

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞİDDETİ ZAMANA GÖRE HARMONİK DEĞİŞEN HAREKETLİ YÜK
ETKİSİNDEKİ VİSKOELASTİK TABAKALI YARI DÜZLEMİN DİNAMIĞI

NEZİHE SEVGİ ŞAHİN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. SURKAY AKBAROV

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞİDDETİ ZAMANA GÖRE HARMONİK DEĞİŞEN HAREKETLİ YÜK
ETKİSİNDEKİ VISKOELASTİK TABAKALI YARI DÜZLEMİN DİNAMIĞI**

Nezihe Sevgi ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Surkay AKBAROV
Yıldız Teknik Üniversitesi

İkinci Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nihat İLHAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

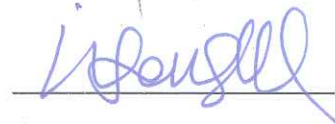
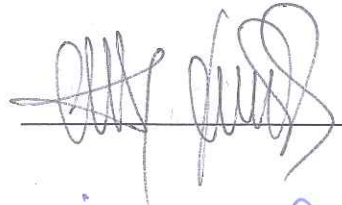
Prof. Dr. Surkay AKBAROV
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ENGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Faruk YÜKSELER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Hakkı OMURTAG
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan COŞKUN
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Öncelikle doktora tez çalışmamı çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Surkay AKBAROV öncülüğünde yapmış olmanın benim için çok büyük bir gurur kaynağı olduğunu belirtmek isterim. Çalışmalarım esnasında her türlü bilimsel ve insani katkılarından dolayı birlikte çalışmaktan büyük zevk duyduğum, engin bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Surkay AKBAROV'a en derin şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım esnasında yine içtenlikle bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve bana her konuda destek olan ve ayrıca ikinci tez danışmanlığımı yürüten çok değerli Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat İLHAN'a şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında ve akademik hayatım süresince akademik ve kişisel gelişimimde büyük emeği olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Faruk YÜKSELER'e şükran ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmam süresince farklı bakış açısı ve yorumları ile çalışmamın gelişmesinde katkıları olan çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ENGİN'e şükran ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ve sevgili Eşim Oktay ŞAHİN'e doktora tez çalışmalarım esnasında göstermiş olduğu sabır, anlayış ve desteğinden ötürü gönülden teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım esnasında sevgili oğlum Sercan'ın dünyaya gelmesiyle birlikte, doktora tezimi oğlumun gelişimi ile beraber tamamlama fırsatı bulmuş oldum. Çalışmalarım esnasında belirli aralıklarla oğlumdan ayrı kalmak durumunda kalsam da; sevgili oğlumun çok küçük yaşına rağmen bu durumu olgunlukla kabullenmesi, gönül rahatlığıyla çalışmalarımı sürdürmemde bana çok yardımcı oldu. Bir anne olarak doktora tez çalışmalarını sürdürebilmek biraz meşakkatli olsa da; oğlumun varlığı çalışmalarım süresince benim için en büyük destek oldu. Bu nedenle doktora tez çalışmamı çok sevgili oğlum Sercan'a atfediyorum.

Mart, 2016

Nezihe Sevgi ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez.....	10
BÖLÜM 2	
PROBLEMİN MATEMATİKSEL FORMÜLASYONU.....	13
2.1 Problemin Geometrisi.....	14
2.1.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem.....	14
2.1.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem.....	15
2.1.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem.....	16
2.2 Hareket - Bünye Denklemleri.....	17
2.3 Sınır ve Temas Koşulları	18
2.3.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları.....	18
2.3.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları	19
2.3.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları.....	20

BÖLÜM 3	
ÇÖZÜM YÖNTEMİ	22
3.1 Hareket Denkleminin Çözümü	22
3.2 Sınır ve Temas Koşullarının Açık İfadesi	27
BÖLÜM 4	
SAYISAL SONUÇLAR VE ANALİZ.....	35
4.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar.....	35
4.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar.....	38
4.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar	44
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	68
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGE LİSTESİ

c	Yükün boyutsuz hızı
c_{cr}	Boyutsuz kritik hız
$c_{2com}^{(m)}$	$= \sqrt{\mu_{com}^{(m)} / \rho^{(m)}} ; \mu_{com}^{(m)}$ Kompleks kayma hızı
$E_i^{(m)}$	m. tabakadaki Ox_i eksenine yönündeki elastisite modülü
h	Örtü tabakasının kalınlığı
h_1	Birinci tabakanın kalınlığı
h_2	İkinci tabakanın kalınlığı
h_o	$= h_2 / h_1$ Ara tabaka kalınlığının örtü tabakası kalınlığına oranı
Ox_1, x_2, x_3	Kartezyen koordinat takımı
P	Yükün genlik değeri
s	Fourier integral dönüşümü parametresi
t	Zaman
$u_i^{(m)}$	m. tabakadaki yerdeğiştirme vektörü elemanları
V	Hareketli kuvvetin hızı
V_{cr}	Kritik hız
Ω	Yükün boyutsuz frekansı
ω	Yükün titreşim frekansı
δ	Dirac delta fonksiyonu
$\rho^{(m)}$	m. tabakanın yoğunluğu
$\nu^{(m)}$	m. tabakanın Poisson oranı
$\varepsilon_{ij}^{(m)}$	m. tabakadaki şekil değiltirme tensörü elemanları
$\sigma_{ij}^{(m)}$	m. tabakaya ait gerilme tensörü bileşenleri
$\sigma_{11}^{(m),0}$	m. tabakadaki Ox_1 eksenine yönündeki ön gerilme
$\lambda_0^{(m)}, \mu_0^{(m)}$	Lame sabitlerinin başlangıçtaki değerleri
$\lambda_\infty^{(m)}, \mu_\infty^{(m)}$	Kompleks Lamé sabitleri
$q^{(m)}$	m. tabaka için zaman boyutuna sahip reolojik parametre
$1/q^{(m)}$	m. malzemenin karakteristik gevşeme (relaksasyon) süresi

- $r_\lambda^{(m)}, r_\mu^{(m)}$ m. tabaka için zaman boyutuna sahip reolojik parametreler
- $d^{(m)}$ $= d_\lambda^{(m)} = d_\mu^{(m)}$; m. tabakaya ait viskoelastik parametre; mekanik özelliklerin uzun vadedeki değerini karakterize eden parametre
- $Q^{(m)}$ m. tabakaya ait viskoleastik parametre; karakteristik sünme süresi



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Viskoelastik levha ve yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistemin geometrisi	15
Şekil 2. 2 Rijit ortam üzerindeki viskoelastik örtü tabakası ve levhadan oluşan sistemin geometrisi.....	16
Şekil 2.3 Viskoelastik örtü tabakası, viskoelastik levha ve yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistemin geometrisi	17
Şekil 4.1 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.0$)	36
Şekil 4.2 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.006$)	37
Şekil 4.3 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.007$)	37
Şekil 4.4 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.010$)	38
Şekil 4.5 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.006$)	40
Şekil 4.6 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.01$)	40
Şekil 4.7 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.01$)	41
Şekil 4.8 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.1$)	42
Şekil 4.9 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.1$)	42
Şekil 4.10 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.01$)	43
Şekil 4.11 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.10$)	43
Şekil 4.12 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 2$)	47

Şekil 4.13 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200, h_o = 2$)	48
Şekil 4.14 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 2$)	50
Şekil 4.15 Farklı h_o değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, d^{(2)} = 0.03$)	51
Şekil 4.16 Farklı h_o değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, d^{(2)} = 0.1$)	52
Şekil 4.17 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03, h_o = 2$)	53
Şekil 4.18 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1, h_o = 2$)	54
Şekil 4.19 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 4$)	55
Şekil 4.20 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200, h_o = 4$)	56
Şekil 4.21 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 9$)	57
Şekil 4.22 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200, h_o = 9$)	58
Şekil 4.23 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 4$)	59
Şekil 4.24 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 9$)	60
Şekil 4.25 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03, h_o = 4$)	61
Şekil 4.26 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03, h_o = 9$)	62
Şekil 4.27 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1, h_o = 4$)	63
Şekil 4.28 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1, h_o = 9$)	64
Şekil 4.29 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yükün tireşim frekansı Ω ile değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 2$)	65

Şekil 4.30 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi
($Q^{(2)} = 100, h_o = 2$) 66



ŞİDDETİ ZAMANA GÖRE HARMONİK HAREKETLİ YÜK ETKİSİNDEKİ VİSKOELASTİK TABAKALI YARI DÜZLEMİN DİNAMIĞI

Nezihe Sevgi ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Surkay AKBAROV

İkinci Tez Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nihat İLHAN

Bu doktora tez çalışmasında, viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistemin zamana göre harmonik değişen titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı, düzlem şekil değiştirme halinde parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde, viskoelastik ortamlarda dalga yayılımının kesin denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Sistemin bileşenlerindeki malzemelerin mekanik özelliklerinin, reolojik parametrelerin ve levha kalınlıklarının hareketli yükün kritik hızına ve gerilme dağılımına etkisine ait sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

Malzeme bileşenlerine ilişkin temel denklemler, lineer viskoelastisite teorisine ilişkin diferansiyel denklemler kullanılarak yazılmıştır (standart lineer katı cisim modeli). Sistemi oluşturan tabakalar arasındaki düzlemde tam temas durumu dikkate alınmıştır. Düzlem şekil değiştirme durumu dikkate alınmış olup, ilgili sınır değer ve temas problemlerinin çözümü için hareketli koordinat takımında düzlem boyunca integral Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Bilinmeyen büyüklüklerin Fourier dönüşümü analitik olarak, ters dönüşümü ise sayısal olarak elde edilmiştir. Hareketli yükün kritik hız değeri ile temas yüzeyinde oluşan gerilmelere ait sayısal sonuçlar ve malzeme bileşenlerine ilişkin reolojik parametreler ile tabaka kalınlığının kritik hız ve temas yüzeyinde oluşan gerilme değerlerine etkisine yönelik elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuş ve mühendislik açısından yorumlanmıştır.

Özellikle gerilmelere ait rezonans değerleri, karakteristik sünme süresinin ($Q^{(m)}$) ve viskoelastik malzeme bileşenlerine ait uzun vadeli parametrelerin ($d^{(m)}$) azalması ile düşüş göstermektedir. Ayrıca hareketli yükün titreşim frekansındaki artış, gerilmelere ait rezonans değerlerinde azalmaya yol açmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zamana göre harmonik değişen hareketli yük, viskoelastisite, reolojik parametreler, kritik hız, levha kalınlığı, örtü tabakası, ara tabaka, yarı sonsuz ortam, standart lineer rijit cisim modeli.



**DYNAMICS OF A VISCOELASTIC HALF SPACE WITH VISCOELASTIC LAYERS
SUBJECTED TO A TIME DEPENDENT HARMONIC MOVING LOAD**

Nezihe Sevgi ŞAHİN

Department of Civil Engineering

Ph. D. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Surkay AKBAROV

Co-Adviser: Asst. Prof. Dr. Nihat İLHAN

This thesis investigates the dynamic response to a time-harmonic oscillating moving load of a system comprising viscoelastic two layers covering a viscoelastic half space within the scope of the piecewise-homogeneous body model utilizing the exact equations of linear theory of visco-elastodynamics.

The effects of the rheological parameters, mechanical properties of the materials and layers' thicknesses on the critical velocity of the moving load and stress distribution are studied in this thesis. The constitutive relations of the materials of the constituents are written by differential relations of the theory of the linear viscoelasticity ("standard linear solid body" model). It is assumed that the complete contact conditions satisfy on the interface planes between the constituents. The plane-strain state is considered and to solve the corresponding boundary value and contact problems, the moving coordinate system is used and the exponential Fourier transformation with respect to the coordinate directed along the interface is employed.

The expressions of the Fourier transformation of the sought quantities are found analytically and the inverse of these transformations are determined numerically. Numerical results related to the critical velocity of the moving load and interface stresses and the influence of the rheological parameters of the materials of the

constituents and the layers' thicknesses on these critical velocity and stresses are presented and discussed.

In particular, it is established that the “resonance” values of the stresses decrease with decreasing of the characteristic creep time ($Q^{(m)}$) and long-term values of the viscoelastic materials of the constituents ($d^{(m)}$). It is also established that the “resonance” values of the stresses decrease with the frequency of the moving load.

Keywords: Time dependent harmonic moving load, viscoelasticity, rheological parameters, critical velocity of the moving load, layer thickness, covering layer, mid-layer, half-space, standart linear rigid body model.



1.1 Literatür Özeti

Hareketli yük etkisindeki ortamlarda dinamik davranışın belirlenmesine yönelik çalışmalar geçmişten günümüze kadar önemli bir problem olarak ele alınmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, özellikle yüksek hızlı tren teknolojisinin dünya çapında artan ulaşım ihtiyacının en verimli koşullarda, hızlı, güvenli ve konforlu bir şekilde sağlanması açısından inşaat mühendisliği, çevre mühendisliği, geoteknik mühendisliği, makine mühendisliği gibi birçok mühendislik dallarını kapsamakta olup, önemli bir araştırma konusu olarak güncelliğini kaybetmemektedir.

Viskoelastik özellikler taşıyan birçok yeni malzeme mekanik ve yapı mühendisliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca dinamik yükleme altında viskoelastik malzemelerin davranışı; yapı tasarımı, titreşim ve gürültü sönümlenme yöntemleri ve diğer mühendislik uygulamalarında teorik ve pratik olarak oldukça önemli bir araştırma konusudur.

Bu bölümde hareketli yük ve titreşimli hareketli yük etkisindeki viskoelastik tabakalı sistemlerin dinamik davranışı ile ilgili yapılan araştırmalara yönelik kısaca literatür özeti verilecektir. Hareketli yük etkilerini incelemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. İlk olarak 1951 ve 1957 yıllarında Sneddon tarafından elastik yarı sonsuz düzlem üzerinde subsonik sabit hızla hareket eden çizgisel kuvvetin iki boyutlu problemi çözümlenmiş ve Fourier integral dönüşümü kullanılarak gerilme dağılımı incelenmiştir [1], [2]. 1958 yılında Cole ve Huth aynı problemi subsonik, transonik ve süpersonik hız durumu için çözümlenmişlerdir [3]. Papadopoulos 1963'te ve Eason 1965'te üç boyutlu hareketli yük

problemini Fourier integral dönüşümü ile çözümlenmişlerdir [4], [5]. Hareketli yük ve titreşimli hareketli yük etkisindeki tabakalı sistemlerin dinamik davranışına yönelik ilk çalışma ise 1967 yılında Achenbach vd. tarafından ortaya atılan araştırma ile başlamıştır [6]. Zamanla bu çalışma araştırmacılarca sürekli olarak geliştirilmiştir; bu konunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar Babich vd. (1986, 1988, 2008a, 2008b), Akbarov vd. (2007, 2008) ve Dinçsoy vd. (2009) makalelerinde ele alınmıştır [7 - 13]. Ayrıca Akbarov ve İlhan (2009), Akbarov ve Salmanova (2009) ve İlhan (2012) çalışmalarında titreşimli hareketli yükün tabakalı sistemlere etkisini incelemiştir [14 - 16]. Bu çalışmalarda titreşimli hareketli yük olması durumunda, titreşim olmadığı durumda elde edilen kritik hız değerinden daha büyük ve daha küçük olmak üzere iki farklı kritik hız değerinin oluştuğu saptanmıştır. İlhan (2008) doktora tez çalışmasında öngerilmeli anizotrop levha ve öngerilmeli anizotrop yarı düzlemden oluşan sistemin titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı; düzlem şekil değiştirme durumunda, parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde, öngerilmeli ortamlarda dalga yayılımının üç boyutlu doğrusallaştırılmış teorisi uygulanarak incelenmiştir [17].

Ancak yukarıda bahsedilen tüm çalışmalarda malzeme bileşenleri tam elastik (purely elastic) olarak kabul edilmiş ve buna göre hareketli yükün kritik hızı ile ilişkili gerilme ve yerdeğiştirme değerlerinin sonsuza gittiği kabulü yapılmıştır. Bu kabule dayalı sonuçların gerçek deney verileri ile kıyaslandığında yeterli olmadığı görülmektedir. Örneğin, Auersh 2006 yılında yaptığı çalışmada tabakalı yarı sonsuz ortam üzerindeki tren yükünün etkilerini teorik ve deneysel olarak incelemiştir [18]. Teorik sonuçlardaki bu yetersizliği gidermek açısından, dinamik dış kuvvet etkimesi durumunda sistem bileşenlerindeki sönümlenme tepkisini dikkate alan modeller kullanılmalıdır. Bu modellerde gerilme ve şekil değiştirme bağıntılarının elastisite teorisi yerine viskoelastisite teorisine göre oluşturulması gerekmektedir.

Tanaka ve Maeda (1984) çalışmalarında, iki tabakalı viskoelastik ortam üzerine oturmuş rasgele şekildeki rijit, kütsüz bir temelin harmonik tepkilerini incelemiştir. Sınır eleman metodu kullanılarak rijitlik matrisi ve temele etki eden hareket denklemleri çıkartılmıştır. İki tabakalı viskoelastik ortam için Green fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda yarı küresel temelin rijitlik matrisi elde edilmiş ve yüzey tabakasının kalınlığı ile viskozitenin, temel davranışını önemli ölçüde etkilediği

görülmüştür [19]. Jones vd. (1997) çalışmalarında, rijit yarı sonsuz ortam üzerine oturan viskoelastik bir tabakaya dikdörtgen yayılı harmonik düşey yük etkimesi sonucunda oluşan titreşim yayılımını yarı analitik yaklaşım kullanarak teorik olarak incelemiştir. Çözüm için, Navier elastodinamik eşitliklerine ait iki uzay değişkenine göre çift katlı Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Ters Fourier dönüşümü için hızlı Fourier dönüşüm algoritması kullanılmıştır. Yükün etkidiği noktada ve yükün etkidiği nokta civarında oluşan gerçek yerdeğiştirmeler, dalga sayısı alanında tanımlanmış yerdeğiştirmelerdir [20]. Sheng vd. (1999a) daki çalışmalarında sabit hareketli yükün etkilerini teorik olarak incelemek üzere yarı sonsuz ortamı tabakalı viskoelastik olarak tanımlamışlardır [21]. Sheng vd. (1999b) daki çalışmalarında harmonik yük olması durumu için (1999a) daki araştırmalarını geliştirmişlerdir [22]. Madshus ve Kaynia (2000) yumuşak zemindeki bir yüksek hızlı demiryolu hattında kritik tren hızının dinamik davranışını deneysel olarak ölçmüşler ve VibTrain bilgisayar programında simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyonda viskoelastik sönüm parametreleri dikkate alınmıştır [23]. Degrande ve Schillemans 2001 yılında Brüksel-Paris demiryolu hattında 223 - 314 km/saat hız aralığında çalışan trenlerin dinamik etkisini deneysel olarak incelemiştir [24]. Hung ve Yang (2001) çalışmalarında, dinamik ve statik bileşenler içeren hareketli yük etkisi altındaki viskoelastik yarı sonsuz ortamın dinamik davranışını incelemiştir. Hareketli tekil yük, düzgün yayılı tekerlek yükü, elastik olarak yayılı tekerlek yükü ve bir dizi elastik yayılı tekerlek yükü şeklinde dikkate alınan tren yükü olmak üzere dört çeşit taşıt yükü dikkate alınmıştır. Her bir durum için, subsonik, transonik ve süpersonik hız aralıklarında yarı sonsuz ortamın dinamik tepkisi incelenmiştir [25]. Polimer ve polimer-matris bileşenlerin mekanik davranışları Roylance (2001) de lineer viskoelastisite konusu çerçevesinde detaylı bir şekilde ele alınmıştır [26]. Takemiya (2003) yüksek hızlı trenlerden kaynaklanan demiryolu-altyapı titreşimlerinin simülasyonu için bir taşıt modeli ele alarak, taşıt geometrisinin ve hızının dinamik ve statik etkilerini incelemiştir. Ayrıca teorik sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmıştır [27]. Martinez Castro ve Gallego (2006) çalışmalarında, zamana göre harmonik yük etkisindeki viskoelastik tabakanın dinamiğini üç boyutlu Green fonksiyonu ile çözümlenmiştir. Zamana göre harmonik elastodinamik problemlerin çözümü için Green fonksiyonu kullanılarak üç aşamalı yarı analitik çözüm

geliştirilmiştir: (a) potansiyel yerdeğiştirme (b) açısız Fourier serileri (c) radyal Hankel dönüşümü. Yerdeğiştirme ve gerilme bileşenleri için Hankel dönüşümünün tersini elde etmek üzere geliştirilmiş bir kompleks integrasyon yöntemi kullanılmıştır [28]. Yumuşak zemine oturan demiryollarında hareketli yük etkisini analiz etmek için Auersch (2008) dalga sayısı alanında analiz yapmıştır. Bu çalışmada, yumuşak zeminler için elde edilen teorik sonuçlar, sert zeminler için elde edilen teorik sonuçlarla ve yumuşak zemine oturan bir demiryolu test hattında kritik hıza yakın bir hız değerinde bir trenin seyri sırasında yapılan deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Dinamik açıdan zemin rijitliğinin hareketli yüke göre daha etkili bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır [29]. Huang (2008) doktora tez çalışmasında, geniş bant gürültü etkisi altındaki bir serbestlik dereceli, kübik, nonlinear viskoelastik sistemi incelenmiştir. Bu tez çalışmasında dinamik sistemlerde etkinliği kanıtlanmış stokastik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Stabilité ve bifürkasyon özellikleri sayısal simülasyon ile elde edilmiştir [30]. Ciarletta vd. (2009) çalışmalarında, viskoelastik tabakalı yarı sonsuz ortam üzerindeki elastik bir düzlemde harmonik titreşimleri incelemiştir. Fourier integral dönüşümü ve Betti integrali problemi birtakım integral eşitliklere indirgemek için kullanılmıştır [31]. Guedri vd. (2010) çalışmalarında, pasif titreşim sönümlenme konusu kapsamında mesnetli viskoelastik tabakalardaki belirsiz çatlak metodolojisini incelenmiştir. Çok tabakalı bir kirişte ve sonlu elemanlı bir levhada belirsizlikler, kütle ve kompleks rijitlik matrislerinin yeterli derecede parametrizasyonu ile tanımlanmıştır. Stokastik sonlu eleman modelleri ve viskoelastik sistem modellerine yönelik teorik esaslar kullanılmıştır ve sayısal uygulamalar, viskoelastik malzemelerden oluşan yapıların dayanıklı bir şekilde tasarımında, önerilen metodun etkinliğini göstermek amacıyla sunulmuştur [32]. Kozhevnikov vd. (2010) çalışmalarında, rijit gelişigüzel şekillerdeki çukurlar ile bir viskoelastik ortamdaki temas problemini incelemiştir. Normal kuvvet etkisi altında çukurlardaki penetrasyon değışiklik göstermekte ve birkaç temas yüzeyi görülmektedir. Basınç dağılımı, çukurlarda oluşan kuvvet ve yüzeyde sürtünme olmadığı durumdaki penetrasyon değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Rasgele şekillere sahip çukurlardaki problemin sayısal olarak çözümü için matris ters dönüşüm metodu kullanılmış ve viskoelastik durum için de çözüm yöntemi genişletilmiştir. Birden fazla nokta için matris ters dönüşüm metodu fazla zaman gerektirdiği için iki

ölçekli iteratif metot kullanılmıştır. Bu metotta temas etkisini dikkate alan basınç dağılımını hesaplamak için yerel matris ters dönüşüm metodu her bir temas yüzeyinde mikro ölçekte uygulanmıştır. İki algoritma geliştirilmiştir. Birincisinde diğer temas yüzeylerindeki kuvvet dağılımı dikkate alınmıştır. İkincisi ise birinci algoritmanın ortalaması olup, diğer temas yüzeylerindeki bileşke kuvvet dikkate alınmıştır. Bu yöntemle elde edilen sayısal sonuçlar matris ters dönüşüm metodu ile elde edilen sonuçlarla doğrulanabilir [33]. Viskoelastik sönümleyicilerle mesnetlenmiş çok tabakalı bir yapının tasarımı ve vibroakustik analizi, Lin (2010) doktora tez çalışmasında ele alınmıştır. Bu çalışmada sistematik bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Çok katmanlı kiriş yapısının titreşim analizi sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirilmiştir. Vibroakustik analiz ise Biot sönümlenme modeli dikkate alınarak sınır eleman metodu ile yapılmıştır [34]. Dong ve Lu (2011) çalışmalarında, asfalt üstyapı için lineer teori ve sürekli ortam dinamiğine dayalı bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada hareketli yük olarak taşıt yükü dikkate alınmıştır. Asfalt üstyapı, tabakalı bir sistem olarak; yol malzemesi ise viskoelastik malzeme olarak kabul edilmiştir. Modelde tekerlek yükü, aralığı oldukça büyük olan periyodik bir yükleme olarak dikkate alınmıştır. Rasgele formda etki eden tekerlek yükünün dinamik tepkisi, asfalt üstyapıya harmonik hareketli yük etkimesi durumunda oluşan dinamik tepkinin Fourier dönüşüm tekniği kullanılarak hesaplanması ile elde edilmiştir. Yarı rijit bir asfalt üstyapı dikkate alınarak, dinamik tepki değerleri hesaplanmış ve ivmelendirilmiş döşeme testi kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gerilme-zaman ilişkisine göre hesaplanan sonuçların ölçülen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Tekerlek yükü etkisindeki dinamik tepkilerin yatay dağılımı ve asfalt kaplama tabakasının tabanında oluşan maksimum gerilme değeri modelin güvenilirliğini kanıtlamıştır [35]. Pavlou (2011) çalışmasında, viskoelastik ortam üzerindeki ince bir tabakanın düzlemsel ve yanal darbe kuvveti etkisindeki dinamik davranışı için bir analitik çözüm sunmuştur. Zamana ve konuma bağlı olarak çift integral dönüşümü ile analizler gerçekleştirilmiştir. Temsili örnekler üzerinde çalışılmış ve viskoelastik ortamın sönümlenme ve elastisite katsayılarının dalga yayılımına etkisi incelenmiştir [36]. Qian vd. (2012) farklı hızlardaki hareketli yüklerin sonsuz viskoz-elastik yarı ortamdaki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında farklı hızlardaki yüklerin etkidiği viskoz-elastik yarı sonsuz ortama ait üç boyutlu analitik

çözümü elde etmek üzere Laplace dönüşümü ve silindirik koordinatlarda göreceli koordinat dönüşümü kullanılmıştır. Farklı hızlardaki dinamik tepkilere ait sonuçlar incelenirken enerji kaybı da dikkate alınmıştır. Süper-Rayleigh dalga hızı nedeniyle yüzeyde yerdeğiştirme burulma hareketi görülmüştür [37]. Viskoelastik Cerruti problemi şeklinde tanımlanan yüzeyde teğetsel kuvvet etkisi altındaki viskoelastik yarı sonsuz ortam modeli, Peng ve Zhou (2012) çalışmalarında sunulmuştur. Elastik-viskoelastik korunum bağıntıları uygulanarak Klasik Cerruti probleminde gerilme dağılımı ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir [38]. Yayılı yüzey kuvvetleri etkisi altındaki viskoelastik yarı sonsuz ortamda kısa süreli dalga yayılımı konusu Mesquita vd. (2012) çalışmalarında ele alınmıştır. İki boyutlu viskoelastik yarı sonsuz ortamda sınır eleman metodu ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, viskoelastodinamik gerilme sınır değer problemlerinin sayısal çözümünü içermektedir. Viskoelastik etkiler elastik-viskoelastik korunum bağıntıları ile dikkate alınmıştır. Frekans tanım alanında hızlı Fourier dönüşüm yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir [39]. Akbarov (2014), çalışmasında, viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistem için aksel simetrik zamana göre harmonik Lamb problemini incelemiştir. Bu çalışma lineer viskoelastisite teorisinin kesin denklemleri kullanılarak parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde yapılmıştır. Malzemelere yönelik mekanik ilişkiler, e tabanlı üstel işlem operatörü ile tanımlanmıştır. İlgili sınır değer problemi Hankel integral dönüşümü kullanılarak çözümlenmiştir. Dikkate alınan sistem bileşenlerinin viskozitesini etkileyen parametrelere bağlı olarak ara yüzeye etkiyen gerilme genliklerinin frekans cevapları gösterilmiştir. Frekans tanım alanındaki sayısal sonuçlar sunulmuş ve mühendislik açısından yorumlanmıştır. Özellikle örtü tabakası malzemesinin yarı ortam malzemesine göre daha sert olması durumunda bahsi geçen parametrelerin değerindeki artışın parametrik rezonansa neden olduğu belirtilmiştir [40]. Xu ve Prozzi (2015) çalışmalarında zaman tanım alanında Galerkin - Sonlu Elemanlar yöntemi kullanarak bir dinamik viskoelastik model geliştirmişlerdir. Ayrıca yükleme etkisi altındaki tabakalı sistemlerdeki dinamik tepkilerin simülasyonu için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Houbolt, merkezi sonlu-farklar ve ters Fourier dönüşümü metodlarının kombinasyonundan oluşan bir çözüm yöntemi zaman adımlarının boyutunu düşürmek için ivme ve hız değerlerinin zaman ayrıklaştırmasında

kullanılmak üzere önerilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmalarında geliştirdikleri modeli, çok tabakalı asfalt-zemin yapısında uygulayarak doğrulamışlardır [41]. Yin vd. (2015) çalışmalarında, viskoelastik yarı sonsuz ortam üzerinde sürtünmesiz yuvarlanma temas problemini üç boyutlu olarak çözümlenmek üzere yeni bir formülasyon geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, malzeme davranışının, yeterli derecede kısa bir zaman süresince zamandan bağımsız olduğu varsayılarak, viskoelastik temas problemi elastik temas problemine dönüştürülmüştür. Daha sonra her bir zaman adımında doğrudan nümerik metot kullanılmıştır. Ayrıca bu metot harmonik değişen hız değerleri için test edilmiş ve iyi bir sonuç alınmıştır [42]. Aglyamov vd. (2015) çalışmalarında, tabakalı viskoelastik bir ortam yüzeyine harmonik ve impulsif akustik yayılım kuvveti etkimesi durumundaki dinamik davranışı teorik ve deneysel olarak incelenmişlerdir. Tabakalı viskoelastik sıkıştırılabilir ortam için analitik çözümler, Hankel dönüşümü kullanılarak frekans ve zaman tanım alanında elde edilmiştir. Yumuşak biyolojik dokuları modellemek için özel sıkıştırılmayan bir durum dikkate alınmıştır. Teorik modeli doğrulamak için, farklı mekanik özelliklere sahip, dokuya benzer jel tabanlı fantomlar kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 3.5 MHz ultra ses ileticiye odaklı tekil bir eleman, fantomların yüzeyinde yayılım kuvvetini uygulamak için kullanılmıştır. Hassas fazlı optik uyumlu tomografi sistemi, fantom yüzeyindeki yerdeğiştirmeleri izlemek için kullanılmıştır. Teorik olarak tahmin edilen yerdeğiştirmeler deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Yüzeyinde akustik sinyal etkileyen bir ortamın elastik özellikleri ile ilişkili olan derinlik miktarının etkisi araştırılmıştır. Yüzeydeki düşük frekanslı titreşimlerin, yüksek frekanslı titreşimlere göre derin tabakalarda daha hissedilir olduğu görülmüştür [43]. Sbartai (2015) çalışmasında, viskoelastik zemin tabakasına gömülü birbirine bitişik iki rijit temelin dinamik etkileşimini incelemiştir. Zemin tabakası üzerine yerleşmiş rijit temellerden birinde ortaya çıkan titreşimler, harmonik yüklemelerin ötelenme, burulma ve salınım hareketlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Rijit yüzey temellerine ilişkin dinamik tepkiler dalga eşitliklerinden elde edilmiştir. İki tabaka arasındaki etkileşimi hesaplamaya yönelik problemin çözümü, frekans tanım alanında sınır eleman metodu ile birlikte tabakalı zemin için Kausel-Peek Green fonksiyonu ve ince tabaka metodu kullanılarak yapılmıştır. Zemin heterojenliği, rijit kaya temel ve yarı sonsuz zemin üzerinde bir veya iki tabakalı zemin olması durumu için hesaplanmıştır. Bu

