

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA FGM KİRİŞİN DİNAMİK ANALİZİ

MEHMET SİNAN UYGUR

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

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. CİHAN DEMİR**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KİRİŞİN
DİNAMİK ANALİZİ

Mehmet Sinan UYGUR tarafından hazırlanan tez çalışması 26.06.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semih SEZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, çeşitli sınır şartları altındaki dinamik analizi incelenmiştir.

Bu çalışmanın giriş bölümünde, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler ve kullanım alanları ile literatürde yapılmış çalışmalar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemedan oluşan, viskoelastik mesnetli, çeşitli sınır şartları altında harmonik bir kuvvet uygulanan kirişe ait hareket denklemleri çıkarılmıştır.

Üçüncü bölümde, MATLAB programında yapılan analiz sonuçları ve bu sonuçlar doğrultusunda, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik analizi incelenmiştir.

Tezin son bölümü olan dördüncü bölümde ise, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Uzun ve yorucu bir çalışma sonucunda şekillenen bu tezin hazırlanması sürecinde, evvela yakın ilgisini ve özverili desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen, maddi manevi desteğinin yanında, bilimsel anlamdaki katkılarına da müteşekkir olduğum kıymetli hocam ve tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Cihan Demir olmak üzere her zaman samimi ve sıcak yaklaşımıyla moral bulduğum, bilgi ve deneyimlerinden istifade ettiğim, değerli hocam Doç.Dr. Semih Sezer'e, tez jüri üyelerinden mütevazi kişiliğinin yanısıra başarılı akademisyen kimliğine de şahit olduğum Doç.Dr. Mesut Şimşek'e, tezin hazırlığı aşamasındaki yardımlarından ötürü değerli arkadaşım Araştırma Görevlisi Fatih Ertuğrul Öz'e ve nihayet beni yetiştiren Sevgili Anne ve Babam başta olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2013

Mehmet Sinan UYGUR

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ..... | vii |
| KISALTMA LİSTESİ..... | viii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | ix |
| ÖZET | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| BÖLÜM 1 | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti..... | 3 |
| 1.2 Tezin Amacı..... | 8 |
| 1.3 Orijinal Katkı | 8 |
| BÖLÜM 2 | |
| MATEMATİK MODELLEME | 9 |
| 2.1 Harmonik Hareket | 9 |
| 2.2 Harmonik Analiz | 10 |
| 2.3 Lagrange Denklemleri..... | 12 |
| 2.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi | 12 |
| 2.4.1 Boyuna Uzama Hali..... | 13 |
| 2.4.2 Eğilme Hareketi..... | 17 |
| 2.5 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler | 22 |
| 2.5.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Kütle ve Rijitlik Matrislerinin Hesaplanması..... | 26 |
| 2.5.2 Noktasal Kütle Fiziksel Özelliklerinin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi..... | 29 |
| 2.5.3 Yayıllı Yük Fiziksel Özelliklerinin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi | 30 |
| 2.5.4 Sıcaklığın Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi | 38 |

BÖLÜM 3

| | |
|--|----|
| SAYISAL SONUÇLAR..... | 42 |
| 3.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Harmonik Analizi | 42 |
| 3.1.1 Yay Katsayısı $k=1$ için Yapılan Analiz Grafikleri | 43 |
| 3.1.1.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 43 |
| 3.1.1.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 46 |
| 3.1.1.3 $E_{oran}=1$ için elde edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 47 |
| 3.1.1.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 49 |
| 3.1.1.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 53 |
| 3.1.1.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 55 |
| 3.1.2 Yay Katsayısı $k=3$ için Yapılan Analiz Grafikleri | 56 |
| 3.1.2.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 57 |
| 3.1.2.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 59 |
| 3.1.2.3 $E_{oran}=1$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 61 |
| 3.1.2.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 63 |
| 3.1.2.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 65 |
| 3.1.2.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 67 |
| 3.1.3 Yay Katsayısı $k=10$ için Yapılan Analiz Grafikleri | 68 |
| 3.1.3.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 69 |
| 3.1.3.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 71 |
| 3.1.3.3 $E_{oran}=1$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 73 |
| 3.1.3.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 75 |
| 3.1.3.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 77 |
| 3.1.3.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 79 |
| 3.2 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Noktasal Kütle Değişimi Altındaki Harmonik Analizi | 80 |

| | | |
|-------------------------|---|-----|
| 3.2.1 | E_{oran} Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 81 |
| 3.2.2 | Noktasal Kütle Konum Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 86 |
| 3.2.3 | Noktasal Kütle Büyüklüğünün Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 90 |
| 3.3 | Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Yayılı Yük Değişimi Altındaki Harmonik Analizi | 90 |
| 3.3.1 | Yayılı Yük Konum Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 91 |
| 3.3.2 | Yayılı Yük Kütle Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 94 |
| 3.4 | Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Harmonik Analizi | 94 |
| 3.4.1 | Al_2O_3 ve SUS304'ten Oluşan Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Dinamik Analizi | 95 |
| 3.4.1.1 | Sabit n Değeri için ΔT değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 95 |
| 3.4.1.2 | Sabit ΔT Değeri için n Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 99 |
| 3.4.2 | SUS304 ve Si_3N_4 'ten Oluşan Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Dinamik Analizi | 103 |
| 3.4.2.1 | Sabit n Değeri için ΔT Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 103 |
| 3.4.2.2 | Sabit ΔT Değeri için n Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri | 108 |
| BÖLÜM 4 | | |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | | 112 |
| KAYNAKLAR | | 115 |
| ÖZGEÇMİŞ | | 117 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|-----------------------------|--|
| E_{ratio} | Elastiklik modülleri oranı |
| E_{oran} | Elastiklik modülleri oranı |
| n | Kuvvet kanunu üsteli |
| k | Yay katsayısı |
| c | Sönüm katsayısı |
| ω | Açısal hız |
| q_j | Genelleştirilmiş koordinat |
| Q_j | Genelleştirilmiş kuvvet ve momentler |
| E | Elastiklik modülü |
| E_k | Toplam kinetik enerji |
| E_p | Toplam potansiyel enerji |
| E_D | Toplam sönüm enerjisi |
| ε_x | Yer değiştirme |
| σ_x | Gerilme |
| u | x eksen istikametindeki yer değiştirme miktarı |
| U | Potansiyel enerji |
| T | Kinetik enerji |
| A | Kiriş kesit alanı |
| L | Kiriş uzunluğu |
| ρ | Yoğunluk |
| I_Z | Atalet momenti |
| P_U | Kiriş üst yüzeyi fiziksel özellik parametresi |
| P_L | Kiriş alt yüzeyi fiziksel özellik parametresi |
| h | Kiriş yüksekliği |
| b | Kiriş genişliği |
| m_i | Noktasal kütle büyüklüğü |
| L_i | Noktasal kütlelerin kiriş başlangıcına olan mesafesi |
| β | Yayıllı yük kütlelerinin kiriş kütlelerine oranı |
| M_d | Kiriş birim alanındaki kütle miktarı |
| $T \text{ } ^\circ\text{C}$ | Ortam sıcaklığı |
| ΔT | Ortam sıcaklıkları farkı |
| T_i | İlk ortam sıcaklığı |
| T_s | Son ortam sıcaklığı |
| U_T | Farklı ortam sıcaklıklarındaki kirişin potansiyel enerjisi |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|-----|---------------------------------------|
| FDM | Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme |
| FD | Fonksiyonel Derecelendirilmiş |
| FGM | Functionally Graded Material |
| FG | Functionally Graded |
| FEM | Finite Element Method |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2. 1 | Scotch Yoke Mekanizması | 10 |
| Şekil 2. 2 | Boyuna Uzama Hali için Genelleştirilmiş Koordinatlar | 13 |
| Şekil 2. 3 | Eğilme Hareketi için Genelleştirilmiş Koordinatlar | 17 |
| Şekil 2. 4 | Eğilme Hareketinde Yerdeğiştirme | 18 |
| Şekil 2. 5 | FD Kirişin Elastiklik Modülü ve Yoğunluğunun Kiriş Kalınlığı ile Değişimi .. | 22 |
| Şekil 2. 6 | Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş | 26 |
| Şekil 2. 7 | Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş Üzerine Noktasal Kütle Uygulanması | 29 |
| Şekil 2. 8 | Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş Üzerine Yayılı Yük Uygulanması | 31 |
| Şekil 2. 9 | Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş | 38 |
| Şekil 3. 1 | $k=1, E_{oran}=0.25, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 44 |
| Şekil 3. 2 | $k=1, E_{oran}=0.25, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği ... | 44 |
| Şekil 3. 3 | $k=1, E_{oran}=0.25, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 45 |
| Şekil 3. 4 | $k=1, E_{oran}=0.25, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 45 |
| Şekil 3. 5 | $k=1, E_{oran}=0.5, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 46 |
| Şekil 3. 6 | $k=1, E_{oran}=0.5, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 46 |
| Şekil 3. 7 | $k=1, E_{oran}=0.5, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 47 |
| Şekil 3. 8 | $k=1, E_{oran}=0.5, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 47 |
| Şekil 3. 9 | $k=1, E_{oran}=1, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 48 |
| Şekil 3. 10 | $k=1, E_{oran}=1, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 48 |
| Şekil 3. 11 | $k=1, E_{oran}=1, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 49 |
| Şekil 3. 12 | $k=1, E_{oran}=1, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 49 |
| Şekil 3. 13 | $k=1, E_{oran}=2, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 51 |
| Şekil 3. 14 | $k=1, E_{oran}=2, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 51 |
| Şekil 3. 15 | $k=1, E_{oran}=2, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 52 |
| Şekil 3. 16 | $k=1, E_{oran}=2, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 52 |
| Şekil 3. 17 | $k=1, E_{oran}=3, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 53 |
| Şekil 3. 18 | $k=1, E_{oran}=3, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 53 |
| Şekil 3. 19 | $k=1, E_{oran}=3, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 54 |
| Şekil 3. 20 | $k=1, E_{oran}=3, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 54 |
| Şekil 3. 21 | $k=1, E_{oran}=4, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 55 |
| Şekil 3. 22 | $k=1, E_{oran}=4, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 55 |
| Şekil 3. 23 | $k=1, E_{oran}=4, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği | 56 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3. 24 | $k=1, E_{oran}=4, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 56 |
| Şekil 3. 25 | $k=3, E_{oran}=0.25, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 57 |
| Şekil 3. 26 | $k=3, E_{oran}=0.25, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği... | 57 |
| Şekil 3. 27 | $k=3, E_{oran}=0.25, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 58 |
| Şekil 3. 28 | $k=3, E_{oran}=0.25, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.... | 58 |
| Şekil 3. 29 | $k=3, E_{oran}=0.5, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 59 |
| Şekil 3. 30 | $k=3, E_{oran}=0.5, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 59 |
| Şekil 3. 31 | $k=3, E_{oran}=0.5, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 60 |
| Şekil 3. 32 | $k=3, E_{oran}=0.5, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 60 |
| Şekil 3. 33 | $k=3, E_{oran}=1, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 61 |
| Şekil 3. 34 | $k=3, E_{oran}=1, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 61 |
| Şekil 3. 35 | $k=3, E_{oran}=1, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 62 |
| Şekil 3. 36 | $k=3, E_{oran}=1, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 62 |
| Şekil 3. 37 | $k=3, E_{oran}=2, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 63 |
| Şekil 3. 38 | $k=3, E_{oran}=2, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 63 |
| Şekil 3. 39 | $k=3, E_{oran}=2, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 64 |
| Şekil 3. 40 | $k=3, E_{oran}=2, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 64 |
| Şekil 3. 41 | $k=3, E_{oran}=3, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 65 |
| Şekil 3. 42 | $k=3, E_{oran}=3, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 65 |
| Şekil 3. 43 | $k=3, E_{oran}=3, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 66 |
| Şekil 3. 44 | $k=3, E_{oran}=3, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 66 |
| Şekil 3. 45 | $k=3, E_{oran}=4, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 67 |
| Şekil 3. 46 | $k=3, E_{oran}=4, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 67 |
| Şekil 3. 47 | $k=3, E_{oran}=4, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 68 |
| Şekil 3. 48 | $k=3, E_{oran}=4, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 68 |
| Şekil 3. 49 | $k=10, E_{oran}=0.25, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.... | 69 |
| Şekil 3. 50 | $k=10, E_{oran}=0.25, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.. | 69 |
| Şekil 3. 51 | $k=10, E_{oran}=0.25, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.... | 70 |
| Şekil 3. 52 | $k=10, E_{oran}=0.25, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.. | 70 |
| Şekil 3. 53 | $k=10, E_{oran}=0.5, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 71 |
| Şekil 3. 54 | $k=10, E_{oran}=0.5, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği... | 71 |
| Şekil 3. 55 | $k=10, E_{oran}=0.5, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 72 |
| Şekil 3. 56 | $k=10, E_{oran}=0.5, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği.... | 72 |
| Şekil 3. 57 | $k=10, E_{oran}=1, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 73 |
| Şekil 3. 58 | $k=10, E_{oran}=1, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 73 |
| Şekil 3. 59 | $k=10, E_{oran}=1, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 74 |
| Şekil 3. 60 | $k=10, E_{oran}=1, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 74 |
| Şekil 3. 61 | $k=10, E_{oran}=2, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 75 |
| Şekil 3. 62 | $k=10, E_{oran}=2, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 75 |
| Şekil 3. 63 | $k=10, E_{oran}=2, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 76 |
| Şekil 3. 64 | $k=10, E_{oran}=2, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 76 |
| Şekil 3. 65 | $k=10, E_{oran}=3, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 77 |
| Şekil 3. 66 | $k=10, E_{oran}=3, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 77 |
| Şekil 3. 67 | $k=10, E_{oran}=3, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 78 |
| Şekil 3. 68 | $k=10, E_{oran}=3, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 78 |
| Şekil 3. 69 | $k=10, E_{oran}=4, n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 79 |
| Şekil 3. 70 | $k=10, E_{oran}=4, n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 79 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 3. 71 | $k=10, E_{oran}=4, n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 80 |
| Şekil 3. 72 | $k=10, E_{oran}=4, n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 80 |
| Şekil 3. 73 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 81 |
| Şekil 3. 74 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.25, 1$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 82 |
| Şekil 3. 75 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.5, 2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 83 |
| Şekil 3. 76 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.25, 4$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 83 |
| Şekil 3. 77 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 1, 4$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 84 |
| Şekil 3. 78 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.25, 0.5, 2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 85 |
| Şekil 3. 79 | $n=0, c=0, k=\infty$ ve $E_{oran} 0.5, 1, 4$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 86 |
| Şekil 3. 80 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Noktasal Kütle Konumu: 33. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 86 |
| Şekil 3. 81 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Noktasal Kütle Konumu: 17. ve 49. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 87 |
| Şekil 3. 82 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Noktasal Kütle Konumu: 5., 13., 21. ve 29. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 88 |
| Şekil 3. 83 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Noktasal Kütle Konumu: 37., 45., 53. ve 61. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 89 |
| Şekil 3. 84 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Noktasal Kütle Büyüklüğü Değişimi için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 90 |
| Şekil 3. 85 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Yayılı Yük Konumu: 1., 32. ve 64. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 91 |
| Şekil 3. 86 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 0.5$ ve Yayılı Yük Konumu: 1., 32. ve 64. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 92 |
| Şekil 3. 87 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Yayılı Yük Konumu: 1., 8., 16. ve 32. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 92 |
| Şekil 3. 88 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 0.5$ ve Yayılı Yük Konumu: 1., 8., 16. ve 32. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 93 |
| Şekil 3. 89 | $n=1, c=0, k=\infty, E_{oran} 3$ ve Yayılı Yük Kütle Değişimi için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 94 |
| Şekil 3. 90 | $n=0, c=0, k=\infty, Al_2O_3-SUS304$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 95 |
| Şekil 3. 91 | $n=0.1, c=0, k=\infty, Al_2O_3-SUS304$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 96 |
| Şekil 3. 92 | $n=0.2, c=0, k=\infty, Al_2O_3-SUS304$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 97 |
| Şekil 3. 93 | $n=1, c=0, k=\infty, Al_2O_3-SUS304$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 97 |
| Şekil 3. 94 | $n=2, c=0, k=\infty, Al_2O_3-SUS304$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 98 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Şekil 3. 95 | $n=3, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 98 |
| Şekil 3. 96 | $n=10, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 99 |
| Şekil 3. 97 | $\Delta T=25, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 100 |
| Şekil 3. 98 | $\Delta T=50, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 101 |
| Şekil 3. 99 | $\Delta T=100, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 101 |
| Şekil 3. 100 | $\Delta T=150, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 102 |
| Şekil 3. 101 | $\Delta T=200, c=0, k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 102 |
| Şekil 3. 102 | $n=0, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 104 |
| Şekil 3. 103 | $n=0.1, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 105 |
| Şekil 3. 104 | $n=0.2, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 105 |
| Şekil 3. 105 | $n=1, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 106 |
| Şekil 3. 106 | $n=2, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 106 |
| Şekil 3. 107 | $n=3, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 107 |
| Şekil 3. 108 | $n=10, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 107 |
| Şekil 3. 109 | $\Delta T=25, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 108 |
| Şekil 3. 110 | $\Delta T=50, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 109 |
| Şekil 3. 111 | $\Delta T=100, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 109 |
| Şekil 3. 112 | $\Delta T=150, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 110 |
| Şekil 3. 113 | $\Delta T=200, c=0, k=\infty$, SUS304-Si ₃ N ₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği..... | 110 |

ÇEŞİTLİ SINIR ŞARTLARINDA FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KİRİŞİN DİNAMİK ANALİZİ

Mehmet Sinan UYGUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR

Bu çalışmada, yay ve sönüm elemanlarıyla desteklenmiş, uzunluğu L , genişliği b ve yüksekliği h olan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, yay (k), sönüm (c) katsayıları, kiriş elastiklik modülü oranı (E_{oran}) ve kuvvet kanunu üstelinin (n) değişimine bağlı olarak harmonik analizi yapılmıştır. FD kirişin, üzerine uygulanan noktasal kütle ve yayılı yük değişimleri altındaki ve son olarak ise, farklı ortam sıcaklıklarındaki harmonik analizi gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait hareket denklemleri, Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayanılarak, Lagrange denklemlerinden faydalanılarak çıkarılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminden (FEM) faydalanılarak yakınsama analizi sonucu 64 eşit parçaya ayrılan FD kirişin harmonik analizi MATLAB' de yazılan program ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, Euler-Bernoulli kirişi, sonlu elemanlar metodu, frekans parametresi, sıcaklık etkisi

ABSTRACT

DYNAMIC ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED BEAM UNDER VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS

Mehmet Sinan UYGUR

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Cihan DEMİR

In this study harmonical analyses of functionally graded beam whose length, width and height are equals to L , b and h respectively are implemented with respect to spring and damping coefficients, elasticity module ratio and power law exponent. Mentioned harmonical analyses are performed firstly for variations of point mass applied on FG beam, secondly for variations of distributed load that FG beam was exposed and finally for different environment temperatures. Equations of motion of system are derived using lagrange equations by means of Euler-Bernoulli beam theory. Harmonical analyses of FG beam which being divided to 64 equal parts as a result of the approximation analysis of finite element method are performed via MATLAB.

Key words: Functionally graded materials, Euler-Bernoulli beam, finite element method, frequency parameter, temperature effect

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Saf metaller, birbirine zıt özelliklerin bir arada bulunmasına yönelik gereksinimlerden dolayı, mühendislik uygulamalarında çok az kullanılmaktadırlar. Örnek verilecek olursa, bir uygulama, sert olmasının yanı sıra eğilebilen bir malzemeye gereksinim duyabilir ki böyle bir malzemedede doğada bulunmamaktadır. Bu problemi çözmek için, bir metal ile diğer bir metalin ya da metal olmayan malzemenin birleştirilmesinden faydalanılmıştır. Erimiş durumdaki malzemelerin bu karışımı alaşım olarak isimlendirilmektedir ki bu karışım esas malzeme özelliklerinden farklı malzeme özelliğine sahiptir. Bakır ve kalayın alaşımı olan bronz, insanlık tarihinin ilk alaşımı olarak ortaya çıkmıştır [1]. M.Ö. takriben 4000’li yıllarda bronz dünyayı gerçekten etkilemiş, insanlık başarısında bir işaret olmuş ve o çağa bronz çağı denilmiştir [1]. O zamandan beri, insan, malzeme özelliklerini iyileştirmek için çeşitli alaşımlar ile deneyler gerçekleştirmiştir. Termodinamik denge limiti nedeniyle, bir malzemenin diğer bir malzeme çözeltisi içerisinde eriyebilmesi limitliydi. Alaşım malzemedden daha fazla miktarda arzu edildiği zaman, o zamanlardaki geleneksel alaşım hazırlama yönteminden faydalanılamazdı. Geleneksel alaşım hazırlamanın getirdiği bir diğer sınırlama, geniş erime sıcaklıklı iki farklı malzemenin alaşımının hazırlanmasıdır. Bu durum, bu malzemelerin birleşimi için engelleyici olmuştur.

Diğer bir malzeme üretim metodu, katı haldeki malzemelerin özelliklerinin birleştirilmesi metodudur ve bu malzemeler kompozit malzemeler olarak isimlendirilmektedir. Bir ya da birden fazla malzemenin farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile katı halde birleştirilmesinden meydana gelen kompozit malzemeler gelişmiş bir malzeme sınıfıdır. Başlı başına ana malzemelerden farklı ve ayrıca daha hafif olan kompozit malzemeler mükemmel özellikli birleşimler sunmaktadır. Odun

selülozdan oluşan doğal bir kompozit malzemedir. Kompozit malzemeler, delaminasyon denilen bir süreç boyunca, aşırı çalışma şartları altında başarısız olmuştur. Farklı genleşme katsayısına sahip iki metalin kullanıldığı yüksek sıcaklık uygulaması buna örnek olarak gösterilebilir. Bu problemi çözmek için, araştırmacılar, 1980'lerin ortalarında, Japonya'da, termal bir bariyer gerektiren hipersonik uzay aracı projesinde, bu zorluk ile karşılaşmış ve Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme (Functionally Graded Material) denilen yeni bir malzeme ortaya çıkarmışlardır. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler, özellikleri kalınlığı boyunca değişen devrim niteliğinde bir malzemedir. Kemikler ve dişler doğal fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerdir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, kemik ve diş gibi doğal malzemelere benzetilerek mühendislik problemlerinin çözümü için ortaya çıkarılmıştır.

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemenin Kullanım Alanları

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin bazı kullanım alanları şunlardır;

1) HAVACILIK

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin çok yüksek termal gradyanlara dayanabilir olması, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeleri inşaatlar, uzay aracı gövdesi, roket motoru parçaları için uygun hale getirmektedir. Üretim teknikleri daha da geliştirilirse, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler havacılık sektöründe daha geniş kullanım alanlarına sahip olacaktır.

2) TIP

Kemikler ve dişler gibi canlı dokular doğal fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler olarak karakterize edilirler. Bu dokuların yerine geçecek uygun malzeme, orijinal biyolojik dokunun amacına hizmet edecek yapıda olmalıdır. Bu uygulama için ideal aday ise fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerdir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler dişçilik uygulamalarında ve ortopedik uygulamalarda, diş ve kemik yerine geçen malzemeler olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir.

3) SAVUNMA

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin en önemli özelliklerinden biride, çatlak yayılımını engelleme kabiliyetidir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin bu özelliği, kurşungeçirmez yelek ve zırh kaplamaları için kullanılan delinmeye karşı

dirençli malzemeler olarak, savunma uygulamalarında fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeleri faydalı kılmıştır.

4) ENERJİ

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerden, enerji dönüşüm araçlarında da faydalanılmaktadır. Ayrıca fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, termal bariyer sağlamak ve gaz türbini motorlarındaki türbin kanatlarında koruyucu tabaka olarak da kullanılmaktadır.

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, kesme araçlarının tabakalandırılması, otomobil motor parçaları, nükleer reaktör parçaları, türbin kanatları, ısı değiştiricileri, triboloji ve sensörler gibi diğer uygulama alanlarında da kullanılmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Şimşek vd. [2], bu çalışmada, hareketli harmonik bir yüke maruz bırakılan basit mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş bir kirişin, serbest titreşim karakteristiğini ve dinamik davranışını incelemiştir. Hareket denklem sistemi Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayanılarak, Lagrange denklemlerinden faydalanılarak çıkarılmıştır. Kirişin enine ve aksenal yer değiştirmelerini gösteren fonksiyonlar, polinom formlarında açıklanmıştır. Desteklerin sınır koşulları, Lagrange çarpanlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Kirişin malzeme özelliklerinin, kiriş kalınlığı boyunca, eksponansiyel ve kuvvet kanunu formuna uygun olacak şekilde, sürekli olarak değiştiği kabul edilmiştir. Bu çalışmada, kirişin dinamik davranışı üzerinde, farklı malzeme dağılımlarının, hareketli harmonik yük hızının ve tahrik frekansının etkileri tartışılmıştır. Sayısal sonuçlar, yukarıda adı geçen etkenlerin, kirişin dinamik davranışı üzerinde çok önemli rol oynadığını göstermiştir.

Aydoğdu vd. [3], basit mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin serbest titreşimini incelemiştir. Kirişin young modülü, eksponansiyel ve kuvvet kanununa göre kalınlık boyunca değişmektedir. Ana denklemler, Hamilton prensibinin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Navier tipi çözüm metodundan, frekansların elde edilmesinde faydalanılmıştır. Analizde, farklı yüksek dereceden deformasyon teorileri ve klasik kiriş teorileri kullanılmıştır. Serbest titreşim frekansları ve bazı mod şekilleri, farklı kalınlık oranları ve farklı malzeme özellikleri için verilmiştir.

Foda vd. [4], hareketli bir kütleyle maruz bırakılan basit mesnetli bir Euler-Bernoulli kirişinin tepkilerini belirlemek için, dinamik Green fonksiyonu yaklaşımından faydalanmıştır. Önerilen metod, kirişin sapma davranışı için basit bir matris ifadesi ortaya koymaktadır. Metodun etkinliği ve sadeliği, farklı sayısal örneklerle gösterilmiştir. Dinamik tepki üzerindeki çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Li [5], bu çalışmasında, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin statik ve dinamik davranışlarını analiz etmek için yeni bir birleşik yaklaşım ileri sürmüştür. İki özel durum olarak, Euler-Bernoulli ve Rayleigh kiriş teorileri, Timoshenko kiriş teorisinden sayısal olarak ayrılabilir. Bütün malzeme özellikleri, kiriş kalınlığı boyunca isteğe bağlı fonksiyonlar olarak alınmıştır. Tek bir dördüncü dereceden kısmi diferansiyel denklem türetilmiştir ve bütün fiziksel nicelikler bu denklemin çözümüyle ilgili olarak ileri sürülebilmektedir. Dönmenin statik sonucu ve gerilme dağılımları, fonksiyonel derecelendirilmiş manivela kiriş için ortaya konmuştur. Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin serbest titreşim analizi yapılmış ve frekans denklemi belirlenmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Kuvvet kanununa göre, fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş için sayısal sonuçlar ileri sürülmüştür.

Sina vd. [6], fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin serbest titreşimlerini analiz etmek için, bilinen birinci dereceden kesme deformasyonu kiriş teorisinden farklı bir yeni kiriş teorisinden faydalanmışlardır. Kiriş özelliklerinin, kirişin kalınlığı boyunca kuvvet kanunu çerçevesinde değişiyor olduğu varsayılmıştır. Kirişin yanal gerilmelerinin sıfır olduğu kabul edilmiş ve ana hareket denklemleri Hamilton prensibinden faydalanılarak çıkarılmıştır. Serbest titreşim analizinin diferansiyel denklem sonuçları, analitik bir metottan faydalanılarak çözülmüştür. Farklı sınır koşulları göz önüne alınmış ve farklı kiriş teorileri arasında karşılaştırılmalar yapılmıştır. Ayrıca sınır şartlarının, hacim oranlarının ve kesme deformasyonlarının, doğal frekans ve mod şekilleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Zhong vd. [7], fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş probleminin farklı yüklere maruz kaldığı durumlar için çalışmışlardır. Airy gerilme fonksiyonuyla ilgili olarak, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişi için, malzemenin elastiklik modülünün kiriş kalınlığı boyunca aynı değişme derecesine sahip olduğu varsayılarak, iki boyutlu genel bir çözüm ileri

sürmüşlerdir. Farklı sınır koşulları altındaki bazı özel örneklere, analitik çözümlerden belirgin ifadeler elde etmişlerdir.

Sankar [8], sinüzoidal enine yüke maruz bırakılan basit mesnetli FD kiriş için, bir analitik çözüm ileri sürmüştür. Young modülünün kalınlık boyunca eksponansiyel biçimde değiştiği varsayılmıştır. Sankar, yumuşak kenar yük altındayken gerilme yoğunluğunun homojen kirişe göre daha az olduğunu ve bunun tersinin de doğru olduğunu belirtmiştir.

Chakraborty vd. [9], FD kiriş yapıların termo elastik davranışlarını incelemek için yeni bir kiriş geliştirmiştir. Eleman birinci dereceden kesme deformasyon teorisine dayanmaktadır ve bu, elemanın elastik ve termal özelliklerinin değişimi için elemanın kalınlığı boyunca açıklanmıştır. Farklı gerilme değişimlerini incelemek için malzeme özellik dağılımının eksponansiyel ve kuvvet kanunu değişimlerinden faydalanılmıştır. Statik, serbest titreşim ve dalga yayma problemleri göz önüne alınmıştır.

Lu vd. [10], tarafından, Çift yönlü FD kirişin, statik eğilme ve termal deformasyonu için, uzay tabanlı karışık durum diferansiyel kareleme metodundan faydalanılarak, yarı analitik elastikiyet çözümleri ortaya konulmuştur. Sonuçlar, tek yönlü FD malzemelerin yerine çift yönlü FD özelliklerin aksel istikamet boyunca termal gerilmeleri azaltma kabiliyetini örneklerle açıklamaktadır.

Li [11], FD kirişlerin dönme ataletlerinin ve kesme deformasyonlarının statik ve dinamik davranışları üzerine etkilerini analiz etmek için birleşik bir yaklaşım ortaya koymuştur. Timoshenko kiriş teorisi, katmanlı kirişlerle birlikte, FD kirişlere uygulanabilmesi için genişletilmiştir. Diğer yaklaşımlardan farklı olarak, tek bir kısmi diferansiyel denklem çıkarılmıştır.

Xiang ve Yang [12], Timoshenko kiriş teorisi ve diferansiyel kareleme metodundan faydalanarak, değişken kalınlıklı ince tabakalı ısıl öngerilimli FD kirişin serbest ve zorlanmış titreşimini incelemişlerdir. Bunun dışında, daha küçük hacim oranlarıyla kalın FDM tabakaların kullanımı ince tabakalı kiriş yapısında etkili bir biçimde doğal frekansı artırmış ve titreşim genliğini düşürmüştür.

Ying vd. [13], Winkler-Pasternak, elastik temellerine dayanarak, FD kirişlerin eğilme ve serbest titreşimleri için iki boyutlu bir analitik çözüm ileri sürmüştür. Tamamen basit

mesnetli kirişlerin kısmi diferansiyel denklem dönüşümleri için trigonometrik seriler seçilmiştir ve böylece kesin çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Şimşek [14], hareketli kütle etkisi altındaki FD kirişin, Euler-Bernoulli, Timoshenko ve üçüncü dereceden kesme deformasyon kiriş teorisi sistemi kapsamındaki dinamik davranışını incelemiştir.

Malekzadeh vd. [15], termal ortamda dairesel eğimli FD kirişlerin düzlem dışı serbest titreşim analizi için bir formülasyon geliştirmiştir. Formülasyon birinci dereceden kesme deformasyon teorisine dayanmaktadır. Malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağımlı olduğu farzedilmiştir. Malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağımlılığının doğal frekans parametreleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Şimşek bu çalışmada [16], farklı sınır şartları altındaki fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin, birinci dereceden ve farklı yüksek dereceden kesme deformasyon kiriş teorilerinde içerisinde, doğal frekans analizleri gerçekleştirilmiştir. Kirişlerin malzeme özellikleri kuvvet kanunu formuna göre kalınlık boyunca sürekli olarak değişmektedir. İki tip formülasyon geliştirilmiştir. Birinci formülasyonda, kirişin orta yüzeyindeki toplam eğilme rotasyon ölçümü bilinmeyen fonksiyon olarak kabul edilmiştir. İkinci formülasyonda ise, kirişin orta yüzeyindeki kesme rotasyon ölçümü bilinmeyen fonksiyon olarak kabul edilmiştir. Frekans denklemi, Lagrange denklemlerinden faydalanılarak elde edilmiş ve kirişlerin sınır şartları Lagrange çarpanları ile karşılanmıştır. Bu çalışmada, kalınlık oranının, malzeme değişimlerinin, farklı formülasyonlar ve kiriş teorilerinin, doğal frekans üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Şimşek [17], hareketli bir kütle ile yüklenebilir basit destekli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin titreşimini, Euler-Bernoulli, Timoshenko ve üçüncü dereceden kesme deformasyon kiriş teorilerinden faydalanarak incelemiştir. Kirişin malzeme özellikleri kuvvet kanunu formuna göre kalınlık boyunca sürekli olarak değişmektedir. Hareketin denklem sistemi Lagrange denklemleri kullanılarak çıkarılmıştır. Desteklerin sınır şartları, Lagrange çarpanlarından faydalanılarak göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada, kiriş gerilmeleri ve dinamiği üzerinde, kesme deformasyonunun, çeşitli malzeme dağılımlarının, hareketli kütle hızının, eylemsizliğin, hareketli kütlelerin merkezkaç etkisinin kiriş gerilmeleri ve dinamiği üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçların geçerliliği için buna benzer çalışmalarla kıyaslama

yapılmış ve iyi derecede uyum gözlenmiştir. Sonuçlar, yukarıda adı geçen etkilerin, kirişin dinamik davranışı üzerinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Amal E. vd. [18], bu çalışmalarında, kuvvet kanununa dayanılarak, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik karakteristiği üzerine çalışmışlardır. Hareket denklem sistemi, Euler-Bernoulli kiriş teorisine bağlı kalarak, virtüel iş prensibinden faydalanılarak çıkarılmıştır. Modeli ayırmada sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve hareket denkleminin bir yaklaşımı elde edilmiştir. Model bundan önce yayınlanan çalışmalarla karşılaştırılmış ve iyi bir uyum elde edildiği gözlenmiştir. Kirişin dinamik karakteristiği üzerinde, farklı malzeme dağılımlarının, kalınlık oranlarının ve sınır şartlarının etkileri, sayısal sonuçlar şeklinde çizelge ve grafik formunda sunulmuştur. Ve bu etkilerin kirişin dinamik davranışı üzerinde çok önemli rol oynadığı anlaşılmıştır.

Nuttawit Wattanasakulpong vd. [19], fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin termal burkulma ve titreşimlerini incelemek için gelişmiş bir üçüncü derece kesme deformasyon teorisinden faydalanmışlardır. Malzeme bileşiminin hacim oran değişimini tanımlamada ise kuvvet kanunu dağılımından yararlanmışlardır. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme özelliklerinin kirişin kalınlığı boyunca düzgün ve sürekli olarak değiştiği kabul edilmiştir. Sabit sınır şartlarının çeşitli tiplerinde, termal burulma ve titreşim ile birleştirilen özdeğer problemlerinin çözümünde Ritz metodu seçilmiştir.

A. Mahi vd. bu çalışmada [20], simetrik fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerden yapılmış kirişin serbest titreşimi üzerine yapılan çalışmada gerçekçi çözümler ileri sürülmüştür. Kullanılan formülasyon, birleştirilmiş yüksek dereceden kesme deformasyon teorisine dayanmaktadır. Malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olarak alınmıştır ve kuvvet kanunu veya eksponansiyel kanun dağılımına göre kiriş kalınlığı boyunca sürekli olarak değişmektedir. Kiriş kalınlığının bir ucundan diğerine doğru sıcaklık artışı ile kirişin gerilme altında olduğu farz edilmiştir. Kirişin xy düzlemi içerisinde sıcaklık alanının sabit olduğu göz önüne alınmıştır. Hareketin ana denklemlerinin çıkarılmasında Hamilton prensibinden faydalanılmıştır. Farklı sınır koşullarında, adi diferansiyel denklemler sisteminin analitik olarak çözülmesi yolu ile serbest titreşim frekansları elde edilmiştir.

Amal E. Alshorbagy'nin bu çalışmasında [21], sonlu elemanlar metodundan faydalanılarak, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, malzeme sıcaklık bağımlılığının

titreşim karakteristiği üzerindeki etkisi üzerinde durulmuştur. Kiriş, kalın bir kiriş için uyumu sağlanan yüksek dereceden kesme deformasyon teorisi yolu ile modellenmiştir. Malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olduğu ve kuvvet kanunu dağılımına göre kalınlık boyunca sürekli olarak değiştii ileri sürölmektedir. Hareket denklemleri Lagrange denklemlerinden faydalanılarak çıkarılmıştır. Hareket denklemlerinden sayısal bir sonuç elde etmek ve modeli elemanlara ayırmak için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır. Malzeme dağılımlarının ve kalınlık oranlarının doğal frekanslar ve mod şekilleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, sıcaklık malzeme ilişkisinin doğal frekans üzerindeki etkiler de incelenmiştir. İncelenen bu etkilerin, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerinde çok önemli bir rol oynadığı görölmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Viskoelastik mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin noktasal kütle, yayılı yük ve sıcaklık parametreleri altındaki harmonik analizinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışının incelenmesi.

1.3 Orijinal Katkı

Viskoelastik mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin çeşitli sınır şartları altındaki harmonik analizi gerçekleştirilmiştir. Literatür incelemelerinde fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin viskoelastik mesnetli durumlarının noktasal kütle, yayılı yük ve sıcaklık parametreleri altındaki dinamik analizleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

MATEMATİK MODELLEME

2.1 Harmonik Hareket

Salınımlı hareket, basit sarkaç hareketinde olduğu gibi devamlı olarak kendini tekrarlayabilir. Bunun aksine, deprem sırasında meydana gelen yer hareketlerinde olduğu gibi düzensiz bir hareket olarak da gerçekleşebilir. Eğer bir hareket eşit zaman aralıklarında tekrar ediliyorsa, bu hareket, periyodik hareket adını alır. Periyodik hareketin en basit şekline ise harmonik hareket denir [22].

Basit harmonik hareketin bir örneği olarak Scotch yoke mekanizması aşağıda gösterilmektedir. Bu mekanizmada, A yarıçaplı bir krank O noktası etrafında dönmektedir. Krankın diğer ucu olan P noktası, oluklu çubukta kayarak hareket etmektedir. Krank, w açısal hızıyla döndüğü zaman, yay kütle sistemide doğrusal hareket yapmaktadır ve yer değişimi denklem (2.1)'deki gibi ifade edilir.

$$x = A \sin \theta = A \sin \omega t \quad (2.1)$$

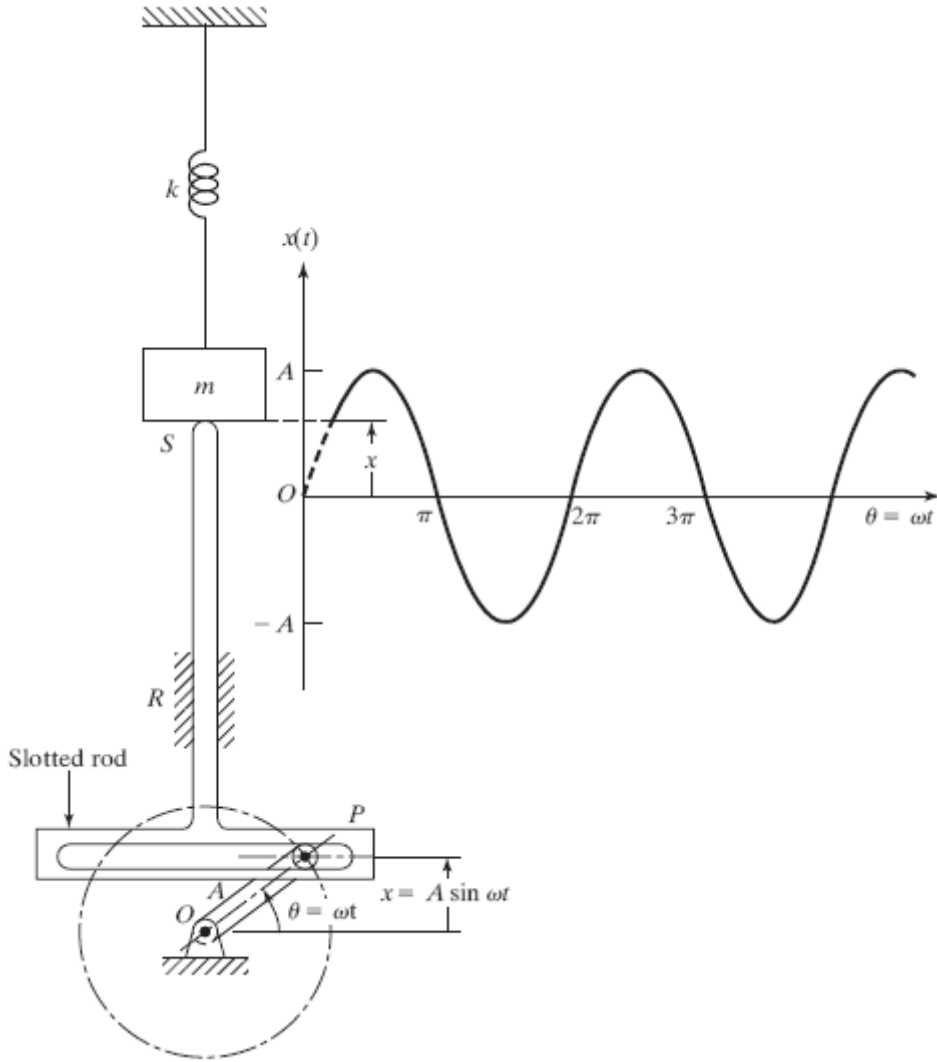
Verilen herhangi bir zamandaki kütle hızı denklem (2.2) ile;

$$\frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t \quad (2.2)$$

ivme ise denklem (2.3) ile;

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2. 1 Scotch Yoke Mekanizması

2.2 Harmonik Analiz

Çok serbestlik dereceli bir sisteme ait matematik model [23], denklem (2.4) ile ifade edilir;

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = [F] \quad (2.4)$$

Çözüm olarak;

$$x = X_{max} e^{i\phi} e^{i\omega t} \quad (2.5)$$

$$x = (x_1 + ix_2) e^{i\omega t} \quad (2.6)$$

Uygulanan kuvvet;

$$F = F_{max} e^{i\phi} e^{i\omega t} \quad (2.7)$$

$$F = F_{max} (\cos \phi + i \sin \phi) e^{i\omega t} \quad (2.8)$$

Denklemler düzenlenip denklem (2.4)'te yerine yazılır;

$$(-\omega^2 [M] + i\omega [C] + [K])(x_1 + ix_2) e^{i\omega t} = (F_1 + iF_2) e^{i\omega t} \quad (2.9)$$

$$(-\omega^2 [M] + i\omega [C] + [K])(x_1 + ix_2) = (F_1 + iF_2) \quad (2.10)$$

Maksimum genlik ve faz açısı ise denklem (2.11) ve (2.12) ile ifade edilir;

$$x_{max} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \quad (2.11)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{x_2}{x_1} \quad (2.12)$$

2.3 Lagrange Denklemleri

Bir titreşim sisteminin hareket denklemleri, Lagrange denklemlerinden faydalanılarak, genelleştirilmiş koordinatlarla bağıntılı olarak çıkarılabilir. n serbestlik dereceli bir sistem için, Lagrange denklemleri;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial E_D}{\partial \dot{q}_j} = Q_j \quad (2.13)$$

Şeklinde ifade edilir.

Burada;

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

E_k : Toplam kinetik enerji

E_p : Toplam potansiyel enerji

E_D : Toplam sönüm terimi

q_j : Genelleştirilmiş koordinatlar

Q_j : Genelleştirilmiş kuvvet ve momentler

2.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

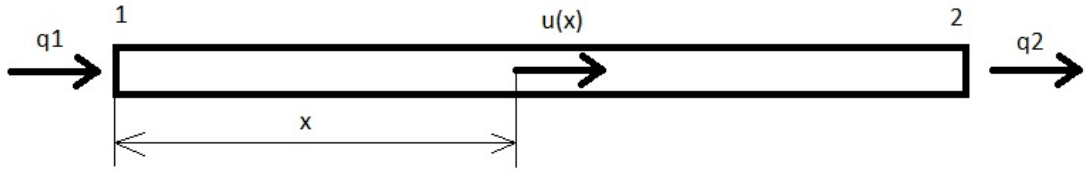
Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde yaygın şekilde kullanılan sayısal bir yöntemdir. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de başarı ile kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar yöntemi ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kat etmiş ve günümüzde birçok uygulamalı problemin çözümünde kullanılan en iyi yöntemlerden biri olmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemindeki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olmasından dolayı elde edilen sonuç, kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuçtur. Ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcıyarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde, çözüm bölgesi çok sayıda basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır [24].

2.4.1 Boyuna Uzama Hali

Eksenel yüke maruz kalmış ince bir çubuk tek boyutlu problem olarak düşünülebilir. Gerilme, gerinim, yer değiştirme ve yükleme sadece x değişkenine bağlıdır. 1 ve 2 noktaları düğüm noktalarıdır[25].



Şekil 2. 2 Boyuna Uzama Hali için Genelleştirilmiş Koordinatlar

Yer değiştirme denklem (2.14) ile ifade edilir.

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (2.14)$$

Denklem (2.15)'te, yer değişimi yalnız bırakılarak denklem (2.16) elde edilir.

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\sigma_x \quad (2.16)$$

Düğüm noktalarının yer değişimi olan q_1 ve q_2 , 1 ve 2 düğüm noktalarının x istikametindeki yer değişimlerinden meydana gelir.

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

Çubuk içerisinde herhangi bir noktadaki yer değişimi olan u 'nun, x istikametinde lineer olarak değiştiğini farz ederek denklem (2.18) ile ifadeyi edilebilir;

$$u = c_1 + c_2 x \quad (2.18)$$

Bu ifade yer değiştirme fonksiyonudur. Sınır şartları şu şekildedir;

$$x=0 \text{ 'da} \quad u = q_1$$

$$x=L \text{ 'de} \quad u = q_2$$

Sınır şartları doğrultusunda yer değiştirme fonksiyonu denklem (2.19)'da gösterilmiştir;

$$u = q_1 + \frac{q_2 - q_1}{L} x \quad (2.19)$$

Denklem (2.19), denklem (2.20)'de gösterildiği gibi de yazılabilir;

$$u = \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{L} & \frac{x}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} = [N]\{q\} \quad (2.20)$$

Denklem (2.20), denklem (2.14)'te yerine yazılarak, denklem (2.21)'de gösterildiği gibi son şeklini alır;

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} = \frac{d}{dx} [N]\{q\} = [B]\{q\} \quad (2.21)$$

Buradan;

$$[B] = \frac{d}{dx}[N] = \frac{1}{L}[-1 \quad 1] \quad (2.22)$$

Denklem (2.22) elde edilir. Son olarak gerilme ifadesi denklem (2.23)'teki gibi ifade edilir;

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = E[B]\{q\} \quad (2.23)$$

Çubuğun potansiyel enerjisi, denklem (2.25)'te gösterilmiştir;

$$U = \frac{1}{2} \int_V \sigma_x \varepsilon_x dV = \frac{1}{2} \int_V E[B]\{q\}[B]\{q\}dV \quad (2.24)$$

$$U = \frac{1}{2} \{q\}^T \left[\int_0^L \int_A [B]^T E[B] dA dx \right] \{q\} \quad (2.25)$$

Potansiyel enerji Denklem (2.25)'te ifade edilirken, çubuğun rijitlik matrisi $[k]$ ise denklem (2.25)'in parantez içerisindeki kısmıdır ve denklem (2.26)'da gösterilmiştir;

$$[K] = \int_0^L \int_A [B]^T E[B] dA dx \quad (2.26)$$

Denklem (2.26)'da $[B]$ matrisi yerine yazılarak, $[k]$ rijitlik matrisi denklem (2.29)'da gösterilen son şeklini alır;

$$[K] = \int_0^L \int_A \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} E \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} dAdx \quad (2.27)$$

$$[K] = E \int_0^L \int_A \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} dAdx \quad (2.28)$$

$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Kinetik enerji ifadesi denklem (2.30)'da verilmiştir;

$$T = \frac{1}{2} \int_0^L \int_A \rho (\dot{u}^2 + \dot{w}^2) dAdx \quad (2.30)$$

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{q}\}^T \left[\int_0^L \int_A [N]^T \rho [N] dAdx \right] \{\dot{q}\} \quad (2.31)$$

Denklem (2.31)'de parantez içerisindeki kısım kütle matrisi ifadesidir ve denklem (2.34)'te gösterildiği gibidir.

