T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ TİMOSHENKO KİRİŞİNİN ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA DİNAMİK ANALİZİ

MERTER ALTINÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE TEORİSİ VE KONTROL PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. CİHAN DEMİR

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ TİMOSHENKO KİRİŞİNİN ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA DİNAMİK ANALİZİ

Merter ALTINÖZ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Cihan DEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Cihan DEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Şenol ATAOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, uzunluğu L, kalınlığı h, genişliği b olan, kalınlığı boyunca fonksiyonel derecelendirilmiş olan kiriş, Timoshenko kiriş teorisi kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve çeşitli sınır şartlarında dinamik davranışları incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerle ilgili literatürde yapılmış çalışmalarla ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca tezin amacı ve ortaya koyduğu orijinal katkıdan söz edilmiştir.

İkinci bölümde, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, Timoshenko kiriş teorisine göre, sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Ayrıca analizi yapılacak üç farklı sınır şartı için, global rijitlik ve kütle matrisleri oluşturulmuş ve hareket denklemleri elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde, üç farklı sınır şartı için elde edilen dinamik analiz sonuçları incelenmiştir. Ayrıca geçmişte yapılmış çalışmalarla sayısal sonuç kıyaslaması yapılarak modelin doğruluğu gözden geçirilmiştir.

Dördüncü ve son bölümde ise önceki bölümde elde edilen sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu tezin hazırlanması için yakın ilgisiyle, derin bilgi birikimini benimle paylaşan, çok değerli zamanını bana fazlasıyla ayıran, bilimsel anlamdaki katkılarıyla ufkumu açan kıymetli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Cihan Demir'e, iyi günde, kötü günde yanımda olan biricik eşime, beni kendinden çok seven sevgili anneme ve maddi, manevi desteğiyle bu tezi tamamlamamdaki en büyük motivasyonu sağlayan aslan babama teşekkürü borç bilirim.

Nisan, 2016

Merter ALTINÖZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi
KISALTMA LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
ÇİZELGE LİSTESİ xi
ÖZET xiii
ABSTRACT xiv
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Orijinal Katkı 5
BÖLÜM 2
FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KİRİŞİN MATEMATİKSEL MODELİ 6
2.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Kalınlık Boyunca Değişimi 6
2.2 Şekil Fonksiyonları 8
2.2.1 Boyuna Uzama Hali İçin Şekil Fonksiyonu 8
2.2.2 Eğilme İçin Şekil Fonksiyonu 9
2.2.3 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Şekil Fonksiyonları 12
2.3 Timoshenko Kiriş Teorisi'nin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişe Uygulanması 13
2.3.1 Potansiyel Enerji Denklemi 13
2.3.2 Kinetik Enerji Denklemi 14
2.4 Sonlu Elamanlar Modeli 15
2.4.1 Sonlu Elamanın Rijitlik Matrisi 15
2.4.2 Sonlu Elamanın Kütle Matrisi 16
2.4.3 Global Matrisler ve Hareket Denklemleri 18
2.4.3.1 İki Ucundan Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Hareket Denklemleri 19
2.4.3.2 Viskoelastik Mesnetlenmiş Kirişin Hareket Denklemleri 20
2.4.3.3 Yay Mesnetli Kirişin Ortasından Uygulanan Harmonik Kuvvet Etkisindeki Hareket Denklemleri 21
BÖLÜM 3
SAYISAL SONUÇLAR 24

3.1 Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Serbest Titreşim Analizi 24
3.1.1 Çalışmanın Literatürdeki Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması 25
3.1.2 Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Serbest Titreşim Analiz Grafikleri 27
3.2 Viskoelastik Mesnetlenmiş Kirişin Serbest Sönümlü Titreşim Analizi 32
3.2.1 T_{Oran}=5, K=0 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri..... 33
3.2.2 T_{Oran}=5, K=1 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri..... 35
3.2.3 T_{Oran}=5, K=10 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri 38
3.2.4 T_{Oran}=5, K=100 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri ... 41
3.2.5 T_{Oran}=5, K=1000 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri . 43
3.2.6 T_{Oran}=20, K=0 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri 45
3.2.7 T_{Oran}=20, K=1 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri 48
3.2.8 T_{Oran}=20, K=10 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri ... 50
3.2.9 T_{Oran}=20, K=100 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri . 53
3.2.10 T_{Oran}=20, K=1000 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Grafikleri 55
3.3 İki Ucundan Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Ortadan Uygulanan Harmonik Kuvvet Etkisindeki Titreşim Analizi 57
3.3.1 T_{oran}=10 ve E_r=0,25 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 60
3.3.2 T_{oran}=10 ve E_r=0.5 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 63
3.3.3 T_{oran}=10 ve E_r=1 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 67
3.3.4 T_{oran}=10 ve E_r=2 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 70
3.3.5 T_{oran}=10 ve E_r=3 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 74
3.3.6 T_{oran}=10 ve E_r=4 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 77
3.3.7 T_{oran}=20 ve E_r=0.25 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 81
3.3.8 T_{oran}=20 ve E_r=0.5 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 84
3.3.9 T_{oran}=20 ve E_r=1 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 88
3.3.10 T_{oran}=20 ve E_r=2 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 91
3.3.11 T_{oran}=20 ve E_r=3 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 95
3.3.12 T_{oran}=20 ve E_r=4 İçin Harmonik Analiz Grafikleri 98

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER 102

KAYNAKLAR 105

EK-A

İKİ UCUNDAN YAYLA MESNETLENMİŞ KİRİŞİN DOĞAL FREKANS DEĞERLERİ 107

EK-B

İKİ UCUNDAN VİSKOELASTİK MESNETLENMİŞ KİRİŞİN DOĞAL FREKANS DEĞERLERİ 114

ÖZGEÇMİŞ 145

SİMGE LİSTESİ

b	Kiriş genişliği
C	Boyutsuzlaştırılmış sönüm katsayısı
C_s	Sönümleme katsayısı
E	Elastiklik modülü
E_r	Elastiklik modülü oranı
G	Kayma modülü
h	Kiriş kalınlığı
I	Atalet momenti
k_s	Yay katsayısı
L	Kiriş uzunluğu
M	Moment
m	Kirişin sonlu eleman sayısı
n	Kuvvet kanunu üsteli
p	Kirişin sonlu elemanlar modelindeki düğüm sayısı
P_U	Üst yüzeydeki malzemenin fiziksel özellik parametresi
P_L	Alt yüzeydeki malzemenin fiziksel özellik parametresi
R_s	Yay potansiyel enerjisi
T	Kinetik Enerji
T_R	Kuvvet iletimi
T_{Oran}	Kiriş uzunluğunun kiriş kalınlığına oranı
u	Eksenel yer değiştirme
U	Potansiyel enerji
V	Kuvvet
V_s	Sönümleme fonksiyonu
w	Düşey eksendeki yer değiştirme
κ	Boyutsuzlaştırılmış yay katsayısı
λ	Boyutsuzlaştırılmış frekans parametresi
ρ	Malzeme yoğunluğu
υ	Poisson oranı
θ	Kirişin orta kesit dönmesi
σ_{xx}	Eksenel gerilme
ε_{xx}	Eksenel birim uzama
γ_{xz}	Kayma birim dönmesi
$\{q\}$	Yer değiştirmeler vektörü

KISALTMA LİSTESİ

CBT	Classical Beam Theory
FD	Fonksiyonel Derecelendirilmiş
FDM	Fonkisyonel Derecelendirilmiş Malzeme
FDK	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş
FEM	Finite Element Method
FG	Functionally Graded
FGM	Functionally Graded Material
FSDBT	First Order Shear Deformation Theory

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (ZrO_2/NiCoCrAlY 1
Şekil 2. 1 Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş 6
Şekil 2. 2 Elastiklik modülünün kalınlık boyunca değişimi 7
Şekil 2. 3 Özgül kütlenin kalınlık boyunca değişimi 7
Şekil 2. 4 i'nci kiriş elemanının serbestlik dereceleri 8
Şekil 2. 5 Bir Timoshenko kirişi elemanına etkiyen kuvvet ve momentler 9
Şekil 2. 6 Yayla mesnetlenmiş kiriş 19
Şekil 2. 7 Viskoelastik mesnetlenmiş kiriş 20
Şekil 2. 8 Harmonik kuvvet uygulanan, yayla mesnetlenmiş kiriş 21
Şekil 3. 1 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 1. mod frekans parametreleri 29
Şekil 3. 2 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 2. mod frekans parametreleri 29
Şekil 3. 3 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 3. mod frekans parametreleri 30
Şekil 3. 4 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 1. mod frekans parametreleri 30
Şekil 3. 5 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 2. mod frekans parametreleri 31
Şekil 3. 6 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 3. mod frekans parametreleri 31
Şekil 3. 7 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=0, 1. mod frekans parametreleri 34
Şekil 3. 8 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=0, 2. mod frekans parametreleri 35
Şekil 3. 9 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=0, 3. mod frekans parametreleri 35
Şekil 3. 10 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1, 1. mod frekans parametreleri 37
Şekil 3. 11 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1, 2. mod frekans parametreleri 37
Şekil 3. 12 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1, 3. mod frekans parametreleri 38
Şekil 3. 13 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=10, 1. mod frekans parametreleri 39
Şekil 3. 14 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=10, 2. mod frekans parametreleri ... 40
Şekil 3. 15 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=10, 3. mod frekans parametreleri 40
Şekil 3. 16 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=100, 1. mod frekans parametreleri .. 42
Şekil 3. 17 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=100, 2. mod frekans parametreleri .. 42
Şekil 3. 18 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=100, 3. mod frekans parametreleri .. 43
Şekil 3. 19 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1000,1. mod frekans parametreleri . 44
Şekil 3. 20 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1000,2. mod frekans parametreleri . 44
Şekil 3. 21 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5,K=1000,3. mod frekans parametreleri . 45
Şekil 3. 22 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=0, 1. mod frekans parametreleri 46
Şekil 3. 23 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=0, 2. mod frekans parametreleri 47
Şekil 3. 24 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=0, 3. mod frekans parametreleri 47
Şekil 3. 25 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1, 1. mod frekans parametreleri 49
Şekil 3. 26 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1, 2. mod frekans parametreleri 49

Şekil 3. 27 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1, 3. mod frekans parametreleri 50
Şekil 3. 28 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=10, 1. mod frekans parametreleri .. 51
Şekil 3. 29 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=10, 2. mod frekans parametreleri . 52
Şekil 3. 30 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=10, 3. mod frekans parametreleri .. 52
Şekil 3. 31 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=100, 1. mod frekans parametreleri 54
Şekil 3. 32 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=100, 2. mod frekans parametreleri 54
Şekil 3. 33 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=100, 3. mod frekans parametreleri 55
Şekil 3. 34 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1000,1.mod frekans parametreleri 56
Şekil 3. 35 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1000,2.mod frekans parametreleri 56
Şekil 3. 36 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=20,K=1000,3.mod frekans parametreleri 57
Şekil 3. 37 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 60
Şekil 3. 38 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 60
Şekil 3. 39 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 61
Şekil 3. 40 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 61
Şekil 3. 41 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 62
Şekil 3. 42 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 62
Şekil 3. 43 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 63
Şekil 3. 44 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 63
Şekil 3. 45 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 64
Şekil 3. 46 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 64
Şekil 3. 47 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 65
Şekil 3. 48 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 65
Şekil 3. 49 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 66
Şekil 3. 50 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 66
Şekil 3. 51 T_{oran}=10, E_r=1, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 67
Şekil 3. 52 T_{oran}=10, E_r=1, n=0.1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 67
Şekil 3. 53 T_{oran}=10, E_r=1, n=0.2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 68
Şekil 3. 54 T_{oran}=10, E_r=1, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 68
Şekil 3. 55 T_{oran}=10, E_r=1, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 69
Şekil 3. 56 T_{oran}=10, E_r=1, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 69
Şekil 3. 57 T_{oran}=10, E_r=1, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 70
Şekil 3. 58 T_{oran}=10, E_r=2, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 70
Şekil 3. 59 T_{oran}=10, E_r=2, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 71
Şekil 3. 60 T_{oran}=10, E_r=2, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 71
Şekil 3. 61 T_{oran}=10, E_r=2, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 72
Şekil 3. 62 T_{oran}=10, E_r=2, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 72
Şekil 3. 63 T_{oran}=10, E_r=2, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 73
Şekil 3. 64 T_{oran}=10, E_r=2, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 73
Şekil 3. 65 T_{oran}=10, E_r=3, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 74
Şekil 3. 66 T_{oran}=10, E_r=3, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 74
Şekil 3. 67 T_{oran}=10, E_r=3, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 75
Şekil 3. 68 T_{oran}=10, E_r=3, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 75
Şekil 3. 69 T_{oran}=10, E_r=3, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 76
Şekil 3. 70 T_{oran}=10, E_r=3, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 76
Şekil 3. 71 T_{oran}=10, E_r=3, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 77
Şekil 3. 72 T_{oran}=10, E_r=4, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 77
Şekil 3. 73 T_{oran}=10, E_r=4, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 78
Şekil 3. 74 T_{oran}=10, E_r=4, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 78
Şekil 3. 75 T_{oran}=10, E_r=4, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 79

Şekil 3. 76 T_{oran}=10, E_r=4, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 79
Şekil 3. 77 T_{oran}=10, E_r=4, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 80
Şekil 3. 78 T_{oran}=10, E_r=4, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 80
Şekil 3.79 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 81
Şekil 3. 80 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 81
Şekil 3. 81 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 82
Şekil 3. 82 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 82
Şekil 3. 83 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 83
Şekil 3. 84 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 83
Şekil 3. 85 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 84
Şekil 3. 86 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 84
Şekil 3. 87 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 85
Şekil 3. 88 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 85
Şekil 3. 89 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 86
Şekil 3. 90 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 86
Şekil 3. 91 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 87
Şekil 3. 92 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 87
Şekil 3. 93 T_{oran}=20, E_r=1, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 88
Şekil 3. 94 T_{oran}=20, E_r=1, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 88
Şekil 3. 95 T_{oran}=20, E_r=1, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 89
Şekil 3. 96 T_{oran}=20, E_r=1, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 89
Şekil 3. 97 T_{oran}=20, E_r=1, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 90
Şekil 3. 98 T_{oran}=20, E_r=1, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 90
Şekil 3. 99 T_{oran}=20, E_r=1, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 91
Şekil 3.100 T_{oran}=20, E_r=2, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 91
Şekil 3.101 T_{oran}=20, E_r=2, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 92
Şekil 3.102 T_{oran}=20, E_r=2, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 92
Şekil 3.103 T_{oran}=20, E_r=2, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği 93
Şekil 3.104 T_{oran}=20, E_r=2, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 93
Şekil 3.105 T_{oran}=20, E_r=2, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 94
Şekil 3.106 T_{oran}=20, E_r=2, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 94
Şekil 3.107 T_{oran}=20, E_r=3, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 95
Şekil 3.108 T_{oran}=20, E_r=3, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 95
Şekil 3.109 T_{oran}=20, E_r=3, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 96
Şekil 3.110 T_{oran}=20, E_r=3, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 96
Şekil 3.111 T_{oran}=20, E_r=3, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 97
Şekil 3.112 T_{oran}=20, E_r=3, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 97
Şekil 3.113 T_{oran}=20, E_r=3, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 98
Şekil 3.114 T_{oran}=20, E_r=4, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 98
Şekil 3.115 T_{oran}=20, E_r=4, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 99
Şekil 3.116 T_{oran}=20, E_r=4, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 99
Şekil 3.117 T_{oran}=20, E_r=4, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 100
Şekil 3.118 T_{oran}=20, E_r=4, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 100
Şekil 3.119 T_{oran}=20, E_r=4, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 101
Şekil 3.120 T_{oran}=20, E_r=4, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği..... 101

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Li [5] çalışmasıyla kıyaslama 26
Çizelge 3.2 Sina vd.[7] çalışmasıyla kıyaslama 26
Çizelge 3.3 L/h=5 için Şimşek [8] çalışmasıyla kıyaslama 27
Çizelge 3.4 L/h=20 için Şimşek [8] çalışmasıyla kıyaslama 27
Çizelge 3.5 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0,1, κ=1 için serbest titreşim frekansları 59
Çizelge EK-A.1 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 1. mod frekans parametreleri 108
Çizelge EK-A.2 Yay mesnetli kiriş, T_{oran} =5, 2. mod frekans parametreleri 109
Çizelge EK-A.3 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 3. mod frekans parametreleri 110
Çizelge EK-A.4 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 1. mod frekans parametreleri 111
Çizelge EK-A.5 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 2. mod frekans parametreleri 112
Çizelge EK-A.6 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 3. mod frekans parametreleri 113
Çizelge EK-B.1 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 1. mod frekansları..... 115
Çizelge EK-B.2 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 2. mod frekansları..... 116
Çizelge EK-B.3 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 3. mod frekansları..... 117
Çizelge EK-B.4 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 1. mod frekansları..... 118
Çizelge EK-B.5 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 2. mod frekansları..... 119
Çizelge EK-B.6 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 3. mod frekansları..... 120
Çizelge EK-B.7 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 1. mod frekansları..... 121
Çizelge EK-B.8 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 2. mod frekansları..... 122
Çizelge EK-B.9 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 3. mod frekansları..... 123
Çizelge EK-B.10 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 1. mod frekansları 124
Çizelge EK-B.11 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 2. mod frekansları..... 125
Çizelge EK-B.12 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 3. mod frekansları..... 126
Çizelge EK-B.13 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 1. mod frekansları... 127
Çizelge EK-B.14 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 2. mod frekansları... 128
Çizelge EK-B.15 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 3. mod frekansları... 129
Çizelge EK-B.16 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 1. mod frekansları..... 130
Çizelge EK-B.17 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 2. mod frekansları..... 131
Çizelge EK-B.18 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 3. mod frekansları..... 132
Çizelge EK-B.19 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 1. mod frekansları..... 133
Çizelge EK-B.20 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 2. mod frekansları..... 134
Çizelge EK-B.21 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 3. mod frekansları..... 135
Çizelge EK-B.22 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 1. mod frekansları..... 136
Çizelge EK-B.23 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 2. mod frekansları..... 137
Çizelge EK-B.24 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 3. mod frekansları..... 138
Çizelge EK-B.25 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 1. mod frekansları... 139
Çizelge EK-B.26 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 2. mod frekansları... 140

Çizelge EK-B.27 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 3. mod frekansları... 141
Çizelge EK-B.28 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 1. mod frekansları. 142
Çizelge EK-B.29 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 2. mod frekansları. 143
Çizelge EK-B.30 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 3. mod frekansları. 144

ÖZET

FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ TİMOSHENKO KİRİŞİNİN ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA DİNAMİK ANALİZİ

Merter ALTINÖZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cihan DEMİR

Bu çalışmada, uzunluğu L, kalınlığı h, genişliği b olan, kalınlığı boyunca fonksiyonel derecelendirilmiş olan kiriş, Timoshenko kiriş teorisi kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve çeşitli sınır şartlarında dinamik davranışları gözlemlenmiştir. Her iki köşesinden düşey yönde yay ile mesnetlenmiş kiriş durumu ve hem yay hem de sönüm elamanlarıyla mesnetlenmiş kiriş durumu için frekans analizleri yapılmıştır. Ayrıca yay ile mesnetlenmiş kirişin orta noktasından uygulanan harmonik kuvvet altındaki dinamik analizi yapılmıştır. Geometrik özellik olan kiriş uzunluğunun kalınlığa oranının, malzeme özelliği olan üst ve alt malzeme elastiklik modülü oranının, kalınlık boyunca malzemenin nasıl bir değişim göstereceğini ifade eden kuvvet kanunu üstelinin, mesnet koşulları olan boyutsuzlaştırılmış yay katsayısı ve boyutsuzlaştırılmış sönüm katsayısının değişiminin kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tüm bu parametrelerin kirişin frekans parametreleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş, Timoshenko kiriş teorisi, sonlu elamanlar yöntemi, doğal frekans analizi, harmonik analiz, frekans parametresi

ABSTRACT

DYNAMIC ANALYSIS OF A FUNCTIONALLY GRADED TIMOSHENKO BEAM UNDER VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS

Merter ALTINÖZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Cihan DEMİR

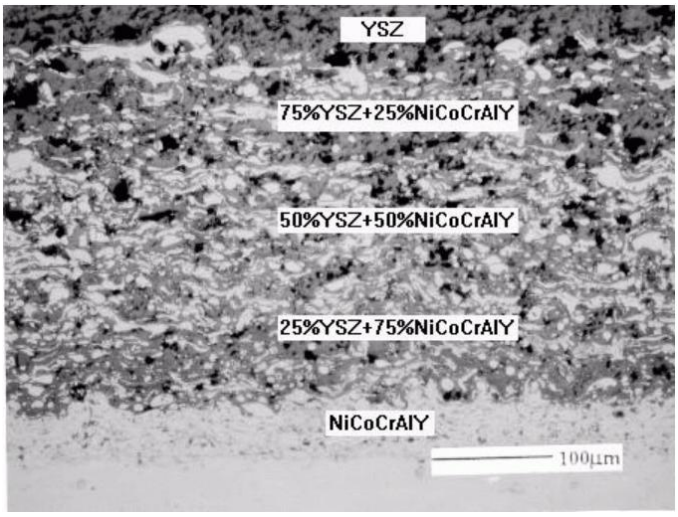
In this study, the dynamic behaviour of a functionally graded beam with the thickness h, length L, width b, is investigated by using Timoshenko beam theory and finite element method under various boundary conditions. The free vibration analysis has been made for two boundary conditions: spring supported and viscoelastically supported in vertical direction from both ends. Furthermore, harmonic analysis has been implemented for the spring supported beam with the harmonic force load in the middle of it. The dynamic behaviour of the beam is studied through variations of the geometric property: lenght-to-thickness ratio , material property: elastic modulus ratio of the top to bottom material, power-law exponent which indicates the gradation of the material along the thickness, support conditions: nondimensional spring coefficient and nondimensional damping coefficient. The results indicate that, all of those parameters have a significant influence on the natural frequency parameters.

Keywords: Functionally graded beam, Timoshenko beam theory, finite element method, free vibration analysis, harmonic analysis, frequency parameter

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Malzeme teknolojisi, günümüzde teknolojik ilerlemelerin içerisinde çok önemli bir yere sahiptir. Birden çok malzemenin fiziksel özelliklerine ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılan, katı haldeyken birleştirilmiş farklı malzeme tabakalarından oluşan kompozit malzemeler, ani malzeme geçişi ve bu geçişin getirdiği ısıl genleşme farkı veya yük altında gerilim süreksizliğinden dolayı bazı uygulama alanlarında yeterli başarı göstermemektedir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, homojen olmayan ve bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme özelliklerinin aşamalı olarak değişim gösterdiği ileri teknoloji kompozit malzemelerdir. Malzemenin aşamalı geçişi sayesinde, malzemedeki gerilim dağılımı düzenli haldedir, laminasyonlu kompozit malzemelerdeki gibi bir çatlak oluşumu veya ilerlemesi gözlemlenmez. İlk olarak Japonya'da 1984 yılında bir uzay aracı projesinde, dış yüzeyi 2000° K sıcaklığa maruz kalıp, 10 mm'lik kalınlığı boyunca sıcaklığı aşamalı olarak 1000° K'e düşürecek bir malzemeye ihtiyaç duyulmuş ve fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme kavramı ortaya çıkmıştır.



Şekil 1.1 Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (ZrO_2/NiCoCrAlY)

Şekil 1.1'de fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeye örnek olarak, ısıl bariyer kaplaması olan ZrO_2/NiCoCrAlY ve kalınlık boyunca değişen malzeme yüzdeleri gösterilmiştir.

FDM'lerin günümüzdeki bazı kullanım alanlarına örnek olarak, yüksek termal geçiş dayanımına ihtiyaç duyan uzay araçları, roket motoru parçaları, diş ve kemik protezleri, çatlak ilerlemesini önleyen yapısından dolayı kurşungeçirmez yelek ve miğferler, termal bariyer ihtiyaçları için gaz motorları türbin kanatları, ışık kırıcı özelliklerinde aşamalı geçişe ihtiyaç duyan optik diskler gösterilebilir. Kullanım alanlarının artmasıyla birlikte son yıllarda fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerle yapılmış yapıların statik ve dinamik davranışlarını anlama ihtiyacı gittikçe önem kazanmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Sankar [1] sinüzodial enlemesine yüke maruz kalan FD kirişin elastikliğini Euler-Bernoulli kiriş teorisi yardımıyla gözlemlemiştir. Young modülü kalınlık boyunca değişirken, Poisson oranı sabit tutulmuştur. Sankar teorinin uzun ve ince kirişlerde geçerli olduğunu, kısa ve kalın kirişlerde ise gerilimin yoğunlaştığını gözlemlemiştir. Ayrıca daha yumuşak olan tarafına kuvvet uygulanan FD kirişlerde, gerilim yoğunlaşmasının homojen kirişlere göre daha az olduğunu ve bunun tam tersinin de doğru olduğunu belirtmiştir.

Chakraborty vd. [2] fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin termoelastik davranışlarını analiz edebilmek için yeni bir kiriş modeli geliştirmiştir. Bu yeni kiriş elemanı birinci dereceli kesme deformasyon kiriş teorisine (FSDBT) dayanmaktadır. Kirişin kalınlık boyunca değişen elastik ve termal özellikleri olduğu kabul edilmiştir. Farklı koşullardaki değişimleri incelemek adına malzeme özellik dağılımını kuvvet kanunu değişimine göre yapmıştır. FD kirişin, saf metal ve saf seramik kirişe göre davranış farklarını incelemek adına serbest titreşim, statik ve dalga yayılım problemleri ele alınmıştır.

Kocatürk ve Şimşek [3], bu çalışmasında farklı mesnet şartlarına sahip Timoshenko kirişlerinin serbest titreşimlerini incelemiştir. Problemin çözümü için Lagrange denklemleri kullanılmıştır. Mesnet şartları Lagrange çarpanları kullanılarak sağlanmıştır. Lagrange denklemlerinin uygulanması için kirişin yer değiştirmelerini ve orta kesit dönmelerini ifade eden çözüm fonksiyonlarının oluşturulmasında polinomlar

kullanmıştır. Lagrange denklemleri kullanarak problemi cebrik denklem sisteminin çözümüne indirgemiştir. Timoshenko kirişinin ilk sekiz moduna ait özdeğerlerini farklı kalınlık oranları için tablolar halinde vermiştir.

Aydoğdu ve Taşkın [4] basit mesnetli FD kirişin serbest titreşim analizini yapmıştır. Kalınlık yönünde malzemenin elastiklik modülünün kuvvet kanununa göre değiştiği kabul edilmiştir. İlgili denklemler Hamilton Prensibi vasıtasıyla bulunmuştur. Navier tipi çözüm yöntemi frekansların elde edilmesinde kullanılmıştır. Analizlerde klasik kiriş teorileri ve farklı yüksek dereceli kiriş teorileri kullanılmıştır. Serbest titreşim frekansları ve bazı mod şekilleri farklı malzeme özellikleri ve kalınlık oranları için hesaplanmıştır.

Li [5] dönel atalet momenti ve kayma deformasyonunu içeren FD kirişinin statik ve dinamik davranışlarını incelemek için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Timoshenko kiriş teorisinden faydalanarak Euler-Bernoulli ve Rayleigh kiriş teorilerini analitik olarak çıkarmıştır. Kuvvet kanununa göre değişen kirişler ve katmanlı kirişler için sayısal sonuçlar elde etmiştir.

Xiang ve Yang [6] Timoshenko Kiriş teorisini kullanarak, eksenel ve dönel ataleti de içerecek şekilde, ısıl ön gerilimli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin kalınlık yönünde değişkenliğiyle serbest ve zorlanmış titreşimlerini incelemiştir. Kiriş, dış yüzeylerde FD malzemeli iki tabaka ve ortadaki homojen tabakadan oluşmaktadır. FD tabakaların malzeme özelliklerinin kalınlık yönünde kuvvet kanununa göre değişim gösterdiği kabul edilmiştir. Titreşim frekansları, mod şekilleri ve dinamik cevabın, kalınlık yönündeki değişim, ısı değişimi ve kiriş boyunun kalınlığına oranı parametrelerine büyük ölçüde bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir.

Sina vd. [7] FD kirişlerin serbest titreşim frekanslarını elde etmek için, geleneksel birinci dereceden kesme deformasyonu teorisinden farklı yeni bir kiriş teorisi kullanmışlardır. Kiriş özelliklerinin kuvvet kanununa göre, kiriş kalınlığı boyunca değiştiği varsayılmıştır. Kirişteki yanal gerilmelerin sıfır olduğu varsayılmış ve ilgili hareket denklemleri Hamilton prensibi vasıtasıyla elde edilmiştir. Serbest titreşim değerleri farklı sınır şartları göz önüne alınarak elde edilmiş ve farklı kiriş teorileri aralarında karşılaştırılmalar yapılmıştır. Ayrıca hacim oranları, kesme deformasyonu ve sınır koşulları parametrelerinin doğal frekanslar ve mod şekilleri üzerlerindeki etkileri incelenmiştir.

Şimşek [8] farklı sınır şartlarındaki FD kirişlerin, klasik, birinci dereceden ve farklı yüksek dereceli kesme deformasyon kiriş teorilerine göre doğal frekans analizlerini yapmıştır. Malzeme özellikleri kiriş kalınlığı yönünde kuvvet kanuna göre değişim gösterdiği kabul edilmiştir. İki farklı formülasyon geliştirilmiştir. İlk formülasyonda kiriş orta yüzeyindeki toplam eğilme dönmesi bilinmeyen fonksiyon olarak alınırken, ikinci formülasyonda kiriş orta yüzeyindeki kayma dönmesi bilinmeyen fonksiyon olarak alınmıştır. Frekans denklemi Lagrange denklemlerinden elde edilmiştir ve kiriş sınır koşulları Lagrange çarpanlarıyla uygulanmıştır. Eksenel ve eğilme yer değiştirmeleri, orta kesitin eğilme ve kesme dönmelerini ifade eden denklemler polinomal formda gösterilmiştir. Kiriş uzunluğunun kalınlığa oranı, malzeme özellikleri değişimi, farklı formülasyonlar, farklı kiriş teorilerinin, doğal frekanslar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçları tablolara dökerek gelecekteki araştırmacıların kıyaslaması için bir referans oluşturmuştur.

Şimşek [9] hareketli kütle ile yüklenmiş basit mesnetli FD kirişin titreşimlerini, Euler-Bernoulli, Timoshenko ve üçüncü dereceli kesme deformasyonu kiriş teorilerini kullanarak incelemiştir. Kirişin malzeme özelliklerinin, kuvvet kanununa göre kalınlık boyunca değişim gösterdiği kabul edilmiştir. Sistem hareket denklemleri Lagrange denklemleri vasıtasıyla elde edilmiştir. Enine ve eksenel yer değiştirmelerin ve orta kesit dönmesinin deneme fonksiyonları polinomlar olarak ifade edilmiştir. Lagrange çarpanlarının uygulanmasıyla sınır koşullarının etkileri dahil edilmiştir. Bu çalışmada kesme deformasyonlarının, çeşitli malzeme dağılımlarının, hareketli kütlenin hızının, ataletin, hareketli kütlenin merkezkaç kuvvetinin, kirişin dinamik yer değiştirme ve gerilimler üzerindeki etkileri detaylıca incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar benzer çalışmalarla kıyaslanarak doğrulanmış ve iyi seviyede uyum gözlemlenmiştir. Sonuçlar, yukarıda bahsedilen etkenlerin kirişin dinamik davranışında çok önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir.

Demir ve Öz [10], bu çalışmasında viskoelastik sınır koşullarındaki fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin rezonans frekansı değişimlerini incelemiştir. Kirişin boyutsuzlaştırılmış frekans parametrelerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmiştir. Hareket denklemleri sistemini Euler-Bernoulli kirişine Lagrange denklemlerini uygulayarak elde etmiştir. Malzeme özelliklerinin kalınlık yönünde kuvvet kanunu dağılımına sadık kalarak değiştiğini belirtmiştir. Viskoelastik mesnetlere çeşitli yay ve sönüm katsayıları uygulayarak farklı sınır koşulları uygulanmıştır.

Pradhan ve Chakraverty [11] farklı koşullara maruz kalmış fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin serbest titreşim analizini yapmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin serbest titreşim analizini yapmak için farklı yüksek dereceli kesme deformasyonu teorileri kullanmıştır. Malzeme özelliklerinin kuvvet kanununa göre kalınlık boyunca değiştiğini kabul etmiş ve yer değiştirme fonksiyonlarını polinomlar olarak göstermiştir. Çeşitli sınır koşullarını basit bir şekilde çözümlemek ve frekans parametrelerini hesaplamak adına Rayleigh-Ritz metodu kullanmıştır.

Şimşek [12], bu çalışmasında hareketli yüke maruz bırakılan çift yönlü fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin zorlanmış ve serbest titreşimlerini incelemiştir. Malzeme özelliklerinin hem eksenel hem de kalınlık yönünde değiştiği kabul edilmiştir. Hareket denklemleri Lagrange denklemleri kullanılarak hem Timoshenko teorisine göre hem de Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre elde edilmiştir. Serbest ve zorlanmış titreşim sonuçlarını elde etmek için eksenel yer değiştirmeler, enine yer değiştirmeler ve orta kesitin dönme fonksiyonları polinom formunda gösterilmiştir. Çeşitli sınır koşulları yer değiştirme fonksiyonlarına yardımcı fonksiyonların eklenmesiyle uygulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş bir kirişin Timoshenko kiriş teorisine göre, çeşitli sınır şartlarında serbest titreşim analizlerinin yapılması ve ortasından uygulanan harmonik kuvvet etkisi altında dinamik davranışı incelenmiş olup, malzeme özelliklerinin varyasyonlarının, kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Literatürde fonksiyonel derecelendirilmiş Euler-Bernoulli kirişlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlerine dair çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca fonksiyonel derecelendirilmiş Timoshenko kirişinin çeşitli çözüm yöntemleriyle dinamik analizleri yapılmıştır. Ancak bu çalışmadaki gibi; fonksiyonel derecelendirilmiş, sınır koşulları olarak viskoelastik ve yay mesnetli bir kirişte, hem Timoshenko kiriş teorisine dayanan, hem de sonlu elamanlar yöntemiyle çözüm yürütülen, malzeme özellikleri, mesnet yay ve sönüm değerleri değişiminin etkilerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

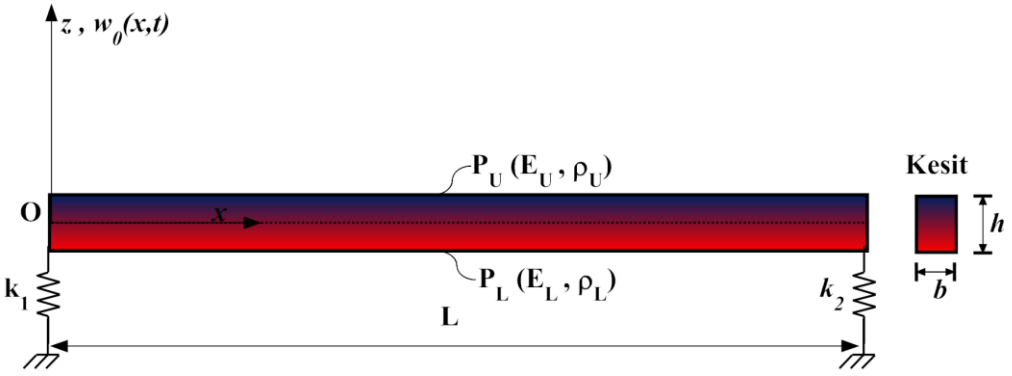
BÖLÜM 2

FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KİRİŞİN MATEMATİKSEL MODELİ

2.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Kalınlık Boyunca Değişimi

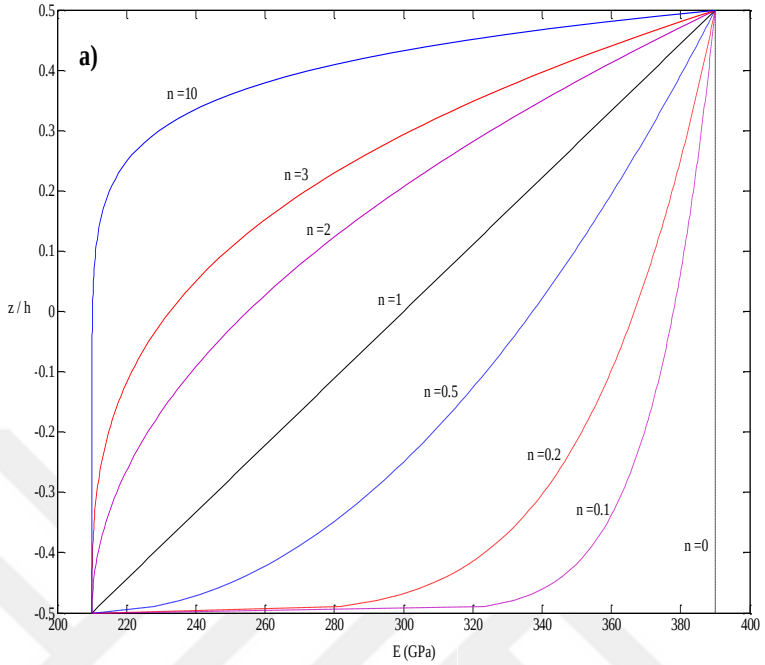
Şekil 2.1'de uzunluğu *L*, kalınlığı *h* ve genişliği *b* olan fonksiyonel derecelendirilmiş bir kiriş gösterilmiştir. Çalışmadaki FDK'nın malzeme özelliklerinin kalınlık boyunca kuvvet kanununa göre değişime uğradığı kabul edilmiştir. Kalınlık boyunca değişen malzeme özellikleri *E(z), G(z), ρ(z), υ(z)* sırasıyla elastiklik modülü, kayma modülü, yoğunluk ve Poisson oranıdır. Bu değişimin fonksiyonunu veren kuvvet kanunu (2.1)'de verilmiştir. P_U ve P_L sırasıyla üst ve alt yüzeyin malzeme özellikleri ve *n* de kuvvet kanunu üstelidir. *n* üst malzemeden alt malzemeye kalınlık boyunca olan geçiş gradyanını belirtmektedir. *n*=0 durumunda kiriş üst malzeme özellikleri göstermekte, n büyüdükçe de kalınlık yönünde daha erken alt malzeme özellikleri göstermektedir.

$$P(z) = \left(P_U - P_L\right)\left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2}\right)^n + P_L \tag{2.1}$$

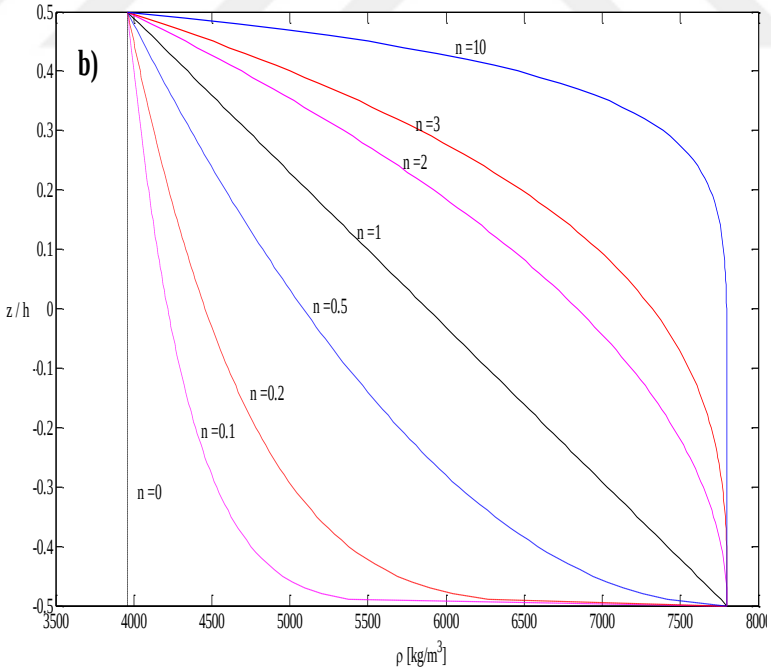


Şekil 2. 1 Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş

Üst yüzeyinde alumina (E=390 GPa, ρ=3960 kg/m^3), alt yüzeyinde ise çelik (E=210 GPa, ρ=7800 kg/m^3) bulunan bir kirişte elastiklik modülü ve özkütlenin kalınlık boyunca değişimi sırasıyla Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



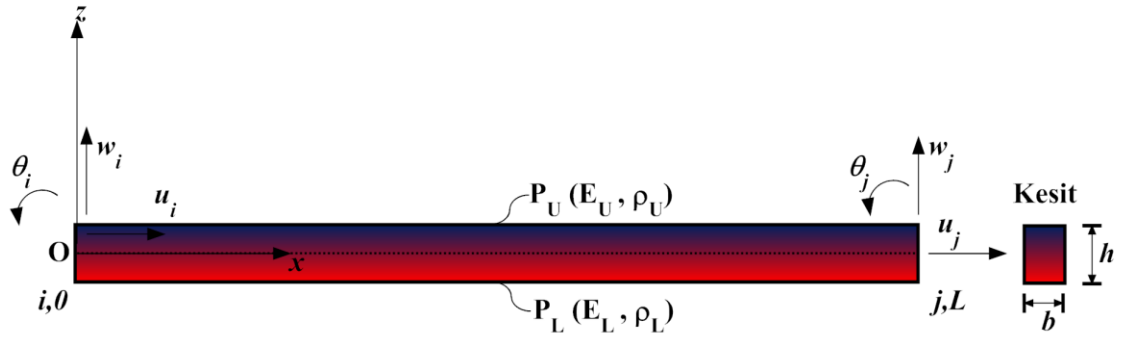
Şekil 2. 2 Elastiklik modülünün kalınlık boyunca değişimi



Şekil 2. 3 Özgül kütlenin kalınlık boyunca değişimi

2.2 Şekil Fonksiyonları

Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin *i*'nci sonlu elamanı serbestlik dereceleri Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Buna göre *u, w, θ* sırasıyla, boyuna yerdeğiştirme, eğilme yer değiştirmesi ve orta kesit dönmesidir.



Şekil 2. 4 i'nci kiriş elemanının serbestlik dereceleri

Kirişin herhangi bir elemanının nodlarındaki yer değiştirmeler (2.2)'de belirtilmiştir.

$$\{q\} = \left[u_i(t), w_i(t), \theta_i(t), u_j(t), w_j(t), \theta_j(t)\right]^T \tag{2.2}$$

Bu çalışmada tek başına boyuna uzama hali ve tek başına eğilme hali için ayrı ayrı şekil fonksiyonları bulunmuş ve fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş için süperpoze edilmiştir.

2.2.1 Boyuna Uzama Hali İçin Şekil Fonksiyonu

Şekil 2.4'te tek başına boyuna uzama olması durumunda

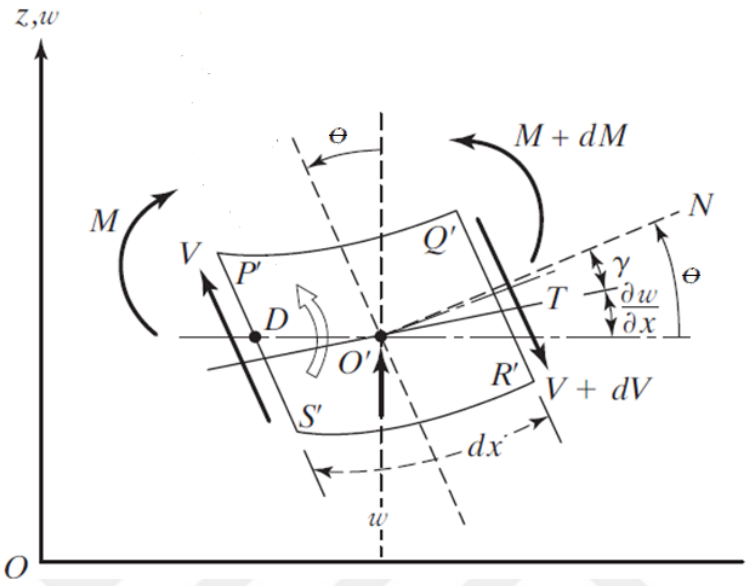
$$u = a_0 + a_1.x \tag{2.3}$$

x=0'da $u=u_i$, $x=L$'de $u=u_j$ bulunur. Bu durumda boyuna uzama için şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$N_u = \left[1 - \frac{x}{L} \quad \frac{x}{L}\right] \tag{2.4}$$

2.2.2 Eğilme İçin Şekil Fonksiyonu

Bir Timoshenko kirişi diferansiyel elemanına etkiyen kuvvet ve momentler Şekil 2.5'te [13] gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Bir Timoshenko kirişi elemanına etkiyen kuvvet ve momentler

Statik durum için, D noktasına göre moment alınması durumunda (2.5) eşitliği elde edilir.

$$-M+(M+dM)-(V+dV)dx=0 \tag{2.5}$$

Hook kanununa göre: boyuna yer değiştirme, uzama, gerilim denklemleri sırasıyla $u(x,z,t)=-z\theta(x,t)$, $\varepsilon_{xx}=-z\dfrac{\partial\theta}{\partial x}$, $\sigma_{xx}=E(z)\varepsilon_{xx}$ şeklinde ifade edilir. (2.6)

Kayma dönmesi (2.7)'de verilmiştir.

$$\gamma_{xz}=\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}=\frac{\partial w}{\partial x}-\theta \tag{2.7}$$

(2.5)'teki ifadeler aşağıdaki gibi açılabilir:

$$M=-\int_A z\sigma_{xx}dA=-\int_A zE(z)\varepsilon_{xx}dA=\frac{\partial\theta}{\partial x}\int_A z^2E(z)dA=D_{xx}\frac{\partial\theta}{\partial x} \tag{2.8}$$

$$V=-\int_A \tau_{xz}dA=-\int_A \kappa G\gamma_{xz}dA=A_{xz}\left(\theta-\frac{\partial w}{\partial x}\right) \tag{2.9}$$

$$D_{xx} = \int_A E(z) z^2 dA \tag{2.10}$$

$$A_{xz} = \int_A \kappa G(z) dA \tag{2.11}$$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx, \quad dM = \frac{\partial M}{\partial x} dx \tag{2.12}$$

(2.8), (2.9) ve (2.12) 'daki ifadeler (2.5)'te yerine koyulduğunda (2.13) eşitliği elde edilir.

$$D_{xx} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - A_{xz} \left(\theta - \frac{\partial w}{\partial x} \right) = A_{xz} \frac{dw}{dx} + D_{xx} \frac{d^2 \theta}{dx^2} - A_{xz} \theta = 0 \tag{2.13}$$

$$\beta = \frac{D_{xx}}{A_{xz}} \tag{2.14}$$

β ifadesi uygulanarak (2.13) sadeleşerek (2.15) eşitliğine dönüşür.

$$\frac{dw}{dx} + \beta \frac{d^2 \theta}{dx^2} - \theta = 0 \tag{2.15}$$

Eğilme yer değiştirmesi ve orta kesit dönmesi denklemleri;

$$w = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 \tag{2.16}$$

$$\theta = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 \tag{2.17}$$

(2.16) ve (2.17), (2.15) eşitliğinde yerlerine koyulur.

$$b_1 + 2b_2 x + 3b_3 x^2 + 2\beta c_2 - c_0 - c_1 x - c_2 x^2 = 0 \tag{2.18}$$

(2.18)'den faydalanarak; katsayılar birbiri cinsinden (2.16)'daki gibi yazılır.

$$c_2 = 3b_3, \quad c_1 = 2b_2, \quad c_0 = b_1 + 2\beta c_2 = b_1 + 6\beta b_3 \tag{2.19}$$

(2.19)'deki katsayılar (2.17)'de yerlerine yazıldığında;

$$\theta = b_1 + 6\beta b_3 + 2b_2 x + 3b_3 x^2 \tag{2.20}$$

Eğilme yer değiştirme ve orta kesit dönmesi denklemleri (2.16), (2.20) matris formunda aşağıdaki gibi yazılır.

$$u_{w,\theta} = \{ w \quad \theta \}^T = [N_k(x)] \{ b \}, \quad \{ b \} = \{ b_0 \quad b_1 \quad b_2 \quad b_3 \}^T \tag{2.21}$$

$$N_k(x)=\begin{bmatrix}1 & x & x^2 & x^3\\ 0 & 1 & 2x & 3x^2+6\beta\end{bmatrix} \tag{2.22}$$

Sınır şartlarını *x=0* ve *x=L* için uyguladığımızda nodal yer değiştirmeleri gösteren (2.23) eşitliğine ulaşırız.

$$\{\hat{u}_{w,\theta}\}=\{w_i \quad \theta_i \quad w_{i+1} \quad \theta_{i+1}\}^T=\begin{bmatrix}N_k(0)\\ N_k(L)\end{bmatrix}\{b\} \tag{2.23}$$

Bu durumda katsayılar vektörü $\{b\}$'yi nodal yer değiştirmeler cinsinden yazmamız mümkün olacaktır.

$$\{b\}=\begin{bmatrix}N_k(0)\\ N_k(L)\end{bmatrix}^{-1}\{\hat{u}_{w,\theta}\} \tag{2.24}$$

$\{b\}$ 'yi denklem (2.21)'deki yerine koyduğumuzda ise yer değiştirmeler matrisini (2.25)'te elde ederiz.

$$u_{w,\theta}=[N_k(x)]\begin{bmatrix}N_k(0)\\ N_k(L)\end{bmatrix}^{-1}\{\hat{u}_{w,\theta}\} \tag{2.25}$$

$$u_{w,\theta}=[N]_{w,\theta}\{\hat{u}_{w,\theta}\} \tag{2.26}$$

$$[N]_{w,\theta}=[N_k(x)]\begin{bmatrix}N_k(0)\\ N_k(L)\end{bmatrix}^{-1} \tag{2.27}$$

(2.27)'de verilmiş olan $[N]_{w,\theta}$, eğilme ve orta kesit dönmesi şekil fonksiyonudur. Matrisin açık hali denklem (2.29)'de verilmiştir.

$$[N]_{w,\theta}=[N_k(x)]\begin{bmatrix}N_k(0)\\ N_k(L)\end{bmatrix}^{-1}=\begin{bmatrix}1 & x & x^2 & x^3\\ 0 & 1 & 2x & 3x^2+6\beta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 6\beta\\ 1 & L & L^2 & L^3\\ 0 & 1 & 2L & 3L^2+6\beta\end{bmatrix}^{-1} \tag{2.28}$$

$$[N]_{w,\theta}=\begin{bmatrix} 1-\dfrac{x\left(12\beta-2x^2\right)+3Lx^2}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{x(L-x)\left(L^2-xL+6\beta\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{x\left(12\beta-2x^2\right)+3Lx^2}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{-x(6\beta+Lx)(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} \\ \dfrac{-6x(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{L-x}{L}-\dfrac{3x(L-x)}{\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{6x(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{x\left(-2L^2+3xL+12\beta\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)} \end{bmatrix}$$

(2.29)

2.2.3 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Şekil Fonksiyonları

Boyuna uzama şekil fonksiyonu (2.4), eğilme ve orta kesit dönmesi şekil fonksiyonları (2.29) tüm serbestlik derecelerini içerecek şekilde birleştirilerek, fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş için yeniden ifade edilmelidir.

Boyuna uzama şekil fonksiyonu;

$$[N]_{u_0}=\begin{bmatrix} 1-\dfrac{x}{L} & 0 & 0 & \dfrac{x}{L} & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.30}$$

Eğilme yer değiştirmesi şekil fonksiyonu;

$$[N]_{w_0}=\begin{bmatrix} 0 & 1-\dfrac{x\left(12\beta-2x^2\right)+3Lx^2}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{x(L-x)\left(L^2-xL+6\beta\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & 0 & \dfrac{x\left(12\beta-2x^2\right)+3Lx^2}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{-x(6\beta+Lx)(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} \end{bmatrix}$$

(2.31)

Kesit dönmesi şekil fonksiyonu;

$$[N]_{\theta}=\begin{bmatrix} 0 & \dfrac{-6x(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{L-x}{L}-\dfrac{3x(L-x)}{\left(L^2+12\beta\right)} & 0 & \dfrac{6x(L-x)}{L\left(L^2+12\beta\right)} & \dfrac{x\left(-2L^2+3xL+12\beta\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)} \end{bmatrix} \tag{2.32}$$

Şekil fonksiyonları nodal yer değiştirmelerle çarpıldığında sırasıyla boyuna yer değiştirme, eğilme yer değiştirmesi ve orta kesit dönmesi fonksiyonları elde edilir.

$$u_0(x,t)=[N]_{u_0}\{q\},\quad w_0(x,t)=[N]_{w_0}\{q\},\quad \theta(x,t)=[N]_{\theta}\{q\} \tag{2.33}$$

2.3 Timoshenko Kiriş Teorisi'nin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişe Uygulanması

Bir Timoshenko Kirişi'nin orta kesit dönmesi (θ); kiriş eğilmesi ($\frac{\partial w_0}{\partial x}$)'den kayma dönmesi ($\gamma_{xz}$) kadar saparak gerçekleşir.

Fonksiyonel derecelendirilmiş Timoshenko Kirişi'nin boyuna ve eğilme yer değiştirme denklemleri (2.34)'da verilmiştir.

$$u(x,z,t) = u_0(x,t) - z.\theta(x,t)\,, \qquad w(x,z,t) = w_0(x,t) \tag{2.34}$$

Bu durumda Hook Kanunu'na göre; boyuna uzama (2.35)'de belirtilmiştir.

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_0}{\partial x} - z\frac{\partial \theta}{\partial x} \tag{2.35}$$

Kayma dönmesi (2.36)'da verilmiştir.

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w_0}{\partial x} - \theta \tag{2.36}$$

2.3.1 Potansiyel Enerji Denklemi

(2.35) ve (2.36)'daki boyuna uzama ve kayma dönmesi denklemlerinin ilgili yerlerine koyulmasıyla elde edilen, fonksiyonel derecelendirilmiş Timoshenko kirişinin potansiyel enerji denklemi (2.37)'de verilmiştir.

$$U = \frac{1}{2}\int_0^L\int_A (\sigma_{xx}\varepsilon_{xx} + \tau_{xz}\gamma_{xz})dAdx = \frac{1}{2}\int_0^L\int_A (\varepsilon_{xx}{}^2 E(z) + \gamma_{xz}{}^2\kappa_d G(z))dAdx \tag{2.37}$$

$$= \frac{1}{2}\int_0^L\int_A \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial x} - z\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)^2 E(z) + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} - \theta\right)^2 \kappa_d G(z)\right]dAdx \tag{2.38}$$

$$= \frac{1}{2}\int_0^L\int_A E(z)\left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right)^2 - 2z\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\frac{\partial \theta}{\partial x}\right) + z^2\left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)^2\right]dAdx + \frac{1}{2}\int_0^L\int_A \kappa_d G(z)\left(\frac{\partial w_0}{\partial x} - \theta\right)^2 dAdx \tag{2.39}$$

$$= \frac{1}{2}\int_0^L\left[A_{xx}\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right)^2 - 2B_{xx}\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\frac{\partial \theta}{\partial x}\right) + D_{xx}\left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)^2 + A_{xz}\left(\frac{\partial w_0}{\partial x} - \theta\right)^2\right]dx \tag{2.40}$$

(2.40) potansiyel enerji denkleminin nihai halidir ve bahsi geçen katsayılar aşağıdaki gibidir;

$$A_{xx} = \int_A E(z)dA = (E_U - E_L)\frac{bh}{n+1} + E_L bh \tag{2.41}$$

$$B_{xx} = \int_A E(z)zdA = (E_U - E_L)\frac{bhn^2}{2(n^2+3n+2)} \tag{2.42}$$

$$D_{xx} = \int_A E(z)z^2dA = (E_U - E_L)\frac{bh^3(n^2+n+2)}{4(n+1)(n^2+5n+6)} + \frac{E_L bh^3}{12} \tag{2.43}$$

$$A_{xz} = \int_A \kappa G(z)dA = \kappa(G_U - G_L)\frac{bh}{n+1} + \kappa G_L bh \tag{2.44}$$

$$dA = b\int_{-h/2}^{h/2} dz \tag{2.45}$$

Bu katsayılar denklem (2.1)'de verilmiş olan kuvvet kanunu denkleminin ilgili malzeme özelliğine dönüştürülmüş hallerinden elde edilmiştir.

Kayma gerilme düzeltme katsayısı κ_d, dikdörtgen kesit için $\kappa_d = \frac{5}{6}$ alınmıştır.

(2.14)'de verilmiş olan $\beta = \frac{D_{xx}}{A_{xz}}$ denkleminde D_{xx}'in içerdiği 3. dereceden h ifadesinden dolayı, kalınlığı azaldıkça β değeri 0'a yaklaşır. β=0 için Timoshenko kiriş teorisi Euler-Bernoulli kiriş teorisine dönüşmektedir.

2.3.2 Kinetik Enerji Denklemi

(2.34)'teki boyuna ve düşey yönde yer değiştirme denklemlerinin ilgili yerlerine koyulmasıyla elde edilen, fonksiyonel derecelendirilmiş Timoshenko kirişinin kinetik enerji denklemi (2.46)'da verilmiştir.

$$T = \frac{1}{2}\int_0^L\int_A \rho(z)\left(\dot{u}^2 + \dot{w}^2\right)dAdx = \int_0^L\int_A \rho(z)\left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial t} - z\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial t}\right)^2\right]dAdx \tag{2.46}$$

$$= \frac{1}{2}\int_0^L\int_A \rho(z)\left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial t}\right)^2 - 2z\left(\frac{\partial u_0}{\partial t}\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) + z^2\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial t}\right)^2\right]dAdx \tag{2.47}$$

$$= \frac{1}{2}\int_0^L \left[I_A \left(\frac{\partial u_0}{\partial t} \right)^2 - 2I_B \left(\frac{\partial u_0}{\partial t} \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) + I_D \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right)^2 + I_A \left(\frac{\partial w_0}{\partial t} \right)^2 \right] dx \tag{2.48}$$

(2.48) kinetik enerji denkleminin nihai halidir ve bahsi geçen katsayılar aşağıdaki gibidir;

$$I_A = \int_A \rho(z) dA = (\rho_U - \rho_L) \frac{bh}{n+1} + \rho_L bh \tag{2.49}$$

$$I_B = \int_A \rho(z) z dA = (\rho_U - \rho_L) \frac{bhn^2}{2(n^2+3n+2)} \tag{2.50}$$

$$I_D = \int_A \rho(z) z^2 dA = (\rho_U - \rho_L) \frac{bh^3(n^2+n+2)}{4(n+1)(n^2+5n+6)} + \frac{\rho_L bh^3}{12} \tag{2.51}$$

Bu katsayılar denklem (2.1)'de verilmiş olan kuvvet kanunu denkleminin ilgili malzeme özelliğine dönüştürülmüş hallerinden elde edilmiştir.

2.4 Sonlu Elamanlar Modeli

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Timoshenko kirişinin sonlu elamanlar modelini oluştururken, her bir elamanın rijitlik ve kütle matrisleri bulunmalıdır.

2.4.1 Sonlu Elamanın Rijitlik Matrisi

Herhangi bir noktadaki yer değiştirmeleri ifade eden (2.33) denklemi (2.40)'daki potansiyel enerji denklemi içerisine uygun formlarıyla yazılırsa sonlu elamanlar yöntemi için uygun altyapı elde edilmiş olur (2.52)

$$U = \frac{1}{2}\{q\}^T \begin{bmatrix} A_{xx}\int_0^L [N']_{u_0}^T [N']_{u_0} dx - B_{xx}\int_0^L [N']_{u_0}^T [N']_{\theta} dx + \\ -B_{xx}\int_0^L [N']_{\theta}^T [N']_{u_0} dx + D_{xx}\int_0^L [N']_{\theta}^T [N']_{\theta} dx + \\ A_{xz}\int_0^L \left[[N']_{w_0} - [N]_{\theta} \right]^T \left[[N']_{w_0} - [N]_{\theta} \right] dx \end{bmatrix} \{q\} = \frac{1}{2}\{q\}^T [K]\{q\} \tag{2.52}$$

Matris içerisindeki ifade $[K]$ bir sonlu elamanın rijitlik matrisidir. Rijitlik matrisinin elamanları hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & k_{1,3} & k_{1,4} & k_{1,5} & k_{1,6} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & k_{2,3} & k_{2,4} & k_{2,5} & k_{2,6} \\ k_{3,1} & k_{3,2} & k_{3,3} & k_{3,4} & k_{3,5} & k_{3,6} \\ k_{4,1} & k_{4,2} & k_{4,3} & k_{4,4} & k_{4,5} & k_{4,6} \\ k_{5,1} & k_{5,2} & k_{5,3} & k_{5,4} & k_{5,5} & k_{5,6} \\ k_{6,1} & k_{6,2} & k_{6,3} & k_{6,4} & k_{6,5} & k_{6,6} \end{bmatrix} \tag{2.53}$$

$$k_{1,1}=k_{4,4}=-k_{1,4}=-k_{4,1}=A_{xx}/L \tag{2.54}$$

$$k_{1,2}=k_{1,5}=k_{2,1}=k_{2,4}=k_{4,2}=k_{4,5}=k_{5,1}=k_{5,4}=0 \tag{2.55}$$

$$k_{1,3}=k_{3,1}=k_{4,6}=k_{6,4}=-k_{1,6}=-k_{6,1}=-k_{3,4}=-k_{4,3}=-B_{xx}/L \tag{2.56}$$

$$k_{2,2}=k_{5,5}=-k_{2,5}=-k_{5,2}=\frac{12\left(12A_{xz}\beta^2+D_{xx}L^2\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.57}$$

$$k_{2,3}=k_{3,2}=k_{2,6}=k_{6,2}=-k_{3,5}=-k_{5,3}=-k_{5,6}=-k_{6,5}=\frac{6\left(12A_{xz}\beta^2+D_{xx}L^2\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.58}$$

$$k_{3,3}=k_{6,6}=\frac{144\beta^2D_{xx}+4D_{xx}L^4+L^2\left(36A_{xz}\beta^2+24D_{xx}\beta\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.59}$$

$$k_{3,6}=k_{6,3}=\frac{2D_{xx}L^4-144\beta^2D_{xx}+L^2\left(36A_{xz}\beta^2-24\beta D_{xx}\right)}{L\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.60}$$

2.4.2 Sonlu Elamanın Kütle Matrisi

Herhangi bir noktadaki yer değiştirmeleri ifade eden (2.33) denklemi zamana göre türevi alınarak (2.48)'deki kinetik enerji denklemi içerisine yazılırsa sonlu elamanlar yöntemi için uygun altyapı elde edilmiş olur (2.61)

$$T=\frac{1}{2}\{\dot{q}\}^T\begin{bmatrix} I_A\int_0^L[N]_{u_0}{}^T[N]_{u_0}\,dx-I_B\int_0^L[N]_{u_0}{}^T[N]_{\theta}\,dx+ \\ -I_B\int_0^L[N]_{\theta}{}^T[N]_{u_0}\,dx+I_D\int_0^L[N]_{\theta}{}^T[N]_{\theta}\,dx+ \\ I_A\int_0^L[N]_{w_0}{}^T[N]_{w_0}\,dx \end{bmatrix}\{\dot{q}\}=\frac{1}{2}\{\dot{q}\}^T[M]\{\dot{q}\} \tag{2.61}$$

Matris içerisindeki ifade $[M]$ bir sonlu elamanın kütle matrisidir. Kütle matrisinin elamanları hesaplanarak aşağıda verilmiştir:

$$[M]=\begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & m_{1,4} & m_{1,5} & m_{1,6} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & m_{2,4} & m_{2,5} & m_{2,6} \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & m_{3,4} & m_{3,5} & m_{3,6} \\ m_{4,1} & m_{4,2} & m_{4,3} & m_{4,4} & m_{4,5} & m_{4,6} \\ m_{5,1} & m_{5,2} & m_{5,3} & m_{5,4} & m_{5,5} & m_{5,6} \\ m_{6,1} & m_{6,2} & m_{6,3} & m_{6,4} & m_{6,5} & m_{6,6} \end{bmatrix} \tag{2.62}$$

$$m_{1,1}=m_{4,4}=I_A L/3 \tag{2.63}$$

$$m_{1,2}=m_{2,1}=m_{2,4}=m_{4,2}=-m_{1,5}=-m_{5,1}=-m_{4,5}=-m_{5,4}=\frac{I_B L^2}{2\left(L^2+12\beta\right)} \tag{2.64}$$

$$m_{1,3}=m_{3,1}=m_{4,6}=m_{6,4}=\frac{-I_B L\left(L^2+48\beta\right)}{12\left(L^2+12\beta\right)} \tag{2.65}$$

$$m_{1,4}=m_{4,1}=I_A L/6 \tag{2.66}$$

$$m_{1,6}=m_{6,1}=m_{3,4}=m_{4,3}=\frac{-I_B L\left(24\beta-L^2\right)}{12\left(L^2+12\beta\right)} \tag{2.67}$$

$$m_{2,2}=m_{5,5}=\frac{L^3\left(42I_D-18\beta I_A\right)-192\beta^2 I_A L}{35\left(L^2+12\beta\right)^2}+\frac{13I_A L}{35} \tag{2.68}$$

$$m_{2,3}=m_{3,2}=-m_{5,6}=-m_{6,5}=\frac{L^2\left(1260I_A\beta^2+231I_A\beta L^2-1260I_D\beta+11I_A L^4+21I_D L^2\right)}{210\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.69}$$

$$m_{2,5}=m_{5,2}=\frac{3L\left(560I_A\beta^2+84I_A\beta L^2+3I_A L^4-28I_D L^2\right)}{70\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.70}$$

$$m_{2,6}=m_{6,2}=-m_{3,5}=-m_{5,3}=\frac{-L^2\left(2520I_A\beta^2+378I_A\beta L^2+2520I_D\beta+13I_A L^4-42I_D L^2\right)}{420\left(L^2+12\beta\right)^2} \tag{2.71}$$

$$m_{3,3} = m_{6,6} = \frac{L\left(126I_A\beta^2L^2 + 5040I_D\beta^2 + 21I_A\beta L^4 + 210I_D\beta L^2 + I_AL^6 + 14I_DL^4\right)}{105\left(L^2 + 12\beta\right)^2} \quad (2.72)$$

$$m_{3,6} = m_{6,3} = \frac{-L\left(504I_A\beta^2L^2 - 10080I_D\beta^2 + 84I_A\beta L^4 + 840I_D\beta L^2 + 3I_AL^6 + 14I_DL^4\right)}{420\left(L^2 + 12\beta\right)^2} \quad (2.73)$$

2.4.3 Global Matrisler ve Hareket Denklemleri

Sonlu elamanlar modelinde her bir elamanın tüm düğüm noktalarına etkiyen rijitlik ve kütle değerleri toplanarak global matrislere ulaşılır. *m* elamanlı bir kirişin *m+1* adet düğümü ve her bir düğümde 3 serbestlik derecesi olduğu için *3m+3* adet de serbestlik derecesi (*p*) vardır. Global matrisler de bu yüzden *p x p* elamanlıdır.

Tüm kirişin potansiyel enerji denklemi:

$$U = \frac{1}{2}\{q\}^T\left[K\right]_G\{q\} \quad (2.74)$$

$\left[K\right]_G$ kirişin global rijitlik matrisidir.

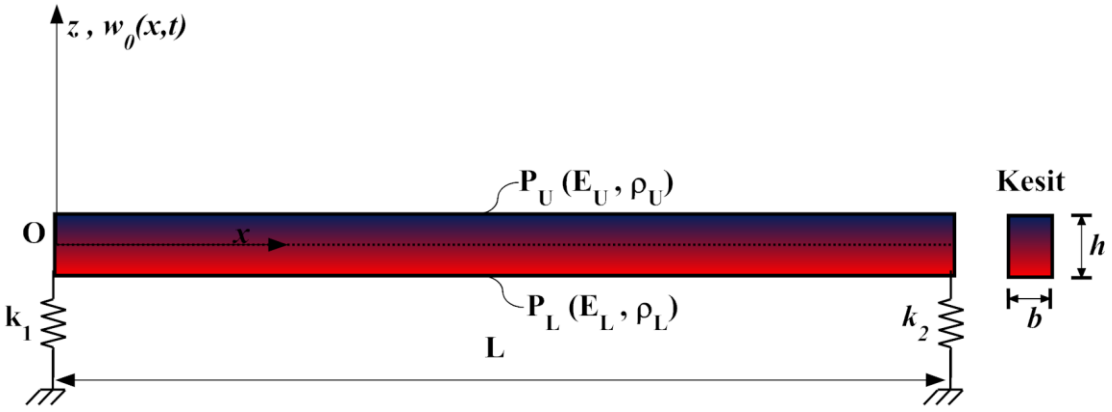
Tüm kirişin kinetik enerji denklemi:

$$T = \frac{1}{2}\left\{\dot{q}\right\}^T\left[M\right]_G\left\{\dot{q}\right\} \quad (2.75)$$

$\left[M\right]_G$ global kütle matrisidir.

Bu çalışmada çeşit sınır şartları için serbest titreşim analizi, sönümlü serbest titreşim analizi ve harmonik titreşim analizi yapılacaktır.

2.4.3.1 İki Ucundan Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Hareket Denklemleri



Şekil 2.6 Yayla mesnetlenmiş kiriş

Kirişin kenarlarındaki yayların potansiyel enerji denklemleri:

$$V_s = \frac{1}{2}k_1\left[q_2(t)\right]^2 + \frac{1}{2}k_2\left[q_{p-1}(t)\right]^2 \tag{2.76}$$

k_1, k_2 sırasıyla birinci ve ikinci mesnetin yay katsayılarıdır.

Tüm sistemin fonksiyoneli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$I = T - (U + V_s) \tag{2.77}$$

$$\frac{\partial I}{\partial q_k} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial I}{\partial \dot{q}_k} = 0\,,\ k = 1, 2, \ldots, p \tag{2.78}$$

(2.78)'deki Lagrange denklemlerini kullanarak tüm sistem için (2.79)'daki hareket denklemi elde edilir.

$$\left[K\right]_G\left\{q\right\} + \left[K_s\right]\left\{q\right\} + \left[M\right]_G\left\{\ddot{q}\right\} = 0 \tag{2.79}$$

$\left[K_s\right]$ mesnet rijitlik matrisidir ve $K_{s22} \neq 0$, $K_{s(p-1)(p-1)} \neq 0$ hariç tüm elamanları sıfırdır.

Zamana bağlı nodal yer değiştirmeler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\left\{q(t)\right\} = \left\{\bar{q}\right\} e^{i\,\omega\,t} \tag{2.80}$$

(2.80)'de $\left\{\bar{q}\right\}$ 'nun elemanları kompleks değişken olup faz açısını içermektedir.

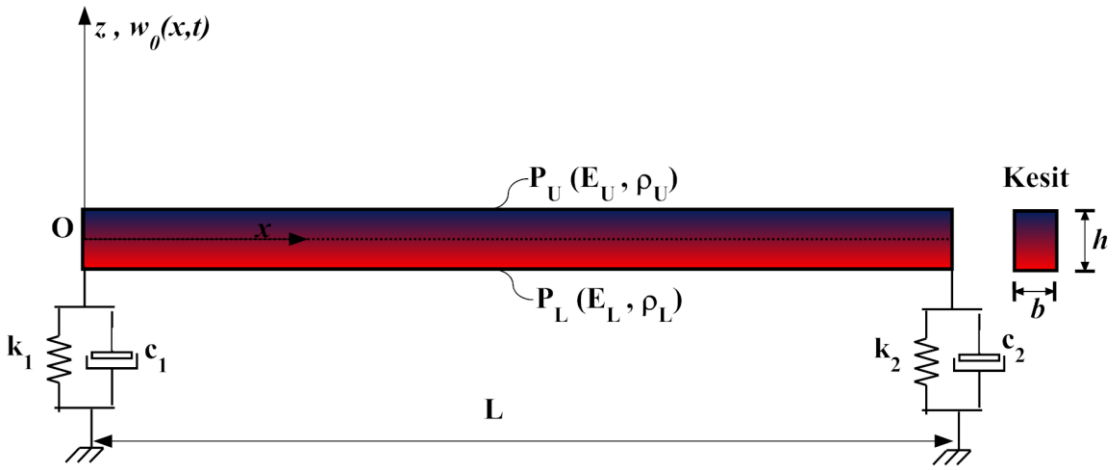
(2.80)'den yola çıkarak, (2.79) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir

$$[K]_G \{\bar{q}\} + [K_s]\{\bar{q}\} - \omega^2 [M]_G \{\bar{q}\} = 0 \tag{2.81}$$

(2.81) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\left([K]_G + [K_s] - \omega^2 [M]_G\right)\{\bar{q}\} = 0 \tag{2.82}$$

2.4.3.2 Viskoelastik Mesnetlenmiş Kirişin Hareket Denklemleri



Şekil 2.7 Viskoelastik mesnetlenmiş kiriş

Kirişin kenarlarındaki viskoelastik mesnetlerin potansiyel enerji ve sönüm denklemleri:

$$V_s = \frac{1}{2}k_1\left[q_2(t)\right]^2 + \frac{1}{2}k_2\left[q_{p-1}(t)\right]^2,\ R_s = \frac{1}{2}c_1\left[\dot{q}_2(t)\right]^2 + \frac{1}{2}c_2\left[\dot{q}_{p-1}(t)\right]^2 \tag{2.83}$$

k_1, k_2, c_1, c_2, sırasıyla birinci ve ikinci mesnetin yay ve sönümleme katsayılarıdır.

Sönümleme kuvveti Q_{D_K} sönüm denklemi R_s'nin mesnet noktalarındaki yer değiştirme hızlarına göre türevlerinden bulunabilir:

$$Q_{D_K} = -\frac{\partial R_S}{\partial \dot{q}_k},\ k = 2, p\text{-}1 \tag{2.84}$$

Tüm sistemin fonksiyoneli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$I = T - (U + V_s) \tag{2.85}$$

(2.86)'daki Lagrange denklemleri kullanılarak (2.87)'deki tüm sistemin hareket denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial I}{\partial q_k} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial I}{\partial \dot{q}_k} + Q_{D_K} = 0,\ k = 1, 2, \ldots, p \tag{2.86}$$

$$[K]_G\{q\}+[K_s]\{q\}+[D_s]\{\dot{q}\}+[M]_G\{\ddot{q}\}=0 \tag{2.87}$$

$[K_s]$ mesnet rijitlik matrisidir ve $K_{s22}\neq 0$, $K_{s(p-1)(p-1)}\neq 0$ hariç tüm elamanları sıfırdır.