çalışmadaki analiz sonuçları, bitişik iki temelin etkileşimi sonucu oluşan dinamik tepkiler üzerinde farklı parametrelerin etkisinin gözardı edilemeyeceğini göstermiştir. Özellikle en etkin parametrelerin, zemin heterojenliği, temel şekli ve yük şiddeti olduğu görülmüştür [44]. Cherizol vd. (2015) çalışmalarında, doğal liflerle güçlendirilmiş termoplastik polimerlerden meydana gelen biyokompozitlerin viskoelastik özelliklerine yönelik genel bir bilgi ve reolojik davranışlarını anlamak için tahmini modeller sunulmuştur. Viskoziteyi daha iyi tanımlamak için çeşitli korunum bağıntıları incelenmiştir. İncelenen modeller; Giesekus-Leonov modeli, ısı iletimi çok iyi malzemelerin Maxwell modeli, White-Metzner modeli, K-BKZ modeli, Oldroyd-B modeli ve Phan-Thien-Tanner modeli şeklindedir. Oldroyd-B modeli, Phan-Thien-Tanner modeli ve Giesekus modeli; çeşitli modellerde relaksasyon modülünü ve kayma incelenmesi ile kayma kalınlaşması karakteristiklerini iyi bir şekilde tanımlamaktadır. Phan-Thien-Tanner modeli, K-BKZ modeli, ısı iletimi çok iyi malzemelerin Maxwell modeli, Oldroyd-B modeli ve Giesekus modelinde; fiberle güçlendirilmiş termoplastik kompozitler için sabit kayma viskozitesi ve geçici birinci normal gerilme katsayısı değerlerinin White-Metzner modeline göre daha iyi tanımlandığı görülmüştür [45]. Treysede (2015) çalışmasında, üç boyutlu Lamb modeli ve SH dalgaları için modal çözüm yöntemi geliştirmiştir. Çözüm yöntemi elastik ve viskoelastik tabakalara uygulanabilmektedir. Teorik ifadeler yarı analitik sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki çalışmalarla ve iki boyutlu çözüm yöntemi ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır [46]. Sun vd. (2015) çalışmalarında, düzlemde lineer elastik ve viskoelastik dalga problemlerini çözmek için singüler sınır metodunu kullanmışlardır. Yöntemin etkinliğini göstermek için, analitik çözümleri karşılaştırmak üzere çeşitli sayısal örnekler verilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu ile elde edilen sayısal sonuçlarla da karşılaştırma yapılmıştır [47]. Fattahi ve Spinello (2015) çalışmalarında, lineer viskoelastik altyapı üzerindeki Timoshenko kirişinden oluşan sensör modeli üzerinde çalışmışlardır. Sistem için matematiksel eşitlikler, Timoshenko kirişinin, temas yüzeyi elemanlarının ve viskoelastik alt tabakanın kinematik bağıntılarından elde edilmiştir. Bu çözüm yönteminde kirişin deformasyon ölçümlerinden viskoelastik alt tabakanın temel parametreleri tahmin edilmiştir. Standart lineer viskoelastik malzeme modellerini tanımlayan temel parametreler

deneysel olarak ölçülmüş ve model ile deney sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür [48].

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan Akbarov, İlhan ve Şahin (2014) çalışmalarında, titreşimli hareketli yük etkisi altındaki viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı sonsuz ortamdan oluşan sistemde viskoelastisiteye ilişkin reolojik malzeme parametrelerinin kritik hız ve gerilme yayılımına etkisi incelenmiştir [49]. Akbarov (2015) de viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı sonsuz ortamdan oluşan sisteme yönelik uygun problemin incelenmesi ele alınmış [50], ayrıca bu çalışmada [49] daki çalışmaya da yer verilmiştir. Yine bu tez çalışması kapsamında hazırlanan Akbarov, İlhan ve Şahin (2015) çalışmasında, rijit ortam üzerindeki viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik levhadan oluşan bir sistemin dinamik davranışına, levha yüksekliğinin etkisi incelenmiştir [52]. Bu çalışmalarda malzeme bileşenlerine yönelik korunum eşitlikleri "standart lineer katı cisim modeli" (Rabotnov, 1980) çerçevesinde verilmiştir [53]. Sistemi oluşturan tabakalar arasındaki düzlemde tam temas durumu dikkate alınmıştır. Düzlem şekil değiştirme durumu dikkate alınmış olup, ilgili sınır değer ve temas problemlerinin çözümü için hareketli koordinat takımında düzlem boyunca integral Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Bilinmeyen büyüklüklerin Fourier dönüşümü analitik olarak, ters dönüşümü ise sayısal olarak elde edilmiştir [49, 52].

Mevcut tez çalışmasında viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistemin sabit hızla hareket eden zamana göre harmonik değişen titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Sistemin bileşenlerindeki malzeme parametrelerinin, viskoelastik parametreler olan reolojik parametrelerin, levha kalınlıklarının ve yükün titreşim frekansının kritik hıza ve gerilme yayılımına etkisine yönelik sayısal sonuçlar elde edilmiş ve mühendislik açısından yorumlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışmasında, viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistemin zamana göre harmonik değişen titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı incelenmiştir. Sistemin

bileşenlerindeki malzemelerin mekanik özelliklerinin, reolojik parametrelerin ve levha kalınlıklarının hareketli yükün kritik hızına ve gerilme dağılımına etkisi araştırılmıştır.

Tez konusuyla ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, levha ve yarı düzlemi oluşturan malzemelerin viskoelastik özellikleri gözönüne alınmamıştır. Oysa ki malzemenin viskoelastik olarak modellenmesiyle gerçek malzeme davranışına, özellikle de zemin davranışına daha yakın sonuçlar elde edilecektir.

Tez çalışmasında viskoelastik izotrop iki levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistemin zamana göre harmonik değişen titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı, düzlem şekil değiştirme halinde parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde, viskoelastik ortamlarda dalga yayılımının kesin denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Sabit hızla hareket eden yük, örtü tabakasının üst yüzeyinden sisteme etki etmektedir. Söz konusu problemin çözümü hareketli yükün subsonik hız sınırları altında, örtü tabakası, ara tabaka ve yarı sonsuz ortam arasındaki düzlemde tam temas koşulları için yapılmıştır.

Malzeme parametrelerinin, viskoelastik parametrelerin, yükün titreşim frekansının, levha kalınlıklarının kritik hız ve gerilme yayılımına etkisine ait sayısal sonuçların elde edilmesine yönelik algoritma ve PC programı oluşturulmuştur. Tez çalışması kapsamında oluşturulan algoritma ve PC program kullanılarak ele alınan probleme yönelik elde edilen sayısal sonuçlar mühendislik açısından yorumlanmıştır.

Mevcut çalışma, diğer hareketli ve titreşimli hareketli yük problemlerine de uygulanabilir.

1.3 Hipotez

Bu doktora tez çalışmasında, viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistemin zamana göre harmonik değişen titreşimli hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı, düzlem şekil değiştirme halinde parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde, viskoelastik ortamlarda dalga yayılımının kesin denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Sistemin bileşenlerindeki malzemelerin mekanik özelliklerinin, reolojik parametrelerin ve levha kalınlıklarının

hareketli yükün kritik hızına ve gerilme dağılımına etkisine ait sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

Malzeme bileşenlerine ilişkin temel denklemler, lineer viskoelastisite teorisine ilişkin diferansiyel denklemler kullanılarak yazılmıştır (standart lineer katı cisim modeli). Sistemi oluşturan tabakalar arasındaki düzlemde tam temas durumu dikkate alınmıştır. Düzlem şekil değiştirme durumu dikkate alınmış olup, ilgili sınır değer ve temas problemlerinin çözümü için hareketli koordinat takımında düzlem boyunca integral Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Bilinmeyen büyüklüklerin Fourier dönüşümü analitik olarak, ters dönüşümü ise nümerik olarak elde edilmiştir. Hareketli yükün kritik hız değeri ile temas yüzeyinde oluşan gerilmelere ait sayısal sonuçlar ve malzeme bileşenlerine ilişkin reolojik parametreler ile tabaka kalınlığının kritik hız ve temas yüzeyinde oluşan gerilme değerlerine etkisine yönelik elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuş ve mühendislik açısından yorumlanmıştır.

Tam elastik durumda, örneğin [11], [12], [13], [14], [15] ve benzeri gibi çalışmalarda dikkate alınan durumlar için, hareketli yükün kritik hız değerleri sisteme ait katsayılar matrisinin determinatının sıfıra eşit olması durumunda elde edilen karakteristik denklemin çözümlenmesi ile belirlenmiştir. Şekil değiştirme - yerdeğiştirme bağıntılarındaki bilinmeyen sabitleri bulmak için sınır ve temas koşullarından elde edilen cebirsel denklemler kullanılır.

Ancak mevcut tez çalışmasında ele alınan sistem viskoelastik bileşenler içerdiği için kritik hız değerinin belirlenmesinde yukarıda bahsi geçen yöntem uygulanamaz. Çünkü viskoelastik durumda ele alınan problem parametrelerinin tüm değerleri için, katsayılar matrisinin determinatının mutlak değeri sıfırdan büyük olacaktır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında hareketli yükün kritik hız değeri; hareketli yük hızına bağlı olarak belirli bir karakteristik noktadaki incelenen niceliklerin (örneğin; bileşenlerin ara yüzeyine etkiyen normal gerilme gibi) mutlak değerlerinin araştırılması ile belirlenir. Dikkate alınan niceliğin mutlak değeri bir mutlak maksimum değerine sahip ise ve bu değer de bu niceliğin diğer değerlerinden önemli ölçüde farklılık gösteriyorsa bu maksimum değere karşılık gelen hareketli yük hızı kritik hız olarak dikkate alınır. Sonuç olarak, bu tez çalışmasında kullanılan yaklaşım, diğer tam elastik durumlar için de kullanılabilir ve

bu metot yukarıda bahsedilen yöntemden daha zor olmasına rağmen, tam elastik durumda uygulanan yaklaşımlardan daha genel bir yaklaşımdır.

Tez çalışmasındaki tüm hesaplar subsonik rejim dikkate alınarak yapılmıştır, diğer bir ifadeyle $c = V/c_2^{(1)} < 1$ olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kritik hız, dikkate alınan sistemde tabakalardan herhangi birinin elastisite modülünün yarı sonsuz ortam elastisite modülünden büyük olması durumunda ortaya çıkar. Fakat $E^{(1)} < E^{(2)} < E^{(3)}$ olması durumunda kritik hız oluşmaz. Bu durum dikkate alınarak mevcut tez çalışmasında $E^{(1)} > E^{(2)}$ ve $E^{(1)} = E^{(3)}$ olduğu varsayılmıştır. Basitleştirme açısından $d_\lambda^{(m)} = d_\mu^{(m)}$ olarak varsayılmıştır ve $d^{(m)} (= d_\lambda^{(m)} = d_\mu^{(m)})$ şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca örtü tabakası ve yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin tam elastik olduğu varsayılmış ancak ara tabaka malzemesi ise $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ reolojik parametreleri ile viskoelastik olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada levha kalınlıklarının değişimi, $h_o = h_2 / h_1$ oranının ve ikinci tabakaya ait viskoelastik özellikleri belirleyen reolojik parametrelerin ($d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$) tabakaların temas yüzeyindeki gerilme dağılımına etkisi incelenmektedir.

PROBLEMİN MATEMATİKSEL FORMÜLASYONU

Bu bölümde tez çalışmasında ele alınan problemlere ilişkin gerilme-şekil değiştirme, şekil değiştirme-yer değiştirme bağıntıları, sınır ve temas koşulları tanımlanacaktır. Probleme ait hareket denkleminin çözümlenebilmesi için bünye denklemlerinden faydalanılacaktır. Bu şekilde hareket denklemini oluşturan tüm bileşenler aynı büyüklük cinsinden tanımlanabilir. Üç ayrı problem tipi ele alınmış ve bunlara yönelik problemin formülasyonu ile sınır ve temas koşulları verilmiştir.

Öncelikle viskoelastik izotrop örtü tabakası ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisi altındaki dinamik davranışına yönelik problemin formülasyonu ve çözüm yöntemi sırasıyla Bölüm 2 ve Bölüm 3'te sunulmuş olup, elde edilen sayısal sonuçlar Bölüm 4'te verilmiştir. Bu çalışma, 2 - 6 Haziran 2014 tarihleri arasında Letonya Üniversitesi Polimer Mekanik Enstitüsü tarafından düzenlenen "XVIII International Conference on Mechanics of Composite Materials (MCM 2014)" kongresi kapsamında "Dynamic Response to Time-Harmonic Moving Load of a System Comprising of Viscoelastic Layer Covering a Viscoelastic Half Space" konu başlıklı bildiri özet olarak yayınlanmış ve sözlü olarak sunulmuştur.

İkinci olarak rijit bir ortam üzerindeki viskoelastik levha ve viskoelastik örtü tabakasından oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Sistemin bileşenlerindeki viskoelastisitenin ve tabaka kalınlıklarının bu davranışa etkisi incelenmiştir. Bu çalışma, 24 - 28 Ağustos 2015 tarihleri arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde düzenlenen "XIX. Ulusal Mekanik

Kongresi” kapsamında “Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistemin Dinamik Davranışına Levha Yüksekliğinin Etkisi” konu başlıklı bildiri olarak yayınlanmış ve sözlü olarak sunulmuştur.

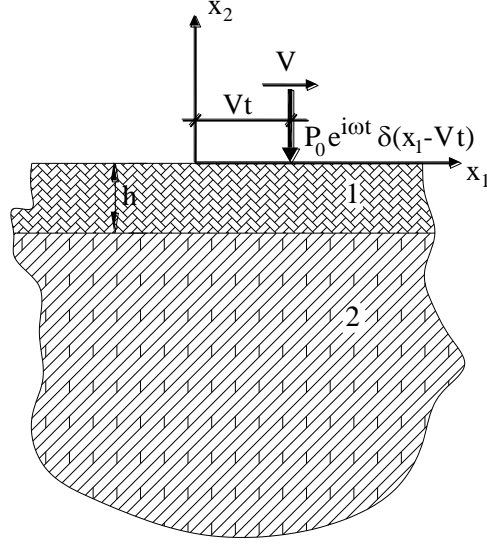
Son olarak bu doktora tez çalışmasının temelini oluşturan ana problem olan, viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı düzlemden oluşan sistemin sabit hızla hareket eden harmonik titreşimli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Bu sisteme yönelik problemin formülasyonu ve çözüm yöntemi sırasıyla Bölüm 2 ve Bölüm 3'te verilmiş olup, elde edilen sayısal sonuçlar Bölüm 4'te sunulmuştur. Özetle sistemin bileşenlerindeki izotropi özelliklerinin, viskoelastisite parametrelerinin, zamana göre harmonik hareketli yükün titreşim frekansının ve levha kalınlıklarının sistemin dinamik davranışına etkisi incelenmiştir.

2.1 Problemin Geometrisi

2.1.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem

Bu bölümde, zamana göre harmonik hareketli yük etkisi altındaki viskoelastik levha ve viskoelastik yarı sonsuz ortamın dinamiği ele alınacaktır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi Ox_1x_2 düzleminde, h kalınlığındaki viskoelastik levha; viskoelastik yarı sonsuz ortam üzerinde bulunmaktadır. Ele alınan sistemde levha ve yarı sonsuz ortamdaki noktaların konumları $Ox_1x_2x_3$ kartezyen koordinat sistemi kullanılarak tanımlanacaktır. Şekil 2.1'de gösterilen örtü tabakası ve yarı sonsuz ortam sınırları $\{-\infty < x_1 < +\infty\}$ ve $\{-\infty < x_3 < +\infty\}$ 'te sırasıyla $\{-h \leq x_2 \leq 0\}$ ve $\{-\infty \leq x_2 \leq -h\}$ şeklinde tanımlanmıştır. Tabakalar homojen ve izotrop olarak kabul edilmiş olup, levha ve yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin zamana bağlı lineer viskoelastik olduğu varsayılmıştır.

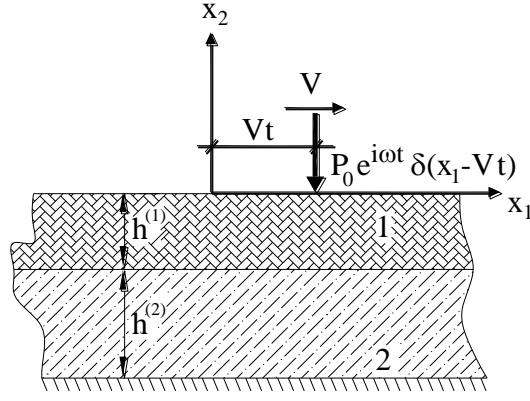
Levhaya üst serbest yüzeyine Ox_1 yönünde sabit V hızıyla hareket eden Ox_1 eksenine göre tekil, Ox_3 eksenine göre ise üniform yayılı yük etki etmektedir. Bu nedenle ele alınan sistemde Ox_1x_2 düzleminde düzlem şekil değiştirme oluşacaktır. Formülasyonlar yazılırken tabakalar için sırasıyla (1) ve (2) üst indisleri kullanılmıştır.



Şekil 2. 1 Viskoelastik levha ve yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistemin geometrisi

2.1.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem

Bu bölümde rijit bir ortam üzerindeki viskoelastik levha ve bunun üzerindeki viskoelastik örtü tabakasından oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınacaktır. Kalınlıkları sırasıyla h_1 ve h_2 olan viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik levha rijit ortam üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.2). Örtü tabakası ve viskoelastik levhanın sınırları sırasıyla $\{-\infty < x_1 < \infty, -h_1 \leq x_2 \leq 0, -\infty < x_3 < +\infty\}$, $\{-\infty < x_1 < +\infty, -(h_1 + h_2) \leq x_2 \leq -h_1, -\infty < x_3 < \infty\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Tabakalar homojen ve izotrop olarak kabul edilmiştir. Levhaya üst serbest yüzeyine Ox_1 yönünde sabit V hızıyla hareket eden Ox_1 eksenine göre tekil, Ox_3 eksenine göre ise üniform yayılı yük etmektedir. Tabakalar homojen ve izotrop olarak kabul edilmiş olup, Ox_1x_2 düzleminde düzlem şekil değiştirme durumu dikkate alınmıştır. Formülasyonlar yazılırken tabakalar için sırasıyla (1) ve (2) üst indisleri kullanılmıştır.



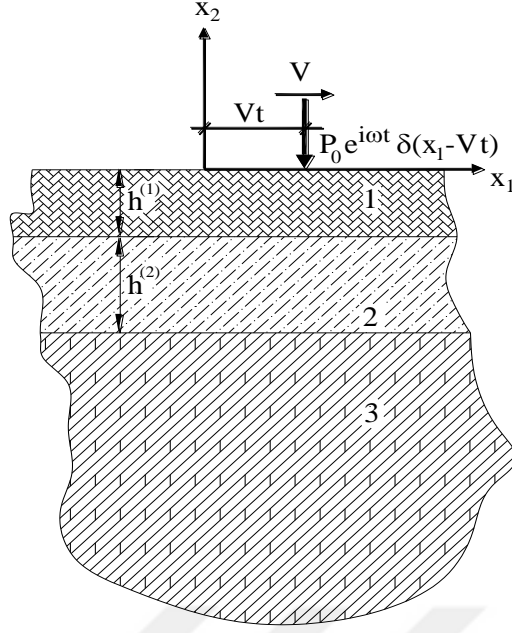
Şekil 2. 2 Rijit ortam üzerindeki viskoelastik örtü tabakası ve levhadan oluşan sistemin geometrisi

Probleme ilişkin hareket denklemi (2.1) de verilmiştir. Viskoelastik levhada şekil değiştirme-yerdeğiştirme bağıntıları (2.2) deki gibidir. Dikkate alınan sistem için düzlem şekil değiştirme durumu için (2.3) bağıntıları yazılır. Bu şekilde mevcut probleme ilişkin bünye denklemleri yazılmış olur. Bundan sonra söz konusu probleme ilişkin sınır ve temas koşullarına yönelik eşitlikler yazılabilir.

2.1.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem

Bu bölümde doktora tez çalışmasının temelini oluşturan ana problem olan, viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı düzlemden oluşan sistemin sabit hızla hareket eden harmonik titreşimli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Kalınlıkları sırasıyla h_1 ve h_2 olan viskoelastik izotrop levhalardan oluşan sistem viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortam üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.3). Viskoelastik örtü tabakası, viskoelastik ara tabaka ve viskoelastik yarı sonsuz ortamın sınırları sırasıyla; $\{-\infty < x_1 < +\infty, -h_1 \leq x_2 \leq 0, -\infty < x_3 < +\infty\}$, $\{-\infty < x_1 < +\infty, -(h_1 + h_2) \leq x_2 \leq -h_1, -\infty < x_3 < +\infty\}$, $\{-\infty < x_1 < +\infty, -\infty \leq x_2 \leq -(h_1 + h_2), -\infty < x_3 < +\infty\}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

Örtü tabakası, ara tabaka ve yarı sonsuz ortama ait büyüklükler sırasıyla (1), (2) ve (3) üst indisleriyle tanımlanmıştır.



Şekil 2.3 Viskoelastik örtü tabakası, viskoelastik levha ve yarı sonsuz ortamdaki sistemin geometrisi

2.2 Hareket - Bünye Denklemleri

Probleme ilişkin hareket denklemleri (2.1) de verilmiştir.

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(m)}}{\partial x_i} = \rho^{(m)} \frac{\partial^2 u_j^{(m)}}{\partial t^2} \quad i, j = 1, 2, \quad m = 1, 2, 3. \quad (2.1)$$

Viskoelastik levhada şekil değiştirme-yerdeğiştirme bağıntıları izleyen şekilde olmaktadır.

$$\varepsilon_{ij}^{(m)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^{(m)}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(m)}}{\partial x_i} \right) \quad i, j = 1, 2, \quad m = 1, 2, 3. \quad (2.2)$$

Düzlem şekil değiştirme durumu için aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_{11}^{(m)}}{dt} + q^{(m)} \sigma_{11}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(\frac{d\theta^{(m)}}{dt} + r_\lambda^{(m)} \theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{11}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)} \varepsilon_{11}^{(m)} \right), \\ \frac{d\sigma_{22}^{(m)}}{dt} + q^{(m)} \sigma_{22}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(\frac{d\theta^{(m)}}{dt} + r_\lambda^{(m)} \theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{22}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)} \varepsilon_{22}^{(m)} \right), \\ \frac{d\sigma_{12}^{(m)}}{dt} + q^{(m)} \sigma_{12}^{(m)} &= 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{12}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)} \varepsilon_{12}^{(m)} \right). \end{aligned} \quad (2.3)$$

(2.3) eşitliğinde $\lambda_0^{(m)}$ ve $\mu_0^{(m)}$ Lamé sabitlerinin başlangıçtaki değerleridir ve $q^{(m)}$, $r_\lambda^{(m)}$ ve $r_\mu^{(m)}$ dikkate alınan sistemde m . tabakanın reolojik parametreleridir. Kompleks Lamé sabitleri $\lambda_\infty^{(m)}$ ve $\mu_\infty^{(m)}$ (2.3) eşitliğindeki $q^{(m)}$, $r_\lambda^{(m)}$ ve $r_\mu^{(m)}$ reolojik parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir [50]:

$$\lambda_\infty^{(m)} = \lambda_0^{(m)} \frac{r_\lambda^{(m)}}{q^{(m)}}, \quad \mu_\infty^{(m)} = \mu_0^{(m)} \frac{r_\mu^{(m)}}{q^{(m)}}. \quad (2.4)$$

Ayrıca (2.3) eşitliğindeki $1/q^{(m)}$, $1/r_\lambda^{(m)}$ ve $1/r_\mu^{(m)}$ oranları zaman boyutuna sahiptir. Sonuç olarak $1/q^{(m)}$ m . malzemenin karakteristik gevşeme süresi şeklinde; $1/r_\lambda^{(m)}$ ile $1/r_\mu^{(m)}$ ise m . malzemenin sünme süresi şeklinde dikkate alınabilir. (2.3) eşitliğindeki gerilmelere ilişkin diferansiyel denklemler çözümlendiğinde, sonuç olarak $e^{-q^{(m)}t}$ üstel çekirdek fonksiyonuna bağlı olarak bünye denklemlerinin integral formu elde edilir.

Bu şekilde mevcut probleme ilişkin bünye denklemleri yazılmış olur. Bundan sonra söz konusu probleme ilişkin sınır ve temas koşullarına yönelik eşitlikler yazılabilir.

2.3 Sınır ve Temas Koşulları

2.3.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları

Örtü tabakasının serbest yüzeyinde sınır koşullarının; örtü tabakası ile yarı sonsuz ortam arasındaki düzlemde tam temas koşullarının sağlanması gerekmektedir. Şekil 2.1'e göre örtü tabakasının üst düzleminde sınır koşulları aşağıdaki şekildedir.

$$\sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = 0, \quad \sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -P e^{i\omega t} \delta(x_1 - Vt). \quad (2.5)$$

Burada δ Dirac delta fonksiyonunu göstermektedir. V ve ω sırasıyla hareketli yükün hızını ve frekansını ifade etmektedir.

Ayrıca örtü tabakası ile yarı sonsuz ortam arasındaki yüzeyde tam temas koşulları dikkate alınmış olup, temas koşulları aşağıda verilen şekildedir:

$$\sigma_{i2}^{(1)} \Big|_{x_2=-h} = \sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h}, \quad u_i^{(1)} \Big|_{x_2=-h} = u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h}, \quad i = 1, 2. \quad (2.6)$$

Böylece örtü tabakası ile yarı sonsuz ortam arasındaki yüzeyde 4 adet temas koşulu elde edilmiş olur.

Sonuç olarak titreşimli hareketli yük etkisi altındaki viskoelastik izotrop örtü tabakası ve yarı sonsuz ortamdaki oluşan sistem için toplamda 6 adet sınır koşulu tanımlanır. Probleme ilişkin $F_k^{(1)}$ ($k=1,2,3,4$), $F_l^{(2)}$ ($l=1,3$) bilinmeyen sabitler bu sınır koşullarından elde edilir.

Aynı zamanda aşağıda verilen sönüm koşulunun geçerli olduğu varsayılmıştır:

$$|u_i^{(2)}| \leq M, \quad |\sigma_{ij}^{(2)}| \leq M, \quad x_2 \rightarrow -\infty, \quad (M \text{ sabit}). \quad (2.7)$$

Bu şekilde problemin formülasyonu tamamlanmış olur.

2.3.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları

Şekil 2.2'de gösterilen sistemde örtü tabakasının üst yüzeyinde sınır koşullarının; örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki düzlemde tam temas koşullarının sağlanması gerekmektedir. Ayrıca viskoelastik levhanın rijit ortam üzerine temas ettiği bölgede yer değiştirme oluşmamaktadır.

Örtü tabakasının üst yüzeyinde;

$$\sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = 0, \quad \sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -Pe^{i\omega t} \delta(x_1 - Vt) \quad (2.5)$$

sınır koşulları bulunmaktadır. Örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki yüzeyde izleyen tam temas koşulları bulunmaktadır:

$$\sigma_{i2}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad u_i^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad i=1,2. \quad (2.8)$$

Böylece örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki temas koşullarından 4 adet temas koşulu elde edilmiş olur.

