

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VİSKOELASTİK MESNETLİ İLAVE KÜTLE TAŞIYAN ORTOTROPİK PLAKLARIN
PERİYODİK TİTREŞİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi

Abdulkerim ERGÜT

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı

MANİSA 2008

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VİSKOELASTİK MESNETLİ İLAVE KÜTLE TAŞIYAN ORTOTROPİK PLAKLARIN
PERİYODİK TİTREŞİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi

Abdulkerim ERGÜT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ağustos 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Eylül 2008

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Gökhan ALTINTAŞ

Diğer Jüri Üyeleri :Yrd.Doç. Dr. Muhiddin BAĞCI

Doç.Dr. Erdoğan ÖZKAYA

MANİSA 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Sembol Listesi	ii
Şekil Listesi	iv
Önsöz	ix
Özet	x
Abstract	xi
1. Giriş	1
2. Model ve Sayısal Metot	3
3. Sayısal Analiz	11
4. Sonuçlar	49
Kaynaklar	50
Özgeçmiş	52

SEMBOL LİSTESİ

A'	Mesnetli plak alanı
A''	Yapısal olmayan ilave kütle alanı
A'''	Dış kuvvet yayılım alanı
a	Kare plağın kenar uzunluğu
c	Sönüm katsayısı (her bir viskoelastik mesnet için) (boyutlu)
c'	Boyutsuz sönüm katsayısı
D	Sönüm fonksiyonu
D_{xx}	Plak rijitliği
D_{yy}	Plak rijitliği
D_{66}	Plak rijitliği
E	Elastisite modülü
E_x	OX doğrultusundaki Young modülü
E_y	OY doğrultusundaki Young modülü
e	Elastisite modülleri oranı
F_e	Dış kuvvetin yaptığı iş
F_i	Plağa etkiyen dış kuvvet
F_s	Her bir viskoelastik mesnet için ilave yük altındaki enerji fonksiyonu
G_{xy}	Kayma modülü
h	Plak et kalınlığı
i	$\sqrt{-1}$
$[K]$	Katsayı matrisi
κ	Boyutsuz elastik yay sabiti
k	Boyutlu yay katsayısı

k'	Boyutsuz yay katsayısı
$[M]$	Sistemin kutle katsayı matrisi
M_c	Toplam yayılı kütle
M_p	Toplam plak kütlesi
N	Kare plaktaki tek doğrultudaki sonlu fark ağı aralık sayısı
P_I	Mesnetlerin tepki kuvvetlerinin toplam büyüklüğü
q	Boyutsuz dış yük katsayısı
T	Kinetik enerji
T_R	Kuvvet iletim oranı (mesnet tepkilerinin sisteme yapılan yüklemeye oranı)
U	Şekil değiştirme enerjisi
W_{si}	Mesnetin bulunduğu noktanın düşey yer değiştirmesi
W	Plakta dış kuvvetten dolayı oluşan toplam düşey yer değiştirme
w	Düşey yer değiştirme (düşey deplasman) (çökme)
$w_{m,n}, \dot{w}_{m,n}$	m, n düğüm noktasındaki düşey yer değiştirme
ν	Poisson oranı
$[\Gamma]$	Sönüm katsayı matrisi
ρ	Birim hacimdeki kütle yoğunluğu
λ	Frekans parametresi (boyutsuz)
γ_s	Sönüm katsayısı (boyutsuz)
ω	Radyan frekansı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

No

Şekil.2.1 Plak Sisteminin Geometrisi	3
Şekil.2.2 Plak üzerinde tipik bir sonlu farklar ağı	8
Şekil 3.1 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=1.0$)	11
Şekil 3.2 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.85$)	12
Şekil 3.3 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.7$)	12
Şekil 3.4 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.6$)	13
Şekil 3.5 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=1.0$)	14
Şekil 3.6 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.85$)	15
Şekil 3.7 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.7$)	15
Şekil 3.8 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.6$)	16
Şekil 3.9 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri ($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.2$)	17

Şekil 3.10 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.25$)	18
Şekil 3.11 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.3$)	18
Şekil 3.12 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.35$)	19
Şekil 3.13 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.4$)	20
Şekil 3.14 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.45$)	20
Şekil 3.15 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=0.6$)	21
Şekil 3.16 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=0.7$)	22
Şekil 3.17 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=0.85$)	22
Şekil 3.18 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=1.0$)	23
Şekil 3.19 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $\kappa = 100$, $E_2/E_1=0.6$)	24

Şekil 3.20 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $\kappa = 100$, $E_2/E_1=0.7$)	25
Şekil 3.21 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $\kappa = 100$, $E_2/E_1=0.85$)	25
Şekil 3.22 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $\kappa = 100$, $E_2/E_1=1.0$)	26
Şekil 3.23 E_2/E_1 oranının değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.25$, $\kappa = 1000$, $\mu = 0$)	27
Şekil 3.24 Kütle miktarı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri	
($\nu = 0.25$, $\kappa = 1000$, $E_2/E_1=0.65$)	28
Şekil 3.25 Poisson oranı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri	
($\mu = 0$, $\kappa = 1000$, $E_2/E_1=0.65$)	29
Şekil 3.26 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.65$)	30
Şekil 3.27 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.7$)	31
Şekil 3.28 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.85$)	31
Şekil 3.29 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=1.0$)	32
Şekil 3.30 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1=1.0$)	33

Şekil 3.31 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1=0.85$)	34
Şekil 3.32 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1=0.7$)	34
Şekil 3.33 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1=0.65$)	35
Şekil 3.34 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.65$)	36
Şekil 3.35 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.7$)	37
Şekil 3.36 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=0.85$)	37
Şekil 3.37 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=1.0$)	38
Şekil 3.38 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.2$)	39
Şekil 3.39 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.25$)	40
Şekil 3.40 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$)	40
Şekil 3.41 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.35$)	41

Şekil 3.42 E_2/E_1 oranının değışiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.4$)	41
Şekil 3.43 E_2/E_1 oranının değışiminin yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.45$)	42
Şekil 3.44 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.65$)	43
Şekil 3.45 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.7$)	44
Şekil 3.46 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.85$)	44
Şekil 3.47 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=1.0$)	45
Şekil 3.48 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.65$)	46
Şekil 3.49 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.7$)	47
Şekil 3.50 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.85$)	47
Şekil 3.51 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri	
($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=1.0$)	48

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinde sunulan çalışma 2008 yılında Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı'nda hazırlanmıştır.

Tezimin hazırlanması sırasında çalışmalarımı yönlendiren Hocam Sayın Dr. Gökhan Altıntaş'a saygılarımı sunarım.

Yaşamımın her anında, eğitim hayatım boyunca ve tezimin hazırlanması sürecinde; bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve hayat arkadaşım Nazlıma minnettarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tezimin hazırlanmasında; manevi desteklerini ve yardımlarını esirgemeyip tezimin ortaya çıkmasında katkısı bulunan fakat isimlerini yazamadığım herkese teşekkür ederim.

Abdulkerim ERGÜT

Manisa, 2008

ÖZET

Viskoelastik mesnetli ilave kütle taşıyan ortotropik plakların periyodik titreşim analizi incelenmiştir.

Temel modun mühendislik tasarımlarındaki öneminden dolayı; kütle yayılım alanına, kuvvet yayılım alanına, malzemenin mekanik özelliklerine ve mesnetlerin kuvvet iletimi yay katsayısına göre temel modun doğal frekans değişimi araştırılmıştır. Kütle miktarı, poisson oranı ve E_2/E_1 oranı değişiminin ilk on moda olan etkileri araştırılmıştır.

Doğal frekansın değişimine kütle yayılım alanı oranının etkisini araştırmak amacıyla sayısal uygulamalar çözülmüştür. Bu tez kapsamında varyasyonel prosedürün sonlu farklar tekniği ile birarada kullanılmasına dayanan Enerji tabanlı sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Enerji tabanlı sonlu farklar metodu kullanılarak problemin çözümü cebrik denklem takımının çözümüne indirgenmiş olur.

Sayısal uygulamaların sonucunda aradan sıyrılan en önemli sonuç kütle yayılım alanı oranının sisteme ait dinamik özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermektedir. Kütle yayılım alanının titreşim karakteristiklerinde yüksek hassasiyete sahip olmasından dolayı idealleştirme sürecinde dikkatli olarak çalışılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Sönümleme, kütle yayılım alanı, viskoelastik, yayılım alanı etkileri

ABSTRACT

Periodic vibration analysis of viscoelastically supported orthotropic plates with bearing additional mass is examined in the thesis. The fundamental frequency of the plate is an important parameter for the engineering designs. So, its variation is examined according to the mass distribution area ratio (the percentage of the mass area over the plate area), force distribution area ratio, mechanical properties of the material and translational spring coefficient of supports. Effect of amount of mass, poisson ratio and E_2/E_1 ratio on natural frequencies of first ten modes is researched. For different damping coefficients and mass distribution area ratios, viscoelastically supported plates is calculated numerically. In the analyze, a method based on the variational procedure in conjunction with a finite difference method is used. Using energy based finite difference technique, the problem reduced to the solution of a system of algebraic equations. One of the most important result that the effect of mass distribution area ratio is important for the dynamic properties of the system. Since , the results of the investigated systems showed that the vibration characteristics had high sensitivity to mass distribution area, the idealization process must be attentively employed.

Keywords : Damping, mass distribution area, viscoelastically, effect of area distributions

1) GİRİŞ

Viskoelastik mesnetli plaklar inşaat mühendisliği yanı sıra makina mühendisliği, uçak mühendisliği gibi mühendisliğin diğer disiplinlerinde araştırma ve uluslararası yayınlara konu olmaktadır.

Viskoelastik mesnetli plaklar trafik yüküne maruz köprüler, nakliye sistemleri, sarsma tabakaları gibi titreşim ve sönüm özelliklerine sahip modern teknolojinin yeniliklerinde kullanılmaktadır.

Tez çalışmasına konu olarak seçilen viskoelastik mesnetli plaklar günümüz teknolojisinde sık kullanılmaktadır. Taşıt trafiği için imal edilmiş köprüler dinamik yüklemelere maruz kalmaktadır. Araçların seyir halinde iken yol kaplaması üzerindeki düzensizlikler (pürüzlülük ve kusurlar), araçların frenleme yapması gibi etkenlerden dolayı köprü plağında (tabliye) titreşimler meydana gelmektedir. Trafik yükü periyodik zorlanmış titreşim oluşturmaktadır. Plak şeklindeki köprü tabliyeleri viskoelastik mesnetler ile desteklenmektedir. Plak üzerinde oluşan titreşimler viskoelastik mesnetler tarafından sönümlenmektedir.

Viskoelastik mesnetler bir taraftan yapının bütünlüğüne zarar verebilecek dinamik yüklerden kaynaklanan enerjiyi sönümlerken diğer taraftan düşey yer değiştirmeye karşılık vermektedir. Yükleme sonrası viskoelastik mesnetler ilk konumlarına geri dönerler. Viskoelastik mesnetlerin yay katsayısına bağlı olarak optimum bir viskozite değeri mevcuttur.

Literatürde kütleli plakların serbest titreşim analizine hitap eden çalışmalara rastlanmaktadır. Nokta kütleli basit mesnetli dikdörtgen plak Gershgorin (1933) tarafından analitik olarak tetkik edildi ve benzer bir problemin analitik çözümü Amba Rao (1964) ve Magrag (1968) tarafından yapılmıştır. Cha (1997) nokta kütleli dikdörtgensel plakların doğal frekansları üzerine çalıştı. Nokta kütleli ve iç elastik mesnetli ince plakların enine titreşimi Laura ve Gutierrez (1981) tarafından araştırıldı. Yayların ve kütlelerin keyfi olarak yerleştirildiği elastik mesnetli plaklar Li ve Daniels (2002) tarafından araştırılmıştır.

Literatürde nokta kütle ilaveli plakların titreşimleri ile ilgili bir çok çalışma var iken bir kaç çalışmada alt başlık olarak yayılı kütle yüklü plakların titreşim analizi bulunabilmektedir.

Plak titreşim davranışına kütle yayılım etkisi Kopmaz ve Telli (2002) tarafından çalışıldı. Kopmaz ve Telli (2002) farklı kütle yayılımları, en boy oranları ve kütlelerin yeri için kütleli plağın doğal frekansını hesapladı ve farklı iki kütle miktarı için kütle yayılımının temel mod frekansı üzerindeki etkilerini görülebilir grafikte verdi. Yayılı kütlelerin yerinin ve şeklinin plak üzerindeki etkileri serbest titreşimin çatısı olarak Wong (2002) tarafından araştırılmıştır.

Altıntaş ve Göktepe (2007) kütlenin durumu için serbest titreşim analizi ve kütlenin ve kuvvetin yeri için zorlanmış titreşim analizi çalıştı. Serbest titreşim analizleri Wong'un çalışmasını desteklemektedir.

Doğal frekans aralığında, yayılı kütleli antisimetrik plakların serbest titreşim analizi Alibeigloo tarafından araştırılmıştır.

Altıntaş ve Bağcı (2005) temel mod aralığında yayılı kütle alanı varyasyonlarının serbest ve zorlanmış titreşim karakteristiklerine etkisini analiz etmiştir. Serbest titreşim analizi sonuçları göstermiştir ki yapısal olmayan kütle arttıkça temel frekans değeri de artmaktadır. Kütlenin sabit değeri için, yayılı alan arttığı zaman, iletim eğrisinin pik değerinde frekans değeri artmaktadır.

Avalos (1989) basit mesnetli kısmen yataklanmış elastik temellerin serbest titreşim analizini araştırdı. Temel frekans aralığında, değişken mesnet alanının doğal frekansa etkileri Altıntaş ve Bağcı (2004) tarafından viskoelastik mesnetli anizotropik plaklar için hesaplandı. Onların çalışmasında mesnetlenme alanı oranının plağın doğal frekansına etkilerinin farklı anizotropi oranlarında yüksek yay katsayısı rijitliği için önemli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca veri değişim eğrisi mesnetlenme alanı ve sönüm katsayısı değerinin etkilerini çalıştılar. Mesnetli alan arttıkça sönümleme etkisi artmıştır.

Tez çalışmaları kapsamında; kütle yayılım alanı (yayılı kütlenin plak düzleminde kapladığı alanın toplam plak düzlemi alanına oranı), viskoelastik mesnet yay katsayısı, E_2/E_1 oranı, poisson oranı, sönüm katsayısı (boyutsuz) değişimlerinin kuvvet iletim oranı (katsayısı) ile frekans parametresine (boyutsuz) olan etkileri analiz edilmiştir.

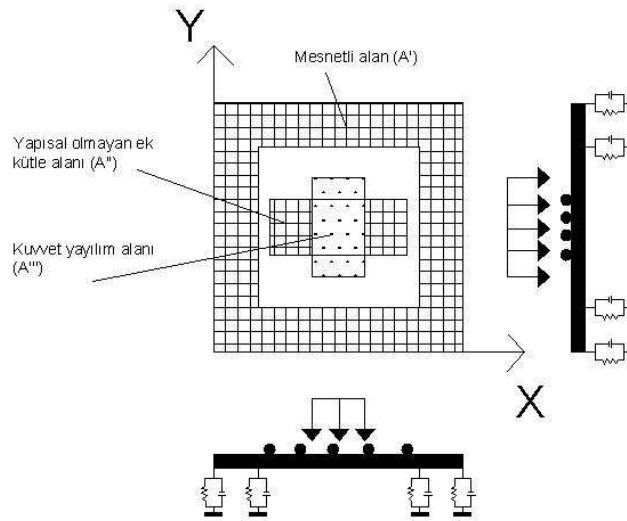
2) MODEL ve SAYISAL METOT

Plak titreşim problemleri için günümüzde pek çok metot geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında varyasyonel prosedürün sonlu farklar tekniği ile birarada kullanılmasına dayanan Enerji tabanlı sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Enerji tabanlı sonlu farklar metodu kullanılarak problemin çözümü cebrik denklem takımının çözümüne indirgenmiş olur. Enerji tabanlı sonlu farklar metodu varyasyonel prosedürün sonlu farklar metoduyla birleşimidir ve klasik sonlu farklar metoduna göre daha karardır. Klasik sonlu farklar metodu geniş olarak titreşim modellerinin analiz hesaplarında kullanılmıştır. Fakat sonlu farklar metodunun kullanışı düşük hassasiyet, zayıf yakınsama ve sayısal hesap dengesizliği nedeniyle birçok titreşim problemlerinin çözümünde yetersizdir (Gladun (2000), Babich ve Khoroshun (2001), Godzula ve Shnerenko (2002)).

Bu tezde uygulanan varyasyonel prosedür ile enerji yaklaşımı birleşiminin birlikte kullanımı, gerilme sınır şartları küçültme işlemi boyunca otomatik olarak sağlanmıştır ve bu analizlerde yalnızca geometrik sınır şartları hesaba katılmıştır.

Son zamanlarda enerji tabanlı sonlu farklar metodu, sonlu farklar metodu kullanıldığı zaman kararlı olmayan karmaşık dinamik problemlerin analizi için bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Gladun (2000), Babich ve Khoroshun (2001), Godzula ve Shnerenko (2002)). Bu durum sonlu farklar metodunun sınır koşulları formülasyonu kullanımı için etkisizdir.

Bu metod girişik ızgara tekniğinin uygulanması ile Aksu ve Felemban (1992) ve Aksu ve Al-Kaabi (1987) tarafından plak titreşim problemlerinde kullanılmıştır. Benzer bir şekilde kullanılan teknik ise Kocatürk ve Altıntaş (2003), Altıntaş ve Bağcı, Altıntaş ve Göktepe (2007) tarafından viskoelastik mesnetli plakların serbest ve zorlanmış titreşim analizleri için incelenmiştir.



Şekil.2.1 Plak Sisteminin Geometrisi

Bu tezde uygulanan enerji tabanlı sonlu farklar metodunun sayısal hesabı kısaca anlatılmıştır. Harmonik plak titreşiminin radyan frekansı, ω , potansiyel enerji ve kinetik enerji boyutsuz parametrelerdir.

$$x = X / a, y = Y / a, w = W.e^{i\omega t} / a, \lambda^2 = \rho h w^2 a^4 / D_{xx} \quad (2.1)$$

Bu bağıntılarda;

a : Kare plağın kenar uzunluğu

D_{xx} : Plağın eğilme rijitliğidir ve

$$D_{xx} = (E_x h^3) / 12 \text{ olarak tanımlanır} \quad (2.2)$$

E_x :Young modülü

ν_{xy} : Poisson oranı

h : Plak kalınlığıdır.

Plağın şekil değiştirme enerjisi şöyle yazılabilir ;

$$U_{plak} = \frac{1}{2} \int_{A_p} [w_{,xx}^2 + 2\nu w_{,xx} w_{,yy} + e w_{,yy}^2 + \frac{w_{,xy}^2}{2 + 2\nu}] dA \quad (2.3)$$

ve plağın maksimum kinetik enerjisi ise

$$T_{plak} = \frac{1}{2} \lambda^2 \int_{A_p} w^2 dA \quad (2.4)$$

$$e = \frac{E_Y}{E_X}, \nu_{YX} = \nu_{XY} \frac{E_Y}{E_X} \quad (2.5)$$

Bu bağıntılarda;

E_X :OX yönündeki young modülü

E_Y :OY yönündeki young modülü

ν_{YX} : Poisson oranı (Y yönünde gerilme uygulandığında X yönündeki yük altında eğilme için)

ν_{XY} : Poisson oranı (X yönünde gerilme uygulandığında Y yönündeki yük altında eğilme için)

olarak tanımlanmaktadır.

Plak tarafından taşınan ilave kütleden elde edilmiş eklenmiş kinetik enerji terimi tüm sisteme enerji olarak eklenebilir.

$$T_{Yapısal olmayan kütle} = \frac{1}{2} \lambda^2 \int_{A''} \mu' w^2 dA \quad (2.6)$$

$$\mu' = \frac{\mu}{A''} = \frac{M_C}{A'' M_P} \quad (2.7)$$

Bu bağıntılarda;

M_C : Toplam yayılı kütle

M_P : Toplam plak kütlesi

A'' : İlave kütle yayılım alanıdır.

İlave kütle eğilme rijitliğine katılmaz ve ilave kütle bulunduğu bölgedeki plağın formunu alır.

Zorlanmış titreşim durumunda dış kuvvetten kaynaklanan potansiyel enerji ;

$$U_{Dış kuvvet} = \frac{1}{2} \int_{A''} F'_{dış} w dA \quad (2.8)$$

$$F'_{dış} = \frac{F_{dış}}{A''}, \quad F_{dış} = qae^{i\omega t} D \quad (2.9)$$

İlave şekil değiştirme enerjisi ve viskoelastik mesnetin dağılmış enerji fonksiyonu;

$$U_S = \frac{1}{2} \int_{A'} \kappa' w^2 dA, \quad U_D = \frac{1}{2} \int_{A'} \gamma' \dot{w}^2 dA \quad (2.10)$$

$$\kappa' = \frac{\kappa}{A'}, \quad \gamma' = \frac{\gamma}{A'} \quad (2.11)$$

Bu bağıntılarda;

κ : Boyutsuz yay katsayısı

γ : Boyutsuz sönüm katsayısı

A' : Yayılı mesnet alanıdır.