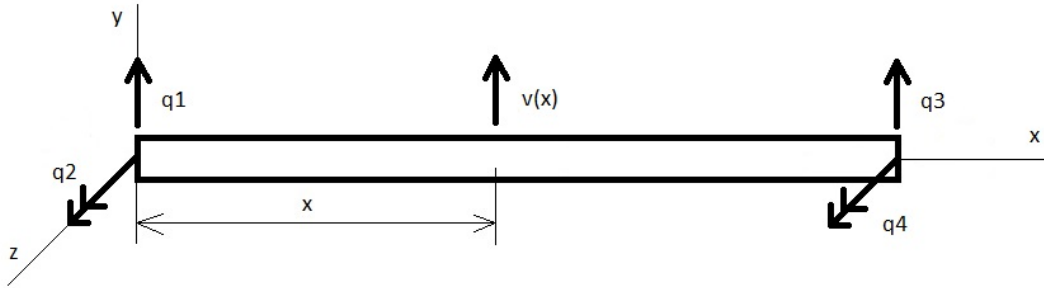
$$[M] = \int_0^L \int_A [N]^T \rho [N] dAdx \quad (2.32)$$

$$[M] = \int_0^L \int_A \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{L} \\ \frac{x}{L} \end{bmatrix}^T \rho \begin{bmatrix} 1 - \frac{x}{L} & \frac{x}{L} \end{bmatrix} dA dx \quad (2.33)$$

$$[M] = \frac{AL\rho}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

2.4.2 Eğilme Hareketi

Aşağıdaki şekilde xy düzleminde eğilmeye maruz bırakılan düz esnek bir çubuk gösterilmektedir. Çubuk y istikametinde yer değişimine uğramaktadır. Yer değiştirme ve gerilme ifadeleri denklem (2.35) ve (2.36)'da verilmiştir[25].



Şekil 2. 3 Eğilme Hareketi için Genelleştirilmiş Koordinatlar

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (2.35)$$

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2.36)$$

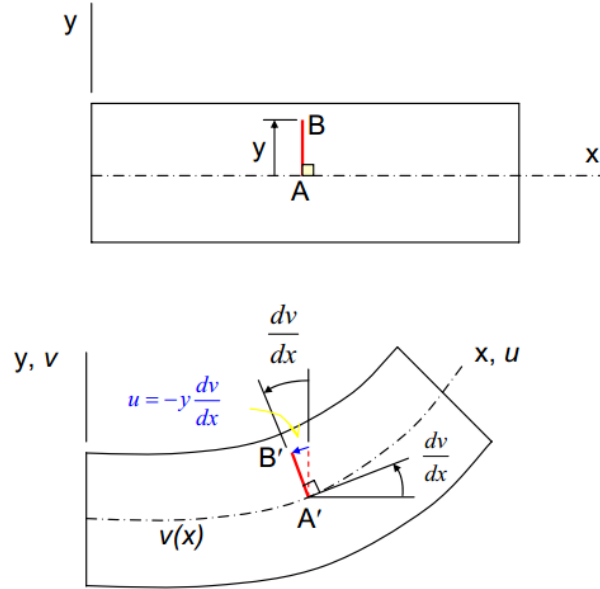
Burada 1 numaralı noktada y istikametinde bir yer değişimi ve z ekseninde etrafında küçük bir dđnüş meydana gelmektedir. Aynı şekilde 2 numaralı noktada da y istikametinde bir yer değişimi ve z ekseninde etrafında küçük bir dđnüş oluşmaktadır. Bu nedenle nodal yer değişimi vektörü (2.37) eşitliğindeki gibi yazılabilir;

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_{z1} \\ v_2 \\ \theta_{z2} \end{Bmatrix} \quad (2.37)$$

Eşitlik (2.37)'de;

$$\theta_{z1} = \frac{dv_1}{dx}, \quad \theta_{z2} = \frac{dv_2}{dx}$$

olarak tanımlanır.



şekil 2. 4 Eğilme Hareketinde Yerdeğişirme

Yukarıdaki şekilde belirtildiği gibi;

$$u = -y \frac{dv}{dx} \quad (2.38)$$

elde edilir ve denklem (2.38), denklem (2.35)'te yerine yazılırsa;

$$\varepsilon_x = -y \frac{d^2v}{dx^2} \quad (2.39)$$

İfadesi elde edilir.

$$v = c_1 + c_2x + c_3x^2 + c_4x^3 \quad (2.40)$$

$$\frac{dv}{dx} = c_2 + 2c_3x + 3c_4x^2 \quad (2.41)$$

Sınır şartları;

$$x=0'da \quad v = q_1 \quad \theta = q_2$$

$$x=L'de \quad v = q_3 \quad \theta = q_4$$

olarak belirlenir.

$$v = q_1 \left\{ \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 \right\} + q_2 \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x \right\} + q_3 \left\{ -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right\} + q_4 \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \right\} \quad (2.42)$$

$$N1 = \left\{ \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 \right\} \quad (2.43)$$

$$N2 = \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x \right\} \quad (2.44)$$

$$N3 = \left\{ -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right\} \quad (2.45)$$

$$N4 = \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \right\} \quad (2.46)$$

Eşitlik (2.43), (2.44), (2.45) ve (2.46)'da şekil fonksiyonları elde edilmiştir.

Denklem (2.38)'de, denklem (2.42) yerine yazılırsa

$$u = -y \frac{d}{dx} \left\{ q_1 \left\{ \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 \right\} + q_2 \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x \right\} + q_3 \left\{ -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right\} + q_4 \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \right\} \right\} \quad (2.47)$$

elde edilir.

Şekil fonksiyonları son olarak denklem (2.48)'deki şeklini alır.

$$[N] = \left[\left\{ \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 \right\} \quad \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x \right\} \quad \left\{ -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \right\} \quad \left\{ \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \right\} \right] \quad (2.48)$$

$$[B] = \frac{d}{dx}[N] = -\frac{y}{L^3} [12x - 6L \quad 6xL - 4L^2 \quad -12x + 6L \quad 6xL - 2L^2] \quad (2.49)$$

Eğilme hareketi için rijitlik matrisi $[K]$, eşitlik (2.52)'de gösterilmiştir;

$$[K] = \int_0^L \int_A [B]^T E [B] dA dx \quad (2.50)$$

$$[K] = \int_0^L \int_A \frac{Ey^2}{L^6} \begin{bmatrix} 12x - 6L \\ 6xL - 4L^2 \\ -12x + 6L \\ 6xL - 2L^2 \end{bmatrix} [12x - 6L \quad 6xL - 4L^2 \quad -12x + 6L \quad 6xL - 2L^2] dA dx \quad (2.51)$$

$$[K] = \frac{EI_z}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Eğilme hareketi için kütle matrisi $[M]$ ise, eşitlik (2.55)'te gösterilmektedir;

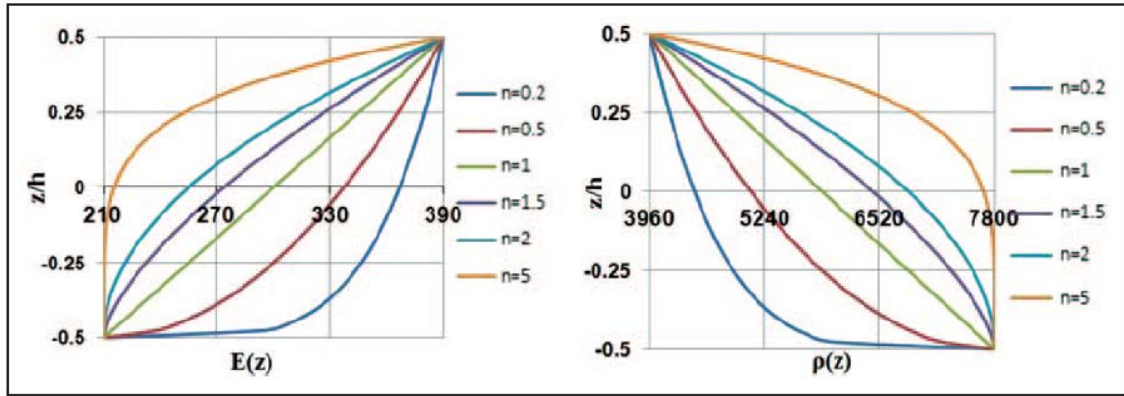
$$[M] = \int_0^L \int_A [N]^T \rho [N] dA dx \quad (2.53)$$

$$[M] = \int_0^L \int_A \begin{bmatrix} \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 \\ \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x \\ -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} \\ \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \end{bmatrix} \rho \begin{bmatrix} \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1 & \frac{x^3}{L^2} - \frac{2x^2}{L} + x & -\frac{2x^3}{L^3} + \frac{3x^2}{L^2} & \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L} \end{bmatrix} dA dx \quad (2.54)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} \frac{13AL\rho}{35} & \frac{11AL^2\rho}{210} & \frac{9AL\rho}{70} & -\frac{13AL^2\rho}{420} \\ \frac{11AL^2\rho}{210} & \frac{AL^3\rho}{105} & \frac{13AL^2\rho}{420} & -\frac{AL^3\rho}{140} \\ \frac{9AL\rho}{70} & \frac{13AL^2\rho}{420} & \frac{13AL\rho}{35} & -\frac{11AL^2\rho}{210} \\ -\frac{13AL^2\rho}{420} & -\frac{AL^3\rho}{140} & -\frac{11AL^2\rho}{210} & \frac{AL^3\rho}{105} \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

2.5 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler

FDM'ler (functionally graded materials), malzeme ve mekanik özellikleri bir yüzeyden diğerine doğru düzgün ve sürekli olarak değişen ve homojen olmayan kompozit malzemedir. FD kirişler, plakalar ve gemi uçak dış kaplamaları statik ve dinamik davranışlarından anlaşılacağı üzere uygulama sahalarının genişliğinden dolayı son on yılda oldukça önemli hale gelmişlerdir.



Şekil 2. 5 FD Kirişin Elastiklik Modülü ve Yoğunluğunun Kiriş Kalınlığı ile Değişimi

FD kirişin malzeme özellikleri olan $E(z)$, $I(z)$, $\rho(z)$ ve $v(z)$, kirişin kalınlığı istikametinde değişime uğrar ve bu değişim kuvvet kanununa göre sürekli dir. Bundan dolayı malzeme özellikleri z koordinatının fonksiyonudur. Kuvvet kanunu ifadesi denklem (2.56)'da verilmiştir.

$$P(z) = (P_U - P_L) \left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2} \right)^n + P_L \quad (2.56)$$

Bu ifadede P_U ve P_L üst ve alt yüzeylerin uygun malzeme özelliklerini temsil etmektedir. Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre kirişin aksenal yerdeğişimi;

$$u(x, z, t) = u_0(x, t) - z \frac{\partial w_0(x, t)}{\partial x} \quad (2.57)$$

şeklinde ifade edilir. Küçük deformasyonların göz önüne alındığı ve FD kirişin Hooke kanununa uyduğu farz edilerek yer değiştirme ve gerilme bağıntıları sırasıyla (2.58) ve (2.59) eşitliklerinde gösterildiği gibidir;

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u_0(x, t)}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w_0(x, t)}{\partial x^2} \quad (2.58)$$

$$\sigma_{xx} = E(z) \varepsilon_{xx} \quad (2.59)$$

σ_{xx} ve ε_{xx} x eksen istikametindeki normal gerilme ve normal yer değişimidir. FD kirişin potansiyel enerji ifadesi denklem (2.60)'ta verilmiştir;

$$U = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \int_A \sigma_{xx} \varepsilon_{xx} dA dx \quad (2.60)$$

σ_{xx} ve ε_{xx} (2.60) numaralı potansiyel enerji denkleminde yerine konularak ifade son halini alır;

$$U = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \left[A_{xx} \left(\frac{\partial u_0(x,t)}{\partial x} \right)^2 - 2B_{xx} \left(\frac{\partial u_0(x,t)}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial^2 w_0(x,t)}{\partial x^2} \right) + D_{xx} \left(\frac{\partial^2 w_0(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 \right] dx \quad (2.61)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \left[A_{xx} ([N']_u [q]_u)^2 - 2B_{xx} ([N']_u [q]_u) ([N'']_w [q]_w) + D_{xx} ([N'']_w [q]_w)^2 \right] dx \quad (2.62)$$

A_{xx} , B_{xx} ve D_{xx} ifadeleri denklem (2.63) ile hesaplanır;

$$(A_{xx}, B_{xx}, D_{xx}) = \int_A E(z) (1, z, z^2) dA \quad (2.63)$$

$$A_{xx} = \int_A E(z) dA = b \left[hE_L - \frac{h(E_L - E_U)}{n+1} \right] \quad (2.64)$$

$$B_{xx} = \int_A E(z) z dA = -2^n b h \left[\frac{h}{2^n(n+2)} - \frac{h}{2^n(2n+2)} \right] (E_L - E_U) \quad (2.65)$$

$$D_{xx} = \int_A E(z) z^2 dA = b \left[\frac{h^3 E_L}{12} + 2^n h (E_L - E_U) \left[h \left[\frac{h}{2^n(n+2)} - \frac{h}{2^n(n+3)} \right] - \frac{h^2}{2^n(4n+4)} \right] \right] \quad (2.66)$$

Kinetik enerji ifadesi ise denklem (2.67)'deki gibi ifade edilir;

$$T = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \left[I_A \left(\frac{\partial u_0(x,t)}{\partial t} \right)^2 - 2I_B \left(\frac{\partial u_0(x,t)}{\partial t} \right) \left(\frac{\partial^2 w_0(x,t)}{\partial x \partial t} \right) + I_A \left(\frac{\partial w_0(x,t)}{\partial t} \right)^2 + I_D \left(\frac{\partial^2 w_0(x,t)}{\partial x \partial t} \right)^2 \right] dx \quad (2.67)$$

$$T = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} [I_A([N]_u[q]_u)^2 - 2I_B([N]_u[q]_u)([N']_w[q]_w) + I_D([N']_w[q]_w)^2 + I_A([N]_w[q]_w)^2] dx \quad (2.68)$$

I_A, I_B ve I_D denklem (2.69) ile hesaplanır;

$$(I_A, I_B, I_D) = \int_A \rho(z)(1, z, z^2) dA \quad (2.69)$$

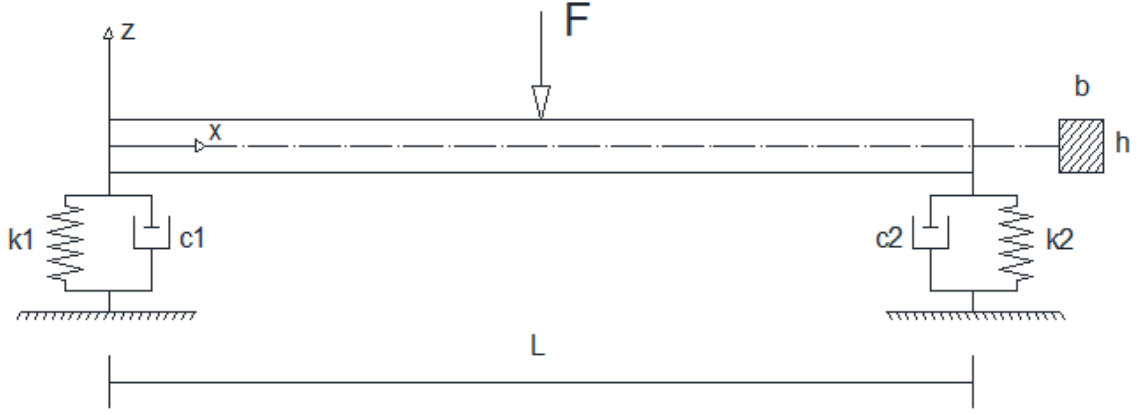
$$I_A = \int_A \rho(z) dA = b \left[h\rho_L - \frac{h(\rho_L - \rho_U)}{n+1} \right] \quad (2.70)$$

$$I_B = \int_A \rho(z)z dA = -2^n b h \left[\frac{h}{2^n(n+2)} - \frac{h}{2^n(2n+2)} \right] (\rho_L - \rho_U) \quad (2.71)$$

$$I_D = \int_A \rho(z)z^2 dA = b \left[\frac{h^3 \rho_L}{12} + 2^n h(\rho_L - \rho_U) \left[h \left[\frac{h}{2^n(n+2)} - \frac{h}{2^n(n+3)} \right] - \frac{h^2}{2^n(4n+4)} \right] \right] \quad (2.72)$$

2.5.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Kütle ve Rijitlik Matrislerinin Hesaplanması

Potansiyel ve kinetik enerji ifadelerinin elde edilmesinin ardından, FD kirişe ait rijitlik matrisini ve kütle matrisini elde edebiliriz.



Şekil 2. 6 Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş

Rijitlik matrisinin en genel hali denklem (2.73)'te verilmiştir;

$$[K] = \int_{-L/2}^{L/2} b \int_{-h/2}^{h/2} [B]^T [B] E(z) dz dx \quad (2.73)$$

Denklem (2.73)'te, elde edilen değerler yerine konup ifade çözüme götürülerek FD kirişin rijitlik matrisi (2.74)'te gösterildiği gibi elde edilir;

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{A_{xx}}{L} & 0 & \frac{B_{xx}}{L} & -\frac{A_{xx}}{L} & 0 & -\frac{B_{xx}}{L} \\ 0 & 12 \frac{D_{xx}}{L^3} & 6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 0 & -12 \frac{D_{xx}}{L^3} & 6 \frac{D_{xx}}{L^2} \\ \frac{B_{xx}}{L} & 6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 4 \frac{D_{xx}}{L} & -\frac{B_{xx}}{L} & -6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 2 \frac{D_{xx}}{L} \\ -\frac{A_{xx}}{L} & 0 & -\frac{B_{xx}}{L} & \frac{A_{xx}}{L} & 0 & \frac{B_{xx}}{L} \\ 0 & -12 \frac{D_{xx}}{L^3} & -6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 0 & 12 \frac{D_{xx}}{L^3} & -6 \frac{D_{xx}}{L^2} \\ -\frac{B_{xx}}{L} & 6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 2 \frac{D_{xx}}{L} & \frac{B_{xx}}{L} & -6 \frac{D_{xx}}{L^2} & 4 \frac{D_{xx}}{L} \end{bmatrix} \quad (2.74)$$

Kütle matrisinin en genel hali ise denklem (2.75)'teki gibi ifade edilebilir;

$$[M] = \int_{-L/2}^{L/2} b \int_{-h/2}^{h/2} [N]^T [N] \rho(z) dz dx \quad (2.75)$$

Denklem (2.75)'te de elde edilen değerler yerine konulup ifade çözüme götürülerek FD kiriş için kütle matrisi (2.76)'da gösterildiği gibi elde edilir;

$$[M] = \begin{bmatrix} \frac{I_A L}{3} & \frac{I_B}{2} & -\frac{I_B L}{12} & \frac{I_A L}{6} & -\frac{I_B}{2} & \frac{I_B L}{12} \\ \frac{I_B}{2} & \frac{6I_D}{5L} + \frac{13I_A L}{35} & \frac{I_D}{10} + \frac{11I_A L^2}{210} & \frac{I_B}{2} & \frac{9I_A L}{70} - \frac{6I_D}{5L} & \frac{I_D}{10} - \frac{13I_A L^2}{420} \\ -\frac{I_B L}{12} & \frac{I_D}{10} + \frac{11I_A L^2}{210} & \frac{2I_D L}{15} + \frac{I_A L^3}{105} & \frac{I_B L}{12} & \frac{13I_A L^2}{420} - \frac{I_D}{10} & -\frac{I_D L}{30} - \frac{I_A L^3}{140} \\ \frac{I_A L}{6} & \frac{I_B}{2} & \frac{I_B L}{12} & \frac{I_A L}{6} & -\frac{I_B}{2} & -\frac{I_B L}{12} \\ -\frac{I_B}{2} & \frac{9I_A L}{70} - \frac{6I_D}{5L} & \frac{13I_A L^2}{420} - \frac{I_D}{10} & -\frac{I_B}{2} & \frac{6I_D}{5L} + \frac{13I_A L}{35} & -\frac{11I_A L^2}{210} - \frac{I_D}{10} \\ \frac{I_B L}{6} & \frac{I_D}{10} - \frac{13I_A L^2}{420} & -\frac{I_D L}{30} - \frac{I_A L^3}{140} & -\frac{I_B L}{12} & -\frac{I_D}{10} - \frac{11I_A L^2}{210} & \frac{2I_D L}{15} + \frac{I_A L^3}{105} \end{bmatrix} \quad (2.76)$$

Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin rijitlik ve kütle matrisleri elde edildikten sonra, yay ve sönüm elemanlarıyla desteklenmiş fonksiyonel derecelendirilmiş kirişe ait kinetik enerji ve potansiyel enerji ifadeleri ile yay ve sönüm elemanlarına ait potansiyel enerji ifadeleri sırasıyla denklem (2.77), (2.78), (2.79) ve (2.80)'de verilmiştir;

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{q}\}^T [M] \{\dot{q}\} \quad (2.77)$$

$$U = \frac{1}{2} \{q\}^T [K] \{q\} \quad (2.78)$$

$$U_k = \frac{1}{2}k_1[q_1(t)]^2 + \frac{1}{2}k_2[q_{p-1}(t)]^2 \quad (2.79)$$

$$U_c = \frac{1}{2}c_1[q_1(t)]^2 + \frac{1}{2}c_2[q_{p-1}(t)]^2 \quad (2.80)$$

Burada,

$$p = 2n + 1$$

$$n = m + 1$$

m =sonlu eleman sayısı

n =sistemin nod sayısı

p =kirişin toplam serbestlik derecesi sayısı olarak verilmiştir.

k_1 ve k_2 birinci ve ikinci desteğin rijitliğini, c_1 ve c_2 ise birinci ve ikinci desteğe ait sönümü ifade etmektedir.

Tüm sisteme ait eşitlik, denklem (2.81)'de verilmiştir;

$$[K]\{q\} + [K_s]\{q\} + [D_s]\{\dot{q}\} + [M]\{\ddot{q}\} = F \quad (2.81)$$

$[K]$ = giriş rijitlik matrisini

$[K_s]$ = yay elemanı rijitlik matrisini

$[M]$ = giriş kütle matrisini

$[D_s]$ = sönüm elemanı matrisini ifade etmektedir.

Zamana bağımlı nodal yer değiştirme olan $q(t)$, denklem (2.82)'deki gibi yazılabilir;

$$\{q(t)\} = \{\bar{q}\}e^{i\omega t} \quad (2.82)$$

Denklem (2.82)'deki $\{\bar{q}\}$ 'nin elemanları, bir faz açısı içeren kompleks değişkenlerdir. Denklem (2.82), denklem (2.81)'de yerine yazılarak;

$$([K] + [K_s] + i\omega[D_s] - \omega^2[M])\{\bar{q}\} = F \quad (2.83)$$

Denklem (2.83)'teki şekilde yazılır.

Bu çalışmada, sayısal sonuçlar boyutsuz parametreler ile verilmiştir. Yay katsayısı, sönüm katsayısı ve frekans parametresi değerlerinin boyutsuz hale getirilmesi için (2.84)'teki eşitlikler kullanılmıştır;

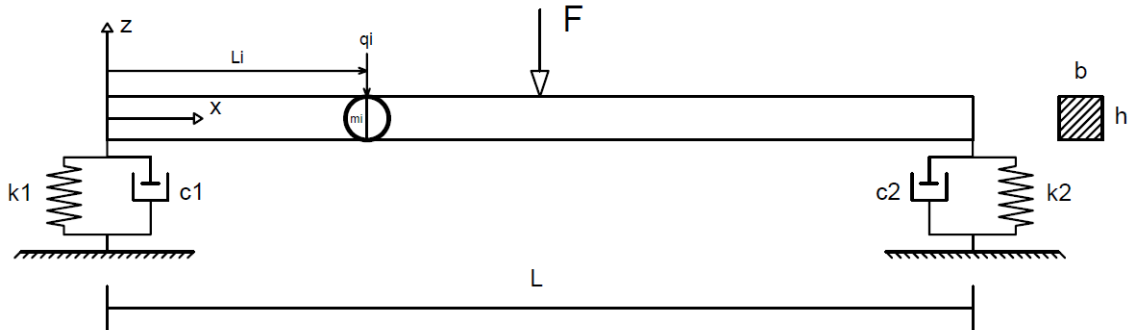
$$k = \frac{k_s L^3}{EI} \quad c = C_s \frac{EIA}{L^2} \quad \lambda = \frac{\rho\omega^2 L^4}{EI} \quad (2.84)$$

Sisteme ait hareket denklemi (2.85)'te verildiği gibi son halini alır;

$$([K] + k[K_s] + ic[D_s] - \lambda^2[M])\{\bar{q}\} = F \quad (2.85)$$

2.5.2 Noktasal Kütle Fiziksel Özelliklerinin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi

Sonlu elemanlar yönteminden faydalanılarak, birbirine eşit 64 elemana ayrılan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişe ait herhangi bir nod üzerine uygulanan noktasal kütle kinetik enerji ifadesi denklem (2.86) ile hesaplanmaktadır;



Şekil 2. 7 Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş Üzerine Noktasal Kütle Uygulanması

$$T = \frac{1}{2} m_i \dot{q}_i^2 \quad (2.86)$$

Burada;

m_i : Noktasal kütle

q_i : Genelleştirilmiş koordinat

Noktasal kütlelerin kiriş üzerindeki etkisi yalnızca düşey doğrultudadır. 64 eşit elemana ayrılmış kiriş üzerinde 195 genelleştirilmiş koordinat bulunmaktadır ve;

q_1 = yatay eksen doğrultusundaki genelleştirilmiş koordinat

q_2 = düşey eksen doğrultusundaki genelleştirilmiş koordinat

q_3 = döndürme momenti düzlemindeki genelleştirilmiş koordinat

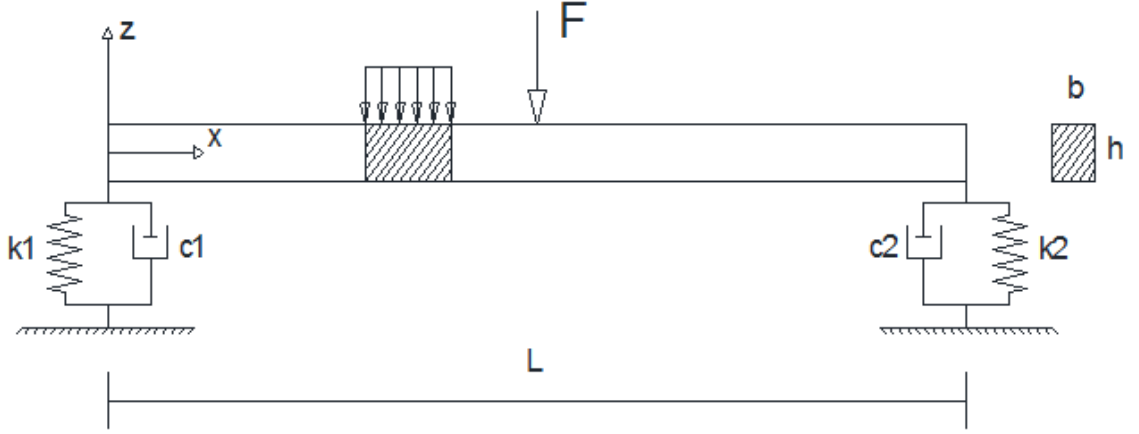
Sıralamasıyla 195 genelleştirilmiş koordinat numaralandırılmasına göre denklem (2.86)'da yer alan q_i aşağıdaki değerleri almaktadır;

$$i = 2,5,8,11,\dots,194$$

Noktasal kütleyle ait kütle matrisi elemanları, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişe ait kütle matrisinin M_{ii} indisli elemanları ile toplanarak, herhangi bir nodu üzerine noktasal kütle uygulanan kirişe ait kütle matrisi elde edilir.

2.5.3 Yayılı Yük Fiziksel Özelliklerinin Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi

Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş üzerine uygulanan yayılı yüke ait kinetik enerji denklem (2.87) ile hesaplanmaktadır;



Şekil 2. 8 Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş Üzerine Yayılı Yük Uygulanması

$$T = \int_0^d \frac{1}{2} b \beta M_d \left[\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right] dx \quad (2.87)$$

$$T = \int_0^d \frac{1}{2} b \beta M_d \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial t} \right)^2 - 2z \left(\frac{\partial u_0}{\partial t} \right) \left(\frac{\partial w_0}{\partial x \partial t} \right) + z^2 \left(\frac{\partial w_0}{\partial x \partial t} \right)^2 \right] dx \quad (2.88)$$

$$+ \int_0^d \frac{1}{2} b \beta M_d \left(\frac{\partial w_0}{\partial t} \right)^2 dx$$

$$\beta = \frac{M_{yayılı}}{M_{kiriş}}$$

$$M_{kiriş} = \rho_L h b L$$

$$M_d = \frac{M_{kiriş}}{b d}$$

Yayıllı yük kütlelerinin boyutsuz hale getirilmiş ifadesi;

$$M_{d_{boyutsuz}} = \rho_L h b (LL) \left(\frac{(LL^2)}{h} \sqrt{\frac{12\rho_L}{E_L}} \right)^2 bL$$

Burada;

L = kiriş uzunluğu

b = yayıllı yüke ait genişlik

β = yayıllı yük kütlelerinin kiriş kütlelerine oranı

$$M_d = \frac{kg}{m^2}$$

Yayıllı yüke ait kütle matrisi ise (2.89)'de verilmiştir;

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & M_{55} & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & M_{66} \end{bmatrix} \quad (2.89)$$

$$M_{11} = \frac{d(3L^2 - 3Ld + d^2)}{3L^2} \quad (2.90)$$

$$M_{12} = \frac{zd(10L^3d - 20L^4 + 20L^2d^2 - 25Ld^3 + 8d^4)}{20L^4} \quad (2.91)$$

$$M_{13} = -\frac{zd^2(10L^3 - 20L^2d + 15Ld^2 - 4d^3)}{20L^3} \quad (2.92)$$

$$M_{14} = \frac{d^2(3L - 2d)}{6L^2} \quad (2.93)$$

$$M_{15} = -\frac{zd^3\left(L^2 - \frac{5Ld}{4} + \frac{2d^2}{5}\right)}{L^4} \quad (2.94)$$

$$M_{16} = \frac{zd^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{30L^3} \quad (2.95)$$

$$M_{21} = \frac{zd(10L^3d - 20L^4 + 20L^2d^2 - 25Ld^3 + 8d^4)}{20L^4} \quad (2.96)$$

$$M_{22} = \frac{6z^2d^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{5L^6} + \frac{d(35L^6 - 70L^4d^2 + 35L^3d^3 + 63L^2d^4 - 70Ld^5 + 20d^6)}{35L^6} \quad (2.97)$$

$$M_{23} = \frac{z^2(100L^2d^3 - 30L^3d^2 - 105Ld^4 + 36d^5)}{10L^5} + \frac{d^2(105L^5 - 140L^4d - 105L^3d^2 + 336L^2d^3 - 245Ld^4 + 60d^5)}{210L^5} \quad (2.98)$$

$$M_{24} = -\frac{zd^2(10L^3 - 15Ld^2 + 8d^3)}{20L^4} \quad (2.99)$$

$$M_{25} = -\frac{6z^2d^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{5L^6} - \frac{d^3\left(\frac{L^3d}{2} - L^4 + \frac{9L^2d^2}{5} - 2Ld^3 + \frac{4d^4}{7}\right)}{L^6} \quad (2.100)$$

$$M_{26} = \frac{z^2d^3(40L^2 - 75Ld + 36d^2)}{10L^5} + \frac{d^3(105L^3d - 140L^4 + 225L^2d^2 - 350Ld^3 + 120d^4)}{420L^5} \quad (2.101)$$

$$M_{31} = \frac{zd^2(10L^3 - 20L^2d + 15Ld^2 - 4d^3)}{20L^3} \quad (2.102)$$

$$M_{32} = \frac{z^2(100L^2d^3 - 30L^3d^2 - 105Ld^4 + 36d^5)}{10L^5} + \frac{d^2(105L^5 - 140L^4d - 105L^3d^2 + 336L^2d^3 - 245Ld^4 + 60d^5)}{210L^5} \quad (2.103)$$

$$M_{33} = \frac{z^2d(15L^4 - 60L^3d + 110L^2d^2 - 90Ld^3 + 27d^4)}{15L^4} + \frac{d^3(35L^4 - 105L^3d + 126L^2d^2 - 70Ld^3 + 15d^4)}{105L^4} \quad (2.104)$$

$$M_{34} = -\frac{zd^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{30L^3} \quad (2.105)$$

$$M_{35} = \frac{z^2 d^2 (30L^3 - 100L^2 d + 105L d^2 - 36d^3)}{10L^5} + \frac{d^4 (315L^3 - 672L^2 d + 490L d^2 - 120d^3)}{420L^5} \quad (2.106)$$

$$M_{36} = \frac{z^2 (110L^2 d^3 - 30L^3 d^2 - 135L d^4 + 54d^5)}{30L^4} + \frac{84L^2 d^5 - 35L^3 d^4 - 70L d^6 + 20d^7}{140L^4} \quad (2.107)$$

$$M_{41} = \frac{d^2 (3L - 2d)}{6L^2} \quad (2.108)$$

$$M_{42} = -\frac{z d^2 (10L^3 - 15L d^2 + 8d^3)}{20L^4} \quad (2.109)$$

$$M_{43} = -\frac{z d^3 (10L^2 - 15L d + 6d^2)}{30L^3} \quad (2.110)$$

$$M_{44} = \frac{d^3}{3L^2} \quad (2.111)$$

$$M_{45} = -\frac{z d^4 (15L - 8d)}{20L^4} \quad (2.112)$$

$$M_{46} = -\frac{z(4d^5 - 5Ld^4)}{20L^3} \quad (2.113)$$

$$M_{51} = \frac{zd^3 \left(L^2 - \frac{5Ld}{4} + \frac{2d^2}{5} \right)}{L^4} \quad (2.114)$$

$$M_{52} = -\frac{6z^2d^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{5L^6} - \frac{d^3 \left(\frac{L^3d}{2} - L^4 + \frac{9L^2d^2}{5} - 2Ld^3 + \frac{4d^4}{7} \right)}{L^6} \quad (2.115)$$

$$M_{53} = \frac{z^2d^2(30L^3 - 100L^2d + 105Ld^2 - 36d^3)}{10L^5} + \frac{d^4(315L^3 - 672L^2d + 490Ld^2 - 120d^3)}{420L^5} \quad (2.116)$$

$$M_{54} = -\frac{zd^4(15L - 8d)}{20L^4} \quad (2.117)$$

$$M_{55} = \frac{6z^2d^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{5L^6} + \frac{d^5(63L^2 - 70Ld + 20d^2)}{35L^6} \quad (2.118)$$

$$M_{56} = -\frac{z^2d^3(40L^2 - 75Ld + 36d^2)}{10L^5} - \frac{d^5(126L^2 - 175Ld + 60d^2)}{210L^5} \quad (2.119)$$

$$M_{61} = \frac{zd^3(10L^2 - 15Ld + 6d^2)}{30L^3} \quad (2.120)$$

$$M_{62} = \frac{z^2d^3(40L^2 - 75Ld + 36d^2)}{10L^5} + \frac{d^3(105L^3d - 140L^4 + 252L^2d^2 - 350Ld^3 + 120d^4)}{420L^5} \quad (2.121)$$

$$M_{63} = \frac{z^2(110L^2d^3 - 30L^3d^2 - 135Ld^4 + 54d^5)}{30L^4} + \frac{84L^2d^5 - 35L^3d^4 - 70Ld^6 + 20d^7}{140L^4} \quad (2.122)$$

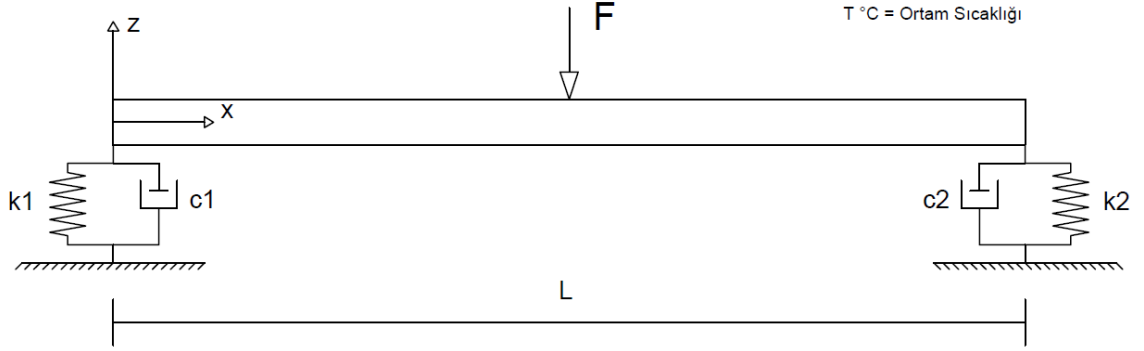
$$M_{64} = -\frac{z(4d^5 - 5Ld^4)}{20L^3} \quad (2.123)$$

$$M_{65} = -\frac{z^2d^3(40L^2 - 75Ld + 36d^2)}{10L^5} - \frac{d^5(126L^2 - 175Ld + 60d^2)}{210L^5} \quad (2.124)$$

$$M_{66} = \frac{z^2d^3(20L^2 - 45Ld + 27d^2)}{15L^4} + \frac{d^5(21L^2 - 35Ld + 15d^2)}{105L^4} \quad (2.125)$$

2.5.4 Sıcaklığın Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Frekans Parametresi Üzerindeki Etkisi

Bu kısımda, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin bulunduğu ortam sıcaklığının değiştirilmesinin, kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Sıcaklık etkisi altındaki kirişe ait potansiyel enerji ifadesi (2.126)'da verilmiştir.



Şekil 2. 9 Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Viskoelastik Mesnetli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş

$$U_T = \frac{1}{2} \int_V (\sigma_{xx}^T d_{xx}) dV \quad (2.126)$$

$$\sigma_{xx}^T = E(z)(\varepsilon_{xx}^T) \quad (2.127)$$

$$\varepsilon_{xx}^T = -\alpha(z)\Delta T \quad (2.128)$$

Burada;

$$\Delta T = T_s - T_i$$

T_i = İlk ortam sıcaklığı

T_s = Son ortam sıcaklığı

$$d_{xx} = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \quad (2.129)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \int_V E(z)\alpha(z)\Delta T \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \right] dV \quad (2.130)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \int_0^L \int_A E(z)\alpha(z)\Delta T \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \right] dAdx \quad (2.131)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \int_0^L \int_A E(z)\alpha(z)\Delta T \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)^2 \right] dAdx \quad (2.132)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \int_0^L \int_A E(z)\alpha(z)\Delta T \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right)^2 - 2z \left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}\right) + z^2 \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)^2 \right] dAdx \quad (2.133)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \Delta T \int_0^L \left[\left(\left(\int_A E(z)\alpha(z) dA \right) \left(\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)^2 \right) \right) - 2 \left(\left(\int_A E(z)\alpha(z) z dA \right) \left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}\right) \right) + \left(\left(\int_A E(z)\alpha(z) z^2 dA \right) \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}\right)^2 \right) \right] dx \quad (2.134)$$

$$A_{xx}^T = \int_A E(z)\alpha(z)dA = b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E(z)\alpha(z)dz \quad (2.135)$$

$$A_{xx}^T = \frac{bh(2E_L\alpha_L n^2 + E_L\alpha_U n + E_U\alpha_U + E_U\alpha_U n + E_U\alpha_L n)}{(2n+1)(n+1)} \quad (2.136)$$

$$B_{xx}^T = \int_A E(z)\alpha(z)zdA = b \int_{-h/2}^{h/2} E(z)\alpha(z)zdz \quad (2.137)$$

$$B_{xx}^T = \frac{bh^2n(E_L\alpha_U n + E_U\alpha_L n + E_U\alpha_U n - 3E_L\alpha_L n - E_L\alpha_U + 2E_U\alpha_U - E_U\alpha_L)}{2(n+1)(n+2)(2n+1)} \quad (2.138)$$

$$D_{xx}^T = \int_A E(z)\alpha(z)z^2dA = b \int_{-h/2}^{h/2} E(z)\alpha(z)z^2dz \quad (2.139)$$

$$\begin{aligned} D_{xx}^T = bh^3(4E_L\alpha_L n^5 + 6E_U\alpha_U n^4 + 14E_L\alpha_L n^4 + 6E_U\alpha_L n^4 + 6E_L\alpha_U n^4 \\ + 3E_L\alpha_U n^3 + 56E_L\alpha_L n^3 + 3E_U\alpha_L n^3 + 33E_U\alpha_U n^3 \\ + 70E_L\alpha_L n^2 + 3E_U\alpha_L n^2 + 54E_U\alpha_U n^2 + 3E_L\alpha_U n^2 \\ + 24E_U\alpha_L n + 24E_L\alpha_U n + 33E_U\alpha_U n + 18E_U\alpha_U) \\ / (12(n+3)(2n+3)(n+1)(n+2)(2n+1)) \end{aligned} \quad (2.140)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \Delta T \int_0^L \left[\left(A_{xx}^T \left(\left(\frac{\partial u_0}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right) - 2 \left(B_{xx}^T \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \right) \right) + \left(D_{xx}^T \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \right)^2 \right) \right] dx \quad (2.141)$$

$$U_T = -\frac{1}{2} \Delta T \int_0^L [A_{xx}([N']_u[q]_u)^2 - 2B_{xx}([N']_u[q]_u)([N'']_w[q]_w) + D_{xx}([N'']_w[q]_w)^2 + A_{xx}([N']_w[q]_w)^2] dx \quad (2.142)$$

$$[K]_T \begin{bmatrix} \frac{A_{xx}}{L} & 0 & -\frac{B_{xx}}{L} & -\frac{A_{xx}}{L} & 0 & \frac{B_{xx}}{L} \\ 0 & \frac{12D_{xx}}{L^3} + \frac{6A_{xx}}{5L} & \frac{6D_{xx}}{L^2} + \frac{A_{xx}}{10} & 0 & -\frac{12D_{xx}}{L^3} - \frac{6A_{xx}}{5L} & \frac{6D_{xx}}{L^2} + \frac{A_{xx}}{10} \\ -\frac{B_{xx}}{L} & \frac{6D_{xx}}{L^2} + \frac{A_{xx}}{10} & \frac{4D_{xx}}{L} + \frac{2A_{xx}L}{15} & \frac{B_{xx}}{L} & -\frac{6D_{xx}}{L^2} - \frac{A_{xx}}{10} & \frac{2D_{xx}}{L} - \frac{A_{xx}L}{30} \\ -\frac{A_{xx}}{L} & 0 & \frac{B_{xx}}{L} & \frac{A_{xx}}{L} & 0 & -\frac{B_{xx}}{L} \\ 0 & -\frac{12D_{xx}}{L^3} - \frac{6A_{xx}}{5L} & -\frac{6D_{xx}}{L^2} - \frac{A_{xx}}{10} & 0 & \frac{12D_{xx}}{L^3} + \frac{6A_{xx}}{5L} & -\frac{6D_{xx}}{L^2} - \frac{A_{xx}}{10} \\ \frac{B_{xx}}{L} & \frac{6D_{xx}}{L^2} + \frac{A_{xx}}{10} & \frac{2D_{xx}}{L} - \frac{A_{xx}L}{30} & -\frac{B_{xx}}{L} & -\frac{6D_{xx}}{L^2} - \frac{A_{xx}}{10} & \frac{4D_{xx}}{L} + \frac{2A_{xx}L}{15} \end{bmatrix} \quad (2.143)$$

SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde, yay ve sönüm elemanlarıyla desteklenmiş, uzunluğu L , genişliği b ve yüksekliği h olan, sonlu elemanlar yönteminden (FEM) faydalanılarak 64 eşit parçaya ayrılan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, (yay katsayısı, sönüm katsayısı, elastiklik modülü oranı ve kuvvet kanunu üstelinin değişimine bağlı olarak) farklı yay (k) ve sönüm (c) katsayıları ile kiriş elastiklik modülü oranı (E_{oran}) ve kuvvet kanunu üstelinin (n) değişimine bağlı olarak, dört farklı durum için dinamik davranışı incelenmektedir.

Belirtilen parametrelerin değişimi ile ilk kısımda, kiriş uzunluğunun orta noktasından kiriş üzerine uygulanan harmonik bir kuvvetin, ikinci kısımda, kiriş üzerine uygulanan harmonik kuvvetin yanısıra, kiriş üzerinde konumlandırılan noktasal bir kütlenin, üçüncü kısımda, yine kiriş üzerine uygulanan harmonik kuvvetle beraber, 64 eşit parçaya ayrılan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin belirli elemanları üzerine uygulanan yayılı yükün, dördüncü kısımda ise, farklı ortam sıcaklıklarının fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3.1 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Harmonik Analizi

Bu kısımda, kiriş uzunluğunun orta noktasından kiriş üzerine uygulanan harmonik kuvvetin, viskoelastik mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3.1.1 Yay Katsayısı $k=1$ için Yapılan Analiz Grafikleri

Yay katsayısı $k=1$ alınarak, farklı elastiklik modülü oranları için, sönüm katsayısı c ve kuvvet kanunu üsteli n 'in değişimi ile frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri elde edilmiştir.

3.1.1.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

$E_{oran}=0.25$ ve $E_{oran}=0.5$ için elde edilen şekil (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8)'de gösterilen frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri için aşağıdaki sonuçlar meydana gelmektedir;

n 'in artmasıyla her moda ait frekans parametresi değeri artış göstermektedir.

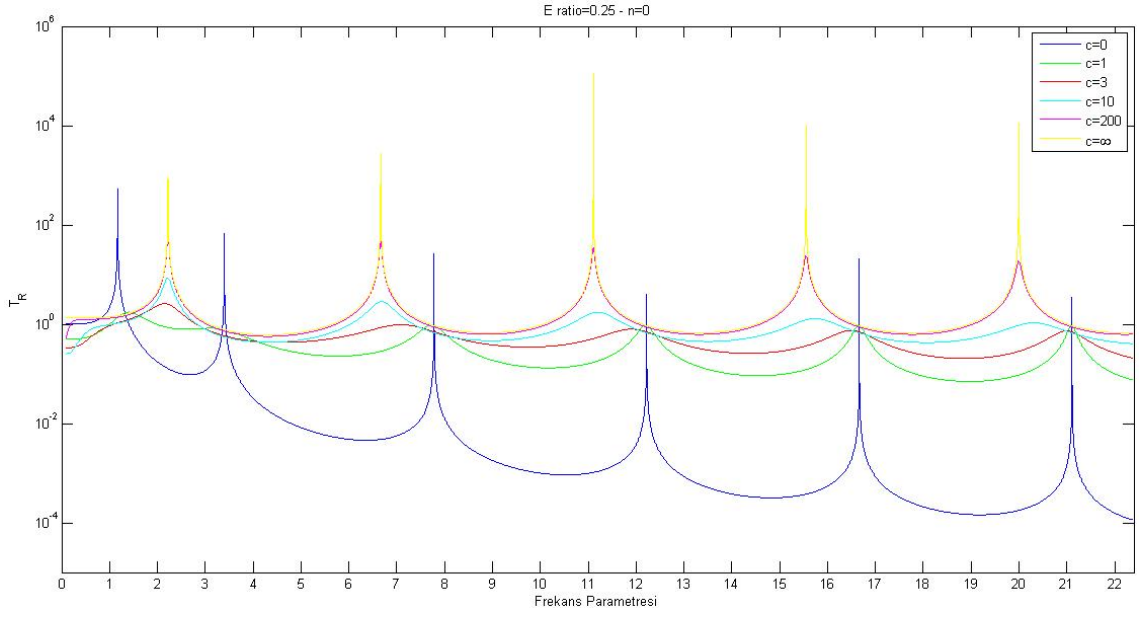
Sönüm katsayısının $c=0$ ve $c=1$ değerleri için elde edilen grafiklerin her mod aralığı için frekans parametresi eksenindeki minimum değerleri, sönüm katsayısının $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen grafiklerin her mod aralığı için frekans parametresi eksenindeki maksimum değerlerine denk gelmektedir.