$[D_s]$ sönüm matrisidir ve $D_{s22}\neq 0$, $D_{s(p-1)(p-1)}\neq 0$ hariç tüm elamanları sıfırdır.

Zamana bağlı nodal yer değiştirmeler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\{q(t)\}=\{\bar{q}\}e^{i\,\omega\,t} \tag{2.88}$$

$\{\bar{q}\}$ 'nun elemanları kompleks değişken olup faz açısını içermektedir.

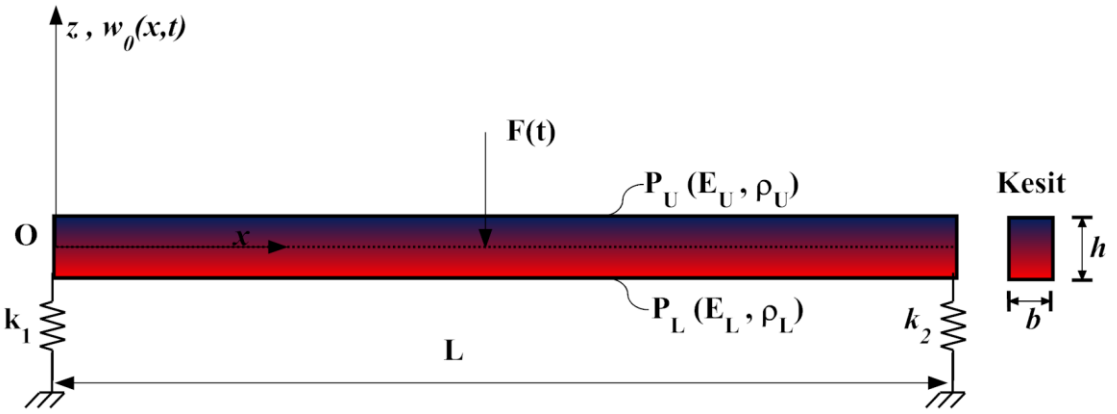
Denklem (2.87)'de yerine koyulursa aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$[K]_G\{\bar{q}\}+[K_s]\{\bar{q}\}+i\omega[D_s]\{\bar{q}\}-\omega^2[M]_G\{\bar{q}\}=0 \tag{2.89}$$

(2.89) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\left([K]_G+[K_s]+i\omega[D_s]-\omega^2[M]_G\right)\{\bar{q}\}=0 \tag{2.90}$$

2.4.3.3 Yay Mesnetli Kirişin Ortasından Uygulanan Harmonik Kuvvet Etkisindeki Hareket Denklemleri



Şekil 2.8 Harmonik kuvvet uygulanan, yayla mesnetlenmiş kiriş

Kirişin uçlarındaki yayların potansiyel enerji denklemleri:

$$V_s=\frac{1}{2}k_1\left[q_2(t)\right]^2+\frac{1}{2}k_2\left[q_{p-1}(t)\right]^2 \tag{2.91}$$

k_1, k_2 sırasıyla birinci ve ikinci mesnetin yay katsayılarıdır.

Dış kuvvetlerin potansiyel enerjisi:

$$V = -\{q\}^T \{F\} \tag{2.92}$$

Tüm sistemin fonksiyoneli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$I = T - (U + V + V_s) \tag{2.93}$$

$$\frac{\partial I}{\partial q_k} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial I}{\partial \dot{q}_k} = 0, \quad k = 1, 2, \ldots, p \tag{2.94}$$

(2.94)'teki Lagrange denklemleri kullanılarak tüm sistem için (2.95)'teki hareket denklemi elde edilir.

$$[K]_G \{q\} + [K_s]\{q\} + [M]_G \{\ddot{q}\} = \{F(t)\} \tag{2.95}$$

$[K_s]$ mesnet rijitlik matrisidir ve $K_{s22} \neq 0$, $K_{s(p-1)(p-1)} \neq 0$ hariç tüm elamanları sıfırdır.

Kuvvet vektörü noktasal kuvvetin kirişin orta noktasından uygulandığı göz önünde bulundurarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\{F(t)\} = \{Q_k\} e^{i\omega t}; \tag{2.96}$$

$Q_{3(\frac{m}{2})+2} = Q$; Kirişin ortasından etkiyen kuvvet olup diğer düğüm noktalarına etkiyen kuvvet değerleri sıfırdır.

Zamana bağlı nodal yer değiştirmeler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\{q(t)\} = \{\bar{q}\} e^{i\,\omega\, t} \tag{2.97}$$

$\{\bar{q}\}$ 'nun elemanları kompleks değişken olup faz açısını içermektedir.

(2.97)'den yola çıkarak, (2.95) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir

$$[K]_G \{\bar{q}\} + [K_s]\{\bar{q}\} - \omega^2 [M]_G \{\bar{q}\} = \{Q\} \tag{2.98}$$

(2.98) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\left([K]_G + [K_s] - \omega^2 [M]_G\right)\{\bar{q}\} = \{Q\} \tag{2.99}$$

Maksimum reaksiyon kuvveti

$$P = (k_1)\bar{q}_2 + (k_2)\bar{q}_{p-1} \tag{2.100}$$

Mesnetlerdeki kuvvet iletimi T_R aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_R = \frac{P}{Q} \tag{2.101}$$

BÖLÜM 3

SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde, sonlu elemanlar yöntemi vasıtasıyla, uzunluğu L, genişliği b ve yüksekliği h olan fonksiyonel derecelendirilmiş Timoshenko kirişinin üç farklı durum için titreşim analizleri yapılmıştır.

İlk kısımda her iki köşesinden yay elemanlarıyla mesnetlenmiş kirişin serbest titreşim analizi yapılmıştır. Ayrıca yay değerinin sonsuz yapılmasıyla elde edilen basit mesnetli model sonuçları daha önce yapılmış çalışmalarla kıyaslanmış ve modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. İkinci kısımda her iki köşesinden hem yay hem de sönüm elemanlarıyla mesnetlenmiş kirişin sönümlü serbest titreşim analizi, üçüncü kısımda ise her iki köşesinden yay elemanlarıyla mesnetlenmiş kirişin ortasından noktasal olarak uygulanan harmonik kuvvet etkisi altındaki titreşim analizi yapılmıştır.

3.1 İki Ucundan Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Serbest Titreşim Analizi

Bu kısımda her iki ucundan yayla mesnetlenmiş kirişin; kalınlık oranı (T_{Oran}), boyutsuzlaştırılmış yay katsayısı (κ), elastiklik modülü oranı (E_r), kuvvet kanunu üsteli (n) parametrelerinin değişimine bağlı olarak serbest titreşim değerleri hesaplanmıştır.

$$T_{Oran} = \frac{L}{h} = 5,\ 20, \tag{3.1}$$

$$\kappa = 0,\ 1,\ 10,\ 100,\ 1000,\ \infty, \tag{3.2}$$

$$E_r = \frac{E_U}{E_L} = 0{,}25,\ 0{,}5,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4, \tag{3.3}$$

$$n = 0,\ 0{,}1,\ 0{,}2,\ 1,\ 2,\ 3,\ 10, \tag{3.4}$$

E_U ve E_L sırasıyla üst ve alt yüzey malzemeleri elastiklik modülleridir.

Parametre sayısını azaltmak ve elastiklik modülünün değişiminin etkisini gözlemlemek adına, literatürdeki diğer çalışmalarda yapıldığı gibi alt ve üst yüzey malzeme yoğunlukları oranı $\rho_r = \frac{\rho_U}{\rho_L} = 1$ kabul edilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçların malzeme özelliklerinden bağımsız hale getirilmesi için aşağıdaki boyutsuzlaştırma katsayıları kullanılmıştır.

$$\lambda = \omega L^2 \sqrt{\frac{\rho_L A}{E_L I}}, \ \kappa = \frac{k_s L^3}{E_L I} \ , \tag{3.5}$$

λ boyutsuz frekans parametresi, κ ise boyutsuz yay katsayısıdır. k_s ise mesnetlerin yay katsayılarıdır. Çözümlerde birinci ve ikinci mesnetteki yay katsayıları birbirlerine eşit alınmıştır.

$$k_s = k_1 = k_2 \tag{3.6}$$

Bu durumda (3.5) kullanılarak (2.82) aşağıdaki halini alır

$$\left\{ [K]_G + \kappa [K_s] - \lambda^2 [M]_G \right\} \left\{ \bar{q} \right\} = 0 \tag{3.7}$$

λ özdeğerleri (3.7) denklemi determinantının çözümünden bulunur. λ değerlerinin bulunmasında Matlab programı kullanılmış olup, yakınsama analizi sonucunda 128 elemana ayrılan kiriş için sonlu elemanlar yöntemi uygulanmıştır.

3.1.1 Çalışmanın Literatürdeki Diğer Çalışmalarla Kıyaslanması

Çalışmanın sonuçlarına geçmeden önce, matematiksek modelin doğruluğunu kanıtlamak için literatürdeki bazı çalışmalarla sonuçların kıyaslaması yapılmıştır.

Çizelge 3.1 'de basit mesnetli kiriş için ilk beş doğal frekansı bulunmuş ve Li [5] tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada frekanslar, boyu L=0,5 m, h=0,125 m , E_L=70 GPa (Al), ρ_L =2707 kg/m^3, $\upsilon_L = \upsilon_U$ =0,3 ,

E_U=210 GPa (St), ρ_L =2707 kg/m^3 olan kiriş için elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 Li [5] çalışmasıyla kıyaslama

Doğal Frekanslar	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod5
Li [5]	6457,93	21603,18	40145,42	59779,01	79686,16
Bu çalışma	6443,12	21471,78	39780,37	59107,69	78673,53
Fark %	-0,2%	-0,6%	-0,9%	-1,1%	-1,3%

Çizelge 3.2'te ise *L/h*=10, 30, 100 ve *n*=0,3 değerleri için, E_L=70 GPa (Al), ρ_L =2700 kg/m^3, $\upsilon_L = \upsilon_U$ =0,23, E_U=380 GPa (Al_2O_3), ρ_U =3800 kg/m^3 malzeme özelliklerine sahip basit mesnetli kiriş için (3.8)'deki boyutsuzlaştırma denklemleri kullanılarak boyutsuz doğal frekansları hesaplanmış, Sina vd. [7] çalışmasıyla kıyaslanmıştır.

$$\lambda = \omega L^2 \sqrt{\frac{I_1}{h^2 \int_{-h/2}^{h/2} E(z)\,dz}}, \qquad I_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \rho(z)\,dz \tag{3.8}$$

Çizelge 3.2 Sina vd.[7] çalışmasıyla kıyaslama

n=0,3	*L/h=10*	*L/h=30*	*L/h=100*
Sina [7]	2,69500	2,73700	2,74200
Bu Çalışma	2,70179	2,73808	2,74232
Fark %	0,3%	0,0%	0,0%

Çizelge 3.3 ve 3.4'de ise *L/h*=5 ve *L/h*=20 değerleri için, malzeme özellikleri E_L=70 GPa (Al), ρ_L =2702 kg/m^3, $\upsilon_L = \upsilon_U$ =0,3, E_U=380 GPa (Al_2O_3), ρ_U =3960 kg/m^3 olan basit mesnetli kirişin, kuvvet kanunu katsayısı n'nin değişimine göre boyutsuz doğal frekansları hesaplanmıştır. Değerler Şimşek [8] çalışmasıyla kıyaslanmıştır. Boyutsuzlaştırma katsayısı (3.9)'daki gibi alınmıştır.

$$\lambda^2 = \frac{\omega L^2}{h}\sqrt{\frac{\rho_L}{E_L}} \tag{3.9}$$

Çizelge 3.3 L/h=5 için Şimşek [8] çalışmasıyla kıyaslama

L/h=5	*n=0*	*n=0,2*	*n=0,5*	*n=1*	*n=2*	*n=5*	*n=10*	*n=∞*
Şimşek CBT	5,39533	5,02194	4,59360	4,14835	3,77930	3,59487	3,49208	2,80336
Şimşek FSDBT	5,15247	4,80657	4,40830	3,99023	3,63438	3,43119	3,31343	2,67718
Bu çalışma	5,15249	4,80541	4,40791	3,99026	3,63441	3,43122	3,31345	2,67719
B.Ç.-FSDBT Fark %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
B.Ç.-CBT Fark %	-4,5%	-4,3%	-4,0%	-3,8%	-3,8%	-4,6%	-5,1%	-4,5%

Çizelge 3.4 L/h=20 için Şimşek [8] çalışmasıyla kıyaslama

***L/h*=20**	*n=0*	*n=0,2*	*n=0,5*	*n=1*	*n=2*	*n=5*	*n=10*	*n=∞*
Şimşek CBT	5,47773	5,09804	4,66458	4,21634	3,84719	3,66283	3,55465	2,84618
Şimşek FSDBT	5,46032	5,08265	4,65137	4,20505	3,83676	3,65088	3,54156	2,83713
Bu çalışma	5,46032	5,08134	4,65092	4,20507	3,83678	3,65090	3,54157	2,83714
B.Ç.-FSDBT Fark %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
B.Ç.-CBT Fark %	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,4%	-0,3%

Bu çalışma ve Şimşek [8] çalışmasıyla yapılan kıyaslamada Timoshenko kiriş teorisini ifade eden FSDBT sonuçlarıyla mükemmel uyum sağlanmaktadır. Bununla birlikte Euler-Bernoulli'yi ifade eden CBT sonuçlarıyla kıyaslama yapıldığında, *L/h*=5'te çıkan farklar *L/h*=20'ye göre çok fazladır. Bu kalın kirişler için daha uygun yöntem olan Timoshenko kiriş teorisinin, kiriş kalınlığı arttıkça artan kesit dönmesinin frekans parametrelerini düşürdüğünü göstermektedir.

3.1.2 Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

İki ucundan düşey yönde yayla mesnetlenmiş kirişin serbest titreşim analizi grafikleri (3.1) ve (3.4) arasında gösterilmiş parametrelerin değişimlerine göre oluşturulmuş ve Şekil 3.1-3.6 arasında paylaşılmıştır. Elde edilen doğal frekansların sayısal değerleri ayrıca Ek-A'da çizelgelerde verilmiştir.

T_{oran}=5 için Şekil 3.1-3.3, T_{oran}=20 için Şekil 3.4-3.6 'da gösterilen tüm modlarda; E_r<1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1'den E_r=0,25'e doğru azaldıkça n'nin değişiminin frekans parametresi üzerindeki etkisi artmaktadır. E_r=0,25'de n=0 ve n=10 frekans parametreleri arasındaki fark maksimuma ulaşmaktadır. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. E_r=1'den E_r=4'e doğru arttıkça n'nin değişiminin frekans parametresi üzerindeki etkisi artmaktadır. E_r=4'de n=10 ve n=0 frekans parametreleri arasındaki fark maksimuma ulaşmaktadır. Yine tüm modlarda $\kappa \geq 1$'den itibaren yay katsayısı arttıkça frekans parametresinin arttığı gözlemlenmektedir.

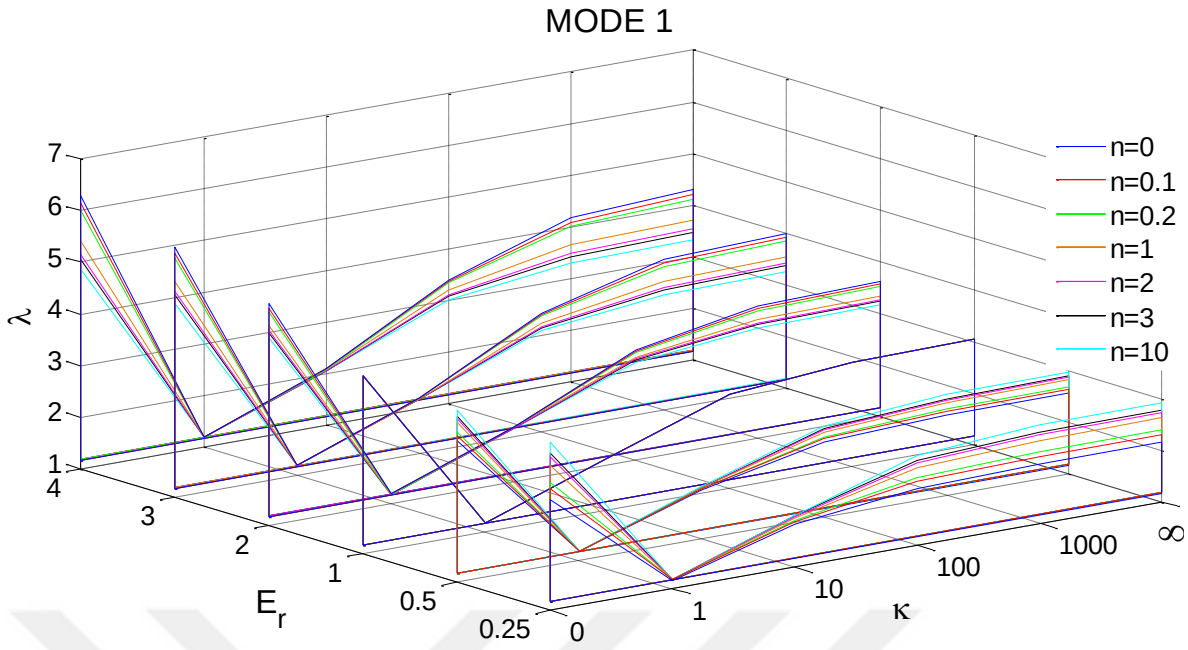
İlk üç modda serbest-serbest kiriş koşullarının modellendiği κ=0 'da yapının titreşim biçimi elastik moddadır. Birinci (Şekil 3.1 ve Şekil 3.4) ve ikinci (Şekil 3.2 ve Şekil

3.5) modlarda κ=1 ve κ=10 değerlerinde yay sınır şartı devreye girmekte olup kiriş elemanının yaptığı titreşim biçimi rijit gövde hareketine daha yakındır. Rijit modlar baskın olduğu için frekans parametreleri, E_r ve *n*'nin değişiminden çok az etkilenir. Elastik yer değiştirme azaldıkça malzeme özelliklerinin etkisi azalmaktadır. Şekil 3.3 ve 3.6'da gösterilen üçüncü modda κ=1'in titreşim biçiminde elastik yer değiştirmeler daha etkindir ve *n*'nin değişiminin frekans parametresi üzerindeki etkisi ortaya çıkmaktadır.

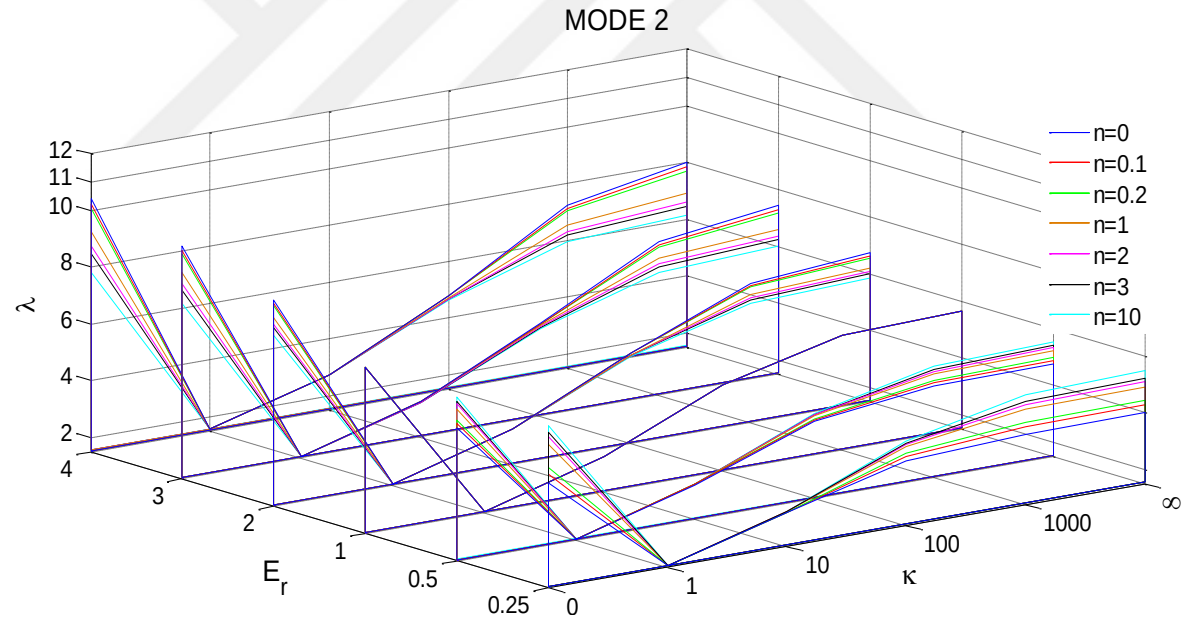
Üçüncü modda tüm κ değerlerinde elastik modlar gözlemlenmektedir. Kuvvet kanunu üsteli *n*'nin etkisi E_r=1'dekiler hariç tüm frekans parametreleri üzerinde ortaya çıkmaktadır. Yine üçüncü modda κ=1 - κ=100 arasında yay katsayısı değişiminin etkisi diğer modlara göre daha azdır. Bunun sebebi yüksek modlarda düşük yay katsayılarında da elastik yer değiştirmelerin etkisinin görülmeye başlanması ve frekans parametrelerinin yükselmesidir. κ eksenindeki eğim azalmıştır.

Tüm modlarda, rijit yer değiştirmelerin etkin olduğu κ değerleri hariç diğer tüm yay katsayısı değerleri için E_r arttıkça frekans parametreleri artmaktadır. Rijit modlarda ise sistem büyük ölçüde mesnet noktalarındaki yaylar vasıtasıyla hareket ettiği için kirişin elastik özellikleri önemsizleşmektedir.

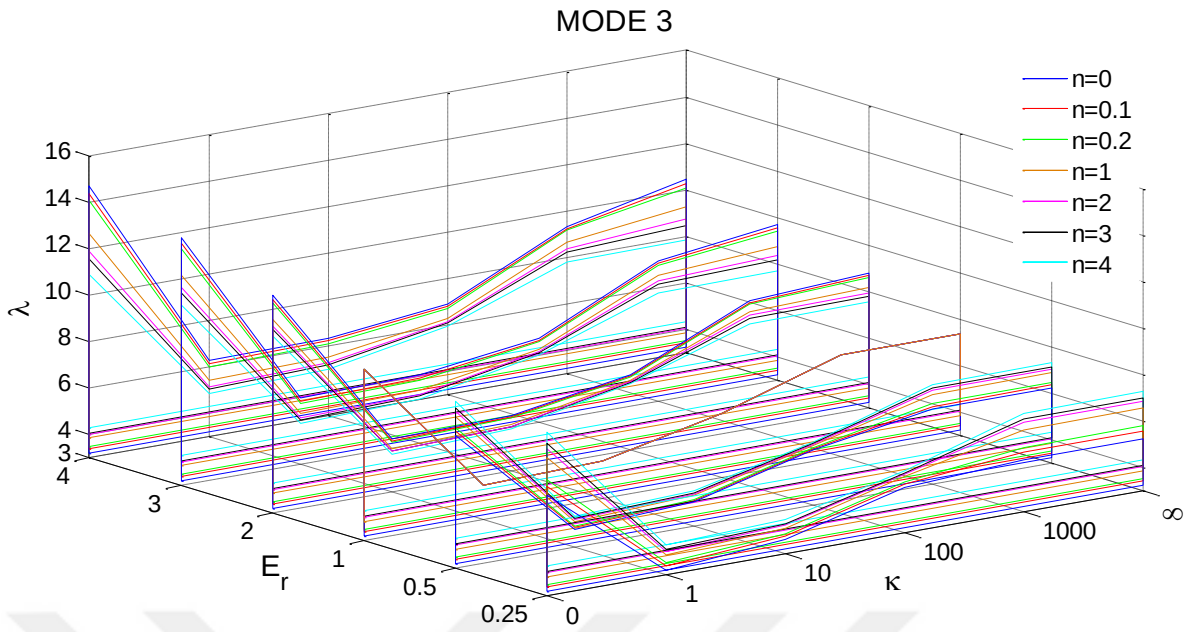
Hesaplama yapılan her iki T_{oran} değeri için de yukarıda anlatılan sonuçlar geçerlidir. Ancak artan kalınlıkla birlikte kütle artmakta ve T_{oran}=5 kirişinde frekans parametresi değerleri daha ince T_{oran}=20 kirişine göre daha düşük olmaktadır.



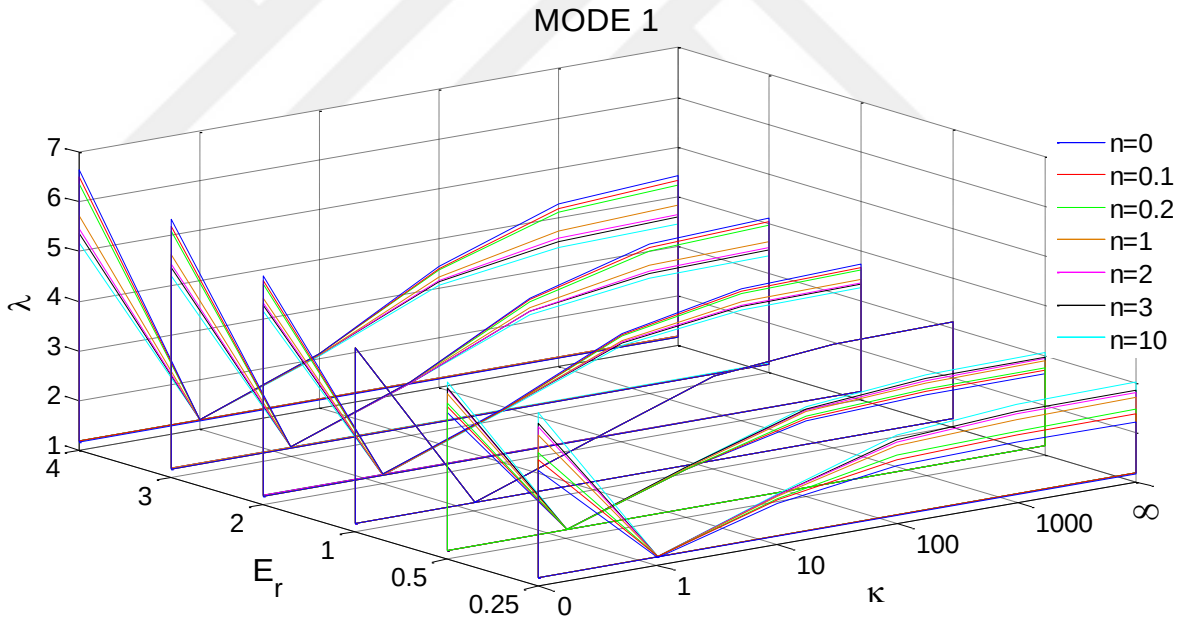
Şekil 3.1 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 1. mod frekans parametreleri



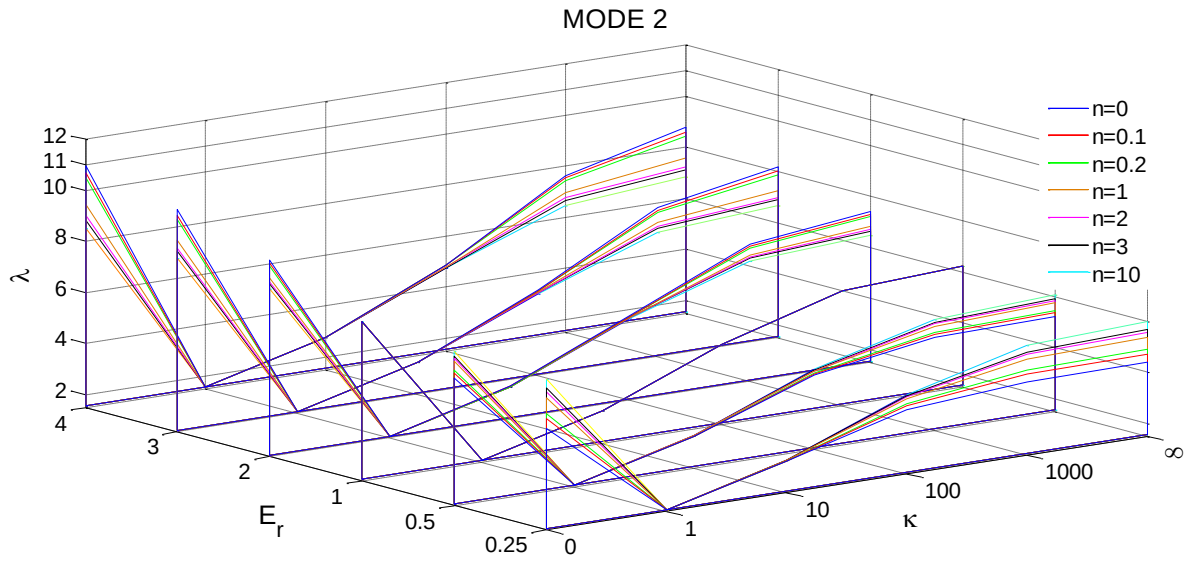
Şekil 3.2 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 2. mod frekans parametreleri



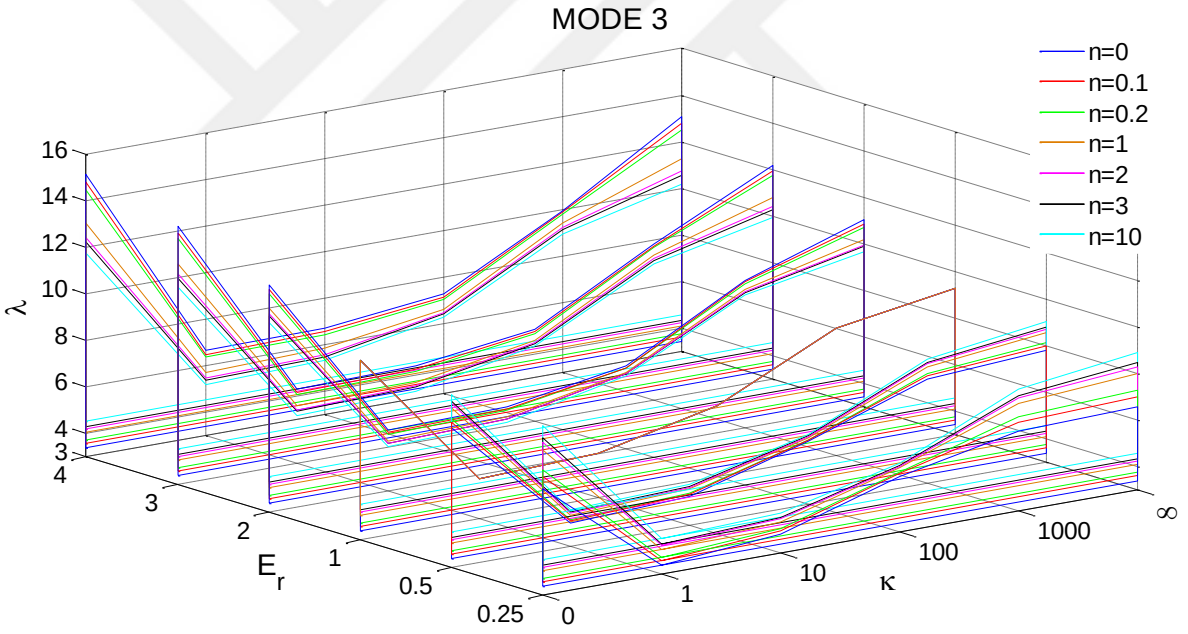
Şekil 3.3 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 3. mod frekans parametreleri



Şekil 3.4 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.5 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.6 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 3. mod frekans parametreleri

3.2 Viskoelastik Mesnetlenmiş Kirişin Sönümlü Serbest Titreşim Analizi

Bu kısımda her iki ucundan yay ve sönüm elamanlarıyla mesnetlenmiş kirişin; kalınlık oranı (T_{Oran}), boyutsuz yay katsayısı (κ), boyutsuz sönüm katsayısı *(C)*, elastiklik modülü oranı (E_r), kuvvet kanunu üsteli (n) parametrelerinin değişimine bağlı olarak boyutsuz frekans değerleri hesaplanmıştır.

$$T_{Oran} = \frac{L}{h} = 5,\ 20 \tag{3.10}$$

$$\kappa = 0,\ 1,\ 10,\ 100,\ 1000,\ \infty \tag{3.11}$$

$$C_{s=}\ 0,\ 1,\ 3,\ 4,\ 5,\ 10,\ 200,\ \infty \tag{3.12}$$

$$E_r = \frac{E_U}{E_L} = 0{,}25,\ 0{,}5,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4 \tag{3.13}$$

$$\text{n= } 0,\ 0{,}1,\ 0{,}2,\ 1,\ 2,\ 3,\ 10 \tag{3.14}$$

$$\rho_r = \frac{\rho_U}{\rho_L} = 1 \tag{3.15}$$

Çalışmada elde edilen sonuçların malzeme özelliklerinden bağımsız hale getirilmesi için aşağıdaki boyutsuzlaştırma katsayıları kullanılmıştır.

$$\lambda^2 = \omega L^2 \sqrt{\frac{\rho_L A}{E_L I}},\ \kappa = \frac{k_s L^3}{E_L I}\ ,\ C = C_s \frac{L}{\sqrt{\rho E_L I b h}} \tag{3.16}$$

λ boyutsuz frekans parametresi, κ ve C ise sırasıyla boyutsuz yay ve boyutsuz sönüm katsayılarıdır. k_s mesnetteki yay, C_s ise sönümleme katsayılarıdır. Mesnetlerdeki yay ve sönüm katsayıları kendi içlerinde eşit alınmıştır.

$$k_s = k_1 = k_2,\ C_s = C_1 = C_2 \tag{3.17}$$

(2.90) eşitliği (3.16)'daki boyutsuz katsayılar cinsinden yazıldığında (3.18) eşitliği elde edilir.

$$\left([K]_G + \kappa [K_s] + iC [D_s] - \lambda^2 [M]_G \right) \{\bar{q}\} = 0 \tag{3.18}$$

λ değerlerinin bulunmasında Matlab programı kullanılmış olup, yakınsama sonucunda 64 elemana ayrılmış kiriş için sonlu elamanlar yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen frekans parametresi değerleri, değişimleri daha iyi gözlemleyebilmek adına Şekil 3.7-3.36 arasında gösterilen grafiklere dökülmüştür. Sayısal değerler aynı zamanda EK-B'de çizelge halinde verilmiştir.

3.2.1 T_{Oran}=5, K=0 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

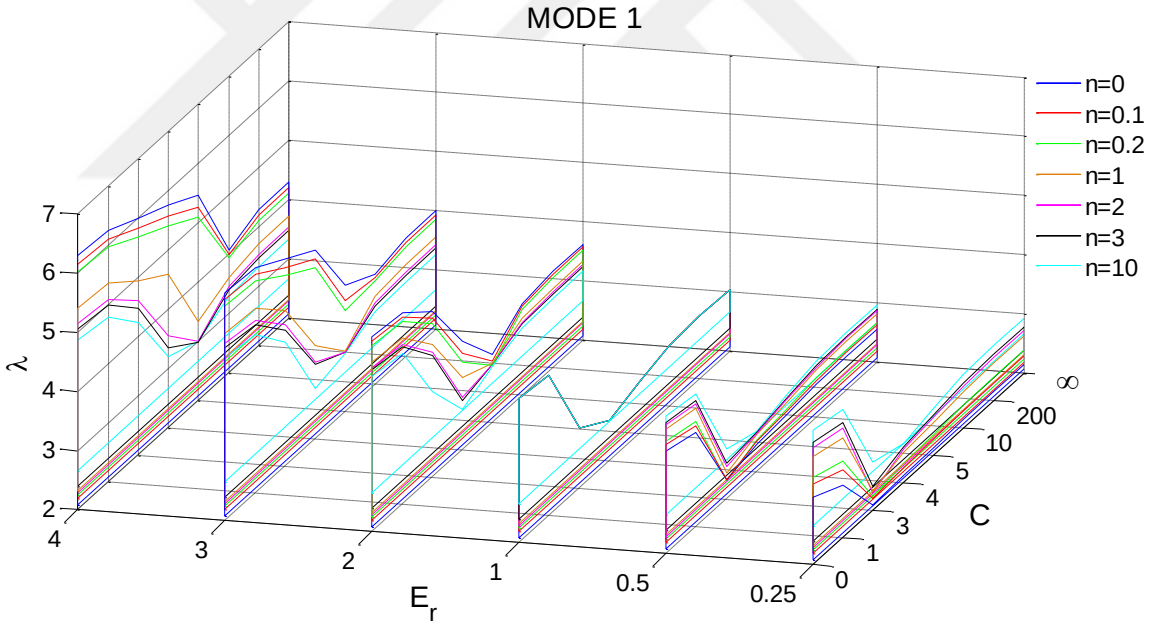
Şekil 3.7-3.9'da gösterilmiş tüm modlarda; E_r<1 için *n* arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken *n* arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca *n* ve *C* sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

Şekil 3.7'de gösterilen birinci modda, en yüksek frekans parametre değerleri *C*=0'da elde edilmektedir. *C*=0 değerinde, kirişin elastik yer değiştirmelerin etkin olduğu serbest-serbest sınır koşullarındaki frekans değerleri görülmektedir. Sisteme sönüm eklenmesiyle kritik bir *C* değerine kadar kirişin elastik yer değiştirmeleri etkin kalmakta olup, frekanslar azalmaktadır. Azalma minimum frekansların görüleceği bu kritik *C* değerine kadar devam etmekte olup, kritik *C* değerinde kiriş rijit yer değiştirmeler etkin olacak şekilde hareket etmektedir. Bu noktadan sonra, artan *C* değeriyle beraber, elastik yer değiştirmeler tekrar etkin olmaya başlamaktadır. Bunu hareketin evreleri olarak tanımlamak istersek kiriş dinamik davranışı, serbest-serbest sınır koşulunu sahip bir kirişin elastik yer değiştirmelerinden, rijit gövdeli harekete geçiş yapmakta, akabinde basit mesnetli kirişin elastik yer değiştirmelerine geçiş yapmaktadır. En düşük frekans parametrelerinin elde edildiği yukarıda bahsedilen kritik *C* değerleri elastiklik modülleri ve kuvvet kanunu katsayılarına göre değişim göstermektedir. E_r=0,25 ve 0,5 için *n*=10'un frekans parametrelerinin en düşük olduğu değer *C*=4 iken, diğer *n*'ler için en düşük değer *C*=3'de oluşmaktadır. Homojen kiriş hali olan E_r=1'de ise en düşük değerler *C*=4'de meydana gelir. E_r=2'de ise *n*=10, *n*=3, *n*=2 değerleri için en düşük frekans parametreleri *C*=4'de oluşurken, *n*=0, *n*=0,1, *n*=0,2, *n*=1 içinse *C*=5'de meydana gelmektedir. E_r=3'de, *n*=0 ve *n*=0,1'de en düşük frekans parametreleri *C*=10'da, *n*=10'da *C*=4'de, *n*= 0,2, *n*=1, *n*=2, *n*=3 içinse *C*=5'de oluşur. E_r=4'te ise *n*=0, *n*=0,1, *n*=0,2 değerleri için en düşük frekans parametreleri *C*=10'da oluşurken, *n*=1, *n*=2, *n*=3, *n*=10 içinse *C*=5'de oluşur. Yine birinci modda, E_r arttıkça en düşük frekansın gözlemlendiği sönüm katsayısı artış gösterme eğilimindedir. E_r=0,25'de en düşük frekanslar *C*=3 ve *C*=4'te gözlemlenirken E_r=4'e gittikçe *C*=5 ve *C*=10'da ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aynı E_r değerleri için, *n* arttıkça en düşük frekansın

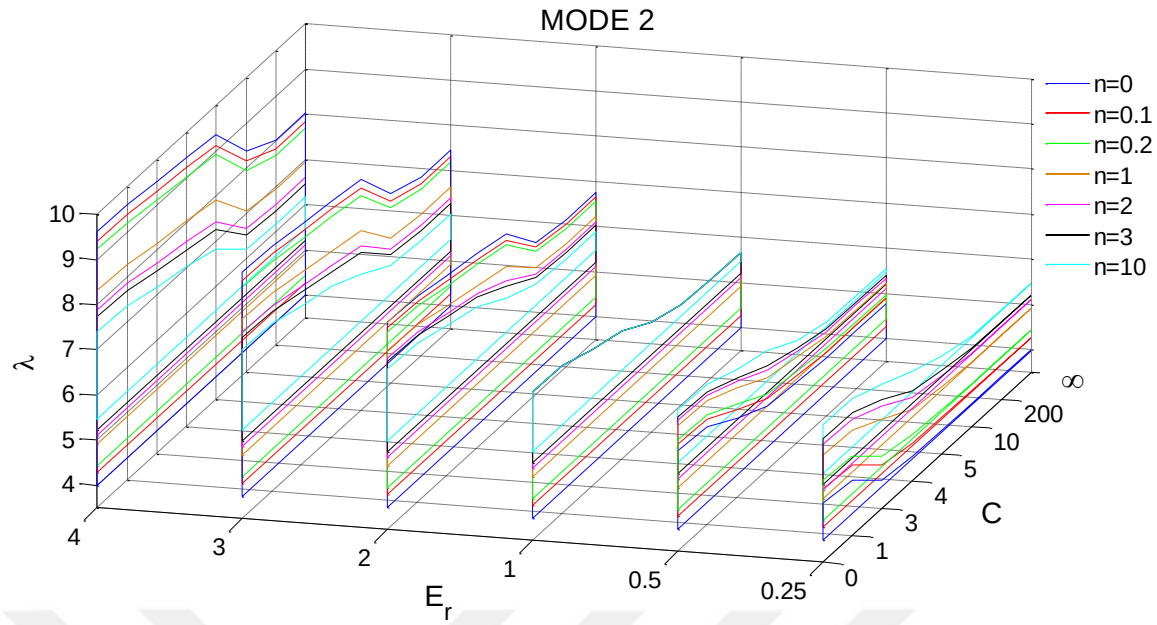
görüldüğü C değerinin ya aynı kaldığı ya da azaldığını gözlemlemek mümkündür. Örneğin E_r =4'te n=0'daki en düşük frekans C=10'da oluşurken n=1'de C=5'te oluşur.

Şekil 3.8'de gösterilen ikinci modda, sönüm katsayısı C artış gösterdikçe frekans parametresi değerleri düşüş gösterme eğilimindedir. C=10 ve C=∞ aralığında ise sabite yakındır. Bu bağlamda en yüksek frekanslar C=0'da, en düşük frekanslar ise C=10-∞ aralığında ortaya çıkmaktadır. İkinci moddaki tüm sönüm değerleri için elastik yer değiştirmeler aktiftir.

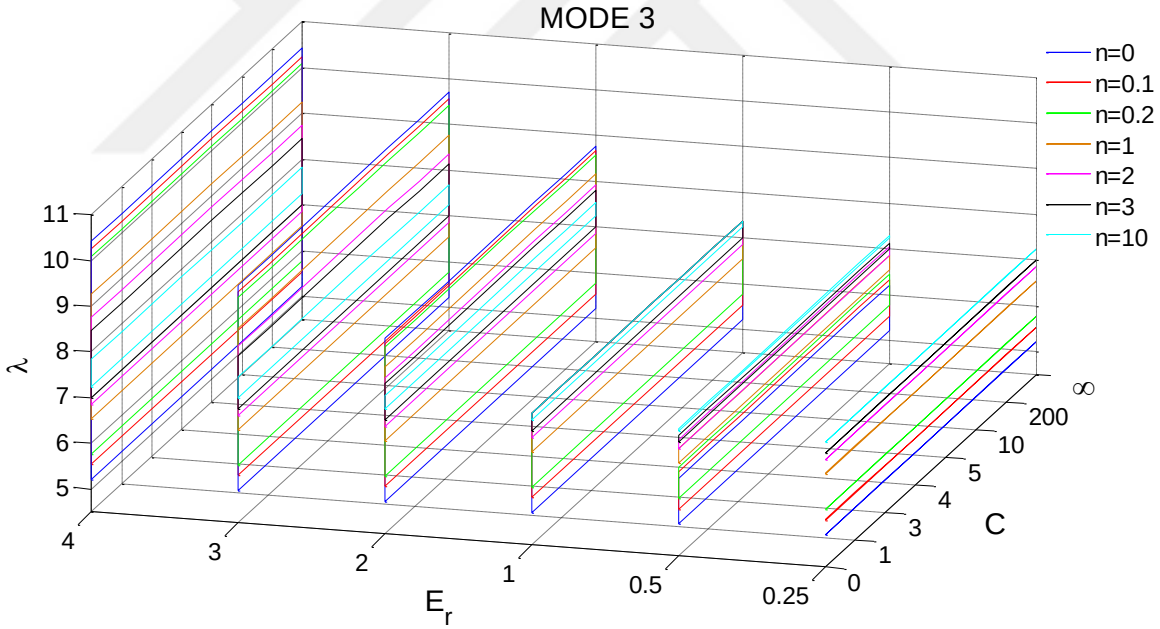
Şekil 3.9'da gösterilen üçüncü modda elastik yer değiştirmelerin çok etkin olmasından dolayı frekans parametresinin sönüm katsayısının değişiminden etkilenmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 3.7 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.8 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.9 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 3. mod frekans parametreleri

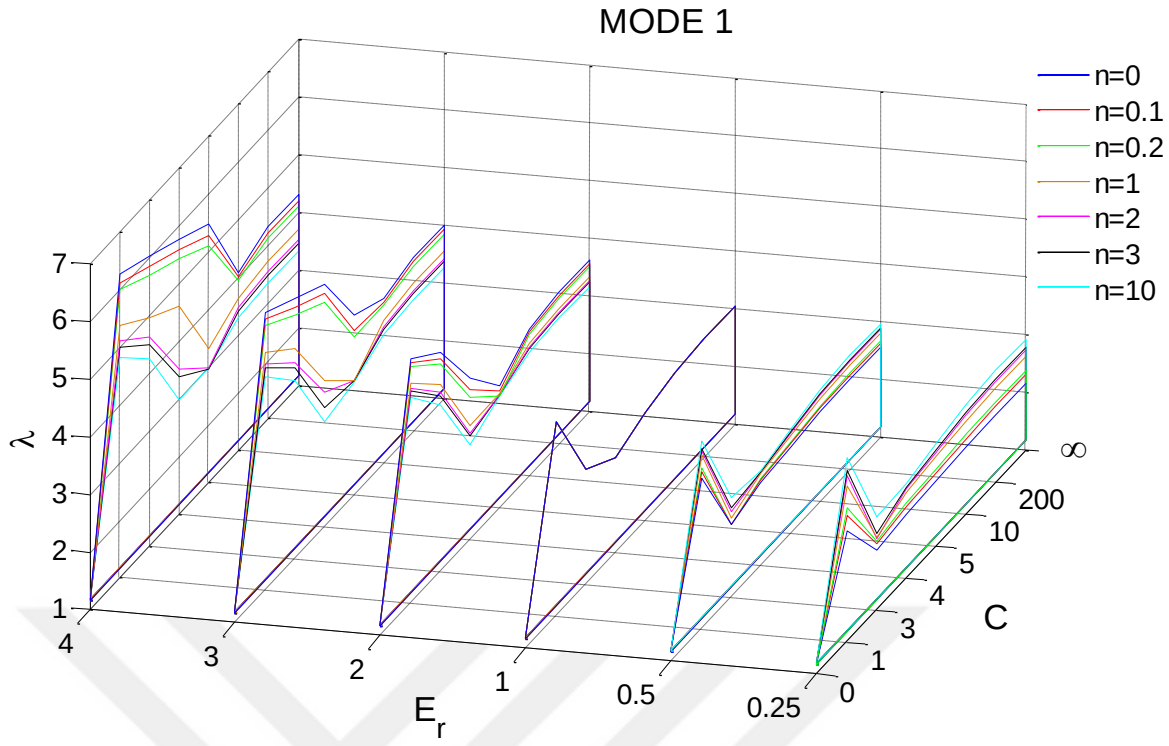
3.2.2 T_{Oran}=5, K=1 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.10-3.12'de gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken n arttıkça

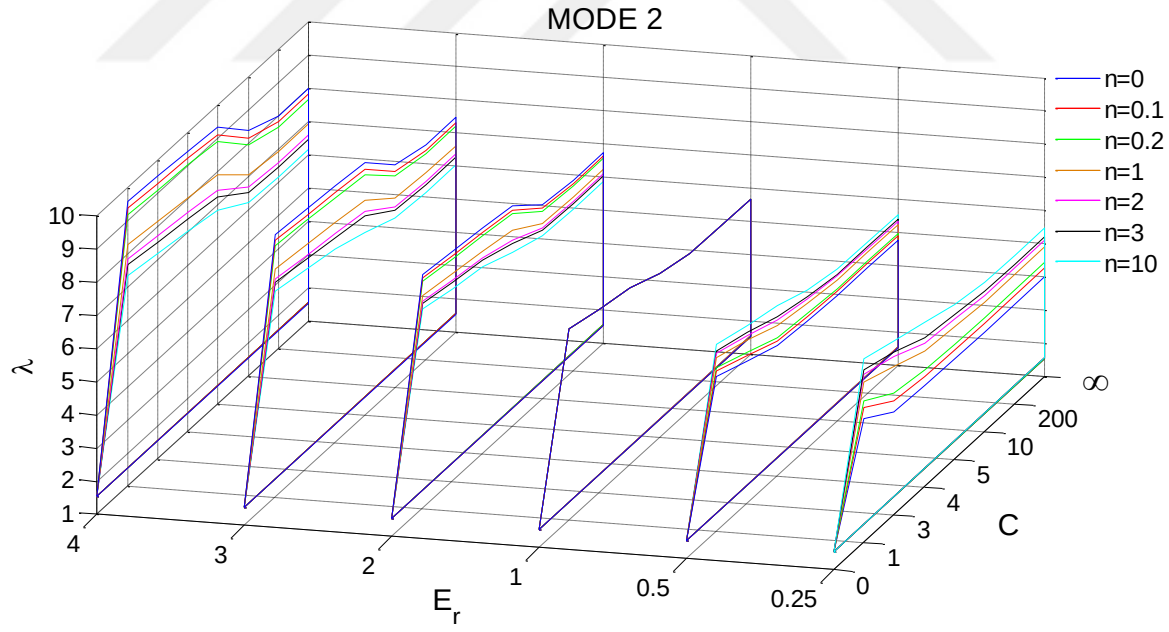
frekans parametresi değeri azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

Şekil 3.10'da gösterilen birinci modda, en yüksek frekans parametre değerleri C=1'da elde edilmektedir. En düşük frekans parametre değerleri ise C=0'da elde edilmektedir. C=0'dışındaki bölgedeki en düşük frekans parametre değerleri ise değişim göstermektedir. C=0 dışındaki bölgede; E_r=0,25, E_r=0,5, E_r=1'de tüm n değerleri için en düşük frekans parametreleri C=3'te oluşmaktadır. E_r=2'de n=0, n=0,1, n=0,2 ve n=1 için en düşük frekanslar C= 5'de gerçekleşirken, n=2, n=3 ve n=10 için C=4'de gerçekleşmektedir. E_r=3'te en düşük frekans parametresi n=0, n=0,1, n=0,2 değerleri için C=10'da, n=1, n=2, n=3 için C=5'te, n=10 için C=4'de gerçekleşmektedir. E_r=4'te n=0, n=0,1 ve n=0,2 değerlerinde en düşük frekanslar C=10'da meydana gelirken, n=1, n=2 ve n=3'te C=5'te ortaya çıkar. n=10'da ise en düşük değerler birbirine eşit olmak üzere C=4 ve C=5'te ortaya çıkar. Yine C=0 dışındaki bölge için; E_r arttıkça en düşük frekansın gözlemlendiği C değeri artış gösterme eğilimindedir. E_r=0,25'te en düşük frekanslar C=3'te oluşurken, E_r=4'te ise C=5 ve C=10'da oluşmaktadır. Ayrıca aynı E_r değerleri için, n arttıkça en düşük frekansın görüldüğü C değerinin ya aynı kaldığı ya da azaldığını gözlemlemek mümkündür. Örneğin E_r=4'te n=0'da en düşük frekanslar C=10'da meydana gelirken, n=1'e çıkınca en düşük frekansın görüldüğü sönüm frekansı C=5'e kaymaktadır. Şekil 3.11'de gösterilmiş ikinci modda, en düşük frekans parametreleri tüm E_r değerleri için C=0'da ortaya çıkar. En yüksek değerler ise C=1'de gerçekleşmektedir. C=1'den itibaren sönüm katsayısı arttıkça frekans parametre değerleri hafif bir düşüş göstermektedir. C=10-∞ aralığında ise sabite yakın kalmaktadır.

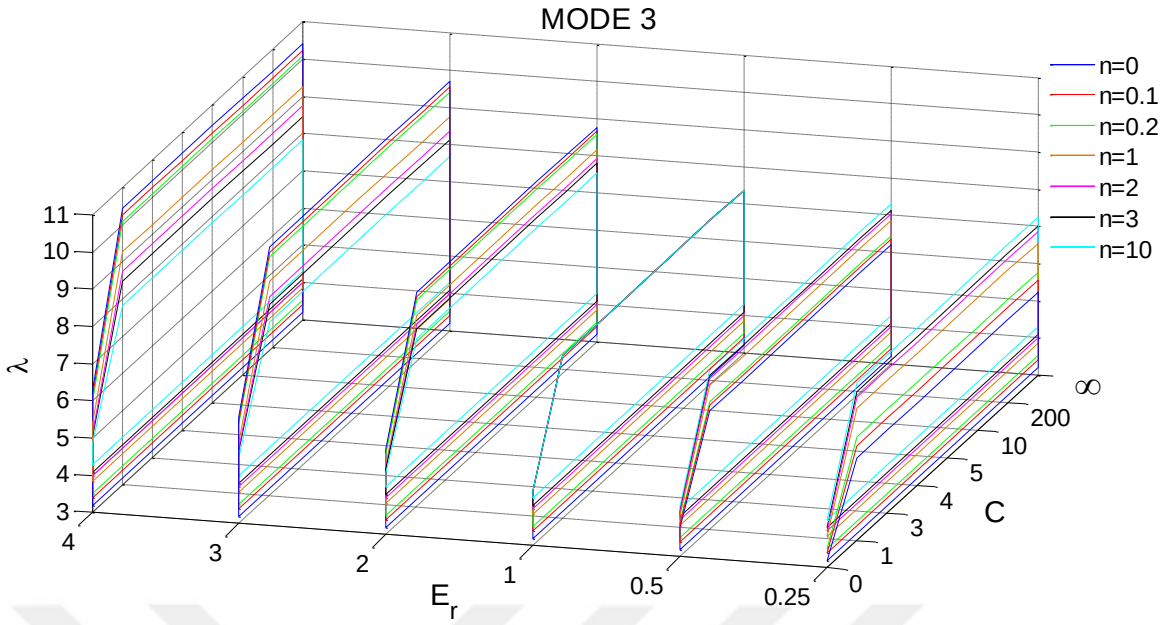
Şekil 3.12'de gösterilen üçüncü modda, tüm E_r değerleri için en düşük frekans parametreleri C=0'da oluşmakta olup, C=1 olduğu durumda en yüksek frekans değerleri elde edilmekte ve C=1'den itibaren tüm sönüm katsayısı değerleri için frekans değerleri sabit kalmaktadır.



Şekil 3.10 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.11 Viskoelastik mesnetli kiriş,T_{oran}=5, K=1, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.12 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 3. mod frekans parametreleri

3.2.3 T_{Oran}=5, K=10 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

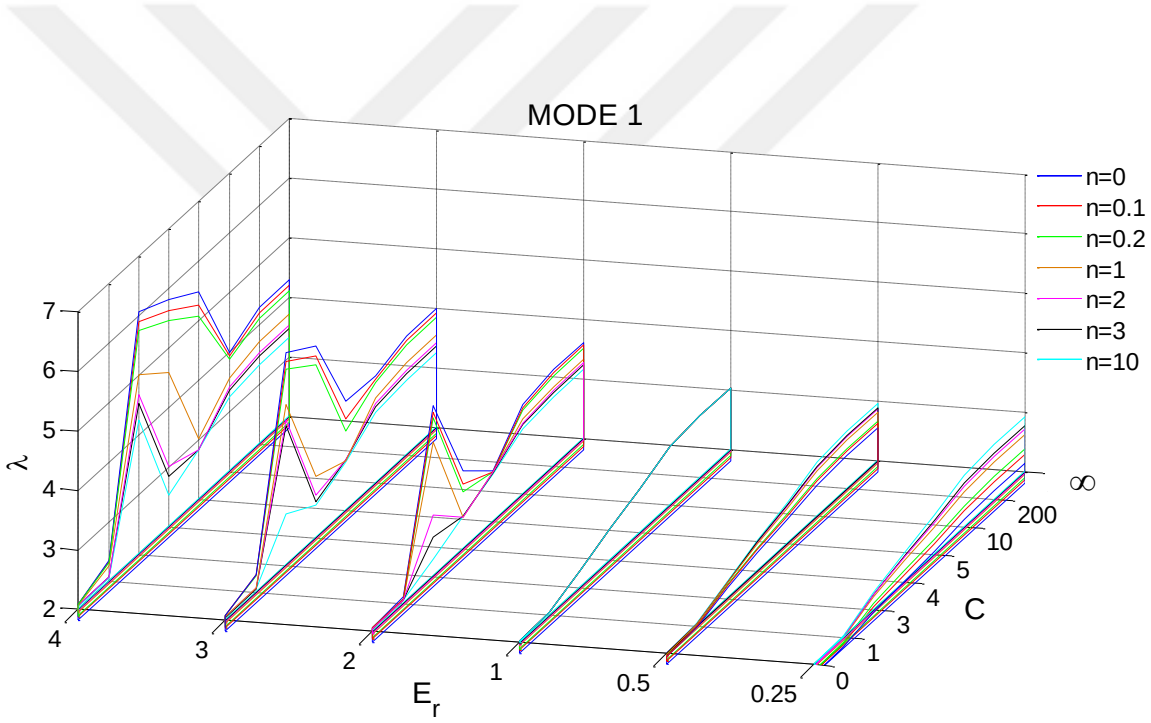
Şekil 3.13-3.15'te gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

Şekil 3.13'te gösterilen birinci modda en düşük frekans parametre değerleri C=0'da elde edilmektedir. E_r =0,25, E_r =0,5, E_r =1'de C'nin artmasıyla frekans parametrelerinin doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir. E_r =2'de; n=0, n=0,1, n=0,2, n=1 değerleri için en yüksek frekanslar C=3'de oluşmakla birlikte, C=5'e kadar düşmekte ve sonrasında tekrar yükselişe geçmektedir. Yine E_r =2'de n=2 ve n=3 için frekanslar C=3'e kadar yükselmekte, C=4'te bir miktar düşüp daha büyük C değerlerinde sürekli artarak ilerleyip en yüksek frekans C=∞'da meydana gelmektedir. n=10 içinse frekans parametreleri C arttıkça sürekli artmaktadır. E_r =3'te; n=10 hariç tüm n değerlerinde en yüksek frekanslar C=3'te oluşmaktadır. C=3'ten sonraki bölgede; n=0 için en düşük frekanslar C=10'da, n=0,1, n=0,2 ve n=1 için C=5'te, n=2 ve n=3'te ise C=4'te meydana gelmektedir. n=10 için C=3'te bir miktar artış sonrası düşüşe geçen frekanslar,

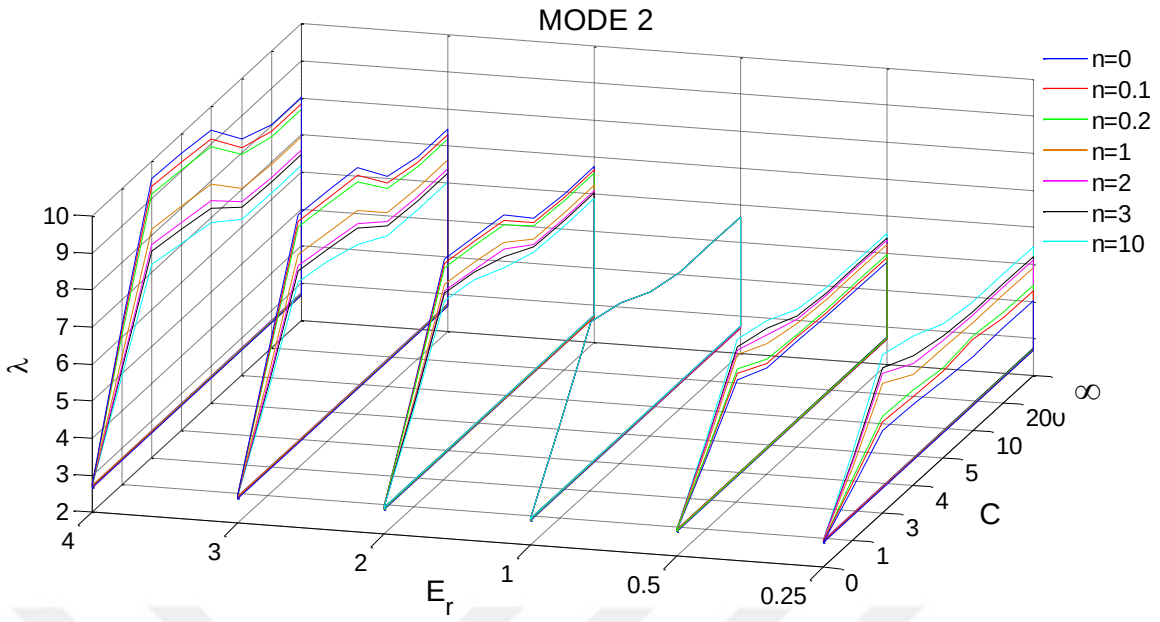
sonrasında tekrar yükselmekte ve C=∞'da en yüksek frekanslar oluşmaktadır. E_r =4'te en yüksek frekanslar C=3'te elde edilmektedir. C=3'ten itibaren düşüşe geçen frekans değerleri n=0, n=0,1 ve n=0,2 için C=10'da, n=1, n=2 ve n=3 için C=5'te, n=10 içinse C=4'te en düşük seviyeye inmektedir.

Şekil 3.14'te gösterilen ikinci modda en yüksek frekanslar C=3'te gerçekleşmekte olup, C=3'ten C=10'a kadar C arttıkça frekans parametreleri kademeli düşmekte, C=10 - C=∞ aralığında ise sabite yakın kalmaktadır.

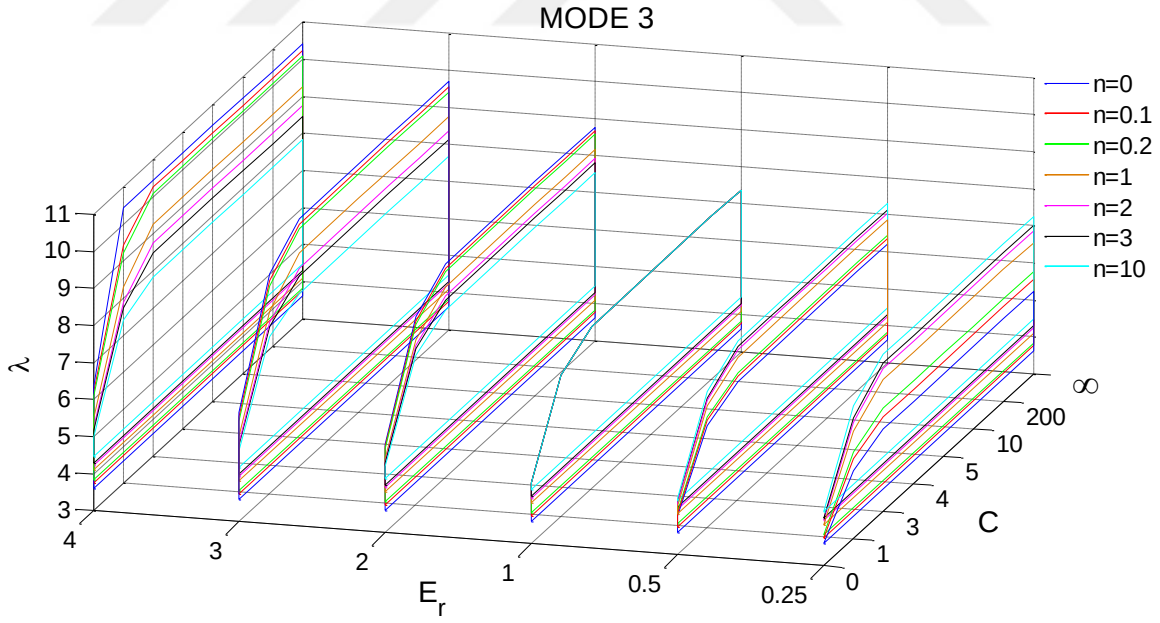
Şekil 3.15'te üçüncü modda en düşük frekanslar C=0 değerinde ortaya çıkmakta olup, C=3'e kadar yükselmekte ve sonraki sönüm katsayılarında sabit kalmaktadır.



Şekil 3.13 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.14 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.15 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 3. mod frekans parametreleri

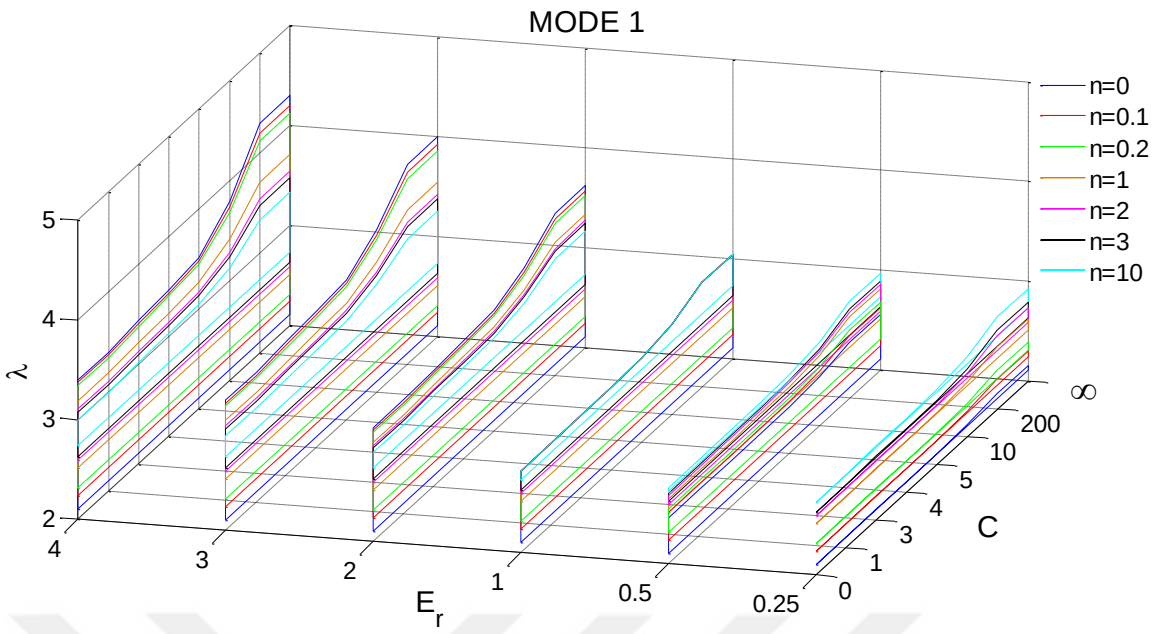
3.2.4 T_{Oran}=5, K=100 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.16-3.18'de gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için *n* arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken *n* arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca *n* ve *C* sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

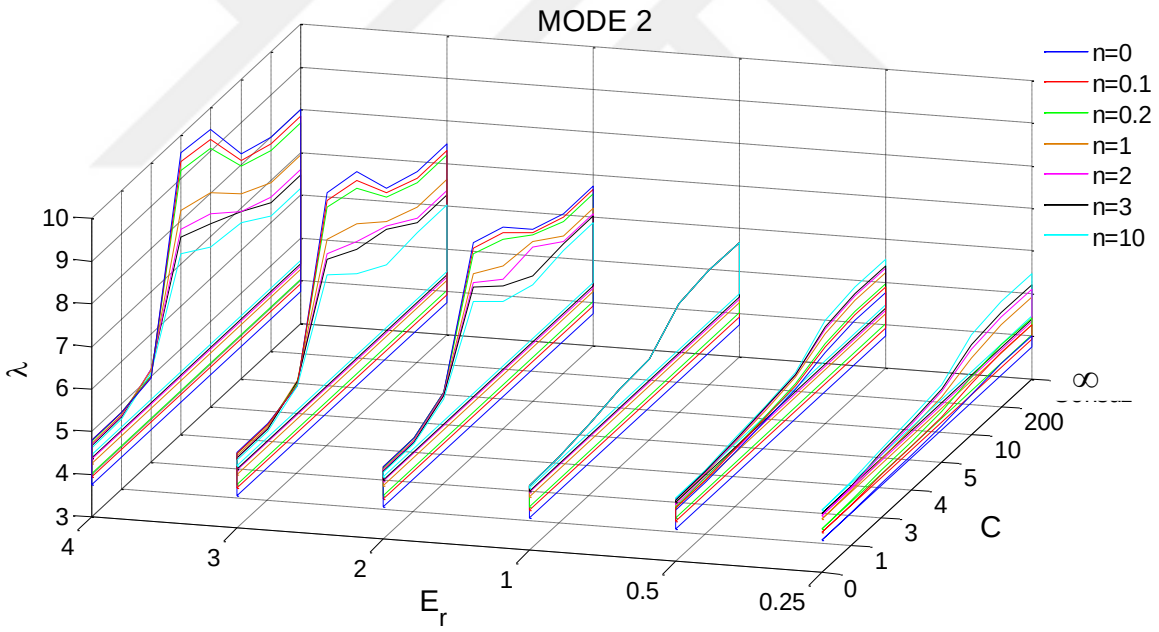
Şekil 3.16'da gösterilen birinci modda *C* arttıkça frekans parametresi artış göstermektedir. Ancak bu artış *C*=5'e kadar oldukça düşük seviyededir. *C*=5-∞ aralığında ise nispeten daha yüksek bir artış görünür. E_r arttıkça *C*'ye bağlı olarak frekansın değişimi de artmaktadır. Öyle ki, E_r =4'te E_r =0,25'e göre *C*=5-∞ aralığındaki frekans artışı çok daha fazladır.

Şekil 3.17'de gösterilen ikinci modda en düşük frekans paramatresi *C*=0'da oluşmaktadır. E_r =0,25, E_r =0,5 ve E_r =1 için *C* arttıkça frekans parametresinin artış gösterdiği görülmektedir. E_r =2, E_r =3, E_r =4 için en yüksek frekans parametresi *C*=4'te ortaya çıkmaktadır.

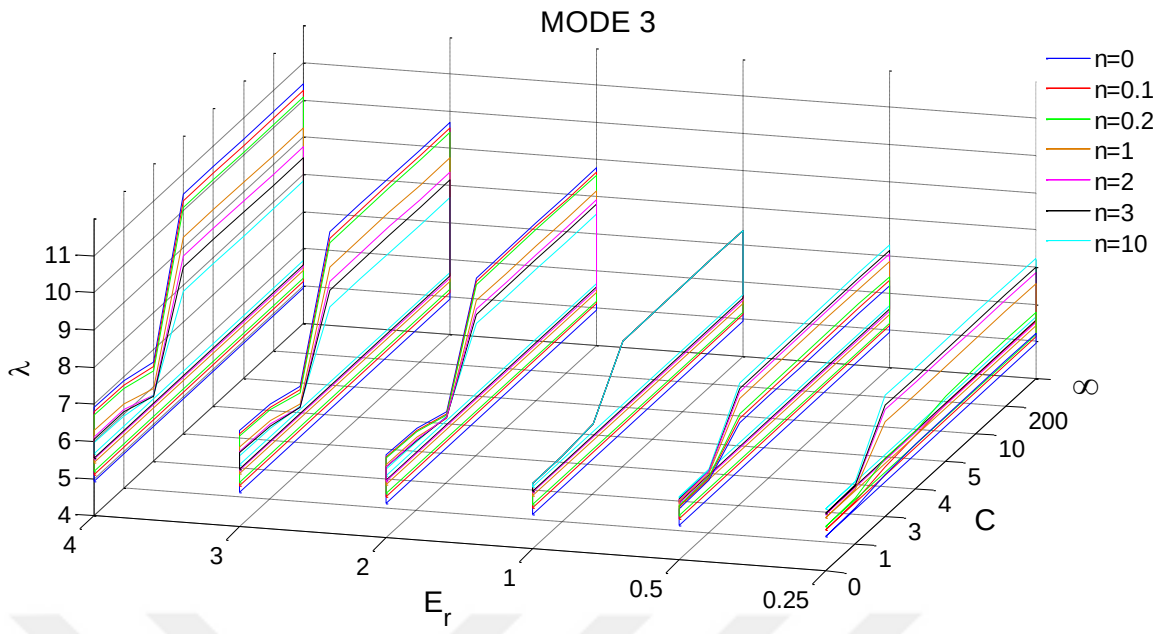
Şekil 3.18'de gösterilen üçüncü modda ise frekans parametreleri E_r =0,25, E_r =0,5 için ve *C*=0-1 arasında sabite yakın düşük bir artış, *C*=3'te hızlı bir yükseliş ve devamında sabit kalma eğilimindedir. E_r =1'de ise *C*=0'dan *C*=3'e kadar çok düşük bir artış göstermekte, *C*=4'te ani bir yükseliş ve devamında sabit kalma eğilimindedir. E_r =2, E_r =3, E_r =4 içinse frekans parametresi *C*=0'dan *C*=3'e kadar az miktarda düşerek *C*=3'te en düşük frekansları oluşturmakta, *C*=4'te ani bir yükseliş gösterip en yüksek frekansları oluşturup devamında sabit kalmaktadır.