Boyutsuz yay ve sönüm katsayısı şöyle tarif edilebilir ;

$$\kappa = \frac{ka^2}{D_{xx}}, \quad \gamma = \frac{c}{\sqrt{\rho h D_{xx}}} \quad (2.12)$$

Bu bağıntılarda;

k : Boyutlu yay katsayısı

c : Boyutlu sönüm katsayısı

Türetilmiş terimler ağ noktalarındaki fiktif düşey deplasmanlar cinsinden yakınsaklık sağlanması için aşağıdaki sonlu farklar denklemleri kullanılır:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_{m,n} &= \frac{1}{\Delta x^2} (w_{m-1,n} - 2w_{m,n} + w_{m+1,n}) \\ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)_{m,n} &= \frac{1}{\Delta y^2} (w_{m,n-1} - 2w_{m,n} + w_{m,n+1}) \\ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)_{m,n} &= \frac{1}{4\Delta x \Delta y} (w_{m-1,n-1} - w_{m+1,n-1} - w_{m-1,n+1} + w_{m+1,n+1}) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Yukarıdaki denklemler dikkate alınarak şekil değiştirme enerjisi şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{aligned} U_{m,n} &= \frac{D_{xx}}{2} \left[\frac{1}{\Delta x^4} (w_{m-1,n} - 2w_{m,n} + w_{m+1,n})^2 + \frac{2\nu_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m-1,n} - 2w_{m,n} + w_{m+1,n})(w_{m,n-1} - 2w_{m,n} + w_{m,n+1}) \right. \\ &\quad \left. + \frac{4D_{66}}{D_{xx} (4\Delta x^2 \Delta y^2)^2} (w_{m-1,n-1} - w_{m+1,n-1} - w_{m-1,n+1} + w_{m+1,n+1}) + \frac{e}{\Delta y^4} (w_{m,n-1} - 2w_{m,n} + w_{m,n+1})^2 \right] \Delta x \Delta y \end{aligned} \quad (2.14)$$

Kinetik enerji;

$$T_{m,n} = \frac{\rho h a^4}{2} \dot{w}_{m,n}^2 \Delta x \Delta y + \frac{a^4 M \dot{w}}{2} \Delta x \Delta y \quad (2.15)$$

İlave kuvvet altındaki eğilme enerji fonksiyonu;

$$F_s = \frac{1}{2} a^2 k' w_{m,n}^2 \quad (2.16)$$

Sönüm fonksiyonu;

$$D = \frac{1}{2} a^2 c' (\dot{w}_{m,n})^2 \quad (2.17)$$

Dış kuvvetten dolayı oluşan potansiyel enerji;

$$F_e = -aQ w_{m,n} \quad (2.18)$$

Plâğın tamamı değerlendirilip enerjisini bulmak için aşağıdaki bağıntılar plâğın tüm alanı için uygulanır;

Plâğın şekil değiştirme (yük altında eğilme) enerjisi $: U = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N U_{m,n} ,$

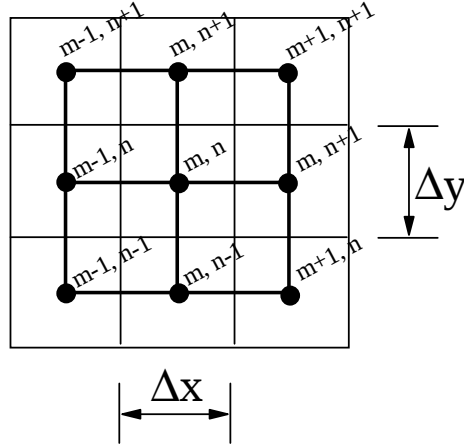
Kinetik enerji $: T = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N T_{m,n} ,$

Viskoelastik mesnete gelen kuvvetin yaptığı iş $: F_s = \sum F_{si} ,$

Sönüm fonksiyonu $: D = \sum D_{ci} ,$

Dış kuvvetin potansiyel enerjisi $: F_e = \sum F_{ei} \quad (2.19)$

Yukarıdaki bağıntılarda N simgesi ile belirtilen parametre; şekil 2.2'de gösterildiği gibi, sayısal çözüm için plak düzleminin her iki yönde ağ biçiminde bölünmüş olduğu sonlu farklar ağı sayısıdır. Plakta sonlu farklar ağı sonucu $N \times N$ sayıda birbirine eşit parçalara bölünür.



Şekil 2.2 Plak üzerinde tipik bir sonlu farklar ağı
(düğüm noktalarının numaralandırılması)

Sonlu farklar operatörlerinin uygulandığı Lagrange denklemi şu bağıntı ile gösterilebilir;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{w}_{m,n}} \right) - \frac{\partial (T - U)}{\partial w_{m,n}} + \frac{\partial D}{\partial \dot{w}_{m,n}} + \frac{\partial F_s}{\partial w_{m,n}} + \frac{\partial F_e}{\partial w_{m,n}} = 0 \quad (2.20)$$

Bu bağıntıda,

$w_{m,n}$: m, n noktalarındaki fiktif düşey yer değiştirme (çökme)

$\dot{w}_{m,n}$: m, n düğüm noktasındaki düşey yer değiştirmenin zaman göre türevi

T : Kinetik enerji

U : Şekil değiştirme enerjisi

F_s : İlave yük altındaki eğilme enerji fonksiyonu;

D : Sönüm fonksiyonu

F_e : Dış kuvvetin potansiyel enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Sonlu farklar operatörlerinin uygulandığı Lagrange denklemi (2.20)'nin herhangi bir m, n pivot noktasına (2.13) denklemleri ile birlikte uygulanması sonucu denklem $\bar{w}(x, y, t) = w(x, y) e^{i \omega t}$ aşağıdaki biçimi alır;

$$\begin{aligned}
& \left[-\frac{4}{\Delta x^4} (w_{m+1,n} - 2w_{m,n} + w_{m-1,n}) - \frac{4v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m,n-1} - 2w_{m,n} + w_{m,n+1}) \right. \\
& \left. - \frac{4v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m-1,n} - 2w_{m,n} + w_{m+1,n}) - \frac{4}{\Delta y^4} \frac{D_{yy}}{D_{xx}} (w_{m,n-1} - 2w_{m,n} + w_{m,n+1}) - 2\lambda^2 w_{m,n} \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{2}{\Delta x^4} (w_{m+2,n} - 2w_{m+1,n} + w_{m,n}) + \frac{2v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m+1,n-1} - 2w_{m+1,n} + w_{m+1,n+1}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{2}{\Delta x^4} (w_{m,n} - 2w_{m-1,n} + w_{m-2,n}) + \frac{2v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m-1,n-1} - 2w_{m-1,n} + w_{m-1,n+1}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{2v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m+1,n-1} - 2w_{m,n-1} + w_{m-1,n-1}) + \frac{2}{\Delta y^4} \frac{D_{yy}}{D_{xx}} (w_{m,n-2} - 2w_{m,n-1} + w_{m,n}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{2v_{yx}}{\Delta x^2 \Delta y^2} (w_{m+1,n+1} - 2w_{m,n+1} + w_{m-1,n+1}) + \frac{2}{\Delta y^4} \frac{D_{yy}}{D_{xx}} (w_{m,n} - 2w_{m,n+1} + w_{m,n+2}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2} \frac{D_{66}}{2D_{xx}} (w_{m-2,n-2} - w_{m-2,n} - w_{m,n-2} + w_{m,n}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[-\frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2} \frac{D_{66}}{2D_{xx}} (w_{m-2,n} - w_{m-2,n+2} - w_{m,n} + w_{m,n+2}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[-\frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2} \frac{D_{66}}{2D_{xx}} (w_{m,n-2} - w_{m,n} - w_{m+2,n-2} + w_{m+2,n}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \left[\frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2} \frac{D_{66}}{2D_{xx}} (w_{m,n} - w_{m,n+2} - w_{m+2,n} + w_{m+2,n+2}) \right] \Delta x \Delta y \\
& + \alpha_s \frac{2(\kappa + i\lambda\gamma)}{\Delta x \Delta y} w_{m,n} = \alpha_Q \frac{q}{\Delta x \Delta y}, \quad i = \sqrt{-1}
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Bu bağıntıda;

m, n pivot noktasında mesnet olması durumunda $\alpha_s = 1$

m, n pivot noktasında mesnet olmaması durumunda $\alpha_s = 0$

Düğüm noktasında yükleme olması durumunda $\alpha_Q = 1$

Düğüm noktasında yükleme olmaması durumunda $\alpha_Q = 0$

olmaktadır.

Plak üzerindeki her bir noktaya enerji tabanlı sonlu farklar metodu uygulanırsa, denklem (2.21), aşağıdaki matris formundaki denklem elde edilir;

$$[K]\{w\} - \lambda^2[M]\{w\} + i\lambda\gamma[\Gamma]\{w\} = \{q\} \quad (2.22)$$

Denklem (2.22)'de $[K]$, $[M]$ ve $[\Gamma]$ katsayı matrisleridir ve dış kuvvet sıfır olduğu zaman denklem serbest titreşim analizleri için kullanılır, bu durumun sonuçları lineer homojen denklemler halindedir. Denklemler düzenlenirse;

$$[K]\{w\} - \lambda^2[M]\{w\} = 0 \quad (2.23)$$

formunu alır.

Reaksiyon kuvvetinin büyüklüğü ;

$$F_R = \int_{A'} (\kappa' + i\gamma') w dA \text{ veya } F_R = \sum_i^{SP} \left(\frac{\kappa_i + i\gamma_i}{SP} \right) w_i \quad (2.24)$$

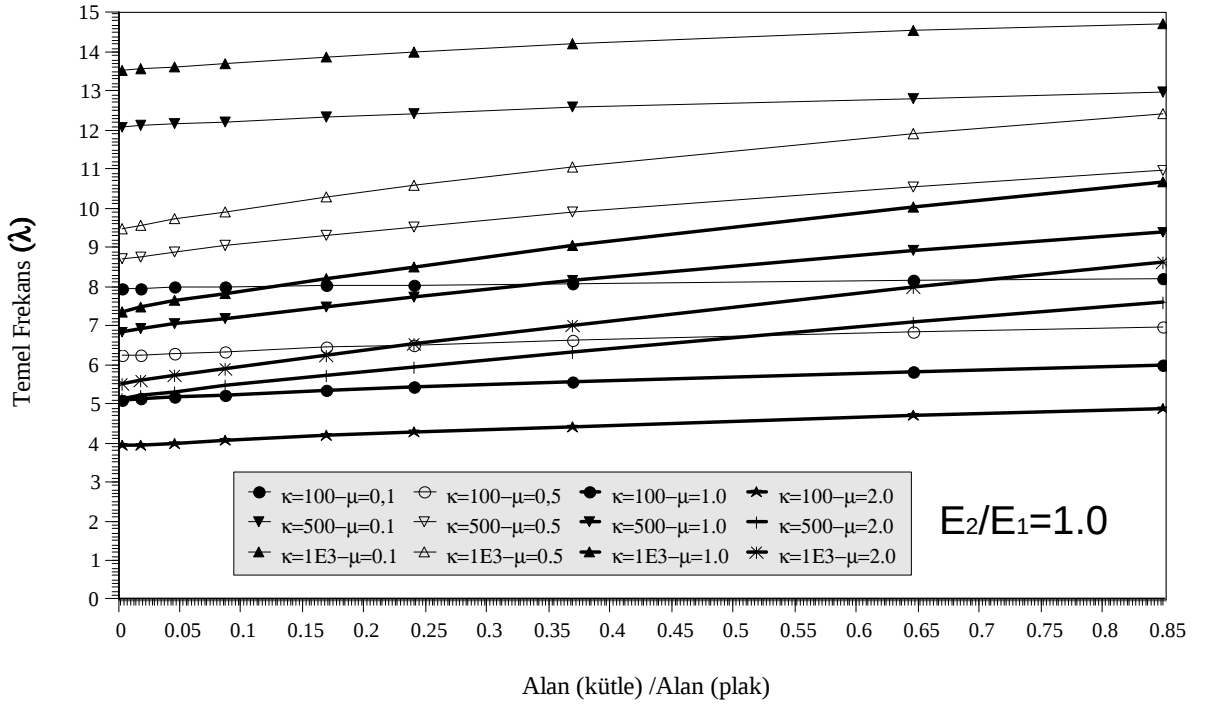
olarak tanımlanır ve bu bağıntıda SP değişken farklar metodunun içindeki nokta mesnet sayısıdır ve buna göre mesnetteki iletim katsayısı şöyle hesaplanır ;

$$T_R = \frac{F_R}{F_{Dış}} \quad (2.25)$$

3) SAYISAL ANALİZ

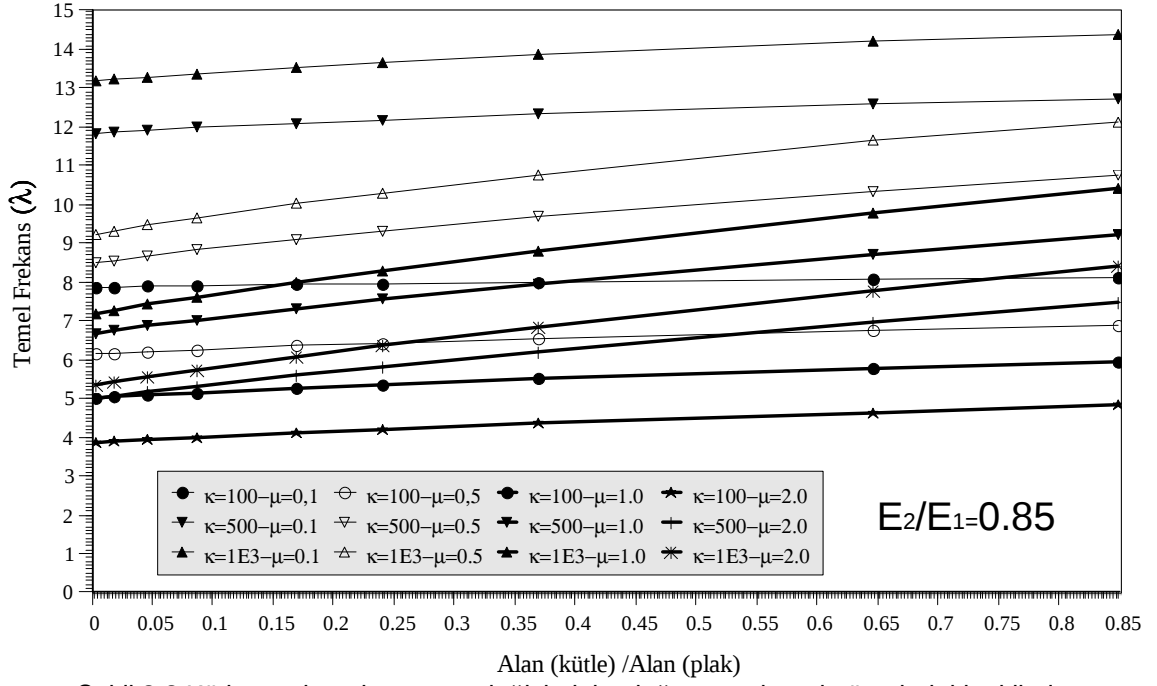
Sayısal uygulama için dört kenarı boyunca viskoelastik mesnetli ortotropik kare plak seçilmiştir.

Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 de kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri gösterilmektedir. E_2/E_1 oranı 1.0, 0.85, 0.7 ve 0.6 için ayrı ayrı olarak 12 plak kütle miktarının 0.1,0.5,1.0,2.0 ve yay katsayısının 100,500,1000 değerleri için analiz edilmiştir. Kütle yayılım alanı oranı artarken temel frekansında arttığı görülmektedir. Yay katsayısının değeri arttıkça temel frekansın yüksek değerler aldığı oysa kütlelerin artan değerleri için temel frekansın düşük değerler aldığı Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 de görülmektedir. Grafiklerde eğrilerin etkilenme karakteristikleri aynı olmakla birlikte etkilenme derecelerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca E_2/E_1 oranının 1.0, 0.85, 0.7 ve 0.6 değerleri için çizilen grafikler incelendiğinde, bu oranın düşmesiyle temel modun frekansında düştüğü görülmektedir.

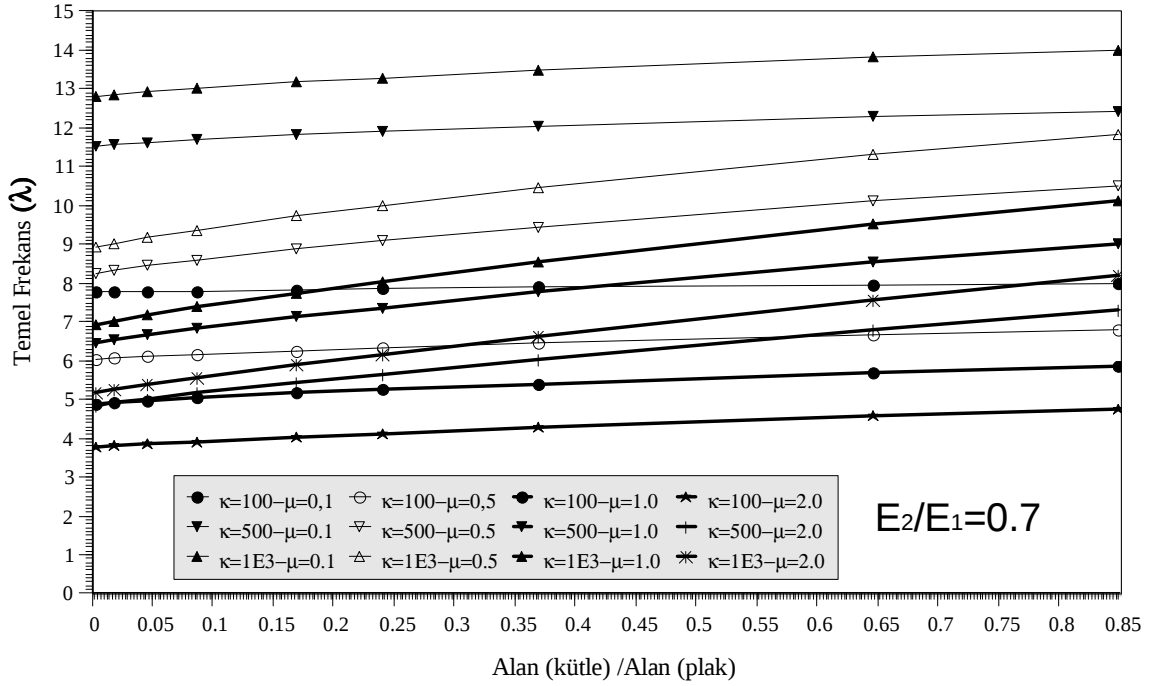


Şekil 3.1 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri

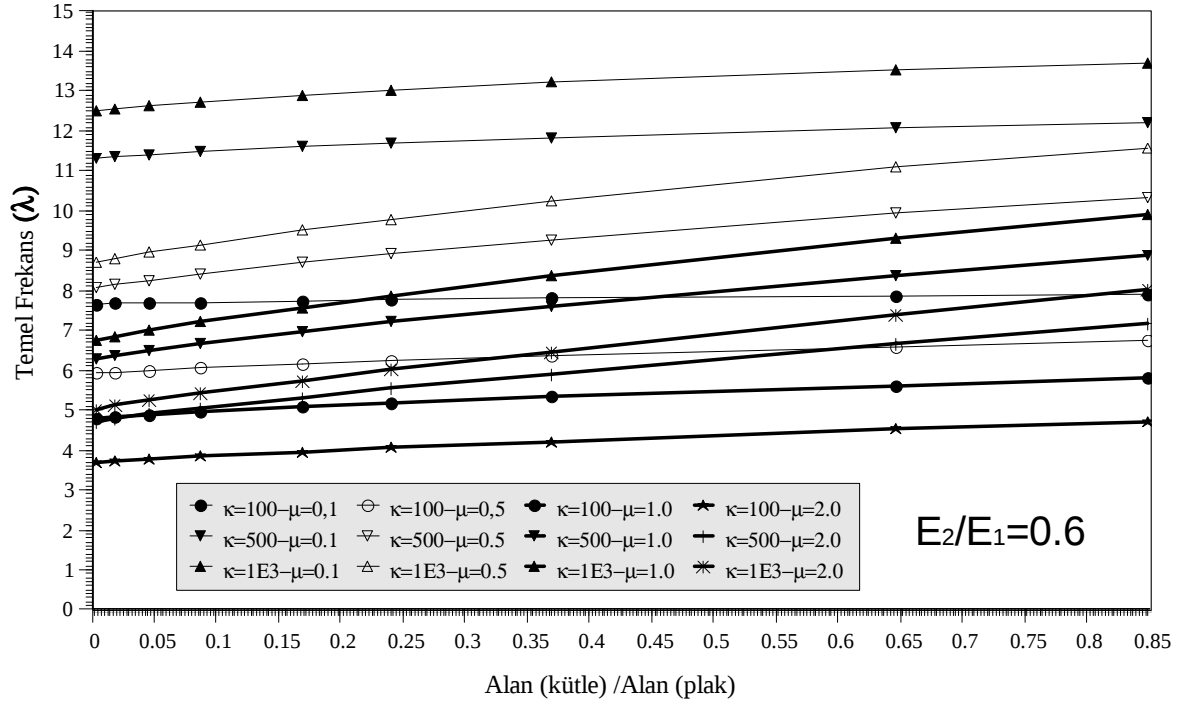
($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=1.0$)



Şekil 3.2 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.85$)



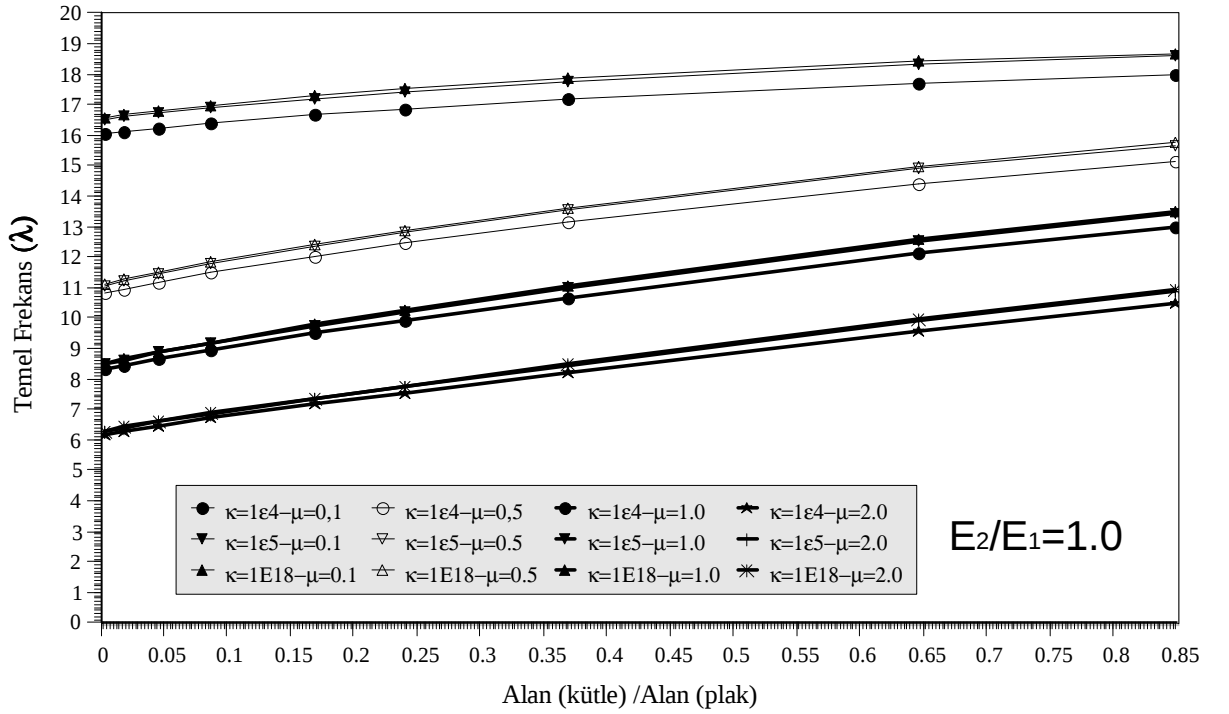
Şekil 3.3 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.7$)