Viskoelastik levhanın rijit ortam üzerine temas ettiği bölgede yer değiştirme oluşmamaktadır.

$$u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-(h_1+h_2)} = 0, \quad u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-(h_1+h_2)} = 0. \quad (2.9)$$

Sonuç olarak, tanımlanan bu 8 adet sınır ve temas koşulları kullanılarak çözümü yapılan (2.1), (2.2), (2.3) denklemleri ile probleme ait $F_k^{(1)}$ ($k=1,2,3,4$), $F_l^{(2)}$ ($l=1,2,3,4$) bilinmeyen büyüklükler hesaplanabilmektedir.

2.3.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sınır ve Temas Koşulları

Şekil 2.5'te gösterilen sistemde örtü tabakasının üst yüzeyinde sınır koşullarının sağlanması gerekmektedir. Ox_1 eksenine göre tekil, Ox_3 eksenine göre ise üniform yayılı, zamana göre harmonik değişen, titreşimli hareketli yük etkisindeki sistemin örtü tabakasının üst yüzeyinde aşağıdaki sınır şartları sağlanmalıdır. Ayrıca örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki yüzeyde temas koşullarının da sağlanması gerekmektedir. Tam temas durumu için örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki temas koşulları aşağıdaki şekildedir;

$$\sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = 0, \quad \sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -Pe^{i\omega t} \delta(x_1 - Vt) \quad (2.5)$$

$$\sigma_{i2}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad u_i^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad i = 1, 2. \quad (2.8)$$

Böylece örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki temas koşullarından 4 adet temas koşulu elde edilmiş olur.

Ek olarak viskoelastik izotrop levha ile yarı sonsuz ortam arasındaki yüzeyde temas koşullarının da sağlanması gerekmektedir. Tam temas durumu için viskoelastik levha ile yarı sonsuz ortam arasındaki temas koşulları aşağıdaki şekildedir;

$$\sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = \sigma_{i2}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2}, \quad u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = u_i^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2}, \quad i = 1, 2. \quad (2.10)$$

Böylece viskoelastik izotrop levha ile yarı sonsuz ortam arasındaki temas koşullarından 4 adet temas koşulu elde edilmiş olur.

Aynı zamanda aşağıda verilen sönüm koşulunun geçerli olduğu varsayılmıştır:

$$\left| u_i^{(3)} \right| \leq M, \quad \left| \sigma_{ij}^{(3)} \right| \leq M, \quad x_2 \rightarrow -\infty, \quad M = \text{sabit} \quad (2.11)$$

Bu şekilde problemin formülasyonu tamamlanmış olur. Tanımlanan 10 adet sınır ve temas koşulları kullanılarak çözümü yapılan (2.1), (2.2), (2.3) denklemleri ile probleme ait bilinmeyen büyüklükler hesaplanabilmektedir.



ÇÖZÜM YÖNTEMİ**3.1 Hareket Denkleminin Çözümü**

Bu bölümde, Bölüm 2'de verilen (2.1) hareket denkleminin çözümü ele alınacaktır. Probleme ilişkin bilinmeyen büyüklükleri bulabilmek için, $x'_2 = x_2$, $x'_1 = x_1 - Vt$ hareketli koordinat sistemi kullanılırsa ve probleme ait büyüklükler $g(x'_1, x'_2, t) = \bar{g}(x'_1, x'_2)e^{i\omega t}$ şeklinde tanımlanırsa (2.1) eşitliğinden aşağıda verilen hareket denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(m)}}{\partial x_i} = \rho^{(m)} \left(V^2 \frac{\partial^2 u_j^{(m)}}{\partial x_1^2} - 2i\omega V \frac{\partial u_j^{(m)}}{\partial x_1} - \omega^2 u_j^{(m)} \right), \quad i, j = 1, 2, \quad m = 1, 2, 3. \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinde, hareketli koordinatlardaki üst indisleri gözardı edersek ve bilinmeyen değerlerin üzerindeki çizgileri gözardı edersek, (2.5) teki ikinci sınır koşulu ve (2.3) korunum eşitlikleri sırasıyla (3.2) ve (3.3) eşitliklerine dönüşür:

$$\sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -P \delta(x_1) \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned}
& -V \frac{d\sigma_{11}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{11}^{(m)} = \lambda_0^{(m)} \left(-V \frac{d\theta^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\lambda^{(m)})\theta^{(m)} \right) \\
& + 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{11}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{11}^{(m)} \right), \\
& -V \frac{d\sigma_{22}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{22}^{(m)} = \lambda_0^{(m)} \left(-V \frac{d\theta^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\lambda^{(m)})\theta^{(m)} \right) \\
& + 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{22}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{22}^{(m)} \right), \\
& -V \frac{d\sigma_{12}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{12}^{(m)} = 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{12}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{12}^{(m)} \right).
\end{aligned} \tag{3.3}$$

(2.2) eşitliği, (2.5) te verilen birinci sınır koşulu, (2.8) deki temas koşulu ve (2.11) deki sönüm koşulu; hareketli koordinat sistemindeki bilinmeyen büyüklükler için de aynı şekilde geçerlidir.

Bu eşitliklerin çözümü için Fourier dönüşümü $f_F(s, x_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, x_2) e^{-isx_1} dx_1$ kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilir:

hareket denklemleri:

$$\begin{aligned}
is\sigma_{11F}^{(m)} + \frac{d\sigma_{12F}^{(m)}}{dx_2} &= \rho^{(m)} (s^2V^2 - 2is\omega V - \omega^2) u_{1F}^{(m)}, \\
is\sigma_{12F}^{(m)} + \frac{d\sigma_{22F}^{(m)}}{dx_2} &= \rho^{(m)} (s^2V^2 - 2is\omega V - \omega^2) u_{2F}^{(m)},
\end{aligned} \tag{3.4}$$

şekil değiştirme - yerdeğiştirme bağıntıları:

$$\varepsilon_{11F}^{(m)} = isu_{1F}^{(m)}, \quad \varepsilon_{22F}^{(m)} = \frac{du_{2F}^{(m)}}{dx_2}, \quad \varepsilon_{12F}^{(m)} = \frac{1}{2} \left(isu_{2F}^{(m)} + \frac{du_{1F}^{(m)}}{dx_2} \right) \tag{3.5}$$

korunum eşitlikleri:

$$\begin{aligned}
(q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{11F}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} (r_\lambda^{(m)} i(sV - \omega))\theta_F^{(m)} + 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{11F}^{(m)}, \\
(q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{22F}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} (r_\lambda^{(m)} i(sV - \omega))\theta_F^{(m)} + 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{22F}^{(m)}, \\
(q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{12F}^{(m)} &= 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{12F}^{(m)}.
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Bu durumda (3.2) deki sınır koşulu (3.7) ye dönüşür;

$$\sigma_{22F}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -P \tag{3.7}$$

ve (2.5) te verilen birinci sınır koşulu, (2.8) deki temas koşulu ve (2.11) deki sönüm koşulu Fourier dönüşümü sonrasında da aynı kalır.

(3.6) eşitliğinden bazı matematiksel işlemler neticesinde (3.8) eşitliği elde edilir:

$$\begin{aligned}\sigma_{11F}^{(m)} &= \lambda_{com}^{(m)} \theta_F^{(m)} + 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{11F}^{(m)}, \\ \sigma_{22F}^{(m)} &= \lambda_{com}^{(m)} \theta_F^{(m)} + 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{22F}^{(m)}, \\ \sigma_{12F}^{(m)} &= 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{12F}^{(m)}.\end{aligned}\quad (3.8)$$

(3.8) eşitliğinde aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır:

$$\lambda_{com}^{(m)} = \lambda_1^{(m)} + i\lambda_2^{(m)}, \quad \mu_{com}^{(m)} = \mu_1^{(m)} + i\mu_2^{(m)},$$

$$\begin{aligned}\lambda_1^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \frac{d_\lambda^{(m)} + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}, & \lambda_2^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \frac{Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} ((sh)c - \Omega)(d_\lambda^{(m)} - 1)}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}, \\ \mu_1^{(m)} &= \mu_0^{(m)} \frac{d_\mu^{(m)} + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}, & \mu_2^{(m)} &= \mu_0^{(m)} \frac{Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} ((sh)c - \Omega)(d_\mu^{(m)} - 1)}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh)c - \Omega)^2}.\end{aligned}\quad (3.9)$$

Burada;

$$c = \frac{V}{c_2^{(1)}}, \quad \Omega = \frac{h_1 \omega}{c_2}, \quad Q^{(m)} = \frac{c_2^{(1)}}{h_1 q^{(m)}}, \quad d_\lambda^{(m)} = \frac{r_\lambda^{(m)}}{q^{(m)}}, \quad d_\mu^{(m)} = \frac{r_\mu^{(m)}}{q^{(m)}}. \quad (3.10)$$

Burada Ω hareketli yükün boyutsuz frekansı; $d_\lambda^{(m)}$, $d_\mu^{(m)}$ ve $Q^{(m)}$ m . malzeme bileşenine ait viskoelastisiteye ilişkin reolojik parametrelerdir.

Böylece (3.8), (3.9) ve (3.5) eşitliklerini kullanarak, (3.6) eşitliğinden $u_{1F}^{(m)}$ ve $u_{2F}^{(m)}$ i elde etmek için aşağıdaki denklemler yazılır.

$$\begin{aligned}-(sh_1)^2 a^{(m)} u_{1F}^{(m)} + \frac{d^2 u_{1F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)^2} + i(sh_1) b^{(m)} \frac{du_{2F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)} &= 0, \\ i(sh_1) b^{(m)} \frac{du_{1F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)} - (sh_1)^2 c^{(m)} u_{2F}^{(m)} + (b^{(m)} + 1) \frac{d^2 u_{2F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)^2} &= 0,\end{aligned}\quad (3.11)$$

Burada;

$$\begin{aligned}
a^{(m)} &= 2 + \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}} - \frac{c^2}{(c_{2com}^{(m)})^2} + 2i \frac{\Omega c}{(c_{2com}^{(m)})^2} - \frac{\Omega^2}{(c_{2com}^{(m)})^2}, \\
b^{(m)} &= \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}} + 1, & d^{(m)} &= b^{(m)} + 1 = 2 + \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}}, \\
c^{(m)} &= 1 - \frac{c^2}{(c_{2com}^{(m)})^2} + 2i \frac{\Omega c}{(c_{2com}^{(m)})^2} - \frac{\Omega^2}{(c_{2com}^{(m)})^2}, & c_{2com}^{(m)} &= \sqrt{\mu_{com}^{(m)} / \rho^{(m)}}.
\end{aligned} \tag{3.12}$$

(3.11) eşitliği çözümlerse ve yukarıdaki bağıntılar kullanılırsa yerdeğiştirmelere ve gerilmelere ait ifadeler elde edilir:

$$\begin{aligned}
u_{2F}^{(1)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(1)} e^{k_1^{(1)} x_2} + F_2^{(1)} e^{-k_1^{(1)} x_2} + F_3^{(1)} e^{k_2^{(1)} x_2} + F_4^{(1)} e^{-k_2^{(1)} x_2} \right] \right\}, \\
u_{2F}^{(2)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} + F_2^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2} + F_3^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} + F_4^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2} \right] \right\}, \\
u_{2F}^{(3)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(3)} e^{k_1^{(3)} x_2} + F_3^{(3)} e^{k_2^{(3)} x_2} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\begin{aligned}
u_{1F}^{(1)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} i \left[F_1^{(1)} \alpha_1^{(1)} e^{k_1^{(1)} x_2} + F_2^{(1)} \alpha_2^{(1)} e^{-k_1^{(1)} x_2} + F_3^{(1)} \alpha_3^{(1)} e^{k_2^{(1)} x_2} + F_4^{(1)} \alpha_4^{(1)} e^{-k_2^{(1)} x_2} \right] \right\}, \\
u_{1F}^{(2)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} i \left[F_1^{(2)} \alpha_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} + F_2^{(2)} \alpha_2^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2} + F_3^{(2)} \alpha_3^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} + F_4^{(2)} \alpha_4^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2} \right] \right\}, \\
u_{1F}^{(3)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} i \left[F_1^{(3)} \alpha_1^{(3)} e^{k_1^{(3)} x_2} + F_3^{(3)} \alpha_3^{(3)} e^{k_2^{(3)} x_2} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3.14}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{11F}^{(1)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_1^{(1)} + k_1^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} s\alpha_1^{(1)}) e^{k_1^{(1)} x_2} \right. \right. \\
&\quad + F_2^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_2^{(1)} - k_1^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} s\alpha_2^{(1)}) e^{-k_1^{(1)} x_2} \\
&\quad + F_3^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_3^{(1)} + k_2^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} s\alpha_3^{(1)}) e^{k_2^{(1)} x_2} \\
&\quad \left. \left. + F_4^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_4^{(1)} - k_2^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} s\alpha_4^{(1)}) e^{-k_2^{(1)} x_2} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{11F}^{(2)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(2)} (\lambda_{com}^{(2)} (s\alpha_1^{(2)} + k_1^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)} s\alpha_1^{(2)}) e^{k_1^{(2)} x_2} \right. \right. \\
&\quad + F_2^{(2)} (\lambda_{com}^{(2)} (s\alpha_2^{(2)} - k_1^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)} s\alpha_2^{(2)}) e^{-k_1^{(2)} x_2} \\
&\quad + F_3^{(2)} (\lambda_{com}^{(2)} (s\alpha_3^{(2)} + k_2^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)} s\alpha_3^{(2)}) e^{k_2^{(2)} x_2} \\
&\quad \left. \left. + F_4^{(2)} (\lambda_{com}^{(2)} (s\alpha_4^{(2)} - k_2^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)} s\alpha_4^{(2)}) e^{-k_2^{(2)} x_2} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{22F}^{(1)} &= \text{Re} \left\{ e^{i\omega t} \left[F_1^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_1^{(1)} + k_1^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} k_1^{(1)}) e^{k_1^{(1)} x_2} \right. \right. \\
&\quad + F_2^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_2^{(1)} - k_1^{(1)}) - 2\mu_{com}^{(1)} k_1^{(1)}) e^{-k_1^{(1)} x_2} \\
&\quad + F_3^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_3^{(1)} + k_2^{(1)}) + 2\mu_{com}^{(1)} k_2^{(1)}) e^{k_2^{(1)} x_2} \\
&\quad \left. \left. + F_4^{(1)} (\lambda_{com}^{(1)} (s\alpha_4^{(1)} - k_2^{(1)}) - 2\mu_{com}^{(1)} k_2^{(1)}) e^{-k_2^{(1)} x_2} \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3.17}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{22F}^{(2)} = \text{Re}\{e^{i\omega t} [F_1^{(2)}(\lambda_{com}^{(2)}(s\alpha_1^{(2)} + k_1^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)}k_1^{(2)})e^{k_1^{(2)}x_2} \\
+ F_2^{(2)}(\lambda_{com}^{(2)}(s\alpha_2^{(2)} - k_1^{(2)}) - 2\mu_{com}^{(2)}k_1^{(2)})e^{-k_1^{(2)}x_2} \\
+ F_3^{(2)}(\lambda_{com}^{(2)}(s\alpha_3^{(2)} + k_2^{(2)}) + 2\mu_{com}^{(2)}k_2^{(2)})e^{k_2^{(2)}x_2} \\
+ F_4^{(2)}(\lambda_{com}^{(2)}(s\alpha_4^{(2)} - k_2^{(2)}) - 2\mu_{com}^{(2)}k_2^{(2)})e^{-k_2^{(2)}x_2}]\}, \tag{3.18}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{22F}^{(3)} = \text{Re}\{e^{i\omega t} [F_1^{(3)}(\lambda_{com}^{(3)}(s\alpha_1^{(3)} + k_1^{(3)}) + 2\mu_{com}^{(3)}k_1^{(3)})e^{k_1^{(3)}x_2} \\
+ F_3^{(3)}(\lambda_{com}^{(3)}(s\alpha_3^{(3)} + k_2^{(3)}) + 2\mu_{com}^{(3)}k_2^{(3)})e^{k_2^{(3)}x_2}]\}, \tag{3.19}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{12F}^{(1)} = \text{Re}\{e^{i\omega t} i\mu_{com}^{(1)} [F_1^{(1)}(\alpha_1^{(1)}k_1^{(1)} - s)e^{k_1^{(1)}x_2} + F_2^{(1)}(-\alpha_2^{(1)}k_1^{(1)} - s)e^{-k_1^{(1)}x_2} \\
+ F_3^{(1)}(\alpha_3^{(1)}k_2^{(1)} - s)e^{k_2^{(1)}x_2} + F_4^{(1)}(-\alpha_4^{(1)}k_2^{(1)} - s)e^{-k_2^{(1)}x_2}]\}, \tag{3.20}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{12F}^{(2)} = \text{Re}\{e^{i\omega t} i\mu_{com}^{(2)} [F_1^{(2)}(\alpha_1^{(2)}k_1^{(2)} - s)e^{k_1^{(2)}x_2} + F_2^{(2)}(-\alpha_2^{(2)}k_1^{(2)} - s)e^{-k_1^{(2)}x_2} \\
+ F_3^{(2)}(\alpha_3^{(2)}k_2^{(2)} - s)e^{k_2^{(2)}x_2} + F_4^{(2)}(-\alpha_4^{(2)}k_2^{(2)} - s)e^{-k_2^{(2)}x_2}]\}, \tag{3.21}
\end{aligned}$$

$$\sigma_{12F}^{(3)} = \text{Re}\{e^{i\omega t} i\mu_{com}^{(3)} [F_1^{(3)}(\alpha_1^{(3)}k_1^{(3)} - s)e^{k_1^{(3)}x_2} + F_3^{(3)}(\alpha_3^{(3)}k_2^{(3)} - s)e^{k_2^{(3)}x_2}]\}. \tag{3.22}$$

Bu eşitliklerde;

$$k_1^{(m)} = \sqrt{\frac{A^{(m)}}{2} + \sqrt{\left(\frac{A^{(m)}}{2}\right)^2 - B^{(m)}}}, \quad k_2^{(m)} = \sqrt{\frac{A^{(m)}}{2} - \sqrt{\left(\frac{A^{(m)}}{2}\right)^2 - B^{(m)}}},$$

$$A^{(m)} = \frac{s^2 b^{(m)2} - s^2 c^{(m)} - s^2 a^{(m)}(b^{(m)} + 1)}{b^{(m)} + 1}, \quad B^{(m)} = \frac{s^4 a^{(m)} c^{(m)}}{b^{(m)} + 1},$$

$$\alpha_1^{(1)} = -s \frac{c^{(1)}}{k_1^{(1)}} + \frac{(b^{(1)} + 1)k_1^{(1)}}{sb^{(1)}}, \quad \alpha_2^{(1)} = s \frac{c^{(1)}}{k_1^{(1)}} - \frac{(b^{(1)} + 1)k_1^{(1)}}{sb^{(1)}},$$

$$\alpha_3^{(1)} = -s \frac{c^{(1)}}{k_2^{(1)}} + \frac{(b^{(1)} + 1)k_2^{(1)}}{sb^{(1)}}, \quad \alpha_4^{(1)} = s \frac{c^{(1)}}{k_2^{(1)}} - \frac{(b^{(1)} + 1)k_2^{(1)}}{sb^{(1)}},$$

$$\alpha_1^{(2)} = -s \frac{c^{(2)}}{k_1^{(2)}} + \frac{(b^{(2)} + 1)k_1^{(2)}}{sb^{(2)}}, \quad \alpha_2^{(2)} = s \frac{c^{(2)}}{k_1^{(2)}} - \frac{(b^{(2)} + 1)k_1^{(2)}}{sb^{(2)}},$$

$$\alpha_3^{(2)} = -s \frac{c^{(2)}}{k_2^{(2)}} + \frac{(b^{(2)} + 1)k_2^{(2)}}{sb^{(2)}}, \quad \alpha_4^{(2)} = s \frac{c^{(2)}}{k_2^{(2)}} - \frac{(b^{(2)} + 1)k_2^{(2)}}{sb^{(2)}},$$

$$\alpha_1^{(3)} = -s \frac{c^{(3)}}{k_1^{(3)}} + \frac{(b^{(3)} + 1)k_1^{(3)}}{sb^{(3)}}, \quad \alpha_3^{(3)} = -s \frac{c^{(3)}}{k_2^{(3)}} + \frac{(b^{(3)} + 1)k_2^{(3)}}{sb^{(3)}}. \tag{3.23}$$

Bu şekilde probleme ilişkin çözüm tamamlanmış olur.

3.2 Sınır ve Temas Koşullarının Açık İfadesi

Denklemlerde yer alan $F_k^{(1)}$ ($k=1,2,3,4$), $F_l^{(2)}$ ($l=1,2,3,4$) ve $F_m^{(3)}$ ($m=1,3$) bilinmeyen katsayıların bulunmasında sınır ve temas koşullarından yararlanılacaktır. Bu katsayılar sınır ve temas koşullarından elde edilen cebirsel denklemlerden bulunur. Daha önce yazılan sınır şartları aşağıda sırasıyla açık bir şekilde ifade edilmiştir:

1. $\sigma_{12}^{(1)}|_{x_2=0} = 0$ (2.5) te verilen birinci sınır koşulu;

$$\bar{\sigma}_{12F}^{(1)} = \begin{bmatrix} F_1^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)2} e^{k_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{k_1^{(1)} x_2} + ise^{k_1^{(1)} x_2} \right) + \\ F_2^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)2} e^{-k_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{-k_1^{(1)} x_2} + ise^{-k_1^{(1)} x_2} \right) + \\ F_3^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)2} e^{k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{k_2^{(1)} x_2} + ise^{k_2^{(1)} x_2} \right) + \\ F_4^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)2} e^{-k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{-k_2^{(1)} x_2} + ise^{-k_2^{(1)} x_2} \right) \end{bmatrix} = 0. \quad (3.24)$$

2. $\sigma_{22}^{(1)}|_{x_2=0} = -P e^{i\omega t} \delta(x_1 - Vt)$ (2.5) te verilen ikinci sınır koşulu, yapılan tanımlamalar nedeniyle $\sigma_{22}^{(1)}|_{x_2=0} = -P \delta(x_1)$ halini alır ve

$$\bar{\sigma}_{22F}^{(1)} = \begin{bmatrix} F_1^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{K_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{k_1^{(1)} x_2} \right) \right) + \\ \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\mu^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) k_1^{(1)} e^{k_1^{(1)} x_2} \right) + \\ F_2^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{-k_1^{(1)} x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{-k_1^{(1)} x_2} \right) \right) + \\ \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\mu^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) (-k_1^{(1)} e^{-k_1^{(1)} x_2}) \right) + \\ F_3^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{k_2^{(1)} x_2} \right) \right) + \\ \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\mu^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) k_2^{(1)} e^{k_2^{(1)} x_2} \right) + \\ F_4^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{-k_2^{(1)} x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{-k_2^{(1)} x_2} \right) \right) + \\ \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\mu^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) (-k_2^{(1)} e^{-k_2^{(1)} x_2}) \right) \end{bmatrix} = \frac{P}{\mu_1^{(1)}}. \quad (3.25)$$

$\sigma_{i2}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}$, $i=1,2$ (2.8) deki birinci sınır koşulu;

3. $i=1$ için; $\sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{12}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} \rightarrow \sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} - \sigma_{12}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} = 0$ şeklinde yazılır ve

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{aligned}
 & F_1^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)^2} e^{k_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{k_1^{(1)} x_2} + ise^{k_1^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_2^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)^2} e^{-k_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{-k_1^{(1)} x_2} + ise^{-k_1^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_3^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)^2} e^{k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{k_2^{(1)} x_2} + ise^{k_2^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_4^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)^2} e^{-k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} e^{-k_2^{(1)} x_2} + ise^{-k_2^{(1)} x_2} \right)
 \end{aligned} \right] \\
 & \frac{\mu_1^{(2)}(1-i\eta_\mu^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \left[\begin{aligned}
 & F_1^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)^2} e^{k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} e^{k_1^{(2)} x_2} + ise^{k_1^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_2^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)^2} e^{-k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} e^{-k_1^{(2)} x_2} + ise^{k_1^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_3^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)^2} e^{k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} e^{k_2^{(2)} x_2} + ise^{k_2^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_4^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)^2} e^{-k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} e^{-k_2^{(2)} x_2} + ise^{-k_2^{(2)} x_2} \right)
 \end{aligned} \right] = 0. \tag{3.26}
 \end{aligned}$$

4. $i = 2$ için $\sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{22}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} \rightarrow \sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} - \sigma_{22}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} = 0$ yazılır ve

$$\begin{aligned}
 & \left(\begin{aligned}
 & F_1^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{k_1^{(1)}x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{k_1^{(1)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) k_1^{(1)} e^{k_1^{(1)}x_2} \right) + \\
 & F_2^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{-k_1^{(1)}x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{-k_1^{(1)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) (-k_1^{(1)} e^{-k_1^{(1)}x_2}) \right) + \\
 & F_3^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{k_2^{(1)}x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{k_2^{(1)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) k_2^{(1)} e^{k_2^{(1)}x_2} \right) + \\
 & F_4^{(1)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{-k_2^{(1)}x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{-k_2^{(1)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(1)}(1-i\eta_\lambda^{(1)})}{\mu_1^{(1)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(1)}) \right) (-k_2^{(1)} e^{-k_2^{(1)}x_2}) \right) \Big) - \\
 & \left(\begin{aligned}
 & F_1^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)}x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{k_1^{(2)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} + \frac{2\mu_1^{(2)}(1-i\eta_\mu^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \right) k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)}x_2} \right) + \\
 & F_2^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)}x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{-k_1^{(2)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} + \frac{2\mu_1^{(2)}(1-i\eta_\mu^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \right) (-k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)}x_2}) \right) + \\
 & F_3^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)}x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{k_2^{(2)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} + \frac{2\mu_1^{(2)}(1-i\eta_\mu^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \right) k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)}x_2} \right) + \\
 & F_4^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)}x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{-k_2^{(2)}x_2} \right) + \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} + \frac{2\mu_1^{(2)}(1-i\eta_\mu^{(2)})}{\mu_1^{(1)}} \right) (-k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)}x_2}) \right) \Big) = 0.
 \end{aligned} \tag{3.27}
 \end{aligned}$$

$u_i^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}$, $i=1,2$ (2.8) deki ikinci sınır koşulu;

5. $i=1$ için; $u_1^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} \rightarrow u_1^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} - u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} = 0$ şeklinde yazılır ve

$$\begin{aligned}
 & \left(\begin{aligned}
 & F_1^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{k_1^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{k_1^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_2^{(1)}(s) \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_1^{(1)} e^{-k_1^{(1)} x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(1)}} e^{-k_1^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_3^{(1)}(s) \left(\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{k_2^{(1)} x_2} - \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{k_2^{(1)} x_2} \right) + \\
 & F_4^{(1)}(s) \left(-\frac{id^{(1)}}{sb^{(1)}} k_2^{(1)} e^{-k_2^{(1)} x_2} + \frac{isc^{(1)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_2^{(1)}} e^{-k_2^{(1)} x_2} \right)
 \end{aligned} \right) \\
 - & \left(\begin{aligned}
 & F_1^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(1)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{k_1^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_2^{(2)}(s) \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{-k_1^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_3^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{k_2^{(2)} x_2} \right) + \\
 & F_4^{(2)}(s) \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{-k_2^{(2)} x_2} \right)
 \end{aligned} \right) = 0.
 \end{aligned}
 \tag{3.28}$$

6. $i=2$ için; $u_2^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} \rightarrow u_2^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} - u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1} = 0$ şeklinde yazılır ve

$$\begin{aligned}
 & F_1^{(1)}(s) e^{k_1^{(1)} x_2} + F_2^{(1)}(s) e^{-k_1^{(1)} x_2} + F_3^{(1)}(s) e^{k_2^{(1)} x_2} + F_4^{(1)}(s) e^{-k_2^{(1)} x_2} \\
 & - \left(F_1^{(2)}(s) e^{k_1^{(2)} x_2} + F_2^{(2)}(s) e^{-k_1^{(2)} x_2} + F_3^{(2)}(s) e^{k_2^{(2)} x_2} + F_4^{(2)}(s) e^{-k_2^{(2)} x_2} \right) = 0.
 \end{aligned}
 \tag{3.29}$$

$$\sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = \sigma_{i2}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2}, \quad i=1,2 \quad (2.10) \text{ daki birinci sınır koşulu};$$

$$7. \quad i=1 \quad \text{için} \quad \sigma_{12}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = \sigma_{12}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} \rightarrow \sigma_{12}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} - \sigma_{12}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = 0 \quad \text{şeklinde}$$

yazılır ve

$$(1-i\eta_\mu^{(2)}) \left(\begin{array}{l} F_1^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)2} e^{k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{k_1^{(2)} x_2} + ise^{k_1^{(2)} x_2} \right) + \\ F_2^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)2} e^{-k_1^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{-k_1^{(2)} x_2} + ise^{-k_1^{(2)} x_2} \right) + \\ F_3^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)2} e^{k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{k_2^{(2)} x_2} + ise^{k_2^{(2)} x_2} \right) + \\ F_4^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)2} e^{-k_2^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{-k_2^{(2)} x_2} + ise^{-k_2^{(2)} x_2} \right) \end{array} \right) - \frac{\mu^{(3)}(1-i\eta_\mu^{(3)})}{\mu^{(2)}} \left(\begin{array}{l} F_1^{(3)}(s) \left(k_1^{(3)2} e^{k_1^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_1^{(3)}} e^{k_1^{(3)} x_2} + ise^{k_1^{(3)} x_2} \right) + \\ F_3^{(3)}(s) \left(k_2^{(3)2} e^{k_2^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_2^{(3)}} e^{k_2^{(3)} x_2} + ise^{k_2^{(3)} x_2} \right) \end{array} \right) = 0. \quad (3.30)$$

$$8. \quad i=2 \quad \text{için} \quad \sigma_{22}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = \sigma_{22}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} \rightarrow \sigma_{22}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} - \sigma_{22}^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = 0 \quad \text{şeklinde}$$

yazılır ve

$$\begin{aligned}
& \left(\begin{aligned} & F_1^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{k_1^{(2)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(2)}) \right) k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} \end{aligned} \right) + \\
& \left(\begin{aligned} & F_2^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{-k_1^{(2)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(2)}) \right) (-k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2}) \end{aligned} \right) + \\
& \left(\begin{aligned} & F_3^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{k_2^{(2)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(2)}) \right) k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} \end{aligned} \right) + \\
& \left(\begin{aligned} & F_4^{(2)}(s) \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{-k_2^{(2)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(2)}(1-i\eta_\lambda^{(2)})}{\mu^{(2)}} + 2(1-i\eta_\mu^{(2)}) \right) (-k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2}) \end{aligned} \right) \\
& \left(\begin{aligned} & F_1^{(3)}(s) \left(\frac{\lambda^{(3)}(1-i\eta_\lambda^{(3)})}{\mu^{(2)}} \left(\frac{id^{(3)}}{sb^{(3)}} k_1^{(3)} e^{k_1^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_1^{(3)}} e^{k_1^{(3)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(3)}(1-i\eta_\lambda^{(3)})}{\mu^{(2)}} + \frac{2\mu^{(3)}(1-i\eta_\mu^{(3)})}{\mu^{(2)}} \right) k_1^{(3)} e^{k_1^{(3)} x_2} \end{aligned} \right) + \\
& \left(\begin{aligned} & F_3^{(3)}(s) \left(\frac{\lambda^{(3)}(1-i\eta_\lambda^{(3)})}{\mu^{(2)}} \left(\frac{id^{(3)}}{sb^{(3)}} k_2^{(3)} e^{k_2^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_2^{(3)}} e^{k_2^{(3)} x_2} \right) \right) + \\ & \left(\frac{\lambda^{(3)}(1-i\eta_\lambda^{(3)})}{\mu^{(2)}} + \frac{2\mu^{(3)}(1-i\eta_\mu^{(3)})}{\mu^{(2)}} \right) k_2^{(3)} e^{k_2^{(3)} x_2} \end{aligned} \right) = 0.
\end{aligned} \tag{3.31}$$