1. modda, sönüm katsayısının $c=3$, $c=10$, $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için frekans parametresi değerleri yaklaşık olarak aynı değerdeyken, takip eden diğer modlarda, sönüm katsayısının $c=3$ ve $c=10$ değerleri için elde edilen frekans parametresi değerleri, $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen frekans parametresi değerlerinden daha fazla artış göstermektedir. c sönüm katsayısının artışı, frekans parametresi artışıyla ters orantılı bir davranış sergilemektedir.

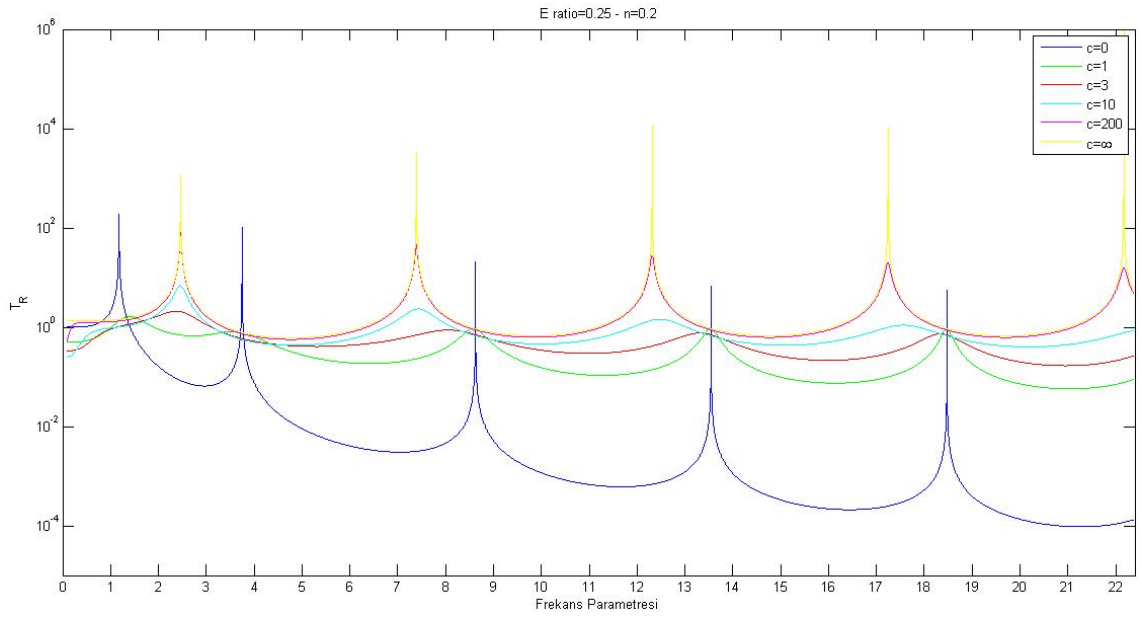
Sönüm katsayısının $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen grafiklerde frekans parametresi değerleri yaklaşık olarak çakışmaktadır.

n arttıkça, 1. mod frekans parametresi değeri artışının, 2. mod frekans parametresi artışından daha düşük olduğu gözlenmektedir ve bu davranış takip eden modlar içinde aynı şekilde devam etmektedir.

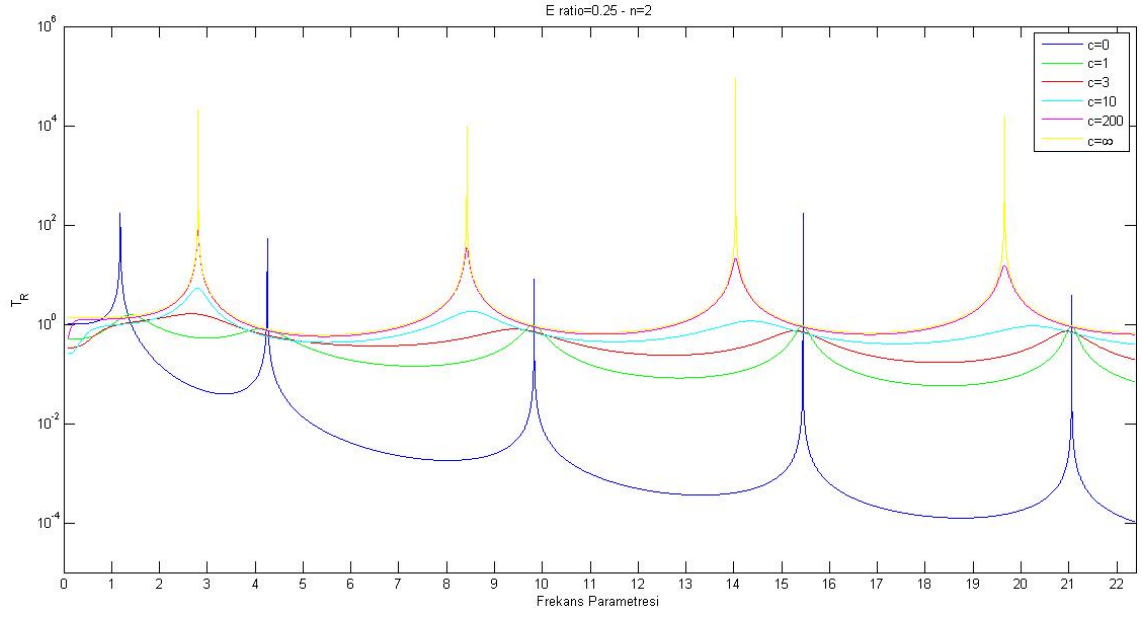
E_{oran} artışı ile her moda ait frekans parametresi değerleri arasındaki fark artış göstermektedir.



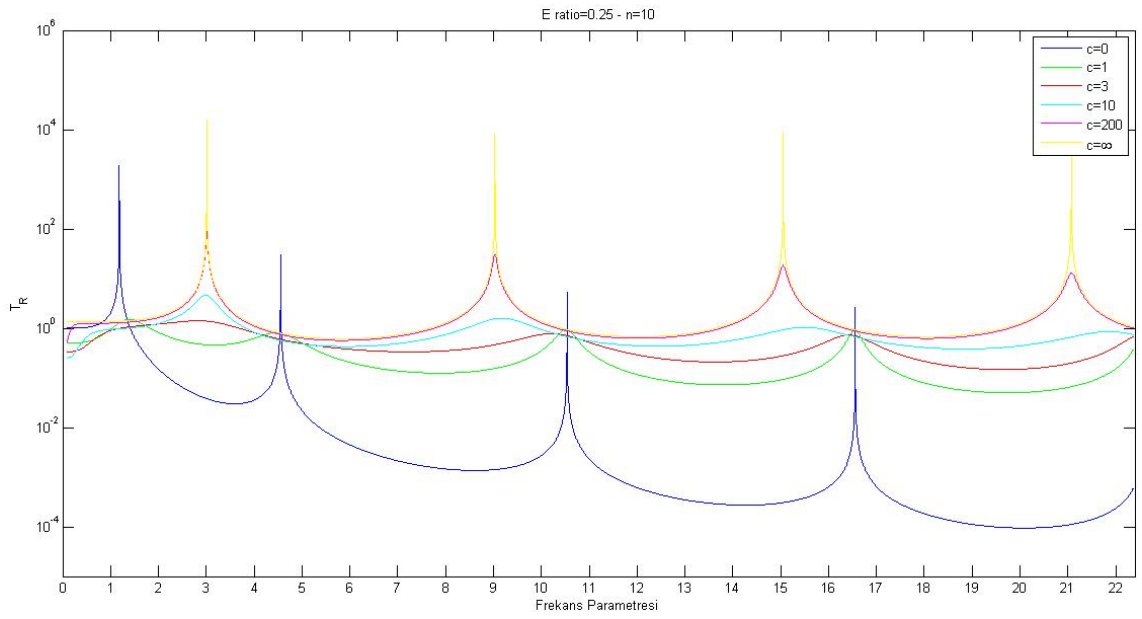
Şekil 3. 1 $k=1$, $E_{oran}=0.25$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 2 $k=1$, $E_{oran}=0.25$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

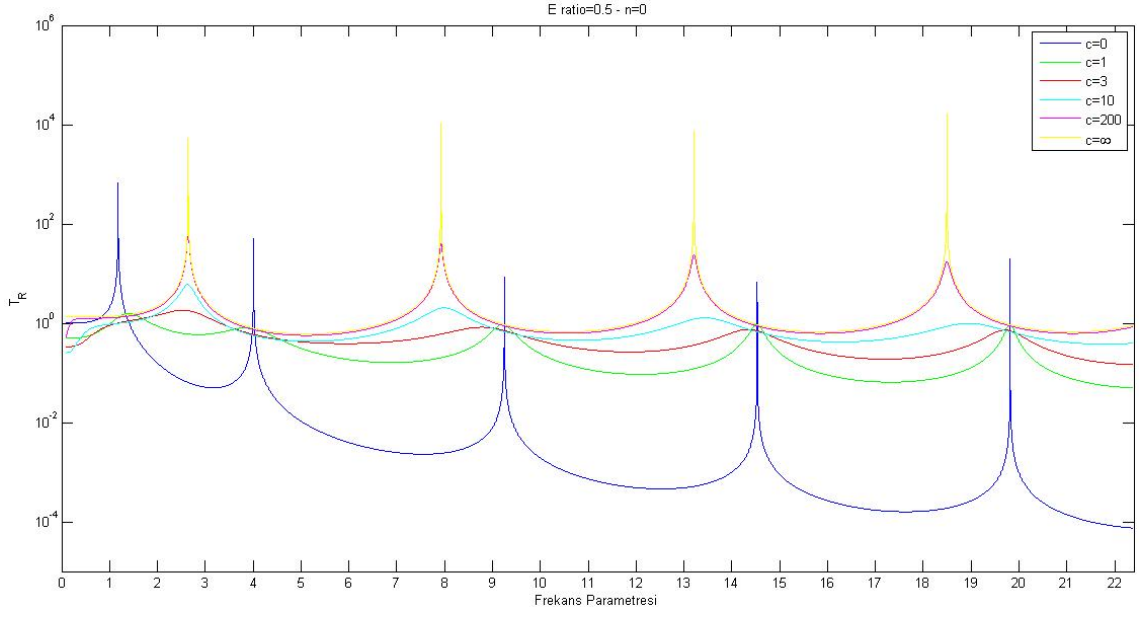


Şekil 3. 3 $k=1$, $E_{oran}=0.25$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

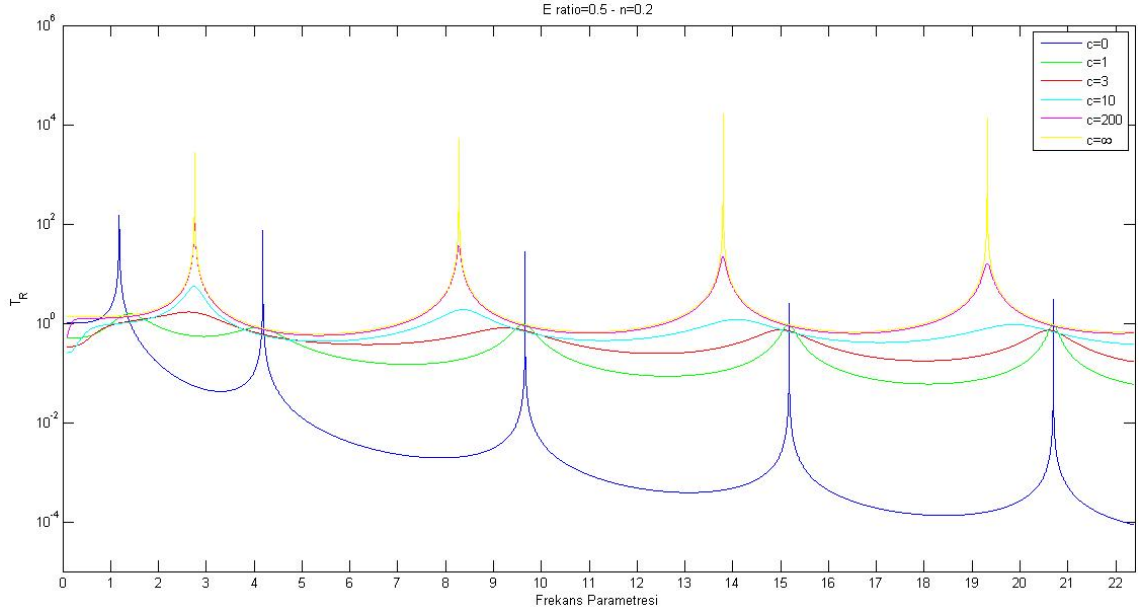


Şekil 3. 4 $k=1$, $E_{oran}=0.25$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

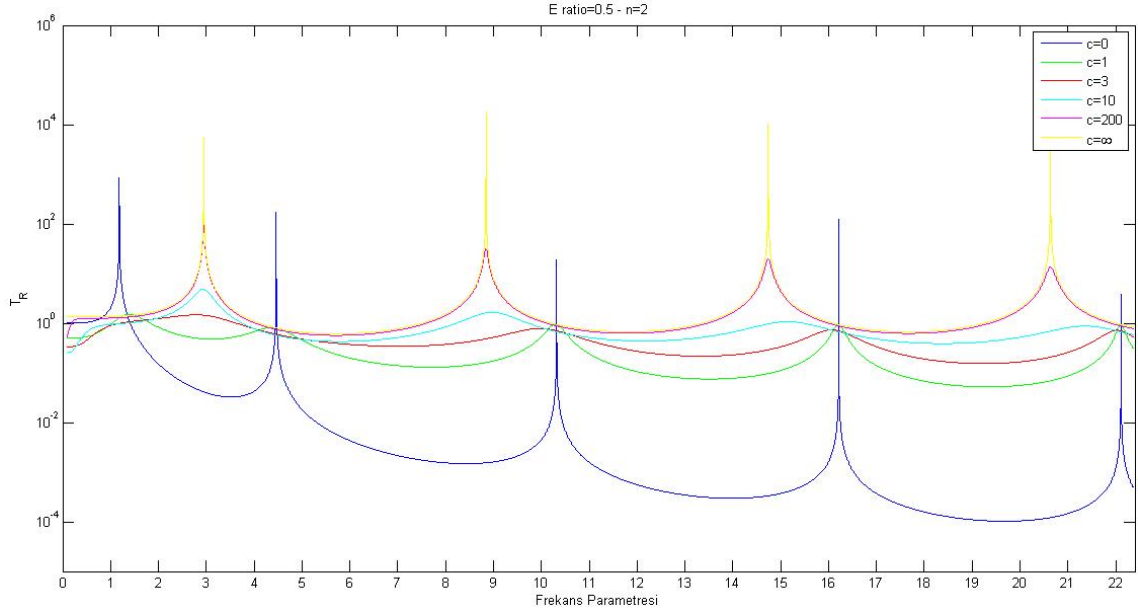
3.1.1.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



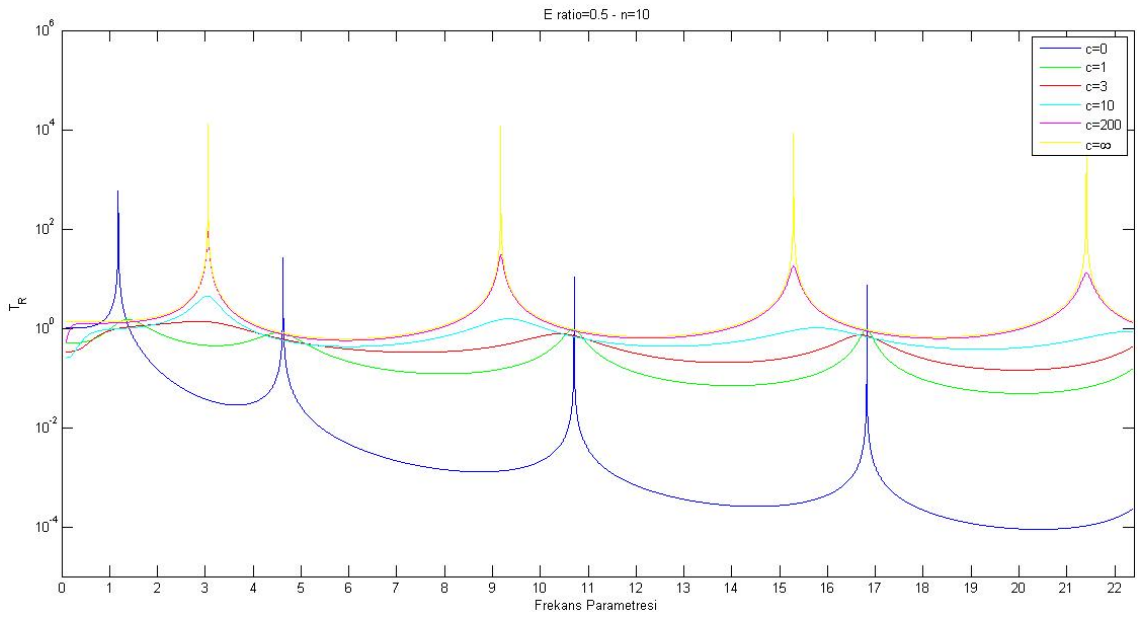
Şekil 3. 5 $k=1$, $E_{oran}=0.5$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 6 $k=1$, $E_{oran}=0.5$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



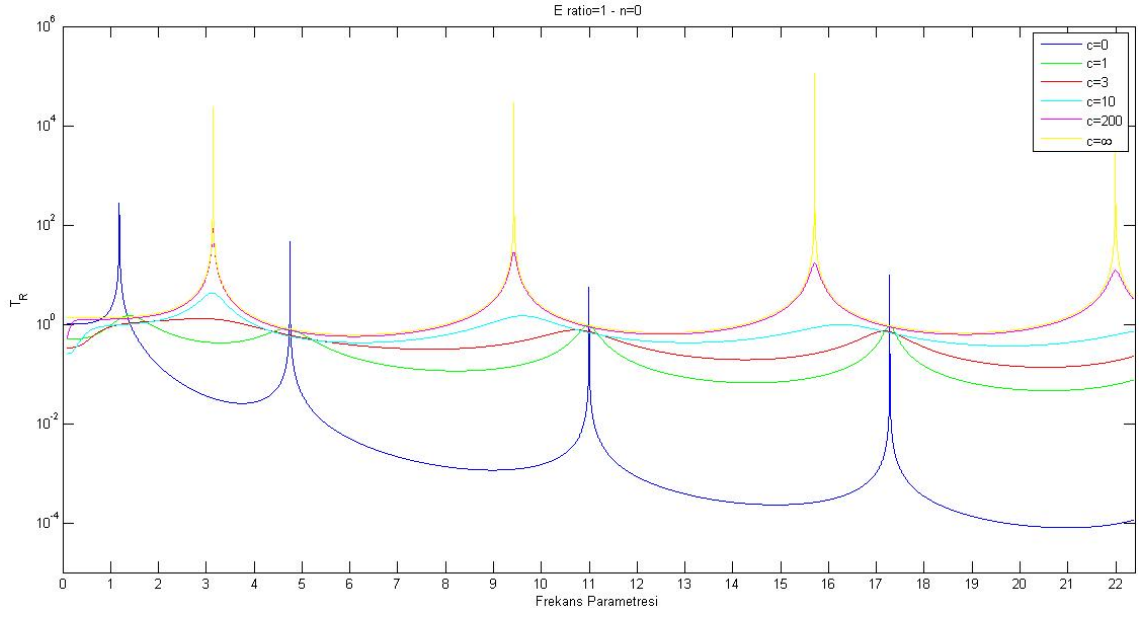
Şekil 3. 7 $k=1$, $E_{oran}=0.5$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



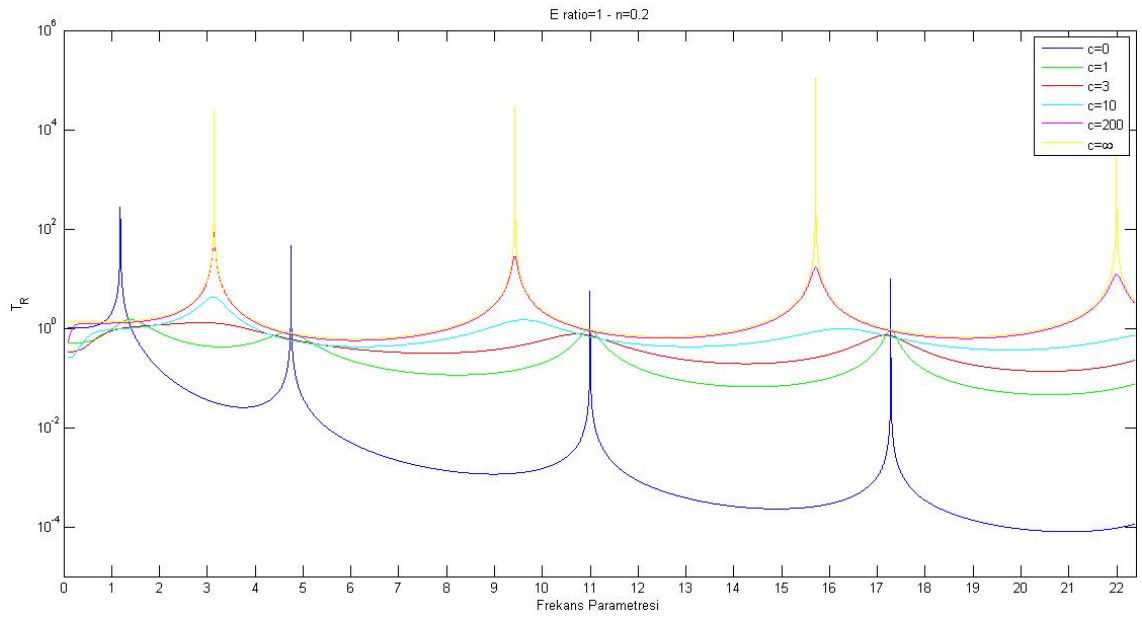
Şekil 3. 8 $k=1$, $E_{oran}=0.5$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

3.1.1.3 $E_{oran}=1$ için elde edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

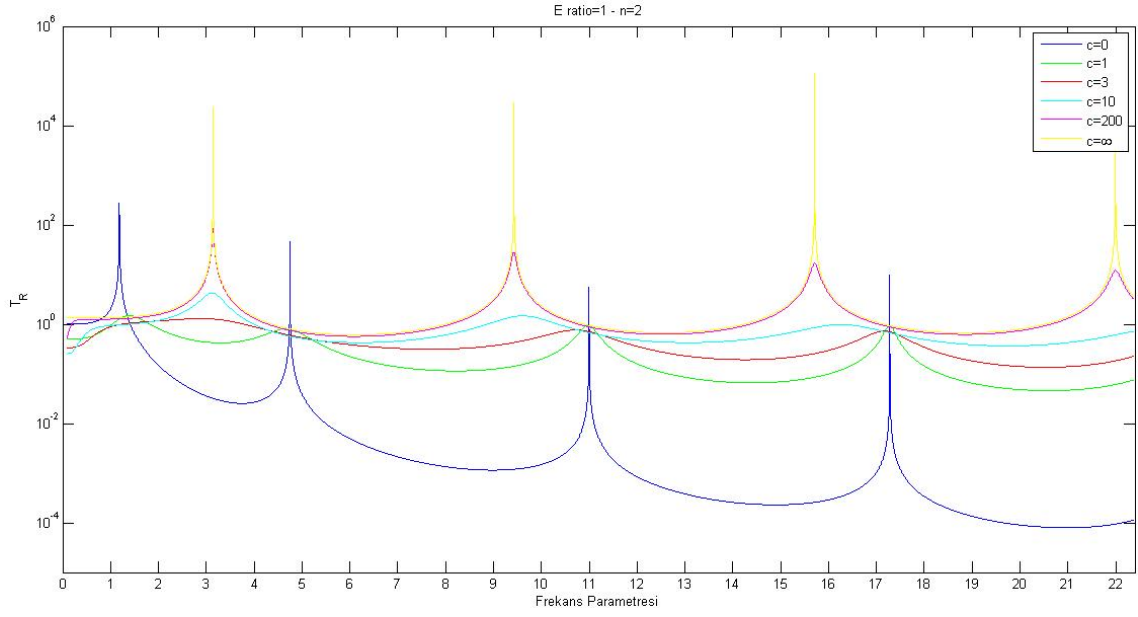
$E_{oran}=1$ iken kiriş homojendir ve kiriş kalınlığı boyunca malzeme özelliklerinde bir değişim meydana gelmemektedir. Bu sebepten kuvvet kanunu üsteli n 'in değişiminin, frekans parametresi değerlerindeki değişim üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. $E_{oran}=1$ için elde edilen grafikler şekil (3.9), (3.10), (3.11) ve (3.12)'de gösterilmiştir.



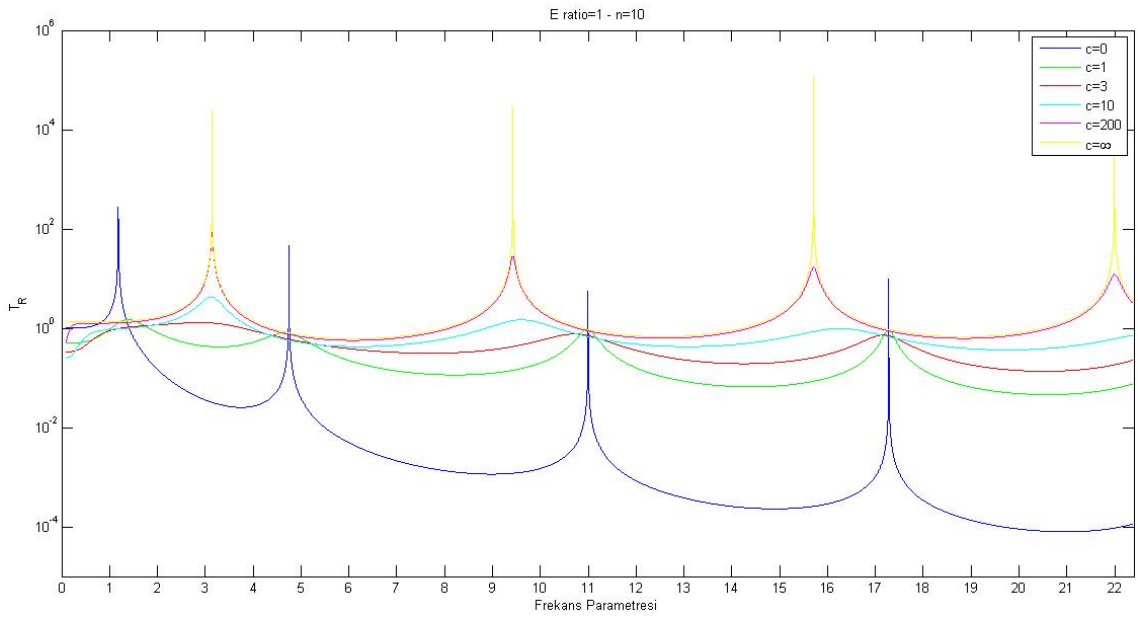
Şekil 3. 9 $k=1$, $E_{oran}=1$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 10 $k=1$, $E_{oran}=1$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 11 $k=1$, $E_{oran}=1$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 12 $k=1$, $E_{oran}=1$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

3.1.1.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

$E_{oran}=2$, $E_{oran}=3$ ve $E_{oran}=4$ değerlerinde elde edilen frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri için aşağıdaki sonuçlar meydana gelmektedir.

n 'in artışı ile her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

E_{oran} artışı ile her moda ait frekans parametresi değerleri arasındaki fark artış göstermektedir.

$E_{oran}=2$ iken, şekil (3.13), (3.14), (3.15) ve (3.16)'da görüldüğü gibi kuvvet kanunu üsteli n 'in artışı ile her modda meydana gelen frekans parametrelerindeki azalış, 1. modda 2. moda göre daha küçük bir azalışken, 2. mod için gerçekleşen azalış ise 3. moda göre daha küçük bir azalış olarak gözlenmektedir. Bu durum $E_{oran}=3$ ve $E_{oran}=4$ değerleri için de aynı şekilde gerçekleşmektedir.

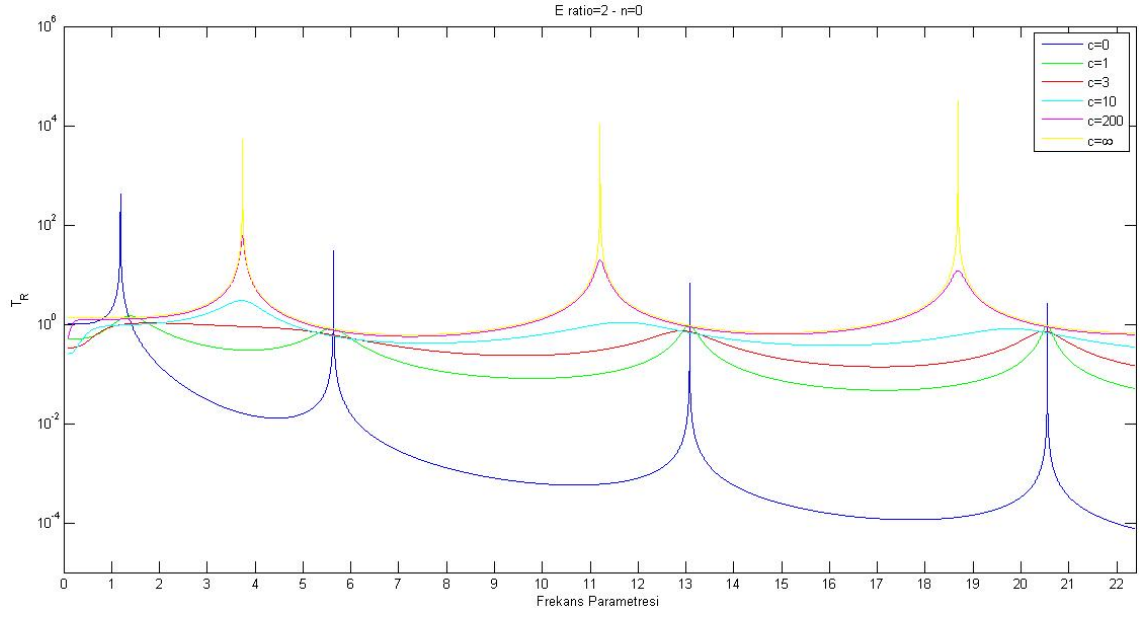
$E_{oran}=2$ iken gerçekleşen bu azalış $E_{oran}=3$ iken gerçekleşen azalıştan daha küçük bir aralıkta seyretmektedir. Aynı şekilde $E_{oran}=3$ iken meydana gelen azalışta $E_{oran}=4$ iken gerçekleşen azalıştan daha küçük bir aralıktadır.

$E_{oran}=0,25$ ve $E_{oran}=0,5$ değerlerinde olduğu gibi, sönüm katsayısının $c=0$ ve $c=1$ değerleri için elde edilen grafiklerde her mod aralığının frekans parametresi eksenindeki minimum değerleri, sönüm katsayısının $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen grafiklerde her mod aralığının frekans parametresi eksenindeki maksimum değerlerine yaklaşık olarak denk gelmektedir.

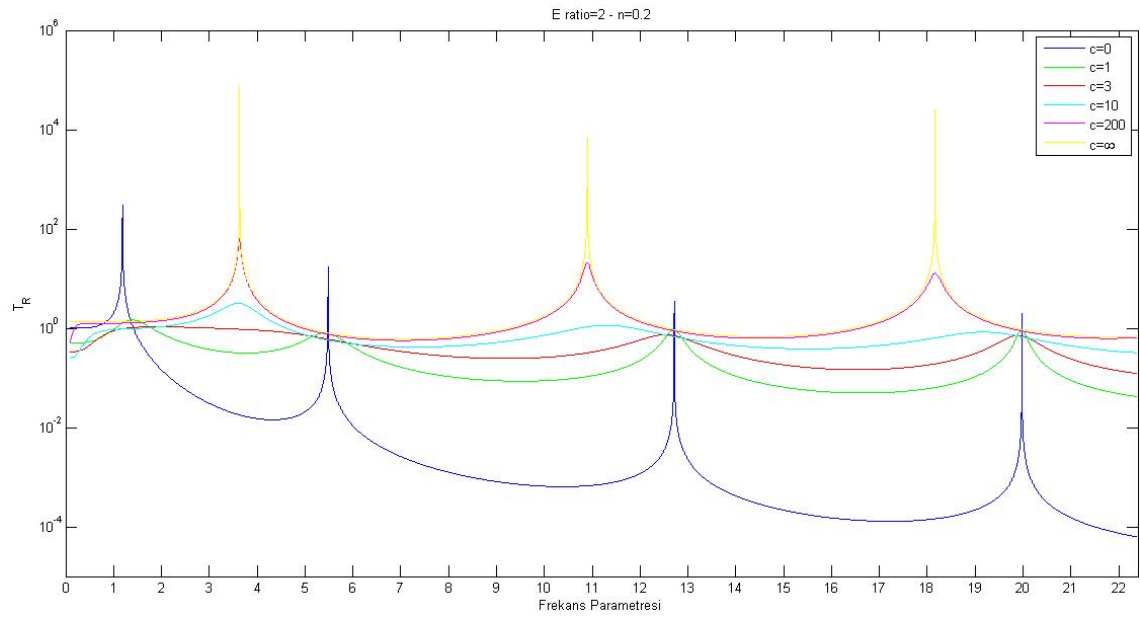
1. modda, sönüm katsayısının $c=3$, $c=10$, $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için frekans parametresi değerleri yaklaşık olarak aynı değerdeyken, takip eden diğer modlarda, sönüm katsayısının $c=3$ ve $c=10$ değerleri için elde edilen frekans parametresi değerleri, $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen frekans parametresi değerlerinden daha fazla artış göstermektedir. Sönüm katsayısı c 'nin artışı frekans parametresi artışıyla ters orantılı bir davranış sergilemektedir.

Sönüm katsayısının $c=200$ ve $c=\infty$ değerleri için elde edilen grafiklerde frekans parametresi değerleri yaklaşık olarak çakışmaktadır.

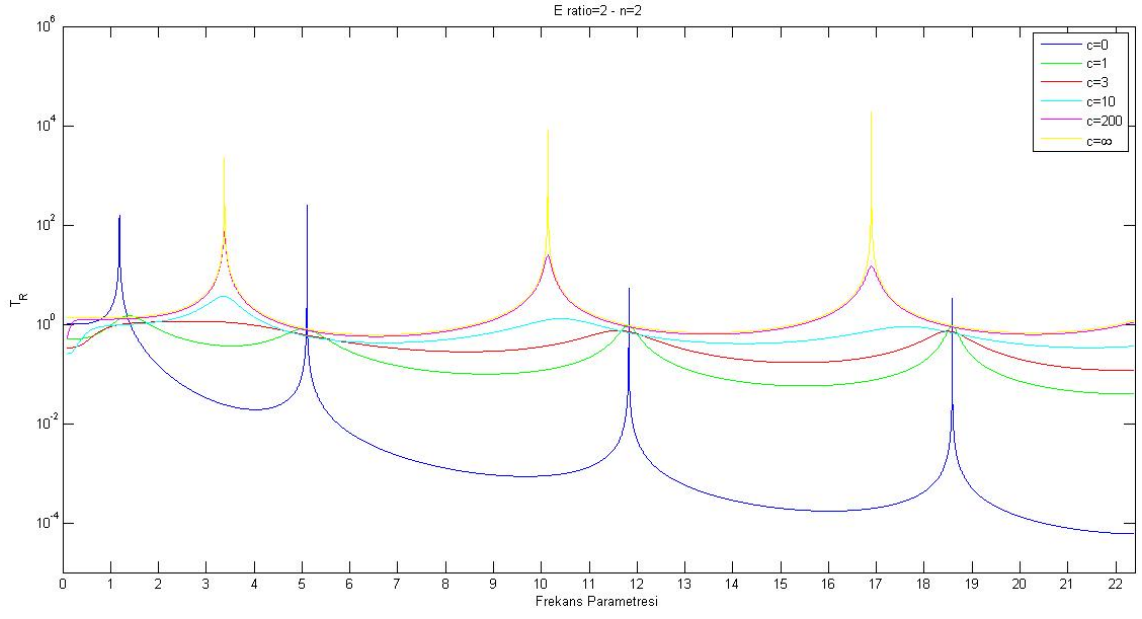
$E_{oran}=3$ için elde edilen grafikler şekil (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20)'de gösterilirken, $E_{oran}=4$ için ise şekil (3.21), (3.22), (3.23) ve (3.24)'te verilmiştir.



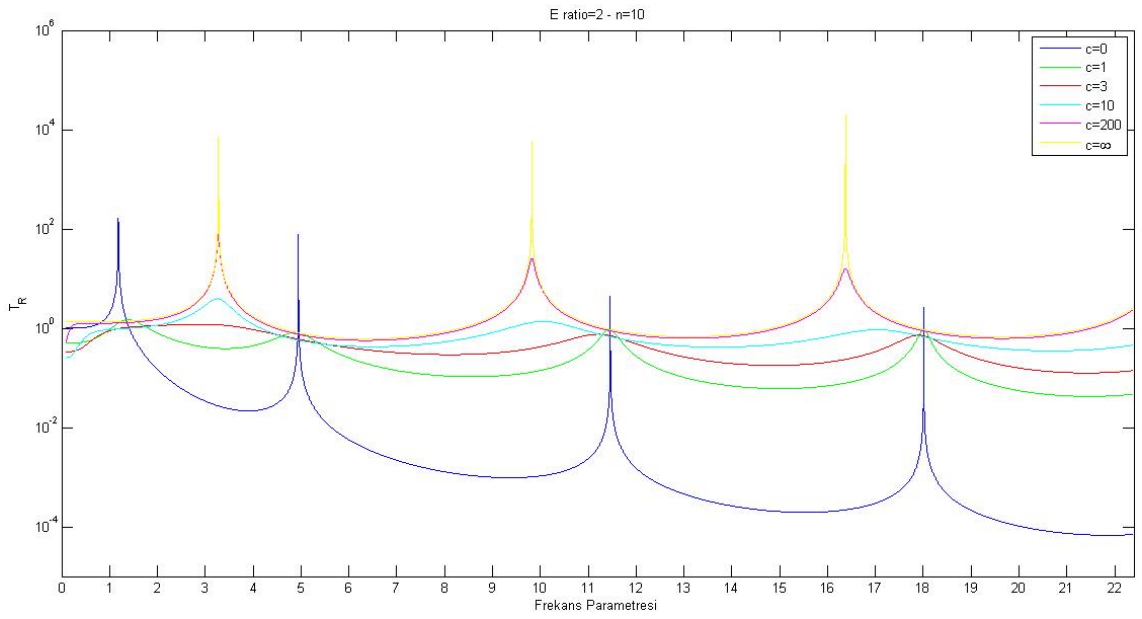
Şekil 3. 13 $k=1$, $E_{oran}=2$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 14 $k=1$, $E_{oran}=2$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

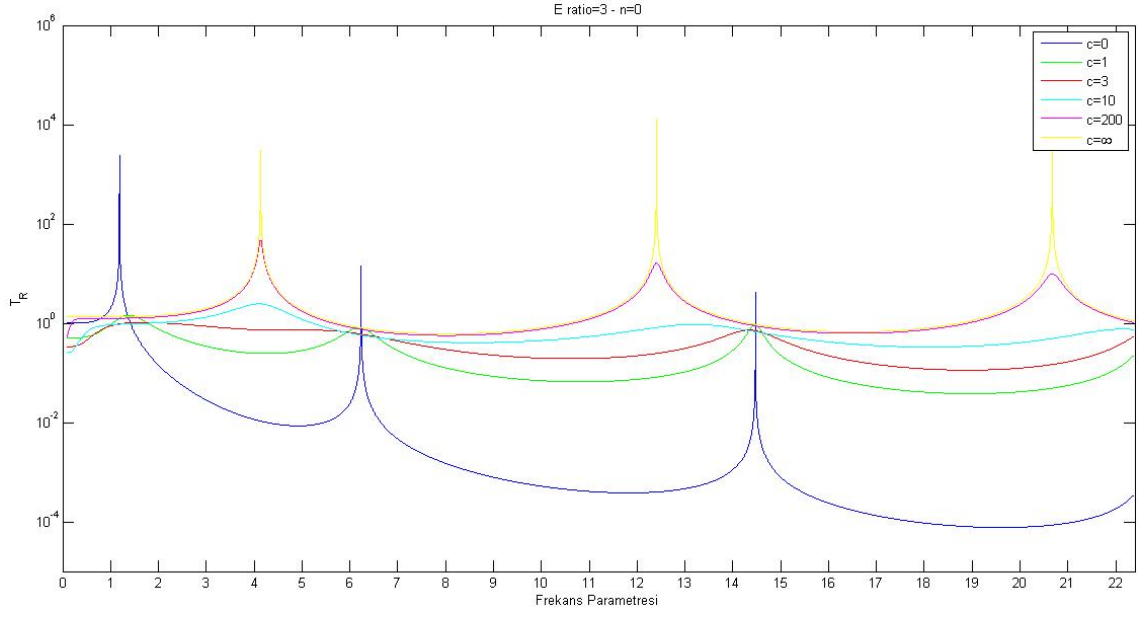


Şekil 3. 15 $k=1$, $E_{oran}=2$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

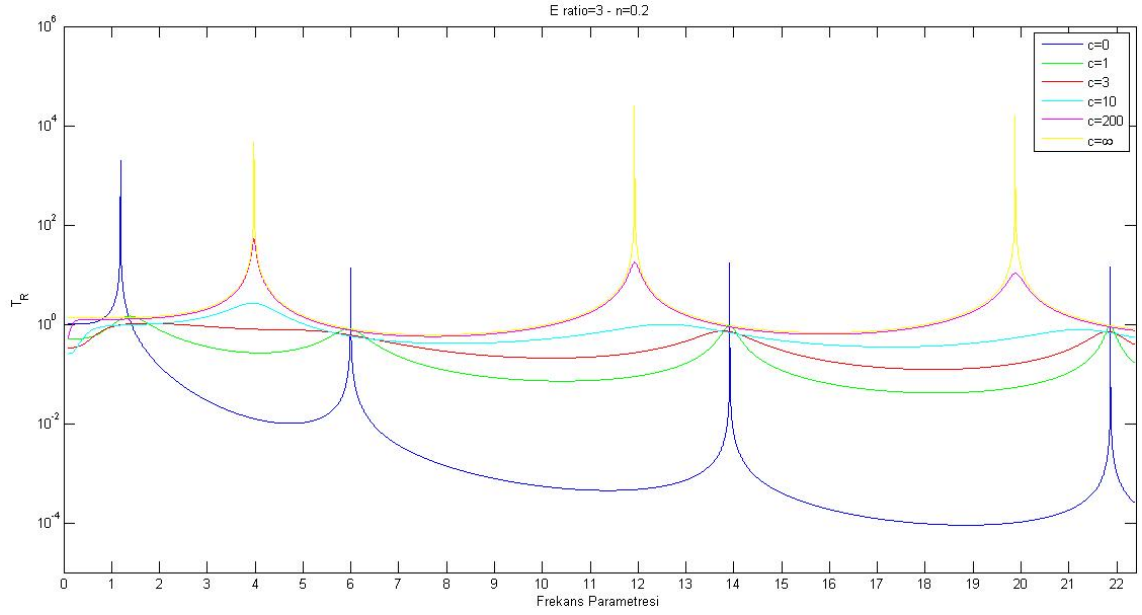


Şekil 3. 16 $k=1$, $E_{oran}=2$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

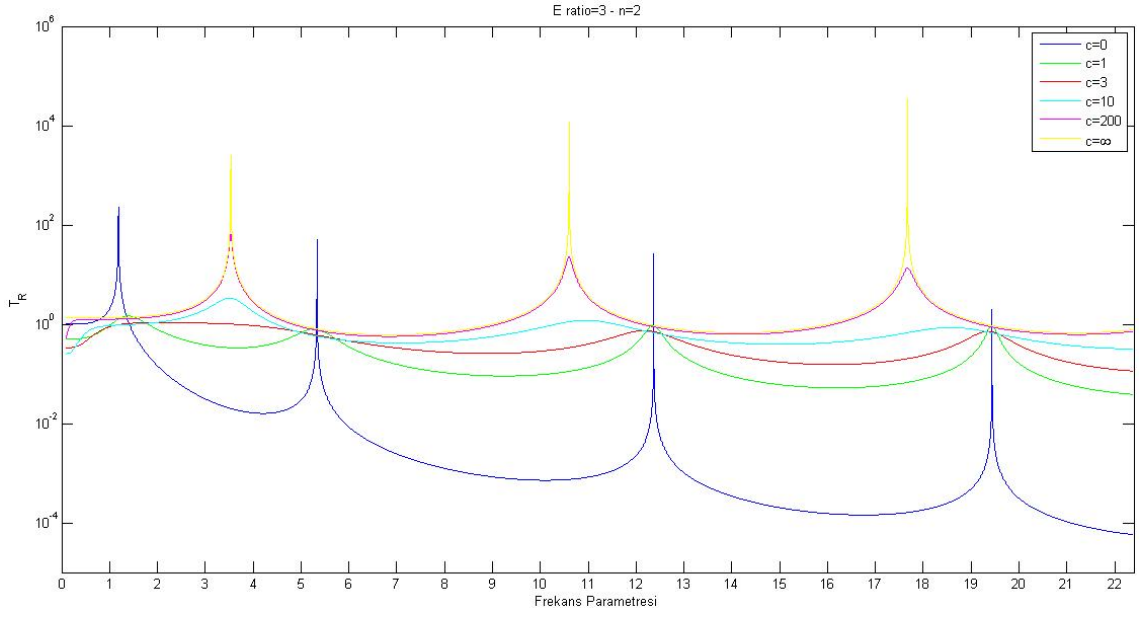
3.1.1.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



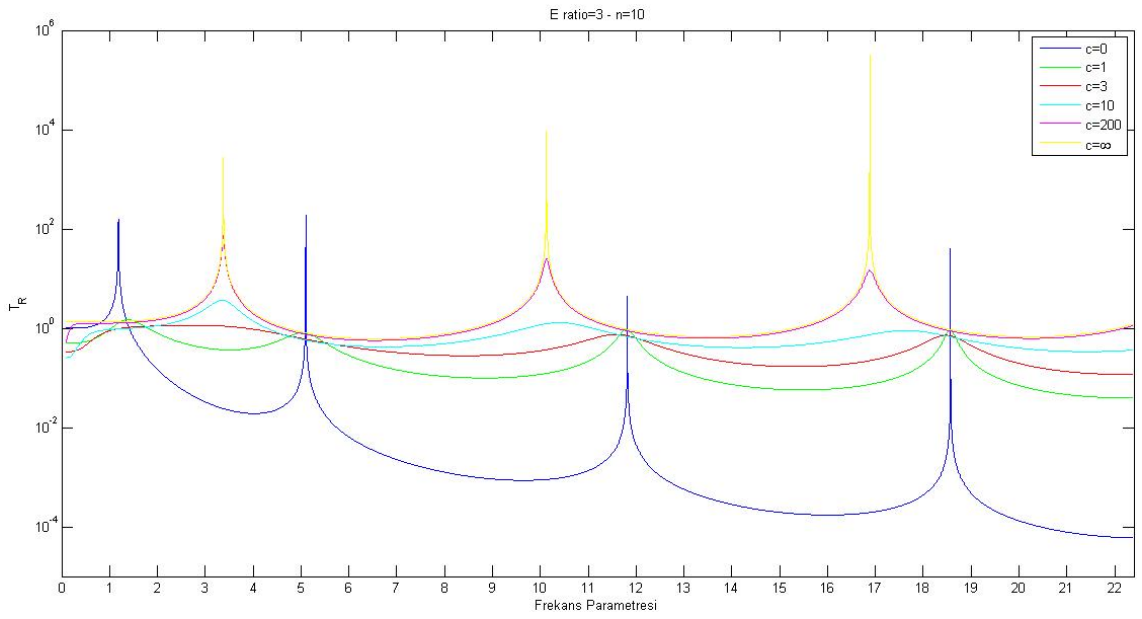
Şekil 3. 17 $k=1$, $E_{oran}=3$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 18 $k=1$, $E_{oran}=3$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

