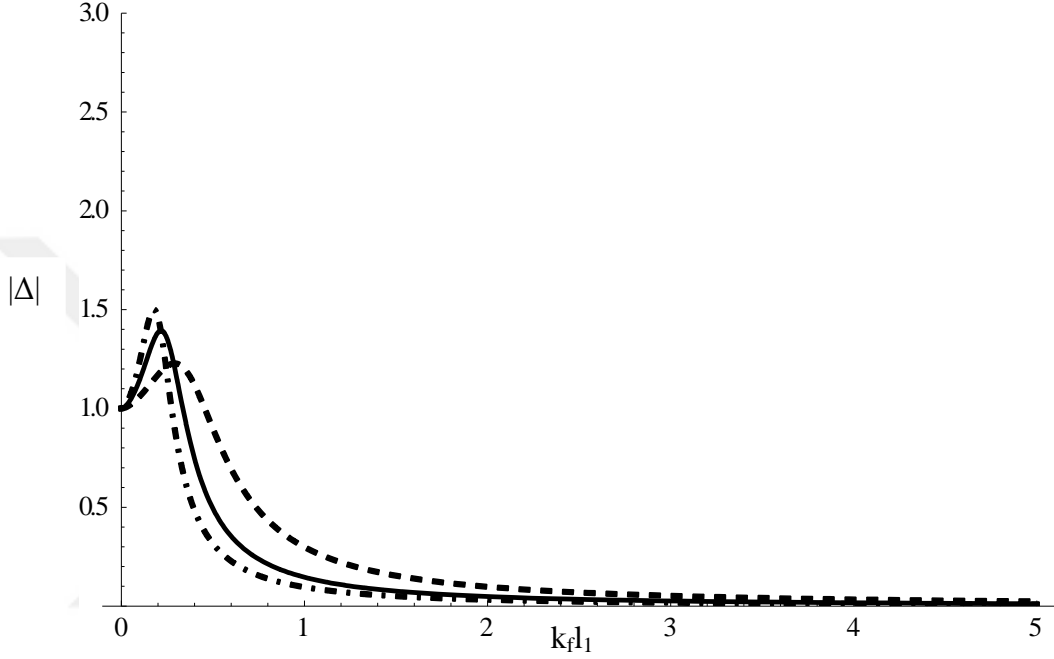
Şekil 5.7 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.7' de yukarıdaki üç durumun karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Buradaki üç grafikte de görüldüğü gibi tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=1,4$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepe değerlerinin de arttığı ve belirginleştiği görülebilmektedir.

Şekil 5.8' de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $\chi_1=1$, $\chi_2=1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	2.0

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ ————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



Şekil 5.8 : $\lambda=2.0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Şekil 5.8’ de yukarıdaki üç durumun karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Buradaki üç grafikte de görüldüğü gibi tabaka kalınlığının sabit olması ($\lambda=2,0$) durumunda kütle oranlarının artmasıyla yerel tepelerin belirginleştiği ve değerlerin arttığı görülebilmektedir.

Yukarıdaki grafiklerden de görülebildiği gibi kanalın birim boydaki kütlesinin katmanın birim boyunun kütlesinin 2, 4 ve 6 katı olması halinde zemin ile eşit rijitlikteki tabaka durumu için benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5.3 Zeminin Tabakadan Daha Esnek Olma Durumu İçin Sayısal Uygulamalar

Bu kısımda zeminin tabakadan daha esnek olma durumu için analizler yapılacaktır.

Tabakanın zeminden daha sert olduğu,

$$\chi_1 = \frac{\beta_s}{\beta_f} = 1/4$$

ve

$$\chi_2 = \frac{\rho_s}{\rho_f} = 1/3$$

varsayımlarıyla ifade edilmektedir.

Şekil 5.9' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 1$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 1$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 1$ değerleri için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

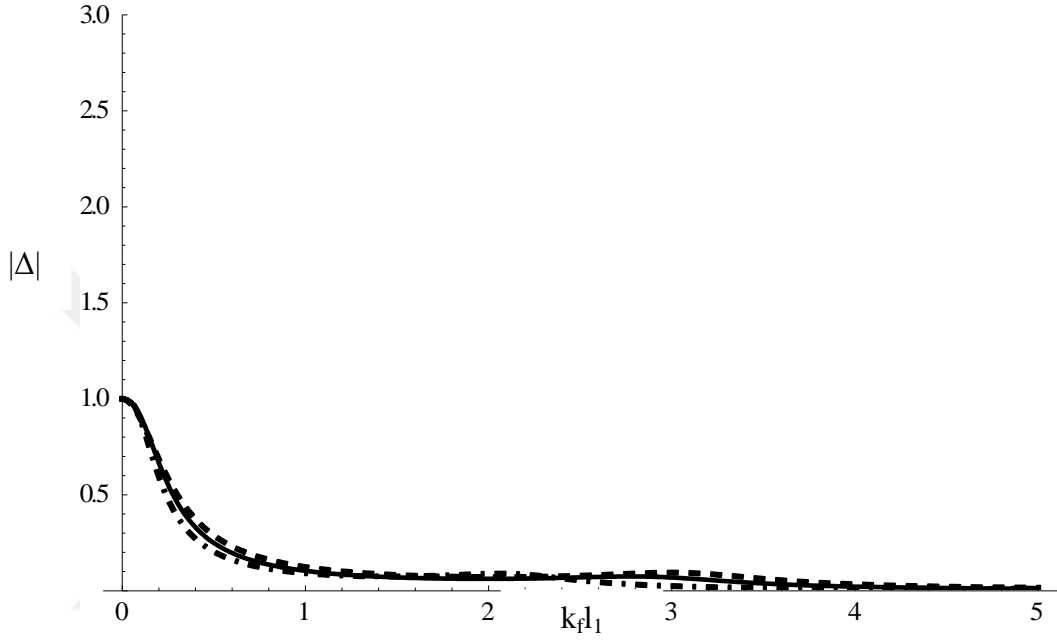
Şekil 5.10' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 1.6l_1$, $\lambda = 1.6$, $t_2 = 0.6l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Şekil 5.11' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 1.8l_1$, $\lambda = 1.8$, $t_2 = 0.8l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Şekil 5.12' de, $r_1 = 1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 2$ ile $r_1 = 1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 4$ ve $r_1 = 1$, $r_2 = 2.0l_1$, $\lambda = 2.0$, $t_2 = 1.0l_1$, $\chi_1 = 1/4$, $\chi_2 = 1/3$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	M_0/M_f
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1

$\lambda = 1.6$ - - - - -
 $\lambda = 1.8$ - - - - -
 $\lambda = 2.0$ - . - . - .

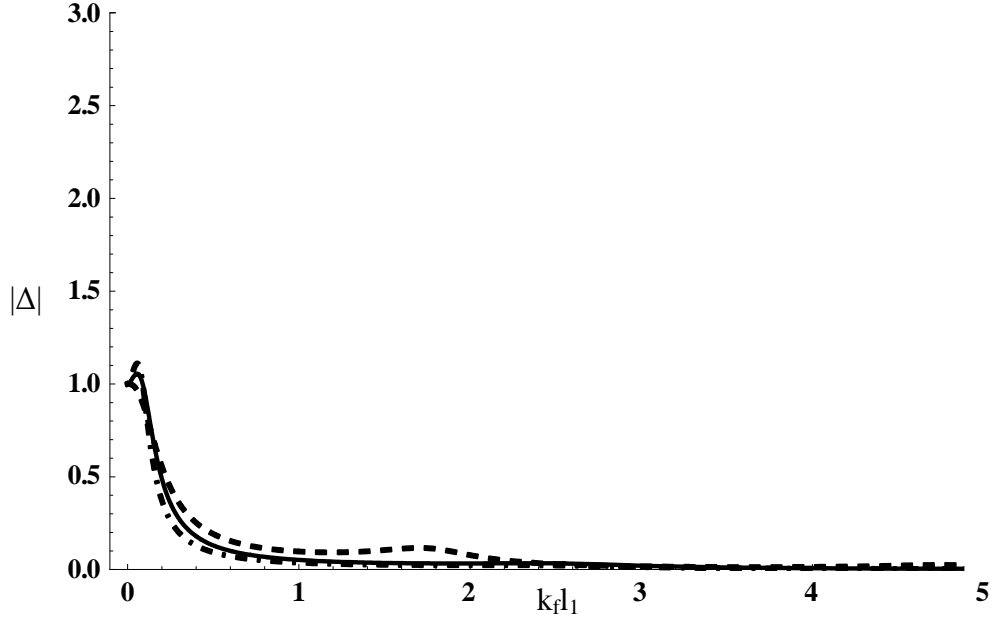


Şekil 5.9 : Farklı λ değerlerinin genliğe etkisi.