$u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = u_i^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2}$, $i=1,2$ (2.10) daki ikinci sınır koşulu;

9. $i=1$ için $u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = u_1^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} \rightarrow u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} - u_1^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = 0$ şeklinde yazılır

ve

$$\begin{aligned}
& \left(\begin{aligned} & F_1^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{k_1^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{k_1^{(2)} x_2} \right) + \\ & F_2^{(2)}(s) \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_1^{(2)} e^{-k_1^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_1^{(2)}} e^{-k_1^{(2)} x_2} \right) + \\ & F_3^{(2)}(s) \left(\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{k_2^{(2)} x_2} - \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{k_2^{(2)} x_2} \right) + \\ & F_4^{(2)}(s) \left(-\frac{id^{(2)}}{sb^{(2)}} k_2^{(2)} e^{-k_2^{(2)} x_2} + \frac{isc^{(2)}}{b^{(2)}} \frac{1}{k_2^{(2)}} e^{-k_2^{(2)} x_2} \right) \end{aligned} \right) \\
& - \left(\begin{aligned} & F_1^{(3)}(s) \left(\frac{id^{(3)}}{sb^{(3)}} k_1^{(3)} e^{k_1^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_1^{(3)}} e^{k_1^{(3)} x_2} \right) + \\ & F_3^{(3)}(s) \left(\frac{id^{(3)}}{sb^{(3)}} k_2^{(3)} e^{k_2^{(3)} x_2} - \frac{isc^{(3)}}{b^{(3)}} \frac{1}{k_2^{(3)}} e^{k_2^{(3)} x_2} \right) \end{aligned} \right) = 0.
\end{aligned} \tag{3.32}$$

10. $i=2$ için $u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = u_2^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} \rightarrow u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} - u_2^{(3)} \Big|_{x_2=-h_1-h_2} = 0$ şeklinde yazılır ve

$$\begin{aligned}
& F_1^{(2)}(s) e^{k_1^{(2)} x_2} + F_2^{(2)}(s) e^{-k_1^{(2)} x_2} + F_3^{(2)}(s) e^{k_2^{(2)} x_2} + F_4^{(2)}(s) e^{-k_2^{(2)} x_2} - \\
& \left(F_1^{(3)}(s) e^{k_1^{(3)} x_2} + F_3^{(3)}(s) e^{k_2^{(3)} x_2} \right) = 0.
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Böylece bilinmeyen sabitleri içeren probleme ilişkin aranan değerlerin Fourier dönüşümü için kullanılacak analitik ifadeleri tanımlamış oluruz.

Viskoelastisitenin olmadığı durumda sınır ve temas koşullarından elde edilen cebirsel denklemlerin katsayılarından oluşan determinantın $\det \|\alpha_{ij}(sh, V)\|$ sıfıra eşitliğinden $V = V(sh)$ bağıntısı elde edilir. Bu bağıntının türevinin sıfıra eşit olduğu noktalara karşı gelen hızı kritik hız denir [50].

Sistemi oluşturan elemanlar viskoelastik olduğunda $V = V(sh)$ bağıntısında türevin sıfıra eşit olduğu noktalar meydana gelmemektedir. Bu durumda kritik hızın bulunabilmesi için σ_{22} 'nin c ye göre değişimi incelenecektir. Grafiklerde yerel maksimum noktalardan kritik hız tespit edilebilir.

Kritik hız değerleri belirlendikten sonra gerekli sayısal algoritmalar uygulanarak Ters

Fourier Dönüşümleri yapılmakta ve ara düzlemdeki gerilmelere ait sayısal sonuçlar da elde edilmektedir.

Tüm bu işlemlerden sonra aranan değerleri nümerik olarak aşağıda gösterilen ters Fourier dönüşümden elde edebiliriz.

$$f(x_1, x_2) = 1/(2\pi) \times \int_{-\infty}^{+\infty} f_F(sx_2) e^{isx_1} dx_1 \quad (3.34)$$

[12] ve [14] te geliştirilen ve [16] da test edilen yukarıda belirtilen sayısal sonuçları elde etmeye yönelik hesap algoritması bu tez çalışmasında da kullanılmıştır.

Bunun yanı sıra bu tez çalışmasında kullanılan hesap yönteminde, (3.34) denkleminde

yer alan belirsiz integral $\int_{-\infty}^{+\infty} (\bullet) ds$ ifadesi, belirli integral $\int_{-S^*}^{+S^*} (\bullet) ds$ ifadesi ile

değiştirilmiştir. S^* değerleri, ilgili belirsiz integrallerin yakınsama şartından elde

edilirler. Dikkat edilmesi gereken bir husus da, ikinci integralin hesabında $[-S^*, +S^*]$

aralığı, belli bir sayıda daha küçük aralığa bölünmüştür ve her bir aralık için integral

hesabında seçilen on noktada Gauss integrasyon algoritması uygulanmıştır. Bu

integrasyon yönteminde, integralli ifadelerin değerleri, diğer bir deyişle Gauss

integralindeki belirli noktadaki $F_k^{(1)}$ ($k=1,2,3,4$), $F_l^{(2)}$ ($l=1,2,3,4$) ve $F_m^{(3)}$

($m=1,3$) bilinmeyen değerler, sınır (2.5) ve temas koşullarından (2.8 - 2.10) elde edilir.

SAYISAL SONUÇLAR VE ANALİZ

4.1 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar

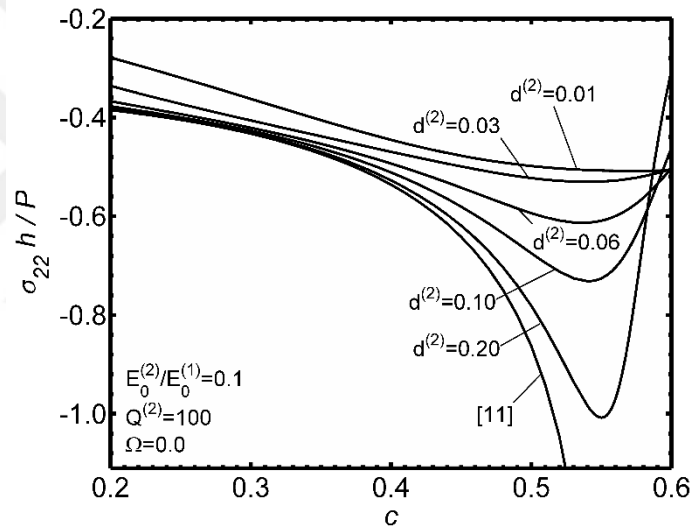
Bu bölümde, viskoelastik izotrop örtü tabakası ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistem için tanımlanan problemin çözümüne yönelik geliştirilen algoritma ile elde edilen sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve yorumlanmıştır. Basitleştirme açısından $d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)}$ olarak varsayılmıştır ve $d^{(m)} (= d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)})$ şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca örtü tabakasını oluşturan malzemelerin tam elastik, yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin ise viskoelastik olduğu varsayılmış olup, yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin viskoelastisitesi $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ reolojik parametreleri ile tanımlanmıştır. $d^{(2)}$ parametresi, mekanik özelliklerin uzun vadedeki değerini ifade etmektedir. $Q^{(2)}$ parametresi ise karakteristik sünme süresi olarak tanımlanır.

Bu parametrelerin değerindeki azalma, yarı sonsuz ortam malzemesinin viskozite özelliklerinde artışa işaret etmektedir. Diğer taraftan bu parametrelerdeki artış, viskozitede azalmaya işaret etmektedir. Kısacası, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin artışı ile viskoelastik durum için elde edilen sonuçların, tam elastik durum için elde edilen sonuçlara yaklaşması gerekmektedir.

Bu çözüm yöntemini doğrulama amacı ile, [11] çalışmasında tam elastik durum için elde edilen sonuçlar dikkate alınarak kıyaslama yapılmıştır. Şekil 4.1'de bu karşılaştırma verilmiştir. $E_0^{(2)}/E_0^{(1)} = 0.1$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$, $\rho^{(2)}/\rho^{(1)} = 0.35$, $c_2^{(1)} = c_2^{(2)}$ ve $\Omega = 0.0$

değerleri için sayısal sonuçlar elde edilmiştir, burada $E_0^{(m)}$ ve $\nu_0^{(m)}$ m . tabakanın elastisite modülü ve Poisson oranının başlangıçtaki değerleri, $\rho^{(m)}$ m . tabakanın yoğunluğudur.

Şekil 4.1'de $Q^{(2)}=100$ için farklı $d^{(2)}$ reolojik parametrelerine göre $x_1/h=0$ da $\sigma_{22}h/P_0$ nin c ye göre değişimi incelenmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi hareketli yükün kritik hız değerinde ($c=c_{cr}$ için $|\sigma_{22}|\rightarrow\infty$) tam elastik durum için $|\sigma_{22}|$ nin mutlak değerleri maksimum değerler almaktadır ki; bu maksimum değerler $d^{(2)}$ parametresindeki artışla yükselmektedir. Sonuç olarak, Şekil 4.1'de elde edilen sonuçlar, sayısal sonuçları elde etmek üzere oluşturulan algoritma ve PC programının doğruluğunu göstermektedir.

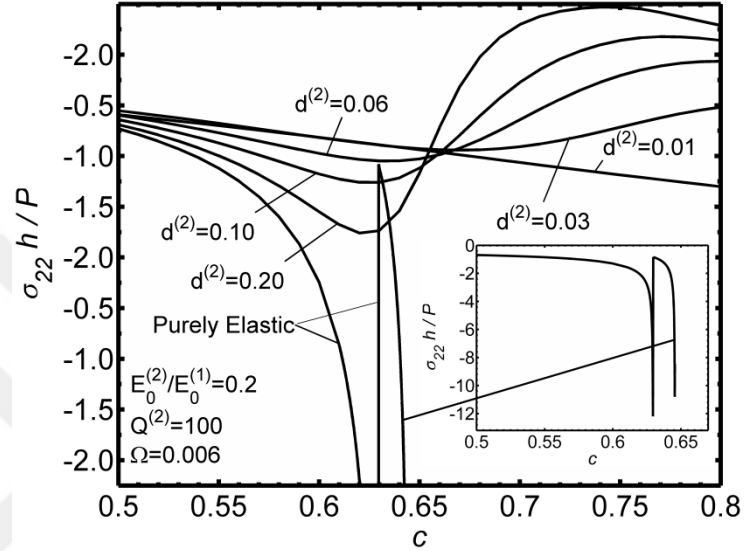


Şekil 4.1 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega=0.0$)

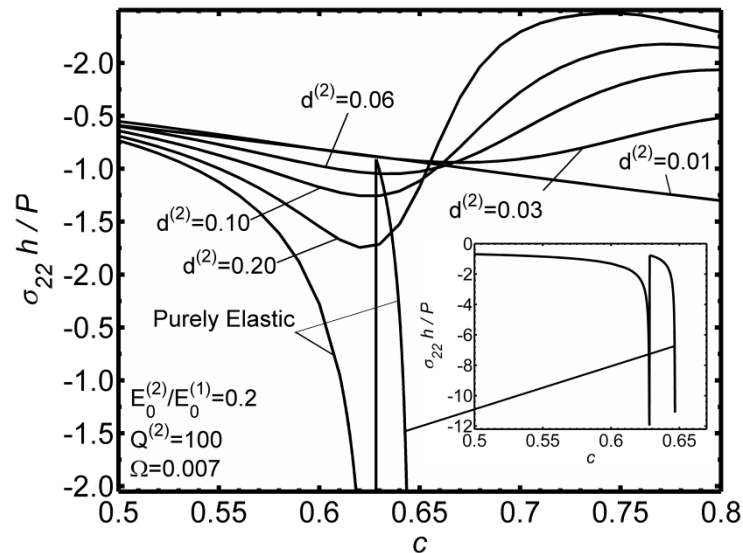
$E_0^{(2)}/E_0^{(1)}=0.2$, $\rho^{(2)}/\rho^{(1)}=0.35$, $\nu_0^{(1)}=\nu_0^{(2)}=0.3$ ve değerleri için, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sırasıyla $\Omega=0.006$, 0.007 ve 0.010 olması durumunda $Q^{(2)}=100$ için farklı $d^{(2)}$ reolojik parametresine bağlı olarak normal gerilme σ_{22} ile hareketli yük hızı c nin değişimi incelenmiştir. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, hareketli yükün titreşim frekansı $\Omega>0$ da tam elastik durum için c'_{cr} ve c''_{cr} ($>c'_{cr}$) şeklinde tanımlayabileceğimiz iki tane kritik hız değeri mevcut olmaktadır. Ancak yarı sonsuz ortam malzemesini viskoelastik olarak dikkate aldığımızda, normal gerilme σ_{22} nin

mutlak maksimum değerlerinde hareketli yük hızı c (c_v şeklinde tanımlanırsa) $c'_{cr} < c_v < c''_{cr}$ elde edilmektedir. Yani tam elastik durumda elde edilen kritik hız değerlerinin arasında bir değer olarak gözlenmektedir.

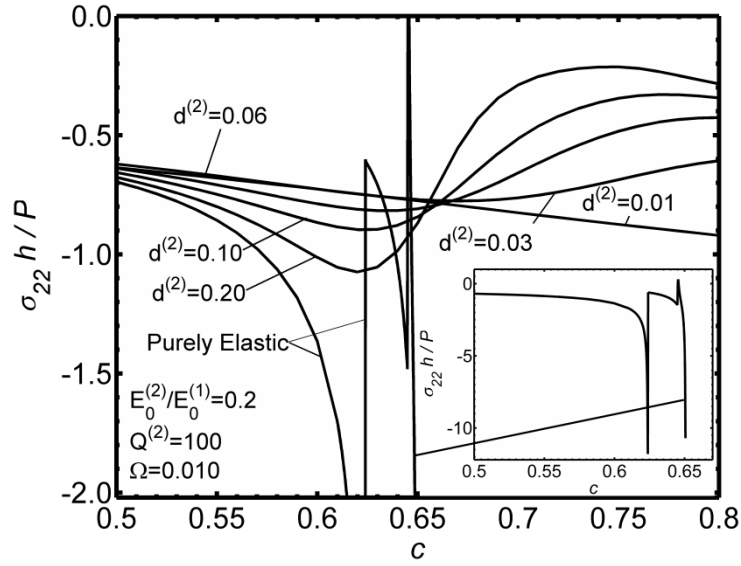
Aynı zamanda, şu anki sayısal sonuçlar, temas yüzeyine etkiyen olası normal gerilme değerlerini de göstermektedir.



Şekil 4.2 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.006$)



Şekil 4.3 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.007$)



Şekil 4.4 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($\Omega = 0.010$)

Sonuç olarak mevcut çalışma, diğer hareketli ve titreşimli hareketli yük problemlerinde de uygulanabilir.

4.2 Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde rijit ortam üzerindeki viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik levhadan oluşan sistem için tanımlanan problemin çözümüne yönelik geliştirilen algoritma ile elde edilen sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada levha kalınlıklarının değişimi, h_2/h_1 oranı dikkate alınarak, viskoelastik iki tabakanın temas yüzeyindeki boyutsuz hıza göre gerilme dağılımı incelenmektedir. Ayrıca ikinci tabakaya ait viskoelastik özellikleri belirleyen reolojik parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin de hız - gerilme yayılımına etkisi incelenmiştir.

Basitleştirme açısından $d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)}$ olarak varsayılmıştır ve $d^{(m)} (= d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)})$ şeklinde tanımlanmıştır. Örtü tabakasını oluşturan malzemenin tam elastik olduğu varsayılmış ancak ikinci tabaka malzemesi ise $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ reolojik parametreleri ile viskoelastik olarak tanımlanmıştır. $d^{(2)}$ parametresi, mekanik özelliklerin uzun vadedeki değerini ifade etmektedir. $Q^{(2)}$ parametresi ise karakteristik sünme süresi olarak tanımlanır. Bu parametrelerdeki azalma, ara tabakayı oluşturan malzemelerin viskozite özelliklerinde

artışa işaret etmektedir. Diğer taraftan bu parametrelerdeki artış, viskozitede azalmayı işaret etmektedir.

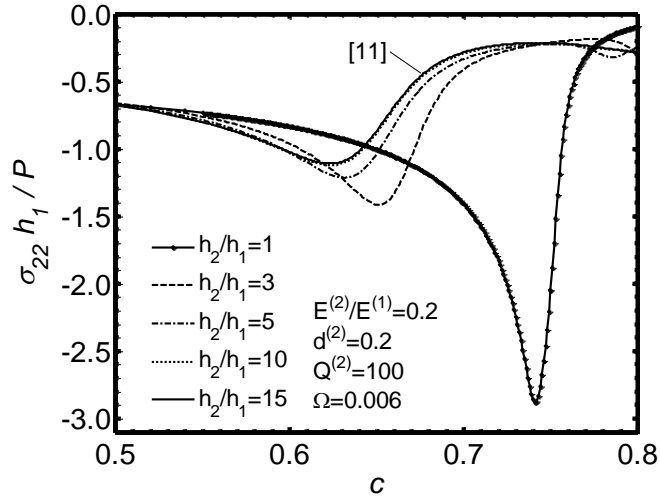
Bu çalışmada levha kalınlıklarının değişimi, $h_0 = h_2 / h_1$ oranı dikkate alınarak, viskoelastik iki tabakanın temas yüzeyindeki boyutsuz hıza göre gerilme dağılımı incelenmektedir. Ayrıca ikinci tabakaya ait viskoelastik özellikleri belirleyen reolojik parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin de boyutsuz hız - gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir.

Bu çözüm yöntemini ve yazılan algoritmanın doğruluğunu kanıtlamak amacı ile [11] çalışmasındaki sayısal sonuçlar uygun parametreler alınarak karşılaştırılmıştır. h_2 / h_1 oranı arttıkça problem teorik olarak örtü tabakalı yarı sonsuz levha problemine [6] dönüşmektedir. Böylelikle özel bir durum için sayısal sonuçlar mukayese edilebilmektedir. $h_2 / h_1 = 15$ değeri bu duruma karşılık gelmektedir.

Şekil 4.5'te bu karşılaştırma verilmiştir. Burada; $E_0^{(2)} / E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$, $\rho^{(2)} / \rho^{(1)} = 0.35$ ve $\Omega = 0.006$ alınmıştır. $E_0^{(m)}$ ve $\nu_0^{(m)}$ m . tabakanın elastisite modülü ve Poisson oranının başlangıçtaki değerleri, $\rho^{(m)}$ m . tabakanın yoğunluğudur.

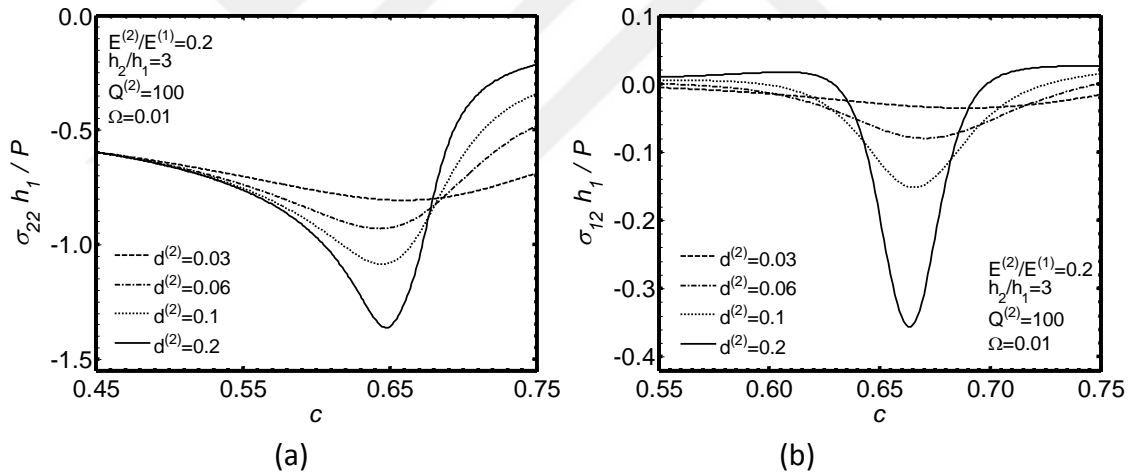
$x_1 / h_1 = 0$ da $\sigma_{22} h_1 / P$ nin (3.10) da tanımlanan boyutsuz hız c ye göre değişimi incelenmiştir. Şekil 4.5'te $Q^{(2)} = 100$ alınarak farklı h_2 / h_1 oranlarına göre gerilme dağılımı incelenmiştir.

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere levha kalınlıklarının artışı ile normal gerilme - boyutsuz hız ($\sigma_{22} - c$) değişimine etkisi incelenmiştir. Normal gerilme σ_{22} nin mutlak maksimum değerleri h_2 / h_1 oranının artması ile azalmaktadır. Ayrıca normal gerilmenin mutlak maksimum değerine karşılık gelen kritik hız değerleri küçülmektedir.



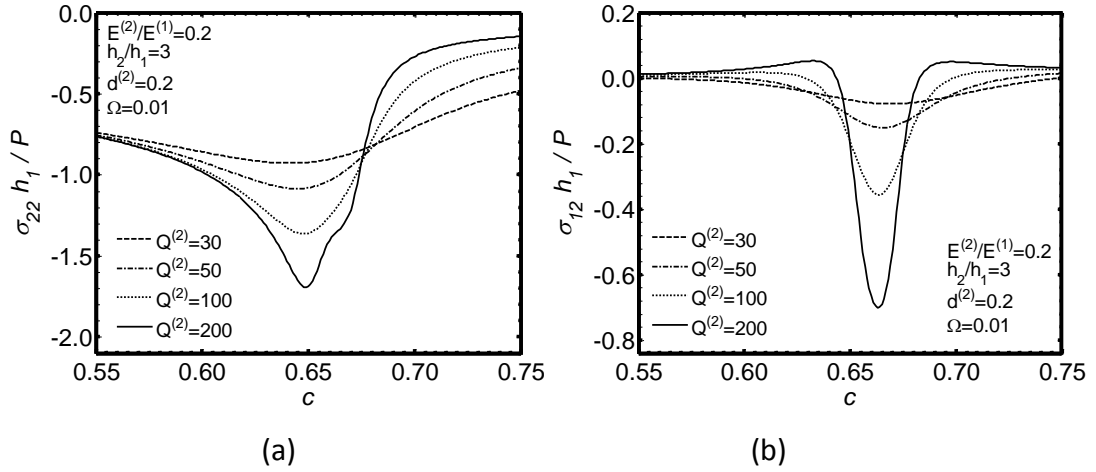
Şekil 4.5 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.006$)

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de $E_0^{(2)}/E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$, $\rho^{(2)}/\rho^{(1)} = 0.35$ ve $\Omega = 0.01$ alınmıştır. $x_1/h_1 = 0$ da $\sigma_{22}h_1/P$ nin c ye göre değişimi ve $x_1/h_1 = 0.7$ de $\sigma_{12}h_1/P$ nin c ye göre değişimi incelenmiştir.



Şekil 4.6 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.01$)

Şekil 4.6(a)'da $Q^{(2)} = 100$, $h_2/h_1 = 3$ için farklı $d^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hıza göre σ_{22} normal gerilmesinin ($\sigma_{22} - c$) dağılımı, Şekil 4.6(b)'de σ_{12} kayma gerilmesinin ($\sigma_{12} - c$) dağılımı incelenmiştir. $d^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır. Bu durumda beklenen şekilde σ_{22} normal gerilmesi ve σ_{12} kayma gerilmesinin mutlak maksimum değeri artmaktadır.

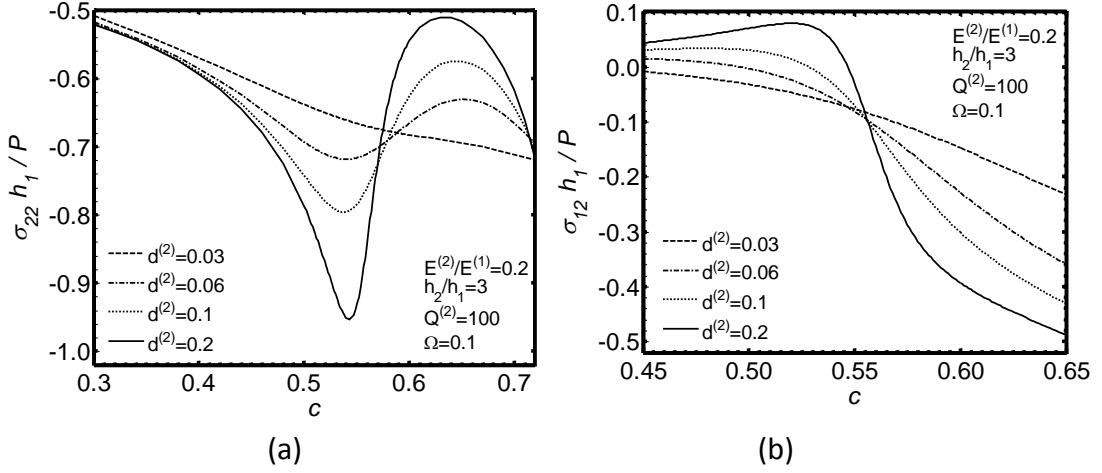


Şekil 4.7 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.01$)

Şekil 4.7(a)'da $d^{(2)} = 0.2$, $h_2 / h_1 = 3$ için farklı $Q^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hıza göre σ_{22} normal gerilmesinin ($\sigma_{22} - c$) dağılımı, Şekil 4.7(b)'de σ_{12} kayma gerilmesinin ($\sigma_{12} - c$) dağılımı incelenmiştir. $Q^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır. Bu durumda beklenen şekilde σ_{22} normal gerilmesi ve σ_{12} kayma gerilmesinin mutlak maksimum değeri artmaktadır.

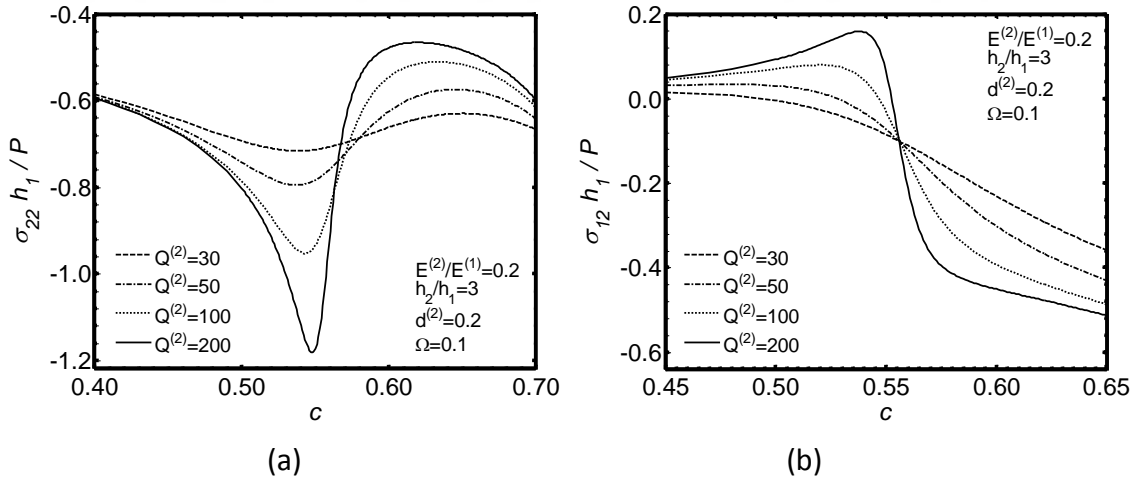
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da $E_0^{(2)} / E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$ ve $\Omega = 0.01$ alınmıştır. $x_1 / h_1 = 0$ da $\sigma_{22} h_1 / P$ nin c ye göre değişimi ve $x_1 / h_1 = 0.7$ de $\sigma_{12} h_1 / P$ nin c ye göre değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.8(a)'da $Q^{(2)} = 100$, $h_2 / h_1 = 3$ için farklı $d^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hıza göre σ_{22} normal gerilmesinin ($\sigma_{22} - c$) dağılımı, Şekil 4.8(b)'de σ_{12} kayma gerilmesinin ($\sigma_{12} - c$) dağılımı incelenmiştir. $d^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır. Bu durumda beklenen şekilde σ_{22} normal gerilmesi ve σ_{12} kayma gerilmesinin mutlak maksimum değeri artmaktadır.