Şekil 3.16 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.17 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.18 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 3. mod frekans parametreleri

3.2.5 T_{Oran}=5, K=1000 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

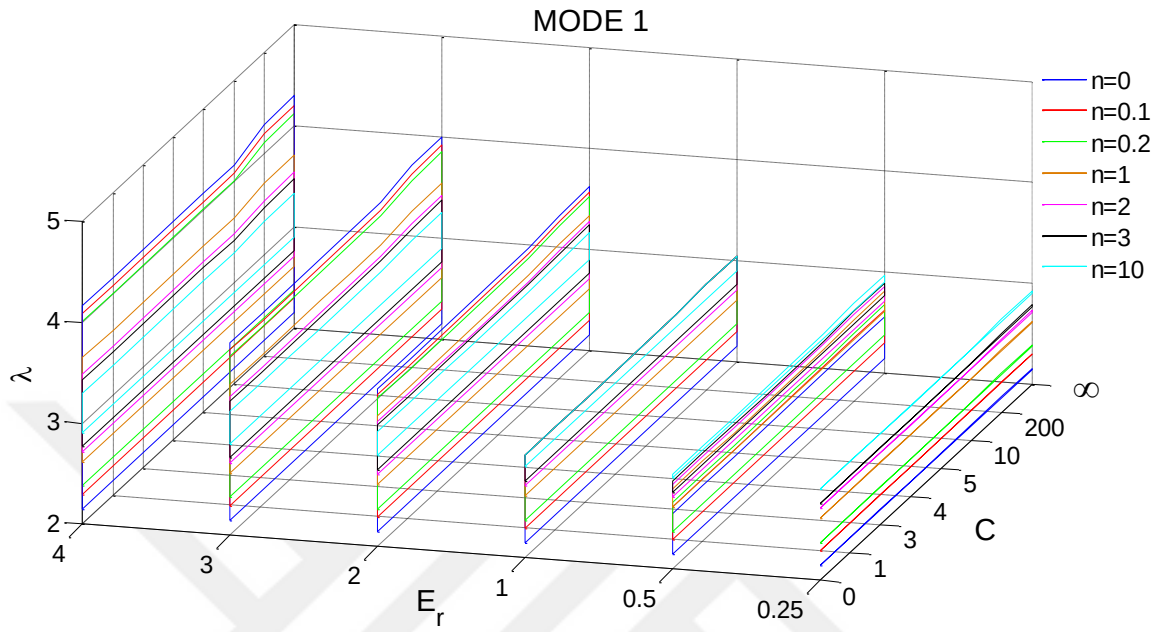
Şekil 3.19-3.21'de gösterilen tüm modlarda; E_r<1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır. Yay katsayısı yüksek olduğu için kiriş tüm modlarda yüksek elastik davranış göstermekte ve frekanslar C değişiminden çok az etkilenmektedir.

Şekil 3.19'da gösterilen birinci modda, frekans parametreleri C değişiminden çok az etkilenip sabit kalmakla birlikte özellikle E_r=4'te n=0 için en net görülecek şekilde C=10'dan itibaren az miktarda artış göstermektedir.

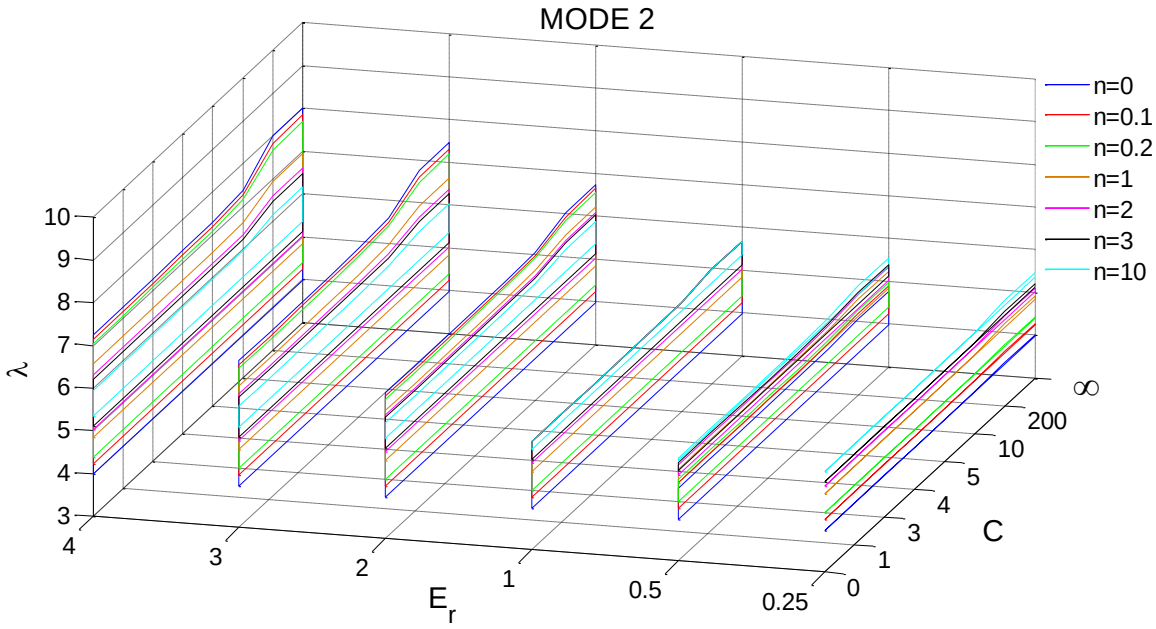
Şekil 3.20'de gösterilen ikinci modda da frekans parametreleri C değişiminden çok az etkilenmektedir. C eksenine göre frekans değişimi sabite yakın olmakla birlikte C=10-∞ arasında az miktarda artış göstermektedir. Birinci moddakine benzer olarak yüksek E_r 'lerde bu artış daha fazla olmaktadır.

Şekil 3.21'de gösterilen üçüncü modda da ilk iki moddaki gibi, frekans parametresinin C değişiminden az etkilendiği görülmektedir. Genel olarak frekans parametrelerinin değişmediği ama E_r>1 değerleri için C=5'ten C=∞'a kadarki bölgede artış oluştuğu

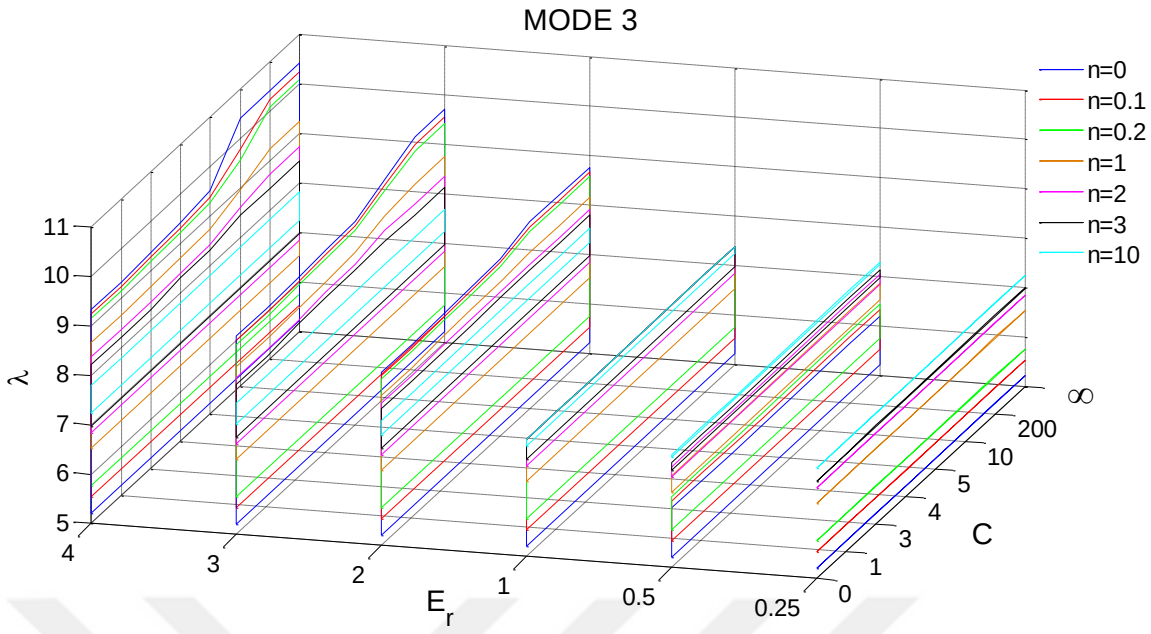
gözlemlenmektedir. Bu bağlamda üçüncü modun, ilk iki moda göre *C* değişiminden daha fazla etkilendiğini söylemek mümkündür.



Şekil 3.19 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.20 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.21 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 3. mod frekans parametreleri

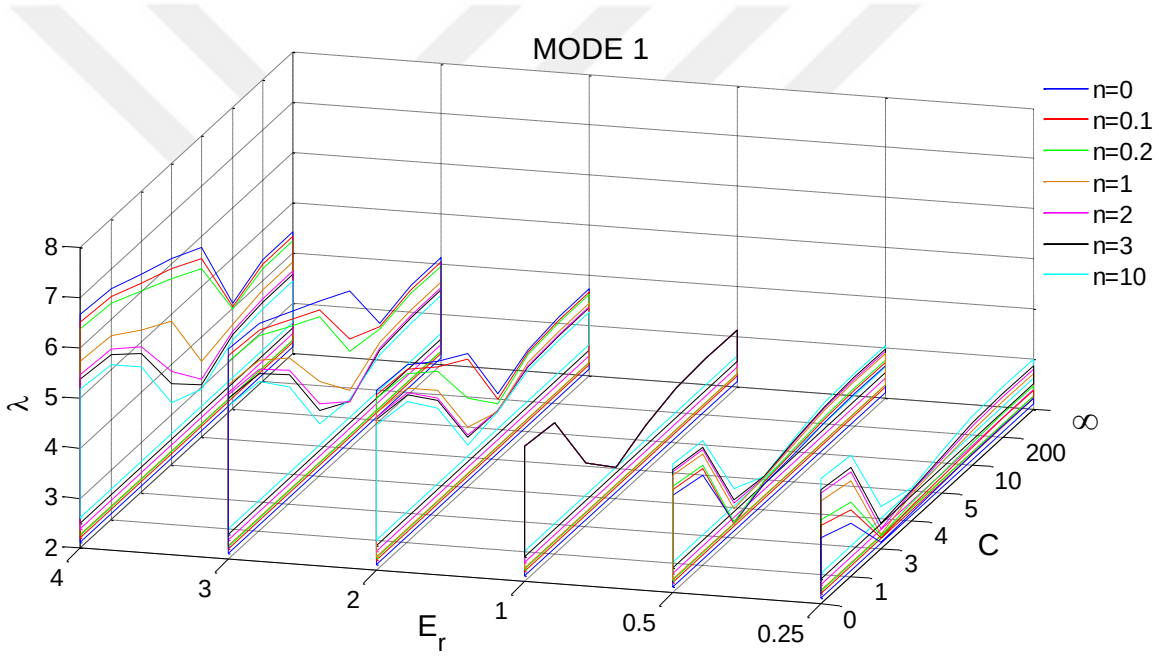
3.2.6 T_{Oran}=20, K=0 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.22-3.24'te gösterilen tüm modlarda; E_r<1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

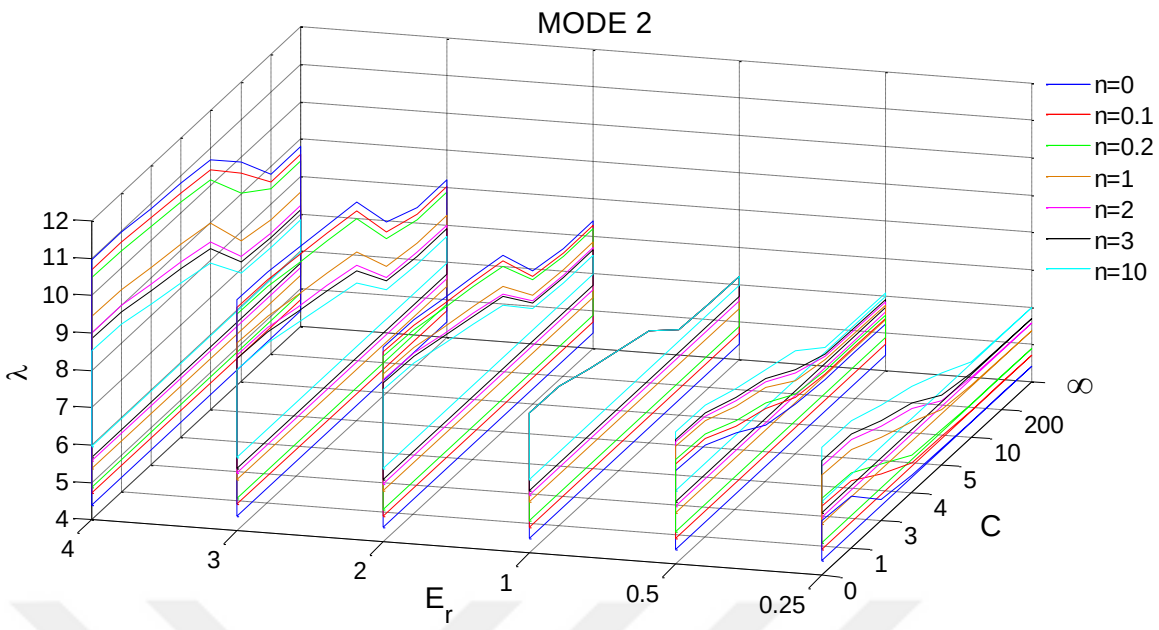
Şekil 3.22'de gösterilen birinci modda, en yüksek frekans parametre değerleri C=0'da ortaya çıkmaktadır ve daha yüksek C değerlerinde düşmektedir. En düşük frekanslar ise; E_r=0.25'te n=0, n=0,1, n=0,2, n=1, n=2, n=3 için C=4'te, n=10 içinse C=3'te gerçekleşmektedir. E_r=0,5'te en düşük frekanslar n=0, n= 0,1, n=0,2, n=1 değerleri için C=3'te, n=2, 3, 10 içinse C=4'te ortaya çıkmaktadır. E_r=1'de en düşük frekanslar C=4'te meydana gelmektedir. E_r=2'de n=0, n= 0,1, n=0,2, n=1, n=2, n=3 için C=5'te, n=10 içinse C=4'te oluşmaktadır. E_r=3'te n=0, 0,1, 0,2 için en düşük frekans parametresi C=10'da, n=1, n=2, n=3, n=10 içinse C=5'te ortaya çıkmaktadır. E_r=4'te ise n=0, n=0,1, n=0,2 için en düşük frekanslar C=10'da, n=1, n=2, n=3, n=10 içinse C=5'te meydana gelmektedir. Yine birinci modda, E_r arttıkça en düşük frekansın

gözlemlendiği sönüm katsayısı artış gösterme eğilimindedir. E_r =0,25'de en düşük frekanslar C=3 ve C=4'te gözlemlenirken E_r =4'e gittikçe C=5 ve C=10'da ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aynı E_r değerleri için, n arttıkça en düşük frekansın görüldüğü C değerinin ya aynı kaldığı ya da azaldığını gözlemlemek mümkündür. Örneğin E_r =4'te n=0'daki en düşük frekans C=10'da oluşurken n=1'de C=5'te oluşur.

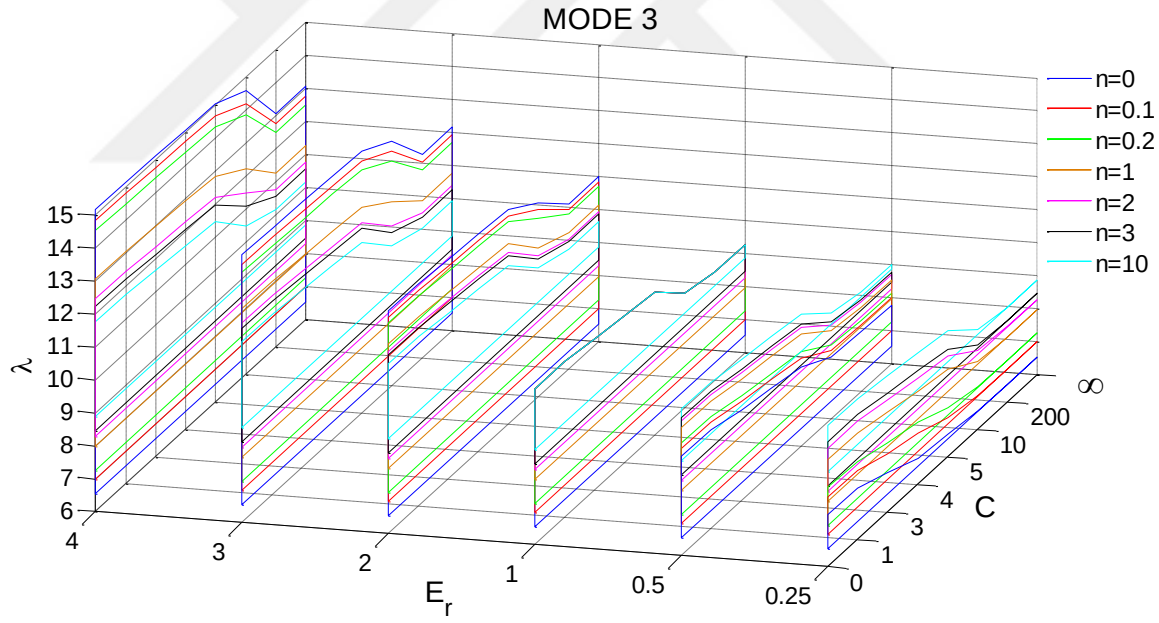
Şekil 3.23'te gösterilen ikinci modda ve Şekil 3.24'te gösterilen üçüncü modda, C artış gösterdikçe frekans parametresi değerleri yer yer sabit kalmak üzere, kademeli olarak düşüş gösterme eğilimindedir. En yüksek frekanslar C=0'da en düşük frekanslar ise C=∞'da ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.22 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.23 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.24 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 3. mod frekans parametreleri

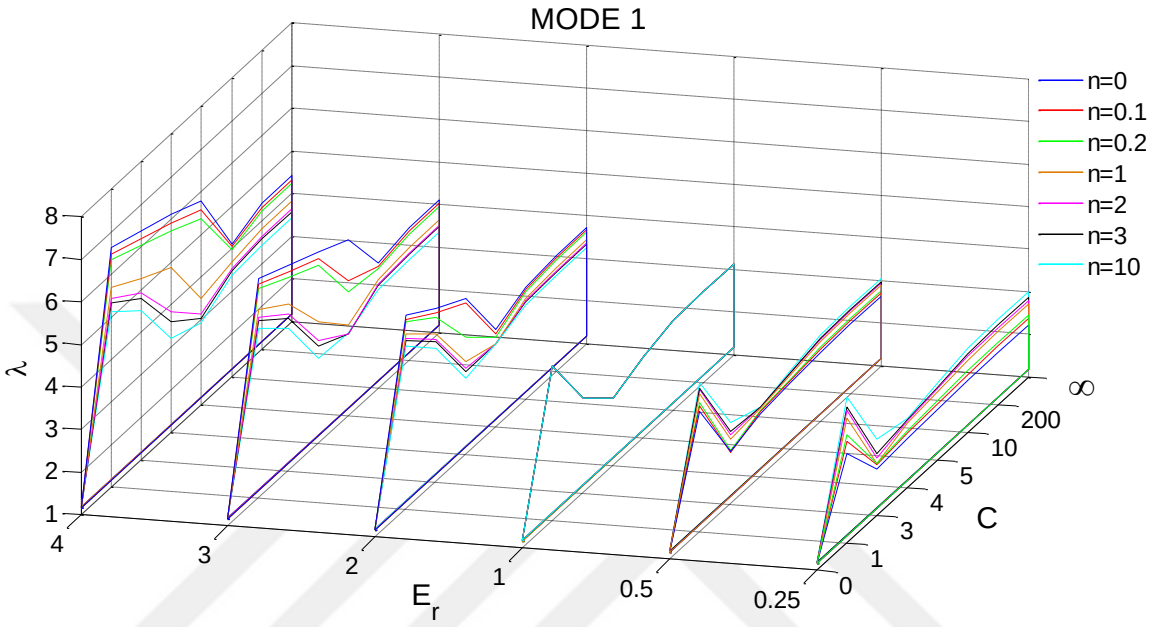
3.2.7 T_{Oran}=20, K=1 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.25-3.27'de gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için *n* arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken *n* arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca *n* ve *C* sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

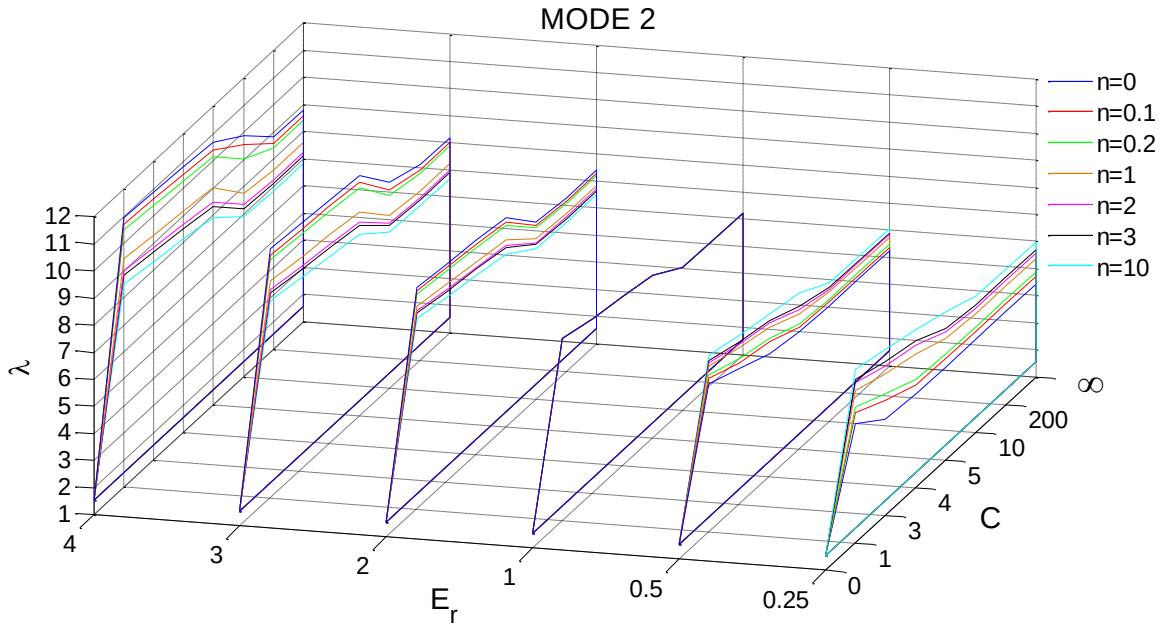
Şekil 3.25'te gösterilen birinci modda, en yüksek frekans parametre değerleri *C*=1'da elde edilmektedir. En düşük frekans parametre değerleri ise *C*=0'da elde edilmektedir. *C*=0'dışındaki bölgedeki en düşük frekans parametre değerleri ise değişim göstermektedir. *C*=0 dışındaki bölgede; E_r =0,25'te *n*=10 için en düşük frekanslar *C*=4'te, diğer tüm n değerleri için *C*=3'te oluşmaktadır. E_r =0,5'te *n*=0, *n*=0,1, *n*=0,2, *n*=1 değerleri için en düşük frekanslar *C*=3'te, *n*=2, *n*=3, *n*=10'da ise *C*=4'te oluşmaktadır. E_r =1'de en düşük frekans parametresi *C*=3'te oluşmaktadır. E_r =2'de *n*=0, *n*=0,1, *n*=0,2, *n*=1, *n*=2, *n*=3 için en düşük frekanslar *C*=5'de gerçekleşirken, *n*=10 için *C*=4'de gerçekleşmektedir. E_r =3'te *n*=0, *n*=0,1, *n*=0,2 için en düşük frekanslar *C*=10'da gerçekleşirken, *n*=1, *n*=2, *n*=3, *n*=10 için *C*=5'te gerçekleşmektedir. E_r =4'te *n*=0, *n*= 0,1, *n*=0,2 için en düşük frekanslar *C*=10'da gerçekleşirken, *n*=1, *n*=2, *n*=3, *n*=10 için *C*=5'te gerçekleşmektedir. Yine aynı bölgede, E_r arttıkça en düşük frekansın gözlemlendiği *C* değeri artış gösterme eğilimindedir. E_r =0,25'te en düşük frekanslar *C*=3 ve *C*=4'te oluşurken, E_r =4'te ise *C*=5 ve *C*=10'da oluşmaktadır. Ayrıca aynı E_r değerleri için, *n* arttıkça en düşük frekansın görüldüğü *C* değerinin ya aynı kaldığı ya da azaldığını gözlemlemek mümkündür. Örneğin E_r =4'te *n*=0'da en düşük frekans *C*=10'da meydana gelirken, *n*=1'e çıkınca en düşük frekansın görüldüğü sönüm frekansı *C*=5'e kaymaktadır.

Şekil 3.26'da gösterilen ikinci modda, en düşük frekans parametreleri tüm E_r değerleri için *C*=0'da ortaya çıkar. En yüksek değerler ise *C*=1'de gerçekleşmektedir. *C*=1'den itibaren sönüm katsayısı arttıkça frekans parametre değerleri düşüş göstermektedir. *C*=200 - *C*=∞ aralığında ise sabit kalmaktadır.

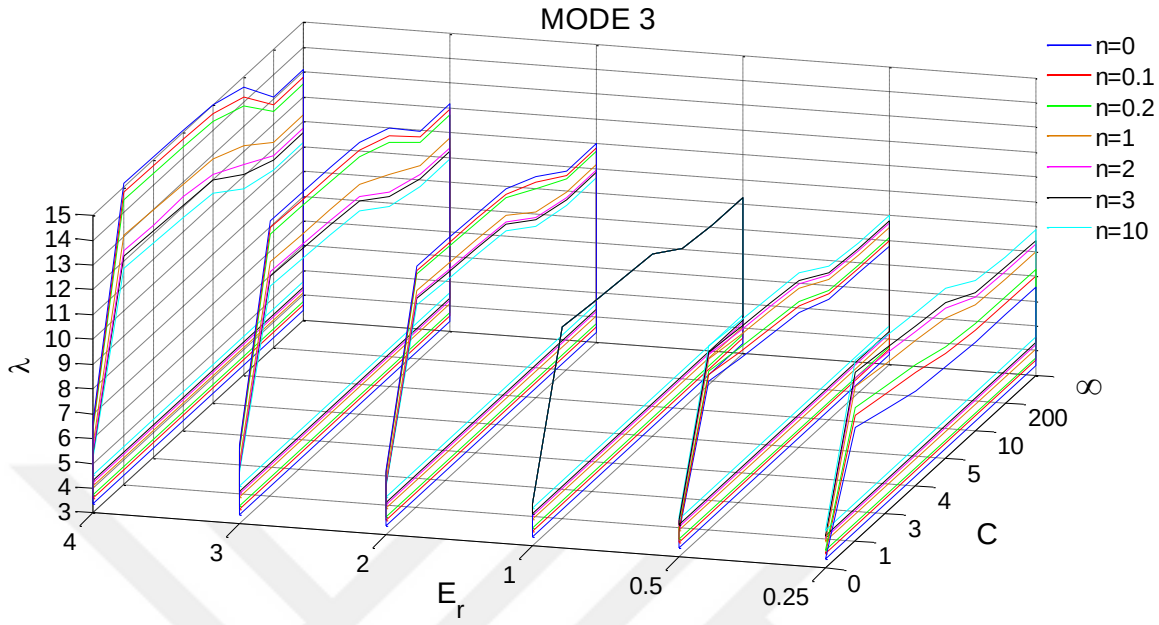
Şekil 3.27'de gösterilen üçüncü modda, tüm E_r değerleri için en düşük frekans parametreleri C=0'da oluşmakta olup, C=1 olduğu durumda en yüksek frekans değerleri elde edilmekte ve C=1'den C=5'e kadar sabit kalmaktadır. Frekanslarda C=5'ten C=200'e kadar kademeli düşüşler gözlemlenmekte C=200 - C=∞ aralığında tekrar sabitlenmektedir.



Şekil 3.25 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1 için 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.26 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.27 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 3. mod frekans parametreleri

3.2.8 T_{Oran}=20, K=10 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

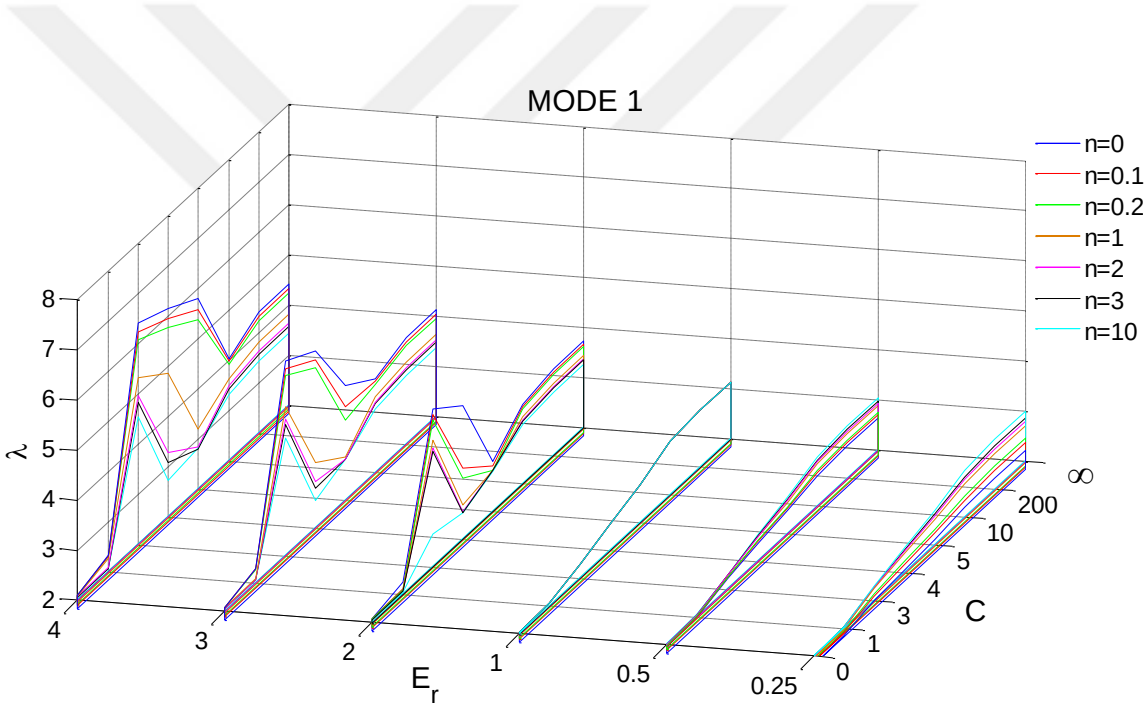
Şekil 3.28-3.30'da gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

Şekil 3.28'de gösterilen birinci modda en düşük frekans parametre değerleri C=0'da elde edilmektedir. E_r =0,25, E_r =0,5, E_r =1'de C'nin artmasıyla frekans parametrelerinin doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir. E_r =2'de; n=0, n=0,1, n=0,2, n=1, n=2, n= 3 değerleri için en yüksek frekanslar C=3'te oluşmakla birlikte, en düşük frekanslar n=0, n= 0,1, n=0,2 için C=5'te n=1, n=2, n=3 için C=4'te meydana gelmektedir. n=10'da ise frekans C=3'e kadar yükselip, C=4'te bir miktar düşüp sonraki C değerlerinde sürekli artış göstermekte ve en yüksek frekans C=∞'da meydana gelmektedir. E_r =3'te; en yüksek frekanslar C=3'te ortaya çıkmaktadır. Frekans parametreleri, n=0 ve n=0,1 değerleri için C=10'a kadar, n=0,2, 1, 2 değerleri için

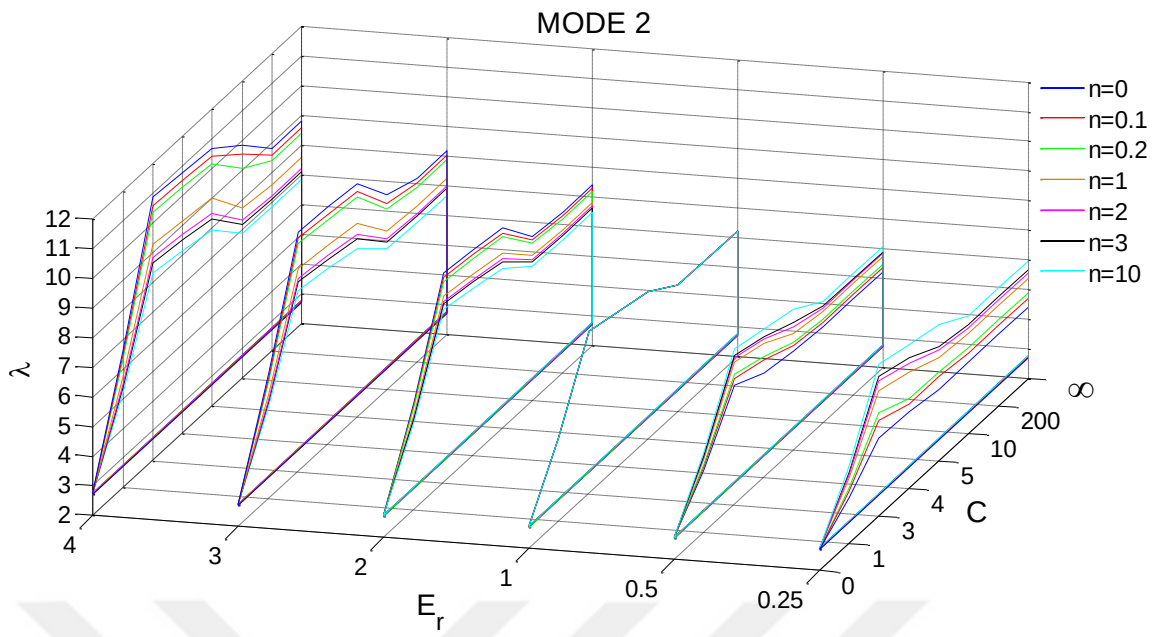
C=5'e kadar, n=3 ve n=10 değerleri için de C=4'e kadar düşmekte ve sonraki değerlerde sürekli yükselmektedir. E_r =4'te en yüksek frekanslar C=3'te elde edilmektedir. Frekans parametreleri, n=0, n=0,1, n=0,2 değerleri için C=10'a kadar, n=1, n=2, n=3 değerleri için C=5'e kadar, n=10 için de C=4'e kadar düşmekte ve sonraki değerlerde sürekli yükselmektedir.

Şekil 3.29'da gösterilen ikinci modda en yüksek frekanslar C=3'te gerçekleşmekte olup devamında frekanslar kademeli olarak düşmektedir.

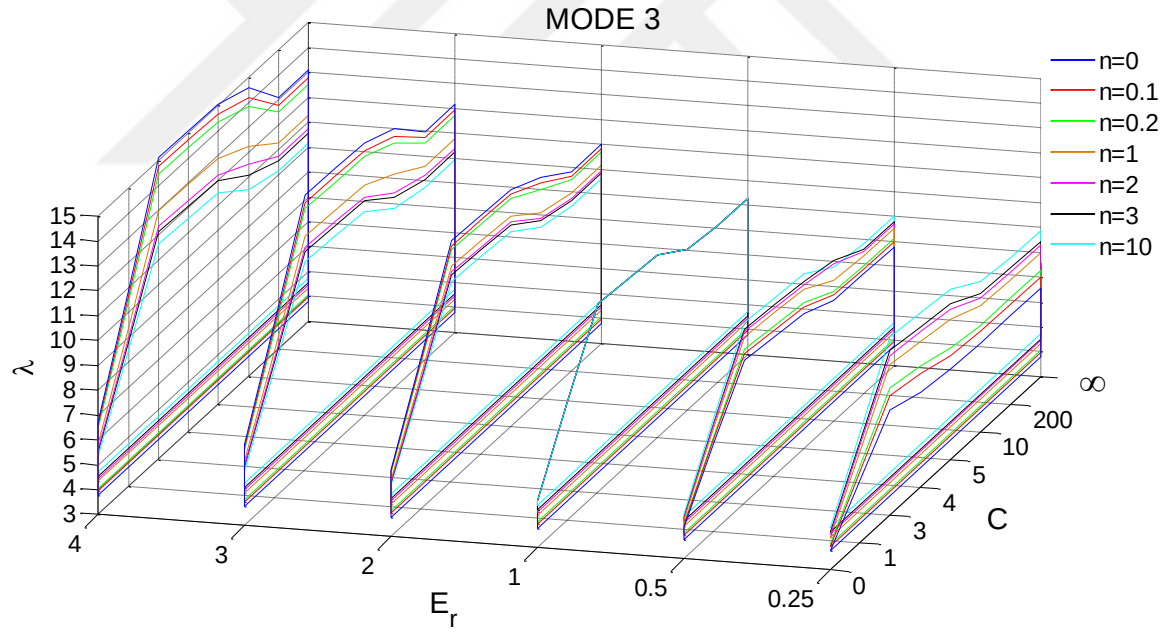
Şekil 3.30'da gösterilen üçüncü modda en düşük frekanslar C=0 değerinde ortaya çıkmakta olup, C=3'e kadar yükselmekte ve sonraki sönüm katsayılarında kademeli olarak düşüş göstermektedir.



Şekil 3.28 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.29 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.30 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 3. mod frekans parametreleri

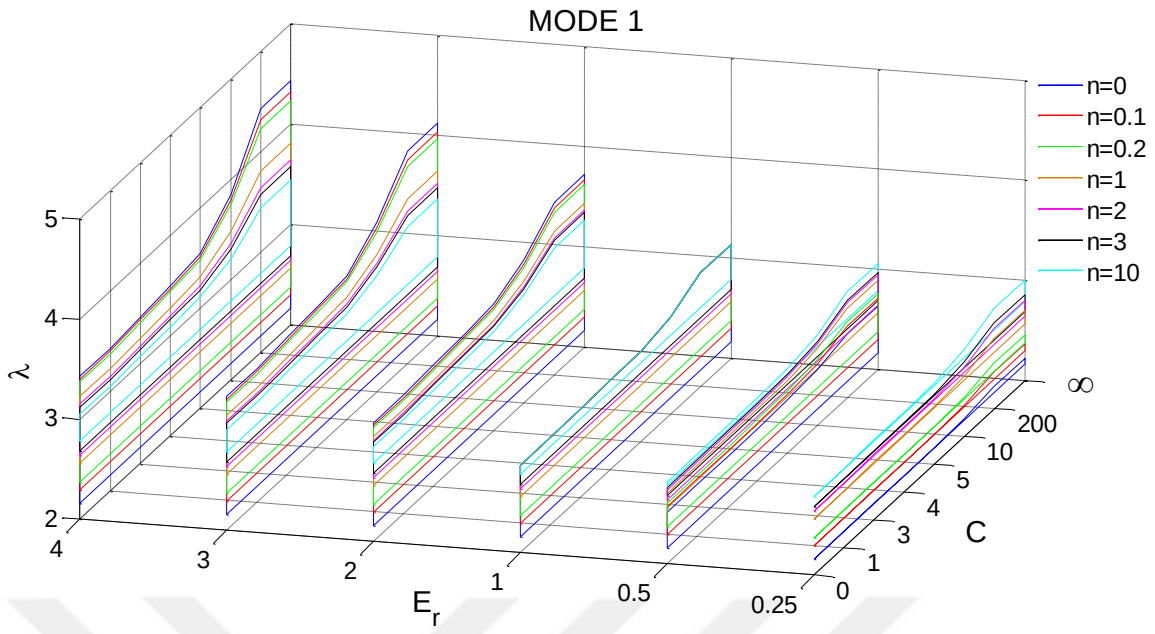
3.2.9 T_{Oran}=20, K=100 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.31-3.33'de gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için *n* arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri azalmaktadır. Ayrıca *n* ve *C* sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır.

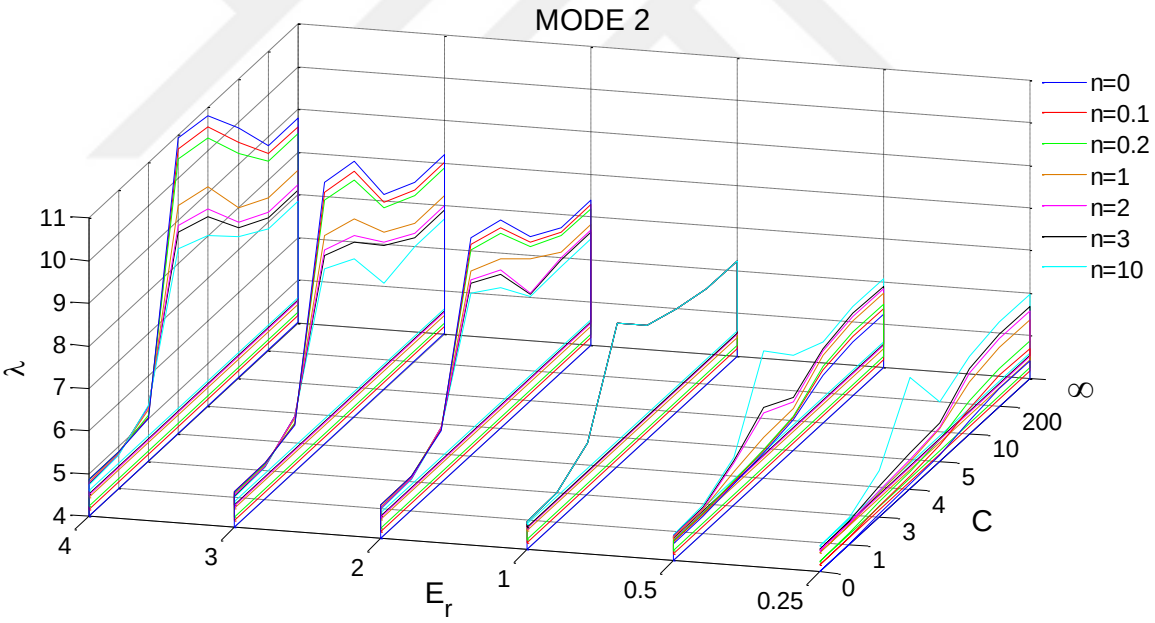
Şekil 3.31'de gösterilen birinci modda *C* arttıkça frekans parametresi artış göstermektedir. Ancak bu artış *C*=5'e kadar oldukça düşük seviyededir. *C*=5 – *C*=∞ aralığında ise nispeten daha yüksek bir artış görünür. E_r arttıkça *C*'ye bağlı olarak frekansın değişimi de artmaktadır. Öyle ki, E_r =4'te E_r =0,25'e göre *C*=5 - *C*=∞ aralığındaki frekans artışı çok daha fazladır.

Şekil 3.32'de gösterilen kinci modda *C* en düşük frekans parametresi *C*=0'da oluşmaktadır. E_r =0,25'te *n*=10 hariç, E_r =0,5'te ise *n*=2, *n*=3 ve *n*=10 hariç *C* arttıkça frekans parametresinin artış gösterdiği görülmektedir. E_r =1, E_r =2, E_r =3, E_r =4 için en yüksek frekans parametresi *C*=4'te ortaya çıkmakta ve daha yüksek C değerlerinde kademeli olarak düşmektedir.

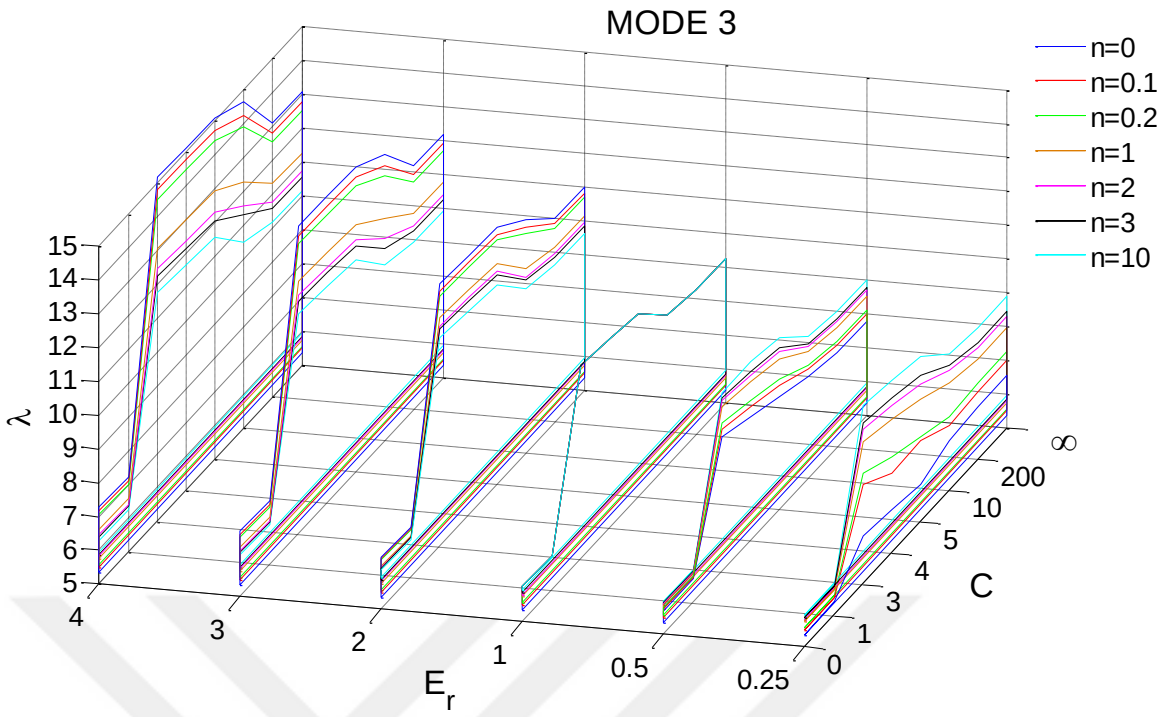
Şekil 3.33'te gösterilen üçüncü modda ise frekans parametreleri E_r =0,25, E_r =0,5 için ve *C*=0 – *C*=1 arasında sabite yakın düşük bir artış, *C*=3'te hızlı bir yükseliş ve devamında sabite yakın bir dalgalanma göstermektedir. E_r =1'de ise *C*=0'dan *C*=3'e kadar çok düşük bir artış göstermekte, *C*=4'te ani bir yükseliş ve devamında sabit kalma eğilimindedir. E_r =2, E_r =3, E_r =4 içinse frekans parametresi *C*=0'dan *C*=3'e kadar az miktarda düşerek *C*=3'te en düşük frekansları oluşturmakta, *C*=4'te ani bir yükseliş gösterip en yüksek frekansları oluşturup devamında sabit kalmaktadır.



Şekil 3.31 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.32 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.33 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 3. mod frekans parametreleri

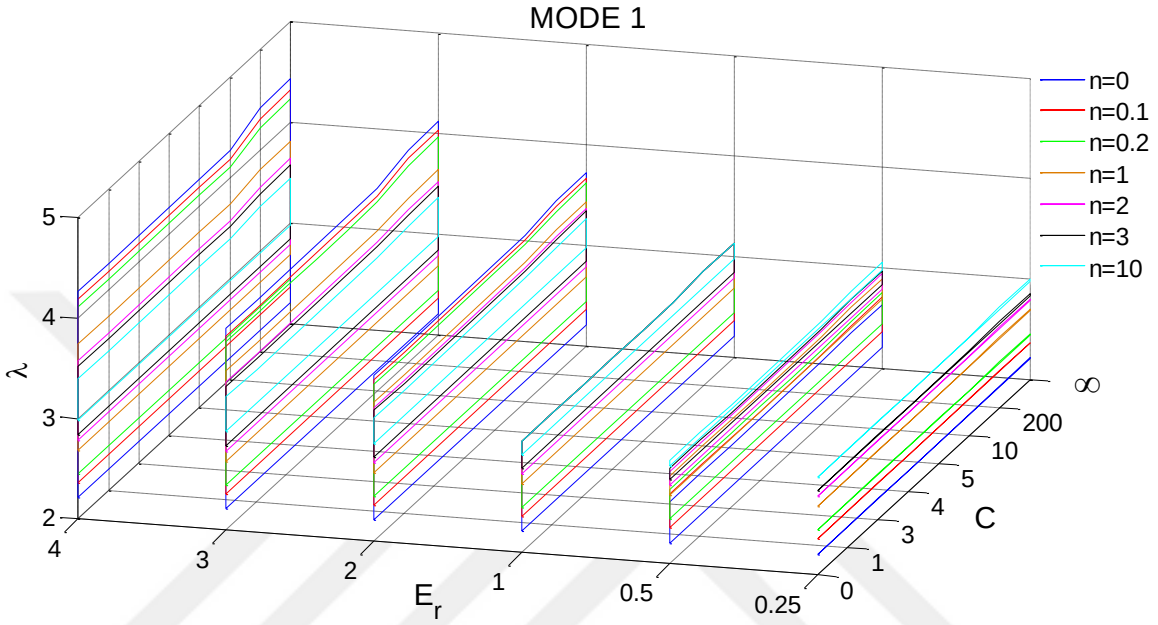
3.2.10 T_{Oran}=20, K=1000 İçin Sönümlü Serbest Titreşim Analiz Grafikleri

Şekil 3.34-3.36'da gösterilen tüm modlarda; E_r <1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r =1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r >1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi artmaktadır. Yay katsayısı yüksek olduğu için kiriş tüm modlarda yüksek elastik davranış göstermekte ve frekanslar C değişiminden çok az etkilenmektedir.

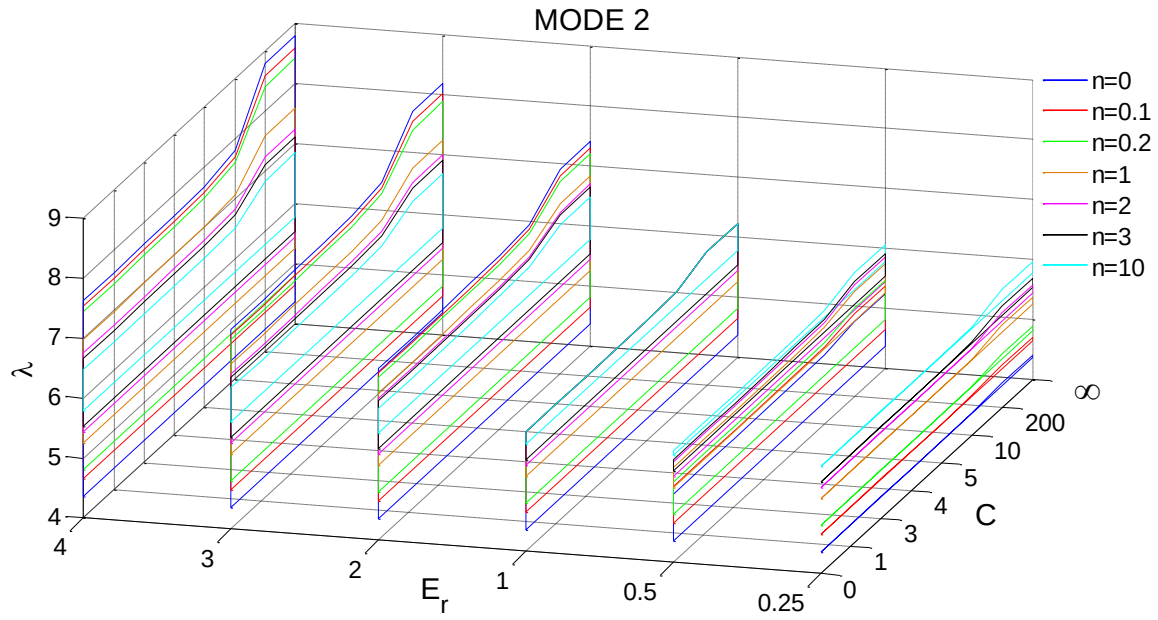
Şekil 3.34'te gösterilen birinci modda, frekans parametreleri C değişiminden çok az etkilenip sabit kalmakla birlikte özellikle C=4'te n=0 için en net görülecek şekilde C=10'dan itibaren az miktarda artış göstermektedir.

Şekil 3.35'te gösterilen ikinci modda da frekans parametreleri C değişiminden az etkilenmektedir. Genel olarak, C eksenine göre frekans değişimi sabite yakın olmakla birlikte C=10 – C=∞ arasında bir miktar artış göstermektedir. Birinci moddakine benzer olarak yüksek E_r 'lerde bu artış daha fazla olmaktadır.

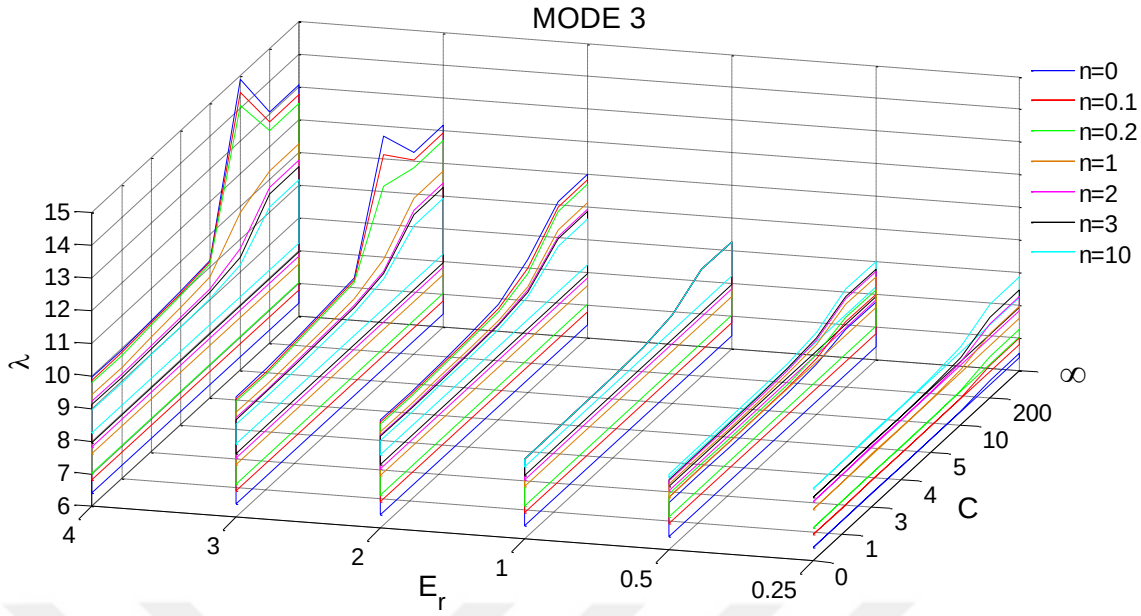
Şekil 3.36'da gösterilen üçüncü modda, frekans parametreleri C=5'e kadar sabit kalmakta, bundan sonra artış göstermektedir. E_r=3 ve E_r=4'te n=0, n=0,1, n=0,2 değerleri C=10'da en yüksek frekansları oluştururken C=200'de düşmekte ve C=200-∞ aralığında sabit kalmaktadır. Tüm diğer n ve E_r değerleri içinse frekanslar C=5'ten C=200'e kadar artmakta ve C=200 – C=∞ aralığında sabite yakın hareket etmektedir.



Şekil 3.34 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 1. mod frekans parametreleri



Şekil 3.35 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 2. mod frekans parametreleri



Şekil 3.36 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 3. mod frekans parametreleri

3.3 İki Ucundan Yayla Mesnetlenmiş Kirişin Ortadan Uygulanan Harmonik Kuvvet Etkisindeki Titreşim Analizi

Bu kısımda, viskoelastik mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin orta noktasından uygulanan harmonik kuvvetin, kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Zemine iletilen kuvvetin harmonik kuvvetin maksimum değerine oranı T_r'nin değişimi, boyutsuz yay katsayısı κ, elastiklik modülü oranı E_r ve kuvvet kanunu üsteli n parametreleri değişimi için incelenmiştir.

$$T_{Oran} = \frac{L}{h} = 10,\ 20 \tag{3.19}$$

$$k_s = k_1 = k_2 \tag{3.20}$$

$$\kappa = 0,\ 1,\ 10,\ 100,\ 1000,\ \infty \tag{3.21}$$

$$E_r = \frac{E_U}{E_L} = 0{,}25,\ 0{,}5,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4 \tag{3.22}$$

$$n = 0,\ 0{,}1,\ 0{,}2,\ 1,\ 2,\ 3,\ 10 \tag{3.23}$$

$$\rho_r = \frac{\rho_U}{\rho_L} = 1 \tag{3.24}$$

Çalışmada elde edilen sonuçların malzeme özelliklerinden bağımsız hale getirilmesi için (3.25)'teki boyutsuzlaştırma katsayıları kullanılmıştır.

$$\lambda = \omega L^2 \sqrt{\frac{\rho_L A}{E_L I}},\ \kappa = \frac{k_s L^3}{E_L I} \tag{3.25}$$

(2.99) eşitliği (3.25)'teki boyutsuz katsayılar cinsinden yazıldığında (3.18) eşitliği elde edilir.

$$\left([K]_G + \kappa[K_s] - \lambda^2[M]_G\right)\{\bar{q}\} = \{Q\} \tag{3.26}$$

Boyutsuz frekans parametresi λ ve kuvvet iletimi T_r değerlerinin bulunmasında Matlab programı kullanılmış olup, yakınsama sonucu 32 elemana ayrılmış kiriş için sonlu elamanlar yöntemi uygulanmıştır. Değişimleri daha iyi gözlemlemek adına elde edilen değerler grafik halinde gösterilmiştir.

Harmonik uygulanan kuvvet altında titreşim analizi yapılan kirişin, çeşitli E_r ve n değerlerindeki titreşim grafikleri T_{Oran}=10 için Şekil 3.37-3.78'de ve T_{Oran}=20 için de 3.79-3.120'de gösterilmiştir. Tüm grafiklerde aşağıda bahsedilen sonuçlar geçerlidir.

Boyutsuzlaştırılmış yay katsayısı κ arttıkça kirişin elastik yer değiştirmeleri artış gösterir ve tüm modlarda daha düşük boyutsuz yay katsayılarına gore daha yüksek frekans parametreleri ortaya çıkar.

İlk modlar κ=1000 ve κ=∞ için birbirine yakın frekanslarda oluşurken, sonraki modlar bu değerler için birbirinden uzaklaşmaya başlar. κ=1 ve κ=10 içinse ilk modlar farklı frekansta ortaya çıkarken, ikinci modda yaklaşarak, üçüncü moddan itibaren ise çakışarak hareket eder. Dördüncü moddan itibaren ise κ=100 de, κ=1 ve κ=10 ile aynı frekanslarda çakışır.

κ=1'in maksimum kuvvet iletiminin oluştuğu noktalarda, κ=1000 ve κ=∞'nun kuvvet iletimi yaklaşık olarak minimumdadır. Bu yüzden κ=1'in modlarının yüksek yay katsayıları κ=1000 ve κ=∞ için optimum kuvvet noktaları olduğu belirtmek mümkündür.

E_r<1 için n arttıkça frekans parametreleri artmakta, E_r=1 için kiriş homojen kirişe dönüştüğü için tüm n'ler için frekans parametreleri sabit kalmakta, E_r>1 içinse n arttıkça frekans parametreleri düşmektedir. Bunlara ek olarak, E_r<1 bölgesi için n azaldıkça, E_r>1 için ise n arttıkça κ'nın değişiminin frekans parametreleri üzerindeki etkisi artmaktadır.

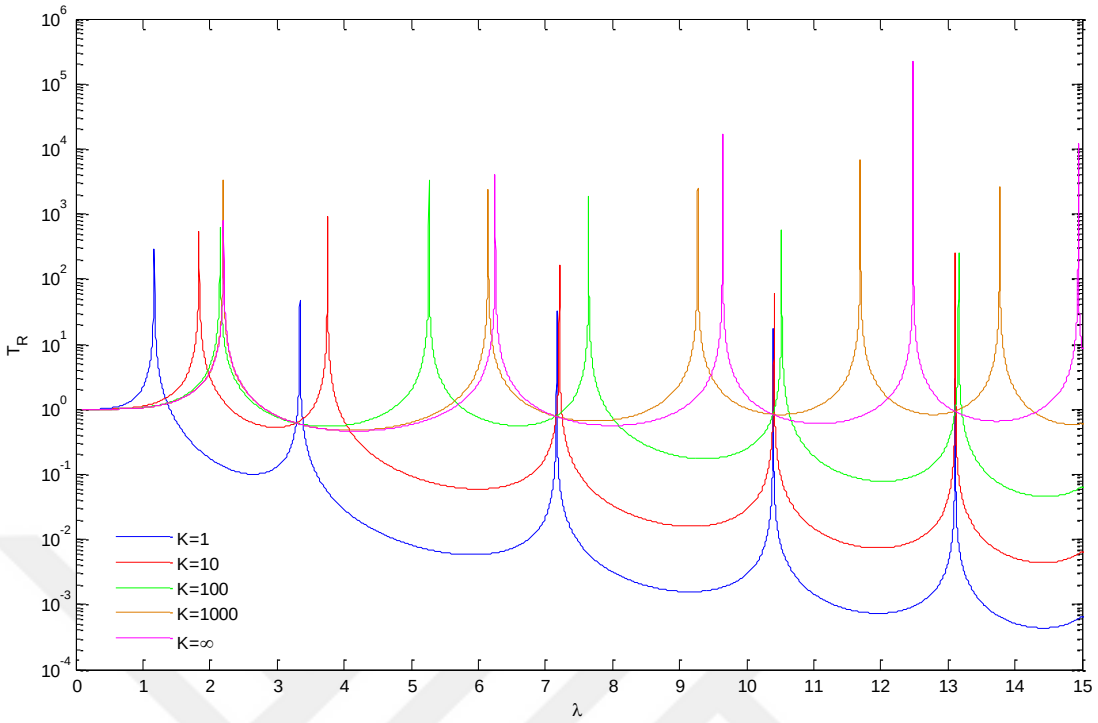
Aynı n ve κ değerleri için E_r arttıkça frekans parametrelerinin artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Yine E_r arttıkça κ'nın değişiminin frekans parametreleri üzerinde daha fazla etki gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunu maksimum kuvvetlerin oluştuğu tepe noktalarının frekans parametreleri ekseninde birbirinden uzaklaşmasıyla anlamak mümkündür. Hesaplama yapılan T_{Oran}=10 ve T_{Oran}=20 değerleri için de yukarıda anlatılan sonuçlar geçerlidir. Ancak daha kalın kiriş olan T_{Oran}=10 kirişinde artan kütlenin etkisiyle birlikte daha düşük frekanslar ortaya çıkmaktadır.

Grafiklerde, aynı frekansta hem maksimum hem de minimum yapan tepeler oluştuğu görülmektedir. Bunlar antirezonans frekanslarıdır. Antirezonans noktalarında, hareketlerin toplamı sıfır veya sıfıra çok yakın bir değer almaktadır. Bu durum frekanslar arası geçişte faz açısının 180 olması ile açıklanabilir. Sistemin kuvvet durumu ve sınır şartları göz önüne alındığında simetrik modların çıkması gerekmektedir. Simetriği bozan durumların oluşmasıyla antisimetrik modlar ortaya çıkmakta buna bağlı olarak da antirezonans frekansları oluşmaktadır. Antirezonans frekanslarını daha iyi incelemek için örnek olması adına, Çizelge 3.5'te T_{oran}=10, E_{oran}=0,25, n=0,1, κ=1'in ilk on boyutsuz doğal frekans parametresi hesaplanarak gösterilmiştir. Tek sayılı modlar simetrik-simetrik modlar olup aynı malzeme parametreleri için yapılan harmonik analizlerin gösterildiği Şekil 3.38'de tepeler oluşturmaktadır. Grafikte yalnızca simetrik-simetrik modların görünmesi gerekirken, antisimetrik olan çift sayılı modlardan 6. ve 8. modlar da ortaya çıkmakta ve antirezonans frekanslarını oluşturmaktadır. Tüm grafikler incelendiğinde, homojen kiriş durumlarını işaret eden n=0 ve E_r=1 değerlerinde antirezonans frekanslarının oluşmadığı, diğer değerler için de daha ince kiriş olan T_{Oran}=20'de antirezonans frekanslarının T_{Oran}=10'a göre çok daha az sıklıkta ve şiddette ortaya çıktığı görülmektedir.