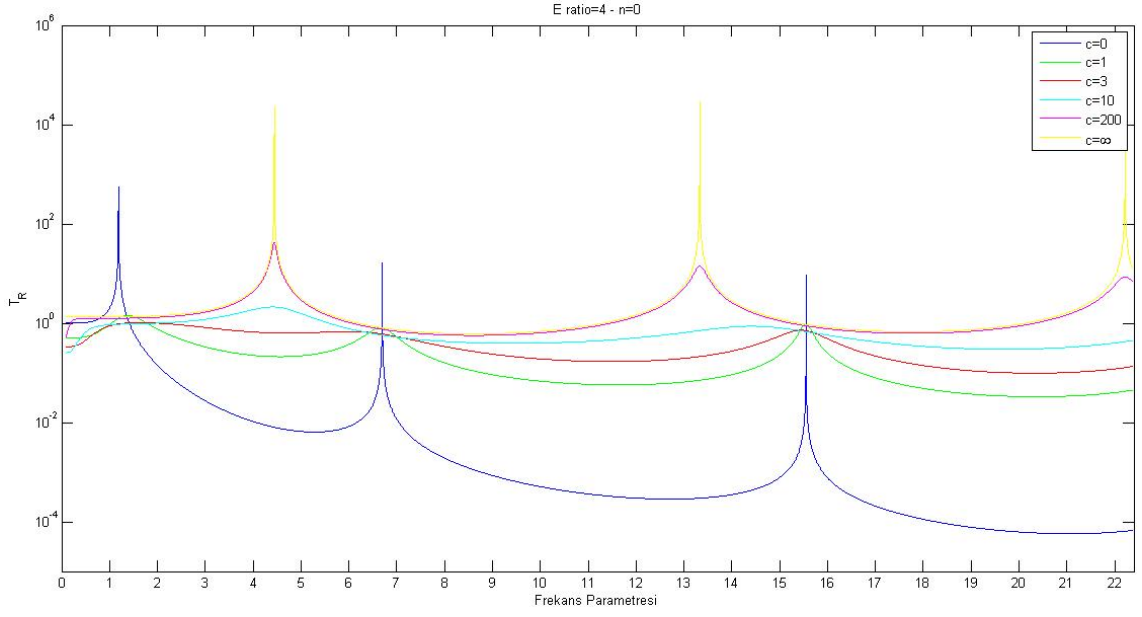


Şekil 3. 19 $k=1$, $E_{oran}=3$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

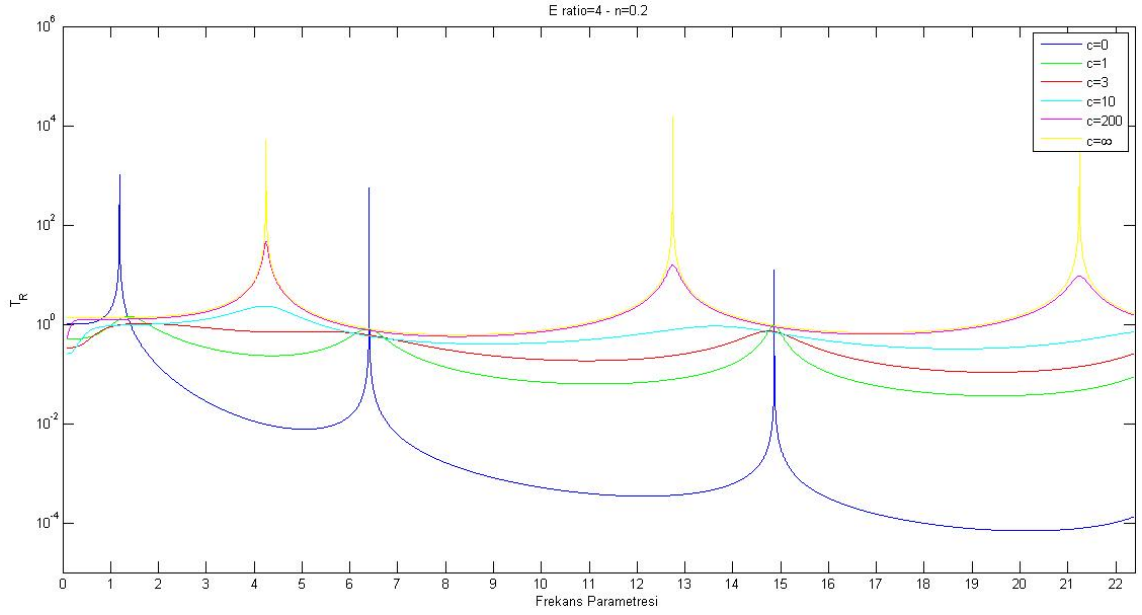


Şekil 3. 20 $k=1$, $E_{oran}=3$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

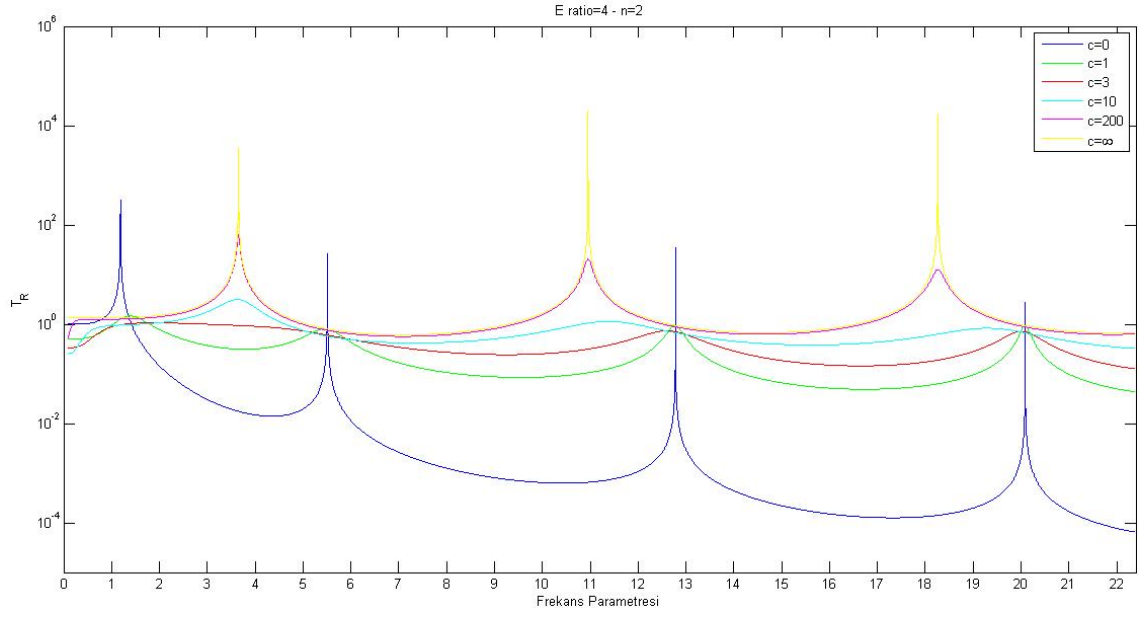
3.1.1.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



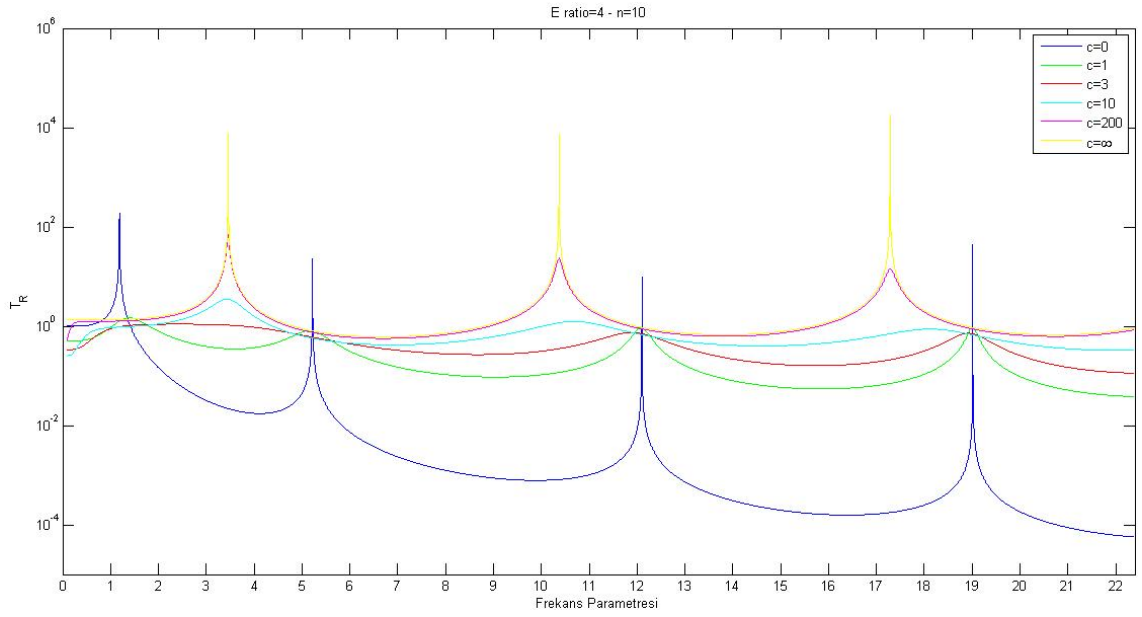
Şekil 3. 21 $k=1$, $E_{oran}=4$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 22 $k=1$, $E_{oran}=4$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 23 $k=1$, $E_{oran}=4$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

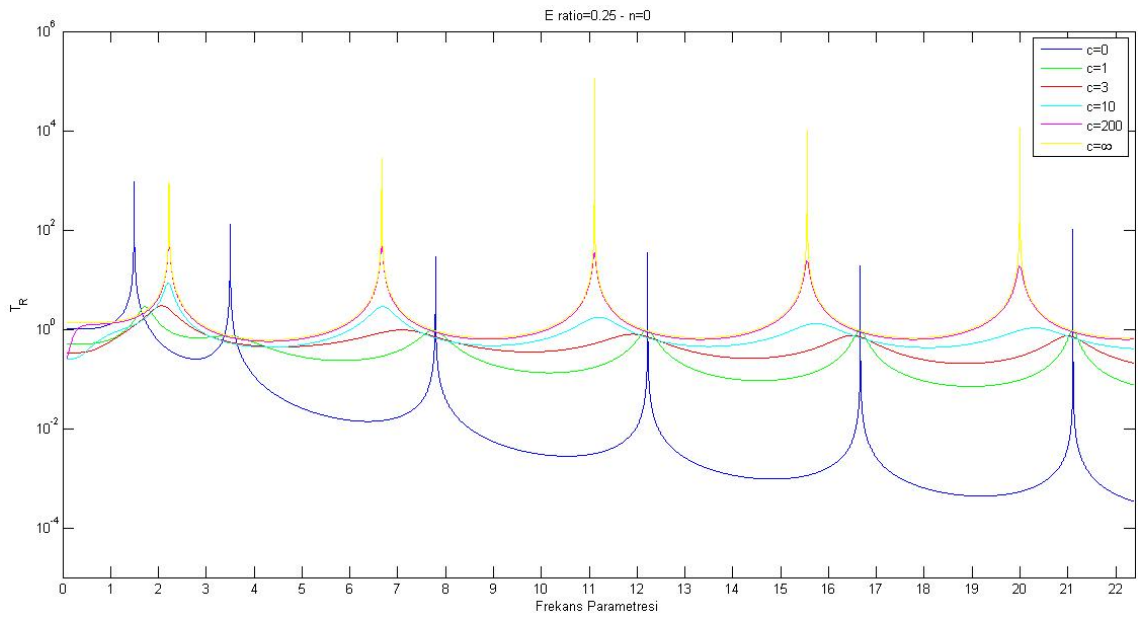


Şekil 3. 24 $k=1$, $E_{oran}=4$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

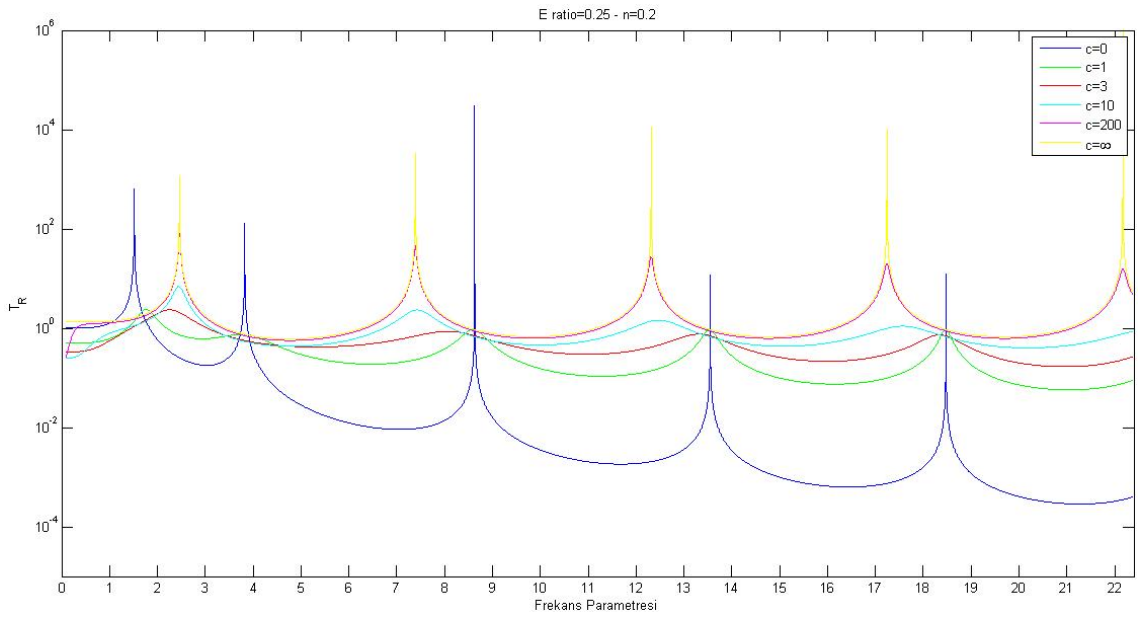
3.1.2 Yay Katsayısı $k=3$ için Yapılan Analiz Grafikleri

Yay katsayısı $k=3$ alınarak, farklı elastiklik modülü oranları için, sönüm katsayısı c ve kuvvet kanunu üsteli n 'in değişimi ile frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri $E_{oran}=0.25$ için şekil (3.25), (3.26), (3.27), (3.28)'te, $E_{oran}=0.5$ için şekil (3.29), (3.30), (3.31), (3.32)'de, $E_{oran}=1$ için şekil (3.33), (3.34), (3.35), (3.36)'da, $E_{oran}=2$ için şekil (3.37), (3.38), (3.39), (3.40)'ta, $E_{oran}=3$ için şekil (3.41), (3.42), (3.43), (3.44)'te ve son olarak ise $E_{oran}=4$ için şekil (3.45), (3.46), (3.47), (3.48)'de elde edilmiştir.

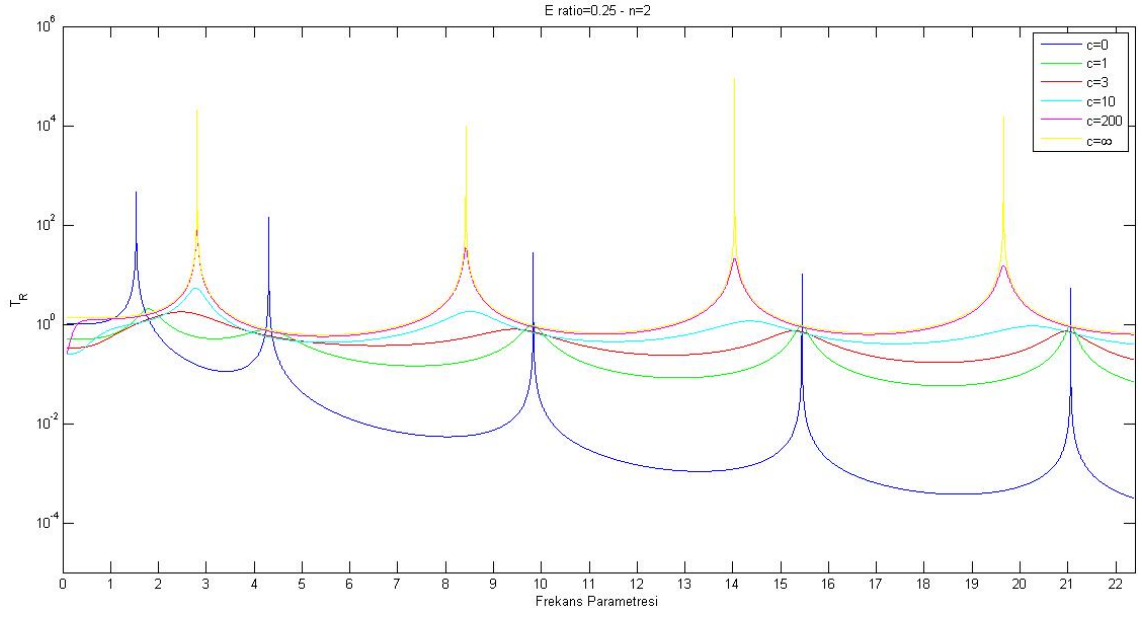
3.1.2.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



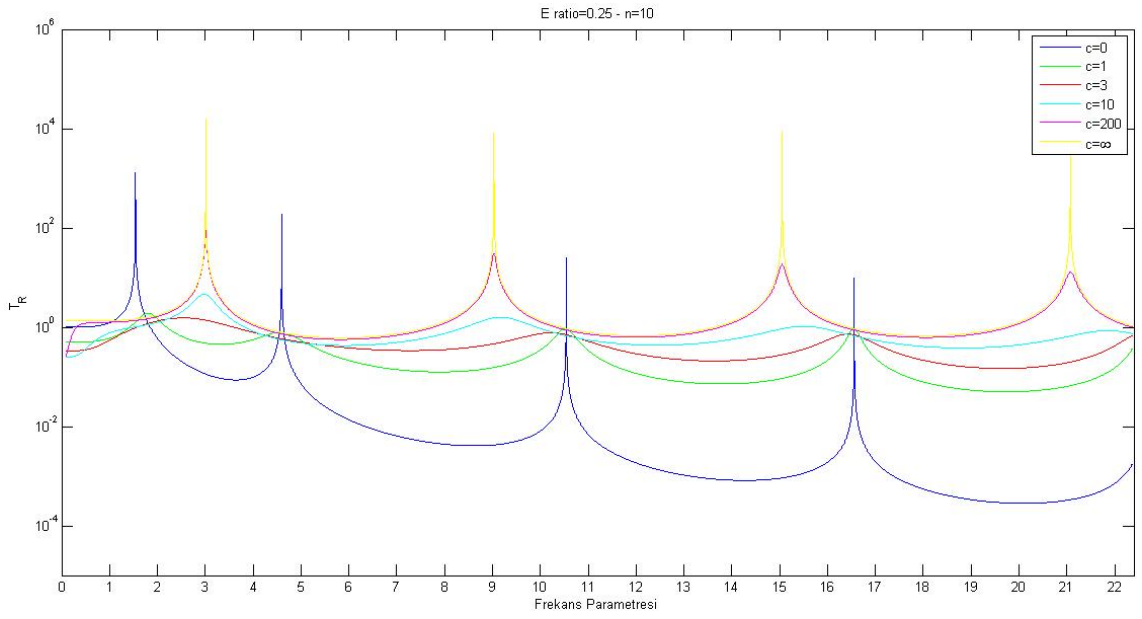
Şekil 3. 25 $k=3$, $E_{oran}=0.25$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 26 $k=3$, $E_{oran}=0.25$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

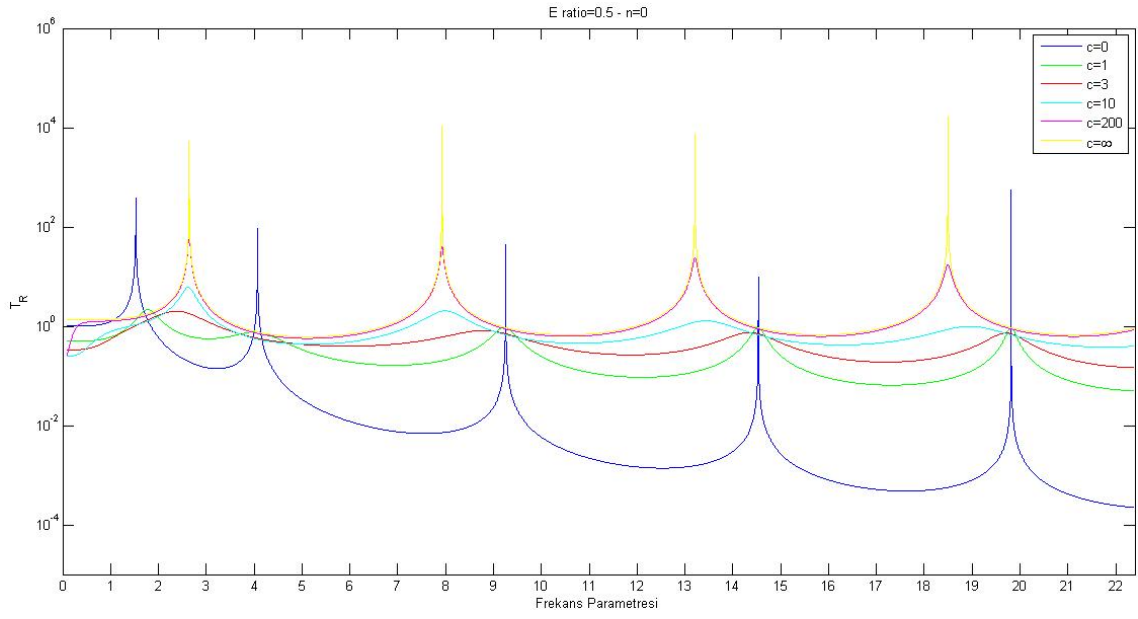


Şekil 3. 27 $k=3$, $E_{oran}=0.25$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

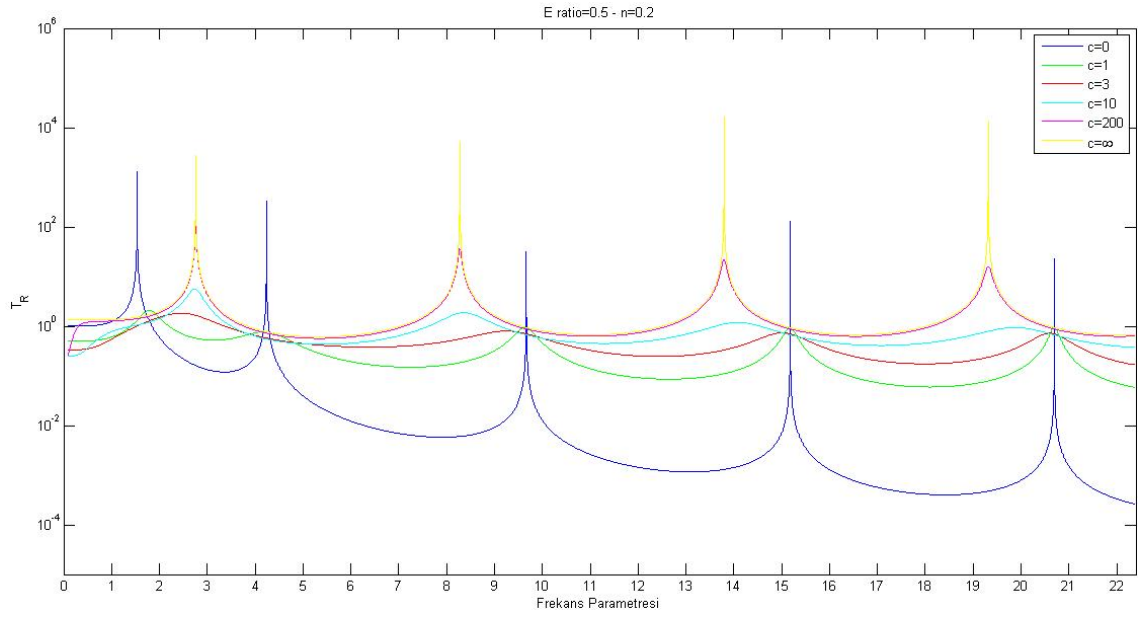


Şekil 3. 28 $k=3$, $E_{oran}=0.25$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

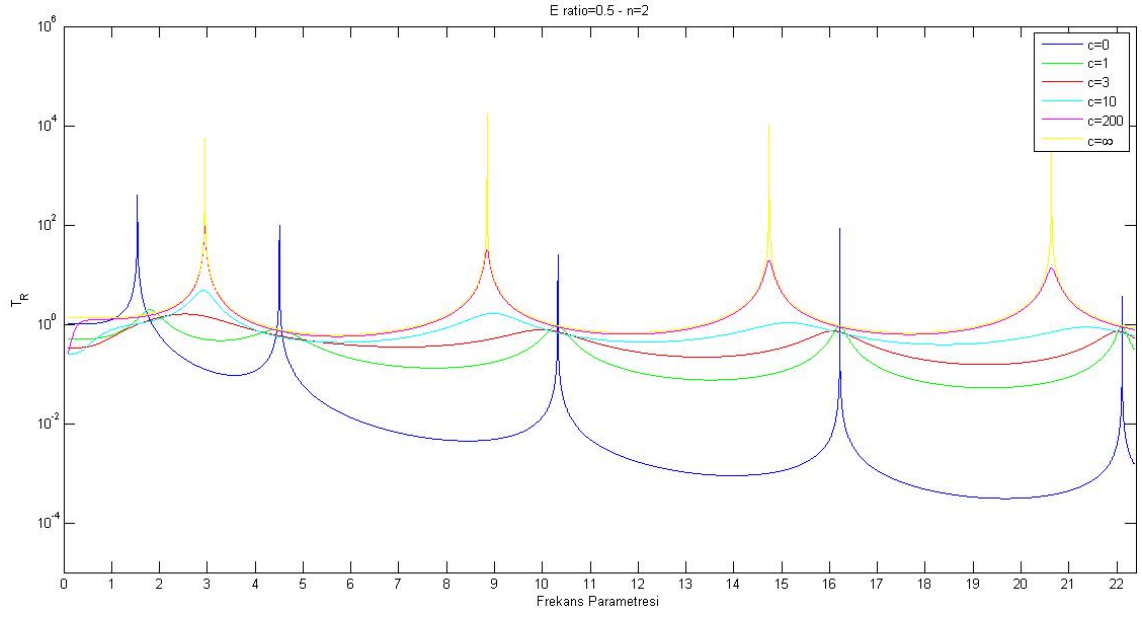
3.1.2.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



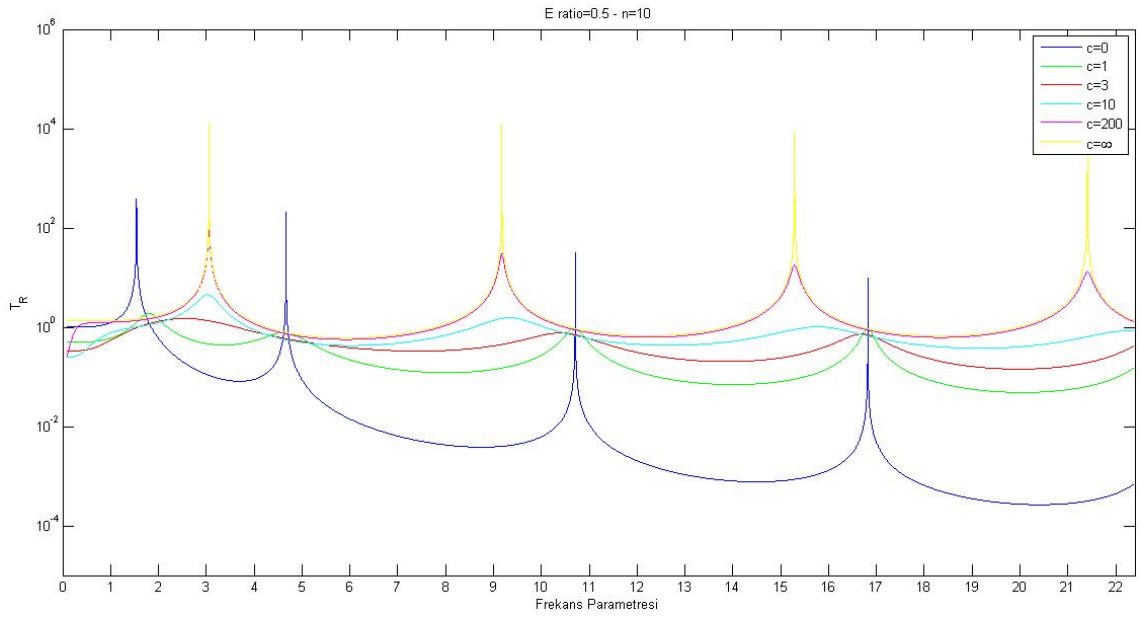
Şekil 3. 29 $k=3$, $E_{oran}=0.5$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 30 $k=3$, $E_{oran}=0.5$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

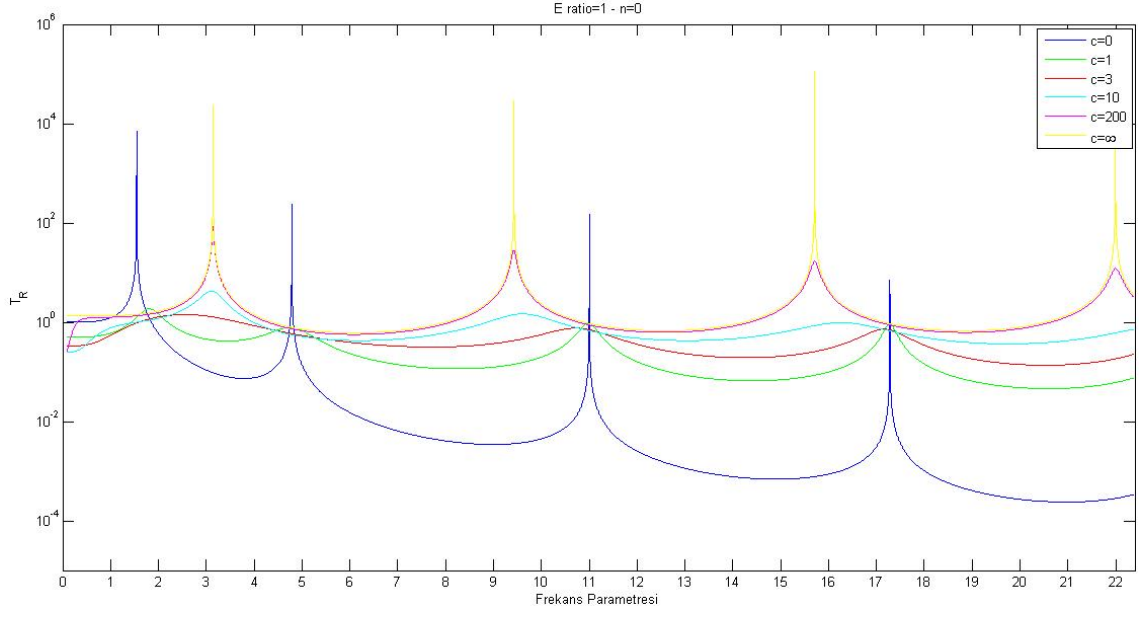


Şekil 3. 31 $k=3$, $E_{oran}=0.5$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

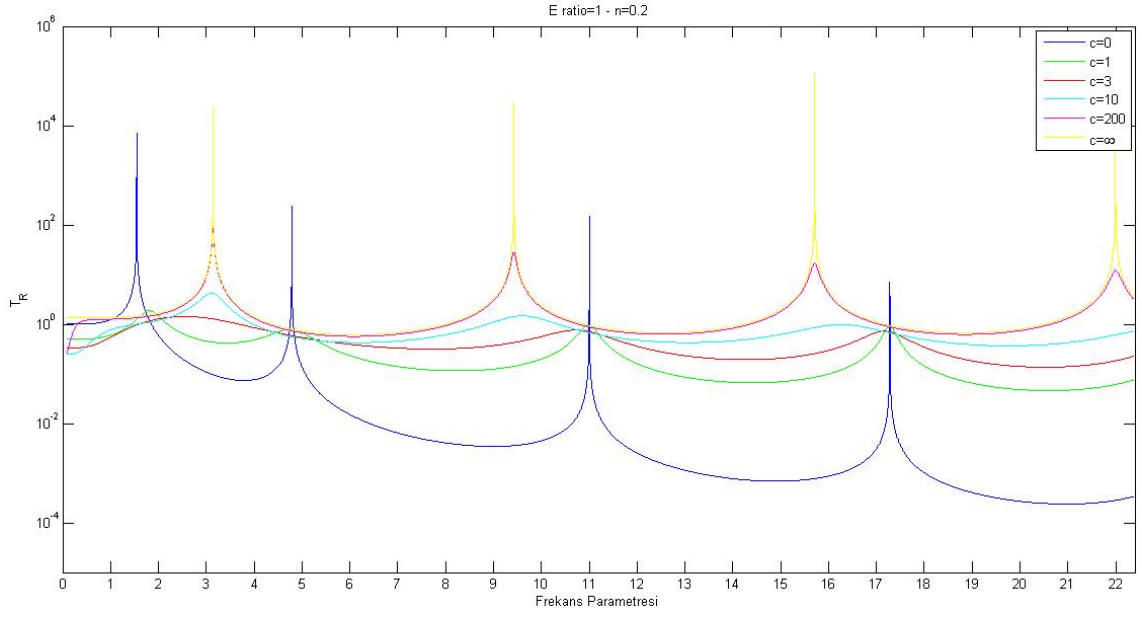


Şekil 3. 32 $k=3$, $E_{oran}=0.5$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

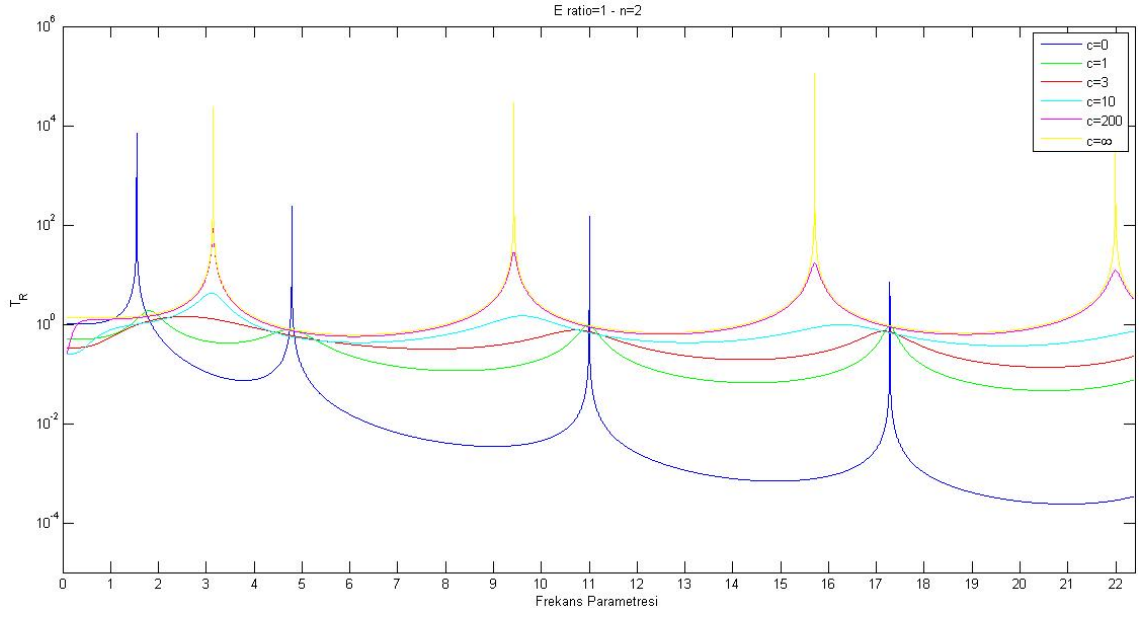
3.1.2.3 $E_{oran}=1$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



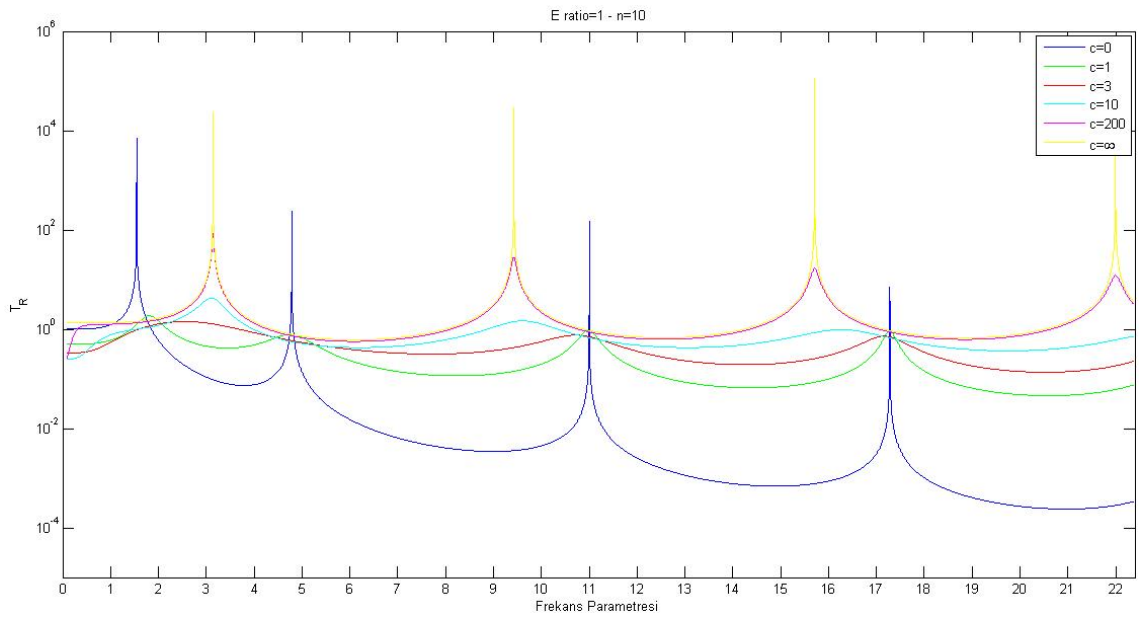
Şekil 3. 33 $k=3$, $E_{oran}=1$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 34 $k=3$, $E_{oran}=1$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

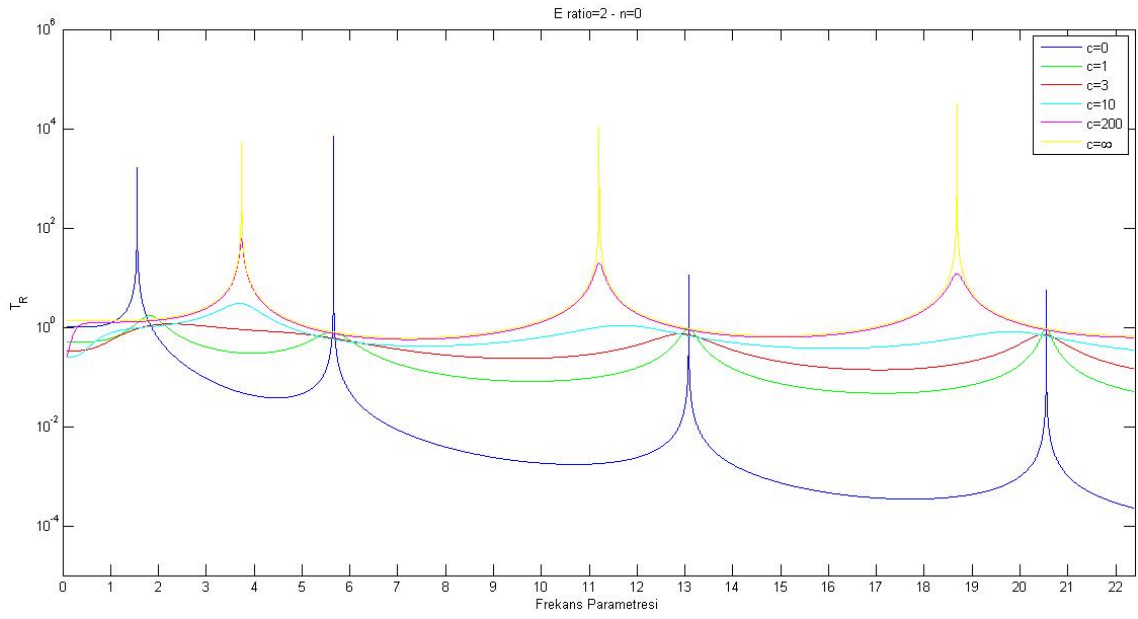


Şekil 3. 35 $k=3$, $E_{oran}=1$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

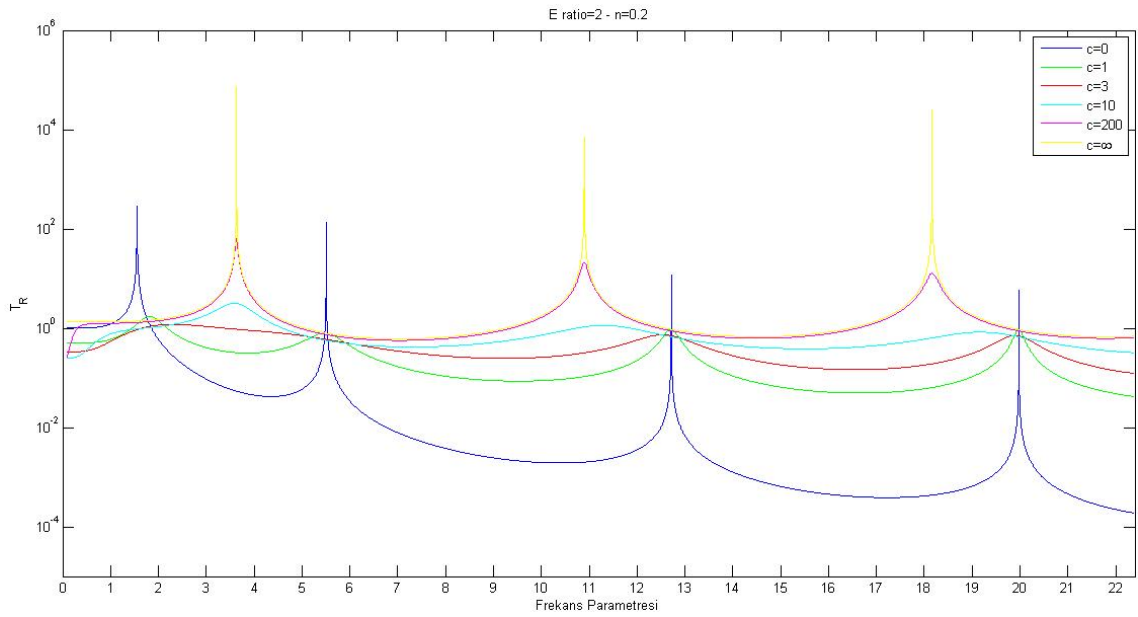


Şekil 3. 36 $k=3$, $E_{oran}=1$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

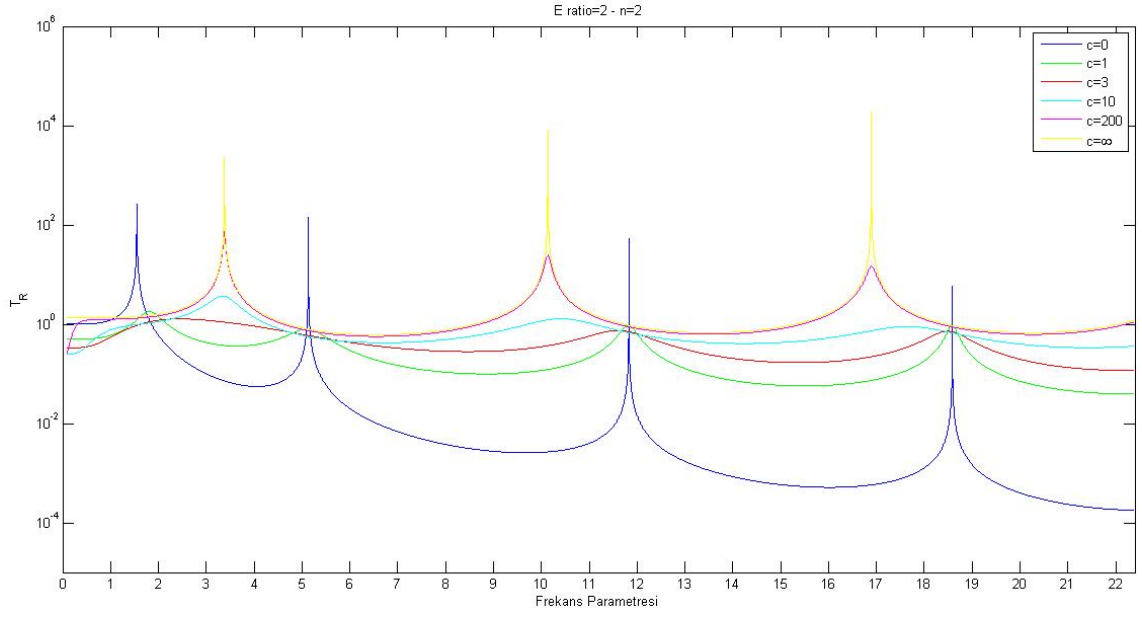
3.1.2.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



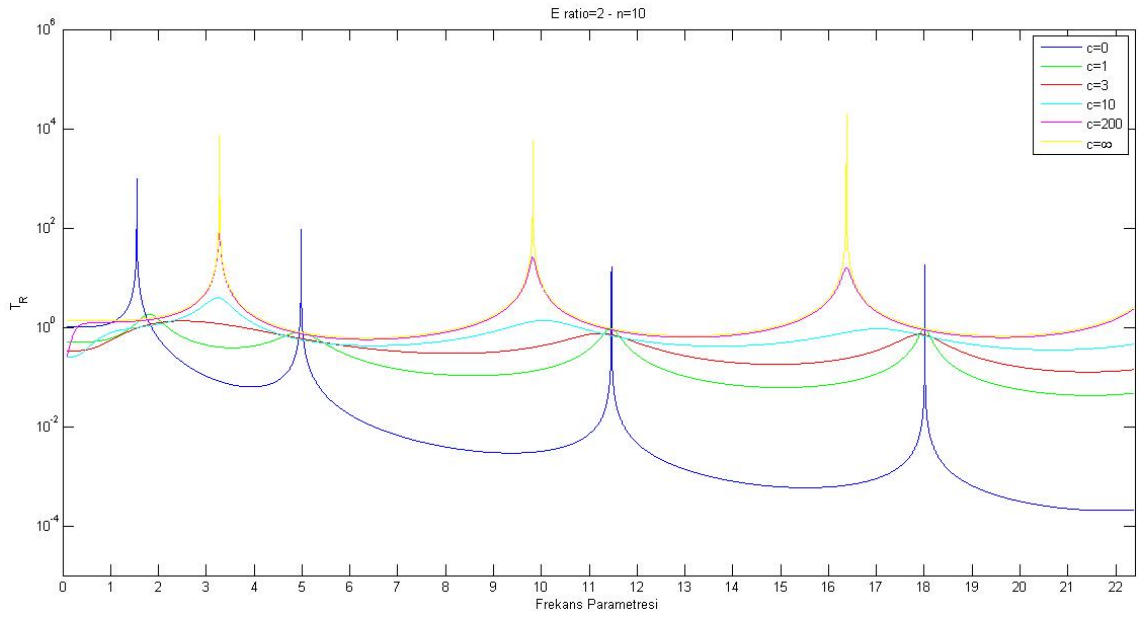
Şekil 3. 37 $k=3$, $E_{oran}=2$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 38 $k=3$, $E_{oran}=2$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