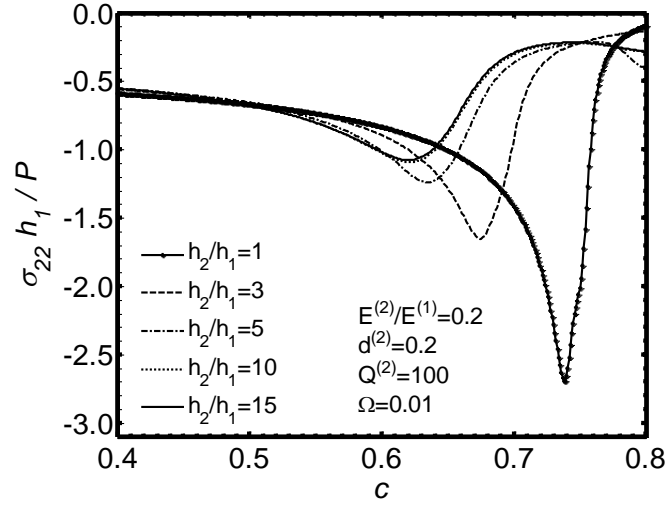
Şekil 4.8 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.1$)

Şekil 4.9 (a)'da $d^{(2)} = 0.2$, $h_2 / h_1 = 3$ için farklı $Q^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hıza göre σ_{22} normal gerilmesinin $(\sigma_{22} - c)$ dağılımı, Şekil 4.9(b)'de σ_{12} kayma gerilmesi $(\sigma_{12} - c)$ dağılımı incelenmiştir. $Q^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır. Bu durumda σ_{22} normal gerilmesi ve σ_{12} kayma gerilmesinin mutlak maksimum değeri artmaktadır.



Şekil 4.9 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için (a) σ_{22} normal gerilmesinin, (b) σ_{12} kayma gerilmesinin c ile değişimi ($\Omega = 0.1$)

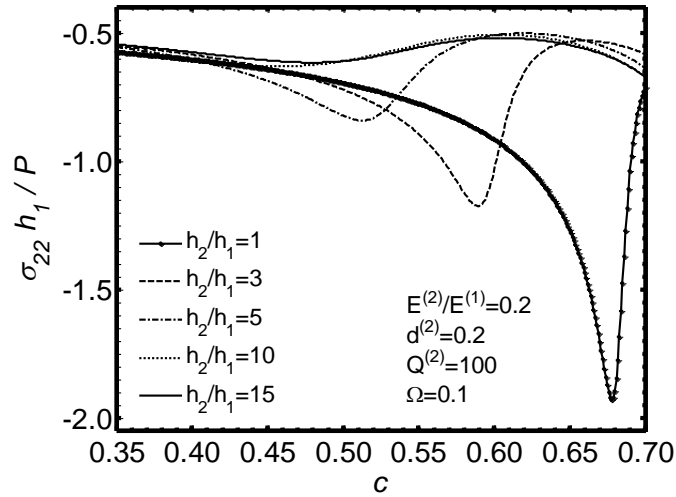
Şekil 4.10'da $E_0^{(2)}/E_0^{(1)}=0.2$, $\nu_0^{(2)}=\nu_0^{(1)}=0.3$ ve $\Omega=0.01$ alınmıştır. $x_1/h_1=0$ da $\sigma_{22} h_1 / P$ nin c ye göre değişimi incelenmiştir. Şekil 4.10'da $Q^{(2)} = 100$ ve $d^{(2)} = 0.2$ için farklı h_2 / h_1 oranlarına göre gerilme dağılımı incelenmiştir.



Şekil 4.10 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.01$)

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, levha kalınlıklarının artışı ile normal gerilme - boyutsuz hız ($\sigma_{22} - c$) değişimine etkisi incelenmiştir. Normal gerilme σ_{22} nin mutlak maksimum değerleri, h_2/h_1 oranının artması ile diğer bir deyişle tabaka kalınlığı oranlarının artması ile azalmaktadır. Ayrıca normal gerilmenin mutlak maksimum değerine karşılık gelen kritik hız değerleri belirgin bir biçimde küçülmektedir.

Şekil 4.11'de $E_0^{(2)}/E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$ ve $\Omega = 0.1$ alınmıştır. $x_1/h_1 = 0$ da $\sigma_{22} h_1 / P$ nin c ye göre değişimi incelenmiştir. Şekil 4.11'de $Q^{(2)} = 100$ ve $d^{(2)} = 0.2$ için farklı h_2/h_1 oranlarına göre gerilme dağılımı incelenmiştir.



Şekil 4.11 Levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi ($\Omega = 0.10$)

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere levha kalınlıklarının artışı ile normal gerilme - boyutsuz hız ($\sigma_{22} - c$) değişimine etkisi incelenmiştir. Normal gerilme σ_{22} nin mutlak maksimum değerleri h_2/h_1 oranının artması ile, diğer bir deyişle tabaka kalınlığı oranlarının artması ile azalmaktadır. Ayrıca normal gerilmenin mutlak maksimum değerine karşılık gelen kritik hız değerleri belirgin bir biçimde küçülmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.10 ve 4.12'yi kıyaslayacak olursak, hareketli yükün titreşim frekansının artması ile kritik hız değerinin kısmen azaldığı görülmektedir.

Özetlemek gerekirse, elde edilen sonuçlara göre tabaka kalınlıkları oranı azaldıkça gerilme değerleri artmaktadır. Malzemenin viskoelastik özelliklerini belirleyen parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin değerindeki azalma ikinci tabaka malzemesinin viskozite özelliklerinde artışa işaret etmektedir. $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametreleri azaldıkça gerilmelerin mutlak maksimum değerleri azalmaktadır.

Ayrıca incelenen tüm problem parametreleri için h_2/h_1 oranının artması, diğer bir deyişle tabaka kalınlığı oranlarının artması ile normal gerilmenin mutlak maksimum değerine karşılık gelen boyutsuz hız değerleri yani c_{kr} kritik hız değerleri ve bu c_{kr} değerlerine karşılık gelen σ_{22} normal gerilme değerleri belirgin bir biçimde azalmaktadır.

Sayısal sonuçlar, temas yüzeyinde oluşan gerilme değerlerini göstermektedir. Mevcut çalışma, diğer hareketli ve titreşimli hareketli yük problemlerine de uygulanabilir.

4.3 Viskoelastik İzotrop Örtü Tabakası, Viskoelastik İzotrop Levha ve Viskoelastik İzotrop Yarı Sonsuz Ortamdan Oluşan Sistem için Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde viskoelastik izotrop örtü tabakası, viskoelastik izotrop levha ve viskoelastik izotrop yarı sonsuz ortamdan oluşan sistem için tanımlanan problemin çözümüne yönelik geliştirilen algoritma ile elde edilen sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada levha kalınlıklarının değişimi, $h_o = h_2/h_1$ oranı dikkate alınarak, viskoelastik iki tabakanın temas yüzeyindeki boyutsuz hıza göre gerilme dağılımı incelenmektedir. Ayrıca ikinci tabakaya ait viskoelastik özellikleri belirleyen reolojik parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin de boyutsuz hız - gerilme

dağılımına etkisi incelenmiştir.

Basitleştirme açısından $d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)}$ olarak varsayılmıştır ve $d^{(m)} (= d_{\lambda}^{(m)} = d_{\mu}^{(m)})$ şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca örtü tabakası ve yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin tam elastik olduğu varsayılmış ancak ara tabaka malzemesi ise $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ reolojik parametreleri ile viskoelastik olarak tanımlanmıştır. $d^{(2)}$ parametresi, mekanik özelliklerin uzun vadedeki değerini ifade etmektedir. $Q^{(2)}$ parametresi ise karakteristik sünme süresi olarak tanımlanır. Bu parametrelerdeki azalma, ara tabakayı oluşturan malzemelerin viskozite özelliklerinde artışa işaret etmektedir. Diğer taraftan bu parametrelerdeki artış, viskozitede azalmaya işaret etmektedir.

Bu durumda toplam deformasyonun elastik bölümü viskoelastik bölüme göre artış göstermektedir. Fakat bu değerlerdeki artış toplam deformasyonun elastik kısmının viskoelastik kısmına göre daha baskın olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak mekanik açıdan, viskoelastik durum için elde edilen sonuçların $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin artması ile tam elastik durumda elde edilen sonuçlara yaklaşması gerekmektedir.

Ara tabakayı oluşturan malzemelere ilişkin $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ reolojik parametrelerinin ve tabaka kalınlıklarındaki değişimini ifade eden $h_o = h_2 / h_1$ oranının, kritik hız ve gerilme yayılımına etkisi incelenecektir. $E_0^{(2)} / E_0^{(1)} = 0.2$, $E_0^{(3)} / E_0^{(1)} = 1$, $\rho^{(2)} / \rho^{(1)} = 0.35$, $\rho^{(3)} / \rho^{(1)} = 1$, $\nu_0^{(1)} = \nu_0^{(2)} = \nu_0^{(3)} = 0.3$, $h_o = 2$ olarak dikkate alınmıştır, burada $E_0^{(m)}$ ve $\nu_0^{(m)}$ m . tabakanın elastisite modülü ve Poisson oranının başlangıçtaki değerleri, $\rho^{(m)}$ m . tabakanın yoğunluğudur.

tam elastik durumda, örneğin [11], [12], [13], [14], [15] ve benzeri gibi makalelerde dikkate alınan durumlar için, hareketli yükün kritik hız değerleri sisteme ait katsayılar matrisinin determinatının sıfıra eşit olması durumunda elde edilen karakteristik denklemin çözümlenmesi ile belirlenmiştir. (3.13) - (3.22) eşitliklerinde yer alan bilinmeyen sabitleri bulmak için sınır ve temas koşullarından elde edilen cebirsel denklemler kullanılır.

Ancak mevcut tez çalışmasında ele alınan sistem viskoelastik bileşenler içerdiği için kritik hız değerinin belirlenmesinde yukarıda bahsi geçen yöntem uygulanamaz. Çünkü

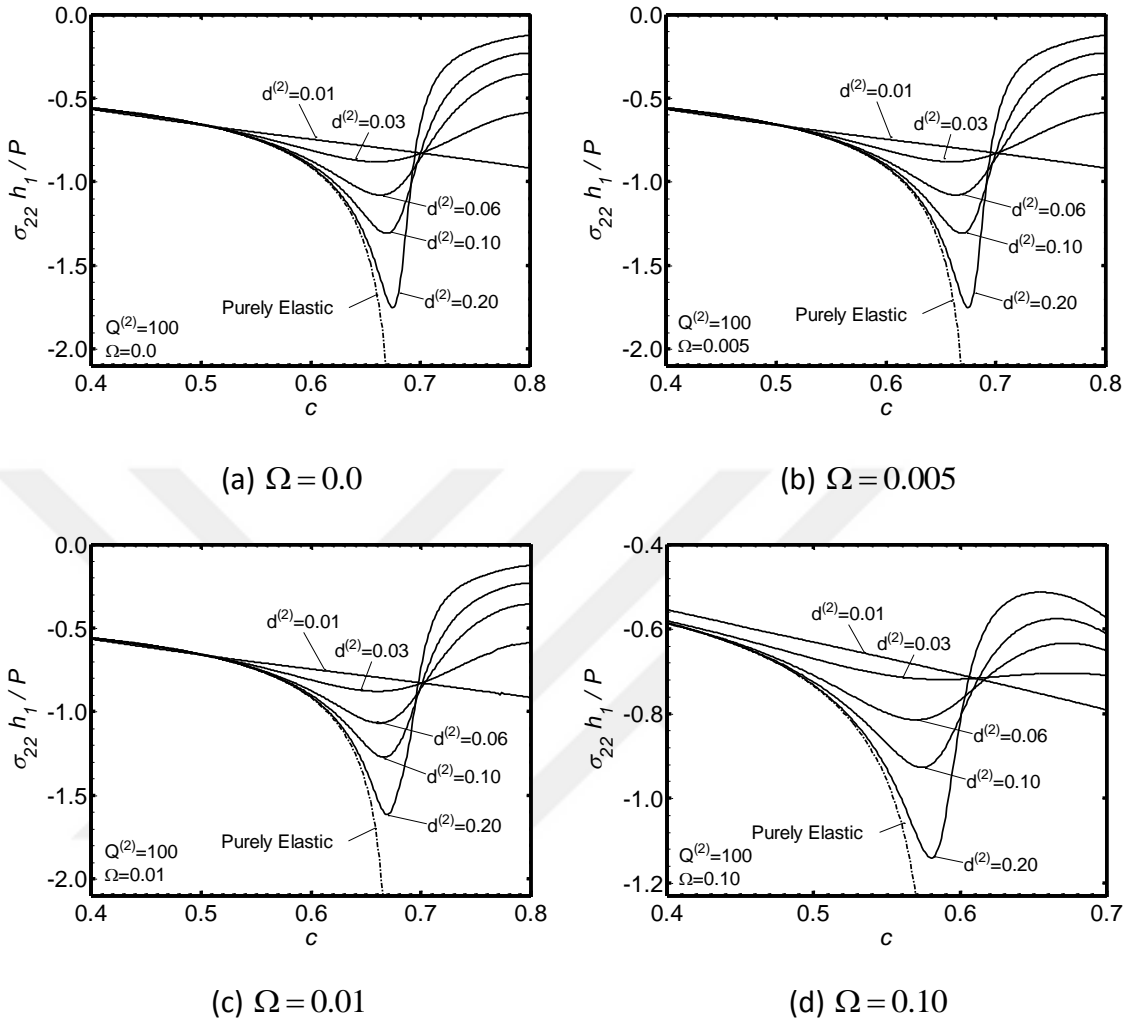
viskoleastik durumda ele alınan problem parametrelerinin tüm değerleri için, katsayılar matrisinin determinatının mutlak değeri sıfırdan büyük olacaktır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında hareketli yükün kritik hız değeri; hareketli yük hızına bağlı olarak belirli bir karakteristik noktadaki incelenen niceliklerin (örneğin; bileşenlerin ara yüzeyine etkiyen normal gerilme gibi) mutlak değerlerinin araştırılması ile belirlenir. Dikkate alınan niceliğin mutlak değeri bir mutlak maksimum değerine sahip ise ve bu değer de bu niceliğin diğer değerlerinden önemli ölçüde farklılık gösteriyorsa bu maksimum değere karşılık gelen hareketli yük hızı "kritik hız" olarak dikkate alınır. Sonuç olarak, bu tez çalışmasında kullanılan yaklaşım, diğer tam elastik durumlar için de kullanılabilir ve bu metot yukarıda bahsedilen yöntemden daha zor olmasına rağmen, tam elastik durumda uygulanan yaklaşımlardan daha genel bir yaklaşımdır.

Yukarıda bahsedilen yaklaşım dikkate alınarak, kritik hız değerlerini belirlemek için $x_1/h_1 = 0$ da hesaplanan normal gerilme değerleri $\sigma_{22}(x_1) = \sigma_{22}^{(1)}(x_1, -h_1) = \sigma_{22}^{(2)}(x_1, -h_1)$ ile hareketli yükün boyutsuz hızı c nin (3.10) değişimi incelenmiştir.

Tez çalışmasındaki tüm hesaplar subsonik rejim dikkate alınarak yapılmıştır, diğer bir ifadeyle $c = V/c_2^{(1)} < 1$ olduğu varsayılmıştır. Ayrıca mevcut tez çalışmasında ve bu tez çalışması ile ilgili referanslarda belirtilen çalışmalarda görülmüştür ki, kritik hız örtü tabakasının elastisite modülünün ara tabakanın elastisite modülünden büyük olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda örtü tabakasının elastisite modülü, yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemenin elastisite modülünden daha büyük ve daha küçük olabilir ya da her ikisi de eşit olabilir. Ayrıca kritik hız, dikkate alınan sistemde tabakalardan herhangi birinin elastisite modülünün yarı sonsuz ortam elastisite modülünden büyük olması durumunda ortaya çıkar. Fakat $E^{(1)} < E^{(2)} < E^{(3)}$ olması durumunda kritik hız oluşmaz. Bu durum dikkate alınarak mevcut tez çalışmasında $E^{(1)} > E^{(2)}$ ve $E^{(1)} = E^{(3)}$ olduğu varsayılmıştır.

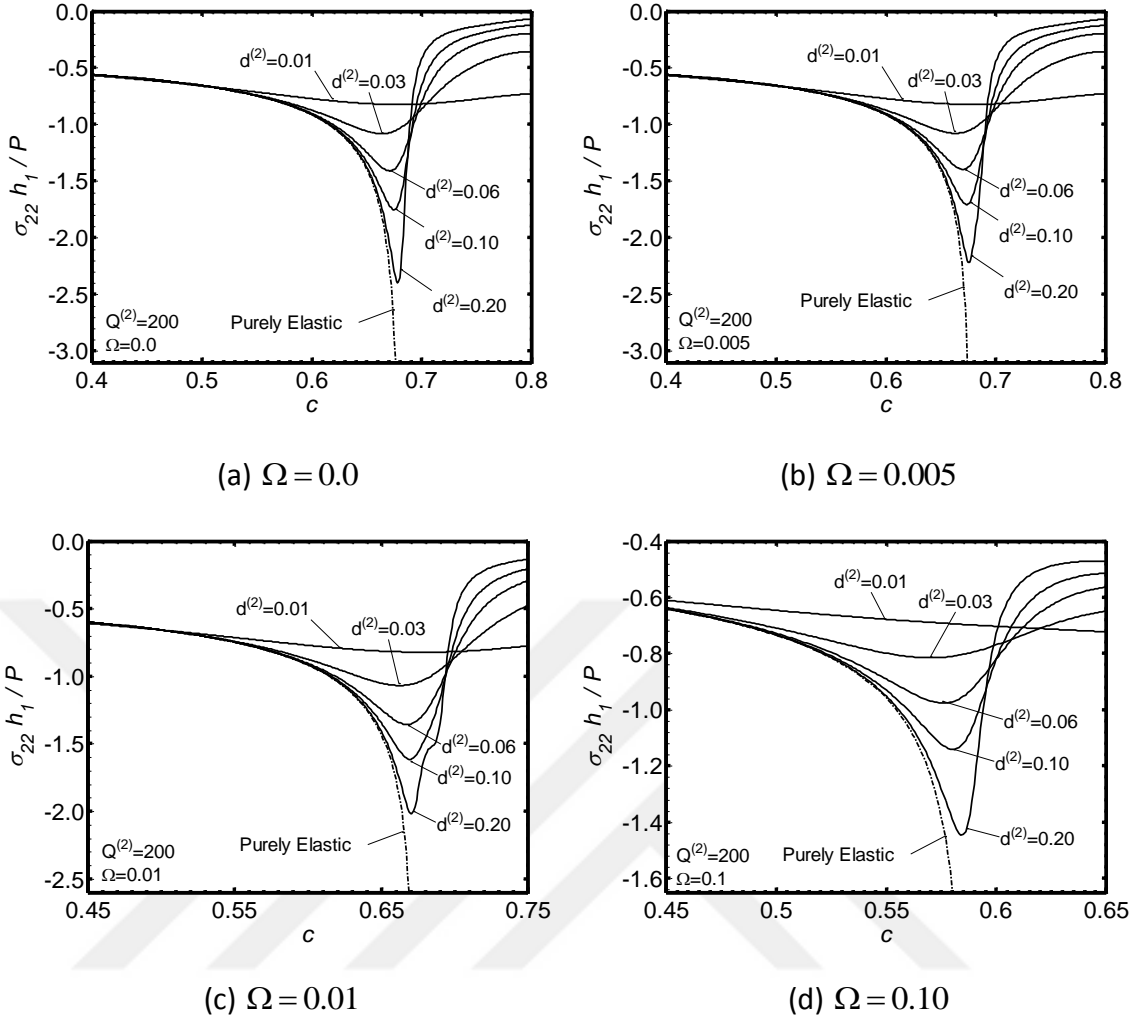
Böylece yukarıda bahsedilen varsayımlar dikkate alınarak Şekil 4.12 ve 4.13'te $h_o = 2$ olması durumunda sırasıyla $Q^{(2)} = 100$ ve $Q^{(2)} = 200$ için farklı $d^{(2)}$ reolojik parametresine bağlı olarak normal gerilme σ_{22} ile hareketli yük hızı c nin değişimi incelenmiştir. Ayrıca, sırasıyla $\Omega = 0.0, 0.005, 0.01, 0.10$ değerleri için elde edilen

sayısal sonuçlara ilişkin aşağıda verilen şekillerde a, b, c ve d şeklinde gruplandırma yapılmıştır.



Şekil 4.12 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $h_o = 2$)

Şekil 4.12 ve 4.13'teki analiz sonuçlarına göre hareketli yüke ilişkin kritik hız değerlerinin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda gerilmelere ait rezonans değerleri de $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla düşüş göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.12'de, $d^{(2)} = 0.01$ ve $Q^{(2)} = 100$ olması durumunda kritik hız oluşmadığı gözlenmektedir. Sonuç olarak, viskoelastik bir bileşen içeren sistemde kritik hızın oluşumu, sadece elastisite modülü oranlarının başlangıçtaki değerlerine bağlı olmayıp, ayrıca uzun vadedeki elastisite modülü oranlarına da bağlıdır.



Şekil 4.13 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200, h_o = 2$)

Aynı zamanda Şekil 4.12 ve 4.13'te, hareketli yükün titreşim frekansının artması ile kritik hız değerinin kısmen azaldığı görülmektedir.

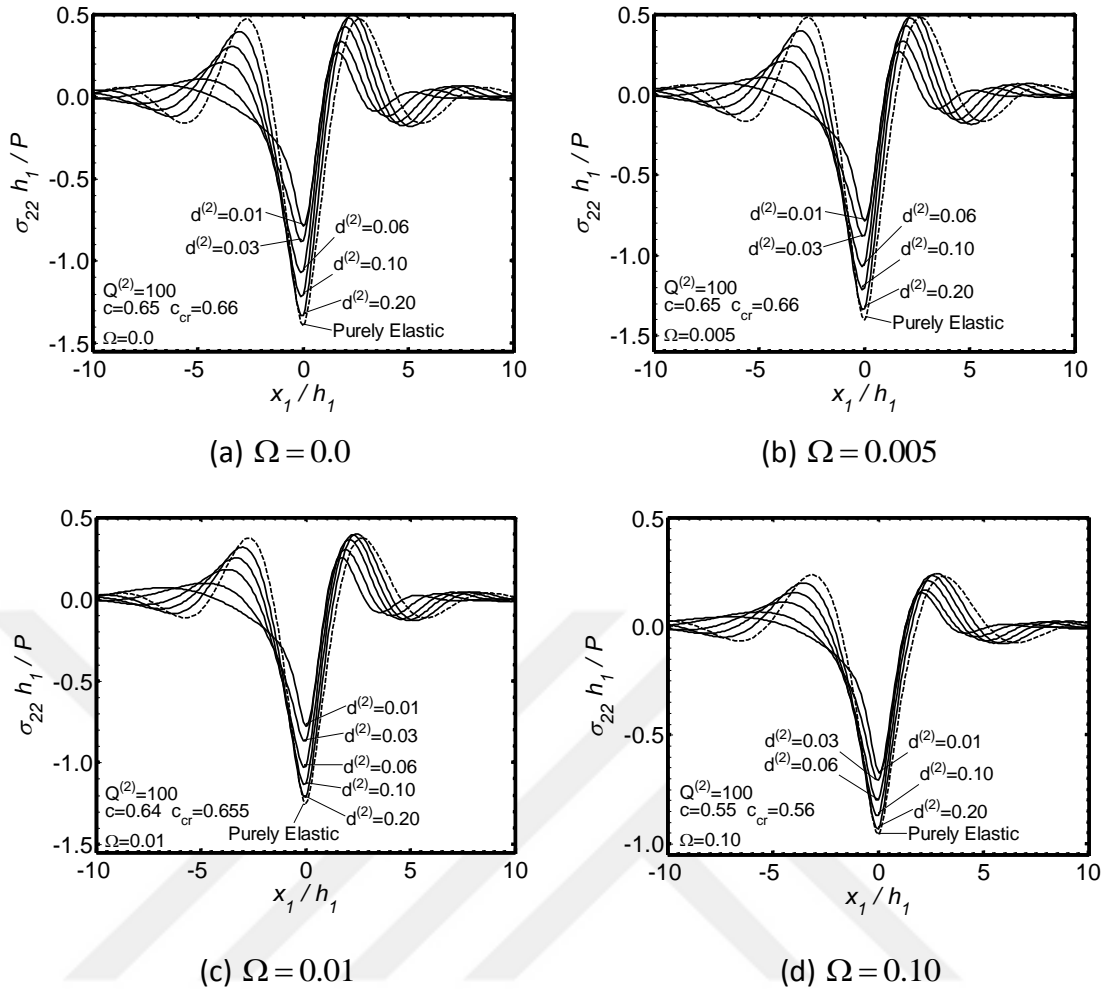
Şekil 4.12 ve 4.13'te verilen sonuçlar bilinen mekanik esaslara ve yaklaşımlara uyum sağlamaktadır. Neticede, elde edilen sonuçlar kullanılan algoritmanın ve sayısal sonuçları elde etmeye yönelik geliştirilen PC programının doğruluğunu kanıtlamaktadır.

[14] ve [15] çalışmalarında, tam elastik sistemlerde $\{V = 0; \Omega \neq 0\}$ ve $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ olması durumlarında $\sigma_{22}(x_1)$ normal gerilme dağılımının, boyutsuz koordinat x_1/h 'a göre simetrik olduğu; $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ olması durumunda ise $x_1/h = 0$ 'a göre simetrik olmadığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda [51] çalışmasında, tabakalı sistemlerin bir

viskoelastik bileşen içermesi durumunda $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ ve $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ için yukarıda bahsedilen simetri koşulunun sağlanmadığı görülmüştür.

Netice olarak, [51] çalışmasında elde edilen sonuca bağlı olarak, dikkate alınan sistemde, hem $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ için, hem de $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ olması durumunda x_1/h a göre $\sigma_{22}(x_1)$ dağılımının $x_1/h = 0$ a göre simetrik olmadığı tahmin edilebilir. Ayrıca, simetri olmaması durumu reolojik parametrelerin azalmasıyla, örneğin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla daha belirgin bir biçimde gözleneceği tahmin edilebilir. Bu tahminler Şekil 4.14'te doğrulanmaktadır. Şekil 4.14'te $Q^{(2)} = 100$, $c = 0.64$, $h_0 = 2$ için $\Omega = 0.0$ (Şekil 4.14a), 0.005 (Şekil 4.14b), 0.01 (Şekil 4.14c) ve 0.10 (Şekil 4.14d) olması durumunda farklı $d^{(2)}$ değerlerine bağlı olarak $\sigma_{22}h_1/P$ nin x_1 e göre değişimi gösterilmiştir.

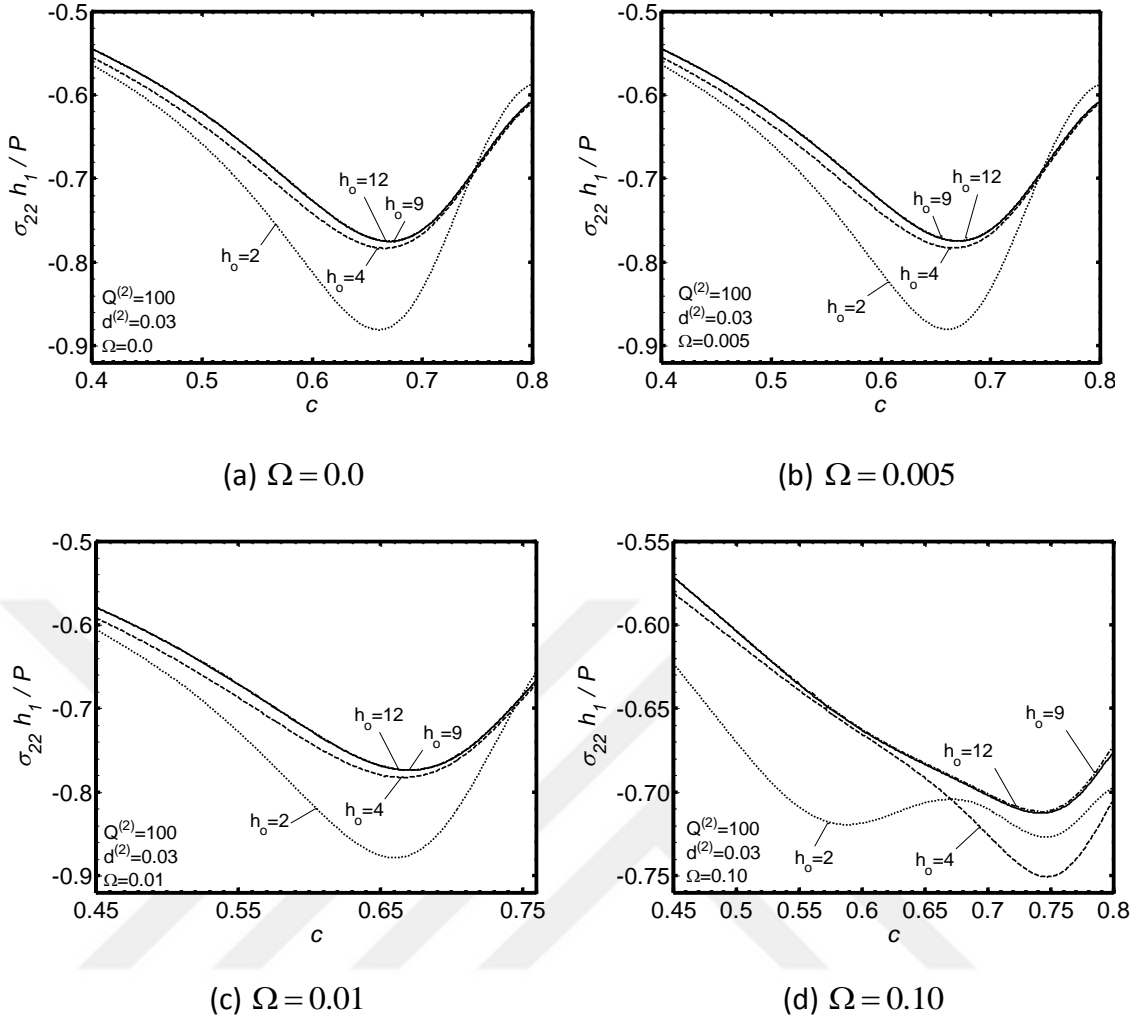
Ayrıca Şekil 4.14'te verilen sonuçlarda, gerilmelerin mutlak maksimum değerlerinin $x_1/h = 0$ noktası civarında olduğu görülmektedir ve sistemin viskozitesi arttıkça bu noktanın $x_1/h = 0$ dan kısmen sağa doğru kaydığı görülmektedir. Aynı zamanda, bu sonuçlar açıkça göstermektedir ki, gerilmelere ilişkin mutlak maksimum değerleri, azalan $d^{(2)}$ reolojik parametresi ve artan Ω titreşim frekansı ile azalmaktadır.