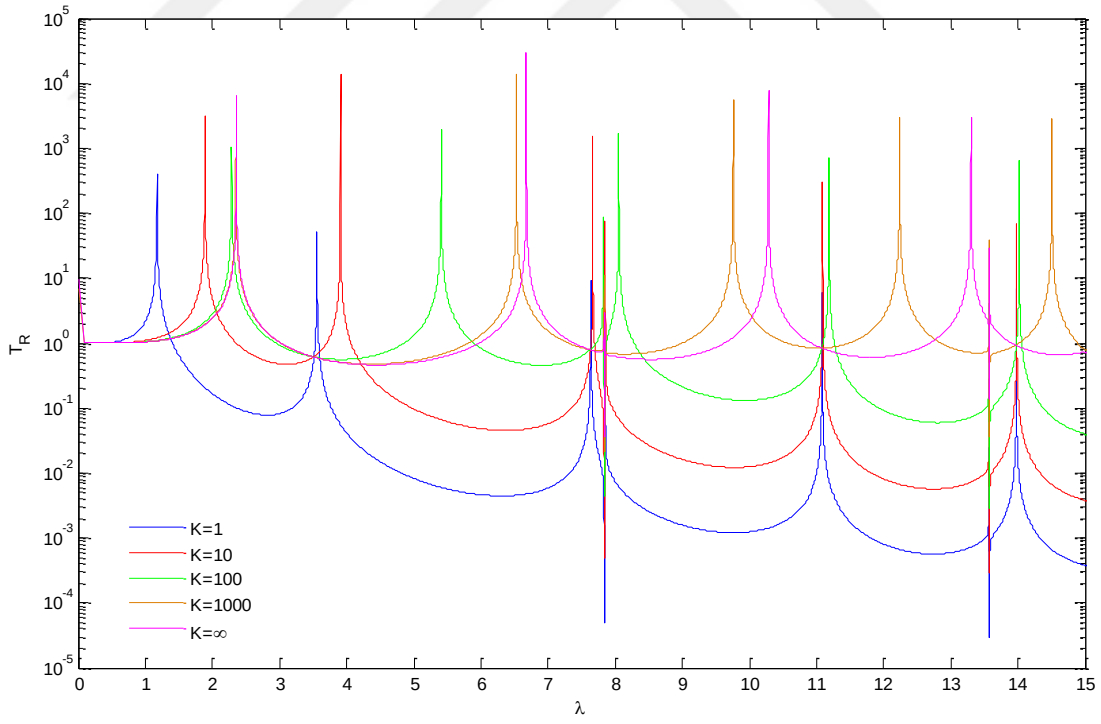
Çizelge 3.5 T_{oran}=10, E_{oran}=0,25, n=0,1, κ=1 için serbest titreşim frekansları

Mod	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod	6. Mod	7. Mod	8. Mod	9. Mod
λ	1,174	1,558	3,557	5,674	7,638	7,850	11,084	13,572	13,978

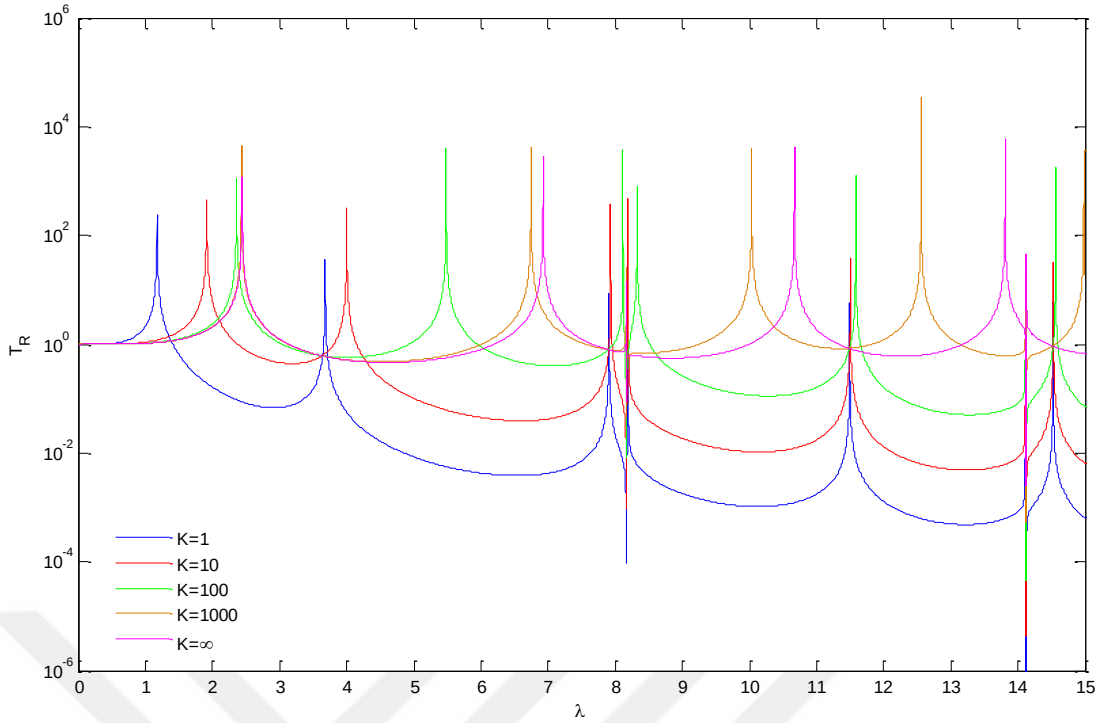
3.3.1 T_{oran}=10 ve E_r=0,25 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



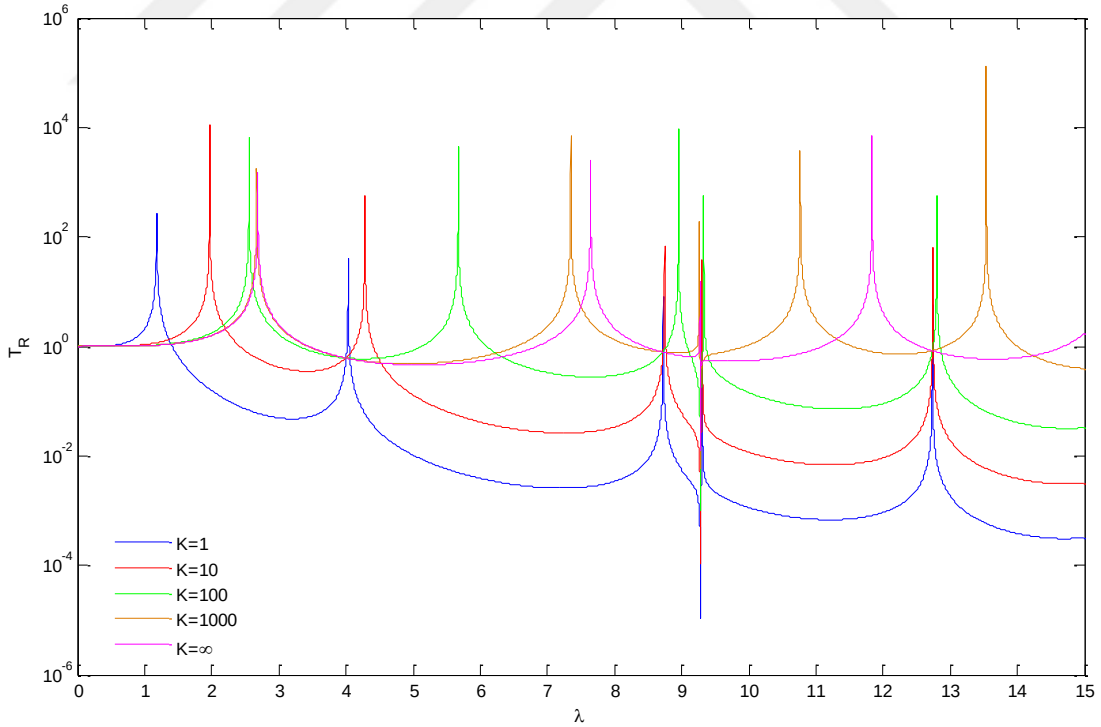
Şekil 3.37 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



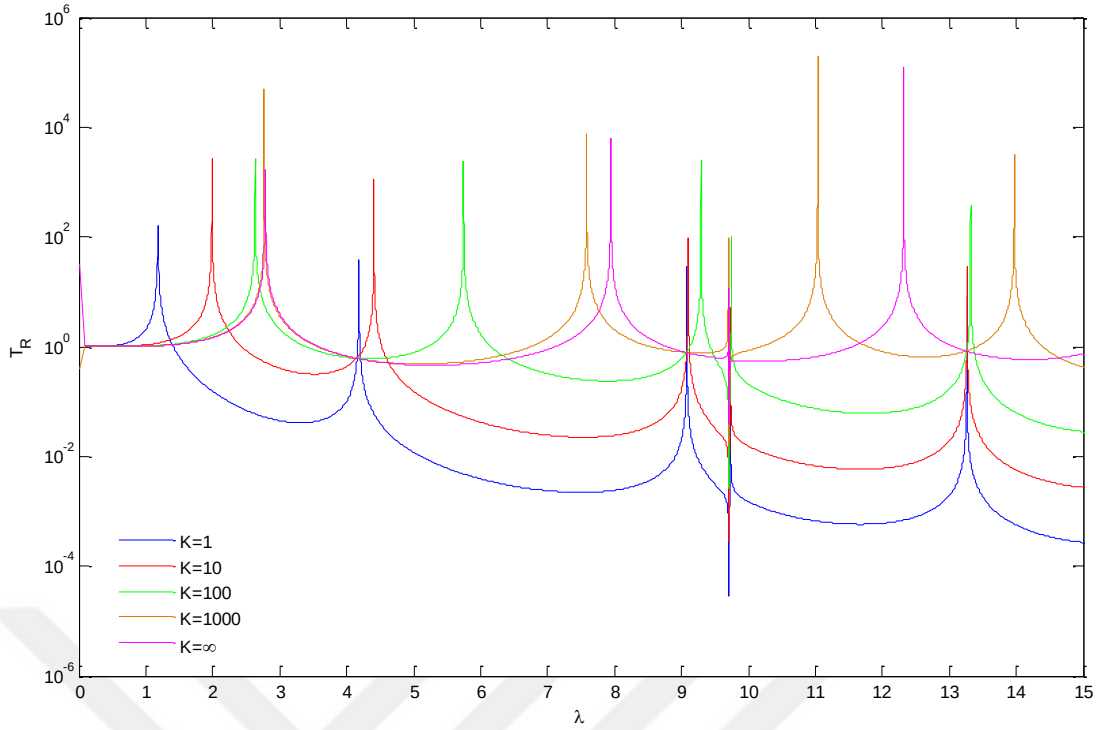
Şekil 3.38 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



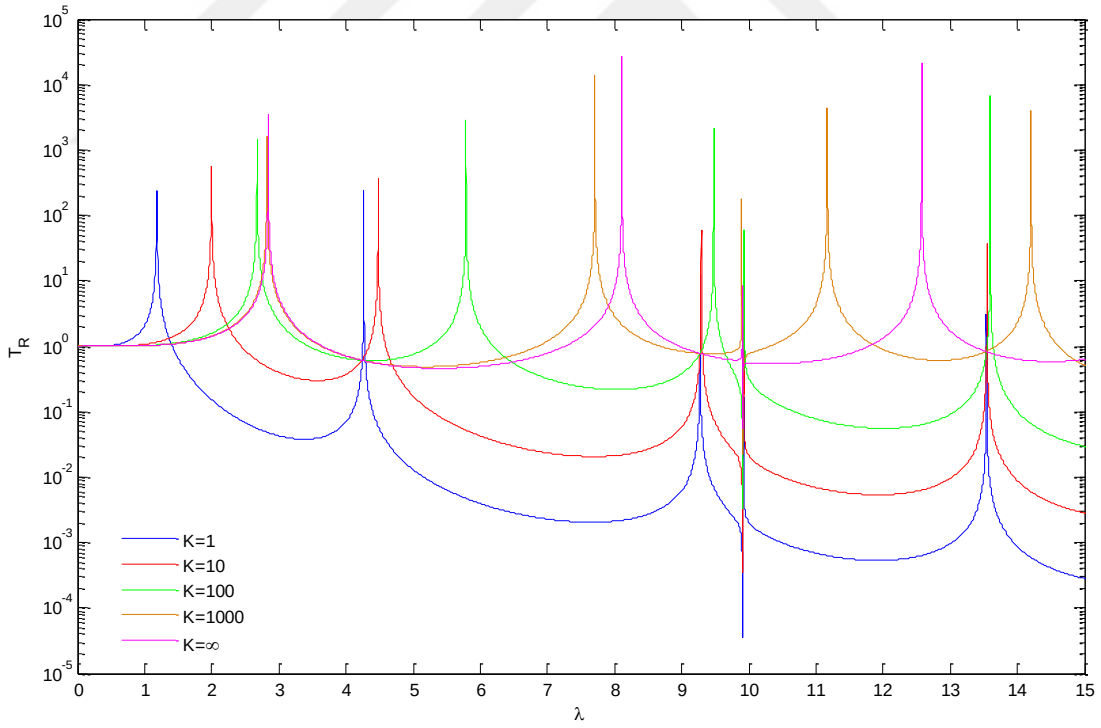
Şekil 3.39 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



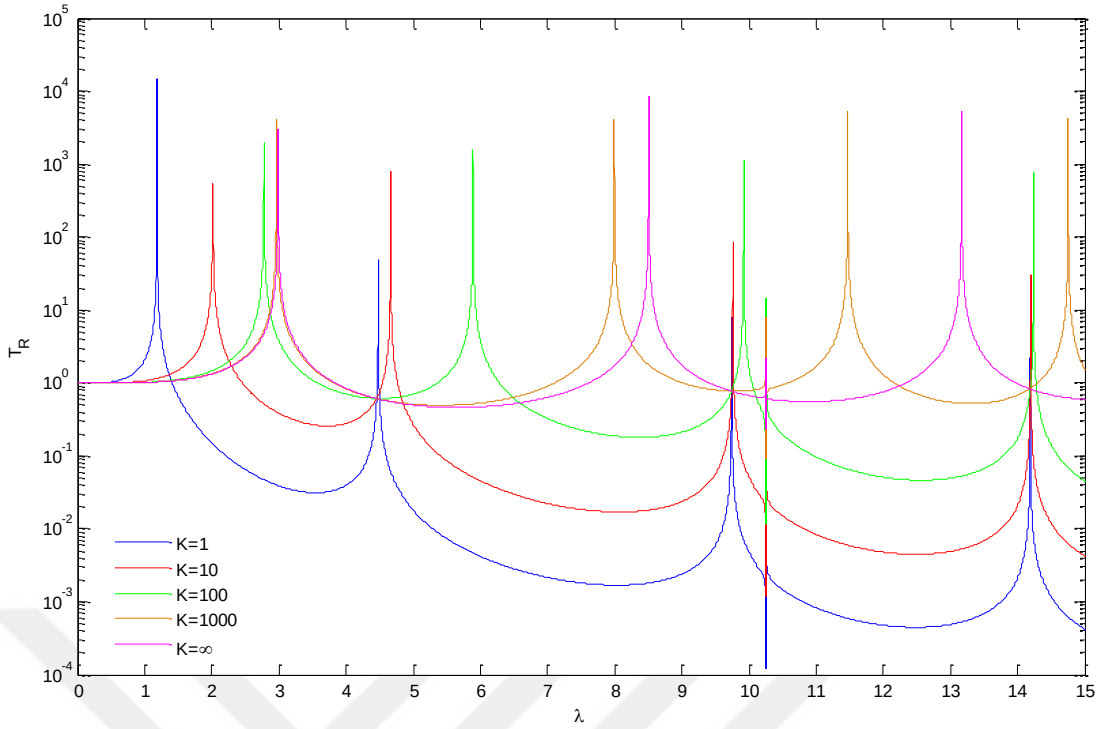
Şekil 3.40 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.41 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

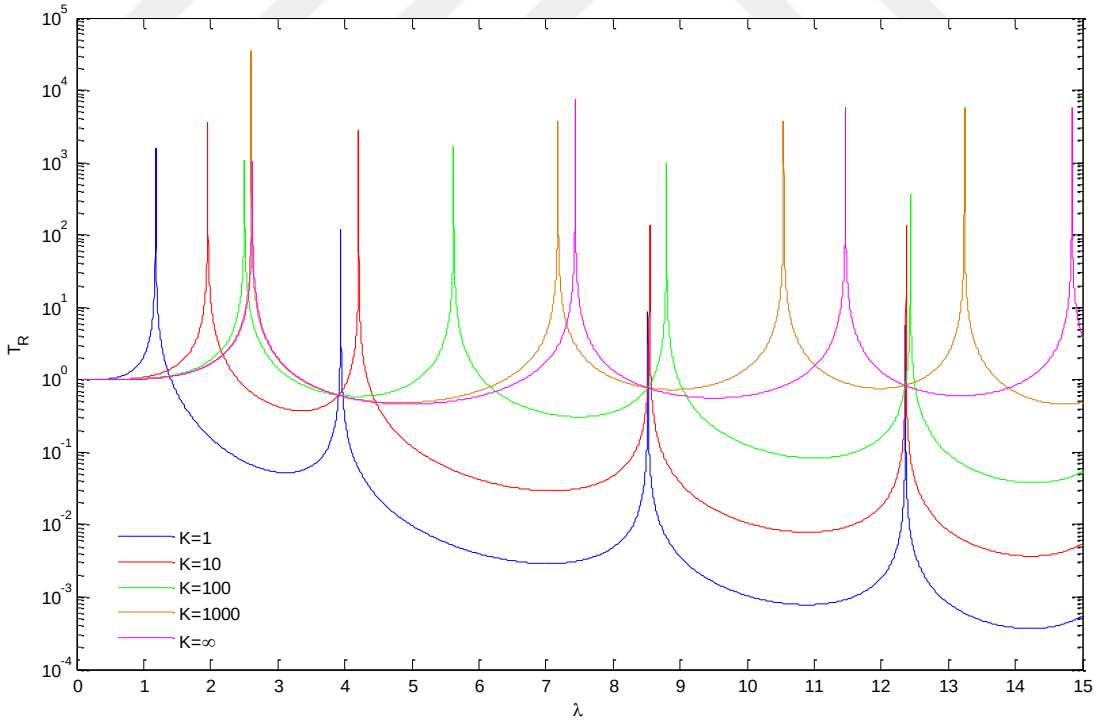


Şekil 3.42 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

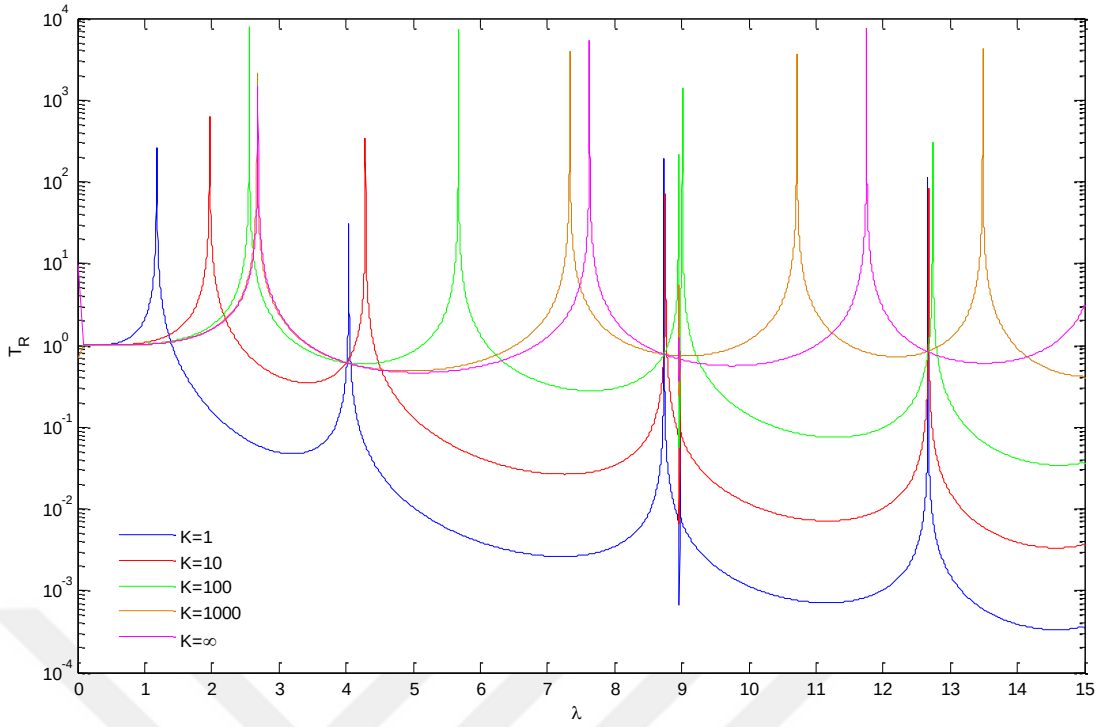


Şekil 3.43 T_{oran}=10, E_r=0,25, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

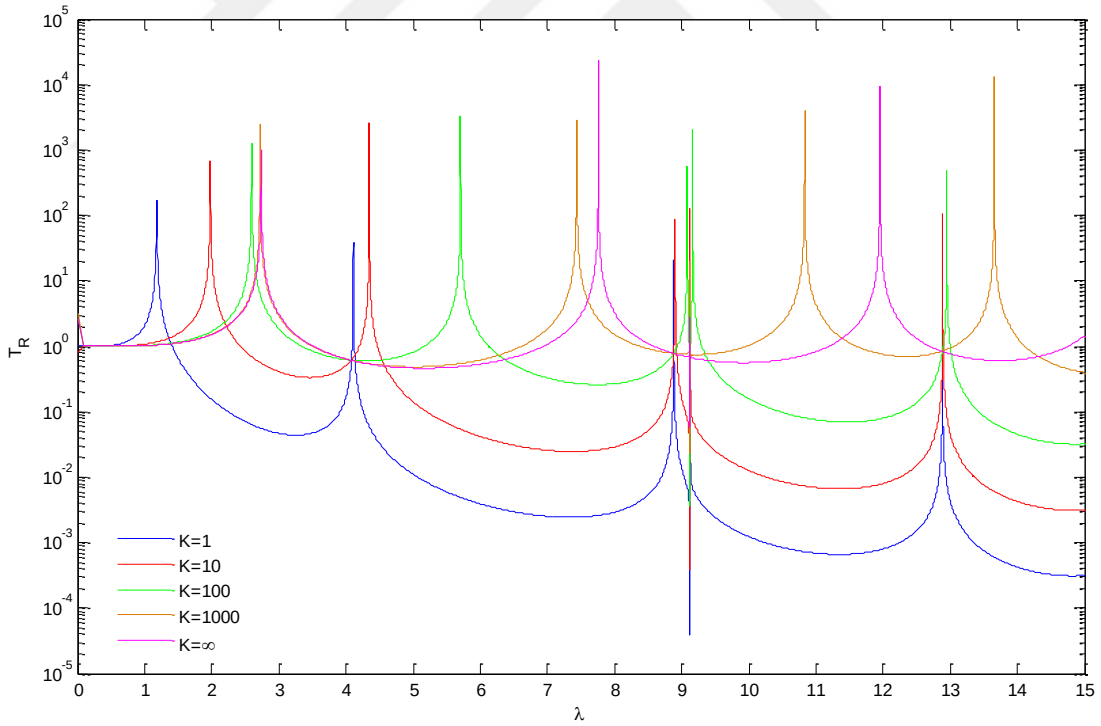
3.3.2 T_{oran}=10 ve E_r=0,5 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



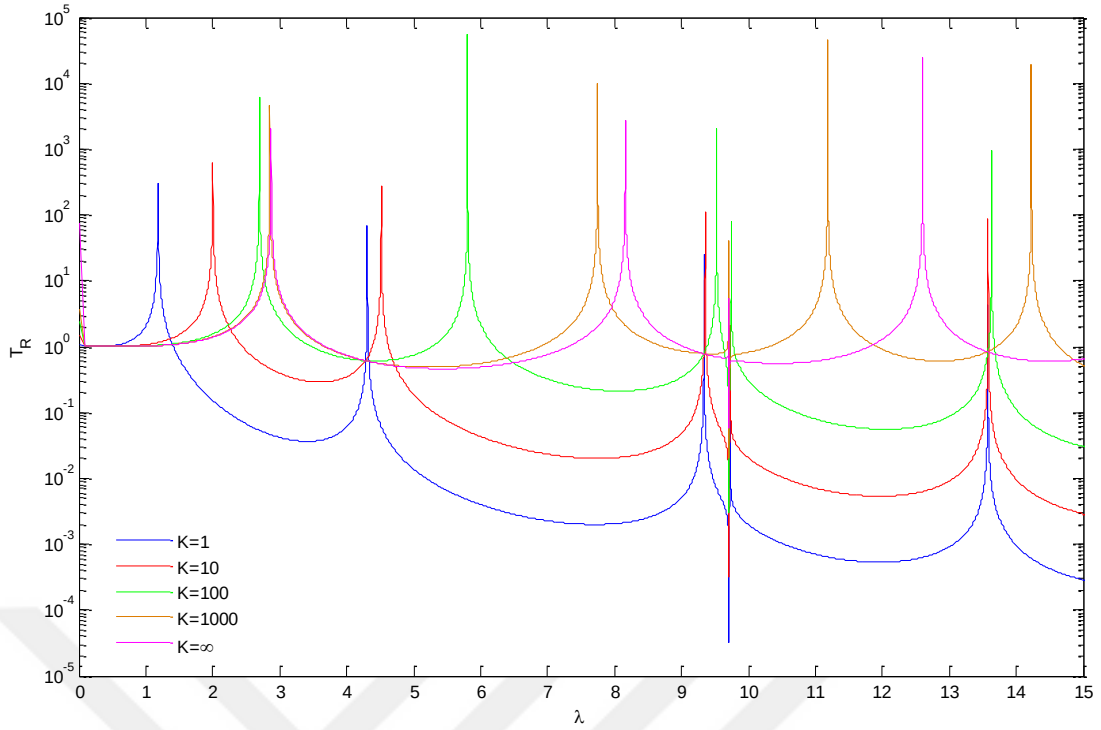
Şekil 3.44 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



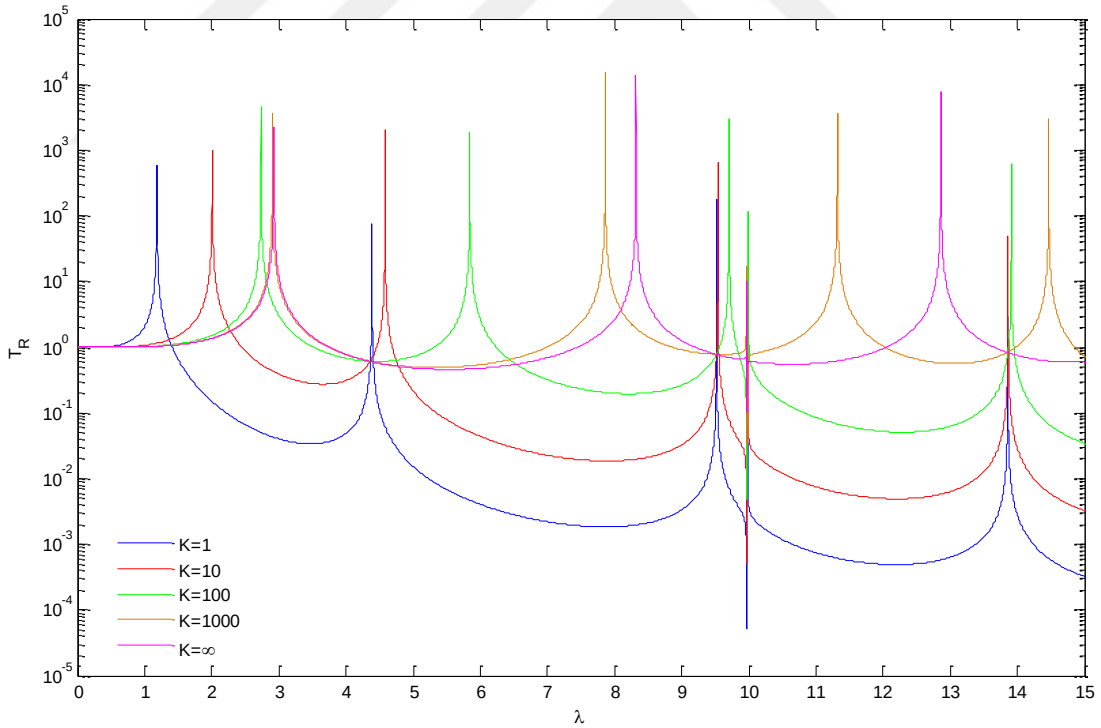
Şekil 3.45 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



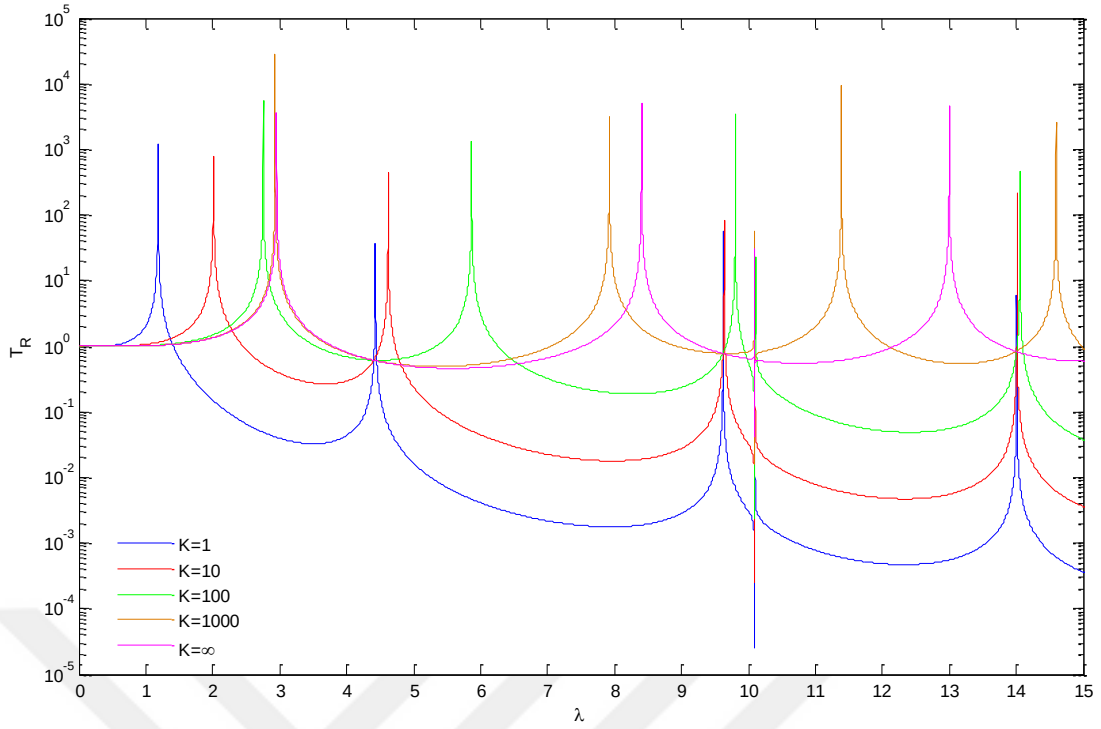
Şekil 3.46 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



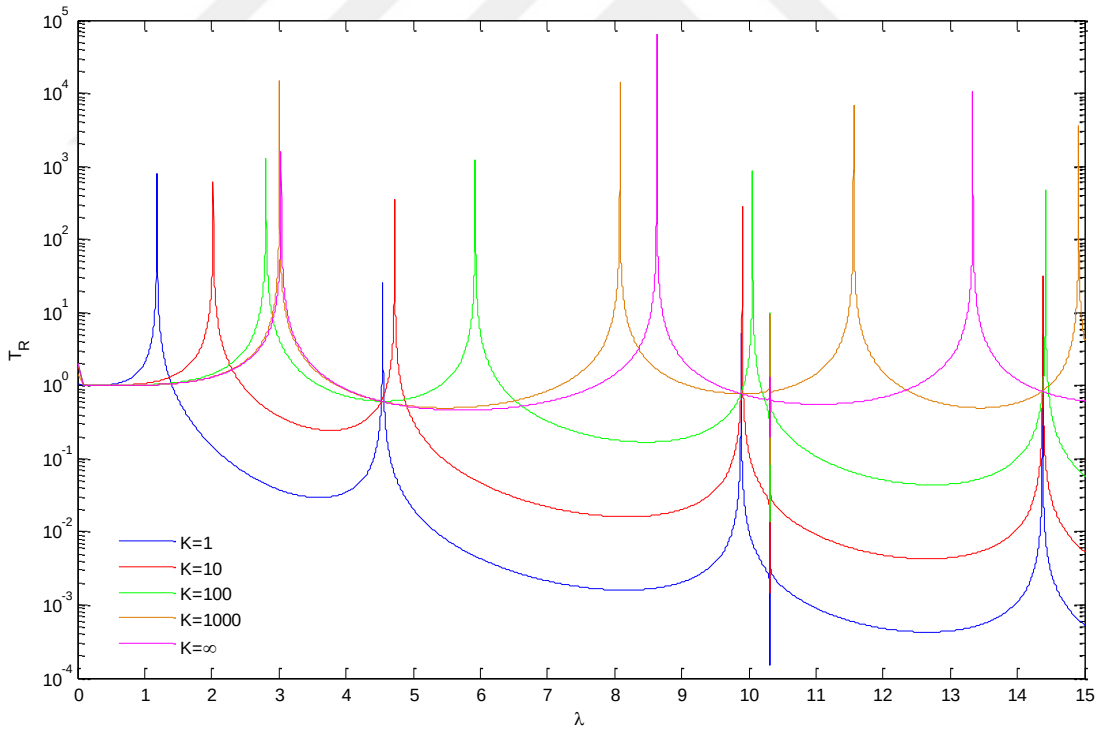
Şekil 3.47 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.48 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

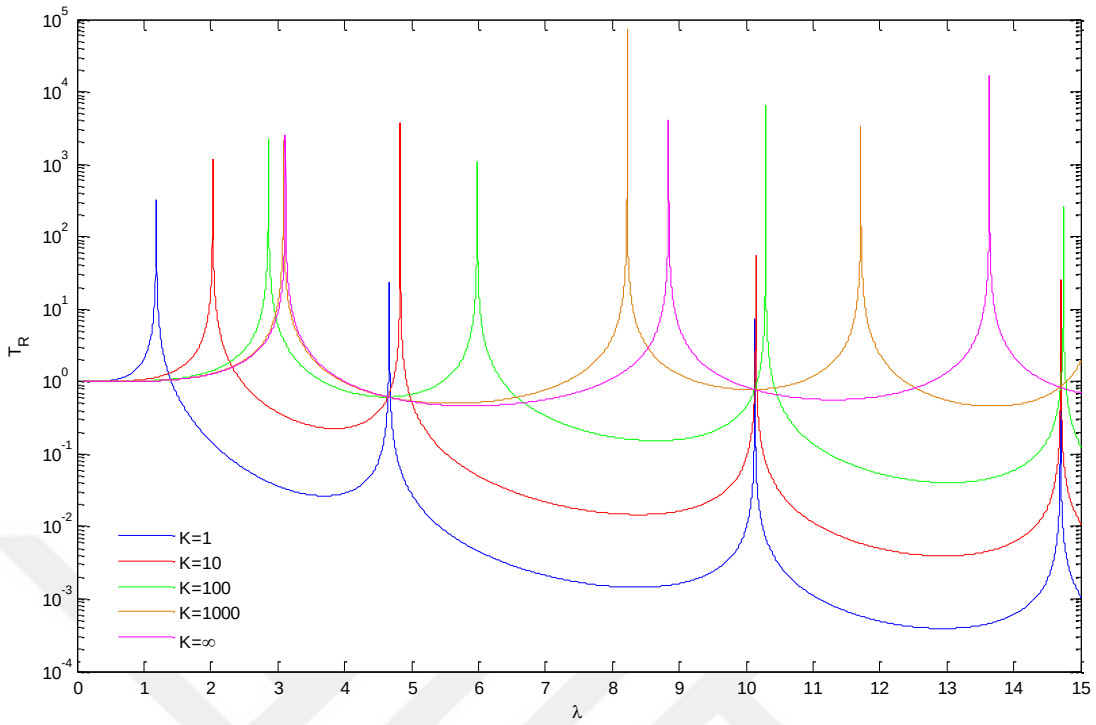


Şekil 3.49 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

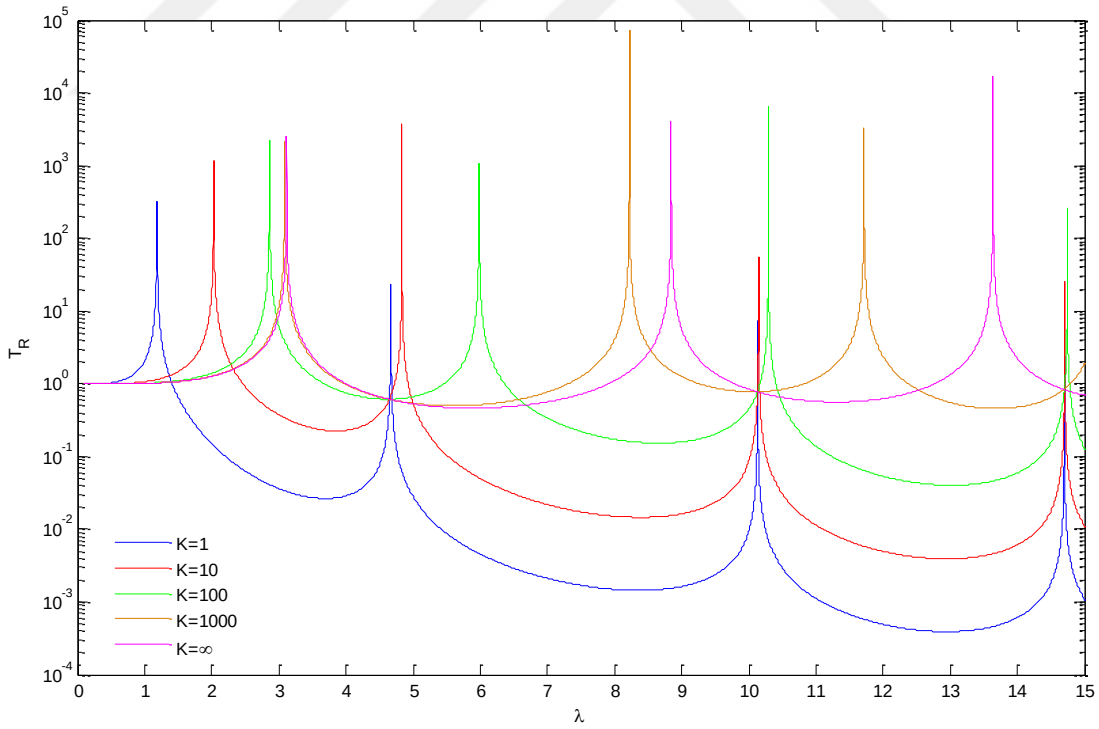


Şekil 3.50 T_{oran}=10, E_r=0,5, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

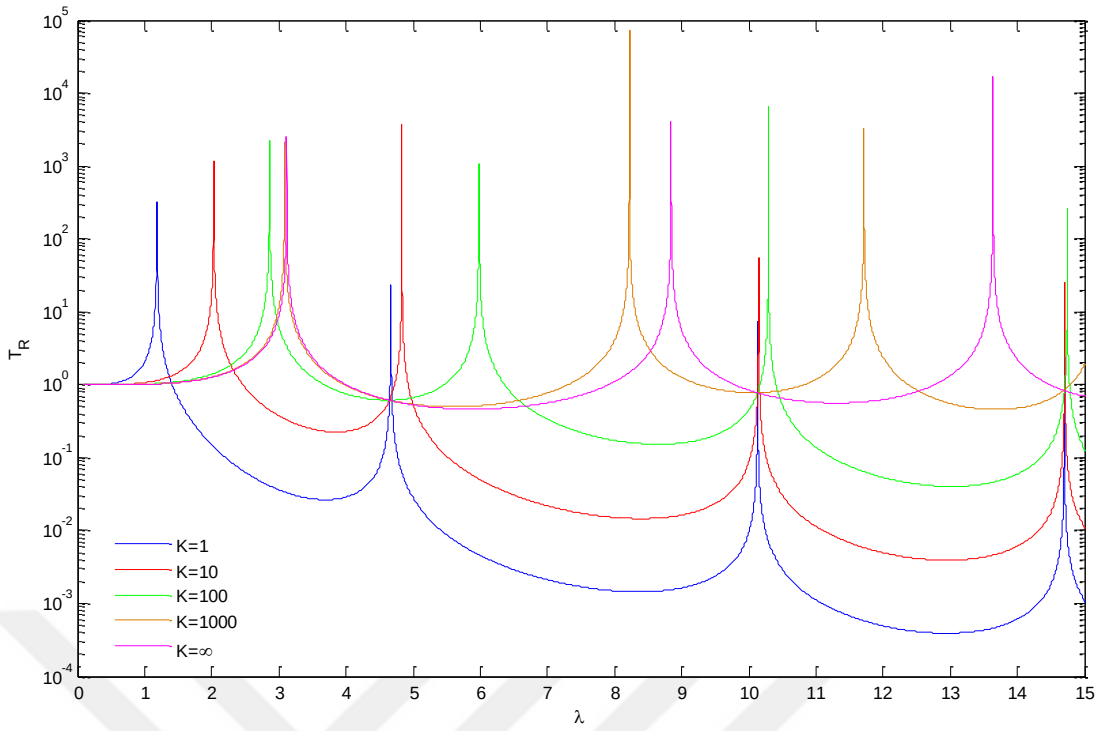
3.3.3 T_{oran}=10 ve E_r=1 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



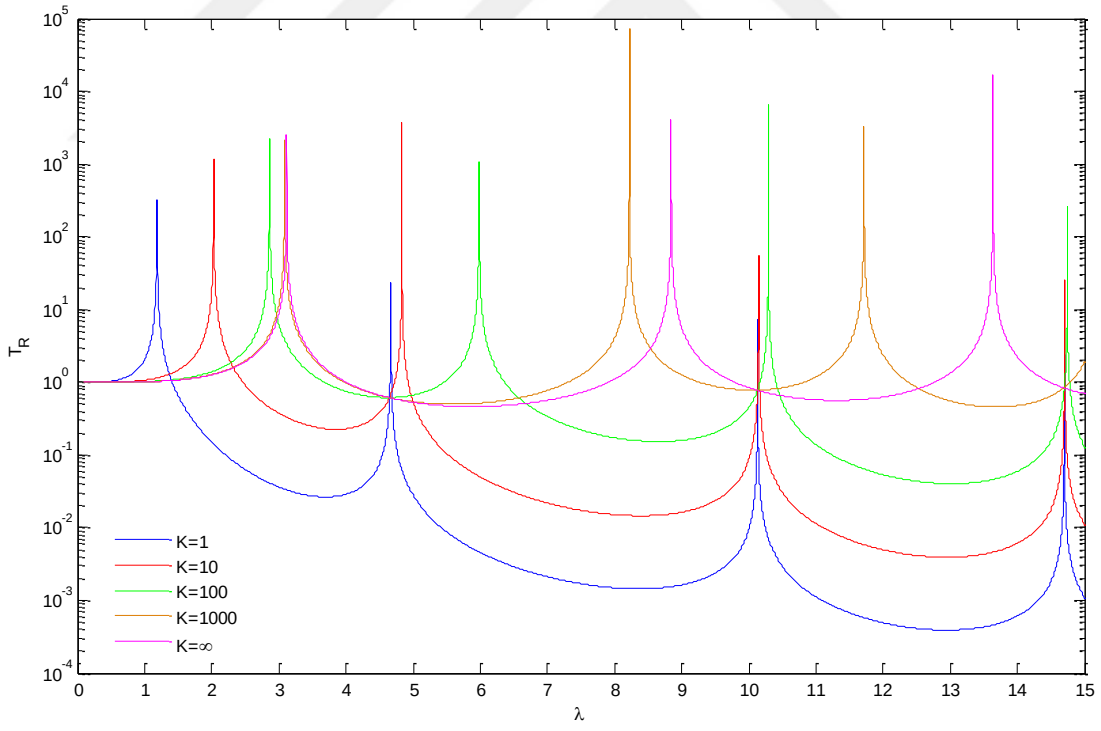
Şekil 3.51 T_{oran}=10, E_r=1, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



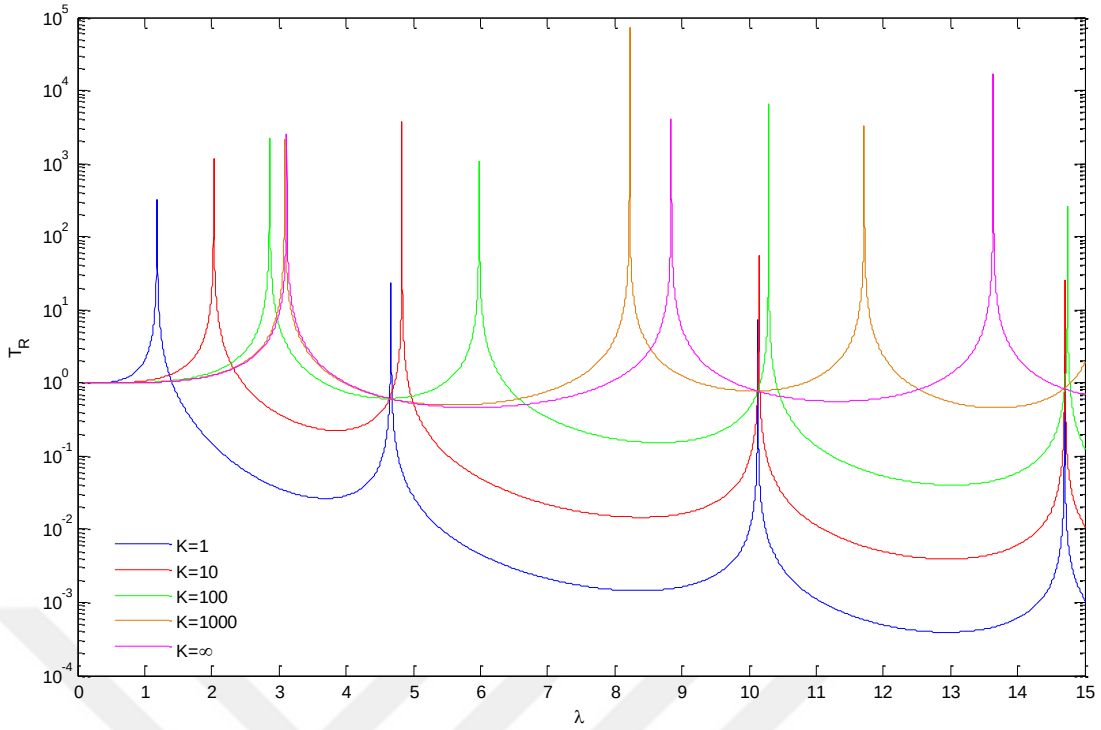
Şekil 3.52 T_{oran}=10, E_r=1, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



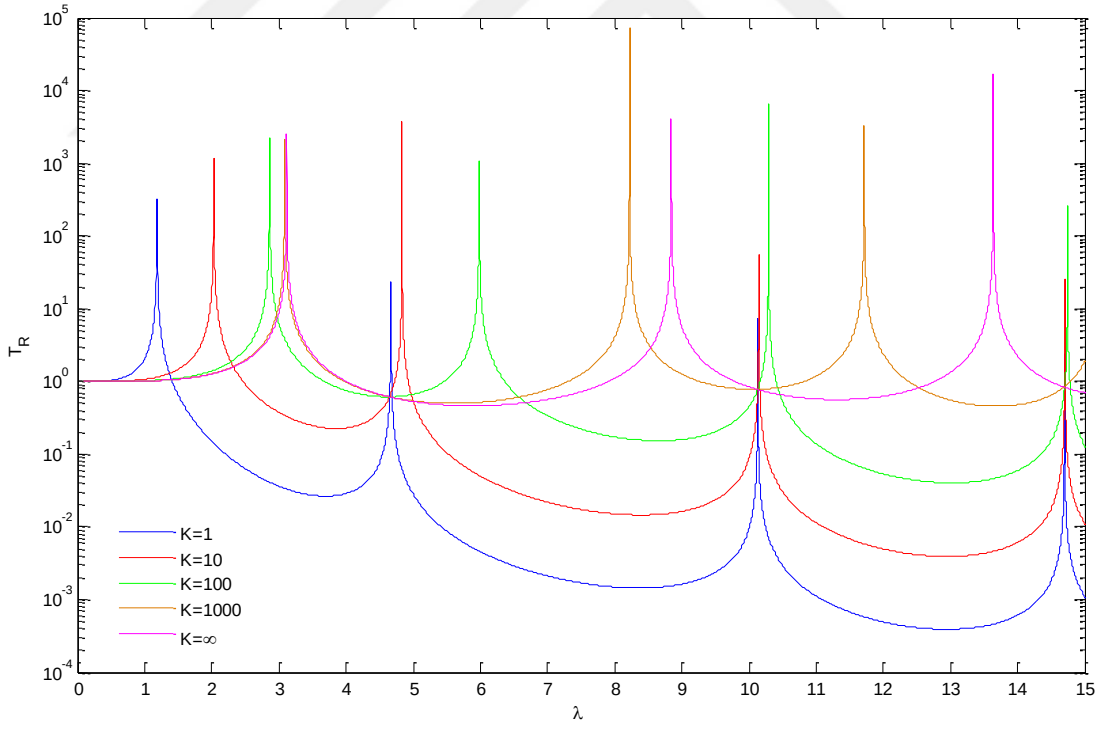
Şekil 3.53 T_{oran}=10, E_r=1, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



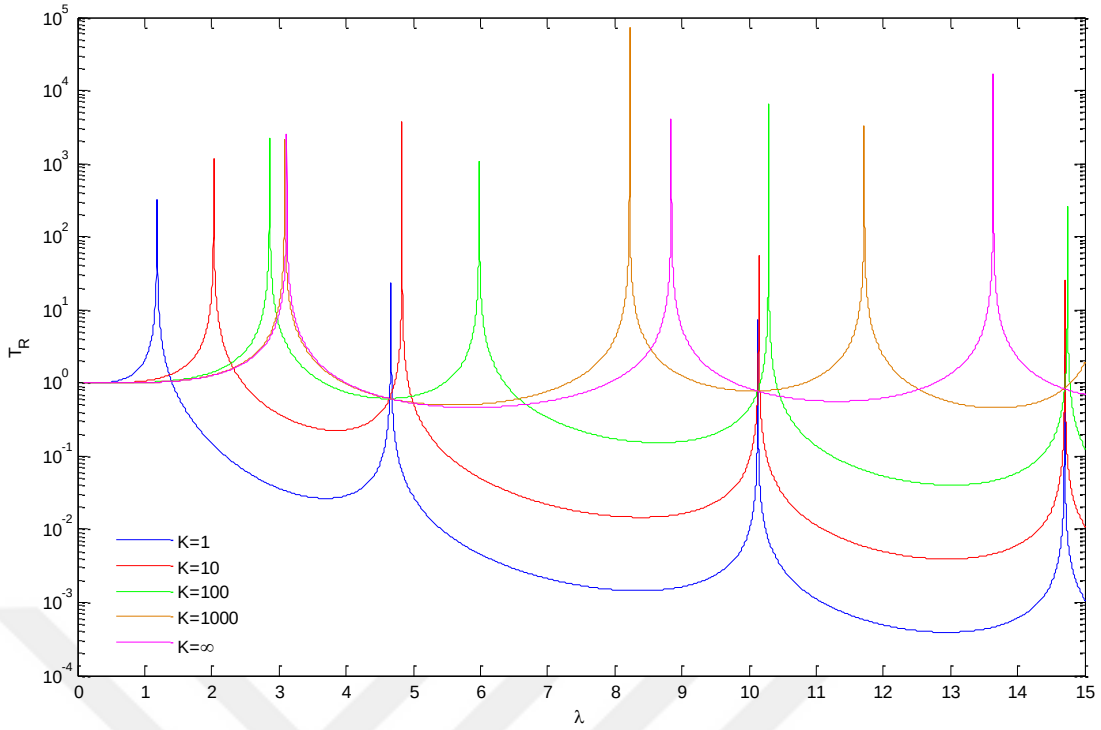
Şekil 3.54 T_{oran}=10, E_r=1, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.55 T_{oran}=10, E_r=1, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

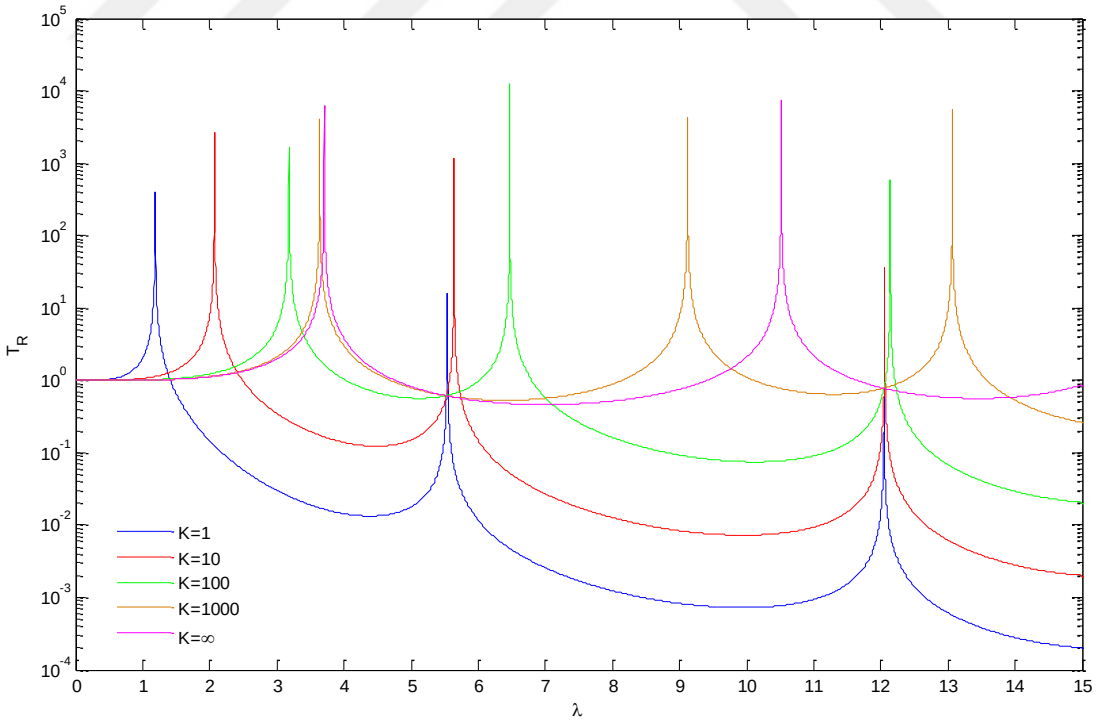


Şekil 3.56 T_{oran}=10, E_r=1, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

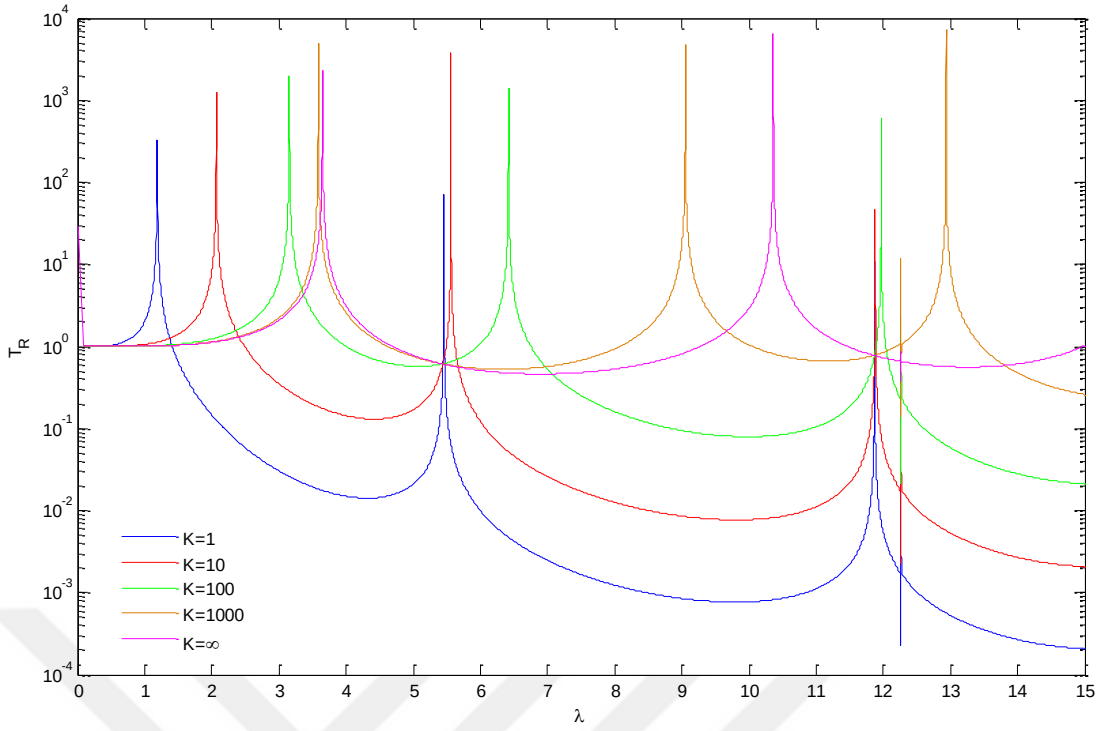


Şekil 3.57 T_{oran}=10, E_r=1, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

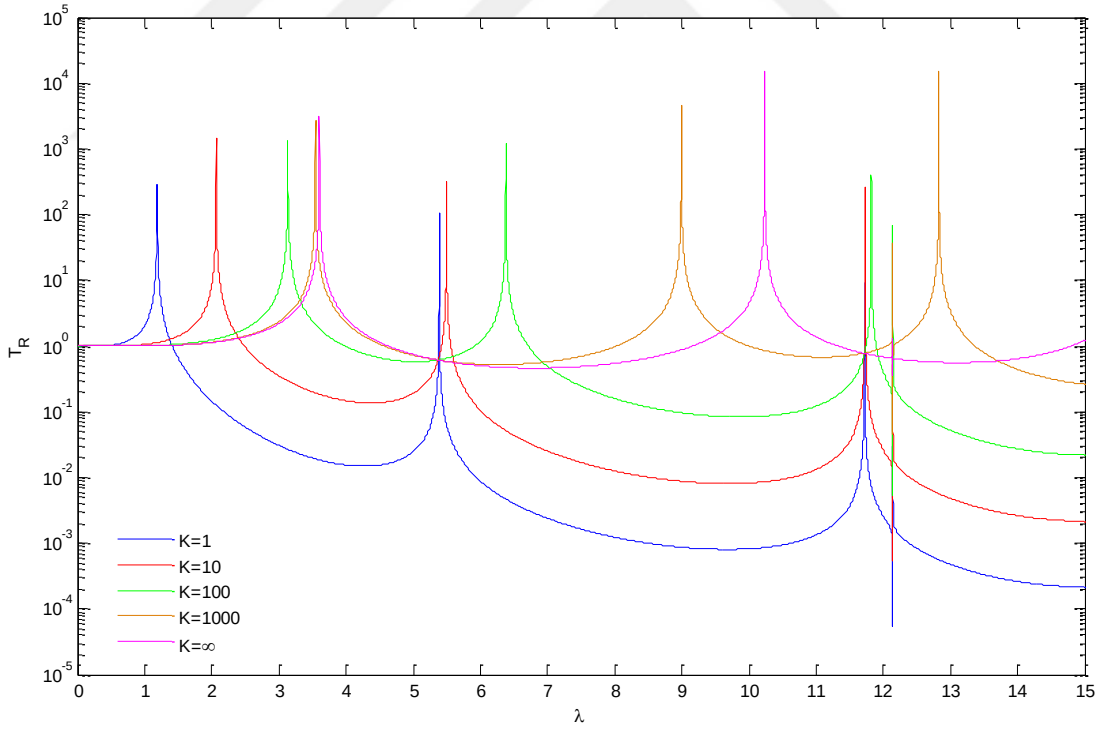
3.3.4 T_{oran}=10 ve E_r=2 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



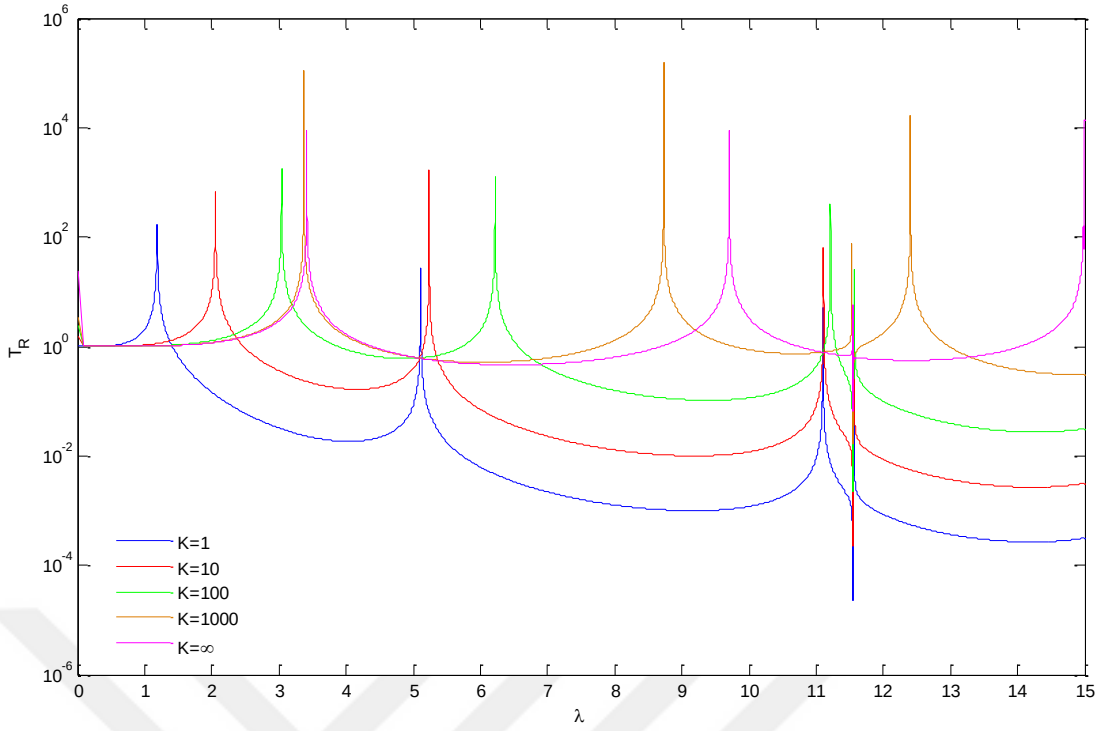
Şekil 3.58 T_{oran}=10, E_r=2, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



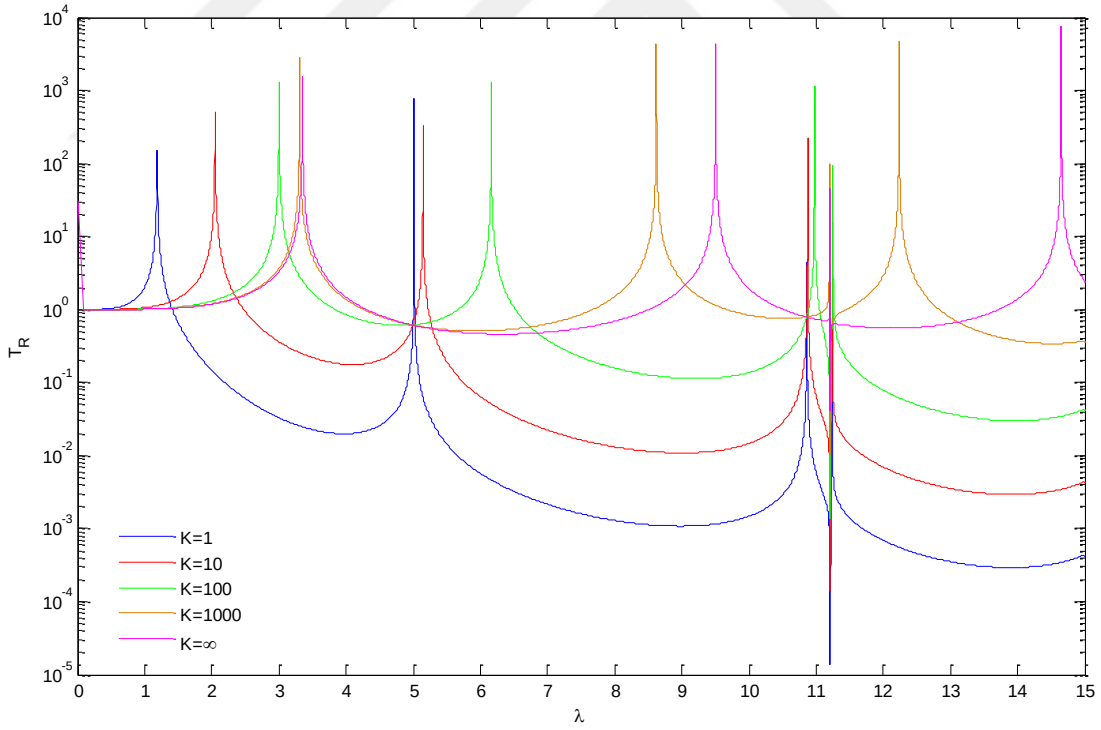
Şekil 3.59 T_{oran}=10, E_r=2, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



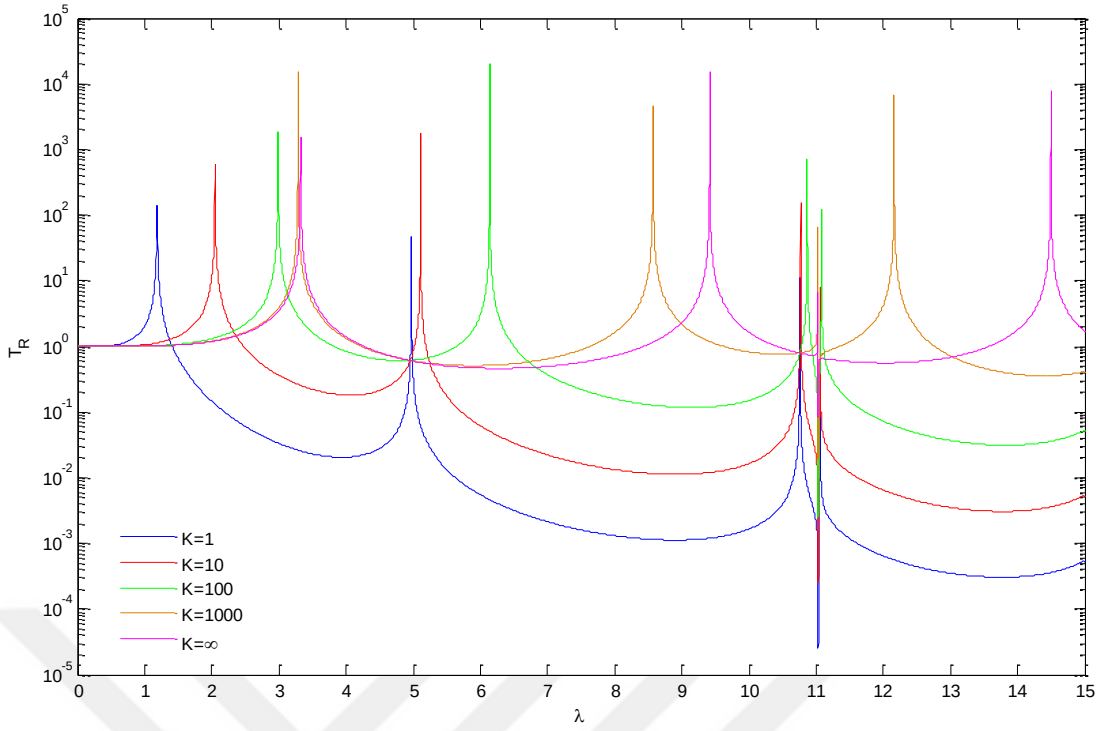
Şekil 3.60 T_{oran}=10, E_r=2, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



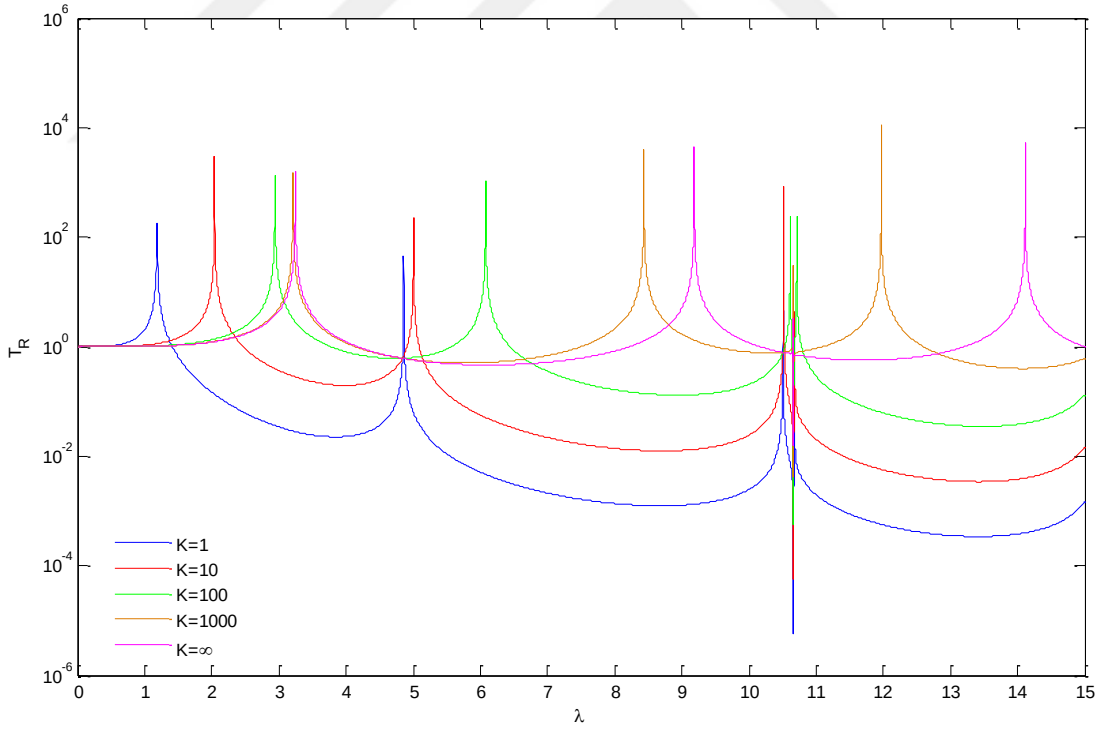
Şekil 3.61 T_{oran}=10, E_r=2, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.62 T_{oran}=10, E_r=2, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

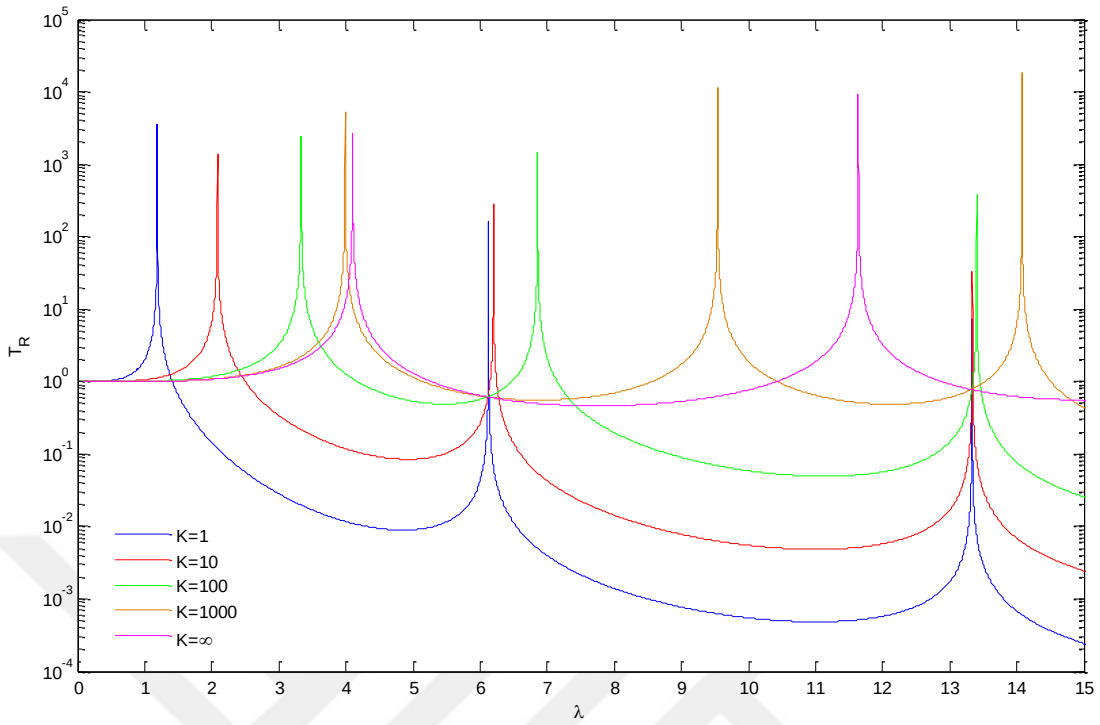


Şekil 3.63 T_{oran}=10, E_r=2, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

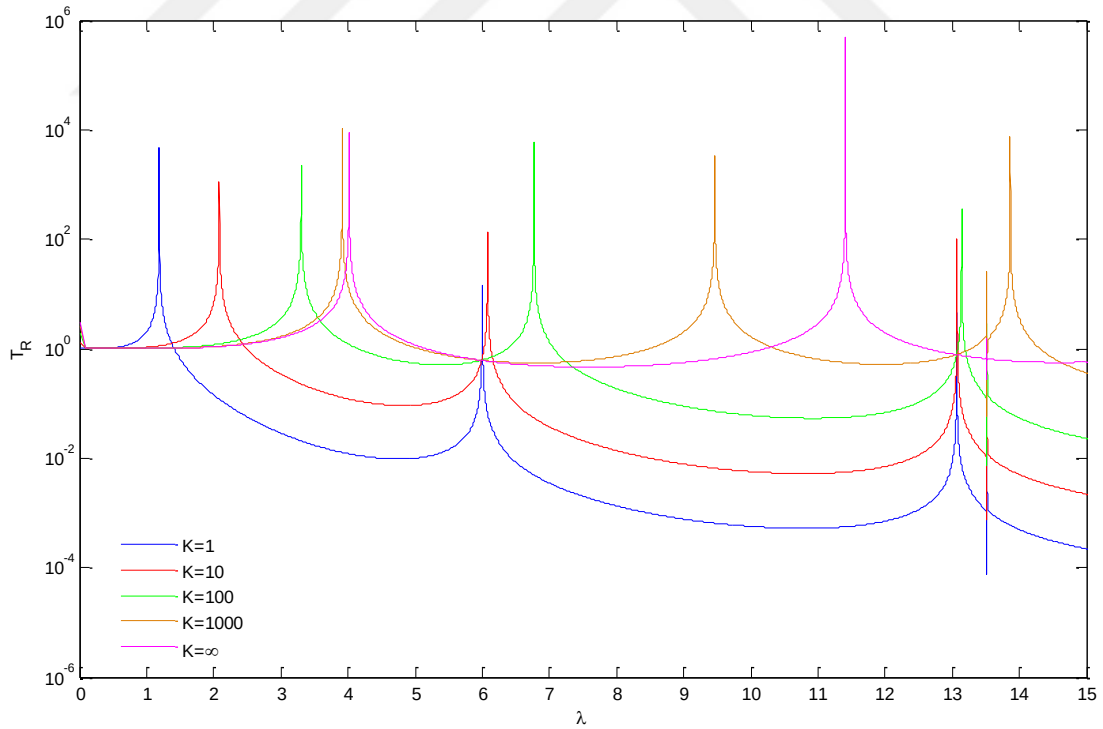


Şekil 3.64 T_{oran}=10, E_r=2, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

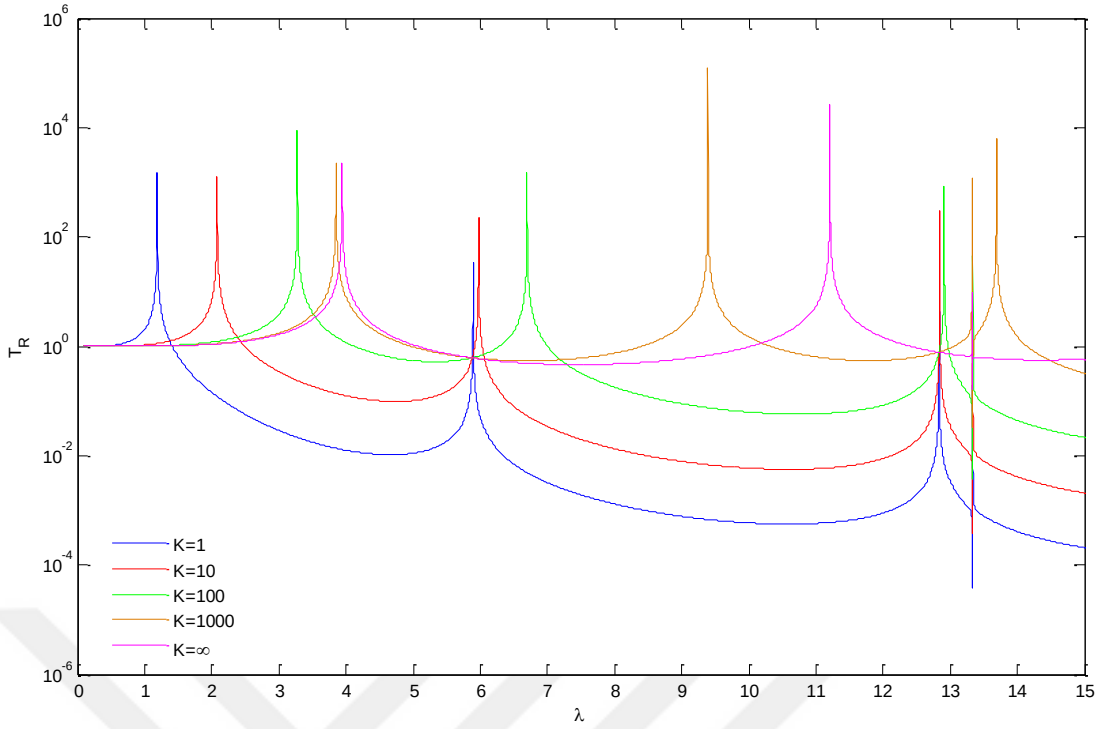
3.3.5 T_{oran}=10 ve E_r=3 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



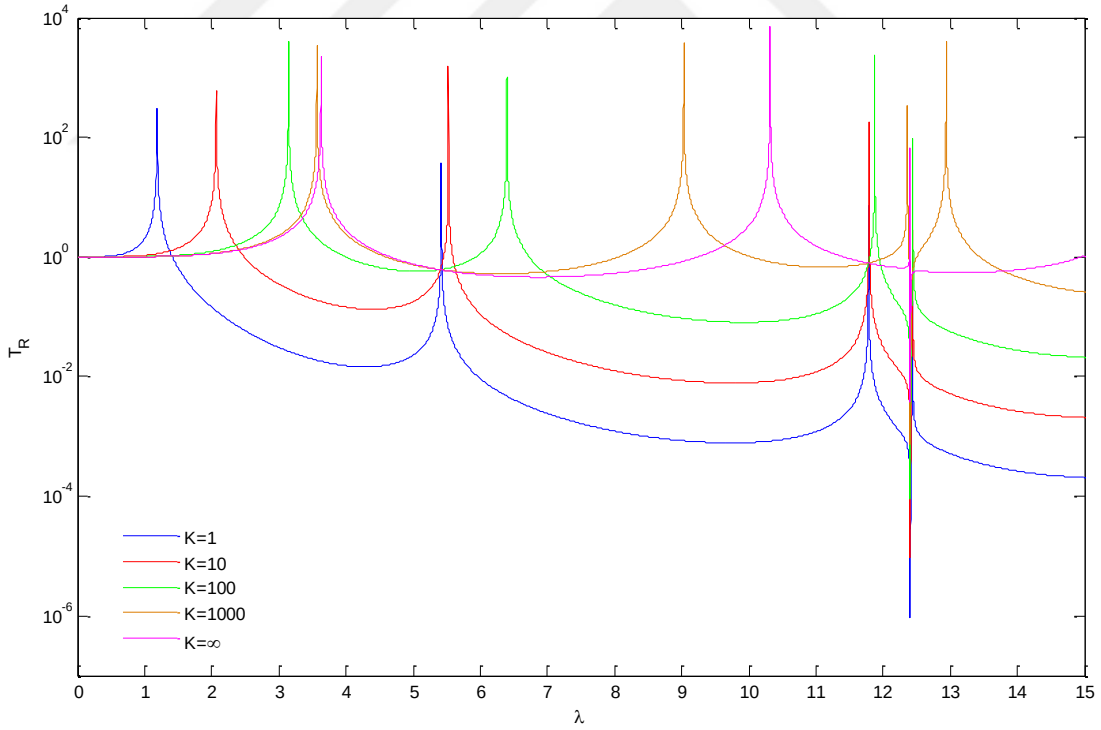
Şekil 3.65 T_{oran}=10, E_r=3, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



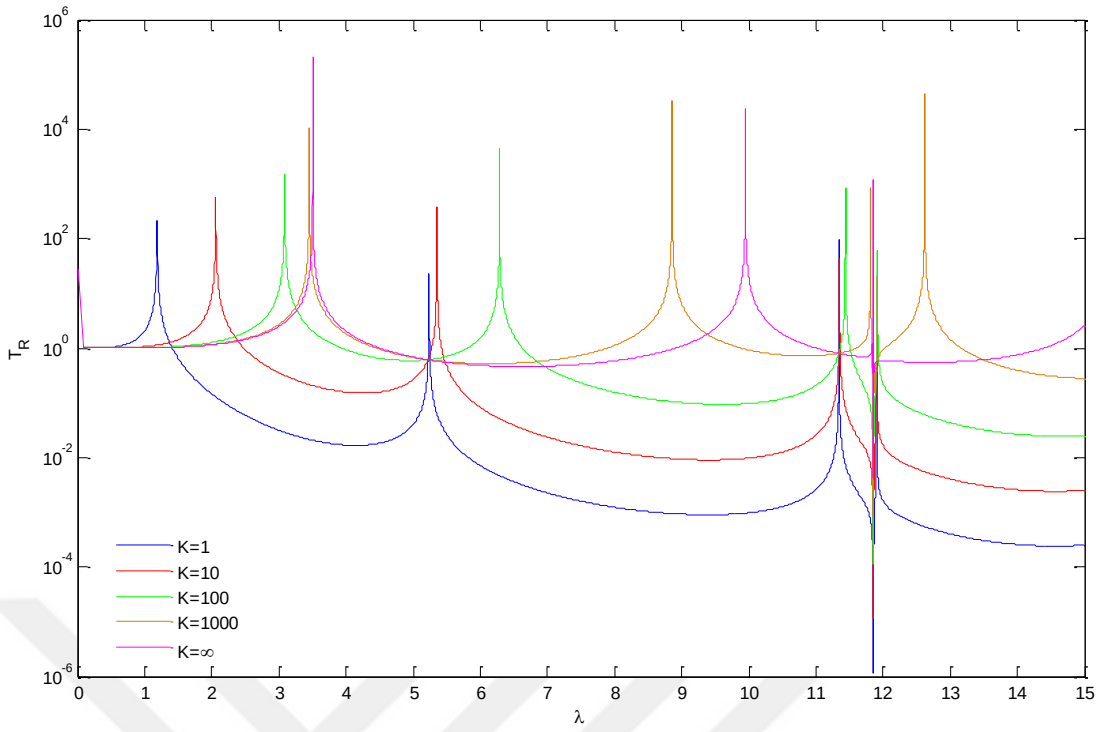
Şekil 3.66 T_{oran}=10, E_r=3, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