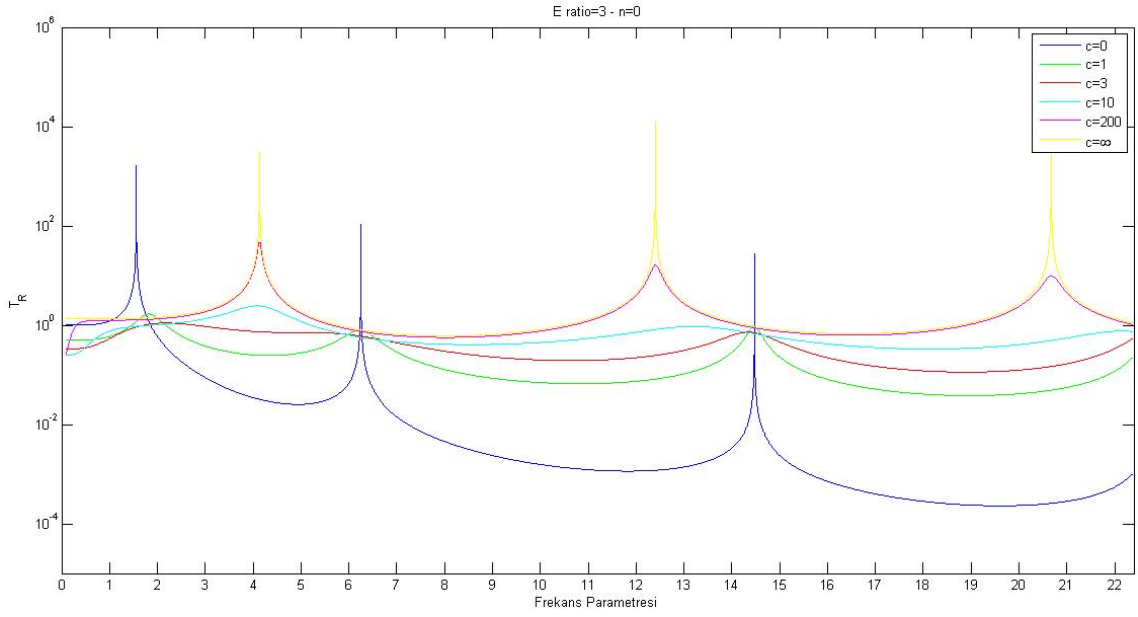


Şekil 3. 39 $k=3$, $E_{oran}=2$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

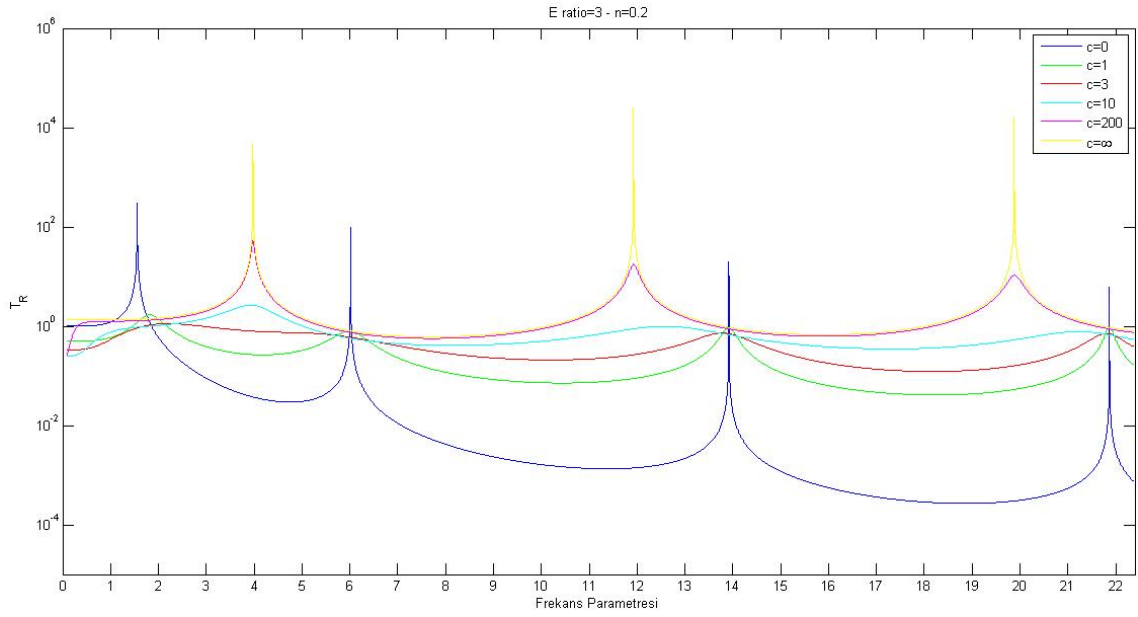


Şekil 3. 40 $k=3$, $E_{oran}=2$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

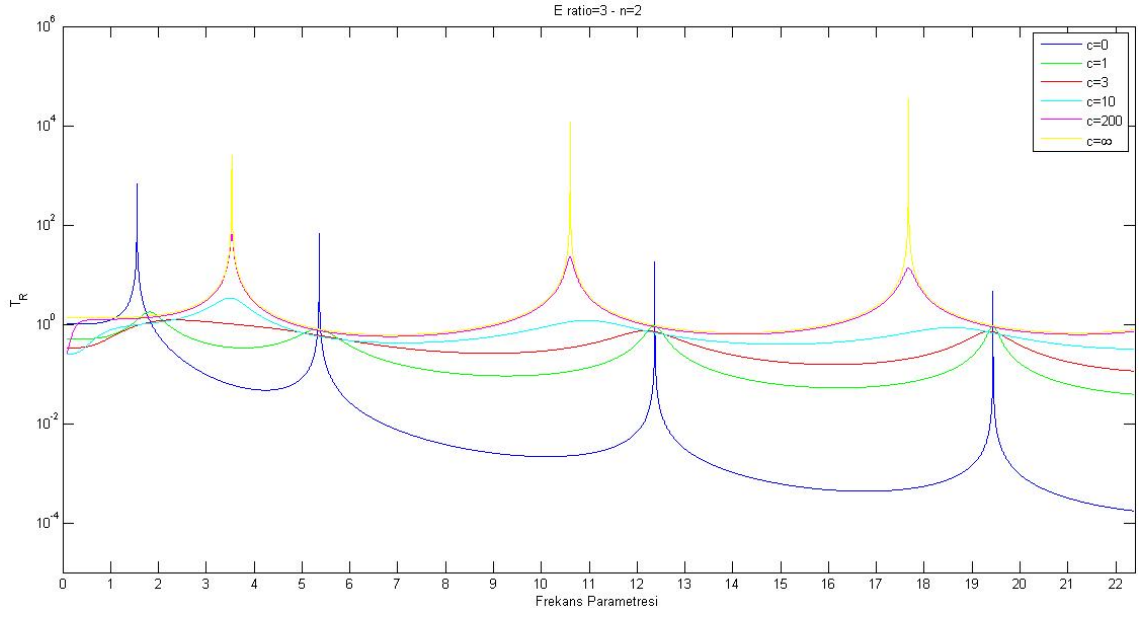
3.1.2.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



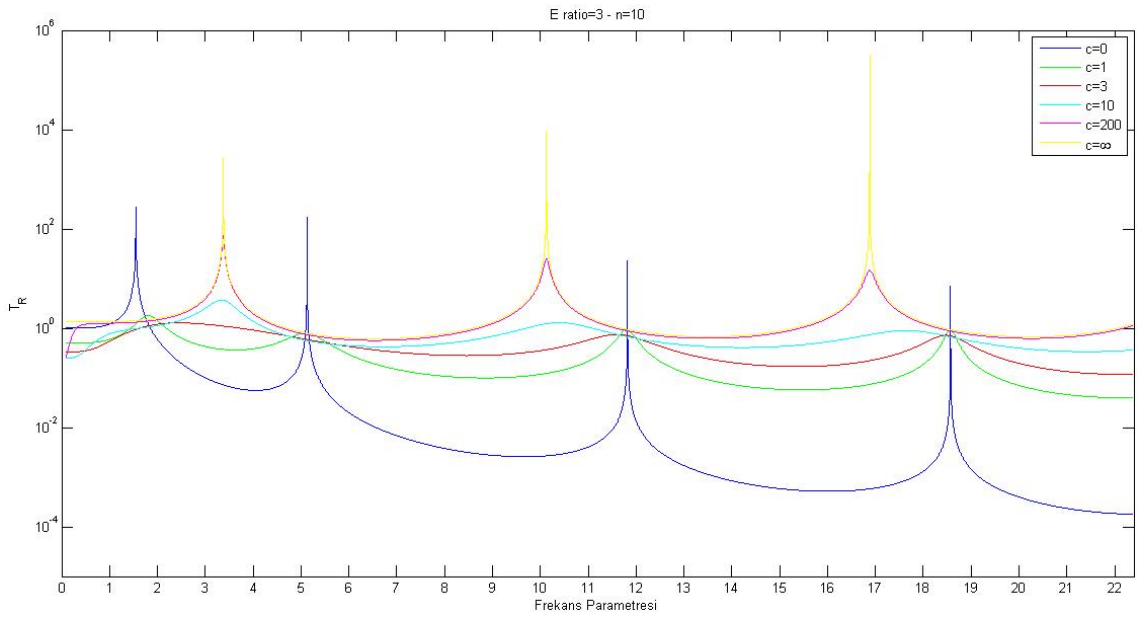
Şekil 3. 41 $k=3$, $E_{oran}=3$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 42 $k=3$, $E_{oran}=3$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

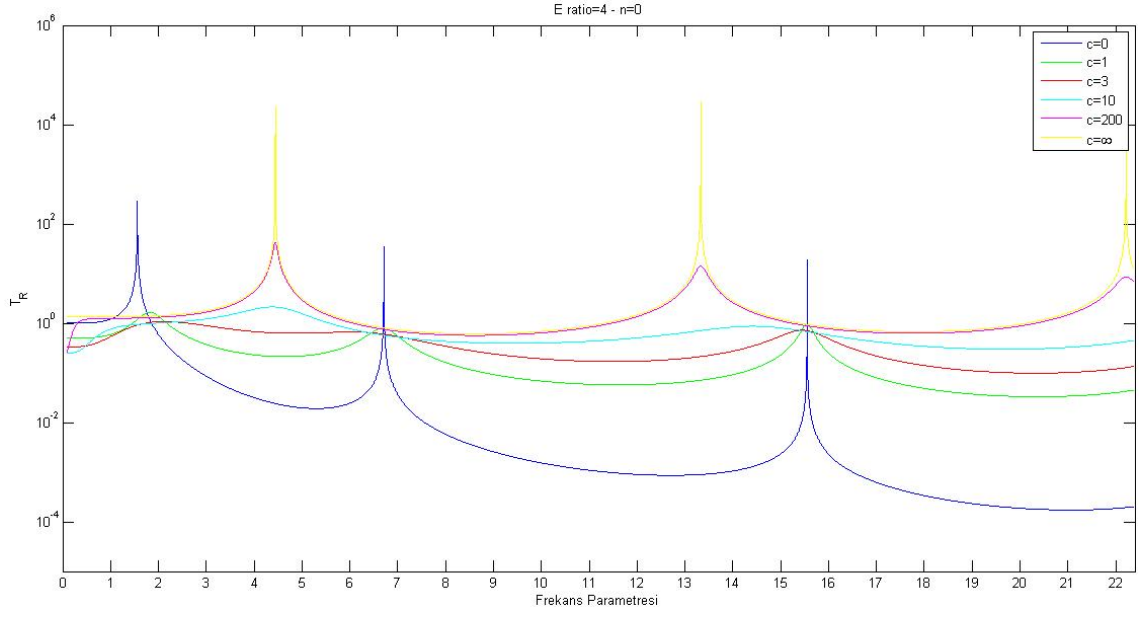


Şekil 3. 43 $k=3$, $E_{oran}=3$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

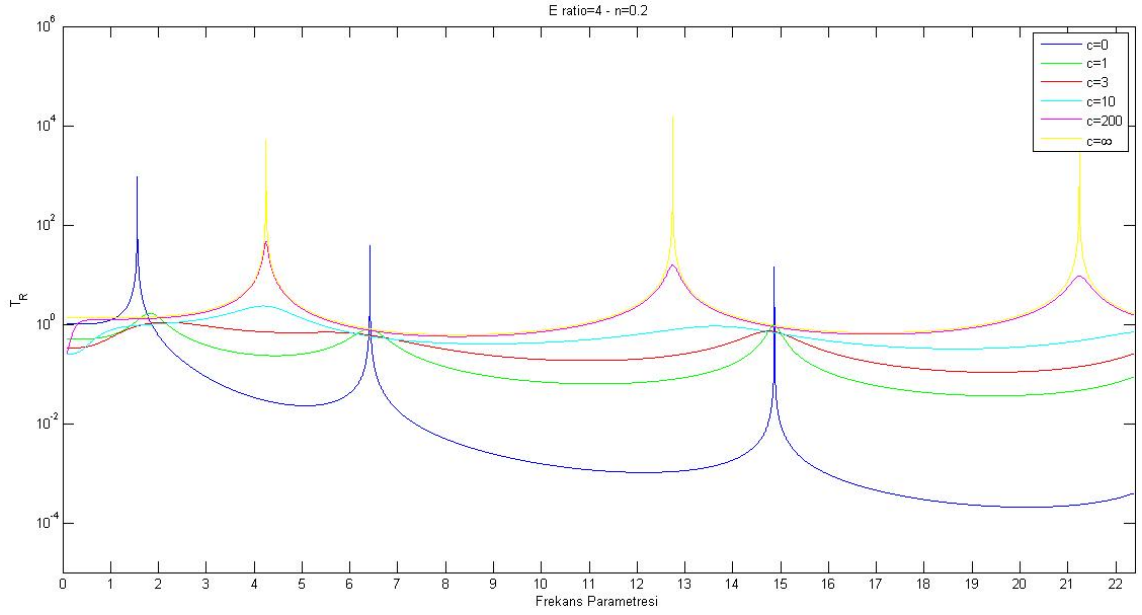


Şekil 3. 44 $k=3$, $E_{oran}=3$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

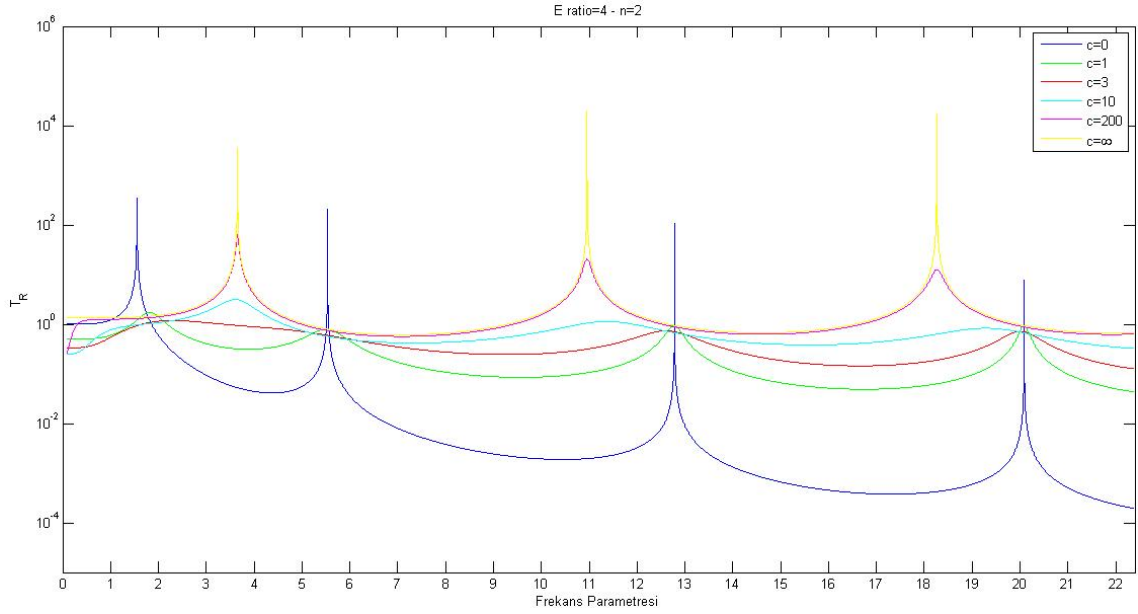
3.1.2.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



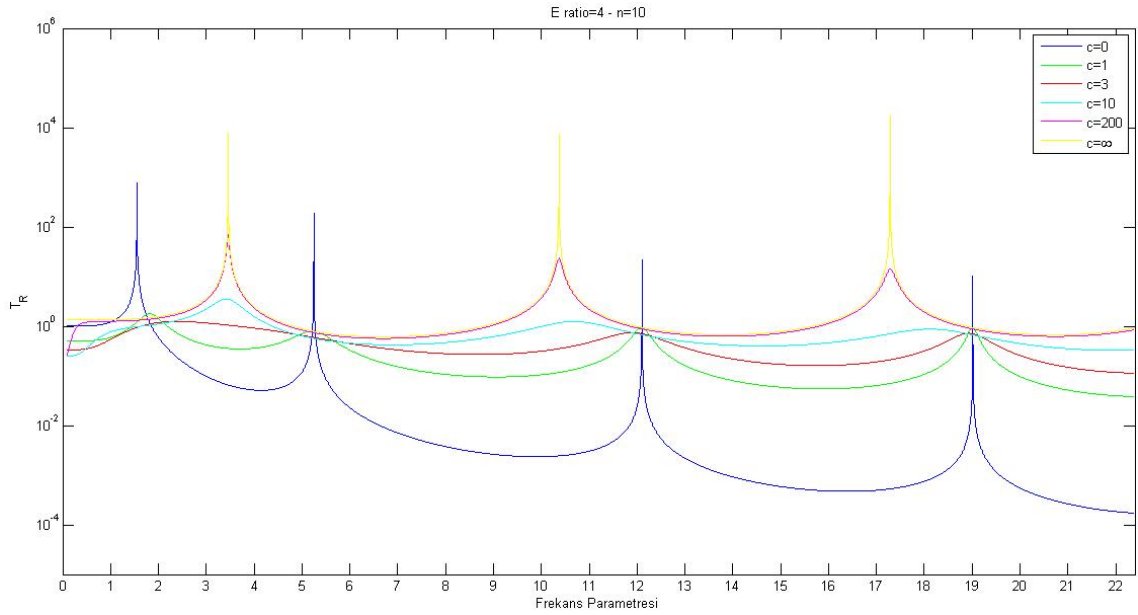
Şekil 3. 45 $k=3$, $E_{oran}=4$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 46 $k=3$, $E_{oran}=4$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 47 $k=3$, $E_{oran}=4$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

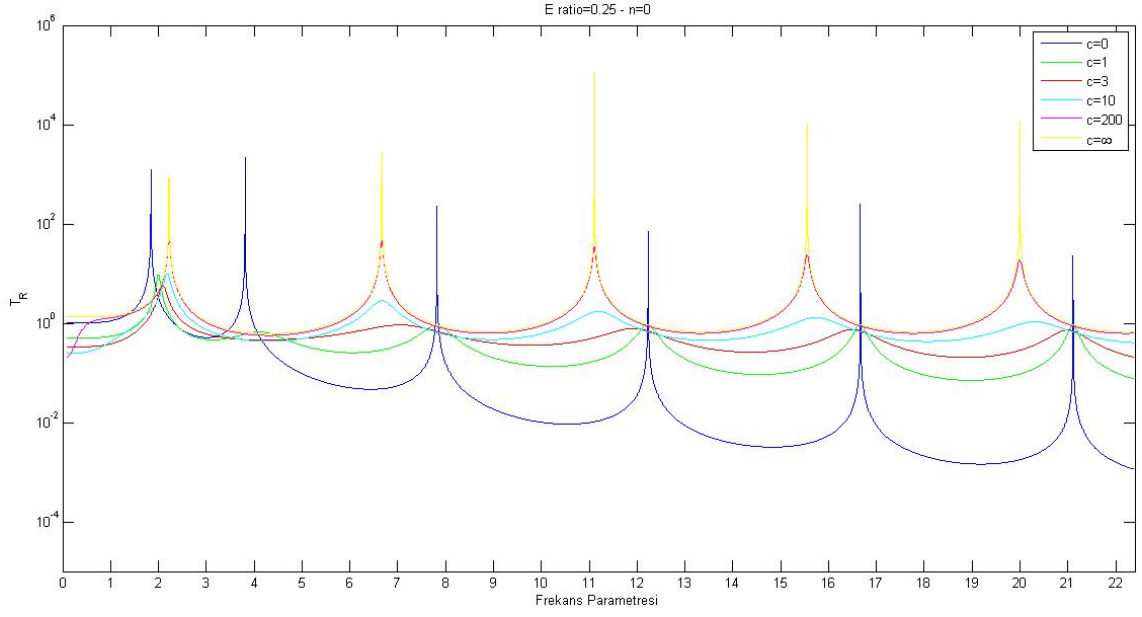


Şekil 3. 48 $k=3$, $E_{oran}=4$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

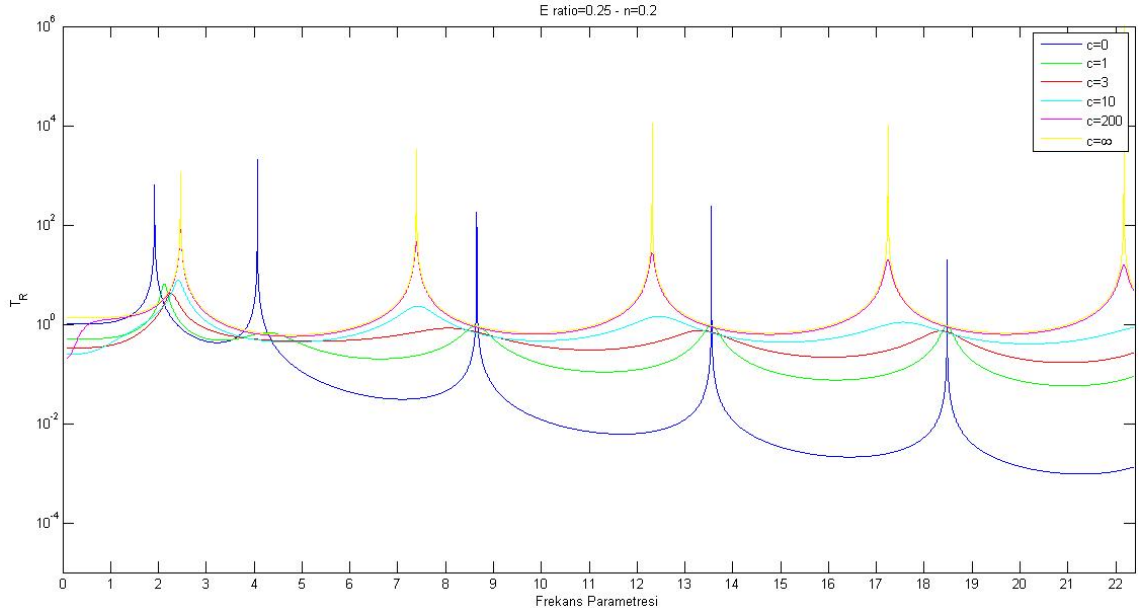
3.1.3 Yay Katsayısı $k=10$ için Yapılan Analiz Grafikleri

Yay katsayısı $k=10$ alınarak, farklı elastiklik modülü oranları için, sönüm katsayısı c ve kuvvet kanunu üsteli n 'in değişimi ile frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri $E_{oran}=0.25$ için şekil (3.49), (3.50), (3.51), (3.52)'de, $E_{oran}=0.5$ için şekil (3.53), (3.54), (3.55), (3.56)'da, $E_{oran}=1$ için şekil (3.57), (3.58), (3.59), (3.60)'da, $E_{oran}=2$ için şekil (3.61), (3.62), (3.63), (3.64)'te, $E_{oran}=3$ için şekil (3.65), (3.66), (3.67), (3.68)'de ve son olarak ise $E_{oran}=4$ için şekil (3.69), (3.70), (3.71), (3.72)'de elde edilmiştir.

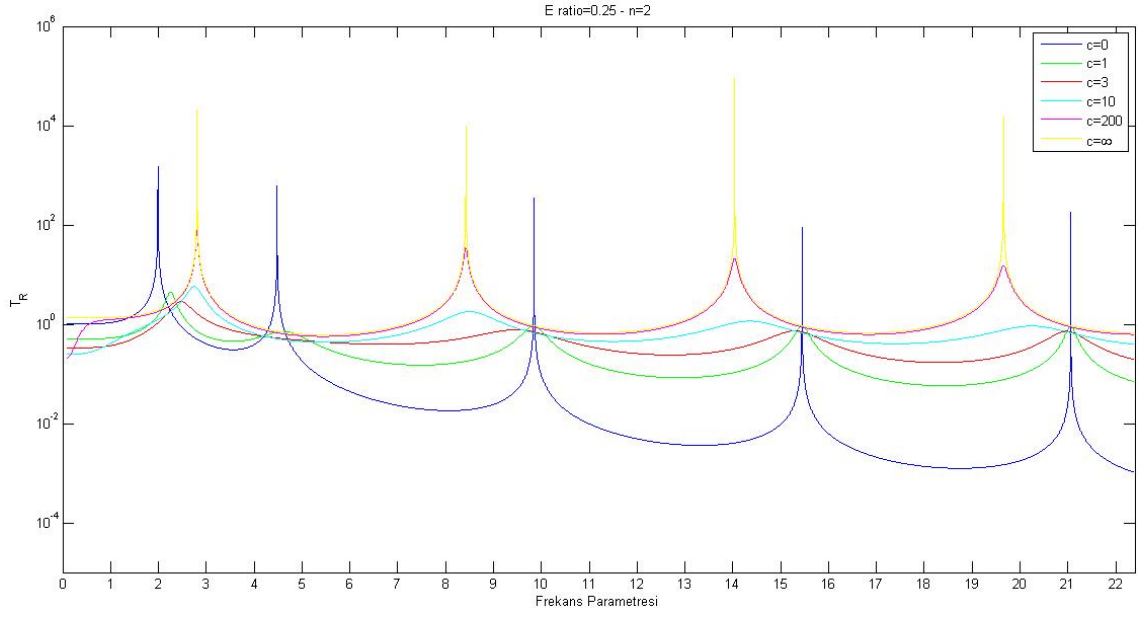
3.1.3.1 $E_{oran}=0.25$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



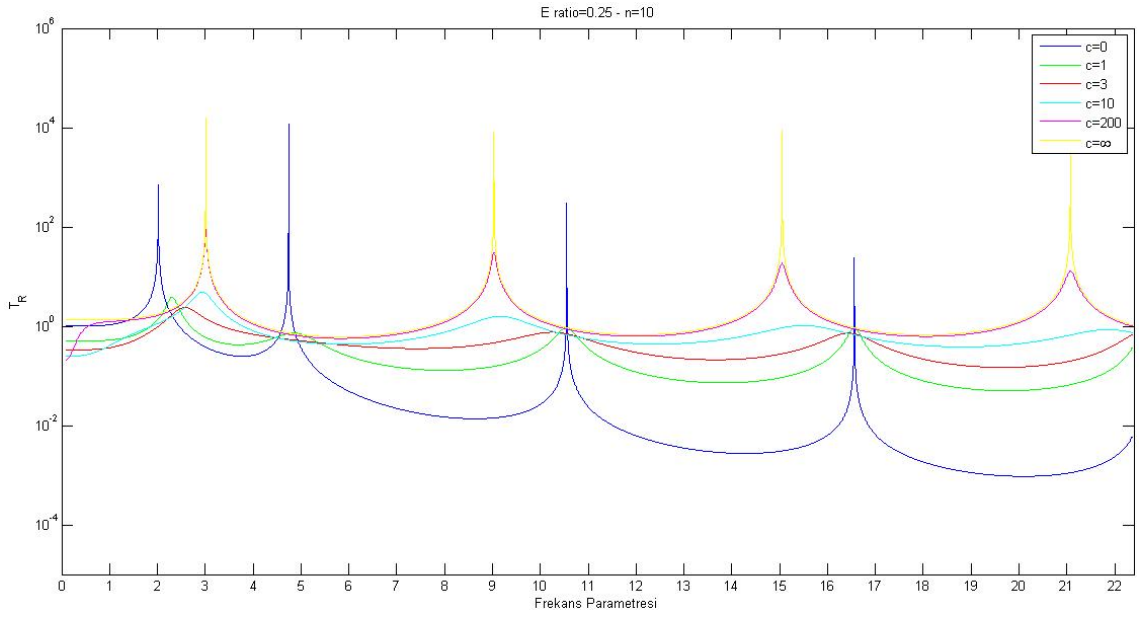
Şekil 3. 49 $k=10$, $E_{oran}=0.25$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 50 $k=10$, $E_{oran}=0.25$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

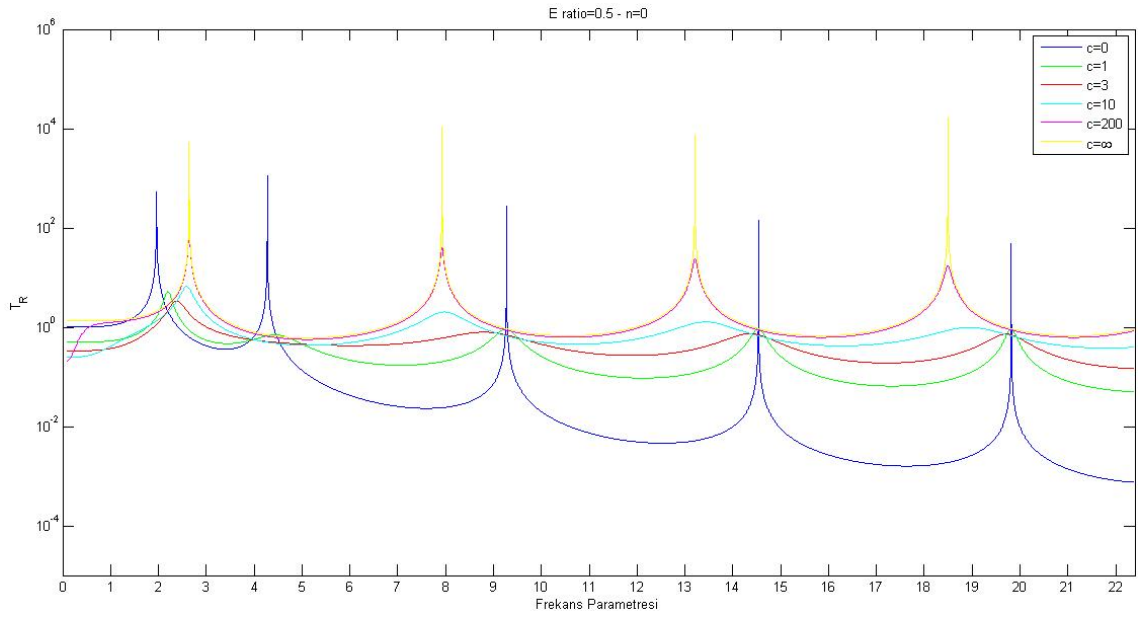


Şekil 3. 51 $k=10$, $E_{oran}=0.25$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

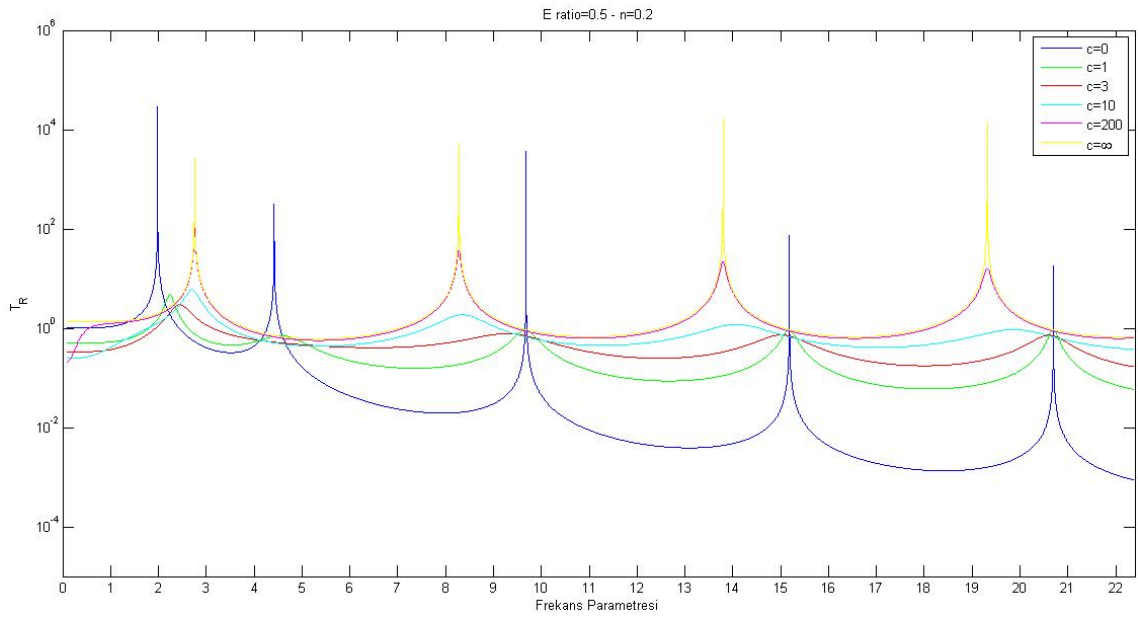


Şekil 3. 52 $k=10$, $E_{oran}=0.25$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

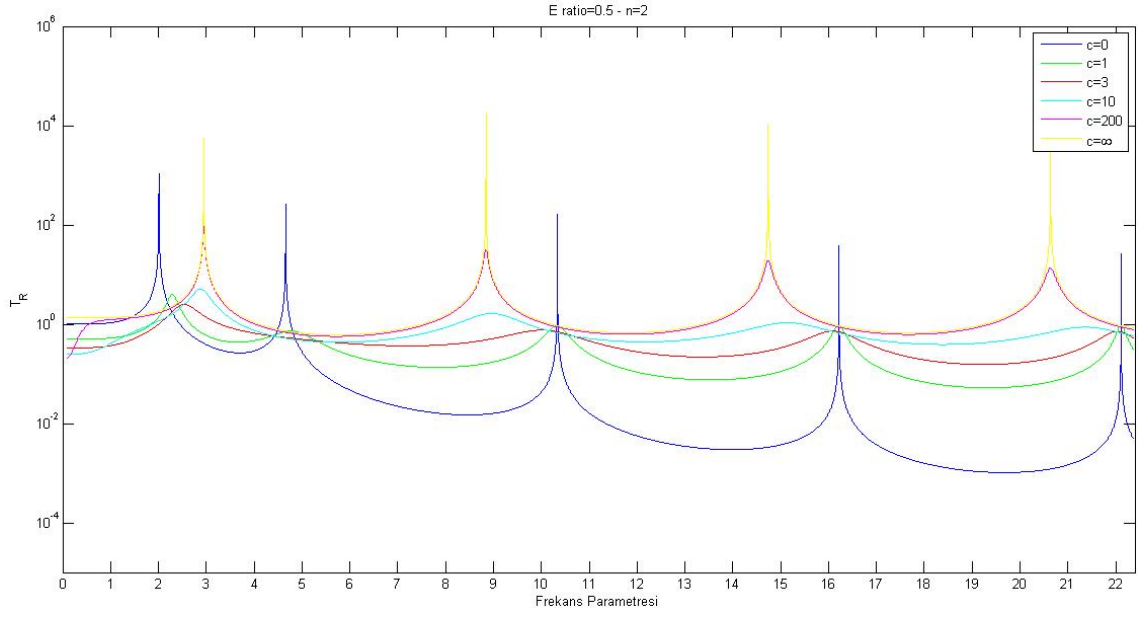
3.1.3.2 $E_{oran}=0.5$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



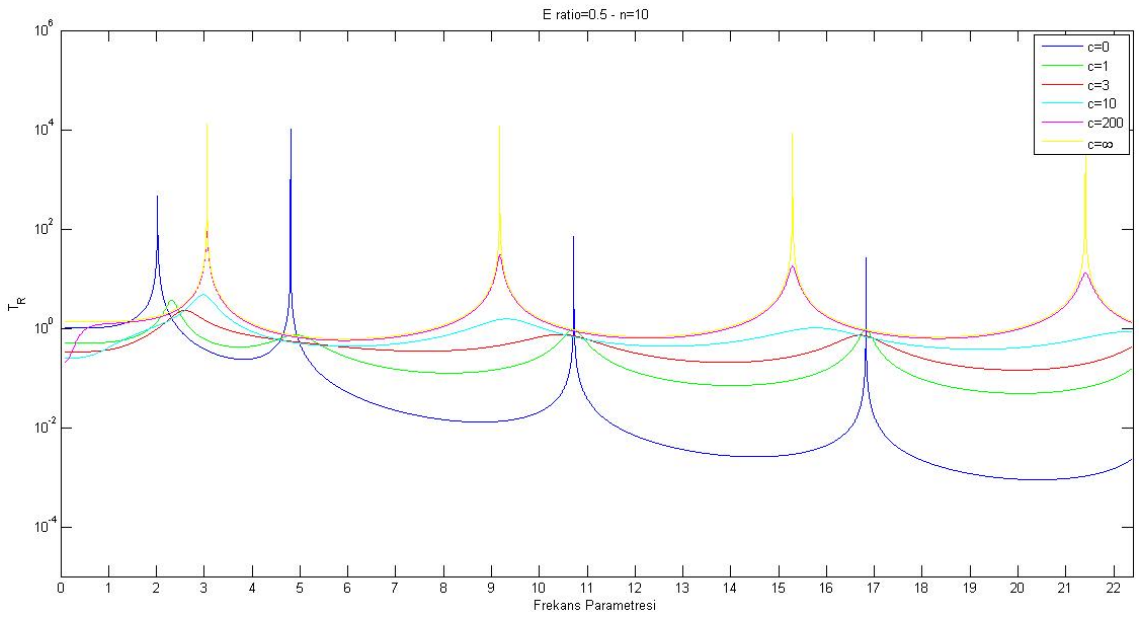
Şekil 3. 53 $k=10$, $E_{oran}=0.5$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 54 $k=10$, $E_{oran}=0.5$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

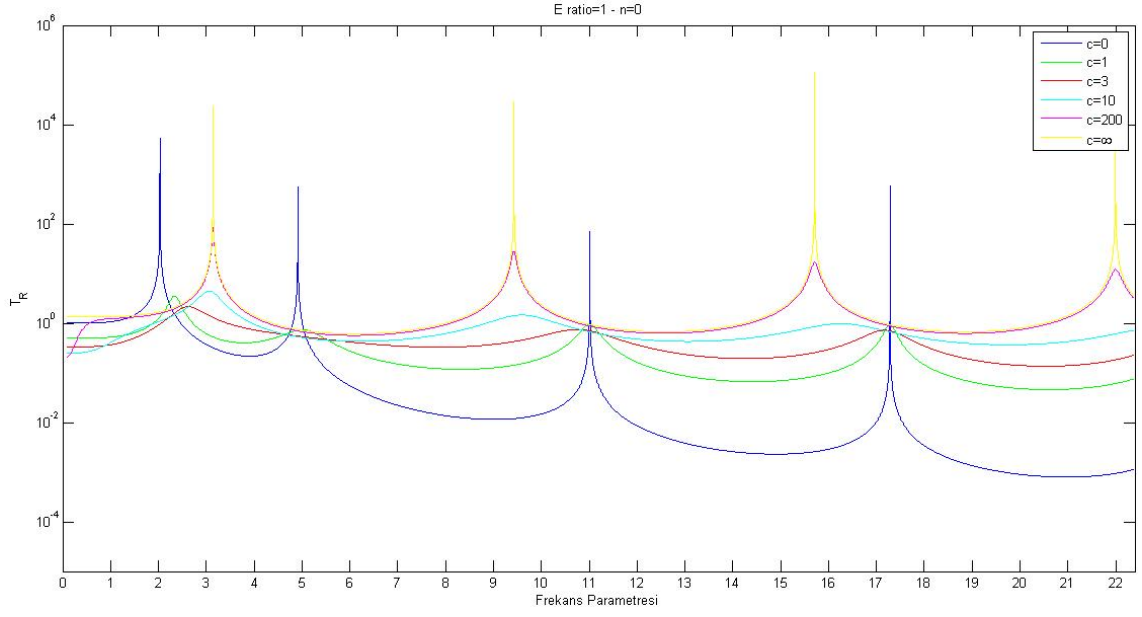


Şekil 3. 55 $k=10$, $E_{oran}=0.5$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

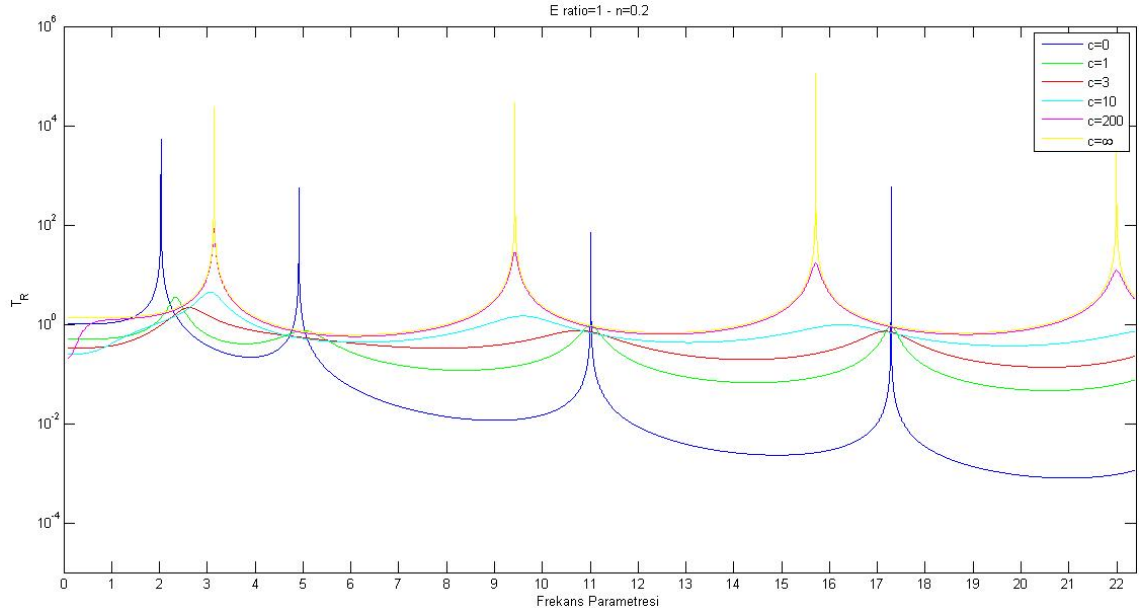


Şekil 3. 56 $k=10$, $E_{oran}=0.5$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

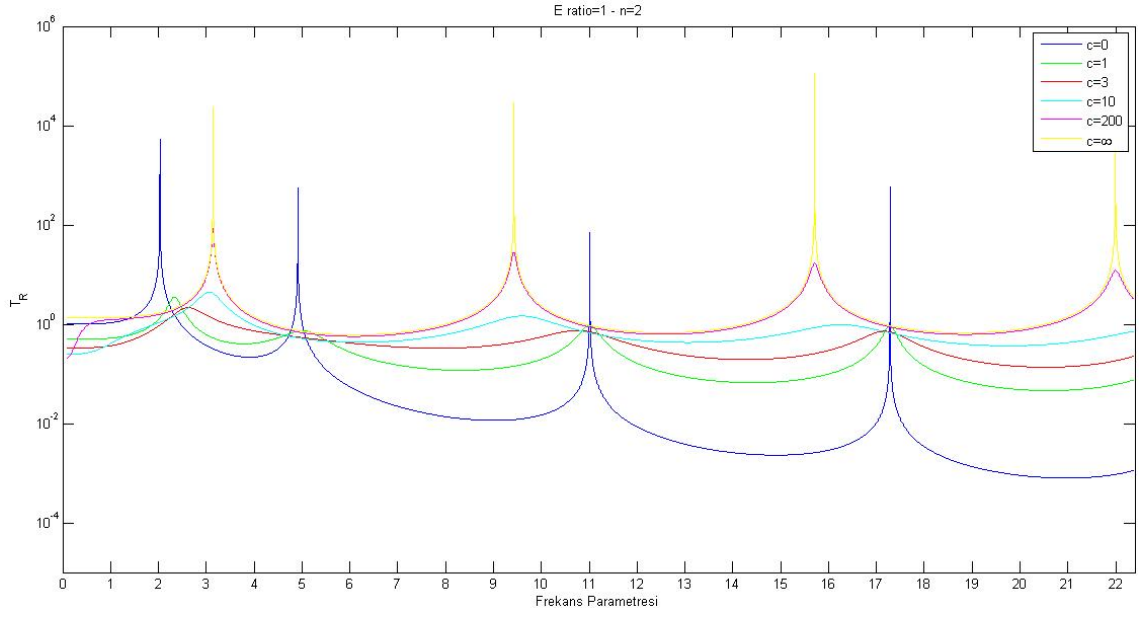
3.1.3.3 $E_{oran}=1$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



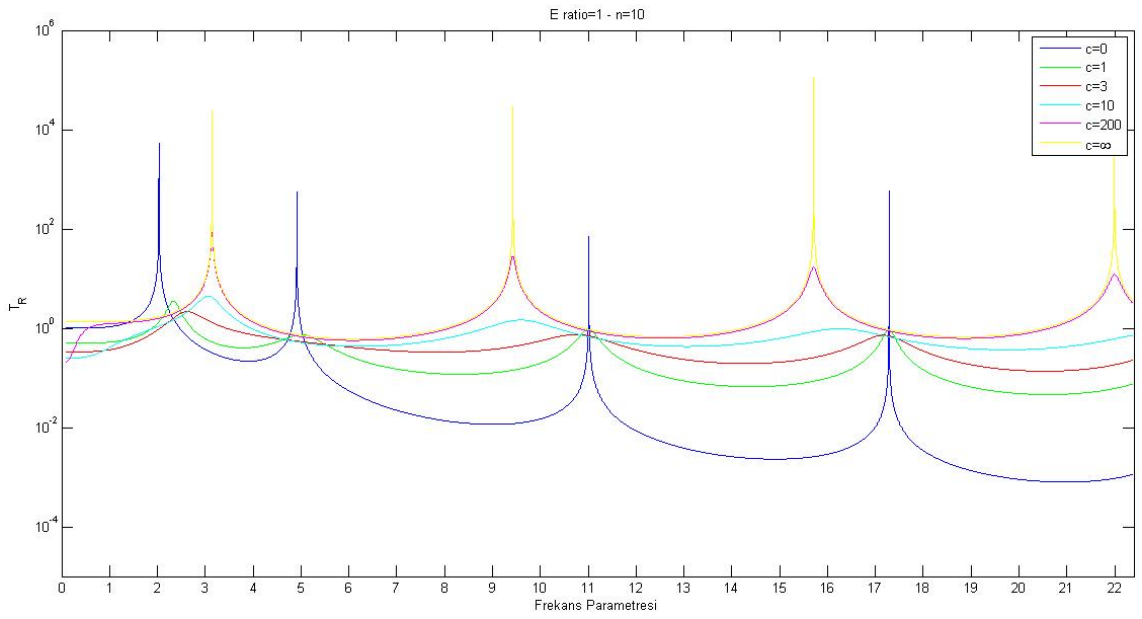
Şekil 3. 57 $k=10$, $E_{oran}=1$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 58 $k=10$, $E_{oran}=1$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

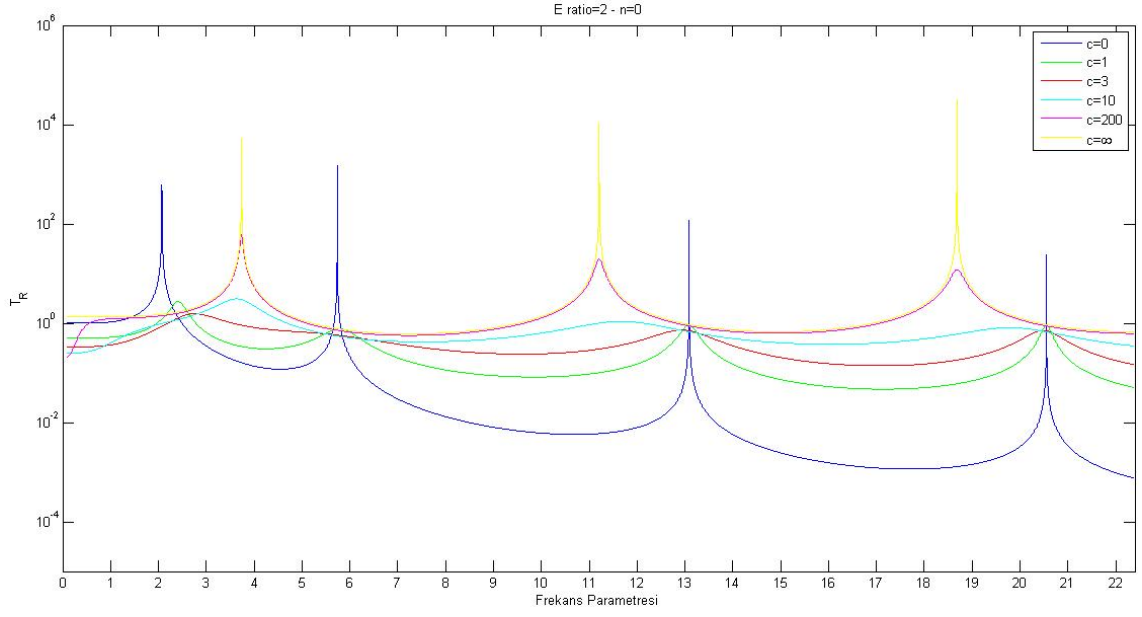


Şekil 3. 59 $k=10$, $E_{oran}=1$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