Bu grafikte tabaka kalınlığının artmasıyla beraber değerlerin azaldığı söylenebilir ancak üç durum için çıkan sonuçların genel anlamda farklı olmadığı görülmektedir. Grafiklerin aynı karakterde olduğu görülebilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.6

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ —————
 $M_0/M_f = 6$ -

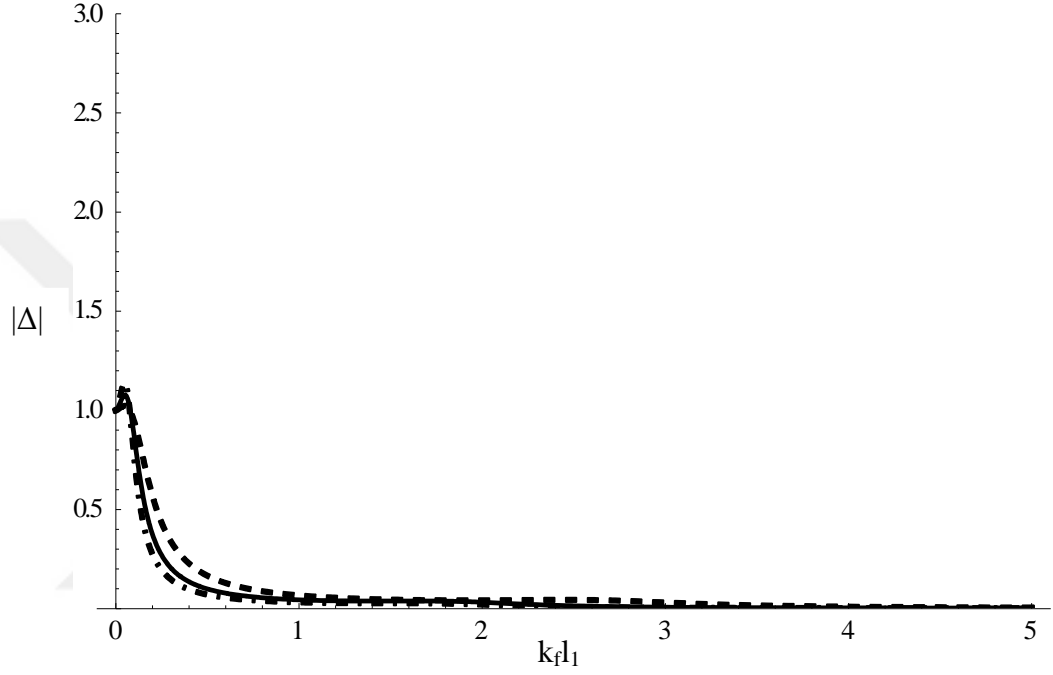


Şekil 5.10 : $\lambda=1.6$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Bu grafikte tabaka kalınlığının sabit olduğu ve kanalın birim boyunun kütesinin tabakanın birim boyunun kütesinin 2, 4 ve 6 katı olması durumlarının değişimi görülmektedir. M_0/M_f ' nin artmasıyla grafikteki değer en üst noktaya ulaşmıştır. Genel olarak grafikteki değişimlerin benzer olduğu söylenebilir.

r_1	r_2	l_2	t	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	1.8

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ —————
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - . - .

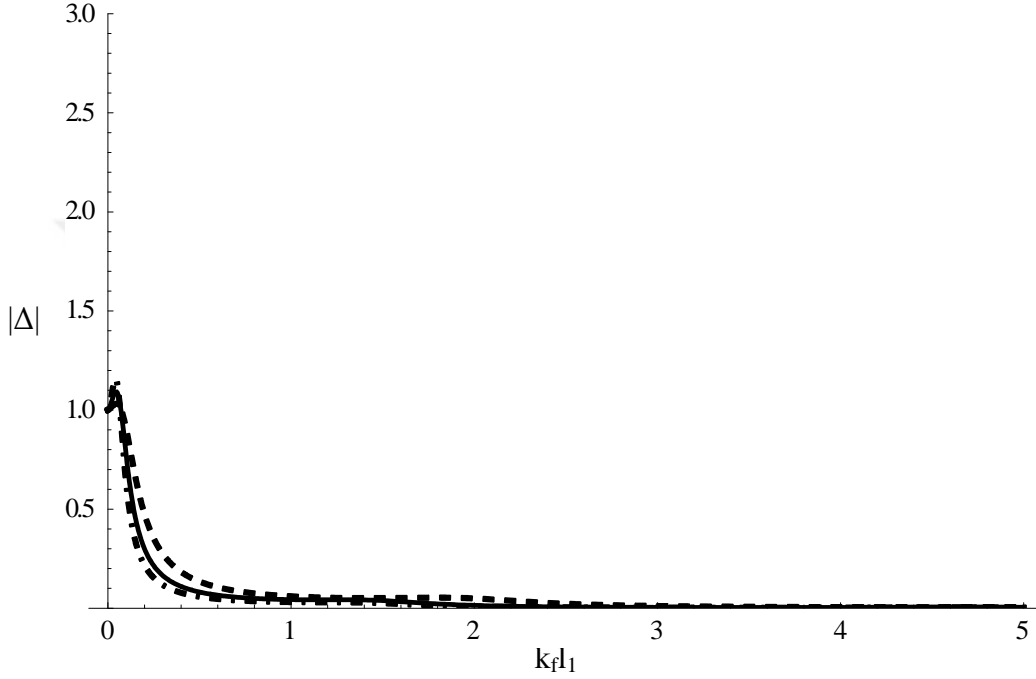


Şekil 5.11 : $\lambda=1.8$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Bu grafikte tabaka kalınlığının sabit olduğu ve kanalın birim boyunun kütesinin tabakanın birim boyunun kütesinin 2, 4 ve 6 katı olması durumlarının değişimi görülmektedir. M_0/M_f ' nin artmasıyla grafikteki değer en üst noktaya ulaşmıştır. Her üç grafiğin de karakteristik olarak benzer olduğu görülmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ
l_1	l_2	$l_1 \lambda$	$l_1(\lambda-1)$	2.0

$M_0/M_f = 2$ - - - - -
 $M_0/M_f = 4$ - - - - -
 $M_0/M_f = 6$ - . - . - .



Şekil 5.12 : $\lambda=2,0$ iken farklı M_0/M_f değerlerinin genliğe etkisi.

Bu grafikte tabaka kalınlığının sabit olduğu ve M_0/M_f ' nin 2, 4 ve 6 olması durumlarının değişimi görülmektedir. Grafikten, diğer grafiklerde olduğu gibi kütle oranlarının artması ile benzer sonuçların elde edildiği görülebilmektedir.