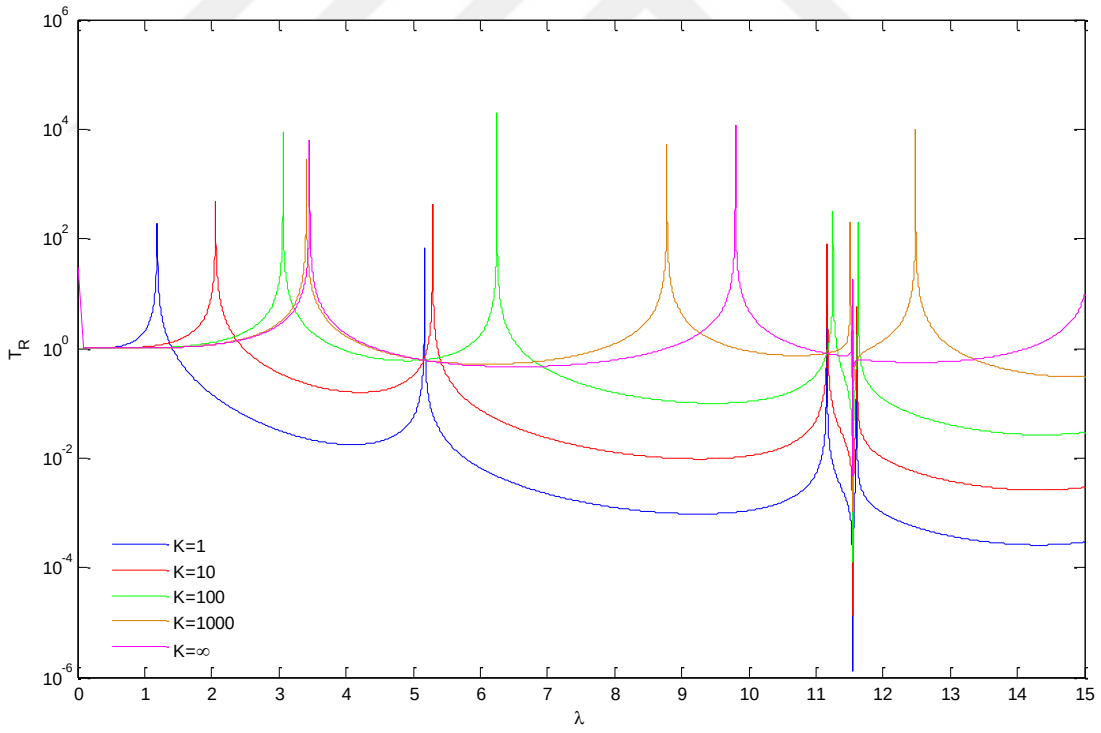
Şekil 3.67 T_{oran}=10, E_r=3, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



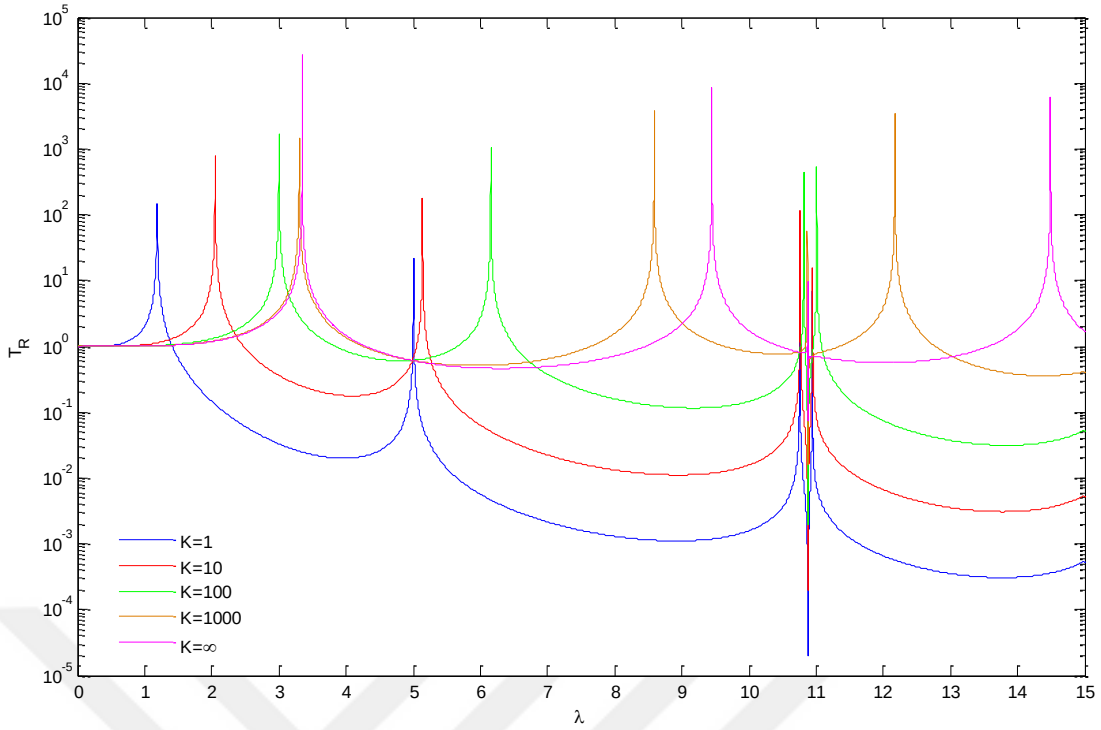
Şekil 3.68 T_{oran}=10, E_r=3, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.69 T_{oran}=10, E_r=3, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

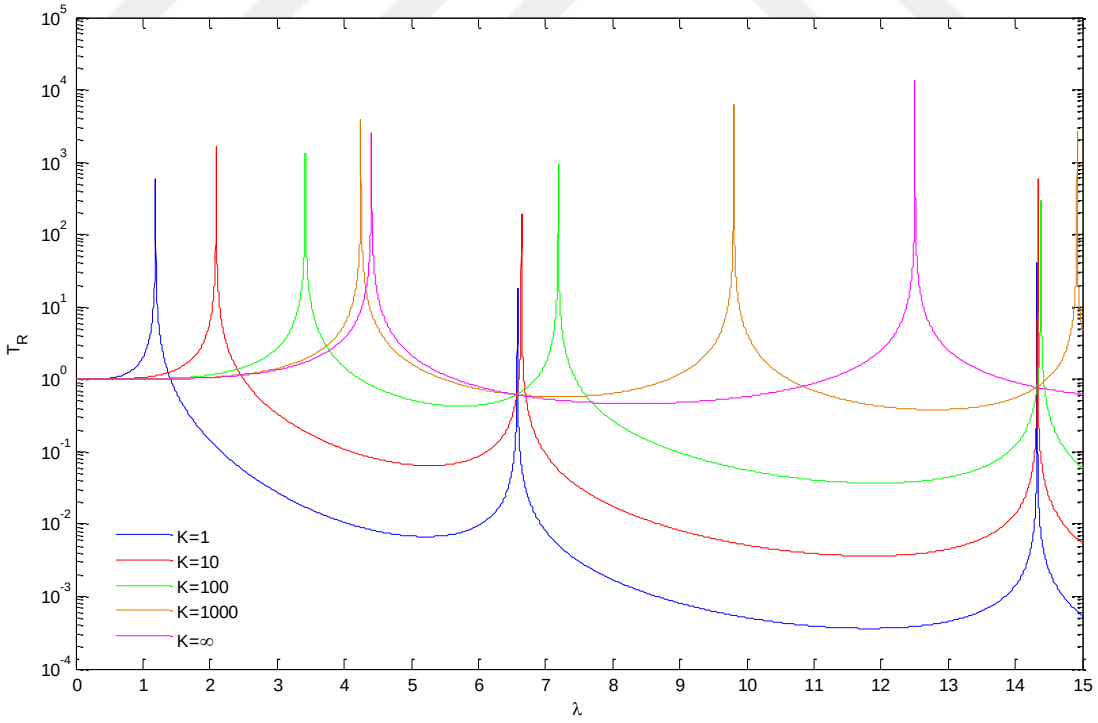


Şekil 3.70 T_{oran}=10, E_r=3, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

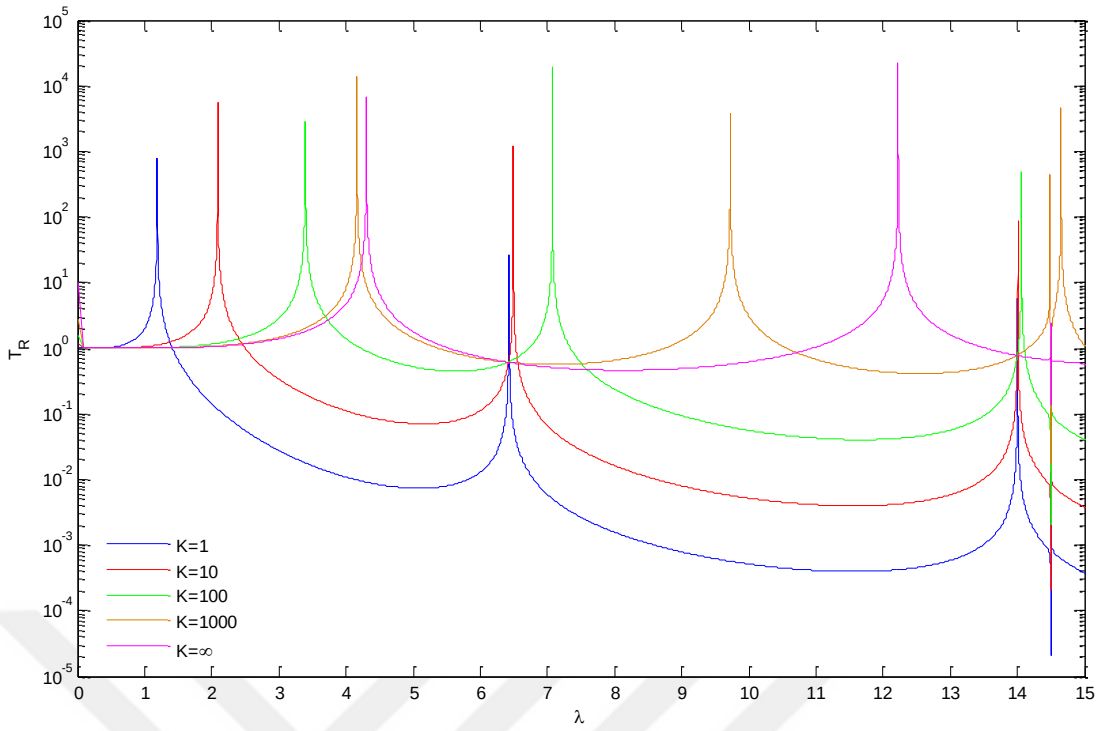


Şekil 3.71 T_{oran}=10, E_r=3, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

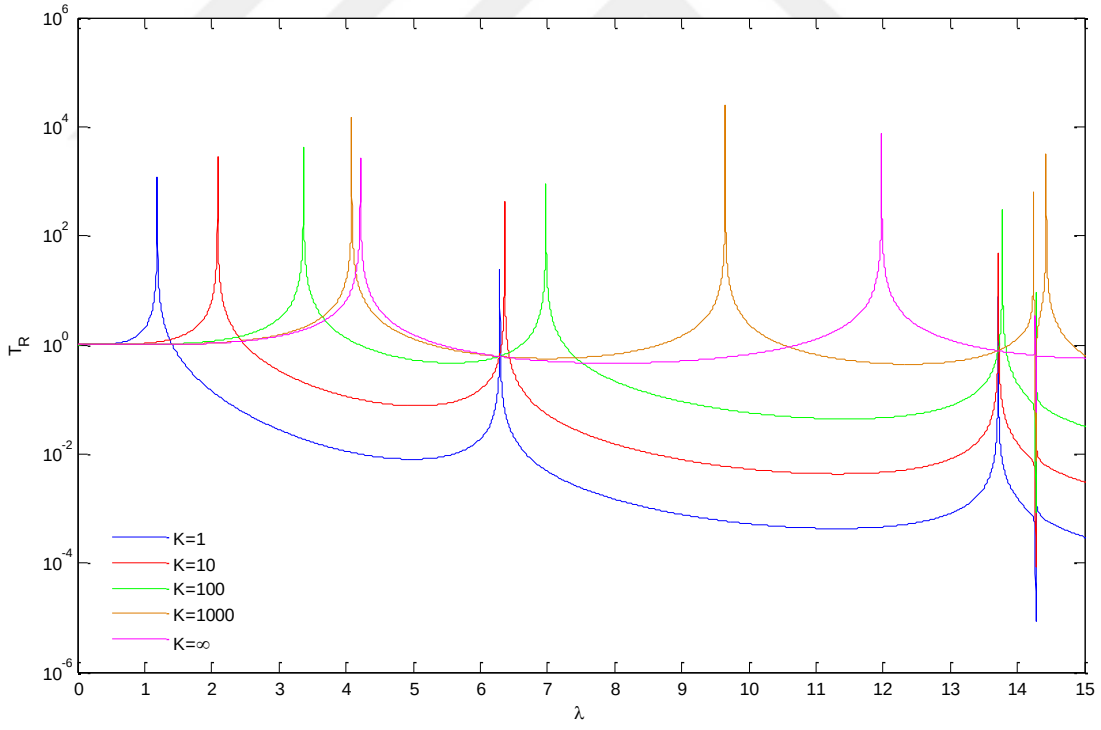
3.3.6 T_{oran}=10 ve E_r=4 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



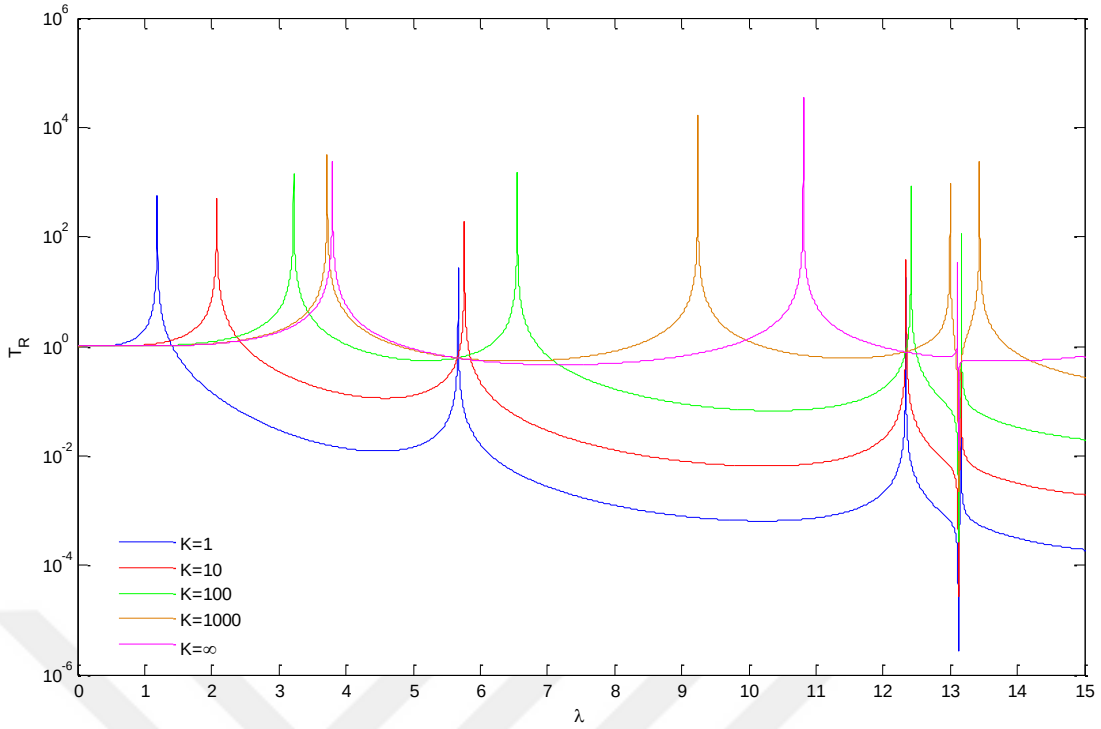
Şekil 3.72 T_{oran}=10, E_r=4, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



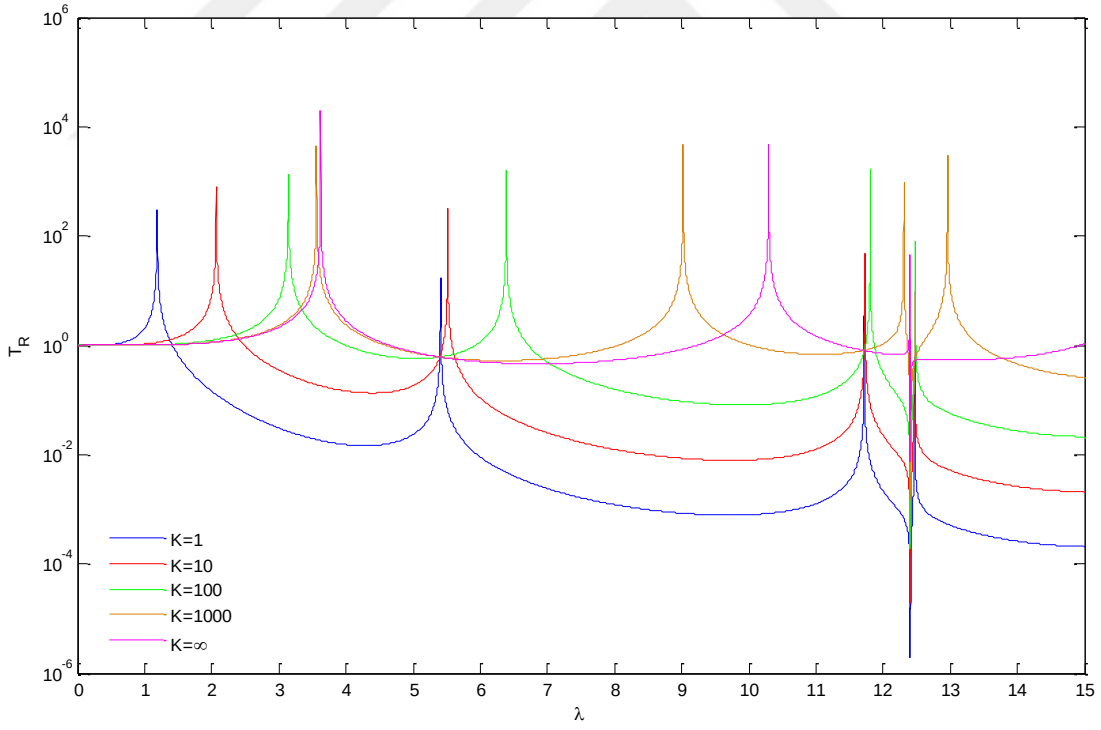
Şekil 3.73 T_{oran}=10, E_r=4, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



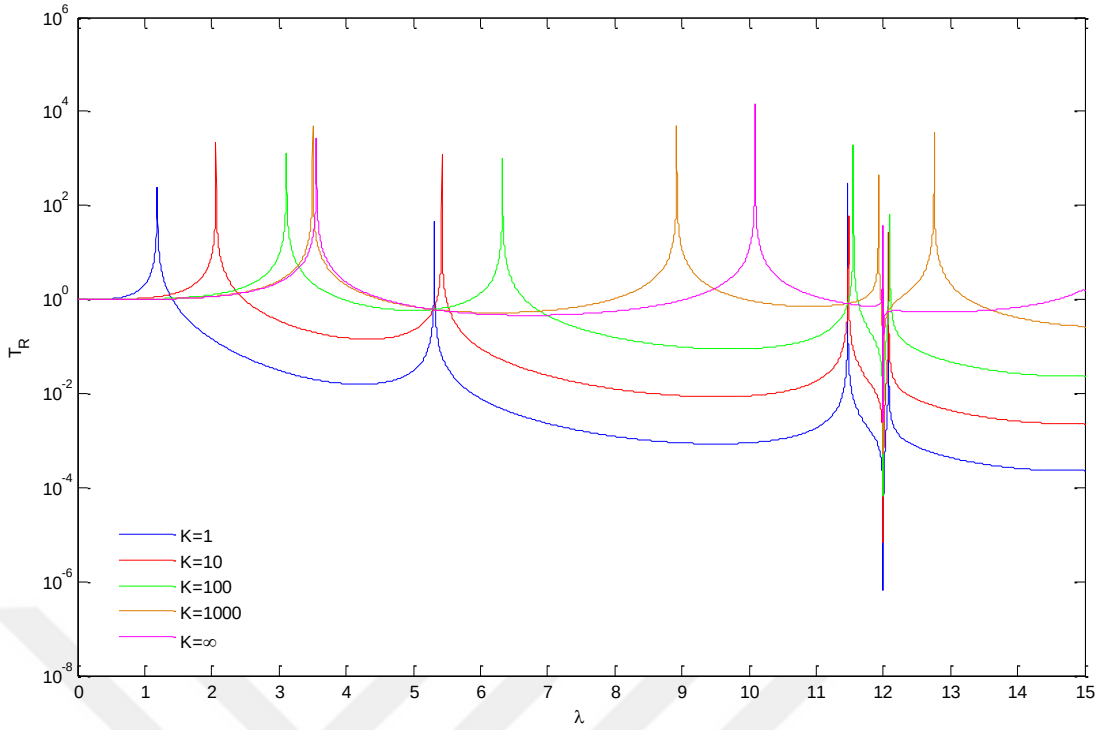
Şekil 3.74 T_{oran}=10, E_r=4, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



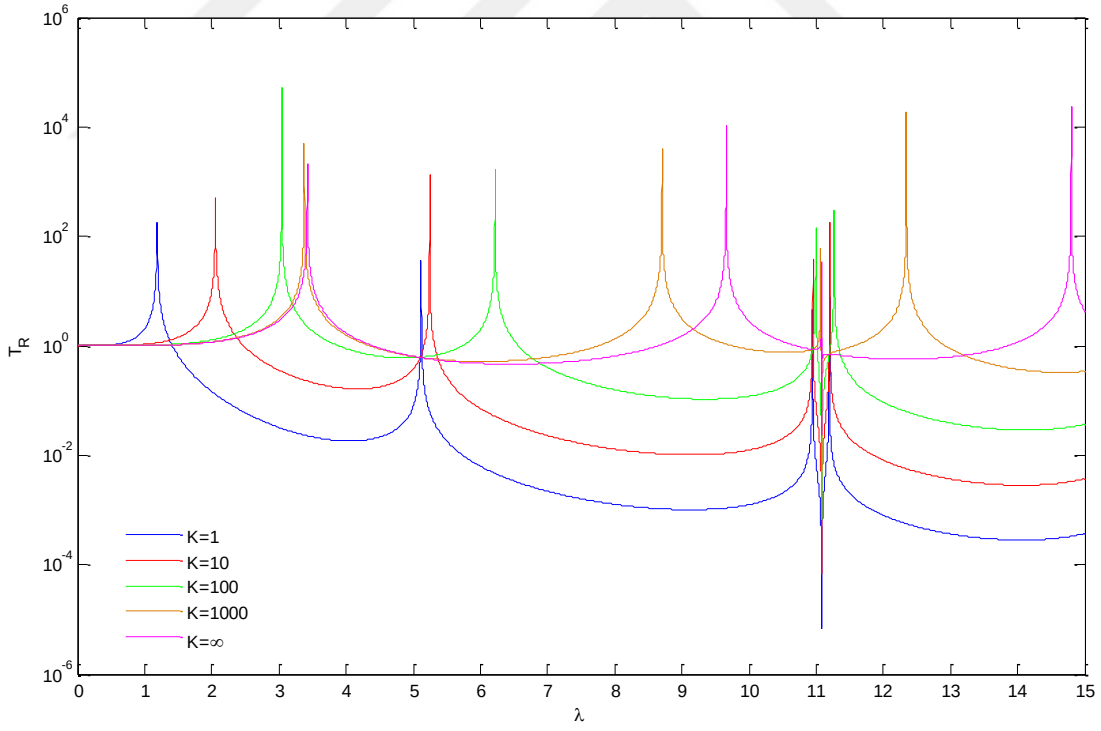
Şekil 3.75 T_{oran}=10, E_r=4, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.76 T_{oran}=10, E_r=4, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

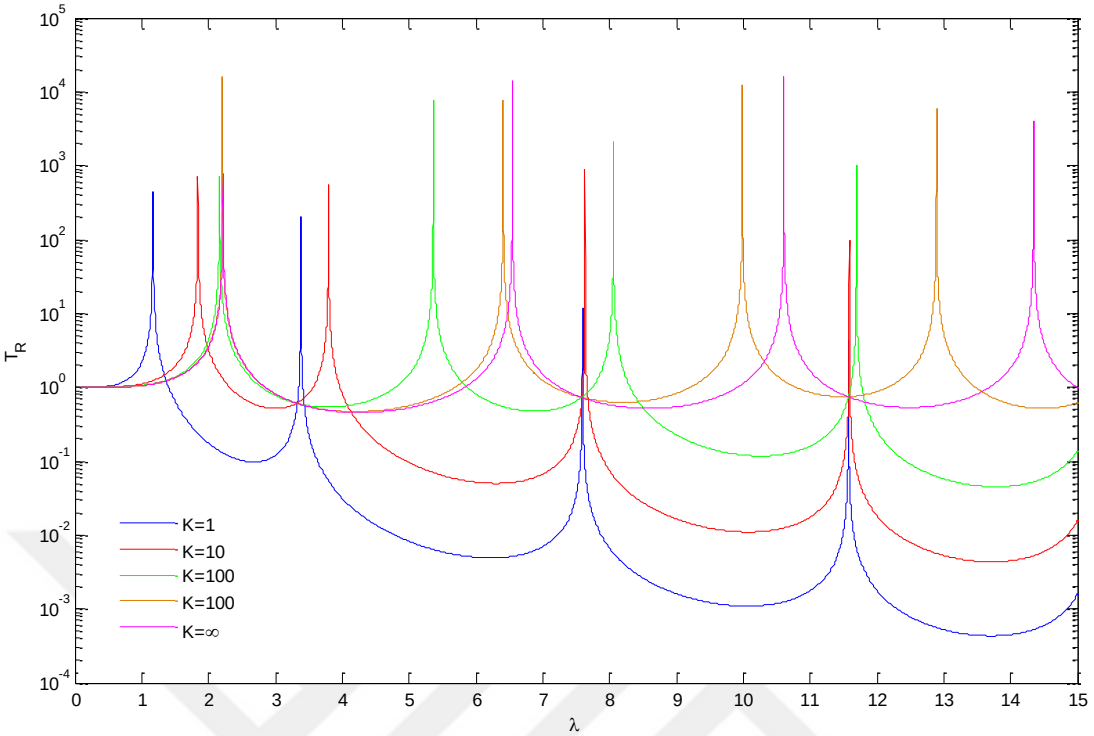


Şekil 3.77 T_{oran}=10, E_r=4, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

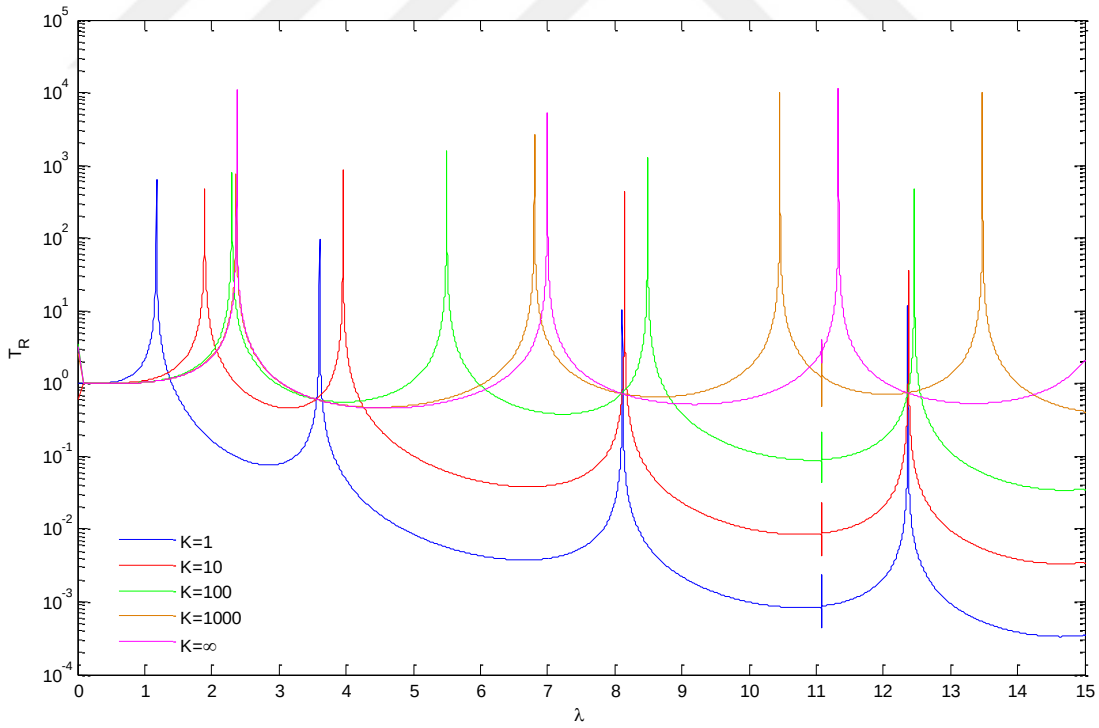


Şekil 3.78 T_{oran}=10, E_r=4, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

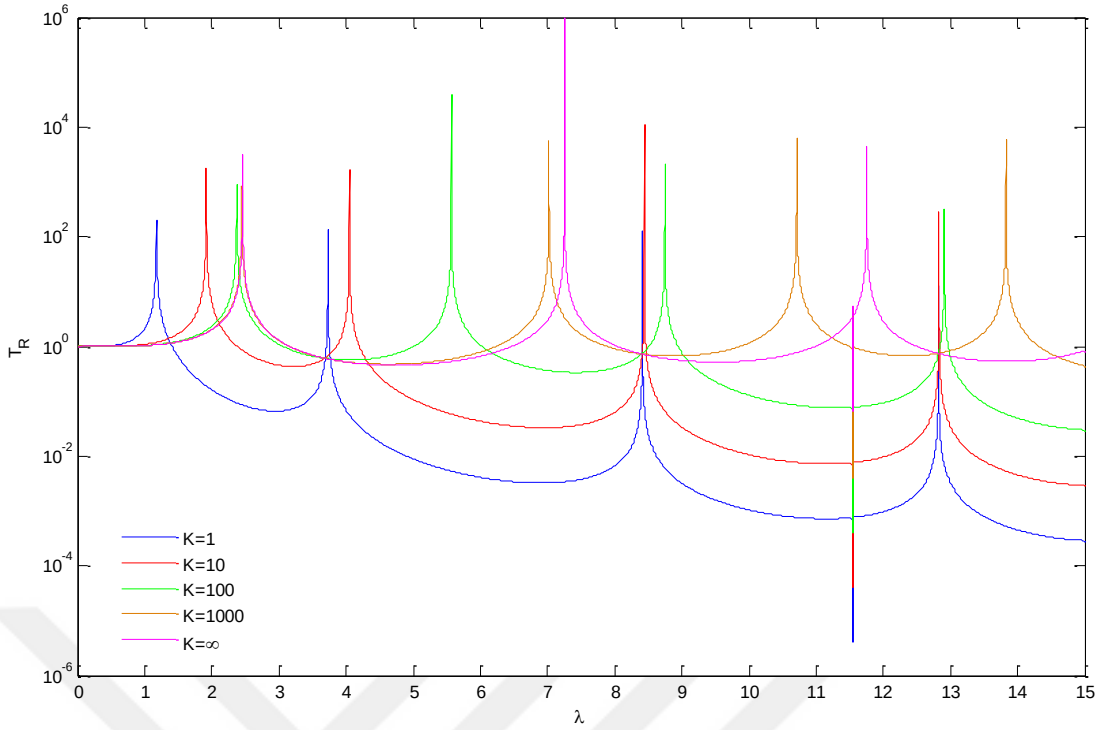
3.3.7 T_{oran}=20 ve E_r=0,25 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



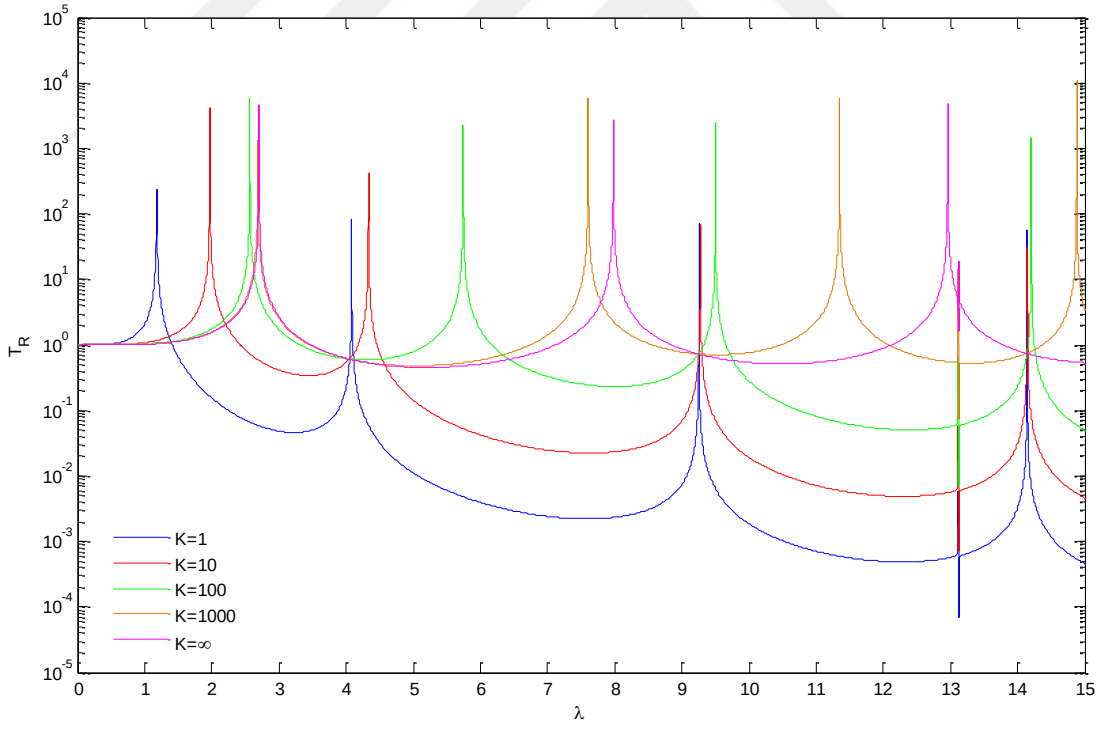
Şekil 3.79 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



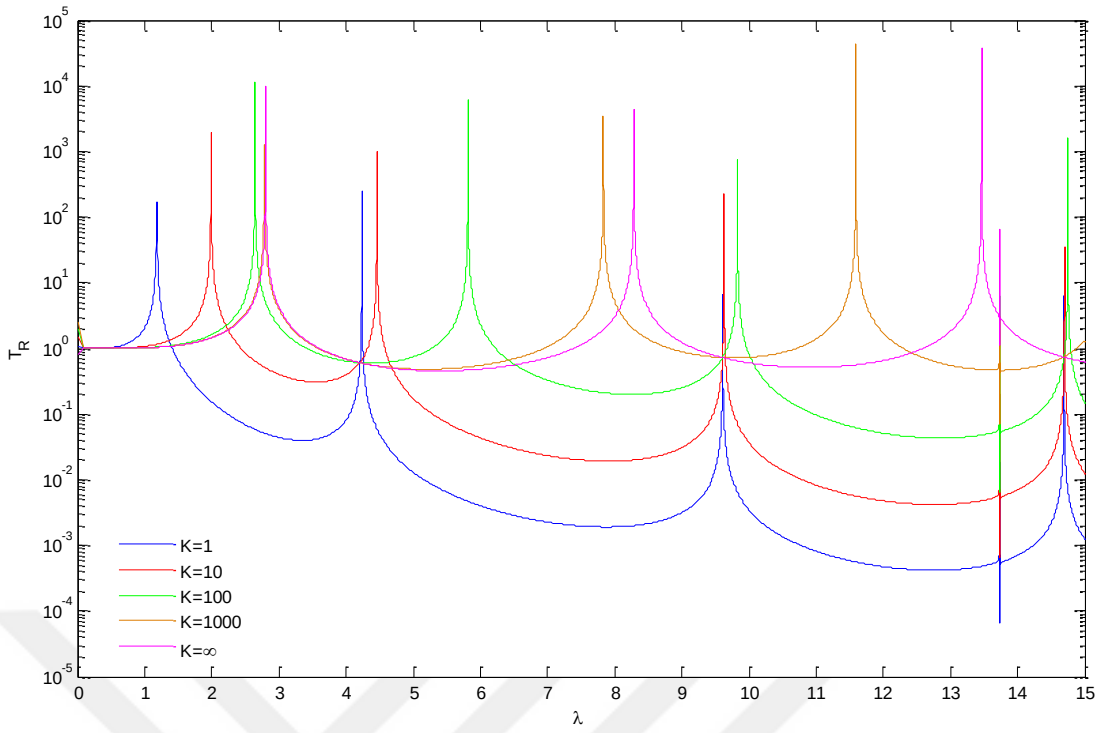
Şekil 3.80 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



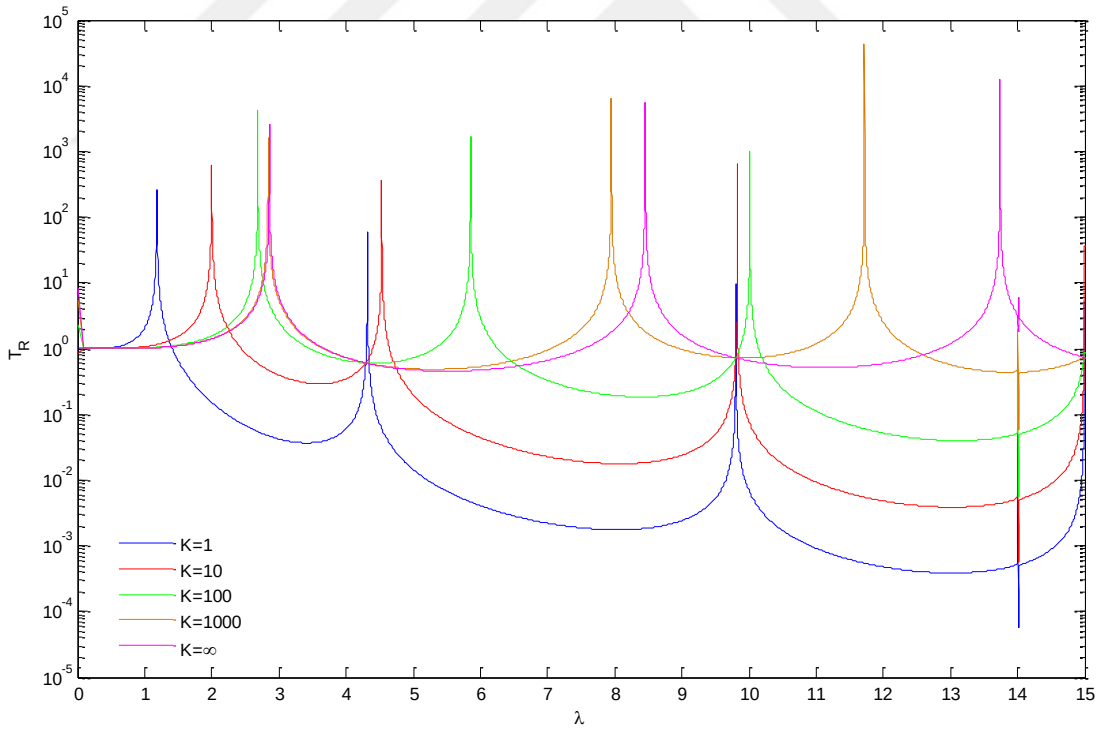
Şekil 3.81 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



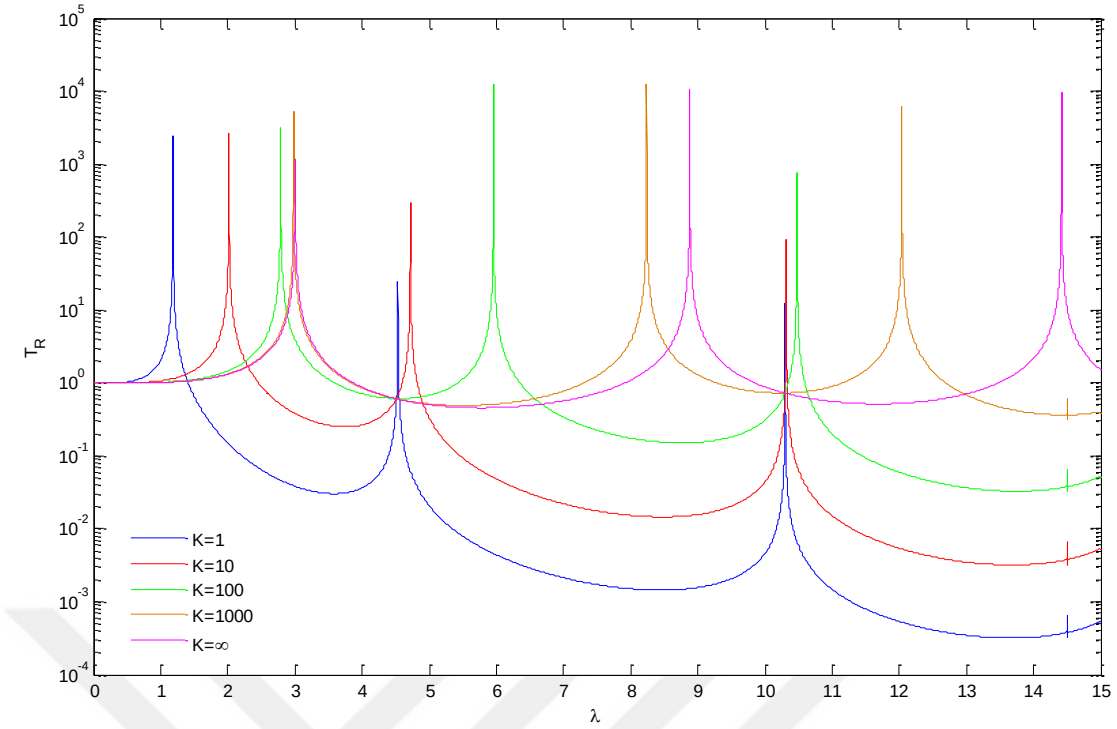
Şekil 3.82 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.83 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

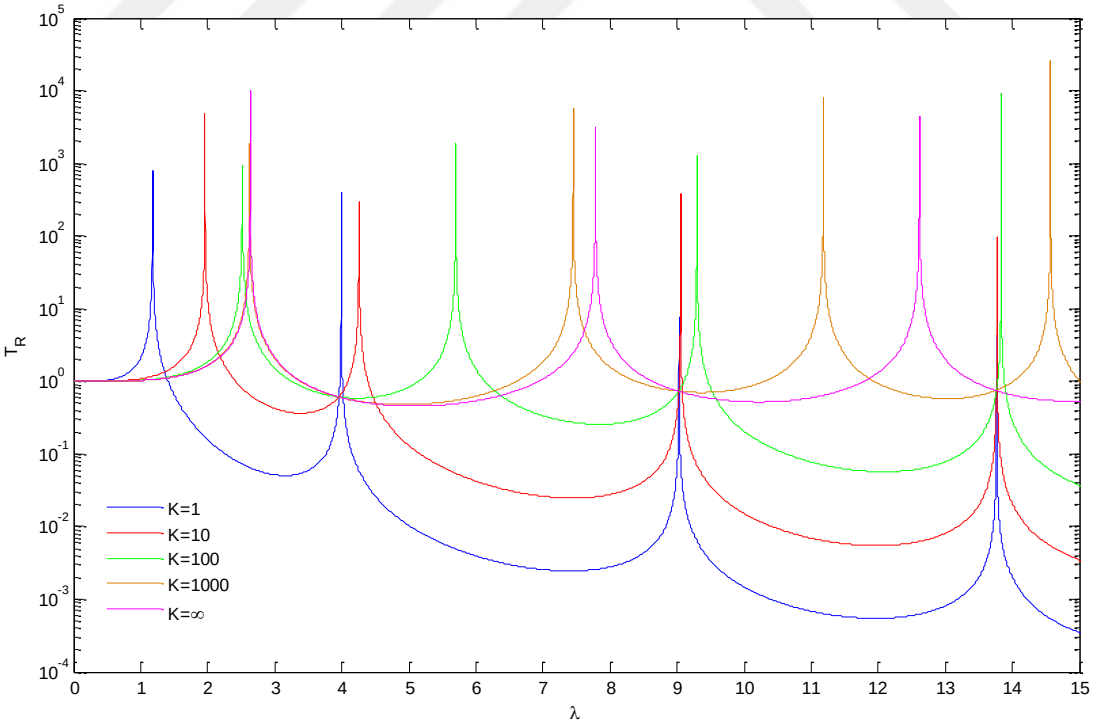


Şekil 3.84 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

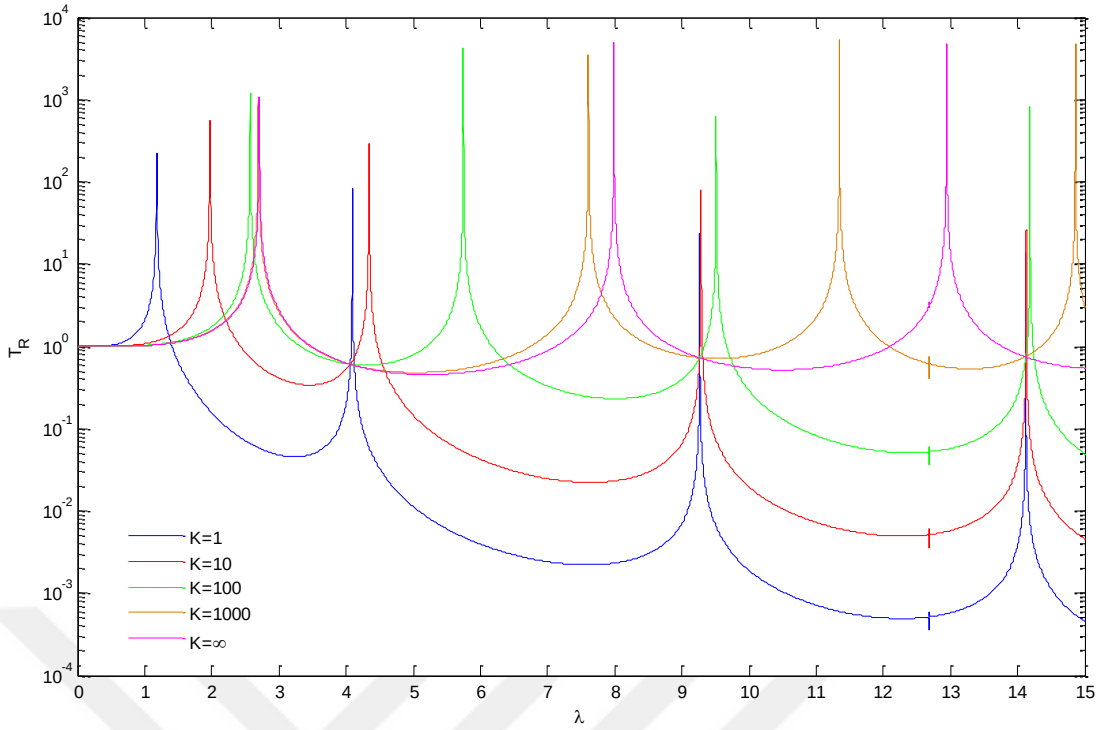


Şekil 3.85 T_{oran}=20, E_r=0,25, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

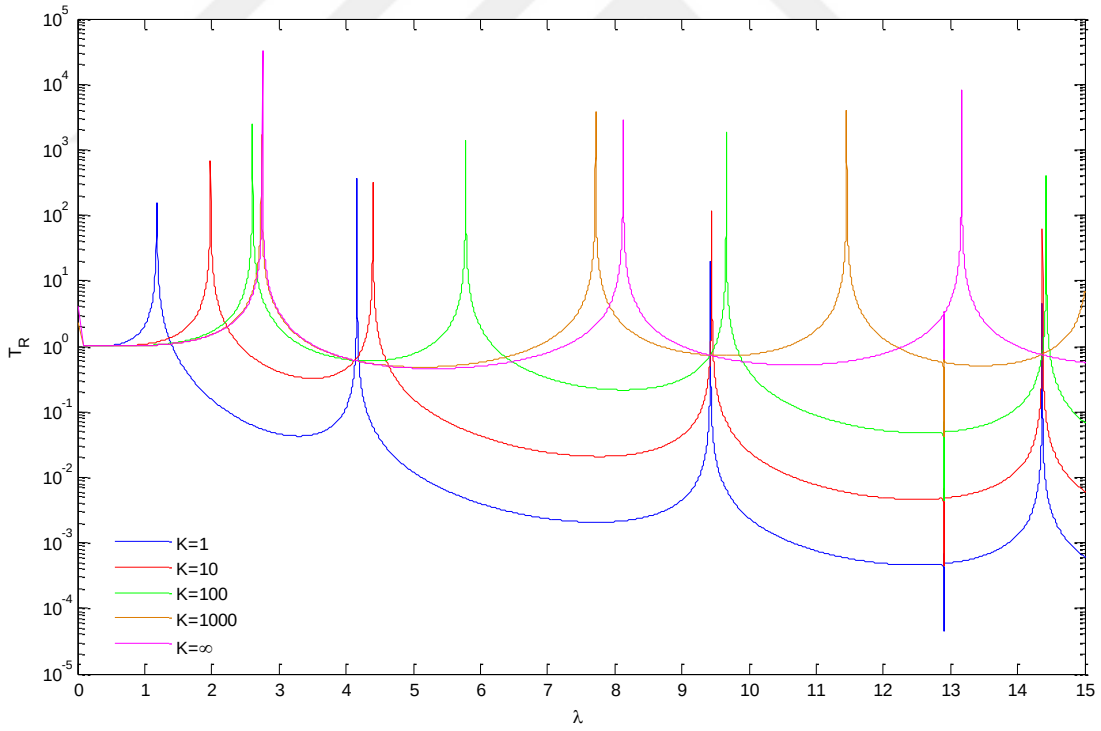
3.3.8 T_{oran}=20 ve E_r=0,5 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



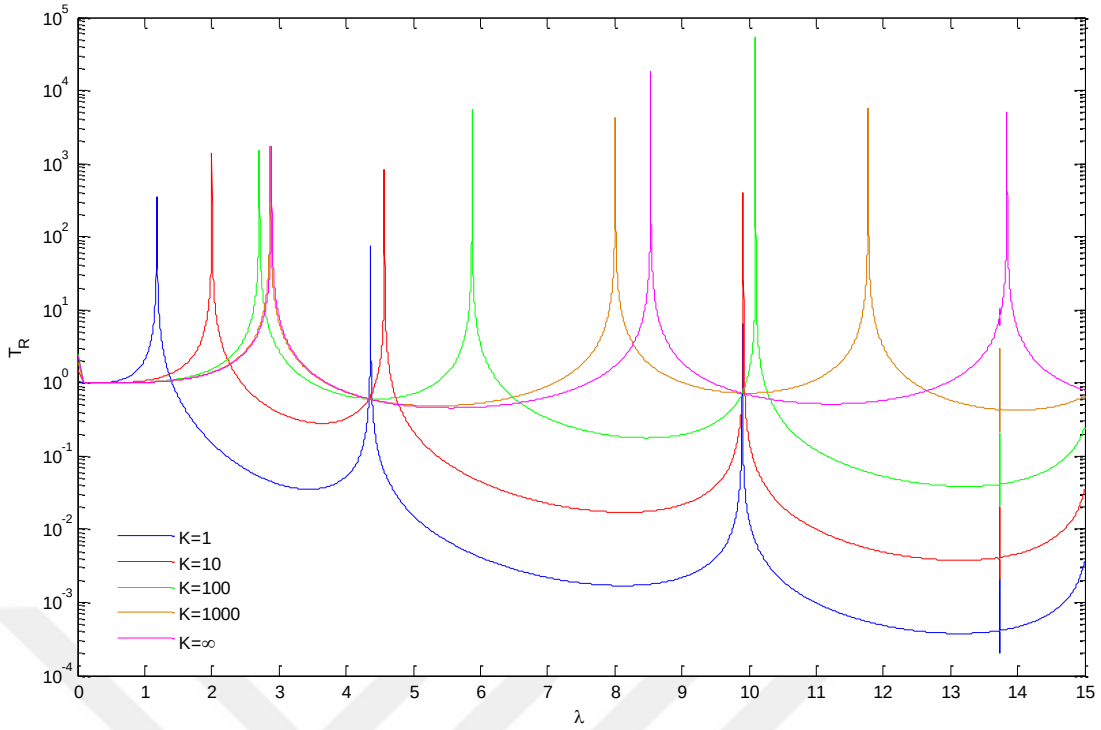
Şekil 3.86 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



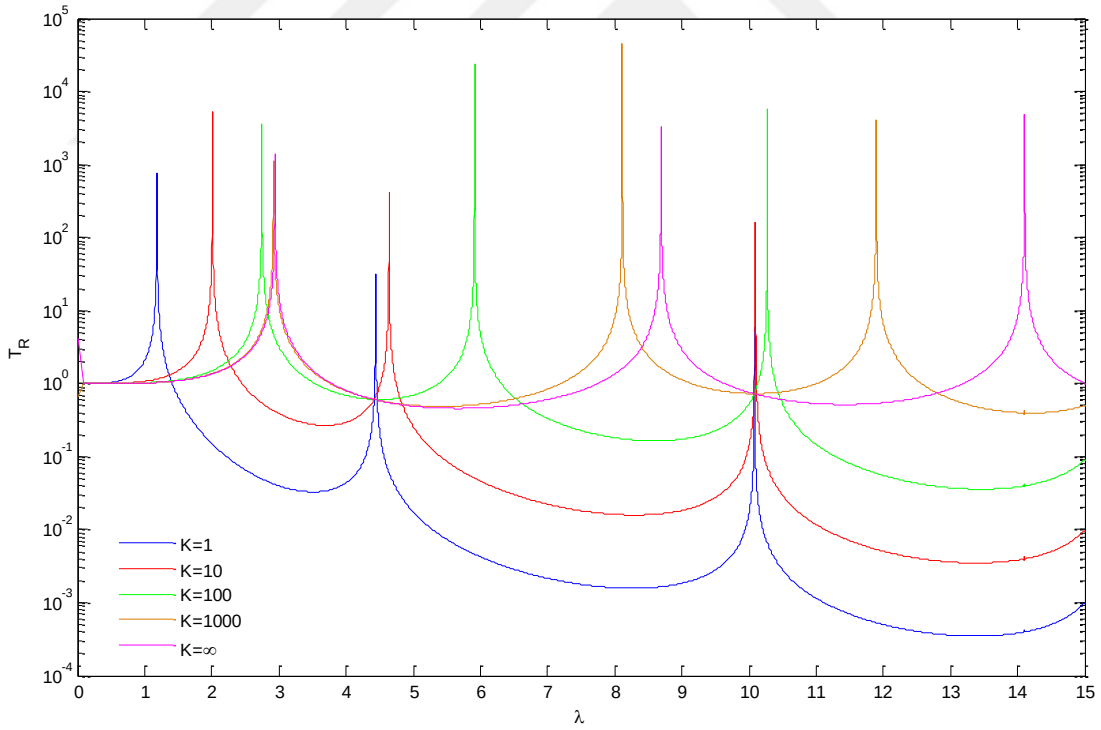
Şekil 3.87 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



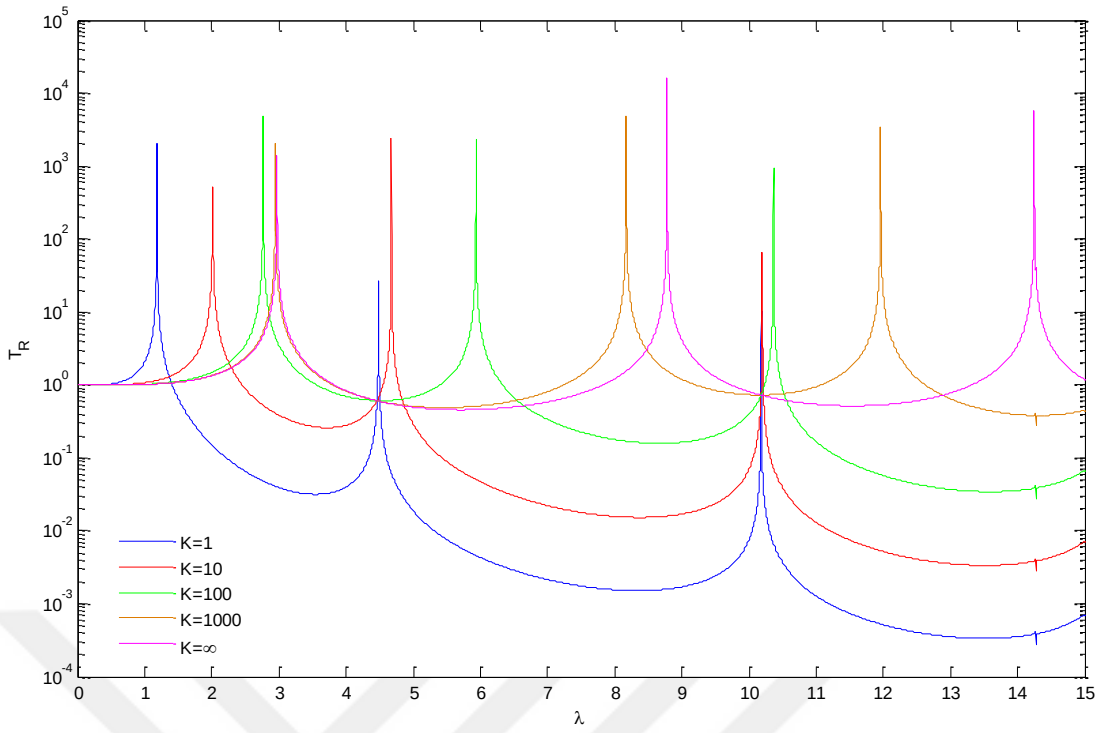
Şekil 3.88 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



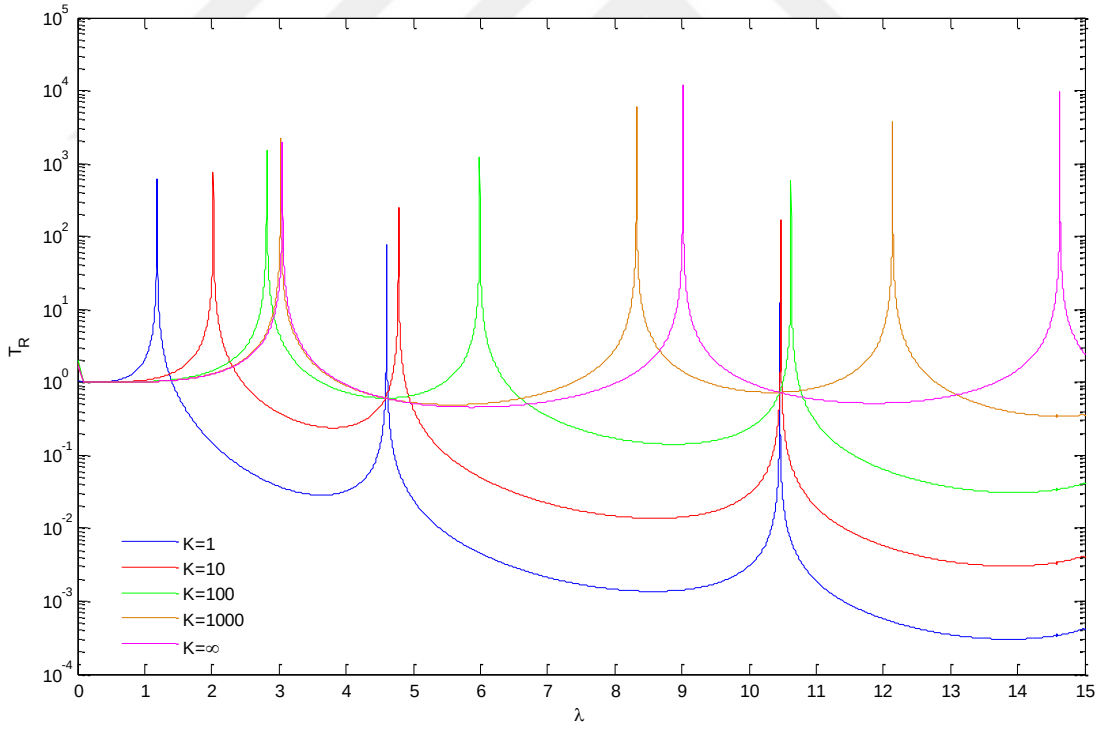
Şekil 3.89 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.90 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

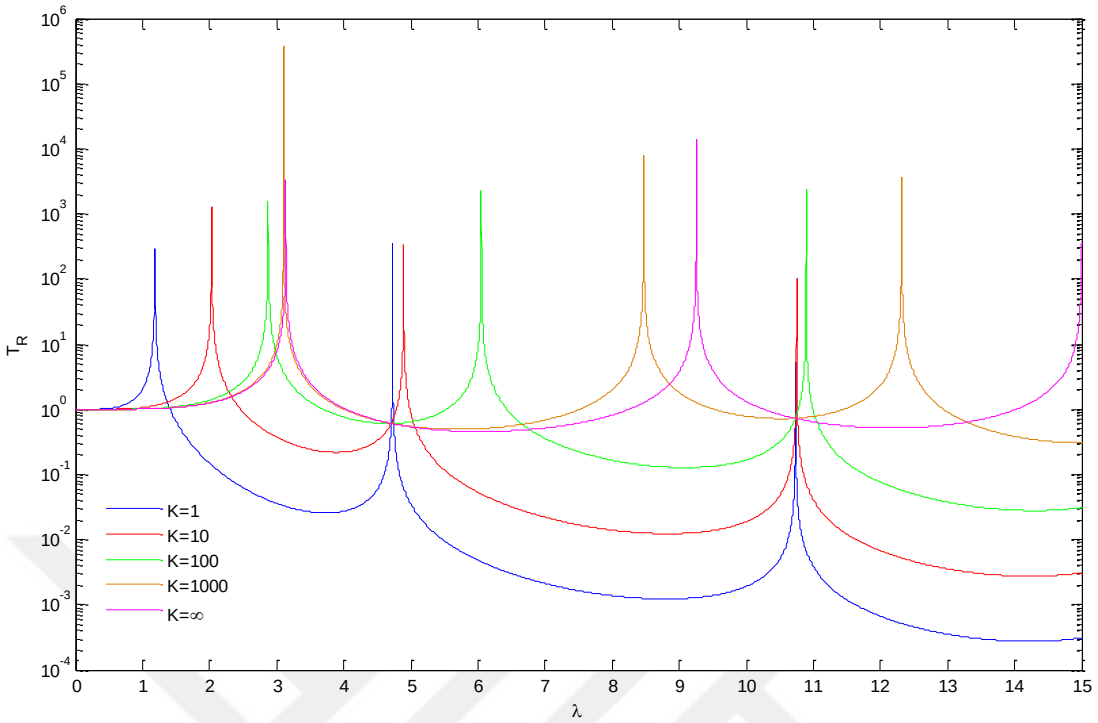


Şekil 3.91 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

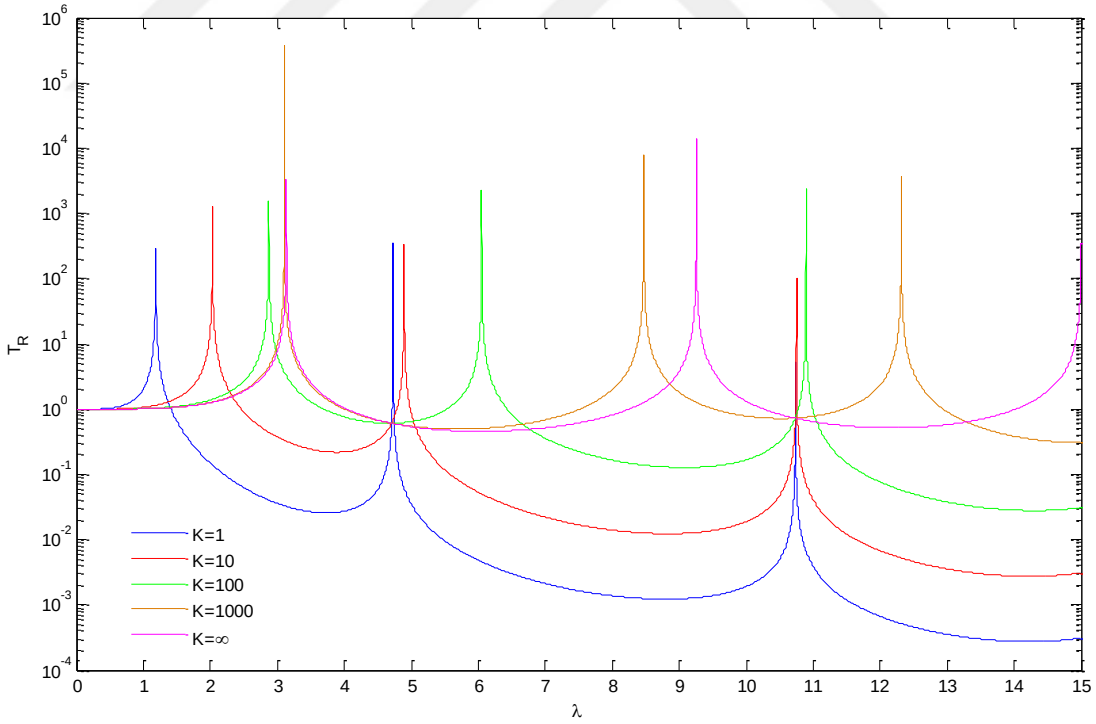


Şekil 3.92 T_{oran}=20, E_r=0,5, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

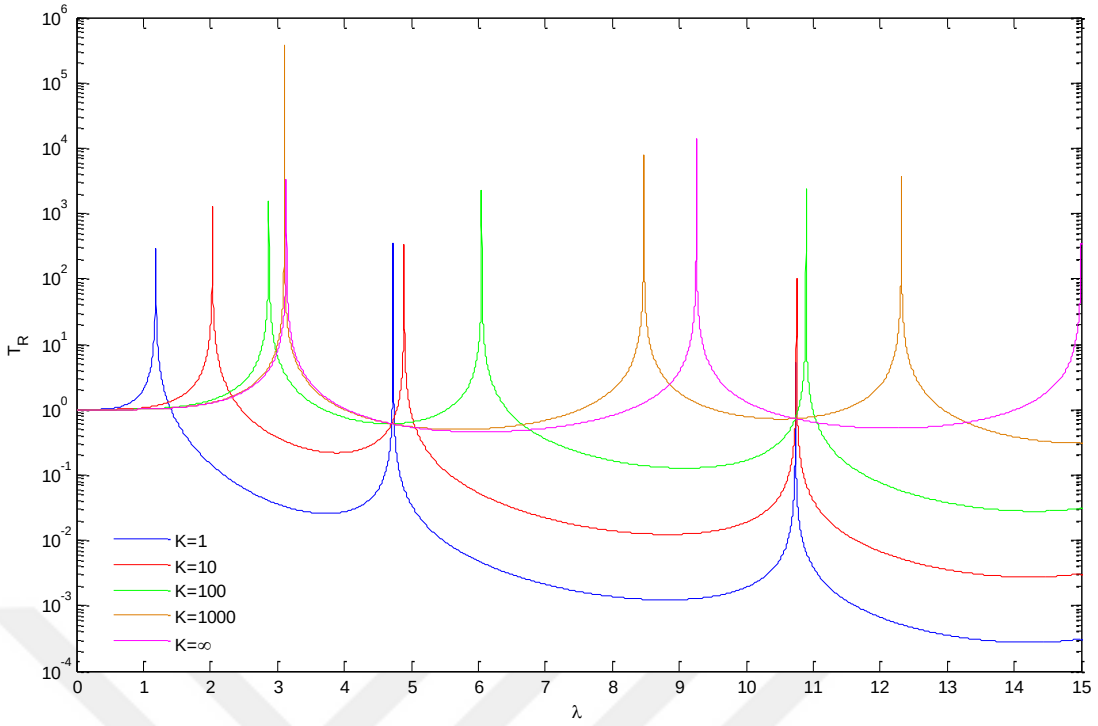
3.3.9 T_{oran}=20 ve E_r=1 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



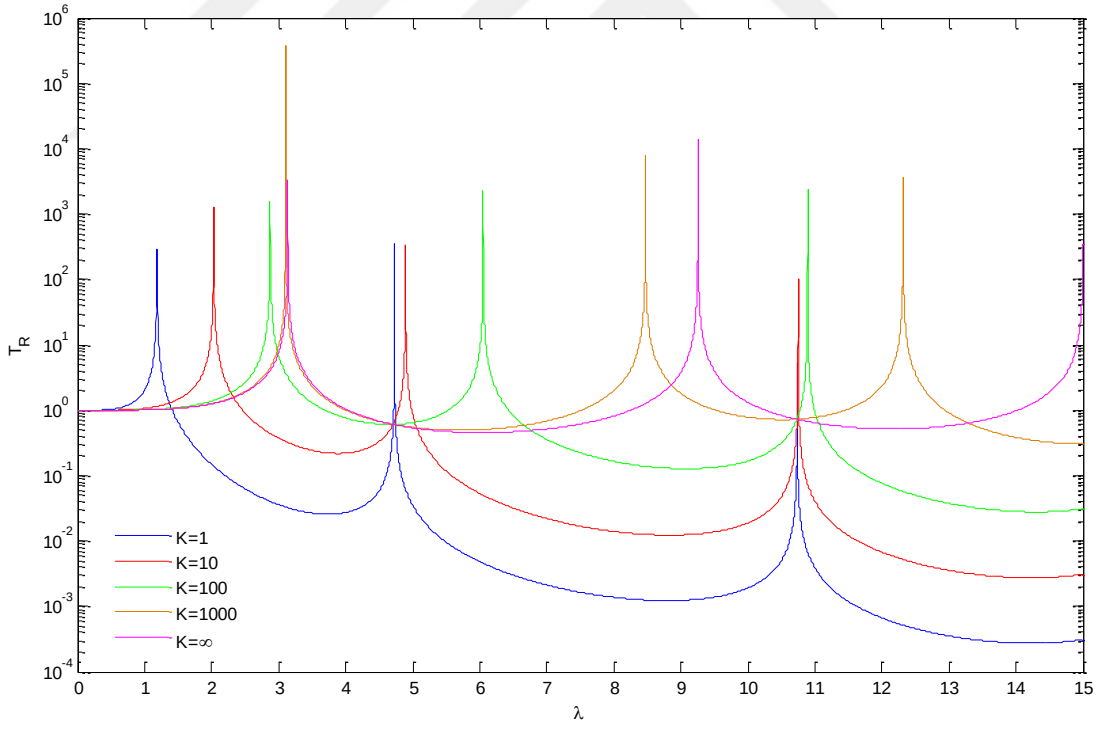
Şekil 3.93 T_{oran}=20, E_r=1, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



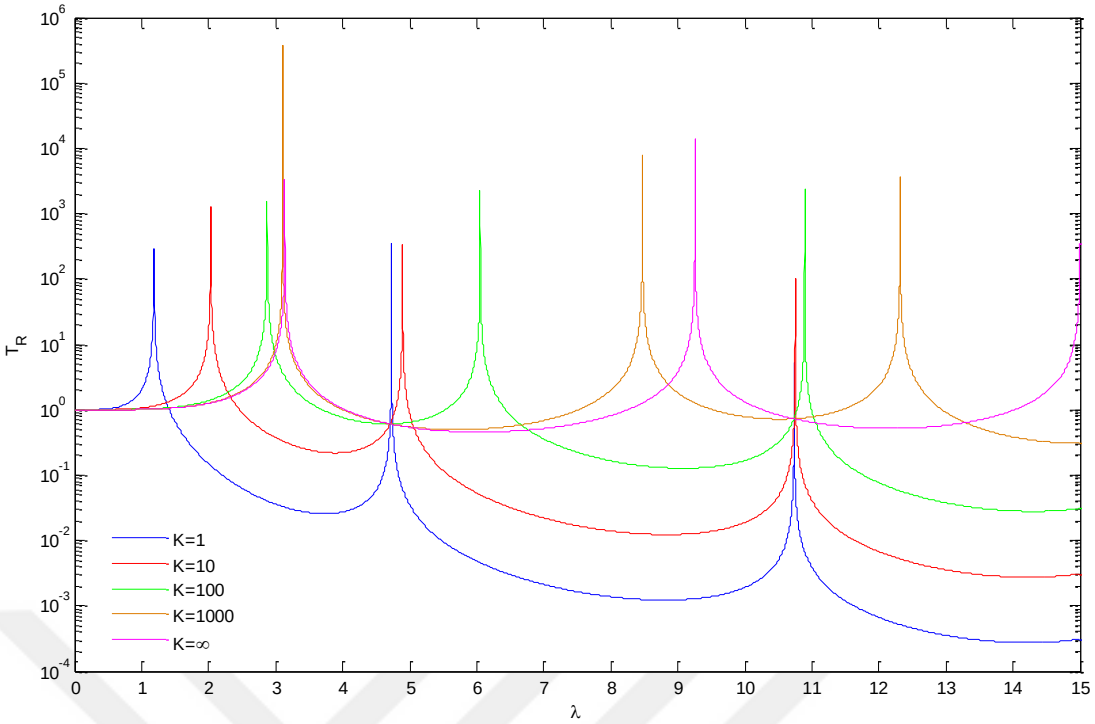
Şekil 3.94 T_{oran}=20, E_r=1, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