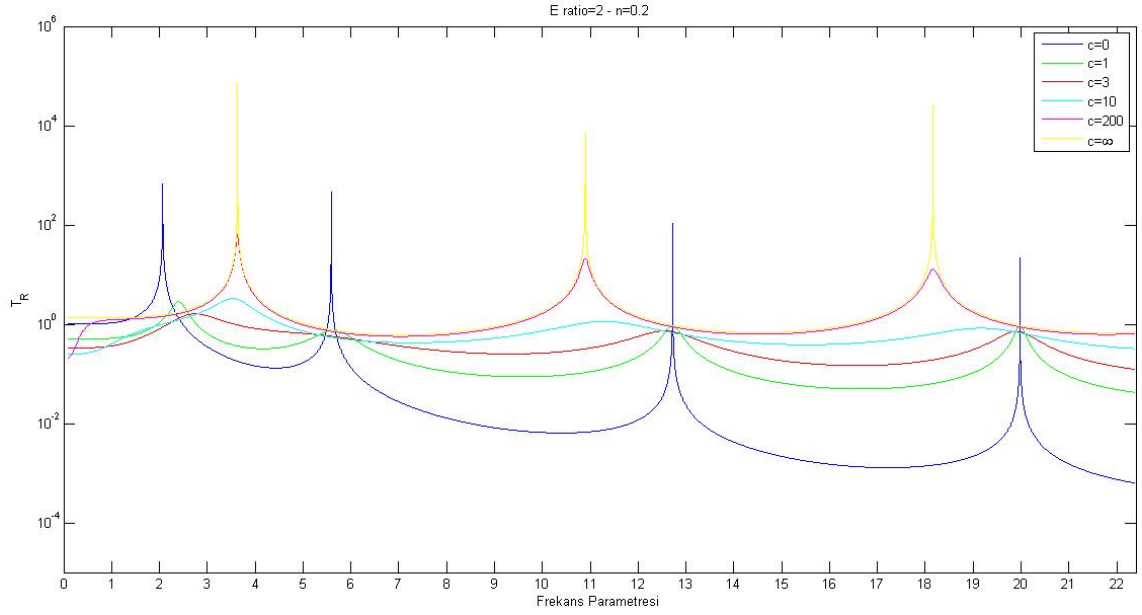


Şekil 3. 60 $k=10$, $E_{oran}=1$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

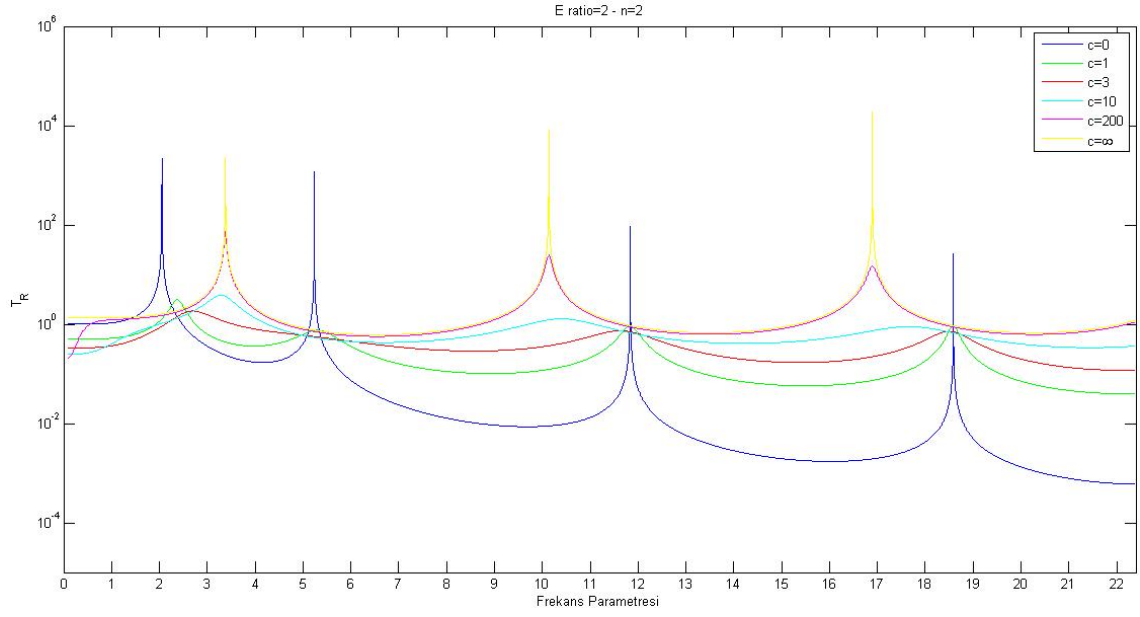
3.1.3.4 $E_{oran}=2$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



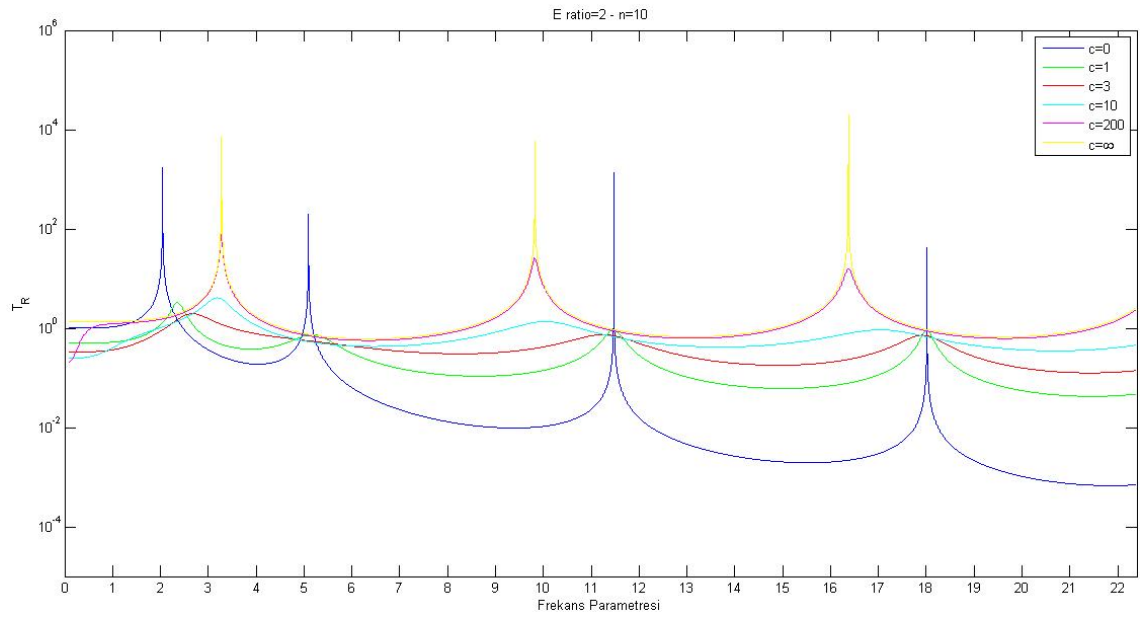
Şekil 3. 61 $k=10$, $E_{oran}=2$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 62 $k=10$, $E_{oran}=2$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

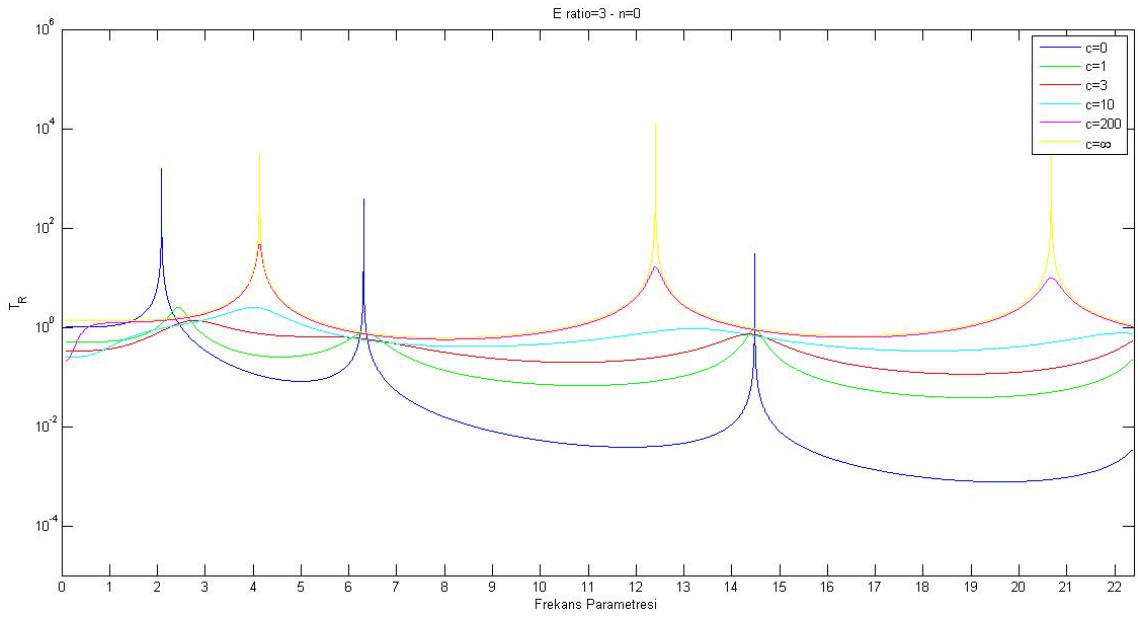


Şekil 3. 63 $k=10$, $E_{oran}=2$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

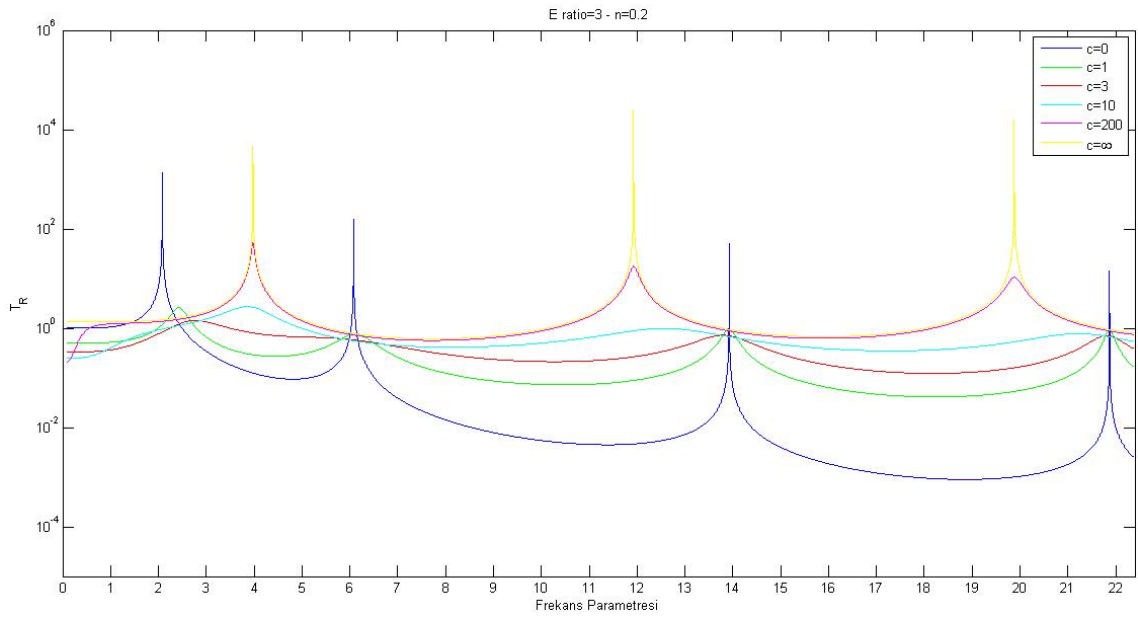


Şekil 3. 64 $k=10$, $E_{oran}=2$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

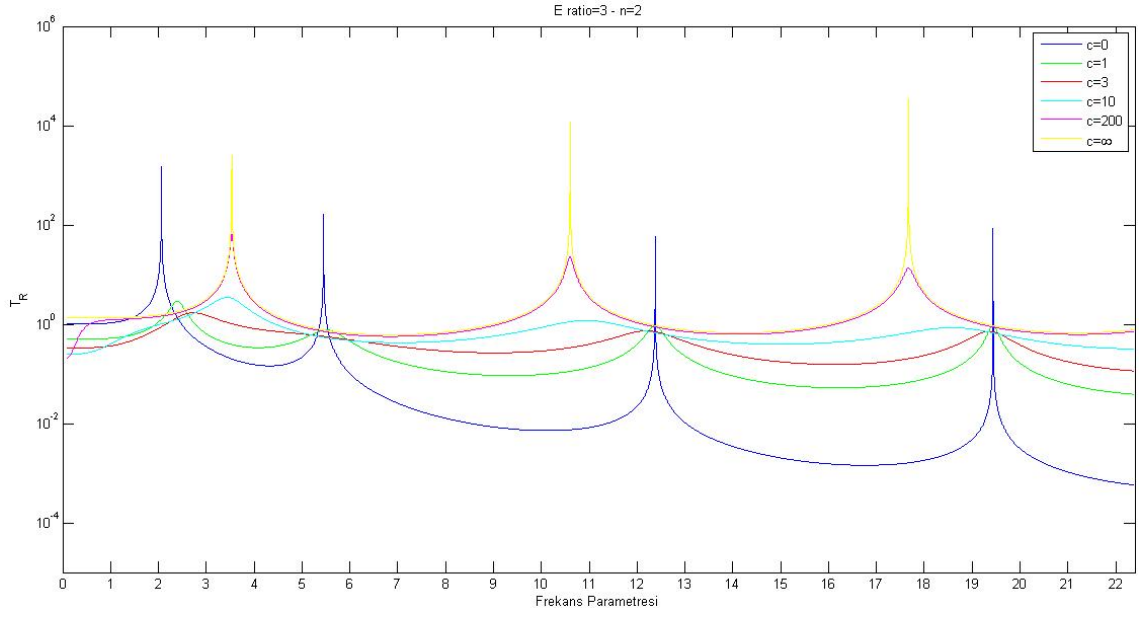
3.1.3.5 $E_{oran}=3$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



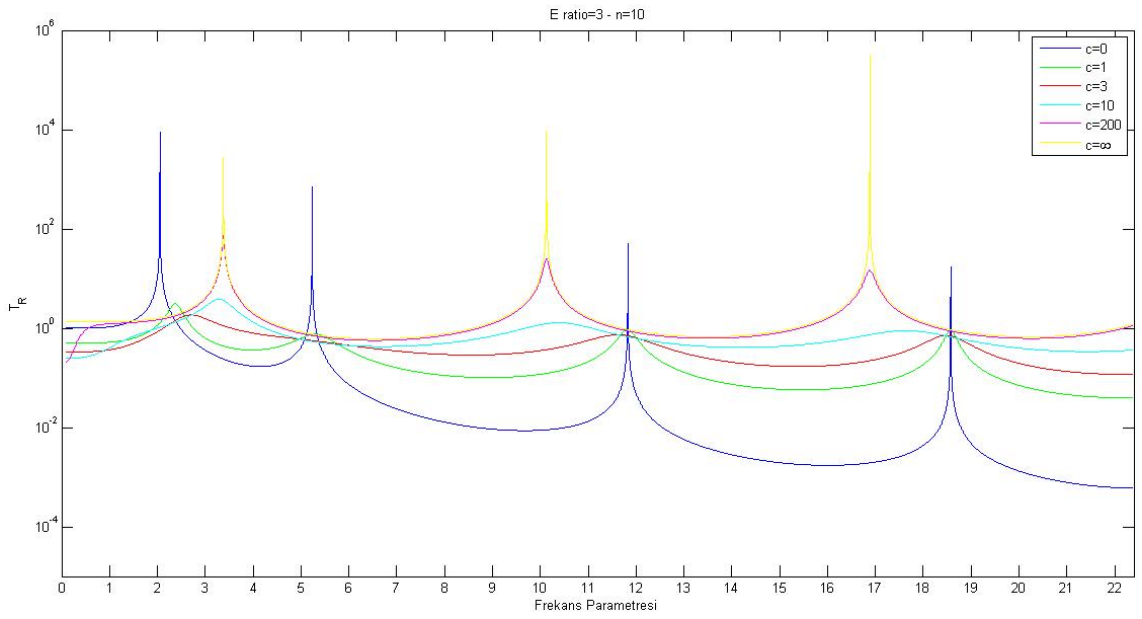
Şekil 3. 65 $k=10$, $E_{oran}=3$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 66 $k=10$, $E_{oran}=3$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

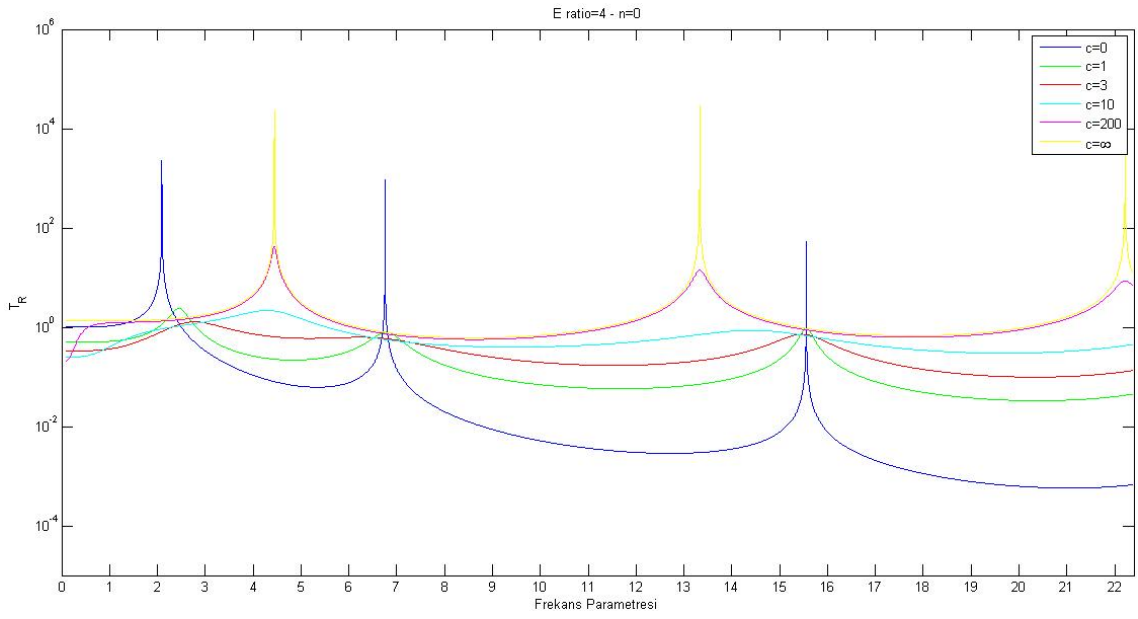


Şekil 3. 67 $k=10$, $E_{oran}=3$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

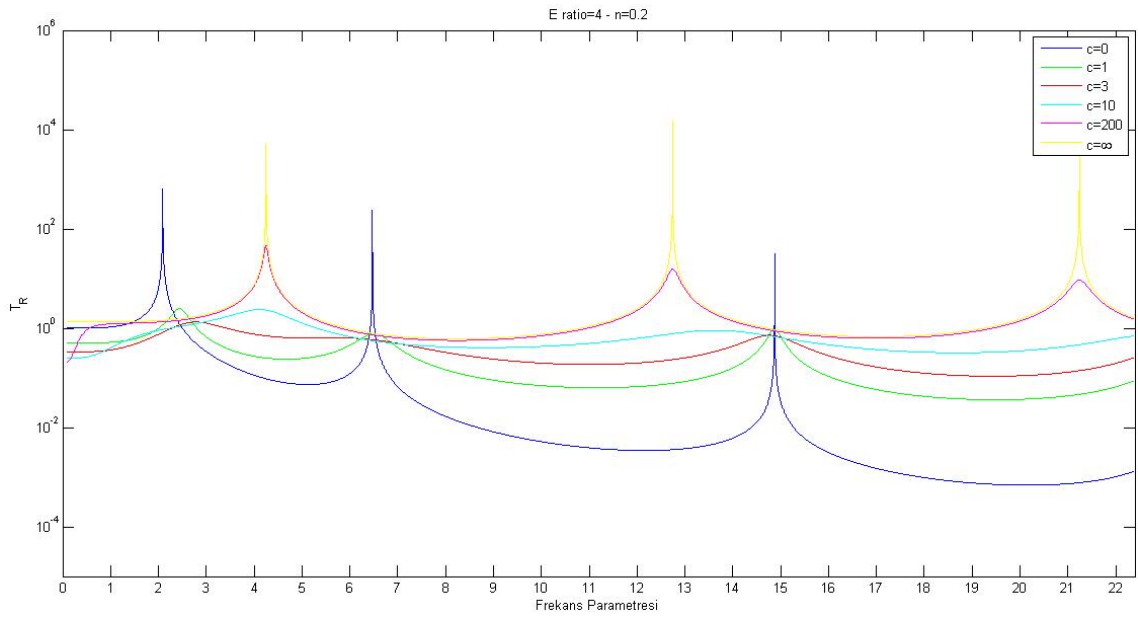


Şekil 3. 68 $k=10$, $E_{oran}=3$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

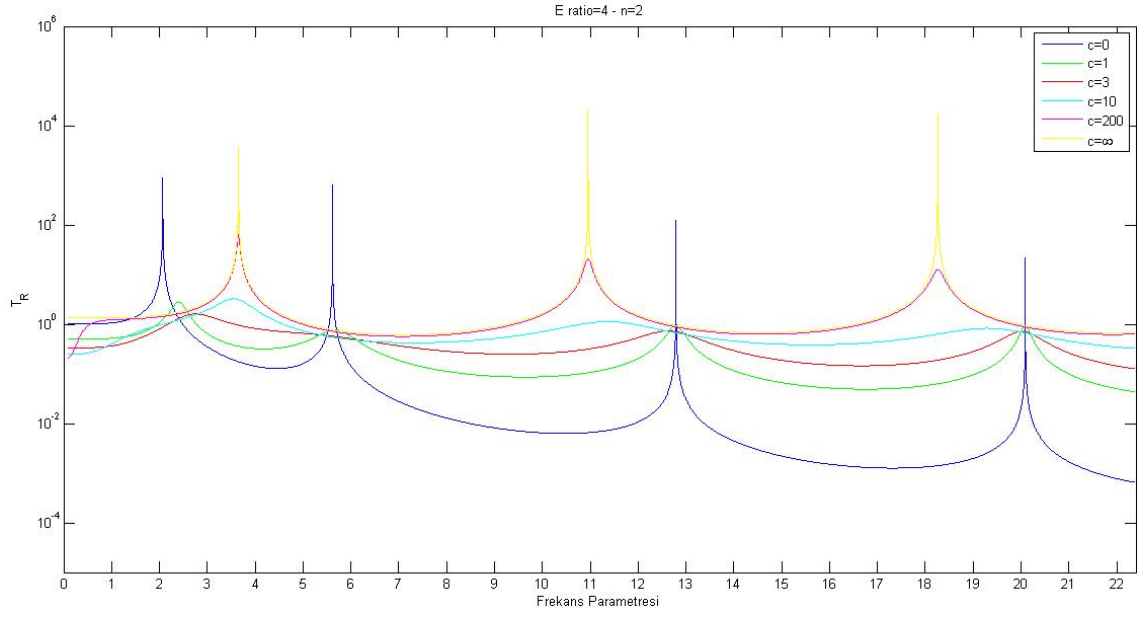
3.1.3.6 $E_{oran}=4$ için Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



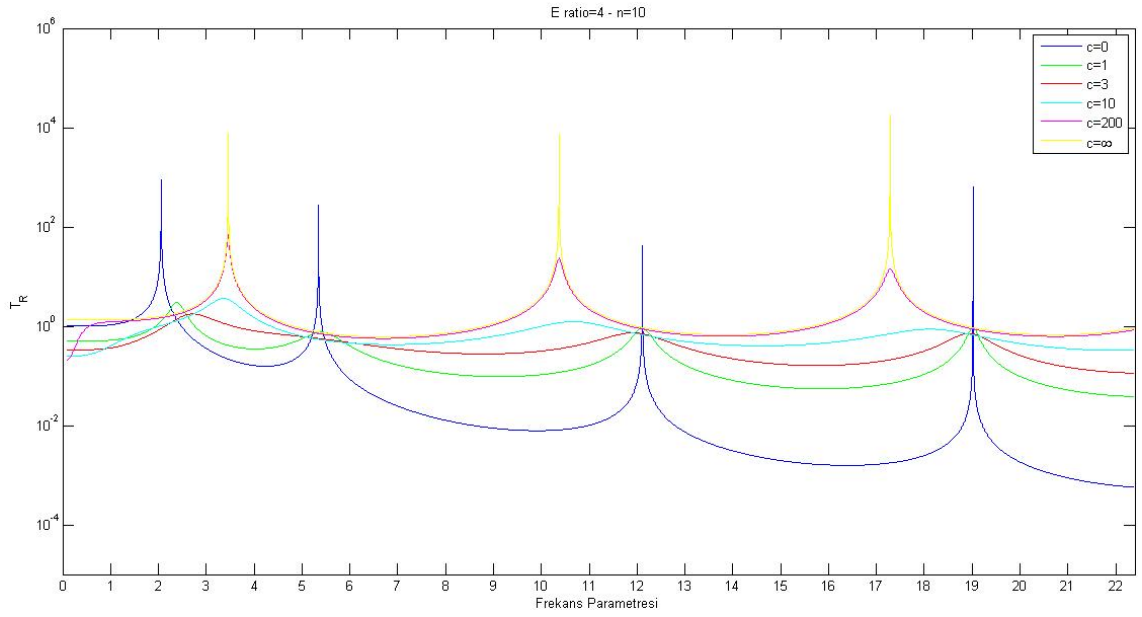
Şekil 3. 69 $k=10$, $E_{oran}=4$, $n=0$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 70 $k=10$, $E_{oran}=4$, $n=0.2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 71 $k=10$, $E_{oran}=4$, $n=2$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



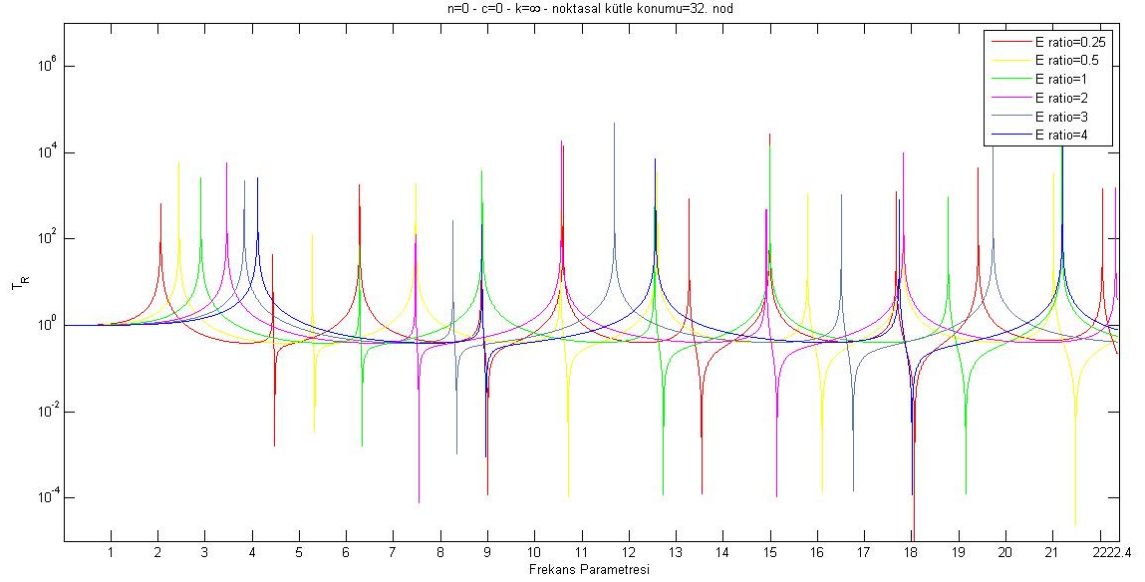
Şekil 3. 72 $k=10$, $E_{oran}=4$, $n=10$ için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

3.2 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Noktasal Kütle Değişimi Altındaki Harmonik Analizi

Bu kısımda, viskoelastik mesnetli kiriş üzerine uygulanan harmonik kuvvetin yanı sıra, kiriş üzerinde konumlandırılan noktasal bir kütle, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3.2.1 E_{oran} Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

E_{oran} 'ın artışı ile şekil (3.73)'te görüldüğü gibi her mod için elde edilen frekans parametrelerinde de artış meydana gelmektedir. Ayrıca frekans parametreleri arasındaki farkta da artış gözlenmektedir.

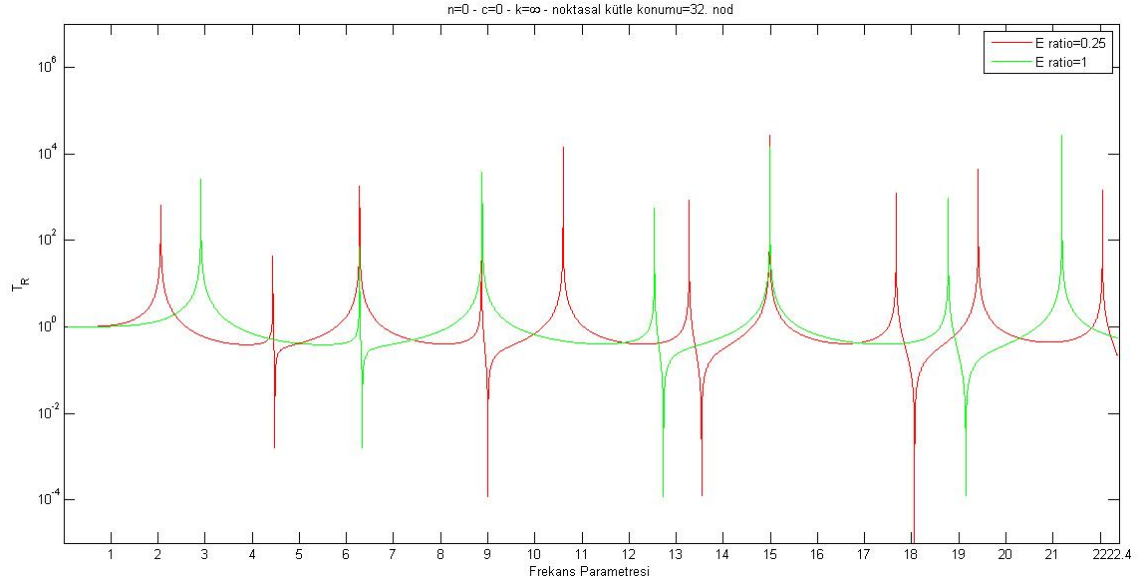


Şekil 3. 73 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.74)'te $E_{oran}=0,25$ değerinde iken elde edilen 2. simetrik mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=1$ değerindeki 1. asimetric mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.

$E_{oran}=0,25$ değerinde iken elde edilen 2. asimetric mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=1$ değerindeki 2. Simetrik mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.

$E_{oran}=0,25$ değerinde iken elde edilen 4. simetrik mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=1$ değerindeki 2. simetrik mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.

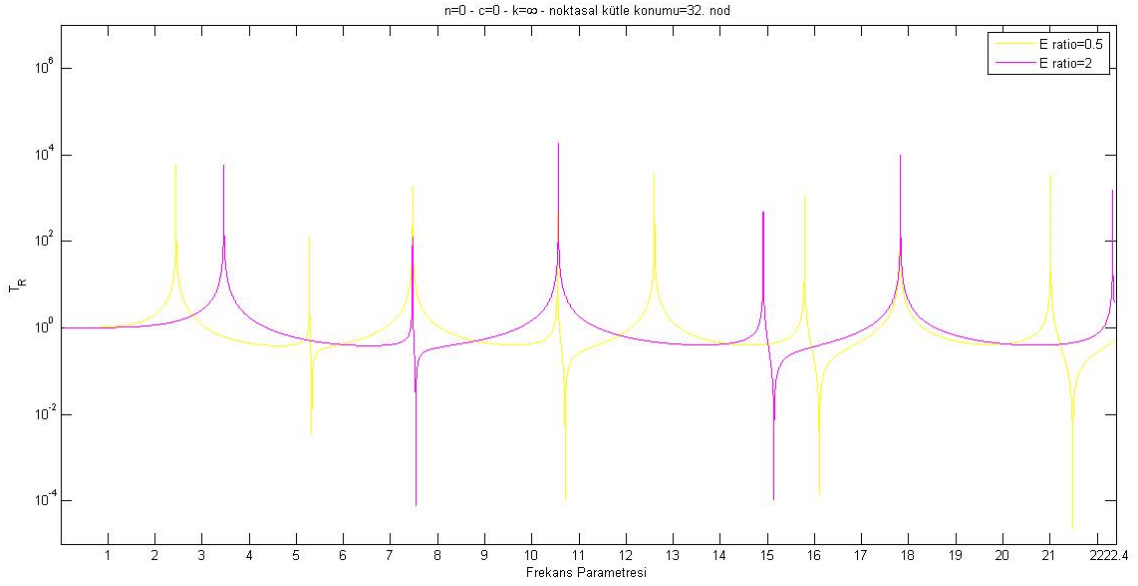


Şekil 3. 74 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.25, 1 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.75)'te $E_{oran}=0,5$ değerinde iken elde edilen 2. simetrik mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=2$ değerindeki 1. asimetrik mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.

$E_{oran}=0,5$ değerinde iken elde edilen 2. asimetrik mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=2$ değerindeki 2. simetrik mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.

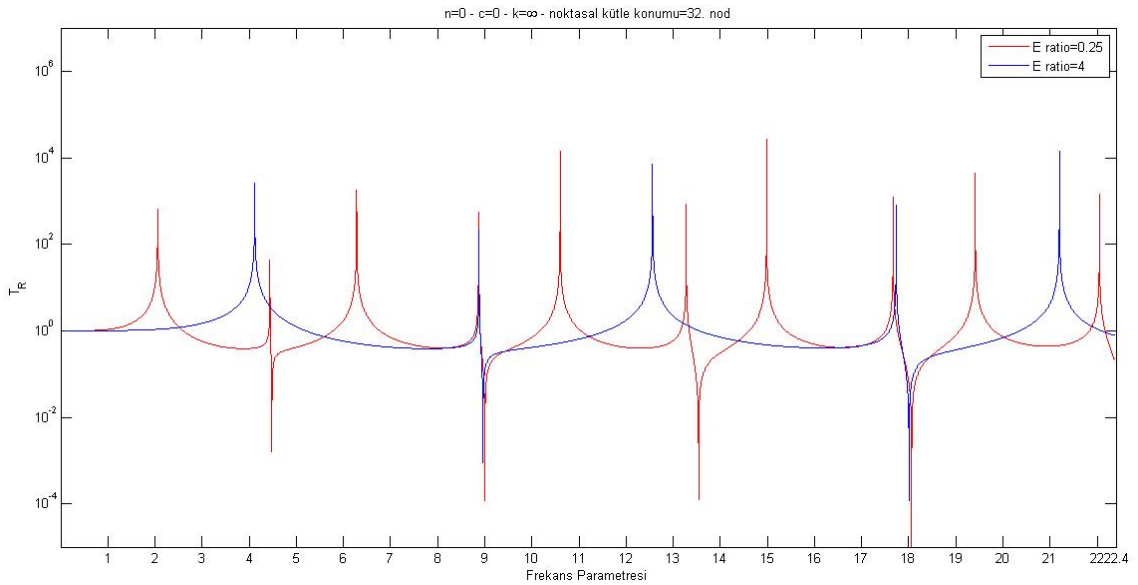
$E_{oran}=0,5$ değerinde iken elde edilen 4. simetrik mod frekans parametresi değeri, yaklaşık olarak $E_{oran}=2$ değerindeki 2. simetrik mod frekans parametresi değerine denk gelmektedir.



Şekil 3. 75 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.5, 2 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.76)'da $E_{oran}=0,25$ değeri için, 2. asimetrik mod frekans parametresi değeri, $E_{oran}=4$ değeri için, 1. asimetrik mod frekans parametresi değeri ile yaklaşık olarak aynı değerdedir.

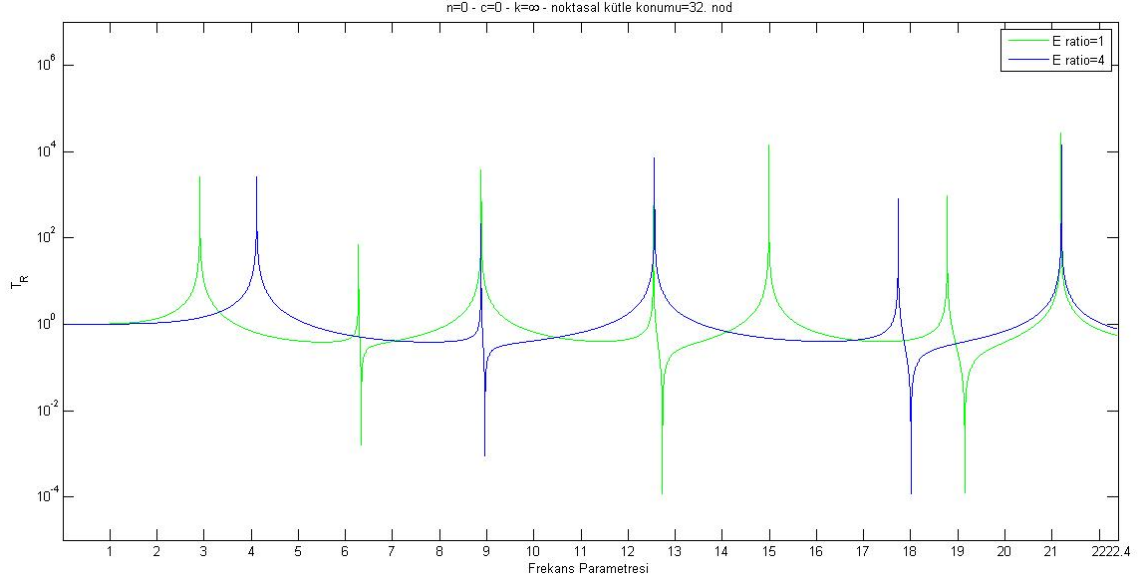
$E_{oran}=0,25$ değeri için, 4. asimetrik mod frekans parametresi değeri, $E_{oran}=4$ değeri için, 2. asimetrik mod frekans parametresi değeri ile yaklaşık olarak aynı değerdedir.



Şekil 3. 76 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.25, 4 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

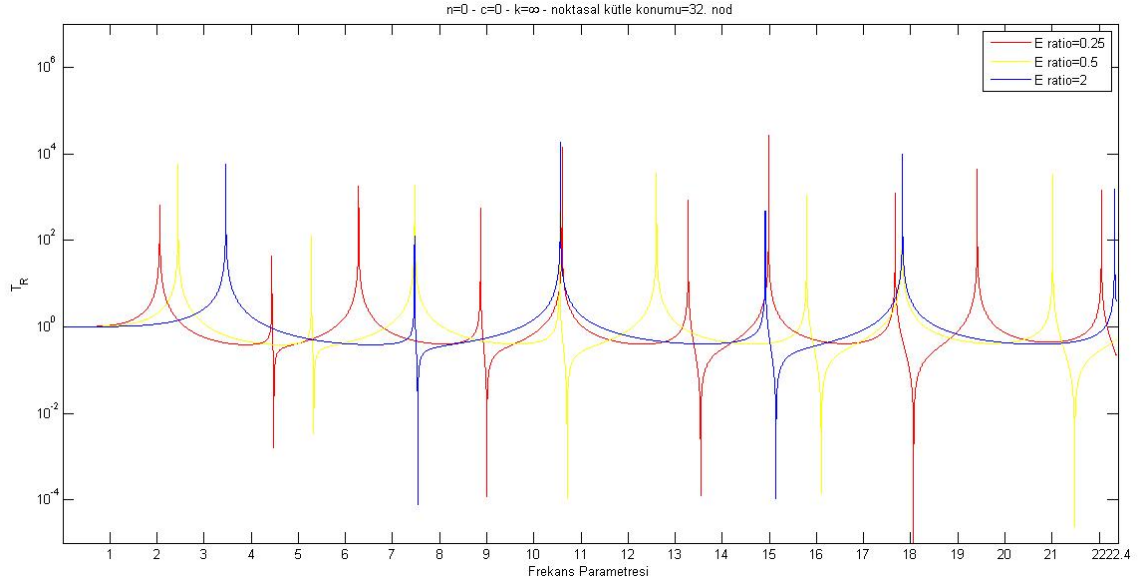
Şekil (3.77)'de $E_{oran}=1$ değeri için elde edilen grafikte, 2. simetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=4$ için elde edilen grafikte, 1. asimetrik mod frekans parametresi ile yaklaşık olarak çakışmaktadır.

$E_{oran}=1$ değeri için elde edilen grafikte, 2. asimetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=4$ için elde edilen grafikte, 2. simetrik mod frekans parametresi ile yaklaşık olarak çakışmaktadır.



Şekil 3. 77 $n=0, c=0, k=\infty$ ve E_{oran} 1, 4 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.78)'de $E_{oran}=0,25$ için, 3. simetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=0,5$ için 2. asimetrik mod frekans parametresi ve $E_{oran}=2$ için 2. simetrik mod frekans parametresi değerlerinin yaklaşık olarak çakıştığı görülmektedir.

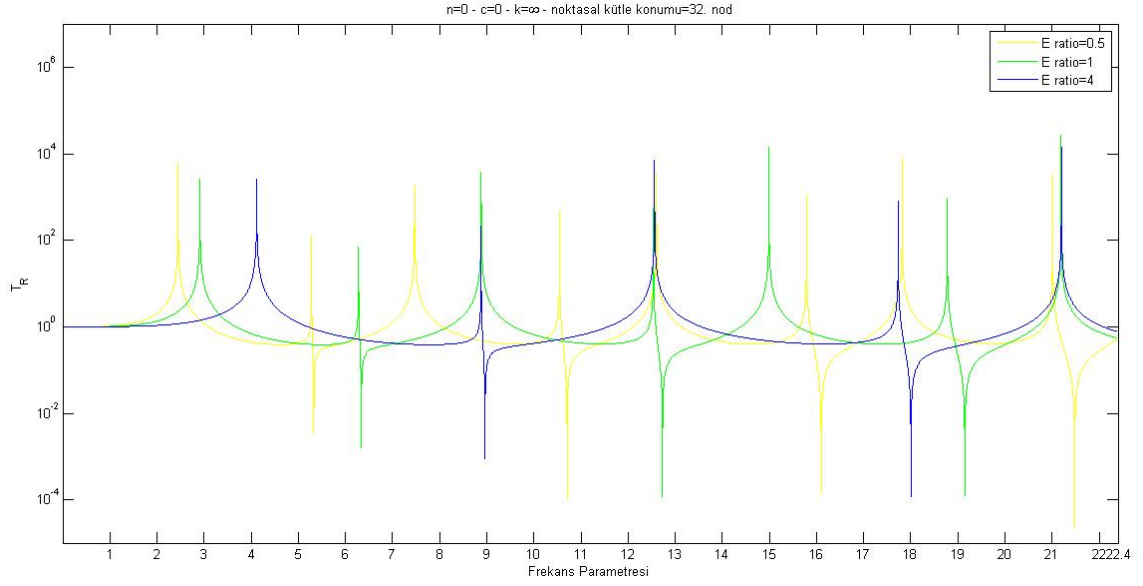


Şekil 3. 78 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.25, 0.5, 2 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.79)'da $E_{oran}=4$ için 1. asimetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=1$ için 2. simetrik mod frekans parametresi ile yaklaşık olarak çakışmaktadır.

$E_{oran}=0,5$ için 3. simetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=1$ için 2. asimetrik mod frekans parametresi ve $E_{oran}=4$ için 2. simetrik mod frekans parametresi yaklaşık olarak aynı değerdedir.

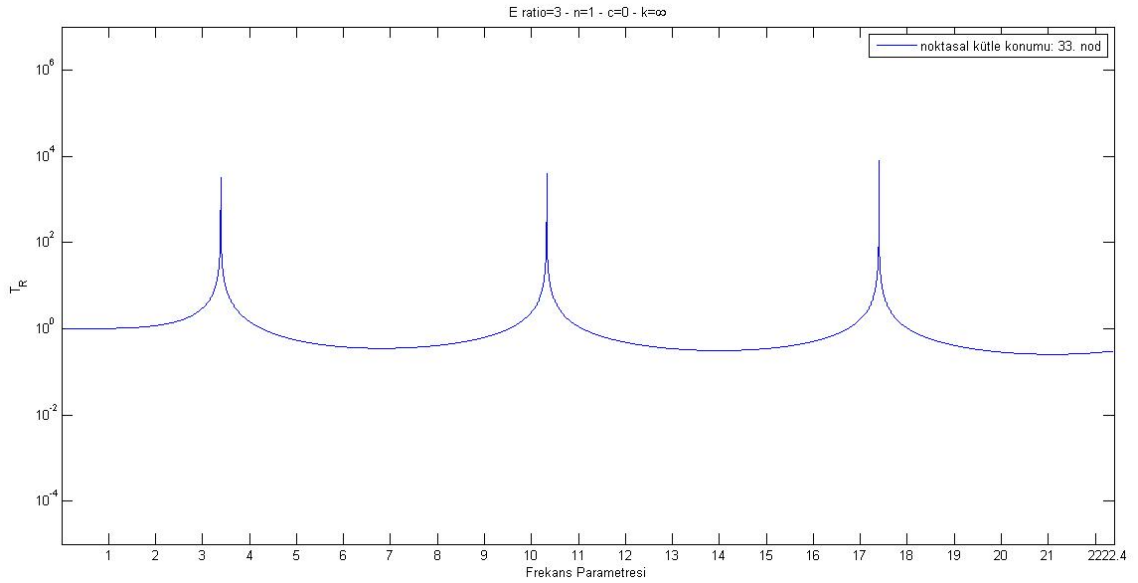
$E_{oran}=1$ için 4. simetrik mod frekans parametresi, $E_{oran}=4$ için 2. simetrik mod frekans parametresi ile yaklaşık olarak çakışmaktadır.