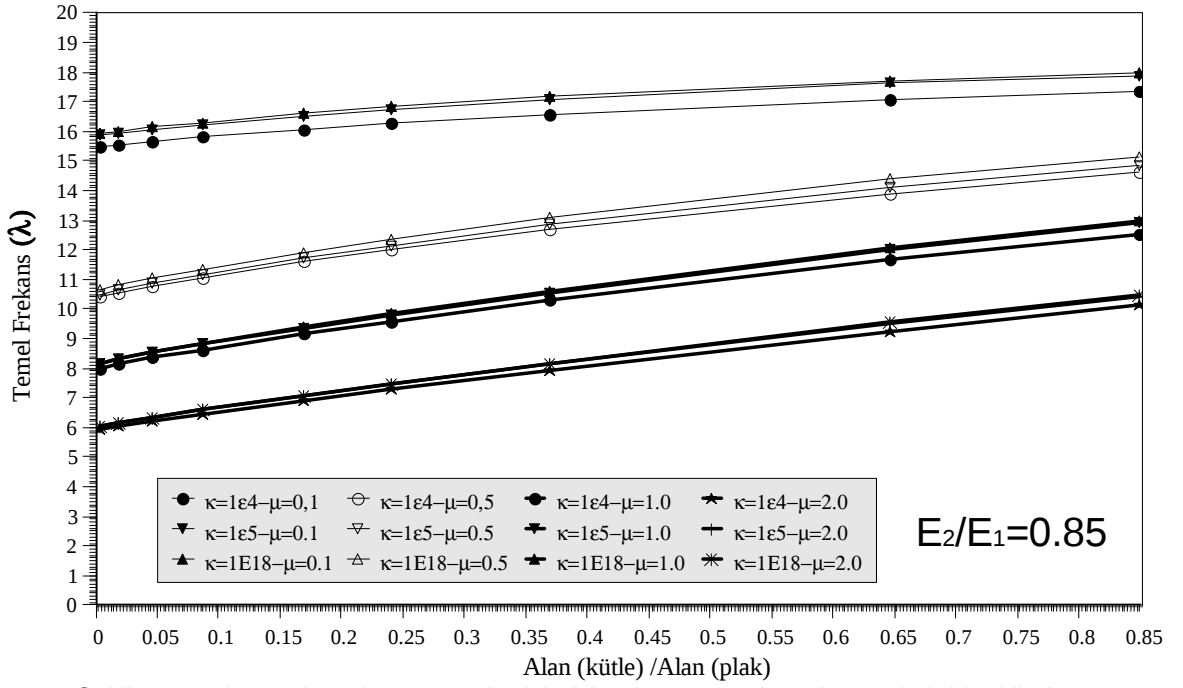
Şekil 3.4 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri

$\kappa = 100, 500, 1000$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$ ($E_2/E_1=0.6$)

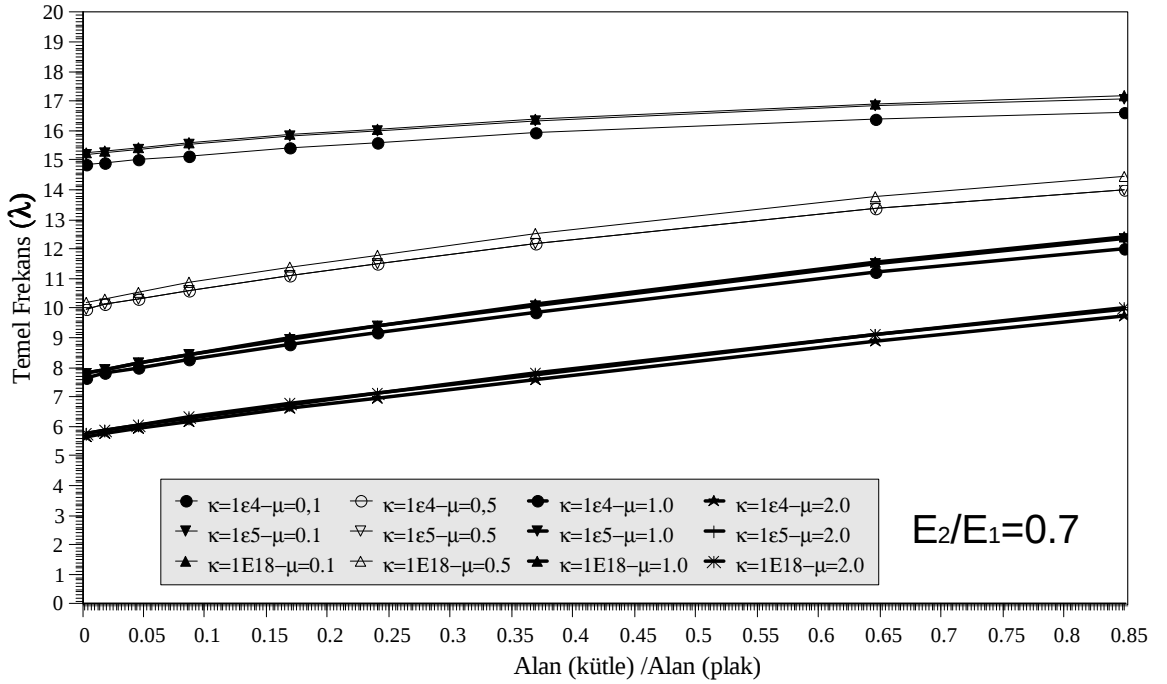
Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 de kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri gösterilmektedir. 12 plak, kütle miktarının 0.1,0.5,1.0,2.0 ve yay katsayısının 1e4,1e5,1e18 (yüksek) değerleri için analiz edilmiştir ve bu analizler farklı E_2/E_1 oranına sahip plaklar için ayrı ayrı tekrar yapılmıştır. Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 den farklı olarak yay katsayısının çok yüksek değerleri için temel frekans değerlerinin daha yüksek değerler aldığı ve aynı paralelliğe sahip eğrilerin birbirlerine daha yakın olduğu görülmektedir. Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 e benzer şekilde E_2/E_1 oranının düşmesiyle temel frekansında düştüğü görülmektedir.



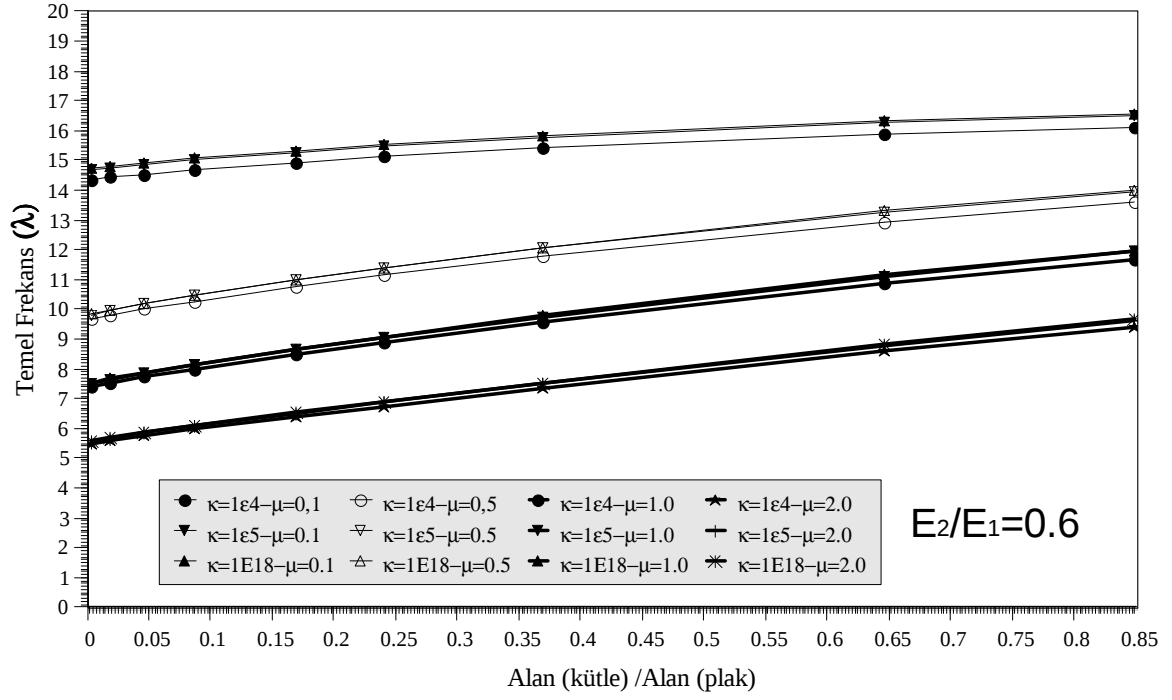
Şekil 3.5 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=1.0$)



Şekil 3.6 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.85$)

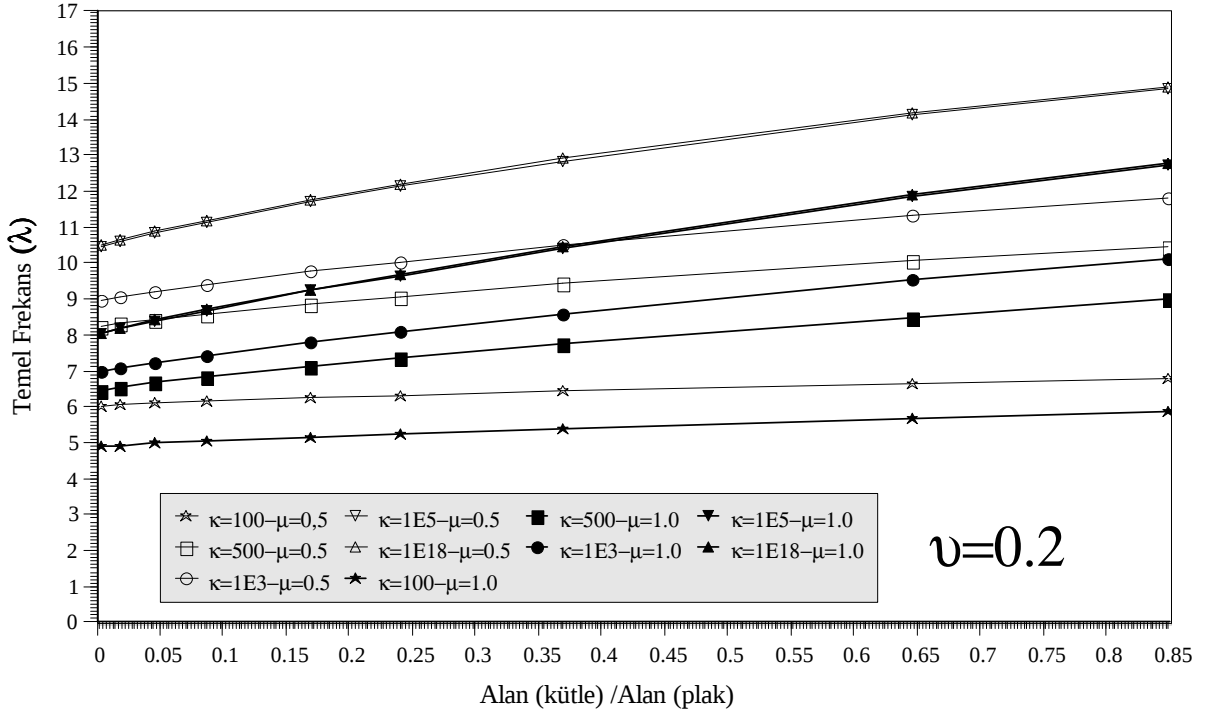


Şekil 3.7 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.7$)



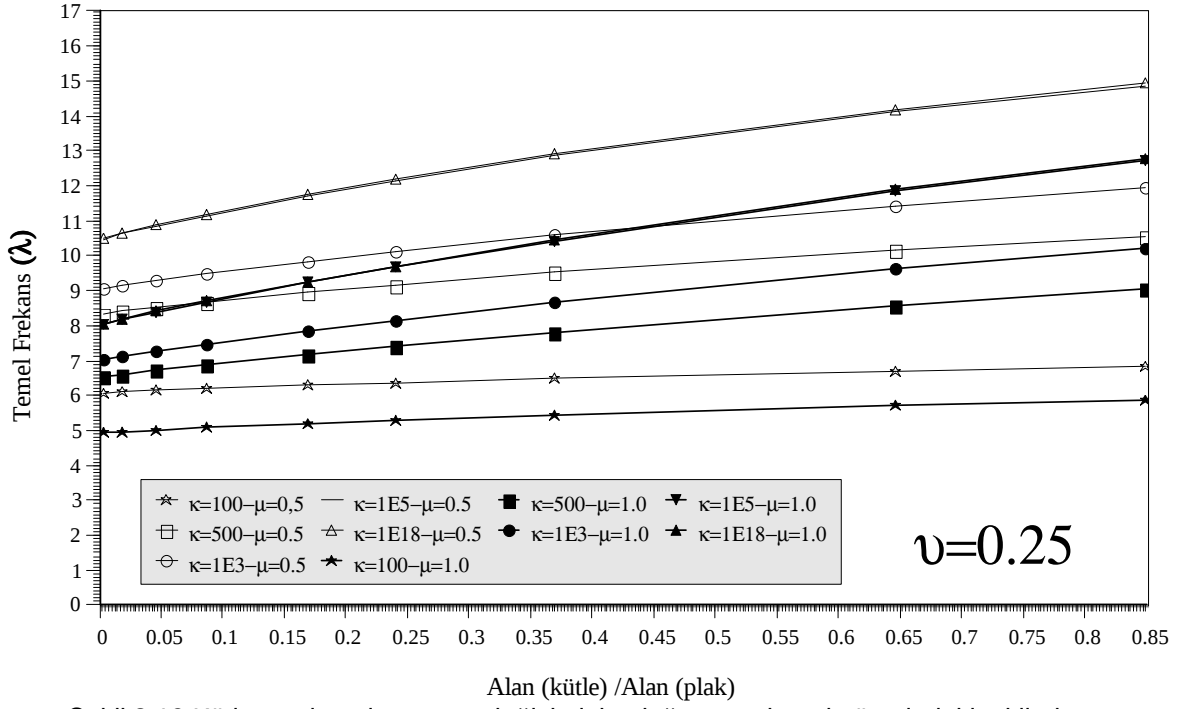
Şekil 3.8 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\kappa = 1e4, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$, $E_2/E_1=0.6$)

Şekil 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14 de kütle yayılım alanı oranı değişiminin temel mod üzerindeki etkileri 10 plağın kütle miktarının 0.5, 1.0 ve yay katsayısının 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18 değerleri ve $E_2/E_1=0.8$ için analiz edilmiştir. Bu analizler farklı poisson oranı değerlerine sahip plaklar için ayrı ayrı tekrar yapılmıştır. Yay katsayısının değeri arttıkça temel frekansın yüksek değerler aldığı oysa kütlelerin büyük değerleri için temel frekansın düşük değerler aldığı şekil 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14 görülmektedir. Ayrıca farklı poisson oranı değerleri için çizilen grafiklere baktığımızda bu oranın artmasıyla temel frekans değerinin arttığı görülmektedir.

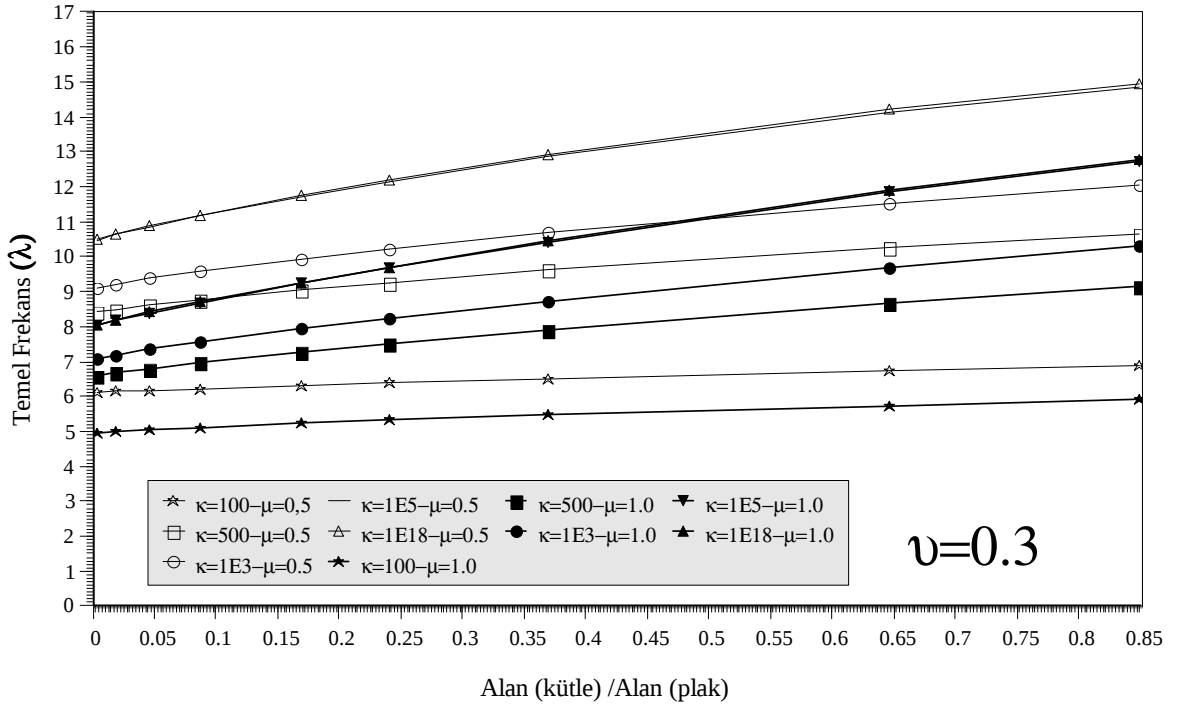


Şekil 3.9 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri

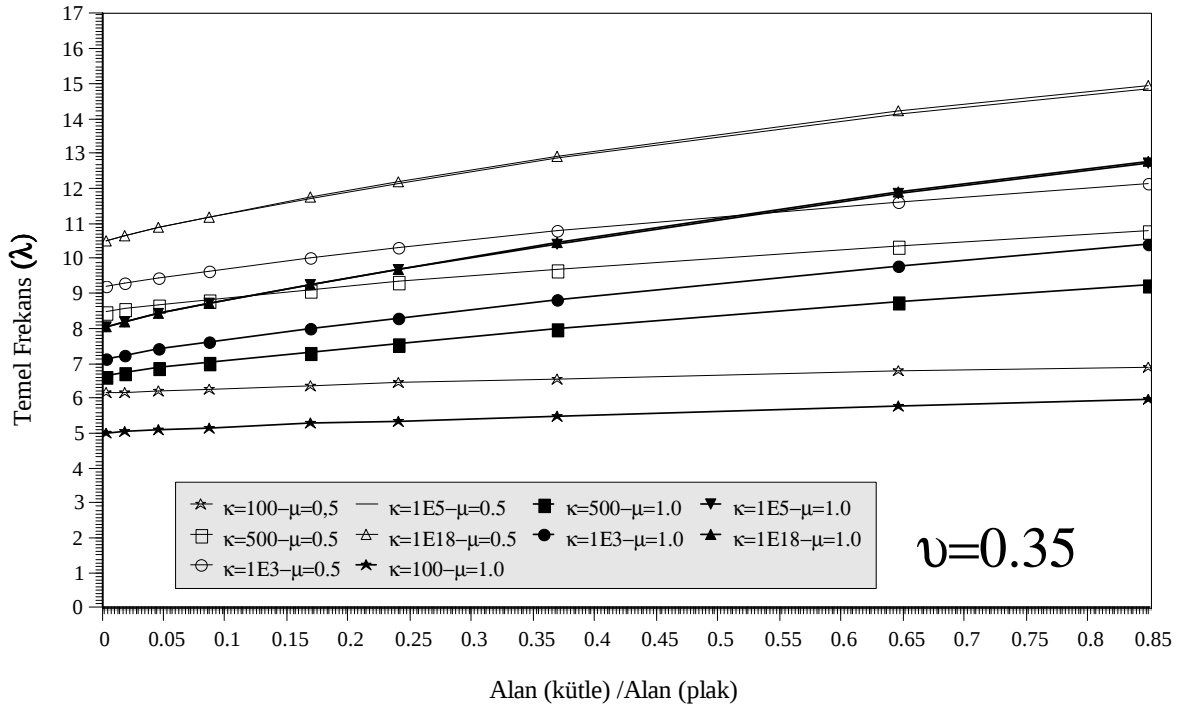
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.2$)