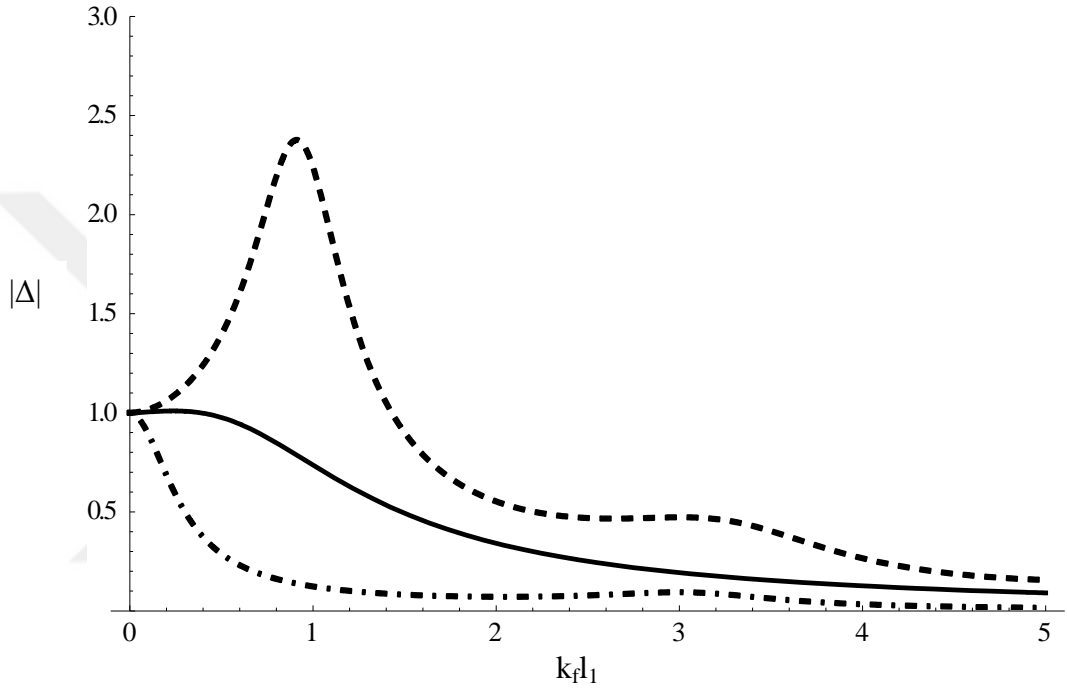
5.4 Zeminin Tabakadan Daha Esnek, Tabaka ile Aynı Rijitlikte ve Tabakadan Daha Sert Olma Durumlarının Karşılaştırılması

Bu kısım, tabakanın zemin ile eşit rijitlikte, zeminden daha sert ve zeminden daha esnek olma durumlarının analizlerinin karşılaştırmalarını ele almaktadır.

Şekil 5.13' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.6l_1$, $\lambda=1.6$, $t_2=0.6l_1$, $M_0/M_f = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.6l_1$	$0.6l_1$	1.6	1

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



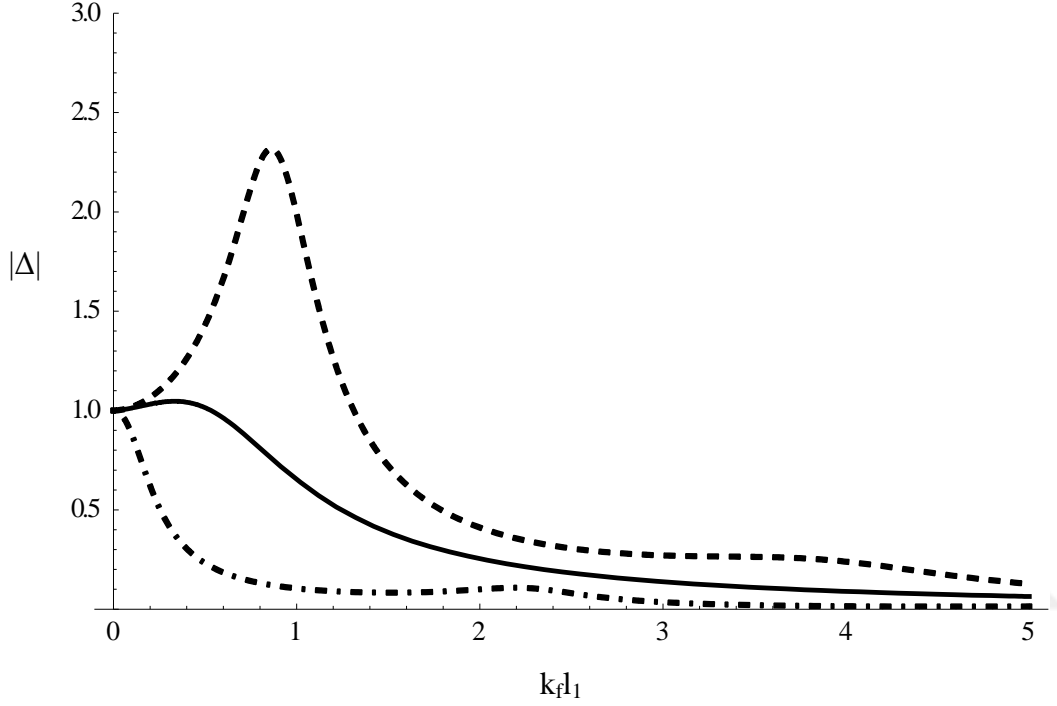
Şekil 5.13 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.6$ değeri için katmanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Grafikten de görülebildiği gibi bu üç durum için çıkan sonuçlar oldukça farklıdır. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin azalarak ilerlediği ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan daha küçük değerde olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.14' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $M_0/M_f = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.8l_1$	$0.8l_1$	1.8	1

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



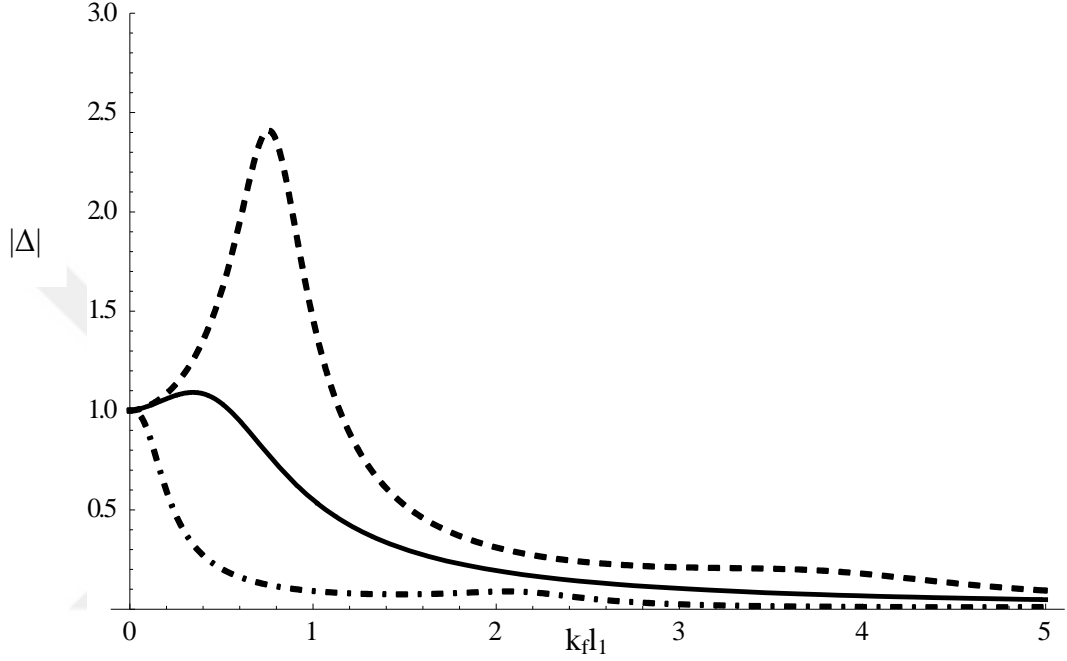
Şekil 5.14 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.8$ değeri için tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin azalarak ilerlediği ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan daha küçük değerde olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.15’ de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $M_0/M_f = 1$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$2.0l_1$	$1.0l_1$	2.0	1