Şekil 4.14 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 2$)

Yukarıda verilen sonuçların hepsi tabaka kalınlıkları oranı $h_o = 2$ durumu için elde edilmiştir. Ayrıca, viskoelastik ara tabaka kalınlığı artışının diğer bir ifadeyle h_o değerlerindeki artışın kritik hız değerlerini nasıl etkileyeceği hususu da ayrı bir merak konusudur. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da bu husus incelenmiştir.

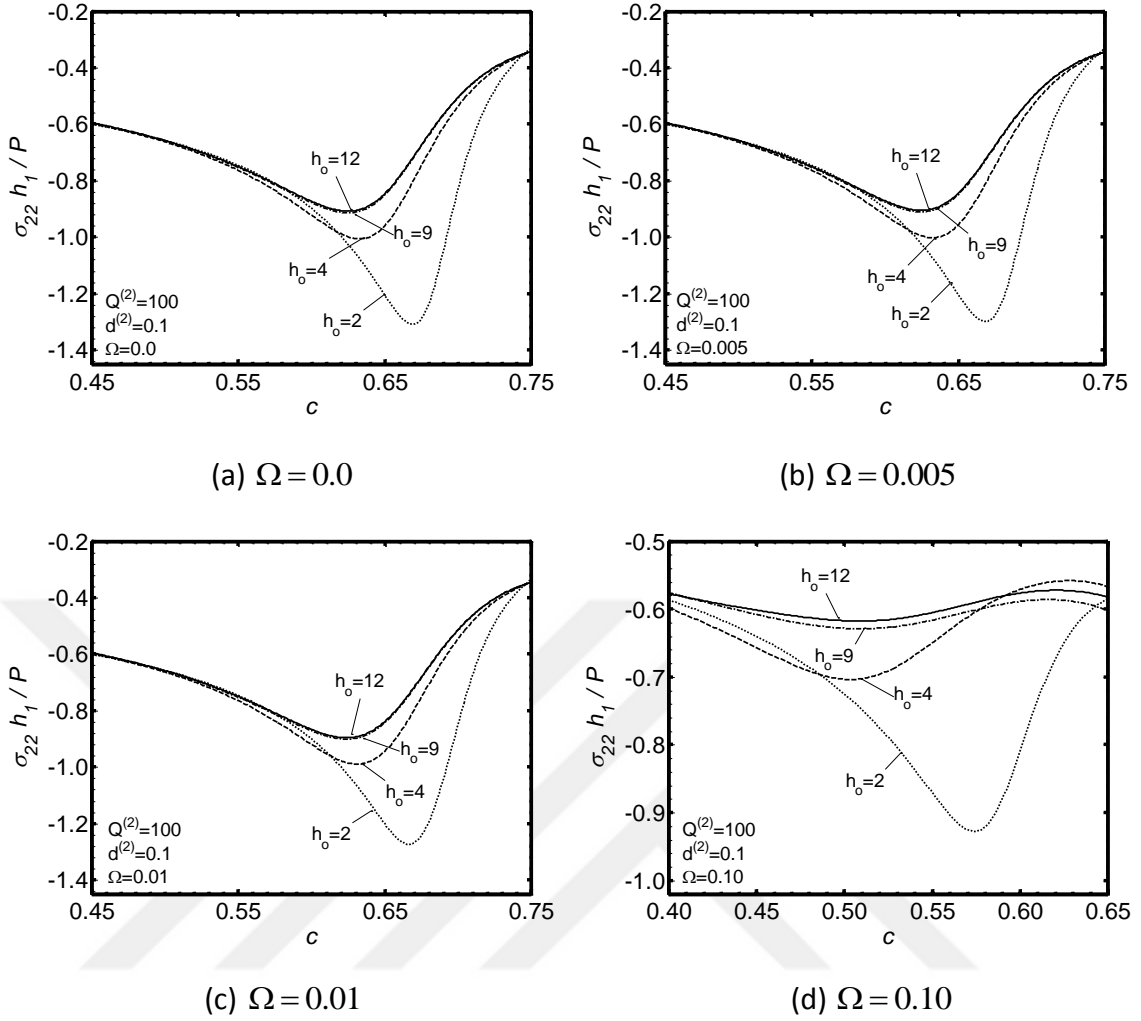
$\Omega = 0.0$ (Şekil 4.15a ve 4.16a), 0.005 (Şekil 4.15b ve 4.16b), 0.01 (Şekil 4.15c ve 4.16c) ve 0.10 (Şekil 4.15d ve 4.16d) olması durumunda, sırasıyla $d^{(2)} = 0.03$ ve 0.1 için ve $Q^{(2)} = 100$ için, farklı h_o değerlerinin $\sigma_{22}(0)$ ile c nin değişimine etkisine ait sayısal sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Farklı h_o değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $d^{(2)} = 0.03$)

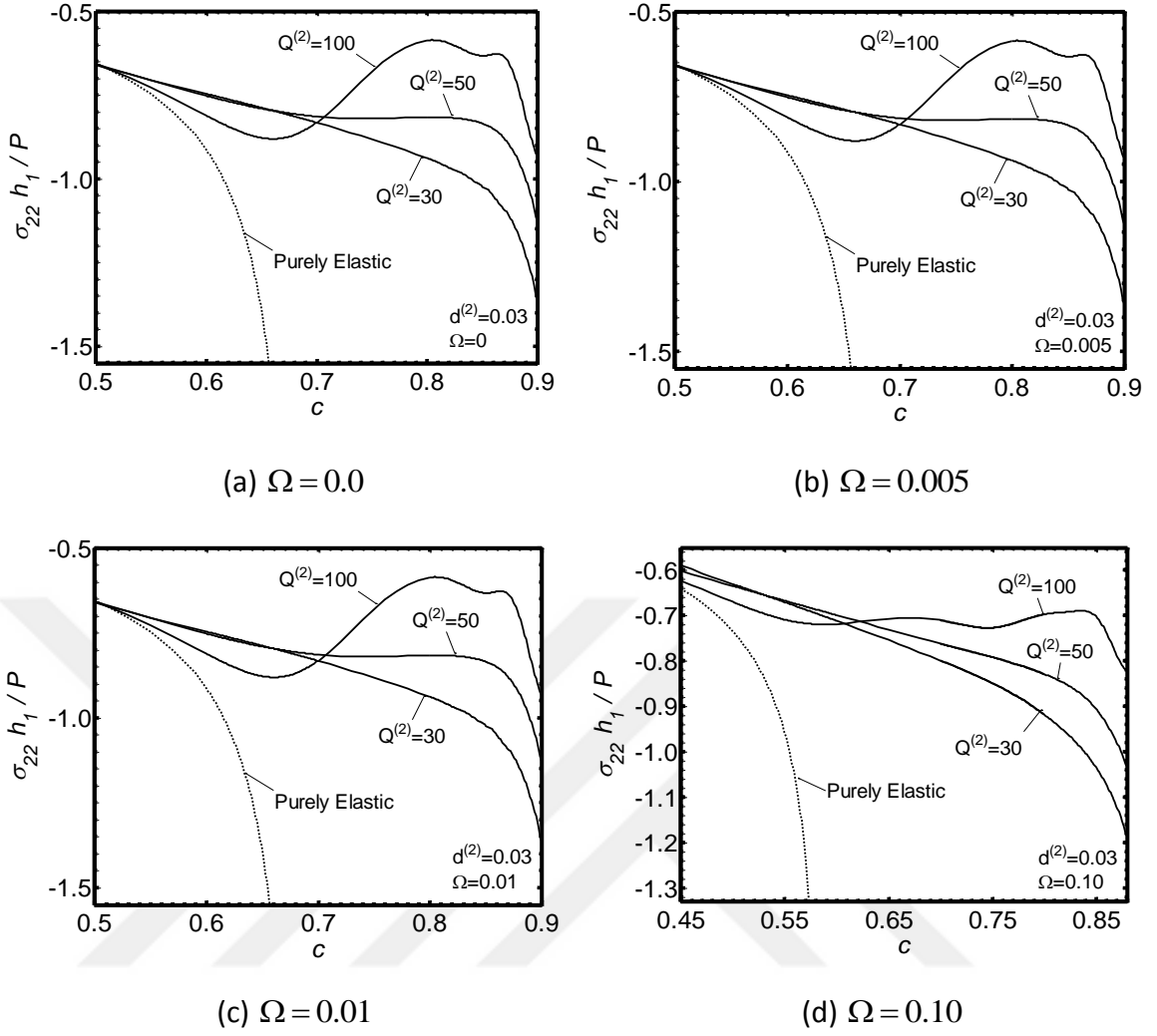
Böylece bilinen mekanik esaslara göre hareketli yük hızının kritik değerleri, viskoelastik ara tabaka kalınlığının artmasıyla azalacaktır. Ayrıca, mekanik esaslara dayanarak hareketli yük hızının kritik değerlerinin, h_o değerinin artması ile belirli bir limit değere ulaşması gerektiği söylenebilir. İşte bu limit değer örtü tabakası, viskoelastik ara tabaka ve yarı sonsuz ortamdan oluşan sisteme etkileyen hareketli yükün kritik hız değeridir.

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilen grafikler incelenecek olursa, yukarıda bahsedilen hususların gerçekleştiği ve kritik hız değerlerinin $h_o = 12$ de oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.16 Farklı h_0 değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $d^{(2)} = 0.1$)

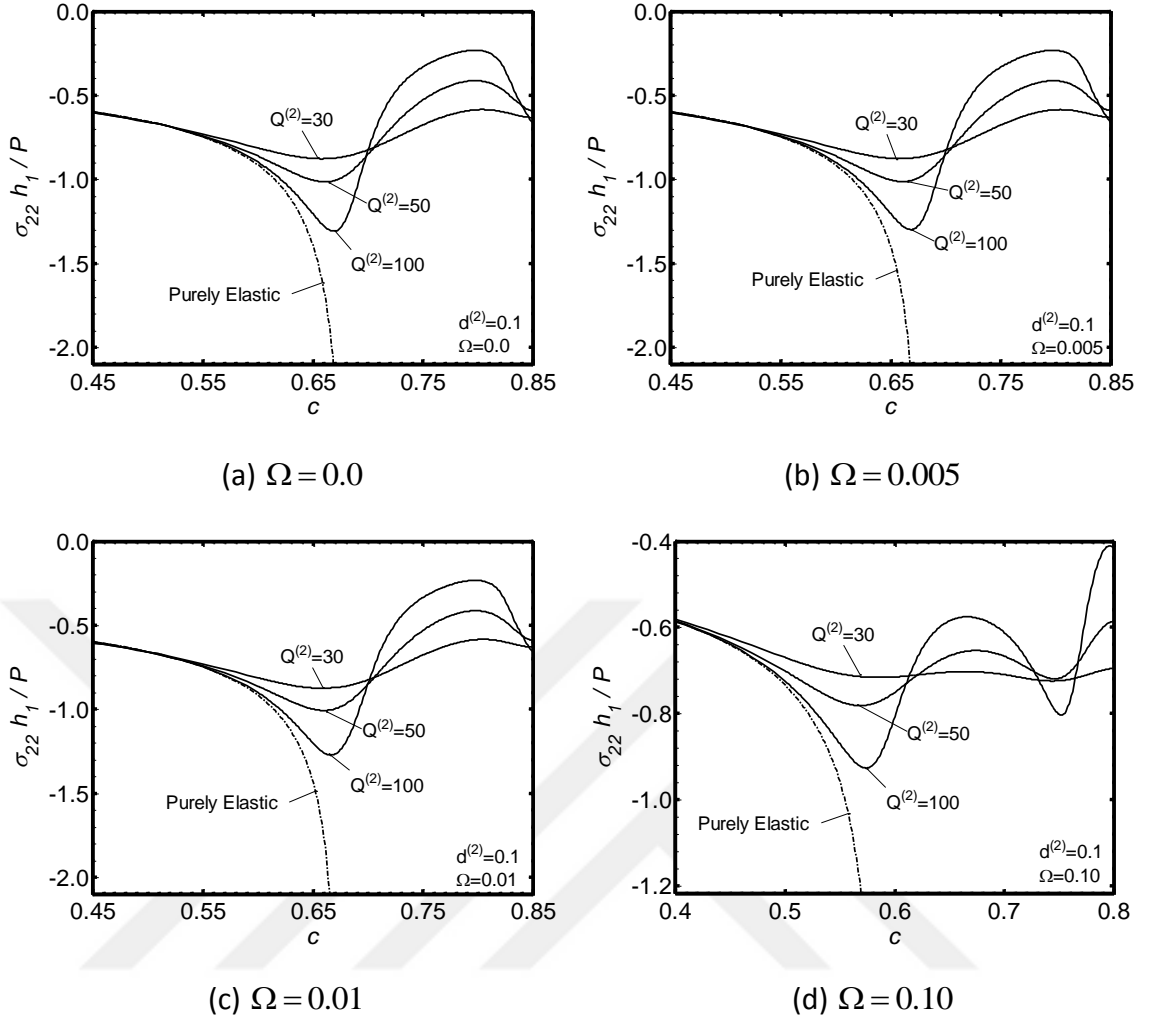
Şimdi, $Q^{(2)}$ reolojik parametresinin hareketli yükün kritik hız değerlerine etkisine ait sayısal sonuçlar gösterilecektir. Bu sebeple, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sırasıyla $d^{(2)} = 0.03$ ve 0.1 için farklı $Q^{(2)}$ değerlerinin $\sigma_{22}(0)$ ile c nin değişimine etkisine ait analiz sonuçları verilmiştir. Bu grafikler $\Omega = 0.0$ (Şekil 4.17a ve 4.18a), 0.005 (Şekil 4.17(b) ve 4.18(b)), 0.01 (Şekil 4.17(c) ve 4.18(c)) ve 0.10 (Şekil 4.17(d) ve 4.18(d)) olması durumunda, $h_0 = 2$ olduğu varsayılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03$, $h_o = 2$)

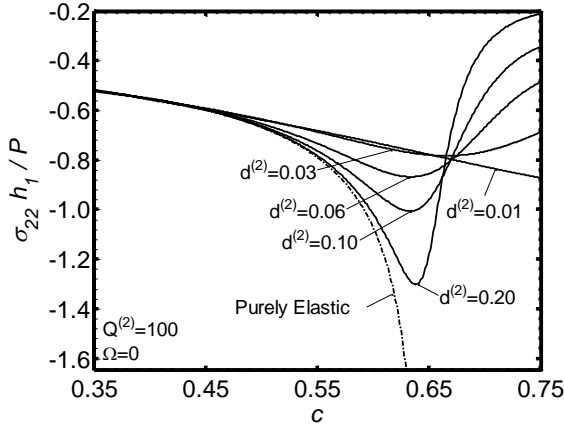
Böylece elde edilen sonuçlara göre hareketli yüke ilişkin kritik hız değerlerinin, $Q^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla arttığı anlaşılır. Aynı zamanda $d^{(2)} = 0.03$ için (Şekil 4.17) $Q^{(2)}$ nin oldukça küçük değerlerinde (örneğin $Q^{(2)} = 30$ için) kritik hız oluşmamaktadır. Ayrıca sonuçlar göstermektedir ki; gerilmelere ilişkin rezonans değerleri $Q^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla önemli ölçüde azalmaktadır.

Bunun yanı sıra Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de, hareketli yükün titreşim frekansının artmasıyla gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir.

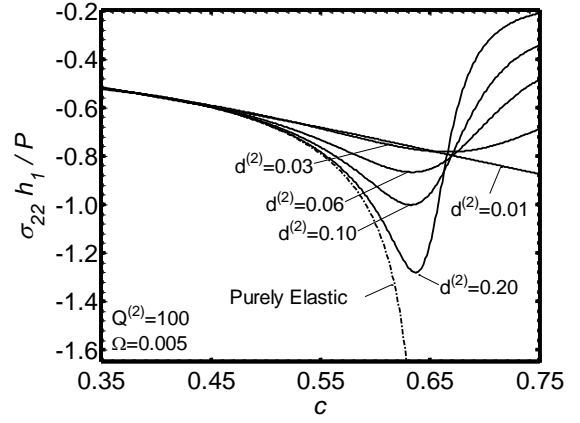


Şekil 4.18 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1$, $h_o = 2$)

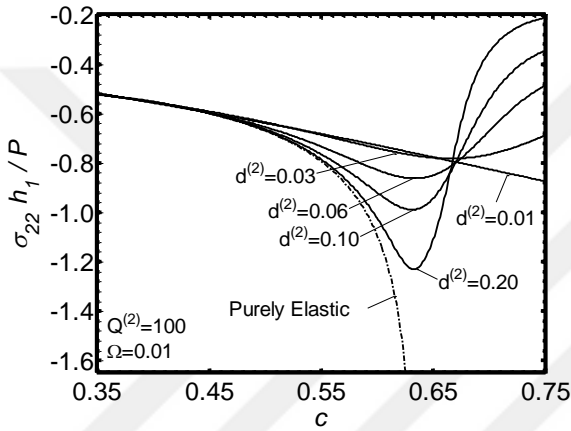
Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de sırasıyla $h_o = 4$ ve $h_o = 9$ olması durumlarında ve $Q^{(2)} = 100$ ve $Q^{(2)} = 200$ değerleri için farklı $d^{(2)}$ reolojik parametresine bağlı olarak normal gerilme σ_{22} ile hareketli yük hızı c nin değişimi incelenmiştir. Şekil 4.19 - 4.20 - 4.21 ve 4.22'deki analiz sonuçlarına göre hareketli yüke ilişkin kritik hız değerlerinin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda gerilmelere ait rezonans değerleri de $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla düşüş göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.19 - 4.20 - 4.21 ve 4.22'de, $d^{(2)} = 0.01$ değeri için $Q^{(2)} = 100$ ve $Q^{(2)} = 200$ olması durumunda kritik hız oluşmadığı gözlenmektedir. Bunun yanı sıra grafiklerden de görüldüğü gibi, hareketli yükün kritik hız değerleri, viskoelastik ara tabaka kalınlığının artmasıyla azalmaktadır.



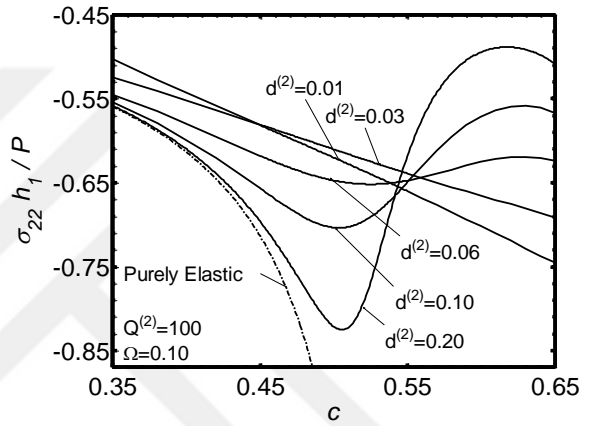
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



(c) $\Omega = 0.01$

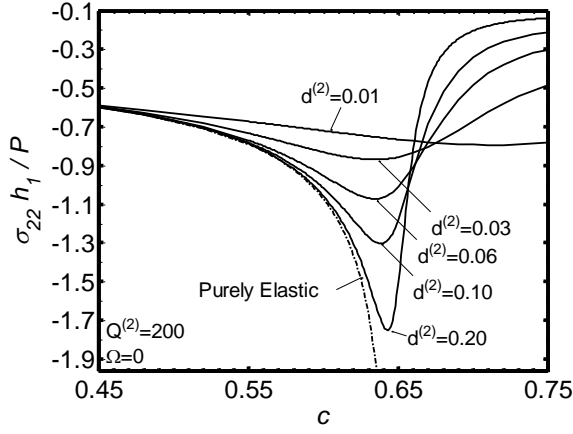


(d) $\Omega = 0.10$

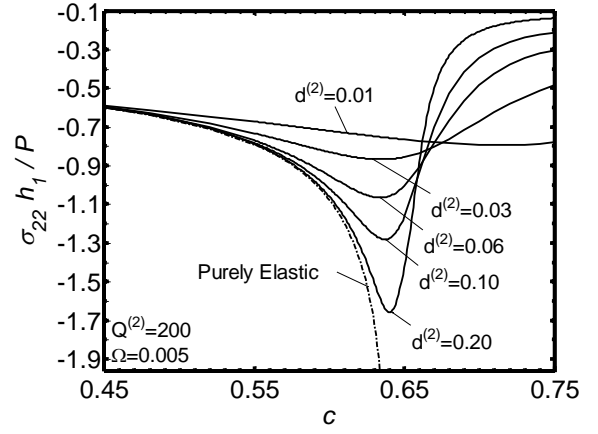
Şekil 4.19 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $h_o = 4$)

Aynı zamanda Şekil 4.19 ile Şekil 4.20'yi ve Şekil 4.21 ile Şekil 4.22'yi kıyaslayacak olursak $Q^{(2)}$ değerindeki artışın hareketli yükün kritik hız değerini etkilemediği görülmektedir. Ancak $Q^{(2)}$ değerindeki artış sonucu gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

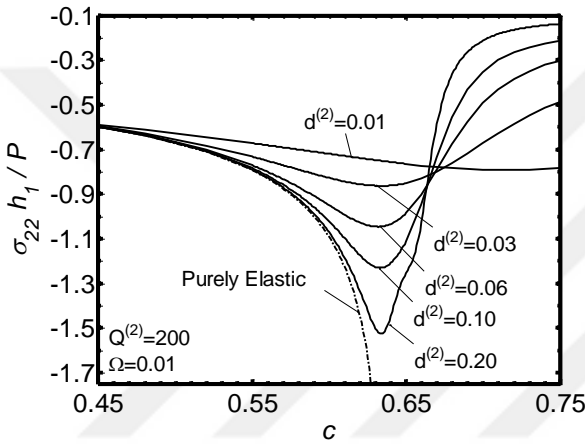
Ayrıca Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22'de, hareketli yükün titreşim frekansının artması ile kritik hız değerlerinin kısmen azaldığı ve gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinin de önemli ölçüde düştüğü görülmektedir.



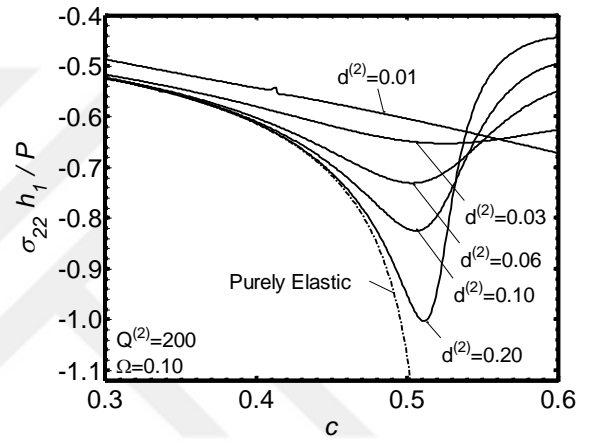
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



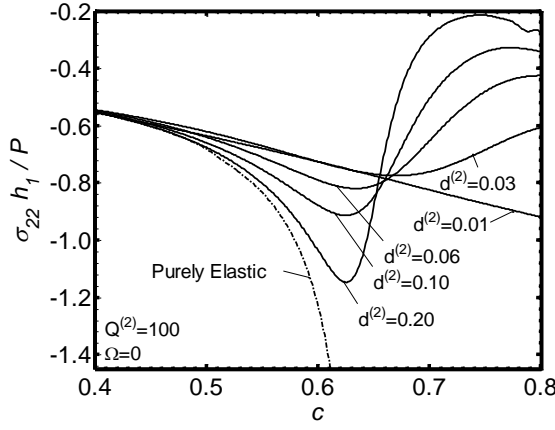
(c) $\Omega = 0.01$



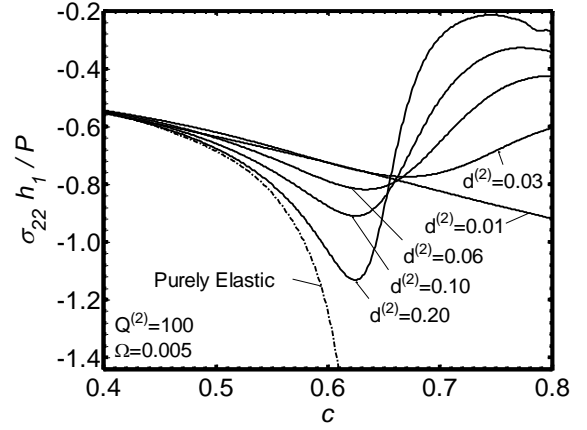
(d) $\Omega = 0.10$

Şekil 4.20 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200$, $h_o = 4$)

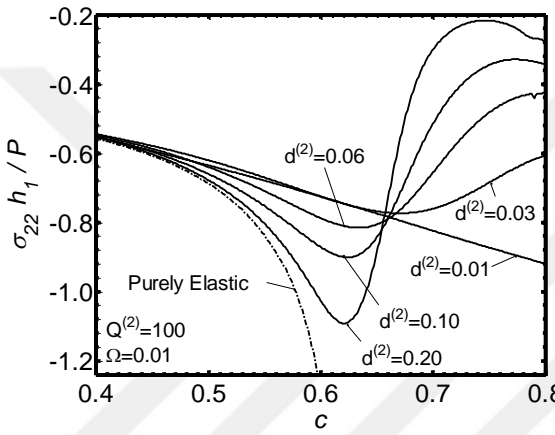
Ek olarak, $Q^{(2)} = 100$ ve $Q^{(2)} = 200$ değerleri için $h_o = 2$ de elde edilen sayısal sonuçları $h_o = 4$ ve $h_o = 9$ olması durumlarında elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırdığımızda hareketli yük hızının kritik değerlerinin, viskoelastik ara tabaka kalınlığının artmasıyla azaldığı bir kez daha görülmektedir. Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22'de elde edilen grafikler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'yı doğrular niteliktedir.



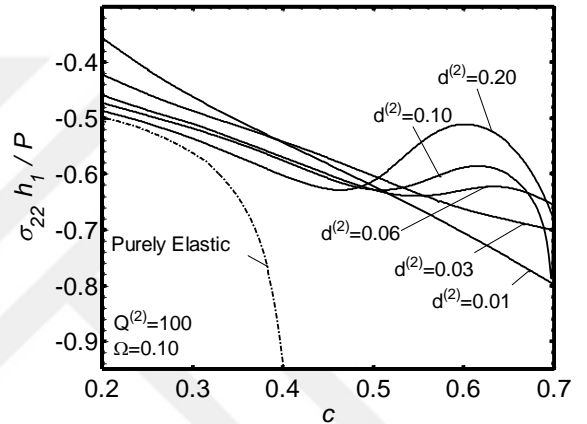
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



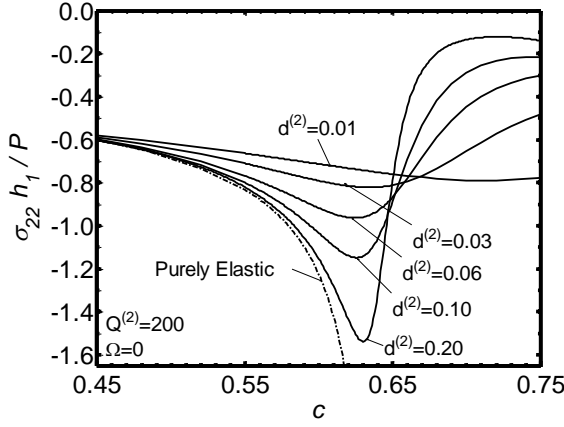
(c) $\Omega = 0.01$



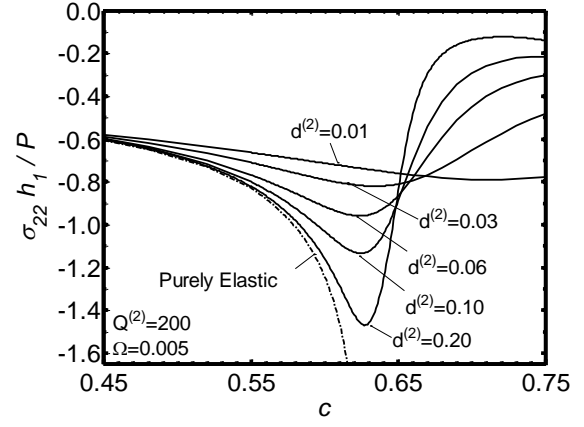
(d) $\Omega = 0.10$

Şekil 4.21 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $h_o = 9$)

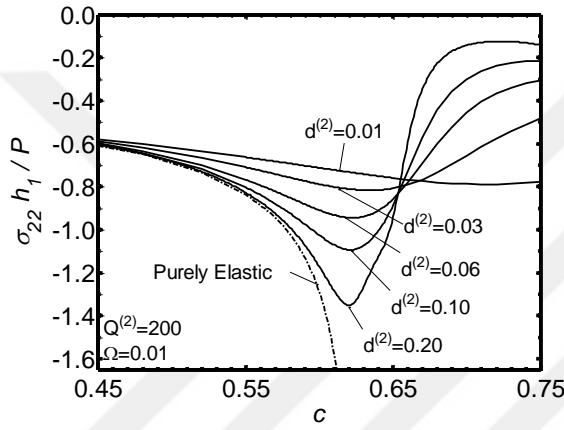
Ayrıca Şekil 4.22'de hareketli yükün titreşim frekansı $\Omega = 0.10$ olması durumunda $d^{(2)} = 0.2$ değerinde tam elastik durumla aynı sonuç elde edilmektedir. $d^{(2)} = 0.2$ değerinden itibaren viskozite kaybolmakta, malzeme elastik duruma geçmektedir.