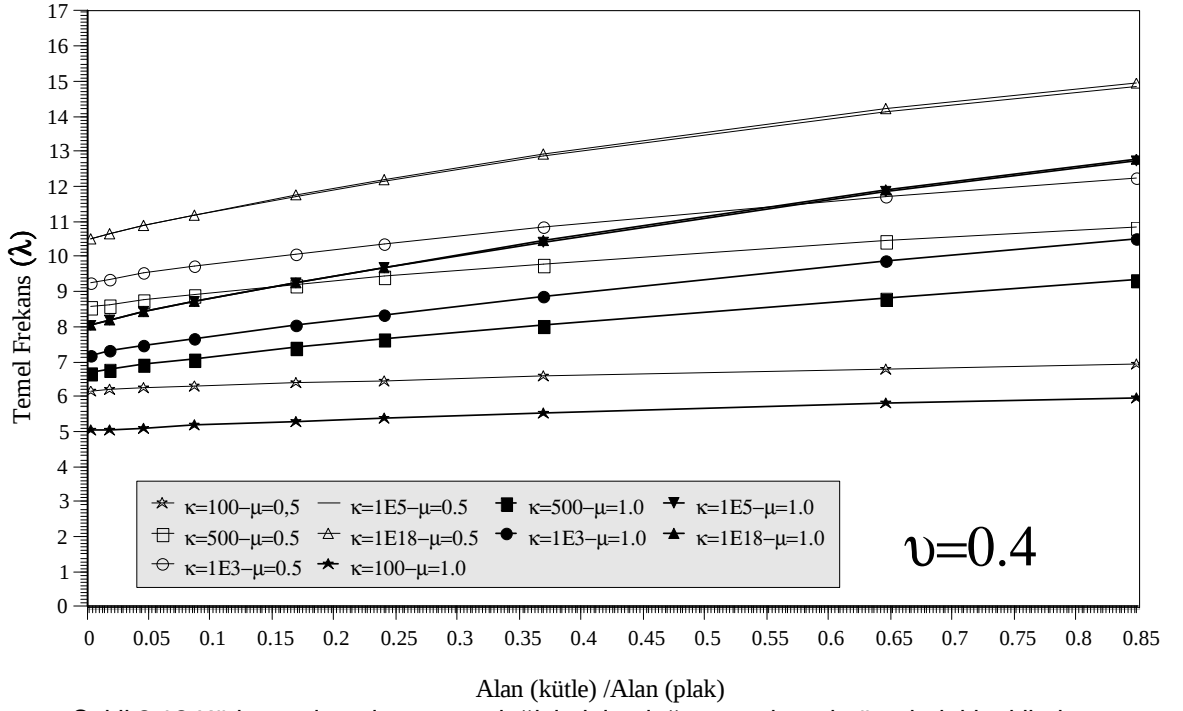
Şekil 3.10 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 $(\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18, \mu = 0.5, 1.0, E_2/E_1=0.8, \nu = 0.25)$



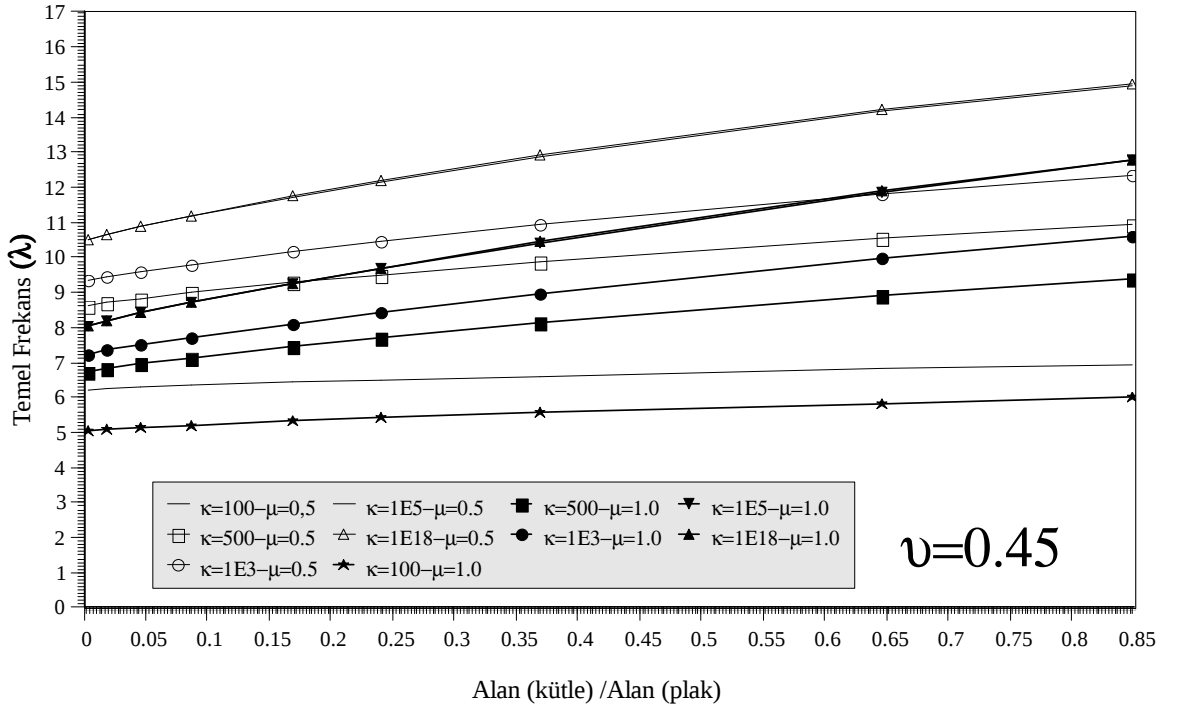
Şekil 3.11 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 $(\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18, \mu = 0.5, 1.0, E_2/E_1=0.8, \nu = 0.3)$



Şekil 3.12 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.35$)

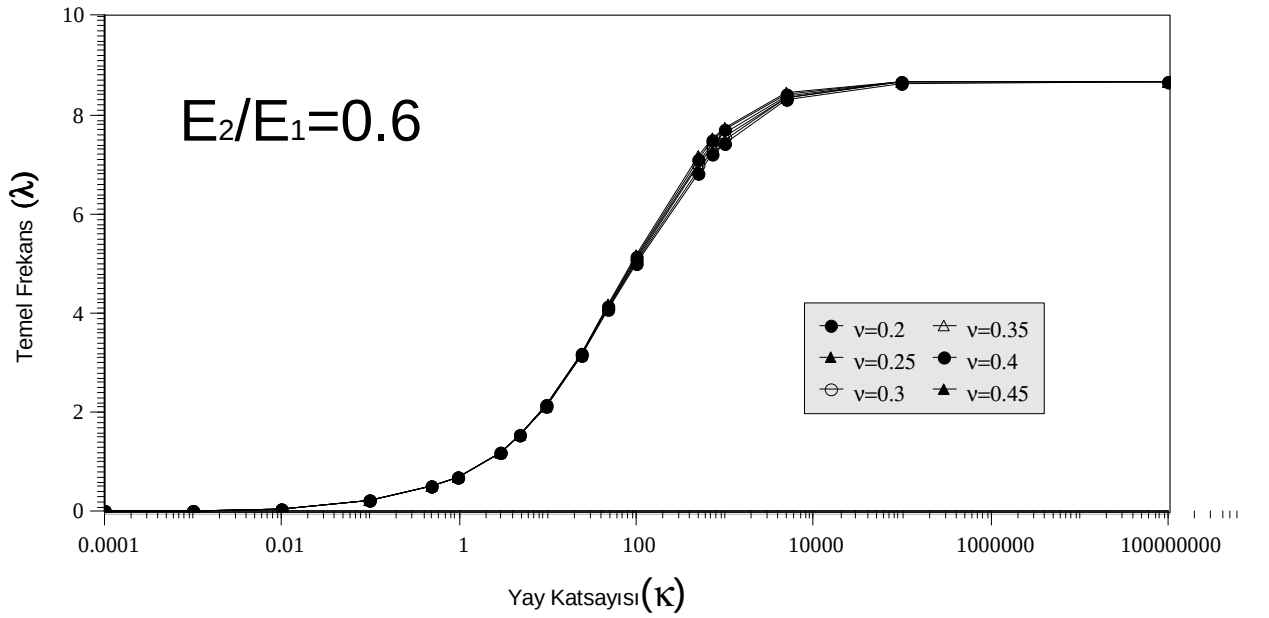


Şekil 3.13 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.4$)

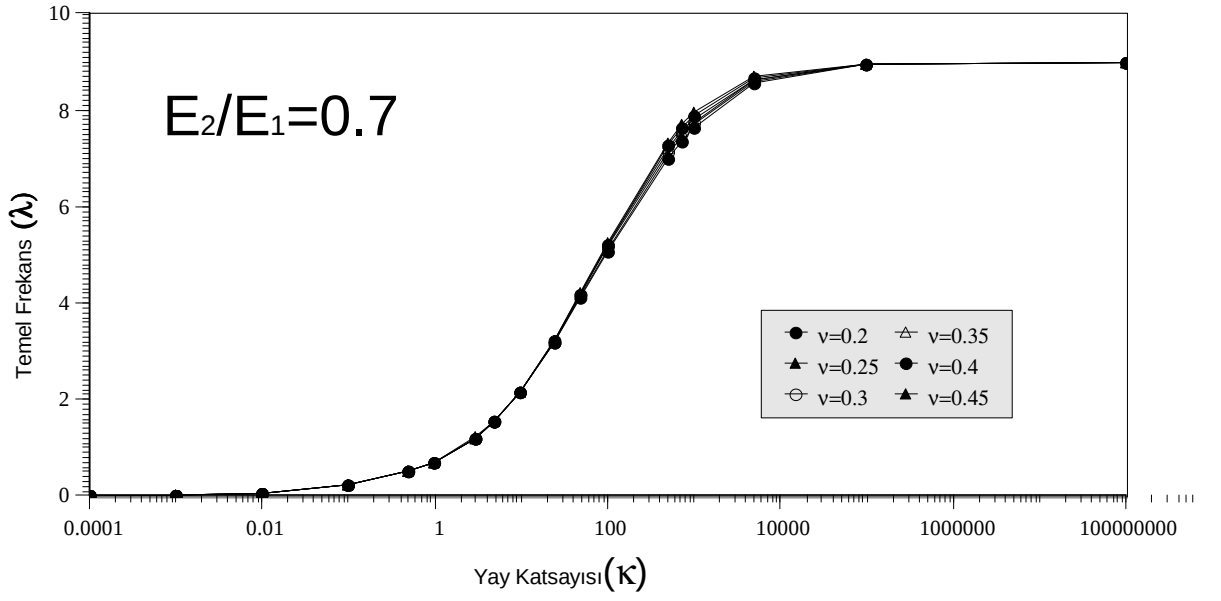


Şekil 3.14 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\kappa = 100, 500, 1e3, 1e5, 1e18$, $\mu = 0.5, 1.0$, $E_2/E_1=0.8$, $\nu = 0.45$)

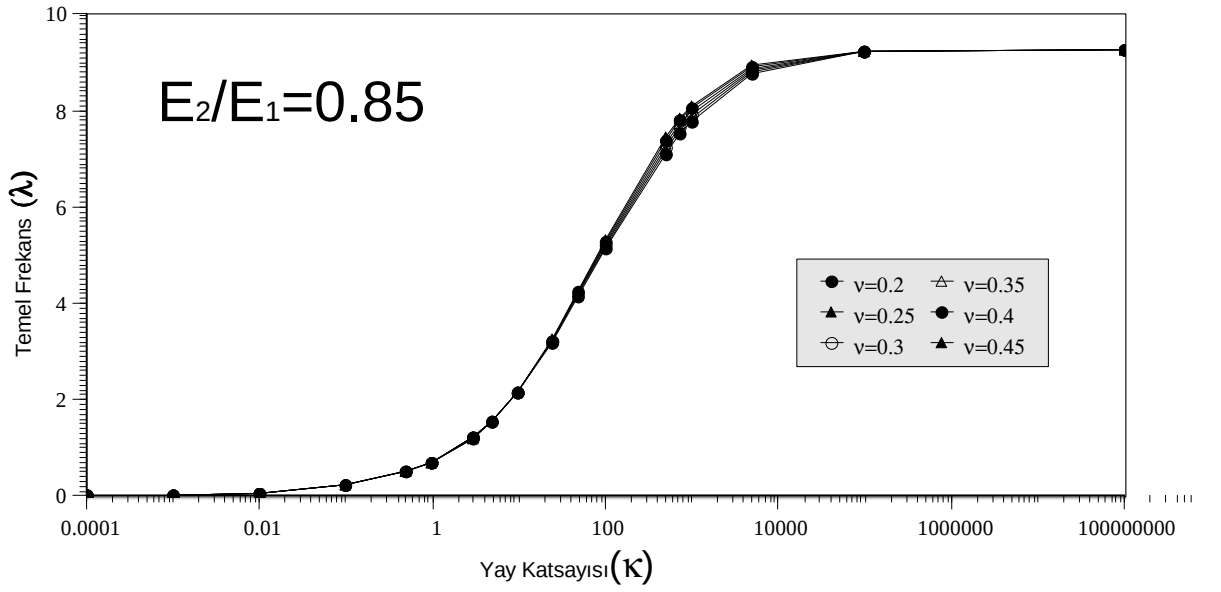
Şekil 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18 de yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri gösterilmektedir. 6 plak, poisson oranı 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 , kütle 0.1 ve $A_k/A_p = 0.1696$ değerleri için analiz edilmiştir. Şekillere bakıldığı zaman $\kappa = 0$ için serbest plak frekans değerini ve $\kappa = \infty$ da ise basit mesnetli plağın frekans değerini aldığı görülmektedir. Farklı E_2/E_1 oranı değerleri için çizilen grafiklere bakıldığında eğrilerin benzer davranış gösterdiği ve E_2/E_1 oranının artmasıyla temel frekansın arttığı gözlemlenmektedir.



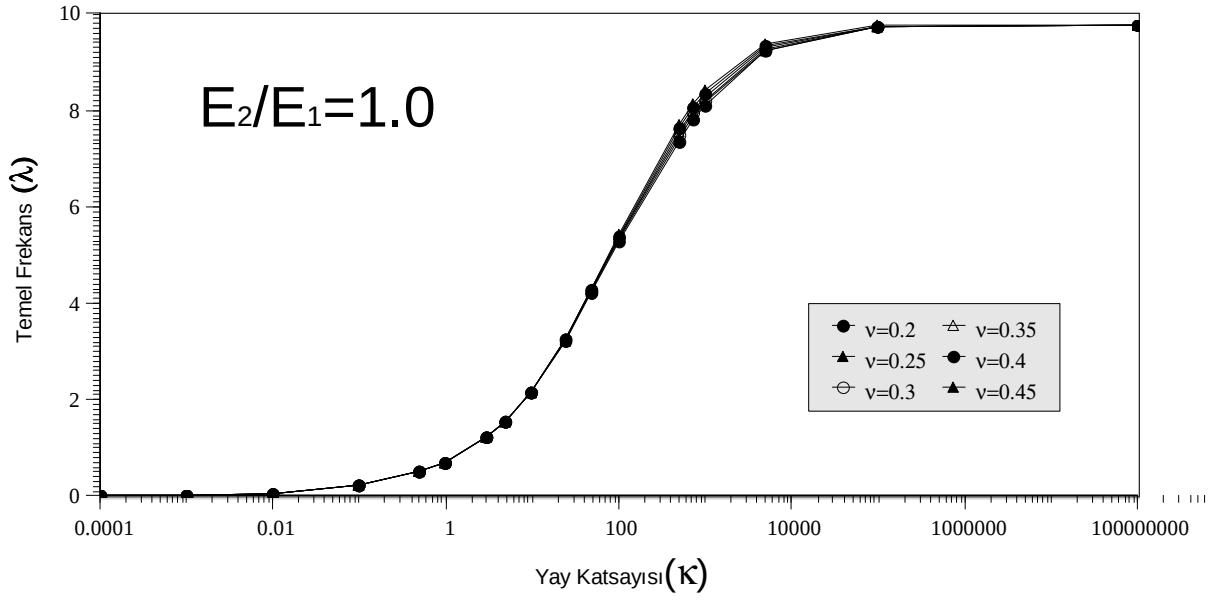
Şekil 3.15 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1 = 0.6$)



Şekil 3.16 Yay katsayısı değişiminin plâgın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$ $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=0.7$)

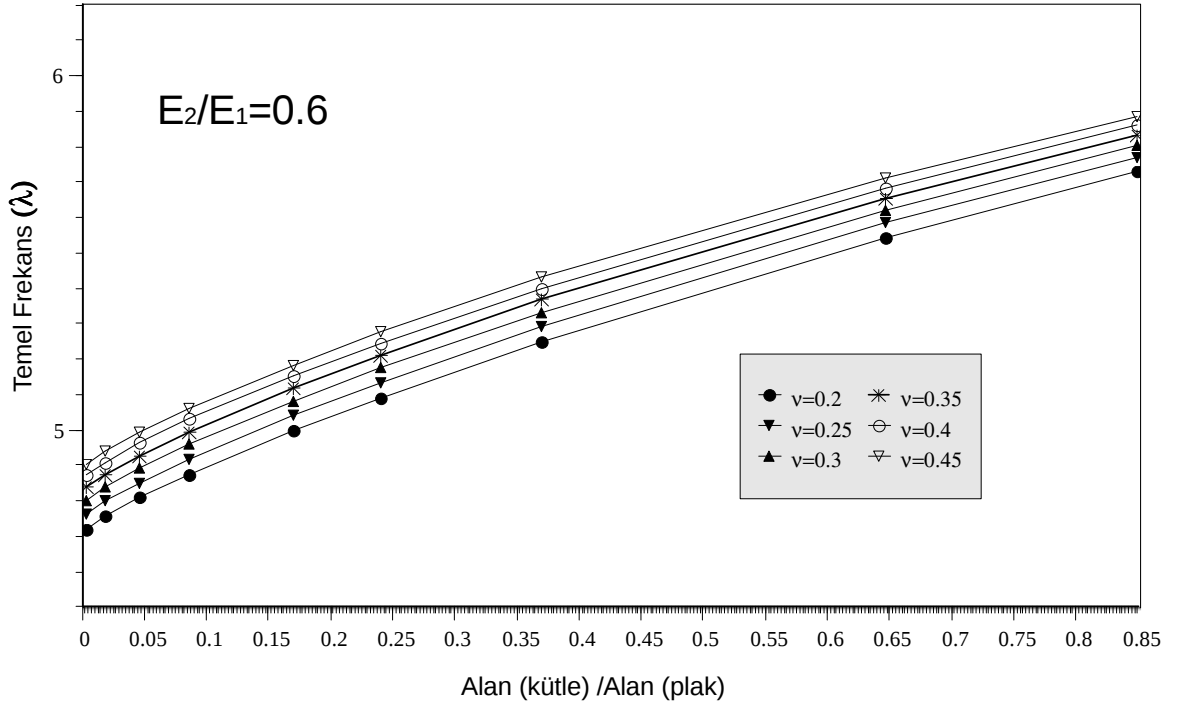


Şekil 3.17 Yay katsayısı değişiminin plâgın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$ $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=0.85$)

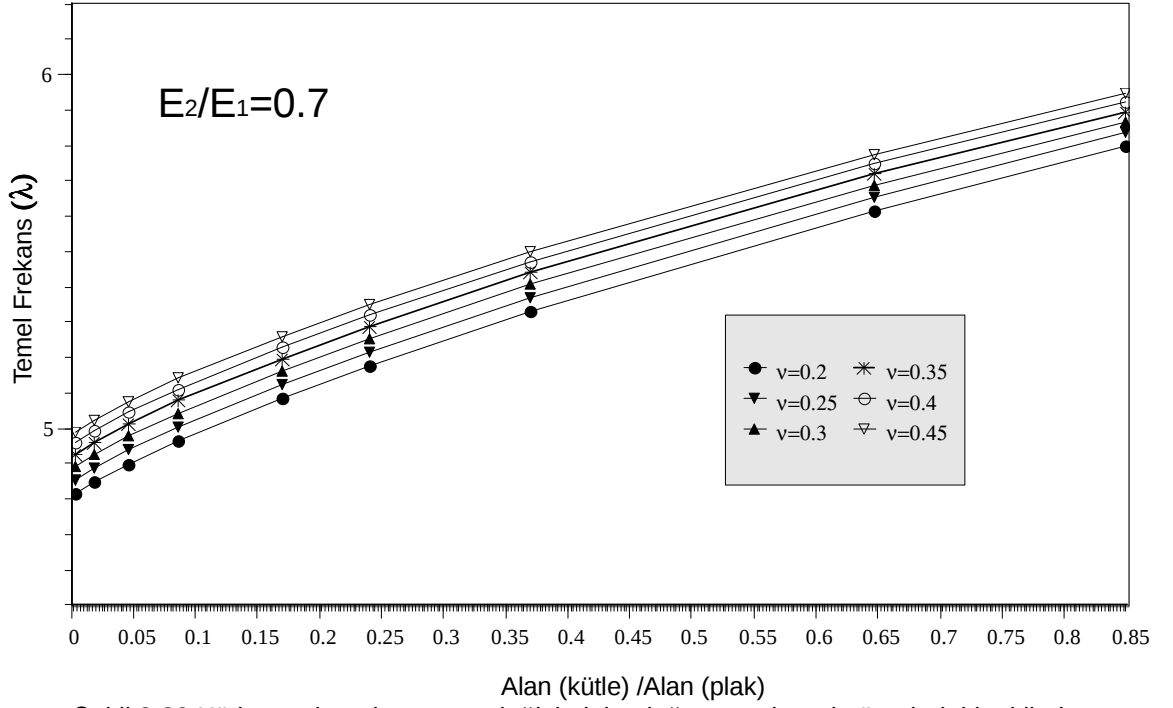


Şekil 3.18 Yay katsayısı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$ $\mu = 0.1$, $A_k / A_p = 0.1696$, $E_2/E_1=1.0$)

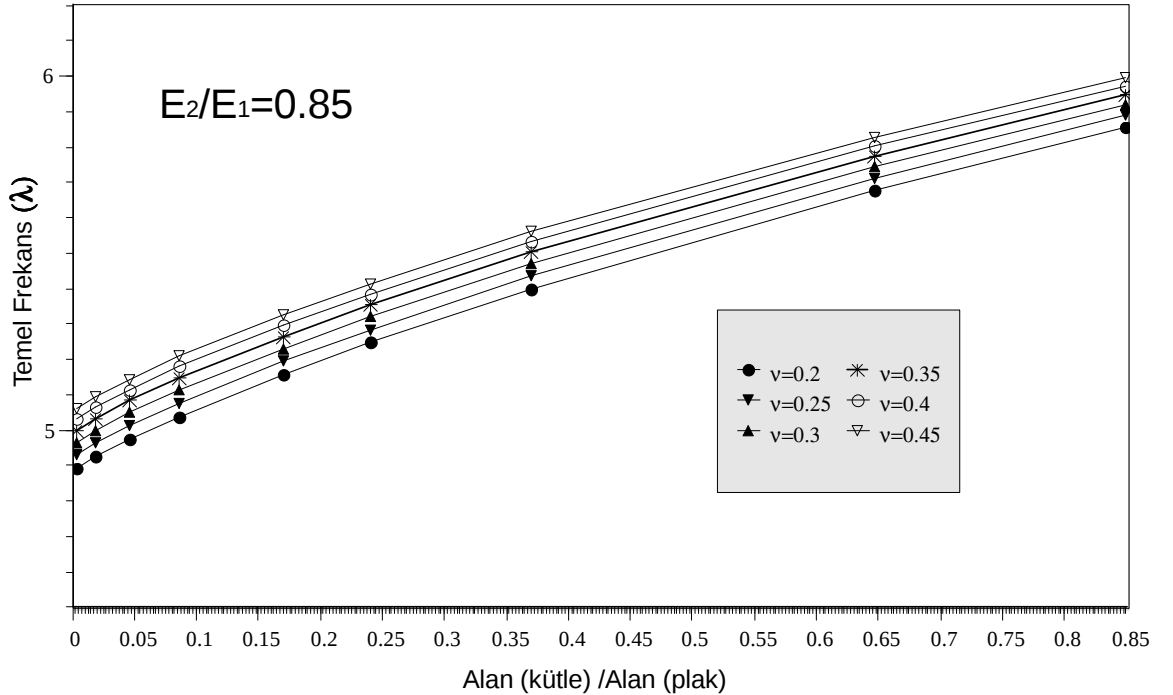
Şekil 3.19, 3.20, 3.21 ve 3.22 de kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri poisson oranının farklı değerleri için incelenmiştir. Kütle 0.1, yay katsayısı 100 sabit değerleri için E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Farklı poisson değerleri için eğrilerin etkilenme karakteristikleri aynı olmakla birlikte etkilenme derecelerinin birbirlerinden farklı olduğu Şekil 3.19, 3.20, 3.21 ve 3.22 de gözlemlenmektedir. Ayrıca E_2/E_1 in artan değerleri için çizilen grafiklerde temel frekans değerinin arttığı görülmektedir..