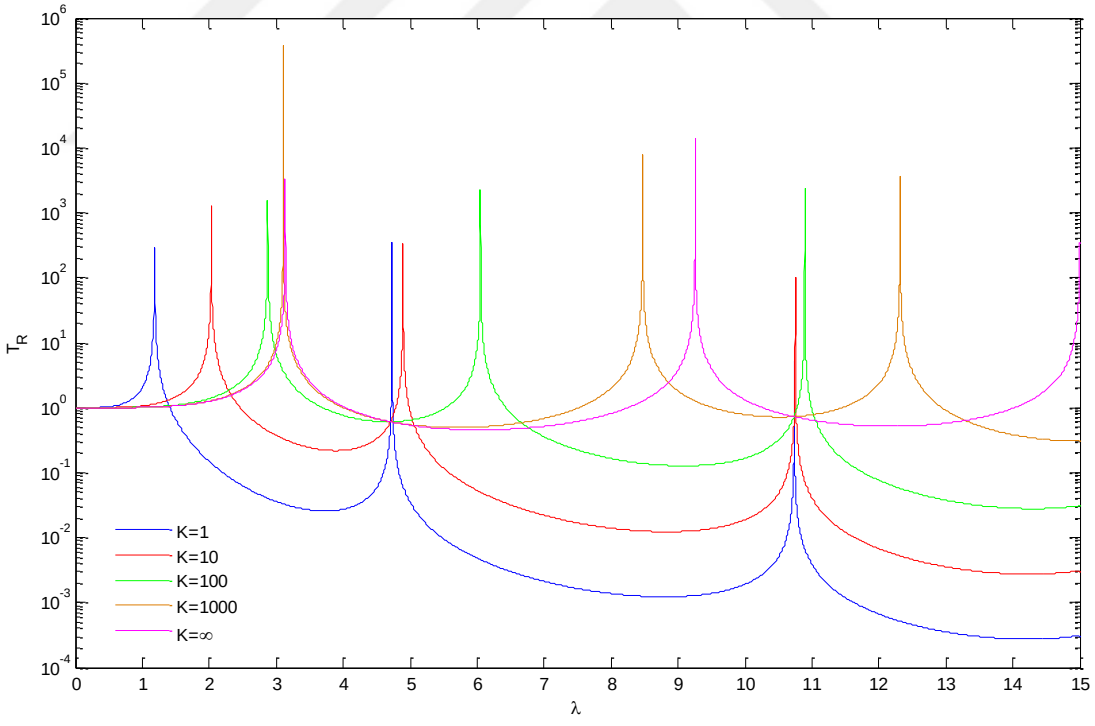
Şekil 3.95 T_{oran}=20, E_r=1, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



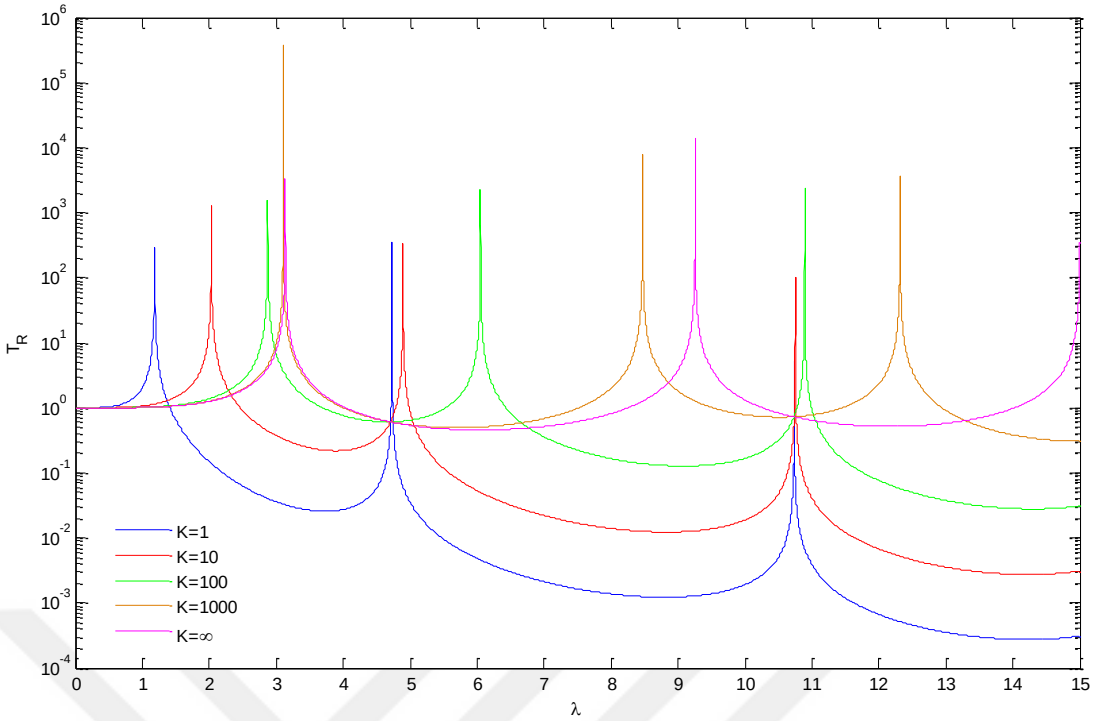
Şekil 3.96 T_{oran}=20, E_r=1, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.97 T_{oran}=20, E_r=1, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

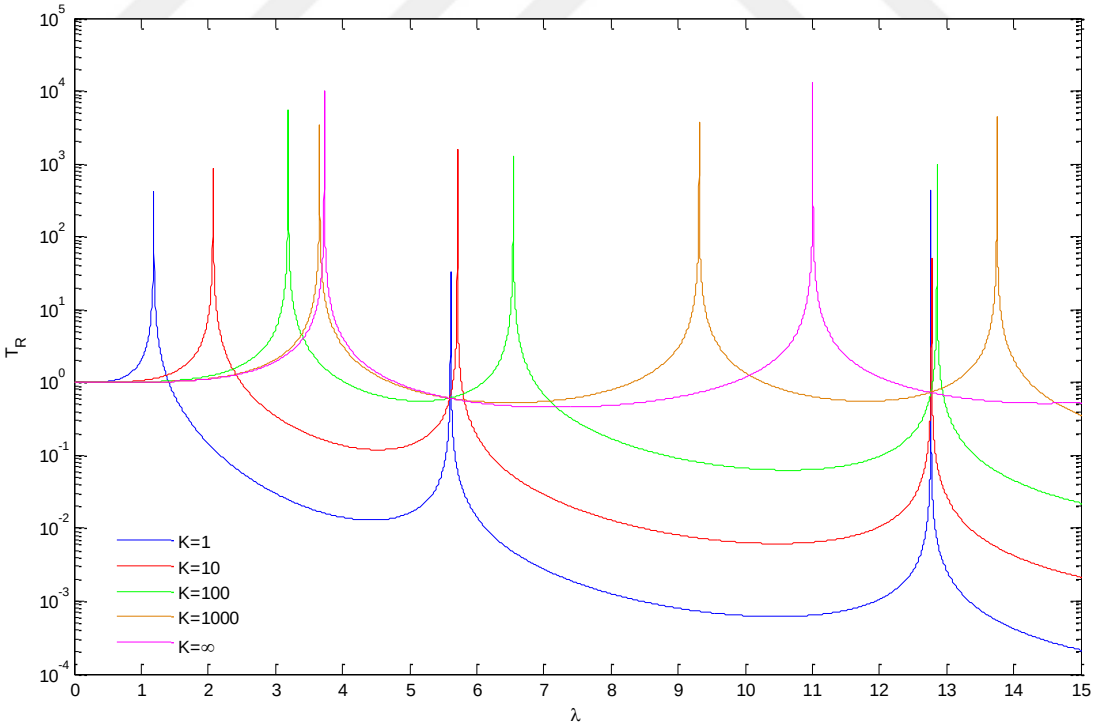


Şekil 3.98 T_{oran}=20, E_r=1, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

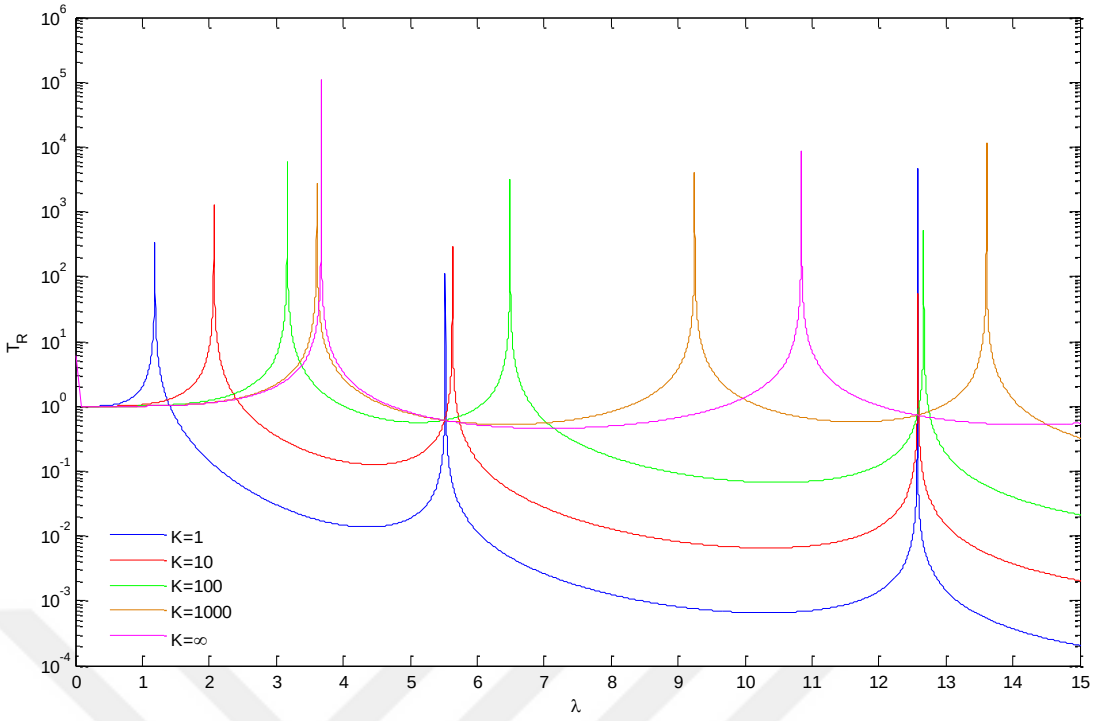


Şekil 3.99 T_{oran}=20, E_r=1, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

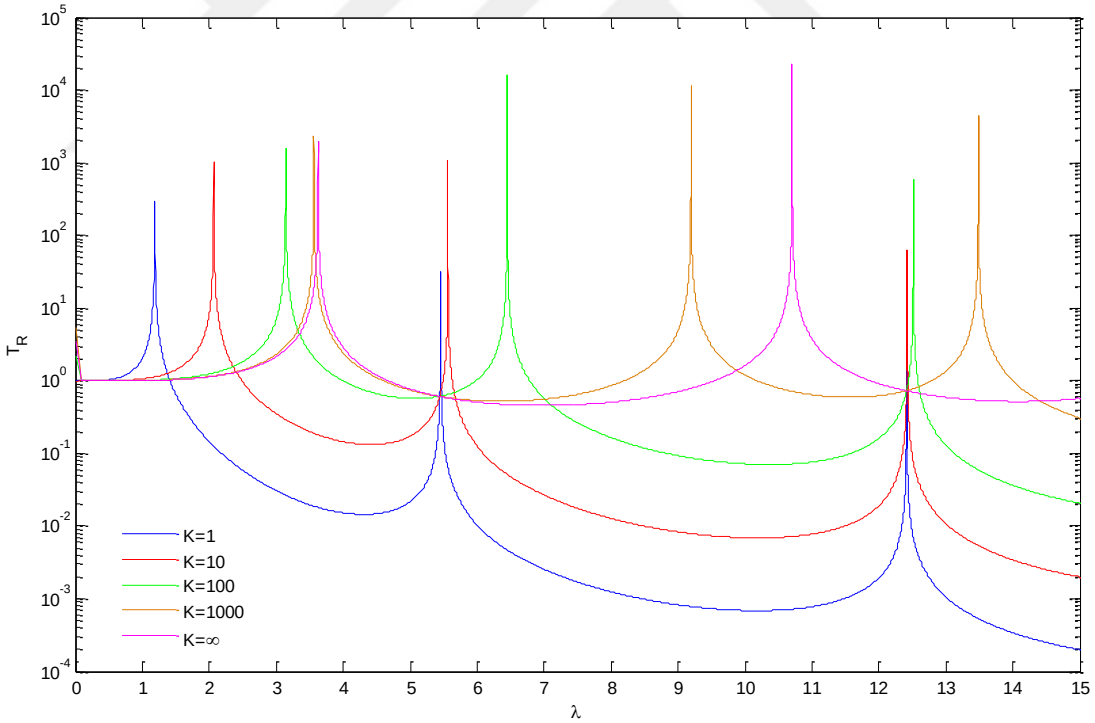
3.3.10 T_{oran}=20 ve E_r=2 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



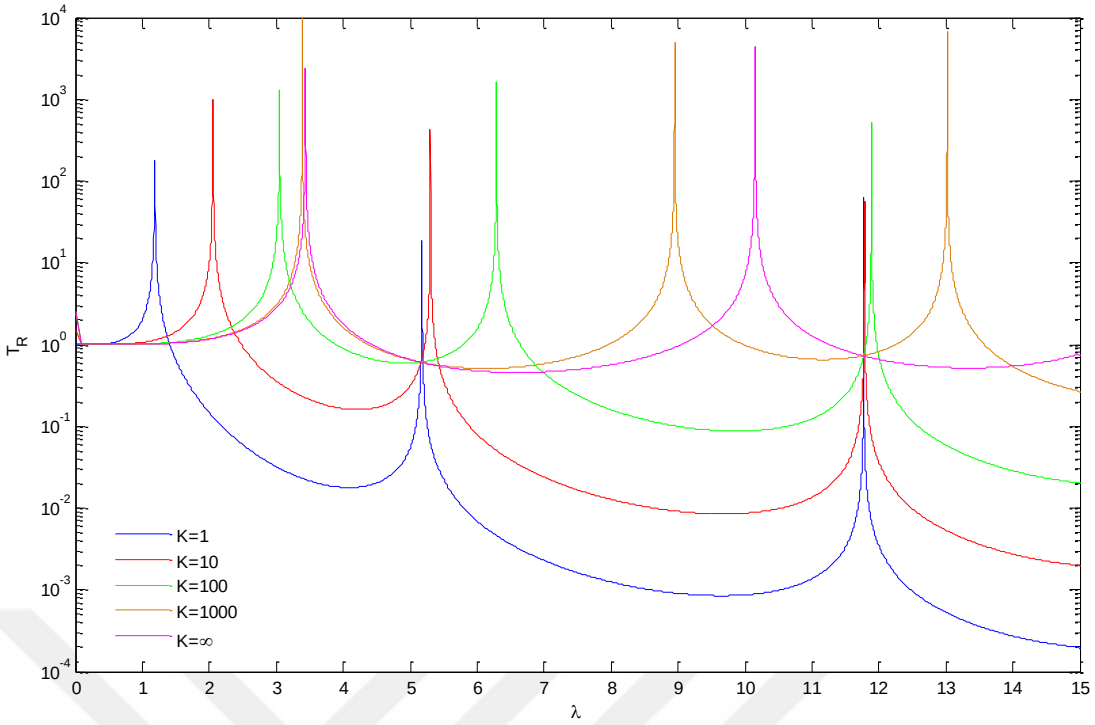
Şekil 3.100 T_{oran}=20, E_r=2, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



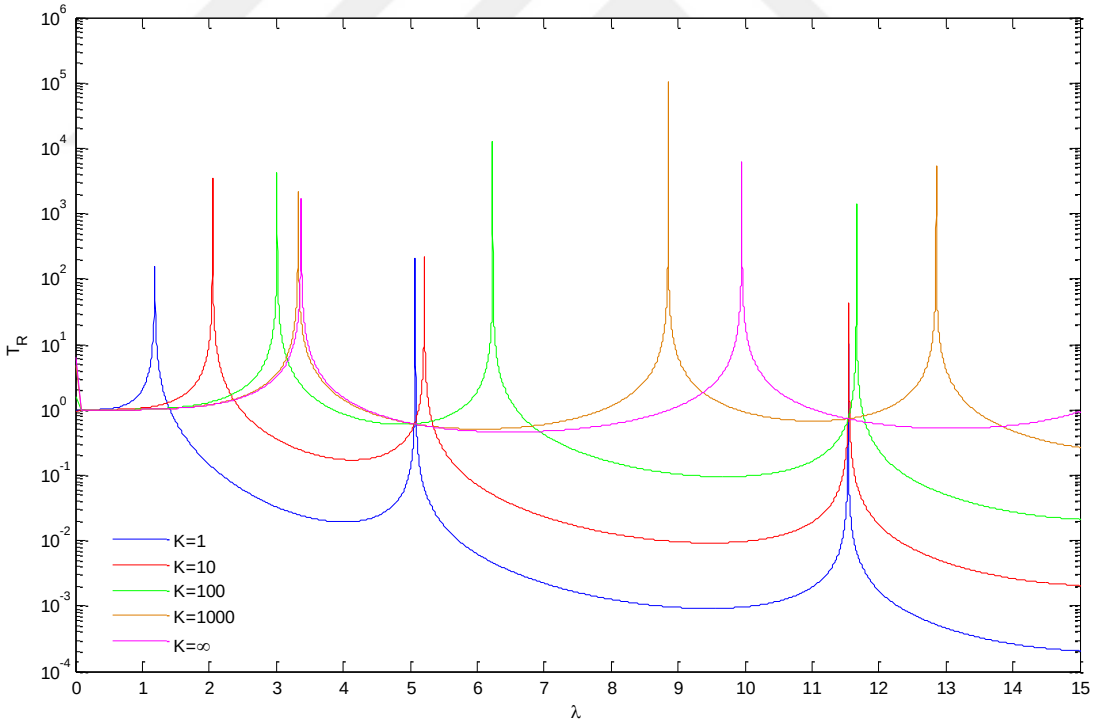
Şekil 3.101 T_{oran}=20, E_r=2, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



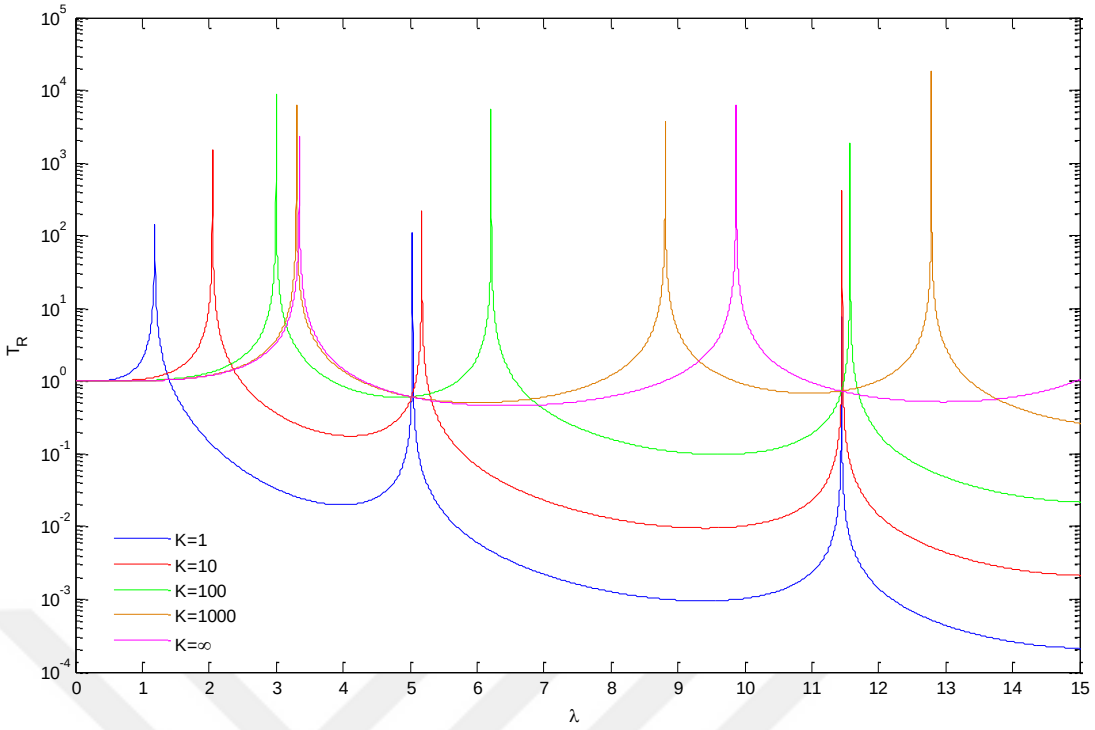
Şekil 3.102 T_{oran}=20, E_r=2, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



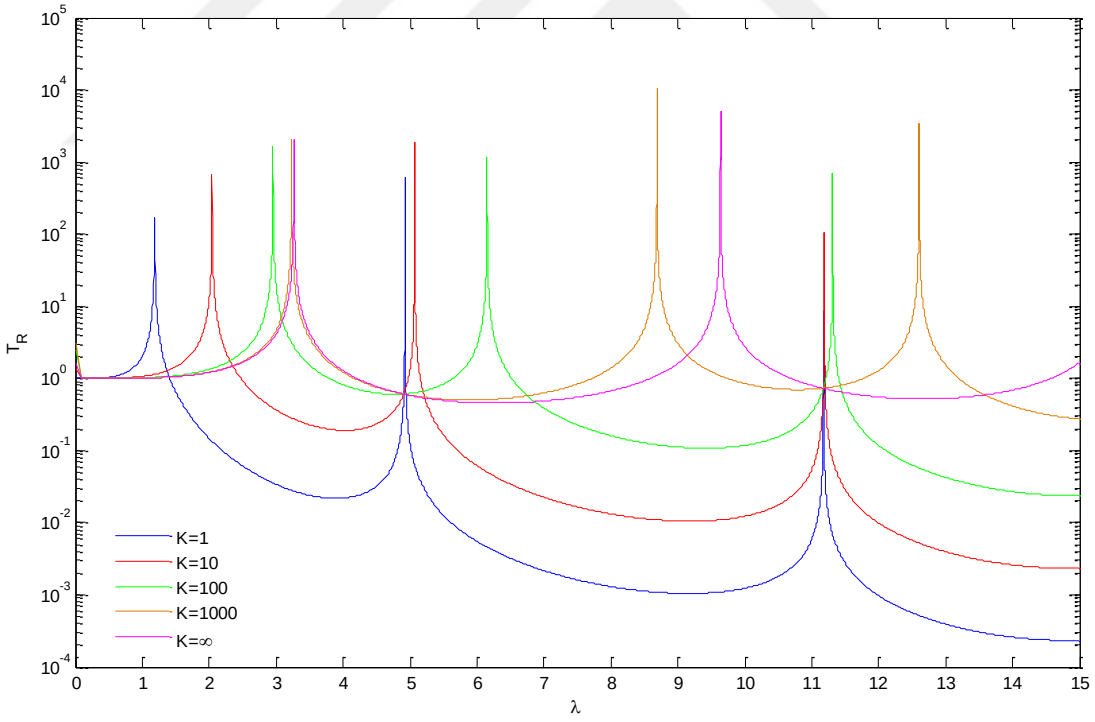
Şekil 3.103 T_{oran}=20, E_r=2, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.104 T_{oran}=20, E_r=2, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

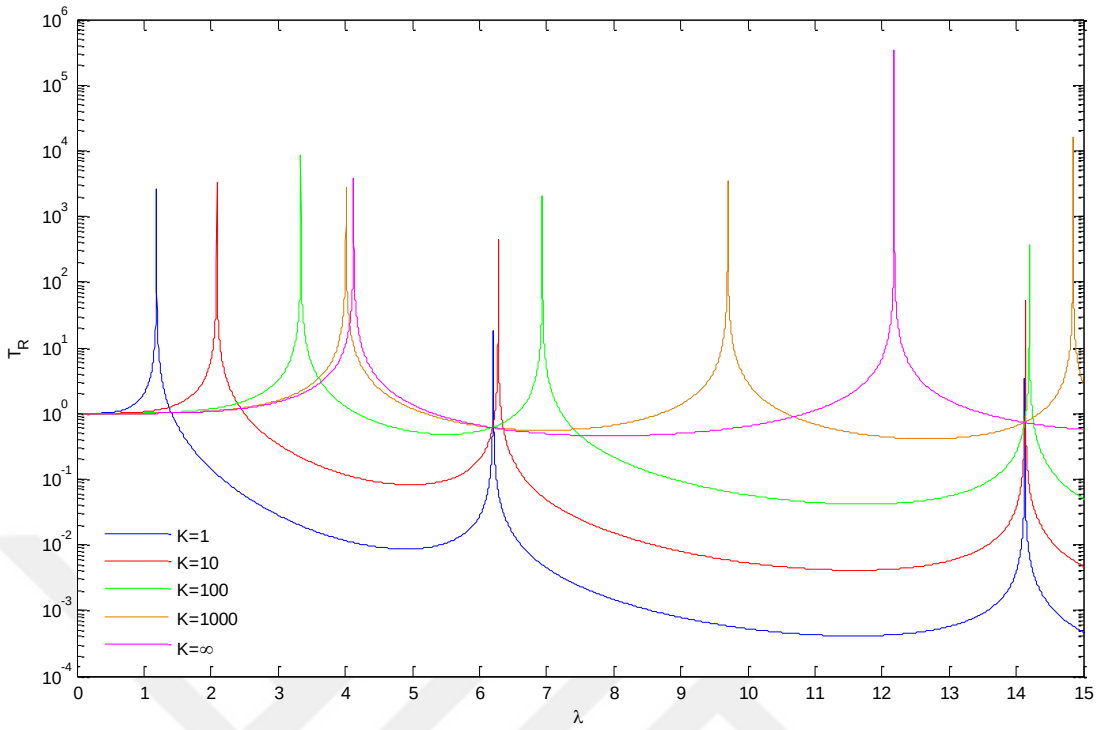


Şekil 3.105 T_{oran}=20, E_r=2, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

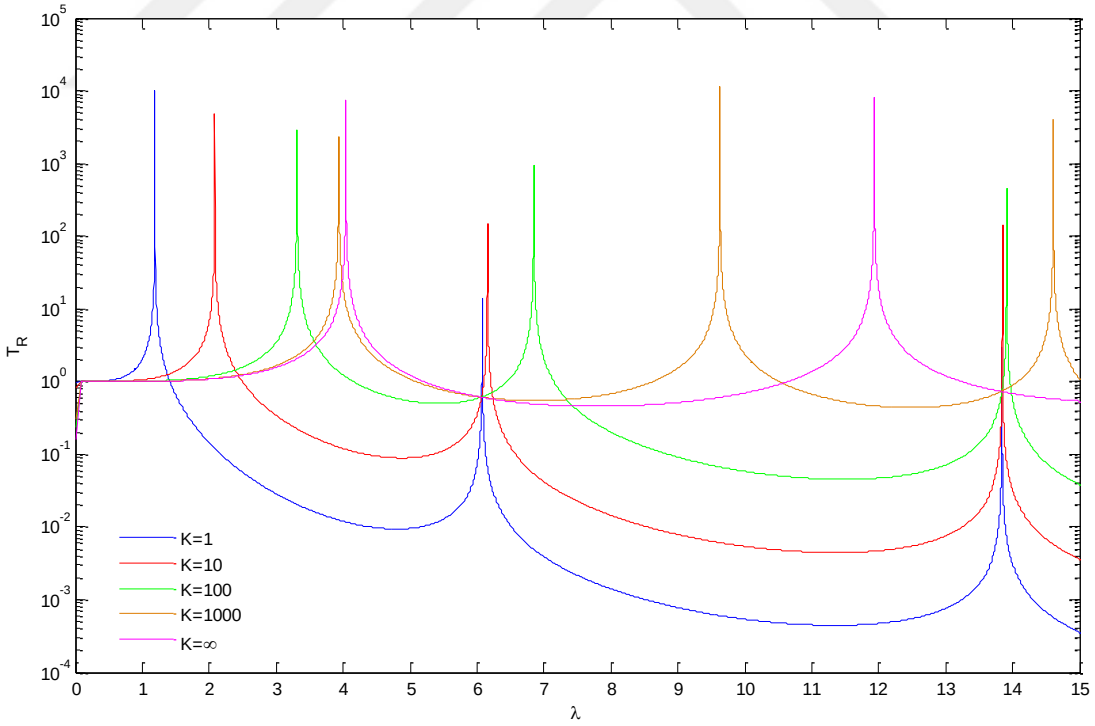


Şekil 3.106 T_{oran}=20, E_r=2, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

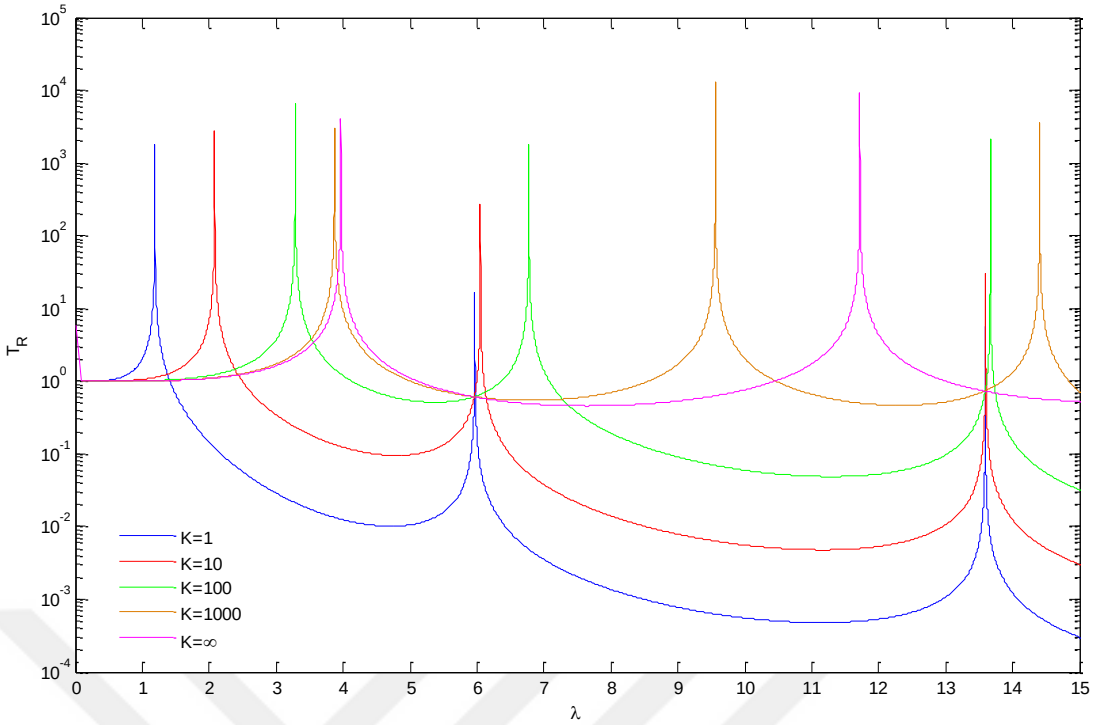
3.3.11 T_{oran}=20 ve E_r=3 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



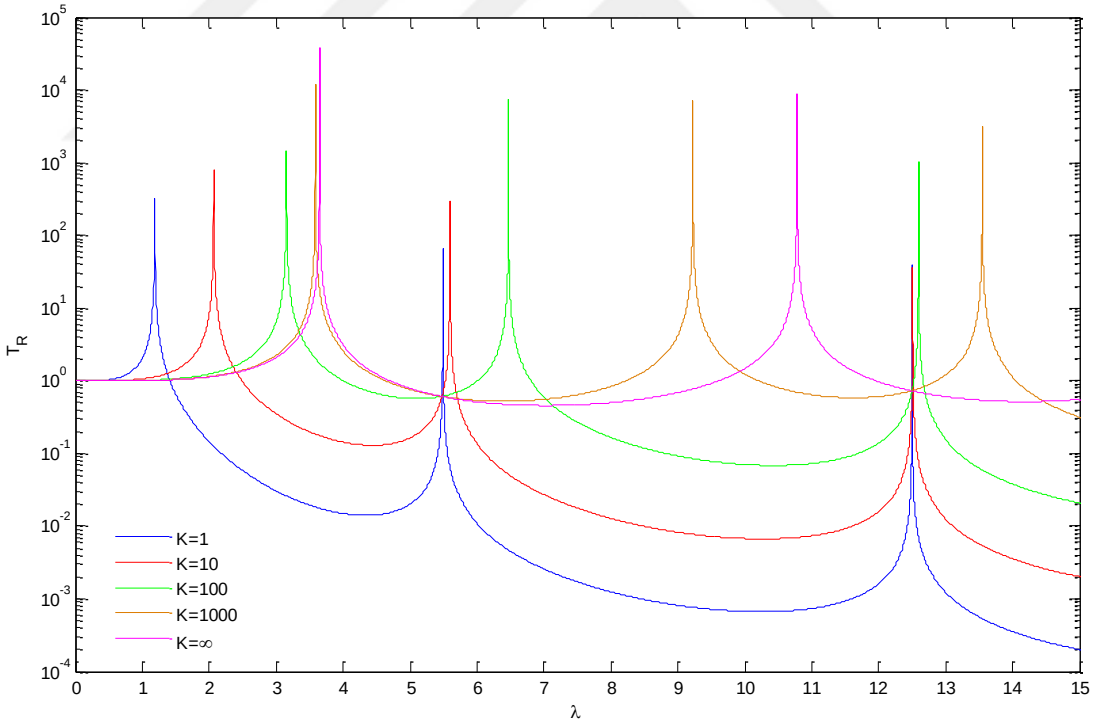
Şekil 3.107 T_{oran}=20, E_r=3, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



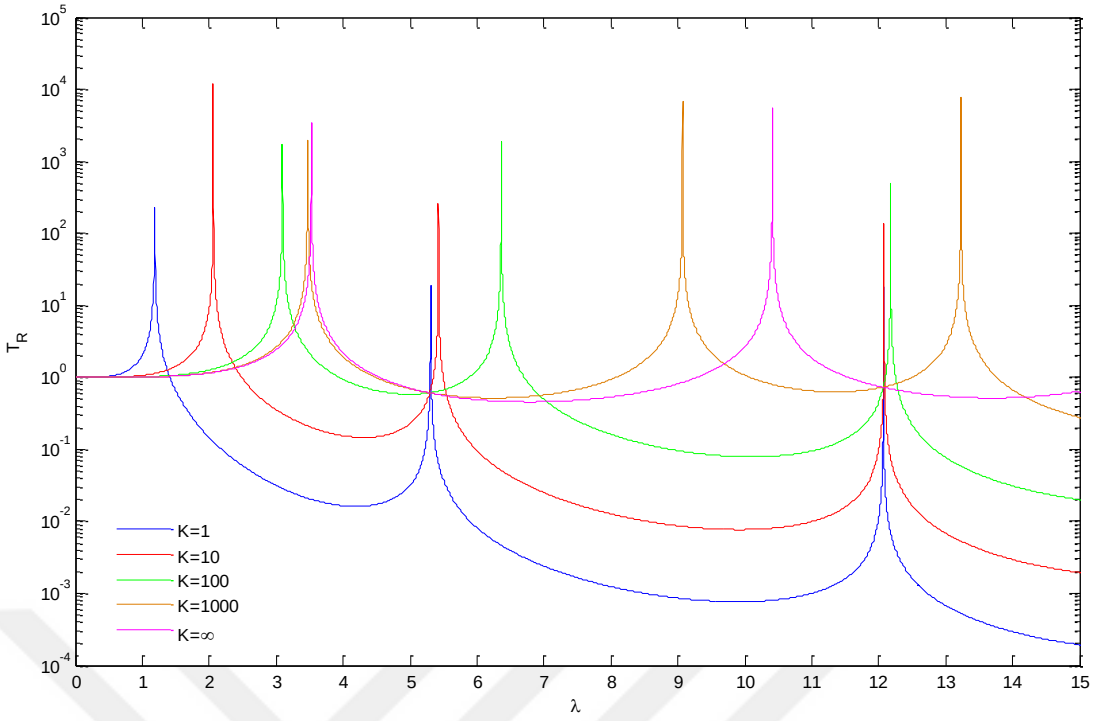
Şekil 3.108 T_{oran}=20, E_r=3, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



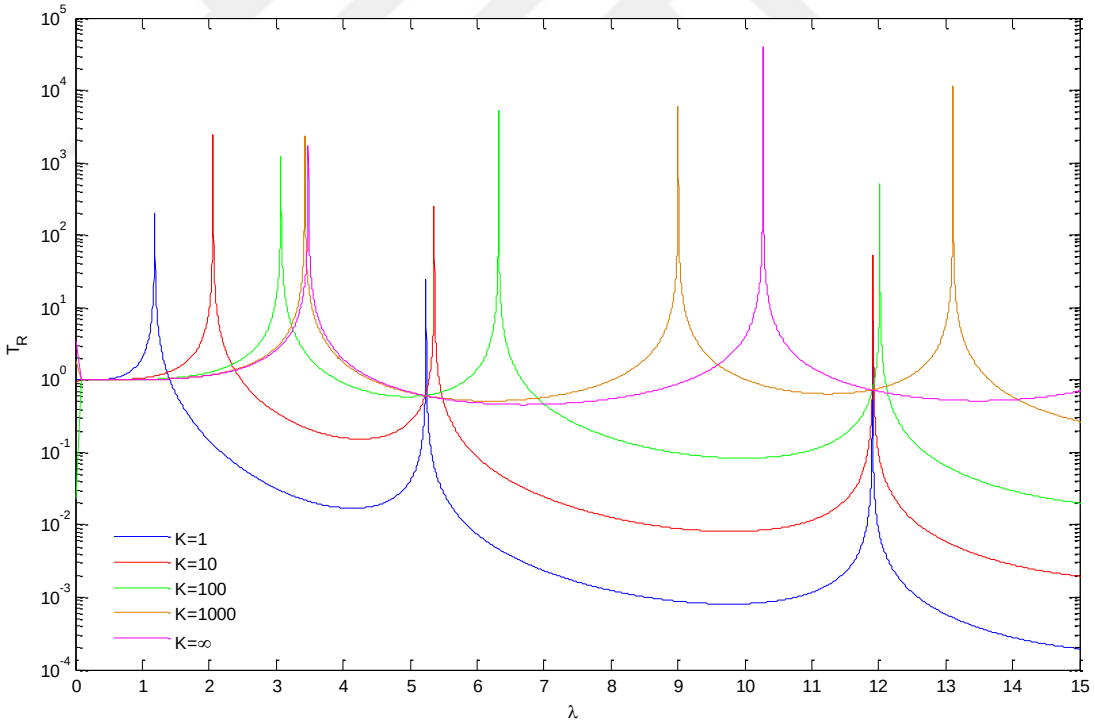
Şekil 3.109 T_{oran}=20, E_r=3, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



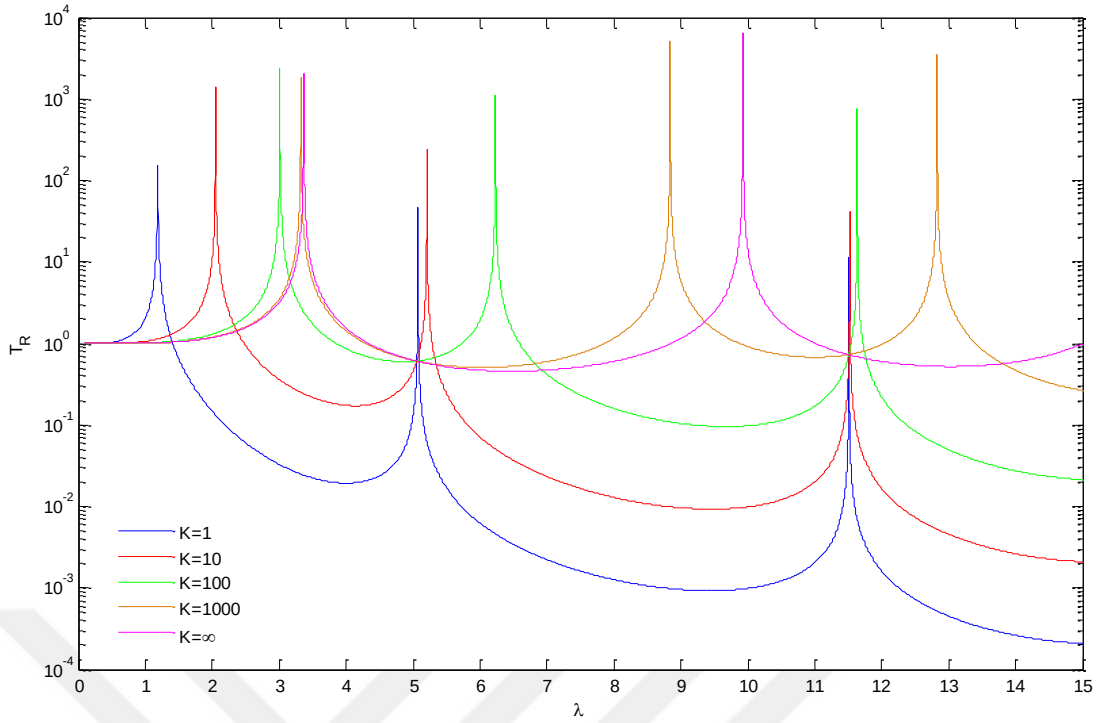
Şekil 3.110 T_{oran}=20, E_r=3, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.111 T_{oran}=20, E_r=3, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

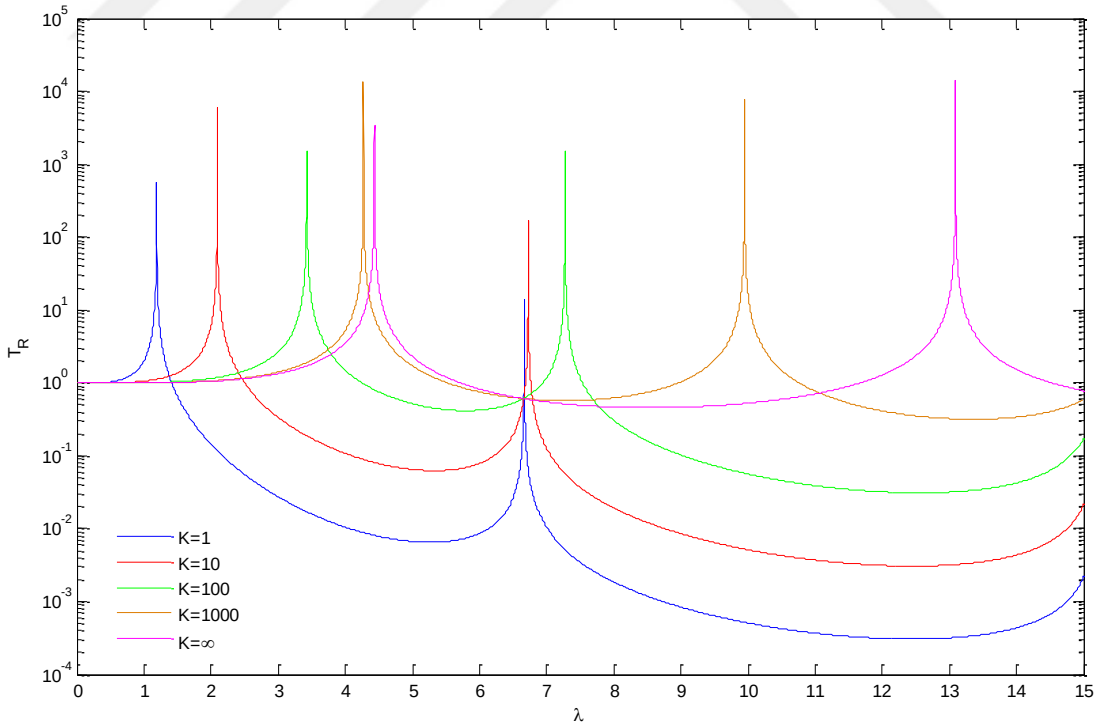


Şekil 3.112 T_{oran}=20, E_r=3, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

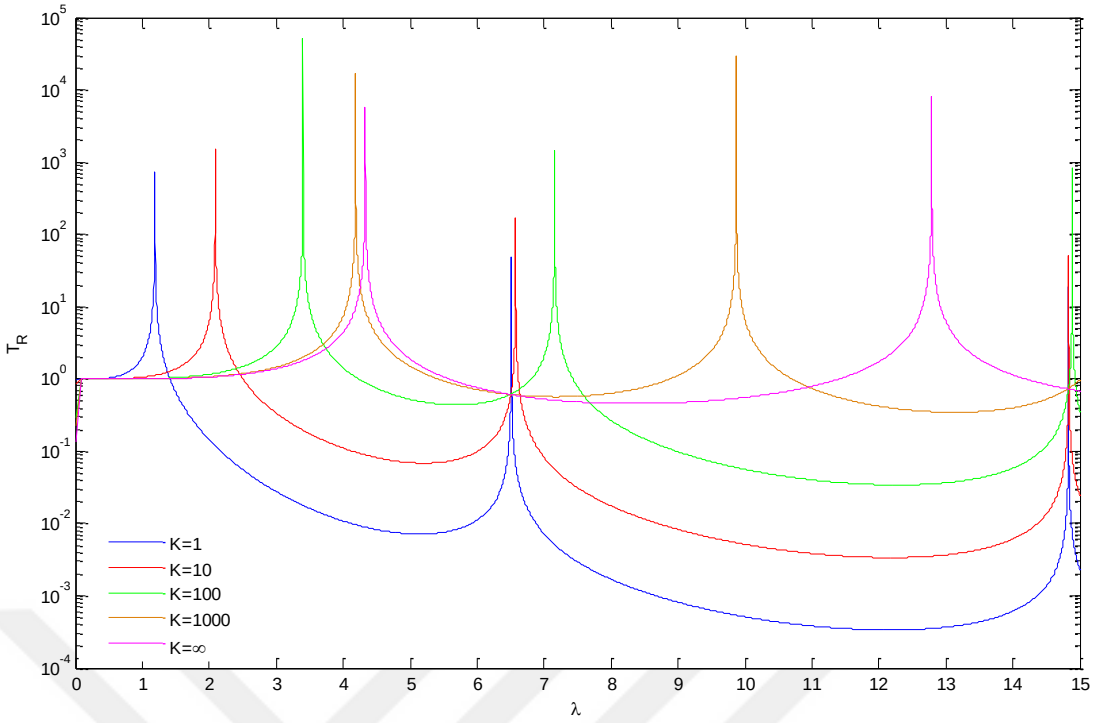


Şekil 3.113 T_{oran}=20, E_r=3, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

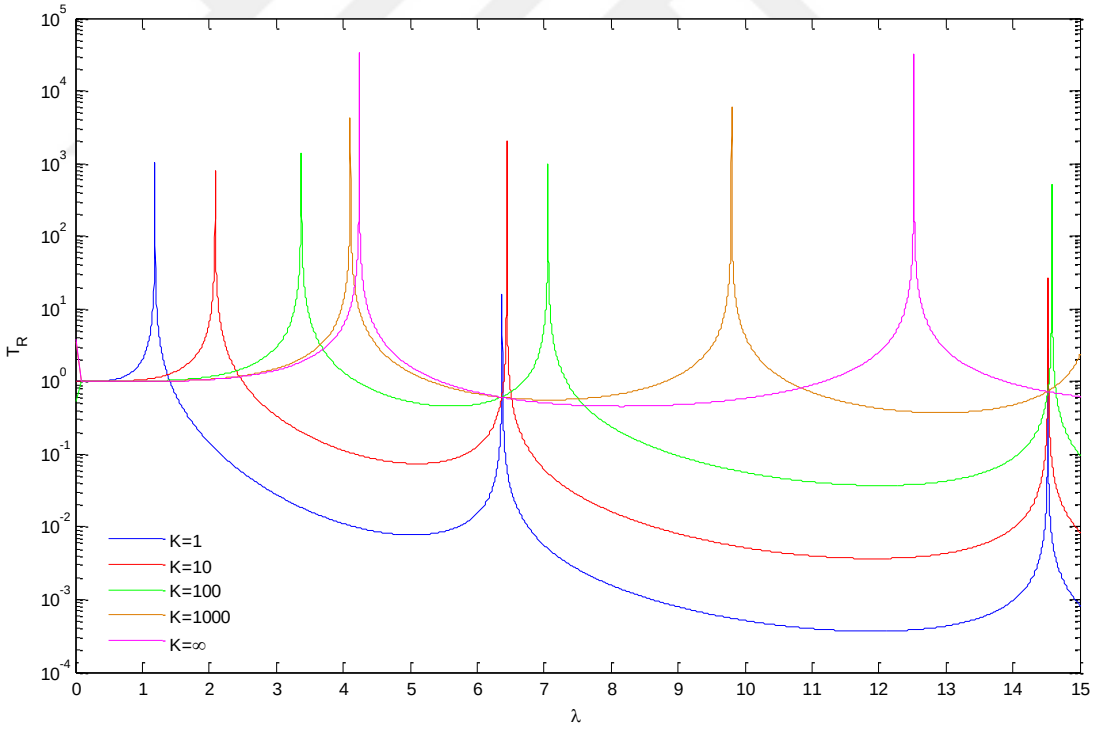
3.3.12 T_{oran}=20 ve E_r=4 İçin Harmonik Analiz Grafikleri



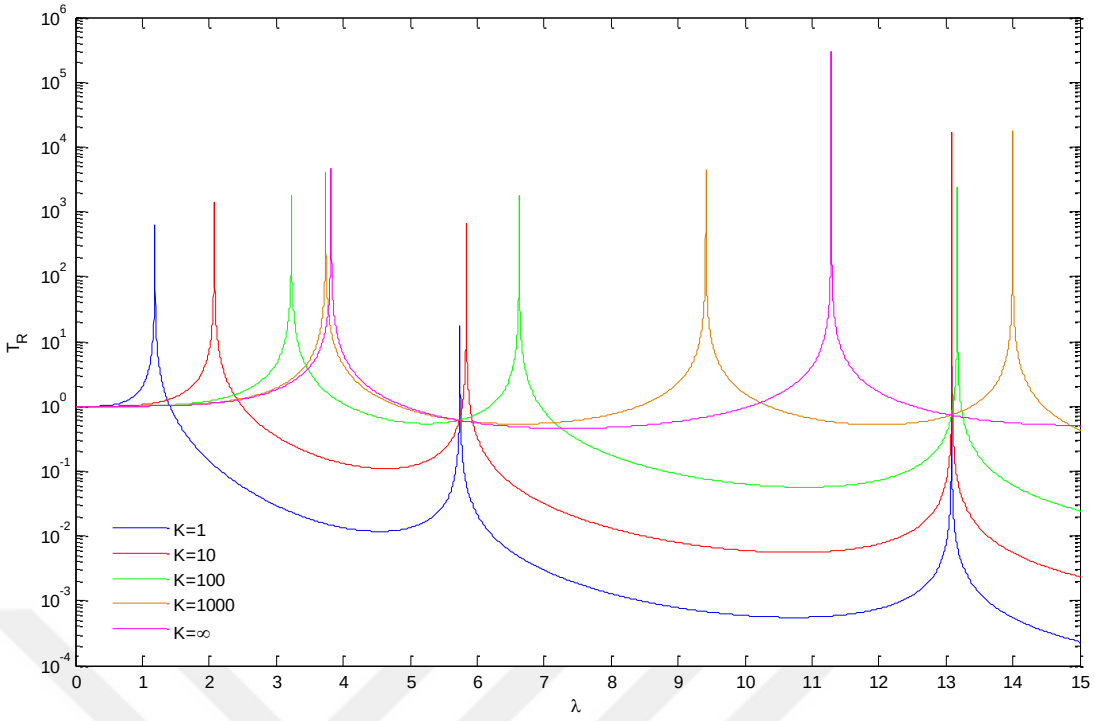
Şekil 3.114 T_{oran}=20, E_r=4, n=0 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



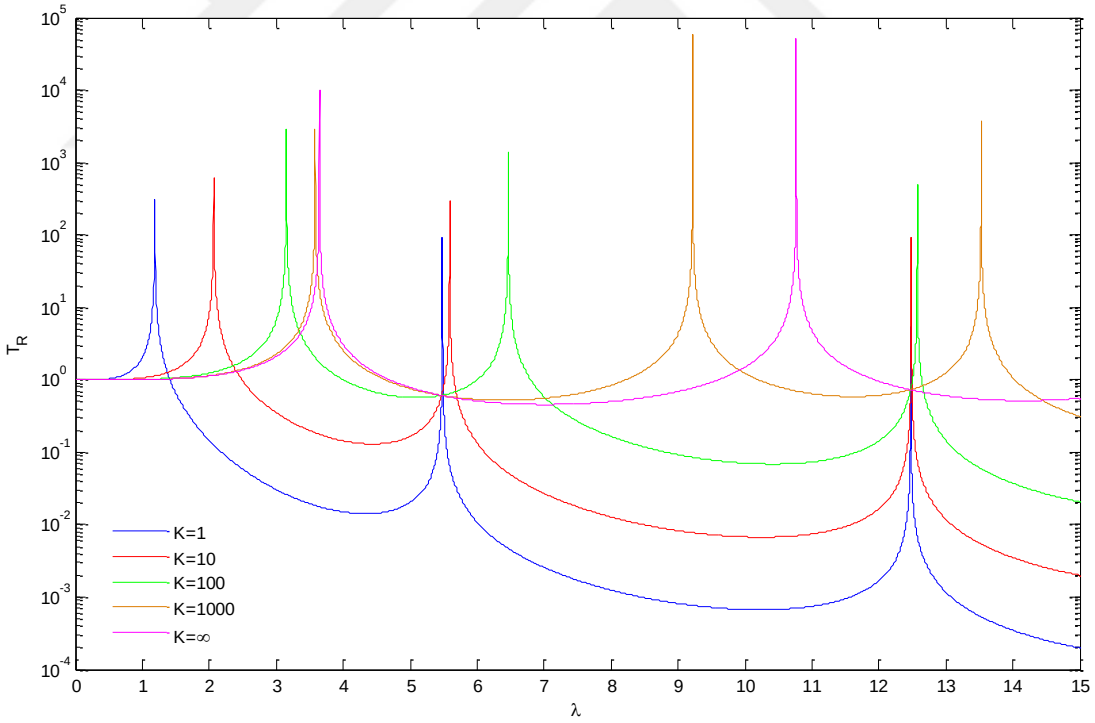
Şekil 3.115 T_{oran}=20, E_r=4, n=0,1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



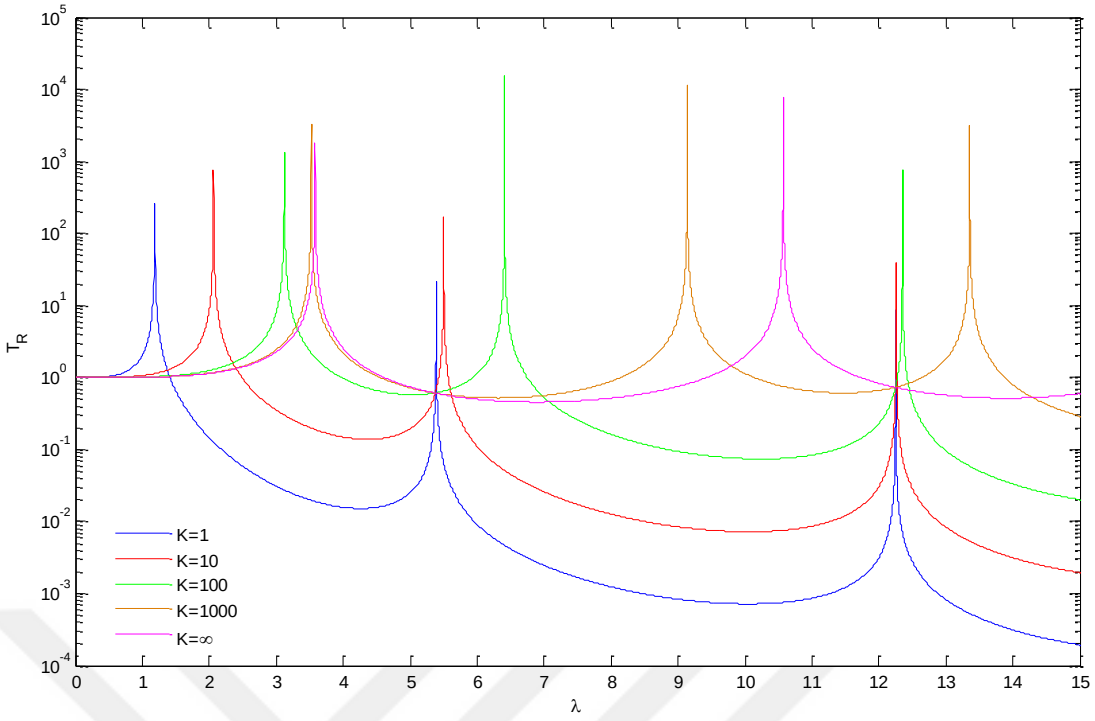
Şekil 3.116 T_{oran}=20, E_r=4, n=0,2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



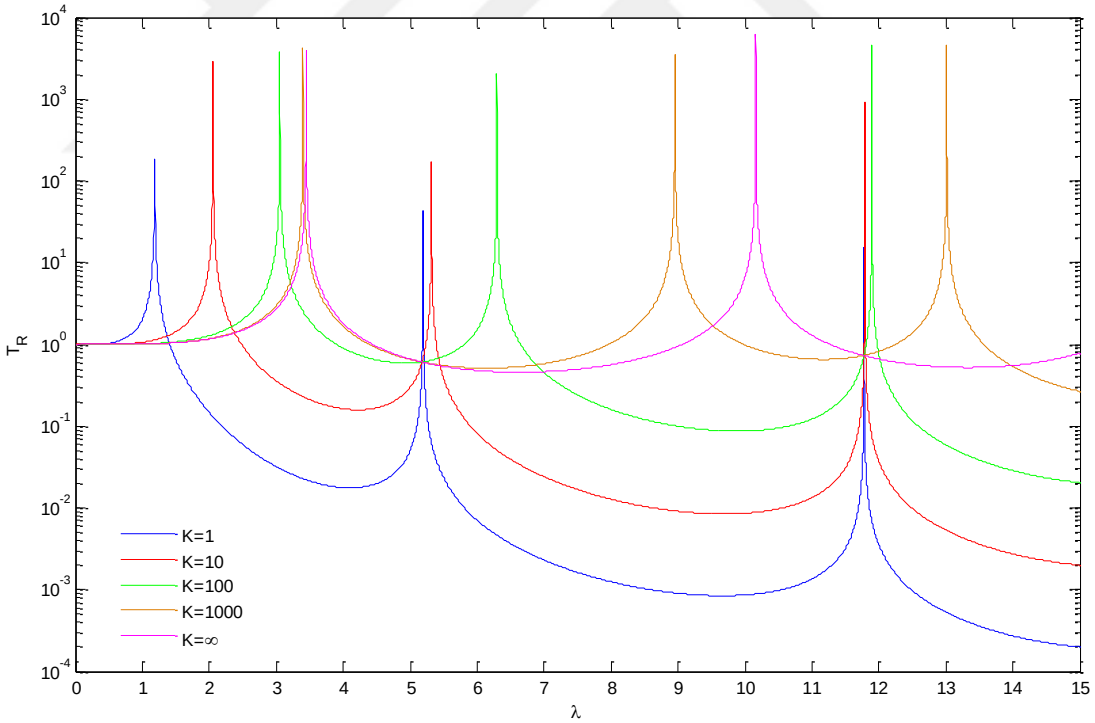
Şekil 3.117 T_{oran}=20, E_r=4, n=1 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.118 T_{oran}=20, E_r=4, n=2 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.119 T_{oran}=20, E_r=4, n=3 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği



Şekil 3.120 T_{oran}=20, E_r=4, n=10 Frekans parametresi-iletim katsayısı grafiği

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada uzunluğu *L*, kalınlığı *h*, genişliği *b* olan düşey yönde fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilip, çeşitli sınır şartlarında kirişin dinamik davranışları incelenmiştir.

İlk kısımda her iki köşesinden yay elemanlarıyla mesnetlenmiş kirişin serbest titreşim analizi yapılmıştır. Her iki ucundan yayla mesnetlenmiş kirişin; boy/kalınlık oranı (T_{Oran}), boyutsuzlaştırılmış yay katsayısı (κ), elastiklik modülü oranı (E_r), kuvvet kanunu üsteli (n) parametrelerinin değişimine bağlı olarak serbest titreşim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sayısal değerler neticesinde E_r<1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Tüm modlarda, E_r arttıkça frekans parametreleri artmaktadır. Rijit modların baskın olduğu κ=1 ve κ=10'un ilk iki modunda ise sistem büyük ölçüde mesnet noktalarındaki yaylar vasıtasıyla hareket ettiği için kirişin elastik özellikleri önemsizleşmektedir. Bu noktalarda frekans parametresi, E_r ve n değişiminden çok az etkilenmektedir. Tüm modlarda $\kappa \geq 1$'den itibaren yay katsayısı arttıkça frekans parametresinin arttığı gözlemlenmektedir. Yukarıda bahsedilen sonuçlar analizi yapılan T_{Oran}=5, T_{Oran}=20 kirişlerininin her ikisi için de geçerlidir. Ancak daha kalın olan T_{Oran}=5 kirişinde artan kütlenin etkisiyle daha düşük titreşimler oluşmaktadır.

İkinci kısımda her iki köşesinden hem yay hem de sönüm elemanlarıyla mesnetlenmiş kirişin serbest titreşim analizi yapılmıştır. Her iki ucundan yay ve sönüm elamanlarıyla mesnetlenmiş kirişin; kalınlık oranı (T_{Oran}), boyutsuz yay katsayısı (κ), boyutsuz

sönüm katsayısı *(C),* elastiklik modülü oranı (E_r), kuvvet kanunu üsteli (n) parametrelerinin değişimine bağlı olarak boyutsuz frekans değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sayısal sonuçlara göre: tüm modlarda; E_r<1 için n arttıkça frekans parametrelerinin arttığı gözlemlenmektedir. E_r=1 iken kiriş homojen kirişe dönüşmekte ve n'nin her değerinde aynı frekans parametresi elde edilmektedir. E_r>1'ken n arttıkça frekans parametresi değeri de azalmaktadır. Ayrıca n ve C sabitken E_r arttıkça frekans parametresi de artmaktadır. Yay katsayısının artışıyla frekans parametrelerinin doğru orantılı olarak arttığını söylemek mümkünken, sönüm katsayıları için böyle net bir eğilim oluşmamaktadır. Ancak yay katsayılarının κ=0, κ=1, κ=10 gibi düşük değerlerinin üçüncü modlarında ve κ=100, κ=1000 gibi yüksek yay katsayılarının tüm modlarında sönüm katsayısının artmasıyla frekansın artış gösterme veya sabit kalma eğilimi yükselmektedir. Bu sonuçlar T_{Oran}=5 ,T_{Oran}=20 kirişleri için de geçerli olup oluşan grafikler benzerlik göstermektedir. Yalnızca üçüncü modlarda T_{Oran}=5 eğrileri artan C ile sabit kalma eğilimine girerken, T_{Oran}=20 eğrileri ise dalgalanma göstermektedir. Ayrıca artan kalınlık ve kütleyle birlikte T_{Oran}=5 frekans parametreleri T_{Oran}=20'e göre daha düşük çıkmaktadır.

Üçüncü kısımda ise yay mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin orta noktasından uygulanan harmonik kuvvetin, kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Zemine iletilen kuvvetin harmonik kuvvetin maksimum değerine oranı T_r'nin değişimi, boyutsuz yay katsayısı κ, elastiklik modülü oranı E_r ve kuvvet kanunu üsteli değişimi n parametreleri için incelenmiştir. E_r<1 için n arttıkça frekans parametreleri artmakta, E_r=1 için kiriş homojen kirişe dönüştüğü için tüm n'ler için frekans parametreleri sabit kalmakta, E_r>1 içinse n arttıkça frekans parametreleri düşmektedir. Tüm modlarda, aynı n ve κ değerleri için E_r arttıkça frekans parametrelerinin artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Yine E_r arttıkça κ'nın değişiminin frekans parametreleri üzerinde daha fazla etki gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunu maksimum kuvvetlerin oluştuğu tepe noktalarının frekans parametreleri ekseninde birbirinden uzaklaşmasıyla anlamak mümkündür. Hesaplama yapılan T_{Oran}=10 ve T_{Oran}=20 değerleri için de yukarıda anlatılan sonuçlar geçerlidir. Ancak daha kalın kiriş olan T_{Oran}=10 kirişinde artan kütlenin etkisiyle birlikte daha düşük frekanslar ortaya çıkmaktadır.

Tez kapsamında incelenen konulara ek olarak, termal etkilerin ve noktasal kütlelerin etkilerinin incelendiği çalışmalar ileride yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Sankar, B.V., (2001). "An Elasticity Solution for Functionally Graded Beams", Composites Science and Technology, 61: 689-696.

[2] Chakraborty, A., Gopalakrishnan, S. ve Reddy, J.N., (2003). "A New Beam Finite Element for the Analysis Of Functionally Graded Materials", International Journal of Mechanical Sciences, 45: 519-539.

[3] Kocatürk, T., Şimşek M., (2005). "Free Vibration Analysis of Timoshenko Beams Under Various Boundary Conditions", Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 2005: 30-44.

[4] Aydoğdu, M. ve Taşkın V., (2007). "Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams with Simply Supported Edges", Materials and Design, 28: 1651-1656.

[5] Li, X.F., (2008). "A Unified Approach for Analyzing Static and Dynamic Behaviors of Functionally Graded Timoshenko and Euler-Bernoulli Beams", Journal of Sound and Vibration,318: 1210-1229.

[6] Xiang, H.J. ve Yang, J., (2008). "Free and Forced Vibration of A Laminated FGM Timoshenko Beam of Variable Thickness Under Heat Conduction", Composites: Part B, 39: 292-303.

[7] Sina, S.A., Navazi, H.M., Haddadpour, H., (2009). "An Analytical Method for Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams", Materials and Design, 30: 741-747.

[8] Şimşek, M., (2010). "Fundamental Frequency Analysis of Functionally Graded Beams by Using Different Higher-order Beam Theories.", Nuclear Engineering and Design, 240: 697-705.

[9] Şimşek, M., (2010). "Vibration Analysis of a Functionally Graded Beam Under a Moving Mass by Using Different Beam Theories", Composite Structures, 92: 904-917.

[10] Demir, C. ve Öz, F.E., (2014). "Free Vibration Analysis of a Functionally Graded Viscoelastic Supported Beam", Journal of Vibration and Control, 20(16): 2464-2486.

[11] Pradhan, K.K. ve Chakraverty,S., (2014). "Effects of Different Shear Deformation Theories on Free Vibration of Functionally Graded Beams" International Journal of Mechanical Sciences, 82: 149-160.

[12] Şimşek, M., (2015). "Bi-directional Functionally Graded Materials (BDFGMs) for Free and Forced Vibration of Timoshenko Beams with Various Boundary Conditions", Composite Structures, 133: 968-978.

[13] Singiresu, S.R., (2010). Mechanical Vibrations, Fifth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.

[14] Pradhan, K.K. ve Chakraverty,S., (2013). "Free Vibration of Euler and Timoshenko Functionally Graded Beams by Rayleigh–Ritz Method", Composites: Part B, 51:175-184.

[15] Thai, H.T. ve Vo, Thuc P., (2012). "Bending and Free Vibration of Functionally Graded Beams Using Various Higher-order Shear Deformation Beam Theories", International Journal of Mechanical Sciences, 62: 57-66.

[16] Koochaki, G.R.,(2011). "Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams", World Academy of Science, Engineering and Technology,50:361-364

[17] Petyt, M., (2010). Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Second Edition, Cambridge University Press, New York.

[18] Cook, R.D., (1994). Finite Element Modeling for Stress Analysis, First Editon, John Wiley & Sons, New York.

[19] Wang, C.M., Reddy, J.N. ve Lee, K.H., (2000). Shear Deformable Beams and Plates, First Edition, Elsevier, Oxford.

[20] Timoshenko, S. ve Goodier, J.N., (1951). Theory of Elasticity, Second Edition, Mcgraw-Hill Book Company, New York.

[21] Hutton, D.V., (2004). Fundamentals of Finite Element Analysis, First Edition, Mcgraw-Hill Book Company, New York.