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



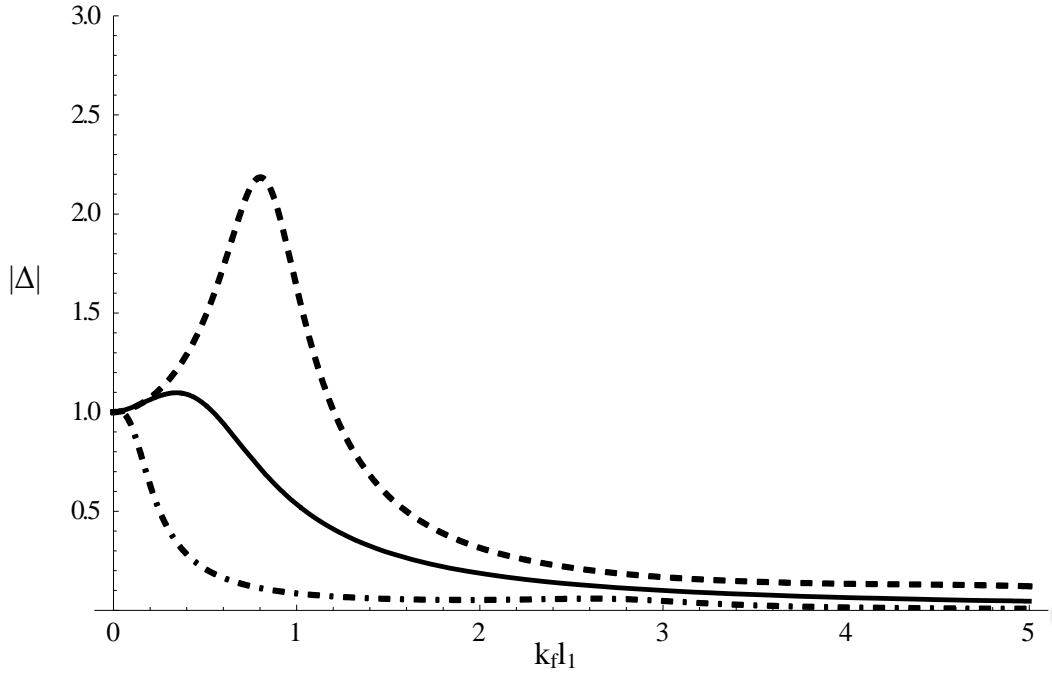
Şekil 5.15 : Zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisi.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=2.0$ değeri için tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin 2.5 değerine yaklaşmış olduğu görülürken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genlik daha küçük çıkmıştır. Tabakanın zeminden daha sert olma durumunda ise genlik azalarak ilerlemektedir.

Şekil 5.16' da, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $M_0/M_f = 2$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.6l_1$	$0.6l_1$	1.6	2

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - · - · - · - ·



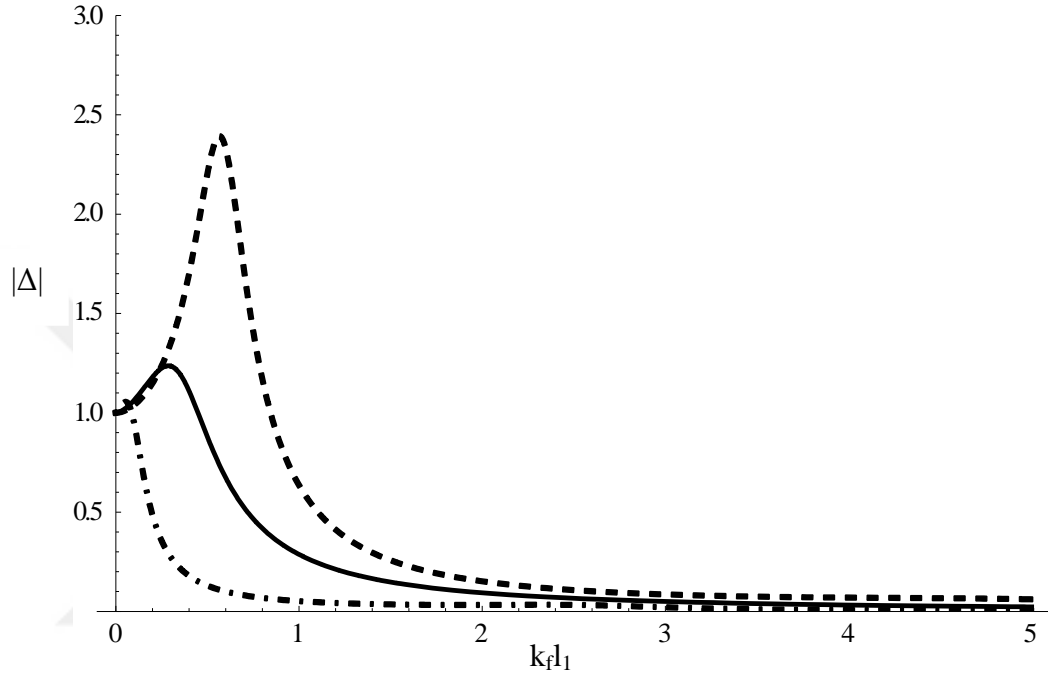
Şekil 5.16 : $\lambda=1.6$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.6$ değerinde $M_0/M_f = 2$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin azalarak ilerlediği ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan daha küçük değerde olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.17’ de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.6l_1$, $\lambda=1.6$, $t_2=0.6l_1$, $M_0/M_f = 4$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.6l_1$	$0.6l_1$	1.6	4

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



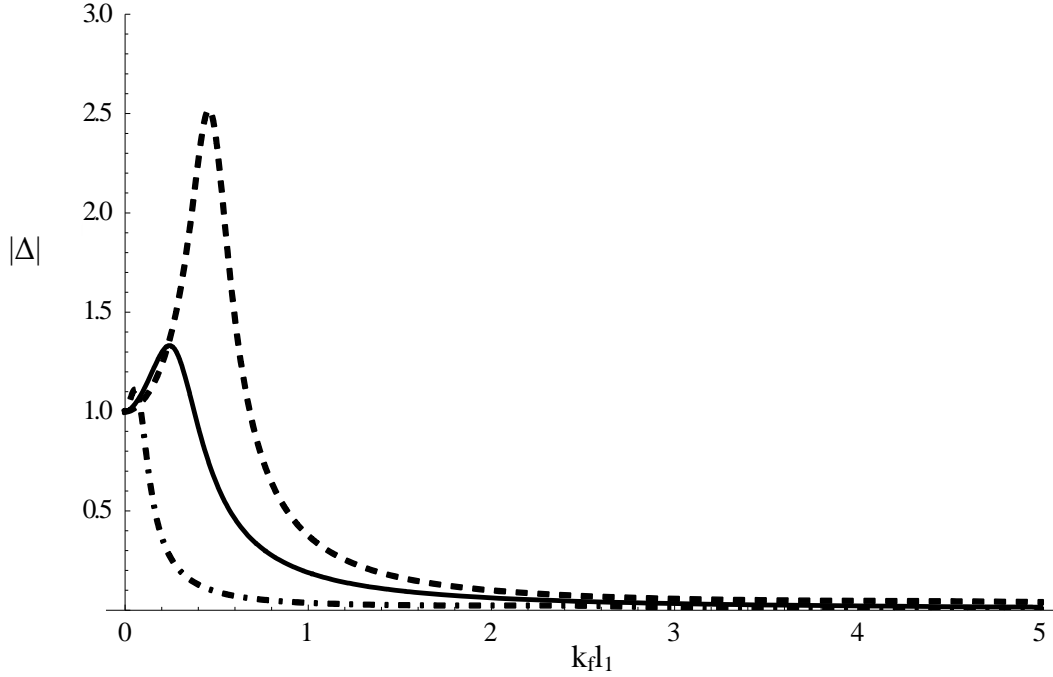
Şekil 5.17 : $\lambda=1.6$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.6$ değerinde $M_s/M_f = 4$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin belirgin bir tepe oluşturduğu ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği görülebilmektedir.