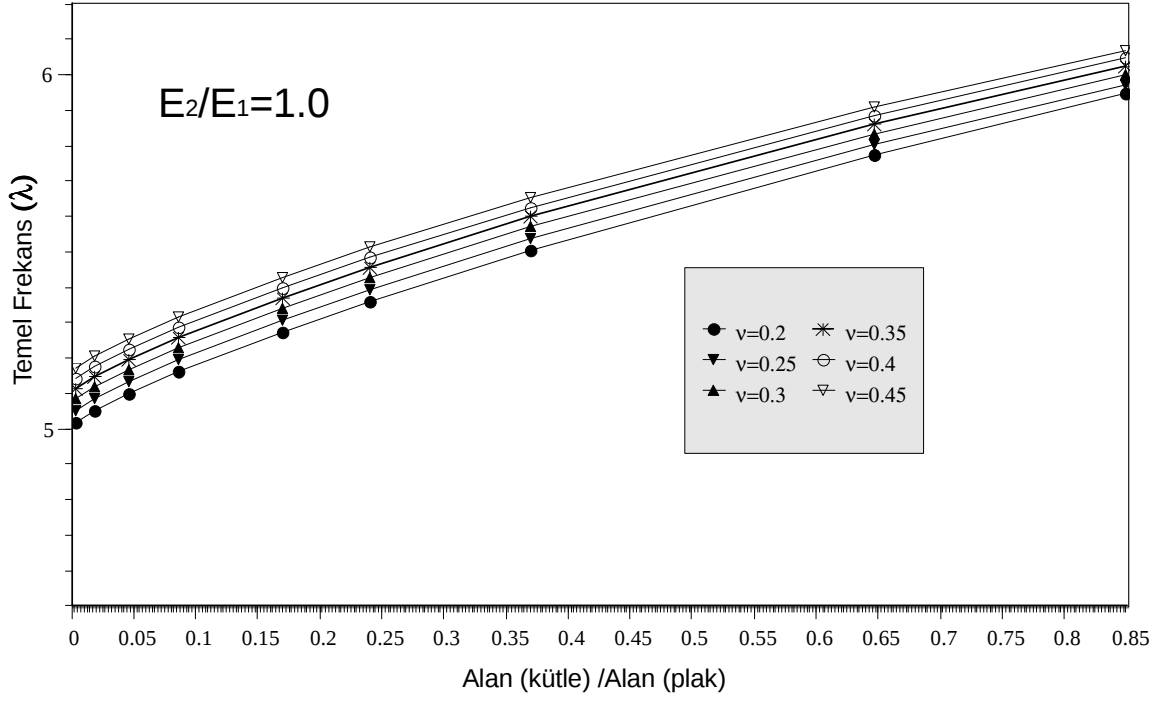
Şekil 3.19 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 $(\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, \mu = 0.1, \kappa = 100, E_2/E_1 = 0.6)$



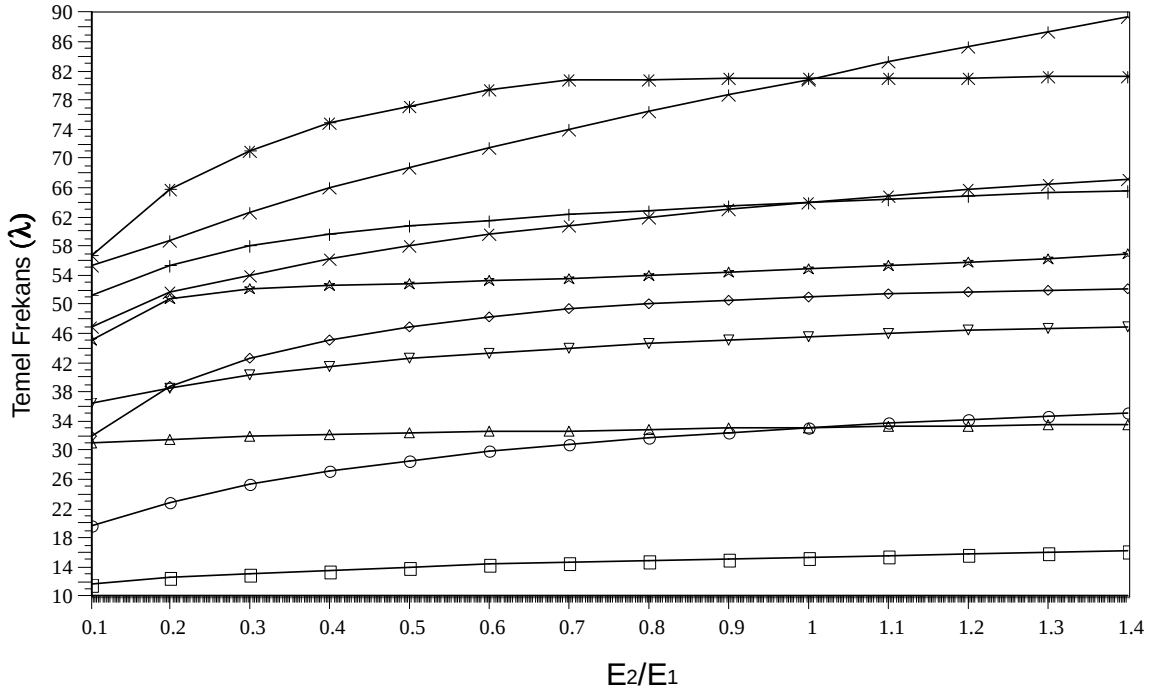
Şekil 3.20 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 $(\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, \mu = 0.1, \kappa = 100, E_2/E_1 = 0.7)$



Şekil 3.21 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plağın temel modu üzerindeki etkileri
 $(\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, \mu = 0.1, \kappa = 100, E_2/E_1 = 0.85)$



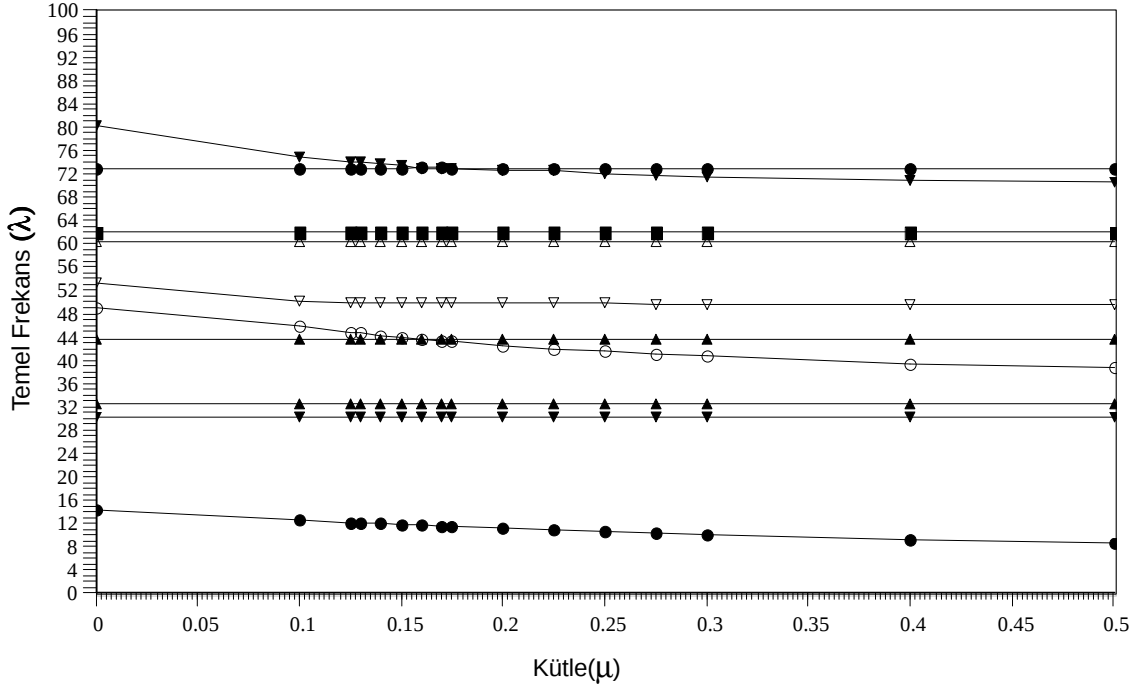
Şekil 3.22 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin plâğın temel modu üzerindeki etkileri
 ($\nu = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$, $\mu = 0.1$, $\kappa = 100$, $E_2/E_1=1.0$)



Şekil 3.23 E_2/E_1 oranının değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri

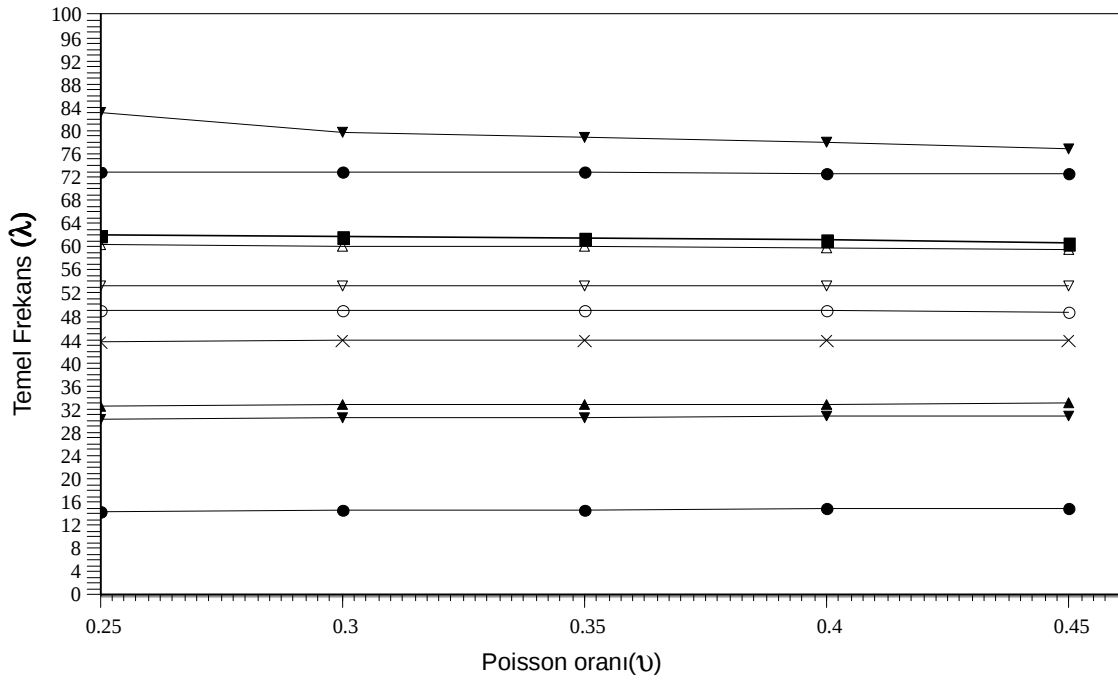
($\nu = 0.25$, $\kappa = 1000$, $\mu = 0$)

E_2/E_1 oranının değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri Şekil 3.23 de incelenmiştir. İlave kütle miktarı 0 (ilave kütsüz), yay katsayısı 1000 ve poisson oranı 0.25 olarak alınmıştır. Şekil 3.23 de E_2/E_1 oranının değişimi için her farklı mod farklı karakteristik davranış göstermektedir. Hiçbir mod diğer modların davranışı hakkında yol gösterici bilgi vermemektedir. Basit olarak bu sonuç gösteriyor ki daha önce temel mod için yapılmış olan analiz sonuçları yüksek mod davranışları için rehber olamamaktadır. Her mod sadece farklı eğilim göstermemektedir, aynı zamanda her bir mod kendi içindede kütle miktarının farklı değerleri için farklı eğilim göstermektedir.



Şekil 3.24 Kütlesi miktarı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri
 ($\nu = 0.25$, $\kappa = 1000$, $E_2/E_1 = 0.65$)

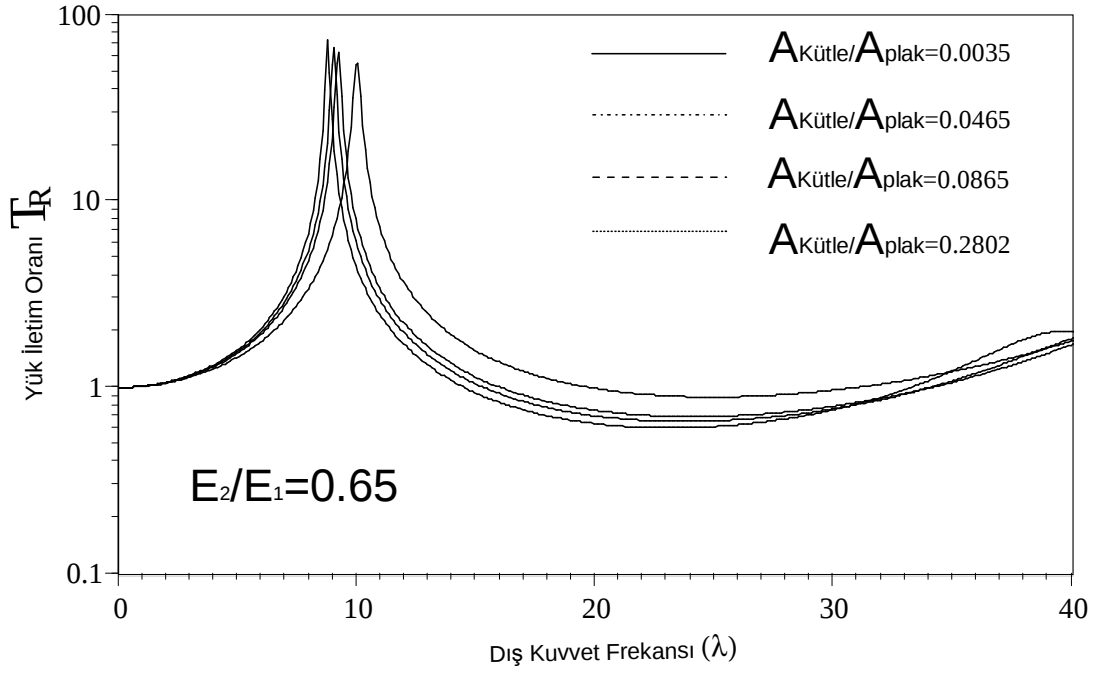
Kütlesi miktarı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri Şekil 3.24 de incelenmiştir. Poisson oranı 0.25, yay katsayısı 1000 ve $E_2/E_1 = 0.65$ olarak alınmıştır. Şekil 3.24 de kütlesi miktarı varyasyonları için her farklı mod farklı karakteristik davranış göstermektedir. Bazı modlarda artışlar gözlenirken bazı modlarda azalışlar gözlemlenmektedir. Fakat bu değişimin belli bir oranda olmaması modlar hakkında kesin bir fikir vermemektedir. Ayrıca Şekil 3.23 ile 3.24 karşılaştırıldığında E_2/E_1 oranı değişiminin kütlesi miktarı değişimine göre daha etkin olduğu söylenebilir.



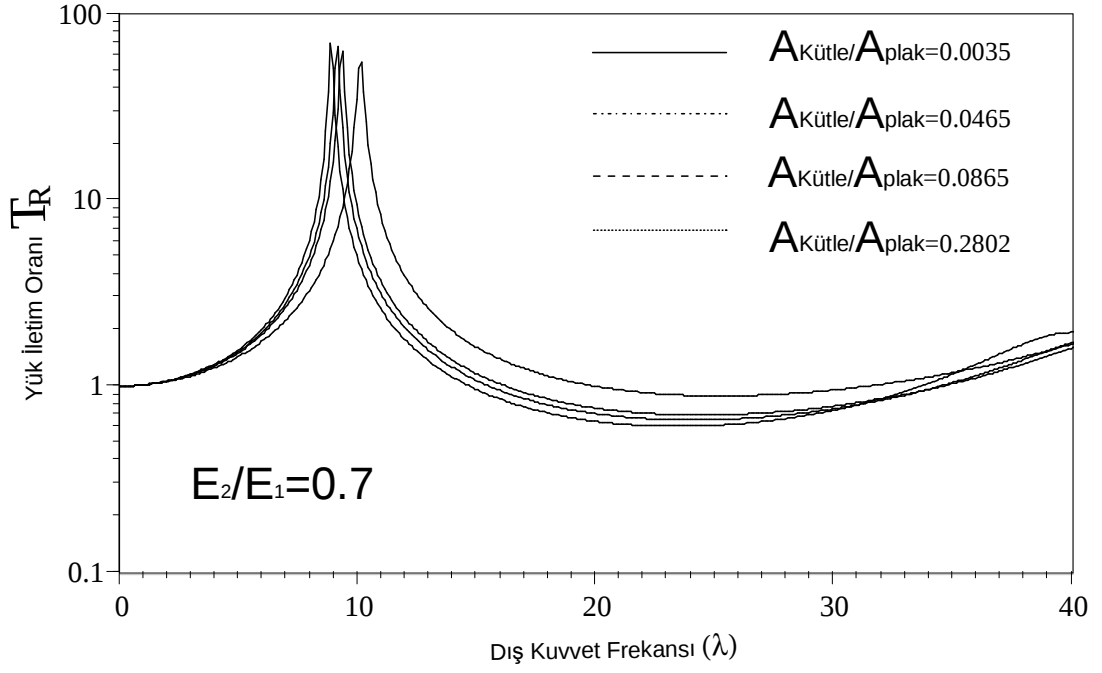
Şekil 3.25 Poisson oranı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri
 ($\mu = 0$, $\kappa = 1000$, $E_2/E_1=0.65$)

Poisson oranı değişiminin plağın ilk 10 modu üzerindeki etkileri Şekil 3.25 de incelenmiştir. Kütle miktarı 0 (kütlesiz), yay katsayısı 1000 ve $E_2/E_1=0.65$ olarak alınmıştır. Kütle miktarı değişiminin etkisine nazaran Poisson oranı değişiminin etkisi ilk 10 mod için daha azdır. Bazı modlarda küçük miktarlarda artmalar bazı modlarda da küçük miktarlarda azalmalar görülmektedir.

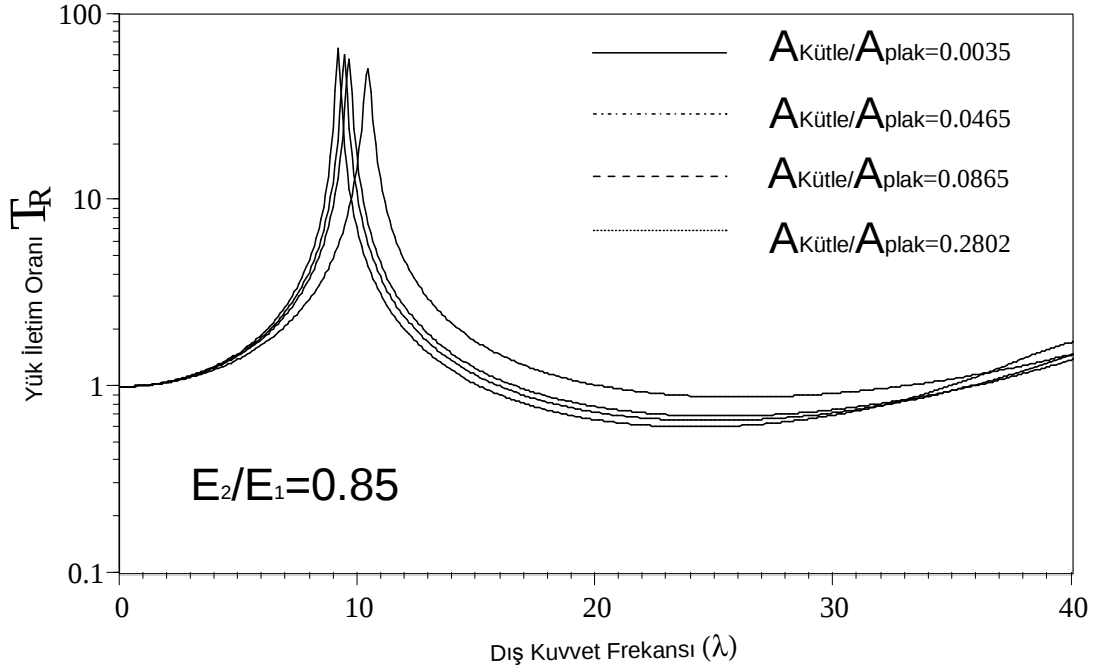
Dış kuvvet frekansının değişimi için viskoelastik mesnetli plak sisteminin kuvvet iletim eğrisinin farklı kütle yayılım alanında çizimi şekil 3.26, 3.27, 3.28 ve 3.29 da verilmiştir. Poisson oranı 0.3, yay katsayısı 1000, sönüm katsayısı 10 ve kütle 0.5 değerleri sabit olmak üzere E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Kütle yayılım alanı değeri arttıkça tepe noktasının ortaya çıktığı frekans değeri de artmaktadır. Aynı şekilde E_2/E_1 değeri de arttıkça tepe noktası frekans değerinin arttığı görülmektedir.