Şekil 3. 79 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$ ve E_{oran} 0.5, 1, 4 için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

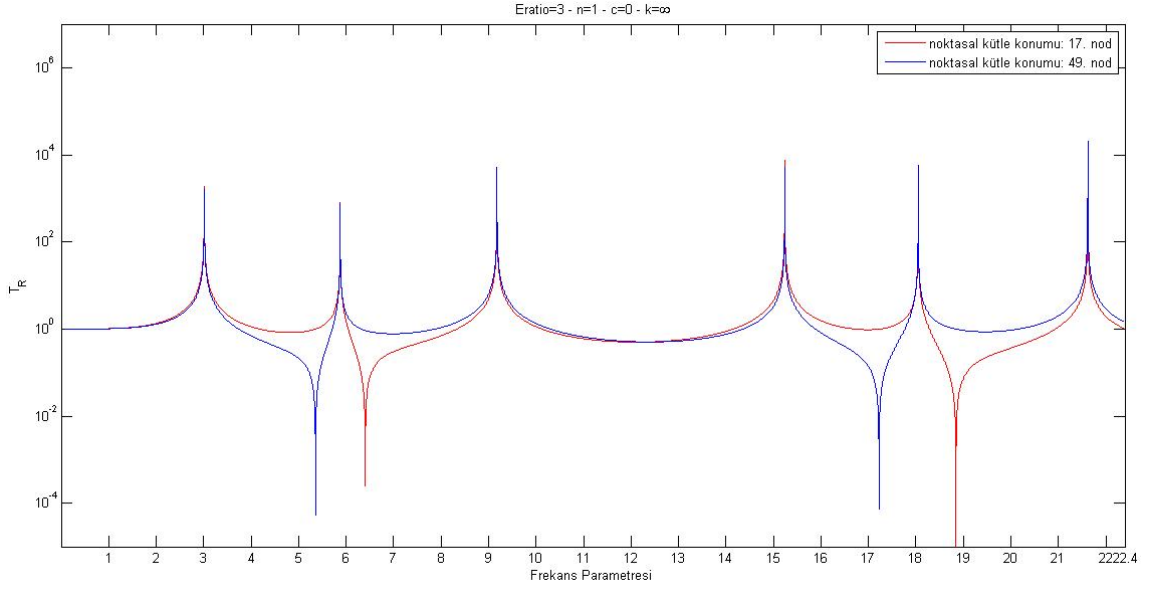
3.2.2 Noktasal Kütle Konum Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

Şekil (3.80)'de görüldüğü gibi, noktasal kütlelerin, 65 nodu bulunan kirişin tam orta noktası olan 33. noda yerleştirilmesi sonucunda herhangi bir asimetrik mod meydana gelmemektedir. Bu durum, noktasal kütlelerin bütün mod şekilleri için düğüm noktasına denk gelmesinden kaynaklanmaktadır.



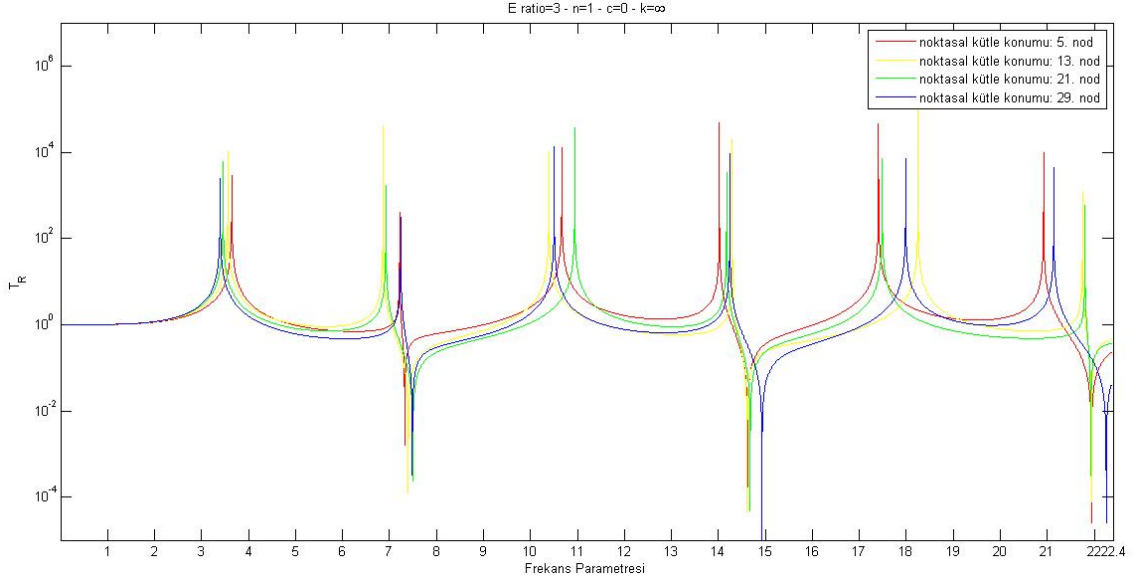
Şekil 3. 80 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Noktasal Kütle Konumu: 33. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Noktasal kütle 17. ve 49. noda iken, noktasal kütlelerin, düğüm noktasına denk gelmesinden dolayı 2. asimetrik mod meydana gelmemektedir. Bunun dışında şekil (3.81)'de elde edilen grafikte de görüldüğü gibi 1. asimetrik mod ile 3. asimetrik mod frekans parametrelerinde, noktasal kütlelerin her iki konumu için simetrik bir davranış oluşmaktadır. Simetrik modlarda ise frekans parametreleri aynı değerlerde çakışmaktadır.



Şekil 3. 81 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Noktasal Kütle Konumu: 17. ve 49. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

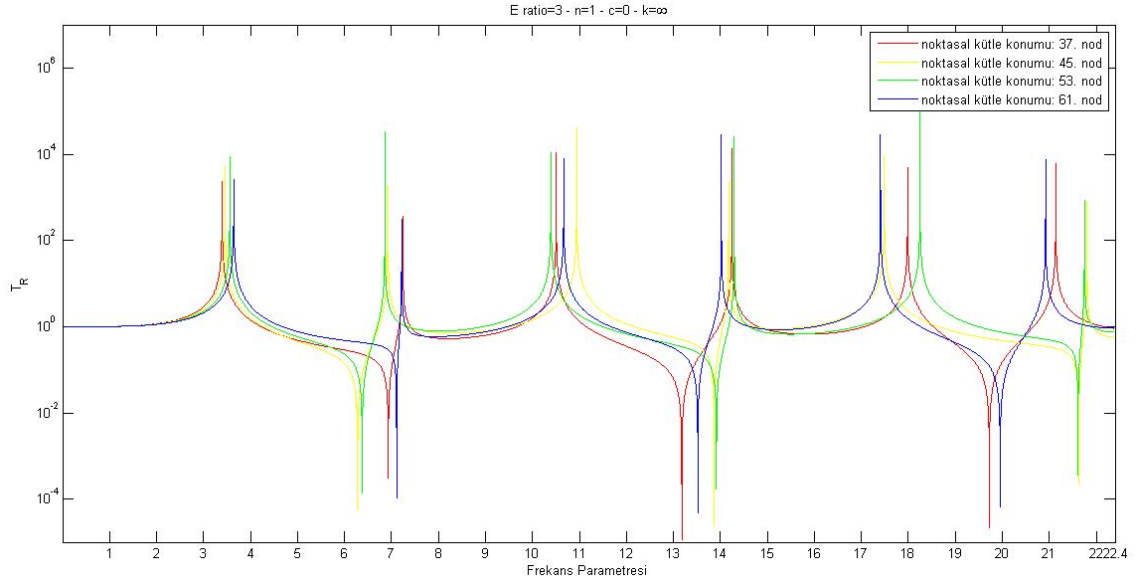
Noktasal kütle, $E_{oran} = 3$ ve $n=1$ değerleri için, kirişin sol ve sağ yarısındaki farklı dört noda yerleştirilerek, şekil (3.82) ve (3.83)'te verilen iki grafik elde edilmiştir. Noktasal kütle, kirişin sol yarısında bulunan 5, 13, 21 ve 29. noda, kirişin sağ yarısında ise 37, 45, 53 ve 61. noda yerleştirilmiştir. Elde edilen grafikler aşağıda görülmektedir.



Şekil 3. 82 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Noktasal Kütle Konumu: 5., 13., 21. ve 29. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.82)'de, grafik incelendiğinde, simetrik ya da asimetric her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerindeki değişimin, yük konum sıralaması ile uyumlu bir düzen içerisinde olmadığı gözlenmektedir. Örnek verilecek olursa 1. simetrik mod incelendiğinde, frekans parametrelerindeki artış, yük konumuna göre $29 < 21 < 13 < 5$ şeklinde sıralanırken, 2. simetrik modda ise yine yük konumuna göre $13 < 29 < 5 < 21$ şeklinde sıralanmaktadır. Diğer modlar da incelendiğinde aynı şekilde düzensiz bir dağılımın varlığı görülmektedir.

Asimetric modlara bakıldığında, noktasal kütle 5. ve 29. nod konumunda iken, etek açıklığı artışıdaki mod şekli sıralaması $1 < 2 < 3$ şeklinde sıralanmaktadır. Buna karşılık, noktasal kütle 13. ve 21. noddaki asimetric mod etek açıklığında önemli bir artış görülmemektedir.

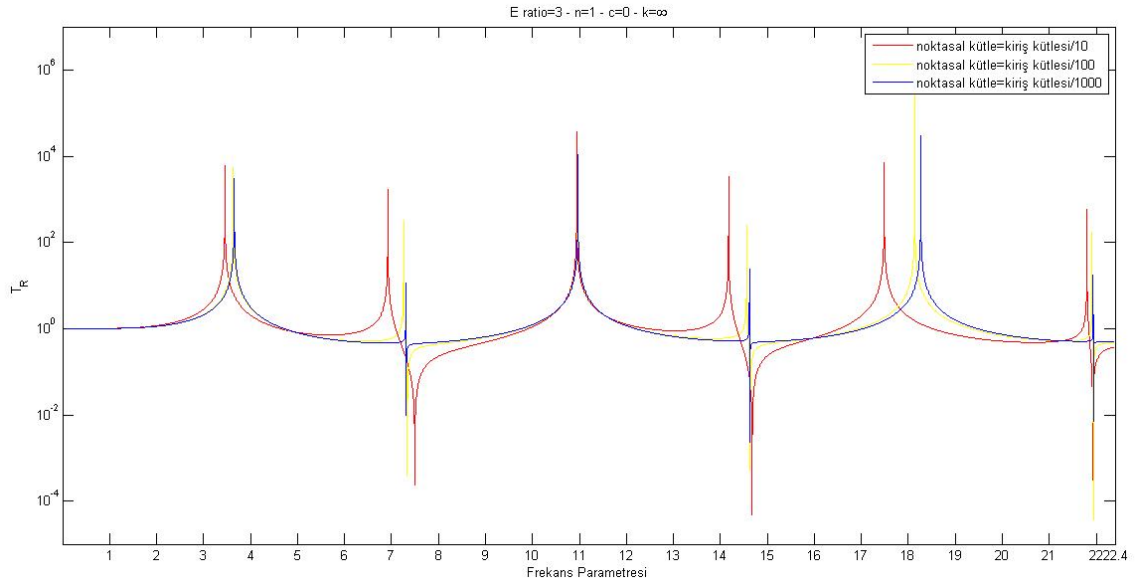


Şekil 3. 83 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Noktasal Kütle Konumu: 37., 45., 53. ve 61. Nod için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.83)'teki grafik incelendiğinde ise, yük konumu 37, 45, 53 ve 61. nod iken de simetrik ya da asimetrik her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerindeki değişimin, yük konum sıralaması ile uyumlu bir düzen içerisinde değildir. Yine bir örnekle açıklanırsa, 1. simetrik mod incelendiğinde frekans parametrelerindeki artış, yük konumuna göre $37 < 45 < 53 < 61$ şeklinde sıralanırken, 2. simetrik modda yük konumuna göre $53 < 37 < 61 < 45$ şeklindeki sıralama ile belirtilen düzensizlik burada da gözlenmektedir. Bu düzensizlik diğer modlar için de geçerli olmaktadır.

Bu grafikteki asimetrik modlardaki davranış ise, yük konumu 45 ve 53. nod iken önemli bir değişimin gerçekleşmediği, fakat yük konumu 37 ve 61. nod iken asimetrik mod etek açıklığında belirgin bir artış gerçekleştiği görülmektedir.

3.2.3 Noktasal Kütle Büyüklüğünün Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



Şekil 3. 84 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Noktasal Kütle Büyüklüğü Değişimi için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

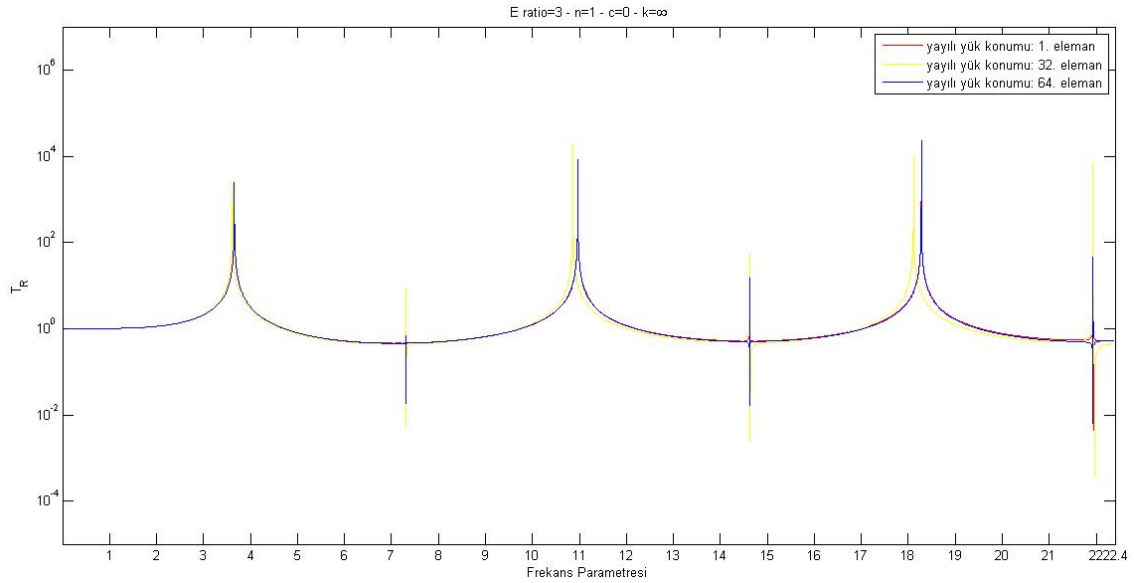
Bu analiz, $E_{oran}=3$ ve $n=1$ için yapılmıştır. Şekil (3.84)'te görüldüğü gibi, hareketli noktasal kütlelerin 3 farklı değeri için yapılan bu analizde, hareketli noktasal kütle değeri, kiriş kütlesinin $1/10$ 'u, $1/100$ 'ü ve $1/1000$ 'i olarak belirlenmiştir.

Grafik incelendiğinde, noktasal kütle değeri arttıkça her mod için frekans parametresi değeri azalmaktadır. Bu azalma en fazla 3. simetrik modda gerçekleşirken, 2. simetrik modda en düşük değerindedir.

3.3 Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Yayılı Yük Değişimi Altındaki Harmonik Analizi

Bu kısımda, yine kiriş üzerine uygulanan harmonik kuvvetle beraber, 64 eşit parçaya ayrılan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin belirli elemanları üzerine uygulanan yayılı yükün, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

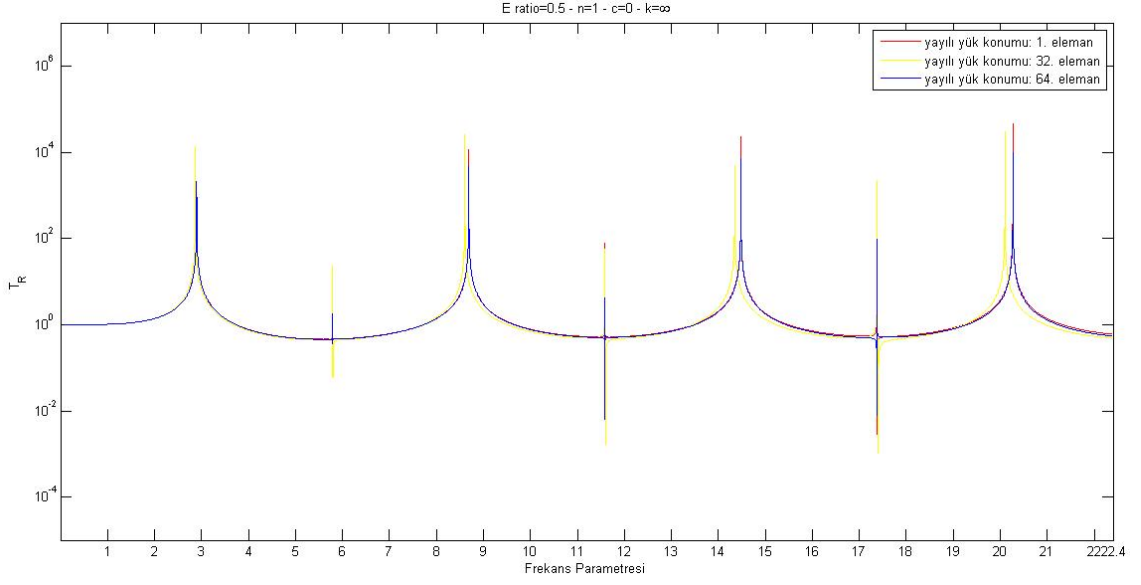
3.3.1 Yayılı Yük Konum Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



Şekil 3. 85 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Yayılı Yük Konumu: 1., 32. ve 64. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

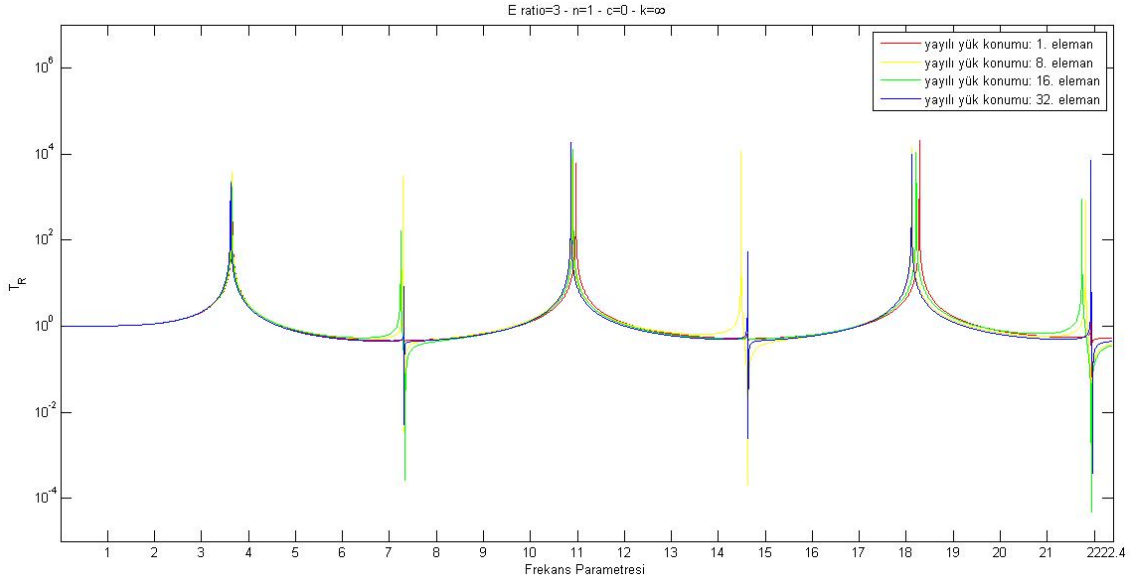
$E_{oran}=3$ ve $n=1$ için yapılan analizde, şekil (3.85) incelendiğinde, yayılı yük 1. ve 64. eleman üzerindeki elde edilen grafiklerin yaklaşık olarak çıktığı ve buna karşılık yayılı yük 32. eleman üzerindeki simetrik mod frekans parametresi değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Yayılı yükün yer değişiminin, asimetrik mod frekans parametresi değerlerindeki değişim üzerine bir etkisi olmadığı gözlenmektedir.

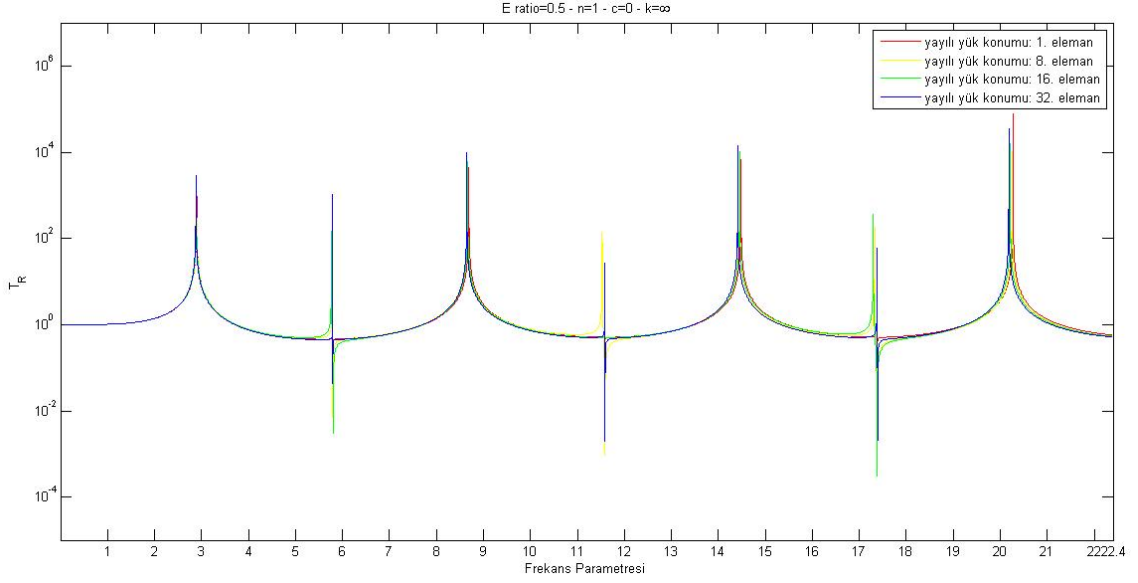


Şekil 3. 86 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 0.5 ve Yayılı Yük Konumu: 1., 32. ve 64. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Aynı şekilde $E_{oran}=0,5$ ve $n=1$ için yapılan analizde de, şekil (3.86)'da görüldüğü gibi, yayılı yükün aynı konumlarda bulunması halinde kirişin dinamik davranışı, $E_{oran}=3$ için yapılan yorumla aynı sonucu vermektedir.



Şekil 3. 87 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Yayılı Yük Konumu: 1., 8., 16. ve 32. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



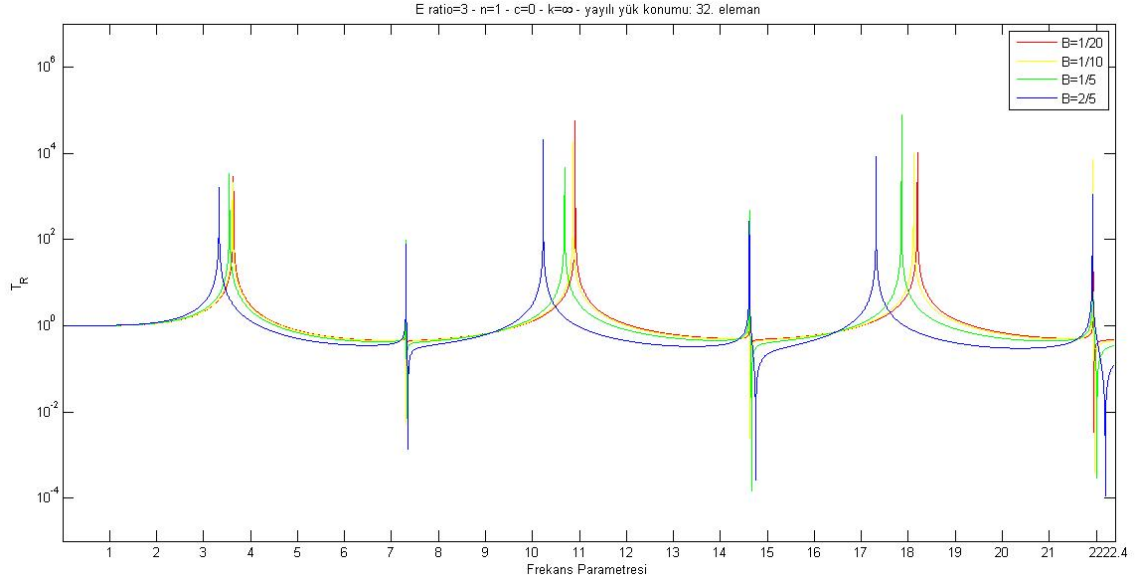
Şekil 3. 88 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 0.5 ve Yayılı Yük Konumu: 1., 8., 16. ve 32. Eleman için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.87)'de, $E_{oran}=3$ ve $n=1$ için yapılan analizde, yayılı yük konumunun 1, 8, 16 ve 32. eleman üzerinde olduğu durum incelenmiştir. Elde edilen grafikte de görüldüğü gibi, yayılı yük konum değişimi, frekans parametresi değerlerinde, 2. ve 3. simetrik modlarda ve 2. ve 3. asimetrik modlarda etkili olmaktadır. 1. simetrik ve asimetrik modlarda ise frekans parametreleri yaklaşık olarak çakışmaktadır.

$E_{oran}=0,5$ ve $n=1$ için yapılan analizde ise, şekil (3.88)'de görüldüğü gibi yine yayılı yük konumunun 1,8,16 ve 32. eleman üzerinde olduğu durum incelenmiştir. Bu analiz için yayılı yük konum değişimi, frekans parametresi değerlerinde, 2. ve 3. asimetrik modlarda ve 3. ve 4. simetrik modlarda etkili olmaktadır.

Frekans parametrelerindeki bu değişim, simetrik veya asimetrik modlarda belirli bir düzen çerçevesinde gerçekleşmemektedir.

3.3.2 Yayılı Yük Kütle Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri



Şekil 3. 89 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, E_{oran} 3 ve Yayılı Yük Kütle Değişimi için Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.89) incelendiğinde, yayılı yükün kütle değişiminin giriş dinamiği üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Yayılı yük kütlelerinin artışı ile simetrik mod frekans parametrelerinde azalma meydana gelmektedir. Bu azalma kalınlığın artışıyla doğru orantılı olarak artmaktadır.

Yayılı yük kütleleri arttıkça, asimetrik mod frekans parametrelerinin etek açıklığında da artış görülmektedir.

3.4 Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Harmonik Analizi

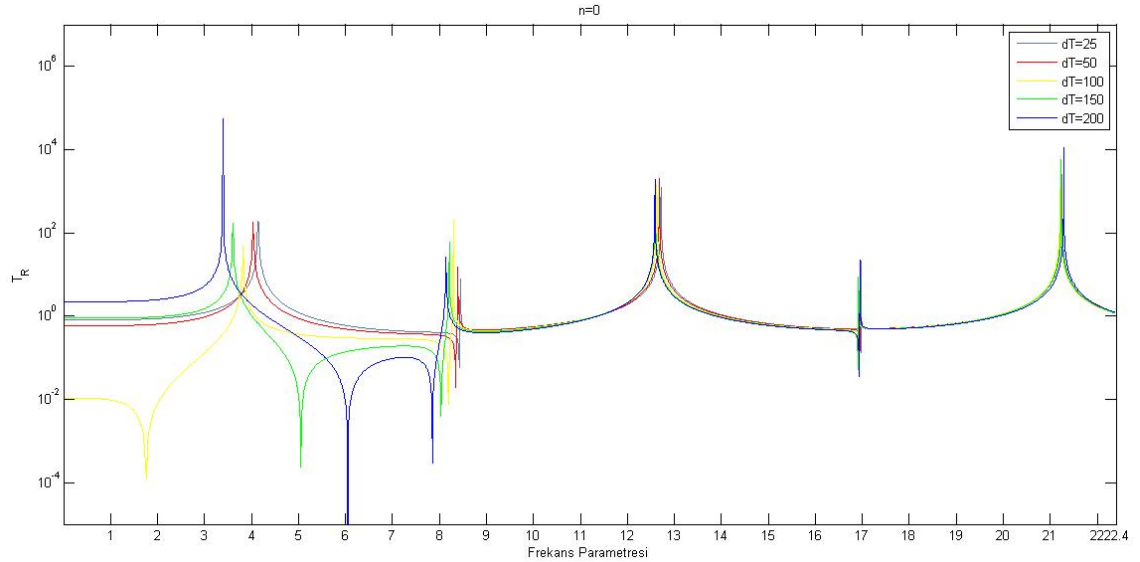
Bu bölümde, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, farklı ortam sıcaklıklarında analizi gerçekleştirilerek dinamik davranışı incelenmiştir. Bu analizde, farklı elastiklik modülü oranlarına sahip iki farklı fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş kullanılmıştır. Bunlardan ilki, Al_2O_3 ve SUS304'ten oluşurken, ikincisi ise ZrO_2 ve Si_3N_4 'ten meydana gelmektedir.

3.4.1 Al₂O₃ ve SUS304'ten Oluşan Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Dinamik Analizi

İlk olarak elastiklik modülleri oranı 1,5588 olan ve Al₂O₃ ve SUS304'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin analizi incelenmiştir.

3.4.1.1 Sabit n Değeri için ΔT Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

Burada, Al₂O₃ ve SUS304'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, kuvvet kanunu üsteli n'in her bir değeri için, beş farklı ortam sıcaklığında gerçekleştirilen analizindeki dinamik davranışı incelenmiştir;



Şekil 3.90 n=0, c=0, k=∞, Al₂O₃-SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.90)'da, n=0 değeri için, $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ için elde edilen grafikte, meydana gelen ilk modlar simetrik iken, $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T=200^{\circ}\text{C}$ için elde edilen grafiklerde meydana gelen ilk modlar ise asimettiktir. Bu davranış, n'in tüm değerleri için geçerliliğini korumaktadır (n=0, 0.1, 0.2, 1, 2, 3, 10).

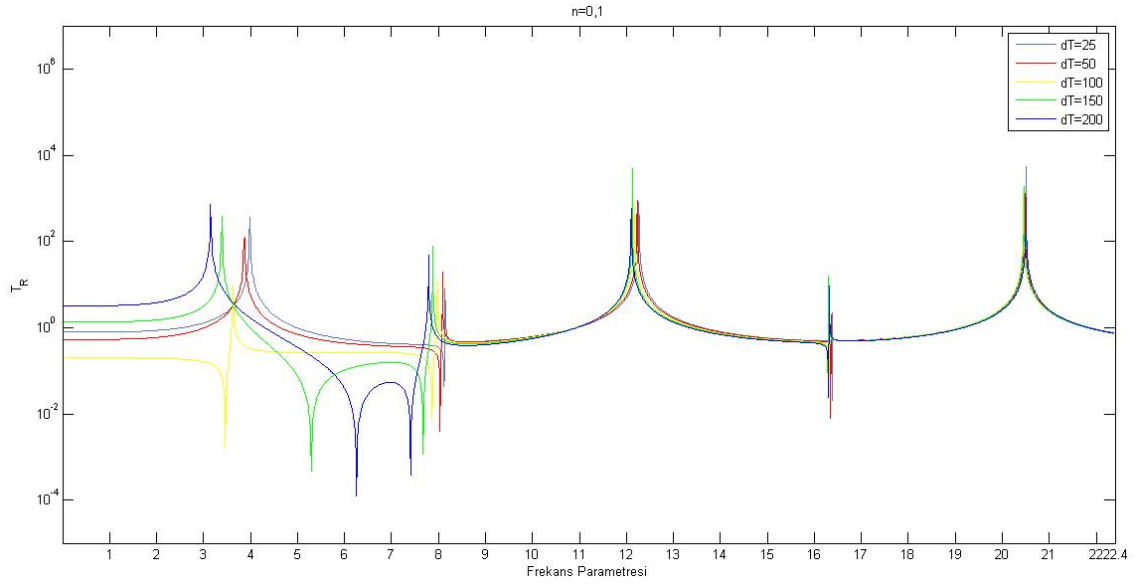
$\Delta T=100^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T=200^{\circ}\text{C}$ için elde edilen grafiklerden, meydana gelen ilk modlar asimettik iken, takip eden ikinci modların da yine asimettik olduğu görülmektedir. $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta meydana gelen ilk asimettik mod, iletim katsayısı eksenine göre, önce azalan daha sonra artan bir davranış sergilemekte ve bu davranış

ikinci asimetrik modda da tekrar etmektedir. Fakat $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T=200^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta meydana gelen ilk asimetrik modlar, iletim katsayısı eksenine göre, önce artan daha sonra azalan bir davranış sergilerken, bu davranış ikinci asimetrik modlarda tam tersi şekilde meydana gelmektedir.

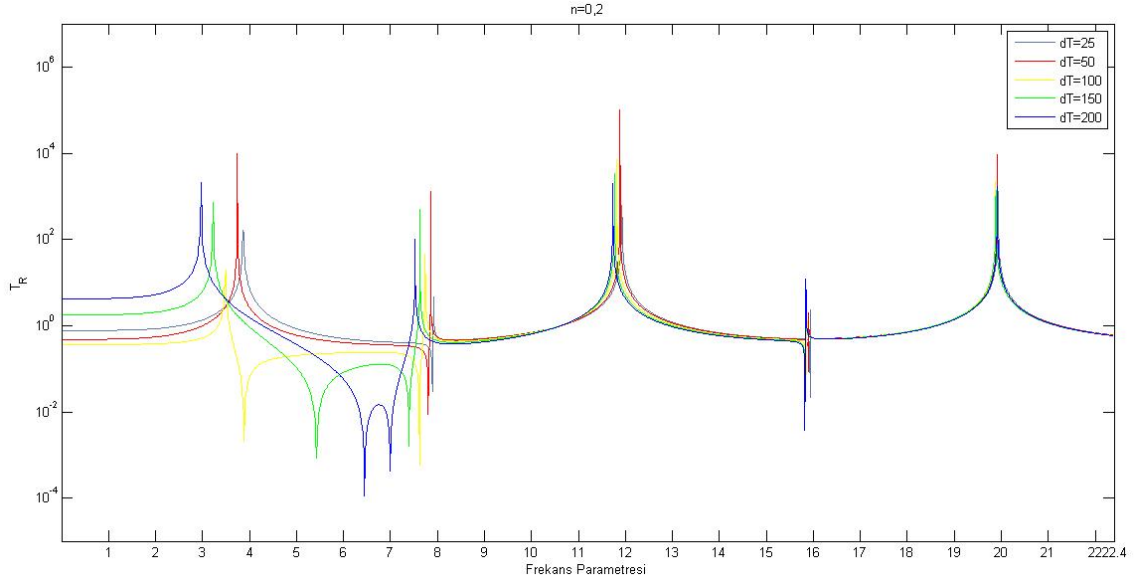
Sıcaklık değişimi, frekans parametresi değişiminde, ilk iki mod üzerinde etkili iken, daha sonraki modlar üzerinde çok fazla bir etkiye sahip değildir.

Frekans parametresi değerleri incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla, frekans parametresi değerleri azalmaktadır.

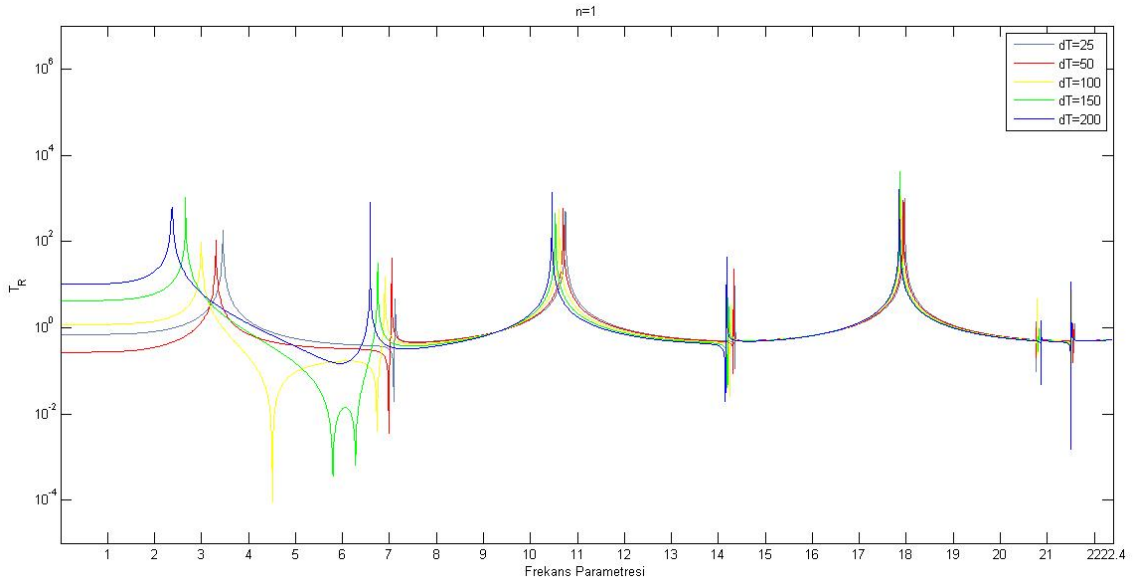
Aşağıda, n'in diğer değerleri olan 0.1, 0.2, 1, 2, 3 ve 10 için elde edilen grafikler verilmektedir.



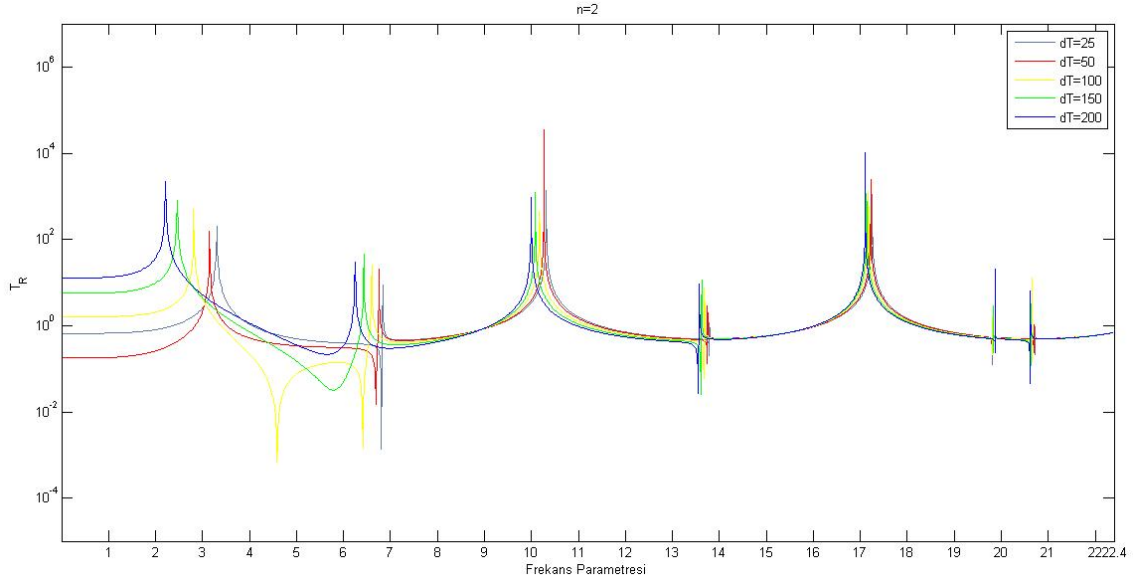
Şekil 3. 91 $n=0.1$, $c=0$, $k=\infty$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SUS304}$ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



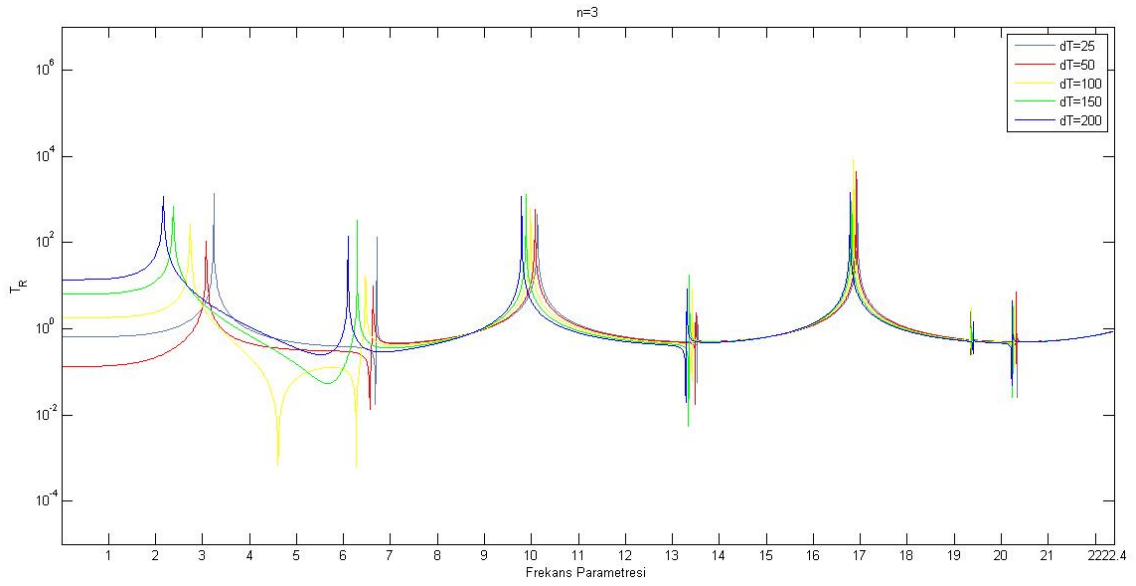
Şekil 3. 92 $n=0.2$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



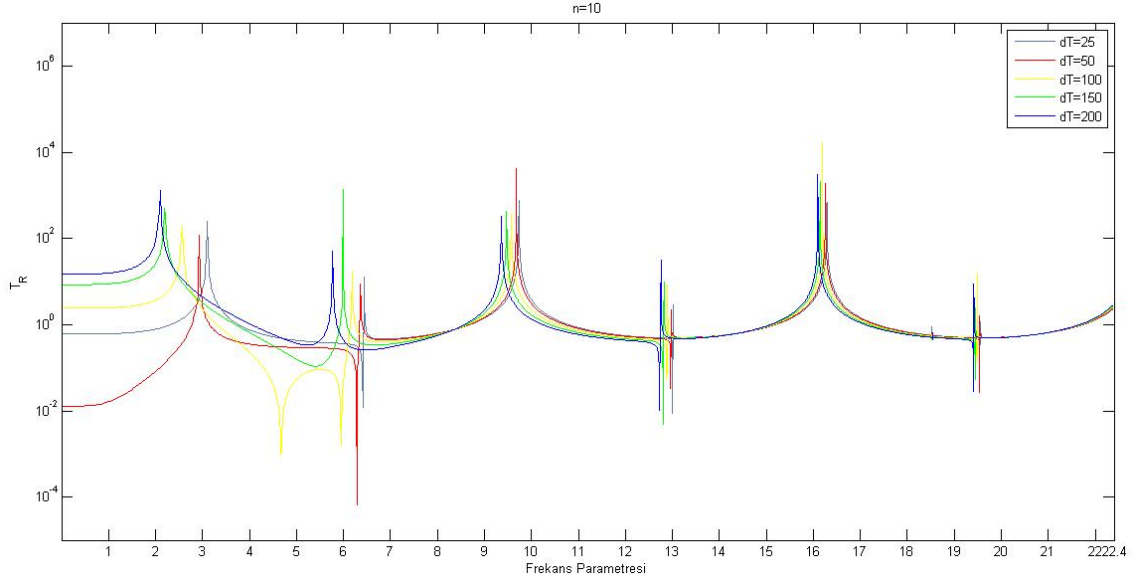
Şekil 3. 93 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 94 $n=2$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 95 $n=3$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



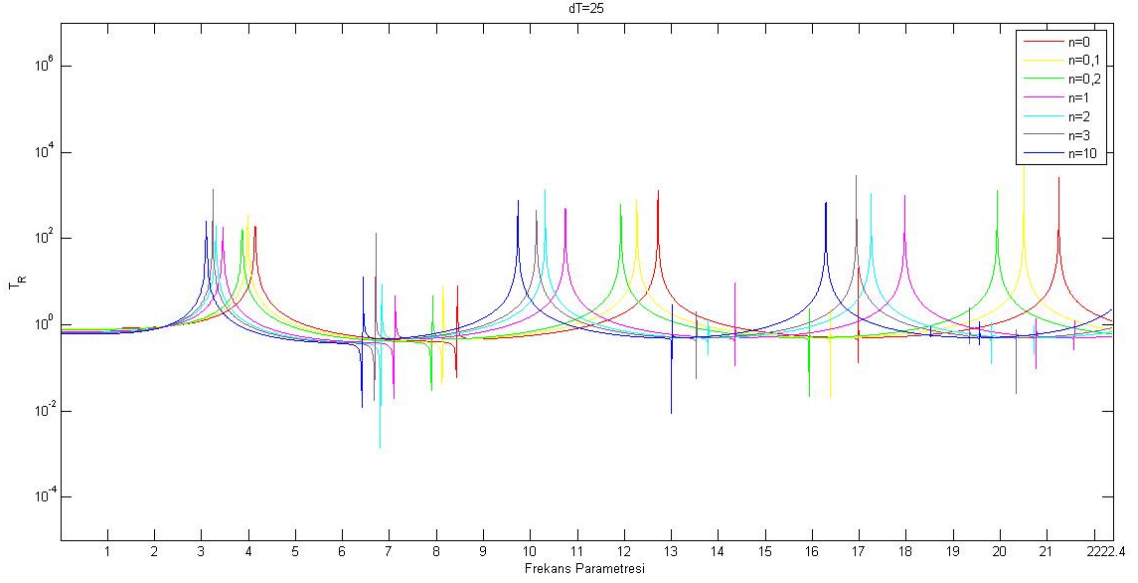
Şekil 3. 96 $n=10$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.91) ve (3.92)'de, $n=0.1$ ve $n=0.2$ değerleri için elde edilen grafikler incelendiğinde, $n=0$ için gözlemlenen davranışlar geçerliliğini korumakta fakat $\Delta T=100^\circ C$, $\Delta T=150^\circ C$ ve $\Delta T=200^\circ C$ sıcaklıklardaki asimetrik modların frekans parametresi değerleri arasındaki farklar azalmaktadır. n 'in artmasıyla, frekans parametresi değerleri arasındaki bu azalış devam ederken, şekil (3.93)'te $n=1$ değerinde, $\Delta T=200^\circ C$ 'ta meydana gelen ilk iki asimetrik mod ve şekil (3.94)'teki $n=2$ değerinde ise, $\Delta T=150^\circ C$ 'ta meydana gelen ilk iki asimetrik mod, yerini iki simetrik moda bırakmaktadır.

Şekil (3.95) ve (3.96) incelendiğinde, $n=3$ ve $n=10$ değerleri için elde edilen sıcaklık değişimlerindeki dinamik davranış ise, $n=2$ değeri için elde edilen dinamik davranışla, frekans parametresi değerlerindeki küçük değişimler dışında bir farklılık göstermemektedir.

3.4.1.2 Sabit ΔT Değeri için n Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

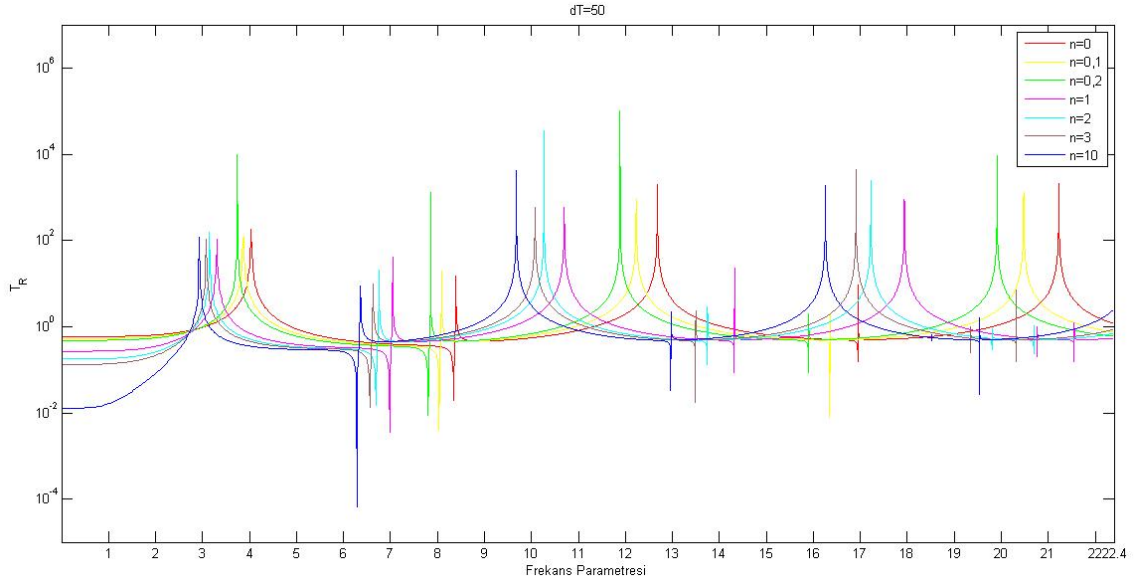
Burada, Al_2O_3 ve SUS304'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirisin, analizin gerçekleştirildiği her bir sıcaklıkta, n 'in değişimiyle gerçekleşen dinamik davranışı incelenmiştir.