EK-A

İKİ UCUNDAN YAYLA MESNETLENMİŞ KİRİŞİN DOĞAL FREKANS DEĞERLERİ

Bu kısımda iki ucundan yayla mesnetlenmiş kirişin grafiklerindeki boyutsuz doğal frekans parametreleri sayısal olarak çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge EK-A.1 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 1. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	3,146344	3,359383	3,479319	3,826504	3,977943	4,062099	4,270743
	0,5	3,741654	3,839153	3,904391	4,100138	4,177128	4,219916	4,336066
	1	4,4496	4,4496	4,4496	4,4496	4,4496	4,4496	4,4496
	2	5,291497	5,212399	5,145977	4,875912	4,7772	4,73677	4,626961
	3	5,856003	5,737237	5,634043	5,172565	4,988542	4,919203	4,759958
	4	6,292685	6,147824	6,019677	5,411495	5,149135	5,052177	4,863847
κ =1	**0,25**	1,167918	1,172784	1,174968	1,179494	1,180832	1,181474	1,182822
	0,5	1,178413	1,179461	1,180101	1,181732	1,182255	1,182526	1,18319
	1	1,183777	1,183777	1,183777	1,183777	1,183777	1,183777	1,183777
	2	1,186483	1,186316	1,186161	1,185453	1,185136	1,184994	1,184563
	3	1,187389	1,187235	1,187087	1,186258	1,185814	1,185621	1,185078
	4	1,187839	1,18771	1,187582	1,186759	1,186245	1,186013	1,185441
κ =10	**0,25**	1,819935	1,874254	1,900723	1,960509	1,979696	1,989067	2,009365
	0,5	1,94578	1,960241	1,969227	1,992874	2,00073	2,004786	2,014991
	1	2,024013	2,024013	2,024013	2,024013	2,024013	2,024013	2,024013
	2	2,067745	2,064948	2,062455	2,050746	2,045648	2,043347	2,036458
	3	2,083045	2,080424	2,077942	2,064006	2,056692	2,053487	2,04468
	4	2,090832	2,088557	2,086342	2,072336	2,063788	2,059982	2,050555
κ =100	**0,25**	2,109096	2,240067	2,313102	2,512562	2,591476	2,633643	2,734825
	0,5	2,458816	2,512634	2,54826	2,651797	2,690068	2,710723	2,765656
	1	2,818081	2,818081	2,818081	2,818081	2,818081	2,818081	2,818081
	2	3,145426	3,119547	3,097187	3,000075	2,961562	2,944893	2,897236
	3	3,30402	3,274511	3,247538	3,11047	3,047213	3,02122	2,954649
	4	3,398014	3,369474	3,342481	3,189063	3,107895	3,074474	2,998514
κ =1000	**0,25**	2,148823	2,294806	2,378142	2,615145	2,713898	2,768114	2,902945
	0,5	2,550012	2,615606	2,659753	2,791896	2,842454	2,870183	2,945536
	1	3,019812	3,019812	3,019812	3,019812	3,019812	3,019812	3,019812
	2	3,561579	3,511851	3,470109	3,300192	3,237266	3,210753	3,136974
	3	3,909613	3,837905	3,775456	3,494022	3,379798	3,335213	3,226327
	4	4,167741	4,083684	4,008881	3,647921	3,488384	3,427386	3,297459
κ =∞	**0,25**	2,153376	2,301141	2,385716	2,627364	2,728659	2,784446	2,923788
	0,5	2,560811	2,627884	2,673117	2,808975	2,861166	2,889849	2,967994
	1	3,045334	3,045334	3,045334	3,045334	3,045334	3,045334	3,045334
	2	3,621533	3,567542	3,52242	3,340454	3,273709	3,245691	3,168002
	3	4,007885	3,926894	3,856977	3,548111	3,425251	3,377649	3,262159
	4	4,306754	4,208016	4,121305	3,715653	3,541859	3,476164	3,33752

Çizelge EK-A.2 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 2. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	5,216097	5,539642	5,77096	6,552978	6,859901	7,00012	7,247061
	0,5	6,203021	6,339321	6,446438	6,863505	7,046761	7,133533	7,291192
	1	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676
	2	8,772395	8,670905	8,583427	8,162129	7,925241	7,798748	7,538623
	3	9,708252	9,557568	9,4261	8,767791	8,376296	8,159741	7,690584
	4	10,432195	10,249465	10,089032	9,267312	8,761507	8,475947	7,833941
κ =1	**0,25**	1,544895	1,546025	1,546553	1,54766	1,547975	1,548118	1,548399
	0,5	1,547354	1,54759	1,547733	1,548133	1,548261	1,548325	1,548468
	1	1,548586	1,548586	1,548586	1,548586	1,548586	1,548586	1,548586
	2	1,549202	1,549162	1,549133	1,548975	1,548896	1,548857	1,548749
	3	1,549404	1,549369	1,54934	1,549162	1,549054	1,549	1,548857
	4	1,549507	1,549477	1,549453	1,549276	1,549157	1,549098	1,548936
κ =10	**0,25**	2,668551	2,688506	2,697862	2,717597	2,723198	2,725733	2,730781
	0,5	2,712207	2,716363	2,718976	2,726027	2,728351	2,729483	2,732061
	1	2,734119	2,734119	2,734119	2,734119	2,734119	2,734119	2,734119
	2	2,745069	2,74443	2,743854	2,741028	2,739631	2,738933	2,737001
	3	2,748715	2,748132	2,747577	2,744374	2,742496	2,74155	2,738956
	4	2,750539	2,75004	2,749551	2,746426	2,744335	2,743259	2,740388
κ =100	**0,25**	3,760915	3,937695	4,033098	4,271403	4,350889	4,388854	4,467668
	0,5	4,204055	4,258772	4,294282	4,394859	4,429907	4,447407	4,488311
	1	4,521913	4,521913	4,521913	4,521913	4,521913	4,521913	4,521913
	2	4,706981	4,695758	4,685705	4,636747	4,613038	4,601432	4,56956
	3	4,771224	4,760843	4,75102	4,694385	4,661679	4,645569	4,602226
	4	4,803595	4,794684	4,786006	4,730277	4,693358	4,674725	4,626348
κ =1000	**0,25**	3,985738	4,245051	4,397621	4,843666	5,02673	5,123579	5,349652
	0,5	4,710214	4,823207	4,900726	5,143138	5,238417	5,288907	5,415766
	1	5,530304	5,530304	5,530304	5,530304	5,530304	5,530304	5,530304
	2	6,407842	6,334735	6,272234	6,002795	5,890931	5,840275	5,709744
	3	6,910334	6,816051	6,731572	6,318983	6,127885	6,044822	5,846442
	4	7,241652	7,142786	7,051338	6,559774	6,306664	6,197249	5,955765
κ =∞	**0,25**	4,010445	4,279226	4,438542	4,911172	5,109262	5,2153	5,466568
	0,5	4,76925	4,890194	4,973631	5,237369	5,342508	5,398661	5,541163
	1	5,671625	5,671625	5,671625	5,671625	5,671625	5,671625	5,671625
	2	6,744738	6,648152	6,566849	6,228317	6,093029	6,03277	5,879394
	3	7,46428	7,319528	7,19391	6,624861	6,381265	6,278851	6,040668
	4	8,020891	7,844506	7,688943	6,945447	6,606405	6,467006	6,171637

Çizelge EK-A.3 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=5, 3. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	7,361525	7,759683	8,02775	8,956452	9,374777	9,59369	10,071332
	0,5	8,754377	8,932549	9,061137	9,557791	9,791437	9,91477	10,194706
	1	10,410768	10,410768	10,410768	10,410768	10,410768	10,410768	10,410768
	2	12,380559	12,202733	12,047764	11,366193	11,055205	10,908009	10,619334
	3	13,701341	13,433803	13,195825	12,079247	11,542439	11,290063	10,787125
	4	14,723049	14,396715	14,103121	12,666335	11,945296	11,609347	10,93806
κ =1	**0,25**	3,199934	3,403304	3,51871	3,856074	4,004439	4,087082	4,292367
	0,5	3,773705	3,868806	3,932561	4,124433	4,200153	4,242283	4,356729
	1	4,468712	4,468712	4,468712	4,468712	4,468712	4,468712	4,468712
	2	5,302876	5,224305	5,158345	4,890386	4,792547	4,752507	4,643893
	3	5,864402	5,746168	5,643469	5,184627	5,0019	4,933111	4,775417
	4	6,299456	6,155084	6,027405	5,421986	5,161184	5,064892	4,878234
κ =10	**0,25**	3,612601	3,75544	3,840363	4,106551	4,231079	4,301714	4,479803
	0,5	4,042551	4,119513	4,171859	4,333394	4,398956	4,435754	4,536272
	1	4,635376	4,635376	4,635376	4,635376	4,635376	4,635376	4,635376
	2	5,403814	5,329814	5,267866	5,017996	4,927604	4,890854	4,792293
	3	5,939292	5,825742	5,727379	5,291522	5,119976	5,055903	4,911351
	4	6,359973	6,219938	6,096387	5,515244	5,267996	5,177437	5,005032
κ =100	**0,25**	4,94752	5,111668	5,197519	5,426571	5,517071	5,564334	5,672581
	0,5	5,375485	5,429238	5,464929	5,574588	5,619273	5,643407	5,704081
	1	5,759208	5,759208	5,759208	5,759208	5,759208	5,759208	5,759208
	2	6,232251	6,184788	6,145332	5,987346	5,929225	5,905402	5,846181
	3	6,599404	6,51887	6,450105	6,155612	6,042265	5,999844	5,911899
	4	6,912677	6,806362	6,714064	6,299557	6,131423	6,070256	5,963411
κ =1000	**0,25**	5,216097	5,536552	5,763672	6,533557	6,836841	6,977923	7,241706
	0,5	6,203021	6,338647	6,444518	6,855825	7,038584	7,126347	7,28925
	1	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676
	2	8,50978	8,434206	8,367403	8,048918	7,874721	7,76995	7,533009
	3	9,016704	8,927349	8,844866	8,404788	8,162312	8,031092	7,669612
	4	9,332792	9,240597	9,153937	8,656987	8,361923	8,209461	7,788845
κ =∞	**0,25**	5,216097	5,537246	5,765666	6,545183	6,854753	6,996454	7,246169
	0,5	6,203021	6,338911	6,445317	6,860336	7,044293	7,131732	7,290779
	1	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676	7,376676
	2	8,772395	8,67073	8,582863	8,158361	7,920298	7,794042	7,537008
	3	9,708252	9,557218	9,424957	8,759653	8,364096	8,146724	7,684744
	4	10,432195	10,248985	10,087456	9,256287	8,74396	8,455433	7,822259

Çizelge EK-A.4 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 1. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	3,329576	3,560529	3,690417	4,054753	4,207841	4,293393	4,512294
	0,5	3,959555	4,064842	4,135072	4,340725	4,418304	4,461613	4,583722
	1	4,70873	4,70873	4,70873	4,70873	4,70873	4,70873	4,70873
	2	5,599655	5,514578	5,443701	5,16202	5,063179	5,023157	4,906723
	3	6,197038	6,069358	5,959375	5,478898	5,294636	5,226633	5,057972
	4	6,659151	6,503458	6,366967	5,734286	5,471269	5,376552	5,178206
κ =1	**0,25**	1,169785	1,174266	1,176227	1,180257	1,181471	1,182061	1,183338
	0,5	1,179364	1,180334	1,180916	1,182364	1,182829	1,183074	1,183693
	1	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254
	2	1,186721	1,186566	1,186425	1,185769	1,185496	1,18538	1,185001
	3	1,18755	1,187402	1,187267	1,186496	1,186103	1,185943	1,185483
	4	1,187961	1,187839	1,187717	1,186946	1,186483	1,18629	1,185814
κ =10	**0,25**	1,841957	1,893551	1,91802	1,972165	1,989675	1,998378	2,017637
	0,5	1,959704	1,97329	1,981605	2,002898	2,009868	2,013535	2,0231
	1	2,031815	2,031815	2,031815	2,031815	2,031815	2,031815	2,031815
	2	2,071855	2,069241	2,066915	2,056137	2,051669	2,049745	2,043702
	3	2,085827	2,083377	2,08106	2,06812	2,061594	2,058901	2,051434
	4	2,092937	2,090809	2,088736	2,075662	2,067917	2,064672	2,056878
κ =100	**0,25**	2,164682	2,298719	2,371902	2,566913	2,64375	2,685321	2,787181
	0,5	2,517072	2,571676	2,607332	2,707944	2,744307	2,764225	2,818987
	1	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869
	2	3,189218	3,164023	3,142261	3,048668	3,013065	2,998212	2,95352
	3	3,339272	3,310919	3,28496	3,153424	3,094561	3,071559	3,011237
	4	3,427187	3,399978	3,37418	3,22741	3,151467	3,121721	3,054727
κ =1000	**0,25**	2,211378	2,363173	2,448352	2,685732	2,784538	2,839542	2,979741
	0,5	2,623421	2,691782	2,737293	2,869986	2,919715	2,947406	3,025322
	1	3,104828	3,104828	3,104828	3,104828	3,104828	3,104828	3,104828
	2	3,657521	3,605955	3,562793	3,389557	3,328153	3,303169	3,230034
	3	4,010445	3,936455	3,872092	3,584727	3,472122	3,430199	3,32506
	4	4,270729	4,184409	4,107608	3,7392	3,58079	3,523021	3,4002
κ =∞	**0,25**	2,216769	2,370706	2,457361	2,700119	2,801825	2,858641	3,004167
	0,5	2,636197	2,70634	2,753144	2,890151	2,941729	2,970507	3,051721
	1	3,134986	3,134986	3,134986	3,134986	3,134986	3,134986	3,134986
	2	3,728146	3,671495	3,624319	3,43699	3,371294	3,344659	3,266996
	3	4,125872	4,040858	3,967664	3,648257	3,525877	3,480658	3,367992
	4	4,433537	4,329876	4,239048	3,818545	3,643939	3,581012	3,448407

Çizelge EK-A.5 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 2. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	5,48295	5,862077	6,076123	6,679588	6,93334	7,074665	7,434015
	0,5	6,520362	6,693061	6,808542	7,148865	7,277946	7,349745	7,550416
	1	7,754062	7,754062	7,754062	7,754062	7,754062	7,754062	7,754062
	2	9,221185	9,081733	8,965445	8,501481	8,33684	8,269595	8,076541
	3	10,204919	9,99565	9,815252	9,024638	8,718581	8,604287	8,322978
	4	10,965899	10,710728	10,486878	9,446364	9,010386	8,851506	8,51905
κ =1	**0,25**	1,5603	1,561194	1,561585	1,562383	1,562623	1,562735	1,562984
	0,5	1,562203	1,562393	1,562505	1,562793	1,562881	1,56293	1,563047
	1	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155
	2	1,563633	1,563604	1,563574	1,563447	1,563399	1,563374	1,563301
	3	1,563789	1,563765	1,563735	1,563589	1,563516	1,563482	1,563394
	4	1,563872	1,563848	1,563823	1,563677	1,563589	1,56355	1,563457
κ =10	**0,25**	2,714171	2,729863	2,736743	2,750805	2,75502	2,757053	2,761411
	0,5	2,747649	2,750995	2,753007	2,758041	2,75965	2,760484	2,762614
	1	2,764511	2,764511	2,764511	2,764511	2,764511	2,764511	2,764511
	2	2,772962	2,772431	2,771955	2,769723	2,768775	2,768358	2,767058
	3	2,77578	2,775293	2,774832	2,772214	2,770861	2,770288	2,768694
	4	2,777191	2,776773	2,776364	2,773755	2,772172	2,771495	2,769833
κ =100	**0,25**	4,008789	4,173838	4,255421	4,442842	4,504845	4,535718	4,604021
	0,5	4,398433	4,445799	4,475071	4,551028	4,576109	4,589267	4,623348
	1	4,654228	4,654228	4,654228	4,654228	4,654228	4,654228	4,654228
	2	4,797091	4,787882	4,779674	4,741357	4,725258	4,718227	4,696407
	3	4,846317	4,837768	4,82967	4,784109	4,760782	4,751003	4,723896
	4	4,871141	4,863776	4,856572	4,810856	4,783378	4,771664	4,743263
κ =1000	**0,25**	4,364448	4,653004	4,81395	5,256931	5,437385	5,536358	5,783108
	0,5	5,140568	5,265647	5,348489	5,588223	5,67712	5,726095	5,861448
	1	5,996322	5,996322	5,996322	5,996322	5,996322	5,996322	5,996322
	2	6,865696	6,791575	6,728333	6,463543	6,365015	6,32405	6,203859
	3	7,331555	7,240877	7,159091	6,761657	6,591401	6,525492	6,357131
	4	7,623161	7,531888	7,446518	6,982539	6,755458	6,667999	6,47559
κ =∞	**0,25**	4,406245	4,711416	4,883838	5,369031	5,572323	5,685525	5,973866
	0,5	5,239939	5,378873	5,471799	5,745394	5,848865	5,906397	6,067487
	1	6,231373	6,231373	6,231373	6,231373	6,231373	6,231373	6,231373
	2	7,410393	7,298264	7,204812	6,832463	6,700543	6,64662	6,491215
	3	8,200948	8,032693	7,887747	7,253505	7,008435	6,916868	6,690143
	4	8,812491	8,607338	8,427495	7,592957	7,243986	7,116811	6,848703

Çizelge EK-A.6 Yay mesnetli kiriş, T_{oran}=20, 3. mod frekans parametreleri

κ	E_r	n=0	n=0,1	n=0,2	n=1	n=2	n=3	n=10
κ =0	**0,25**	7,589612	8,111595	8,407594	9,248956	9,604034	9,800944	10,2969
	0,5	9,025621	9,26325	9,422628	9,896554	10,077982	10,178456	10,455716
	1	10,733333	10,733333	10,733333	10,733333	10,733333	10,733333	10,733333
	2	12,764156	12,572365	12,412167	11,769053	11,53726	11,441618	11,172409
	3	14,125861	13,838067	13,5896	12,494816	12,065237	11,902469	11,507603
	4	15,179225	14,828314	14,520031	13,079999	12,4695	12,243609	11,774178
κ =1	**0,25**	3,382433	3,603855	3,729365	4,084186	4,234209	4,31823	4,53371
	0,5	3,991168	4,094074	4,162847	4,364756	4,441101	4,483759	4,604156
	1	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758
	2	5,61088	5,526329	5,455916	5,176338	5,078345	5,038685	4,923382
	3	6,205322	6,078175	5,96869	5,490873	5,307896	5,240413	5,073176
	4	6,665828	6,510627	6,374607	5,744733	5,483282	5,389205	5,192372
κ =10	**0,25**	3,795042	3,954476	4,049503	4,333784	4,459833	4,531674	4,719432
	0,5	4,257412	4,342087	4,399526	4,571728	4,638105	4,675458	4,781791
	1	4,892097	4,892097	4,892097	4,892097	4,892097	4,892097	4,892097
	2	5,710438	5,630461	5,564065	5,302566	5,211818	5,175244	5,069511
	3	6,279182	6,156725	6,051594	5,596952	5,42506	5,362044	5,206978
	4	6,725514	6,574654	6,442788	5,837523	5,589693	5,501152	5,317301
κ =100	**0,25**	5,361745	5,497586	5,566548	5,744009	5,815305	5,854966	5,957193
	0,5	5,698724	5,747781	5,780309	5,875964	5,912521	5,933006	5,991071
	1	6,051528	6,051528	6,051528	6,051528	6,051528	6,051528	6,051528
	2	6,543153	6,491334	6,44897	6,287709	6,233598	6,212012	6,150846
	3	6,936951	6,848635	6,774324	6,469698	6,361581	6,322823	6,230048
	4	7,274054	7,157652	7,057936	6,627192	6,464496	6,40826	6,295233
κ =1000	**0,25**	6,407355	6,80326	7,021037	7,603399	7,829714	7,950127	8,237623
	0,5	7,451121	7,609639	7,713337	8,007619	8,113948	8,171342	8,324841
	1	8,471283	8,471283	8,471283	8,471283	8,471283	8,471283	8,471283
	2	9,312702	9,248553	9,192904	8,948727	8,851803	8,810183	8,68733
	3	9,701951	9,627617	9,560494	9,223308	9,068046	9,004979	8,83972
	4	9,948674	9,869793	9,797935	9,41411	9,216873	9,136814	8,953465
κ =∞	**0,25**	6,544575	6,996	7,252524	7,979299	8,283845	8,452594	8,878737
	0,5	7,782856	7,988103	8,125884	8,535158	8,691026	8,777235	9,015712
	1	9,255427	9,255427	9,255427	9,255427	9,255427	9,255427	9,255427
	2	11,00662	10,841163	10,7031	10,150071	9,95107	9,868732	9,635548
	3	12,180827	11,932586	11,718537	10,778007	10,409854	10,269999	9,926882
	4	13,089151	12,786489	12,520962	11,284432	10,76176	10,568081	10,159513

EK-B

İKİ UCUNDAN VİSKOELASTİK MESNETLENMİŞ KİRİŞİN DOĞAL FREKANS DEĞERLERİ

Bu bölümde iki ucundan viskoleastik mesnetlenmiş kirişin grafiklerindeki boyutsuz doğal frekans parametreleri sayısal olarak paylaşılmıştır.

Çizelge EK-B.1 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,146388	3,359437	3,47938	3,826575	3,97801	4,062163	4,270802
	0,5	3,741707	3,839209	3,90445	4,100202	4,177189	4,219977	4,336125
	1	4,449664	4,449664	4,449664	4,449664	4,449664	4,449664	4,449664
	2	5,291573	5,212472	5,14605	4,87599	4,777279	4,736849	4,627034
	3	5,856087	5,737318	5,634123	5,172655	4,988637	4,919297	4,760043
	4	6,292775	6,147911	6,019764	5,411594	5,149243	5,052288	4,863942
C=1	**0,25**	2,8823	3,147876	3,291563	3,68825	3,855054	3,946827	4,172435
	0,5	3,592335	3,702131	3,774795	3,989153	4,072129	4,118087	4,242625
	1	4,363938	4,363938	4,363938	4,363938	4,363938	4,363938	4,363938
	2	5,24158	5,160036	5,091457	4,811627	4,709032	4,666972	4,551934
	3	5,819448	5,698241	5,592771	5,119061	4,929188	4,85754	4,69188
	4	6,263346	6,116256	5,985969	5,364959	5,095468	4,99567	4,800676
C=3	**0,25**	2,079294	2,189123	2,242785	2,320337	2,294038	2,392043	2,812227
	0,5	2,317531	2,324224	2,316191	2,438566	2,542205	2,60315	2,85496
	1	3,004629	3,004629	3,004629	3,004629	3,004629	3,004629	3,004629
	2	4,788595	4,684582	4,596592	4,234859	4,102125	4,04736	3,448324
	3	5,49503	5,350527	5,223374	4,636307	4,395126	4,303003	4,082256
	4	6,007899	5,839915	5,68947	4,947897	4,613403	4,487509	4,229534
C=4	**0,25**	2,115953	2,247002	2,318956	2,505821	2,572077	2,604205	2,665278
	0,5	2,458312	2,507345	2,538451	2,618868	2,642937	2,654246	2,676783
	1	2,682384	2,682384	2,682384	2,682384	2,682384	2,682384	2,682384
	2	3,829256	3,633832	3,486563	3,210661	2,875415	2,820779	2,678416
	3	5,193145	5,032405	4,89212	3,565057	3,29477	3,246304	2,853925
	4	5,764603	5,577882	5,410394	4,598495	3,544638	3,352137	3,202955
C=5	**0,25**	2,130484	2,268558	2,346003	2,558366	2,642227	2,686789	2,791956
	0,5	2,501692	2,559418	2,59752	2,706869	2,746451	2,767623	2,823161
	1	2,874319	2,874319	2,874319	2,874319	2,874319	2,874319	2,874319
	2	3,138602	3,038775	2,960168	2,996749	2,983778	2,975531	2,943767
	3	4,129413	3,864187	3,710106	3,005756	2,99407	3,000604	2,983221
	4	5,4611	5,262449	5,087657	3,328869	2,996976	2,97681	3,001888
C=10	**0,25**	2,147974	2,293596	2,376636	2,612319	2,710292	2,76402	2,897494
	0,5	2,547712	2,612941	2,6568	2,787778	2,83776	2,86516	2,939612
	1	3,012961	3,012961	3,012961	3,012961	3,012961	3,012961	3,012961
	2	3,537927	3,490672	3,450803	3,287054	3,226041	3,200314	3,1283
	3	3,855761	3,792378	3,736047	3,473288	3,364049	3,321237	3,215865
	4	4,064902	4,000384	3,93949	3,618074	3,467915	3,409918	3,285241
C=200	**0,25**	2,15337	2,301134	2,385707	2,627346	2,728631	2,78441	2,923737
	0,5	2,560789	2,627857	2,673087	2,808937	2,861123	2,889803	2,967939
	1	3,045268	3,045268	3,045268	3,045268	3,045268	3,045268	3,045268
	2	3,621367	3,567389	3,522278	3,34035	3,273618	3,245604	3,167924
	3	4,007602	3,926639	3,856744	3,547971	3,425141	3,377548	3,262071
	4	4,306342	4,207651	4,120978	3,715475	3,541734	3,476052	3,337425
C=∞	**0,25**	2,153384	2,301151	2,385729	2,627384	2,728676	2,784459	2,923797
	0,5	2,560819	2,627892	2,673127	2,808989	2,861179	2,889861	2,968006
	1	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343
	2	3,621546	3,567554	3,522434	3,340468	3,273725	3,245707	3,168013
	3	4,007899	3,926907	3,856991	3,548132	3,425275	3,377674	3,262176
	4	4,306767	4,208029	4,121321	3,715681	3,541893	3,476197	3,337541

Çizelge EK-B.2 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	4,810624	5,129804	5,315988	5,872682	6,114021	6,244672	6,553809
	0,5	5,720828	5,865555	5,964593	6,276414	6,402797	6,471094	6,644944
	1	6,803249	6,803249	6,803249	6,803249	6,803249	6,803249	6,803249
	2	8,090472	7,974025	7,875628	7,463956	7,301066	7,230138	7,051622
	3	8,95358	8,778898	8,626468	7,9296	7,632844	7,511701	7,240326
	4	9,621248	9,40829	9,219268	8,305227	7,888739	7,722281	7,390343
C=1	**0,25**	4,724764	5,06054	5,254541	5,826987	6,072877	6,20578	6,520082
	0,5	5,670467	5,819137	5,920635	6,238711	6,366999	6,436277	6,612752
	1	6,77356	6,77356	6,77356	6,77356	6,77356	6,77356	6,77356
	2	8,072901	7,955626	7,85651	7,441672	7,277521	7,206023	7,025548
	3	8,940637	8,765124	8,611933	7,911147	7,612585	7,490704	7,216834
	4	9,610825	9,397104	9,207366	8,289234	7,87059	7,703287	7,368825
C=3	**0,25**	4,1215	4,451901	4,659308	5,474722	5,747878	5,895002	6,244184
	0,5	5,256933	5,455177	5,571315	5,932646	6,075355	6,151975	6,347742
	1	6,527132	6,527132	6,527132	6,527132	6,527132	6,527132	6,527132
	2	7,927599	7,803406	7,698281	7,256849	7,081624	7,004874	6,809044
	3	8,834468	8,65202	8,492488	7,759002	7,444875	7,316115	7,019563
	4	9,525775	9,305734	9,110055	8,158022	7,72117	7,546136	7,187756
C=4	**0,25**	4,054513	4,348546	4,530196	5,09206	5,346981	5,490674	5,936643
	0,5	4,9276	5,077453	5,182822	5,531324	5,708278	5,807973	6,148214
	1	6,33302	6,33302	6,33302	6,33302	6,33302	6,33302	6,33302
	2	7,800068	7,668632	7,558794	7,09783	6,914784	6,834234	6,625896
	3	8,739174	8,550644	8,38562	7,625196	7,298807	7,164344	6,850263
	4	9,449528	9,22383	9,022872	8,041811	7,590069	7,408376	7,029358
C=5	**0,25**	4,032914	4,315107	4,483669	5,000548	5,230527	5,357298	5,669317
	0,5	4,844705	4,983363	5,079924	5,389977	5,516803	5,58601	5,764726
	1	5,9405	5,9405	5,9405	5,9405	5,9405	5,9405	5,9405
	2	7,640607	7,506214	7,392766	6,920511	6,599701	6,493913	6,229754
	3	8,616889	8,421454	8,250441	7,465114	7,130113	6,991813	6,512278
	4	9,350475	9,117802	8,910483	7,898165	7,433506	7,246331	6,818117
C=10	**0,25**	3,991719	4,283389	4,44339	4,918847	5,120697	5,229646	5,48943
	0,5	4,776565	4,898507	4,982797	5,253042	5,361243	5,419223	5,567091
	1	5,703402	5,703402	5,703402	5,703402	5,703402	5,703402	5,703402
	2	6,851449	6,742218	6,653471	6,288798	6,145559	6,082334	5,92164
	3	7,697198	7,520352	7,369333	6,712845	6,450345	6,341816	6,091783
	4	8,401134	8,165969	7,969427	7,071842	6,689959	6,540736	6,2302
C=200	**0,25**	4,01061	4,279423	4,438764	4,911441	5,10952	5,215548	5,466807
	0,5	4,769455	4,890411	4,973858	5,237621	5,342758	5,398906	5,541408
	1	5,671888	5,671888	5,671888	5,671888	5,671888	5,671888	5,671888
	2	6,745098	6,648499	6,567189	6,228646	6,093358	6,033097	5,879696
	3	7,464731	7,319957	7,194324	6,625256	6,381664	6,279245	6,041012
	4	8,021432	7,845013	7,689428	6,9459	6,606863	6,467458	6,17202
C=∞	**0,25**	4,010603	4,279415	4,438753	4,911425	5,109499	5,215525	5,466776
	0,5	4,769437	4,890391	4,973837	5,237595	5,342729	5,398876	5,541373
	1	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849
	2	6,745003	6,648411	6,567106	6,228585	6,093303	6,033044	5,879648
	3	7,464573	7,319814	7,194194	6,625177	6,381599	6,279185	6,040959
	4	8,021205	7,844812	7,689248	6,945802	6,606792	6,467395	6,171964

Çizelge EK-B.3 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=0, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	5,216294	5,539847	5,771172	6,553217	6,860153	7,000377	7,247332
	0,5	6,203254	6,33956	6,446679	6,863759	7,047022	7,133798	7,291467
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671231	8,583749	8,162431	7,925535	7,799036	7,538905
	3	9,708617	9,557927	9,426453	8,768111	8,3766	8,160039	7,690869
	4	10,432587	10,249851	10,089409	9,267649	8,761828	8,476256	7,834228
C=1	**0,25**	5,216294	5,539805	5,771098	6,553183	6,860137	7,000366	7,247329
	0,5	6,203254	6,339556	6,446667	6,863739	7,04701	7,13379	7,291464
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671231	8,583747	8,162419	7,925514	7,799014	7,540024
	3	9,708617	9,557926	9,426451	8,768096	8,376569	8,159992	7,690833
	4	10,432588	10,24985	10,089407	9,267637	8,761799	8,476206	7,834158
C=3	**0,25**	5,216294	5,539507	5,770568	6,552914	6,860012	7,000282	7,247302
	0,5	6,203254	6,339524	6,446587	6,863592	7,046919	7,133729	7,29145
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,772726	8,671226	8,583736	8,162329	7,925362	7,798842	7,538819
	3	9,708617	9,557921	9,426436	8,76798	8,376321	8,159637	7,690555
	4	10,432588	10,249845	10,089391	9,267539	8,761575	8,47581	7,833628
C=4	**0,25**	5,216295	5,539301	5,770184	6,552692	6,859909	7,000212	7,24728
	0,5	6,203253	6,339501	6,446525	6,863473	7,046844	7,133679	7,291439
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772725	8,671224	8,583726	8,162252	7,925236	7,798702	7,538758
	3	9,708617	9,557918	9,426421	8,767882	8,376113	8,159341	7,690334
	4	10,432588	10,24984	10,089377	9,267454	8,761384	8,475474	7,833202
C=5	**0,25**	5,216294	5,539091	5,769773	6,552426	6,859782	7,000126	7,247253
	0,5	6,203254	6,339473	6,446456	6,863332	7,046755	7,133619	7,291424
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,67122	8,583713	8,162159	7,925082	7,798533	7,538687
	3	9,708617	9,557912	9,426405	8,767758	8,375854	8,158979	7,690073
	4	10,432588	10,249835	10,08936	9,267348	8,761143	8,475058	7,832699
C=10	**0,25**	5,216294	5,53829	5,768038	6,550771	6,858926	6,999539	7,247083
	0,5	6,203254	6,339348	6,44612	6,862541	7,046213	7,133242	7,291337
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,772726	8,671193	8,583629	8,161536	7,924111	7,79751	7,538282
	3	9,708617	9,557873	9,42628	8,766856	8,374063	8,156613	7,688602
	4	10,432588	10,249793	10,089227	9,26653	8,759358	8,472143	7,829815
C=200	**0,25**	5,216294	5,537453	5,765881	6,545445	6,85503	6,996733	7,246445
	0,5	6,203254	6,339149	6,44556	6,8606	7,044565	7,132006	7,291055
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772725	8,671058	8,58319	8,158688	7,920615	7,794349	7,537294
	3	9,708617	9,557581	9,425324	8,760067	8,364493	8,147091	7,685045
	4	10,432587	10,249378	10,087861	9,256828	8,74449	8,455897	7,822582
C=∞	**0,25**	5,216294	5,53745	5,765871	6,545404	6,85499	6,996702	7,246439
	0,5	6,203254	6,339148	6,445557	6,860586	7,044552	7,131995	7,291052
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671056	8,583185	8,158658	7,920584	7,794325	7,537288
	3	9,708617	9,557577	9,425308	8,75996	8,364381	8,147003	7,685023
	4	10,432588	10,24937	10,087831	9,256599	8,744241	8,455706	7,822535

Çizelge EK-B.4 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	1,16792	1,172783	1,174967	1,17949	1,180835	1,181474	1,182823
	0,5	1,178416	1,179464	1,180098	1,181726	1,182255	1,182526	1,183191
	1	1,183771	1,183771	1,183771	1,183771	1,183771	1,183771	1,183771
	2	1,186481	1,186314	1,186166	1,185452	1,185137	1,184995	1,184563
	3	1,187388	1,187233	1,187086	1,186256	1,185812	1,185619	1,185079
	4	1,187844	1,187709	1,18758	1,186758	1,186243	1,186018	1,185439
C=1	**0,25**	2,922297	3,186196	3,327354	3,7166	3,880789	3,971234	4,193795
	0,5	3,62305	3,730856	3,802221	4,01302	4,094806	4,140147	4,263094
	1	4,382935	4,382935	4,382935	4,382935	4,382935	4,382935	4,382935
	2	5,25296	5,171939	5,103818	4,826063	4,724337	4,682669	4,568824
	3	5,827853	5,707178	5,602199	5,131099	4,942509	4,871414	4,707319
	4	6,270122	6,123521	5,993701	5,375432	5,107479	5,008343	4,815046
C=3	**0,25**	2,048941	2,1536	2,203601	2,268269	2,239775	2,336455	2,623065
	0,5	2,268807	2,271814	2,262348	2,382443	2,485743	2,546721	2,732333
	1	2,989783	2,989783	2,989783	2,989783	2,989783	2,989783	2,989783
	2	4,795851	4,691521	4,603161	4,238772	4,104566	4,049124	3,894967
	3	5,502281	5,357952	5,230891	4,642906	4,40036	4,307541	4,08456
	4	6,014216	5,846553	5,696369	4,955176	4,61978	4,493287	4,233522
C=4	**0,25**	2,100715	2,22994	2,3007	2,483172	2,546951	2,577505	2,633869
	0,5	2,436998	2,484622	2,51468	2,591383	2,613759	2,624068	2,643661
	1	2,646257	2,646257	2,646257	2,646257	2,646257	2,646257	2,646257
	2	3,806473	3,604881	3,456028	2,979408	2,84013	2,78561	2,643785
	3	5,197097	5,035719	4,894713	3,535867	3,337288	3,066412	2,818536
	4	5,769505	5,582636	5,414875	4,599011	3,514743	3,38572	2,977207
C=5	**0,25**	2,121218	2,258375	2,335247	2,545666	2,628519	2,672459	2,775842
	0,5	2,489546	2,546673	2,584342	2,692238	2,73118	2,751976	2,806397
	1	2,856293	2,856293	2,856293	2,856293	2,856293	2,856293	2,856293
	2	3,11379	3,014209	2,935906	2,972098	2,960882	2,953328	2,923351
	3	4,111536	3,842304	3,740159	2,981386	2,967168	2,974887	2,960575
	4	5,462954	5,263482	5,087818	3,30434	2,972711	2,948935	2,977207
C=10	**0,25**	2,145803	2,291263	2,374208	2,60961	2,707453	2,761107	2,894388
	0,5	2,545076	2,610221	2,654025	2,784829	2,834739	2,862102	2,936444
	1	3,009678	3,009678	3,009678	3,009678	3,009678	3,009678	3,009678
	2	3,533625	3,486484	3,446706	3,283301	3,222402	3,196722	3,12483
	3	3,85046	3,787319	3,731179	3,469147	3,36015	3,317426	3,212243
	4	4,058491	3,994386	3,933818	3,613574	3,463799	3,405931	3,281495
C=200	**0,25**	2,153366	2,301128	2,3857	2,62734	2,728625	2,784404	2,92373
	0,5	2,56078	2,627851	2,673081	2,808932	2,861118	2,889797	2,967931
	1	3,045261	3,045261	3,045261	3,045261	3,045261	3,045261	3,045261
	2	3,621358	3,567381	3,522269	3,340341	3,273609	3,245597	3,167915
	3	4,007593	3,926629	3,856736	3,547962	3,425132	3,377539	3,262064
	4	4,306331	4,20764	4,120969	3,715467	3,541725	3,476043	3,337418
C=∞	**0,25**	2,153384	2,301151	2,385729	2,627384	2,728676	2,784459	2,923797
	0,5	2,560819	2,627892	2,673127	2,808989	2,861179	2,889861	2,968006
	1	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343
	2	3,621546	3,567554	3,522434	3,340468	3,273725	3,245707	3,168013
	3	4,007899	3,926907	3,856991	3,548132	3,425275	3,377674	3,262176
	4	4,306767	4,208029	4,121321	3,715681	3,541893	3,476197	3,337541

Çizelge EK-B.5 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	1,544898	1,546026	1,546552	1,547661	1,547975	1,548118	1,548398
	0,5	1,547357	1,54759	1,547737	1,548132	1,548261	1,548326	1,54847
	1	1,548584	1,548584	1,548584	1,548584	1,548584	1,548584	1,548584
	2	1,5492	1,549163	1,549132	1,548973	1,548895	1,548855	1,548748
	3	1,549402	1,549371	1,54934	1,549163	1,549055	1,549001	1,548856
	4	1,549506	1,549476	1,549452	1,549275	1,549157	1,549101	1,548938
C=1	**0,25**	4,735623	5,069791	5,262923	5,833315	6,078565	6,211161	6,524801
	0,5	5,677404	5,825602	5,926795	6,244025	6,372027	6,441161	6,617288
	1	6,777793	6,777793	6,777793	6,777793	6,777793	6,777793	6,777793
	2	8,075445	7,958283	7,859266	7,444883	7,280938	7,209538	7,029343
	3	8,94252	8,767122	8,614035	7,913817	7,615551	7,493809	7,220323
	4	9,612346	9,39873	9,209091	8,29155	7,873253	7,706114	7,372084
C=3	**0,25**	4,109481	4,441493	4,649986	5,475908	5,749696	5,897078	6,246685
	0,5	5,286326	5,456264	5,572763	5,934847	2,745441	6,15441	6,351563
	1	6,52981	6,52981	6,52981	6,52981	6,52981	6,52981	6,52981
	2	7,929812	7,805684	7,700612	7,259387	7,084241	7,007527	6,810126
	3	8,836213	8,653852	8,494396	7,761274	7,447309	7,318626	7,022245
	4	9,527218	9,307265	9,111668	8,160066	7,723433	7,548505	7,190378
C=4	**0,25**	4,047688	4,34107	4,522615	5,084971	5,340899	5,484897	5,958574
	0,5	4,919877	5,070632	5,176439	5,52568	5,711093	5,811231	6,148606
	1	6,333781	6,333781	6,333781	6,333781	6,333781	6,333781	6,333781
	2	7,800132	7,670376	7,560528	7,099429	6,917796	6,835684	6,627134
	3	8,740735	8,552254	8,387268	7,62692	7,300499	7,166014	6,851769
	4	9,450875	9,225244	9,024343	8,043497	7,59179	7,410104	7,031022
C=5	**0,25**	4,028519	4,310446	4,478875	4,995226	5,225115	5,351852	5,664454
	0,5	4,839384	4,977969	5,074494	5,384501	5,511332	5,580545	5,759917
	1	5,936129	5,936129	5,936129	5,936129	5,936129	5,936129	5,936129
	2	7,641619	7,507138	7,393605	6,920881	6,602784	6,496383	6,225843
	3	8,61814	8,422693	8,251656	7,466016	7,130763	6,992336	6,51513
	4	9,351662	9,119017	8,911714	7,899283	7,434417	7,247127	6,834878
C=10	**0,25**	3,991537	4,282377	4,442342	4,917695	5,11932	5,228239	5,487946
	0,5	4,775434	4,897348	4,981473	5,251616	5,359792	5,417757	5,565583
	1	5,701856	5,701856	5,701856	5,701856	5,701856	5,701856	5,701856
	2	6,84958	6,740442	6,651713	6,287122	6,143914	6,080699	5,920038
	3	7,695267	7,518425	7,367416	6,711089	6,448645	6,340137	6,090142
	4	8,399603	8,164367	7,967717	7,069973	6,688221	6,539027	6,228533
C=200	**0,25**	4,010608	4,27942	4,438762	4,911438	5,109517	5,215545	5,466804
	0,5	4,769451	4,890407	4,973854	5,237618	5,342754	5,398903	5,541405
	1	5,671885	5,671885	5,671885	5,671885	5,671885	5,671885	5,671885
	2	6,745094	6,648495	6,567185	6,228643	6,093354	6,033093	5,879692
	3	7,464726	7,319952	7,194319	6,625252	6,38166	6,279241	6,041008
	4	8,021427	7,845009	7,689424	6,945896	6,606859	6,467455	6,172016
C=∞	**0,25**	4,010603	4,279415	4,438753	4,911425	5,109499	5,215525	5,466776
	0,5	4,769437	4,890391	4,973837	5,237595	5,342729	5,398876	5,541373
	1	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849
	2	6,745003	6,648411	6,567106	6,228585	6,093303	6,033044	5,879648
	3	7,464573	7,319814	7,194194	6,625177	6,381599	6,279185	6,040959
	4	8,021205	7,844812	7,689248	6,945802	6,606792	6,467395	6,171964

Çizelge EK-B.6 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,199983	3,403361	3,518773	3,856146	4,004506	4,087144	4,292427
	0,5	3,773762	3,868865	3,932621	4,124498	4,200217	4,242344	4,356791
	1	4,468776	4,468776	4,468776	4,468776	4,468776	4,468776	4,468776
	2	5,302953	5,224379	5,15842	4,890462	4,792628	4,752588	4,643969
	3	5,864486	5,746251	5,64355	5,184716	5,001996	4,933208	4,775504
	4	6,299547	6,155173	6,027492	5,422086	5,161294	5,065002	4,87833
C=1	**0,25**	5,216293	5,539814	5,771116	6,553195	6,860142	7,00037	7,247329
	0,5	6,203254	6,339557	6,44667	6,863744	7,047014	7,133793	7,291465
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,772726	8,671231	8,583748	8,162423	7,92552	7,799019	7,538897
	3	9,708617	9,557927	9,426452	8,768101	8,376578	8,160004	7,69084
	4	10,432588	10,24985	10,089408	9,267642	8,761809	8,47622	7,834172
C=3	**0,25**	5,216294	5,539513	5,770581	6,552924	6,860019	7,000286	7,247303
	0,5	6,203254	6,339524	6,446589	6,863595	7,046922	7,133731	7,291451
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671227	8,583736	8,162332	7,925366	7,798847	7,538821
	3	9,708617	9,557921	9,426436	8,767985	8,376329	8,159648	7,690562
	4	10,432588	10,249845	10,089392	9,267543	8,761584	8,475823	7,833641
C=4	**0,25**	5,216294	5,539306	5,770193	6,552703	6,859915	7,000215	7,247281
	0,5	6,203254	6,339501	6,446527	6,863477	7,046847	7,133681	7,291439
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772725	8,671224	8,583726	8,162256	7,92524	7,798706	7,538759
	3	9,708617	9,557918	9,426422	8,767886	8,37612	8,160526	7,691471
	4	10,432588	10,249841	10,089378	9,267458	8,761392	8,475487	7,833214
C=5	**0,25**	5,216293	5,539093	5,769779	6,552435	6,859787	7,000128	7,247254
	0,5	6,203254	6,339474	6,446457	6,863336	7,046757	7,13362	7,291425
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,67122	8,583714	8,162163	7,925086	7,798538	7,538688
	3	9,708617	9,557912	9,426405	8,767762	8,375861	8,158989	7,690077
	4	10,432588	10,249835	10,08936	9,267351	8,761151	8,47507	7,832708
C=10	**0,25**	5,216294	5,53829	5,768036	6,550775	6,858929	6,999542	7,247083
	0,5	6,203254	6,339349	6,44612	6,862541	7,046214	7,133244	7,291337
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,772726	8,671194	8,583629	8,161537	7,924112	7,797511	7,538283
	3	9,708617	9,557873	9,426281	8,766859	8,374068	8,156617	7,688603
	4	10,432588	10,249793	10,089228	9,266533	8,759364	8,47215	7,829817
C=200	**0,25**	5,216293	5,537453	5,765881	6,545445	6,855031	6,996733	7,246445
	0,5	6,203253	6,339149	6,44556	6,860599	7,044564	7,132005	7,291054
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,772726	8,671057	8,58319	8,158687	7,920615	7,79435	7,537295
	3	9,708617	9,557581	9,425324	8,760067	8,364493	8,14709	7,685046
	4	10,432588	10,249378	10,087861	9,256828	8,74449	8,455897	7,822583
C=∞	**0,25**	5,216294	5,53745	5,765871	6,545404	6,85499	6,996702	7,246439
	0,5	6,203254	6,339148	6,445557	6,860586	7,044552	7,131995	7,291052
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671056	8,583185	8,158658	7,920584	7,794325	7,537288
	3	9,708617	9,557577	9,425308	8,75996	8,364381	8,147003	7,685023
	4	10,432588	10,24937	10,087831	9,256599	8,744241	8,455706	7,822535

Çizelge EK-B.7 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 1. mod frekansları

C	***E_r***	***n=0***	***n=0,1***	***n=0,2***	***n=1***	***n=2***	***n=3***	***n=10***
C=0	**0,25**	1,819937	1,874257	1,900725	1,960511	1,9797	1,98907	2,009364
	0,5	1,945781	1,960243	1,969229	1,992875	2,00073	2,004787	2,014991
	1	2,024016	2,024016	2,024016	2,024016	2,024016	2,024016	2,024016
	2	2,067744	2,064949	2,062457	2,050746	2,04565	2,043348	2,036459
	3	2,083048	2,080424	2,077943	2,064007	2,056697	2,05349	2,044684
	4	2,090835	2,08856	2,086342	2,072336	2,063789	2,059981	2,050556
C=1	**0,25**	1,838402	1,896602	1,92482	1,987251	2,006579	2,015831	2,035334
	0,5	1,972167	1,98704	1,996161	2,01959	2,027157	2,031019	2,040594
	1	2,048863	2,048863	2,048863	2,048863	2,048863	2,048863	2,048863
	2	2,112994	2,083099	2,081186	2,07188	2,067685	2,065766	2,059896
	3	2,311683	2,299572	2,289201	2,082359	2,076672	2,074121	2,066918
	4	2,363109	2,343771	2,329303	2,268356	2,082191	2,079265	2,071788
C=3	**0,25**	1,957762	2,05204	2,100686	2,211957	2,244379	2,258487	2,282566
	0,5	2,185708	2,212233	2,227982	2,264337	2,273949	2,278297	2,28712
	1	2,291819	2,291819	2,291819	2,291819	2,291819	2,291819	2,291819
	2	4,862432	4,754631	4,662051	4,262448	3,026538	2,663402	2,292072
	3	5,568519	5,42598	5,299913	4,702274	4,442845	4,340453	2,859563
	4	6,071457	5,906828	5,759175	5,022042	4,676748	4,542968	4,258208
C=4	**0,25**	2,016978	2,132285	2,195134	2,356241	2,412831	2,440555	2,497348
	0,5	2,314994	2,356701	2,383141	2,452579	2,474626	2,485589	2,511213
	1	2,529874	2,529874	2,529874	2,529874	2,529874	2,529874	2,529874
	2	3,318569	3,096372	2,956991	2,529325	2,53883	2,541635	2,543861
	3	5,232096	5,063754	4,914549	3,031382	2,712678	2,602526	2,54147
	4	5,814195	5,625897	5,45542	4,593885	3,016304	2,84132	2,532053
C=5	**0,25**	2,057858	2,185928	2,257513	2,451882	2,527324	2,566981	2,659088
	0,5	2,40002	2,452383	2,486777	2,584522	2,619412	2,637924	2,685911
	1	2,729296	2,729296	2,729296	2,729296	2,729296	2,729296	2,729296
	2	2,84006	2,820598	2,830629	2,833272	2,820506	2,81331	2,786877
	3	3,837203	3,543932	3,338856	2,823637	2,839386	2,838499	2,819288
	4	5,478119	5,269872	5,084612	3,019881	2,824596	2,836813	2,836011
C=10	**0,25**	2,127302	2,271133	2,35316	2,585859	2,682486	2,73545	2,866949
	0,5	2,521999	2,586367	2,629645	2,758837	2,808103	2,835099	2,908422
	1	2,980616	2,980616	2,980616	2,980616	2,980616	2,980616	2,980616
	2	3,49541	3,449284	3,410327	3,249985	3,190114	3,164845	3,094055
	3	3,803551	3,7425	3,688045	3,432386	3,325532	3,283569	3,180104
	4	4,002255	3,941576	3,883737	3,573635	3,427234	3,370511	3,248224
C=200	**0,25**	2,153317	2,301078	2,385649	2,627282	2,728564	2,784341	2,923664
	0,5	2,560723	2,627793	2,673021	2,808869	2,861054	2,889731	2,967865
	1	3,045193	3,045193	3,045193	3,045193	3,045193	3,045193	3,045193
	2	3,621278	3,567301	3,522189	3,340267	3,273537	3,245524	3,167845
	3	4,007503	3,926542	3,856649	3,547883	3,425056	3,377464	3,261991
	4	4,306235	4,207547	4,120876	3,715385	3,541645	3,475967	3,337343
C=∞	**0,25**	2,153384	2,301151	2,385729	2,627384	2,728676	2,784459	2,923797
	0,5	2,560819	2,627892	2,673127	2,808989	2,861179	2,889861	2,968006
	1	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343
	2	3,621546	3,567554	3,522434	3,340468	3,273725	3,245707	3,168013
	3	4,007899	3,926907	3,856991	3,548132	3,425275	3,377674	3,262176
	4	4,306767	4,208029	4,121321	3,715681	3,541893	3,476197	3,337541

Çizelge EK-B.8 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	2,668571	2,688524	2,697877	2,717609	2,723205	2,725742	2,730789
	0,5	2,712219	2,716374	2,718986	2,726033	2,72836	2,729491	2,732066
	1	2,734126	2,734126	2,734126	2,734126	2,734126	2,734126	2,734126
	2	2,745072	2,744431	2,743857	2,741034	2,739634	2,738939	2,737007
	3	2,748717	2,748132	2,747581	2,744379	2,742501	2,741557	2,738961
	4	2,75054	2,75004	2,749552	2,746427	2,744338	2,743265	2,740394
C=1	**0,25**	3,402395	3,573415	3,672518	3,974661	4,112712	4,190368	4,384463
	0,5	3,90467	3,991689	4,050082	4,226882	4,297601	4,337247	4,445596
	1	*4,552122*	*4,552122*	*4,552122*	*4,552122*	*4,552122*	*4,552122*	*4,552122*
	2	5,354426	5,278036	5,21398	4,954632	4,860598	4,822392	4,71912
	3	5,902964	5,787003	5,686389	5,238443	5,061216	4,995003	4,844716
	4	6,330761	6,188514	6,062837	5,468923	5,21462	5,121345	4,942991
C=3	**0,25**	4,203023	4,446084	4,604956	5,484295	5,765251	5,915424	6,269487
	0,5	5,286153	5,46341	5,584064	5,9545	6,099108	6,176539	6,373979
	1	6,554388	6,554388	6,554388	6,554388	6,554388	6,554388	6,554388
	2	7,949934	7,82641	7,721839	7,282569	7,108192	7,031841	6,835057
	3	8,852	8,670439	8,511699	7,781945	7,469517	7,341581	7,046815
	4	9,540257	9,321112	9,126263	8,178633	7,744037	7,570104	7,214383
C=4	**0,25**	4,192901	4,404352	4,567942	4,997452	5,293634	5,488475	6,04256
	0,5	4,857794	4,982692	5,094257	5,535858	5,747811	5,94658	6,150828
	1	6,339834	6,339834	6,339834	6,339834	6,339834	6,339834	6,339834
	2	7,816023	7,686244	7,5763	7,113901	6,929819	6,848702	6,638023
	3	8,754879	8,566855	8,402225	7,642606	7,315886	7,181194	6,865342
	4	9,463062	9,238035	9,037663	8,058817	7,607445	7,425847	7,046131
C=5	**0,25**	4,067603	4,327831	4,441081	4,974554	5,166869	5,292894	5,60558
	0,5	4,845588	4,951519	5,025867	5,325088	5,451765	5,521025	5,706303
	1	5,889861	5,889861	5,889861	5,889861	5,889861	5,889861	5,889861
	2	7,6507	7,515375	7,401016	6,923716	6,735079	6,544151	6,23759
	3	8,629476	8,433919	8,262665	7,474049	7,136349	6,996656	6,5735
	4	9,362408	9,130024	8,922875	7,909377	7,442532	7,254141	6,854908
C=10	**0,25**	3,986832	4,452523	4,538695	4,907189	5,10673	5,215362	5,474365
	0,5	4,787439	4,886776	4,970726	5,238577	5,346513	5,40434	5,551788
	1	5,687702	5,687702	5,687702	5,687702	5,687702	5,687702	5,687702
	2	6,832381	6,724152	6,635593	6,27176	6,128839	6,065735	5,90536
	3	7,677472	7,500672	7,349751	6,694983	6,433061	6,324737	6,07511
	4	8,385407	8,149529	7,951223	7,052771	6,672286	6,523351	6,213256
C=200	**0,25**	4,010586	4,279398	4,438737	4,911413	5,10949	5,215518	5,466776
	0,5	4,769426	4,890382	4,973828	5,23759	5,342727	5,398874	5,541377
	1	5,671855	5,671855	5,671855	5,671855	5,671855	5,671855	5,671855
	2	6,745058	6,64846	6,56715	6,22861	6,093323	6,033061	5,879661
	3	7,464687	7,319913	7,194281	6,625218	6,381627	6,279209	6,040976
	4	8,021385	7,844967	7,689382	6,945859	6,606825	6,46742	6,171984
C=∞	**0,25**	4,010603	4,279415	4,438753	4,911425	5,109499	5,215525	5,466776
	0,5	4,769437	4,890391	4,973837	5,237595	5,342729	5,398876	5,541373
	1	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849
	2	6,745003	6,648411	6,567106	6,228585	6,093303	6,033044	5,879648
	3	7,464573	7,319814	7,194194	6,625177	6,381599	6,279185	6,040959
	4	8,021205	7,844812	7,689248	6,945802	6,606792	6,467395	6,171964

Çizelge EK-B.9 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=10, 3. mod frekansları

C	***E_r***	***n=0***	***n=0,1***	***n=0,2***	***n=1***	***n=2***	***n=3***	***n=10***
C=0	**0,25**	3,612692	3,755531	3,840455	4,106639	4,231161	4,301793	4,479877
	0,5	4,042629	4,119592	4,171942	4,333475	4,399034	4,43583	4,536347
	1	*4,635454*	*4,635454*	*4,635454*	*4,635454*	*4,635454*	*4,635454*	*4,635454*
	2	5,403897	5,329896	5,267949	5,018081	4,927694	4,890945	4,792381
	3	5,939382	5,825831	5,727466	5,291618	5,12008	5,056009	4,911449
	4	6,360067	6,220031	6,096478	5,515349	5,268111	5,177554	5,005141
C=1	**0,25**	4,8422	5,159021	5,343376	5,893736	6,132766	6,262385	6,569749
	0,5	5,743311	5,887016	5,985345	6,29466	6,419937	6,487701	6,660571
	1	*6,818368*	*6,818368*	*6,818368*	*6,818368*	*6,818368*	*6,818368*	*6,818368*
	2	8,100876	7,984684	7,886538	7,476339	7,314327	7,243838	7,066113
	3	8,962195	8,787757	8,63559	7,940595	7,645135	7,524686	7,254525
	4	10,434159	9,416176	9,227397	8,315341	7,900357	7,734746	7,404419
C=3	**0,25**	5,216294	5,539574	5,770701	6,553025	6,86007	7,00032	7,247311
	0,5	6,203254	6,339532	6,446608	6,863637	7,04695	7,133751	7,291455
	1	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*
	2	8,772726	8,671228	8,583739	8,162358	7,925407	7,798889	7,538839
	3	9,708617	9,557923	9,42644	8,768024	8,376404	8,159744	7,690622
	4	10,432587	10,249847	10,089397	9,267581	8,761665	8,475944	7,833756
C=4	**0,25**	5,216293	5,539346	5,770283	6,552794	6,859963	7,000248	7,247289
	0,5	6,203253	6,339507	6,446542	6,863513	7,046873	7,133698	7,291442
	1	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*
	2	8,772725	8,671225	8,58373	8,16228	7,925277	7,798745	7,538775
	3	9,708617	9,557919	9,426427	8,767924	8,376191	8,159441	7,690392
	4	10,432587	10,249842	10,089382	9,267495	8,761469	8,475602	7,833315
C=5	**0,25**	5,216294	5,539116	5,769839	6,552516	6,859831	7,000158	7,247261
	0,5	6,203254	6,339478	6,446469	6,863366	7,046779	7,133636	7,291428
	1	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*
	2	8,772726	8,671221	8,583716	8,162184	7,92512	7,798572	7,538701
	3	9,710079	9,557913	9,426409	8,767797	8,375928	8,159071	7,690123
	4	10,432588	10,249836	10,089364	9,267388	8,761226	8,475178	7,832795
C=10	**0,25**	5,21708	5,538278	5,768022	6,550804	6,858952	6,999556	7,247086
	0,5	6,203253	6,339348	6,44612	6,862548	7,046221	7,133249	7,291339
	1	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*
	2	8,772725	8,671194	8,583631	8,161548	7,924126	7,797522	7,538285
	3	9,708617	9,557875	9,426284	8,766883	8,374105	8,156654	7,688612
	4	10,432588	10,249795	10,089231	9,266561	8,759416	8,472213	7,829837
C=200	**0,25**	5,216294	5,537452	5,765881	6,545444	6,85503	6,996733	7,246445
	0,5	6,203254	6,339149	6,445559	6,860599	7,044564	7,132005	7,291055
	1	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*	*7,376953*
	2	8,772726	8,671057	8,58319	8,158688	7,920614	7,794349	7,537295
	3	9,708617	9,557581	9,425324	8,760066	8,364492	8,147091	7,685045
	4	10,432588	10,249378	10,08786	9,256827	8,744489	8,455896	7,822582
C=∞	**0,25**	5,216294	5,53745	5,765871	6,545404	6,85499	6,996702	7,246439
	0,5	6,203254	6,339148	6,445557	6,860586	7,044552	7,131995	7,291052
	1	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*	*7,376954*
	2	8,772726	8,671056	8,583185	8,158658	7,920584	7,794325	7,537288
	3	9,708617	9,557577	9,425308	8,75996	8,364381	8,147003	7,685023
	4	10,432588	10,24937	10,087831	9,256599	8,744241	8,455706	7,822535

Çizelge EK-B.10 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	2,109102	2,240075	2,313112	2,51258	2,591489	2,633654	2,734834
	0,5	2,458824	2,512644	2,548269	2,651807	2,690078	2,710733	2,765662
	1	2,818089	2,818089	2,818089	2,818089	2,818089	2,818089	2,818089
	2	3,145432	3,119552	3,097194	3,000083	2,961573	2,944904	2,897246
	3	3,304026	3,274518	3,247545	3,11048	3,047227	3,021235	2,954658
	4	3,398019	3,369479	3,3424868	3,189076	3,107913	3,07449	2,998526
C=1	**0,25**	2,109185	2,240218	2,313303	2,512974	2,592012	2,63426	2,735679
	0,5	2,459153	2,513041	2,548721	2,652449	2,690809	2,711516	2,766594
	1	2,819188	2,819188	2,819188	2,819188	2,819188	2,819188	2,819188
	2	3,148141	3,122097	3,0996	3,001946	2,963249	2,946503	2,898639
	3	3,307811	3,278099	3,250938	3,112964	3,049339	3,023207	2,956305
	4	3,402387	3,373683	3,3465245	3,192062	3,110377	3,076758	3,000385
C=3	**0,25**	2,109836	2,241332	2,314787	2,516075	2,596095	2,63897	2,74225
	0,5	2,461717	2,516154	2,552245	2,65746	2,696494	2,717595	2,773846
	1	2,82773	2,82773	2,82773	2,82773	2,82773	2,82773	2,82773
	2	3,169422	3,142052	3,118451	3,016484	2,976302	2,958954	2,909489
	3	3,337969	3,306554	3,277836	3,132436	3,065853	3,038607	2,969119
	4	3,437548	3,407425	3,3788171	3,215626	3,129702	3,094493	3,014877
C=4	**0,25**	2,110389	2,242278	2,316042	2,518679	2,599513	2,642908	2,747734
	0,5	2,463876	2,518764	2,555203	2,661652	2,70124	2,722672	2,779896
	1	2,834854	2,834854	2,834854	2,834854	2,834854	2,834854	2,834854
	2	3,187441	3,158904	3,134338	3,028658	2,987213	2,969358	2,918543
	3	3,364074	3,331064	3,300907	3,148865	3,079712	3,051515	2,979827
	4	3,468516	3,436982	3,4069633	3,235673	3,146	3,109411	3,02701
C=5	**0,25**	2,111083	2,243455	2,3176	2,521878	2,603704	2,647733	2,754431
	0,5	2,466535	2,521978	2,558831	2,666777	2,707047	2,728874	2,78728
	1	2,843545	2,843545	2,843545	2,843545	2,843545	2,843545	2,843545
	2	3,209698	3,17967	3,153877	3,043547	3,000543	2,982059	2,929587
	3	3,397042	3,361858	3,329767	3,16909	3,096704	3,067318	2,992908
	4	3,508383	3,474797	3,4427705	3,260548	3,16606	3,127725	3,041849
C=10	**0,25**	2,116144	2,251818	2,328497	2,543321	2,63133	2,679273	2,797449
	0,5	2,484564	2,543501	2,582978	2,700184	2,744608	2,768871	2,834472
	1	2,898692	2,898692	2,898692	2,898692	2,898692	2,898692	2,898692
	2	3,351263	3,311094	3,277133	3,136846	3,084101	3,061736	2,999088
	3	3,620924	3,567282	3,519673	3,296872	3,20331	3,166332	3,074905
	4	3,802097	3,745374	3,6929343	3,420507	3,292664	3,242826	3,134788
C=200	**0,25**	2,152845	2,300571	2,385125	2,626704	2,727963	2,783727	2,923017
	0,5	2,56016	2,627212	2,67243	2,80825	2,860422	2,889095	2,967209
	1	3,044519	3,044519	3,044519	3,044519	3,044519	3,044519	3,044519
	2	3,620475	3,56651	3,521409	3,339527	3,272812	3,244807	3,167144
	3	4,006614	3,925671	3,855794	3,547098	3,424299	3,376719	3,261268
	4	4,30528	4,206613	4,1199634	3,714563	3,540865	3,475201	3,336606
C=∞	**0,25**	2,153384	2,301151	2,385729	2,627384	2,728676	2,784459	2,923797
	0,5	2,560819	2,627892	2,673127	2,808989	2,861179	2,889861	2,968006
	1	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343
	2	3,621546	3,567554	3,522434	3,340468	3,273725	3,245707	3,168013
	3	4,007899	3,926907	3,856991	3,548132	3,425275	3,377674	3,262176
	4	4,306767	4,208029	4,1213205	3,715681	3,541893	3,476197	3,337541

Çizelge EK-B.11 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,761032	3,937821	4,033229	4,271524	4,350992	4,388947	4,467745
	0,5	4,204157	4,258872	4,294381	4,394952	4,429994	4,447489	4,488386
	1	4,521987	4,521987	4,521987	4,521987	4,521987	4,521987	4,521987
	2	4,707026	4,695805	4,685753	4,636805	4,613106	4,601503	4,569633
	3	4,771255	4,760877	4,751057	4,694438	4,661742	4,645637	4,602299
	4	4,803621	4,794711	4,786033	4,730323	4,693418	4,674792	4,626422
C=1	**0,25**	3,765387	3,944395	4,041226	4,283502	4,364308	4,402745	4,483364
	0,5	4,215076	4,270776	4,306872	4,408933	4,444693	4,462318	4,505083
	1	4,540213	4,540213	4,540213	4,540213	4,540213	4,540213	4,540213
	2	4,740083	4,729969	4,720744	4,673842	4,645446	4,629832	4,591888
	3	4,794244	4,786262	4,778465	4,729433	4,698385	4,68242	4,630374
	4	4,817773	4,811801	4,80575	4,761916	4,7288	4,710961	4,662627
C=3	**0,25**	3,796877	3,992441	4,100245	4,376279	4,46789	4,511095	4,604365
	0,5	4,298469	4,362918	4,403945	4,519429	4,55894	4,579524	4,632659
	1	4,690764	4,690764	4,690764	4,690764	4,690764	4,690764	4,690764
	2	5,139717	5,147238	5,150824	5,121593	5,081149	5,056882	4,990917
	3	5,049046	5,072979	5,093689	5,167446	5,157231	5,13377	5,049436
	4	4,967109	4,994707	5,019985	5,145634	5,179805	5,170365	5,088335
C=4	**0,25**	3,820496	4,027755	4,144888	4,450377	4,553203	4,599721	4,69495
	0,5	4,364772	4,436223	4,483869	4,610483	4,651254	4,673229	4,718845
	1	4,842982	4,842982	4,842982	4,842982	4,842982	4,842982	4,842982
	2	7,994955	7,865747	7,755073	7,268875	7,058478	6,958719	6,625273
	3	8,906688	8,724859	8,565347	7,81997	7,490415	7,352459	6,992811
	4	9,59331	9,375376	9,181412	8,228651	7,785114	7,606569	7,216996
C=5	**0,25**	3,844709	4,064725	4,191219	4,534845	4,655251	4,715669	4,811369
	0,5	4,435128	4,519294	4,575022	4,729276	4,776022	4,793101	4,830833
	1	4,892144	4,892144	4,892144	4,892144	4,892144	4,892144	4,892144
	2	7,734497	7,580895	7,446648	6,813719	6,506734	6,353974	5,970609
	3	8,751489	8,55479	8,380655	7,535714	7,128979	6,941783	6,383087
	4	9,476012	9,247084	9,042175	8,013425	7,506293	7,288462	6,728884
C=10	**0,25**	3,937383	4,193834	4,346233	4,799363	4,989386	5,091124	5,33242
	0,5	4,662351	4,778167	4,858188	5,111719	5,212944	5,266996	5,40412
	1	5,529705	5,529705	5,529705	5,529705	5,529705	5,529705	5,529705
	2	7,019824	6,953587	6,898444	6,744204	6,611888	5,921515	5,730082
	3	7,734908	7,619116	7,519917	6,93672	6,839371	6,768928	5,919337
	4	8,26294	8,112168	7,980875	7,323464	6,918531	6,922438	6,645743
C=200	**0,25**	4,010373	4,279171	4,438503	4,911155	5,109222	5,215243	5,466486
	0,5	4,769171	4,89012	4,973563	5,237312	5,342443	5,398589	5,541081
	1	5,671553	5,671553	5,671553	5,671553	5,671553	5,671553	5,671553
	2	6,744699	6,648106	6,566801	6,228278	6,092998	6,03274	5,879347
	3	7,464288	7,319523	7,193898	6,624868	6,381291	6,278877	6,040654
	4	8,020957	7,844549	7,688974	6,945494	6,60648	6,467082	6,171656
C=∞	**0,25**	4,010603	4,279415	4,438753	4,911425	5,109499	5,215525	5,466776
	0,5	4,769437	4,890391	4,973837	5,237595	5,342729	5,398876	5,541373
	1	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849
	2	6,745003	6,648411	6,567106	6,228585	6,093303	6,033044	5,879648
	3	7,464573	7,319814	7,194194	6,625177	6,381599	6,279185	6,040959
	4	8,021205	7,844812	7,689248	6,945802	6,606792	6,467395	6,171964

Çizelge EK-B.12 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=100, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	4,947971	5,112095	5,197925	5,426894	5,517354	5,5646	5,67282
	0,5	5,375823	5,429565	5,465247	5,574868	5,619534	5,643658	5,704319
	1	5,759445	5,759445	5,759445	5,759445	5,759445	5,759445	5,759445
	2	6,232424	6,184963	6,14551	5,987545	5,929441	5,905626	5,846418
	3	6,599557	6,519024	6,450262	6,155796	6,04247	6,000061	5,912135
	4	6,912823	6,806506	6,714211	6,299733	6,131625	6,070469	5,963649
C=1	**0,25**	4,967927	5,136459	5,225689	5,467092	5,549747	5,592123	5,688192
	0,5	5,420448	5,470275	5,502771	5,600831	5,640646	5,662156	5,716167
	1	5,765506	5,765506	5,765506	5,765506	5,765506	5,765506	5,765506
	2	6,210967	6,164479	6,126019	5,974278	5,919881	5,898024	5,844314
	3	6,575286	6,494601	6,42587	6,13462	6,025192	5,985202	5,904579
	4	6,889916	6,782826	6,689935	6,275197	6,109996	6,051188	5,952196
C=3	**0,25**	5,118509	5,32179	5,548442	6,554169	6,860643	7,0007	7,247408
	0,5	6,203253	6,339621	6,446835	6,864112	7,047266	7,13503	7,291502
	1	5,87803	5,87803	5,87803	5,87803	5,87803	5,87803	5,87803
	2	5,913375	5,868944	5,835264	5,751765	5,755879	5,767108	5,807533
	3	6,307338	6,214146	6,134814	5,819216	5,744294	5,7391	5,776831
	4	6,663076	6,541087	6,43428	5,951117	5,780805	5,744572	5,763651
C=4	**0,25**	5,216294	5,456541	5,569414	6,55382	6,860496	7,000603	7,247377
	0,5	6,203254	6,339572	6,446715	6,86392	7,047153	7,133892	7,291485
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772725	8,671235	8,583763	8,162546	7,925685	7,79917	7,538943
	3	9,708617	9,557933	9,426474	8,768318	8,376952	8,160407	7,690975
	4	10,434159	10,251397	10,090941	9,26788	8,762285	8,476827	7,834424
C=5	**0,25**	5,216294	5,539182	5,7344	6,553408	6,860318	7,000484	7,24734
	0,5	6,203254	6,339522	6,44659	6,8637	7,04702	7,133805	7,291465
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772725	8,671231	8,583748	8,162428	7,925482	7,798939	7,539428
	3	9,708617	9,557927	9,426454	8,768173	8,376635	8,159943	7,690603
	4	10,432588	10,24985	10,089412	9,26776	8,762005	8,476323	7,833719
C=10	**0,25**	5,216294	5,538067	5,767695	6,551059	6,836024	7,000721	7,248196
	0,5	6,203254	6,339338	6,4461	6,863593	7,047317	7,134354	7,291054
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,774047	8,672504	8,584935	8,161663	7,924258	7,798763	7,539428
	3	9,708617	9,557883	9,426314	8,768387	8,374488	8,157022	7,689798
	4	10,432588	10,249805	10,089266	9,266851	8,761178	8,472855	7,829997
C=200	**0,25**	5,216293	5,537451	5,765877	6,545438	6,855026	6,99673	7,246445
	0,5	6,203254	6,339148	6,445559	6,860597	7,044562	7,132005	7,291054
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671057	8,58319	8,158685	7,920611	7,794346	7,537294
	3	9,708617	9,557581	9,425324	8,760061	8,364485	8,147083	7,685043
	4	10,432588	10,249378	10,08786	9,256819	8,744477	8,455883	7,822576
C=∞	**0,25**	5,216294	5,53745	5,765871	6,545404	6,85499	6,996702	7,246439
	0,5	6,203254	6,339148	6,445557	6,860586	7,044552	7,131995	7,291052
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671056	8,583185	8,158658	7,920584	7,794325	7,537288
	3	9,708617	9,557577	9,425308	8,75996	8,364381	8,147003	7,685023
	4	10,432588	10,24937	10,087831	9,256599	8,744241	8,455706	7,822535

Çizelge EK-B.13 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 1. mod frekansları

C	***E_r***	***n=0***	***n=0,1***	***n=0,2***	***n=1***	***n=2***	***n=3***	***n=10***
C=0	**0,25**	2,14883	2,294816	2,378154	2,615165	2,713915	2,768127	2,902955
	0,5	2,550023	2,615614	2,659765	2,79191	2,842466	2,870194	2,945544
	1	3,019821	3,019821	3,019821	3,019821	3,019821	3,019821	3,019821
	2	3,561591	3,511863	3,470121	3,300207	3,237281	3,210768	3,136985
	3	3,909625	3,837917	3,775468	3,494043	3,379822	3,335236	3,226344
	4	4,167754	4,083695	4,008895	3,647945	3,488414	3,427417	3,29748
C=1	**0,25**	2,14883	2,294816	2,378154	2,615165	2,713915	2,768127	2,902957
	0,5	2,550023	2,615614	2,659765	2,79191	2,842469	2,870197	2,945547
	1	3,019823	3,019823	3,019823	3,019823	3,019823	3,019823	3,019823
	2	3,561601	3,51187	3,470128	3,300211	3,237283	3,210772	3,136988
	3	3,909646	3,837935	3,775482	3,494052	3,379828	3,335241	3,226346
	4	4,167792	4,083727	4,008921	3,647958	3,488422	3,427423	3,297485
C=3	**0,25**	2,14883	2,29482	2,378157	2,615168	2,713923	2,768136	2,902968
	0,5	2,550026	2,61562	2,65977	2,791918	2,842477	2,870207	2,94556
	1	3,019841	3,019841	3,019841	3,019841	3,019841	3,019841	3,019841
	2	3,561674	3,511935	3,470187	3,300248	3,237316	3,210801	3,137012
	3	3,909816	3,83808	3,775607	3,494113	3,379874	3,335282	3,226377
	4	4,168096	4,083979	4,009134	3,648047	3,488481	3,427475	3,297522
C=4	**0,25**	2,148833	2,29482	2,37816	2,615174	2,713929	2,768141	2,902979
	0,5	2,550029	2,615623	2,659773	2,791926	2,842485	2,870215	2,94557
	1	3,019853	3,019853	3,019853	3,019853	3,019853	3,019853	3,019853
	2	3,561739	3,511991	3,470238	3,300281	3,237342	3,210825	3,137031
	3	3,909964	3,838205	3,775716	3,494165	3,379912	3,335317	3,226403
	4	4,16836	4,0842	4,009321	3,648127	3,488534	3,427519	3,297554
C=5	**0,25**	2,148833	2,294823	2,37816	2,615177	2,713934	2,768149	2,902992
	0,5	2,550035	2,615629	2,659779	2,791935	2,842495	2,870229	2,945586
	1	3,019874	3,019874	3,019874	3,019874	3,019874	3,019874	3,019874
	2	3,56182	3,512065	3,470304	3,300322	3,237378	3,210858	3,137058
	3	3,910155	3,838368	3,775856	3,494235	3,379964	3,335362	3,226436
	4	4,1687	4,084482	4,009561	3,648229	3,488604	3,427577	3,297596
C=10	**0,25**	2,148841	2,294836	2,37818	2,615221	2,713994	2,768221	2,903099
	0,5	2,550068	2,61567	2,659831	2,792011	2,842587	2,870324	2,94571
	1	3,020028	3,020028	3,020028	3,020028	3,020028	3,020028	3,020028
	2	3,562499	3,512663	3,47084	3,300665	3,237665	3,211124	3,137274
	3	3,91172	3,839694	3,776999	3,494805	3,380386	3,335737	3,226717
	4	4,17147	4,086792	4,011518	3,649068	3,489164	3,428055	3,297934
C=200	**0,25**	2,150924	2,298148	2,382404	2,623126	2,724022	2,779586	2,918381
	0,5	2,556805	2,623618	2,668676	2,804014	2,856004	2,884576	2,962417
	1	3,039463	3,039463	3,039463	3,039463	3,039463	3,039463	3,039463
	2	3,613574	3,559774	3,514812	3,333507	3,267004	3,239088	3,161673
	3	3,998593	3,91788	3,848206	3,540441	3,418026	3,370592	3,255494
	4	4,296437	4,19804	4,111631	3,707413	3,534246	3,468782	3,330596
C=∞	**0,25**	2,153384	2,301151	2,385729	2,627384	2,728676	2,784459	2,923797
	0,5	2,560819	2,627892	2,673127	2,808989	2,861179	2,889861	2,968006
	1	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343	3,045343
	2	3,621546	3,567554	3,522434	3,340468	3,273725	3,245707	3,168013
	3	4,007899	3,926907	3,856991	3,548132	3,425275	3,377674	3,262176
	4	4,306767	4,208029	4,121321	3,715681	3,541893	3,476197	3,337541

Çizelge EK-B.14 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,985891	4,245232	4,397825	4,843901	5,026948	5,123784	5,349839
	0,5	4,710391	4,823393	4,900917	5,143344	5,238617	5,289102	5,415955
	1	5,530503	5,530503	5,530503	5,530503	5,530503	5,530503	5,530503
	2	6,40805	6,334941	6,27244	6,003019	5,891165	5,840509	5,709965
	3	6,910537	6,816255	6,731778	6,319231	6,128156	6,045098	5,84669
	4	7,241845	7,142981	7,051538	6,56004	6,306968	6,197561	5,95604
C=1	**0,25**	3,985899	4,245243	4,397838	4,843938	5,027001	5,123849	5,349935
	0,5	4,71042	4,82343	4,900961	5,143411	5,238694	5,289188	5,416063
	1	5,530634	5,530634	5,530634	5,530634	5,530634	5,530634	5,530634
	2	6,408582	6,335416	6,272872	6,003302	5,891402	5,840729	5,710143
	3	6,911587	6,817183	6,732606	6,319692	6,1285	6,0454	5,846913
	4	7,243394	7,144365	7,052779	6,560686	6,307416	6,197942	5,956305
C=3	**0,25**	3,985949	4,245333	4,397962	4,844238	5,027427	5,124359	5,350691
	0,5	4,710655	4,823723	4,9013	5,143944	5,239317	5,289868	5,416914
	1	5,531675	5,531675	5,531675	5,531675	5,531675	5,531675	5,531675
	2	6,412789	6,339177	6,276285	6,005551	5,893287	5,842469	5,711553
	3	6,919912	6,824536	6,739163	6,323332	6,13122	6,047798	5,848679
	4	7,255706	7,155361	7,062624	6,565798	6,310963	6,200957	5,958406
C=4	**0,25**	3,985991	4,24541	4,398069	4,8445	5,027797	5,124803	5,351347
	0,5	4,710858	4,823976	4,901595	5,144406	5,239854	5,290456	5,417651
	1	5,532574	5,532574	5,532574	5,532574	5,532574	5,532574	5,532574
	2	6,416405	6,34241	6,279224	6,00749	5,894912	5,84397	5,712772
	3	6,927087	6,830868	6,744807	6,32646	6,133563	6,049865	5,850201
	4	7,266368	7,164863	7,071119	6,570197	6,314015	6,203554	5,960218
C=5	**0,25**	3,986048	4,245511	4,398207	4,84483	5,028267	5,125366	5,352179
	0,5	4,711119	4,8243	4,90197	5,144993	5,240539	5,291206	5,418587
	1	5,533715	5,533715	5,533715	5,533715	5,533715	5,533715	5,533715
	2	6,420963	6,346487	6,282936	6,009941	5,89697	5,845871	5,714316
	3	6,936162	6,838871	6,751937	6,330406	6,136524	6,052477	5,852129
	4	7,279915	7,176912	7,081876	6,57575	6,317871	6,206834	5,96251
C=10	**0,25**	3,986504	4,246318	4,399318	4,847484	5,031999	5,12982	5,358718
	0,5	4,713203	4,826891	4,904965	5,149635	5,246049	5,297098	5,425918
	1	5,542619	5,542619	5,542619	5,542619	5,542619	5,542619	5,542619
	2	6,455382	6,377454	6,311184	6,028742	5,91281	5,860531	5,726278
	3	7,005148	6,899549	6,805926	6,360418	6,159141	6,07248	5,866994
	4	7,384833	7,270248	7,16477	6,618364	6,347165	6,23183	5,980108
C=200	**0,25**	4,008439	4,277061	4,4363	4,908686	5,106631	5,212584	5,463663
	0,5	4,766751	4,887627	4,97102	5,234622	5,339694	5,395805	5,538211
	1	5,668599	5,668599	5,668599	5,668599	5,668599	5,668599	5,668599
	2	6,741139	6,644603	6,563345	6,225023	6,089816	6,029587	5,876269
	3	7,460332	7,31565	7,190098	6,62141	6,377972	6,275608	6,037488
	4	8,016695	7,840388	7,684904	6,941877	6,603063	6,463735	6,168424
C=∞	**0,25**	4,010603	4,279415	4,438753	4,911425	5,109499	5,215525	5,466776
	0,5	4,769437	4,890391	4,973837	5,237595	5,342729	5,398876	5,541373
	1	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849	5,671849
	2	6,745003	6,648411	6,567106	6,228585	6,093303	6,033044	5,879648
	3	7,464573	7,319814	7,194194	6,625177	6,381599	6,279185	6,040959
	4	8,021205	7,844812	7,689248	6,945802	6,606792	6,467395	6,171964