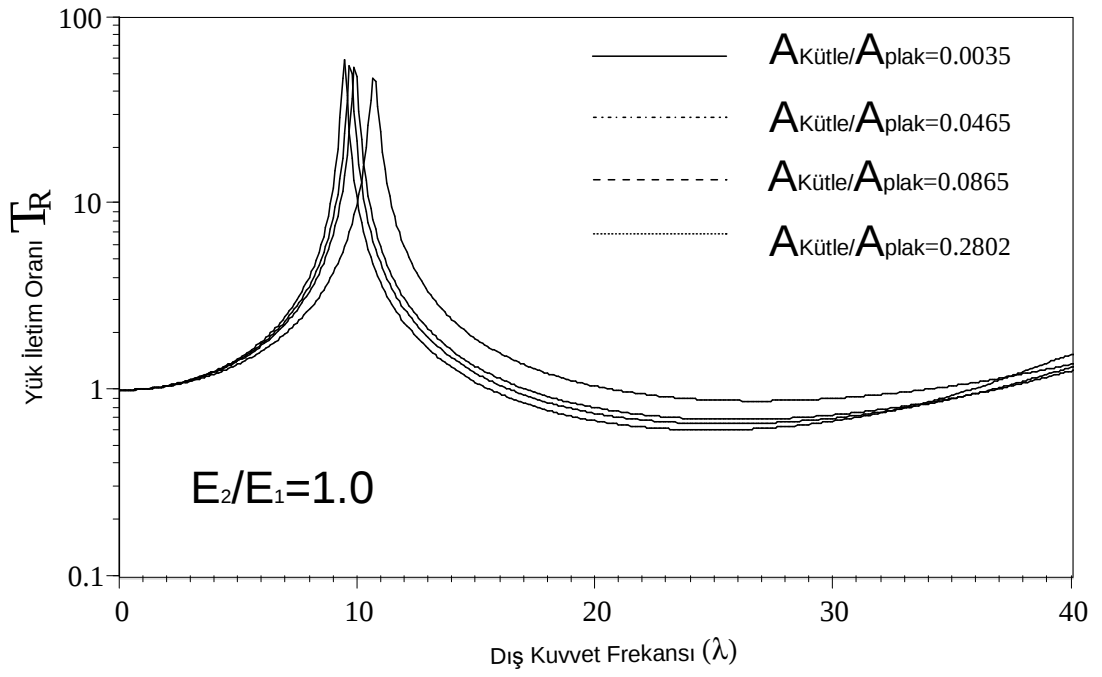
Şekil 3.26 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1 = 0.65$)



Şekil 3.27 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1 = 0.7$)

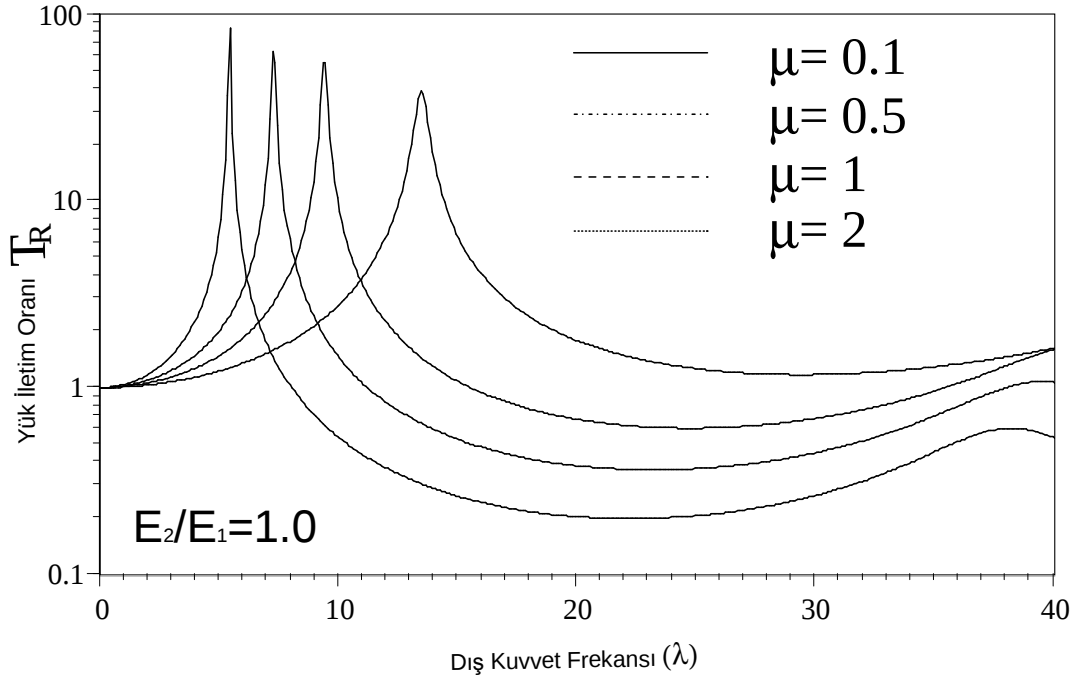


Şekil 3.28 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1 = 0.85$)

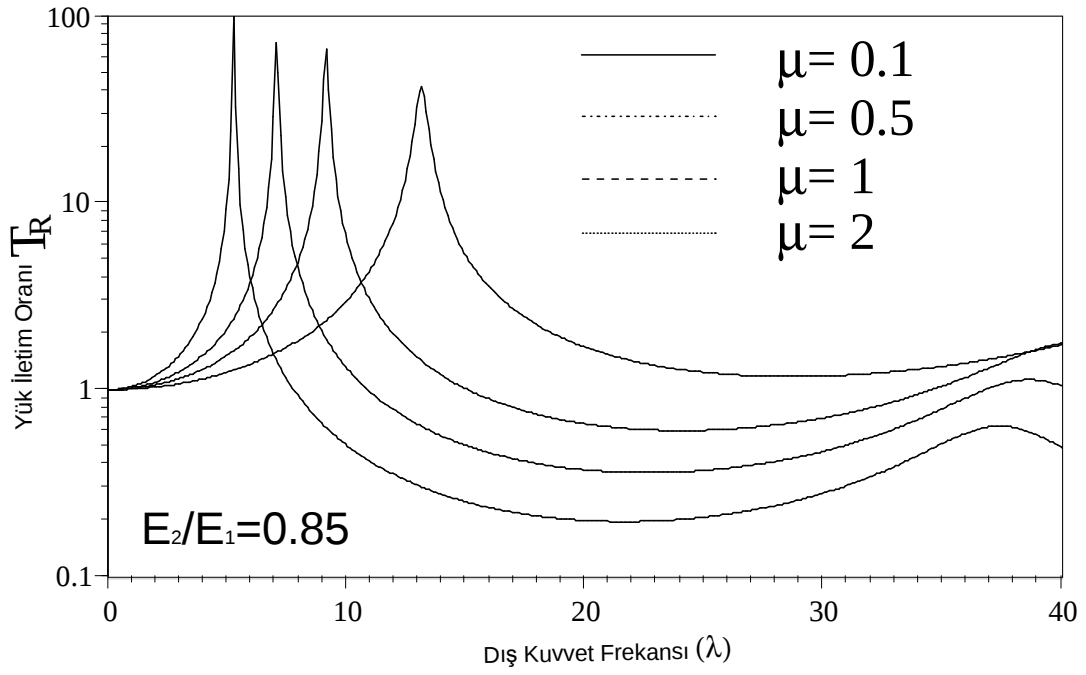


Şekil 3.29 Kütle yayılım alanı oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1=1.0$)

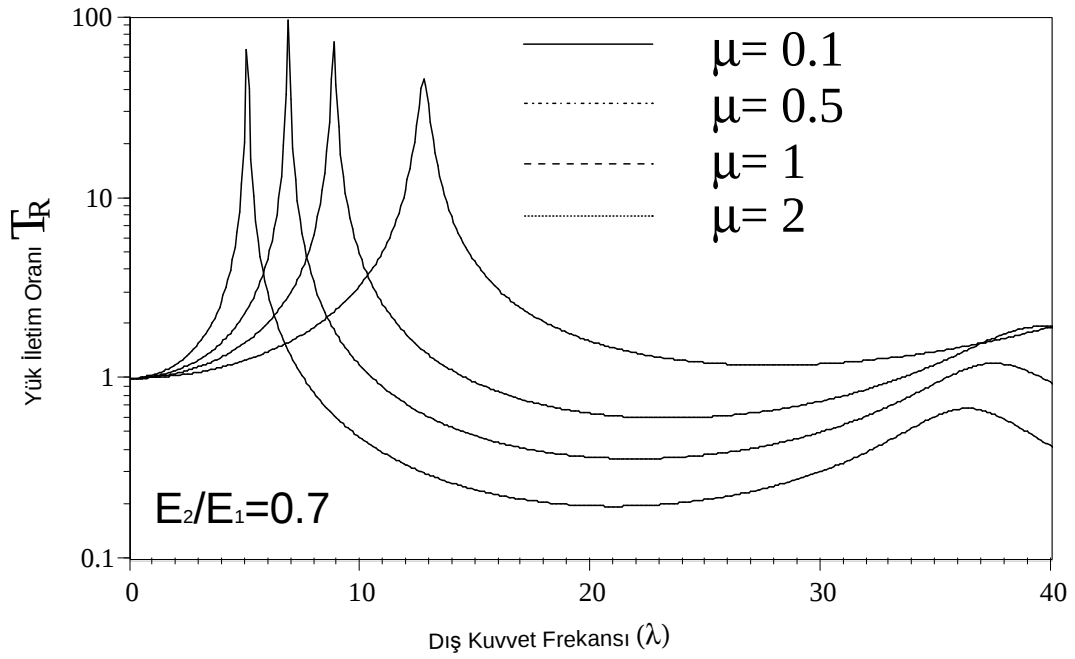
Şekil 3.30, 3.31, 3.32 ve 3.33 de kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri incelenmiştir. Poisson oranı 0.3, yay katsayısı 1000 ve sönüm katsayısı 10 değerleri sabit olmak üzere E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Eğrilere baktığımız zaman kütle miktarı arttıkça tepe noktasının frekans değeri azalmaktadır. Yük iletim oranı açısından ise tam tersi bir durum mevcuttur, kütle miktarı arttıkça bu değerde artmaktadır. Ayrıca E_2/E_1 oranının düşmesiyle tepe noktası frekans değerinde düştüğü görülmektedir.



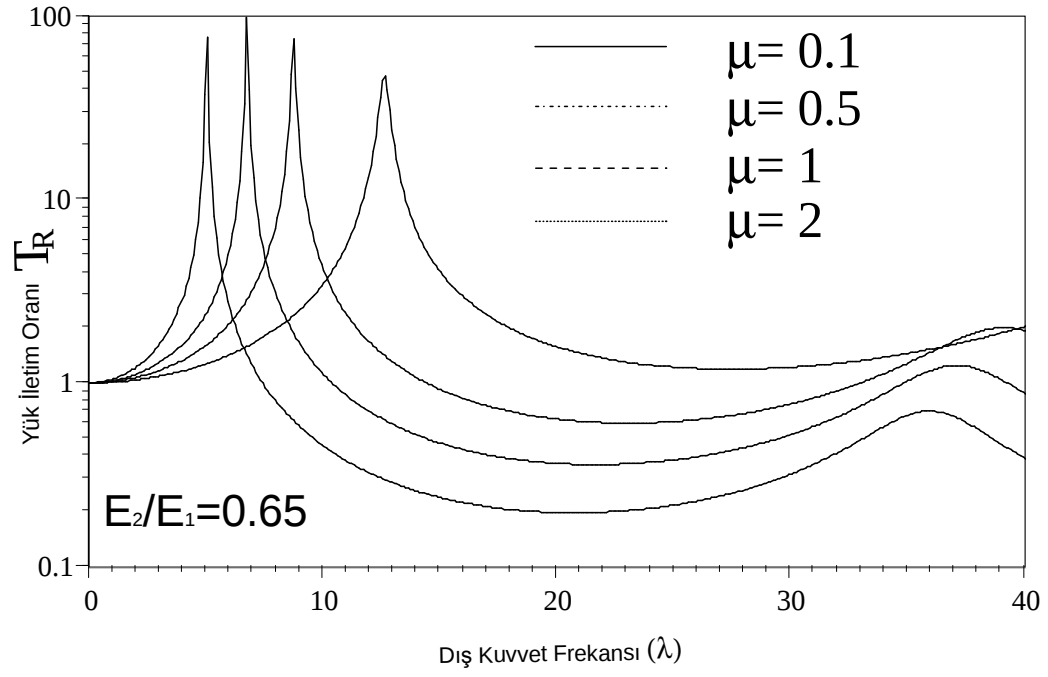
Şekil 3.30 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1 = 1.0$)



Şekil 3.31 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 $(\nu=0.3, \kappa=1000, \gamma=10, E_2/E_1=0.85)$

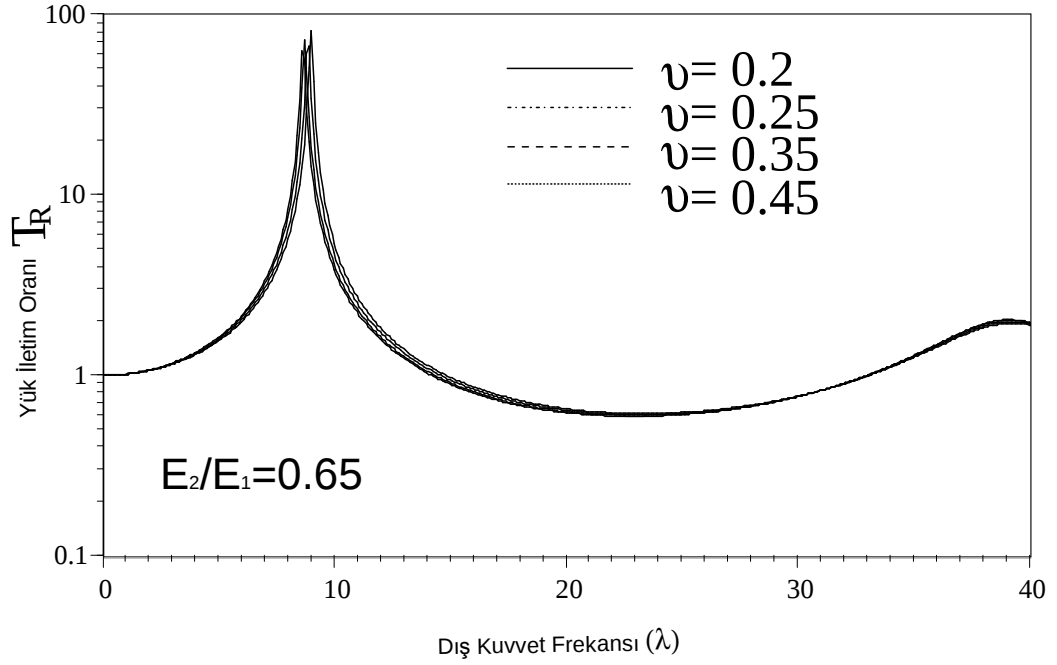


Şekil 3.32 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 $(\nu=0.3, \kappa=1000, \gamma=10, E_2/E_1=0.7)$

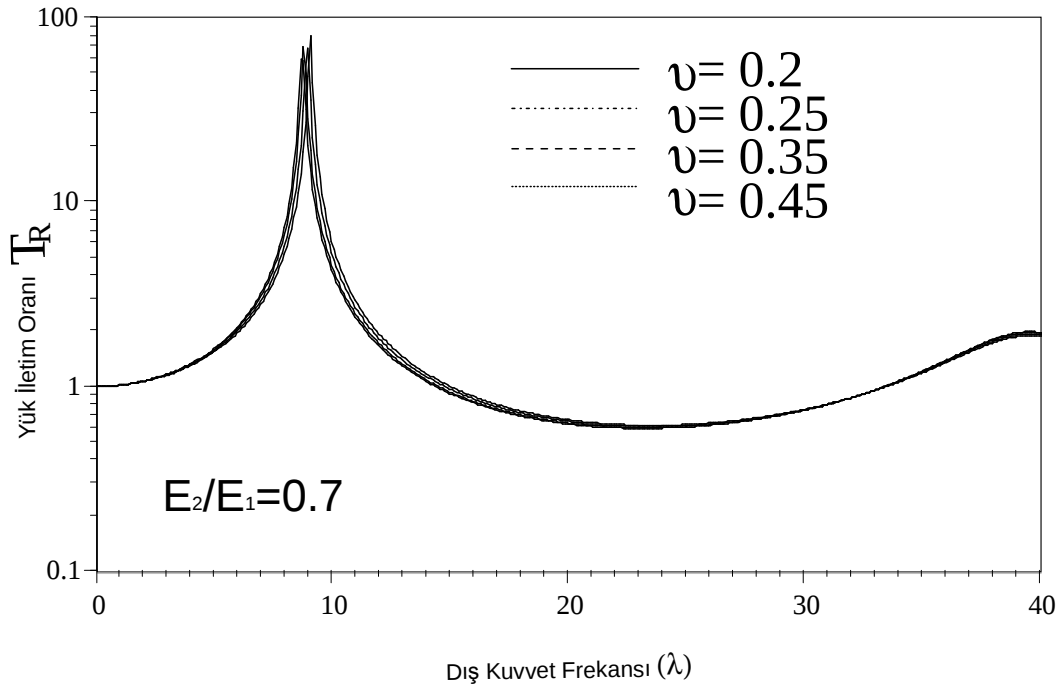


Şekil 3.33 Kütle miktarı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\nu = 0.3$, $\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $E_2/E_1=0.65$)

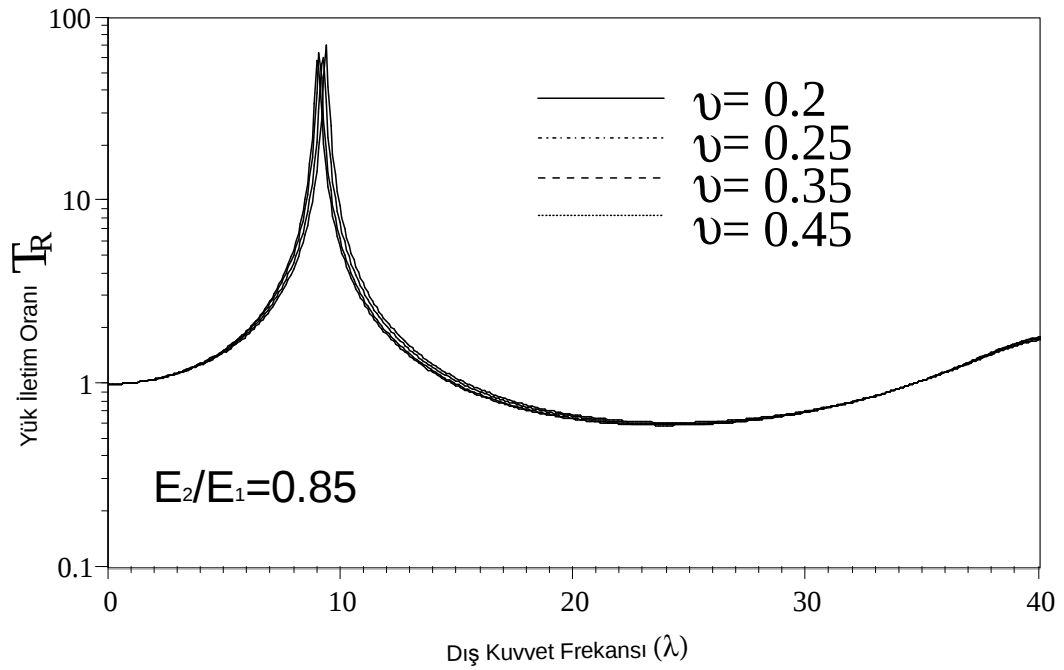
Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri şekil 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37 de incelenmiştir. Yay katsayısı 1000, sönüm katsayısı 10 ve kütle 0.5 değerleri sabit olmak üzere E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Farklı poisson oranı değerleri için çizilen eğrilerin benzer davranış gösterdikleri, poisson oranı değerinin artmasıyla tepe noktasının frekans değerinde arttığı şekil 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37 de görülmektedir.