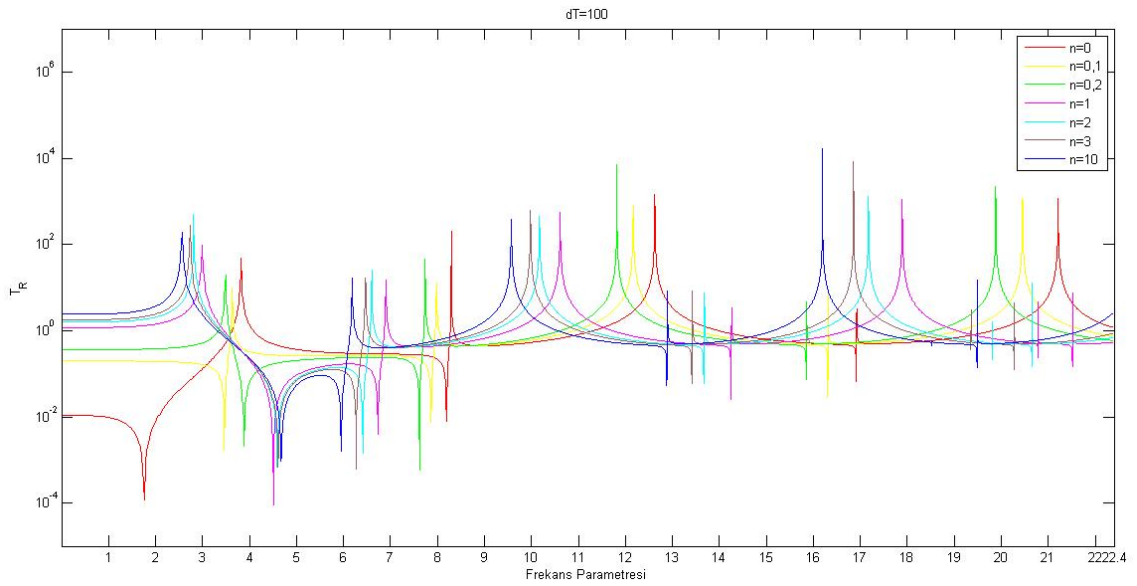
Şekil 3. 97 $\Delta T=25$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.97)'de, $\Delta T=25^\circ C$ iken elde edilen grafikte, n'in artışı ile her mod için frekans parametresi değerlerinde azalma meydana geldiği gözlenmektedir ve n'in artışı ile frekans parametrelerinde meydana gelen bu azalış, analizi yapılan diğer ortam sıcaklıklarında da geçerliliğini korumaktadır. Aşağıda, diğer ΔT değerlerinde yapılan analizlerin grafikleri verilmiştir.

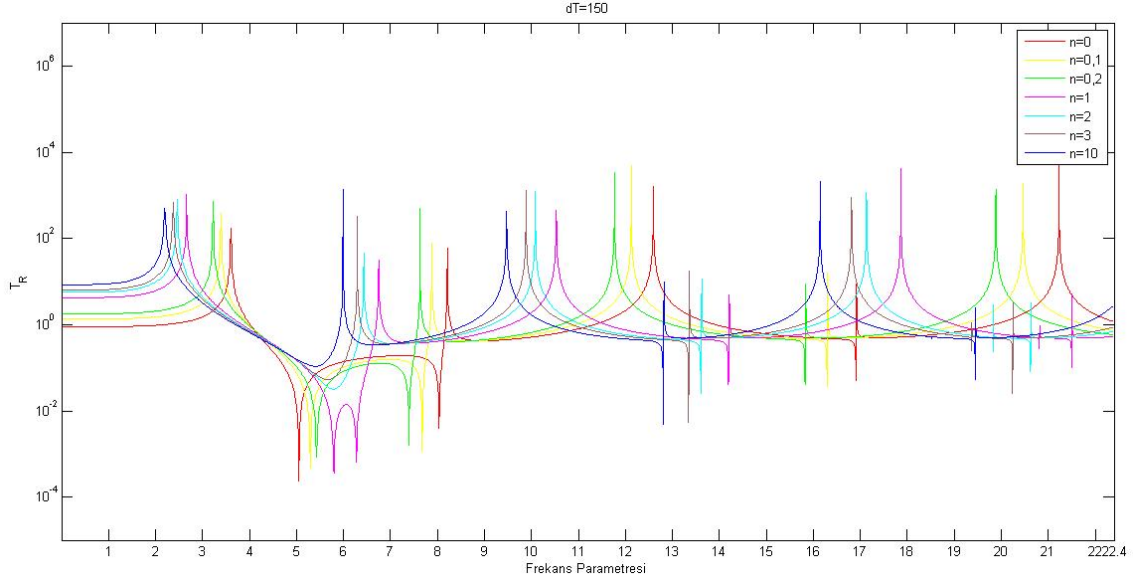
n=0, n=0.1 ve n=0.2 değerlerinde elde edilen frekans parametresi değerleri her modda birbirlerine yaklaşık değerlerdedir. Buna karşılık olarak aynı durum, n=1, n=2, n=3 ve n=10 değerlerinde elde edilen frekans parametresi değerlerinde de meydana gelmektedir.



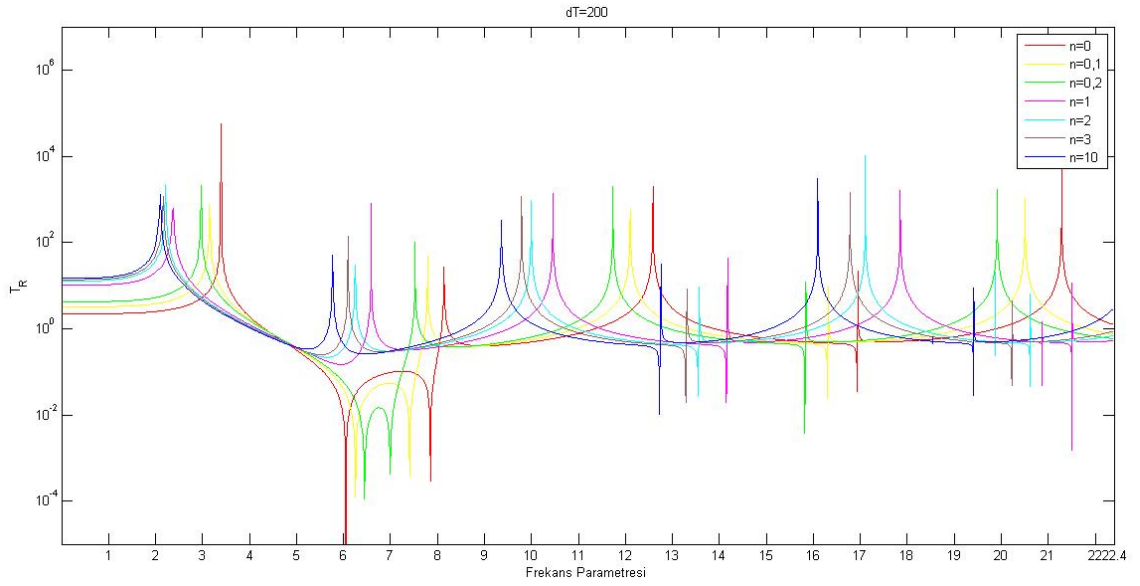
Şekil 3. 98 $\Delta T=50$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 99 $\Delta T=100$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 100 $\Delta T=150$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 101 $\Delta T=200$, $c=0$, $k=\infty$, Al_2O_3 -SUS304 için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

n 'in artması ile her mod için frekans parametresi değerlerindeki azalma, yukarıdaki grafikler incelendiğinde, ortam sıcaklığının artışı ile de devam etmektedir.

$\Delta T=50^\circ C$ iken, şekil (3.98)'de görüldüğü gibi, meydana gelen dinamik davranış, $\Delta T=25^\circ C$ 'taki dinamik davranış ile her mod için frekans parametresi değerlerindeki azalışın dışında bir değişiklik göstermemektedir.

Şekil (3.99)'da, $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ olduğunda, $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ ve $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda meydana gelen ilk simetrik mod, yerini asimetrik moda bırakmaktadır. Elde edilen bu asimetrik modun karakteristiği, $n=0$ ve $n=0.1$ değerlerinde, iletim katsayısı eksenine göre önce azalan ve daha sonra artan bir davranış sergilerken, n 'in diğer değerlerinde ise, iletim katsayısı eksenine göre önce artan ve daha sonra azalan bir davranış sergilemektedir.

$\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ çıkarıldığında elde edilen şekil (3.100)'de, asimetrik modlar $n=0$, $n=0.1$, $n=0.2$ ve $n=1$ değerlerinde meydana gelmekte ve meydana gelen bu asimetrik modların tümü, iletim katsayısı eksenine göre önce artan ve daha sonra azalan bir davranış sergilemektedir. $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ iken, $n=2$, $n=3$, ve $n=10$ değerlerinde de elde edilen asimetrik modlar, $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ 'a çıkarıldığında simetrik modlara dönüşmektedirler.

$\Delta T=200^{\circ}\text{C}$ 'a çıkarıldığında elde edilen şekil (3.101)'de ise, $n=1$ değeri için meydana gelen asimetrik mod, yerini simetrik moda bırakmaktadır.

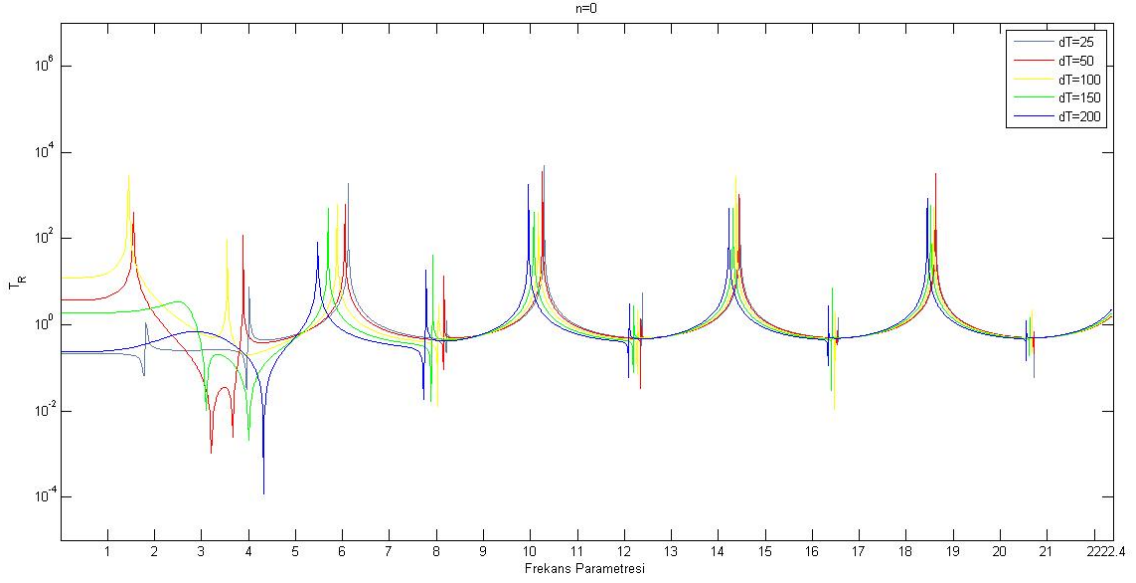
Sıcaklığın artışı ile 1. ve 2. asimetrik mod frekans parametresi değerleri arasındaki farklar azalma göstermektedir.

3.4.2 SUS304 ve Si_3N_4 'ten Oluşan Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişin Dinamik Analizi

Son olarak ise elastiklik modülleri oranı 0.5340 olan SUS304 ve Si_3N_4 'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik analizi incelenmiştir.

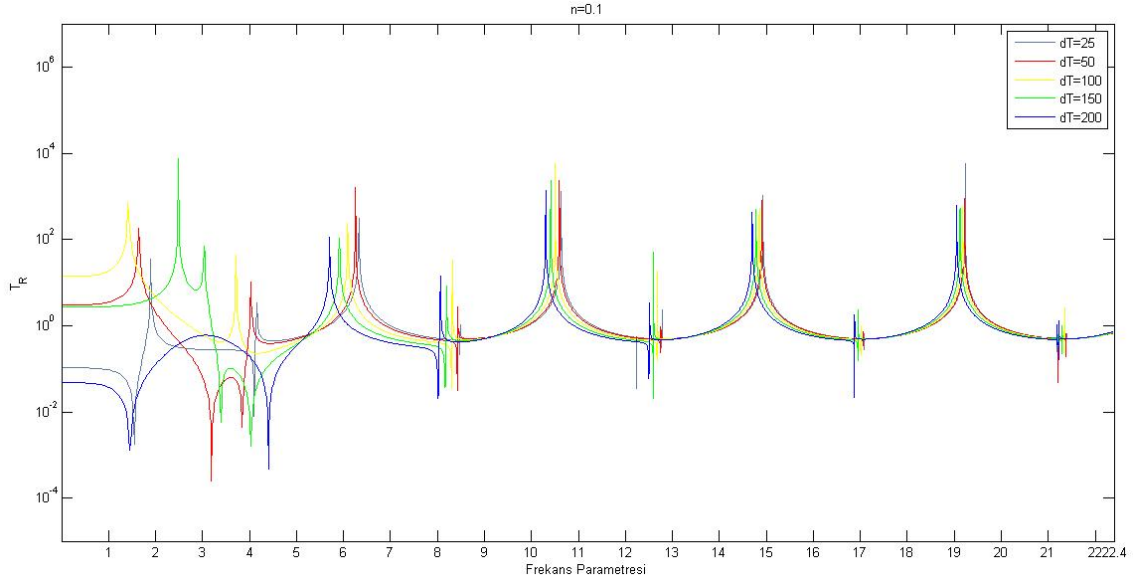
3.4.2.1 Sabit n Değeri için ΔT Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

Burada, SUS304 ve Si_3N_4 'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, n 'in her bir değeri için, beş farklı ortam sıcaklığında gerçekleştirilen analizindeki dinamik davranışı incelenmiştir;

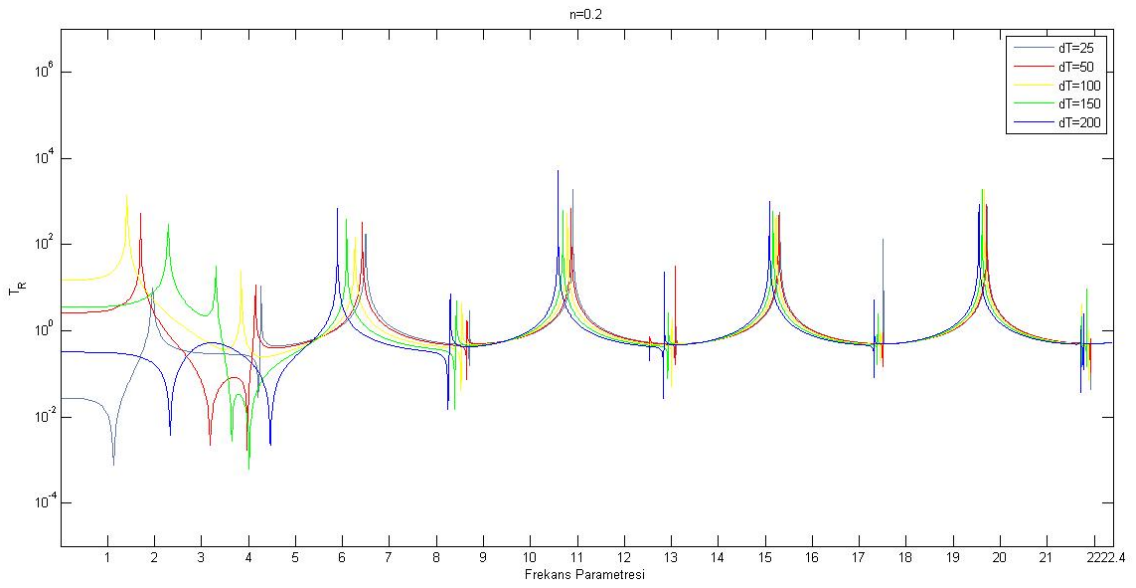


Şekil 3. 102 $n=0$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

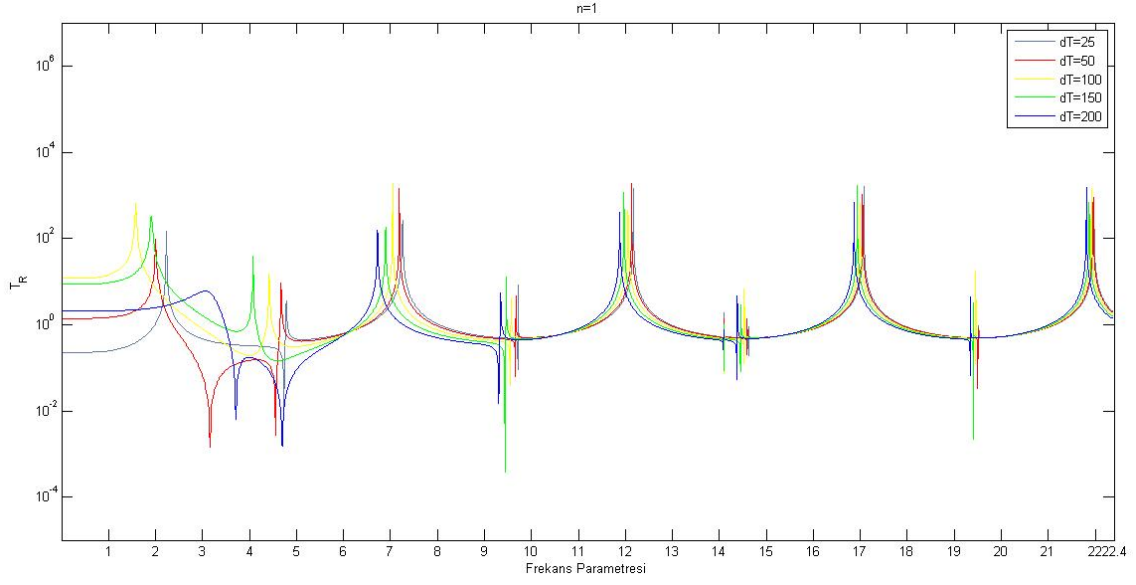
Elastiklik modülleri oranı 0.5340 olan ve SUS304 ve Si₃N₄'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, farklı ortam sıcaklıklarındaki dinamik davranışının, elastiklik modülleri oranı 1,5588 olan ve Al₂O₃ ve SUS304'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin farklı ortam sıcaklıklarındaki dinamik davranışının belli bir düzen içerisinde seyretmesine karşılık, sıcaklığın düzenli değişimi sonucunda, düşük frekans değerleri arasında meydana gelen simetrik ya da asimetrik modlardaki frekans parametreleri değişiminin, belli bir düzen içerisinde gerçekleşmediği gözlenmektedir.



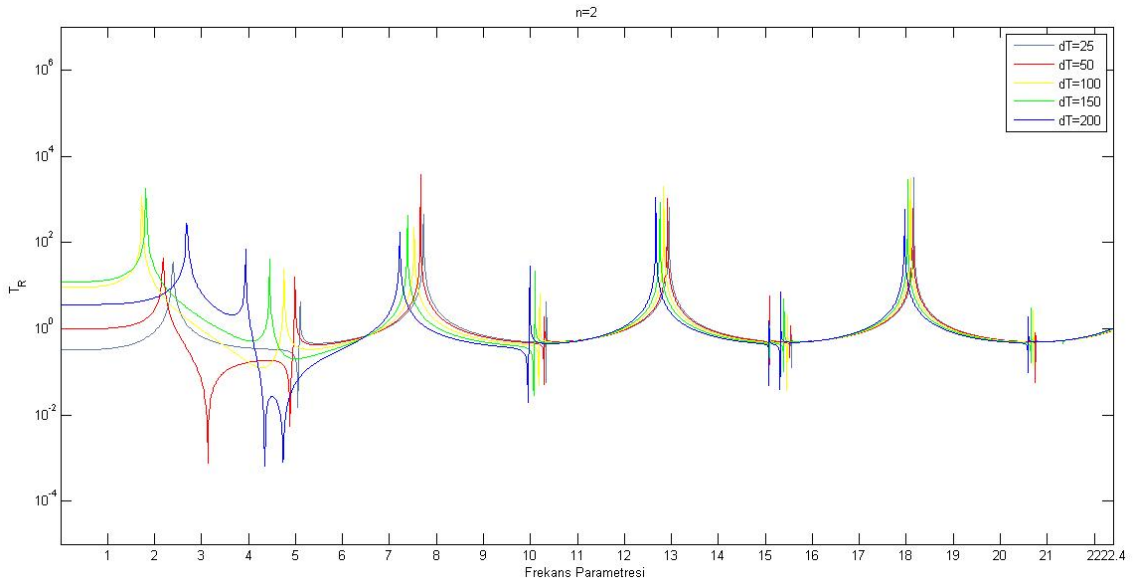
Şekil 3. 103 $n=0.1$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



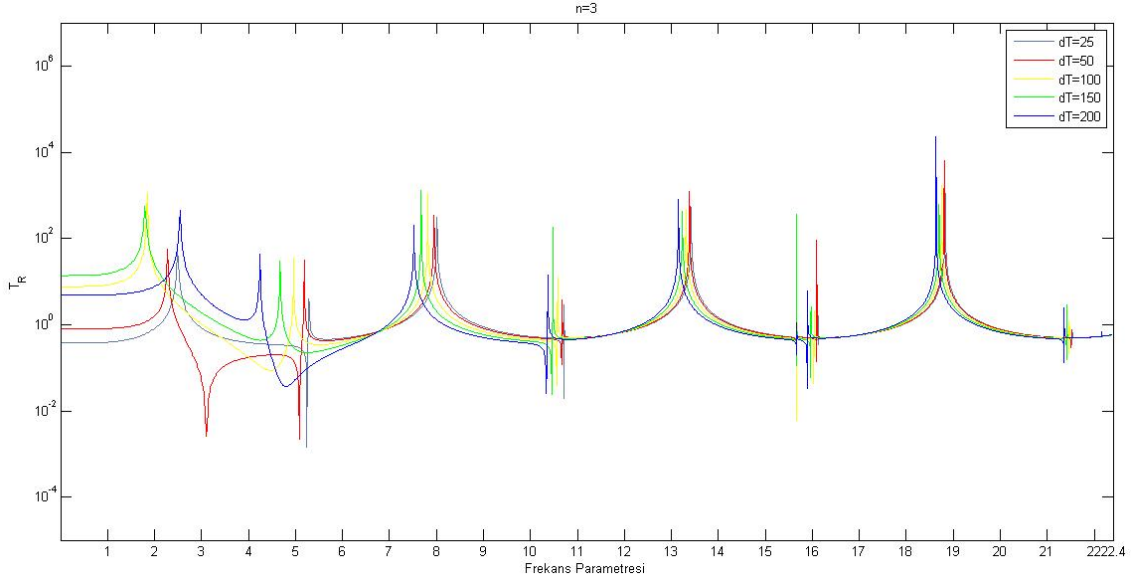
Şekil 3. 104 $n=0.2$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



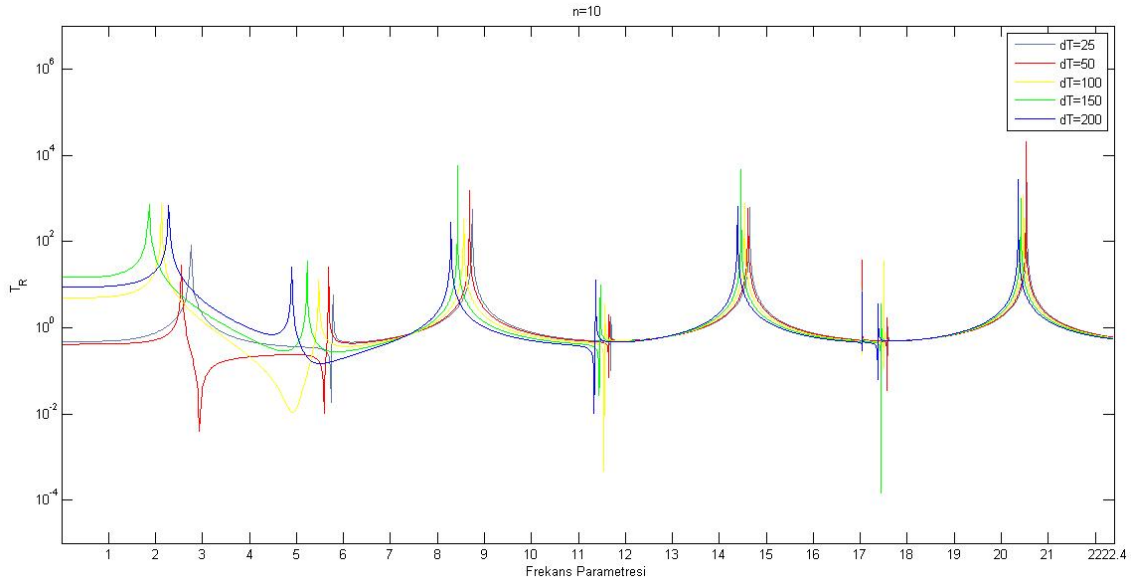
Şekil 3. 105 $n=1$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 106 $n=2$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 107 $n=3$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

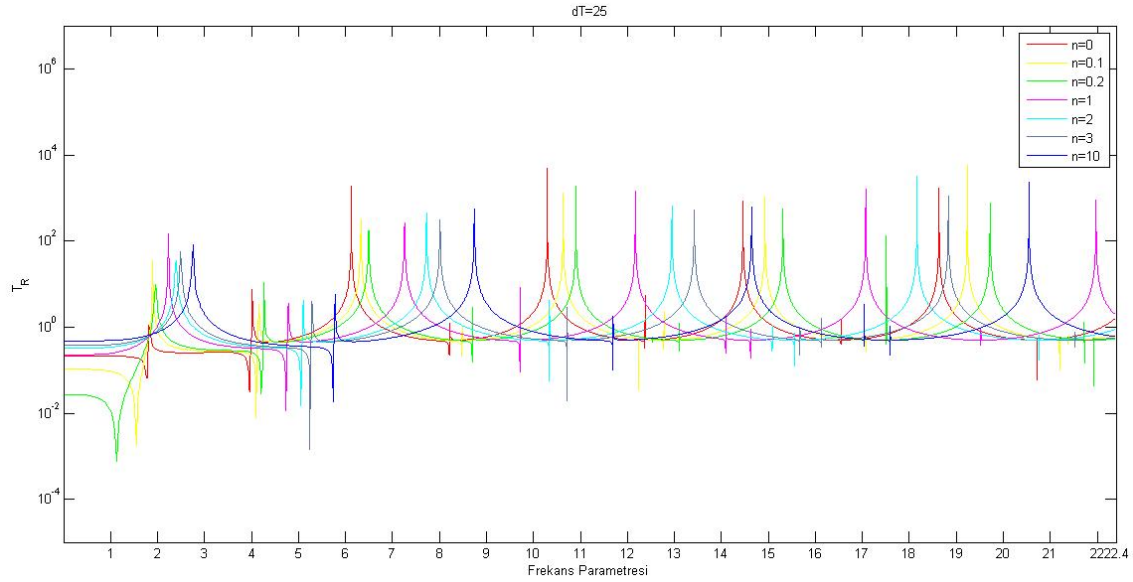


Şekil 3. 108 $n=10$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Düşük frekanslarda düzenli bir dinamik davranış sergilemeyen, SUS304 ve Si₃N₄'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, yüksek frekans değerlerinde ortam sıcaklığının artışıyla ters orantılı bir şekilde, her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerinde azalma görülmektedir.

3.4.2.2 Sabit ΔT Değeri için n Değişimi ile Elde Edilen Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafikleri

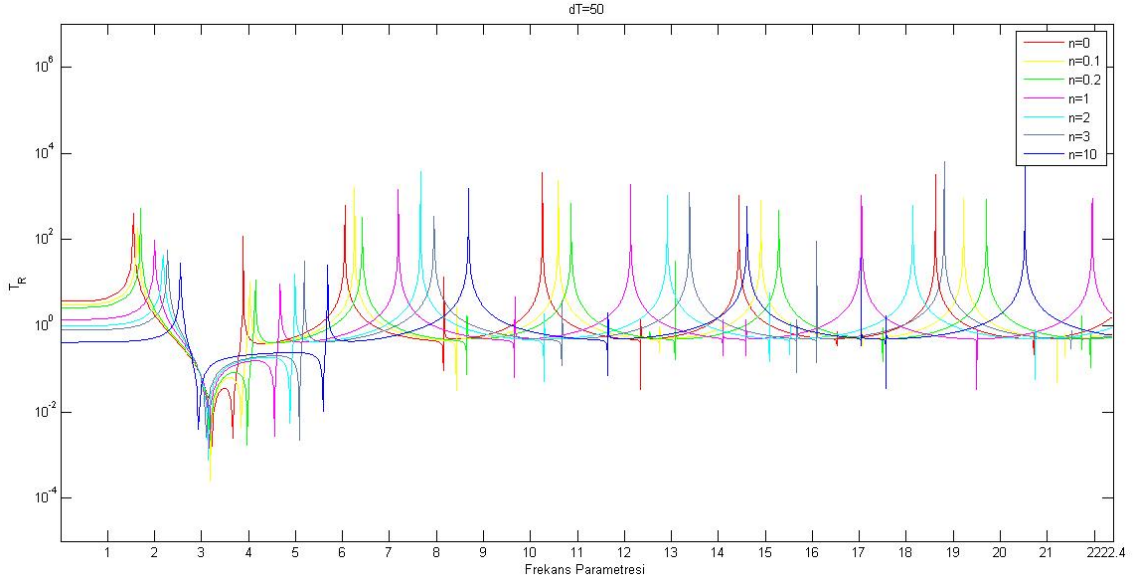
Bu kısımda ise, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişte, sabit ΔT sıcaklığında, n değerlerinin değişimiyle meydana gelen dinamik davranış incelenmiştir.



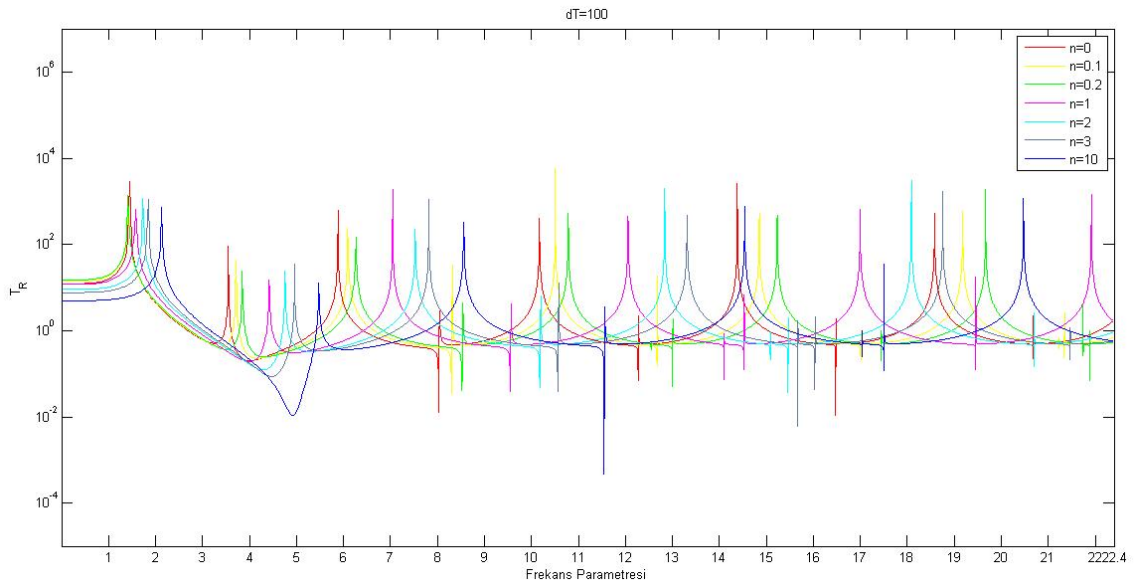
Şekil 3. 109 $\Delta T=25$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

$\Delta T=25^\circ\text{C}$ olduğu durumda, şekil (3.109)'daki grafikten de görüldüğü gibi, frekans değeri 0 ile 3 arasında iken düzenli bir dinamik davranış sergilenmemektedir. Daha sonraki frekans değerlerinde ise n değerlerinin artması sonucu her moda ait frekans parametresi değeri de artış göstermekte ve düzenli bir dinamik davranış yapısı gözlenmektedir.

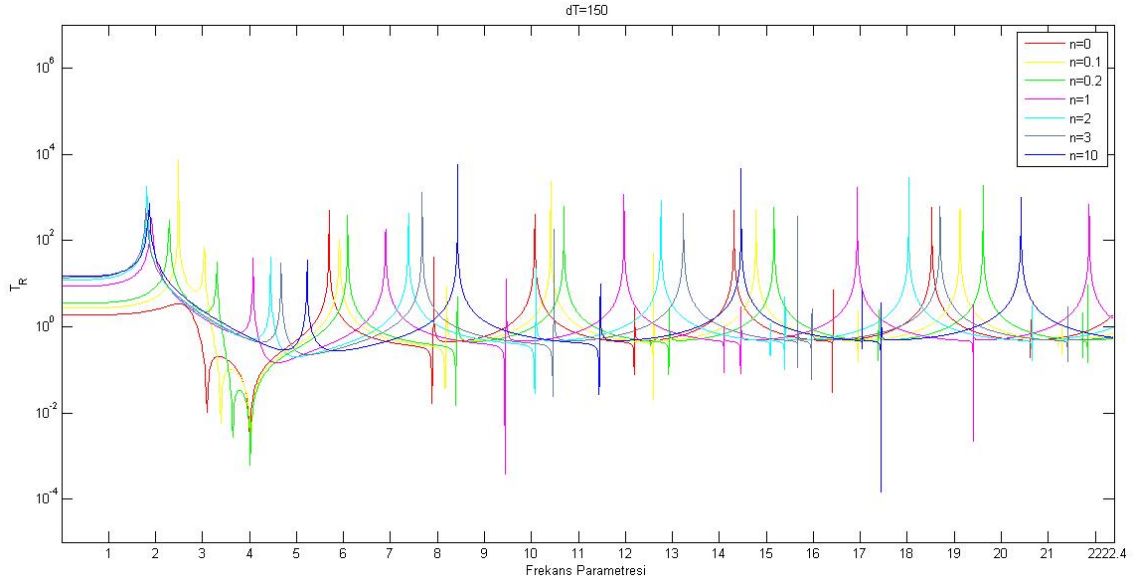
25°C 'luk ΔT sıcaklığında, $n=0$, $n=0.1$ ve $n=0.2$ değerlerinde elde edilen grafiklerde 1. modlar asimetrik iken, $n=1$, $n=2$, $n=3$ ve $n=10$ değerlerinde elde edilen grafiklerde ise 1. modlar simetriktir.



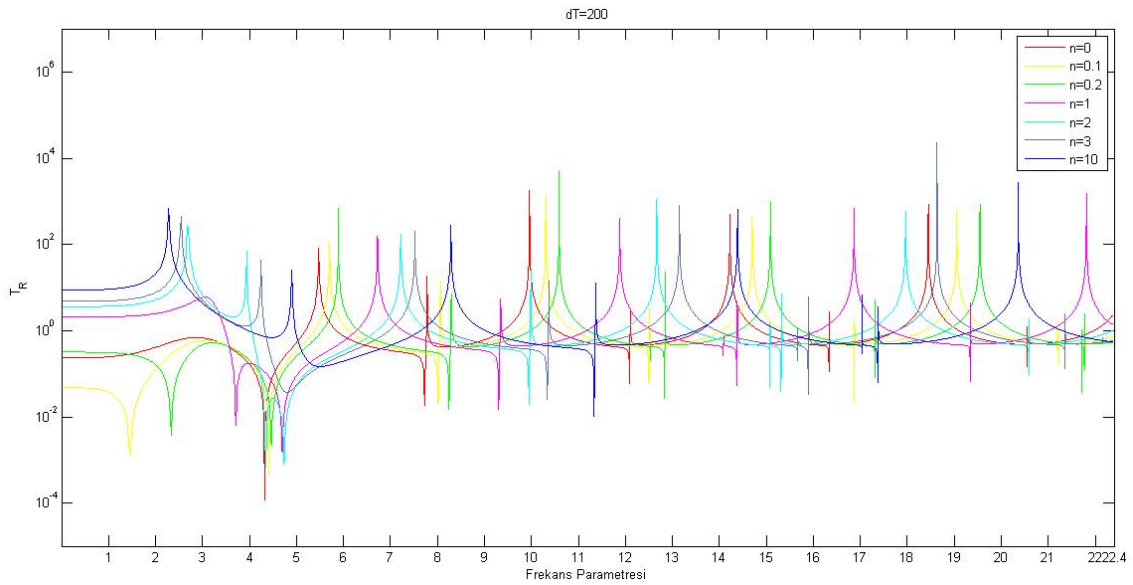
Şekil 3. 110 $\Delta T=50$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 111 $\Delta T=100$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 112 $\Delta T=150$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği



Şekil 3. 113 $\Delta T=200$, $c=0$, $k=\infty$, SUS304-Si₃N₄ için Farklı Kuvvet Kanunu Üsteli Değerlerindeki (n) Frekans Parametresi-İletim Katsayısı Grafiği

Şekil (3.110)'da, $\Delta T=50^\circ\text{C}$ olduğu durumda, $\Delta T=25^\circ\text{C}$ 'ta meydana gelen düzensizlik yerini düzenli bir dinamik davranışa bırakıyor ve n değerlerinin artması ile her moda ait frekans parametresi değerleri de artıyor.

Şekil (3.111)'de, $\Delta T=100^\circ\text{C}$ sıcaklıkta iken, $\Delta T=50^\circ\text{C}$ 'ta meydana gelen 1. asimetrik modlar yerini simetrik modlara bırakmaktadır.

Şekil (3.112) ve (3.113)'de ise, $\Delta T=150$ ve $\Delta T=200^{\circ}\text{C}$ değerlerine ulaştığında, $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ 'ta simetrik modlara dönüşen asimetric modlar, yine meydana gelmektedirler.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yay ve sönüm elemanlarıyla desteklenmiş, uzunluğu L , genişliği b ve yüksekliği h olan, sonlu elemanlar yönteminden (FEM) faydalanılarak 64 eşit parçaya ayrılan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin, (yay katsayısı, sönüm katsayısı, elastiklik modülü oranı ve kuvvet kanunu üsteli değişimine bağlı olarak) farklı yay (k) ve sönüm (c) katsayıları ile kiriş elastiklik modülü oranı (E_{oran}) ve kuvvet kanunu üstelinin (n) değişimine bağlı olarak, dört farklı durum için dinamik davranışı incelenmiştir.

İlk kısımda elde edilen sayısal sonuçlara göre, n 'in artışı, $E_{oran}=0.25$ ve $E_{oran}=0.5$ değerlerini aldığı anda, her mod için frekans parametresi değerinde artış meydana getirirken, $E_{oran}=1$ değerini aldığı anda her moda ait frekans parametrelerinde değişim oluşturmuyor, $E_{oran}=2$, $E_{oran}=3$ ve $E_{oran}=4$ değerlerini aldığı anda ise her moda ait frekans parametreleri değerlerinde azalma meydana getirmiştir. c sönüm katsayısının artışı ise hiçbir parametreye bağlı kalmadan, her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerinde azalışa sebep olmuştur. E_{oran} 'ın artışı, elde edilen frekans parametresi-iletim katsayısı grafiklerinde görüldüğü gibi, her moda ait frekans parametresi değerlerinde artış gerçekleştirmiştir. $E_{oran}=1$ iken, kiriş homojendir ve n 'in değişiminin kiriş dinamik davranışı üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. k sönüm katsayısının artışı ile 1. mod şekli için, sönüm katsayısının $c=0$ ve $c=1$ değerleri için frekans parametresi değerleri artış göstermektedir. Bunun aksine, sönüm katsayısının $c=3$ değeri için, yine 1. mod şeklinde elde edilen frekans parametresi değerinde azalma gözlenmektedir. Sönüm katsayısının $k=1$, $k=3$ ve $k=10$ değerleri için gerçekleştirilen analizlerde, k 'nın değişiminin, diğer parametrelerin değişimi ile elde edilen dinamik davranış üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür.

İkinci kısımda elde edilen nümerik sonuçlara göre, noktasal kütlenin uygulandığı kirişin E_{oran} değerindeki artış, her mod için frekans parametrelerinde artışa neden olmuştur. Noktasal kütle konumu 32. nod, $n=0$, $c=0$ ve $k=\infty$ değerlerinde E_{oran} 'ın altı farklı değeri için alınan frekans parametresi-iletim katsayısı grafiklerinde, çeşitli E_{oran} değerlerindeki farklı modların frekans parametreleri yaklaşık olarak aynı değerlere denk gelmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş üzerine uygulanan noktasal kütle, asimetrik modların meydana gelmesine sebep olmuştur. Noktasal kütlenin kiriş üzerindeki farklı noktalarda konumlandırılması ile alınan frekans parametresi-iletim katsayısı grafikleri incelendiğinde, noktasal kütle konum değişimi belli bir düzen içerisinde gerçekleştirilirken, frekans parametrelerindeki değişim düzensiz bir yapıda gerçekleşmiştir. Son olarak, noktasal kütle büyüklüğünün değişimi ile yapılan analizde, noktasal kütle değeri arttıkça, her mod için frekans parametresi değeri azalma göstermiştir.

Üçüncü kısımda, fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş üzerine uygulanan yayılı yükün, kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yayılı yük konum değişiminin analizi incelendiğinde, iki farklı E_{oran} değeri için gerçekleştirilen analizden, yayılı yük konum değişiminin belli modlara ait frekans parametresi değerleri üzerinde etkili olduğu ancak, bu etkinin belirli bir düzen içerisinde olmadığı gözlenmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş kiriş üzerine uygulanan yayılı yük kalınlığının artışı ile simetrik mod frekans parametrelerinde azalma meydana gelmiştir.

Son kısım olan dördüncü kısımda ise, farklı ortam sıcaklıklarının, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kısımda ilk olarak elastiklik modülleri oranı 1,5588 olan ve Al_2O_3 ve SUS304'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin analizini incelenmiştir. Bu analizde, sıcaklık değişimi, frekans parametresi değişiminde, ilk iki mod üzerinde etkili iken, daha sonraki mod şekilleri üzerinde çok fazla bir etkiye sahip değildir. Frekans parametresi değerleri incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla, frekans parametresi değerleri azalmaktadır. Aynı şekilde, n 'in artışı da her mod için, analizin gerçekleştirildiği her sıcaklıkta frekans parametrelerinde azalışa sebep olmaktadır. Bu kısımda son olarak elastiklik modülleri oranı 0.5340 olan SUS304 ve Si_3N_4 'ten oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin analizini incelenmiştir. Bu analizde ise, ΔT sıcaklığının düzenli bir şekilde artırılmasına

karşılık, düşük frekans parametreleri değişiminde düzenli bir yapının oluşmadığı gözlenmiştir. Yüksek frekans parametrelerinde ise, ΔT sıcaklığının artışına karşılık her mod için elde edilen frekans parametresi değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Sabit sıcaklıkta n 'in değişimi ile gerçekleştirilen analizlerde, frekans parametresi ekseninin 0-3 değerleri aralığında oluşan modlarda, n 'in düzenli bir şekilde artırılmasına karşılık frekans parametresi değişiminde düzensiz bir yapı sergilenmiştir. Daha sonraki frekans değerlerinde ise n 'in artışı ile her moda ait frekans parametresi değerlerinde de artış gerçekleşmiş ve bu artış düzenli bir şekilde oluşmuştur.

KAYNAKLAR

-
- [1] Rasheedat, M.M. ve Esther, T.A.,(2012). "Functionally Graded Material: An Overview", Proceedings of the World Congress on Engineering, 4-6 July 2012, London.
 - [2] Şimşek, M. ve Kocatürk, T., (2009). "Free and Forced Vibration of a Functionally Graded Beam Subjected to a Concentrated Moving Harmonic Load", Science Direct, 90:465-473.
 - [3] Aydoğdu, M. ve Taşkın, V., (2007). "Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams with Simply Supported Edges", Science Direct, 28:1651-1656.
 - [4] Foda, M.A. ve Abduljabbar, Z., (1998). "A Dynamic Green Function Formulation for the Response of a Beam Structure to a Moving Mass", Journal of Sound and Vibration, 210(3):295-306.
 - [5] Li, X.F., (2008). "A Unified Approach for Analyzing Static and Dynamic Behaviors of Functionally Graded Timoshenko and Euler-Bernoulli Beams", Science Direct, 318:1210-1229.
 - [6] Sina, S.A., Navazi, H.M. ve Haddadpour, H., (2009). "An Analytical Method for Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams", Materials and Design, 30:741-747.
 - [7] Zhong, Z. ve Yu, T., (2007). "Analytical Solution of a Cantilever Functionally Graded Beam", Composites Science and Technology, 67:481-488.
 - [8] Sankar, B.V., (2001). "An Elasticity Solution for Functionally Graded Beams", Composites Science and Technology, 61:689-696.
 - [9] 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.
 - [10] Lu, C.F., Chen, W.Q., Xu, R.Q. ve Lim, C.W., (2008). "Semi Analytical Elasticity Solutions for Bi-directional Functionally Graded Beams", International Journal of Solids and Structures, 45:258-275.
 - [11] Li, X.F., (2008). "A Unified Approach for Analyzing Static and Dynamic Behaviors of Functionally Graded Timoshenko and Bernoulli Beams", Journal of Sound and Vibration, 318:1210-1229.
 - [12] 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: Engineering, 39:292-303.

- [13] Ying, J., Lu, C.F. ve Chen, W.Q., (2008). "Two-dimensional Elasticity Solutions for Functionally Graded Beams Resting on Elastic Foundations", *Composite Structures*, 84:209-219.
- [14] Şimşek, M., (2010). "Vibration Analysis of a Functionally Graded Beam Under a Moving Mass by Using Different Beam Theories", *Composite Structures*, 92:904-917.
- [15] Malekzadeh, P., Golbahar, M.R. ve Atashi, M.M., (2010). "Out of Plane Free Vibration of Functionally Graded Circular Curved Beams in Thermal Environment", *Composite Structures*, 92:541-552.
- [16] Şimşek, M., (2010). "Fundamental Frequency Analysis of Functionally Graded Beams by Using Different Higher-order Beam Theories", *Nuclear Engineering and Design*, 240:697-705.
- [17] Şimşek, M., (2010). "Vibration Analysis of a Functionally Graded Beam Under a Moving Mass by Using Different Beam Theories", *Composite Structures*, 92:904-917.
- [18] Alshorbagy, A.E., Eltahir, M.A.ve Mahmoud, F.F., (2011). "Free Vibration Characteristics of a Functionally Graded Beam by Finite Element Method", *Applied Mathematical Modelling*, 35:412-425.
- [19] Wattanasakulpong, N., Gangadhara, B. ve Kelly, D.W., (2011). "Thermal Buckling and Elastic Vibration of Third-order Shear Deformable Functionally Graded Beams", *International Journal of Mechanical Sciences*, 53:734-743.
- [20] Mahi, A., Adda Bedia, E.A., Tounsi, A. ve Mechab, I., (2010). "An Analytical Method for Temperature –Dependent Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams with General Boundary Conditions", *Composite Structures*, 92:1877-1887.
- [21] Alshorbagy, A.E., (2012). "Temperature Effects on the Vibration Characteristics of a Functionally Graded Thick Beam", *Ain Shams Engineering Journal*.
- [22] Rao, S.S., (2004). *Mechanical Vibrations*, Fifth Edition, Pearson,
- [23] Demir, C., (2004). "The Vibration Analysis of a Six Wheeled Vehicle", *Sigma*,
- [24] Arkan, M.A., Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, <http://www.arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf>
- [25] Mecitoğlu, Z., (2008), *Finite Element Analysis in Structures*, http://web.itu.edu.tr/~mecit/uum508e/My_Lecture_Notes/fea_chapter1.pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Sinan UYGUR
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.07.1983 / Kilis
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mehmetsinanuygur@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|--------------------------|----------------|
| Lisans | Makine Mühendisliği | Erciyes Üniversitesi | 2010 |
| Lise | Sayısal | Gaziantep Anadolu Lisesi | 2002 |