Çizelge EK-B.15 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=5, K=1000, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	5,216295	5,536756	5,763879	6,533812	6,837189	6,978315	7,242008
	0,5	6,203254	6,338884	6,444758	6,856083	7,038861	7,126633	7,28953
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,51063	8,435058	8,368256	8,049713	7,875269	7,770343	7,533299
	3	9,017459	8,928117	8,845646	8,405642	8,16313	8,03177	7,669927
	4	9,333462	9,241285	9,154644	8,657827	8,362805	8,210279	7,7892
C=1	**0,25**	5,216294	5,536757	5,763882	6,533932	6,837785	6,979433	7,242383
	0,5	6,203254	6,338886	6,444763	6,856139	7,039004	7,126834	7,289618
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,513572	8,437837	8,370879	8,051453	7,885456	7,772762	7,533445
	3	9,021413	8,932029	8,849226	8,408317	8,165131	8,033203	7,670523
	4	9,33913	9,246223	9,159	8,66111	8,365379	8,212391	7,790677
C=3	**0,25**	5,216295	5,536765	5,763916	6,534807	6,84172	6,986058	7,24407
	0,5	6,203253	6,338894	6,444794	6,856544	7,039938	7,12804	7,290071
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,53697	8,459878	8,39163	8,086686	7,917365	7,78355	7,534319
	3	9,053267	8,963369	8,877989	8,429514	8,180826	8,114063	7,674094
	4	9,385288	9,286122	9,194141	8,687265	8,385793	8,228983	7,799535
C=4	**0,25**	5,216293	5,536773	5,763943	6,535481	6,844168	6,989218	7,244719
	0,5	6,203254	6,338901	6,444818	6,856843	7,04054	7,128726	7,290284
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,557199	8,479498	8,411286	8,099827	7,918987	7,787142	7,534816
	3	9,081374	8,990753	8,903262	8,447733	8,237079	8,127426	7,676088
	4	9,426598	9,321408	9,234548	8,709954	8,403352	8,304681	7,804353
C=5	**0,25**	5,216293	5,536782	5,763977	6,53624	6,846379	6,991435	7,245171
	0,5	6,203253	6,338911	6,444847	6,857169	7,04112	7,129326	7,290453
	1	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953	7,376953
	2	8,582794	8,503439	8,43381	8,116368	7,919617	7,789352	7,535255
	3	9,117636	9,02573	8,935755	8,490304	8,255812	8,144145	7,677812
	4	9,505493	9,382845	9,278889	8,738757	8,425455	8,322108	7,808351
C=10	**0,25**	5,216294	5,53685	5,764221	6,539885	6,852024	6,995268	7,246045
	0,5	6,203254	6,338964	6,445026	6,858617	7,043012	7,130953	7,290841
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,774047	8,671203	8,583648	8,160458	7,920359	7,792956	7,536473
	3	9,397606	9,290904	9,192596	8,660233	8,375287	8,150265	7,682303
	4	10,432588	9,808702	9,573412	8,973094	8,623167	8,462416	7,817705
C=200	**0,25**	5,216293	5,537438	5,765848	6,545379	6,854982	6,996699	7,246438
	0,5	6,203253	6,339147	6,445553	6,860577	7,044547	7,131993	7,291052
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671057	8,583187	8,158663	7,920583	7,794322	7,537286
	3	9,708617	9,557579	9,425317	8,760007	8,36441	8,147011	7,685015
	4	10,432588	10,249375	10,087851	9,256738	8,744356	8,45576	7,822522
C=∞	**0,25**	5,216294	5,53745	5,765871	6,545404	6,85499	6,996702	7,246439
	0,5	6,203254	6,339148	6,445557	6,860586	7,044552	7,131995	7,291052
	1	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954	7,376954
	2	8,772726	8,671056	8,583185	8,158658	7,920584	7,794325	7,537288
	3	9,708617	9,557577	9,425308	8,75996	8,364381	8,147003	7,685023
	4	10,432588	10,24937	10,087831	9,256599	8,744241	8,455706	7,822535

Çizelge EK-B.16 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,329579	3,560538	3,690434	4,054779	4,207862	4,29341	4,512302
	0,5	3,959559	4,064848	4,13508	4,340738	4,418315	4,461622	4,58373
	1	4,708737	4,708737	4,708737	4,708737	4,708737	4,708737	4,708737
	2	5,599662	5,514586	5,443709	5,162036	5,063196	5,023172	4,906733
	3	6,197046	6,069366	5,959385	5,478926	5,29467	5,226666	5,057988
	4	6,659158	6,503467	6,366978	5,734325	5,471318	5,376601	5,178233
C=1	**0,25**	3,050902	3,337413	3,492243	3,908932	4,078341	4,171942	4,408603
	0,5	3,802048	3,920205	3,998222	4,223544	4,307504	4,354173	4,485076
	1	4,61814	4,61814	4,61814	4,61814	4,61814	4,61814	4,61814
	2	5,546746	5,459112	5,385975	5,094011	4,990999	4,949194	4,827163
	3	6,158242	6,02801	5,915648	5,42233	5,231819	5,161283	4,985646
	4	6,627982	6,469959	6,331233	5,685116	5,41452	5,3167	5,111015
C=3	**0,25**	2,119113	2,220072	2,263649	2,272024	2,398505	2,507129	2,842341
	0,5	2,296156	2,268451	2,312566	2,572024	2,686594	2,755796	2,977565
	1	3,261082	3,261082	3,261082	3,261082	3,261082	3,261082	3,261082
	2	5,068133	4,956028	4,861541	4,477108	4,339665	4,283789	4,120627
	3	5,816548	5,661663	5,526201	4,908832	4,660426	4,56728	4,332901
	4	6,358855	6,178897	6,018911	5,242673	4,899276	4,772383	4,50074
C=4	**0,25**	2,168076	2,299432	2,369349	2,541355	2,597347	2,622261	2,654224
	0,5	2,500456	2,545238	2,572294	2,633738	2,647486	2,652132	2,649816
	1	2,612161	2,612161	2,612161	2,612161	2,612161	2,612161	2,612161
	2	4,665107	4,546671	3,782131	3,199444	3,043961	2,985682	2,828956
	3	5,494051	5,319736	5,167795	3,877857	3,444545	3,314178	3,036877
	4	6,101805	5,901086	5,721716	4,854137	3,859621	3,62293	3,228965
C=5	**0,25**	2,187129	2,328118	2,405458	2,611272	2,691022	2,733337	2,83228
	0,5	2,558954	2,61633	2,653511	2,756085	2,791759	2,810828	2,860917
	1	2,905291	2,905291	2,905291	2,905291	2,905291	2,905291	2,905291
	2	3,314124	3,199142	3,109581	2,956106	2,967524	2,967435	2,955235
	3	5,12719	4,185383	3,930584	3,154516	2,937928	2,936748	2,967939
	4	5,772831	5,555646	5,364451	3,517599	3,146505	3,032028	2,952637
C=10	**0,25**	2,209807	2,360911	2,445591	2,680993	2,778636	2,832887	2,970731
	0,5	2,619298	2,686986	2,731989	2,862891	2,911806	2,939005	3,015389
	1	3,093067	3,093067	3,093067	3,093067	3,093067	3,093067	3,093067
	2	3,618908	3,571451	3,531373	3,367927	3,309207	3,285219	3,214692
	3	3,924755	3,864275	3,809773	3,551754	3,446303	3,406631	3,306283
	4	4,108702	4,054085	3,999578	3,692896	3,548106	3,494219	3,378156
C=200	**0,25**	2,216752	2,370688	2,45734	2,700087	2,80178	2,858588	3,004091
	0,5	2,636158	2,706295	2,753095	2,890092	2,941662	2,970437	3,051638
	1	3,134889	3,134889	3,134889	3,134889	3,134889	3,134889	3,134889
	2	3,727917	3,671284	3,624121	3,436842	3,371161	3,344532	3,266879
	3	4,125492	4,040515	3,967354	3,648063	3,525718	3,480509	3,367862
	4	4,432992	4,329391	4,238615	3,818305	3,643757	3,580847	3,448262
C=∞	**0,25**	2,216769	2,370709	2,457367	2,700132	2,801834	2,858649	3,004169
	0,5	2,636198	2,706339	2,753147	2,890158	2,941734	2,97051	3,051722
	1	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985
	2	3,728146	3,671496	3,62432	3,436995	3,371301	3,344666	3,266998
	3	4,125874	4,040859	3,967666	3,648268	3,525892	3,480672	3,368
	4	4,433538	4,329877	4,239051	3,818565	3,643963	3,581035	3,448419

Çizelge EK-B.17 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	5,482998	5,86216	6,076246	6,679781	6,933501	7,074797	7,434091
	0,5	6,52042	6,693126	6,808619	7,148973	7,278046	7,349836	7,550486
	1	7,754131	7,754131	7,754131	7,754131	7,754131	7,754131	7,754131
	2	9,221267	9,081815	8,96553	8,501609	8,336979	8,269729	8,076637
	3	10,205009	9,995743	9,815354	9,024843	8,718825	8,604523	8,323121
	4	10,965997	10,710829	10,486992	9,446637	9,010728	8,851845	8,519251
C=1	**0,25**	5,389655	5,78632	6,008326	6,628813	6,887946	7,03194	7,397256
	0,5	6,465639	6,642581	6,760652	7,107575	7,238801	7,311728	7,515381
	1	7,721802	7,721802	7,721802	7,721802	7,721802	7,721802	7,721802
	2	9,202121	9,061761	8,944675	8,477126	8,31104	8,243171	8,048137
	3	10,190904	9,98072	9,799477	9,004387	8,696165	8,580978	8,297146
	4	10,954636	10,698626	10,473982	9,428804	8,990203	8,83023	8,495076
C=3	**0,25**	4,549346	5,237814	5,49253	6,212696	6,511204	6,67589	7,089456
	0,5	6,02298	6,228629	6,365278	6,762729	6,91127	6,993464	7,221842
	1	7,451449	7,451449	7,451449	7,451449	7,451449	7,451449	7,451449
	2	9,044162	8,896078	8,772176	8,273677	8,095104	8,021908	7,810199
	3	10,075515	9,857639	9,669216	8,835357	8,508327	8,385541	8,08078
	4	10,862164	10,599155	10,367782	9,282071	8,820632	8,651337	8,294113
C=4	**0,25**	4,456587	4,801548	5,003391	5,902144	6,242268	6,410475	6,84038
	0,5	5,517682	5,958162	6,094565	6,500038	6,654155	6,739901	6,979649
	1	7,222266	7,222266	7,222266	7,222266	7,222266	7,222266	7,222266
	2	8,902205	8,747321	8,617498	8,093143	7,904627	7,827237	7,602854
	3	9,97202	9,747146	9,552241	8,684263	8,34125	8,212041	7,889861
	4	10,779648	10,510257	10,272793	9,151006	8,669676	8,492283	8,115772
C=5	**0,25**	4,430758	4,751192	4,935651	5,485463	5,727256	5,868014	6,454346
	0,5	5,336389	5,497928	5,60782	5,957538	6,15023	6,259419	6,739952
	1	6,982008	6,982008	6,982008	6,982008	6,982008	6,982008	6,982008
	2	8,721397	8,559259	8,423343	7,875549	7,679779	7,599716	7,368641
	3	9,836633	9,603037	9,400134	8,492914	8,13425	7,999505	7,664681
	4	10,671039	10,393375	10,147988	8,980924	8,477511	8,292123	7,899467
C=10	**0,25**	4,408447	4,714563	4,887647	5,377806	5,585519	5,701565	5,998631
	0,5	5,2463	5,387902	5,482807	5,763194	5,869651	5,928968	6,095611
	1	6,266039	6,266039	6,266039	6,266039	6,266039	6,266039	6,266039
	2	7,546794	7,418373	7,312362	6,899082	6,758947	6,701946	6,538178
	3	8,566008	8,290308	8,109716	7,367038	7,092319	6,991179	6,748316
	4	9,874051	9,570992	9,033951	7,757617	7,356116	7,21321	6,917055
C=200	**0,25**	4,406268	4,711461	4,883912	5,369159	5,572432	5,685614	5,97392
	0,5	5,239972	5,378911	5,471845	5,745466	5,848933	5,90646	6,067538
	1	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425
	2	7,41049	7,298357	7,204905	6,832572	6,700655	6,646726	6,49129
	3	8,201094	8,03283	7,887882	7,253682	7,008629	6,917052	6,690255
	4	8,812691	8,607521	8,427673	7,593195	7,244256	7,117073	6,848858
C=∞	**0,25**	4,406262	4,711454	4,883902	5,369145	5,572415	5,685596	5,973897
	0,5	5,239959	5,378897	5,47183	5,745447	5,848912	5,906439	6,067512
	1	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395
	2	7,41042	7,298292	7,204844	6,832526	6,700612	6,646686	6,491254
	3	8,200978	8,032726	7,887786	7,25362	7,008577	6,917003	6,690213
	4	8,812524	8,607375	8,427541	7,593118	7,244195	7,117016	6,84881

Çizelge EK-B.18 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=0, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	7,589858	8,111953	8,408066	9,249633	9,604619	9,801447	10,29725
	0,5	9,025913	9,26357	9,422981	9,896999	10,078404	10,178848	10,456055
	1	10,73368	10,73368	10,73368	10,73368	10,73368	10,73368	10,73368
	2	12,764569	12,572774	12,412582	11,769582	11,537825	11,44217	11,172851
	3	14,126317	13,83852	13,590074	12,495574	12,066109	11,903325	11,508197
	4	15,179716	14,828803	14,52055	13,080956	12,470657	12,244762	11,774946
C=1	**0,25**	7,54359	8,074245	8,374245	9,224147	9,581805	9,779968	10,278768
	0,5	8,998544	9,238297	9,398986	9,876258	10,058727	10,159736	10,438437
	1	10,717452	10,717452	10,717452	10,717452	10,717452	10,717452	10,717452
	2	12,754934	12,562683	12,40209	11,757274	11,524792	11,428831	11,158543
	3	14,119213	13,830954	13,582079	12,485283	12,054718	11,891496	11,495157
	4	15,173992	14,822655	14,513996	13,07198	12,460337	12,233901	11,762811
C=3	**0,25**	7,187061	7,773018	8,101343	9,016344	9,395545	9,604558	10,127852
	0,5	8,775141	9,031671	9,202718	9,70671	9,897958	10,003616	10,294617
	1	10,58506	10,58506	10,58506	10,58506	10,58506	10,58506	10,58506
	2	12,676925	12,480931	12,317041	11,657304	11,41883	11,320318	11,041977
	3	14,061892	13,769875	13,517499	12,401926	11,962333	11,795482	11,389073
	4	15,127897	14,773118	14,461157	12,999412	12,376775	12,145889	11,664206
C=4	**0,25**	6,796579	7,564513	7,899148	8,844296	9,237467	9,454138	9,996067
	0,5	8,593407	8,859716	9,03742	9,560448	9,758416	9,8677	10,168524
	1	10,468372	10,468372	10,468372	10,468372	10,468372	10,468372	10,468372
	2	12,607697	12,408373	12,241552	11,56863	11,324886	11,224121	10,938732
	3	14,01115	13,715778	13,460278	12,327995	11,880397	11,710317	11,294948
	4	15,087179	14,729333	14,41443	12,935111	12,302707	12,067855	11,576672
C=5	**0,25**	6,689136	7,206803	7,510079	8,660632	9,059501	9,280681	9,836932
	0,5	8,406949	8,675242	8,855464	9,389716	9,592779	9,705019	10,014555
	1	10,323611	10,323611	10,323611	10,323611	10,323611	10,323611	10,323611
	2	12,518252	12,314742	12,144266	11,455267	11,205275	11,101864	10,808377
	3	13,945384	13,645681	13,386164	12,232726	11,775252	11,601223	11,175056
	4	15,03442	14,672591	14,353874	12,852009	12,207334	11,967549	11,46463
C=10	**0,25**	6,572435	7,035153	7,299646	8,057969	8,384655	8,568684	9,037645
	0,5	7,850602	8,067706	8,214596	8,659627	8,830428	8,925407	9,190311
	1	9,459866	9,459866	9,459866	9,459866	9,459866	9,459866	9,459866
	2	11,889222	11,673479	11,393107	10,492064	10,25841	10,162863	9,893671
	3	13,424663	13,100354	12,819989	11,561009	10,843296	10,637028	10,231411
	4	14,59979	14,209983	13,865919	12,247984	11,514406	11,096266	10,505667
C=200	**0,25**	6,544714	6,996227	7,252844	7,979797	8,284282	8,452971	8,879008
	0,5	7,783045	7,988318	8,126127	8,535488	8,691344	8,777535	9,015979
	1	9,255709	9,255709	9,255709	9,255709	9,255709	9,255709	9,255709
	2	11,00709	10,841612	10,70354	10,150552	9,951563	9,869208	9,635923
	3	12,181498	11,933211	11,719145	10,778723	10,410625	10,270744	9,927394
	4	13,090033	12,787299	12,52174	11,285359	10,762787	10,569087	10,160178
C=∞	**0,25**	6,544694	6,996198	7,25281	7,979745	8,284221	8,452904	8,878919
	0,5	7,782997	7,988263	8,126067	8,535413	8,691263	8,77745	9,015882
	1	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595
	2	11,00682	10,841363	10,703308	10,150373	9,951398	9,869048	9,635778
	3	12,181048	11,932809	11,71878	10,778485	10,410419	10,270547	9,92722
	4	13,089388	12,786731	12,521233	11,285063	10,762548	10,568861	10,159981

Çizelge EK-B.19 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	1,169785	1,174266	1,176227	1,180257	1,181471	1,182061	1,183338
	0,5	1,179364	1,180334	1,180916	1,182364	1,182829	1,183074	1,183693
	1	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254	1,184254
	2	1,186721	1,186566	1,186425	1,185769	1,185496	1,18538	1,185001
	3	1,18755	1,187402	1,187267	1,186496	1,186103	1,185943	1,185483
	4	1,187961	1,187839	1,187717	1,186946	1,186483	1,18629	1,185814
C=1	**0,25**	3,093238	3,376581	3,528654	3,937686	4,104317	4,196493	4,429895
	0,5	3,832724	3,948799	4,025503	4,247341	4,330125	4,376168	4,505418
	1	4,636938	4,636938	4,636938	4,636938	4,636938	4,636938	4,636938
	2	5,557983	5,470875	5,398201	5,108331	5,006162	4,964716	4,843806
	3	6,166537	6,036838	5,924974	5,434316	5,245085	5,175068	5,000849
	4	6,634668	6,477137	6,338881	5,695573	5,426542	5,329362	5,125184
C=3	**0,25**	2,086535	2,181761	2,221476	2,224287	2,341421	2,448673	2,783619
	0,5	2,246705	2,22122	2,257178	2,513168	2,627264	2,696443	2,920281
	1	3,212084	3,212084	3,212084	3,212084	3,212084	3,212084	3,212084
	2	5,076054	4,963761	4,869024	4,482459	4,343713	4,287217	4,121923
	3	5,82396	5,669331	5,534048	4,916441	4,667037	4,573314	4,336885
	4	6,365204	6,185609	6,025941	5,25068	4,90685	4,779528	4,50629
C=4	**0,25**	2,151825	2,281126	2,349699	2,516891	2,570251	2,59352	2,621041
	0,5	2,477439	2,520618	2,546506	2,604031	2,616168	2,619927	2,615547
	1	2,578701	2,578701	2,578701	2,578701	2,578701	2,578701	2,578701
	2	4,665234	4,545716	3,752417	3,162403	3,0069	2,948716	2,792477
	3	5,498665	5,323836	5,171276	3,850082	3,408946	3,27799	2,999808
	4	6,10701	5,906254	5,726731	4,85576	3,831606	3,590141	3,192263
C=5	**0,25**	2,177282	2,317248	2,393949	2,59764	2,676298	2,71794	2,814879
	0,5	2,545936	2,602634	2,639327	2,740289	2,775268	2,793929	2,842765
	1	2,88568	2,88568	2,88568	2,88568	2,88568	2,88568	2,88568
	2	3,287915	3,173401	3,084072	2,930626	2,943038	2,943486	2,932954
	3	5,126799	4,163377	3,906301	3,128846	2,913393	2,911218	2,943509
	4	5,775313	5,557376	5,365337	3,491706	3,120884	3,006894	2,92705
C=10	**0,25**	2,207515	2,358439	2,443018	2,67812	2,775627	2,829798	2,967437
	0,5	2,616506	2,684101	2,729045	2,859759	2,908603	2,935761	3,012027
	1	3,089576	3,089576	3,089576	3,089576	3,089576	3,089576	3,089576
	2	3,614288	3,56696	3,526986	3,36392	3,305318	3,281379	3,210986
	3	3,919009	3,85881	3,804528	3,547317	3,442122	3,402538	3,3024
	4	4,101697	4,047555	3,99342	3,688056	3,54368	3,489925	3,374127
C=200	**0,25**	2,216746	2,370679	2,457331	2,700079	2,801773	2,858581	3,004082
	0,5	2,63615	2,706287	2,753087	2,890085	2,941655	2,97043	3,051629
	1	3,13488	3,13488	3,13488	3,13488	3,13488	3,13488	3,13488
	2	3,727908	3,671274	3,624111	3,436834	3,371153	3,344524	3,26687
	3	4,125482	4,040505	3,967344	3,648053	3,52571	3,480501	3,367851
	4	4,432981	4,32938	4,238603	3,818296	3,643748	3,580839	3,448255
C=∞	**0,25**	2,216769	2,370709	2,457367	2,700132	2,801834	2,858649	3,004169
	0,5	2,636198	2,706339	2,753147	2,890158	2,941734	2,97051	3,051722
	1	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985
	2	3,728146	3,671496	3,62432	3,436995	3,371301	3,344666	3,266998
	3	4,125874	4,040859	3,967666	3,648268	3,525892	3,480672	3,368
	4	4,433538	4,329877	4,239051	3,818565	3,643963	3,581035	3,448419

Çizelge EK-B.20 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 2. mod frekansları

C	E_r	***n=0***	***n=0,1***	***n=0,2***	***n=1***	***n=2***	***n=3***	***n=10***
C=0	**0,25**	1,5603	1,561194	1,561585	1,562383	1,562623	1,562735	1,562984
	0,5	1,562203	1,562393	1,562505	1,562793	1,562881	1,56293	1,563047
	1	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155	1,563155
	2	1,563633	1,563604	1,563574	1,563447	1,563399	1,563374	1,563301
	3	1,563789	1,563765	1,563735	1,563589	1,563516	1,563482	1,563394
	4	1,563872	1,563848	1,563823	1,563677	1,563589	1,56355	1,563457
C=1	**0,25**	5,400498	5,795393	6,016544	6,635102	6,8936	7,037275	7,401876
	0,5	6,472384	6,648837	6,766607	7,112746	7,243712	7,316502	7,519793
	1	7,725881	7,725881	7,725881	7,725881	7,725881	7,725881	7,725881
	2	9,204564	9,064316	8,947331	8,480234	8,314332	8,24654	8,051749
	3	10,192709	9,982641	9,801506	9,00699	8,699044	8,583971	8,300449
	4	10,956092	10,70019	10,475647	9,431075	8,992813	8,83298	8,498154
C=3	**0,25**	4,534819	5,23671	5,492663	6,215119	6,514068	6,678901	7,092608
	0,5	6,024988	6,231096	6,367971	6,7658	6,914397	6,996609	7,224987
	1	7,454542	7,454542	7,454542	7,454542	7,454542	7,454542	7,454542
	2	9,0464	8,898399	8,774569	8,276363	8,097891	8,024736	7,813141
	3	10,077234	9,859458	9,671124	8,83771	8,51087	8,388156	8,083575
	4	10,863573	10,600661	10,369378	9,284175	8,82299	8,653792	8,296782
C=4	**0,25**	4,447967	4,792365	4,993944	5,941969	6,242106	6,410734	6,841508
	0,5	5,516957	5,957207	6,094004	6,500509	6,654947	6,740855	6,980989
	1	7,223899	7,223899	7,223899	7,223899	7,223899	7,223899	7,223899
	2	8,903908	8,749064	8,619254	8,094783	7,906206	7,828827	7,604521
	3	9,973329	9,748527	9,553653	8,685527	8,342422	8,213257	7,891436
	4	10,78066	10,511344	10,273906	9,15187	8,670403	8,493061	8,117147
C=5	**0,25**	4,425548	4,745557	4,929566	5,478821	5,720437	5,861376	6,474368
	0,5	5,329877	5,491274	5,601081	5,956425	6,149657	6,259211	6,739421
	1	6,981907	6,981907	6,981907	6,981907	6,981907	6,981907	6,981907
	2	8,722823	8,560646	8,424685	7,876571	7,680624	7,600477	7,369125
	3	9,838039	9,604475	9,40159	8,494277	8,135452	8,000621	7,665514
	4	10,672289	10,394682	10,149342	8,982377	8,478866	8,293407	7,900513
C=10	**0,25**	4,407319	4,713352	4,886388	5,376257	5,583905	5,699915	5,996884
	0,5	5,24479	5,386349	5,481224	5,761523	5,867946	5,927245	6,093832
	1	6,264206	6,264206	6,264206	6,264206	6,264206	6,264206	6,264206
	2	7,544506	7,416116	7,310131	6,897039	6,756952	6,69997	6,536255
	3	8,565705	8,28798	8,107321	7,364794	7,090149	6,989038	6,746324
	4	9,874018	9,570826	9,04003	7,755284	7,353877	7,211009	6,915009
C=200	**0,25**	4,406266	4,711459	4,883908	5,369155	5,572428	5,685612	5,973917
	0,5	5,239968	5,378908	5,471841	5,745462	5,848931	5,906456	6,067534
	1	6,231421	6,231421	6,231421	6,231421	6,231421	6,231421	6,231421
	2	7,410486	7,298352	7,2049	6,832568	6,700651	6,646722	6,491287
	3	8,201089	8,032825	7,887877	7,253678	7,008625	6,917048	6,690251
	4	8,812685	8,607516	8,427668	7,593191	7,244252	7,117068	6,848853
C=∞	**0,25**	4,406262	4,711454	4,883902	5,369145	5,572415	5,685596	5,973897
	0,5	5,239959	5,378897	5,47183	5,745447	5,848912	5,906439	6,067512
	1	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395
	2	7,41042	7,298292	7,204844	6,832526	6,700612	6,646686	6,491254
	3	8,200978	8,032726	7,887786	7,25362	7,008577	6,917003	6,690213
	4	8,812524	8,607375	8,427541	7,593118	7,244195	7,117016	6,84881

Çizelge EK-B.21 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1, 3. mod frekansları

C	***E_r***	***n=0***	***n=0,1***	***n=0,2***	***n=1***	***n=2***	***n=3***	***n=10***
C=0	**0,25**	3,382433	3,603855	3,729365	4,084186	4,234209	4,31823	4,53371
	0,5	3,991168	4,094074	4,162847	4,364756	4,441101	4,483759	4,604156
	1	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758	4,72758
	2	5,61088	5,526329	5,455916	5,176338	5,078345	5,038685	4,923382
	3	6,205322	6,078175	5,96869	5,490873	5,307896	5,240413	5,073176
	4	6,665828	6,510627	6,374607	5,744733	5,483282	5,389205	5,192372
C=1	**0,25**	7,547671	8,07762	8,377285	9,226454	9,583875	9,781922	10,28046
	0,5	9,00103	9,2406	9,401176	9,878155	10,060526	10,161484	10,440054
	1	10,718947	10,718947	10,718947	10,718947	10,718947	10,718947	10,718947
	2	12,755827	12,563617	12,40306	11,75841	11,525995	11,430063	11,159866
	3	14,119873	13,831656	13,58282	12,486232	12,055768	11,892588	11,496366
	4	15,174524	14,823226	14,514604	13,072807	12,461287	12,234902	11,763936
C=3	**0,25**	7,188188	7,774644	8,103083	9,018063	9,397188	9,60615	10,129307
	0,5	8,776912	9,033401	9,204414	9,708278	9,899474	10,005103	10,296026
	1	10,586387	10,586387	10,586387	10,586387	10,586387	10,586387	10,586387
	2	12,677776	12,481818	12,317959	11,658359	11,41994	11,321451	11,043181
	3	14,062532	13,770553	13,518213	12,402824	11,963317	11,7965	11,390188
	4	15,128417	14,773675	14,46175	13,000204	12,377674	12,14683	11,665253
C=4	**0,25**	6,79869	7,56456	7,899551	8,845297	9,238573	9,455275	9,997222
	0,5	8,594315	8,860737	9,038493	9,561598	9,759573	9,868857	10,16967
	1	10,469492	10,469492	10,469492	10,469492	10,469492	10,469492	10,469492
	2	12,608501	12,409206	12,242411	11,569593	11,325885	11,225137	10,939792
	3	14,01177	13,716433	13,460964	12,328837	11,881306	11,711252	11,295952
	4	15,087688	14,729876	14,415005	12,935864	12,426937	12,068731	11,577628
C=5	**0,25**	6,687234	7,205111	7,508513	8,660805	9,059913	9,281199	9,837642
	0,5	8,406945	8,675432	8,855769	9,390285	9,59342	9,705695	10,015304
	1	10,324409	10,324409	10,324409	10,324409	10,324409	10,324409	10,324409
	2	12,518983	12,315492	12,145032	11,456081	11,206099	11,102691	10,809206
	3	13,945973	13,647305	13,386808	12,23348	11,776041	11,602024	11,175883
	4	15,034912	14,673114	14,354426	12,852702	12,208085	11,96832	11,465441
C=10	**0,25**	6,571545	7,034193	7,298646	8,056926	8,383515	8,567524	9,03695
	0,5	7,849516	8,066659	8,213473	8,658922	8,829726	8,924707	9,189624
	1	9,459197	9,459197	9,459197	9,459197	9,459197	9,459197	9,459197
	2	11,889221	11,673436	11,395984	10,491489	10,257824	10,162266	9,893043
	3	13,424879	13,100537	12,820138	11,564187	10,843868	10,636482	10,230825
	4	14,600073	14,21025	13,866167	12,248045	11,517439	11,096935	10,505102
C=200	**0,25**	6,544713	6,996224	7,252842	7,979795	8,28428	8,452969	8,879005
	0,5	7,783042	7,988316	8,126125	8,535485	8,691342	8,777532	9,015976
	1	9,255706	9,255706	9,255706	9,255706	9,255706	9,255706	9,255706
	2	11,007088	10,841609	10,703538	10,150549	9,95156	9,869206	9,63592
	3	12,181494	11,933208	11,719141	10,77872	10,410622	10,270741	9,92739
	4	13,09003	12,787296	12,521737	11,285356	10,762784	10,569084	10,160176
C=∞	**0,25**	6,544694	6,996197	7,25281	7,979744	8,28422	8,452904	8,878919
	0,5	7,782997	7,988263	8,126067	8,535413	8,691263	8,77745	9,015882
	1	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595
	2	11,00682	10,841363	10,703308	10,150373	9,951398	9,869048	9,635778
	3	12,181048	11,932809	11,71878	10,778485	10,41042	10,270547	9,92722
	4	13,089388	12,786731	12,521233	11,285063	10,762547	10,568861	10,159981

Çizelge EK-B.22 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	1,841957	1,893554	1,918021	1,972167	1,989678	1,998377	2,017637
	0,5	1,959705	1,973289	1,981605	2,0029	2,009869	2,013535	2,023099
	1	2,031816	2,031816	2,031816	2,031816	2,031816	2,031816	2,031816
	2	2,071854	2,069242	2,066917	2,056136	2,05167	2,049743	2,043701
	3	2,085827	2,083377	2,08106	2,068121	2,061595	2,058903	2,051437
	4	2,092936	2,09081	2,088737	2,075661	2,067918	2,064671	2,056877
C=1	**0,25**	1,861887	1,916992	1,942888	1,998763	2,016118	2,024552	2,042675
	0,5	1,986158	1,999895	2,008179	2,02888	2,035464	2,038888	2,04766
	1	2,055445	2,055445	2,055445	2,055445	2,055445	2,055445	2,055445
	2	2,256632	2,11873	2,091452	2,075913	2,072309	2,07073	2,065698
	3	2,306157	2,296151	2,287335	2,104838	2,080215	2,07811	2,072121
	4	2,341612	2,329624	2,319222	2,268634	2,102471	2,082593	2,076511
C=3	**0,25**	1,994993	2,086634	2,131939	2,229333	2,255774	2,266798	2,283675
	0,5	2,208254	2,23122	2,244238	2,271832	2,278345	2,281137	2,286043
	1	2,287105	2,287105	2,287105	2,287105	2,287105	2,287105	2,287105
	2	5,148854	5,034691	4,937336	4,52499	4,368192	4,302503	2,659588
	3	5,891359	5,739224	5,605762	4,986084	4,725439	4,624668	4,360427
	4	6,422549	6,246355	6,08969	5,324213	4,976122	4,844122	4,551462
C=4	**0,25**	2,062869	2,178371	2,239382	2,388843	2,439003	2,46298	2,508989
	0,5	2,353126	2,392177	2,416132	2,47496	2,492169	2,500485	2,518737
	1	2,52912	2,52912	2,52912	2,52912	2,52912	2,52912	2,52912
	2	4,654775	3,427821	3,211765	2,692052	2,544209	2,519139	2,528415
	3	5,540246	5,360062	5,200795	3,313513	2,917024	2,798801	2,53716
	4	6,15437	5,953302	5,772334	4,86383	3,294088	3,073849	2,719483
C=5	**0,25**	2,109651	2,240119	2,311317	2,498712	2,57014	2,607668	2,694206
	0,5	2,451412	2,503237	2,536618	2,627707	2,658973	2,675592	2,718923
	1	2,757051	2,757051	2,757051	2,757051	2,757051	2,757051	2,757051
	2	3,006371	2,899349	2,813485	2,82111	2,81904	2,816158	2,801355
	3	4,285022	3,859502	3,588896	2,856879	2,81193	2,818422	2,818902
	4	5,796855	5,5711	5,370034	3,187662	2,849268	2,799281	2,82098
C=10	**0,25**	2,1879	2,337086	2,420675	2,652927	2,749189	2,802648	2,938394
	0,5	2,59207	2,658826	2,703203	2,832206	2,880383	2,907165	2,982342
	1	3,058734	3,058734	3,058734	3,058734	3,058734	3,058734	3,058734
	2	3,573469	3,527272	3,488204	3,328457	3,27093	3,247414	3,178218
	3	3,868598	3,810736	3,758327	3,508083	3,405143	3,366344	3,268063
	4	4,041201	3,990755	3,939609	3,645336	3,504535	3,451959	3,338474
C=200	**0,25**	2,216696	2,370626	2,457277	2,700017	2,801709	2,858515	3,004015
	0,5	2,636092	2,706226	2,753024	2,890021	2,941589	2,970362	3,051561
	1	3,13481	3,13481	3,13481	3,13481	3,13481	3,13481	3,13481
	2	3,727822	3,671191	3,624029	3,436755	3,371077	3,344449	3,266796
	3	4,125388	4,040414	3,967253	3,647969	3,525629	3,480421	3,367775
	4	4,432881	4,329282	4,238507	3,818209	3,643666	3,580758	3,448176
C=∞	**0,25**	2,216769	2,370709	2,457367	2,700132	2,801834	2,858649	3,004169
	0,5	2,636198	2,706339	2,753147	2,890158	2,941734	2,97051	3,051722
	1	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985
	2	3,728146	3,671496	3,62432	3,436995	3,371301	3,344666	3,266998
	3	4,125874	4,040859	3,967666	3,648268	3,525892	3,480672	3,368
	4	4,433538	4,329877	4,239051	3,818565	3,643963	3,581035	3,448419

Çizelge EK-B.23 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	2,71417	2,729866	2,736746	2,750809	2,755023	2,757054	2,761412
	0,5	2,747649	2,750997	2,753009	2,758044	2,759652	2,760484	2,762615
	1	2,764512	2,764512	2,764512	2,764512	2,764512	2,764512	2,764512
	2	2,772961	2,772431	2,771958	2,769723	2,768775	2,768359	2,767059
	3	2,775783	2,775295	2,774833	2,772214	2,770861	2,770289	2,768692
	4	2,77719	2,776773	2,776365	2,773757	2,772174	2,771496	2,769834
C=1	**0,25**	3,551863	3,752923	3,867503	4,195368	4,335778	4,414829	4,618788
	0,5	4,109057	4,204818	4,269062	4,458788	4,530953	4,571375	4,685825
	1	4,80366	4,80366	4,80366	4,80366	4,80366	4,80366	4,80366
	2	5,658068	5,575601	5,507012	5,235598	5,140858	5,102581	4,991507
	3	6,240646	6,115679	6,008217	5,541086	5,36316	5,2977	5,1359
	4	6,694509	6,541349	6,407282	5,788911	5,53373	5,442177	5,251177
C=3	**0,25**	4,615973	5,217321	5,488227	6,236579	6,54011	6,706408	7,121461
	0,5	6,041985	6,253001	6,392252	6,793887	6,943029	7,025396	7,253764
	1	7,4828	7,4828	7,4828	7,4828	7,4828	7,4828	7,4828
	2	9,066651	8,919423	8,796251	8,300747	8,123231	8,050463	7,839943
	3	10,092756	9,87588	9,688368	8,85903	8,533937	8,411891	8,10899
	4	10,876279	10,614238	10,38378	9,303203	8,844347	8,676049	8,321024
C=4	**0,25**	4,597013	4,858833	5,02461	5,929367	6,238391	6,411429	6,851099
	0,5	5,501655	5,945069	6,086074	6,503401	6,661149	6,748701	6,992714
	1	7,238521	7,238521	7,238521	7,238521	7,238521	7,238521	7,238521
	2	8,921508	8,767013	8,637451	8,113342	7,924535	7,846992	7,621894
	3	9,98784	9,763721	9,569435	8,703571	8,36093	8,231827	7,909766
	4	10,792841	10,524273	10,287519	9,168786	8,688441	8,511388	8,135735
C=5	**0,25**	4,398254	4,84663	4,998105	5,489457	5,731095	5,866877	6,593296
	0,5	5,337545	5,500764	5,610873	5,942204	6,140616	6,306029	6,733244
	1	6,980004	6,980004	6,980004	6,980004	6,980004	6,980004	6,980004
	2	8,735726	8,57319	8,43681	7,885656	7,688002	7,607054	7,373002
	3	9,850767	9,617487	9,41477	8,506602	8,146256	8,010617	7,672787
	4	10,683576	10,40649	10,16158	8,995541	8,491124	8,304986	7,909839
C=10	**0,25**	4,397083	4,702343	4,874937	5,362127	5,569175	5,684843	5,98093
	0,5	5,231668	5,372174	5,466779	5,746267	5,852377	5,911498	6,077588
	1	6,247449	6,247449	6,247449	6,247449	6,247449	6,247449	6,247449
	2	7,523479	7,395381	7,289649	6,878349	6,738697	6,681889	6,518674
	3	8,562629	8,266495	8,085265	7,34419	7,070241	6,969396	6,728104
	4	9,873635	9,569222	9,098628	7,73383	7,333318	7,190805	6,896277
C=200	**0,25**	4,406239	4,711432	4,883881	5,369126	5,572397	5,685578	5,973883
	0,5	5,239939	5,378877	5,471811	5,74543	5,848897	5,906423	6,0675
	1	6,231386	6,231386	6,231386	6,231386	6,231386	6,231386	6,231386
	2	7,410444	7,29831	7,204859	6,832529	6,700613	6,646684	6,49125
	3	8,201042	8,03278	7,887832	7,253637	7,008585	6,917008	6,690213
	4	8,812635	8,607467	8,42762	7,593147	7,244211	7,117029	6,848815
C=∞	**0,25**	4,406262	4,711454	4,883902	5,369145	5,572415	5,685596	5,973897
	0,5	5,239959	5,378897	5,47183	5,745447	5,848912	5,906439	6,067512
	1	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395
	2	7,41042	7,298292	7,204844	6,832526	6,700612	6,646686	6,491254
	3	8,200978	8,032726	7,887786	7,25362	7,008577	6,917003	6,690213
	4	8,812524	8,607375	8,427541	7,593118	7,244195	7,117016	6,84881

Çizelge EK-B.24 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=10, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	3,795051	3,954489	4,04952	4,333813	4,459856	4,531693	4,719441
	0,5	4,25742	4,342094	4,399535	4,571742	4,638119	4,675469	4,781799
	1	4,892104	4,892104	4,892104	4,892104	4,892104	4,892104	4,892104
	2	5,710445	5,630469	5,564073	5,302581	5,211834	5,17526	5,069522
	3	6,279189	6,156733	6,051604	5,596979	5,425094	5,362077	5,206996
	4	6,725522	6,574664	6,4428	5,837561	5,589744	5,501202	5,317326
C=1	**0,25**	5,502016	5,879268	6,092136	6,692466	6,945053	7,085776	7,443771
	0,5	6,534002	6,70589	6,82085	7,159732	7,288298	7,35982	7,559791
	1	7,762817	7,762817	7,762817	7,762817	7,762817	7,762817	7,762817
	2	9,226606	9,087388	8,97131	8,508319	8,344082	8,277007	8,084432
	3	10,208991	9,999967	9,819804	9,030488	8,725062	8,611015	8,330301
	4	10,969222	10,71428	10,490659	9,451576	9,016385	8,857813	8,525977
C=3	**0,25**	7,197942	7,789396	8,11894	9,033712	9,412114	9,620611	10,142484
	0,5	8,793043	9,049156	9,219833	9,722506	9,914739	10,018591	10,308778
	1	10,598401	10,598401	10,598401	10,598401	10,598401	10,598401	10,598401
	2	12,685451	12,489821	12,326246	11,667895	11,429969	11,331693	11,054069
	3	14,068303	13,776674	13,524656	12,410935	11,972205	11,805706	11,400264
	4	15,133109	14,778696	14,467084	13,007345	12,385782	12,155335	11,674717
C=4	**0,25**	6,816497	7,564289	7,902796	8,854327	9,248584	9,465579	10,007682
	0,5	8,602454	8,869947	9,048204	9,572024	9,770061	9,879347	10,18005
	1	10,479631	10,479631	10,479631	10,479631	10,479631	10,479631	10,479631
	2	12,615757	12,416732	12,250165	11,578288	11,33492	11,234314	10,949373
	3	14,01736	13,722339	13,467157	12,336441	11,889516	11,7197	11,305024
	4	15,092277	14,734774	14,420193	12,942657	12,311141	12,076638	11,586273
C=5	**0,25**	6,661056	7,188743	7,508155	8,662136	9,063505	9,2858	9,844039
	0,5	8,406577	8,67692	8,858353	9,395363	9,599172	9,711767	10,022073
	1	10,331623	10,331623	10,331623	10,331623	10,331623	10,331623	10,331623
	2	12,525582	12,322266	12,151945	11,463437	11,213548	11,11017	10,816708
	3	13,951289	13,651879	13,392618	12,240287	11,783176	11,609268	11,183352
	4	15,039351	14,677829	14,359395	12,858959	12,21487	11,975286	11,472779
C=10	**0,25**	6,563457	7,02547	7,289561	8,047418	8,373122	8,556947	9,02966
	0,5	7,840215	8,057113	8,203541	8,648628	9,328804	9,439589	9,18333
	1	9,453071	9,453071	9,453071	9,453071	9,453071	9,453071	9,453071
	2	11,889189	11,673015	11,422461	10,48621	10,252444	10,156788	9,887292
	3	13,426821	13,102181	12,821471	11,588527	10,848972	10,631475	10,225454
	4	14,602614	14,212661	13,868406	12,248583	11,545396	11,108028	10,499926
C=200	**0,25**	6,544696	6,996207	7,252824	7,979775	8,284259	8,452948	8,878983
	0,5	7,783023	7,988296	8,126105	8,535464	8,69132	8,77751	9,015954
	1	9,255683	9,255683	9,255683	9,255683	9,255683	9,255683	9,255683
	2	11,00706	10,841582	10,703511	10,150524	9,951536	9,869182	9,635896
	3	12,181464	11,933178	11,719112	10,778693	10,410596	10,270716	9,927366
	4	13,089997	12,787264	12,521705	11,285328	10,762758	10,569058	10,16015
C=∞	**0,25**	6,544694	6,996197	7,25281	7,979744	8,28422	8,452904	8,878919
	0,5	7,782997	7,988263	8,126067	8,535413	8,691263	8,77745	9,015882
	1	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595
	2	11,00682	10,841363	10,703308	10,150373	9,951398	9,869048	9,635778
	3	12,181048	11,932809	11,71878	10,778485	10,41042	10,270547	9,92722
	4	13,089388	12,786731	12,521233	11,285063	10,762547	10,568861	10,159981

Çizelge EK-B.25 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	2,164684	2,298722	2,371907	2,566925	2,643756	2,685326	2,787184
	0,5	2,517072	2,571679	2,607336	2,707946	2,744309	2,764227	2,818988
	1	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869	2,872869
	2	3,189219	3,164023	3,142262	3,04867	3,01307	2,998216	2,953522
	3	3,339274	3,310919	3,284959	3,153428	3,09457	3,071567	3,011242
	4	3,427189	3,399978	3,374181	3,227418	3,15148	3,121733	3,054733
C=1	**0,25**	2,164789	2,298905	2,372151	2,567412	2,644391	2,686052	2,788189
	0,5	2,517485	2,572175	2,607896	2,70873	2,745189	2,765164	2,820097
	1	2,874173	2,874173	2,874173	2,874173	2,874173	2,874173	2,874173
	2	3,192205	3,166845	3,144942	3,050796	3,015005	3,000075	2,955164
	3	3,343259	3,314724	3,288591	3,156182	3,09696	3,07382	3,013168
	4	3,431653	3,404315	3,378378	3,230659	3,154219	3,124287	3,056892
C=3	**0,25**	2,165625	2,300333	2,374038	2,571221	2,649329	2,691712	2,796013
	0,5	2,520687	2,576045	2,612267	2,71482	2,75203	2,772447	2,828725
	1	2,884316	2,884316	2,884316	2,884316	2,884316	2,884316	2,884316
	2	3,215764	3,189059	3,166028	3,067421	3,030116	3,014587	2,967979
	3	3,375152	3,345067	3,317483	3,17784	3,115686	3,091474	3,028206
	4	3,467691	3,439227	3,412071	3,256312	3,175775	3,144334	3,073785
C=4	**0,25**	2,166338	2,301545	2,375636	2,574413	2,653458	2,696443	2,802542
	0,5	2,523377	2,579291	2,615927	2,719909	2,757741	2,778526	2,835923
	1	2,892789	2,892789	2,892789	2,892789	2,892789	2,892789	2,892789
	2	3,23583	3,207924	3,183894	3,081396	3,042795	3,026752	2,9787
	3	3,402939	3,371376	3,342425	3,196212	3,131481	3,106336	3,040819
	4	3,499607	3,469987	3,441616	3,27827	3,194056	3,161283	3,087993
C=5	**0,25**	2,167228	2,303047	2,37761	2,578333	2,658518	2,702232	2,810521
	0,5	2,526684	2,583276	2,620415	2,726133	2,764721	2,785955	2,844718
	1	2,903135	2,903135	2,903135	2,903135	2,903135	2,903135	2,903135
	2	3,260762	3,231298	3,205978	3,098553	3,058328	3,041648	2,99181
	3	3,438291	3,404667	3,373845	3,21895	3,150929	3,124607	3,056273
	4	3,540964	3,50961	3,479467	3,305684	3,216675	3,182199	3,105441
C=10	**0,25**	2,173646	2,313607	2,391272	2,604382	2,691645	2,739858	2,861564
	0,5	2,54889	2,609728	2,650007	2,766429	2,809666	2,833647	2,900764
	1	2,968699	2,968699	2,968699	2,968699	2,968699	2,968699	2,968699
	2	3,422361	3,381708	3,347361	3,206943	3,156291	3,135561	3,074488
	3	3,68643	3,633508	3,586293	3,364873	3,274387	3,240266	3,153735
	4	3,858008	3,803987	3,753387	3,485856	3,361775	3,315541	3,215713
C=200	**0,25**	2,216198	2,370091	2,456721	2,699409	2,801075	2,857867	3,003334
	0,5	2,635495	2,705613	2,752402	2,889365	2,940922	2,969687	3,050868
	1	3,134099	3,134099	3,134099	3,134099	3,134099	3,134099	3,134099
	2	3,726976	3,670356	3,623204	3,435974	3,370311	3,343688	3,266055
	3	4,124449	4,039494	3,96635	3,64714	3,524829	3,47963	3,367011
	4	4,431872	4,328297	4,237543	3,81734	3,642838	3,579944	3,447394
C=∞	**0,25**	2,216769	2,370709	2,457367	2,700132	2,801834	2,858649	3,004169
	0,5	2,636198	2,706339	2,753147	2,890158	2,941734	2,97051	3,051722
	1	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985
	2	3,728146	3,671496	3,62432	3,436995	3,371301	3,344666	3,266998
	3	4,125874	4,040859	3,967666	3,648268	3,525892	3,480672	3,368
	4	4,433538	4,329877	4,239051	3,818565	3,643963	3,581035	3,448419

Çizelge EK-B.26 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	4,008799	4,173858	4,255452	4,442881	4,504872	4,535739	4,604029
	0,5	4,39844	4,445808	4,475082	4,551042	4,576122	4,589277	4,623355
	1	4,654235	4,654235	4,654235	4,654235	4,654235	4,654235	4,654235
	2	4,797094	4,787886	4,779678	4,741365	4,725268	4,718236	4,696414
	3	4,84632	4,837771	4,829673	4,784121	4,760797	4,751019	4,723906
	4	4,871143	4,863778	4,856575	4,810869	4,783399	4,771687	4,743278
C=1	**0,25**	4,015782	4,183194	4,265904	4,455844	4,518939	4,551045	4,626169
	0,5	4,410709	4,458816	4,488315	4,566496	4,595226	4,608612	4,656306
	1	4,695958	4,695958	4,695958	4,695958	4,695958	4,695958	4,695958
	2	4,830696	4,823013	4,816002	4,781534	4,766324	4,759564	4,73826
	3	4,867841	4,861964	4,856159	4,819878	4,799367	4,790443	4,764947
	4	4,883294	4,879006	4,874577	4,841926	4,819283	4,80907	4,7832
C=3	**0,25**	4,068765	4,254543	4,346754	4,553498	4,623406	4,71539	5,080756
	0,5	4,50552	4,556937	4,589149	4,788418	5,014538	5,045431	5,127398
	1	5,201344	5,201344	5,201344	5,201344	5,201344	5,201344	5,201344
	2	5,242234	5,262064	5,277824	5,320813	5,319334	5,314451	5,287181
	3	5,103429	5,13185	5,157162	5,271175	5,306996	5,315334	5,316139
	4	5,010184	5,040043	5,067588	5,211288	5,273347	5,292632	5,316775
C=4	**0,25**	4,10862	4,312893	4,41375	4,636187	4,697319	4,847418	6,622287
	0,5	4,587436	4,640044	4,669712	4,942307	5,519999	5,666167	6,983957
	1	7,359686	7,359686	7,359686	7,359686	7,359686	7,359686	7,359686
	2	9,11084	8,961396	8,835681	8,319989	8,129141	8,049511	7,811538
	3	10,138747	9,922573	9,735327	8,899506	8,565067	8,437784	8,114552
	4	10,917778	10,657387	10,428244	9,348943	8,884413	8,712139	8,342727
C=5	**0,25**	4,158323	4,384216	4,504516	4,765018	4,794765	4,89602	5,403491
	0,5	4,710182	4,767792	4,79164	4,979542	5,142733	5,249113	6,222274
	1	6,660169	6,660169	6,660169	6,660169	6,660169	6,660169	6,660169
	2	8,873115	8,70564	8,563031	7,955528	7,717859	7,615806	7,298432
	3	9,984438	9,754896	9,554597	8,635871	8,250391	8,099395	7,699778
	4	10,800161	10,529049	10,289237	9,136001	8,619436	8,422621	7,984831
C=10	**0,25**	4,310274	4,600852	4,765092	5,227131	5,420504	5,528113	5,802009
	0,5	5,104094	5,236369	5,324823	5,585058	5,683354	5,737981	5,890872
	1	6,405722	6,405722	6,405722	6,405722	6,405722	6,405722	6,405722
	2	7,847576	7,72144	7,612084	7,321256	6,504707	6,497028	6,42603
	3	8,579809	8,373714	8,24594	7,672306	7,449563	7,38162	6,495035
	4	9,860068	9,539742	9,26023	7,998194	7,661486	7,53019	7,330824
C=200	**0,25**	4,406268	4,711461	4,883912	5,369159	5,572432	5,685614	5,97392
	0,5	5,239972	5,378911	5,471845	5,745466	5,848933	5,90646	6,067538
	1	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425	6,231425
	2	7,41049	7,298357	7,204905	6,832572	6,700655	6,646726	6,49129
	3	8,201094	8,03283	7,887882	7,253682	7,008629	6,917052	6,690255
	4	8,812691	8,607521	8,427673	7,593195	7,244256	7,117073	6,848858
C=∞	**0,25**	4,406262	4,711454	4,883902	5,369145	5,572415	5,685596	5,973897
	0,5	5,239959	5,378897	5,47183	5,745447	5,848912	5,906439	6,067512
	1	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395
	2	7,41042	7,298292	7,204844	6,832526	6,700612	6,646686	6,491254
	3	8,200978	8,032726	7,887786	7,25362	7,008577	6,917003	6,690213
	4	8,812524	8,607375	8,427541	7,593118	7,244195	7,117016	6,84881

Çizelge EK-B.27 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=100, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	5,361788	5,497641	5,566614	5,744078	5,815358	5,855008	5,957216
	0,5	5,698753	5,747811	5,780341	5,875998	5,912552	5,933034	5,991092
	1	6,051548	6,051548	6,051548	6,051548	6,051548	6,051548	6,051548
	2	6,543168	6,491349	6,448987	6,287735	6,233626	6,212042	6,15087
	3	6,936964	6,84865	6,77434	6,469733	6,361627	6,322869	6,230079
	4	7,274066	7,157666	7,057952	6,627237	6,464555	6,408321	6,295274
C=1	**0,25**	5,425267	5,558174	5,621403	5,774048	5,833997	5,867619	5,956088
	0,5	5,735907	5,777167	5,804482	5,885532	5,91705	5,934877	5,986107
	1	6,04058	6,04058	6,04058	6,04058	6,04058	6,04058	6,04058
	2	6,513386	6,461977	6,420111	6,262597	6,210647	6,190098	6,132388
	3	6,9081	6,819178	6,744473	6,440508	6,334292	6,296596	6,207354
	4	7,248154	7,130659	7,030044	6,597025	6,435342	6,379989	6,269988
C=3	**0,25**	6,430394	7,951348	8,305029	9,210405	9,577189	9,778944	10,283797
	0,5	8,978177	9,227114	9,392252	9,877585	10,061931	10,163863	10,283797
	1	10,72546	10,72546	10,72546	10,72546	10,72546	10,72546	10,72546
	2	12,764016	12,571883	12,411366	11,766637	11,534195	11,438312	11,167995
	3	14,126858	13,838873	13,590222	12,494179	12,063861	11,900838	11,505019
	4	15,180519	14,829501	14,521119	13,080259	12,469029	12,242855	11,772689
C=4	**0,25**	6,283876	7,370156	7,843799	8,945671	9,356014	9,577075	10,120538
	0,5	8,676145	8,964153	9,15092	9,685103	9,88367	9,992786	10,291639
	1	10,587845	10,587845	10,587845	10,587845	10,587845	10,587845	10,587845
	2	12,690324	12,494239	12,330194	11,668914	11,429501	11,330577	11,050492
	3	14,074177	13,782479	13,530332	12,414831	11,974644	11,807533	11,400065
	4	15,138702	14,784391	14,472822	13,012248	12,389438	12,158416	11,676357
C=5	**0,25**	6,100633	7,413383	7,532668	8,637816	9,082305	9,322067	9,908321
	0,5	8,346188	8,655192	8,858142	9,439413	9,653886	9,771302	10,091591
	1	10,407084	10,407084	10,407084	10,407084	10,407084	10,407084	10,407084
	2	12,593643	12,392299	12,223565	11,540315	11,291638	11,188651	10,895607
	3	14,005432	13,70882	13,452041	12,310723	11,857416	11,684825	11,2617
	4	15,084313	14,725665	14,409894	12,923252	12,28508	12,047584	11,549461
C=10	**0,25**	6,462715	6,914562	7,174298	8,192957	8,548474	8,687254	9,045485
	0,5	8,004229	8,20875	8,345258	8,753192	8,88486	8,95825	9,182186
	1	9,448114	9,448114	9,448114	9,448114	9,448114	9,448114	9,448114
	2	11,885727	11,664977	11,481103	10,449668	10,202697	10,123976	9,872343
	3	13,445975	13,118012	12,8338	11,578598	10,980217	10,662792	10,177381
	4	14,628306	14,236953	13,890834	12,251805	11,554889	11,298615	10,473975
C=200	**0,25**	6,544532	6,996033	7,252644	7,979576	8,284053	8,452737	8,878762
	0,5	7,782829	7,988097	8,125902	8,535251	8,691103	8,777292	9,015729
	1	9,255452	9,255452	9,255452	9,255452	9,255452	9,255452	9,255452
	2	11,006785	10,841312	10,703244	10,150271	9,951288	9,868935	9,635656
	3	12,18116	11,93288	11,71882	10,778425	10,410337	10,27046	9,927118
	4	13,08967	12,786944	12,521393	11,285047	10,76249	10,568795	10,159897
C=∞	**0,25**	6,544694	6,996197	7,25281	7,979744	8,28422	8,452904	8,878919
	0,5	7,782997	7,988263	8,126067	8,535413	8,691263	8,77745	9,015882
	1	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595
	2	11,00682	10,841363	10,703308	10,150373	9,951398	9,869048	9,635778
	3	12,181048	11,932809	11,71878	10,778485	10,41042	10,270547	9,92722
	4	13,089388	12,786731	12,521233	11,285063	10,762547	10,568861	10,159981

Çizelge EK-B.28 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 1. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	2,211377	2,363177	2,448358	2,685743	2,784548	2,839551	2,979743
	0,5	2,62342	2,691784	2,737296	2,869991	2,919719	2,947409	3,025323
	1	3,104829	3,104829	3,104829	3,104829	3,104829	3,104829	3,104829
	2	3,657522	3,605956	3,562793	3,389561	3,328158	3,303175	3,230037
	3	4,010447	3,936456	3,872094	3,584739	3,472136	3,430212	3,325065
	4	4,270729	4,184411	4,107611	3,739214	3,580811	3,523041	3,400211
C=1	**0,25**	2,211379	2,363176	2,44836	2,685744	2,784547	2,83955	2,979745
	0,5	2,623422	2,691783	2,737297	2,869991	2,919722	2,94741	3,025324
	1	3,104832	3,104832	3,104832	3,104832	3,104832	3,104832	3,104832
	2	3,657535	3,605968	3,562803	3,389567	3,328164	3,303181	3,230042
	3	4,010475	3,936478	3,872114	3,584748	3,472143	3,430219	3,32507
	4	4,270779	4,184451	4,107645	3,739229	3,580819	3,523051	3,400217
C=3	**0,25**	2,211379	2,363178	2,448362	2,685751	2,784556	2,839562	2,97976
	0,5	2,623428	2,69179	2,737303	2,870004	2,919735	2,947426	3,025341
	1	3,104854	3,104854	3,104854	3,104854	3,104854	3,104854	3,104854
	2	3,65763	3,606051	3,562879	3,389616	3,328205	3,303219	3,230072
	3	4,010692	3,936664	3,872273	3,584829	3,472203	3,430272	3,325111
	4	4,271163	4,184771	4,107915	3,739345	3,580899	3,523118	3,400267
C=4	**0,25**	2,211378	2,363181	2,448365	2,685757	2,784562	2,83957	2,979773
	0,5	2,62343	2,691796	2,737309	2,870012	2,919745	2,947436	3,025357
	1	3,104874	3,104874	3,104874	3,104874	3,104874	3,104874	3,104874
	2	3,657712	3,606124	3,562944	3,389658	3,328242	3,303251	3,230101
	3	4,010883	3,936825	3,872411	3,584897	3,472254	3,43032	3,325147
	4	4,271497	4,185051	4,108151	3,739448	3,580968	3,523178	3,400309
C=5	**0,25**	2,211381	2,363183	2,448367	2,685763	2,784572	2,83958	2,97979
	0,5	2,623436	2,691801	2,737316	2,870023	2,919758	2,947451	3,025377
	1	3,104897	3,104897	3,104897	3,104897	3,104897	3,104897	3,104897
	2	3,65782	3,606218	3,563028	3,389711	3,328286	3,303294	3,230134
	3	4,011127	3,937031	3,87259	3,584987	3,472321	3,430379	3,325192
	4	4,271926	4,185406	4,108454	3,739579	3,581056	3,523254	3,400364
C=10	**0,25**	2,211388	2,363198	2,448392	2,685818	2,784647	2,83967	2,979929
	0,5	2,623481	2,691857	2,737383	2,870125	2,919874	2,947578	3,025536
	1	3,105099	3,105099	3,105099	3,105099	3,105099	3,105099	3,105099
	2	3,658697	3,606991	3,563722	3,390156	3,328663	3,303646	3,230423
	3	4,013126	3,938723	3,874052	3,585721	3,472873	3,430873	3,325565
	4	4,275424	4,188326	4,110929	3,740648	3,581782	3,523882	3,400822
C=200	**0,25**	2,21401	2,367353	2,453668	2,695462	2,796758	2,853345	2,998295
	0,5	2,631781	2,701642	2,748261	2,884728	2,936102	2,964767	3,045664
	1	3,128609	3,128609	3,128609	3,128609	3,128609	3,128609	3,128609
	2	3,719582	3,663136	3,616128	3,429487	3,364035	3,337499	3,260121
	3	4,115896	4,031184	3,958249	3,639993	3,518059	3,473004	3,360745
	4	4,422467	4,319176	4,228672	3,809678	3,635705	3,573003	3,440869
C=∞	**0,25**	2,216769	2,370709	2,457367	2,700132	2,801834	2,858649	3,004169
	0,5	2,636198	2,706339	2,753147	2,890158	2,941734	2,97051	3,051722
	1	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985	3,134985
	2	3,728146	3,671496	3,62432	3,436995	3,371301	3,344666	3,266998
	3	4,125874	4,040859	3,967666	3,648268	3,525892	3,480672	3,368
	4	4,433538	4,329877	4,239051	3,818565	3,643963	3,581035	3,448419

Çizelge EK-B.29 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 2. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	4,364463	4,65304	4,81401	5,257033	5,437467	5,536421	5,783135
	0,5	5,140585	5,26567	5,348517	5,58827	5,67716	5,72613	5,86147
	1	5,996342	5,996342	5,996342	5,996342	5,996342	5,996342	5,996342
	2	6,865715	6,791595	6,728355	6,463591	6,365069	6,324101	6,20389
	3	7,331573	7,240896	7,159115	6,761737	6,591503	6,525591	6,357183
	4	7,623177	7,531907	7,446542	6,982641	6,755599	6,668144	6,475671
C=1	**0,25**	4,364478	4,653068	4,814047	5,257117	5,437582	5,536557	5,783338
	0,5	5,140655	5,265755	5,348614	5,588417	5,677331	5,726316	5,861702
	1	5,996629	5,996629	5,996629	5,996629	5,996629	5,996629	5,996629
	2	6,866644	6,792442	6,729136	6,464173	6,365572	6,324575	6,204286
	3	7,33311	7,242303	7,160406	6,762551	6,592155	6,526229	6,357682
	4	7,625109	7,533722	7,448237	6,983723	6,756407	6,668864	6,476264
C=3	**0,25**	4,364599	4,653287	4,814346	5,257782	5,43849	5,537631	5,784957
	0,5	5,141204	5,266429	5,349395	5,58959	5,678692	5,727791	5,863537
	1	5,998902	5,998902	5,998902	5,998902	5,998902	5,998902	5,998902
	2	6,874003	6,799151	6,735324	6,46879	6,369564	6,328331	6,207419
	3	7,345346	7,253492	7,170672	6,769005	6,597318	6,53128	6,361628
	4	7,640551	7,5482	7,461736	6,992297	6,762809	6,67458	6,480962
C=4	**0,25**	4,364705	4,653476	4,814607	5,258356	5,439276	5,538561	5,786352
	0,5	5,141682	5,267013	5,35007	5,590604	5,679866	5,729062	5,86512
	1	6,00086	6,00086	6,00086	6,00086	6,00086	6,00086	6,00086
	2	6,880352	6,804936	6,740657	6,472759	6,372997	6,331562	6,210116
	3	7,355966	7,263184	7,179551	6,774569	6,601766	6,535623	6,365021
	4	7,654031	7,560806	7,473464	6,999674	6,768326	6,679505	6,485001
C=5	**0,25**	4,36484	4,653719	4,814937	5,259131	5,440275	5,539742	5,788121
	0,5	5,14229	5,267758	5,350929	5,591891	5,681356	5,730677	5,867126
	1	6,003339	6,003339	6,003339	6,003339	6,003339	6,003339	6,003339
	2	6,888389	6,812253	6,747402	6,477767	6,377331	6,335641	6,213524
	3	7,369494	7,275507	7,190824	6,781607	6,60759	6,5411	6,369306
	4	7,671308	7,576918	7,488419	7,008991	6,775305	6,685732	6,490097
C=10	**0,25**	4,365932	4,655665	4,817584	5,265016	5,448102	5,548956	5,801804
	0,5	5,147094	5,27378	5,357674	5,601918	5,692925	5,743182	5,882589
	1	6,022363	6,022363	6,022363	6,022363	6,022363	6,022363	6,022363
	2	6,949876	6,870467	6,803564	6,515612	6,410176	6,366593	6,239483
	3	7,475785	7,376097	7,280921	6,838815	6,653911	6,582422	6,401782
	4	7,81142	7,707674	7,608721	7,079886	6,832283	6,737641	6,528596
C=200	**0,25**	4,403664	4,708638	4,880966	5,365877	5,569012	5,682118	5,970229
	0,5	5,236776	5,37562	5,468491	5,741928	5,845327	5,902813	6,063783
	1	6,227562	6,227562	6,227562	6,227562	6,227562	6,227562	6,227562
	2	7,405857	7,293797	7,200405	6,828315	6,696484	6,642591	6,487257
	3	8,195952	8,027796	7,882941	7,249154	7,004261	6,912743	6,686092
	4	8,807157	8,602119	8,422386	7,588449	7,239738	7,112638	6,844593
C=∞	**0,25**	4,406262	4,711454	4,883902	5,369145	5,572415	5,685596	5,973897
	0,5	5,239959	5,378897	5,47183	5,745447	5,848912	5,906439	6,067512
	1	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395	6,231395
	2	7,41042	7,298292	7,204844	6,832526	6,700612	6,646686	6,491254
	3	8,200978	8,032726	7,887786	7,25362	7,008577	6,917003	6,690213
	4	8,812524	8,607375	8,427541	7,593118	7,244195	7,117016	6,84881

Çizelge EK-B.30 Viskoelastik mesnetli kiriş, T_{oran}=20, K=1000, 3. mod frekansları

C	E_r	*n=0*	*n=0,1*	*n=0,2*	*n=1*	*n=2*	*n=3*	*n=10*
C=0	**0,25**	6,407462	6,803432	7,021277	7,603741	7,829989	7,950348	8,237747
	0,5	7,451234	7,609764	7,713477	8,0078	8,114113	8,17149	8,324955
	1	8,471392	8,471392	8,471392	8,471392	8,471392	8,471392	8,471392
	2	9,312789	9,248644	9,193	8,948879	8,851976	8,810352	8,687465
	3	9,702022	9,627693	9,56058	9,223504	9,0683	9,005236	8,8399
	4	9,948735	9,869859	9,798011	9,414328	9,217186	9,137143	8,953694
C=1	**0,25**	6,407692	6,803838	7,021827	7,604797	7,831342	7,951901	8,239733
	0,5	7,45212	7,610829	7,714674	8,009464	8,115892	8,173366	8,32709
	1	8,473767	8,473767	8,473767	8,473767	8,473767	8,473767	8,473767
	2	9,317879	9,252795	9,197106	8,951994	8,854997	8,813322	8,690192
	3	9,712545	9,638433	9,571377	9,227638	9,071787	9,008659	8,842915
	4	9,95735	9,87929	9,808029	9,424816	9,221318	9,140672	8,956825
C=3	**0,25**	6,409501	6,807035	7,026148	7,613102	7,841999	7,964055	8,255437
	0,5	7,459084	7,619209	7,724089	8,022486	8,129932	8,188172	8,344001
	1	8,492658	8,492658	8,492658	8,492658	8,492658	8,492658	8,492658
	2	9,368255	9,292355	9,229188	8,976758	8,878953	8,836835	8,711898
	3	9,801654	9,729014	9,662054	9,266709	9,099259	9,035583	8,866812
	4	10,030891	9,959666	9,893223	9,512563	9,257638	9,172655	8,981735
C=4	**0,25**	6,41105	6,809756	7,029816	7,620166	7,851078	7,974313	8,268898
	0,5	7,465005	7,626335	7,7321	8,033471	8,141927	8,20084	8,358537
	1	8,508995	8,508995	8,508995	8,508995	8,508995	8,508995	8,508995
	2	9,433556	9,324391	9,258504	8,998196	8,899589	8,857055	8,730713
	3	9,887764	9,815882	9,74832	9,298278	9,122675	9,058469	8,887392
	4	10,102948	10,038231	9,976186	9,59434	9,291768	9,198958	9,003316
C=5	**0,25**	6,412993	6,813155	7,034383	7,628972	7,862416	7,987133	8,285804
	0,5	7,472386	7,63522	7,742095	8,047055	8,158621	8,21672	8,376843
	1	8,529695	8,529695	8,529695	8,529695	8,529695	8,529695	8,529695
	2	9,538852	9,398584	9,303455	9,025422	8,925663	8,882555	8,75462
	3	10,012233	9,940163	9,870387	9,348688	9,151924	9,086981	8,913382
	4	10,208817	10,15342	10,097308	9,706988	9,33722	9,231056	9,030739
C=10	**0,25**	6,427365	6,837658	7,066845	7,698407	7,942885	8,078969	8,410734
	0,5	7,529832	7,705246	7,815815	8,144684	8,266937	8,333468	8,514758
	1	8,683896	8,683896	8,683896	8,683896	8,683896	8,683896	8,683896
	2	10,062749	9,815089	9,637753	9,234322	9,130594	9,081769	8,94214
	3	13,523818	12,949914	11,958536	9,735596	9,362318	9,299664	9,117186
	4	14,921549	14,500845	14,10353	10,82387	9,717911	9,482067	9,241468
C=200	**0,25**	6,542922	6,994306	7,250852	7,977601	8,281998	8,450639	8,876554
	0,5	7,780899	7,986115	8,123885	8,533131	8,688943	8,77511	9,013486
	1	9,253148	9,253148	9,253148	9,253148	9,253148	9,253148	9,253148
	2	11,004037	10,838606	10,700573	10,147741	9,948809	9,866477	9,633255
	3	12,178114	11,929897	11,715892	10,775738	10,407745	10,267904	9,924645
	4	13,086393	12,783745	12,518261	11,282234	10,759813	10,566167	10,157367
C=∞	**0,25**	6,544694	6,996197	7,25281	7,979744	8,28422	8,452904	8,878919
	0,5	7,782997	7,988263	8,126067	8,535413	8,691263	8,77745	9,015882
	1	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595	9,255595
	2	11,00682	10,841363	10,703308	10,150373	9,951398	9,869048	9,635778
	3	12,181048	11,932809	11,71878	10,778485	10,41042	10,270547	9,92722
	4	13,089388	12,786731	12,521233	11,285063	10,762547	10,568861	10,159981

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merter ALTINÖZ

Doğum Tarihi ve Yeri : 24.07.1984 / Balıkesir

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : merteraltinoz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Dokuz Eylül Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Karamürsel Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	İpek Kağıt San. ve Tic. A.Ş.	Ürün Geliştirme Uzmanı
2010	İpek Kağıt San. ve Tic. A.Ş.	Mekanik Bakım Uzmanı
2008	Teskon Mühendislik	Üretim Sorumlusu