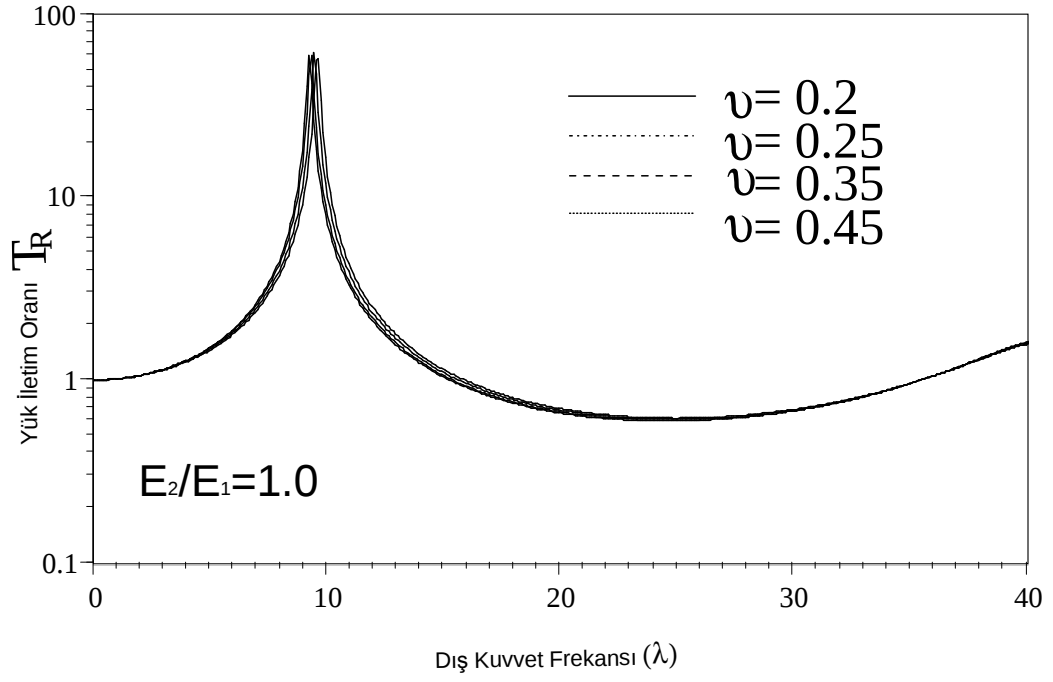
Şekil 3.34 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0.5$, $E_2/E_1 = 0.65$)



Şekil 3.35 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa=1000$, $\gamma=10$, $\mu=0.5$, $E_2/E_1=0.7$)

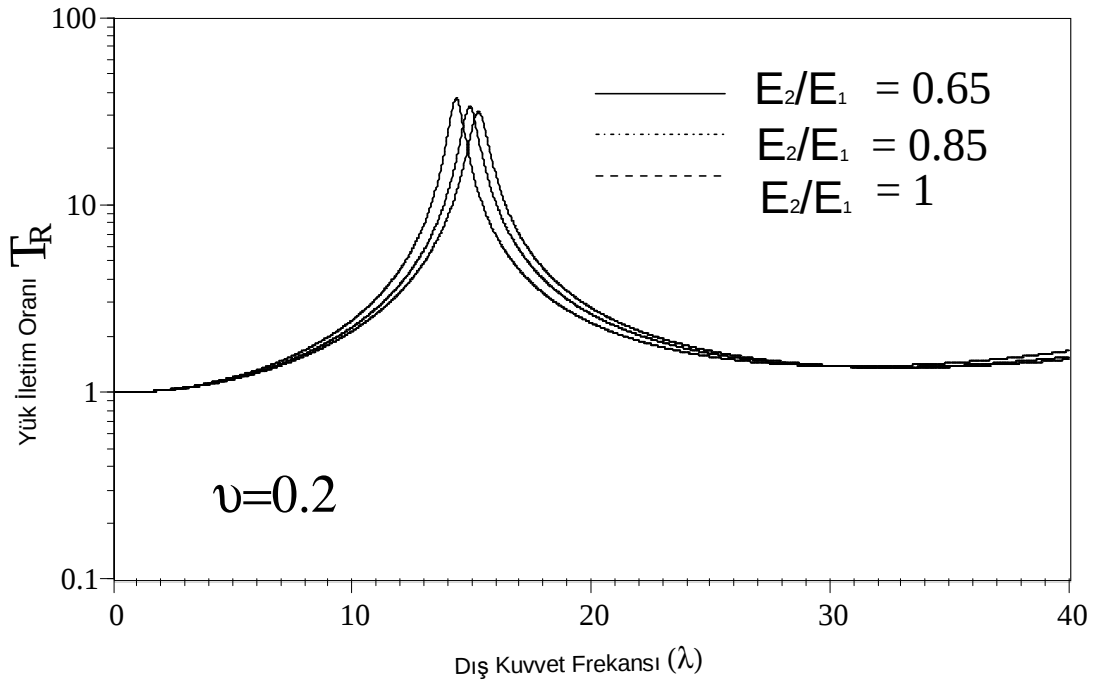


Şekil 3.36 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa=1000$, $\gamma=10$, $\mu=0.5$, $E_2/E_1=0.85$)

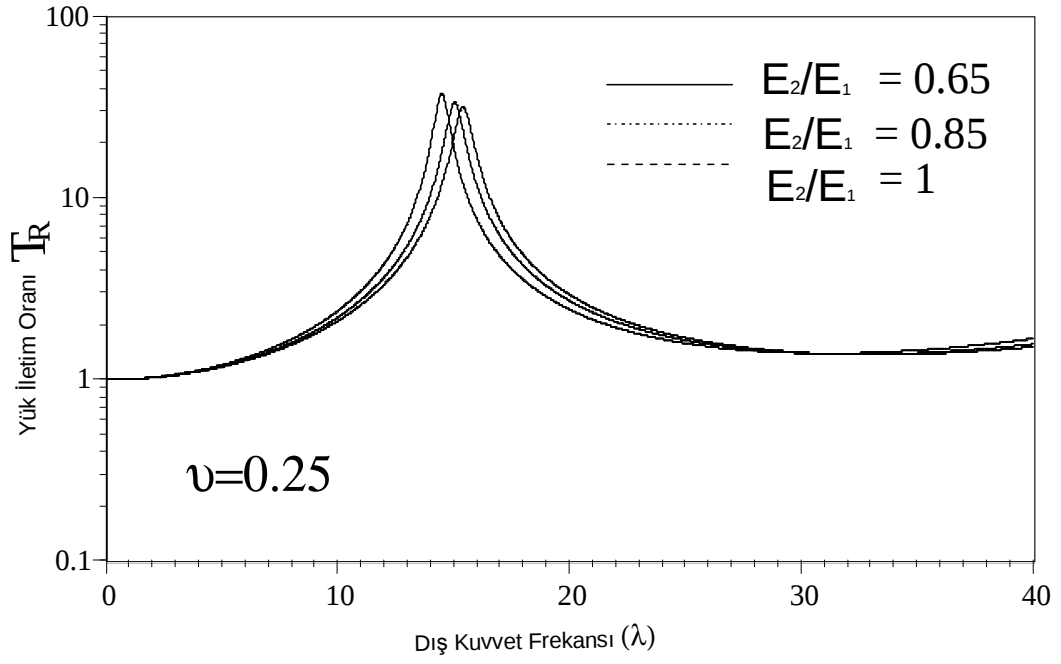


Şekil 3.37 Poisson oranı değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa=1000$, $\gamma=10$, $\mu=0.5$, $E_2/E_1=1.0$)

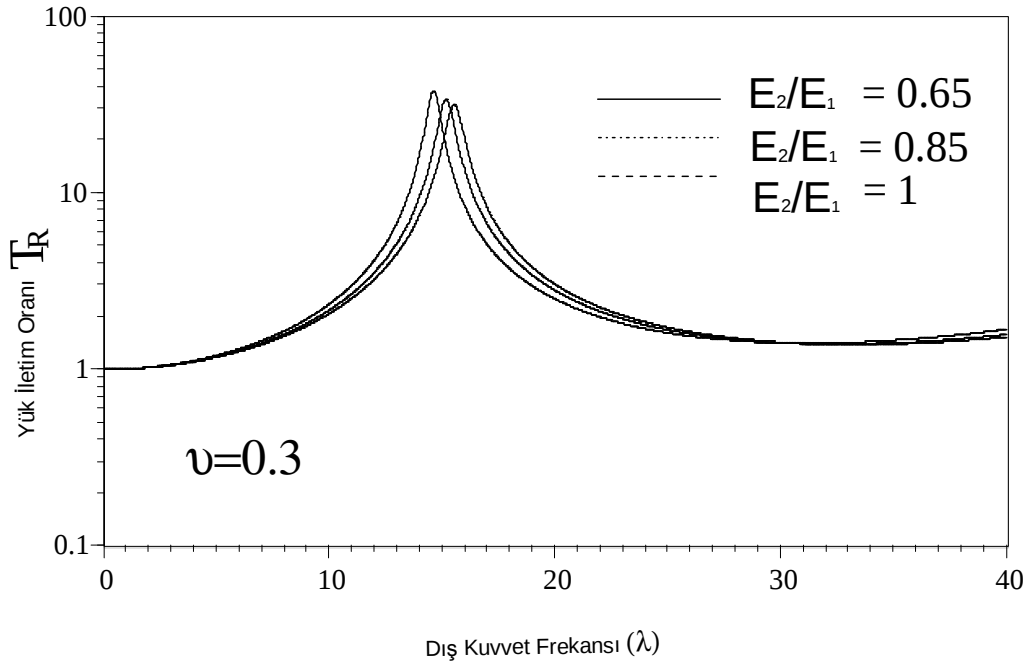
Şekil 3.38-39-40-41-42-43 de E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri incelenmiştir. İlave kütle 0 (kütlesiz), yay katsayısı 1000 ve sönüm katsayısı 10 değerleri sabit olmak üzere poisson oranının farklı değerleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. E_2/E_1 oranı arttıkça tepe noktası frekans değerinin arttığı şekil 3.38, 3.39, 3.40, 3.41, 3.42 ve 3.43 de görülmektedir. Poisson oranını artması ile de tepe noktasının frekans değerinin arttığı görülmektedir.



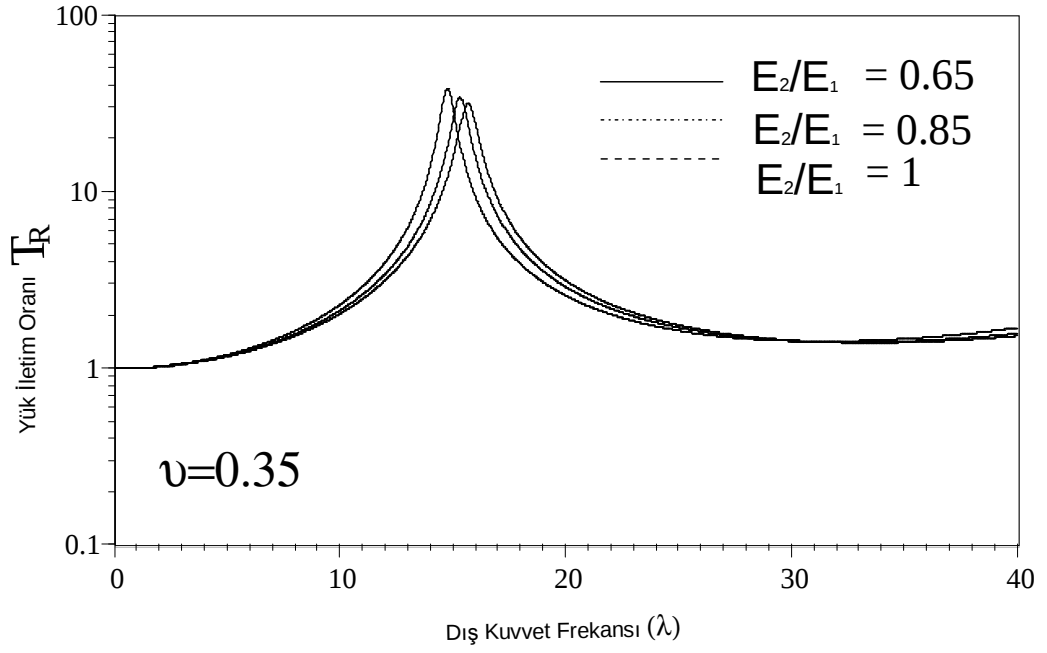
Şekil 3.38 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $v = 0.2$)



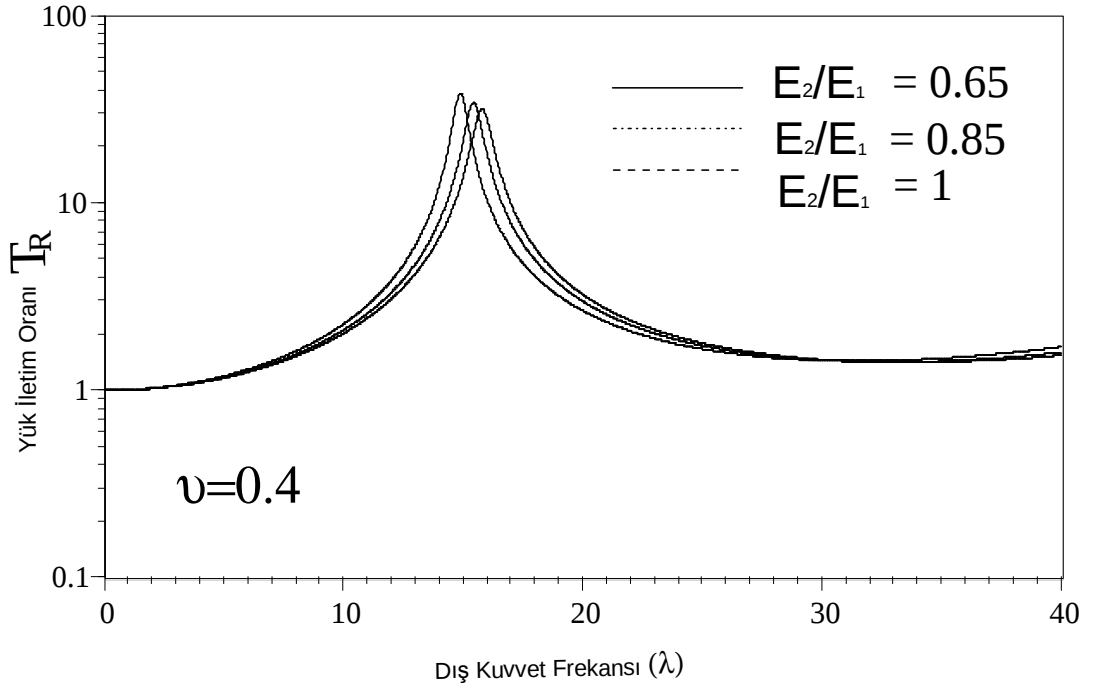
Şekil 3.39 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.25$)



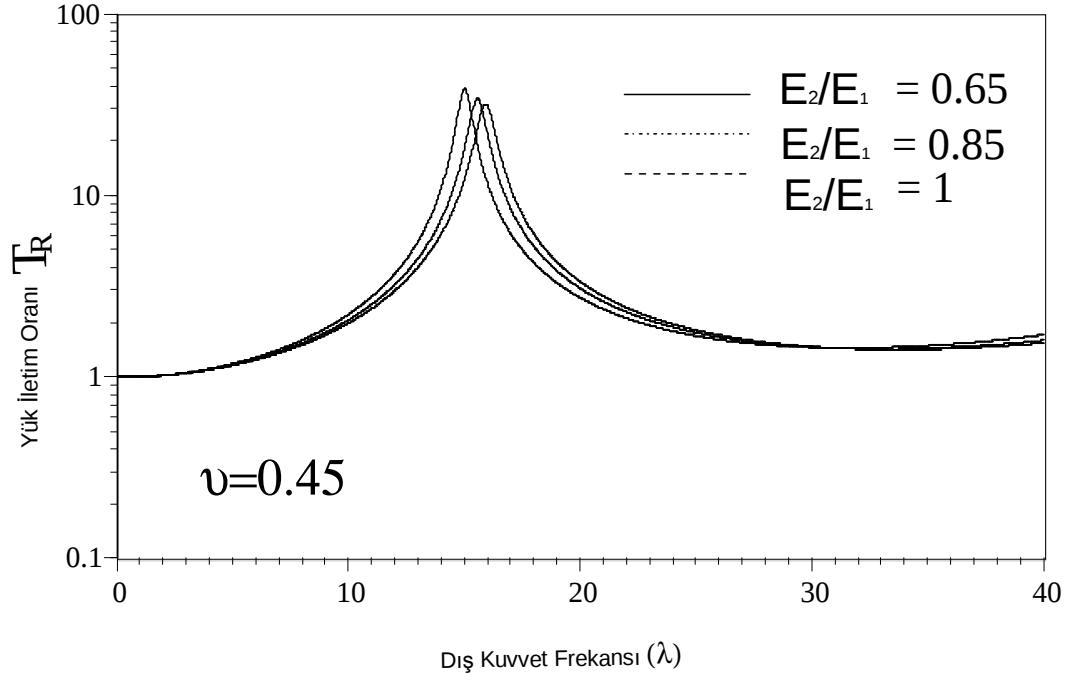
Şekil 3.40 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$)



Şekil 3.41 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa=1000$, $\gamma=10$, $\mu=0$, $\nu=0.35$)

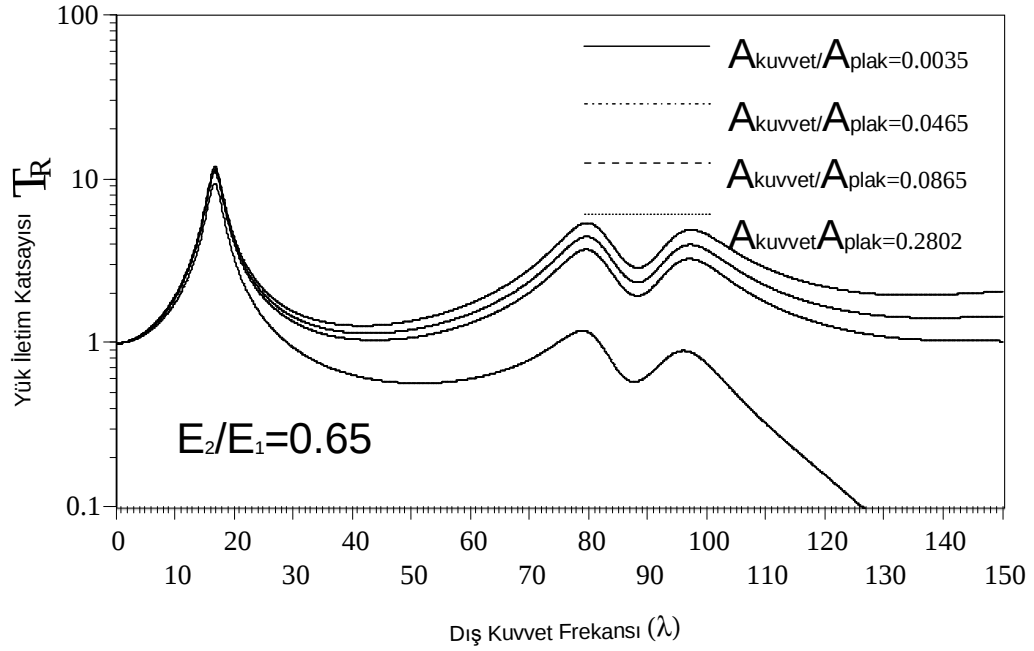


Şekil 3.42 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa=1000$, $\gamma=10$, $\mu=0$, $\nu=0.4$)

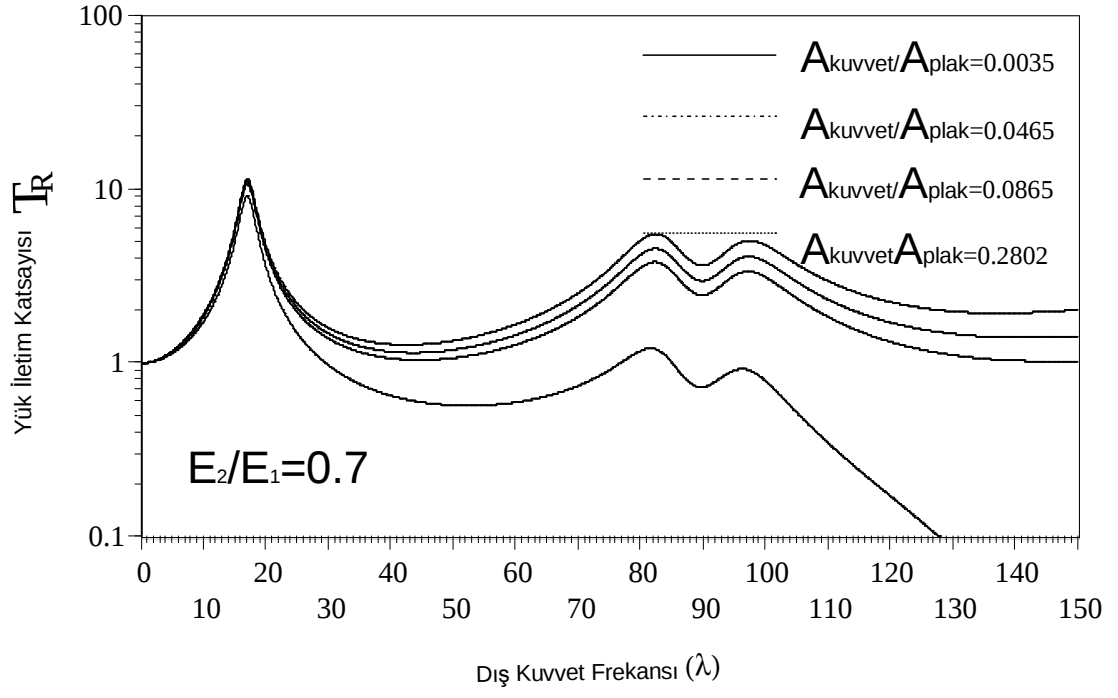


Şekil 3.43 E_2/E_1 oranının değişiminin yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1000$, $\gamma = 10$, $\mu = 0$, $v = 0.45$)

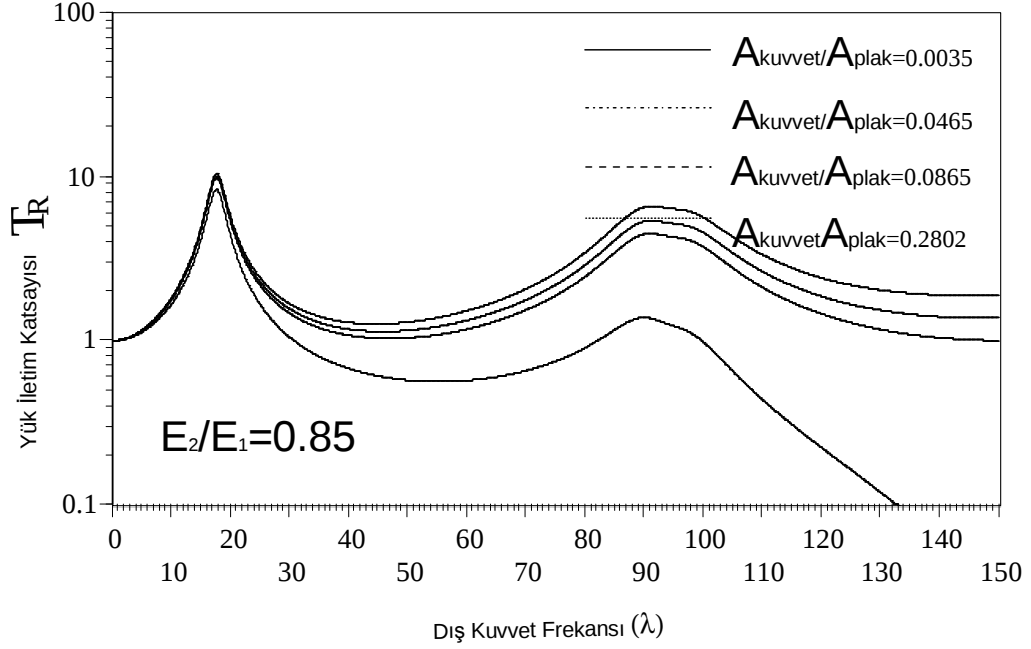
Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri, yay katsayısı 1500, sönüm katsayısı 150, kütle 0 (kütlesiz) ve poisson oranı 0.3 sabit olmak üzere E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri Şekil 3.44, 3.45, 3.46 ve 3.47 de ayrı ayrı incelenmiştir. Serbest titreşim analizine benzer biçimde, iletim eğrilerinin oluşturduğu pik değerlerdeki frekans için malum kurallar yoktur. Ek olarak, kuvvet yayılım alanı ile iletim değerlerinin piki arasında sadece farklı modlar arasında değil aynı zamanda aynı modlar arasındada bilinen bir ilişki yoktur. Başka bir deyişle farklı mod bölgelerinin kuvvet yayılım ayarlanması için kuvvetin daha iyi sönümlenmesi yolunda genelleştirilmiş bir kural yoktur.