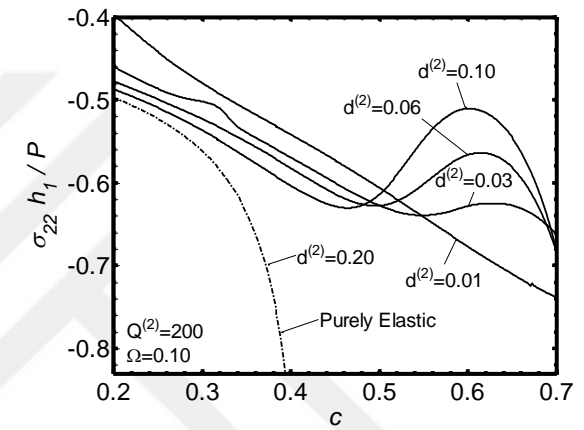
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



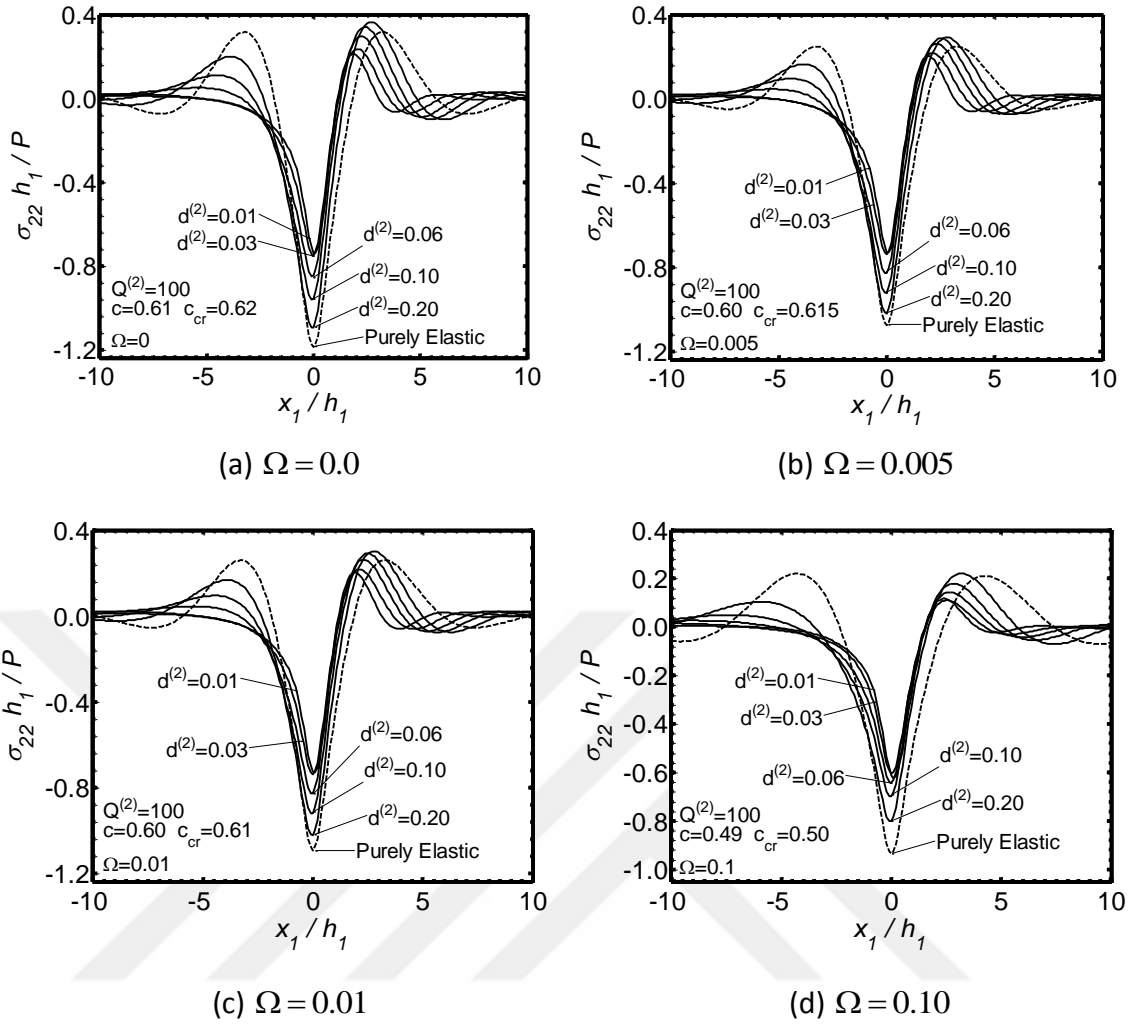
(c) $\Omega = 0.01$



(d) $\Omega = 0.10$

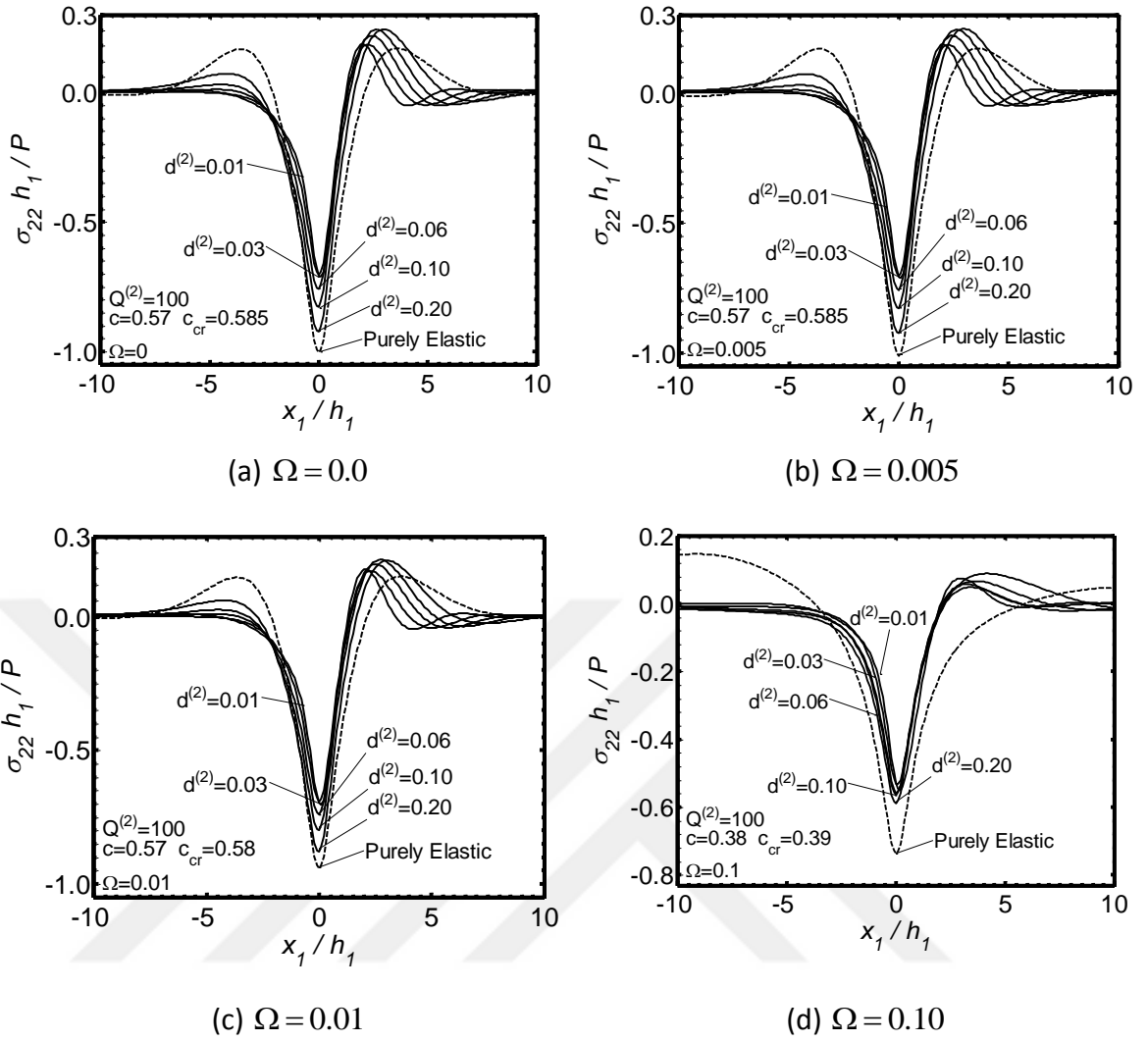
Şekil 4.22 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($Q^{(2)} = 200$, $h_o = 9$)

Dikkate alınan sistemde, hem $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ için, hem de $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ olması durumunda x_1/h a göre $\sigma_{22}(x_1)$ dağılımının $x_1/h = 0$ a göre simetrik olmadığı tahmin edilebileceği daha önce belirtilmişti. Ayrıca, simetri olmaması durumunun reolojik parametrelerin azalmasıyla, örneğin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla daha belirgin bir biçimde gözleneceği de aşikardır. Belirtilen bu hususlar Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te doğrulanmıştır. Şekil 4.23'te $Q^{(2)} = 100$, $c = 0.60$, $h_o = 4$ için $\Omega = 0.0$ (Şekil 4.23a), 0.005 (Şekil 4.23b), 0.01 (Şekil 4.23c) ve 0.10 (Şekil 4.23d) olması durumunda, farklı $d^{(2)}$ değerlerine bağlı olarak $\sigma_{22}h_1/P$ nin x_1 e göre değişimi gösterilmiştir.



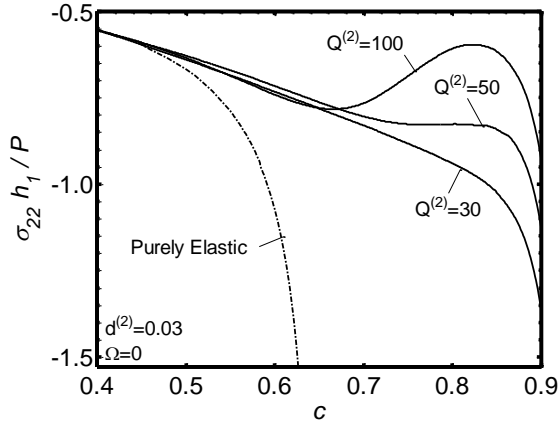
Şekil 4.23 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 4$)

Aynı zamanda Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilen sonuçlarda, gerilmelerin mutlak maksimum değerlerinin $x_1/h = 0$ noktası civarında olduğu görülmektedir ve sistemin viskozitesi arttıkça bu noktanın $x_1/h = 0$ dan kısmen sağa doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca, bu sonuçlar açıkça göstermektedir ki, gerilmelere ilişkin mutlak maksimum değerleri azalan $d^{(2)}$ reolojik parametresi ve artan Ω titreşim frekansı ile azalmaktadır. Özellikle viskoelastik ara tabaka kalınlığındaki artış sonucu gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. Aynı zamanda hareketli yükün kritik hız değerleri de düşüş göstermektedir.

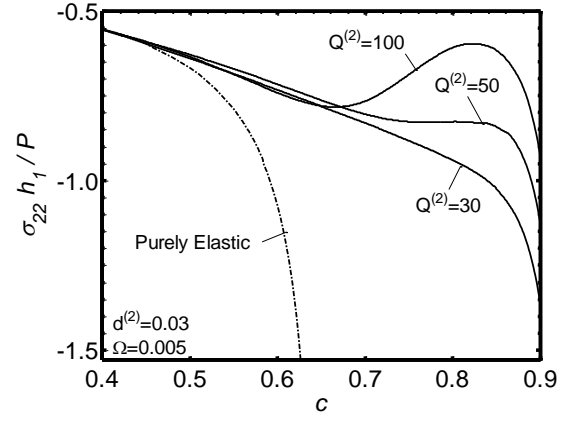


Şekil 4.24 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100, h_o = 9$)

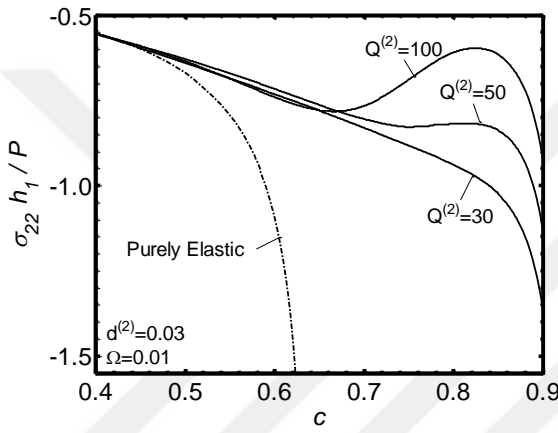
Farklı $Q^{(2)}$ reolojik parametresinin hareketli yükün kritik hız değerlerine ve gerilme yayılımına etkisine ait sayısal sonuçlar Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sırasıyla $h_o = 4$ ve $h_o = 9$ olması durumunda $d^{(2)} = 0.03$ için verilmiştir. Hareketli yüke ilişkin kritik hız değerleri, $Q^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla artmaktadır. Aynı zamanda $d^{(2)} = 0.03$ için $Q^{(2)}$ nin oldukça küçük değerlerinde (örneğin $Q^{(2)} = 30$ için) kritik hız oluşmamaktadır.



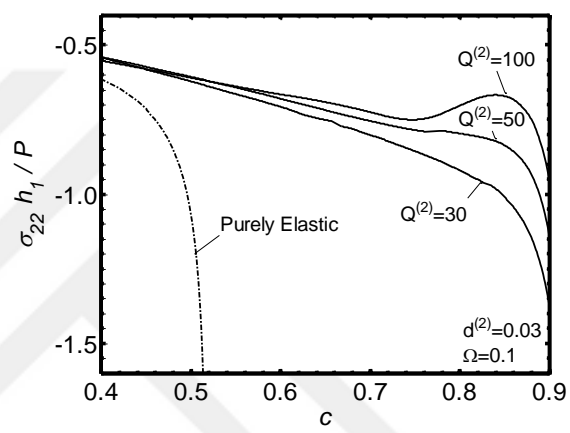
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



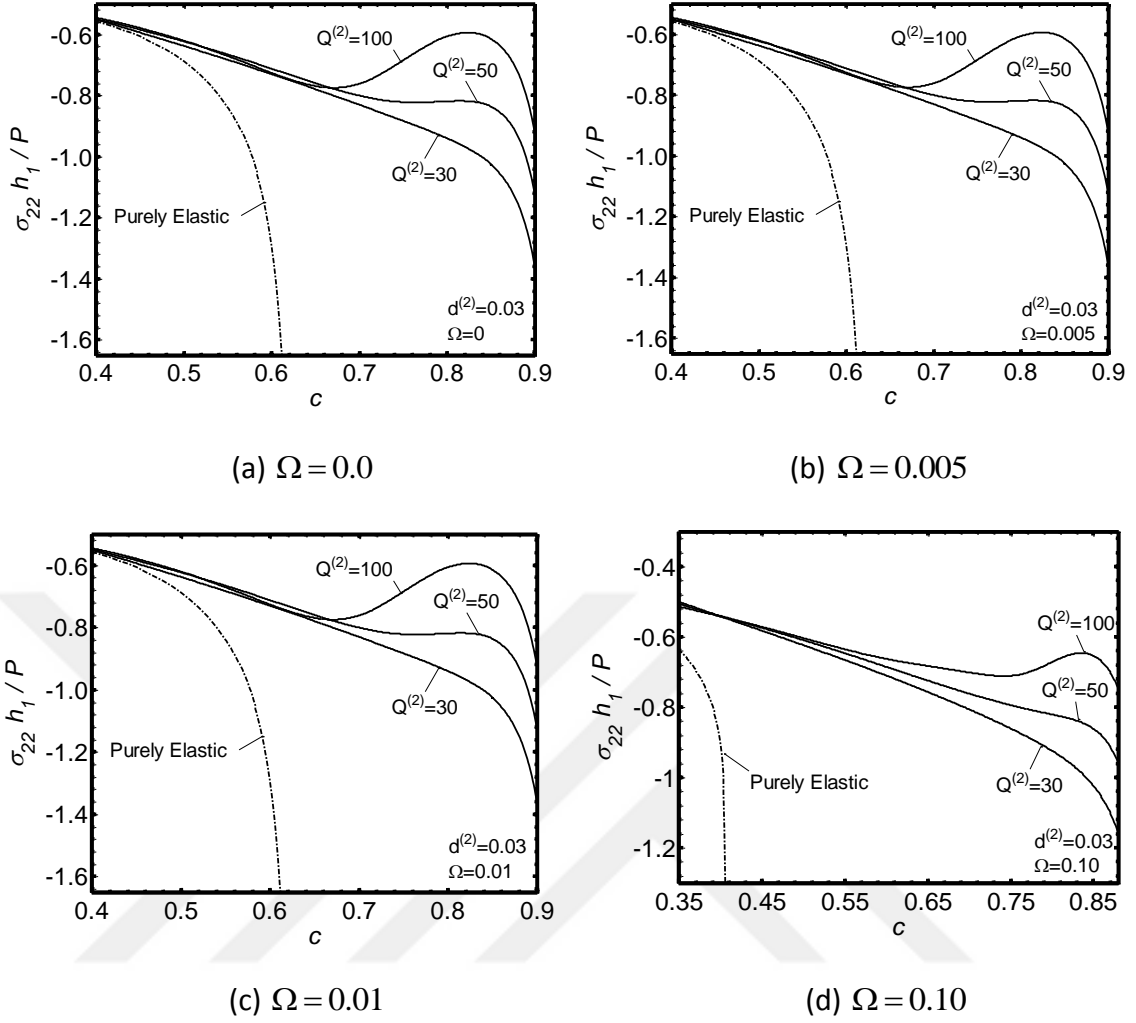
(c) $\Omega = 0.01$



(d) $\Omega = 0.10$

Şekil 4.25 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03$, $h_o = 4$)

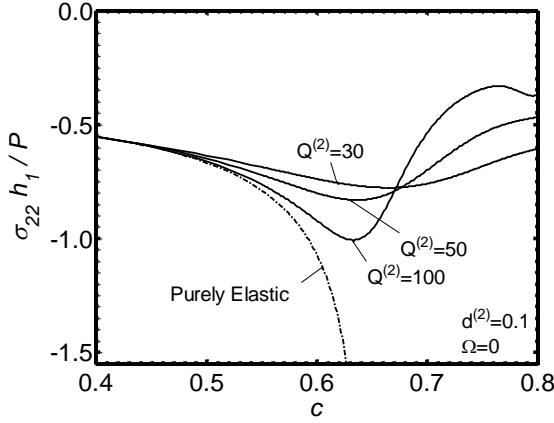
Bunun yanı sıra Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da, hareketli yükün titreşim frekansının artmasıyla ($\Omega = 0.10$) gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir.



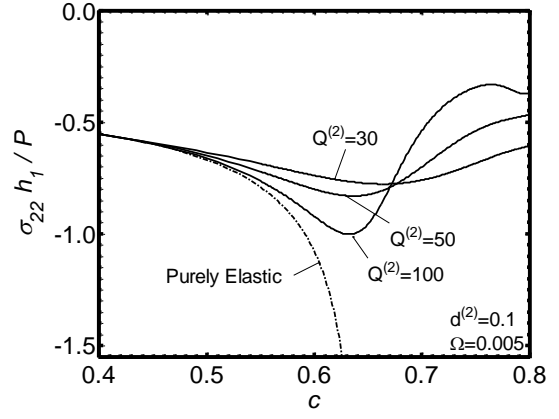
Şekil 4.26 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.03$, $h_o = 9$)

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de sırasıyla $h_o = 4$ ve $h_o = 9$ olması durumunda $d^{(2)} = 0.1$ için farklı $Q^{(2)}$ reolojik parametresinin hareketli yükün kritik hız değerlerine ve gerilme yayılımına etkisine ait sayısal sonuçlar verilmiştir. Hareketli yüke ilişkin kritik hız değerleri, $Q^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla artmaktadır.

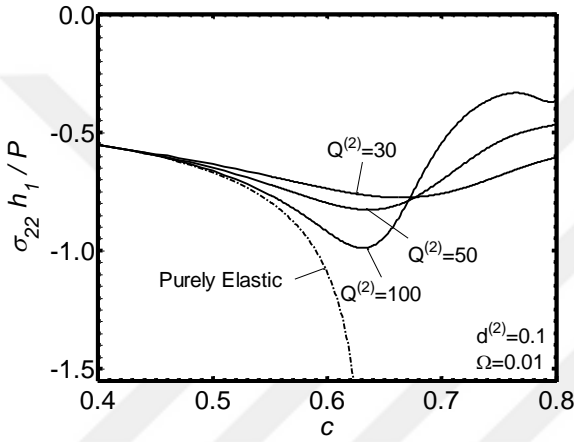
Ayrıca, hareketli yükün titreşim frekansının artmasıyla gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir.



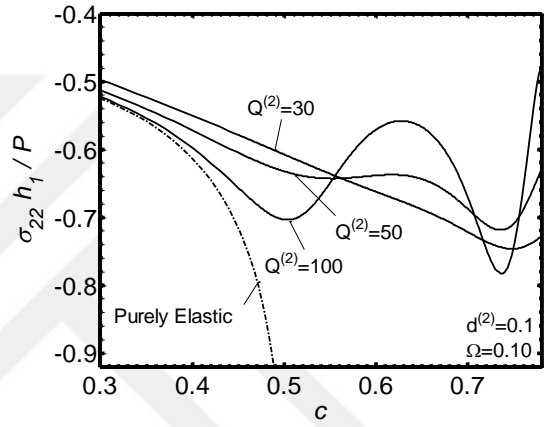
(a) $\Omega = 0.0$



(b) $\Omega = 0.005$



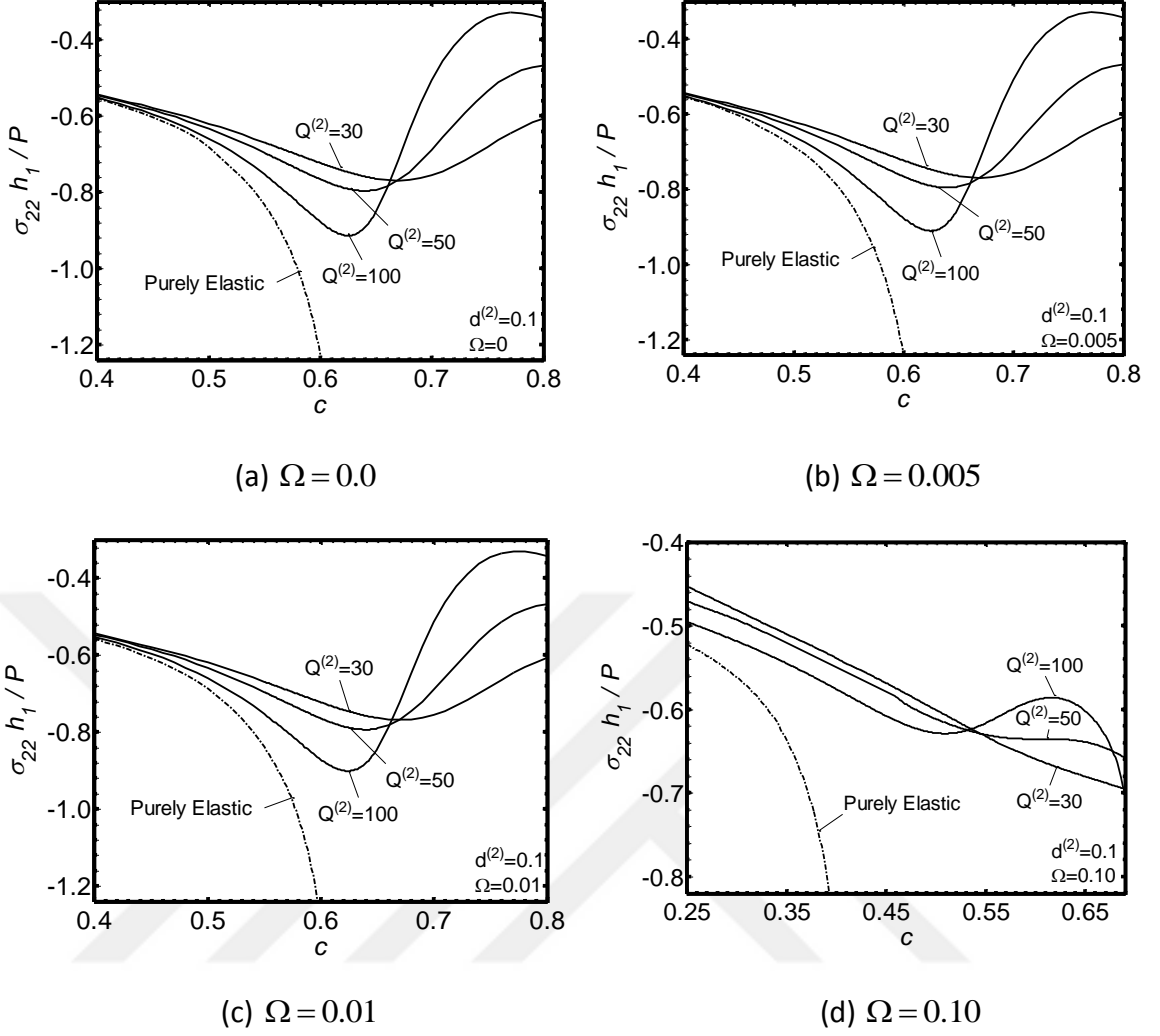
(c) $\Omega = 0.01$



(d) $\Omega = 0.10$

Şekil 4.27 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1$, $h_o = 4$)

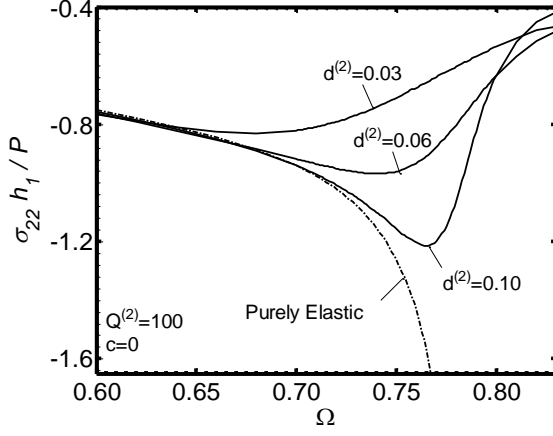
Ek olarak, Şekil 4.25 ve Şekil 4.27 ile 4.26 ve 4.28 karşılaştırıldığında viskoelastik ara tabaka kalınlığındaki artış sonucu gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Aynı zamanda hareketli yükün kritik hız değerleri de düşüş göstermektedir.



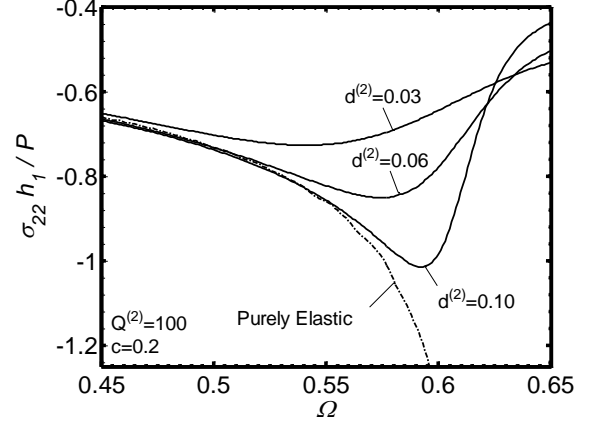
Şekil 4.28 Çeşitli $Q^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yük hızı c ile değişimi ($d^{(2)} = 0.1, h_o = 9$)

Şekil 4.29'da $h_o = 2$ olması durumunda $Q^{(2)} = 100$ için farklı $d^{(2)}$ reolojik parametresine bağlı olarak normal gerilme σ_{22} ile hareketli yük titreşim frekansı Ω nın değişimi incelenmiştir. Ayrıca, sırasıyla $c = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6$ değerleri için elde edilen sayısal sonuçlara ilişkin aşağıda verilen şekilde a, b, c ve d şeklinde gruplandırma yapılmıştır.