Şekil 5.18' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.6l_1$, $\lambda=1.6$, $t_2=0.6l_1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.6l_1$	$0.6l_1$	1.6	6

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin -



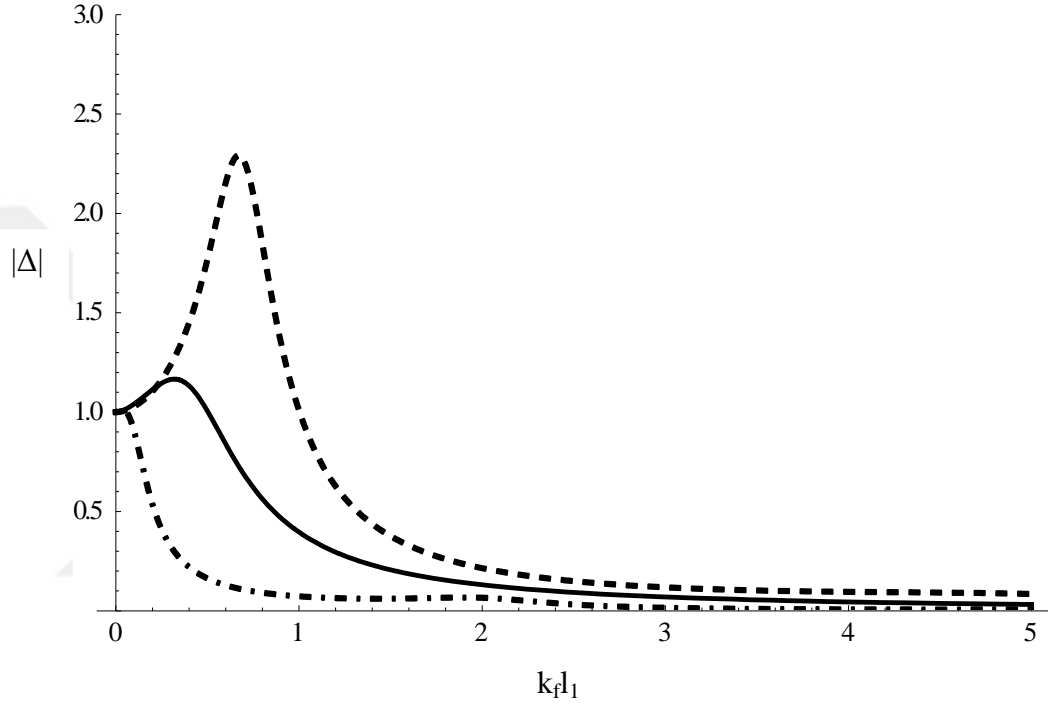
Şekil 5.18 : $\lambda=1.6$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.6$ değerinde $M_0/M_f = 6$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin 2.5 değerinde olduğu görülmektedir. Zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin 1.0-1.5 değerleri arasında olduğu ve belirgin bir tepe oluşturduğu ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği ancak 1.0 değerini aştığı görülebilmektedir. Sonuç olarak kütle oranlarının artması ile genlik değerlerinde belirgin tepeler oluşmaya başlamıştır.

Şekil 5.19’ de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $M_0/M_f = 2$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.8l_1$	$0.8l_1$	1.8	2

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



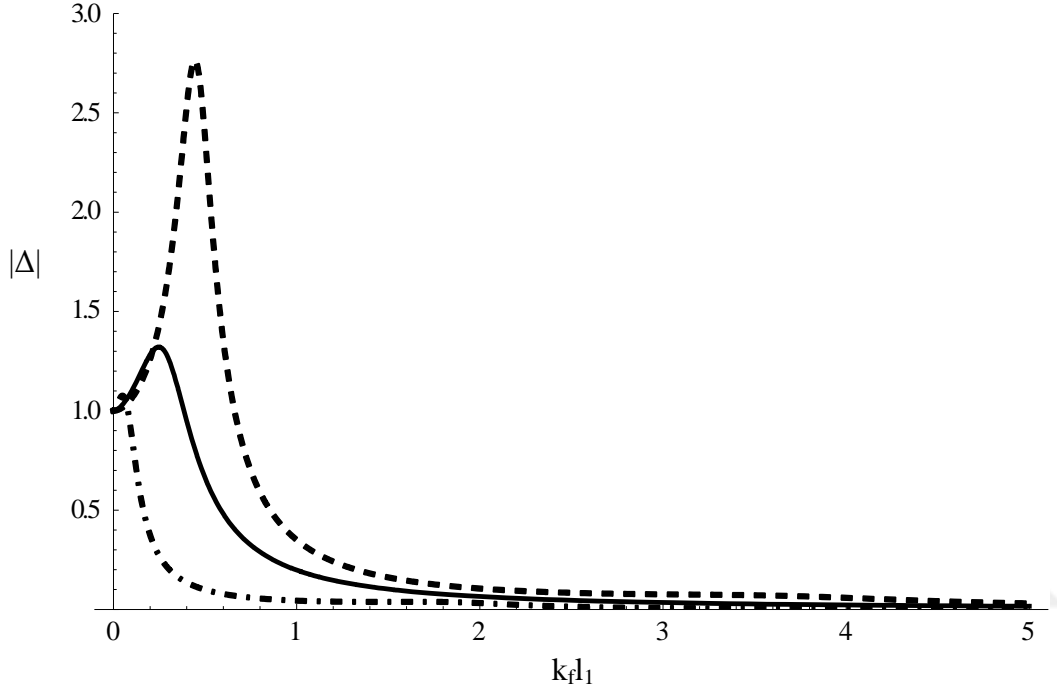
Şekil 5.19 : $\lambda=1.8$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.8$ değerinde $M_0/M_f = 2$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin azalarak ilerlediği ve zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan daha küçük değerde olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.20' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $M_0/M_f = 4$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.8l_1$	$0.8l_1$	1.8	4

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - · - · - ·



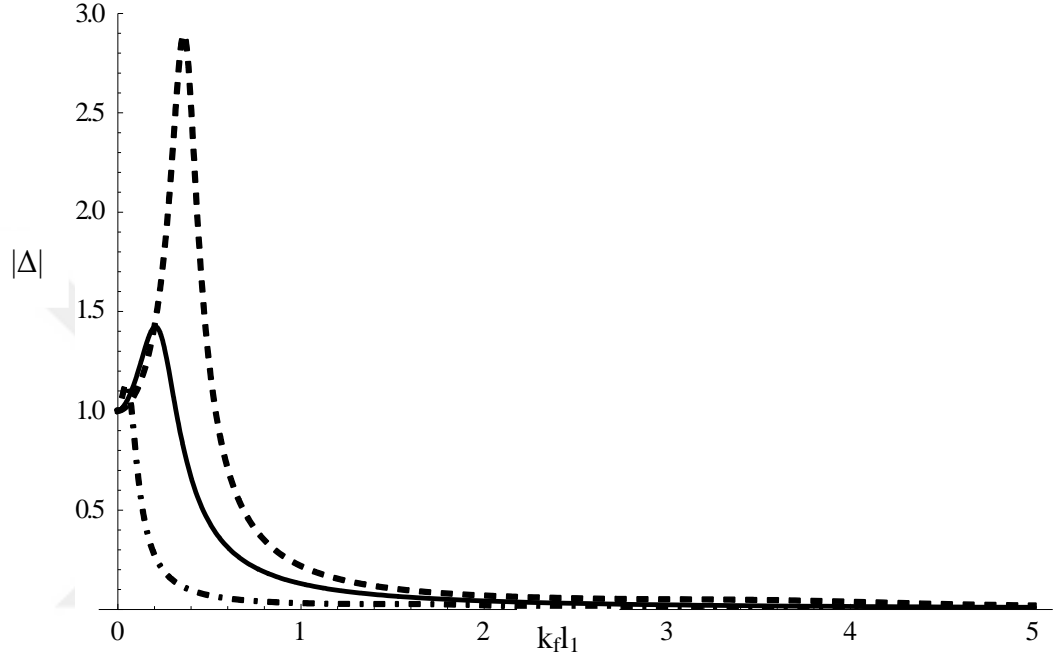
Şekil 5.20 : $\lambda=1.8$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.8$ değerinde $M_0/M_f = 4$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genlik 3.0 değerine yaklaşmıştır. Zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin 1.0-1.5 değerleri arasında olduğu ve belirgin bir tepe oluşturduğu, zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği ancak 1.0 değerini aştığı görülebilmektedir. Her üç durum için de genliğin sıfıra yaklaştığı değerler genel anlamda yakındır.