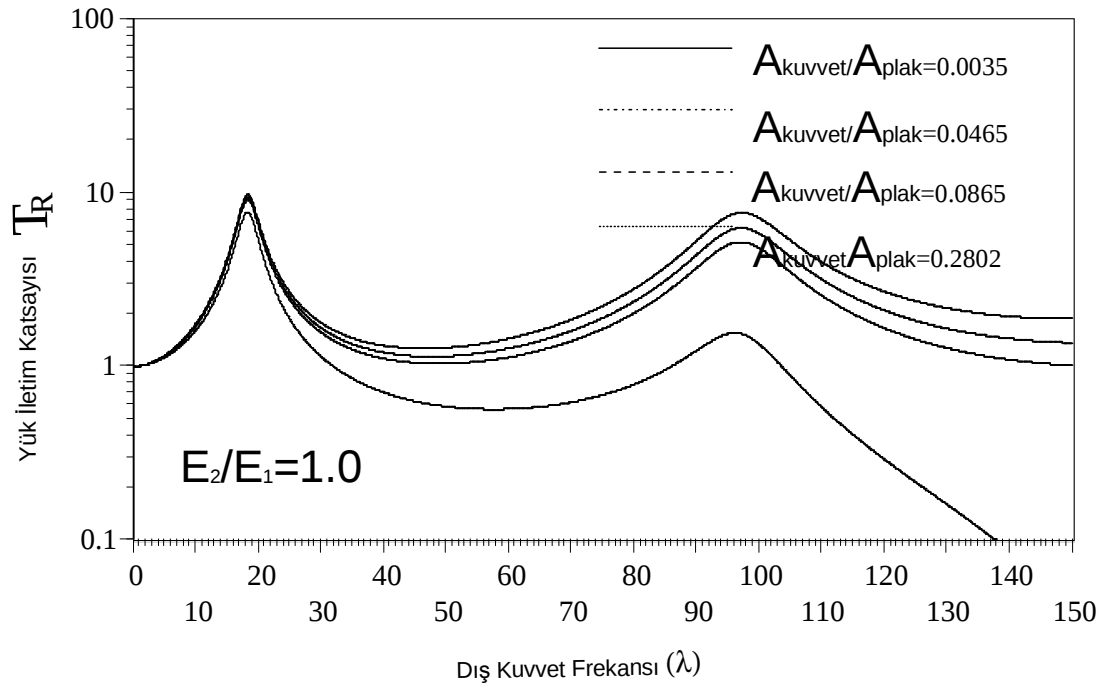
Şekil 3.44 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1 = 0.65$)



Şekil 3.45 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.7$)

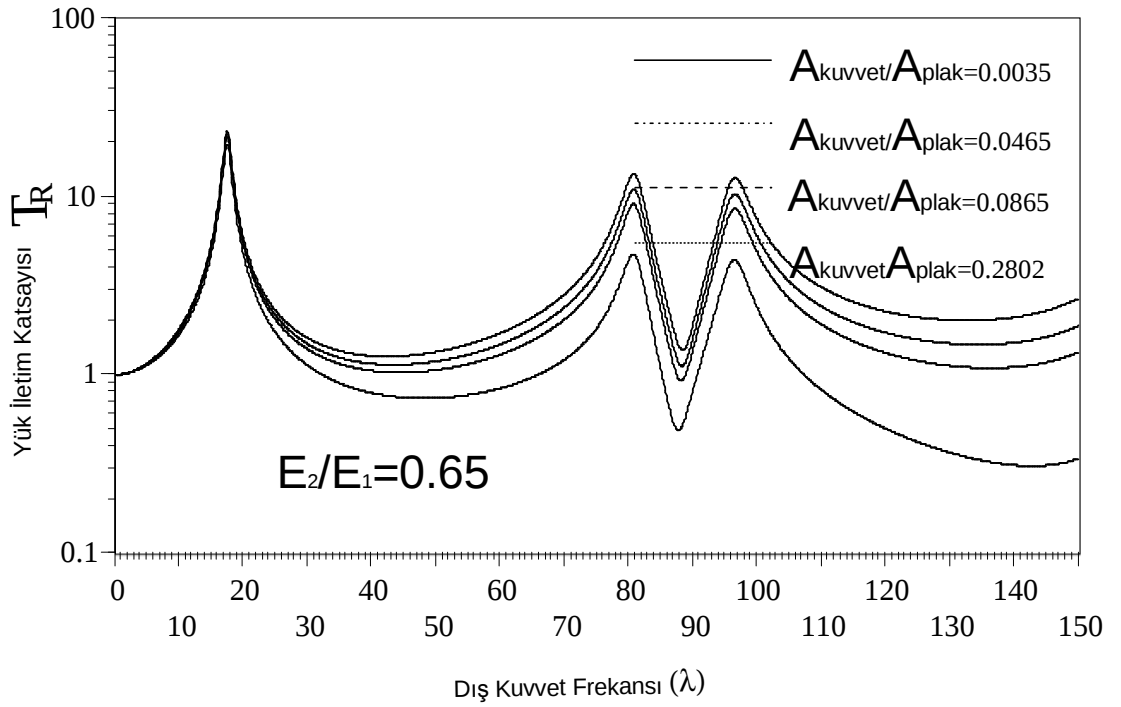


Şekil 3.46 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.85$)

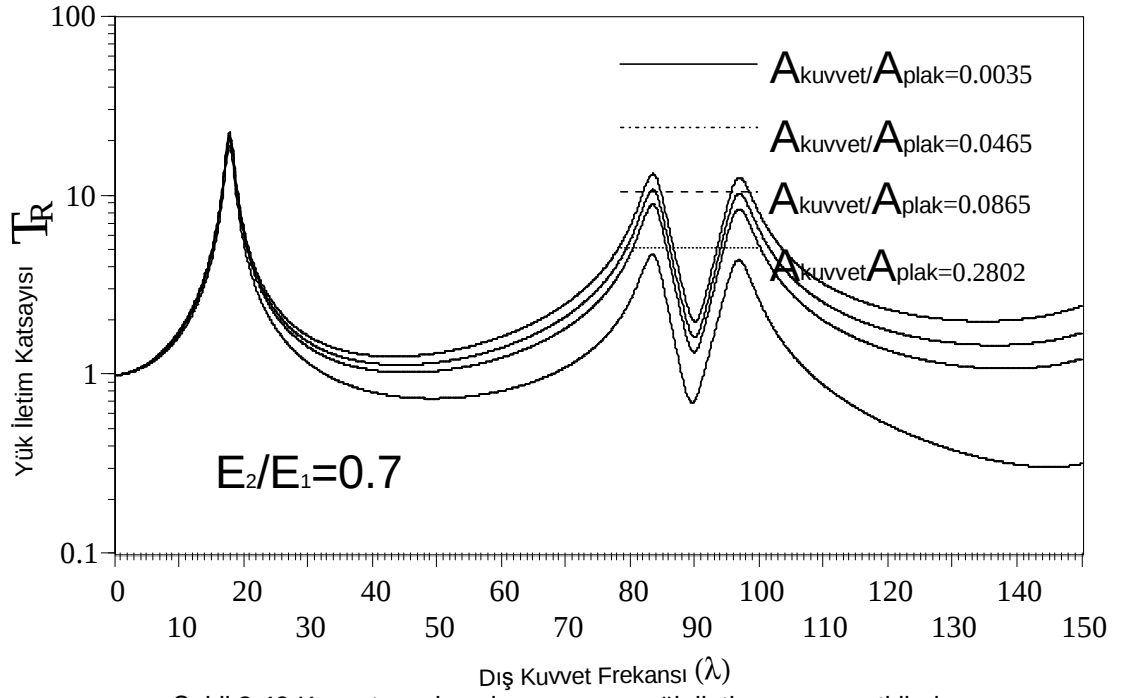


Şekil 3.47 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1500$, $\gamma = 150$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=1.0$)

Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri, yay katsayısı 1500, sönüm katsayısı 450, kütle 0 (kütlesiz) ve poisson oranı 0.3 sabit olmak üzere E_2/E_1 oranının 0.65, 0.7, 0.85 ve 1.0 değerleri şekil 3.48, 3.49, 3.50 ve 3.51 de ayrı ayrı incelenmiştir. Farklı kuvvet yayılım alanlarına sahip eğrilerin benzer bir eğri oluşturdukları, yayılım alanının artmasıyla eğrilerin arasında açılmalar olduğu görülmektedir. Ayrıca farklı E_2/E_1 oranları için çizilen grafiklere bakıldığında bu oranın artmasıyla birlikte şekil 3.48, 3.49, 3.50 ve 3.51 de sönümlenme etkisinin arttığı görülmektedir.

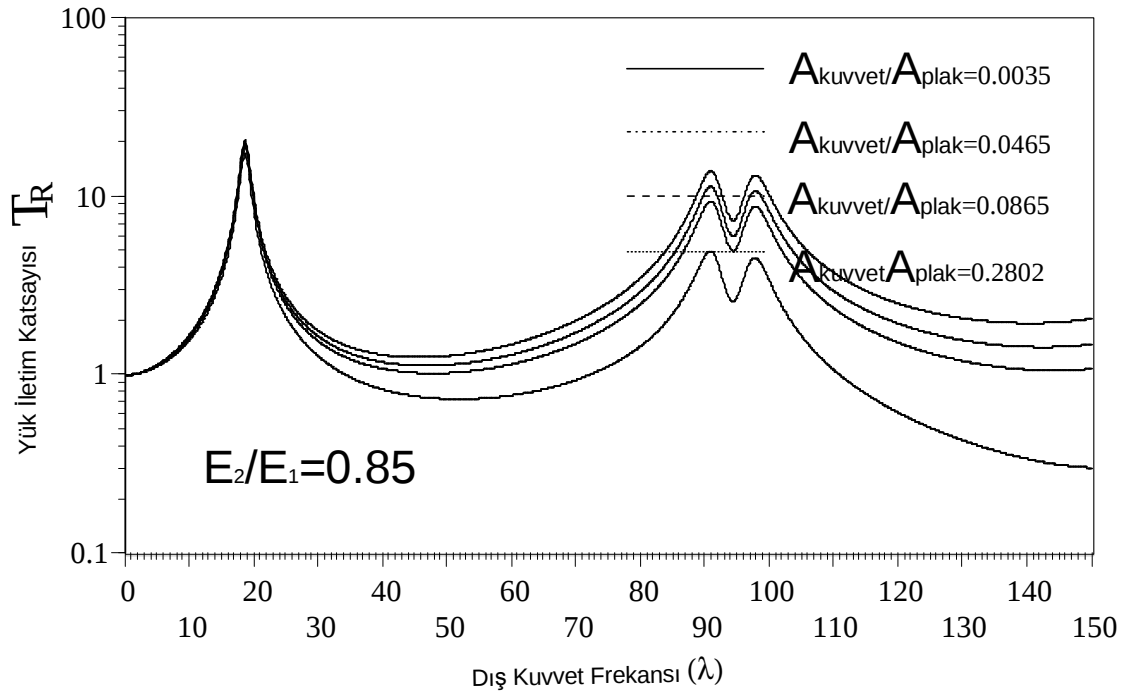


Şekil 3.48 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1 = 0.65$)



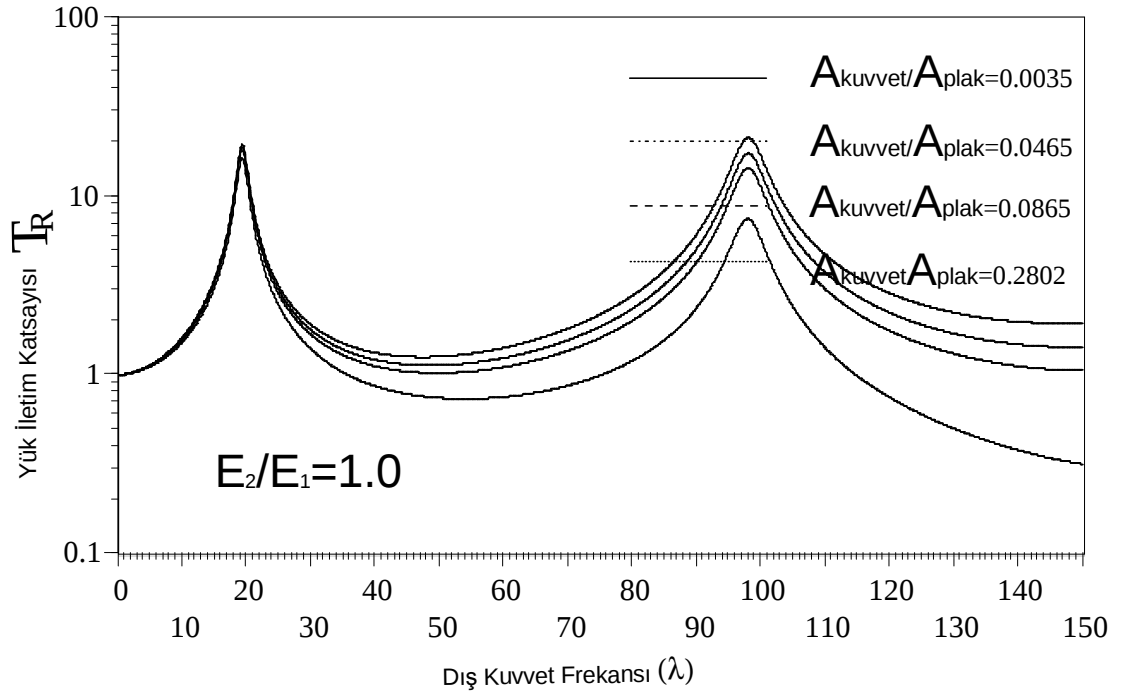
Şekil 3.49 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri

($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.7$)



Şekil 3.50 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri

($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=0.85$)



Şekil 3.51 Kuvvet yayılım alanı oranının yük iletim oranına etkileri
 ($\kappa = 1500$, $\gamma = 450$, $\mu = 0$, $\nu = 0.3$, $E_2/E_1=1.0$)

4) SONUÇLAR

Bu tez kapsamında viskoelastik mesnetli ilave kütle taşıyan ortotropik plakların periyodik titreşim analizleri incelenmiştir.

Sayısal uygulamalarda dört kenarı boyunca viskoelastik mesnetli ortotropik kare plak kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında analizi yapılan sistemlerin sonucu göstermektedir ki serbest titreşim karakteristiği kütle yayılım alanının değişimine çok hassastır. Kütle yayılım alanının değişmesi serbest titreşimi etkilemektedir. Zorlanmış titreşim analizlerinde ise hassasiyet iletim eğrisinin tepe noktalarındaki frekans değerlerinin değişiminde görülmüştür. Yüksek hassasiyet olmasına rağmen kütle yayılımının, serbest ve zorlanmış titreşim parametrelerinin farklı modlar açısından davranış eğilimine etkisinin kesin kuralları yoktur.

Analizler sonucunda E_2/E_1 oranı değişiminin plağın serbest titreşim ve zorlanmış titreşimi etkilediği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda E_2/E_1 oranının artmasıyla temel mod frekansının arttığı söylenebilmektedir. Ama E_2/E_1 oranının değişiminin yüksek modlara olan etkisi çok ilginçtir.

Yüksek modlarda yapılan analizlerde poisson oranı ve kütle miktarı değişiminin etkili olduğu görülmüştür. Fakat poisson oranı ve kütle miktarı değişiminin etkisi E_2/E_1 oranının değişiminin etkisine nazaran daha azdır.

Tez kapsamında kuvvet yayılım alanı için yapılan çalışmada, kuvvet yayılım alanı oranı ile iletim değerlerinin piki arasında sadece farklı modlar arasında değil aynı zamanda aynı modlar arasındada bilinen bir ilişkiye rastlanmadığı görülmüştür. Başka bir deyişle farklı mod bölgelerinin kuvvet yayılım ayarlanması için kuvvetin daha iyi sönümlenmesi yolunda genelleştirilmiş bir kural olmadığı söylenebilir.

Yapılan çalışma açıkça göstermektedir ki temel mod bölgelerinin davranışı analiz parametrelerine dayanan daha yüksek modların davranışlarının anlaşılmasına rehber olamaz.

Kaynaklar

1. Greshgorin S.(1933), Vibrations of plates located by concentrated masses *Prikl.Mat. Mekh.*, 1, 25-37.
2. Amba-Rao C.(1964) On the Vibration of a Rectangular Plate Carrying a Concentrated Mass. *Journal of Applied Mechanics* 31, 550-551.
- 3 Magrab, E.(1968) Vibration of a rectangular plate with attached masses. *Journal of Applied Mechanics*, 35, 411-412.
- 4.Cha, P. (1997) Free vibration of a rectangular plate carrying a concentrated mass. *Journal of Sound and Vibration*, 207, 593-596.
5. Laura, P., and Gutierrez, R.(1981) Transverse vibrations of thin, elastic plates with concentrated masses and internal elastic supports. *Journal of Sound and Vibration*, 75 135-143.
6. Li, W., and Daniels, M.(2002) A Fourier series method for the vibrations of elastically restrained plates arbitrarily loaded with springs and masses. *Journal of Sound and Vibration*, 252, 768-781.
7. Kopmaz, O., and Telli S.(2002) Free vibrations of a rectangular plate carrying a distibuted mass. *Journal of Sound and Vibration*, 251, 39-57.
8. Wong, W.(2002) The effect of distributed mass loading on plate vibration behavior. *Journal of Sound and Vibration*, 252, 577-583.
9. Altintas, G., and Goktepe, A. B.(2007) The Effect of Orthotropic Materials on The Vibration Characteristics of Structural Systems. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 35, 363-380. 24
10. Alibeigloo, A., Shakeri, M., and Kari, M. R. Free vibration analysis of antisymmetric laminated rectangular plates with distributed patch mass using thirdorder shear deformation theory. *Ocean Engineering* , (Accepted Paper).
- 11.Altintas, G. and Bagci, M.(2005) Determination of the steady-state response of Viscoelastically supported rectangular orthotropic mass loaded plates by an Energy based finite difference method. *Journal of Vibration and Control*, 11(12), 1535-1552.

- 12.** Avalos, D., Larrando, H., and Laura, P. A. A.(1989) Free and Forced vibrations of a simply supported rectangular plate partially embedded in an elastic foundation. *Applied Acoustics*, 28, 295-300.
- 13.** Altintas, G., and Bagci, M.(2004) Determination of the steady-state response of Viscoelastically supported rectangular specially orthotropic plates with varying supported area. *International Journal for Engineering Modelling*, 17(3), 61-69.
- 14.** Gladun, E. Yu.(2000) Dependence of the critical load on the geometric characteristics of a hinged plate with a crack. *Prikl. Mekh.*, 36(9).
- 15.** Babich, D. V., and Khoroshun, L. P.(2001) Stability and natural vibrations of shells with variable geometric and mechanical parameters. *Prikl. Mekh.*, 37(7), 18-50.
- 16.** Godzula, V. F., and Shnerenko, K. I. (2002) The stres-strain state of a composite spherical shell with two polar openings. *Prikl. Mekh.*, 38(3).
- 17.** Aksu, G., and Felemban, M.(1992) Frequency analysis of corner point supported Mindlin plates by a finite difference energy method. *Journal of Sound and Vibration*, 158, 531-544.25
- 18.** Aksu, G., and Al-Kaabi, S. (1987) Free vibration analysis of Mindlin plates with linearly varying thickness. *Journal of Sound and Vibration*, 119, 189-205.
- 19.** Kocaturk, T., and Altintas, G.(2003) Determination of the steady state response of viscoelastically point-supported rectangular specially orthotropic plates by an energy based finite difference method. *Journal of Sound and Vibration*, 267, 1143– 1156.
- 20.** Paksoy, M.B. (2006), Viskoelastik mesnetli plaklarda mesnet bölgesi alanının titreşim özelliklerine olan etkisinin analizi. 3,13,27

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 01.Haziran.1982

Doğum Yeri Sivas/Zara

İnşaat Mühendisliği Eğitimleri

Lisans	2000-2004	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans	2005-2008	Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programı