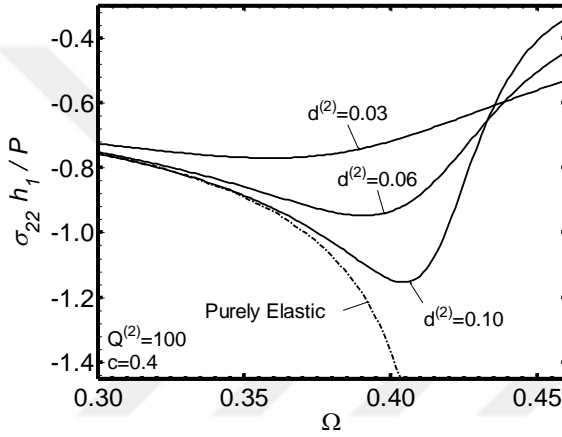
Şekil 4.29'daki analiz sonuçlarına göre gerilmelere ait rezonans değerleri $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla düşüş göstermektedir.



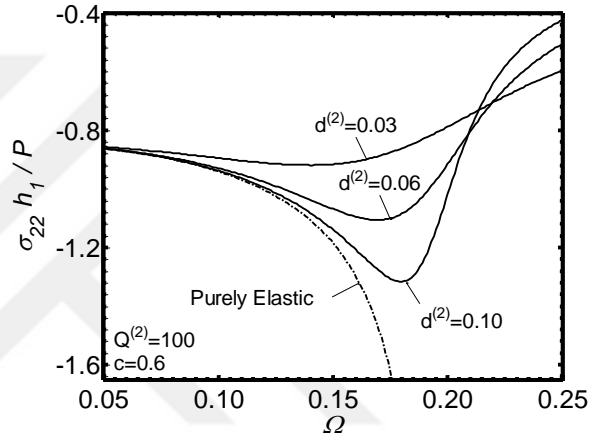
(a) $c = 0.0$



(b) $c = 0.2$



(c) $c = 0.4$

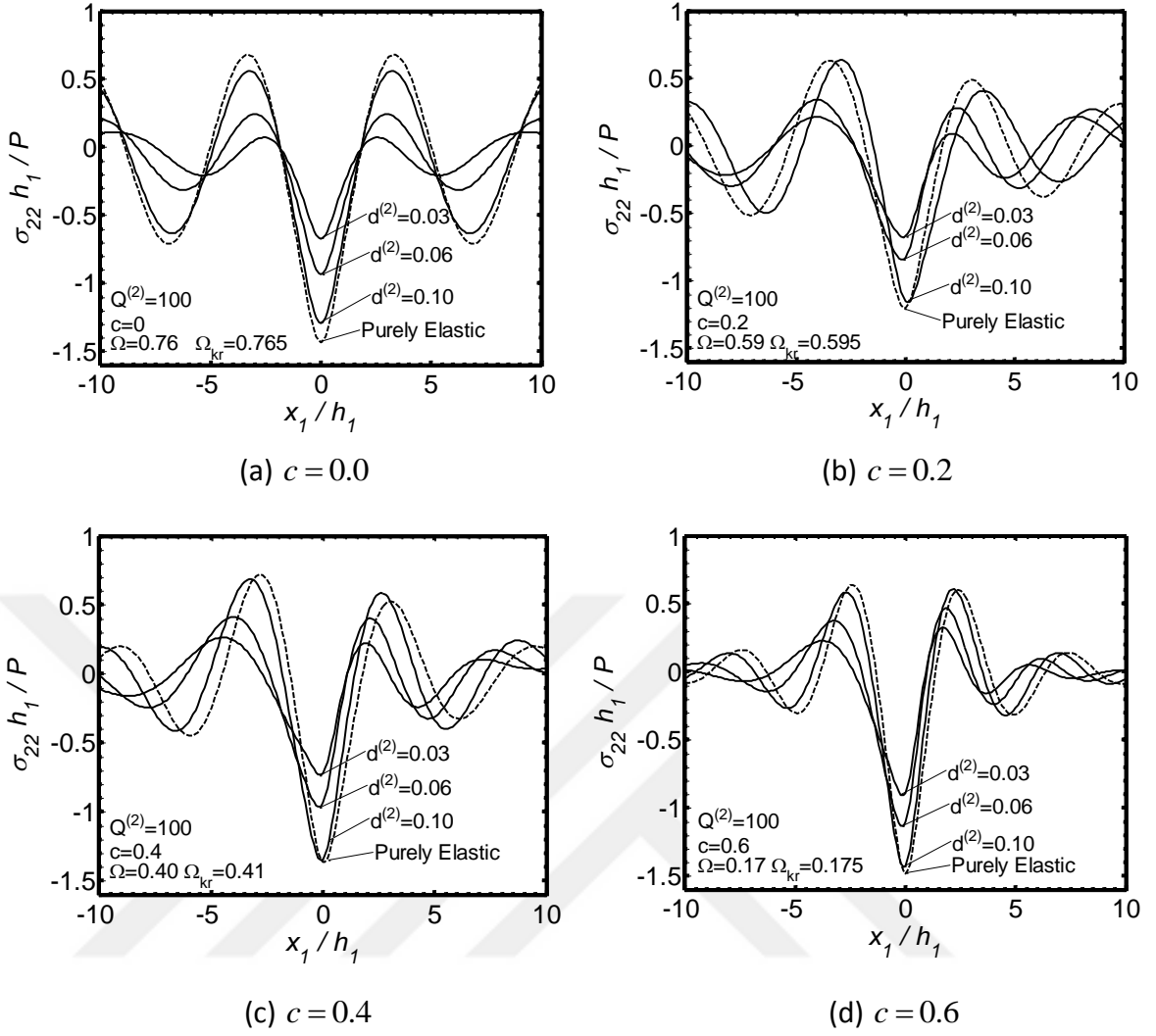


(d) $c = 0.6$

Şekil 4.29 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin hareketli yükün titreşim frekansı Ω ile değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $h_o = 2$)

Aynı zamanda hareketli yükün boyutsuz hızındaki artışla birlikte gerilmelerin mutlak maksimum değerleri artmaktadır. Gerilmelerin rezonans değerlerine karşılık gelen frekans değerleri de artan hareketli yük hızı ile birlikte azalmaktadır. Diğer bir deyişle ara tabakayı oluşturan malzeme bileşenleri, hareketli yük hızının artmasıyla daha düşük titreşim frekanslarında rezonansa girmektedir.

Şekil 4.29'da verilen sonuçlar bilinen mekanik esaslara ve yaklaşımlara uyum sağlamaktadır. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar kullanılan algoritmanın ve sayısal sonuçları elde etmeye yönelik geliştirilen PC programının doğruluğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 4.30 Çeşitli $d^{(2)}$ değerleri için σ_{22} normal gerilmesinin x_1 e göre değişimi ($Q^{(2)} = 100$, $h_o = 2$)

Tabakalı sistemlerin bir viskoelastik bileşen içermesi durumunda $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ ve $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ için yukarıda bahsedilen simetri koşulunun sağlanmadığı belirtilmiştir. Ayrıca $\{V = 0; \Omega \neq 0\}$ olması durumunda simetri koşulu sağlanır. Buna göre Şekil 4.30(a) da yükün boyutsuz hızı $\{c = 0; \Omega \neq 0\}$ durumunda simetri koşulunun sağlandığı; Şekil 4.30(b), Şekil 4.30(c) ve Şekil 4.30(d) de simetri koşullarının sağlanmadığı görülmektedir. Şekil 4.30'da verilen sonuçlar bilinen mekanik esaslara ve yaklaşımlara uyum sağlamaktadır. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar kullanılan algoritmanın ve sayısal sonuçları elde etmeye yönelik geliştirilen PC programının doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Ayrıca Şekil 4.30'da verilen sonuçlarda, gerilmelerin mutlak maksimum değerlerinin $x_1/h=0$ noktası civarında oluştuğu görülmektedir ve sistemin viskozitesi arttıkça bu noktanın $x_1/h=0$ dan kısmen sağa doğru kaydığı görülmektedir. Aynı zamanda, hareketli yükün boyutsuz hızındaki artışla birlikte gerilmelerin mutlak maksimum değerleri artmaktadır. Bir diğer husus da simetrisinin olmaması durumunun reolojik parametrelerin azalmasıyla, örneğin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla daha belirgin bir biçimde gözlemlenmiştir.



SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında titreşimli, hareketli yük etkisi altındaki örtü tabakası, ara tabaka ve yarı sonsuz ortamdaki oluşan viskoelastik tabakalı bir sistemin dinamik davranışı viskoelastodinamiğin kesin hareket denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Sistem bileşenlerine yönelik korunum eşitlikleri, "standart lineer katı cisim" modeli çerçevesinde tanımlanmıştır. Probleme ilişkin sınır-temas problemlerinin çözümünde hareketli koordinat sistemi ve integral Fourier dönüşümü yöntemleri kullanılmıştır. İlgili ters dönüşüm işlemleri bu tez çalışması kapsamında hazırlanan algoritma ve PC program aracılığıyla nümerik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca viskoelastik tabakalı sistem için tanımlanan kritik hız değerleri ve temas yüzeyindeki gerilme değerleri tez çalışması kapsamında hazırlanan algoritma ve PC program aracılığıyla incelenmiştir.

Örtü tabakası ve yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemelerin tam elastik ve aynı olduğu varsayılmıştır. Ara tabakayı oluşturan malzeme bileşenlerinin viskoelastik olduğu kabul edilmiştir.

Tez çalışmasındaki tüm hesaplar subsonik rejim dikkate alınarak yapılmıştır, diğer bir ifadeyle $c = V/c_2^{(1)} < 1$ olduğu varsayılmıştır. Ayrıca mevcut tez çalışmasında ve bu tez çalışması ile ilgili referanslarda belirtilen çalışmalarda görülmüştür ki, kritik hız örtü tabakasının elastisite modülünün ara tabakanın elastisite modülünden büyük olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda örtü tabakasının elastisite modülü, yarı sonsuz ortamı oluşturan malzemenin elastisite modülünden daha büyük ve daha küçük olabilir ya da her ikisi de eşit olabilir. Ayrıca kritik hız, dikkate alınan sistemde

tabakalardan herhangi birinin elastisite modülünün yarı sonsuz ortam elastisite modülünden büyük olması durumunda ortaya çıkar. Fakat $E^{(1)} < E^{(2)} < E^{(3)}$ olması durumunda kritik hız oluşmaz. Bu durum dikkate alınarak mevcut tez çalışmasında ara tabaka malzemesine ait başlangıç elastisite modülü değerinin, örtü tabakası ve yarı sonsuz ortam malzemesine ait elastisite modülü değerinden daha küçük olduğu kabul edilmiş; $E^{(1)} > E^{(2)}$ ve $E^{(1)} = E^{(3)}$ olduğu varsayılmıştır.

Korunum eşitliklerine bağlı olarak, viskoelastik bileşenlerden oluşan ara tabaka malzemesine ilişkin reolojik parametreler olan mekanik sabitlerin uzun vadedeki değeri $d^{(2)}$ ve sünme süresi (creep time) $Q^{(2)}$ değerleri sırasıyla tahmin edilmiştir. Bu parametrelerin değerindeki azalma, ilgili malzemenin viskozitesinde artışa neden olmaktadır. Örtü tabakası ile ara tabaka temas yüzeyinde oluşan gerilmelerin dağılımını gösteren sayısal sonuçlardan aşağıdaki somut sonuçlar elde edilmiştir:

- $d^{(2)}$ reolojik parametresinin azalmasıyla birlikte kritik hız değerlerinde ve bu noktadaki normal gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde azalma görülmektedir.
- $Q^{(2)}$ reolojik parametresinin azalmasıyla birlikte kritik hız değerleri artmaktadır. Ancak normal gerilmelere ilişkin rezonans değerleri, azalan $Q^{(2)}$ parametresiyle birlikte azalmaktadır.
- Elde edilen tüm sayısal sonuçlarda $Q^{(2)}$ parametresinin belli bir küçük değeri için kritik hız oluşmadığı görülmüştür.
- Elde edilen tüm sayısal sonuçlarda $d^{(2)}$ parametresinin belli bir küçük değeri için yine kritik hız oluşmadığı görülmüştür.
- Hareketli yükün titreşim frekansındaki artış, kritik hız değerinde ve gerilmelere ait rezonans değerlerinde azalmaya yol açmaktadır.
- Ara tabakanın kalınlığındaki artış sonucu kritik hız ve normal gerilmelere ilişkin rezonans değerlerinde azalma meydana gelmektedir.
- Yükün etki etki ettiği noktaya göre gerilme dağılımındaki simetri durumunun bozulması, sadece hareketli yükün titreşiminden kaynaklanmamakta aynı zamanda ara tabaka malzemesindeki viskozite de bu duruma neden olmaktadır.

- Dikkate alınan sistemde, hem $\{V \neq 0; \Omega \neq 0\}$ için, hem de $\{V \neq 0; \Omega = 0\}$ olması durumunda x_1/h a göre $\sigma_{22}(x_1)$ dağılımının $x_1/h=0$ a göre simetrik olmadığı görülmektedir.
- Ayrıca, simetri olmaması durumu reolojik parametrelerin azalmasıyla, örneğin $d^{(2)}$ parametresinin azalmasıyla daha belirgin bir biçimde gözlenmektedir.
- Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, bilinen mekanik esaslara ve yaklaşımlara uyum sağlamaktadır. Bu durum kullanılan algoritma ve sayısal sonuçları elde etmeye yönelik geliştirilen PC programının doğruluğunu kanıtlamaktadır.
- Bu tez çalışmasında kullanılan yaklaşım, diğer tam elastik durumlar için de kullanılabilir ve bu metot daha zor olmasına rağmen, tam elastik durumda uygulanan yaklaşımlardan daha genel bir yaklaşımdır.
- Mevcut çalışma, diğer hareketli ve titreşimli hareketli yük problemlerinde de uygulanabilir.

- [1] Sneddon, I. N., (1951). *Fourier Transforms*, McGraw-Hill, New York.
- [2] Sneddon, I. N., (1957). "The stress produced by a pulse of pressure moving along the surface of a semi-infinite solid", *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 2: 57-62.
- [3] Cole, J. ve Huth, J., (1958). "Stress produced in a half-space by moving loads", *Journal of Applied Mechanics*, 25: 433-436.
- [4] Papadopoulos, M., (1963). "The elastodynamics of moving loads", *Journal of the Australian Mathematical Society*, 3: 79-92.
- [5] Eason, G., (1965). "The stress produced in a semi-infinite solid by moving surface force", *International Journal of Engineering Science*, 2: 581-609.
- [6] Achenbach, J. D., Keshava, S. P. ve Herman G., (1967). "Moving load on a plate resting on an elastic half-space", *Trans ASME Ser. E. J. Appl. Mech.*, 34 (4): 183-189.
- [7] Babich, S. Y., Glukhov, Y. P. ve Guz, A. N, (1986). "Dynamics of a layered compressible pre-stressed half-space under the influence of moving load", *Int. Appl. Mech.*, 22 (6): 808-815.
- [8] Babich, S. Y., Glukhov, Y. P. ve Guz, A. N, (1988). "To the solution of the problem of the action of a live load on a two-layer half space with initial stress", *Int. Appl. Mech.*, 24 (8): 775-780.
- [9] Babich, S. Y., Glukhov, Y. P. ve Guz, A. N, (2008a). "Dynamics of a pre-stressed incompressible layered half-space under load", *Int. Appl. Mech.*, 44 (3): 268-285.
- [10] Babich, S. Y., Glukhov, Y. P. ve Guz, A. N, (2008b). "A dynamic for a pre-stressed compressible layered half-space under moving load", *Int. Appl. Mech.*, 44 (4): 388-405.
- [11] Akbarov, S. D., Guler, C. ve Dincsoy, E., (2007). "The critical speed of a moving load on a pre-stressed plate resting on a pre-stressed half-plane", *Mech. Comp. Mater.*, 43 (2): 388-405.
- [12] Akbarov, S., D. ve İlhan, N., (2008). "Dynamics of a system comprising a pre-stressed orthotropic layer and pre-stressed orthotropic half-plane under the action of a moving load", *Int. J. Solid Structure*, 45 (14-15): 4222-4235.

- [13] Dincsoy, E., Guler, V. ve Akbarov, S. D., (2009). "Dynamical response of a prestrained system comprising of a substrate and bond and covering layers to a moving load", *Mech. Comp. Mater.*,45 (5): 527-536.
- [14] Akbarov, S. D. ve İlhan, N., (2009). "Dynamics of a system comprising an orthotropic layer and orthotropic half-plane under the action of an oscillating moving load", *Int. J. Solid Structure*, 46 (21): 3873-3881.
- [15] Akbarov, S. D. ve Salmanova, K. A., (2009). "On the dynamics of a finite pre-streined bi-layered slab resting on a rigid foundation under the action of an oscillating moving load", *J Sound Vibration*, 327 (3-5): 454-472.
- [16] İlhan, N., (2012). "The critical speed of a moving time-harmonic load acting on a system consisting a pre-stressed orthotropic covering layer and a pre-stressed orthotropic half-plane", *Appl. Math. Model.*, 36 (8): 3663-3672.
- [17] İlhan N., (2008). Öngerilmeli Anizotrop Levha ve Öngerilmeli Anizotrop Yarı Düzlemden Oluşan Sistemin Titreşimli Hareketli Yük Etkisindeki Dinamik Davranışı, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Auersch, L., (2006). "Ground vibration due to railway traffic-calculation of the effects of moving static loads and their experimental verification", *J. Sound Vibr.*, 293: 599-610.
- [19] Tanaka, Y. ve Maeda, T., (1984). "Dynamic Interaction of a rigid foundation embedded in two-layered viscoelastic medium", *Medium Proc. 8th WCEE*, 865-872.
- [20] Jones, D. V., Laghrouche, O., Le Houédec D. ve Petyt, M., (1997). "Ground vibration in the vicinity of a rectangular load acting on a viscoelastic layer over a rigid foundation", *J. Sound Vibr.*, 203(2): 307-319.
- [21] Sheng, X, Jones, C. J. C. ve Petyt, M., (1999a). "Ground vibration generated by a load moving on a railway track", *J Sound Vibr*, 228, 129-156.
- [22] Sheng, X., Jones, C. J. C. ve Petyt, M., (1999b). "Ground vibration generated by a harmonic load acting on a railway track", *Journal of Sound and Vibration*, 225 (1): 3-28.
- [23] Madshus, C. ve Kaynia, A. M., (2000). "High speed railway lines on soft ground: dynamic behaviour at critical train speed", *Journal of Sound and Vibration*, 231 (3): 689-701.
- [24] Grande, D. ve Schillemans, L., (2001). "Free Field Vibrations during the passage of a thalys high-speed train at variable speed", *Journal of Sound and Vibration*, 247(1): 131-144.
- [25] Hung, H. H. ve Yang, Y., B., (2001). "Elastic waves in visco-elastic half-space generated by vehicles loads", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21: 1-17.
- [26] Roylance, D., (2001). "Engineering Viscolasticity", *Massachusetts Institute of Technology Lecture Notes*, Cambridge, 1-37.

- [27] Takemiya, H., (2003). "Simulation of track-ground vibrations due to a high-speed train: the case of X-2000 at Ledsgard", *Journal of Sound and Vibration* 261: 503–526.
- [28] Martinez-Castro, A., E. ve Gallego, R., (2006). "Three dimensional Green's function for time-harmonic dynamics in a viscoelastic layer", 44: 4541-4558.
- [29] Auersch, L., (2008). "The effect of the critically moving loads on the vibrations of soft soils and isolated railway tracks", *J. Sound Vibr.*, 310: 587-607.
- [30] Huang, Q., (2008). *Stochastic Stability of Viscoelastic Systems*, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- [31] Ciarletta, M., Zampoli, V., Vaccaro, M. ve Sumbatyan, M. A., (2009). "In-plane oscillations of elastic rectangle on a layered viscoelastic half-space", *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 33: 822–829.
- [32] Guedri, M., Lima, A. M. G., Bouhaddi, N. ve Rade, D. A., (2010). "Robust design of viscoelastic structures based on stochastic finite element models", *Mech. Syst. Signal Process*, 24(1): 59-77.
- [33] Kozhevnikov, I., F., Duhamel, D., Yin, H., P. ve Feng, Z., Q., (2010). "A new algorithm for solving the multi-indentation problem of rigid bodies of arbitrary shapes on a viscoelastic half-space", *International Journal of Mechanical Sciences*, 52: 399-409.
- [34] Lin, F., (2010). *Vibro-acoustical analysis and design of a multiple-layer constrained viscoelastic damping structure*, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Mechanical Engineering, Michigan Technological University.
- [35] Dong, Z. ve Lu, P., (2011). "A model to study the dynamic response of viscoelastic layered system under moving load", *Engineering Mechanics*, 28 (12): 153-159.
- [36] Pavlou, D., G., (2011). "Elastodynamic analysis of a thin layer bonded on a viscoelastic medium under combined in-plane and lateral pulse loads", *Mechanics Research Communications*, 38: 546-552.
- [37] Qian, T., Shui, X. P., Zhang, Y. F., Guo, G. ve Ma, M., (2012). "Viscous-Elastic Half-Space Vibration Stimulated by High-Speed Moving Loads of Different Speeds". *Advanced Materials Research*, 518-523: 3874-3877.
- [38] Peng, Y. ve Zhou D., (2012). "Stress distributions due to a concentrated force on viscoelastic half-space", *Journal of Computation & Modelling*, 2 (4): 51-74.
- [39] Mesquita, E., Antes, H., Thomazo, L., H. ve Adolph, M., (2012). "Transient wave propagation phenomena at visco-elastic half-spaces under distributed surface loadings", *Latin American Journal of Solids and Structures*, 9: 453-473.
- [40] Akbarov, S. D., (2014). "Axisymmetric time-harmonic Lamb's problem for a system comprising a viscoelastic layer covering a viscoelastic half-space", *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 18 (1): 153-178.

- [41] Xu Q. ve Prozzi J. A., (2015). "A time-domain finite element method for dynamic viscoelastic solution of layered-half-space responses under loading pulses", *Computers & Structures*, 160: 20-39.
- [42] Yin, H. P., Cesbron, J. ve Bui, Q. H., (2015). "A new formulation for solving 3-D time dependent rolling contact problems of a rigid body on a viscoelastic half-space", *Mechanics Research Communications*, 64: 8-14.
- [43] Aglyamov, S. R., Wang, S., Karpiouk, A. B., Li, J., Twa, M., Emelianov ve S. Y., Larin, K., (2015). "The dynamic deformation of a layered viscoelastic medium under surface excitation" *Physics in Medicine and Biology*, 60: 11.
- [44] Sbartai, B., (2015). "Dynamic interaction of two adjacent foundations embedded in a viscoelastic soil", *Journal of Structural Stability and Dynamics*, 16 (3): 110-145.
- [45] Cherizol, R., Sain, M. ve Tjong, J., (2015). "Review of non-Newtonian mathematical models for rheological characteristics of viscoelastic composites", *Green and Sustainable Chemistry*, 5: 6-14.
- [46] Treysede, F., (2015). "Three dimensional modeling of elastic guided waves excited by arbitrary sources in viscoelastic multilayered plates", 52: 33-53.
- [47] Sun, L., Chen, W. ve Cheng, A., H., D., (2015). "Method of fundamental solutions without fictitious boundary for plane time harmonic linear elastic and viscoelastic wave problems", *Computers and Structures*, 162: 80-90.
- [48] Fattahi, J. ve Spinello, D., (2015). "Sensing linear viscoelastic constitutive parameters with a Timoshenko beam on a multi-layer foundation: Modeling and simulation", *Sensing and Bio-Sensing Research*, 4: 78-89.
- [49] Akbarov, S. D., İlhan, N. ve Şahin, N. S., (2014). "Dynamic response to a time-harmonic moving load of a system comprising of viscoelastic layer covering a viscoelastic half space", XVIII. International Conference on Mechanics on Composite Materials, MCM 2014, Riga, Latvia, 21.
- [50] Akbarov, S. D., (2015). *Dynamics of Pre-strained Bi-material Elastic Systems*, Springer.
- [51] Akbarov, S.D. ve Ismailov, M., I., (2015). "Dynamics of the moving load acting on the hydro-elastic system consisting of the elastic plate, compressible viscous fluid and rigid wall", *Computers, Materials & Continua*, 36 (1): 23 - 48.
- [52] Akbarov, S. D., İlhan, N. ve Şahin, N. S., (2015). "Rijit Ortam Üzerindeki Visko-Elastik Örtü Tabakası ve Visko-Elastik Levhadan Oluşan Sistemin Dinamik Davranışına Levha Yüksekliğinin Etkisi", XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Trabzon.
- [53] Rabotnov, Yu. N., (1980). *Elements of hereditary solid mechanics*, Mir, Moscow.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nezihe Sevgi ŞAHİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 16.09.1980 / Kahramanmaraş
Yabancı Dili : İngilizce - Almanca
E-posta : nsyalcin@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	İnşaat Müh./Mekanik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Y. Lisans	İnşaat Müh./Ulaştırma	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Gaziantep Üniversitesi	2003
Lise	Sayısal	K.Maraş Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
Temmuz 2009 - Devam ediyor	Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü	İnşaat Yüksek Mühendisi
Ekim 2005 - Temmuz 2009	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnş. Müh. Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Akbarov S. D., İlhan N., Sahin N. S., "Dynamic response to a time-harmonic moving load of a system comprising of viscoelastic layer covering a viscoelastic half-space", "Mechanics of Composite Materials" dergisi editörlüğünce inceleme aşamasındadır.
2. Akbarov S. D., İlhan N., Sahin N. S., "Dynamics of viscoelastic layers and half plane under time-harmonic moving load", "Structural Engineering and Mechanics", dergisi editörlüğünce inceleme aşamasındadır.

Bildiri

1. Yalçın N. S., Erel A. (2006). "Demiryolunda Karşılaşılan Dinamik Problemler", 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Teknik Üniversitesi, (CD) 11-13 Ekim 2006, İstanbul.
2. Yalçın N. S., Guclu R., Metin M., Yazıcı H., (2007). "Analyses of Railway Induced Vibrations for Different Track Types", The 36th International Congress & Exhibition on Noise Control Engineering, Inter-noise 2007, 126 (CD), 28-31 August 2007, Istanbul, Turkey.
3. Metin M., Guclu R., Yazıcı H., Yalçın N. S., (2007). "Fuzzy Logic Control of High Speed Rail Vehicle Vibrations on Corrugated Rail", The 36th International Congress & Exhibition on Noise Control Engineering, Inter-noise 2007, 37 (CD), 28-31 August 2007, Istanbul, Turkey.
4. Metin M., Güçlü R., Yazıcı H., Yalçın N. S., (2007). "Raylı Taşıt Titreşimlerinin Bulanık PID Kontrolör ile Kontrolü", TOK'07 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Sabancı Üniversitesi, 312 - 317, 4-7 Eylül 2007, İstanbul.
5. Yalçın N. S., Erel A., Yazıcıoğlu F. B., (2007). "Uzun Kaynaklı Demiryollarında Karşılaşılan Yanal Stabilite Sorunları", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 7. Ulaştırma Kongresi, 312 - 322, 19-21 Eylül 2007, İstanbul.
6. Yalçın N. S., Erel A., (2007). "Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi ve Tasarım İlkeleri", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 7. Ulaştırma Kongresi, 323 - 344, 19-21 Eylül 2007, İstanbul.
7. Metin M., Guclu R., Yazıcı H., Yalçın N. S., (2008). "A Comparison of Control Algorithms for a Half Rail Vehicle Model under Track Irregularity Effect", The Mechanics Conference to Celebrate the 100th Anniversary of the Department of Engineering Science and Mechanics, Virginia Polytechnic Institute and State University, 29-30 May 2008, Blacksburg, VA, USA.

8. Yalcin N. S., Kofteci S., (2008). "Railway Transportation: Contributions to Survival and Sustainability", 2nd International Railway Symposium & Trade Exhibition, 279 - 285, 15-17 October 2008, Istanbul, Turkey.
9. Yalcin N. S., (2008). "Analyses of Noise and Vibrations Generated on Railway Track Systems", International Journal of Arts&Sciences (IJAS) Conference, (CD), 1-4 December 2008, Gottenheim, Germany.
10. Yazıcı H., Güçlü R., Metin M., Yalçın N. S., (2009). "Raylı Taşıt Titreşimlerinin Yapılar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", 14. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu (UMTS 2009), 241-247, 2-4 Temmuz 2009, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti.
11. Akbarov S. D., İlhan N., Sahin N. S., (2014). "Dynamic response to a time-harmonic moving load of a system comprising of viscoelastic layer covering a viscoelastic half-space", XVIII International Conference on Mechanics of Composite Materials (MCM2014), pp. 21, 2-6 June 2014, Riga, Latvia.
12. Akbarov S. D., İlhan N., Sahin N. S., (2015). "Rijit Ortam Üzerindeki Visko-Elastik Örtü Tabakası ve Visko-Elastik Levhadan Oluşan Sistemin Dinamik Davranışına Levha Yüksekliğinin Etkisi", XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 24-28 Ağustos 2015, Trabzon.

Proje

1. "Raylı Sistem Titreşimlerinin Yolcu ve Çevre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", TÜBİTAK 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi, R. Güçlü, M. Metin, H. Yazıcı, N. S. Yalçın, MAG Proje No: 106M443, 2007-2010.

ÖDÜLLERİ

1. TÜBİTAK ARDEB Başarı Hikayesi Ödülü (2011)

"Raylı Sistem Titreşimlerinin Yolcu ve Çevre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" konulu TÜBİTAK *Mühendislik Araştırma Grubu* Projesi ile Yıldız Teknik Üniversitesi AR-GE çalışmalarına ve bilim dünyasına yapmış olduğumuz katkılardan ötürü verilmiştir.

2. Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'nce verilen Teşekkür Belgesi (2011)

"Raylı Sistem Titreşimlerinin Yolcu ve Çevre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" konulu TÜBİTAK *Mühendislik Araştırma Grubu* Projesi ile Yıldız Teknik Üniversitesi AR-GE çalışmalarına ve bilim dünyasına yapmış olduğumuz katkılardan ötürü verilmiştir.