Şekil 5.21' de, $r_1 = l_1$, $r_2=1.8l_1$, $\lambda=1.8$, $t_2=0.8l_1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$1.8l_1$	$0.8l_1$	1.8	6

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



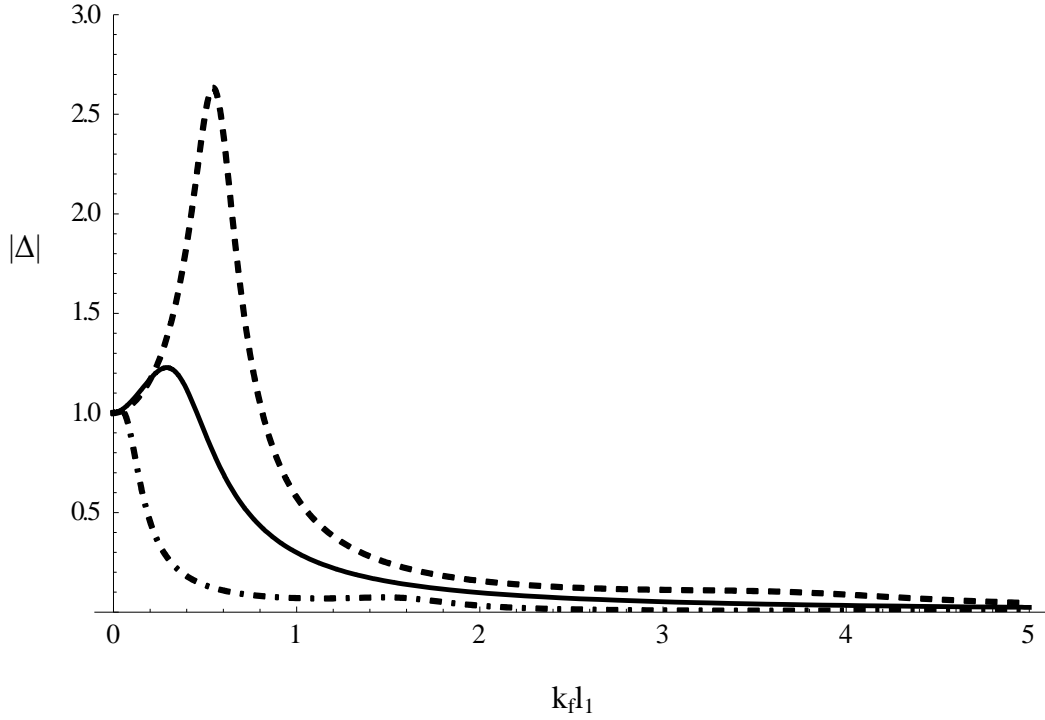
Şekil 5.21 : $\lambda=1.8$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=1.8$ değerinde $M_0/M_f = 6$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genlik 3.0 değerine yaklaşmıştır. Zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin 1.5 değerine yaklaşmış olduğu ve belirgin bir tepe oluşturduğu, zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği ancak 1.0 değerini aştığı görülebilmektedir. Her üç durum için de genliğin sifıra yaklaştığı değerler genel anlamda yakındır.

Şekil 5.22' de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $M_0/M_f = 2$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$2.0l_1$	$1.0l_1$	2.0	2

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin -



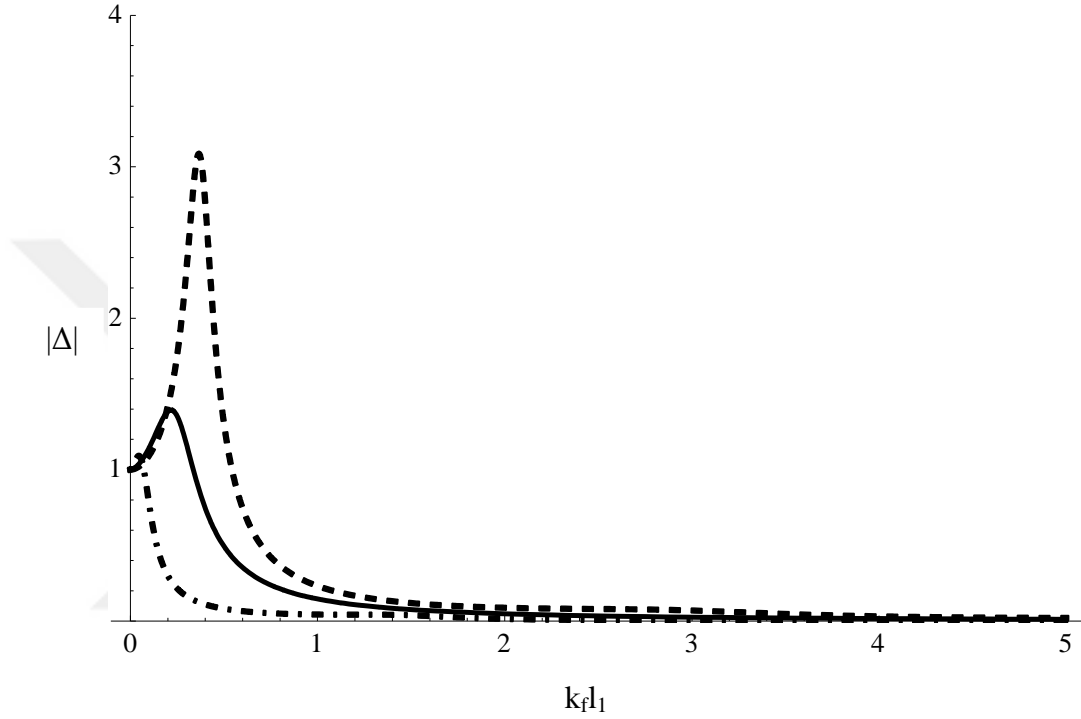
Şekil 5.22 : $\lambda=2.0$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=2.0$ değerinde $M_0/M_f = 2$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genliğin daha büyük olduğu görülebilirken, zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin daha küçük ve zeminden daha sert tabaka için genliğin azalarak ilerlediği görülebilmektedir.

Şekil 5.23' de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $M_0/M_f = 4$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$2.0l_1$	$1.0l_1$	2.0	4

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin - . - . - .



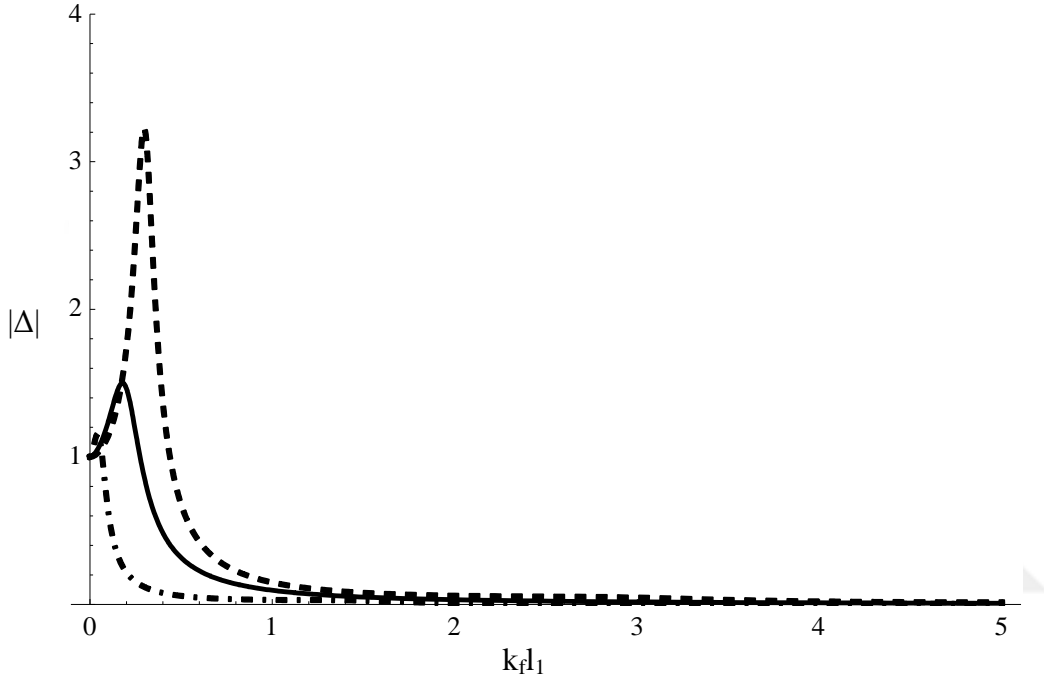
Şekil 5.23 : $\lambda=2.0$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=2.0$ değerinde $M_0/M_f = 4$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genlik 3.0 değerini geçmiştir. Zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin 1.5 değerine yaklaşmış olduğu ve belirgin bir tepe oluşturduğu, zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği ancak 1.0 değerini aştığı görülebilmektedir. Her üç durum için de genliğin sıfıra yaklaştığı değerler genel anlamda yakındır.

Şekil 5.24' de, $r_1 = l_1$, $r_2=2.0l_1$, $\lambda=2.0$, $t_2=1.0l_1$, $M_0/M_f = 6$ için $|\Delta|$ genliğinin değişimi gösterilmektedir.

r_1	r_2	l_2	t_2	λ	M_0/M_f
l_1	l_2	$2.0l_1$	$1.0l_1$	2.0	6

Tabaka ile eşit rijitlikteki zemin —————
 Tabakadan daha sert zemin - - - - -
 Tabakadan daha esnek zemin -



Şekil 5.24 : $\lambda=2.0$ değerinde zeminin tabakadan daha sert, tabaka ile eşit rijitlikte ve tabakadan daha esnek olma durumlarının genliğe etkisinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte $\lambda=2.0$ değerinde $M_0/M_f = 6$ iken tabakanın zeminden daha esnek, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha sert olma durumları için genliğin değişiminin karşılaştırması verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tabakanın zeminden daha esnek olduğu durum için genlik 3.5 değerine yaklaşmıştır. Zemin ile eşit rijitlikteki tabaka için genliğin 1.5 değerine yaklaşmış olduğu ve belirgin bir tepe oluşturduğu, zeminden daha sert tabaka için genliğin diğer iki durum için olandan farklı olarak azalarak ilerlediği ancak 1.0 değerini aştığı görülebilmektedir. Her üç durum için de genliğin sifıra yaklaştığı değerler genel anlamda yakındır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dairesel en kesitli zemine tamamen gömülü uzun rijit bir kanalın deprem davranışı ele alınmaktadır. Bu bağlamda kanalın sadece SH düzlem dalga tarafından zorlandığı durum ele alınacaktır.

Zeminin ve kanala tam bağlı olan katmanın (tabakanın) farklı özellikleri için yapılmış olan analizler sonucunda, katmanın zeminden daha yumuşak olması durumunda kanaldaki genlik katmanın zemin ile eşit rijitlikte olması durumu için bulunan yapının genliğinden daha büyük olmaktadır. Genel olarak tabakanın zeminden daha rijit olduğu durum ise zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha esnek tabaka durumu arasında sonuçlar vermektedir.

Tabakanın zeminden daha yumuşak, zemin ile eşit rijitlikte ve zeminden daha rijit olması durumları irdelendiğinde, zeminden daha esnek olan tabakanın oluşturduğu genlik en yüksek çıkarken, zemin ile eşit rijitlikte olan tabakanın genliği daha küçük çıkmakta ve zeminden daha sert olan tabakanın genliği ise en küçük çıkmaktadır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlardan en önemlisi, esnek zeminler üzerindeki yapıların daha sert zeminler üzerinde bulunan yapılara göre daha fazla enerji çekmesi ve etkilenmeleridir.

Bu tez çalışmasında ele alınan problem, analizler sonucunda elde edilmiş bulguların yapılarda deprem etkisi ile oluşan fiziksel davranış konusunda önemli bilgiler verdiğinden dolayı, farklı geometrideki yapılar için uygulanacak olan sayısal analizlere öncülük edebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Graff, K.**, 1991. Wave Motion in Elastic Solids, Dover Publications, Inc, New York.
- [2] **Pao, Y. H., Mow, C. C.**, 1973. Diffraction of Elastic Waves and Dynamic Stress Concentrations, Crane, Russak and Co. Inc., New York.
- [3] **Lee, V. W., Trifunac M. D.**, 1979. Response of Tunnels to Incident SH Waves, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE* Vol. **105-4**, 643-659.
- [4] **Lee, V. W.**, 1977. On Deformations Near Circular Underground Cavity Subjected to Incident SH Waves, Proceedings of the Applications of Computer Methods in Engineering Conference, Vol. II, University of Southern California, Los Angeles, Calif., 951-962.
- [5] **Lee, V. W., Manoogain, M. E.**, 1996. Diffraction of SH Waves by Subsurface Inclusions, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. **122-2**, 123-128
- [6] **Gregory, R. D.**, 1967. An Expansion Theorem Applicable to Problems of Wave Propagation in an Elastic Half-Space, Proc., Camb. Philos Soc., Vol. 63, 1341-1367.
- [7] **Gregory, R. D.**, 1970. The Propagation of Waves in an Elastic Half-Space Containing a Circular Cylindrical Cavity, Proc., Camb. Philos Soc., Vol. 67, 689-710
- [8] **Datta, S. K.**, 1978. Scattering of Elastic Waves, Mech. Today, Vol. 4, 149-208.
- [9] **Dravinski, M.**, 1983. Ground Motion Amplification Due to Elastic Inclusion in a Half-Space, Int. J. Earthquake Engrg. and Struct. Dynamics, Vol. 11, 313-335.
- [10] **Housner, G. W.**, 1954. Effect of Foundation Compliance of Earthquake Stresses in Multistory Buildings, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **44**, 551-569.
- [11] **Housner, G. W.**, 1957. Interaction of Building and Ground During an Earthquake, *Bulletin of Seismological Society of America*, **47**, 179-186.
- [12] **Luco, J. E.**, 1969. Dynamic Interaction of a Shear Wall with the Soil, *J. Eng. Mech. Division, ASCE*, **95**, 333-346.
- [13] **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.
- [14] **Duke, C. M., J.E. Luco, A. R. Carriveau, P. J. Hradilek, R. Lastricp and D. Ostrom**, 1970. Strong Earthquake Motion and Site Conditions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **60**, 1271-1289.

- [15] **Luco J.E.**, 1994. Seismic Response of a Cylindrical-Shell Embedded in a Layered Viscoelastic Half-Space, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **23**, 553-567.
- [16] **Hasheminejad S. M., 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.
- [17] **Hayır. A.**, 2009. Dynamic Response of the Long Channel Resting on the Soil and Excited by SH Waves, Structures 2009 : Don' t Mess with Structural Engineers, ASCE, Texas, USA, 2625-2630.



EKLER

EK 1 : $a_n, b_n, c_n, d_n, e_n, g_n$ katsayıları



EK 1

a_n, b_n, g_n ve e_n katsayıları $n=0, 1, 2, 3, \dots$ için hesaplanmıştır. c_n ve d_n katsayıları ise $n=1, 2, 3, \dots$ için hesaplanmıştır.

$$a_n = - \left\{ 2 (-1)^n \cos(2n\gamma) \left[k \chi \left[J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2) \right] H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \right. \\ \left. \left. - k_f J_{2n}(k l_2) H_{2n-1}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) + k_f J_{2n}(k l_2) H_{2n+1}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \right. \\ \left. \left. - k \chi J_{2n-1}(k l_2) H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) + k \chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) \right. \right. \\ \left. \left. + k_f J_{2n}(k l_2) H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n-1}^2(k_f l_2) - k_f J_{2n}(k l_2) H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k_f l_2) \right] \right\} / \\ \left\{ -k_f H_{2n-1}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) + k_f H_{2n+1}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \\ \left. + k \chi H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) H_{2n-1}^2(k l_2) - k \chi H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) H_{2n-1}^2(k l_2) \right. \\ \left. + k_f H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) H_{2n-1}^2(k_f l_2) - k \chi H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k l_2) \right. \\ \left. + k \chi H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k l_2) - k_f H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_2) \right\}$$

$$b_n = \left\{ 2 (-1)^n k_f \chi \cos(2n\gamma) H_{2n}^1(k_f l_1) \left[J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2) \right] H_{2n}^2(k l_2) \right. \\ \left. + J_{2n}(k l_2) \left[-H_{2n-1}^2(k l_2) + H_{2n+1}^2(k l_2) \right] \left[H_{2n}^2(k_f l_2) - H_{2n+2}^2(k_f l_2) \right] / \right. \\ \left. \left\{ -k_f \left[H_{2n-1}^1(k_f l_2) - H_{2n+1}^1(k_f l_2) \right] H_{2n}^2(k l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \right. \\ \left. \left. + k \chi H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \left[H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2) \right] \right. \right. \\ \left. \left. - k \chi H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) \left[H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2) \right] \right. \right. \\ \left. \left. + k_f H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) \left[H_{2n-1}^2(k_f l_2) - H_{2n+1}^2(k_f l_2) \right] + i \left[J_{2n}(k l_2) - J_{2n+2}(k l_2) \right] \sin(\gamma + 2n\gamma) \right. \right. \\ \left. \left. - [i k_f H_{2n}^1(k_f l_2) - H_{2n+2}^1(k_f l_2)] H_{2n+1}^2(k_f l_1) \left[\chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n}^2(k l_2) \right. \right. \right. \\ \left. \left. + [-J_{2n}(k l_2) + J_{2n+2}(k l_2)] H_{2n+1}^2(k l_2) - \chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n+2}^2(k l_2) \right] \sin(\gamma + 2n\gamma) / \right. \\ \left. \left\{ 2 H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k l_2) - k_f \left[H_{2n}^1(k_f l_2) - H_{2n+2}^1(k_f l_2) \right] \right. \right. \\ \left. \left. H_{2n+1}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) + k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) \left[H_{2n}^2(k l_2) - H_{2n+2}^2(k l_2) \right] \right. \right. \\ \left. \left. - k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k_f l_2) \left[H_{2n}^2(k l_2) - H_{2n+2}^2(k l_2) \right] \right\} \right\} / \chi \left[H_{2n}^2(k l_2) - H_{2n+2}^2(k l_2) \right]$$

$$\begin{aligned}
c_n = & -\{H_{2n}^2(k_f l_1) [(-1)^n k \chi [J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2)] \cos(2n\gamma) H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) \\
& - (-1)^n k \chi J_{2n}(k l_2) \cos(2n\gamma) H_{2n}^1(k_f l_1) [H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2)]]\} / \\
& \left\{ H_{2n}^1(k_f l_1) \left[-\frac{1}{2} k_f [H_{2n-1}^1(k_f l_2) - H_{2n+1}^2(k_f l_2)] H_{2n}^2(k l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \right. \\
& + \frac{1}{2} k \chi H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) [H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2)] \\
& - \frac{1}{2} k \chi H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) [H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2)] \\
& \left. \left. + \frac{1}{2} k_f H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) [H_{2n-1}^2(k_f l_2) - H_{2n+1}^2(k_f l_2)] \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_n = & \left\{ 2 (-1)^n k \chi \cos(2n\gamma) H_{2n}^1(k_f l_1) \left[[J_{2n-1}(k l_2) - J_{2n+1}(k l_2)] H_{2n}^2(k l_2) \right. \right. \\
& \left. \left. + J_{2n}(k l_2) [-H_{2n-1}^2(k l_2) + H_{2n+1}^2(k l_2)] \right] \right\} / \\
& \left\{ -k_f [H_{2n-1}^1(k_f l_2) - H_{2n+1}^1(k_f l_2)] H_{2n}^2(k l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) \right. \\
& + k \chi H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n}^2(k_f l_1) [H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2)] \\
& - k \chi H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k_f l_2) [H_{2n-1}^2(k l_2) - H_{2n+1}^2(k l_2)] \\
& \left. + k_f H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) [H_{2n-1}^2(k_f l_2) - H_{2n+1}^2(k_f l_2)] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_n = & \left\{ 2 i (-1)^n k H_{2n+1}^1(k_f l_1) [\chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n}^2(k l_2) \right. \\
& \left. - J_{2n}(k l_2) + J_{2n+2}(k l_2)] H_{2n+1}^2(k l_2) - \chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n+2}^2(k l_2) \right\} \sin(\gamma + 2n\gamma) / \\
& \left\{ 2 H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^1(k_f a) H_{2n+1}^2(k l_2) \right. \\
& - k_f [H_{2n}^1(k_f l_2) - H_{2n+2}^1(k_f l_2)] H_{2n+1}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) \\
& + k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) [H_{2n}^2(k l_2) - H_{2n+2}^2(k l_2)] \\
& \left. - k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k_f l_2) [H_{2n}^2(k l_2) - H_{2n+2}^2(k l_2)] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_n = & \{2 i (-1)^n k H_{2n+1}^2(k_f l_1) [\chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n}^2(k l_2)]\} \\
& + [-J_{2n}(k l_2) + J_{2n+2}(k l_2)] H_{2n+1}^2(k l_2) - \chi J_{2n+1}(k l_2) H_{2n+2}^2(k l_2) \sin(\gamma + 2n\gamma) \} / \\
& \{-2 H_{2n}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k l_2) + k_k H_{2n}^1(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) \\
& - k_k H_{2n+2}^1(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) + k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n}^2(k l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_2) \\
& - k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_1) H_{2n+1}^2(k_f l_2) H_{2n+2}^2(k l_2) \\
& + k \chi H_{2n+1}^1(k_f l_2) H_{2n+1}^2(k_f l_1) [-H_{2n}^2(k l_2) + H_{2n+2}^2(k l_2)]\}
\end{aligned}$$



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aylin NAYMAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 12/04/1986 - ÇORUM
E-posta : aylin_nayman@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği