

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIŞKAN TAŞIYAN ÇOK MESNETLİ KİRİŞİN
NONLINEER TİTREŞİMLERİ

DOKTORA TEZİ

Ahmet KESİMLİ

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Bilim Dalı : Makine Teorisi ve Dinamiği

MANİSA 2014

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKIŞKAN TAŞIYAN ÇOK MESNETLİ KİRİŞİN
NONLİNEER TİTREŞİMLERİ**

DOKTORA TEZİ

Ahmet KESİMLİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 07 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 09 2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erdoğan ÖZKAYA

: Prof. Dr. Hakan BOYACI

: Yrd. Doç. Dr. Saim KURAL

: Yrd. Doç. Dr. Ferid KÖSTEKÇİ

MANİSA 2014

İÇİNDEKİLER

içindekiler	i
Sembol listesi	ii
Şekil listesi.....	iv
Kısaltmalar listesi	xvi
Teşekkür.....	xvii
özet.....	xviii
abstract.....	xix
1. giriş.....	1
2. Hareket Denklemleri	5
2.1. Hamilton Prensibiyle Hareket Denklemlerinin Çıkarılması.....	5
2.2. Boyutsuzlaştırma.....	8
3. Perturbasyon analizi	12
3.1. Lineer problem	14
3.2. Nonlinear problem	26
3.2.1. Temel parametrik rezonans.....	28
3.2.2. Ω 'nın '0' dan ve '2 ω ' dan uzak olduğu durum.....	113
3.2.3. Ω 'nın 0'a yakın olduğu durum	148
4. Sonuçlar ve öneriler	149
Kaynaklar	153
EKLER.....	157
özgeçmiş	158

SEMBOL LİSTESİ

$A_{kiriş}$	: kirişin kesit alanı
A_{ak}	: Akışkanın kesit alanı
m_{ak}	: Akışkanın kütlesi
m_k	: kiriş kütlesi
$E_{kiriş}$	: kiriş elastisite modülü
$I_{kiriş}$	: kiriş kütle ataleti
L	: kiriş uzunluğu
M	: orta bölümdeki konsantre kütle
λ	: Kararlılığı belirleyen özdeğerler
$\mathcal{L}$	: Lagrangian
Ω	: Akışkan hızı değişim frekansı
T	: Kinetik enerji
V	: Elastik potansiyel enerji
D_0, D_1	: Hızlı ve yavaş zaman ölçeklerine göre türevler
T_0, T_1	: Hızlı ve yavaş zaman ölçekleri
Y	: Yer değiştiriminin mekana ait fonksiyonları
ξ	: Yer değiştirme fonksiyonunun seküler terimleri ile ilgili kısmı
W	: Yer değiştirme fonksiyonunun seküler olmayan terimleri ile ilgili kısmı
$\frac{d}{dt}$	: Zamana göre türev
$\frac{d}{dx}$	: Mekana göre türev
dx^*	: kirişten alınan uzamamış parça
ds^*	: kirişten alınan uzamış parça
δ	: Varyasyon
ϵ	: Sekil değiştirme
ε	: Küçük perturbasyon parametresi
$\rho_{kiriş}$	: kirişin yoğunluğu
ρ_{ak}	: Akışkanın yoğunluğu
σ	: Ayar parametresi
t^*	: Boyutlu zaman değişkeni
u^*	: Boyutlu boyuna yer değiştirme
v^*	: Boyutlu akışkan hızı
w^*	: Boyutlu enine yer değiştirme
x^*, z^*	: Boyutlu Kartezyen koordinatlar
a	: Genlik
b	: mesnetin başlangıç noktasına olan boyutlu uzaklığı
k_0, k_1, k_2, k_3, S_1	: Kirişte çözülebilirlik şartındaki katsayılar
v_0	: Ortalama akışkan hızı
v_1	: Akışkan hızının değişim genliği
v_f	: Kirişlik katsayısı (enine direngenliği)
β	: kiriş doluluk oranı

k_c	: Lineer yay sabiti
k_t	: Dönme yayı sabiti
μ	: Sönüm oranı
ω_{nl}	: kiriş için nonlineer frekans
F	: kiriş eksenel iç gerilme kuvveti
γ	: Faz
K_c	: lineer yay katsayısı
K_t	: dönme yayı katsayısı
α_M	: konsantre kütle katsayısı
η	: mesnestin başlangıç noktasından olan uzaklığı
v_b	: boyuna direngenlik

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Akışkan taşıyan çok mesnetli kiriş.	5
Şekil 2.2 Kirişten alınan dx parçası üzerinde yer değiştirmelerin görünüşü	6
Şekil 3.1 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	18
Şekil 3.2 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	18
Şekil 3.3 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	19
Şekil 3.4 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	19
Şekil 3.5 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	20
Şekil 3.6 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	20
Şekil 3.7 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	21
Şekil 3.8 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	21
Şekil 3.9 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	22
Şekil 3.10 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	22
Şekil 3.11 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	23
Şekil 3.12 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	23
Şekil 3.13 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	24
Şekil 3.14 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	24
Şekil 3.15 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	25
Şekil 3.16 $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.	25
Şekil 3.17 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	42

Şekil 3.18 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	43
Şekil 3.19 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	43
Şekil 3.20 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	44
Şekil 3.21 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	44
Şekil 3.22 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	45
Şekil 3.23 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	45
Şekil 3.24 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	46
Şekil 3.25 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. Mod)	46
Şekil 3.26 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	47
Şekil 3.27 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	47
Şekil 3.28 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	48
Şekil 3.29 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	48
Şekil 3.30 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	49
Şekil 3.31 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	49
Şekil 3.32 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	50
Şekil 3.33 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	50
Şekil 3.34 $\eta=0.5 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	51
Şekil 3.35 $\eta=0.5 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	51

Şekil 3.36 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	52
Şekil 3.37 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	52
Şekil 3.38 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	53
Şekil 3.39 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	53
Şekil 3.40 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	54
Şekil 3.41 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	54
Şekil 3.42 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	55
Şekil 3.43 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	55
Şekil 3.44 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	56
Şekil 3.45 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	56
Şekil 3.46 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	57
Şekil 3.47 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	57
Şekil 3.48 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	58
Şekil 3.49 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	58
Şekil 3.50 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	59
Şekil 3.51 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	59
Şekil 3.52 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	60
Şekil 3.53 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	60

Şekil 3.54 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	61
Şekil 3.55 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	61
Şekil 3.56 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	62
Şekil 3.57 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	62
Şekil 3.58 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	63
Şekil 3.59 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	63
Şekil 3.60 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	64
Şekil 3.61 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.	64
Şekil 3.62 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod)	65
Şekil 3.63 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	65
Şekil 3.64 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	66
Şekil 3.65 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	66
Şekil 3.66 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	67
Şekil 3.67 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	67
Şekil 3.68 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	68
Şekil 3.69 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	68
Şekil 3.70 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	69
Şekil 3.71 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	69

Şekil 3.72 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	70
Şekil 3.73 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	70
Şekil 3.74 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	71
Şekil 3.75 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	71
Şekil 3.76 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	72
Şekil 3.77 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	72
Şekil 3.78 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	73
Şekil 3.79 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	73
Şekil 3.80 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	74
Şekil 3.81 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	74
Şekil 3.82 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	75
Şekil 3.83 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	75
Şekil 3.84 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	76
Şekil 3.85 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	76
Şekil 3.86 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	77
Şekil 3.87 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	77
Şekil 3.88 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	78
Şekil 3.89 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	78

Şekil 3.90 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	79
Şekil 3.91 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	79
Şekil 3.92 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	80
Şekil 3.93 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	80
Şekil 3.94 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	81
Şekil 3.95 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	81
Şekil 3.96 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	82
Şekil 3.97 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	82
Şekil 3.98 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	83
Şekil 3.99 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	83
Şekil 3.100 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	84
Şekil 3.101 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	84
Şekil 3.102 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	85
Şekil 3.103 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	85
Şekil 3.104 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	86
Şekil 3.105 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	86
Şekil 3.106 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	87
Şekil 3.107 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	87

Şekil 3.108 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	88
Şekil 3.109 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	88
Şekil 3.110 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	89
Şekil 3.111 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	89
Şekil 3.112 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	90
Şekil 3.113 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	90
Şekil 3.114 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	91
Şekil 3.115 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	91
Şekil 3.116 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	92
Şekil 3.117 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	92
Şekil 3.118 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	93
Şekil 3.119 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	93
Şekil 3.120 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	94
Şekil 3.121 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	94
Şekil 3.122 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	95
Şekil 3.123 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	95
Şekil 3.124 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	96
Şekil 3.125 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	96

Şekil 3.126 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	97
Şekil 3.127 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	97
Şekil 3.128 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	98
Şekil 3.129 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	98
Şekil 3.130 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	99
Şekil 3.131 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	99
Şekil 3.132 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	100
Şekil 3.133 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	100
Şekil 3.134 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	101
Şekil 3.135 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	101
Şekil 3.136 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	102
Şekil 3.137 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	102
Şekil 3.138 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	103
Şekil 3.139 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	103
Şekil 3.140 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	104
Şekil 3.141 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	104
Şekil 3.142 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	105
Şekil 3.143 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	105

Şekil 3.144 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	106
Şekil 3.145 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	106
Şekil 3.146 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	107
Şekil 3.147 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	107
Şekil 3.148 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	108
Şekil 3.149 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	108
Şekil 3.150 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	109
Şekil 3.151 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	109
Şekil 3.152 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).	110
Şekil 3.153 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)	110
Şekil 3.154 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).	111
Şekil 3.155 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)	111
Şekil 3.156 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).	112
Şekil 3.157 $v_f=0.50 - \beta=0.50 - \alpha_m=5 - K_t=5 - K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)	112
Şekil 3.158 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).	119
Şekil 3.159 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).	119
Şekil 3.160 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).	120
Şekil 3.161 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).	120

Şekil 3.162 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	121
Şekil 3.163 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	121
Şekil 3.164 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	122
Şekil 3.165 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	122
Şekil 3.166 $\eta=0.5 - v_f=0.50 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	123
Şekil 3.167 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	123
Şekil 3.168 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans-Genlik etkileri (2. mod).....	124
Şekil 3.169 $\eta=0.1 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	124
Şekil 3.170 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	125
Şekil 3.171 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	125
Şekil 3.172 $\eta=0.3 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	126
Şekil 3.173 $\eta=0.5 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	126
Şekil 3.174 $\eta=0.5 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	127
Şekil 3.175 $\eta=0.5 - \beta=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	127
Şekil 3.176 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	128
Şekil 3.177 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	128
Şekil 3.178 $\eta=0.1 - v_f=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	129
Şekil 3.179 $\eta=0.3 - v_f=0.50 - K_t=5 - K_c=5 - \alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	129

Şekil 3.180 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	130
Şekil 3.181 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	130
Şekil 3.182 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	131
Şekil 3.183 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	131
Şekil 3.184 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	132
Şekil 3.185 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	132
Şekil 3.186 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. Mod).....	133
Şekil 3.187 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	133
Şekil 3.188 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	134
Şekil 3.189 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	134
Şekil 3.190 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	135
Şekil 3.191 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	135
Şekil 3.192 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	136
Şekil 3.193 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	136
Şekil 3.194 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	137
Şekil 3.195 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	137
Şekil 3.196 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	138
Şekil 3.197 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	138

Şekil 3.198 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	139
Şekil 3.199 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	139
Şekil 3.200 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	140
Şekil 3.201 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	140
Şekil 3.202 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	141
Şekil 3.203 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	141
Şekil 3.204 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	142
Şekil 3.205 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	142
Şekil 3.206 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	143
Şekil 3.207 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	143
Şekil 3.208 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	144
Şekil 3.209 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	144
Şekil 3.210 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	145
Şekil 3.211 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	145
Şekil 3.212 $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).....	146
Şekil 3.213 $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).....	146
Şekil 3.214 $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).....	147

KISALTMALAR LİSTESİ

k.e.	: kompleks eşlenik
S.O.T.	: seküler olmayan terimler

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlamasında başından sonuna çok önemli emeği ve desteği olan, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen, büyük bir sabırla bana yol gösteren, tez danışmanım olmasından öte bana bir ağabey gibi yaklaşan Yrd. Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Kendileriyle tanışmaktan büyük onur duyduğum, desteklerini hissettiğim, tecrübe ve bilgilerini paylaşmaktan hiçbir zaman kaçınmayan hocalarım Prof. Dr. Erdoğan ÖZKAYA, Prof. Dr. Mehmet PAKDEMİRLİ ve Prof. Dr. Halil Rıdvan ÖZ hocama,

Çalıştığım ortamda bana büyük bir rahatlık ve destek sağlayan Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi dekanı sayın Prof. Dr. Halil AYKUL'a, akademisyenliğe başlamamda bana fikir veren ve destek olan Yrd. Doç. Dr. M. Ali ÇİPİLOĞLU'na,

Tezimin hazırlanmasında çok büyük yardımları olan, motivasyonumun düştüğü anlarda bana destek veren değerli dostlarım Yrd. Doç. Dr. Ali YURDDAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Saim KURAL'a,

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili anneme, babama ve ablalarım,

Doktora gibi zor bir süreçte desteğini her zaman hissettiğim biricik eşim Esra ve hayatıma anlam katan kızım Zeynep'e,

Hitit Üniversitesindeki Çalışma arkadaşlarıma ve Lisans öğrencilerim Sinan ARSLAN, Alaidin HOŞKUN, Seyit Kamil TÜZÜN ve Muhammed Ahmet DÖNMEZ'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, ilkokuldan bugüne yetişmemi sağlayan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet KESİMLİ

ÖZET

Bu çalışmada çok mesnetli akışkan taşıyan kiriş ele alınmıştır. Kirişin uçlarda zemine ankastre mesnetlerle bağlandığı, orta kısımda ise zeminin yumuşamasından, gevşemesinden veya esnemesinden dolayı titreşim esnasında genlikler oluşmaktadır. Çalışmada bu durum konsantre kütle-yay ile modellenmiştir. Akışkan hızının ortalama bir hız etrafında harmonik olarak değiştiği kabul edilmiştir ($v(t)=v_0+\epsilon v_1\sin\Omega t$). Kiriş uzamalarından kaynaklanan nonlinear etkiler de dikkate alınarak hareket denklemleri ve sınır şartları Hamilton prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen hareket denklemleri boyutsuzlaştırılarak malzeme ve geometrik yapıya olan bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Perturbasyon metotlarından biri olan çok zaman ölçekli metot kullanılarak yaklaşık çözümler bulunmuştur. Orta bölümde yer alan mesneden değişik konumları, değişik yay katsayısı, değişik kütle miktarı, değişik kiriş katsayısı, değişik doluluk oranları ve akışkan hız değerleri için tabii frekanslar tam olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda akışkan hızı değişim frekansının sıfır ve tabii frekansın iki katından uzak olduğu, akışkan hızı değişim frekansının sıfıra yakın olduğu ve akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olduğu durumlar ayrı ayrı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: perturbasyon analizi, nonlinear titreşim, akışkan taşıyan kiriş

ABSTRACT

In this study, nonlinear vibrations of the fluid carrying, the different types of continuous media will discuss. We will accept those fluid carrying beam are connected to the ground with fixed supports. During vibration, with softening or loosening of the ground connection point for various reasons, or flexion at the support points, amplitude is composed at connection points. In this study, this case will be modeled as flexible bearing at the support points. Flow velocity will be taken as harmonically varying about a mean velocity ($v(t)=v_0+\varepsilon v_1 \sin \Omega t$). By considering extension of beam, nonlinear terms will add to the equations of motion. The equations of motion will derived beams by using Hamilton's principle. The obtained equations of motion will be independence from material and geometric structure by nondimensionalization. Approximate solutions were obtained using the Method of Multiple Scales, a perturbation method. Located in the middle part of the support of different locations, with different stiffness of the spring, the amount of different mass, different beam coefficient values for different occupancy rates and the fluid velocity is calculated natural frequencies exactly. Also the fluid velocity variation of the frequency zero and natural frequencies than double the far as the fluid velocity variation frequency is close to zero, and the fluid velocity variation frequency natural frequency doubled is close to the conditions have been examined separately.

Keywords: perturbation method, nonlinear vibration, Fluid carrying beam

1. GİRİŞ

Akışkan taşıyan sürekli ortamların titreşimleri önemleri açısından uzun zamandır araştırılmaktadır. Uygulanma alanları çok yaygındır. Bunlara örnek olarak akışkan taşıyan petrol boru hatları, doğalgaz boru hatları, su boruları, kimyasal madde tesislerinde tehlikeli sıvı taşıyan borular, nükleer enerji santrallerinin soğutma sisteminde kullanılan boru hatları, yangın söndürme ekipmanları, kanalizasyonlar, su altında akışkan taşıyan hatlar verilebilir. Bu sistemler akışkan taşıyan şerit özellikli boru, akışkan taşıyan esnek boru ve akışkan taşıyan kiriş özellikli boru problemleri olarak ele alınmıştır. Akışkan taşıyan boruların dinamiği hakkında akışkan sürtünmesini ihmal ederek, (Benjamin, 1961) çalışmalar yapmıştır. (Ulsoy, Mote ve Szymani, 1978) şeritlerin titreşimleri ve kararlılıkları hakkında başlıca gelişmeleri araştırmışlardır. (Pakdemirli M. and Batan H., 1993) Çok zaman ölçekli metod (perturbasyon tekniği (Nayfeh, 1981)) ile eksenel olarak ivmelenen şerit için yaklaşık analitik çözüm elde edilmiştir. (Pakdemirli M. ve Ulsoy A. G. and Ceranoglu A., 1994) eksenel hareketli şeritlerin enine titreşimlerini incelemişlerdir. (Pakdemirli, Nayfeh ve Nayfeh, 1995) çalışmalarında iki farklı yaklaşım kullandılar. Birinci yaklaşımda diskritizasyon-perturbasyon metodunu ikinci yaklaşımda ise direkt-perturbasyon metodunu kullandılar. İkinci yaklaşım eksenel hareketli sürekli ortam problemlerinde ilk defa bahsedilen çalışmada ele alınmış olup bazı avantajlar getirmektedir. Bu yaklaşımda denklemleri yeni bir formda yazıp ortogonal baz sistemi tanımlamaya gerek kalmamaktadır. Çalışmalarında nonlinear kablo titreşimi için iki metodun sonucunu karşılaştırdılar ve her iki metod için dallanma ve kararlılık analizinin farklılaştığını ve gerçek sistemin davranışının direkt-perturbasyon metodu ile daha iyi temsil edildiğini gösterdiler. (M. Pakdemirli and A. G. Ulsoy, 1997) eksenel hareketli şeritlerin kararlılık analizlerini yapmışlar ve direkt - perturbasyon ile diskritizasyon - perturbasyon metodları karşılaştırmışlardır. (Mockenstrum E.M.; Perkins N.C. and Ulsoy A.G., 1994) hareketli şeritlerin enine titreşimleri incelenmiştir. Yukarıdaki yapılan çalışmaların çoğunda hız sabit alınmış ve incelemeler bu durum için yapılmıştır. (Mulcahy, 1983a)nükleer santral reaktörlerindeki akışkan etkisinden kaynaklanan titreşimleri incelemiş ve sonra iç içe geçmiş 2 boru arasındaki akışın oluşturduğu titreşimlerin doğal frekanslarını (Mulcahy, 1983b) incelemiştir. (S. S. Chen, Cai ve Zhu, 1996) akış etkisi altındaki tüplerin titreşimlerini ele almışlardır. (S.-Y. Lee and C. D.Mote, 1997) akışkan taşıyan boruların frekans değerlerinin hıza bağlı değişimlerini incelemişlerdir. (Paidoussis M. P. and Semler C., 1998) akışkan taşıyan dirsekli boruların serbest uçta küçük kütle varsayımıyla lineer olmayan dinamiğini ele almışlardır. (Halil Ridvan Öz ve Boyacı, 2000) akışkan hızının zamana bağlı olduğu durumlarda borunun enine titreşimlerini incelemişlerdir. (Özkaya ve Pakdemirli, 2000) kiriş katsayısını çok küçük kabul ederek şeritten kirişe geçiş davranışlarını incelemişler ve bu eksenel hareketli esnek kirişlerin titreşimlerini araştırmışlardır. (R M C So, Zhou ve Liu, 2000) akışkan akışının elastik silindirin serbest titreşimleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Akışkan taşıyan borularda, akışkan hızını sabit alarak ve lineer problemi dikkate alarak konsantre kütlelerin dönme

ataletinin etkilerini (X. Q. Wang, R. M.C. So, and, 2001) incelemiştir. Özkaya E. (Özkaya, 2001) konsantre kütle taşıyan kirişleri incelemiştir. (R. M. C. So, 2001) euler-bernoulli kirişinde akışkan nedeniyle oluşan titreşimleri ele almışlardır. (H.R. Öz ve Evrensel, 2002) ve (H.R. Öz, 2002) sabit hızda konsantre kütle ve akışkan taşıyan gerilmeli boruların doğal frekansını değişik sınır şartları için araştırmışlardır. (X. Q. Wang, So ve Chan, 2003) elastik silindir için lineer olmayan akışkan yükü modelini çıkarmışlardır. (Lilkova-Markova, 2003) sabit hızda akışkan taşıyan dirsekli boruların ekstra mesnetleme durumlarındaki kararlılığını incelemiştir. (Paidoussis, 2006) gerçek hayattaki akış etkisiyle meydana gelen titreşimleri araştırmıştır. (Zhu, Wang, Xie ve So, 2008) (Zhu, Wang, Xie ve So, 2009) ve (R.M.C. So, Wang, Xie ve Zhu, 2008) akışkan taşıyan sistemlerin farklı akış türleri altındaki kararsızlıklarını ele almışlardır. Bazı durumlarda hasarlara bile neden olabilen bu kararsızlık durumlarının nedenlerini, türbülansın buna etkilerini araştırmışlardır. (Paidoussis, Grinevich, Adamovic ve Semler, 2002) içerisinde su akan elastik silindir için deneysel sonuçlar elde etmişler daha sonra iş enerji prensibiyle hareket denklemini çözmeden enerji transfer mekanizmaları ele alınmıştır. (Y. Modarres-Sadeghi ve Paidoussis, 2009) çalışmasında zayıf nonlineeriteye sahip akışkan taşıyan, her iki uçtan mesnetli boruların galerkin metodu yardımıyla dinamik incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada da akışkan hızı sabit alınmıştır. (L. Wang, Dai ve Qian, 2012) Galerkin yaklaşımını kullanarak, akışkan taşıyan borunun üzerinde bulunan geometrik kusurların etkisini ele almıştır. (Nikolić ve Rajković, 2006) Her iki uçta da sabit mesnetli akışkan taşıyan boruların nonlineer modellerini Lyapunov-Schmidt azaltma ve tekillik teorisi ile bifurkasyon (dallanma) noktalarını analiz etmiştir. (Enz, 2010) Basit mesnetli düz boruyu Çok zaman ölçekli metod ile pertürbasyon analizi kullanılarak incelemiştir Coriolis debimetreler ile yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır. (Zhang ve Chen, 2011) Basit mesnetle mesnetlenmiş Akışkan taşıyan boruların nonlineer titreşimlerinin iç rezonanslarını incelemiştir. (Meng ve Chen, 2012) Okyanus tabanına indirilen eğimli bir çelik borunun üç boyutlu titreşim davranışlarını galerkin sonlu eleman yöntemi ile analiz etmiştir. (Enz ve Thomsen, 2011) Akışkan taşıyan borularda Coriolis kuvvetleri ve sıvı titreşimleri nedeniyle oluşan faz kayması etkilerini incelemiştir. (Ritto, Soize, Rochinha ve Sampaio, 2014) sonlu elemanlar metoduyla akışkan taşıyan Euler-bernoulli kirişini incelemiştir. (Dai, Wang, Qian ve Ni, 2014) darbeli akışkan taşıyan borunun girdap kaynaklı titreşimlerini çok ölçekli metod kullanarak incelemiştir. (Kheiri, Paidoussis, Del Pozo ve Amabili, 2014) uçları yay ile mesnetlenmiş akışkan taşıyan borunun dinamik kararlılığını incelemiştir. (L.-Q. Chen, Zhang, Zhang ve Ding, 2014) Akışkan taşıyan viskoelastik boruların Nonlineer titreşimlerini kritik hız civarında galerkin metoduyla araştırmışlardır. (S. Li, Liu ve Kong, 2014) akışkan taşıyan sistemlerin titreşim analizini matris transfer metoduyla yapmışlardır. (Kheiri ve Paidoussis, 2014) Akışkan taşıyan boruların hareket denklemlerinin elde edilmesi için genelleştirilmiş Hamilton prensibini kullanmışlardır. (Yang, Yang ve Jin, 2007) viskoelastik boru şeklinde modellenmiş kirişin enine titreşimlerinin kararlılığını incelemiştir. (Ghayesh, Paidoussis ve Amabili, 2013) akışkan taşıyan dirsekli borunun

Nonlineer düzlemsel dinamikleri incelemişlerdir. (Zhang ve Chen, 2013) akışkan taşıyan borunun kritik hız etrafında dış ve iç rezonanslarını galerkin metoduyla incelemişlerdir. (Yahya Modarres-Sadeghi ve Païdoussis, 2013) ucunda kütle olan akışkan taşıyan borunun salınımlarını araştırmışlardır. (Banerjee, 2012) ucunda kütle-yay sistemi bulunan kirişin serbest titreşimlerini araştırmıştır. (Yi-min, Seng, Wei ve Jie, 2012) basit mesnetlenmiş akışkan taşıyan sistemin doğal frekanslarını, quartik denklemlerinin çözümünde kullanılan Ferrari metodundan türetilmiş direkt metod ile hesaplamışlardır. (Lee, Cho ve Chung, 2012) uçlarında ankastre ve basit mesnet bulunan, kütle-yay sistemi taşıyan kirişin dinamik analizini sonlu elemanlar metoduyla yapmışlardır. (Ghayesh, Païdoussis ve Modarres-Sadeghi, 2011) orta bölümünde yay ve ucunda kütle bulunan akışkan taşıyan dirsekli borunun üç boyutlu dinamiğini incelemişlerdir. (Ni, Zhang ve Wang, 2011) değişik sınır şartlarına sahip akışkan taşıyan borunun doğal frekanslarını diferansiyel transfer metoduyla (DTM) ile hesaplamışlardır. (B. Li, Gao, Zhai, Liu ve Yue, 2011) akışkan taşıyan çok mesnetli boruların serbest titreşimlerini dinamik katılık yöntemi ile belirlemiştir.

Bu çalışmada ise akışkan taşıyan çok mesnetli kiriş ele alınmıştır. Kirişin uçlarda zemine ankastre mesnetlerle bağlandığı, orta kısımda ise zeminin yumuşamasından, gevşemesinden veya esnemesinden dolayı titreşim esnasında genlikler oluşmaktadır. Çalışmada bu durum konsantre kütle-yay ile modellenmiştir. Akışkan hızının ortalama bir hız etrafında harmonik olarak değiştiği kabul edilmiştir ($v(t)=v_0+\epsilon v_1 \sin \Omega t$). Kiriş uzamalarından kaynaklanan nonlineer etkiler de dikkate alınarak hareket denklemleri ve sınır şartları Hamilton prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen hareket denklemleri boyutsuzlaştırılarak malzeme ve geometrik yapıya olan bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Perturbasyon metotlarından biri olan çok zaman ölçekli metot kullanılarak yaklaşık çözümler bulunmuştur. Orta bölümde yer alan mesnedin değişik konumları, değişik yay katsayısı, değişik kütle miktarı, değişik kiriş katsayısı, değişik doluluk oranları ve akışkan hız değerleri için tabii frekanslar tam olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda akışkan hızı değişim frekansının sıfır ve tabii frekansın iki katından uzak olduğu, akışkan hızı değişim frekansının sıfıra yakın olduğu ve akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olduğu durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olması durumunda temel parametrik rezonans meydana gelmektedir. Temel parametrik rezonans durumu detaylı bir şekilde incelenmiştir. Her durum için kararlılık analizi yapılarak çözümlerinin kararlı ve kararsız olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Akışkan hızının, yayların katsayısının, kütlelerin değişiminin, kiriş katsayısı, doluluk oranlarının ve mesnet konumunun bifurkasyon noktalarına etkileri incelenmiştir. Faz modülasyon denklemleri elde edilmiştir. Genliklerin artmaya başladığı bifurkasyon (dallanma) noktaları tespit edilmiştir. Ayrıca akışkan hızı değişim frekansının (Ω), sıfırdan ve $2\omega'$ dan uzak olduğu durumda, nonlineer terimlerin tabii

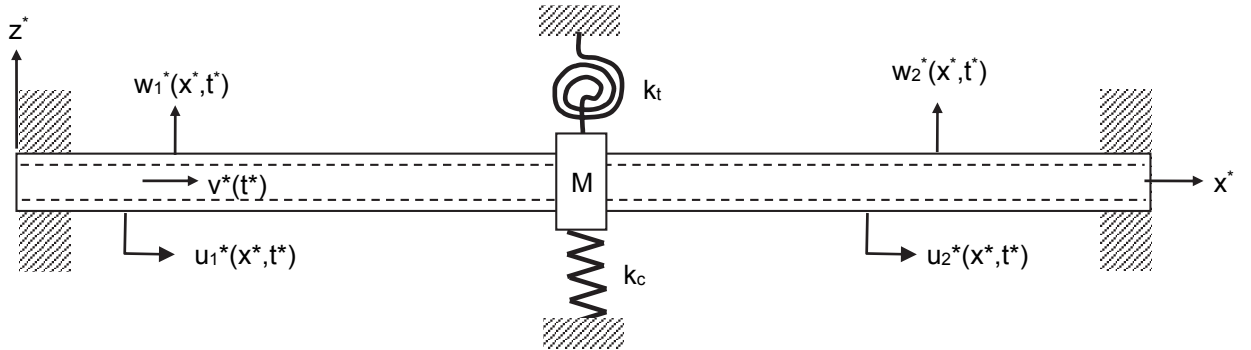
frekansa katkılarını gösteren nonlinear frekans-genlik değerleri elde edilmiştir. Nonlinear frekans eğrilerinin sağa doğru yatması sertleşme tip (hardening type) davranışın göstergesidir.

2. HAREKET DENKLEMLERİ

2.1. Hamilton Prensibiyle Hareket Denklemlerinin Çıkarılması

Bu bölümde Şekil 2.1’de gösterilen akışkan taşıyan kiriş için hareket denklemi bulunacaktır. Hareket denklemleri önce orta mesnet durumu için çıkartılacaktır. Hareket denklemlerini elde ederken bazı kabuller yapılmıştır.

- Kirişin başlangıç ve bitiş noktalarında “korunumlu sistem” kabulünü bozmayacak hareket edemeyen ankastre mesnet mevcuttur.
- Dönme ataleti ve kayma gerilmelerinin ihmal edildiği Euler-Bernoulli kirişi ele alınmıştır.
- Boyuna uzamanın ihmal edilebilmesi için, ön gerilmeden kaynaklanan boyuna direngenlik çok büyük kabul edilmiştir.
- Yer değiştirmeler dinamik denge konumundan alınmıştır.
- Boyuna koordinat (x^*) yönünde, hareket esnasında kalınlık değişimi ihmal edilmiştir.
- Yerçekimi etkisi gerilme kuvvetine göre yeteri kadar küçüktür, böylece kiriş denge konumunda düz durmaktadır.

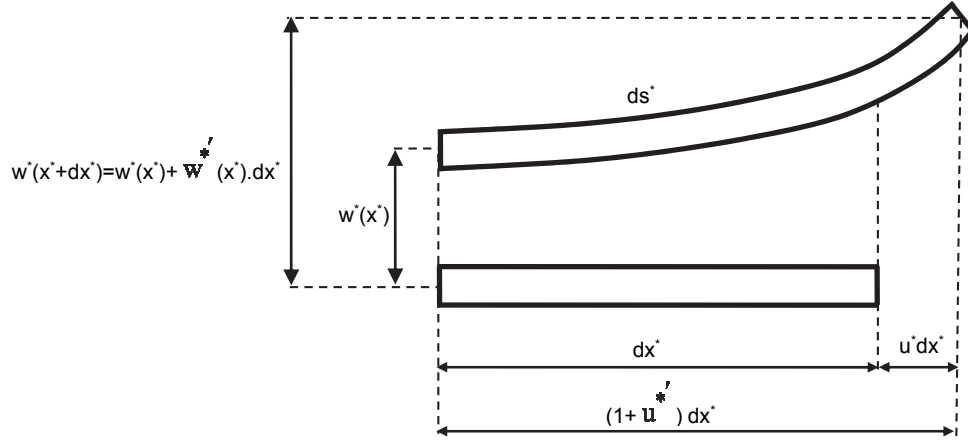


Şekil 2.1 Akışkan taşıyan çok mesnetli kiriş.

Şekil 2.1’de görülen akışkan taşıyan kirişte $u_{1,2}^*(x^*, t^*)$ x^* yönündeki yer değiştirmeyi, $v^*(t^*)$ x^* yönündeki akışkan hızını (x^* ’ten bağımsız), $w_{1,2}^*(x^*, t^*)$ z^* yönündeki yer değiştirmeyi göstermektedir.

Bu kısımda hareket denklemleri Hamilton prensibi kullanılarak çıkartılmıştır. Sistemin Langrangian’ ını hesaplamaya geçmeden önce uzama etkilerini ve sistemin toplam hızlarını hesaplanmıştır. Uzama etkilerini hesaplamak için Şekil 2.2’deki gibi dx^* uzunluğunda bir parça göz önüne alınmıştır. Titreşim esnasında uzunluk ds^* ile, eksenel uzama miktarı u^*dx^* ile

gösterilmiştir. Bu durumda sol uçtaki yer değiştirme $w^*(x^*)$ ve sağ uçtaki yer değiştirme ise $w^*(x^*+dx^*)$ olarak alınmıştır.



Şekil 2.2 Kirişten alınan dx parçası üzerinde yer değiştirmelerin görünüşü

Her iki uçtaki yer değiştirmeler arasındaki fark ise

$$w^*(x^* + dx^*) - w^*(x^*) = w'^* dx^* \quad (2.1)$$

olur. dx^* uzunluğu, yer değiştirme sonrası ds^* uzunluğu olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$ds = \sqrt{\left(1 + u'^*\right)^2 dx^{*2} + w_{1,2}^{*2} dx^{*2}} = \sqrt{\left(1 + u'^*\right)^2 + w_{1,2}^{*2}} dx^* \quad (2.2)$$

Şekil değiştirme

$$e_{1,2} = \frac{ds^* - dx^*}{dx^*} \quad (2.3)$$

olduğundan denklem (2.3)'e denklem (2.2)'yi yerleştirir, Taylor açılımı yapılırsa, küçük terimleri ihmal edilerek şekil değiştirme

$$e_{1,2} = u'^* + \frac{1}{2}u^{*2} + \frac{1}{2}w_{1,2}^{*2} \quad (2.4)$$

olarak bulunur. Boyuna yer değiştirmeyi enine yer değiştirmeye göre küçük kabul edersek.

$u^* = O(w^{*2})$ alınırsa bazı terimler diğer terimlere göre küçük olacaktır.

$$e_{1,2} = u'^* + \frac{1}{2}w_{1,2}^{*2} \quad (2.5)$$

x^* ve z^* yönündeki hızlar ise sırasıyla şöyle bulunur.

$$\frac{du^*}{dt^*} = \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + \frac{\partial u^*}{\partial x^*} \frac{dx^*}{dt^*} = \dot{u}^* + u'^* v^* \quad (2.6)$$

$$\frac{dw_{1,2}^*}{dt^*} = \frac{\partial w_{1,2}^*}{\partial t^*} + \frac{\partial w_{1,2}^*}{\partial x^*} \frac{dx^*}{dt^*} = \dot{w}_{1,2}^* + w_{1,2}^{*'} v^* \quad (2.7)$$

Toplam yatay hız ise x^* yönündeki hız ile kiriş uzamalarından kaynaklanan (2.6)'da verilen hızın toplamıdır: $\dot{v}^* + \dot{u}^* + \dot{u}_1^* v^*$. Kinetik enerji ve elastik potansiyel enerji sırasıyla şöyle yazılabilir.

$$T = \frac{1}{2} \rho_{ak} A_{ak} \int_0^b \left[\left(\dot{w}_1^* + w_1^* v^* \right)^2 + \left(v^* + \dot{u}_1^* + u_1^* v^* \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \rho_{kiriş} A_{kiriş} \int_0^b \dot{w}_1^{*2} dx + \frac{1}{2} \rho_{ak} A_{ak} \int_b^L \left[\left(\dot{w}_2^* + w_2^* v^* \right)^2 + \left(v^* + \dot{u}_2^* + u_2^* v^* \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \rho_{kiriş} A_{kiriş} \int_b^L \dot{w}_2^{*2} dx + \frac{1}{2} M \dot{w}_1^{*2}(b) \quad (2.8)$$

$$V = \frac{1}{2} E_{kiriş} A_{kiriş} \int_0^b e_1^2 dx + P \int_0^b e_1 dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} I_{kiriş} \int_0^b w_1^{*''2} dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} A_{kiriş} \int_b^L e_2^2 dx + P \int_b^L e_2 dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} I_{kiriş} \int_b^L w_2^{*''2} dx + \frac{1}{2} k_t w_1^{*2}(b) + \frac{1}{2} k_c w_1^{*2}(b) \quad (2.9)$$

Yukarıdaki denklemde birinci integraller şekil değiştirme, ikincisi eksenel gerilme, üçüncüsü eğilme ile ilgilidir. Denklemlerde b orta kısımda bulunan mesnedin başlangıç noktasından olan uzaklığını ifade etmektedir. $\rho_{kiriş}$, ρ_{ak} kirişin ve akışkanın yoğunluğu, $A_{kiriş}$, A_{ak} kirişin ve akışkanın kesit alanı, k_c ve k_t mesnetlerdeki lineer ve dönme yaylarının katsayısı, M mesnetlerdeki kütle, $w_{1,2}^*$ kirişin mesnetler arasındaki her bir parçasının enine deplasmanı, $E_{kiriş}$, kirişin elastisite modülü, $u_{1,2}^*$ kirişin mesnetler arasındaki her bir parçasının eksenel yer değiştirmesi, $(\dot{})$ zamana göre türev, $()'$ x' e göre türevi göstermektedir. Sistemin Lagrangian' ı kinetik ve potansiyel enerji farkıdır. Hamilton Prensipleri ise Lagrangian'ın zaman üzerinden integralinin varyasyonunun sıfır olduğunu belirtmektedir.

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - V) dt = 0 \quad (2.10)$$

Denklem (2.8) ve (2.9), denklem (2.10)'a yerleştirilirse,

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \left[\frac{1}{2} \rho_{ak} A_{ak} \int_0^b \left(\dot{w}_1^* + w_1^* v^* \right)^2 + \left(v^* + \dot{u}_1^* + u_1^* v^* \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \rho_{kiriş} A_{kiriş} \int_0^b \dot{w}_1^{*2} dx + \frac{1}{2} \rho_{ak} A_{ak} \int_b^L \left[\left(\dot{w}_2^* + w_2^* v^* \right)^2 + \left(v^* + \dot{u}_2^* + u_2^* v^* \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \rho_{kiriş} A_{kiriş} \int_b^L \dot{w}_2^{*2} dx + \frac{1}{2} M \dot{w}_1^{*2}(b) \right] - \left[\frac{1}{2} E_{kiriş} A_{kiriş} \int_0^b e_1^2 dx + P \int_0^b e_1 dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} I_{kiriş} \int_0^b w_1^{*''2} dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} A_{kiriş} \int_b^L e_2^2 dx + P \int_b^L e_2 dx + \frac{1}{2} E_{kiriş} I_{kiriş} \int_b^L w_2^{*''2} dx + \frac{1}{2} k_t w_1^{*2}(b) + \frac{1}{2} k_c w_1^{*2}(b) \right] \right\} dt = 0 \quad (2.11)$$

elde edilir.

$$e_{1,2} = u^* + \frac{1}{2} w_{1,2}^{*2} \quad (2.12)$$

Denklem (2.12), denklem (2.11)' de yerine yazılıp varyasyon uygulanırsa, çift katlı integraller hareket denklemini, tek katlı integrallerde sınır şartlarını vermektedir. Çift katlı integralleri δw ve δu katsayıları şeklinde yazılırsa, birinci ve ikinci bölge için denklemler şöyle elde edilir;

Ödxdtd katsayıları

$$\begin{aligned} \rho_{ak} A_{ak} \left(\ddot{w}_1 + 2v \dot{w}_1' + v^2 w_1'' + \dot{v} w_1' \right) + \rho_{kiriş} A_{kiriş} \ddot{w}_1 = \\ E_{kiriş} A_{kiriş} \left(u_1'' w_1' + u_1' w_1'' + \frac{3}{2} w_1'^2 w_1'' \right) + P w_1'' - E_{kiriş} I_{kiriş} w_1^{IV} \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \rho_{ak} A_{ak} \left(\ddot{w}_2 + 2v \dot{w}_2' + v^2 w_2'' + \dot{v} w_2' \right) + \rho_{kiriş} A_{kiriş} \ddot{w}_2 = \\ E_{kiriş} A_{kiriş} \left(u_2'' w_2' + u_2' w_2'' + \frac{3}{2} w_2'^2 w_2'' \right) + P w_2'' - E_{kiriş} I_{kiriş} w_2^{IV} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Ödxdtd katsayıları

$$\rho_{ak} A_{ak} \left(\dot{v} + \ddot{u}_1 + 2v \dot{u}_1' + \dot{v} u_1' + v^2 u_1'' \right) = E_{kiriş} A_{kiriş} \left(u_1' + w_1' w_1'' \right) \quad (2.15)$$

$$\rho_{ak} A_{ak} \left(\dot{v} + \ddot{u}_2 + 2v \dot{u}_2' + \dot{v} u_2' + v^2 u_2'' \right) = E_{kiriş} A_{kiriş} \left(u_2' + w_2' w_2'' \right) \quad (2.16)$$

Denklem (2.13-2.16) hareket denklemleridir. Sınır şartları ise geriye kalan terimlerin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Uçlardaki sınır şartları şöyledir, ankastre mesnet için;

$$w_1'(0) = w_2'(L) = 0 \quad (2.17)$$

$$w_1'(0) = w_2'(L) = 0 \quad (2.18)$$

Orta noktadaki sınır şartları da aşağıdaki gibi elde edilir.

$$w_1'(b) = w_2'(b) \quad (2.19)$$

$$w_1'(b) = w_2'(b) \quad (2.20)$$

$$E_{kiriş} I_{kiriş} \left[w_2''(b) - w_1''(b) \right] = k_t w_1'(b) \quad (2.21)$$

$$E_{kiriş} I_{kiriş} \left[w_1''''(b) - w_2''''(b) \right] = M \ddot{w}_1(b) + k_c w_1'(b) \quad (2.22)$$

2.2. Boyutsuzlaştırma

Denklem (2.13-2.16)'ü daha sade hale getirmek, çözümlerin kullanılan malzeme ve geometrik yapıdan bağımsız ve sonuçların daha genel olabilmesi için denklemlerin boyutsuzlaştırılması gerekir. Bunun için boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w = \frac{w^*}{L} \quad u = \frac{u^*}{L} \quad x = \frac{x^*}{L} \quad \eta = \frac{b}{L} \quad m_{ak} = \rho_{ak} A_{ak} \quad m_k = \rho_{kiriş} A_{kiriş} \quad \beta = \frac{m_{ak}}{m_{ak} + m_k} \quad (2.23)$$

$$t = \sqrt{\frac{P}{(m_{ak} + m_k) L^2}} t^* \quad v = \frac{v^*}{\sqrt{\frac{P}{(m_{ak} + m_k)}}} \quad v_f^2 = \frac{E_{kiriş} I_{kiriş}}{P L^2} \quad v_b^2 = \frac{E_{kiriş} A_{kiriş}}{P} \quad (2.24)$$

$$K_t = \frac{k_t L}{E_{kiriş} I_{kiriş}} \quad K_c = \frac{k_c L^3}{E_{kiriş} I_{kiriş}} \quad \alpha_m = \frac{M}{(m_{ak} + m_k) L} \frac{P L^2}{E_{kiriş} I_{kiriş}} \quad (2.25)$$

Yukarıda v_b boyuna direngenliği, v_f kirişlik katsayısı, K_t ve K_c yay katsayılarının, α_m konsantre kütlelerin etkisini göstermektedir. v^* akışkanın hızı, durgun kirişteki dalga hızı ile boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz parametreler, boyutlu hareket denklemlerinde yerlerine yazılması ile boyutsuz hareket denklemleri denklem (2.26-2.29) gibi elde edilmiştir.

$$\ddot{w}_1 + \beta \left(2v \dot{w}_1' + v^2 w_1'' + \dot{v} w_1' \right) = v_b^2 \left(\underbrace{u_1'' w_1' + u_1' w_1''}_{1} + \frac{3}{2} w_1'^2 w_1'' \right) + w_1'' - v_f^2 w_1^{iv} \quad (2.26)$$

$$\ddot{w}_2 + \beta \left(2v \dot{w}_2' + v^2 w_2'' + \dot{v} w_2' \right) = v_b^2 \left(\underbrace{u_2'' w_2' + u_2' w_2''}_{2} + \frac{3}{2} w_2'^2 w_2'' \right) + w_2'' - v_f^2 w_2^{iv} \quad (2.27)$$

$$\beta \left(\dot{v} + \ddot{u}_1 + 2v \dot{u}_1' + \dot{v} u_1' + v^2 u_1'' \right) = v_b^2 \left(\underbrace{u_1'' + w_1' w_1''}_{3} \right) \quad (2.28)$$

$$\beta \left(\dot{v} + \ddot{u}_2 + 2v \dot{u}_2' + \dot{v} u_2' + v^2 u_2'' \right) = v_b^2 \left(\underbrace{u_2'' + w_2' w_2''}_{4} \right) \quad (2.29)$$

Teknolojik kullanımı olan parametreler için hesap yapmak gerekirse, boyuna titreşimler enine titreşimlerden önemli ölçüde daha hızlı yayıldığı için $v_b^2 \gg 1$ alınabilir. Bu iki denklemi bir denkleme indirmek için aşağıdaki işlemleri yapalım. Denklem 2.26 - 2.29' deki ifadeleri sırasıyla yazılırsa.

$$u_1'' w_1' + u_1' w_1'' + \frac{3}{2} w_1'^2 w_1'' = \left(u_1' w_1' + \frac{1}{2} w_1'^3 \right)' = \left[w_1' \left(u_1' + \frac{1}{2} w_1'^2 \right) \right]' \quad (2.30)$$

$$u_2'' w_2' + u_2' w_2'' + \frac{3}{2} w_2'^2 w_2'' = \left(u_2' w_2' + \frac{1}{2} w_2'^3 \right)' = \left[w_2' \left(u_2' + \frac{1}{2} w_2'^2 \right) \right]' \quad (2.31)$$

$$u_1'' + w_1' w_1'' = \left(u_1' + \frac{1}{2} w_1'^2 \right)' \quad (2.32)$$

$$u_2'' + w_2' w_2'' = \left(u_2' + \frac{1}{2} w_2'^2 \right)' \quad (2.33)$$

İfadeyi sıfıra eşitleyip integralini alarak türevden kurtarılrırsa

$$\left(u_1' + \frac{1}{2} w_1'^2 \right)' = 0 \quad (2.34)$$

$$\left(u_2' + \frac{1}{2} w_2'^2 \right)' = 0 \quad (2.35)$$

$$u_1' + \frac{1}{2} w_1'^2 = C(t) \quad (2.36)$$

$$u_2' + \frac{1}{2} w_2'^2 = D(t) \quad (2.37)$$

Bu ifadenin giriş boyunca integrali alınırısı

$$\int_0^\eta u_1' dx + \int_0^\eta \frac{1}{2} w_1'^2 dx = C(t) \int_0^\eta dx \Rightarrow u_1(\eta) - u_1(0) + \frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx = C(t)(\eta - 0) \quad (2.38)$$

$$\int_\eta^1 u_2' dx + \int_\eta^1 \frac{1}{2} w_2'^2 dx = D(t) \int_\eta^1 dx \Rightarrow u_2(1) - u_2(\eta) + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx = D(t)(1 - \eta) \quad (2.39)$$

Bu iki ifadenin sonucunda $C(t)=D(t)$ $u_1(\eta)=u_2(\eta)$ elde edilir. Geriye kalan integraller toplanırısı,

$$\frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx = C(t) \quad (2.40)$$

$$u_{1-2}' + \frac{1}{2} w_{1-2}'^2 = C(t) \quad (2.41)$$

$$u_{1-2}' = C(t) - \frac{1}{2} w_{1-2}'^2 \quad (2.42)$$

$C(t)$ ifadesini yerine yazılırısı,

$$u_{1-2}' = \frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx - \frac{1}{2} w_{1-2}'^2 \quad (2.43)$$

Denklem (2.43)' ü, denklem (2.26 ve 2.28)'de yerleştirilirse,

$$\ddot{w}_1 + 2\beta v \dot{w}_1' + (\beta v^2 - 1)w_1'' + \beta \dot{v} w_1' + v_f^2 w_1^{iv} = \frac{1}{2} v_b^2 w_1'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx \right) \quad (2.44)$$

$$\ddot{w}_2 + 2\beta v \dot{w}_2' + (\beta v^2 - 1)w_2'' + \beta \dot{v} w_2' + v_f^2 w_2^{iv} = \frac{1}{2} v_b^2 w_2'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx \right) \quad (2.45)$$

elde edilir. Sınır şartları şöyle yazılabilir; Uçlardaki sınır şartları ankastre mesnet için

$$w_1(0) = w_2(L) = 0 \quad (2.46)$$

$$w_1'(0) = w_2'(L) = 0 \quad (2.47)$$

Orta noktadaki sınır şartları da aşağıdaki gibi elde edilir.

$$w_1(\eta) = w_2(\eta) \quad (2.48)$$

$$w_1'(\eta) = w_2'(\eta) \quad (2.49)$$

$$w_2''(\eta) - w_1''(\eta) = K_t w_1'(\eta) \quad (2.50)$$

$$w_1'''(\eta) - w_2'''(\eta) = \alpha_m \ddot{w}_1(\eta) + K_c w_1(\eta) \quad (2.51)$$

3. PERTURBASYON ANALİZİ

Perturbasyon çözümü için önce hareket denkleminizi $\sqrt{\varepsilon}$ merteye dönüşümü yapılarak düzenlenirse bunun sonucunda nonlinear ifadeler ε mertebesinde ortaya çıkar.

$$\ddot{w}_1 + 2\beta v \dot{w}_1' + (\beta v^2 - 1)w_1'' + \beta \dot{v} w_1' + v_f^2 w_1^{iv} = \frac{1}{2} v_b^2 w_1'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx \right) \quad (3.1)$$

$$\ddot{w}_2 + 2\beta v \dot{w}_2' + (\beta v^2 - 1)w_2'' + \beta \dot{v} w_2' + v_f^2 w_2^{iv} = \frac{1}{2} v_b^2 w_2'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta w_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 w_2'^2 dx \right) \quad (3.2)$$

$$\sqrt{\varepsilon} y_1 = w_1 \quad \sqrt{\varepsilon} y_2 = w_2 \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{\varepsilon} \ddot{y}_1 + 2\beta v \sqrt{\varepsilon} \dot{y}_1' + (\beta v^2 - 1) \sqrt{\varepsilon} y_1'' + \beta \dot{v} \sqrt{\varepsilon} y_1' + v_f^2 \sqrt{\varepsilon} y_1^{iv} \\ &= \frac{1}{2} v_b^2 \sqrt{\varepsilon} y_1'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta \varepsilon y_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 \varepsilon y_2'^2 dx \right) \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{\varepsilon} \ddot{y}_2 + 2\beta v \sqrt{\varepsilon} \dot{y}_2' + (\beta v^2 - 1) \sqrt{\varepsilon} y_2'' + \beta \dot{v} \sqrt{\varepsilon} y_2' + v_f^2 \sqrt{\varepsilon} y_2^{iv} \\ &= \frac{1}{2} v_b^2 \sqrt{\varepsilon} y_2'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta \varepsilon y_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 \varepsilon y_2'^2 dx \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Denklem (3.4-3.5) $\sqrt{\varepsilon}$ mertebesinde yazılırsa,

$$\ddot{y}_1 + 2\beta v \dot{y}_1' + (\beta v^2 - 1)y_1'' + \beta \dot{v} y_1' + v_f^2 y_1^{iv} = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 y_1'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta y_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_2'^2 dx \right) \quad (3.6)$$

$$\ddot{y}_2 + 2\beta v \dot{y}_2' + (\beta v^2 - 1)y_2'' + \beta \dot{v} y_2' + v_f^2 y_2^{iv} = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 y_2'' \left(\frac{1}{2} \int_0^\eta y_1'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_2'^2 dx \right) \quad (3.7)$$

Hız değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$v = v_0 + \varepsilon v_1 \sin \Omega t \quad \dot{v} = \varepsilon v_1 \Omega \cos \Omega t \quad v^2 = v_0^2 + 2\varepsilon v_0 v_1 \sin \Omega t \quad (3.8)$$

Zamana ve mekâna göre türevler ise şöyledir;

$$T_0 = t, \quad T_1 = \varepsilon t \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = D_0 + \varepsilon D_1 \quad \frac{\partial^2}{\partial t^2} = D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1 \quad (3.10)$$

$$y_1(x, t, \varepsilon) = y_{11}(x, t, \varepsilon) + \varepsilon y_{12}(x, T_0, T_1) \quad (3.11)$$

$$y_2(x, t, \varepsilon) = y_{21}(x, t, \varepsilon) + \varepsilon y_{22}(x, T_0, T_1) \quad (3.12)$$

Denklem (3.8-3.12), denklem (3.6-3.7) yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} & (D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1)(y_{11} + \varepsilon y_{12}) + 2\beta(v_0 + \varepsilon v_1 \sin \Omega t)(D_0 + \varepsilon D_1)(y_{11}' + \varepsilon y_{12}') \\ & + [(\beta(v_0^2 + 2\varepsilon v_0 v_1 \sin \Omega t) - 1)](y_{11}'' + \varepsilon y_{12}'') + \beta(\varepsilon v_1 \Omega \cos \Omega t)(y_{11}' + \varepsilon y_{12}') + v_f^2(y_{11}^{iv} + \varepsilon y_{12}^{iv}) \\ & = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 (y_{11}'' + \varepsilon y_{12}'') \left[\frac{1}{2} \int_0^1 (y_{11}' + \varepsilon y_{12}')^2 dx + \frac{1}{2} \int_1^2 (y_{21}' + \varepsilon y_{22}')^2 dx \right] \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} & (D_0^2 + 2\varepsilon D_0 D_1)(y_{21} + \varepsilon y_{22}) + 2\beta(v_0 + \varepsilon v_1 \sin \Omega t)(D_0 + \varepsilon D_1)(y_{21}' + \varepsilon y_{22}') \\ & + [(\beta(v_0^2 + 2\varepsilon v_0 v_1 \sin \Omega t) - 1)](y_{21}'' + \varepsilon y_{22}'') + \beta(\varepsilon v_1 \Omega \cos \Omega t)(y_{21}' + \varepsilon y_{22}') + v_f^2(y_{21}^{iv} + \varepsilon y_{22}^{iv}) \\ & = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 (y_{21}'' + \varepsilon y_{22}'') \left[\frac{1}{2} \int_0^1 (y_{11}' + \varepsilon y_{12}')^2 dx + \frac{1}{2} \int_1^2 (y_{21}' + \varepsilon y_{22}')^2 dx \right] \end{aligned} \quad (3.14)$$

Parantezleri tek tek dağıtıp ε^2 mertebesindeki terimler ihmal edilirse,

$$\begin{aligned} & (D_0^2 y_{11} + 2\varepsilon D_0 D_1 y_{11} + \varepsilon D_0^2 y_{12}) + 2\beta(D_0 v_0 y_{11}' + \varepsilon D_1 v_0 y_{11}' + \varepsilon D_0 v_0 y_{12}' + \varepsilon D_0 v_1 \sin \Omega t y_{11}') \\ & + (\beta v_0^2 y_{11}'' + 2\beta \varepsilon v_0 v_1 \sin \Omega t y_{11}'' + \beta \varepsilon v_0^2 y_{12}'' - y_{11}'' - \varepsilon y_{12}'') + \beta \varepsilon v_1 \Omega \cos \Omega t y_{11}' \\ & + v_f^2 y_{11}^{iv} + \varepsilon v_f^2 y_{12}^{iv} = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 y_{11}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^1 y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_1^2 y_{21}'^2 dx \right] \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} & (D_0^2 y_{21} + 2\varepsilon D_0 D_1 y_{21} + \varepsilon D_0^2 y_{22}) + 2\beta(D_0 v_0 y_{21}' + \varepsilon D_1 v_0 y_{21}' + \varepsilon D_0 v_0 y_{22}' + \varepsilon D_0 v_1 \sin \Omega t y_{21}') \\ & + (\beta v_0^2 y_{21}'' + 2\beta \varepsilon v_0 v_1 \sin \Omega t y_{21}'' + \beta \varepsilon v_0^2 y_{22}'' - y_{21}'' - \varepsilon y_{22}'') + \beta \varepsilon v_1 \Omega \cos \Omega t y_{21}' \\ & + v_f^2 y_{21}^{iv} + \varepsilon v_f^2 y_{22}^{iv} = \frac{1}{2} \varepsilon v_b^2 y_{21}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^1 y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_1^2 y_{21}'^2 dx \right] \end{aligned} \quad (3.16)$$

1. mertebesi ve ε mertebesi terimler ayrı ayrı yazılırsa;

1. mertebesi:

$$D_0^2 y_{11} + 2\beta D_0 v_0 y_{11}' + (\beta v_0^2 - 1) y_{11}'' + v_f^2 y_{11}^{iv} = 0 \quad (3.17)$$

$$D_0^2 y_{21} + 2\beta D_0 v_0 y_{21}' + (\beta v_0^2 - 1) y_{21}'' + v_f^2 y_{21}^{iv} = 0 \quad (3.18)$$

Sınır şartları:

$$y_{11}(0) = y_{21}(1) = 0 \quad (3.19)$$

$$y_{11}'(0) = y_{21}'(1) = 0 \quad (3.20)$$

$$y_{11}(\eta) = y_{21}(\eta) \quad (3.21)$$

$$y'_{11}(\eta) = y'_{21}(\eta) \quad (3.22)$$

$$y''_{21}(\eta) - y''_{11}(\eta) = K_t y'_{11}(\eta) \quad (3.23)$$

$$y''''_{11}(\eta) - y''''_{21}(\eta) = \alpha_m D_0^2 y_{11}(\eta) + K_c y_{11}(\eta) \quad (3.24)$$

ε mertebesi

$$D_0^2 y_{12} + 2\beta D_0 v_0 y'_{12} + (\beta v_0^2 - 1) y''_{12} + v_f^2 y_{12}^{iv} = -2D_0 D_1 y_{11} - 2\beta D_1 v_0 y'_{11} - 2\beta D_0 v_1 \sin \Omega t y'_{11} - \beta v_1 \Omega \cos \Omega t y'_{11} - 2\beta v_0 v_1 \sin \Omega t y''_{11} + \frac{1}{2} v_b^2 y_{11}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^\eta y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_{21}'^2 dx \right] \quad (3.25)$$

$$D_0^2 y_{22} + 2\beta D_0 v_0 y'_{22} + (\beta v_0^2 - 1) y''_{22} + v_f^2 y_{22}^{iv} = -2D_0 D_1 y_{21} - 2\beta D_1 v_0 y'_{21} - 2\beta D_0 v_1 \sin \Omega t y'_{21} - \beta v_1 \Omega \cos \Omega t y'_{21} - 2\beta v_0 v_1 \sin \Omega t y''_{21} + \frac{1}{2} v_b^2 y_{21}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^\eta y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_{21}'^2 dx \right] \quad (3.26)$$

Sınır şartları:

$$y_{12}(0) = y_{22}(1) = 0 \quad (3.27)$$

$$y'_{12}(0) = y'_{22}(1) = 0 \quad (3.28)$$

$$y_{12}(\eta) = y_{22}(\eta) \quad (3.29)$$

$$y'_{12}(\eta) = y'_{22}(\eta) \quad (3.30)$$

$$y''_{22}(\eta) - y''_{12}(\eta) = K_t y'_{12}(\eta) \quad (3.31)$$

$$y''''_{12}(\eta) - y''''_{22}(\eta) = \alpha_m (2D_0 D_1 y_{11}(\eta) + D_0^2 y_{12}(\eta)) + K_c y_{12}(\eta) \quad (3.32)$$

3.1. Lineer problem

Bir mertebesindeki denklemler ve sınır şartları lineer problemimizi oluşturmaktadır.

$$D_0^2 y_{11} + 2\beta D_0 v_0 y_{11}' + (\beta v_0^2 - 1) y_{11}'' + v_f^2 y_{11}^{iv} = 0 \quad (3.33)$$

$$D_0^2 y_{21} + 2\beta D_0 v_0 y_{21}' + (\beta v_0^2 - 1) y_{21}'' + v_f^2 y_{21}^{iv} = 0 \quad (3.34)$$

Denklem (3.33-3.34) için aşağıdaki denklemleri çözüm olarak önerebiliriz

$$y_{11} = A(T_1) e^{i\omega T_0} Y_1(x) + \overline{A}(T_1) e^{-i\omega T_0} \overline{Y}_1(x) \quad (3.35)$$

$$y_{21} = A(T_1) e^{i\omega T_0} Y_2(x) + \overline{A}(T_1) e^{-i\omega T_0} \overline{Y}_2(x) \quad (3.36)$$

Denklem (3.35-3.36)'yı denklem (3.33-3.34)'de yerine yazarsak ve kompleks eşlenik ifadelerini ihmal edersek lineer denklemlerimiz şu şekilde yazılabilir;

$$v_f^2 Y_1^{iv} + (\beta v_0^2 - 1) Y_1'' + 2\beta v_0 Y_1' - \omega^2 Y_1 = 0 \quad (3.37)$$

$$v_f^2 Y_2^{iv} + (\beta v_0^2 - 1) Y_2'' + 2\beta v_0 Y_2' - \omega^2 Y_2 = 0 \quad (3.38)$$

Denklem (3.37-3.38) için aşağıdaki çözümleri önerirsek

$$Y_1 = c_1 e^{i\gamma_1 x} + c_2 e^{i\gamma_2 x} + c_3 e^{i\gamma_3 x} + c_4 e^{i\gamma_4 x} \quad (3.39)$$

$$Y_2 = c_5 e^{i\gamma_5 x} + c_6 e^{i\gamma_6 x} + c_7 e^{i\gamma_7 x} + c_8 e^{i\gamma_8 x} \quad (3.40)$$

Denklem (3.39-3.40)'ı denklem (3.37-3.38)'de yerine yazdığımızda karşımıza şu saçılma denklemi çıkar;

$$v_f^2 \gamma_n^{iv} + (1 - \beta v_0^2) \gamma_n'' - 2\beta v_0 \gamma_n' - \omega^2 \gamma_n = 0 \quad (3.41)$$

Sınır şartlarımız ise şöyledir;

$$Y_1(0) = Y_2(1) = 0 \quad (3.42)$$

$$Y_1'(0) = Y_2'(1) = 0 \quad (3.43)$$

$$Y_1(\eta) = Y_2(\eta) \quad (3.44)$$

$$Y_1'(\eta) = Y_2'(\eta) \quad (3.45)$$

$$Y_2''(\eta) - Y_1''(\eta) = K_t Y_1'(\eta) \quad (3.46)$$

$$Y_1''''(\eta) - Y_2''''(\eta) = -\alpha_m \omega^2 Y_1(\eta) + K_c Y_1(\eta) \quad (3.47)$$

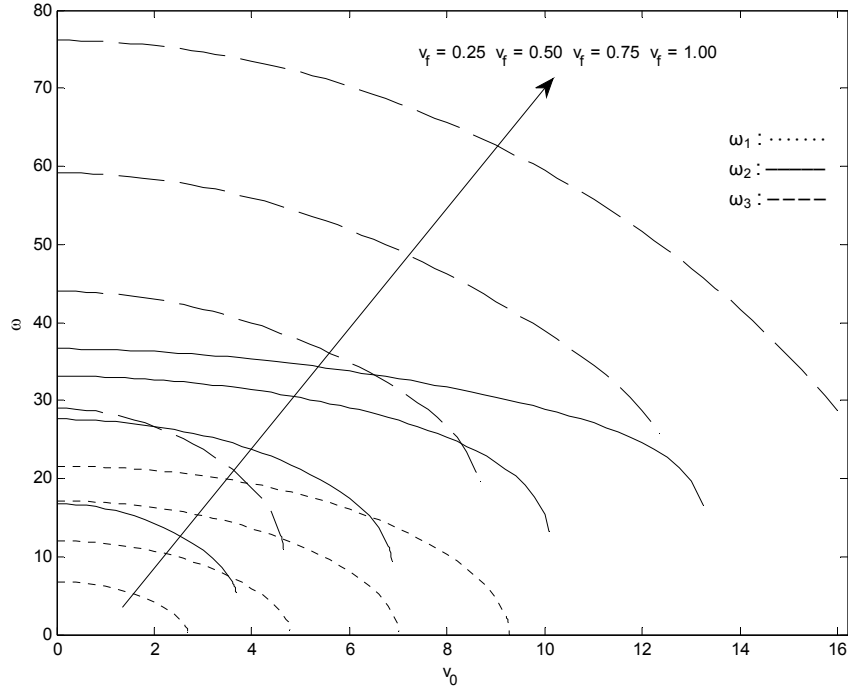
Aşağıdaki şekillerde değişik η - v_f - β - K_t - K_c ve α_m değerleri için akışkan hızının değişimine bağlı tabii frekans değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.1'de $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_f değişimini gösteren tabii frekans değerleri gösterilmiştir v_f değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri de artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.2'de $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için β değişimini gösteren grafik elde edilmiştir β değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri ($v_0=0$) değişmemekte daha sonra ise azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.3'de $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri için α_m konsantre kütle değerinin değişimini gösteren frekans değerleri elde edilmiştir. α_m değeri arttığında tabii frekansların değerleri azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.4'de ise $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri için K_t dönme yayı değerinin değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. K_t değeri arttığında tabii frekansların değerleri artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.5'de ise $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri için K_c lineer yayı değerinin değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. K_c değeri arttığında tabii frekansların değerleri artmaktadır. Fakat bu artış miktarı çok sınırlı olmaktadır bu yüzden grafiklerde yakınlılaştırmalar yapılarak artış miktarı gösterilmiştir. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır.

Şekil 3.6'da $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_f değişimini gösteren tabii frekans değerleri elde edilmiştir v_f değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri de artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.7'de $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için β değişimini gösteren frekans değerleri elde edilmiştir β değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri ($v_0=0$) değişmemekte daha sonra ise azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.8'de $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri için α_m değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. α_m değeri arttığında tabii frekansların değerleri azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.9'da ise $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri için K_t değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. K_t değeri arttığında tabii frekansların değerleri artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.10'da ise $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri için K_c lineer yayı değerinin değişimini gösteren frekans değerleri elde edilmiştir. K_c değeri arttığında tabii frekansların değerleri artmaktadır. Bu artış miktarı ikinci ve üçüncü modda çok sınırlı olmaktadır bu yüzden grafiklerde yakınlılaştırmalar yapılarak artış miktarı gösterilmiştir. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır.

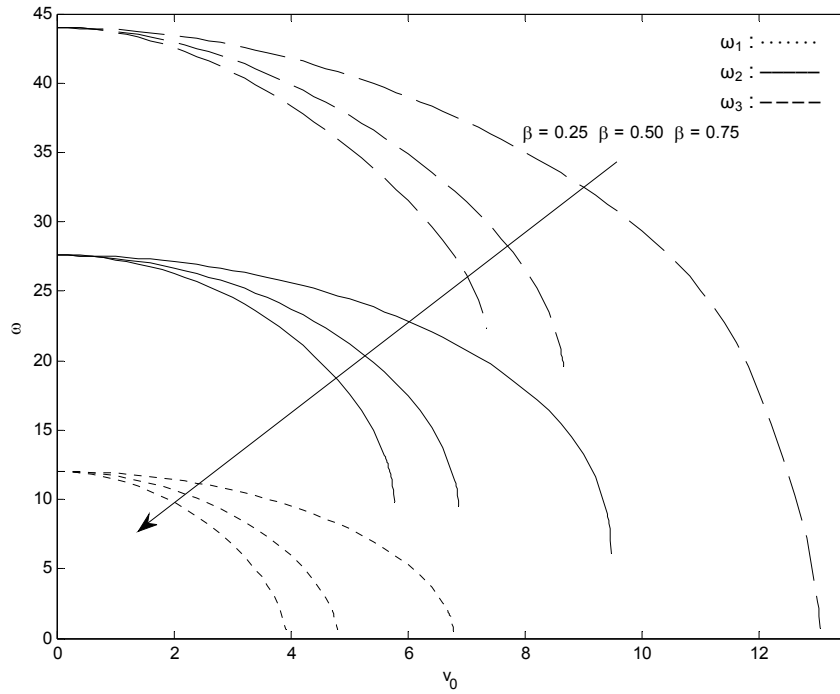
Şekil 3.11'de $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_f değişimini gösteren grafik elde edilmiştir v_f değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri de artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.12'de $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için β değişimini gösteren grafik elde edilmiştir β değeri arttığında ilk üç tabii frekans değeri ($v_0=0$) değişmemekte daha sonra ise azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.13'de $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri için α_m

değişimini gösteren frekans değerleri elde edilmiştir. α_m değeri arttığında tabi frekansların değerleri azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.14'de ise $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri için K_t değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. K_t değeri arttığında tabi frekansların değerleri artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Şekil 3.15'de ise $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri için K_c lineer yayı değerinin değişimini gösteren frekans değerleri elde edilmiştir. K_c değeri arttığında tabi frekansların değerleri artmaktadır. Tüm durumlarda bu artış miktarı birinci modda daha belirgin iken ikinci ve üçüncü modda sınırlı olmaktadır bu yüzden grafiklerde yakınlıştırmalar yapılarak artış miktarı gösterilmiştir. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır.

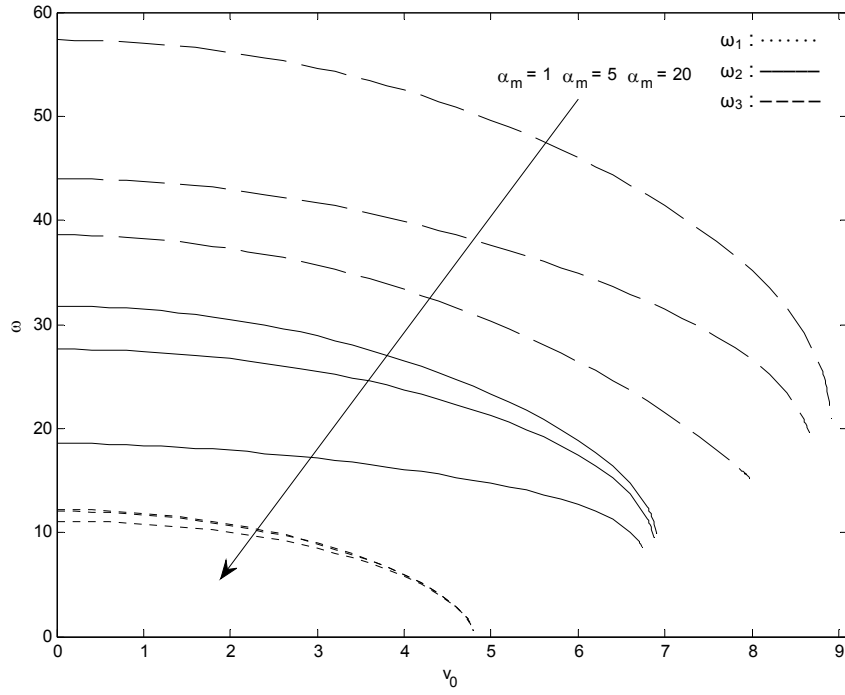
Şekil 3.16'da $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için η değişimini gösteren tabi frekans değerleri elde edilmiştir. Birinci tabii frekans değerleri için η konumu orta bölüme yaklaştığında değerler azalmaktadır. İkinci tabii frekans değerleri için en düşük frekans değeri $\eta=0.3$ ve en yüksek frekans değeri ise $\eta=0.5$ değerinde olmaktadır. Üçüncü tabii frekans değerlerinde ise $\eta=0.1$ için en düşük frekans değeri ve $\eta=0.3$ için en yüksek tabii frekans değeri elde edilmektedir. Her durum için akışkan hızı arttığında tabii frekans değerleri azalmaktadır.



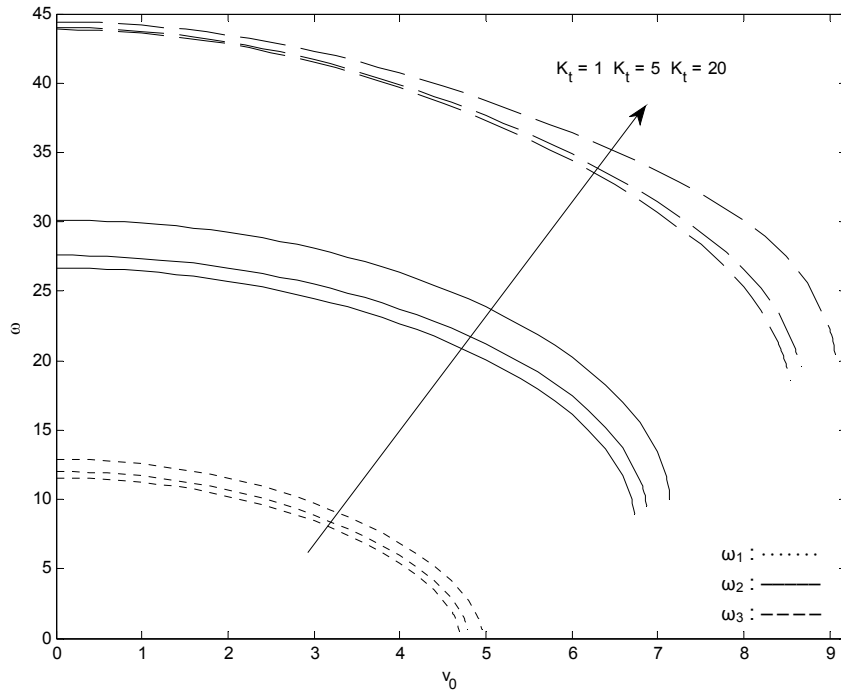
Şekil 3.1 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



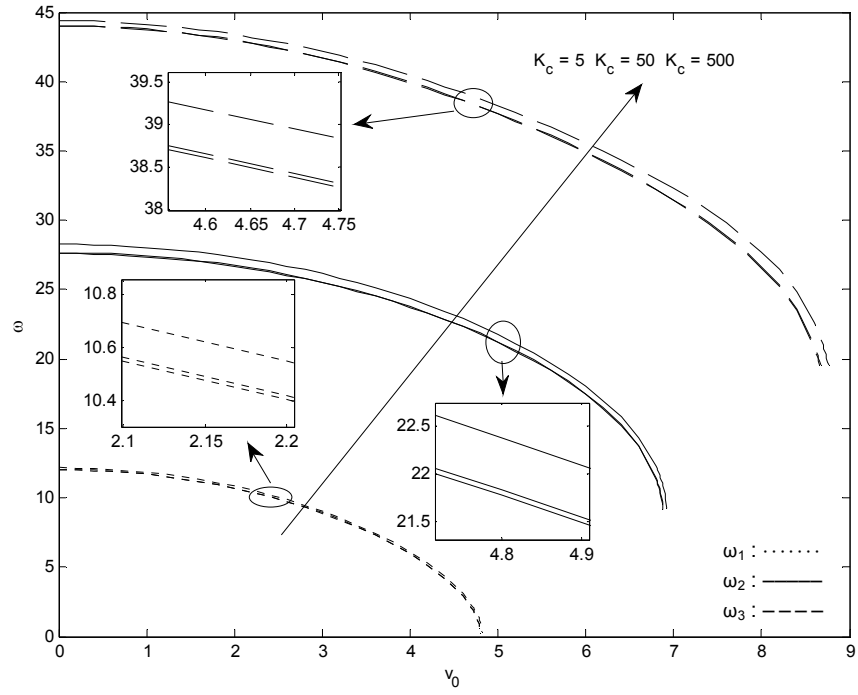
Şekil 3.2 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



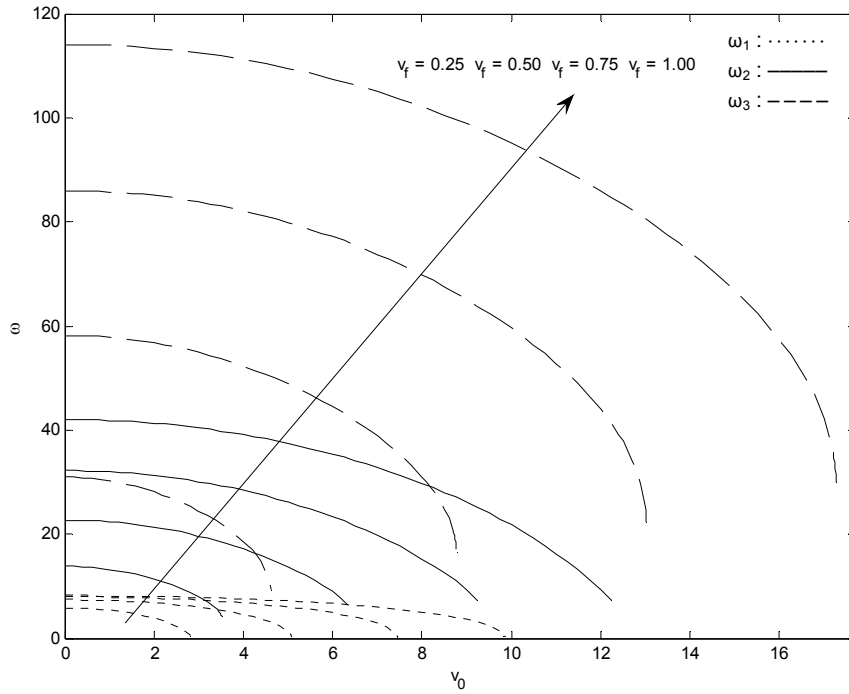
Şekil 3.3 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_f=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



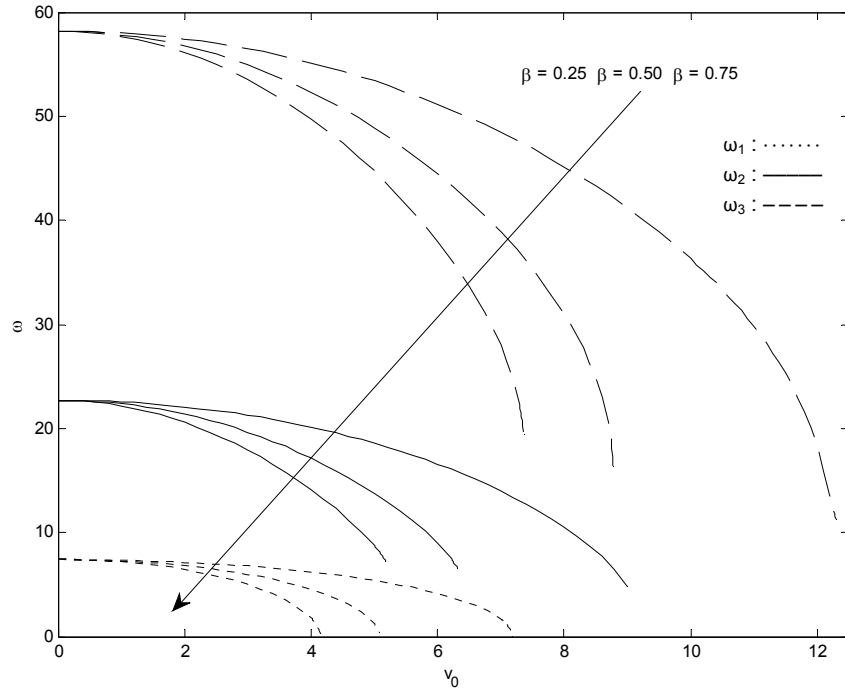
Şekil 3.4 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



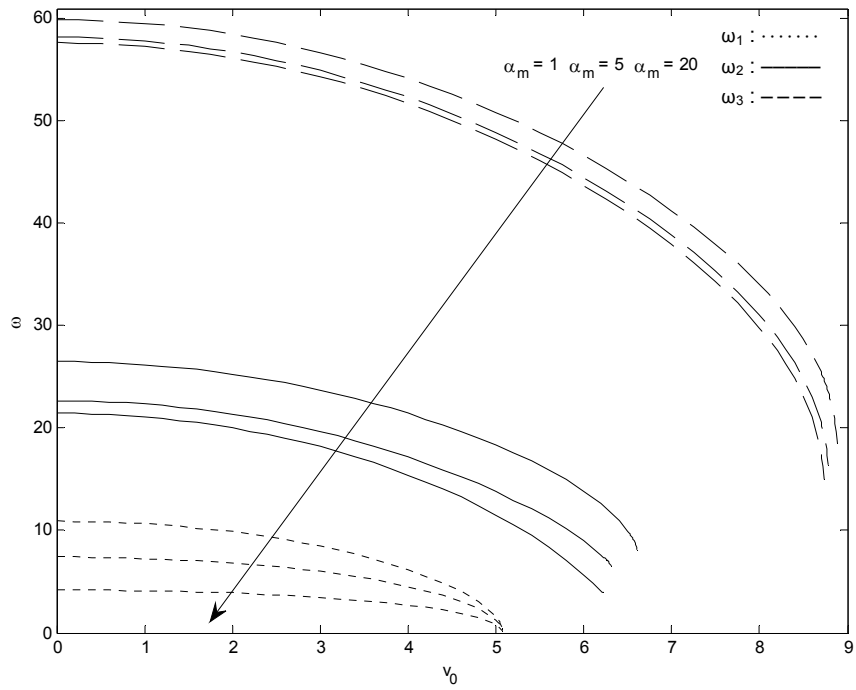
Şekil 3.5 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



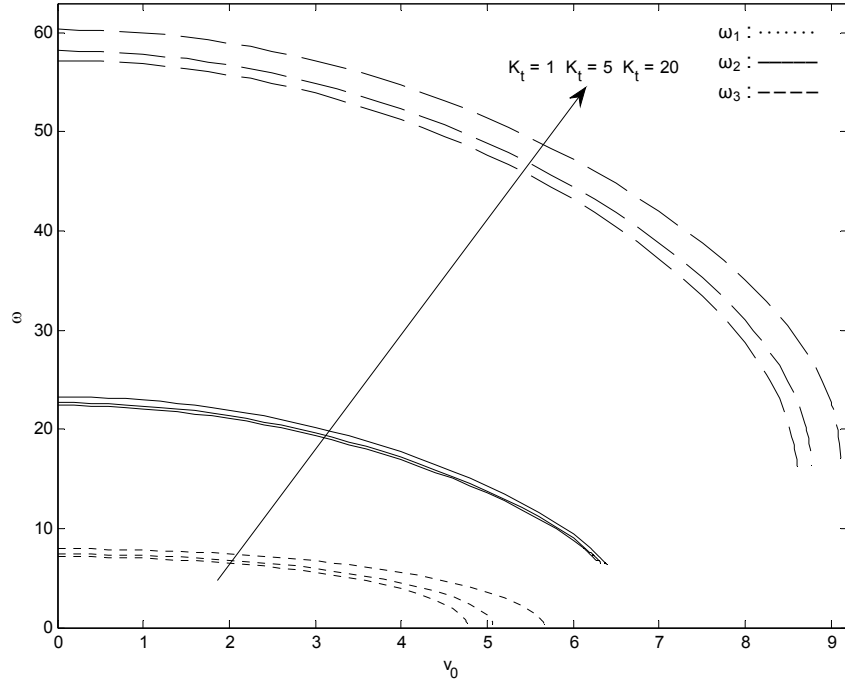
Şekil 3.6 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için ν_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



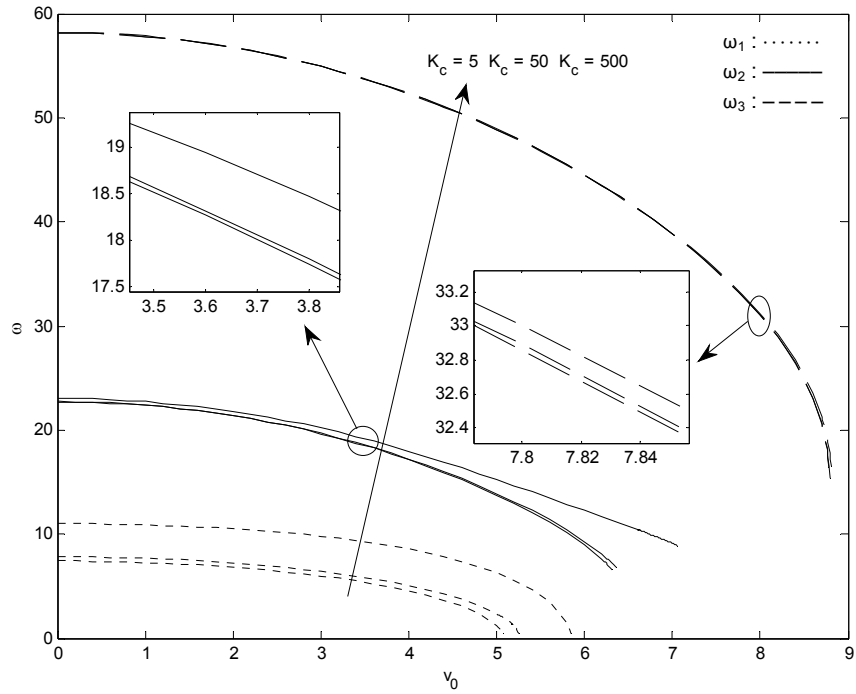
Şekil 3.7 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



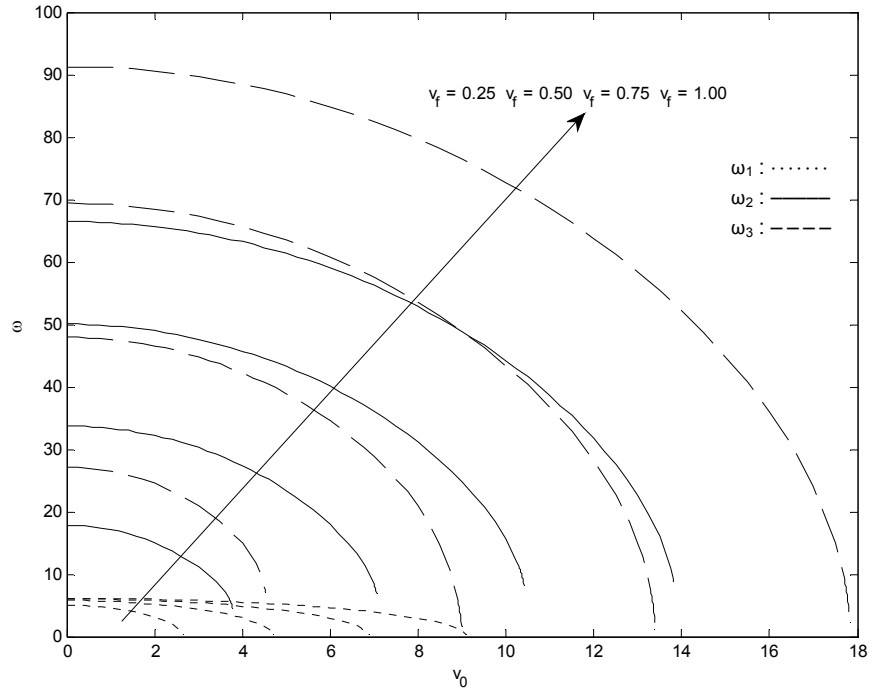
Şekil 3.8 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



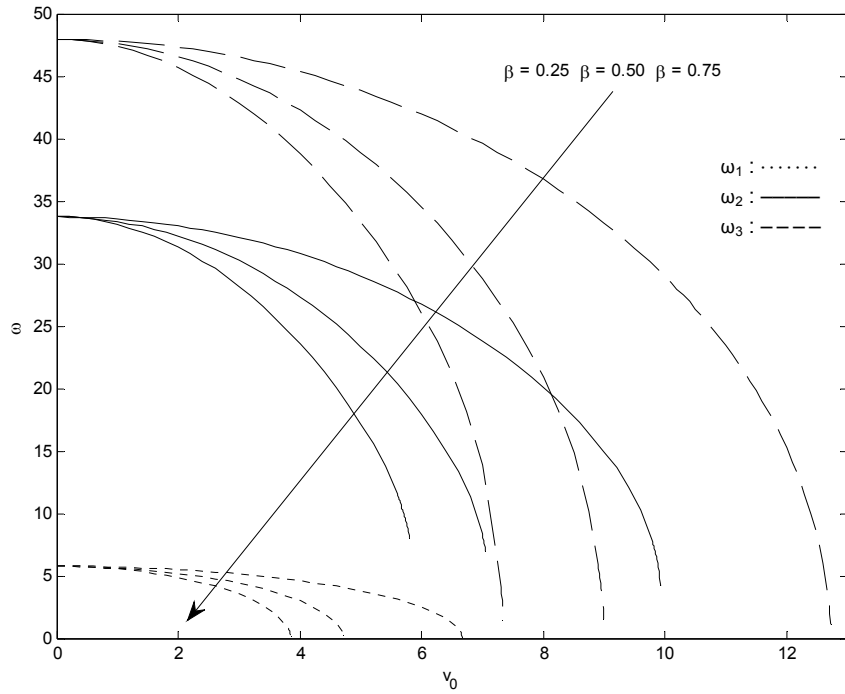
Şekil 3.9 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



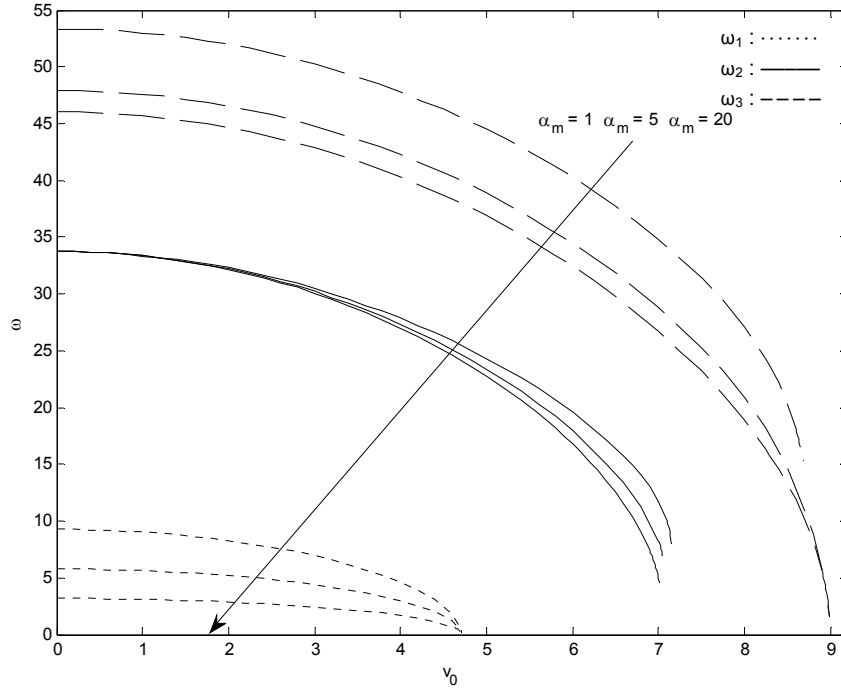
Şekil 3.10 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



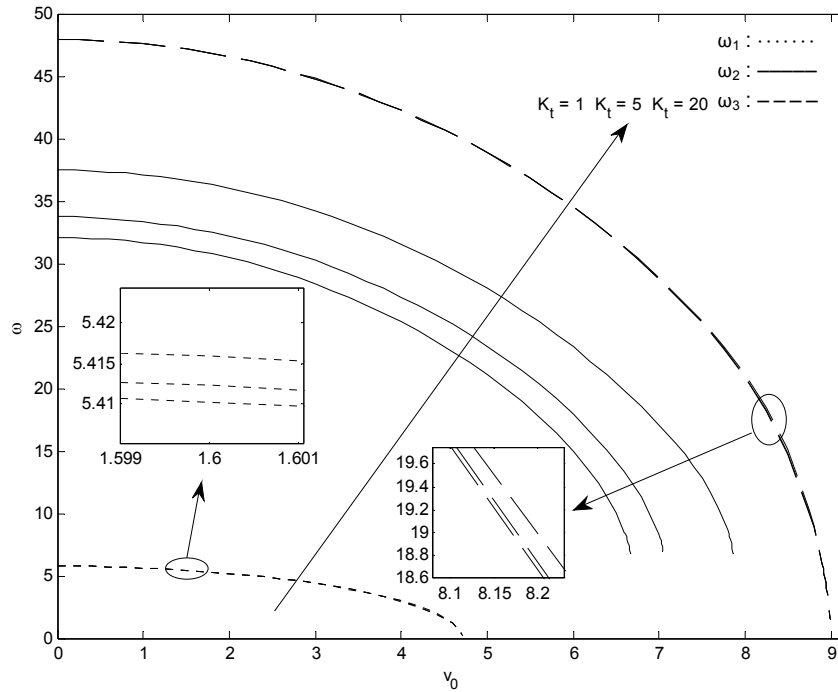
Şekil 3.11 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



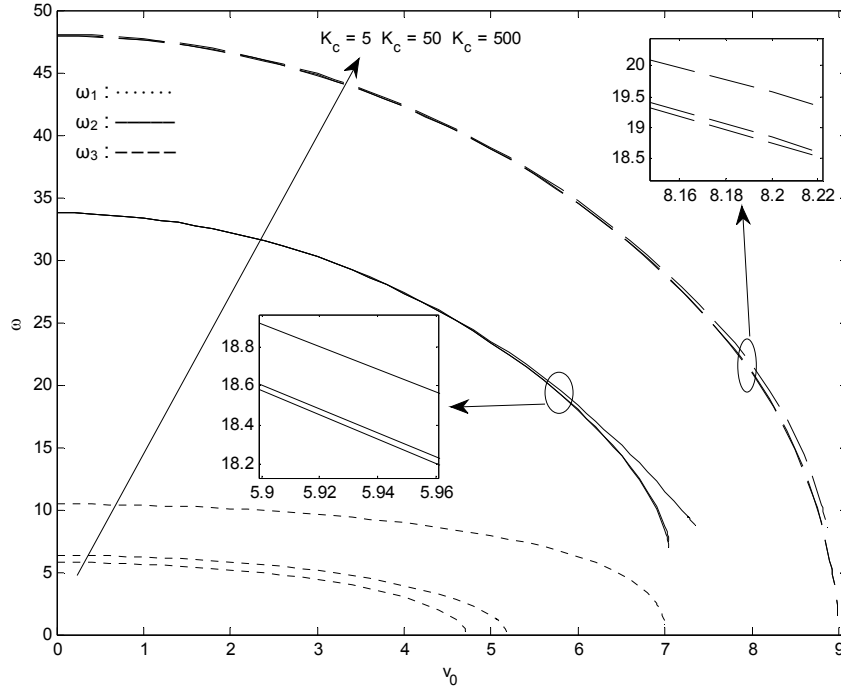
Şekil 3.12 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



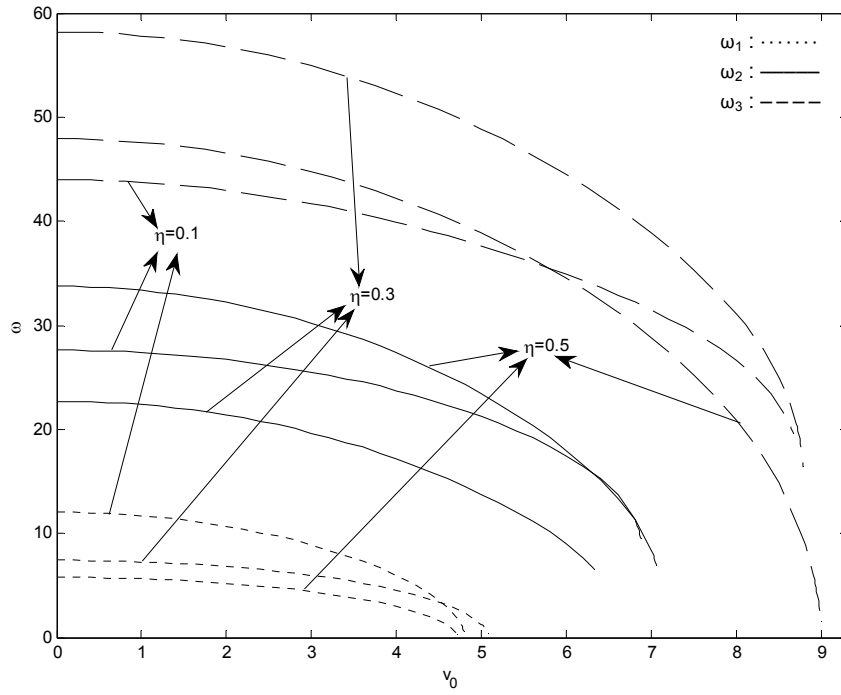
Şekil 3.13 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



Şekil 3.14 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



Şekil 3.15 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.



Şekil 3.16 $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı ilk üç tabii frekans değerleri.

3.2. Nonlinear problem

Bu bölümde nonlinear ifadelerin sistem üzerindeki etkileri incelenecektir. Bir mertebesinin çözümünü şu şekilde ifade etmiştik.

$$y_{11} = A(T_1)e^{i\omega T_0}Y_1(x) + \overline{A}(T_1)e^{-i\omega T_0}\overline{Y}_1(x) \quad (3.48)$$

$$y_{21} = A(T_1)e^{i\omega T_0}Y_2(x) + \overline{A}(T_1)e^{-i\omega T_0}\overline{Y}_2(x) \quad (3.49)$$

ε mertebesi olan nonlinear ifadelerimize ise bu bölümde sönüm ifadesi eklenmiştir. Sönüm ifadesi eklenmiş durumdaki denklemlerimiz şöyledir;

$$D_0^2 y_{12} + 2\beta D_0 v_0 y_{12}' + (\beta v_0^2 - 1)y_{12}'' + v_f^2 y_{12}^{iv} = -2D_0 D_1 y_{11} - 2\beta D_1 v_0 y_{11}' - 2\beta D_0 v_1 \sin \Omega t y_{11}' - \beta v_1 \Omega \cos \Omega t y_{11}' - 2\beta v_0 v_1 \sin \Omega t y_{11}'' - \mu D_0 y_{11} + \frac{1}{2} v_b^2 y_{11}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^\eta y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_{21}'^2 dx \right] \quad (3.50)$$

$$D_0^2 y_{22} + 2\beta D_0 v_0 y_{22}' + (\beta v_0^2 - 1)y_{22}'' + v_f^2 y_{22}^{iv} = -2D_0 D_1 y_{21} - 2\beta D_1 v_0 y_{21}' - 2\beta D_0 v_1 \sin \Omega t y_{21}' - \beta v_1 \Omega \cos \Omega t y_{21}' - 2\beta v_0 v_1 \sin \Omega t y_{21}'' - \mu D_0 y_{21} + \frac{1}{2} v_b^2 y_{21}'' \left[\frac{1}{2} \int_0^\eta y_{11}'^2 dx + \frac{1}{2} \int_\eta^1 y_{21}'^2 dx \right] \quad (3.51)$$

Sınır şartları:

$$y_{12}(0) = y_{22}(1) = 0 \quad (3.52)$$

$$y_{12}'(0) = y_{22}'(1) = 0 \quad (3.53)$$

$$y_{12}(\eta) = y_{22}(\eta) \quad (3.54)$$

$$y_{12}'(\eta) = y_{22}'(\eta) \quad (3.55)$$

$$y_{22}''(\eta) - y_{12}''(\eta) = K_t y_{12}'(\eta) \quad (3.56)$$

$$y_{12}'''(\eta) - y_{22}'''(\eta) = \alpha_m (2D_0 D_1 y_{11}(\eta) + D_0^2 y_{12}(\eta)) + K_c y_{12}(\eta) \quad (3.57)$$

Nonlinear mertebenin çözümünü şu şekilde önerelim

$$y_{12} = \xi_1(x, T_1)e^{i\omega T_0} + W_1(x, T_0, T_1) + \overline{\xi}_1(x, T_1)e^{-i\omega T_0} + \overline{W}_1(x, T_0, T_1) \quad (3.58)$$

$$y_{22} = \xi_2(x, T_1)e^{i\omega T_0} + W_2(x, T_0, T_1) + \overline{\xi}_2(x, T_1)e^{-i\omega T_0} + \overline{W}_2(x, T_0, T_1) \quad (3.59)$$

Trigonometrik ifadeleri de kompleks formda yazalım

$$\sin \Omega t = \frac{e^{i\Omega T_0} - e^{-i\Omega T_0}}{2i} \quad \cos \Omega t = \frac{e^{i\Omega T_0} + e^{-i\Omega T_0}}{2} \quad (3.60)$$

Denklem (3.58-3.60)'ı denklem (3.50-3.51)'de ve sınır şartlarında yerine yazdığımızda aşağıdaki denklemleri elde ederiz

$$\begin{aligned} & \left[-\omega^2 \xi_1 + 2\beta v_0 i \omega \xi_1' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_1'' + v_f^2 \xi_1^{iv} \right] e^{i\omega T_0} = -2D_1 A e^{i\omega T_0} \left(i\omega Y_1 + \beta v_0 Y_1' \right) \\ & + \beta v_1 A e^{i(\Omega+\omega)T_0} \left(-\omega Y_1' - \frac{\Omega}{2} Y_1' + i v_0 Y_1'' \right) + \beta v_1 \bar{A} e^{i(\Omega-\omega)T_0} \left(\omega \bar{Y}_1' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_1' + i v_0 \bar{Y}_1'' \right) - \mu A e^{i\omega T_0} (i\omega Y_1) \\ & + \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} e^{i\omega T_0} \left[2Y_1'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_1'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] + \text{k.e.} + \text{S.O.T.} \end{aligned} \quad (3.61)$$

$$\begin{aligned} & \left[-\omega^2 \xi_2 + 2\beta v_0 i \omega \xi_2' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_2'' + v_f^2 \xi_2^{iv} \right] e^{i\omega T_0} = -2D_1 A e^{i\omega T_0} \left(i\omega Y_2 + \beta v_0 Y_2' \right) \\ & + \beta v_1 A e^{i(\Omega+\omega)T_0} \left(-\omega Y_2' - \frac{\Omega}{2} Y_2' + i v_0 Y_2'' \right) + \beta v_1 \bar{A} e^{i(\Omega-\omega)T_0} \left(\omega \bar{Y}_2' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_2' + i v_0 \bar{Y}_2'' \right) - \mu A e^{i\omega T_0} (i\omega Y_2) \\ & + \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} e^{i\omega T_0} \left[2Y_2'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_2'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] + \text{k.e.} + \text{S.O.T.} \end{aligned} \quad (3.62)$$

$$\xi_1(0) = \xi_2(1) = 0 \quad (3.63)$$

$$\xi_1'(0) = \xi_2'(1) = 0 \quad (3.64)$$

$$\xi_1(\eta) = \xi_2(\eta) \quad (3.65)$$

$$\xi_1'(\eta) = \xi_2'(\eta) \quad (3.66)$$

$$\xi_1''(\eta) - \xi_2''(\eta) = K_t \xi_1'(\eta) \quad (3.67)$$

$$\xi_1'''(\eta) - \xi_2'''(\eta) = \alpha_m (D_1 A (i\omega Y_1) + A (-\omega^2 Y_2)) + K_c \xi_1(\eta) \quad (3.68)$$

Burada sekülerlik oluşturan terimleri yok etmek için çözülebilirlik şartına ihtiyacımız vardır. Çözülebilirlik şartlarını akışkan hızı değişim frekansının farklı durumları için ayrı ayrı bölümler halinde inceleyeceğiz.

3.2.1. Temel parametrik rezonans

Bu durum akışkan hızı değişim frekansının sistemin doğal frekansının yaklaşık 2 katı olduğu durumdur. Oluşan bu rezonans durumu temel parametrik rezonans olarak adlandırılır.

$$\Omega = 2\omega + \varepsilon\sigma \quad (3.69)$$

Bu ifadeyi denklem (3.61-3.62)'de yerine yazarsak

$$\begin{aligned} & -\omega^2 \xi_1 + 2\beta v_0 i \omega \xi_1' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_1'' + v_f^2 \xi_1^{IV} = -2D_1 A (i\omega Y_1 + \beta v_0 Y_1') \\ & + \beta v_1 \bar{A} e^{i\sigma T_1} \left(\omega \bar{Y}_1' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_1' + i v_0 \bar{Y}_1'' \right) - \mu A (i\omega Y_1) \\ & + \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} \left[2Y_1'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_1'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] + \text{k.e.} + \text{S.O.T.} \end{aligned} \quad (3.70)$$

$$\begin{aligned} & -\omega^2 \xi_2 + 2\beta v_0 i \omega \xi_2' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_2'' + v_f^2 \xi_2^{IV} = -2D_1 A (i\omega Y_2 + \beta v_0 Y_2') \\ & + \beta v_1 \bar{A} e^{i\sigma T_1} \left(\omega \bar{Y}_2' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_2' + i v_0 \bar{Y}_2'' \right) - \mu A (i\omega Y_2) \\ & + \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} \left[2Y_2'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_2'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] + \text{k.e.} + \text{S.O.T.} \end{aligned} \quad (3.71)$$

Olarak yazılabilir. Elde edilen denklemlerin homojen kısmı basit olmayan bir çözümü olduğuna göre homojen olmayan kısmın çözümünün olabilmesi ancak bir çözülebilirlik şartının olmasına bağlıdır. (3.70-3.71) denkleminde sol tarafı şöyle yazabiliriz her iki bölge içinde ayrı ayrı

$$L_1(\xi_1) = -\omega^2 \xi_1 + 2\beta v_0 i \omega \xi_1' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_1'' + v_f^2 \xi_1^{IV} \quad (3.72)$$

$$L_2(\xi_2) = -\omega^2 \xi_2 + 2\beta v_0 i \omega \xi_2' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_2'' + v_f^2 \xi_2^{IV} \quad (3.73)$$

(3.70-3.71) denkleminde sağ tarafı da şöyle yazarsak her iki bölge içinde ayrı ayrı

$$\begin{aligned} \{\text{sağ taraf 1}\} &= -2D_1 A (i\omega Y_1 + \beta v_0 Y_1') + \beta v_1 \bar{A} e^{i\sigma T_1} \left(\omega \bar{Y}_1' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_1' + i v_0 \bar{Y}_1'' \right) - \mu A (i\omega Y_1) \\ &+ \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} \left[2Y_1'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_1'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] \end{aligned} \quad (3.74)$$

$$\begin{aligned} \{\text{sağ taraf 2}\} = & -2D_1 A \left(i\omega Y_2 + \beta v_0 Y_2' \right) + \beta v_1 \bar{A} e^{i\sigma_1 \tau_1} \left(\omega \bar{Y}_2' - \frac{\Omega}{2} \bar{Y}_2' + i v_0 \bar{Y}_2'' \right) - \mu A (i\omega Y_2) \\ & + \frac{1}{2} v_0^2 A^2 \bar{A} \left[2Y_2'' \left(\int_0^\eta Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_\eta^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \bar{Y}_2'' \left(\int_0^\eta Y_1'^2 dx + \int_\eta^1 Y_2'^2 dx \right) \right] \end{aligned} \quad (3.75)$$

Denklemler şu şekilde yazılabilir, denklemleri keyfi g fonksiyonu ile çarptığımızda

$$\int_0^\eta g_1 L_1 dx = \int_0^\eta g_1 \{\text{sağ taraf 1}\} dx \quad (3.76)$$

$$\int_\eta^1 g_2 L_2 dx = \int_\eta^1 g_2 \{\text{sağ taraf 2}\} dx \quad (3.77)$$

Denklemlerin sol tarafının çözümünü yapacak olursak,

$$\int_0^\eta g_1 L_1 dx = \int_0^\eta g_1 \left\{ -\omega^2 \xi_1 + 2\beta v_0 i\omega \xi_1' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_1'' + v_f^2 \xi_1^{IV} \right\} dx \quad (3.78)$$

$$\int_\eta^1 g_2 L_2 dx = \int_\eta^1 g_2 \left\{ -\omega^2 \xi_2 + 2\beta v_0 i\omega \xi_2' + (\beta v_0^2 - 1) \xi_2'' + v_f^2 \xi_2^{IV} \right\} dx \quad (3.79)$$

Daha sonra türevleri kısmi integrasyon ($uv - \int v du$) metodunu kullanarak g fonksiyonuna aktardığımızda ve gerekli düzenlemeleri yaptığımızda sol tarafın son hali şöyle olur.

$$\begin{aligned} & \int_0^\eta \left[-\omega^2 g_1 - 2\beta v_0 i\omega g_1' + (\beta v_0^2 - 1) g_1'' + v_f^2 g_1^{IV} \right] \xi_1 dx + \\ & 2\beta v_0 i\omega (g_1 \xi_1) \Big|_0^\eta + (\beta v_0^2 - 1) \left((g_1 \xi_1') - (g_1' \xi_1) \right) \Big|_0^\eta \\ & + v_f^2 \left((g_1 \xi_1''') - (g_1' \xi_1'') + (g_1'' \xi_1') - (g_1''' \xi_1) \right) \Big|_0^\eta \end{aligned} \quad (3.80)$$

$$\begin{aligned} & \int_\eta^1 \left[-\omega^2 g_2 - 2\beta v_0 i\omega g_2' + (\beta v_0^2 - 1) g_2'' + v_f^2 g_2^{IV} \right] \xi_2 dx + \\ & 2\beta v_0 i\omega (g_2 \xi_2) \Big|_\eta^1 + (\beta v_0^2 - 1) \left((g_2 \xi_2') - (g_2' \xi_2) \right) \Big|_\eta^1 \\ & + v_f^2 \left((g_2 \xi_2''') - (g_2' \xi_2'') + (g_2'' \xi_2') - (g_2''' \xi_2) \right) \Big|_\eta^1 \end{aligned} \quad (3.81)$$

Buradan

$$\begin{aligned}\xi_1(0) &= \xi_2(1) = 0 \\ \xi_1'(0) &= \xi_2'(1) = 0\end{aligned}\quad (3.82)$$

Olmalıdır ki kalan terimler sıfıra eşit olsun.

$$\int_0^1 \left[-\omega^2 g_1 - 2\beta v_0 i \omega g_1' + (\beta v_0^2 - 1) g_1'' + v_f^2 g_1^{IV} \right] \xi_1 dx = 0 \quad (3.83)$$

$$\int_1^2 \left[-\omega^2 g_2 - 2\beta v_0 i \omega g_2' + (\beta v_0^2 - 1) g_2'' + v_f^2 g_2^{IV} \right] \xi_2 dx = 0 \quad (3.84)$$

Burada denklem (3.83-3.84) sıfır olabilmesi için parantez içindeki ifadelerin sıfır olması gerekir.

$$-\omega^2 g_1 - 2\beta v_0 i \omega g_1' + (\beta v_0^2 - 1) g_1'' + v_f^2 g_1^{IV} = 0 \quad (3.85)$$

$$-\omega^2 g_2 - 2\beta v_0 i \omega g_2' + (\beta v_0^2 - 1) g_2'' + v_f^2 g_2^{IV} = 0 \quad (3.86)$$

Bu durumda keyfi seçtiğimiz g fonksiyonunun 1 mertebesi çözümü için kullandığımız fonksiyonun eşleniğine eşit olduğu görülmektedir.

$$g_1 = \bar{Y}_1 \quad g_2 = \bar{Y}_2 \quad (3.87)$$

Denklem (3.87), denklem (3.74-3.75)'de yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned}0 &= -2D_1 A \left(i\omega \left(\int_0^1 Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^1 Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right) \\ &+ \beta v_f A e^{i\omega T_1} \left(\omega \left(\int_0^1 Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) - \frac{\Omega}{2} \left(\int_0^1 \bar{Y}_1' Y_1 dx + \int_1^2 \bar{Y}_2' Y_2 dx \right) + i v_0 \left(\int_0^1 \bar{Y}_1'' Y_1 dx + \int_1^2 \bar{Y}_2'' Y_2 dx \right) \right) \\ &- \mu A \left(i\omega \left(\int_0^1 Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) \right) \\ &+ \frac{1}{2} v_b^2 A^2 \bar{A} \left[2 \left(\int_0^1 Y_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \left(\int_0^1 Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) + \left(\int_0^1 \bar{Y}_1'' Y_1 dx + \int_1^2 \bar{Y}_2'' Y_2 dx \right) \left(\int_0^1 Y_1'^2 dx + \int_1^2 Y_2'^2 dx \right) \right]\end{aligned}\quad (3.88)$$

Gerekli düzenlemelerin ardından kompleks genliklerin zamanla değişimini veren denklem (çözülebilirlik şartı) denklem (3.89)'daki gibi bulunur

$$D_1 A + k_0 \bar{A} e^{i\omega T_1} + S_{\mu} \mu A - k_3 A^2 \bar{A} = 0 \quad (3.89)$$

Burada tanımlanan katsayılar şöyledir

$$k_0 = \beta v_1 \frac{\left[(\Omega - 2\omega) \left(\int_0^1 \bar{Y}_1' Y_1 dx + \int_1^2 \bar{Y}_2' Y_2 dx \right) - i v_0 \left(\int_0^1 \bar{Y}_1'' Y_1 dx + \int_1^2 \bar{Y}_2'' Y_2 dx \right) \right]}{4 \left(i\omega \left(\int_0^1 Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^1 Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_1^2 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right)} \quad (3.90)$$

$$S_1 = \frac{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) \right)}{2 \left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) \right)} \quad (3.91)$$

$$k_3 = \frac{1}{4} v_b^2 \frac{\left[2 \left(\int_0^{\eta} Y_1'' \bar{Y}_1'' dx + \int_{\eta}^1 Y_2'' \bar{Y}_2'' dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1'' \bar{Y}_1'' dx + \int_{\eta}^1 Y_2'' \bar{Y}_2'' dx \right) \right]}{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) \right)} \quad (3.92)$$

Kompleks genlikler aşağıdaki gibi ifade edilecek olursa

$$A = \frac{1}{2} a e^{i\theta} \quad A^2 = \frac{1}{4} a^2 e^{2i\theta} \quad \bar{A} = \frac{1}{2} a e^{-i\theta} \quad D_1 A = \frac{1}{2} D_1 a e^{i\theta} + \frac{1}{2} a i D_1 \theta e^{i\theta} = \frac{1}{2} (D_1 a + a i D_1 \theta) e^{i\theta} \quad (3.93)$$

Denklem (3.93), denklem (3.89)'da yerine yazarsak

$$\frac{1}{2} (D_1 a + a i D_1 \theta) e^{i\theta} + k_0 \frac{1}{2} a e^{-i\theta} e^{i\sigma T_1} + S_{11} \mu \frac{1}{2} a e^{i\theta} - k_3 \frac{1}{4} a^2 e^{2i\theta} \frac{1}{2} a e^{-i\theta} = 0 \quad (3.94)$$

k_0 katsayısını $e^{i\theta}$ ve $e^{-i\theta}$ ile çarparsak

$$(D_1 a + a i D_1 \theta) + k_0 a e^{i(\sigma T_1 - 2\theta)} + S_{11} \mu a - k_3 \frac{1}{4} a^3 = 0 \quad (3.95)$$

Elde edilir.

$$\gamma = \sigma T_1 - 2\theta \quad \theta = \frac{\sigma T_1 - \gamma}{2} \quad D_1 \theta = \frac{\sigma - D_1 \gamma}{2} \quad (3.96)$$

$$e^{i\gamma} = \cos \gamma + i \sin \gamma \quad (3.97)$$

$$D_1 a + i \frac{1}{2} a \sigma - i \frac{1}{2} a D_1 \gamma + k_0 a (\cos \gamma + i \sin \gamma) + S_{11} \mu a - k_3 \frac{1}{4} a^3 = 0 \quad (3.98)$$

Katsayılarımız için denklem (3.99)'daki değerleri kullanabiliriz, burada k_{3R} ve S_{11} değerlerinin sıfıra çok yakın olduğu görülmüştür.

$$k_0 = k_{0R} + i k_{0I} \quad k_3 = k_{3R} + i k_{3I} \quad S_{11} = S_{1R} + i S_{1I} \quad (3.99)$$

Denklemleri gerçel ve sanal kısımlara ayırdığımızda

$$D_1 a = a (k_{0I} \sin \gamma - k_{0R} \cos \gamma - S_{1R} \mu) = F_1(a, \gamma) \quad (3.100)$$

$$a D_1 \gamma = a \sigma + 2a (k_{0R} \sin \gamma + k_{0I} \cos \gamma) + 2S_{1I} \mu a - k_{3I} \frac{1}{2} a^3 = F_2(a, \gamma) \quad (3.101)$$

Sistemimizi düzgün rejim bölgesi için inceliyoruz ($D_1 a = D_1 \gamma = 0$), bu durumda $a=0$ ve $a \neq 0$ olmak üzere iki durum karşımıza çıkar, öncelikle $a \neq 0$ durumu için sistemi incelediğimizde denklemlerimiz şöyle elde edilir.

$$0 = k_{01} \sin \gamma - k_{0R} \cos \gamma - S_{1R} \mu \quad (3.102)$$

$$0 = \sigma + 2(k_{0R} \sin \gamma + k_{01} \cos \gamma) - k_{31} \frac{1}{2} a^2 \quad (3.103)$$

Denklem (3.102-3.103) ortak çözülerek, γ terimi yok edilirse, σ ayar parametresi şöyle elde edilir.

$$\sigma_{1-2} = k_{31} \frac{1}{2} a^2 \pm 2 \sqrt{k_{0R}^2 + k_{01}^2 - (S_{1R} \mu)^2} \quad (3.104)$$

Kararlılık sınırlarını belirleyebilmemiz için Jakobiyen matrisi elde etmeli ve bu matrisin özdeğerlerini bulmamız gerekmektedir. Denklem (3.102-3.103) jakobiyen matrisini elde etmek için kullanılırsa

$$\frac{\partial F_1}{\partial a} = k_{01} \sin \gamma - k_{0R} \cos \gamma - S_{1R} \mu = 0 \quad (3.105)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \gamma} = a(k_{01} \cos \gamma + k_{0R} \sin \gamma) = a \left(k_{31} \frac{1}{4} a^2 - \frac{\sigma}{2} \right) \quad (3.106)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial a} = -a k_{31} \quad (3.107)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \gamma} = 2(k_{0R} \cos \gamma_0 - k_{01} \sin \gamma_0) = -2S_{1R} \mu \quad (3.108)$$

Elde edilir bu ifadeler matriste yerine yazılırsa

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial a} & \frac{\partial F_1}{\partial \gamma} \\ \frac{\partial F_2}{\partial a} & \frac{\partial F_2}{\partial \gamma} \end{vmatrix}_{\substack{a=a_0 \\ \gamma=\gamma_0}} \quad (3.109)$$

$$\begin{vmatrix} 0 - \lambda & a \left(k_{31} \frac{1}{4} a^2 - \frac{\sigma}{2} \right) \\ -a k_{31} & -2S_{1R} \mu - \lambda \end{vmatrix}_{\substack{a=a_0 \\ \gamma=\gamma_0}} = 0 \quad (3.110)$$

Sonuçta özdeğerler denklem (3.111)'deki gibi bulunur.

$$\lambda_{1-2} = -\mu S_{1R} \mp \frac{1}{2} \sqrt{4\mu^2 S_{1R}^2 + a^2 k_{31} (-a^2 k_{31} + 2\sigma)} \quad (3.111)$$

Elde edilen özdeğerler σ_1 ve σ_2 değerlerinin kararlılığı için belirleyici olacaktır. Bu durumda σ_1 her zaman kararlı ve σ_2 her zaman kararsız olacaktır. bu durum frekans-tepki (σ -a) grafiklerinde kararlı durum düz çizgi (___) ve kararsız durum nokta (.....) şeklinde gösterilmiştir.

İkinci olarak $a=0$ durumunu incelediğimizde bu durumun basit çözüm olduğu görülür burada denklem (3.100-3.101)'i kullanamayız onun yerine A' 'yı kutupsal formda yazdığımızda

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2}(p+iq)e^{\frac{i\sigma}{2}\tau_1} \quad A^2 = \frac{1}{4}(p+iq)^2 e^{i\sigma\tau_1} \quad \bar{A} = \frac{1}{2}(p-iq)e^{-\frac{i\sigma}{2}\tau_1} \\ D_1 A &= \frac{1}{2}D_1(p+iq)e^{\frac{i\sigma}{2}\tau_1} + \frac{1}{2}(p+iq)\frac{\sigma}{2}e^{\frac{i\sigma}{2}\tau_1} = \frac{1}{2}\left(D_1 p + iD_1 q + ip\frac{\sigma}{2} - iq\frac{\sigma}{2}\right)e^{\frac{i\sigma}{2}\tau_1} \end{aligned} \quad (3.112)$$

Bu terimleri çözülebilirlik şartı olan denklem (3.89)'da yerine yazıp gerçel ve sanal kısımlarını düzenlediğimizde

$$D_1 p = q\left(\frac{\sigma}{2} - k_{0I}\right) + p(-k_{0R} - \mu S_{1R}) - \frac{1}{4}k_{3I}q(p^2 - q^2) = F_1(p, q) \quad (3.113)$$

$$D_1 q = p\left(-k_{0I} - \frac{\sigma}{2}\right) + q(k_{0R} - \mu S_{1R}) + \frac{1}{4}k_{3I}p(p^2 + q^2) = F_2(p, q) \quad (3.114)$$

İfadeleri elde edilir kararlılık analizi için jakobiyen matrisi oluşturulup sistemin özdeğerleri bulunduğunda,

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial p} & \frac{\partial F_1}{\partial q} \\ \frac{\partial F_2}{\partial p} & \frac{\partial F_2}{\partial q} \end{vmatrix}_{p=q=0} \quad (3.115)$$

$$\begin{vmatrix} (-k_{0R} - \mu S_{1R}) - \lambda & \frac{\sigma}{2} - k_{0I} \\ \left(-k_{0I} - \frac{\sigma}{2}\right) & (k_{0R} - \mu S_{1R}) - \lambda \end{vmatrix}_{p=q=0} \quad (3.116)$$

$$\lambda_{1,2} = -\mu S_{1R} \mp \frac{1}{2}\sqrt{4(k_{0R}^2 + k_{0I}^2) - (\sigma)^2} \quad (3.117)$$

Elde edilir. $\lambda=0$ kabulü yaparak σ ayar parametresi denklem (3.118) gibi bulunur.

$$\sigma_{1,2} = \mp 2\sqrt{(k_{0R}^2 + k_{0I}^2) - (\mu S_{1R})^2} \quad (3.118)$$

Aşağıda, değişik parametreler ve farklı değerler için oluşturulmuş frekans-tepki (σ -a) ve akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin değişimini gösteren (Ω - v_0) şekiller yer almaktadır. Burada akışkan hızı değişim frekansının sistemin doğal frekansının yaklaşık 2 katı olduğu durum ele alınmıştır. Grafikler elde edilirken $\varepsilon=0.1$ - $v_1=5$ - $v_0=5$ - $\mu=0.5$ ve sabit hız durumunda $v_0=2$ olarak hesaplamalar yapılmıştır.

Şekil 3.17'de $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_0 değişimini gösteren 1. mod frekans-tepki grafiği elde edilmiştir. v_0 akışkan hız değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Şekil 3.18'de 2. mod için ve Şekil 3.19'da da 3. mod için grafikler elde edilmiştir her üç modda da v_0 akışkan hız değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemekte 3. modda değerler daha büyük çıkmaktadır.

Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de ise $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_0 değişimini gösteren ilk 3 mod frekans-tepki grafiği elde edilmiştir. Her durumda v_0 arttığında kararlılık bölgeleri genişlemektedir. 3. mod en geniş kararsızlık aralığına sahip durumu göstermektedir.

Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 ise $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri için v_0 değişimini gösteren ilk 3 mod frekans-tepki grafiği elde edilmiştir. v_0 akışkan hız değişimi arttığında kararlılık bölgeleri genişlemektedir.

Şekil 3.26 ile Şekil 3.61 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları (η), kirişlik katsayısı (v_f), doluluk oranı (β), dönme yay katsayısı (K_t), lineer yay katsayısı (K_c) ve konsantre kütle (α_m) değerleri için elde edilmiş, akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) değişiminin ilk 3 modunu göstermektedir. Grafiklerde 1. Mod (.....), 2. Mod (—) ve 3. Mod (----) ile gösterilmiştir.

Şekil 3.26 ile Şekil 3.29 arasındaki grafikler, $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik kirişlik katsayı v_f değerleri için oluşturulmuştur. Burada Şekil 3.26'da $v_f=0.25$ değeri için ilk üç mod kararsızlık bölgesinin değişimi görülmektedir. Birinci modda kararsızlık bölgesi ikinci ve üçüncü moddan daha dar elde edilmiştir. Akışkan hızı v_0 arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra ise daralmaktadır. Şekil 3.27, $v_f=0.50$ için elde edilmiştir. Burada da kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 ise $v_f=0.75-1.00$ değerleri için elde edilmiştir. Bu değerler için de kararsızlık bölgeleri akışkan hızı v_0 arttığında önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır.

Şekil 3.30 ve Şekil 3.33 arasındaki grafikler, $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik kirişlik katsayı v_f değerleri için elde edilmiştir. Bütün durumlarda kararsızlık bölgesi 3. Modda en geniş aralığa sahiptir. 1. Mod ise en dar kararsızlık bölgesine sahip durumdur. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemekte, 3. Modda ise önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise ani genişlemeler meydana gelmektedir.

Şekil 3.34 ve Şekil 3.37 arasındaki grafikler $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik kirişlik katsayı v_f değerleri için oluşturulmuştur. Burada da kararsızlık bölgesi 1. Modda en dar, 3. Modda en geniş aralığa sahip olmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemektedir.

Şekil 3.38 ve Şekil 3.39 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik β değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.38, $\beta=0.25$ ve Şekil 3.39 ise $\beta=0.75$ değerleri için çizilmiştir. $B=0.50$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.27'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş

kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.40 ve Şekil 3.41 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik β değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.40, $\beta=0.25$ ve Şekil 3.41 ise $\beta=0.75$ değerleri için çizilmiştir. $B=0.50$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.31'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.42 ve Şekil 3.43 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ değerleri ile değişik β değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.42, $\beta=0.25$ ve Şekil 3.43 ise $\beta=0.75$ değerleri için çizilmiştir. $B=0.50$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.35'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.44 ve Şekil 3.45 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik α_m konsantre kütle değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.44, $\alpha_m=1$ ve Şekil 3.45 ise $\alpha_m=20$ değerleri için çizilmiştir. $\alpha_m=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.27'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.46 ve Şekil 3.47 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik α_m konsantre kütle değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.46, $\alpha_m=1$ ve Şekil 3.47 ise $\alpha_m=20$ değerleri için çizilmiştir. $\alpha_m=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.31'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.48 ve Şekil 3.49 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik α_m konsantre kütle değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.48, $\alpha_m=1$ ve Şekil 3.49 ise $\alpha_m=20$ değerleri için çizilmiştir. $\alpha_m=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.35'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.50 ve Şekil 3.51 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik K_t dönme yayı katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.50, $K_t=1$ ve Şekil 3.51 ise $K_t=20$ değerleri için çizilmiştir. $K_t=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.27'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık

bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.52 ve Şekil 3.53 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik K_t dönme yayı katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.52, $K_t=1$ ve Şekil 3.53 ise $K_t=20$ değerleri için çizilmiştir. $K_t=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.31'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.54 ve Şekil 3.55 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ değerleri ile değişik K_t dönme yayı katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.54, $K_t=1$ ve Şekil 3.55 ise $K_t=20$ değerleri için çizilmiştir. $K_t=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.35'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.56 ve Şekil 3.57 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri ile değişik K_c lineer yay katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.56, $K_c=50$ ve Şekil 3.57 ise $K_c=500$ değerleri için çizilmiştir. $K_c=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.27'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.58 ve Şekil 3.59 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri ile değişik K_c lineer yay katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.58, $K_c=50$ ve Şekil 3.59 ise $K_c=500$ değerleri için çizilmiştir. $K_c=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.31'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.60 ve Şekil 3.61 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ değerleri ile değişik K_c lineer yay katsayısı değerleri için oluşturulmuştur. Şekil 3.60, $K_c=50$ ve Şekil 3.61 ise $K_c=500$ değerleri için çizilmiştir. $K_c=5$ durumu için elde edilen grafik, Şekil 3.35'deki gibi olduğu için ikinci defa buraya konulmamıştır. Her üç şekilde de 1. Modda kararsızlık bölgeleri en dar aralığa sahipken 3. modda en geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir.

Şekil 3.62 ve Şekil 3.79 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $\beta = 0.50$, $K_t=5$, $K_c=5$, $\alpha_m = 5$ ile birlikte farklı kirişlik katsayı v_f değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.62 ve Şekil 3.63, $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada v_f değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.64 ve Şekil 3.65'da 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.66 ve Şekil 3.67'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Bu bize sistemin çalışacağı optimum hızı göstermektedir. Kararsızlık bölgesinin geniş olduğu hızlarda sistemde akış olması istenmeyen, kaçınılması gereken bir durumdur. Sistemin daha kararlı olduğu hızlarda çalışmak esas olmalıdır.

Şekil 3.68 ve Şekil 3.69, $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada v_f değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.70 ve Şekil 3.71'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.72 ve Şekil 3.73'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Burada mesnet konumu ankastre mesnetten biraz daha uzak alınmıştır. Bu durumda kararsızlık bölgeleri ilk durumdan daha dar yer almaktadır. Bu da bize sistemde mesnetin ankastre mesnetten ortaya doğru yaklaştığımızda sistemin kararsız olma durumunun azaldığını sistemin daha stabil bir ortamda çalıştığını gösterir.

Şekil 3.74 ve Şekil 3.75, $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada v_f değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Fakat bu genişleme miktarı mesnet konumlarının ankastre mesnete yakın olma durumundan daha azdır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.76 ve Şekil 3.77'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha dar yer almaktadır. Şekil 3.78 ve Şekil 3.79'de ise üçüncü mod, ikinci ve birinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Bu mesnet konumu sistemin tam orta noktasında yer almakta ve ankastre mesnetlere eşit uzaklıkta bulunmaktadır. Bu durum bizim en dar kararsızlık bölgesine sahip olduğumuz ve istediğimiz bir durumdur. Çünkü sistemde kararsız bölgeler ne kadar az olursa o kadar iyi çalışır.

Şekil 3.80 ve Şekil 3.97 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_f = 0.50$, $K_t=5$, $K_c=5$, $\alpha_m = 5$ ile birlikte farklı β değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.80 ve Şekil 3.81, $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada β değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.82 ve Şekil 3.83'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.84 ve Şekil 3.85'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Bu bize sistemin çalışacağı optimum hızı göstermektedir. Kararsızlık bölgesinin geniş olduğu hızlarda sistemde akış olması istenmeyen, kaçınılması gereken bir durumdur. Sistemin daha kararlı olduğu hızlarda çalışmak esas olmalıdır.

Şekil 3.86 ve Şekil 3.87, $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada da β değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.88 ve Şekil 3.89'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.90 ve Şekil 3.91'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Burada mesnet konumu ankastre mesnetten biraz daha uzak alınmıştır. Bu durumda kararsızlık bölgeleri ilk durumdan daha dar yer almaktadır. Bu da bize sistemde mesnetin ankastre mesnetten ortaya doğru yaklaştığımızda sistemin kararsız olma durumunun azaldığını sistemin daha stabil bir ortamda çalıştığını gösterir.

Şekil 3.92 ve Şekil 3.93, $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada β değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Fakat bu genişleme miktarı mesnet konumlarının ankastre mesnete yakın olma durumundan daha azdır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığı anda ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.94 ve Şekil 3.95'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha dar yer almaktadır. Şekil 3.96 ve Şekil 3.97'de ise üçüncü mod, ikinci ve birinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Bu mesnet konumu sistemin tam orta noktasında yer almakta ve ankastre mesnetlere eşit uzaklıkta bulunmaktadır. Bu durum bizim en dar kararsızlık bölgesine sahip olduğumuz ve istediğimiz bir durumdur. Çünkü sistemde kararsız bölgeler ne kadar az olursa o kadar iyi çalışır.

Şekil 3.98 ve Şekil 3.115 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_f = 0.50$, $\beta=0.5$, $K_t=5$, $K_c=5$ ile birlikte farklı konsantre kütle α_m değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.98 ve Şekil 3.99, $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada α_m değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hız civarında ise grafikler birbiriyle çakışmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.100 ve Şekil 3.101'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.102 ve Şekil 3.103'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Bu bize orta bölümdeki mesnetin konsantre kütle etkisinin az olması gerektiğini göstermektedir. Kütle etkisi ne kadar çok olursa sistemdeki kararsız bölgelerin o kadar geniş olacağını ifade eder.

Şekil 3.104 ve Şekil 3.105, $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada α_m değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.106 ve Şekil 3.107'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.108 ve Şekil 3.109'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Bu durumda mesnet konumu ortaya yaklaştığında kararsızlık bölgesi daralmaktadır. Kütle arttığında ise kararsızlık bölgesi genişlemektedir.

Şekil 3.110 ve Şekil 3.111, $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada α_m değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.112 ve Şekil 3.113'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.114 ve Şekil 3.115'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Mesnet konumu orta noktaya geldiğinde ise sistemdeki kararsızlık bölgeleri en dar durumda yer almaktadır. Konsantre kütle miktarı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemektedir.

Şekil 3.116 ve Şekil 3.133 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_f = 0.50$, $\beta=0.5$, $\alpha_m = 5$, $K_c = 5$ ile birlikte farklı dönme yayı K_t katsayı değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan

hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.116 ve Şekil 3.117, $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_t değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.118 ve Şekil 3.119'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.120 ve Şekil 3.121'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir. Bu durumda zemin yumuşamasından kaynaklanan dönme yayı etkisinin az olması istenmektedir.

Şekil 3.122 ve Şekil 3.123, $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_t değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.124 ve Şekil 3.125'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.126 ve Şekil 3.127'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Mesnet konumu ortaya yaklaştığında kararsızlık bölgelerinin genişliği azalmaktadır.

Şekil 3.128 ve Şekil 3.129, $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_t değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Fakat bu genişleme miktarı çok az olmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Kritik hıza ulaştığında ise en geniş halini almaktadır. Şekil 3.130 ve Şekil 3.131'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.132 ve Şekil 3.133'de ise 3. Mod grafikleri yer almaktadır. Burada da 1. moda benzer şekilde kararlılık bölgeleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Kararsızlık bölgesindeki genişleme çok az olmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgesi önce genişlemekte sonra daralmakta, kritik hız civarında tekrar genişlemektedir. Mesnet konumu ota noktada olduğunda kararsızlık bölgelerinin değişimini, dönme yayı etkisinin çok fazla etkilemediği kararsızlık bölgelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Şekil 3.134 ve Şekil 3.151 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_f = 0.50$, $\beta=0.5$, $\alpha_m = 5$, $K_t = 5$ ile birlikte farklı lineer yay K_c katsayı değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.134 ve Şekil 3.135, $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_c değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Bu genişleme miktarı çok az olmaktadır. Bu durum grafiklerde yakınlaştırma yapılarak gösterilmiştir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hızı ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.136 ve Şekil 3.137'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.138 ve Şekil 3.139'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hızı ulaştığında ise tekrar genişlemektedir. Bu durumda zemin yumuşamasından kaynaklanan lineer yay etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir.

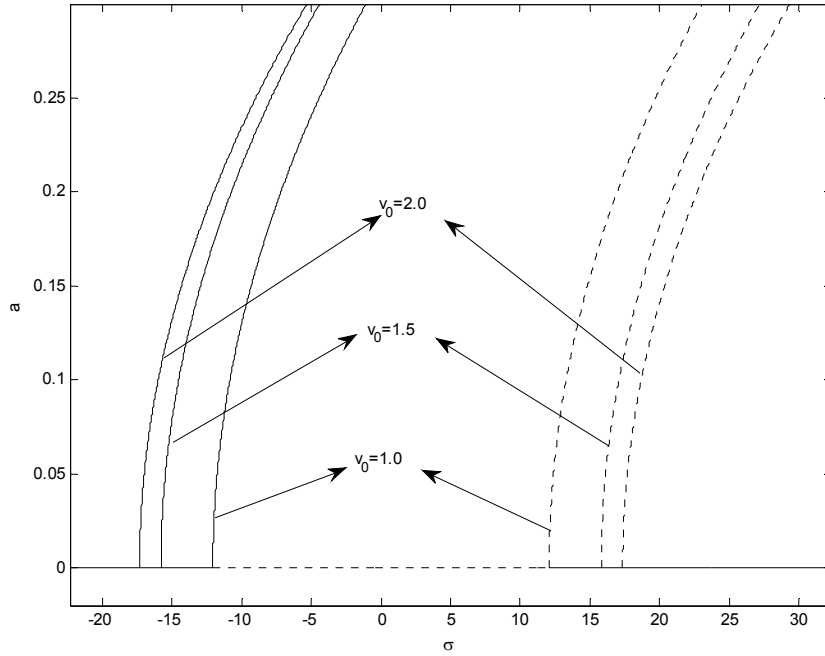
Şekil 3.140 ve Şekil 3.141, $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_c değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hızı ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.142 ve Şekil 3.143'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.144 ve Şekil 3.145'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Mesnet konumu ortaya yaklaştığında kararsızlık bölgelerinin genişliği azalmaktadır.

Şekil 3.146 ve Şekil 3.147, $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada K_c değeri arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Fakat bu genişleme miktarı çok az olmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemektedir. Bu genişleme miktarı oldukça sınırlı olmaktadır. Kritik hızı ulaştığında ise en geniş halini almaktadır. Şekil 3.148 ve Şekil 3.149'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.150 ve Şekil 3.151'de ise 3. mod grafikleri yer almaktadır. Burada akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgesi önce genişlemekte sonra daralmakta, kritik hız civarında tekrar genişlemektedir. Mesnet konumu orta noktada olduğunda kararsızlık bölgelerinin değişimini, en fazla birinci modda etkilediği diğer modlarda ise lineer yayı etkisinin çok fazla etkilemediği gibi kararsızlık bölgelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

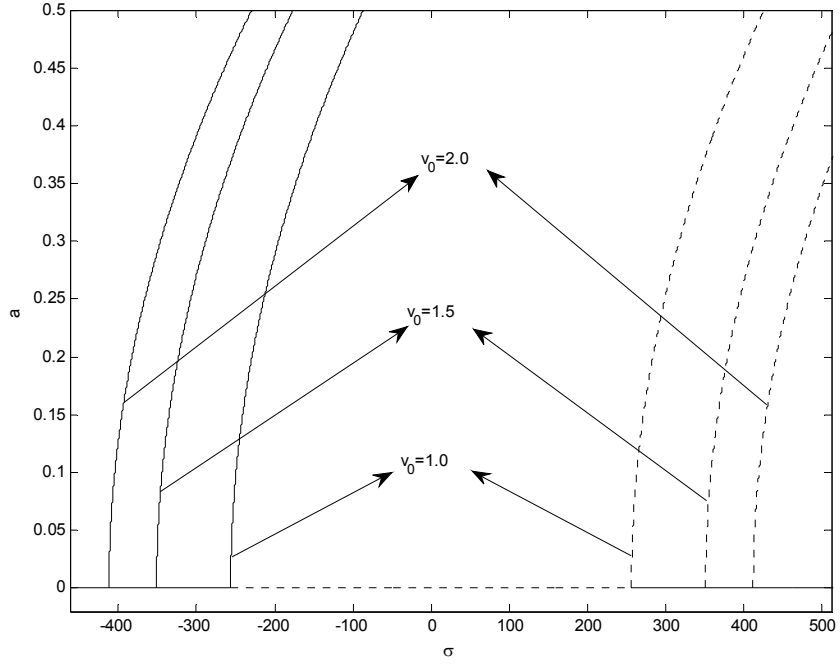
Şekil 3.152 ve Şekil 3.157 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_f = 0.50$, $\beta=0.50$, $K_t = 5$, $K_c = 5$, $\alpha_m = 5$ değerleri için oluşturulmuştur. Akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesi ($\Omega-v_0$) ve sabit akışkan hızına bağlı çizilen frekans-tepki ($\sigma-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.152 ve Şekil 3.153, $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren 1. mod kararlılık bölgesi ve frekans-tepki grafikleridir. Burada η değeri kenarlardaki ankastre

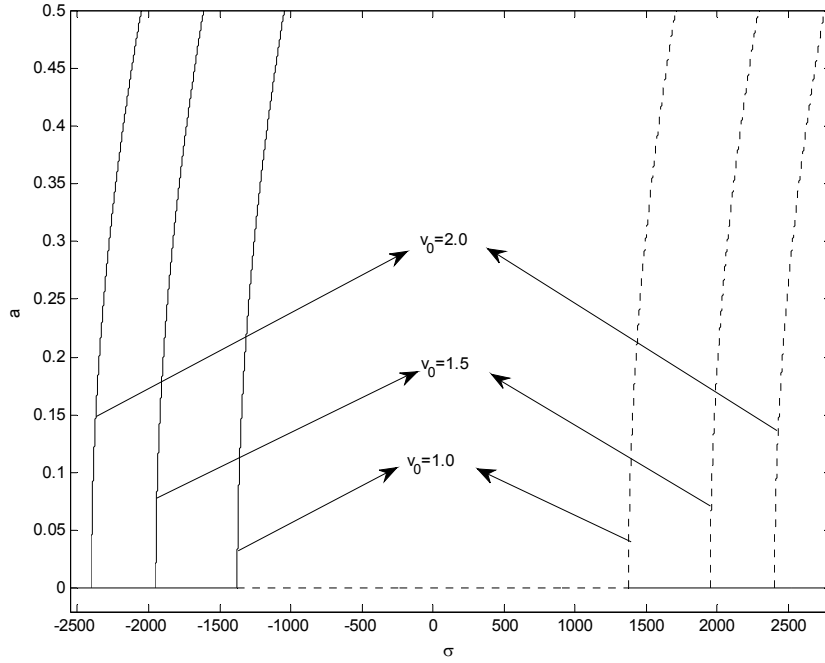
mesnetlerden uzaklaşıp orta bölüme yaklaştığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte orta bölümde ise daralmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrardan genişlemektedir. Şekil 3.154 ve Şekil 3.155'de 2. mod için grafikler elde edilmiştir. Burada kararsızlık bölgeleri ilk moddan daha geniş yer almaktadır. Şekil 3.156 ve Şekil 3.157'de ise üçüncü mod, ikinci moddan daha geniş kararsızlık bölgelerine sahiptir. Tüm durumlarda v_0 akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır. Kritik hıza ulaştığında ise tekrar genişlemektedir. Mesnet konumu orta noktada olduğunda kararsızlık bölgeleri en dar halini almaktadır. Sistemimizde mesnetin ortada olması bizim kararsız bölgeden uzaklaşmamız anlamına gelmekte ve bu durum temel parametrik rezonans durumu için daha uygun olmaktadır. İkinci ve üçüncü modda ise en geniş kararsızlık bölgesi $\eta=0.3$ konumunda meydana gelmektedir.



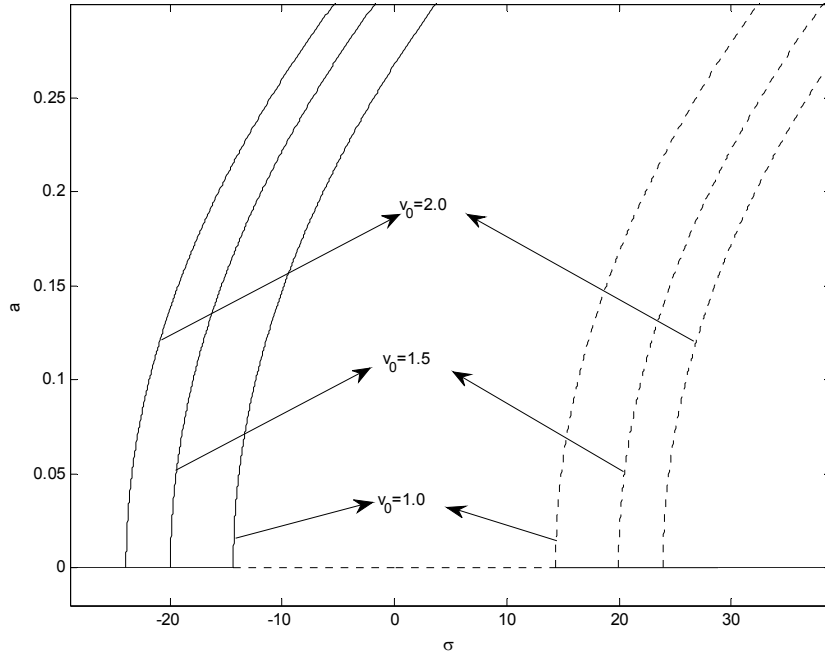
Şekil 3.17 $\eta=0.1$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



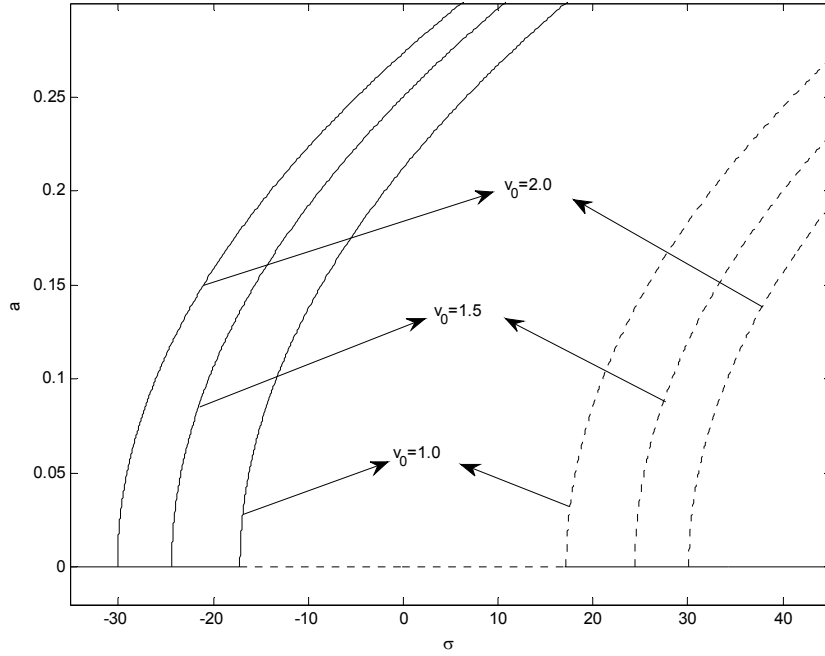
Şekil 3.18 $\eta=0.1$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



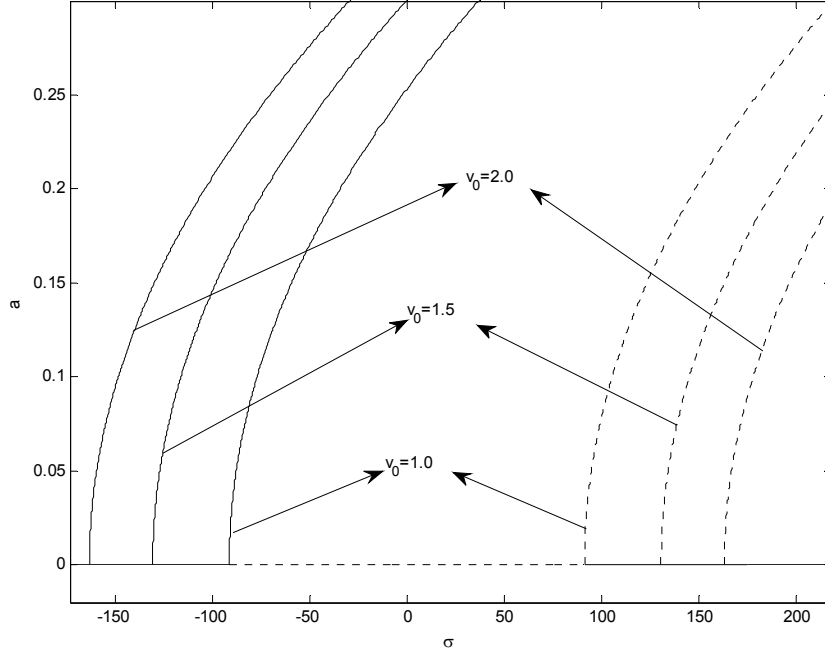
Şekil 3.19 $\eta=0.1$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



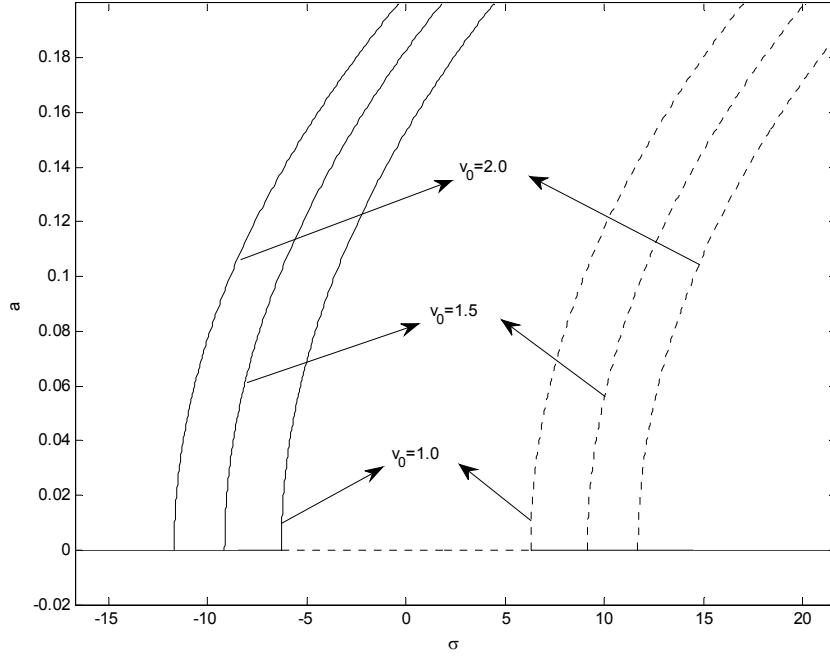
Şekil 3.20 $\eta=0.3$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



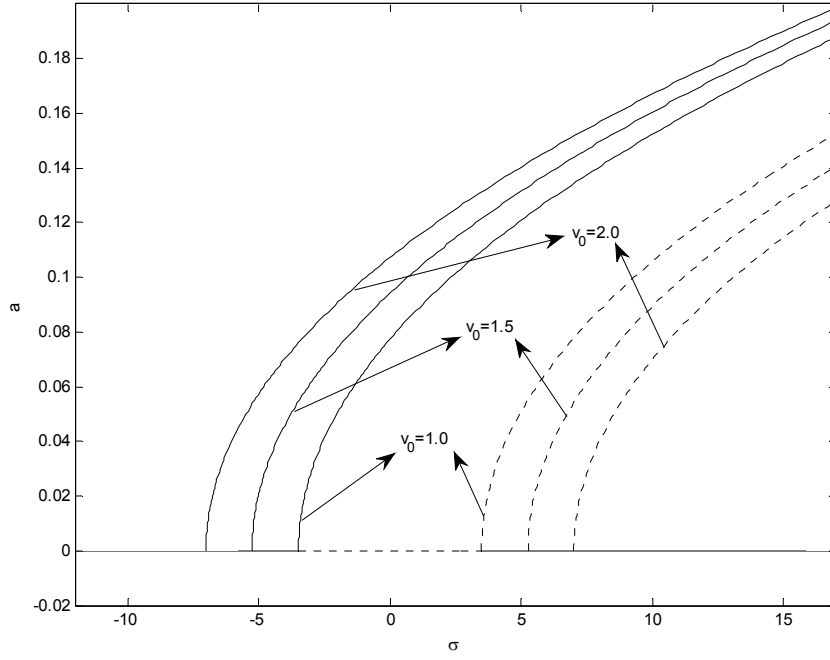
Şekil 3.21 $\eta=0.3$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



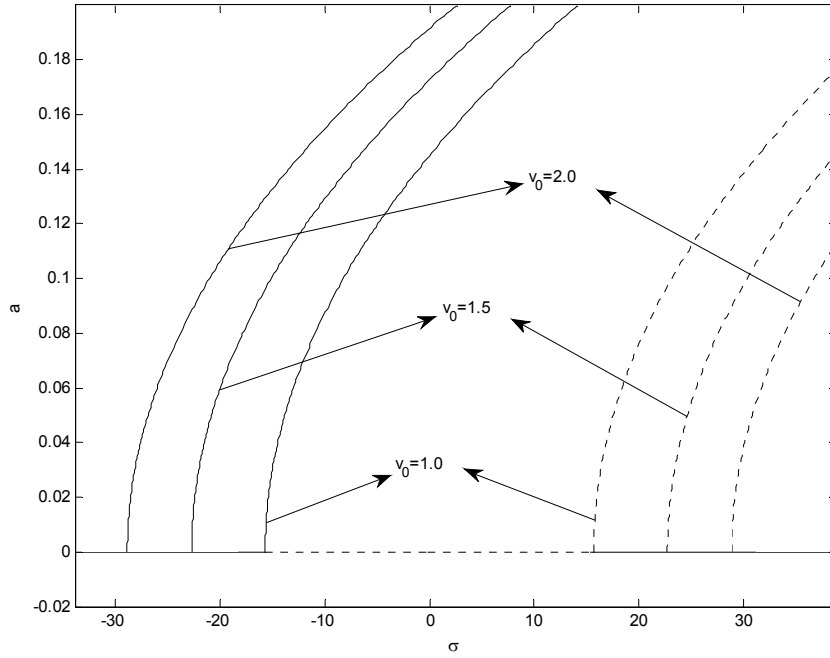
Şekil 3.22 $\eta=0.3$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



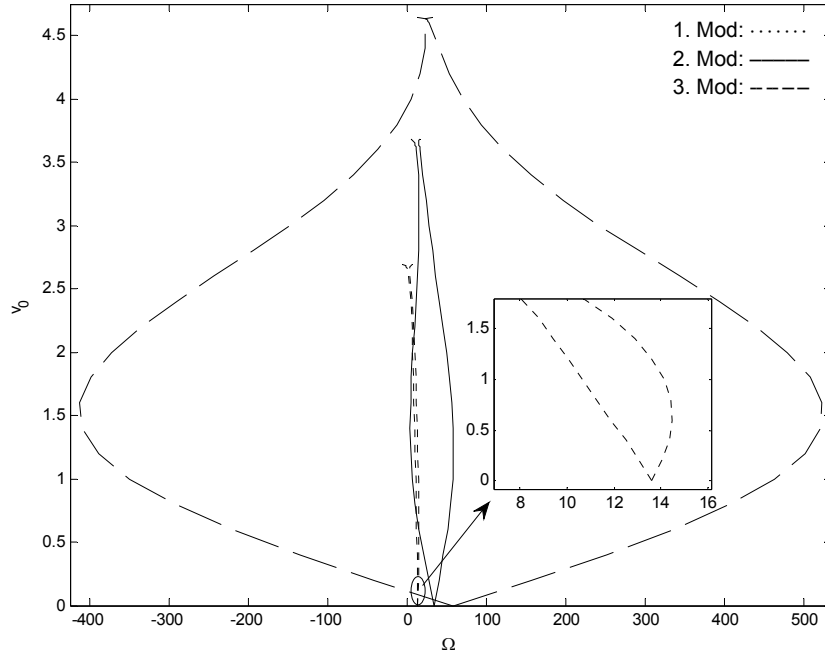
Şekil 3.23 $\eta=0.5$ - $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



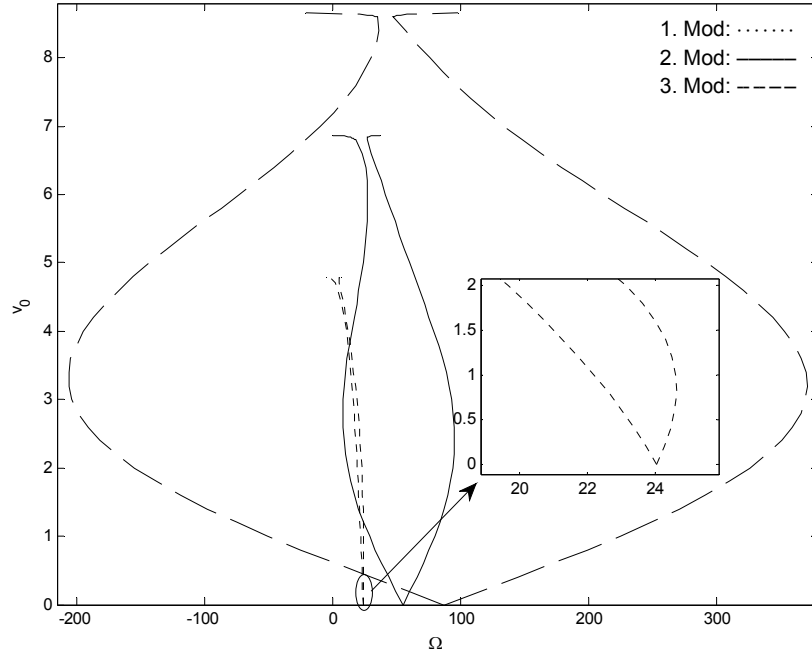
Şekil 3.24 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



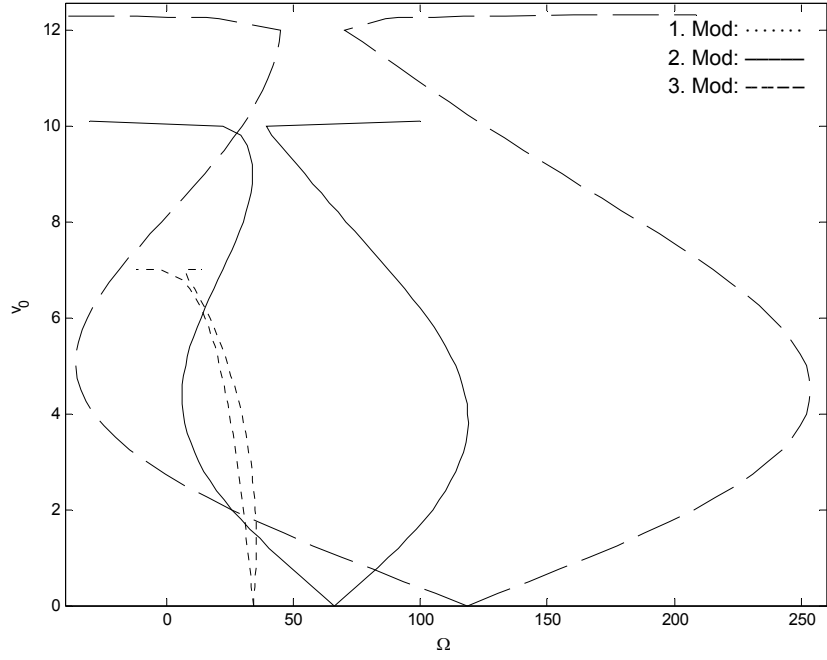
Şekil 3.25 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_0 değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. Mod)



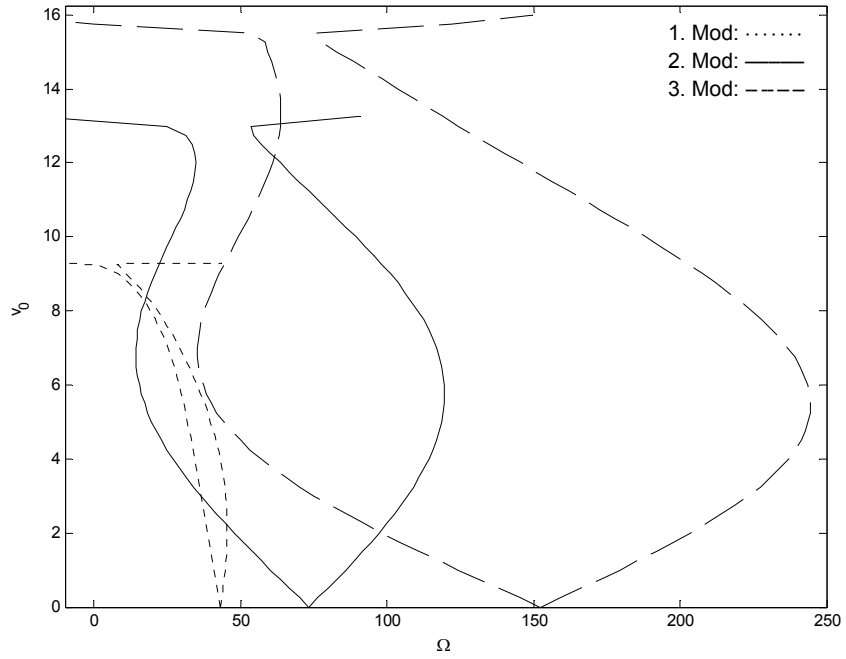
Şekil 3.26 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



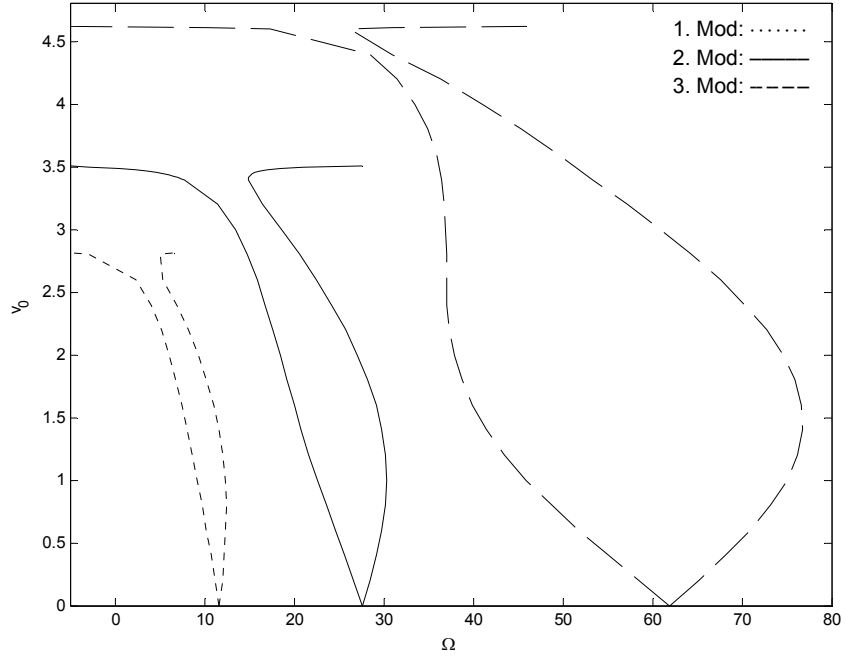
Şekil 3.27 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



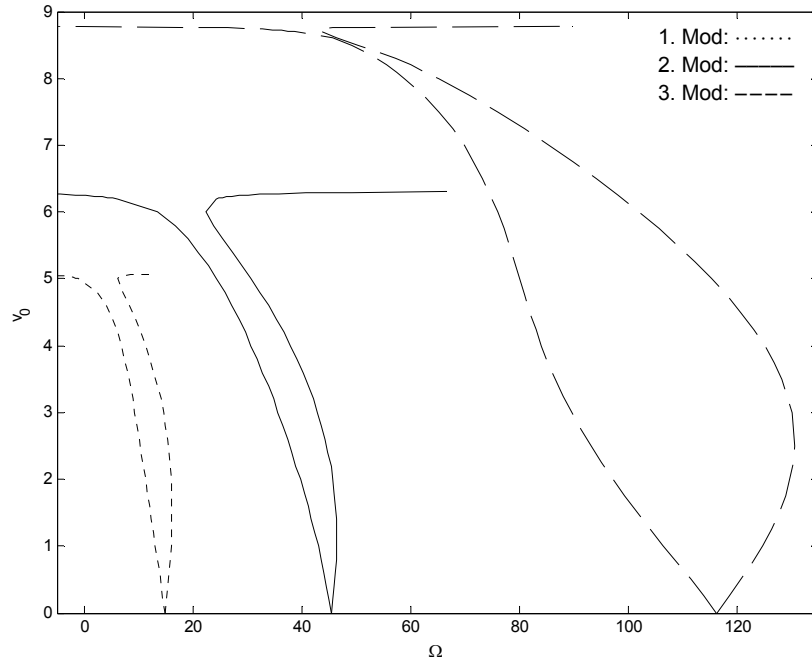
Şekil 3.28 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



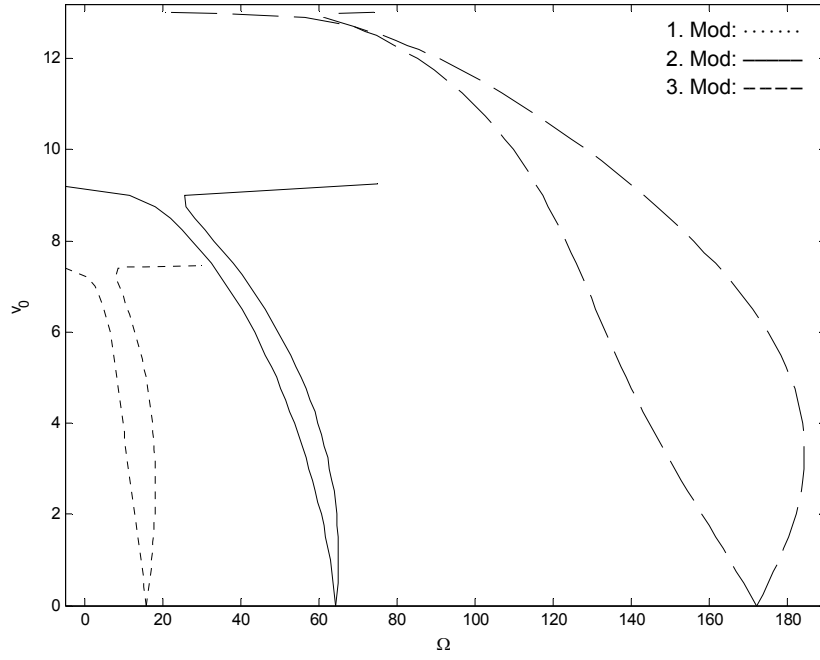
Şekil 3.29 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



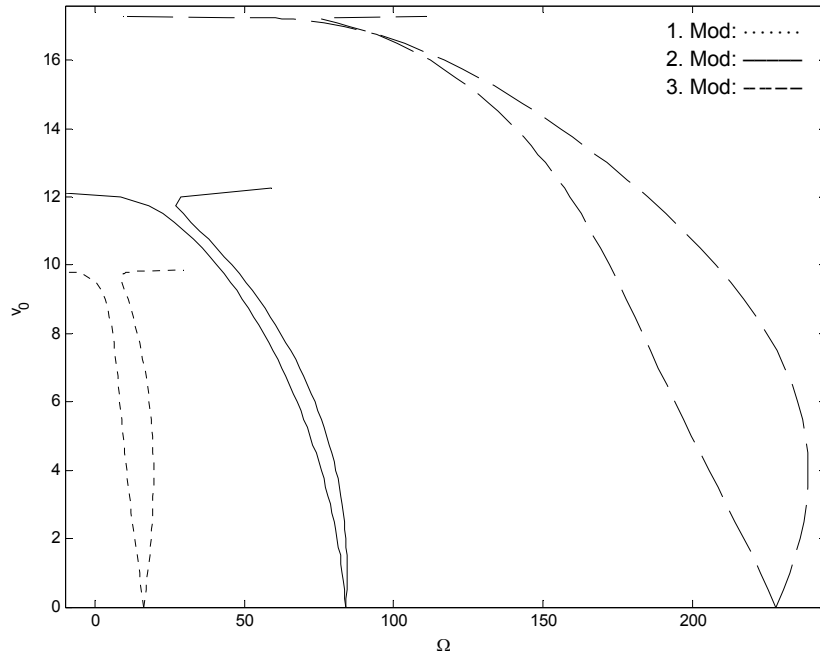
Şekil 3.30 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



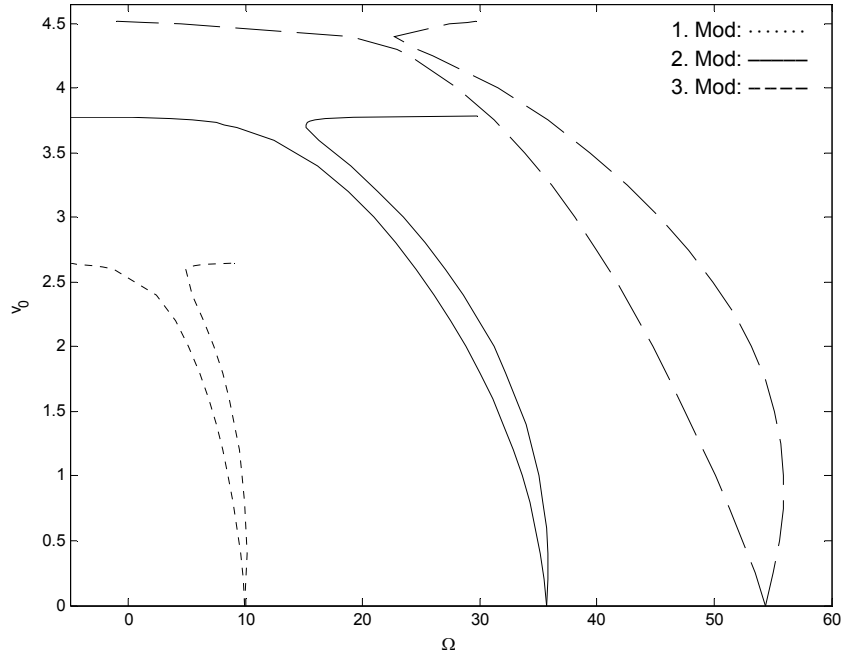
Şekil 3.31 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



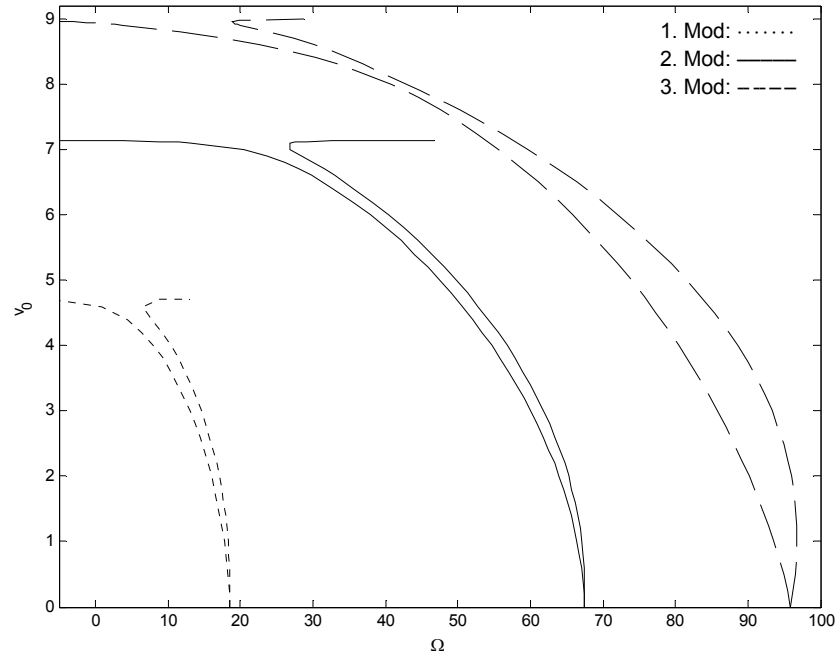
Şekil 3.32 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



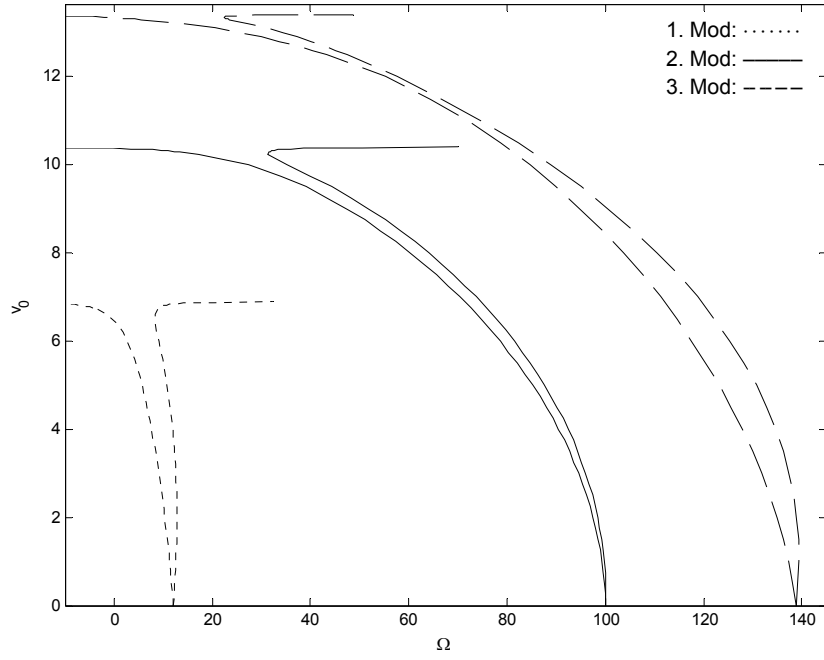
Şekil 3.33 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



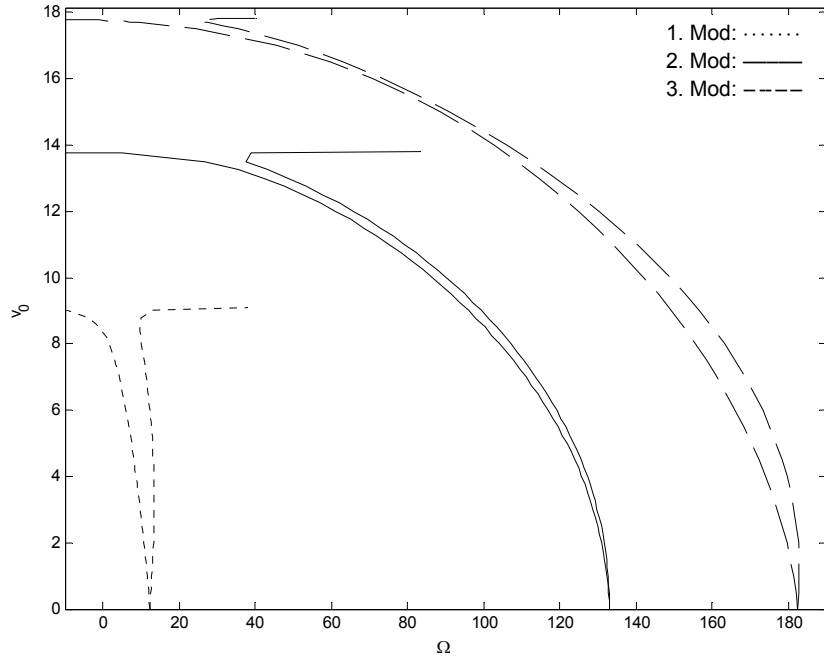
Şekil 3.34 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



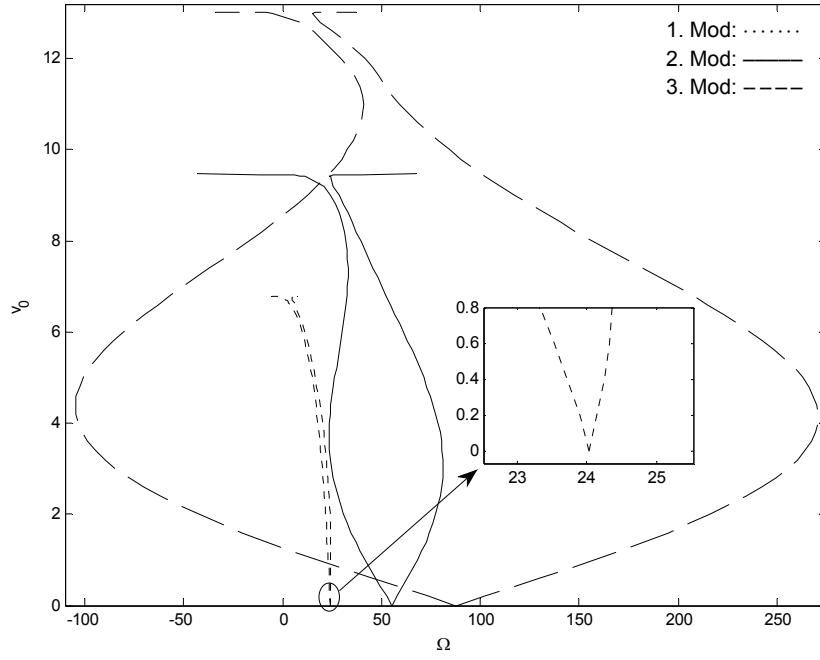
Şekil 3.35 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



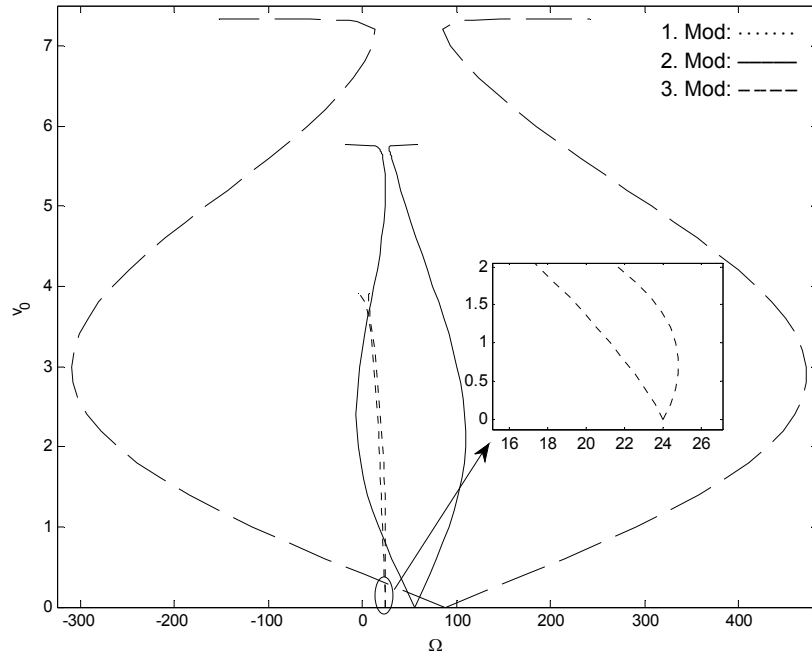
Şekil 3.36 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



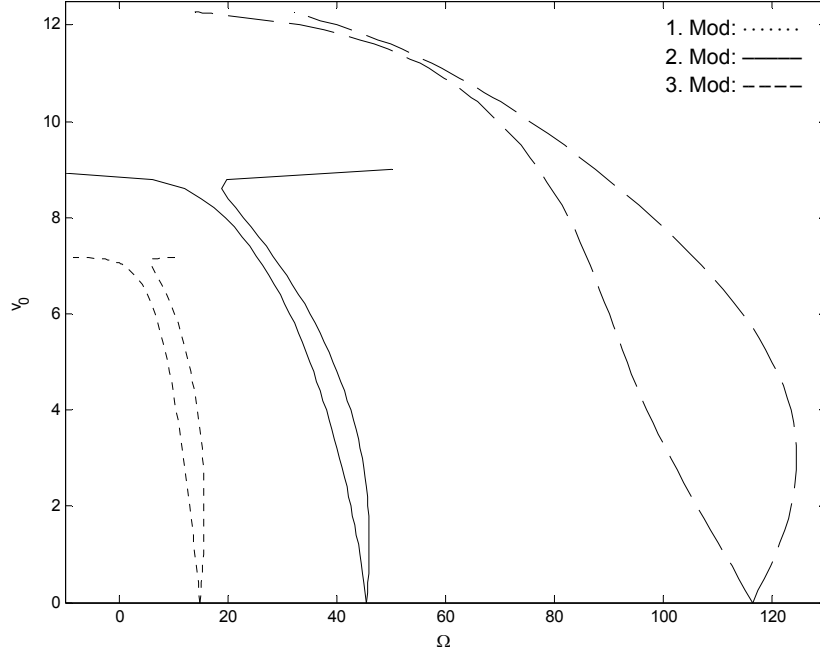
Şekil 3.37 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $v_f=1.00$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



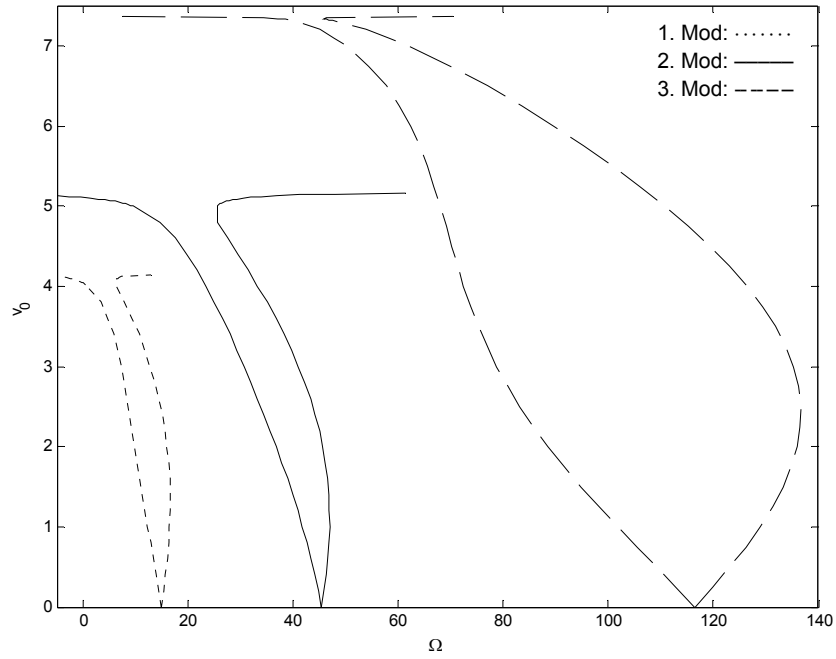
Şekil 3.38 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



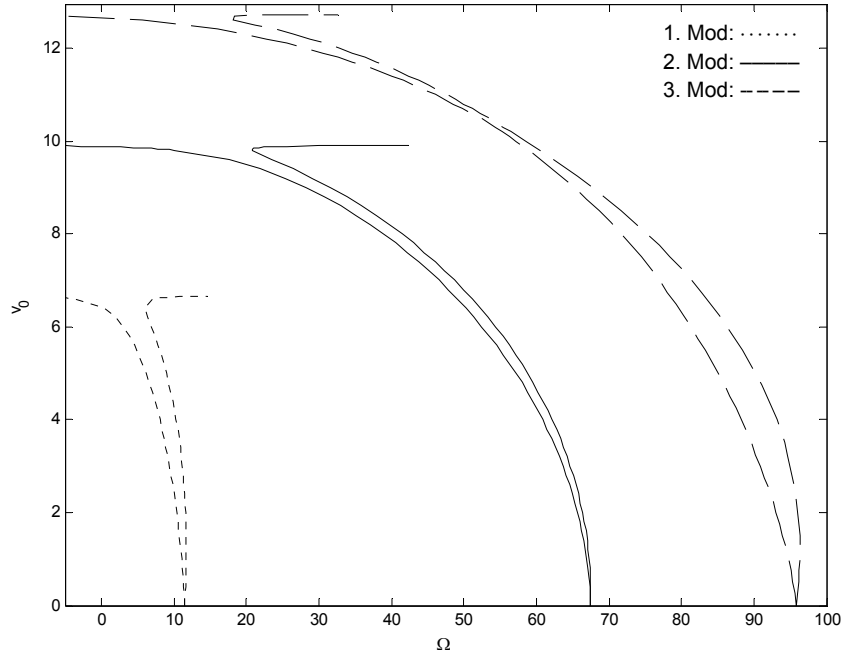
Şekil 3.39 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



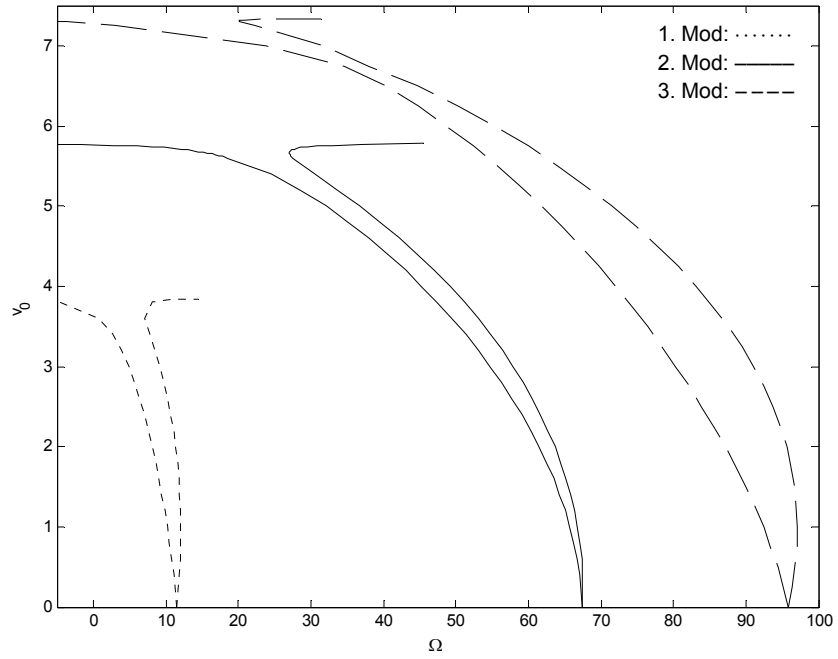
Şekil 3.40 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



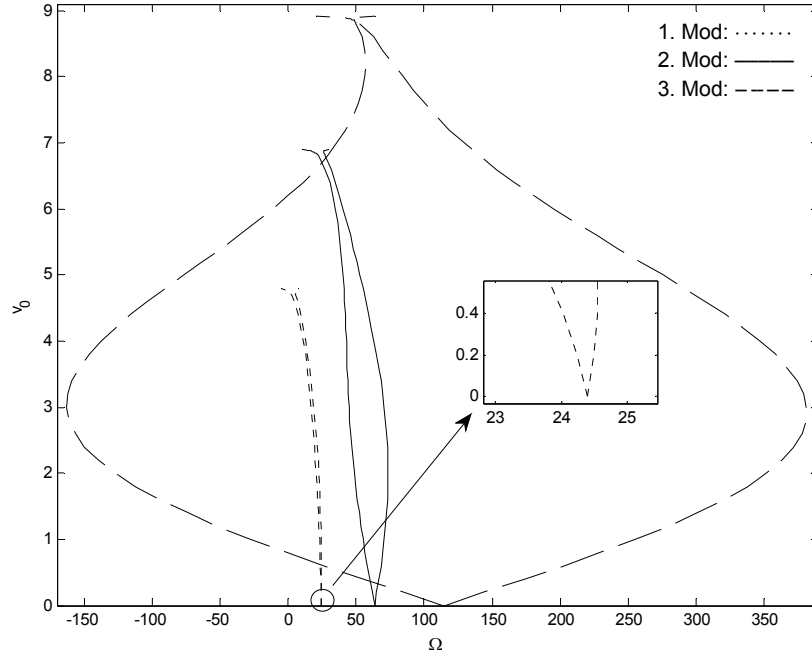
Şekil 3.41 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



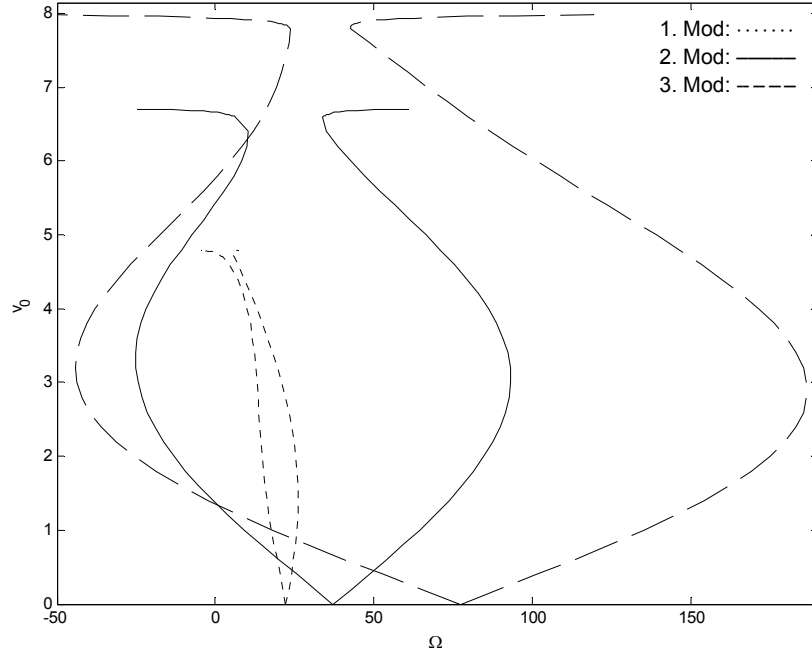
Şekil 3.42 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.25$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



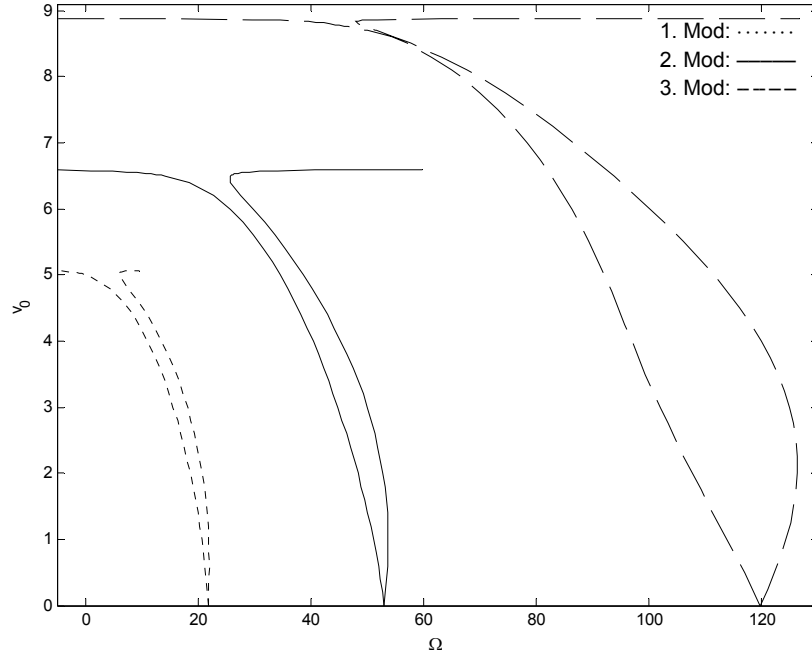
Şekil 3.43 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve $\beta=0.75$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



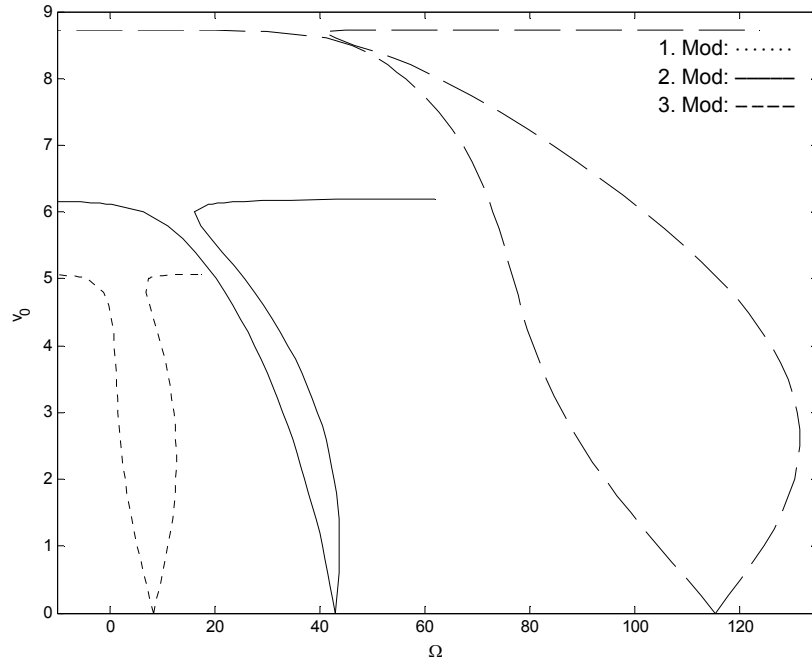
Şekil 3.44 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



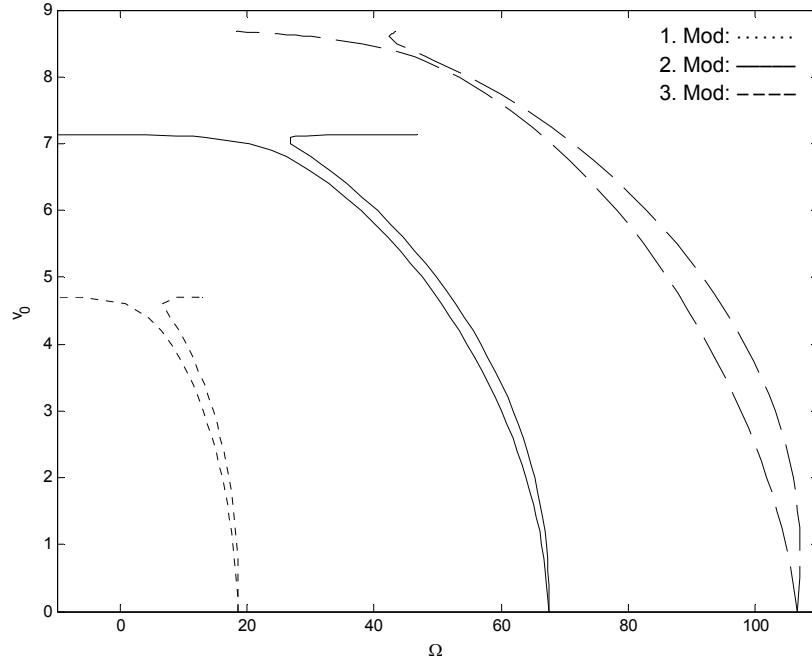
Şekil 3.45 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



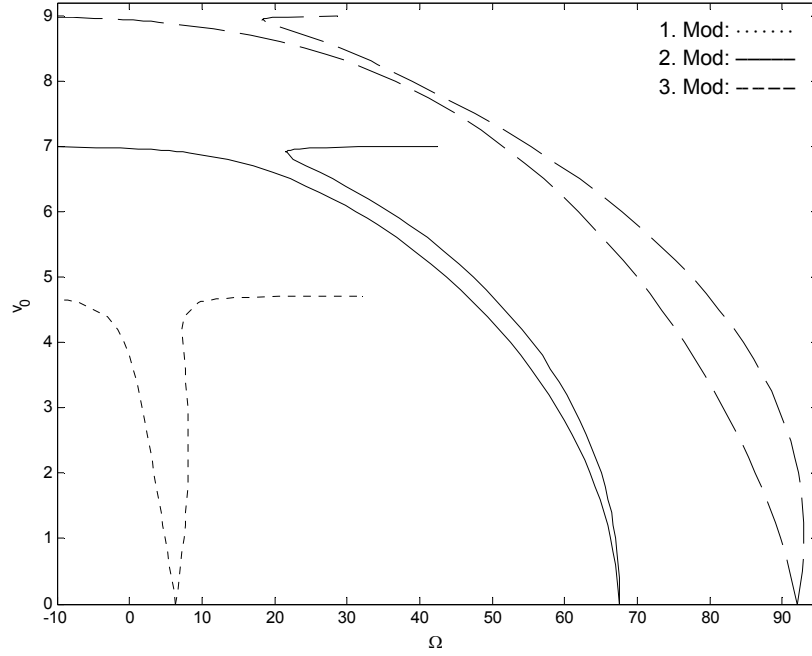
Şekil 3.46 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



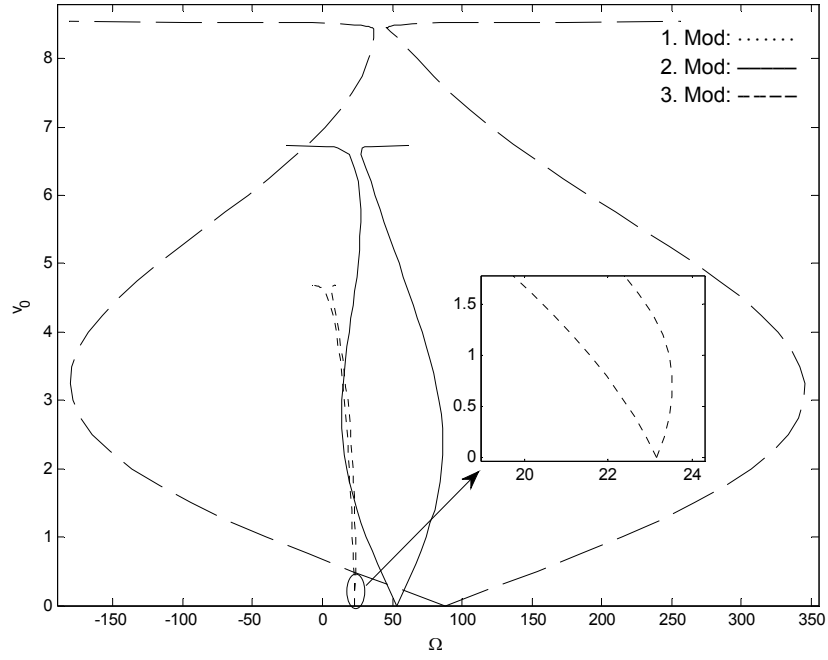
Şekil 3.47 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



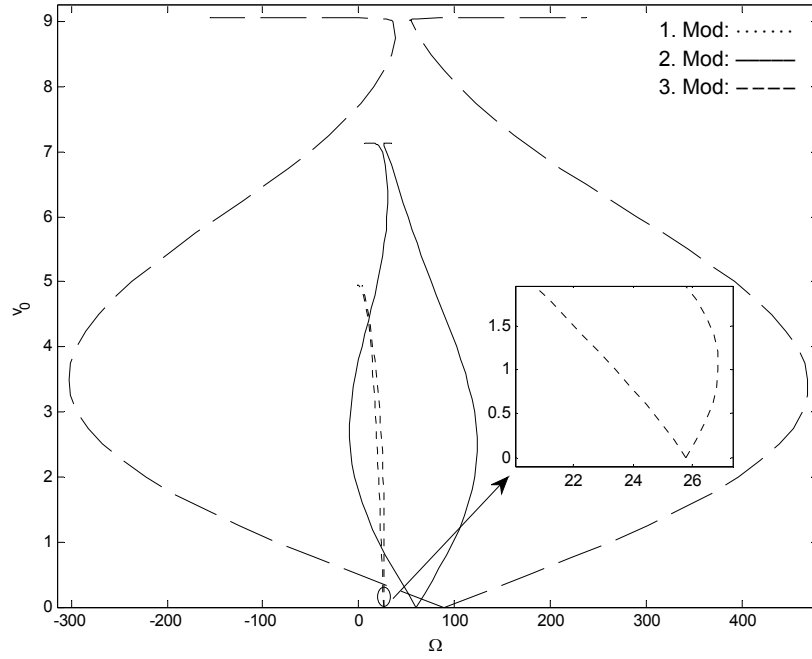
Şekil 3.48 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



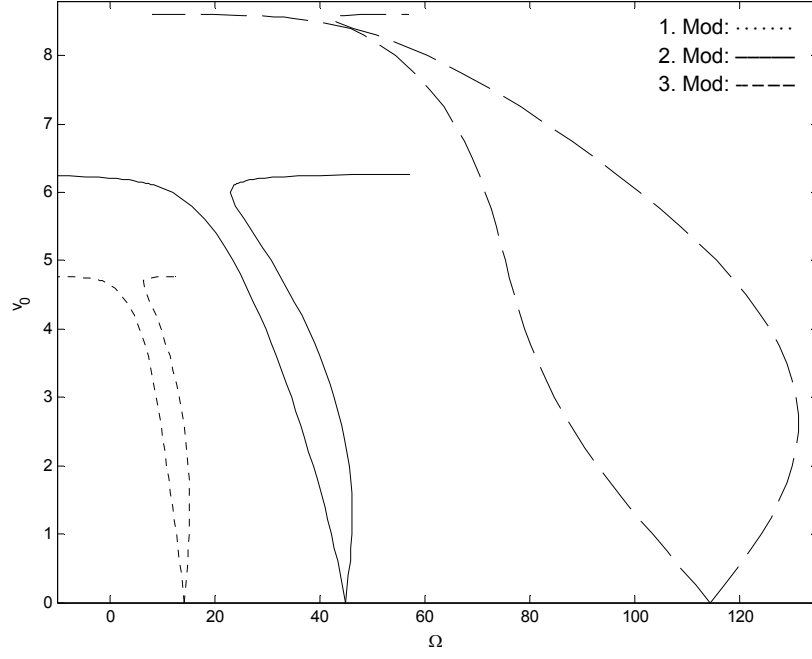
Şekil 3.49 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_i=5$ - $K_c=5$ ve $\alpha_m=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



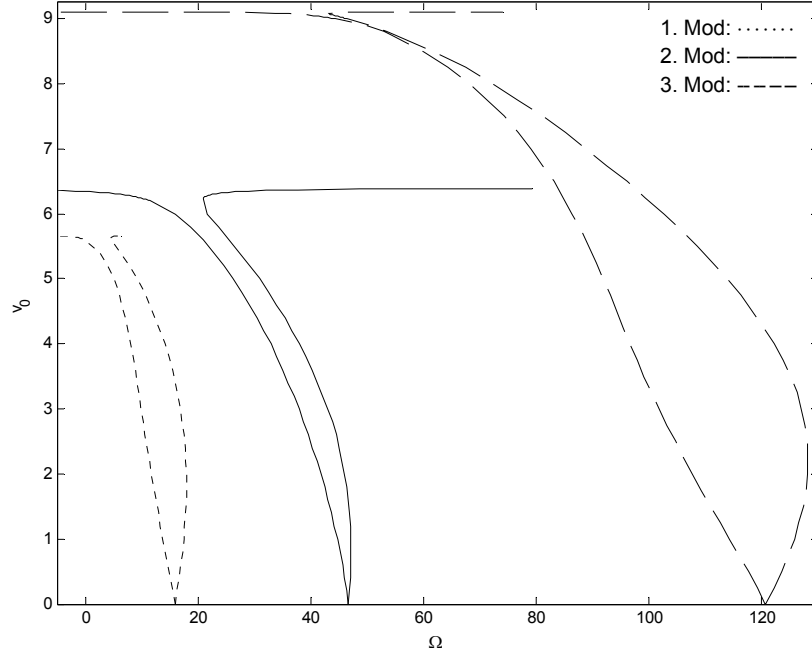
Şekil 3.50 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



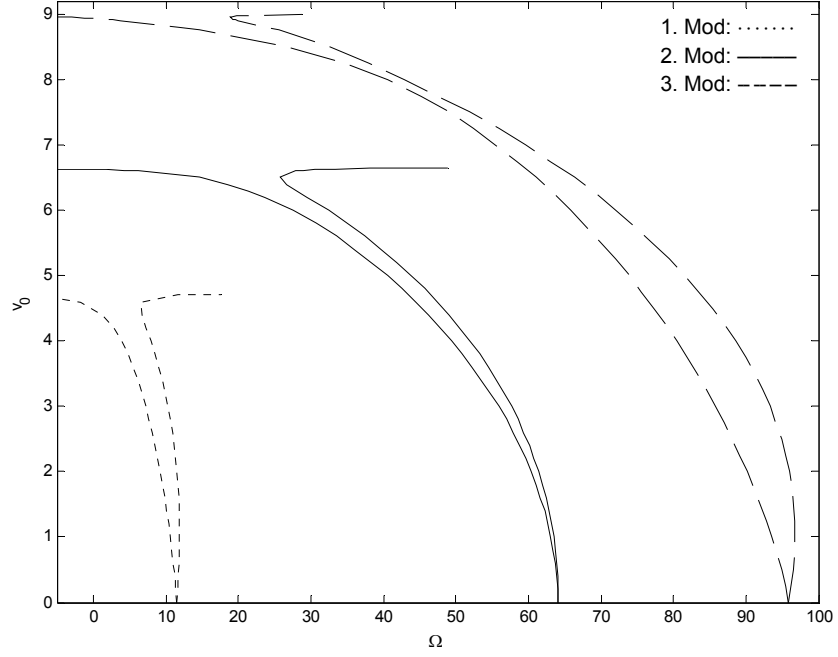
Şekil 3.51 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



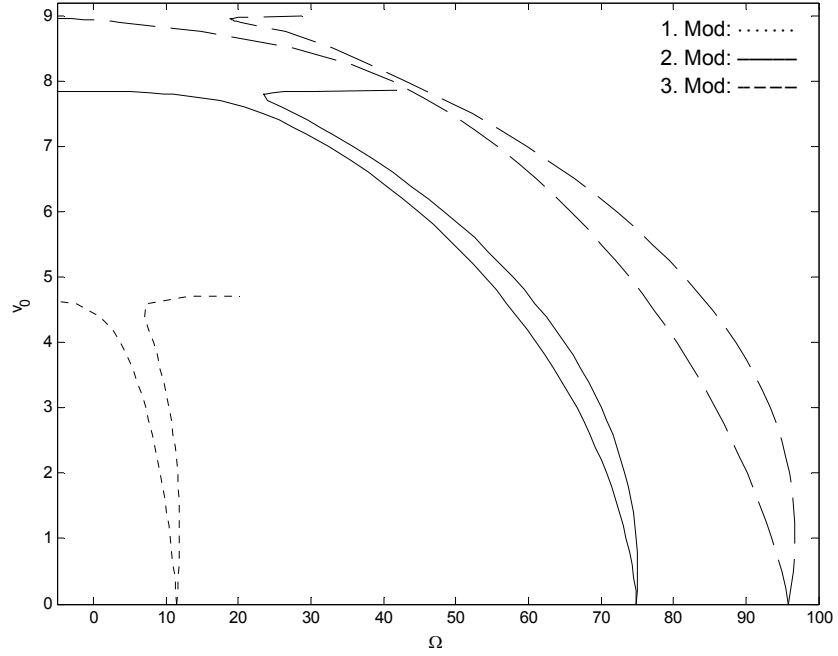
Şekil 3.52 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



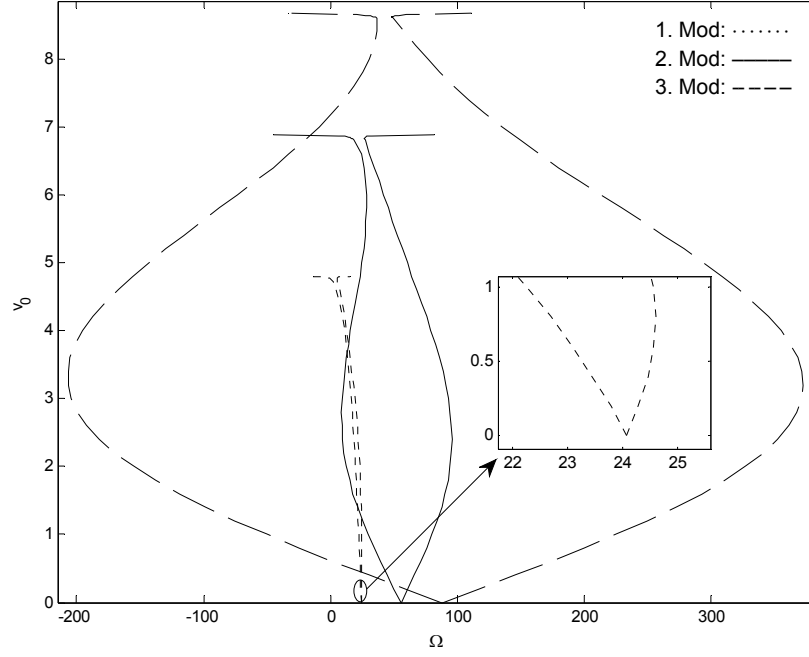
Şekil 3.53 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



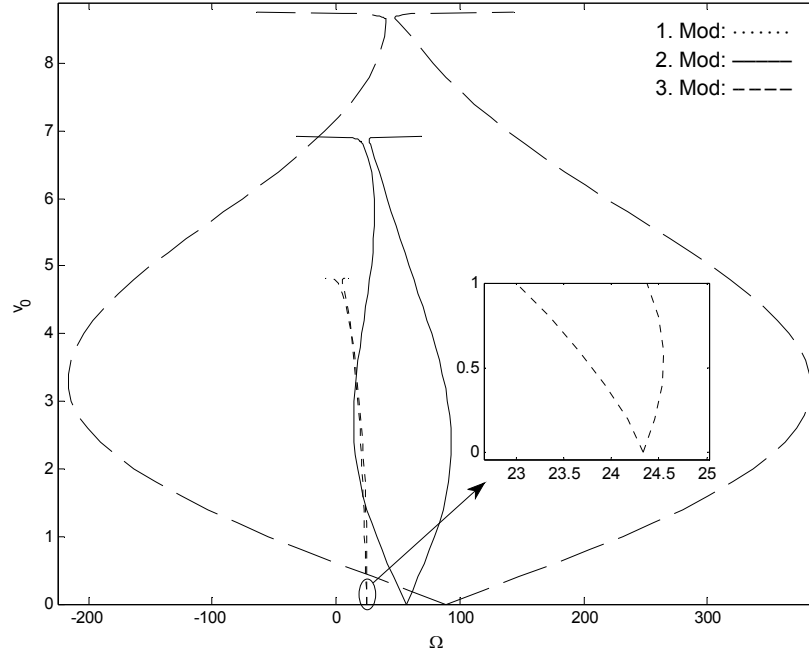
Şekil 3.54 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=1$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



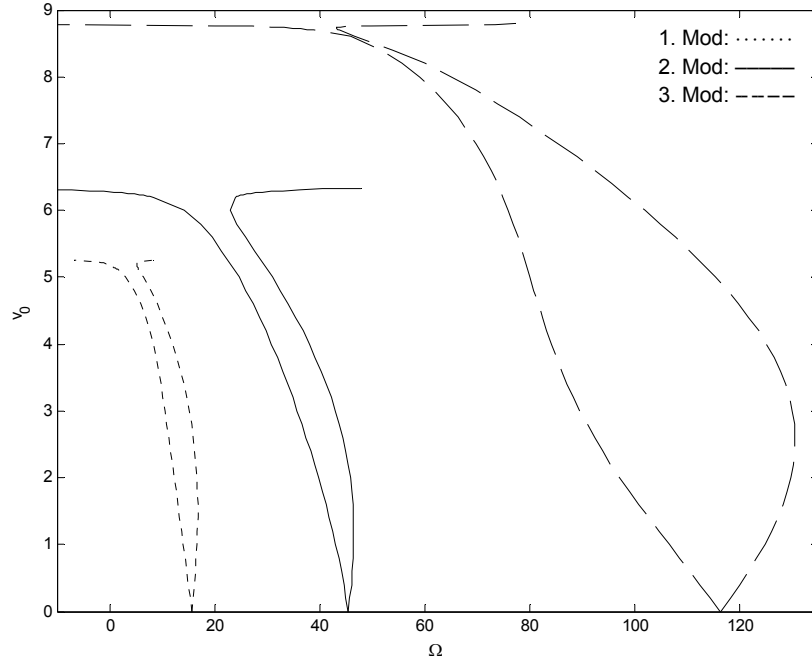
Şekil 3.55 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve $K_t=20$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



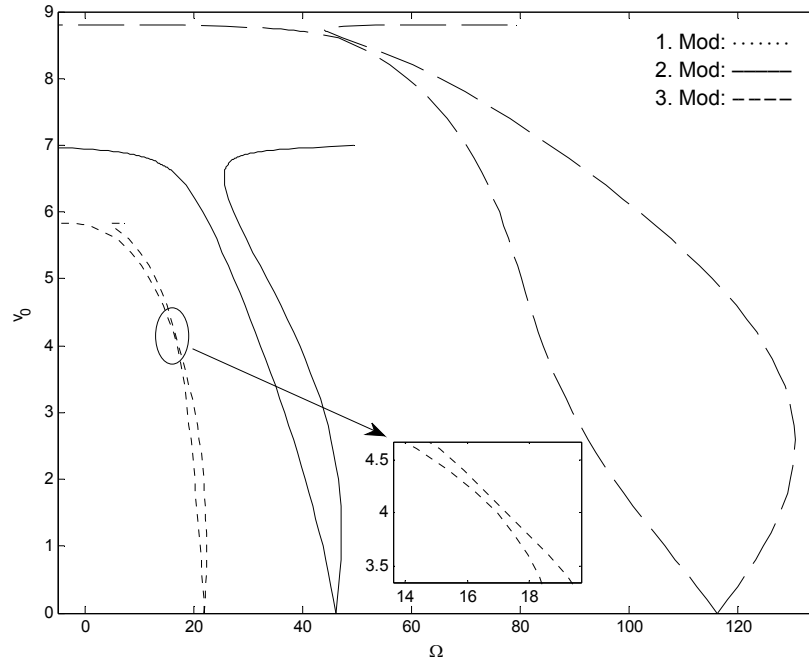
Şekil 3.56 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



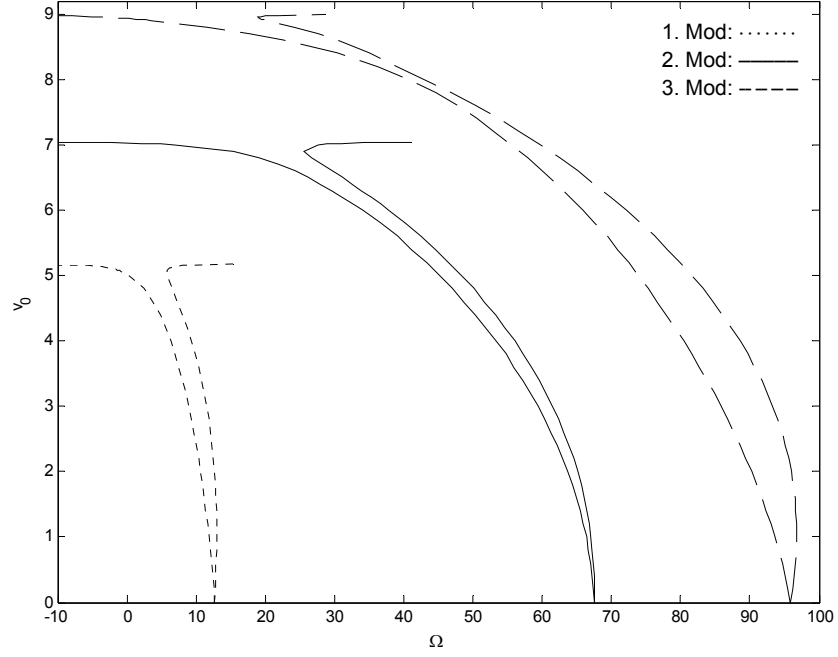
Şekil 3.57 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



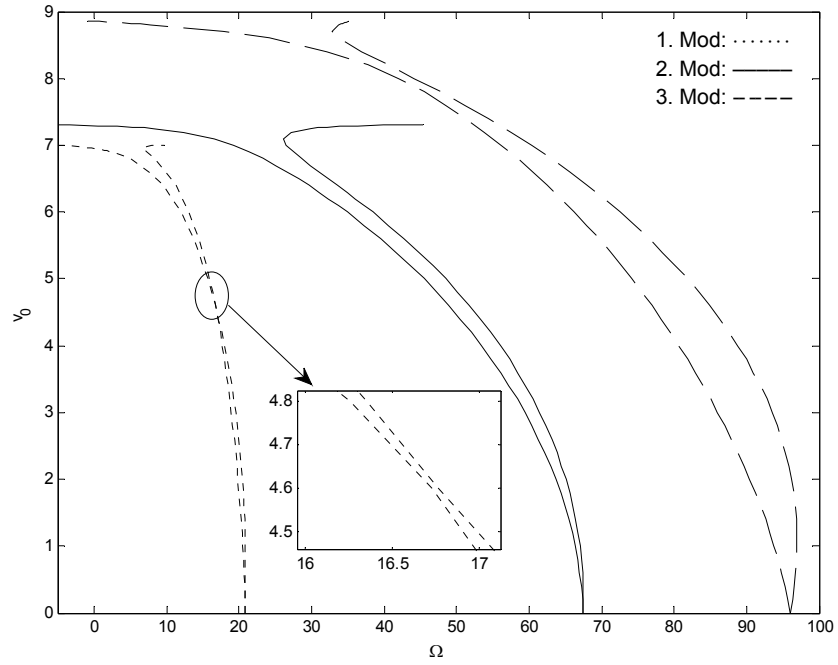
Şekil 3.58 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



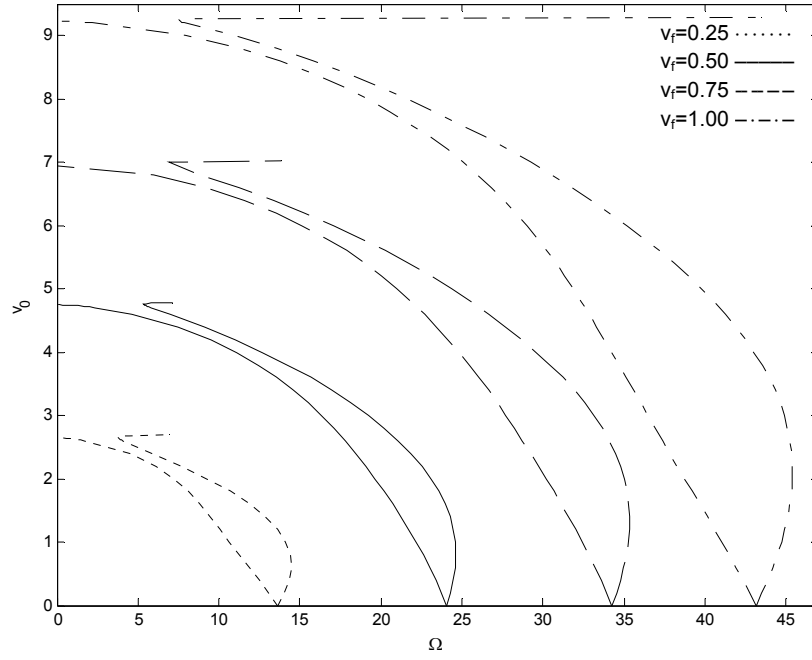
Şekil 3.59 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



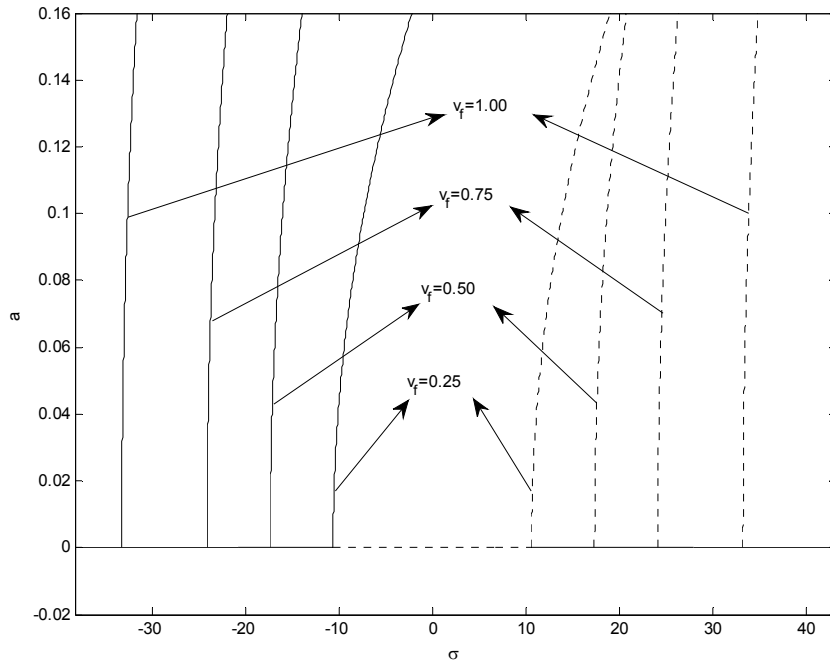
Şekil 3.60 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=50$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



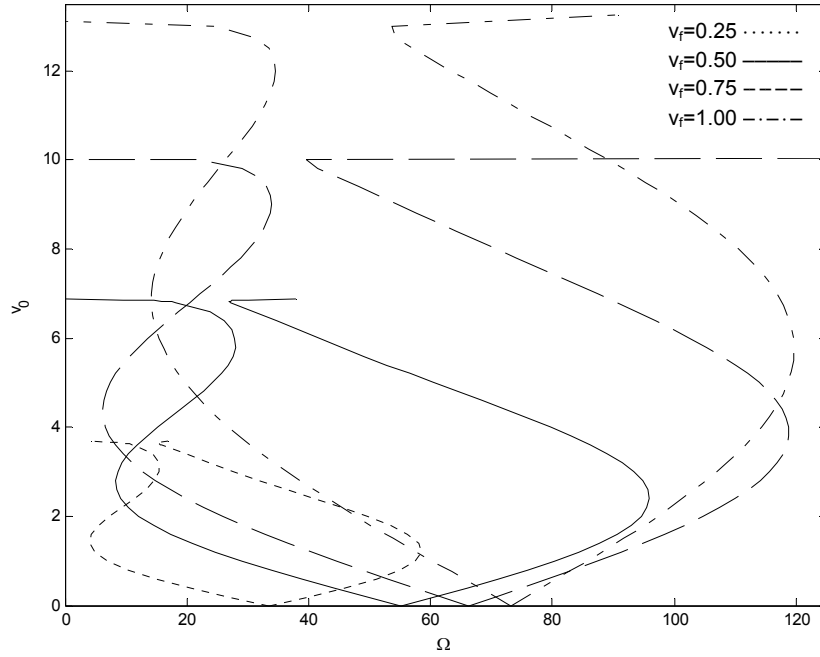
Şekil 3.61 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve $K_c=500$ için akışkan hızına bağlı, ilk üç mod kararlılık bölgesinin değişimi.



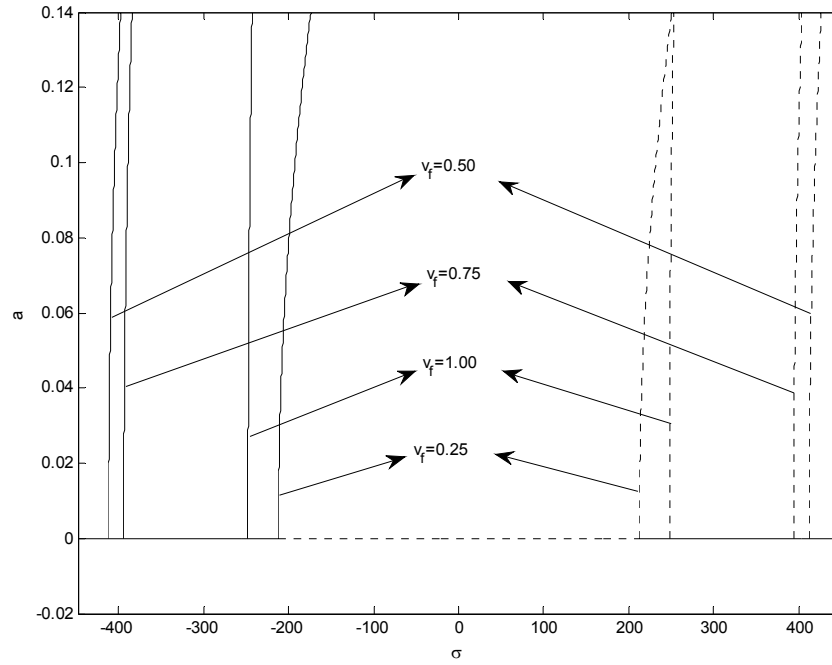
Şekil 3.62 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod)



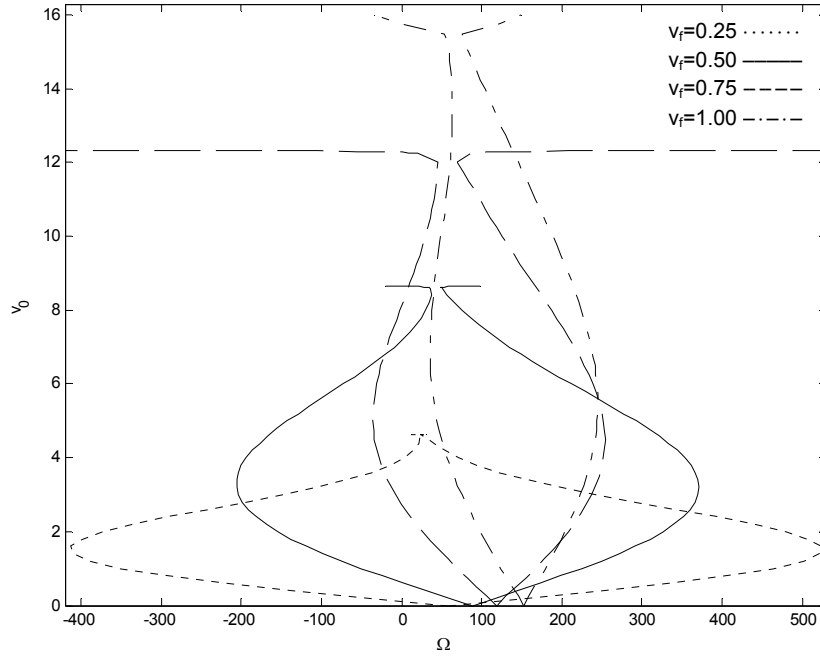
Şekil 3.63 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



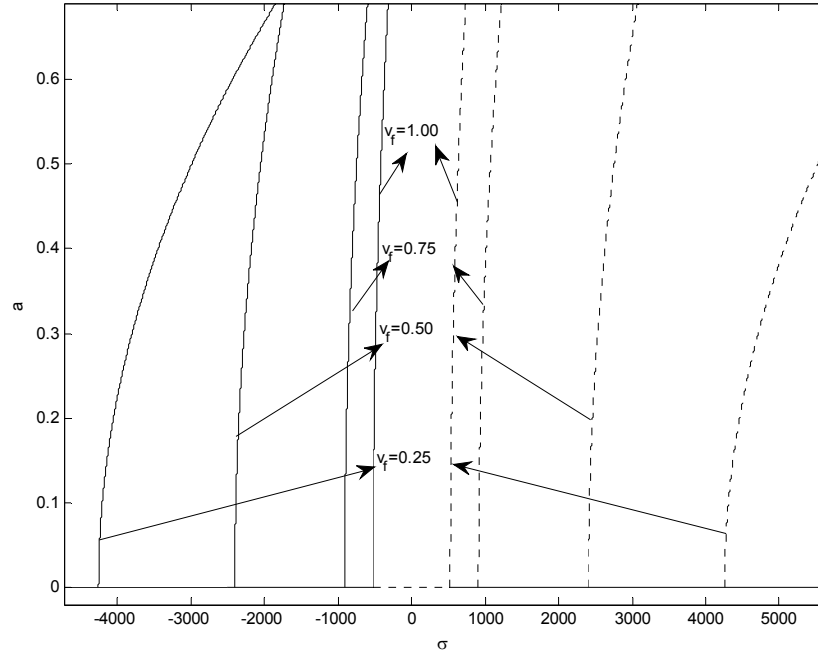
Şekil 3.64 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



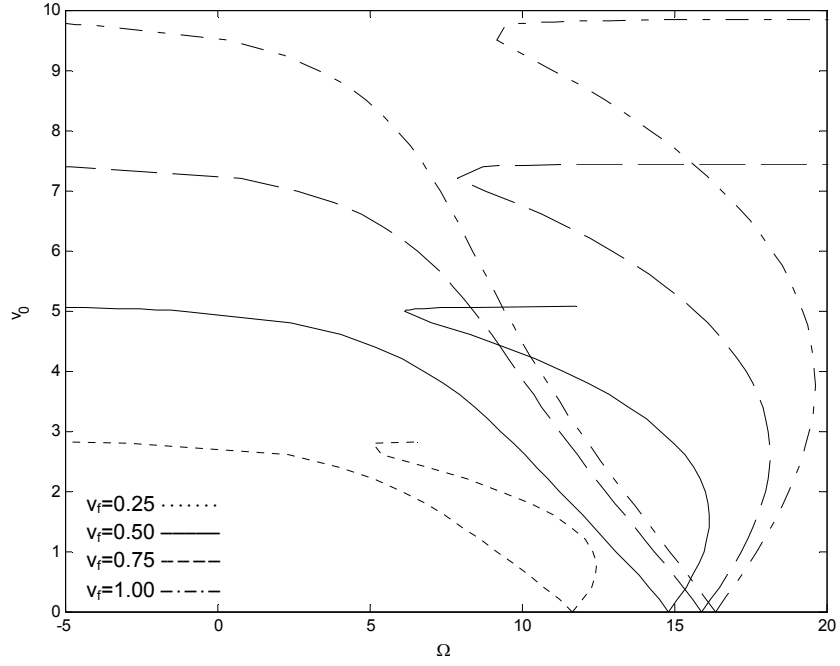
Şekil 3.65 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



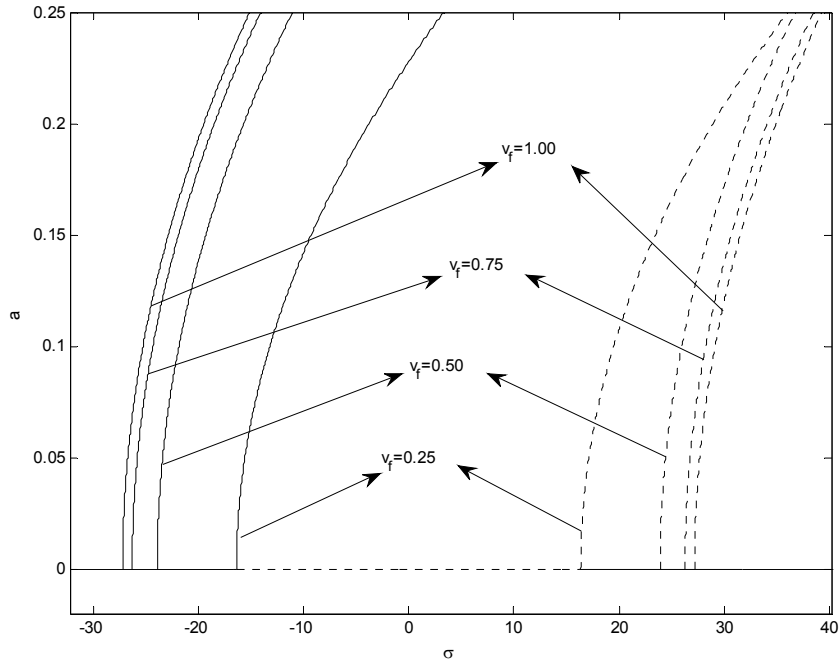
Şekil 3.66 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



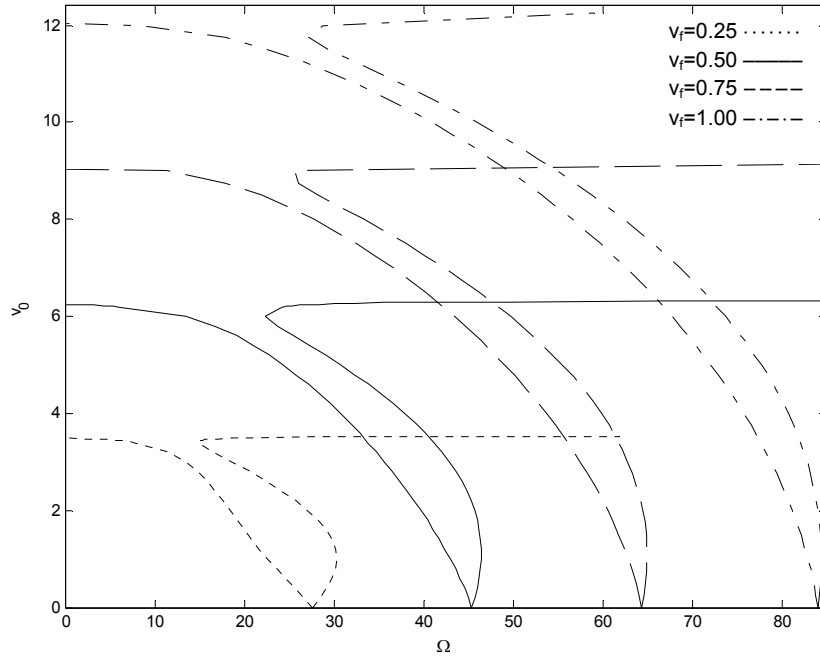
Şekil 3.67 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



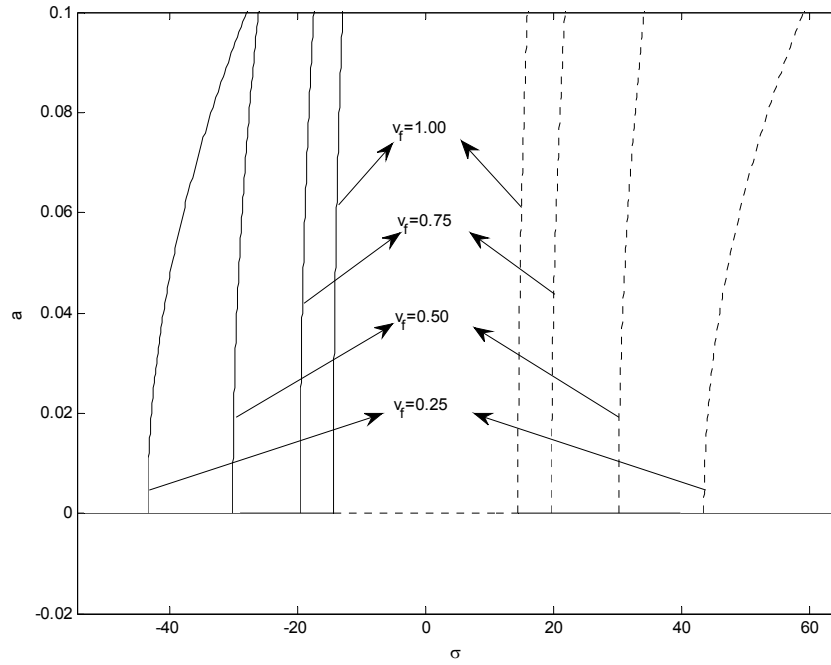
Şekil 3.68 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



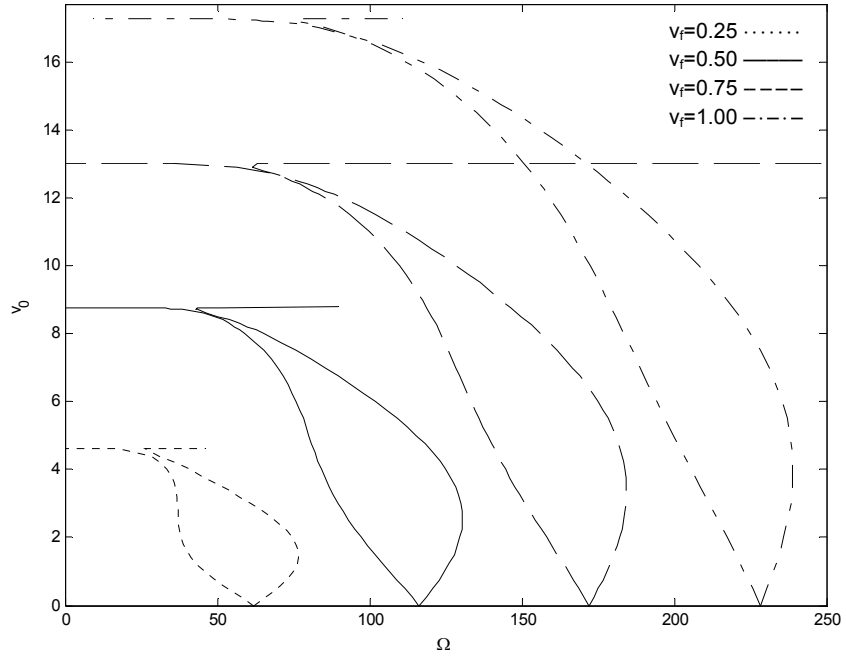
Şekil 3.69 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



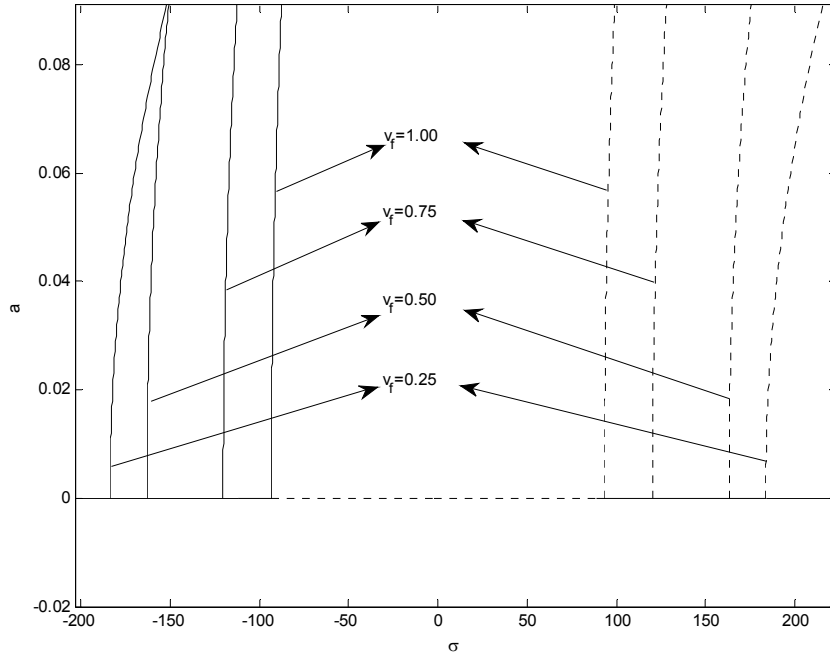
Şekil 3.70 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



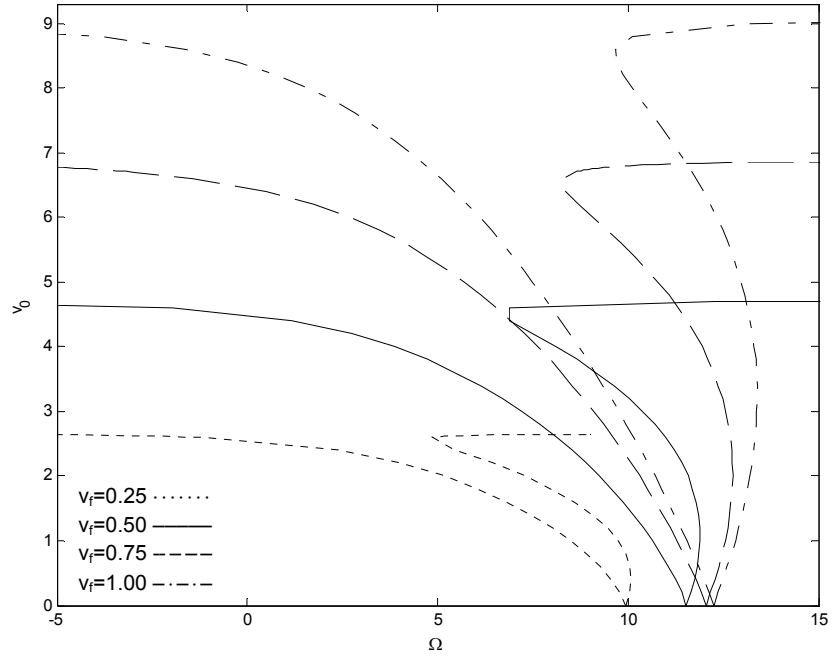
Şekil 3.71 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



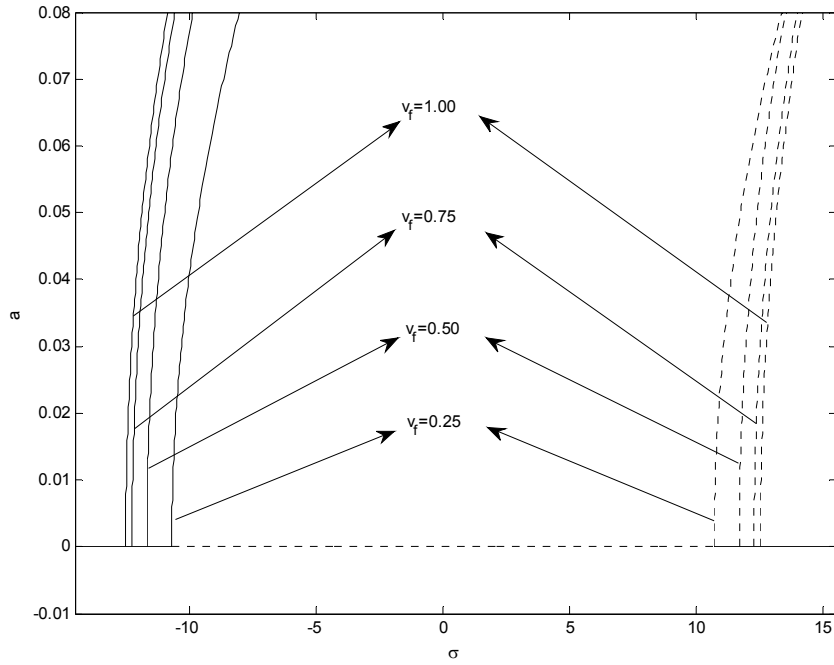
Şekil 3.72 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



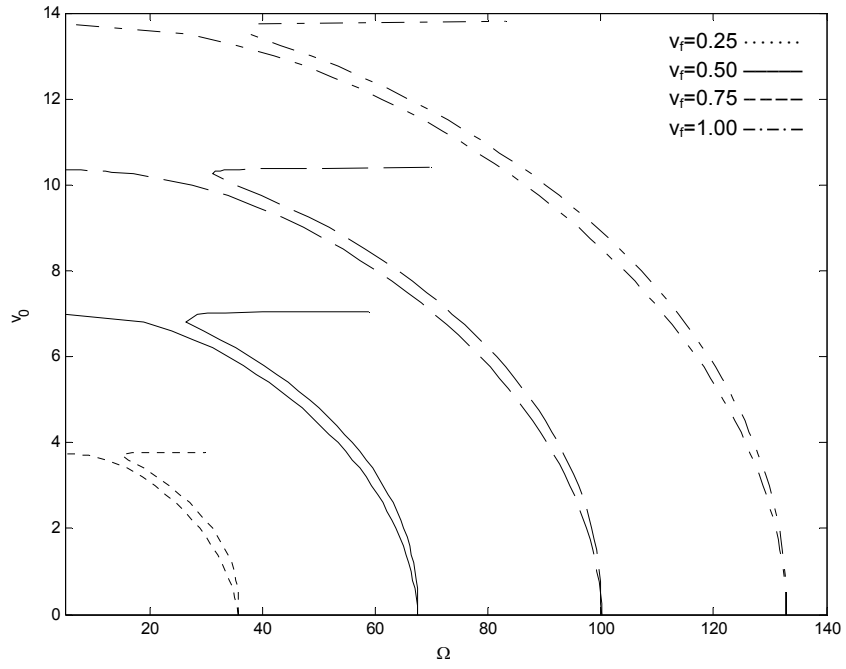
Şekil 3.73 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



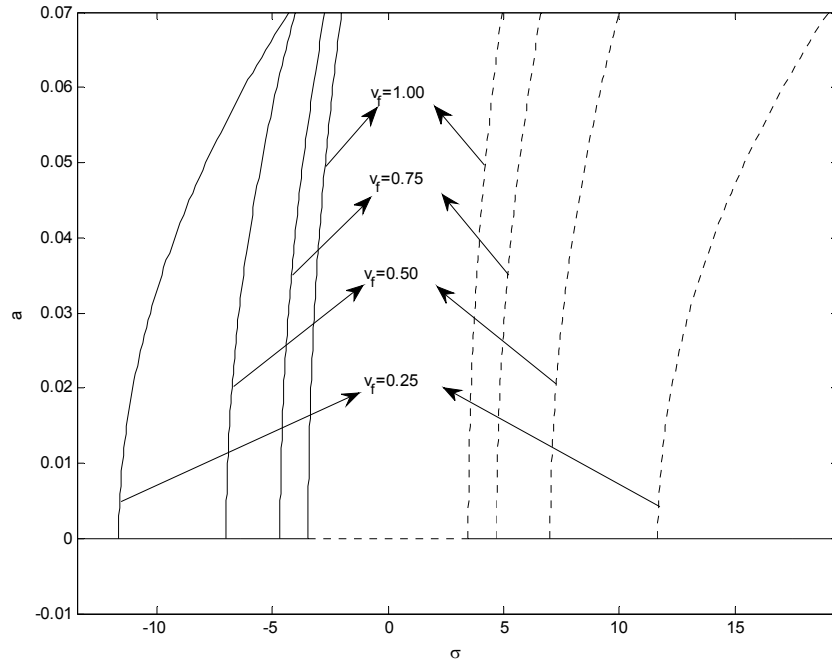
Şekil 3.74 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



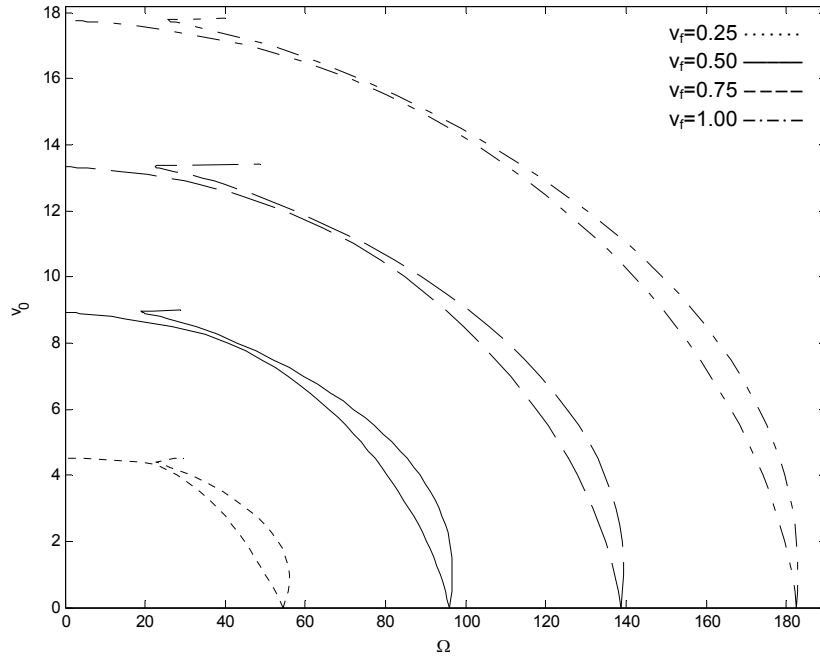
Şekil 3.75 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



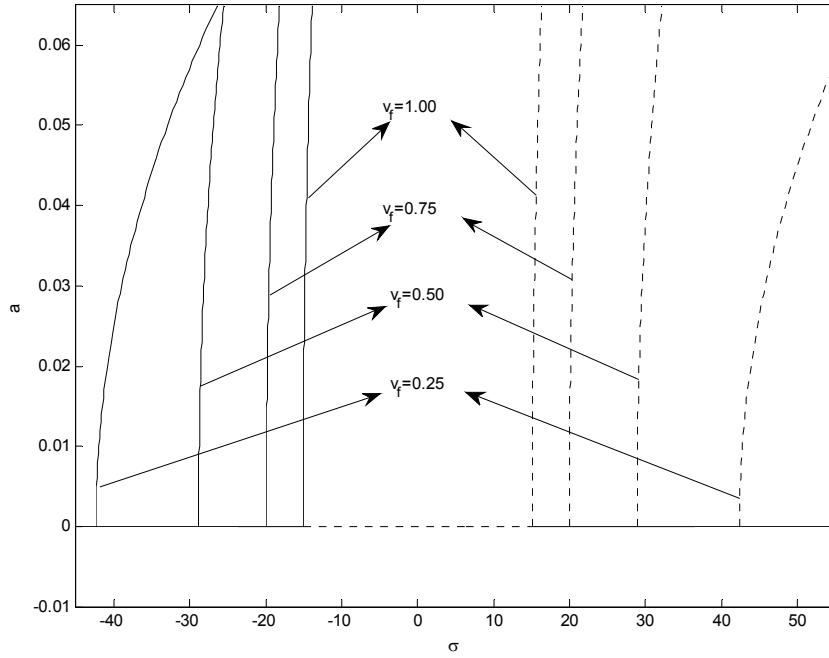
Şekil 3.76 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



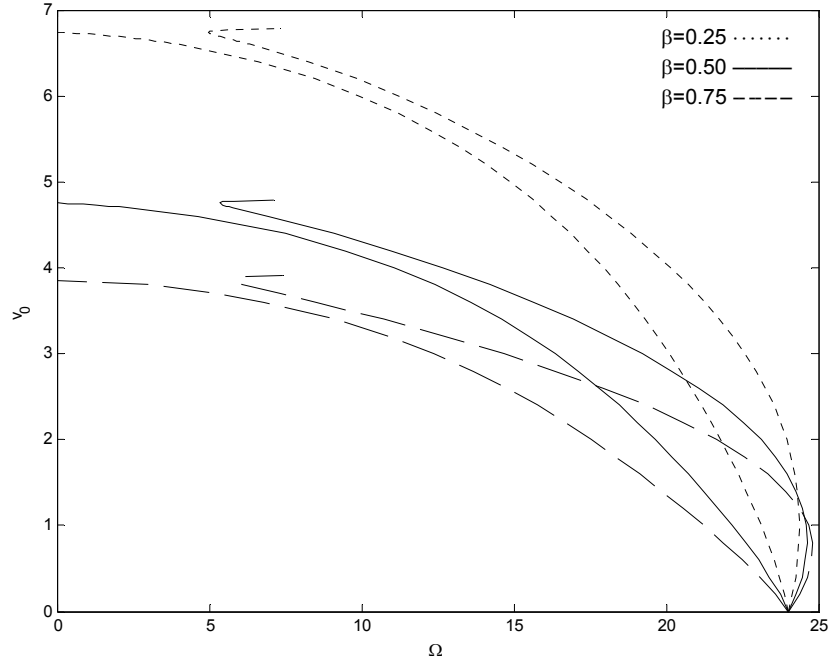
Şekil 3.77 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



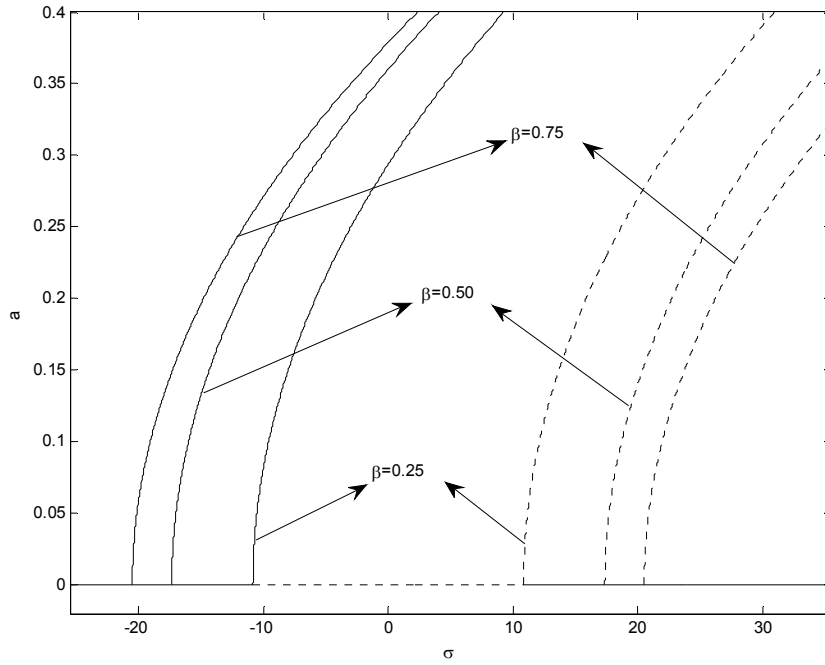
Şekil 3.78 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



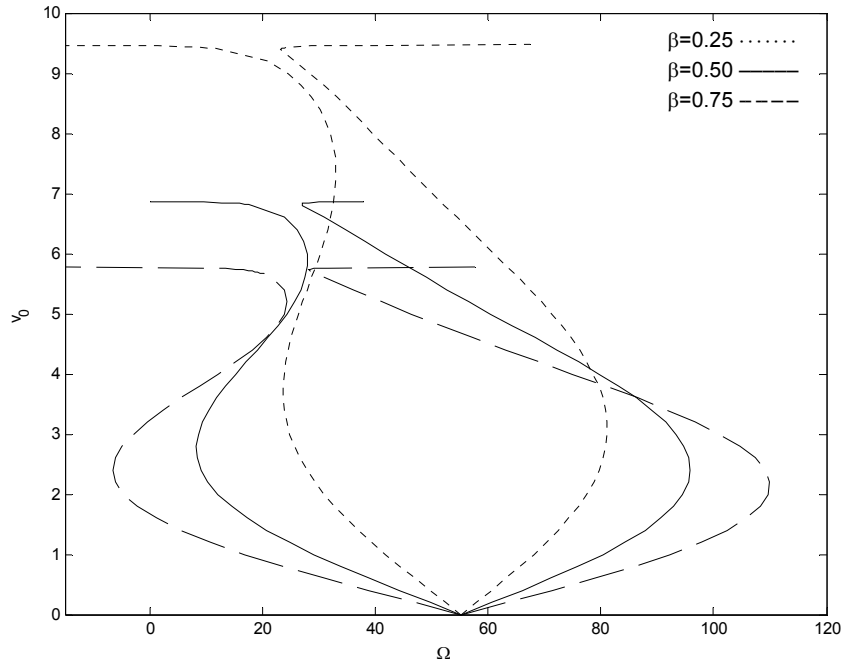
Şekil 3.79 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için v_f değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



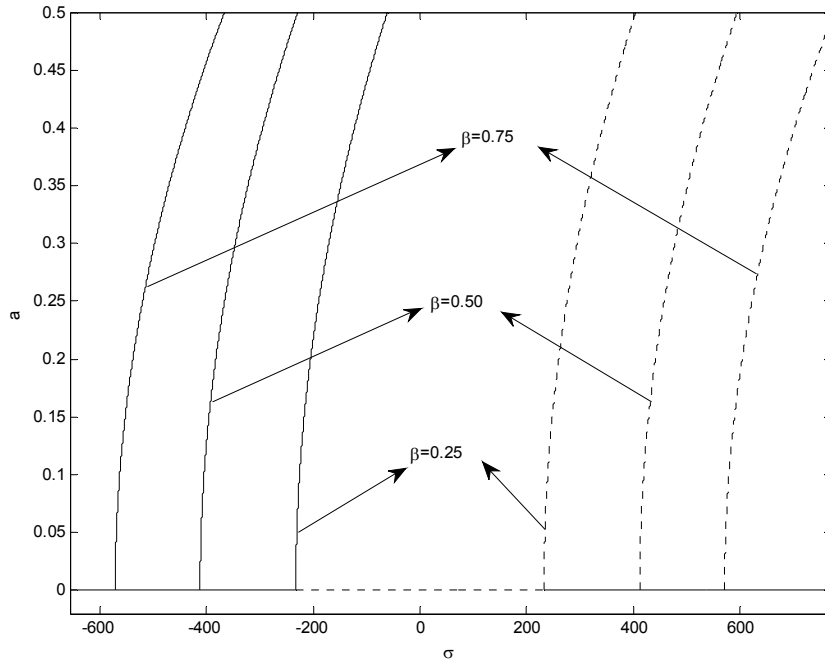
Şekil 3.80 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



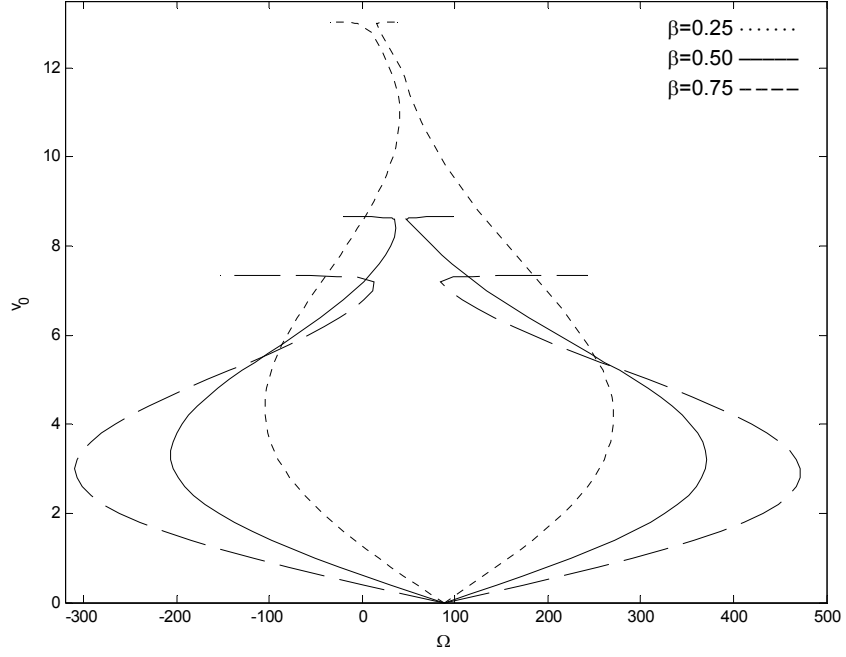
Şekil 3.81 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



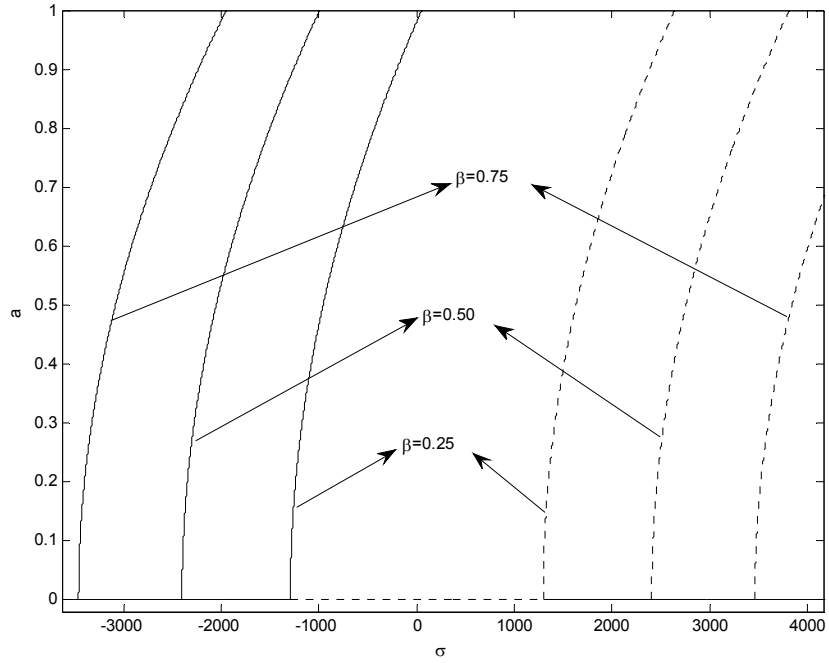
Şekil 3.82 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



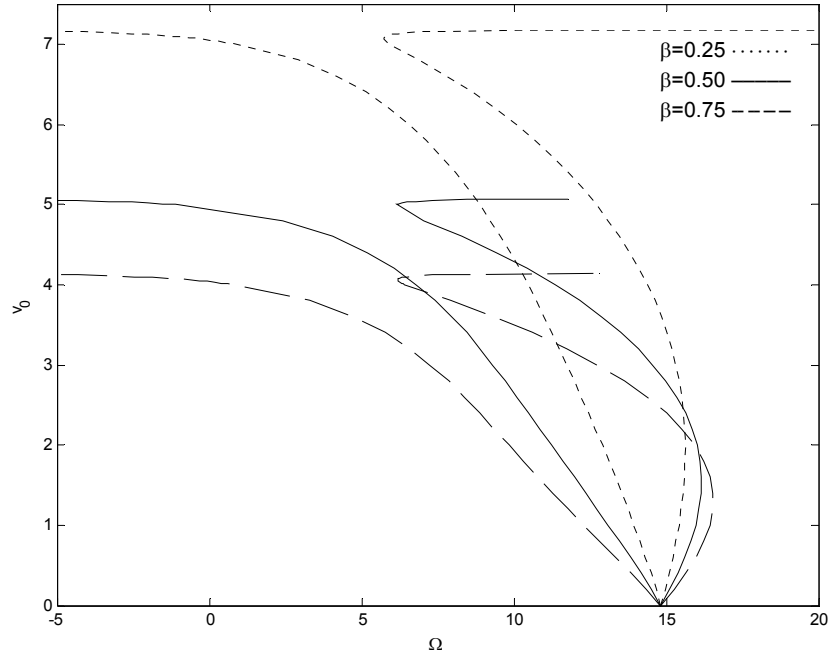
Şekil 3.83 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



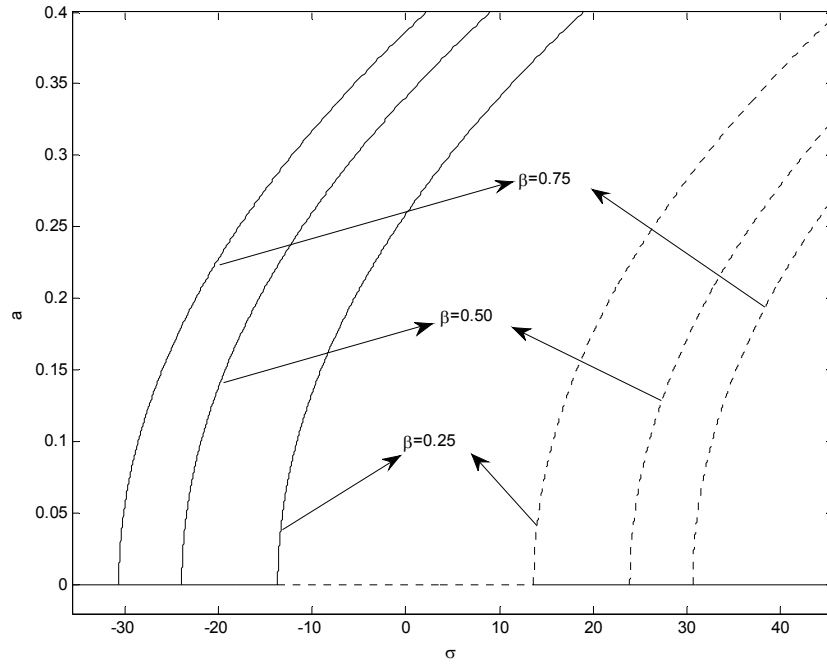
Şekil 3.84 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



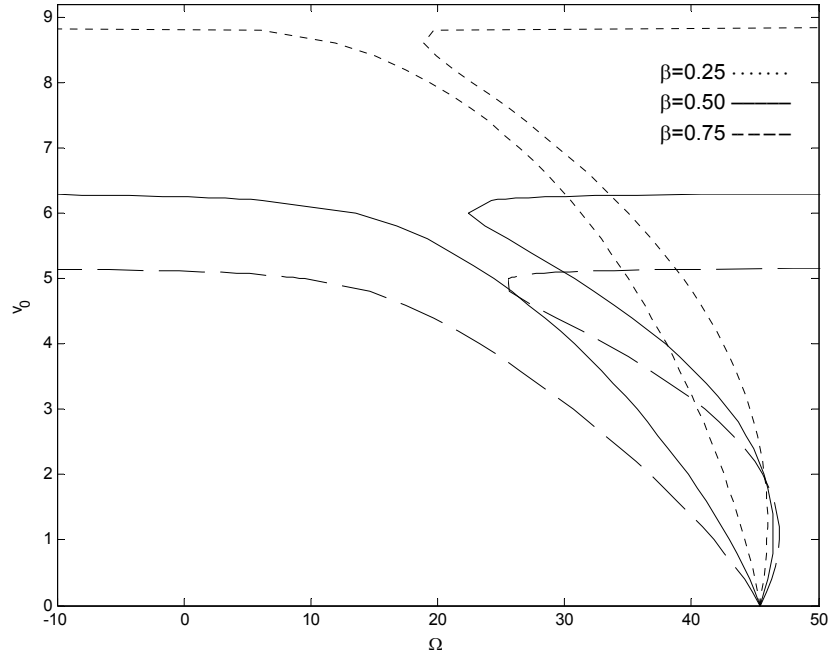
Şekil 3.85 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



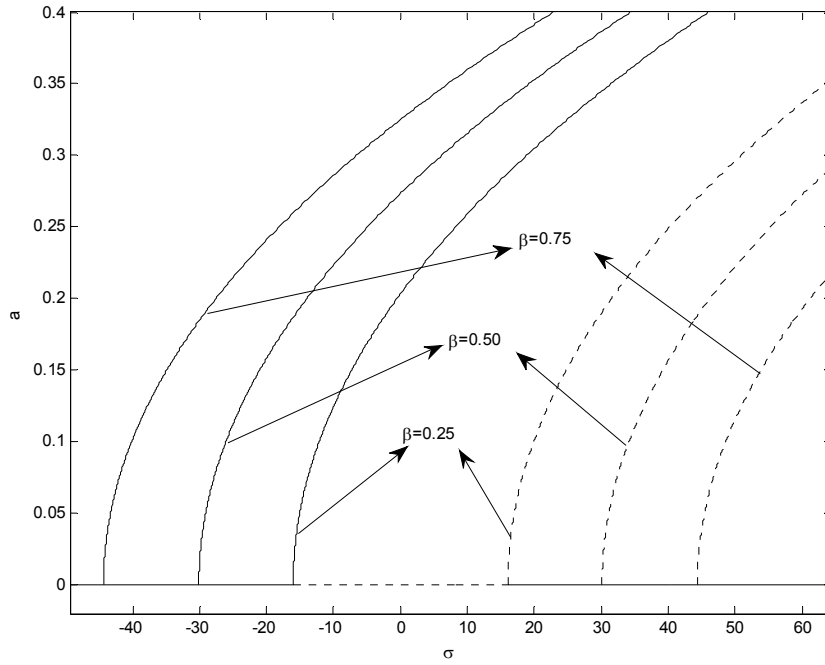
Şekil 3.86 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



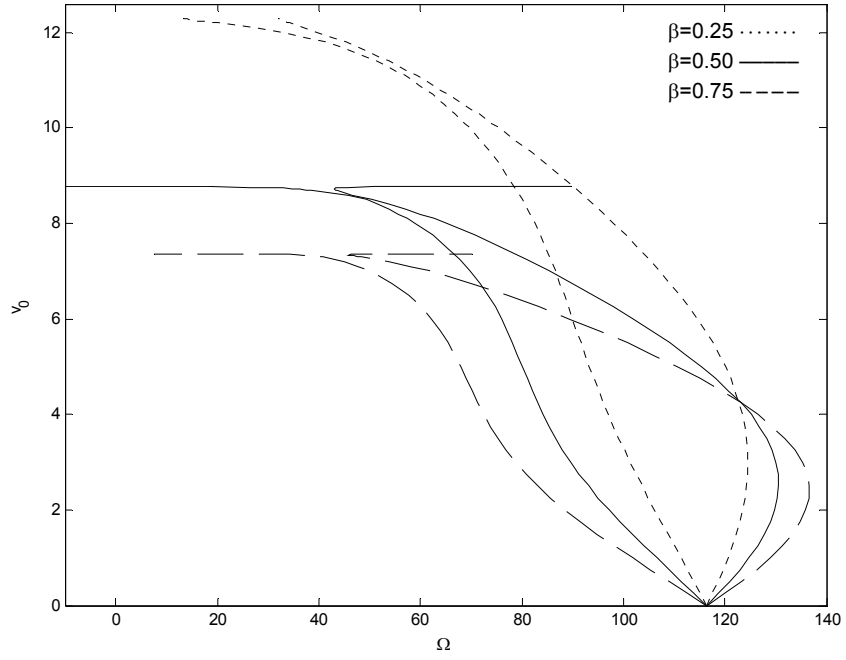
Şekil 3.87 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



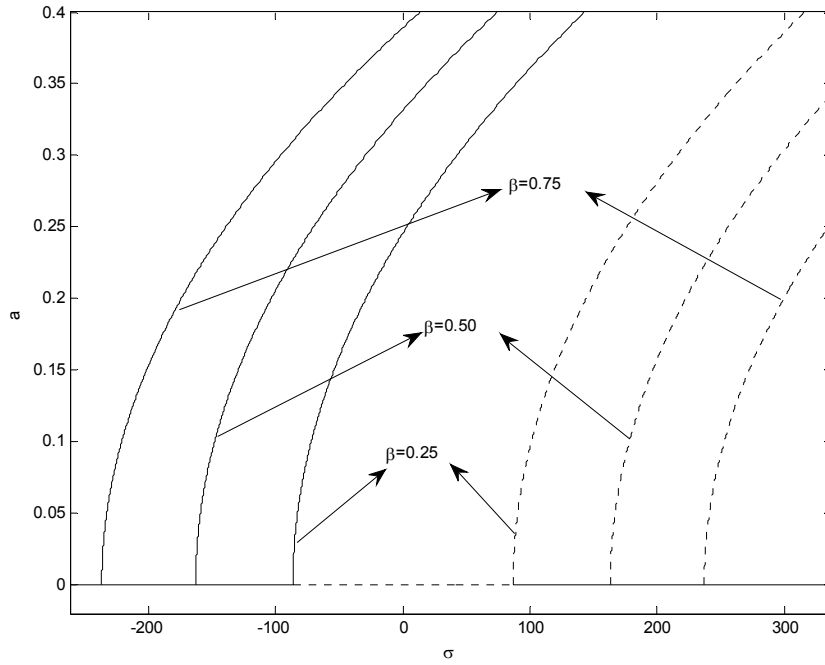
Şekil 3.88 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



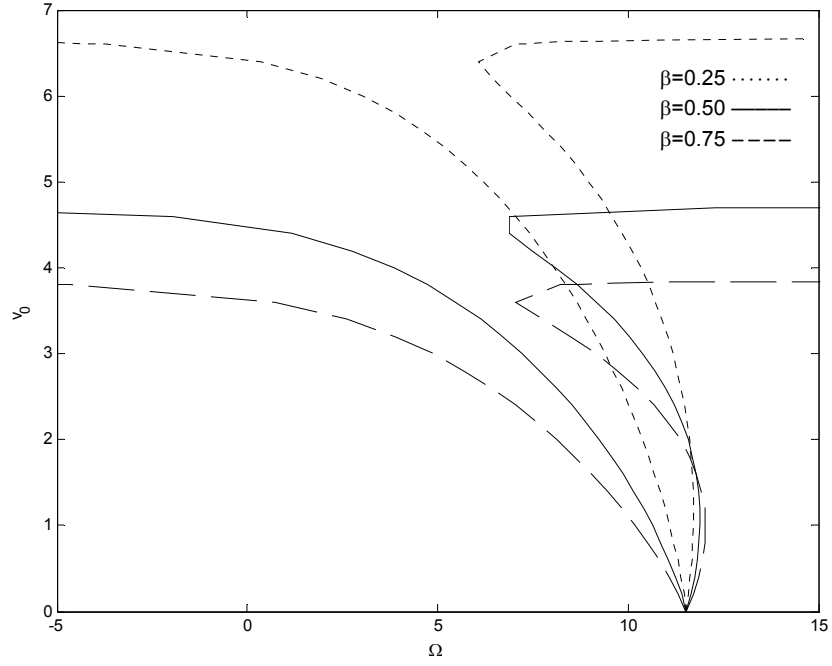
Şekil 3.89 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



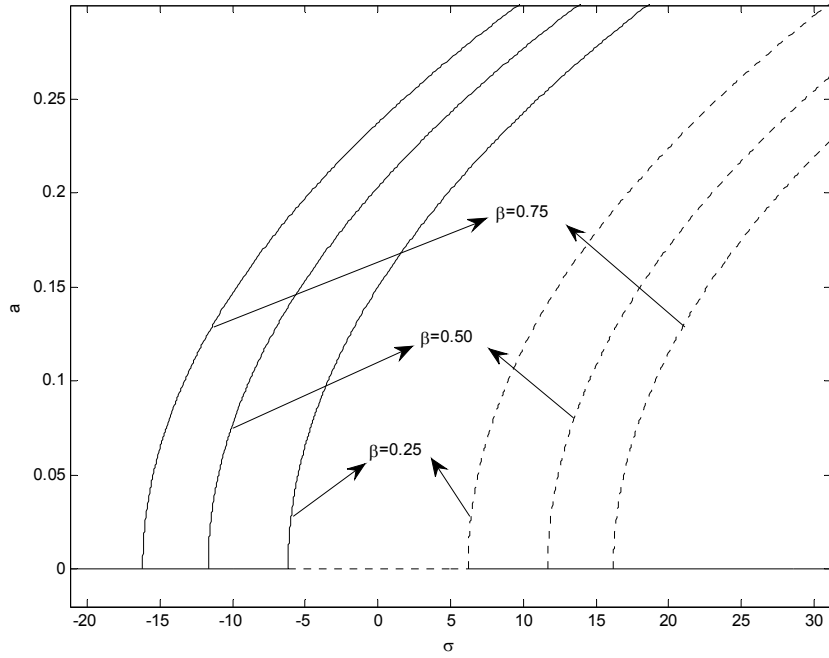
Şekil 3.90 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



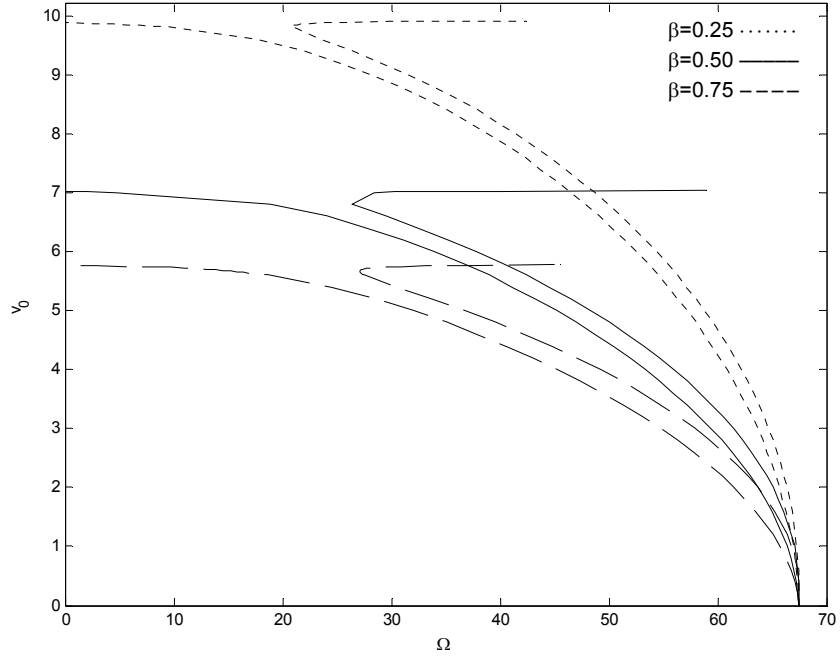
Şekil 3.91 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



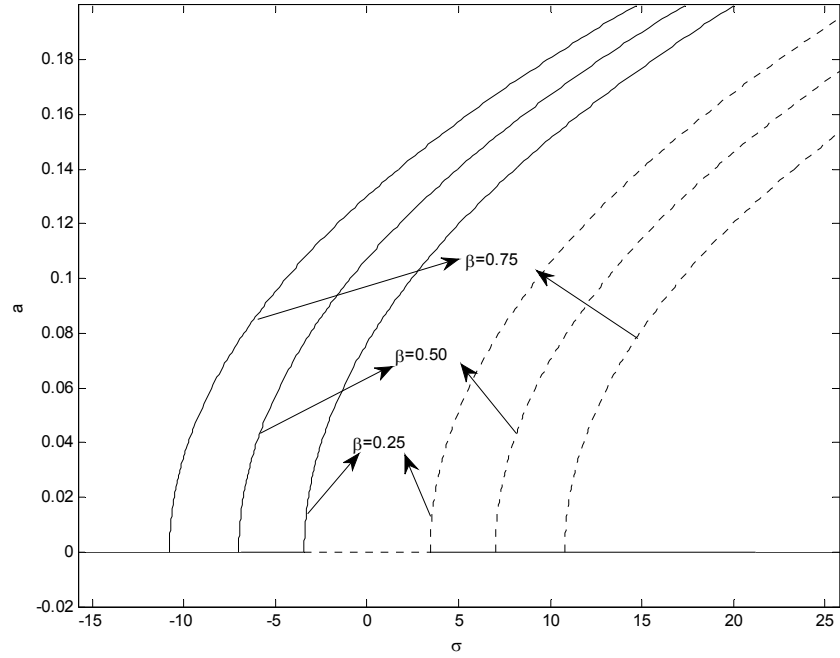
Şekil 3.92 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



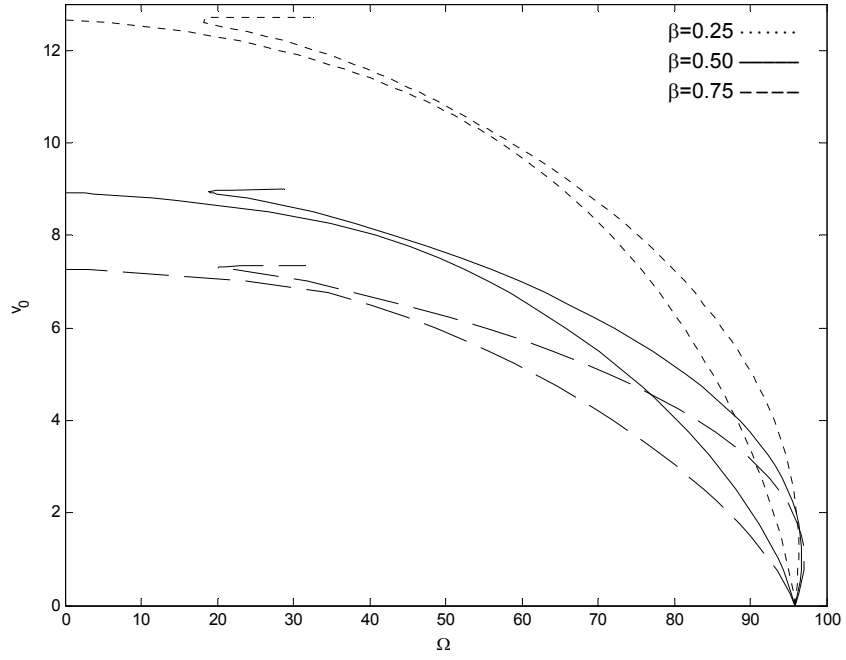
Şekil 3.93 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



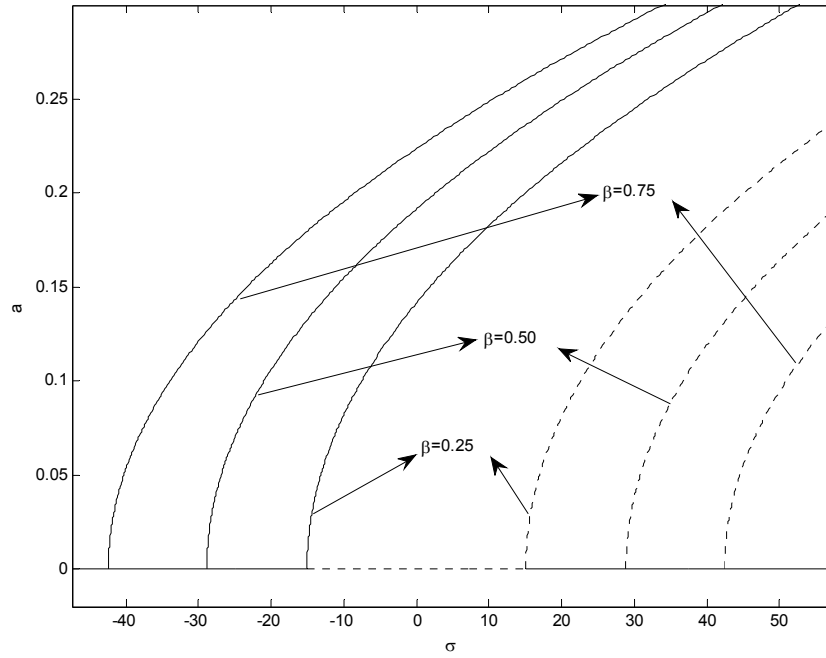
Şekil 3.94 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



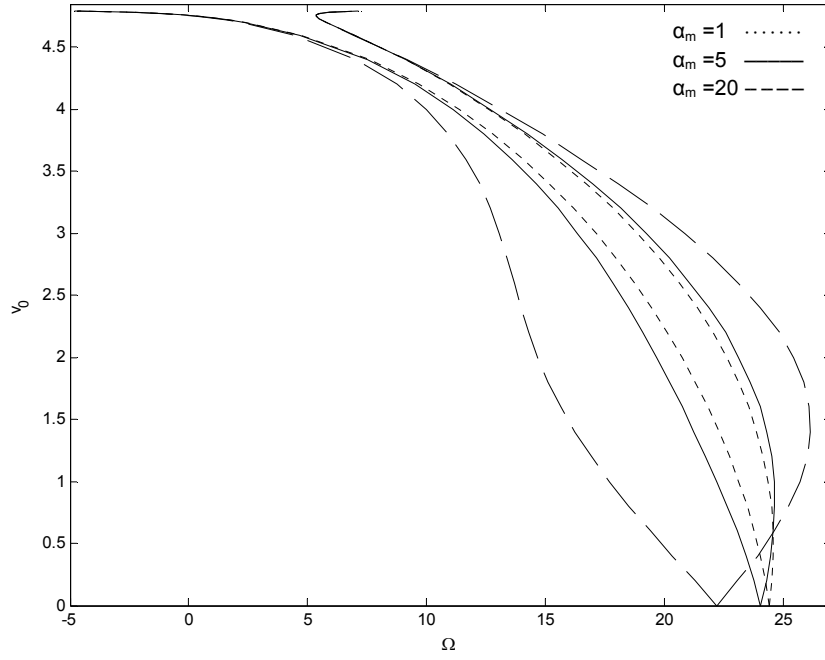
Şekil 3.95 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



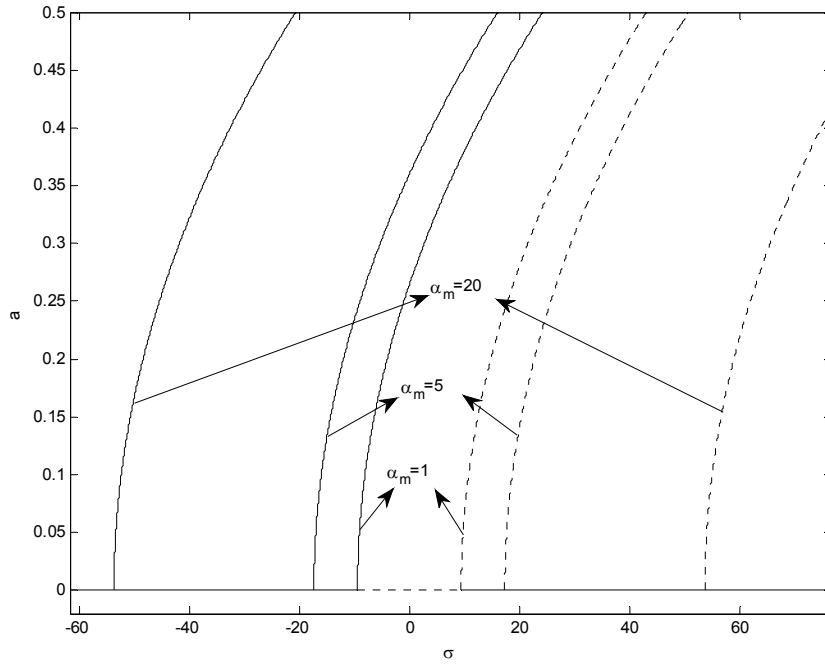
Şekil 3.96 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



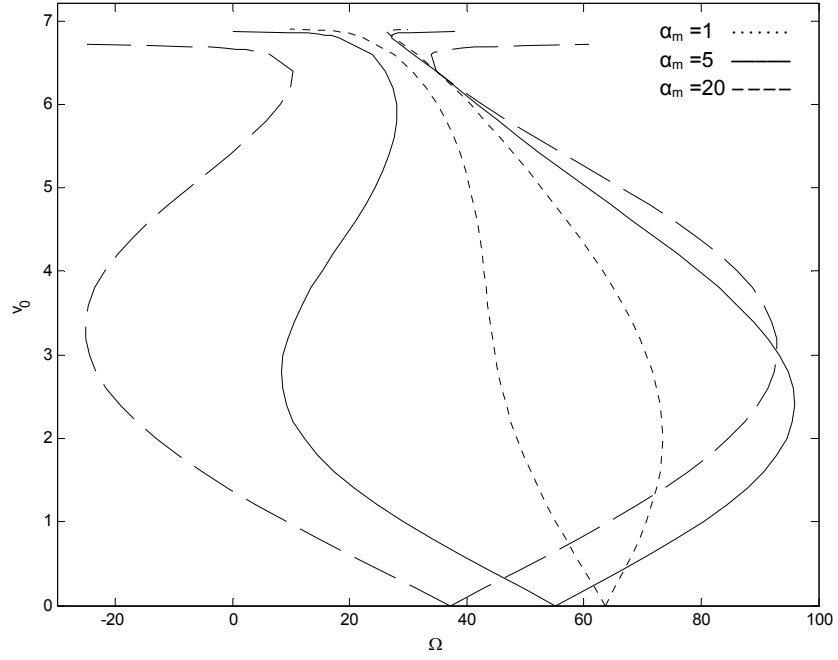
Şekil 3.97 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ için β değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



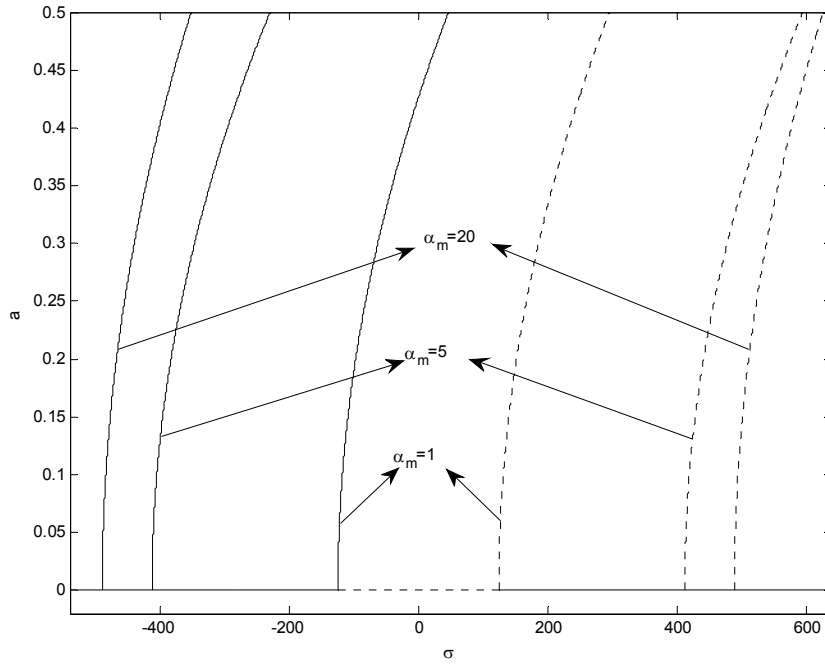
Şekil 3.98 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



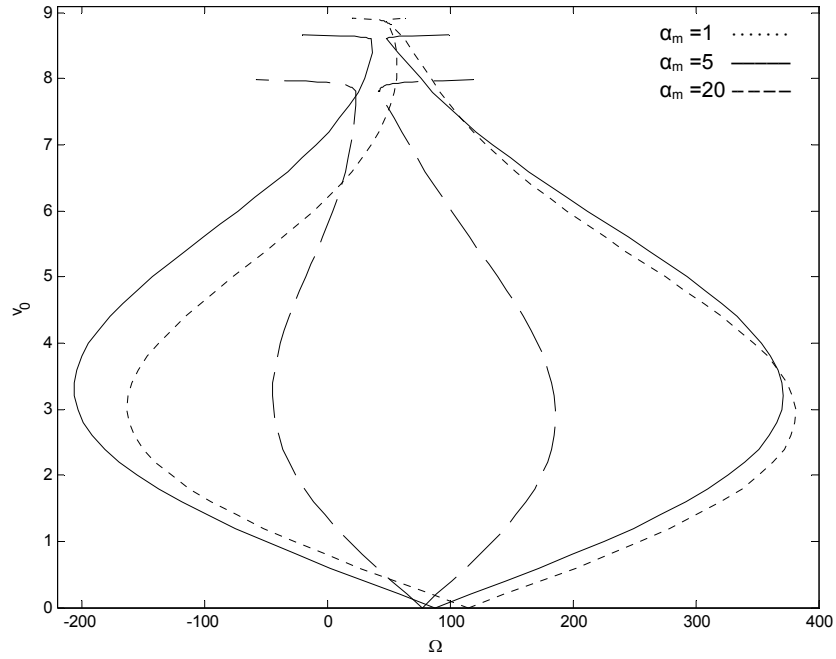
Şekil 3.99 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



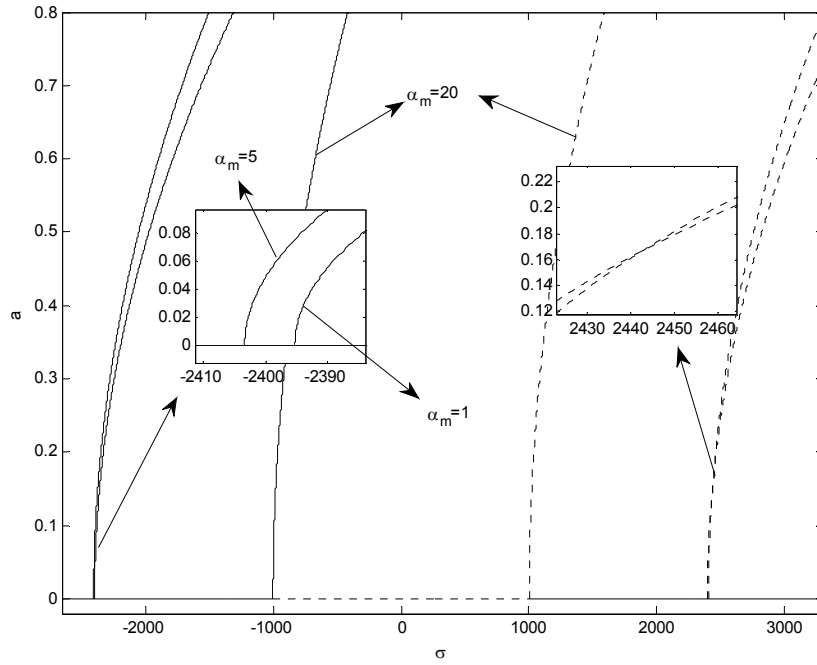
Şekil 3.100 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



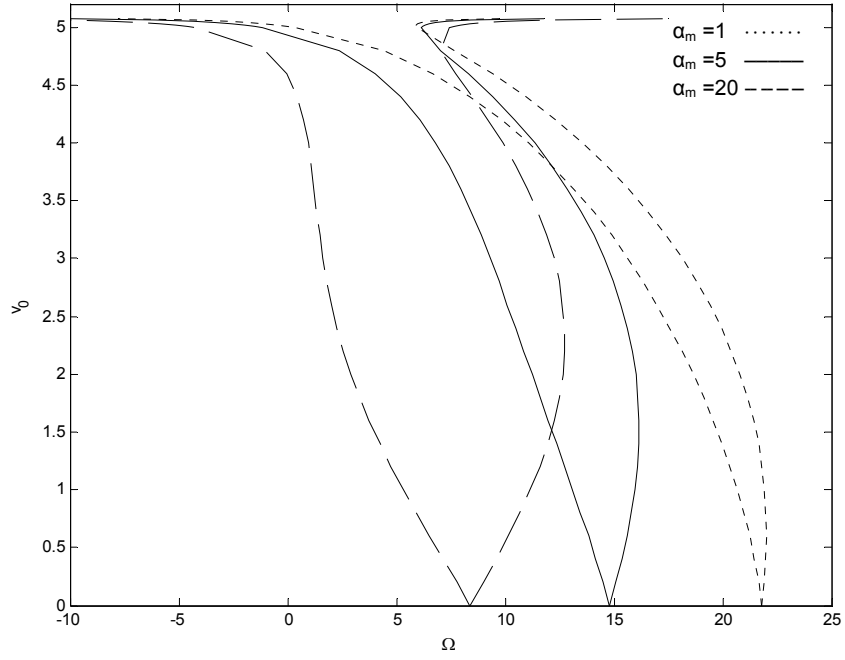
Şekil 3.101 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



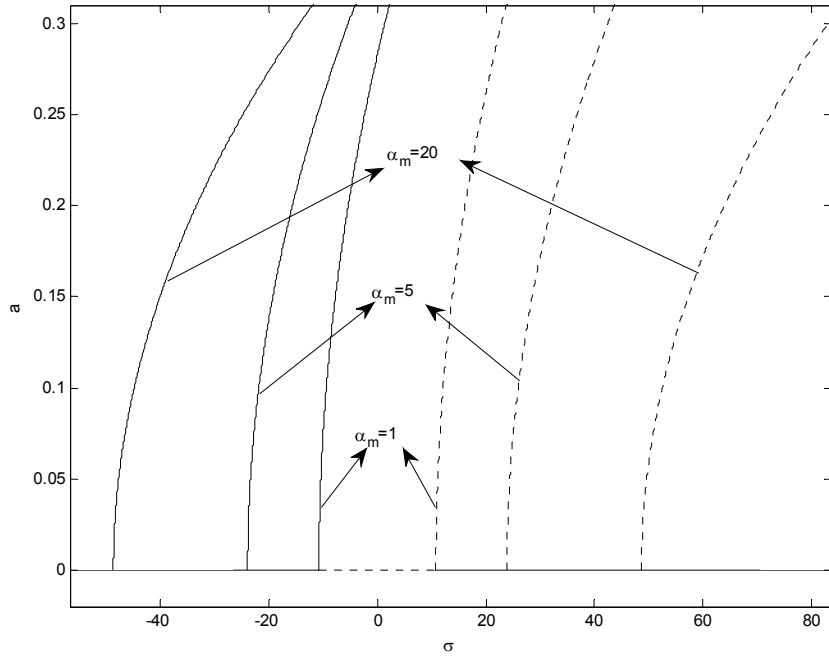
Şekil 3.102 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



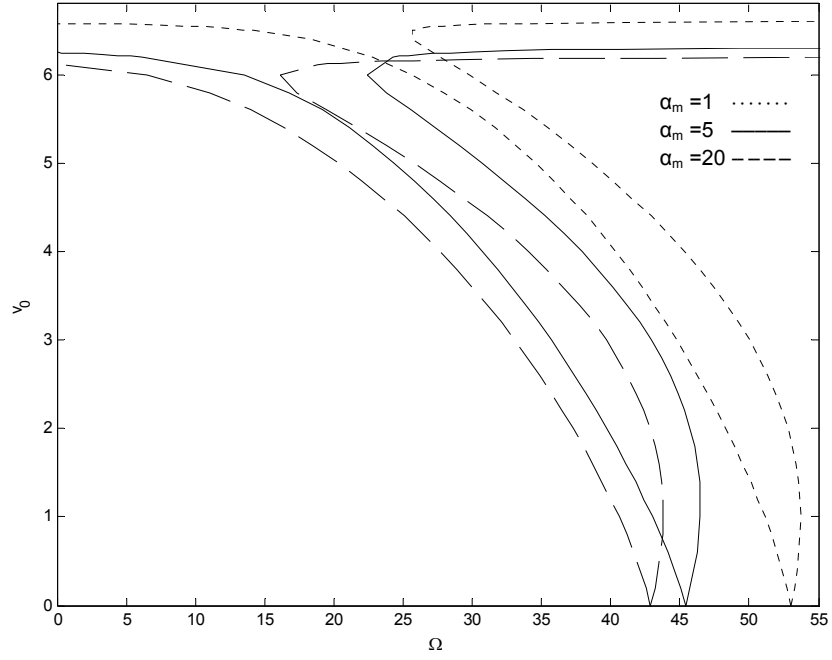
Şekil 3.103 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



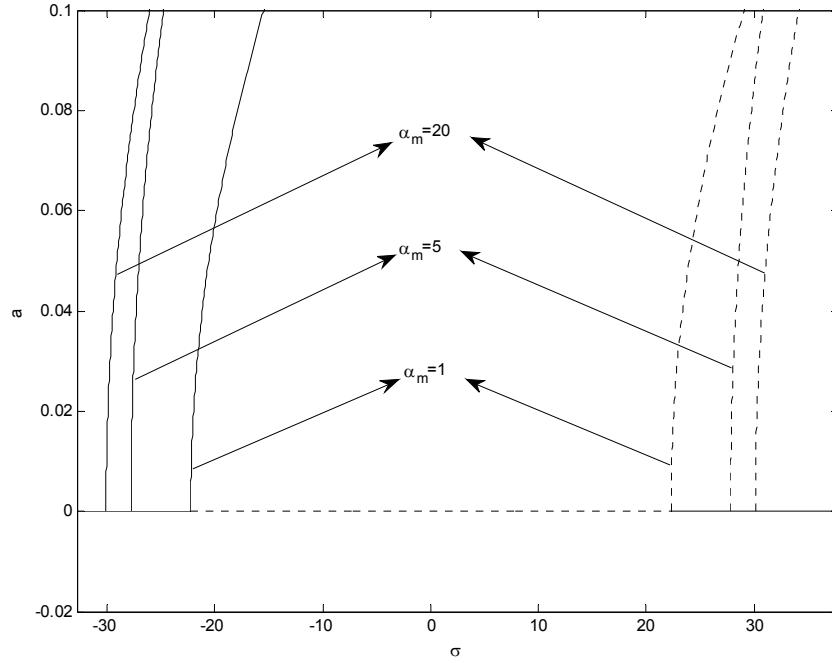
Şekil 3.104 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



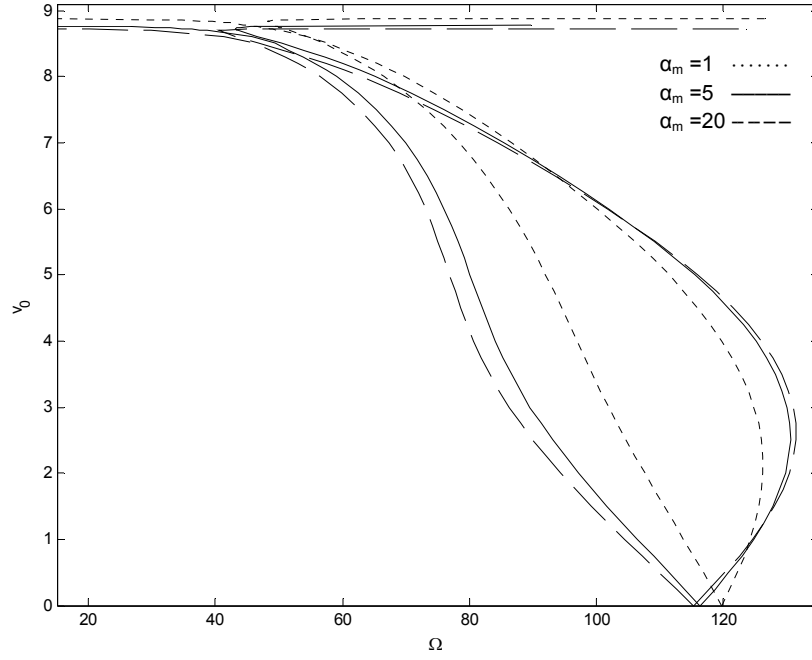
Şekil 3.105 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



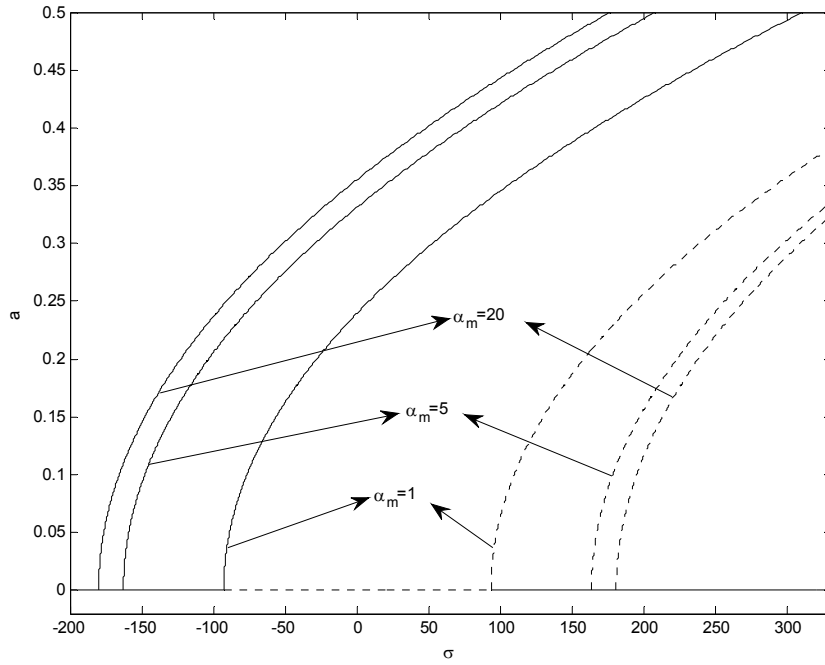
Şekil 3.106 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



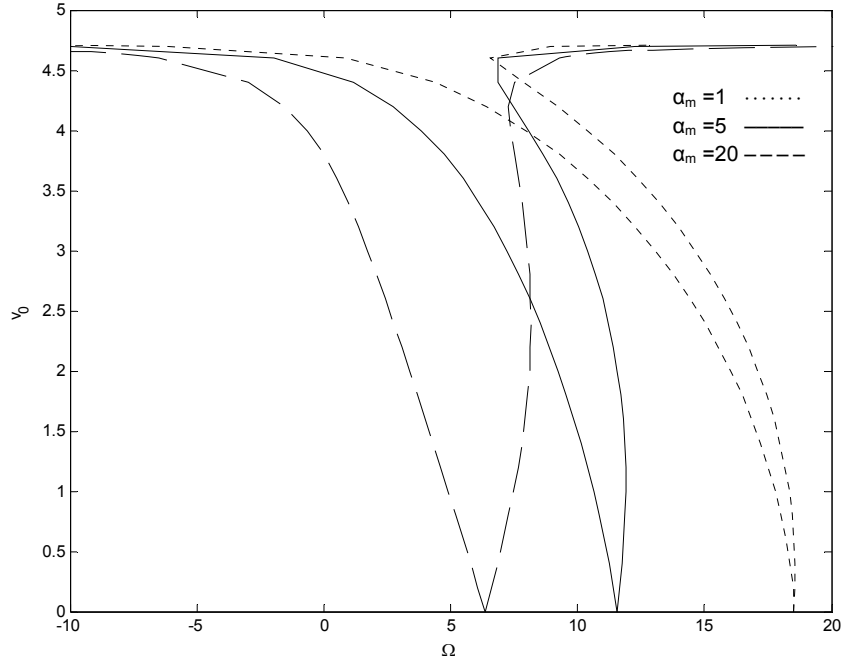
Şekil 3.107 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



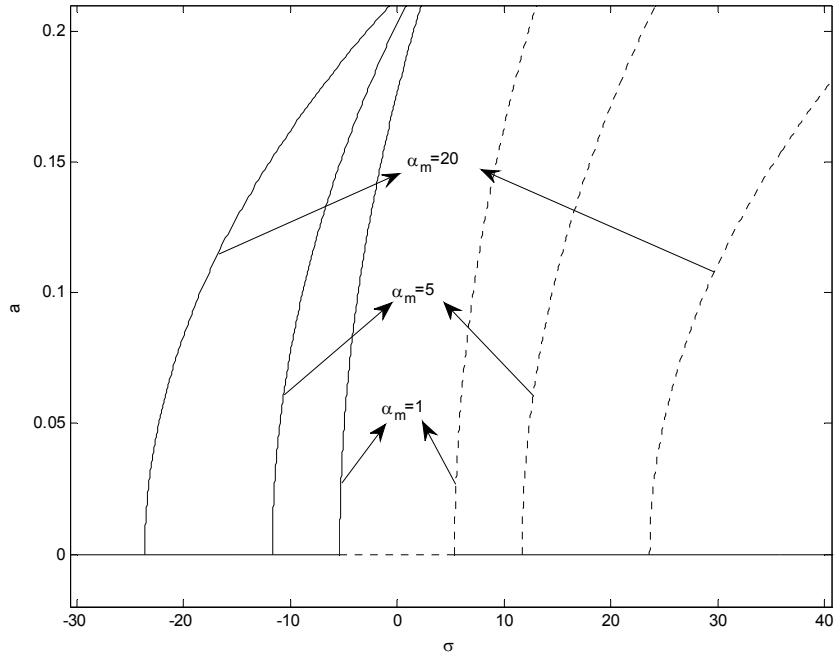
Şekil 3.108 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



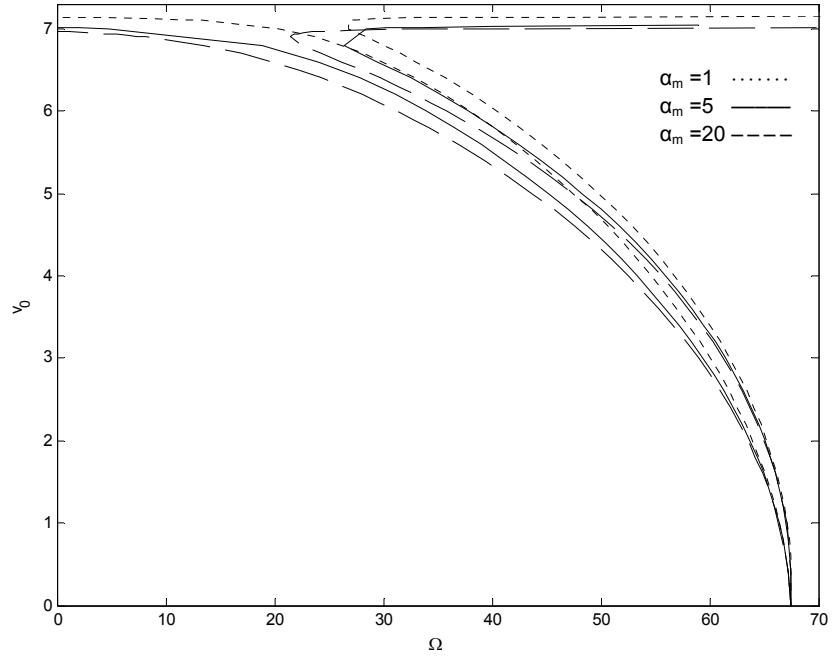
Şekil 3.109 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



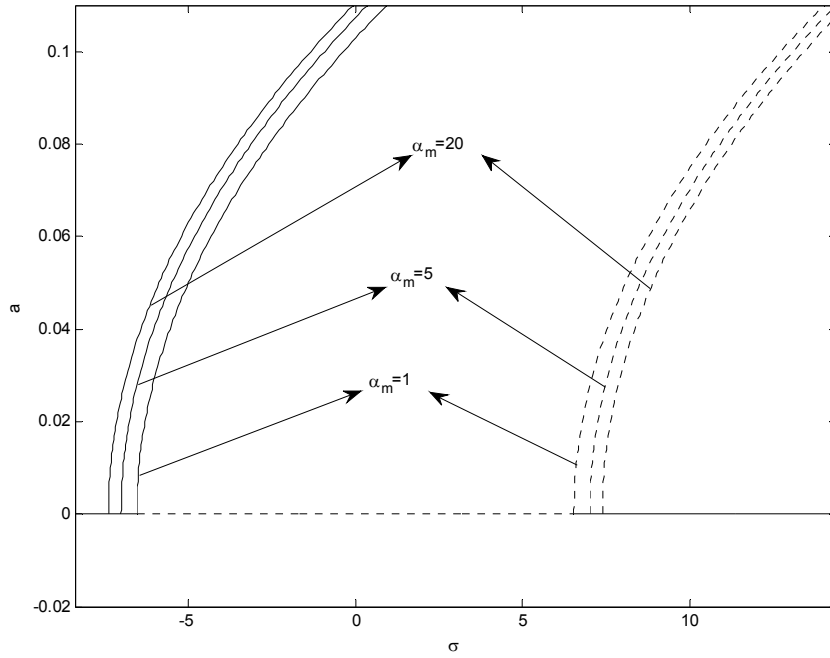
Şekil 3.110 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



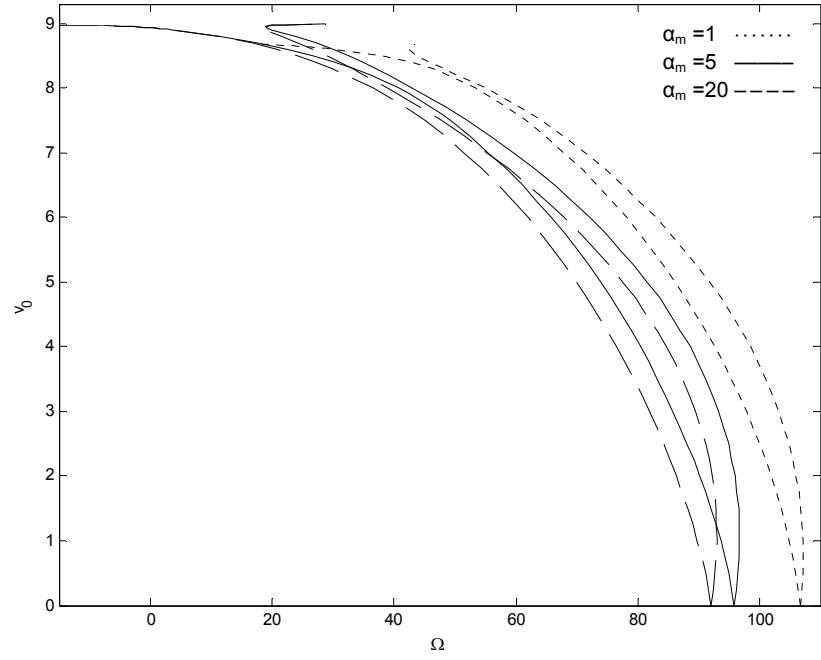
Şekil 3.111 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



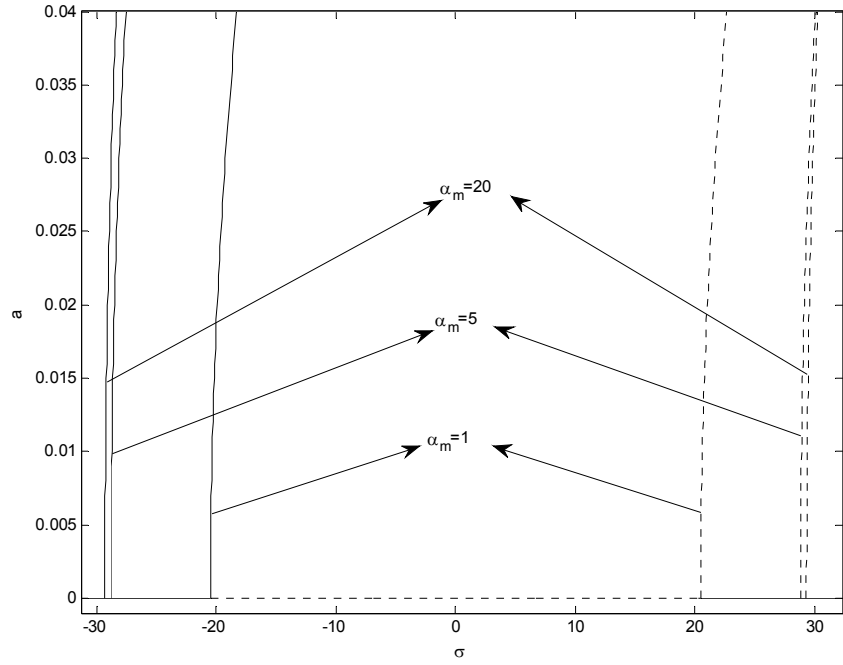
Şekil 3.112 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



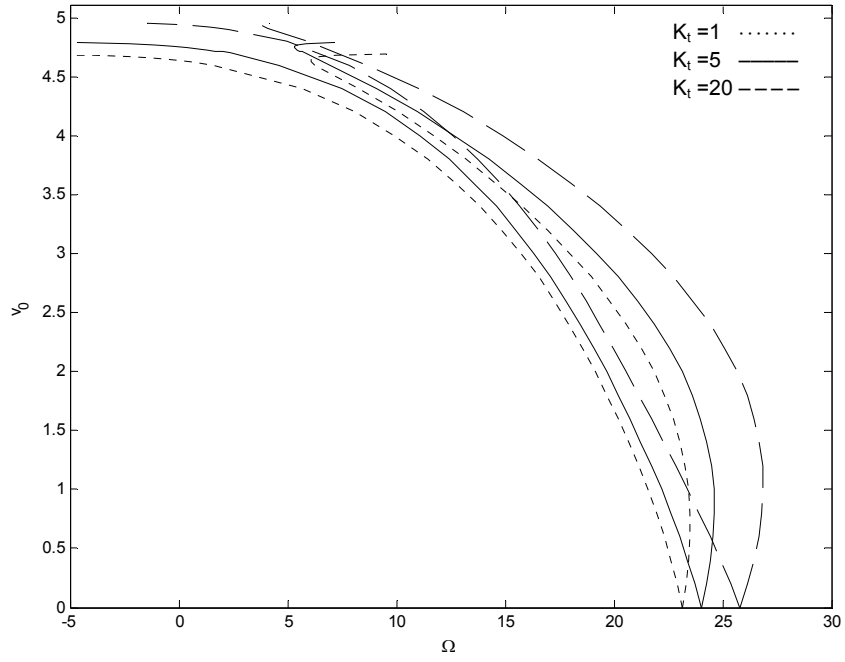
Şekil 3.113 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



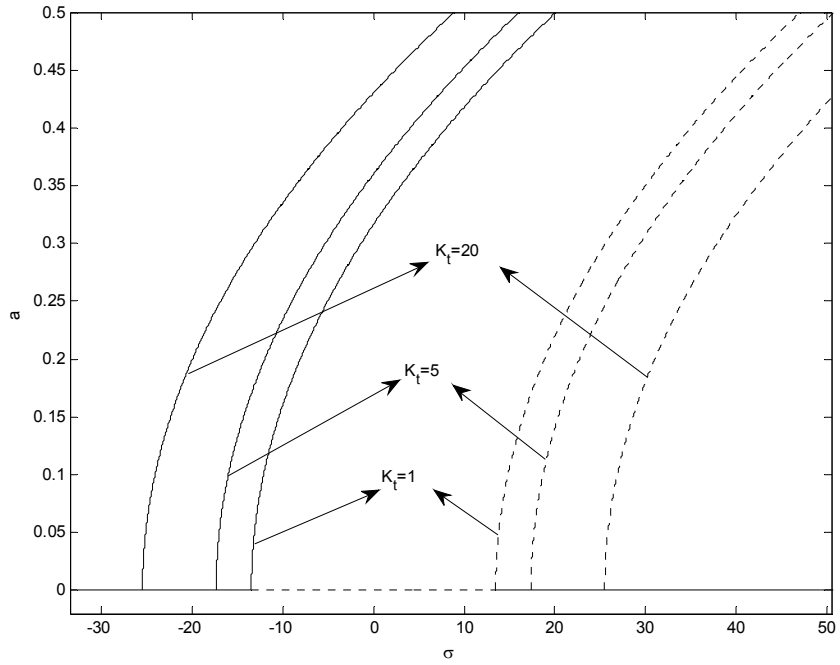
Şekil 3.114 $\eta=0.5$ - $\nu_i=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



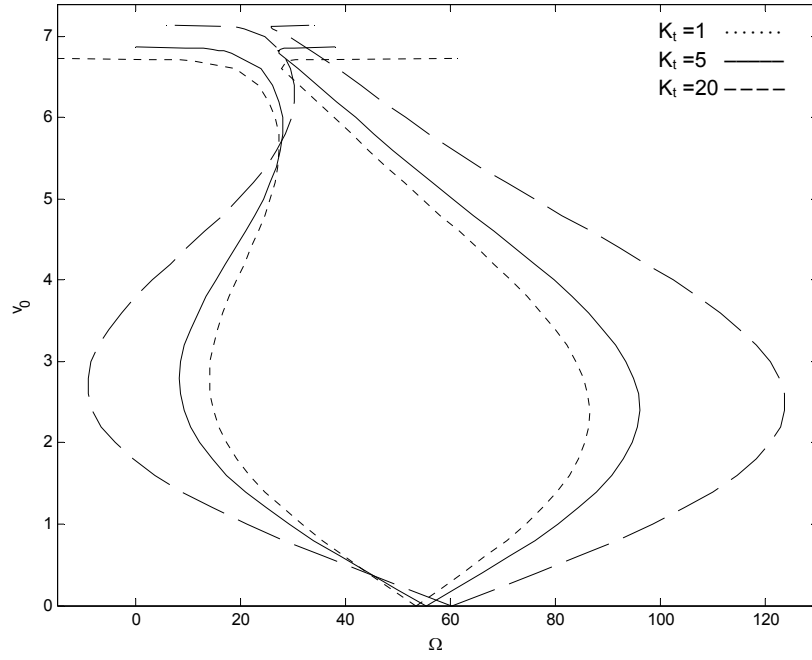
Şekil 3.115 $\eta=0.5$ - $\nu_i=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için α_m değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



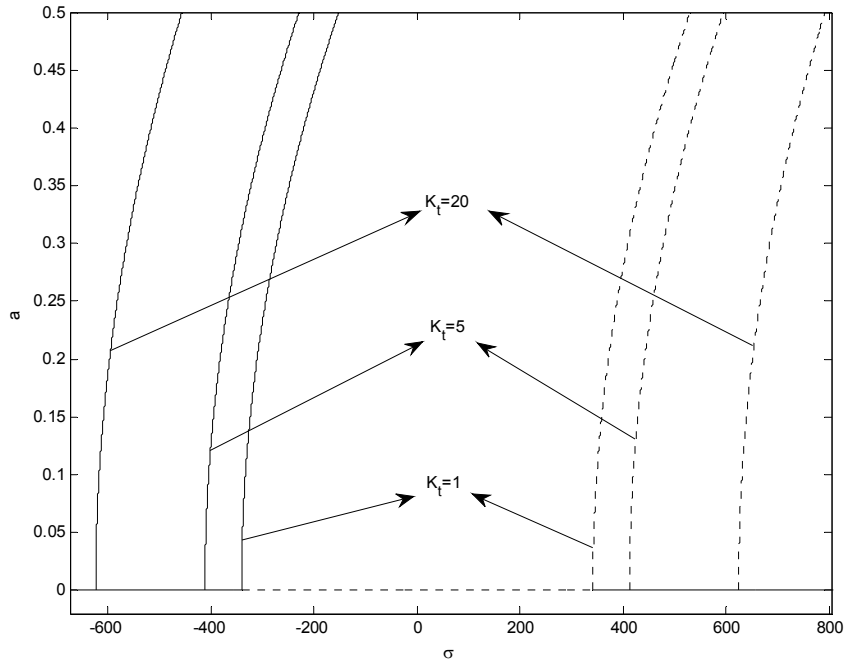
Şekil 3.116 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



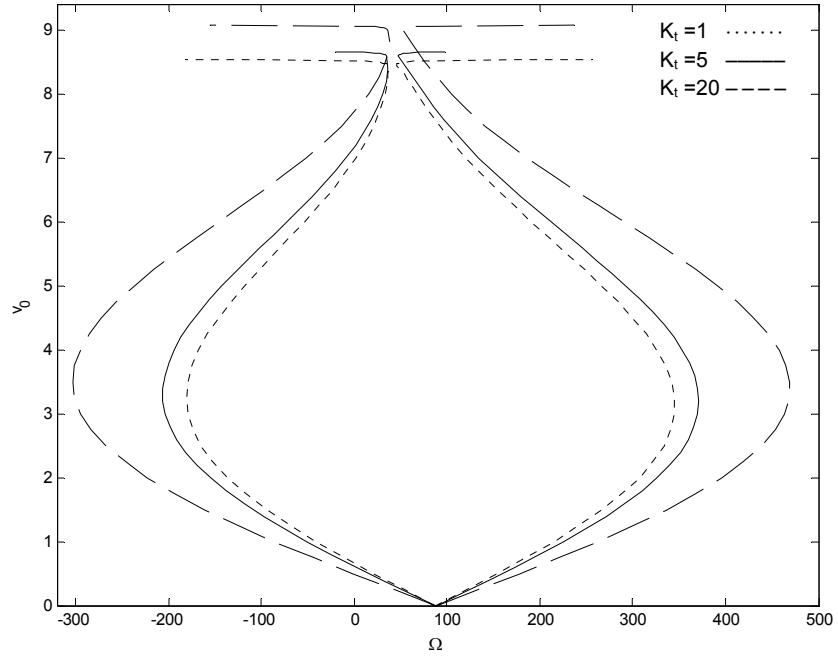
Şekil 3.117 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



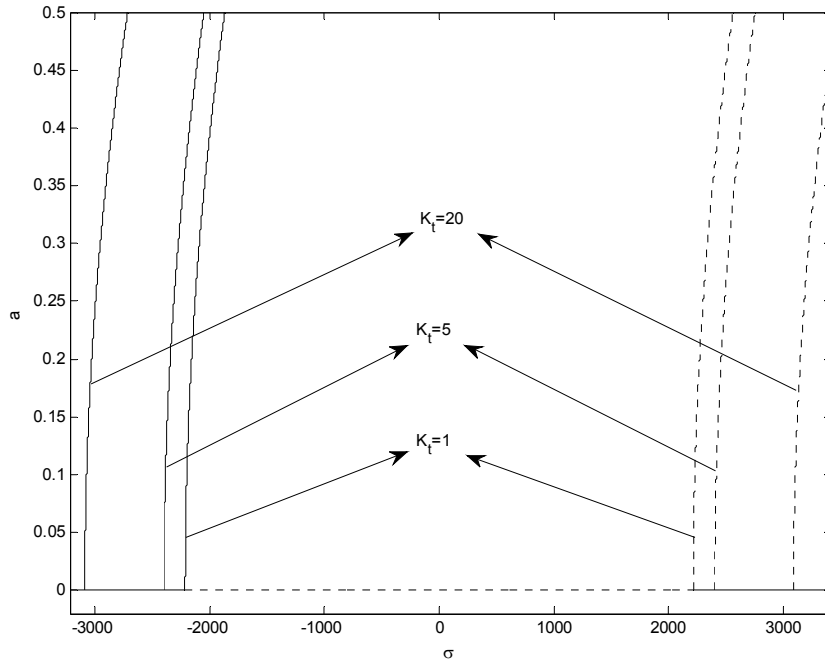
Şekil 3.118 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



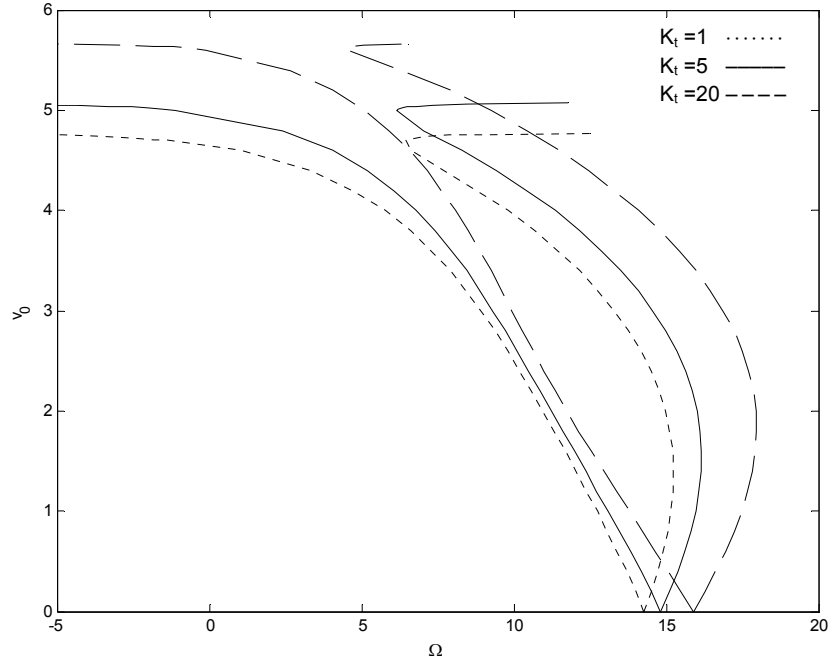
Şekil 3.119 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



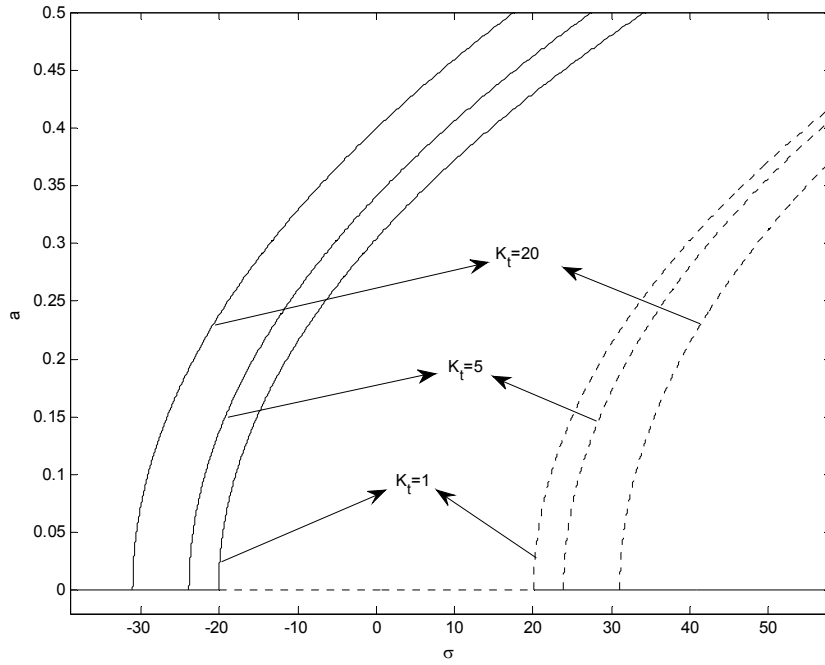
Şekil 3.120 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



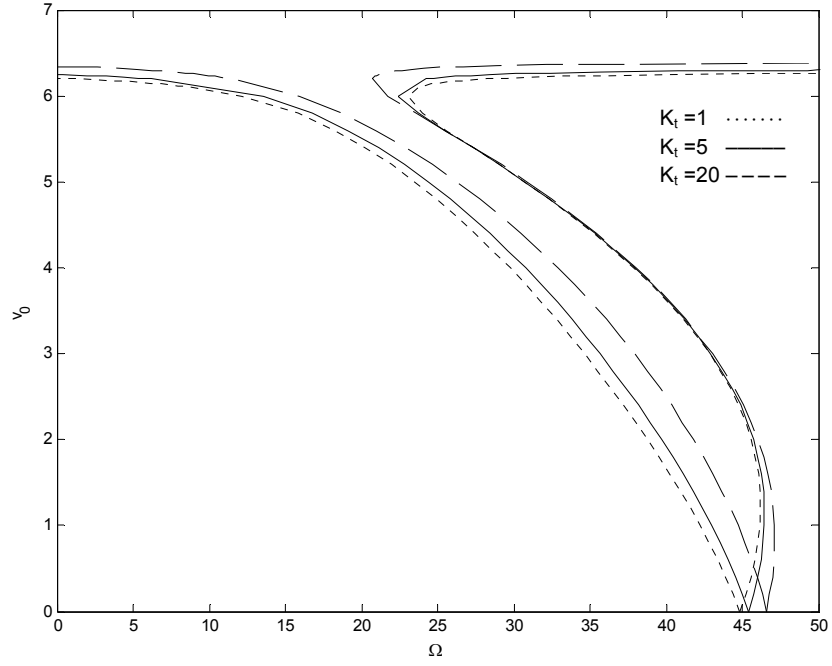
Şekil 3.121 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



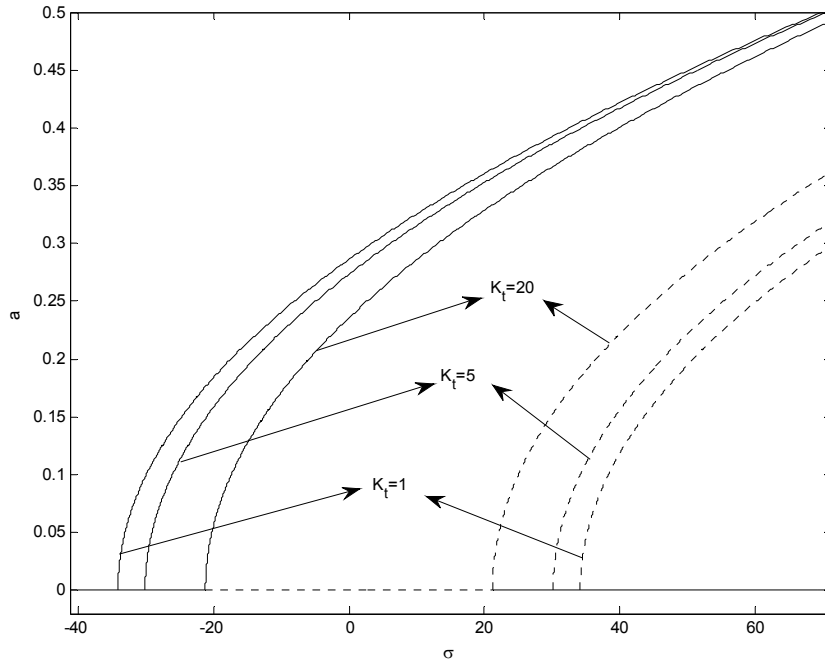
Şekil 3.122 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



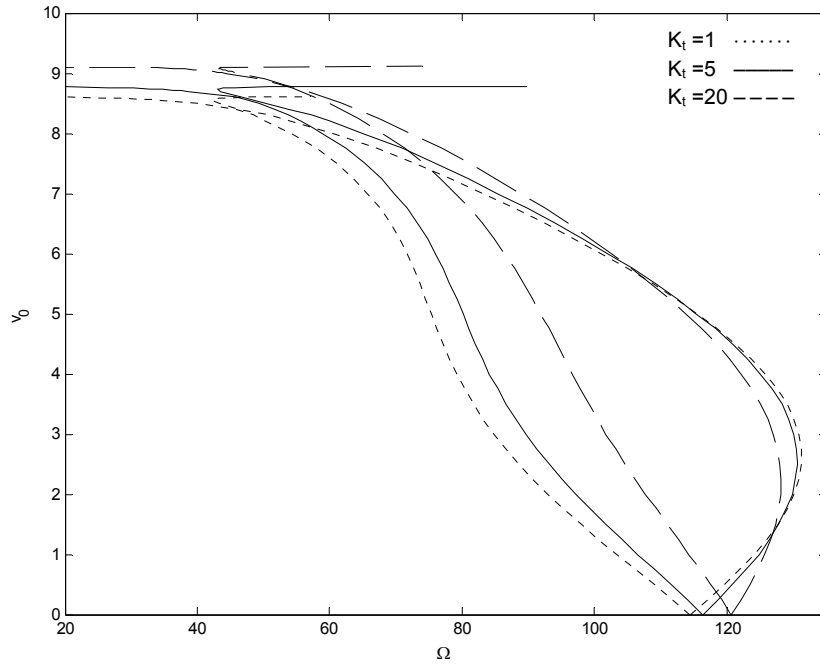
Şekil 3.123 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



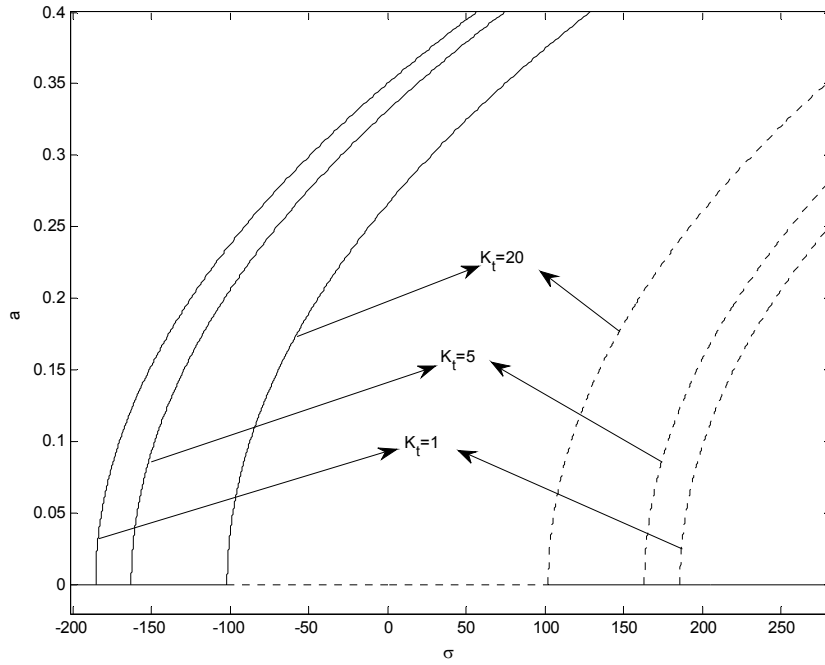
Şekil 3.124 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



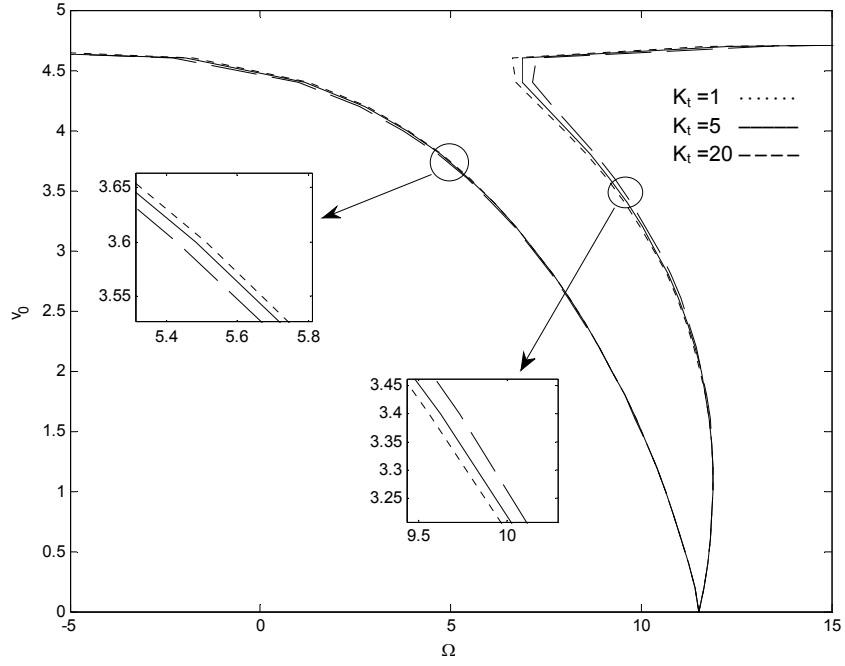
Şekil 3.125 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



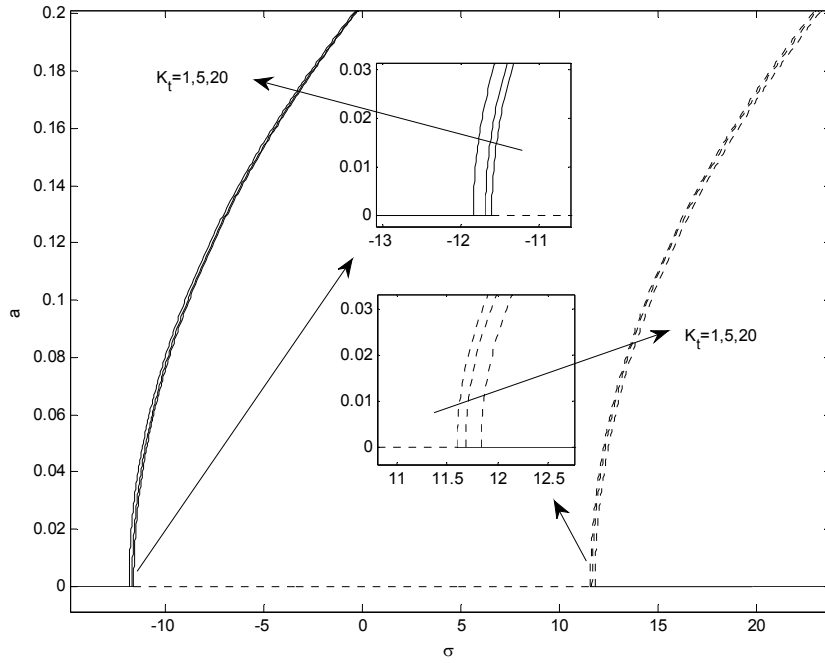
Şekil 3.126 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



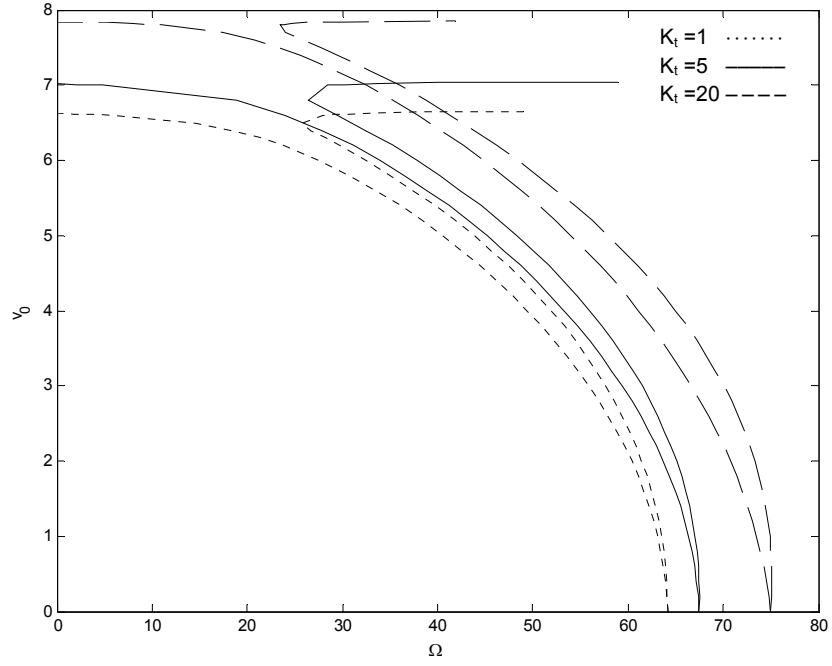
Şekil 3.127 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



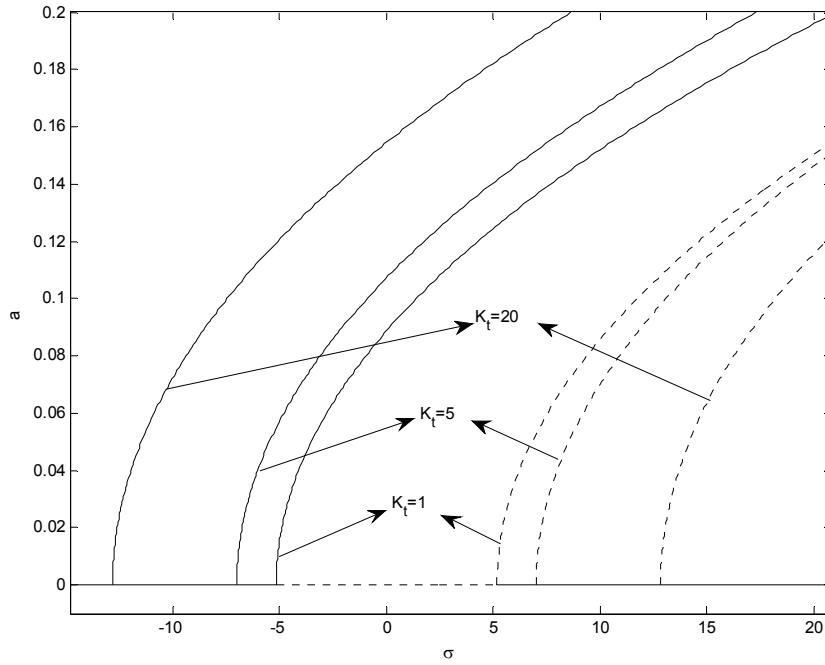
Şekil 3.128 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



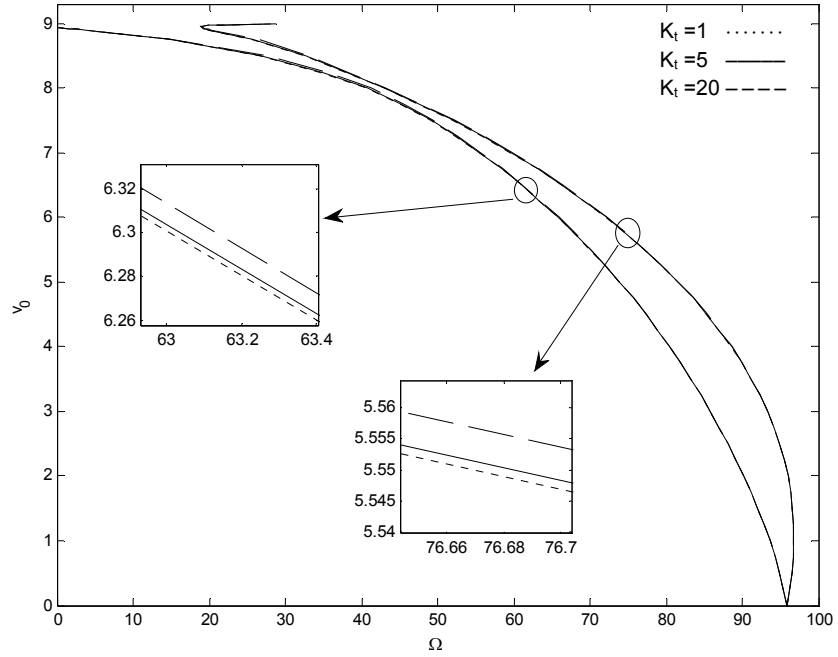
Şekil 3.129 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



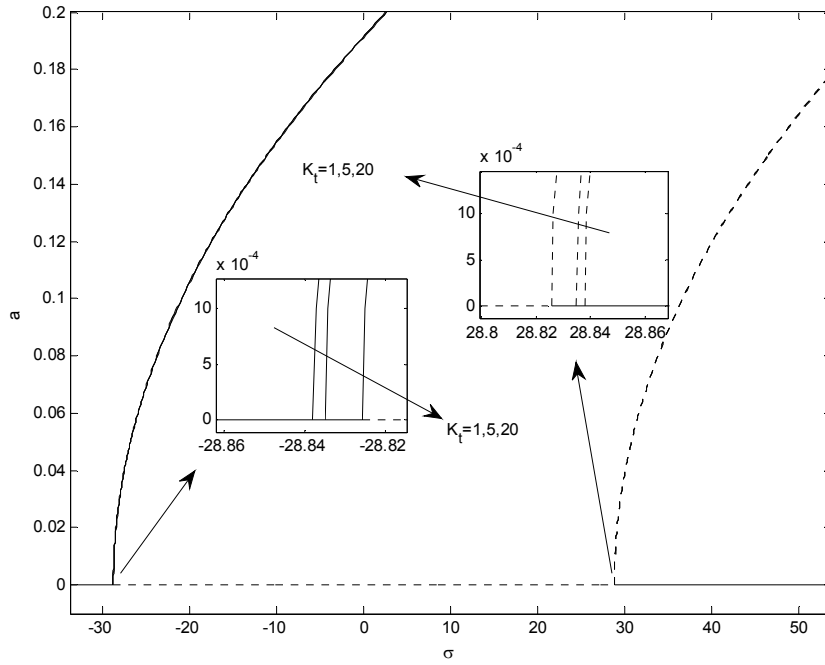
Şekil 3.130 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



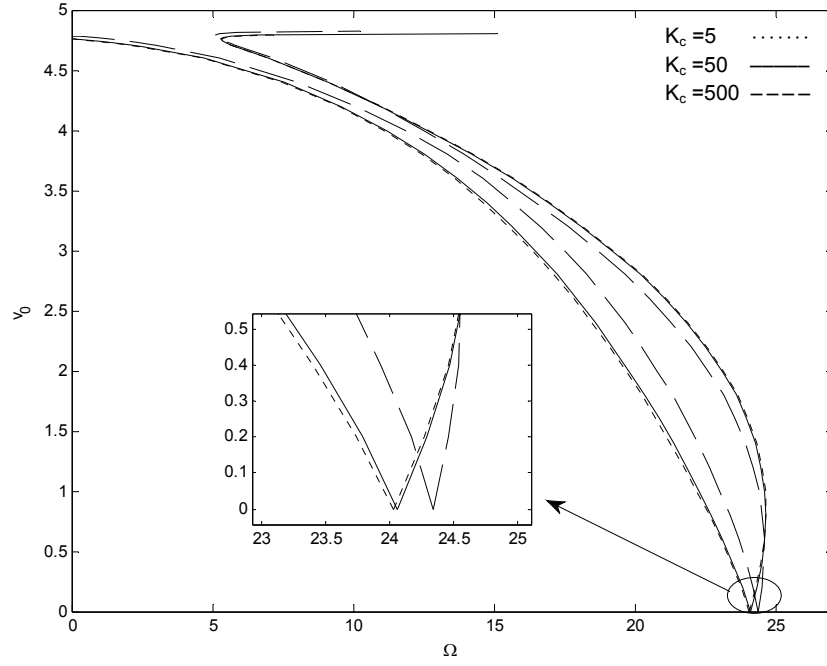
Şekil 3.131 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



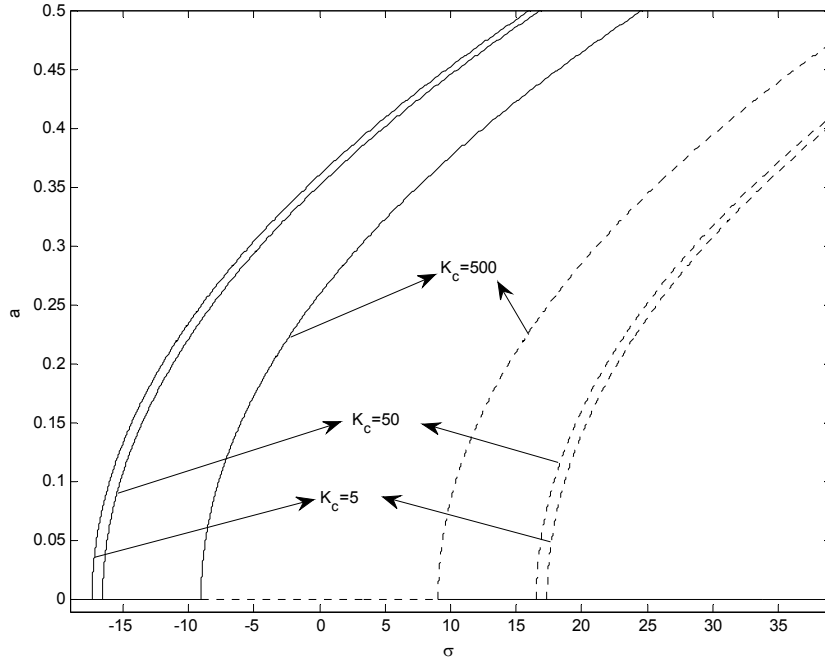
Şekil 3.132 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



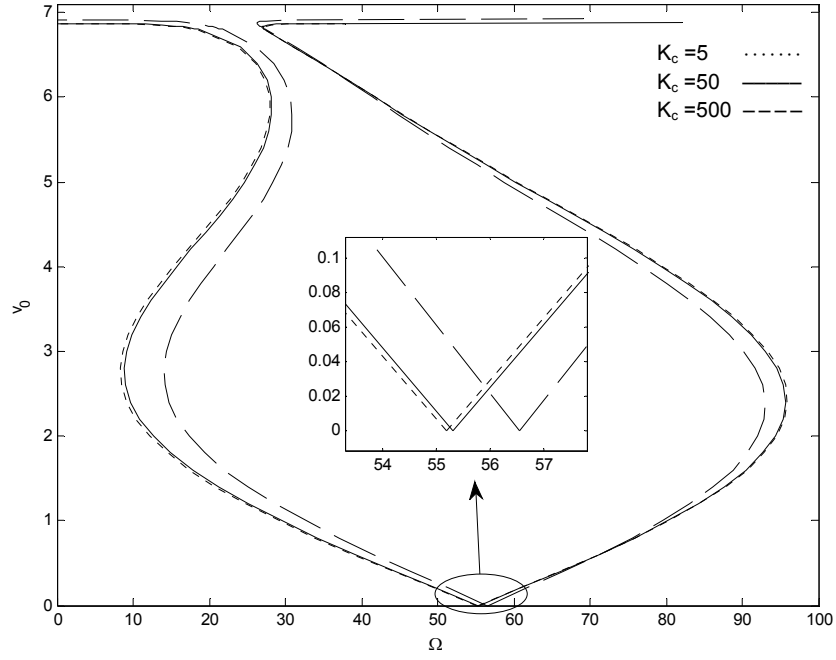
Şekil 3.133 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ için K_t değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



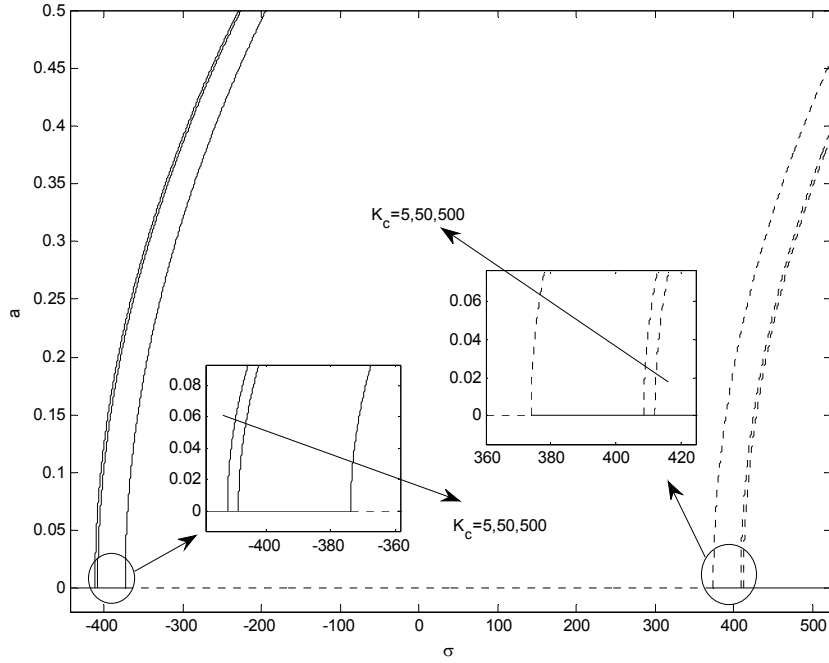
Şekil 3.134 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



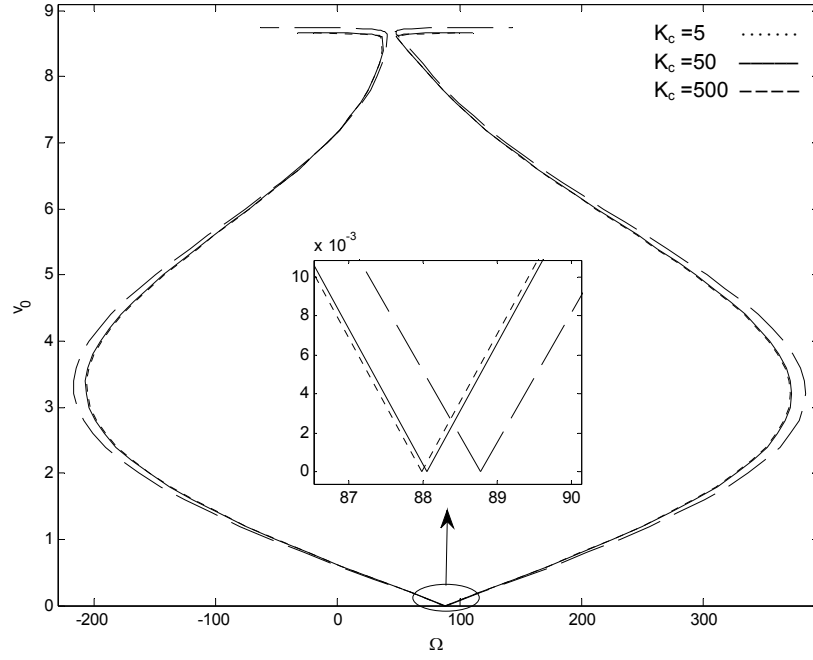
Şekil 3.135 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



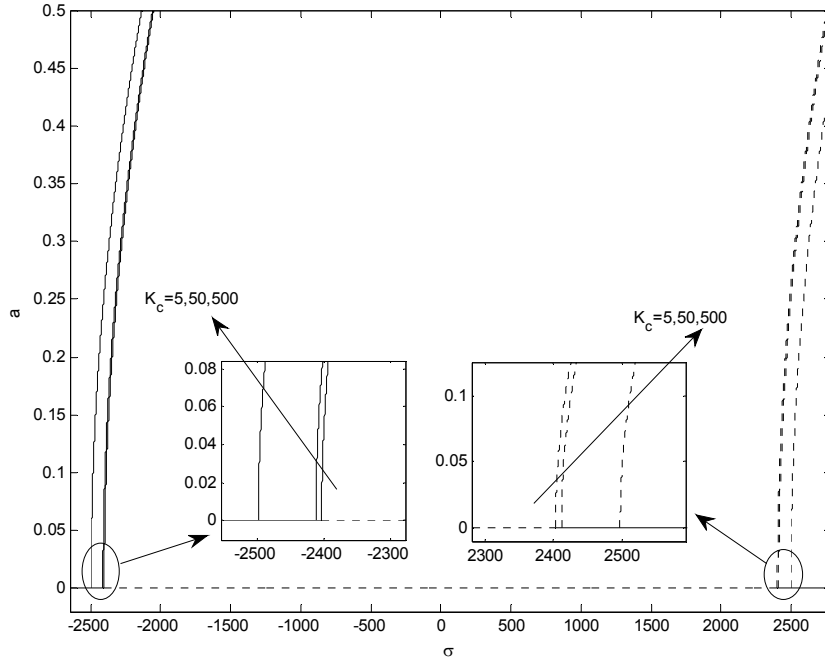
Şekil 3.136 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



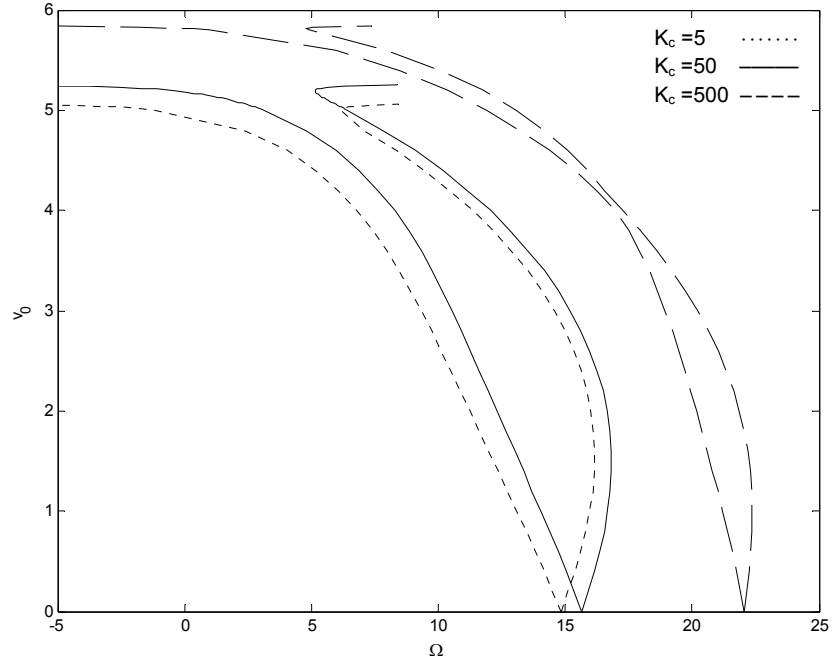
Şekil 3.137 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



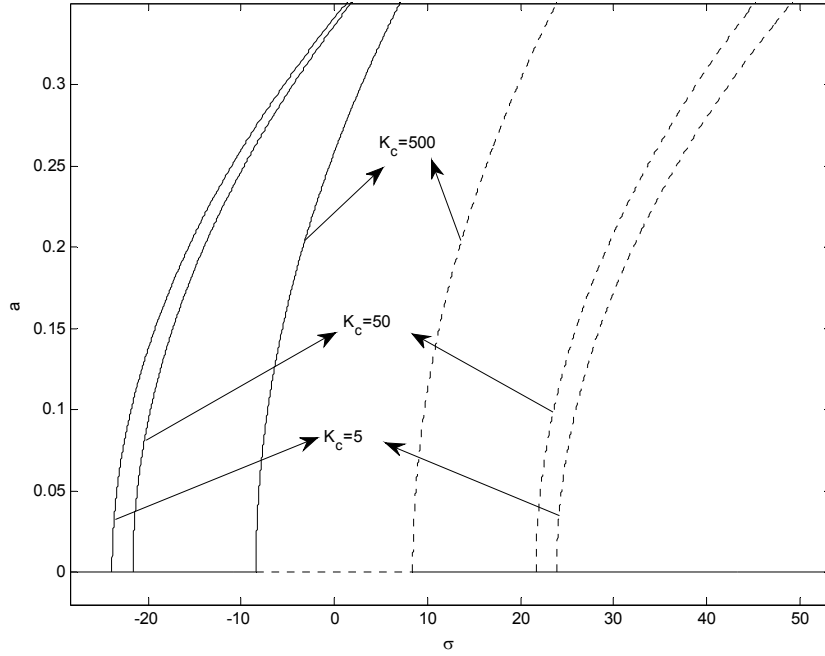
Şekil 3.138 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



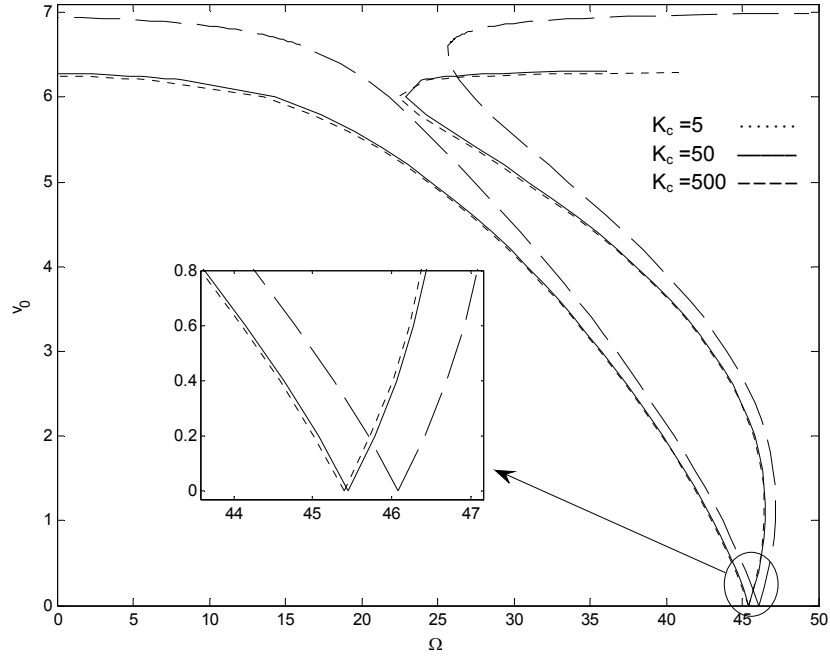
Şekil 3.139 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



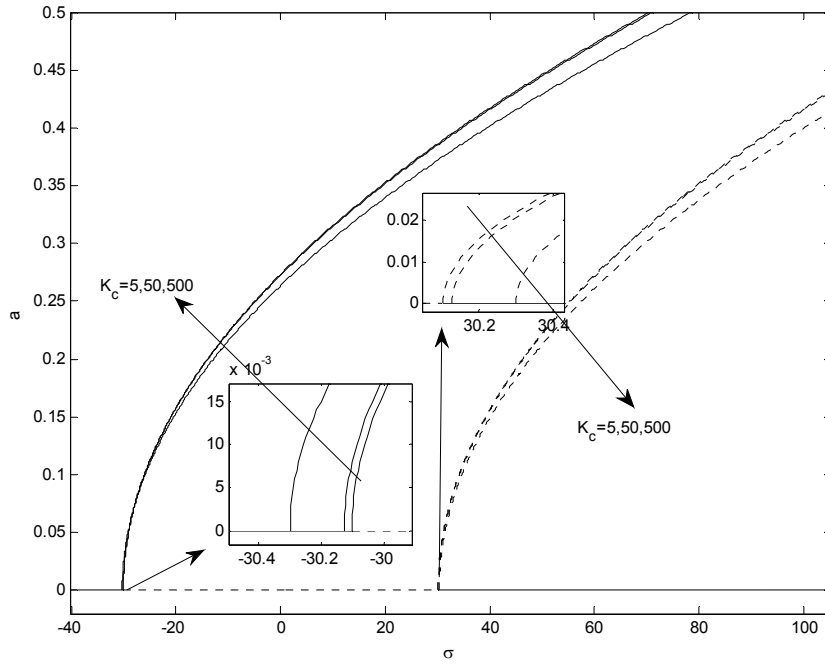
Şekil 3.140 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



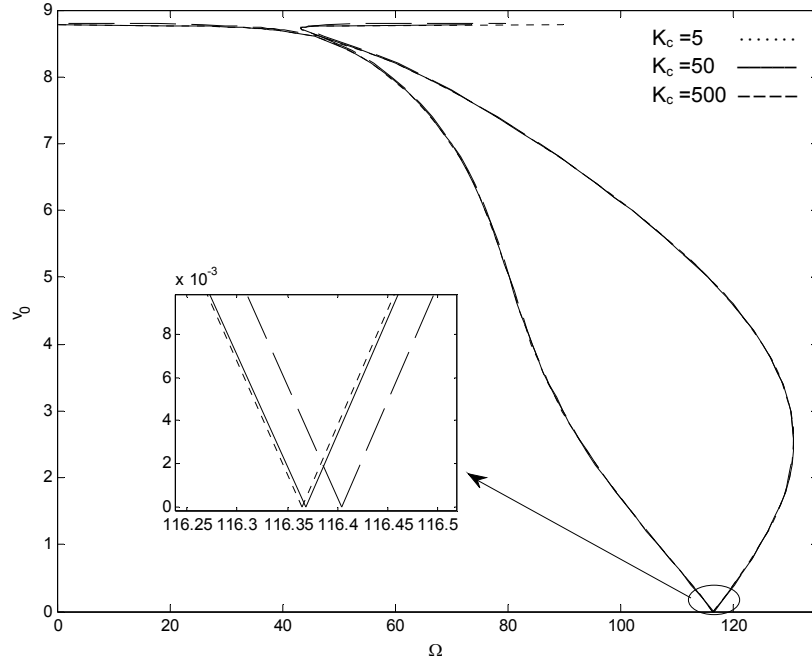
Şekil 3.141 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



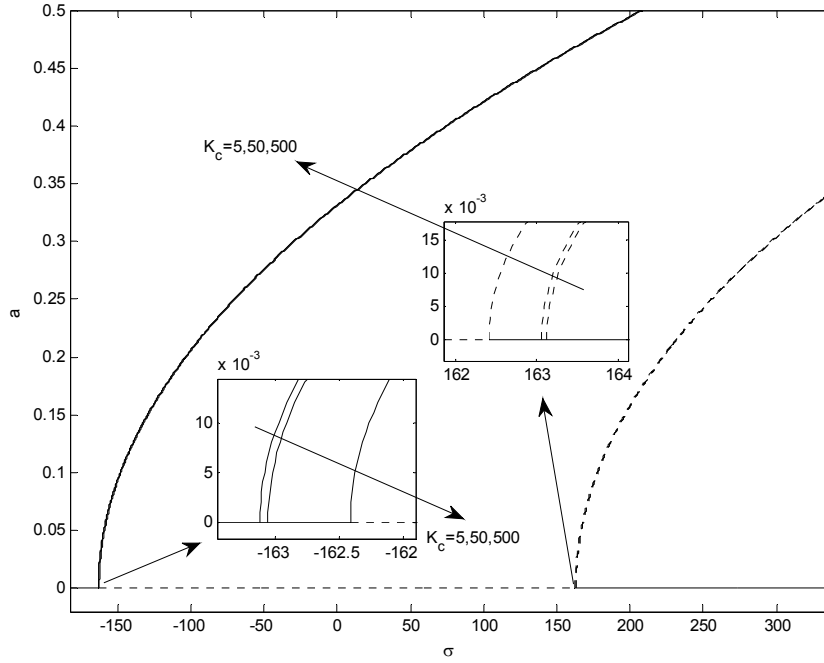
Şekil 3.142 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



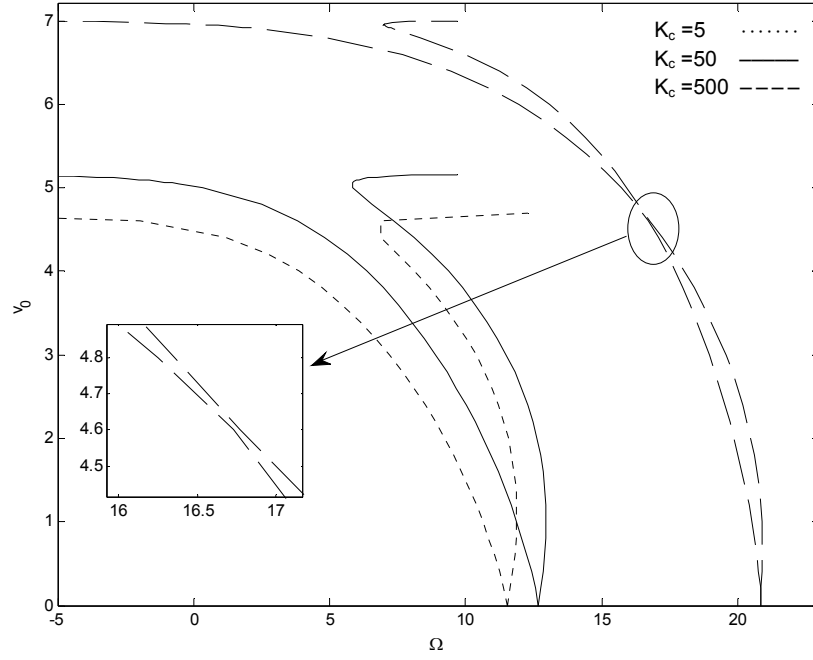
Şekil 3.143 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-teпки grafiği (2. mod)



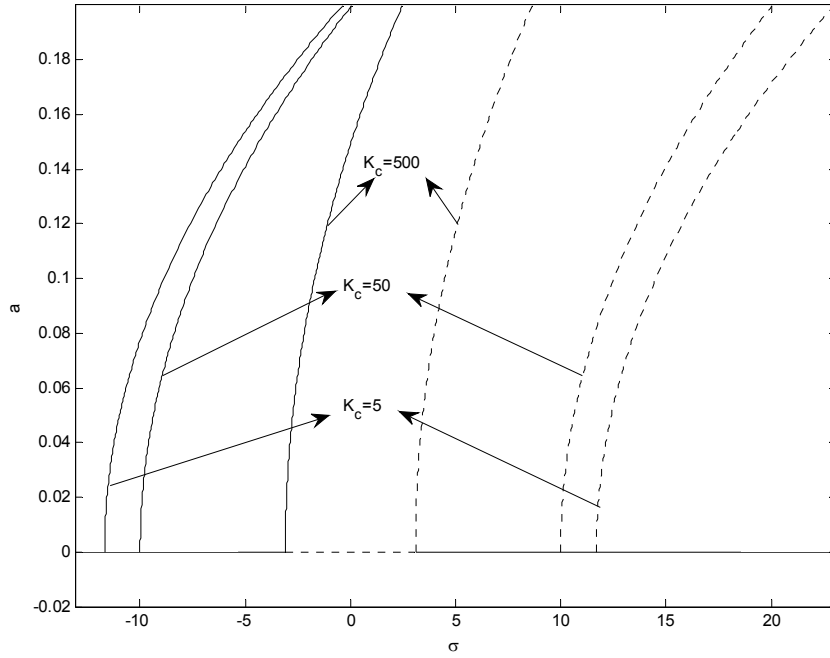
Şekil 3.144 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



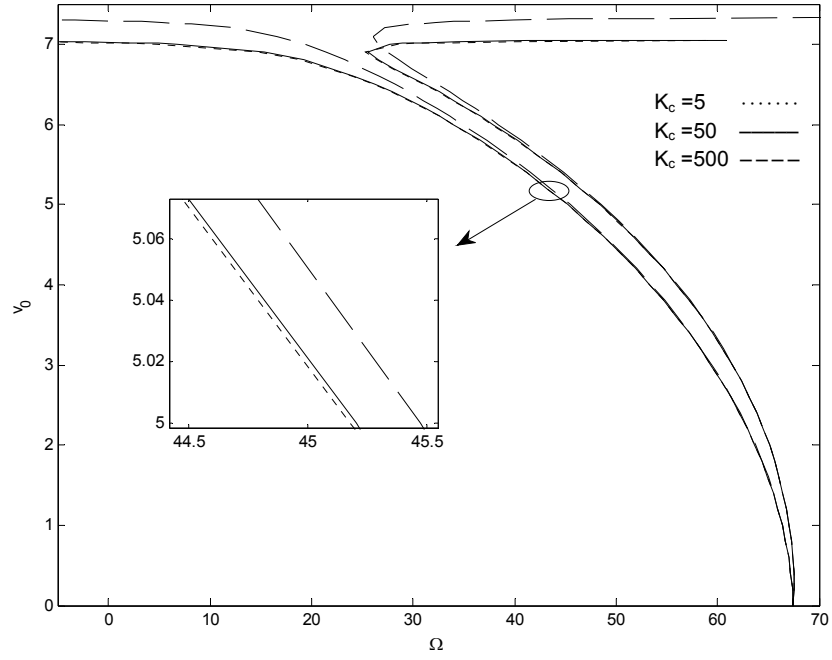
Şekil 3.145 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



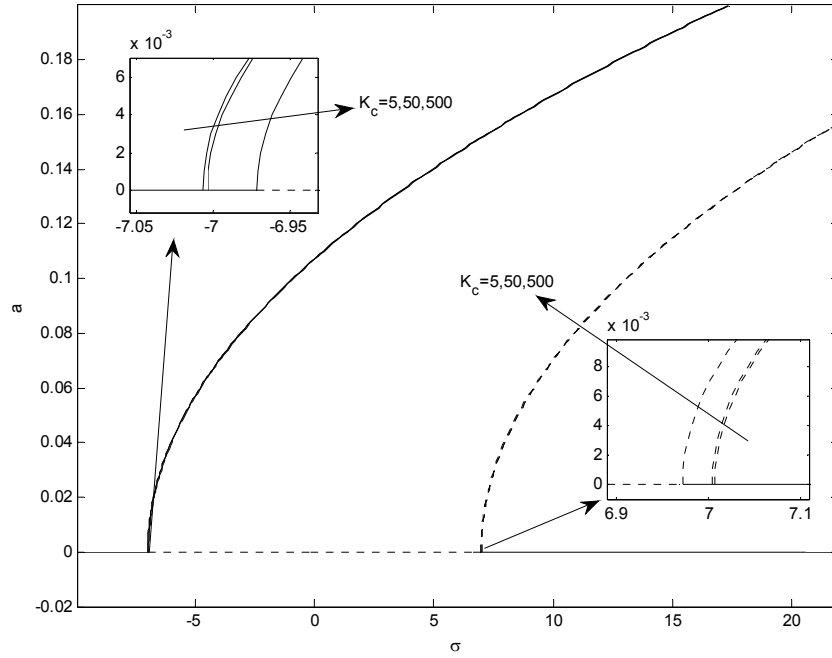
Şekil 3.146 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



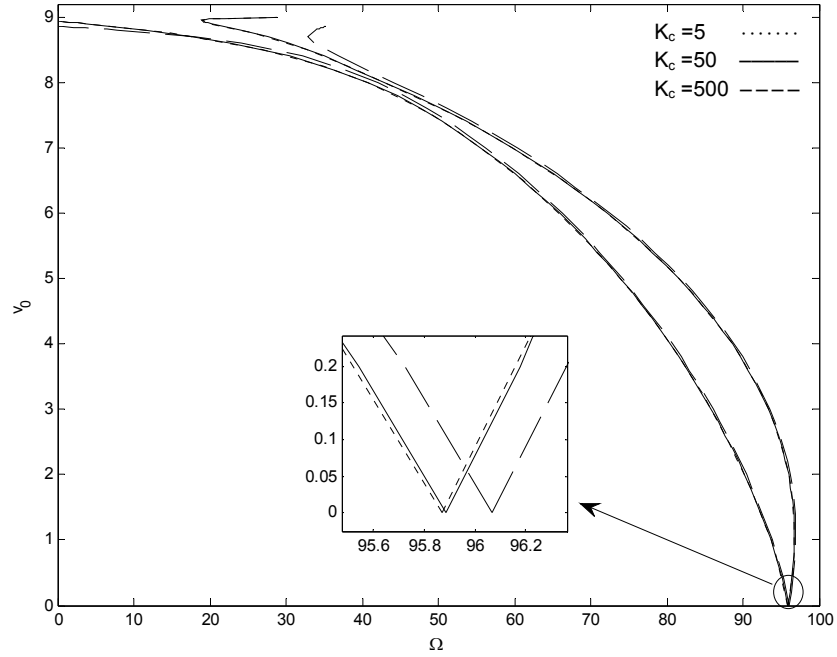
Şekil 3.147 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



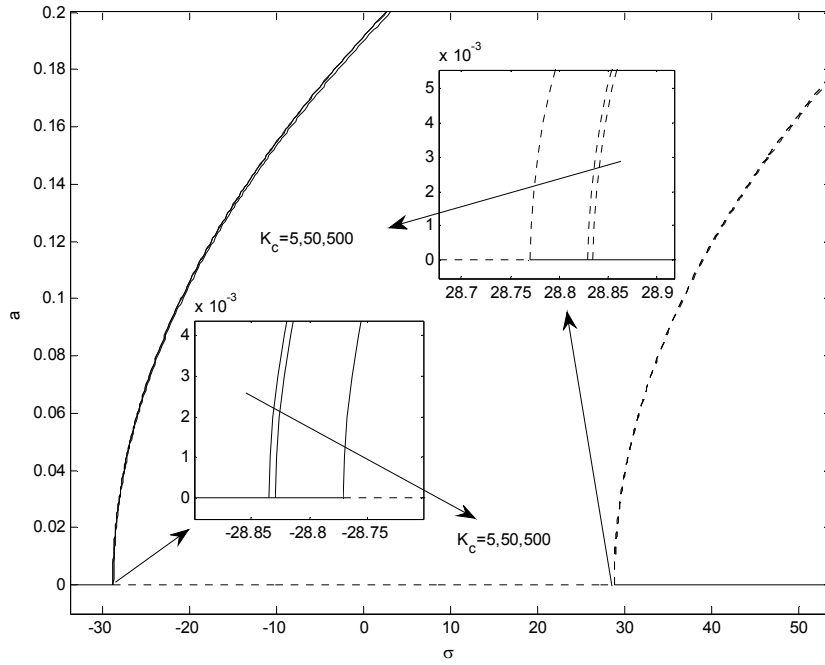
Şekil 3.148 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



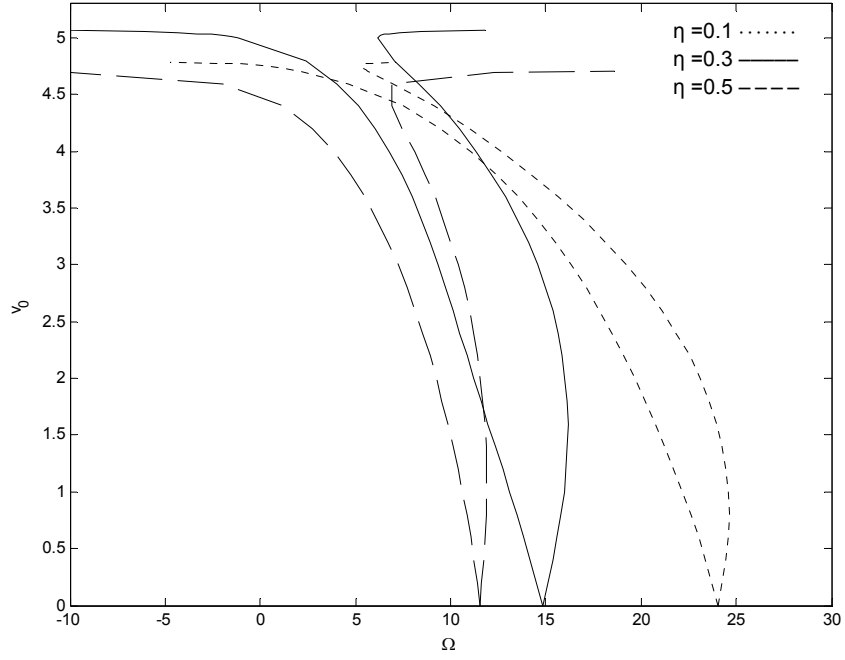
Şekil 3.149 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



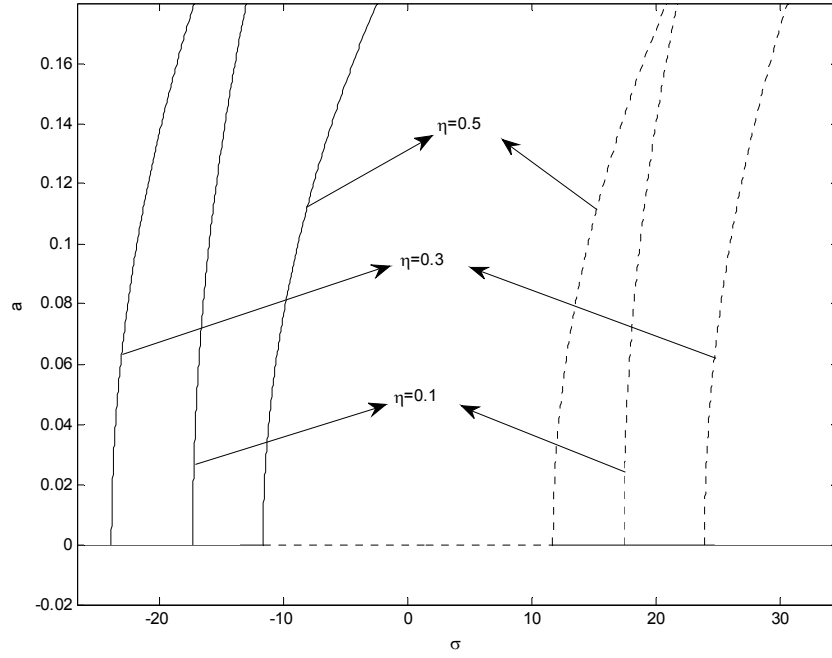
Şekil 3.150 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



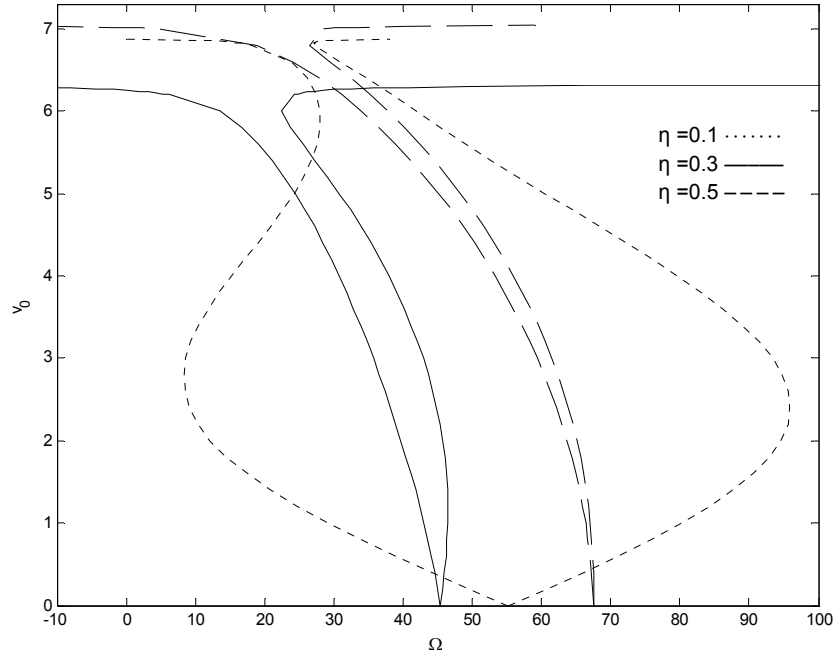
Şekil 3.151 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ için K_c değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)



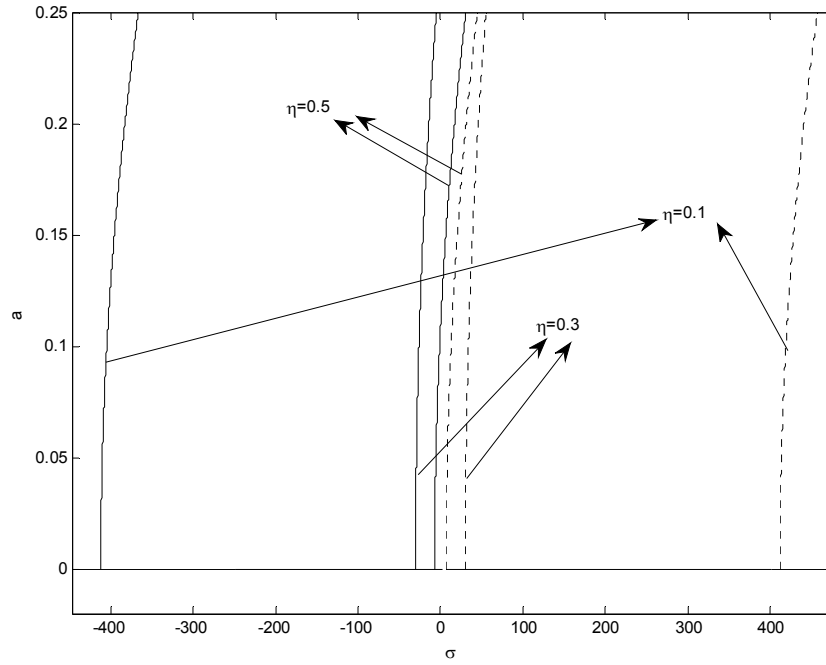
Şekil 3.152 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (1. mod).



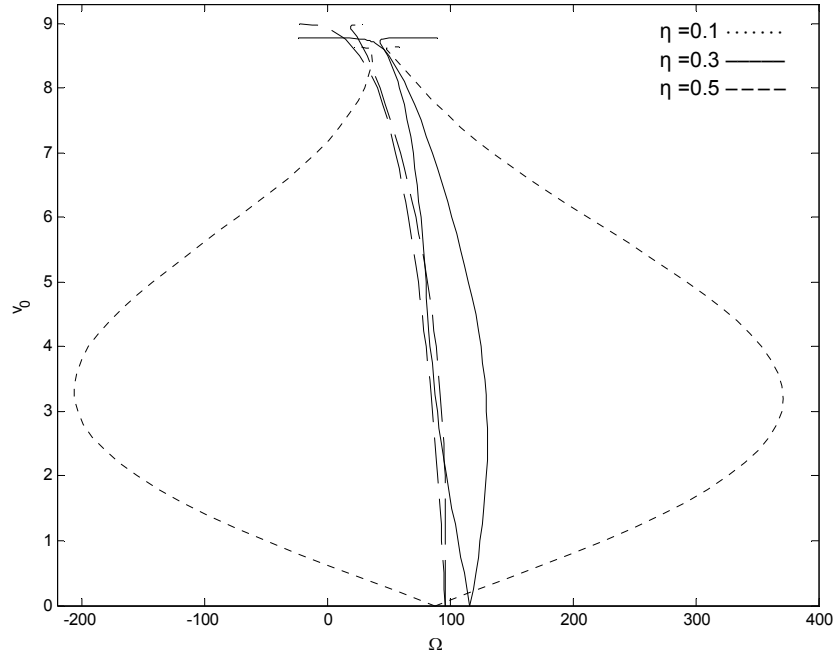
Şekil 3.153 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (1. mod)



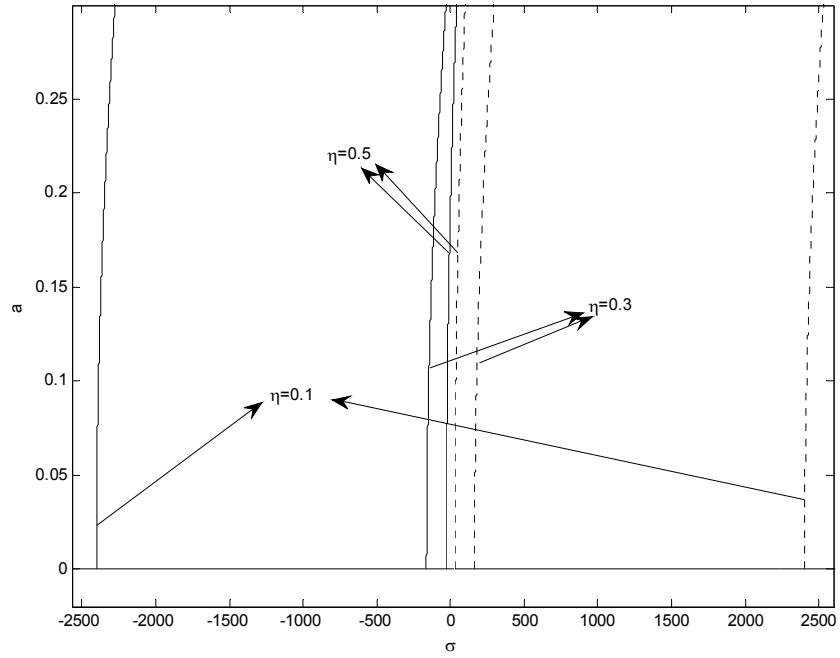
Şekil 3.154 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (2. mod).



Şekil 3.155 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (2. mod)



Şekil 3.156 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren akışkan hızına bağlı kararlılık bölgesinin grafiği (3. mod).



Şekil 3.157 $v_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ için η değişimini gösteren frekans-tepki grafiği (3. mod)

3.2.2. Ω 'nın '0' dan ve '2 ω ' dan uzak olduğu durum

Bu bölümde akışkan hızı değişiminin '0' dan ve '2 ω ' dan uzak olduğu durum incelenmiştir. Bu durumda çözülebilirlik şartı şu şekildedir,

$$D_1 A + S_1 \mu A - k_3 A^2 \bar{A} = 0 \quad (3.119)$$

Katsayılarımız ise şöyle ifade edilebilir.

$$S_1 = \frac{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) \right)}{2 \left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) \right)} \quad (3.120)$$

$$k_3 = \frac{1}{4} v_0^2 \frac{\left[2 \left(\int_0^{\eta} Y_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) + \left(\int_0^{\eta} Y_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1'^2 dx + \int_{\eta}^1 Y_2'^2 dx \right) \right]}{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1' dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2' dx \right) \right)} \quad (3.121)$$

Genlik-faz modülasyon denklemlerimiz şöyle bulunur,

$$D_1 a = -S_1 \mu a \quad (3.122)$$

$$D_1 \theta = -S_1 \mu + k_{31} \frac{1}{4} a^2 \quad (3.123)$$

Burada değişim etkilerini daha iyi görebilmek için sönüm etkisinin olmadığını kabul edelim çünkü sönümlü sistemde genlikler zamanla sıfıra inecektir.

$$D_1 a = 0 \quad (3.124)$$

$$D_1 \theta = k_{31} \frac{1}{4} a^2 \quad (3.125)$$

Bu durumda nonlinear frekans, denklem (3.126)'daki gibi bulunur.

$$\omega_{nl} = \omega + \varepsilon \frac{1}{4} k_{31} a_0^2 \quad (3.126)$$

Aşağıda akışkan hızı değişiminin '0' dan ve '2 ω ' dan uzak olduğu durum için nonlinear frekans-tepki (ω_{nl} -a) grafikleri sönüm olmadığı durum ve çeşitli parametre değerleri için elde edilmiştir.

Şekil 3.158 ve Şekil 3.166 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_r=0.50$, $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik akışkan hızı v_0 değerleri için oluşturulmuştur. nonlinear frekans-tepki (ω_{nl} -a) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.158'de $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde v_0 akışkan hız değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.159'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada akışkan hızının artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri, birinci moddan daha fazla arttırmaktadır. Şekil 3.160'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri ise arttırmaktadır.

Şekil 3.161'de $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde v_0 akışkan hız değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Bu durumdaki azalış miktarı 1. moddan daha az olmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.162'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada akışkan hızının artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri, birinci moddan daha fazla arttırmaktadır. Şekil 3.163'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri ise arttırmaktadır.

Şekil 3.164'de $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear frekans değerleri ilk iki moda göre daha düşük çıkmaktadır ve hız arttıkça azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.165'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada akışkan hızının artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri, birinci moddan daha fazla arttırmaktadır. Şekil 3.166'da ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri ise arttırmaktadır. Mesnet konumunun ankastre mesnetten orta bölüme doğru gelmesi durumunda nonlinear değerler azalmaktadır. Genliklerin nonlinear frekansa etkisi artırma yönünde olmaktadır.

Şekil 3.167 ve Şekil 3.175 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_0=2.0$, $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik kırıllık katsayısı v_f değerleri için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.167'de $\eta=0.1$ - $v_0=2.0$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_f değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde v_f değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Bu artış düşük v_f değerinde daha fazla olmakta, v_f değeri arttığında nonlinear frekansların artış oranı azalmaktadır. Şekil 3.168'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada kırıllık katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.169'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2. moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de arttırmaktadır.

Şekil 3.170'de $\eta=0.3$ - $v_0=2.0$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_f değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear frekans değerleri Şekil 3.167'den daha düşük değerlerde bulunmuştur. v_f değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Bu artış düşük v_f değerinde daha fazla olmakta, v_f değeri arttığında nonlinear frekansların artış oranı azalmaktadır. Şekil 3.171'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada kırıllık katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.172'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de arttırmaktadır.

Şekil 3.173'de $\eta=0.5$ - $v_0=2.0$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_f değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear frekans değerleri Şekil 3.167'den ve Şekil 3.170'den daha düşük değerlerde bulunmuştur. v_f değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Bu artış düşük v_f değerinde daha fazla olmakta, v_f değeri arttığında nonlinear frekansların artış oranı azalmaktadır. Şekil 3.174'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada kırıllık katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.175'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de arttırmaktadır. Mesnet konumunun orta bölüme yaklaşması durumunda nonlinear değerler azalmaktadır. Genlikler arttığında ise nonlinear frekans değerleri artmaktadır bu artış düşük v_f değerlerinde daha fazla olmaktadır. v_f değeri arttığında ise nonlinear frekanslardaki artış etkisi daha az olmaktadır.

Şekil 3.176 ve Şekil 3.184 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_0=2.0$, $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik β değerleri için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.176'da $\eta=0.1$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik β değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde β değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.177'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada β değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.178'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak β değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır.

Şekil 3.179'da $\eta=0.3$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik β değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear frekanslar Şekil 3.176'dan daha düşük değerlerde oluşmaktadır. β değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.180'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada β değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.181'de ise 3. mod için

oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak β değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır.

Şekil 3.182'de $\eta=0.5$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik β değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear frekanslar Şekil 3.176'dan ve Şekil 3.179'den daha düşük değerlerde oluşmaktadır. β değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır.

Şekil 3.183'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada β değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.184'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak β değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır. Mesnet konumunun orta bölüme yaklaşması durumunda nonlinear değerler azalmaktadır. Genlikler arttığında ise nonlinear frekans değerleri artmaktadır.

Şekil 3.185 ve Şekil 3.193 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_0=2.0$, $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ile birlikte değişik konsantre kütle α_m değerleri için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu burada yer almaktadır.

Şekil 3.185'de $\eta=0.1$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve değişik α_m değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde α_m değeri arttığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.186'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada α_m değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.187'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak α_m değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır.

Şekil 3.188'de $\eta=0.3$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve değişik α_m değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear değerler mesnet konumu ankastre mesnete yakın olduğu durumdan daha düşük çıkmaktadır. α_m değeri arttığında nonlinear frekans değeri ise azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.189'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada da α_m değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.190'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 modda olduğu gibi α_m değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır.

Şekil 3.191'de $\eta=0.5$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve değişik α_m değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear değerler en az değerinde ortaya çıkmaktadır. α_m değeri arttığında nonlinear frekans değeri ise azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.192'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada da α_m değerinin artması nonlinear frekansları azaltmakta, genlik artışı ise nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.193'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 modda olduğu gibi α_m değeri arttığında nonlinear frekanslar azalmakta ve genlik etkileri arttığında nonlinear frekanslar artmaktadır. Mesnet konumunun orta bölüme yaklaşması

durumunda nonlinear değerler azalmaktadır. Genlikler arttığında ise nonlinear frekans değerleri artmaktadır.

Şekil 3.194 ve Şekil 3.202 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_0=2.0$, $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik dönme yayı katsayısı K_t değerleri için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu yer almaktadır.

Şekil 3.194'de $\eta=0.1$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_t değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde K_t değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.195'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada dönme yayı katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, aynı zamanda genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.196'da ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

Şekil 3.197'de $\eta=0.3$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_t değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde K_t değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.198'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada dönme yayı katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, aynı zamanda genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.199'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 modda olduğu gibi nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

Şekil 3.200'de $\eta=0.5$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_t değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear değerler birbirine çok yakın çıkmaktadır. Mesnet konumu orta bölüme yaklaştığında nonlinear değerler azalmaktadır. K_t değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.201'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada K_t değerinin artması ile nonlinear frekanslar artmakta ve genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.202'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada ilk moda benzer olarak değerler birbirine çok yakın çıkmaktadır. K_t değerinin artması ile nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

Şekil 3.203 ve Şekil 3.211 arasındaki grafikler değişik mesnet konumları ve $v_0=2.0$, $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik lineer yay katsayısı K_c değerleri için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu yer almaktadır.

Şekil 3.203'da $\eta=0.1$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_c değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde nonlinear değerler birbirine çok yakın çıkmaktadır. K_c değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Bu artış çok sınırlı olmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.204'de 2.

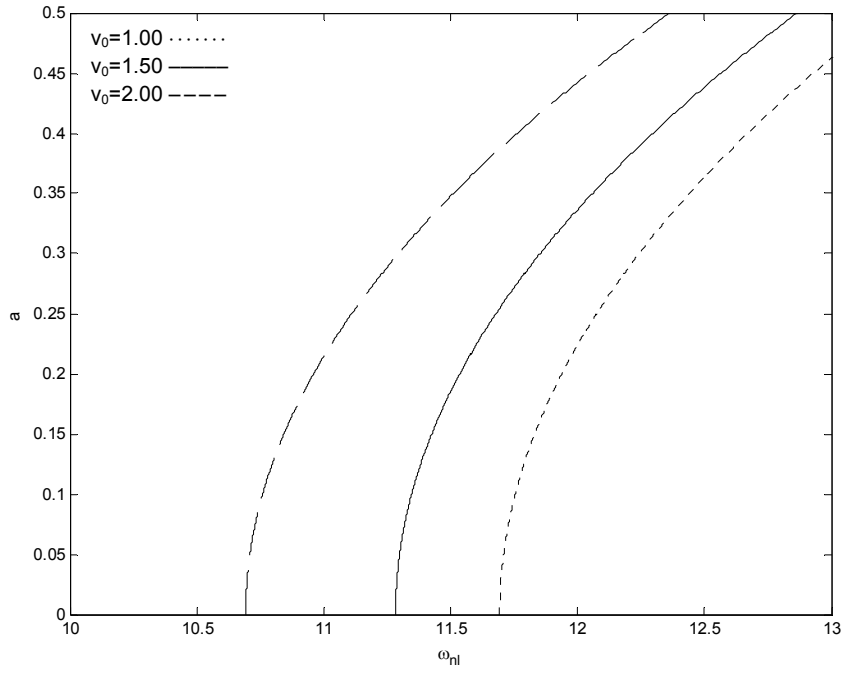
mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada lineer yay katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, aynı zamanda genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.205'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

Şekil 3.206'da $\eta=0.3$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_c değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde K_c değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.207'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada lineer yay katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, aynı zamanda genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.208'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

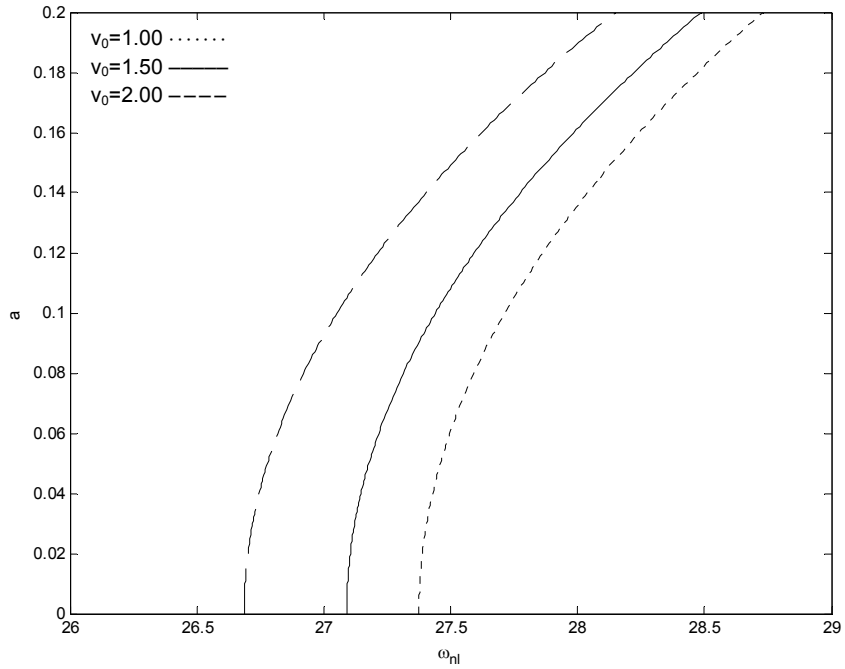
Şekil 3.209'de $\eta=0.5$ - $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik K_c değerleri için oluşturulmuş 1. mod nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiğinde K_c değeri arttığında nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Şekil 3.210'de 2. mod için elde edilen grafik bulunmaktadır. Burada lineer yay katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, aynı zamanda genlik artışı da nonlinear etkileri arttırmaktadır. Şekil 3.211'de ise 3. mod için oluşturulan grafik vardır. Burada da ilk 2 moda benzer olarak nonlinear frekanslar artmakta ve genlik etkileri de nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır.

Şekil 3.212 ve Şekil 3.214 arasındaki grafikler $v_0=2.0$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ile birlikte değişik mesnet konumları η için oluşturulmuş, nonlinear frekans-tepki ($\omega_{nl}-a$) grafiklerinin ilk üç modu yer almaktadır.

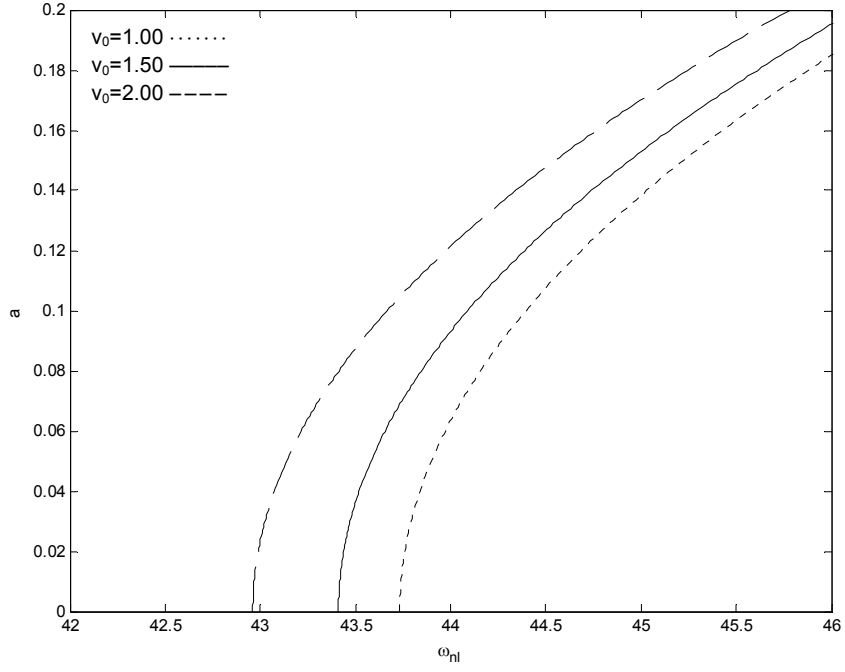
Şekil 3.212'da mesnet konumu ankastre mesnetten orta bölüme yaklaştığında nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genlikler arttığında ise nonlinear frekanslarda artmaktadır. Şekil 3.213'de 2. mod için oluşturulmuş grafik vardır. Burada nonlinear değerler en düşük $\eta=0.3$ konumunda olmaktadır en yüksek $\eta=0.5$ konumundayken olmaktadır. Genliklerin artması nonlinear frekans değerlerini arttırmaktadır. Şekil 3.214'de 3. mod için elde edilen grafik vardır. Nonlinear değerler en düşük $\eta=0.1$ konumunda en yüksek ise $\eta=0.3$ konumundayken ortaya çıkmaktadır. Bütün durumlarda olduğu gibi genliklerin artması ile nonlinear frekans değerleri artmaktadır.



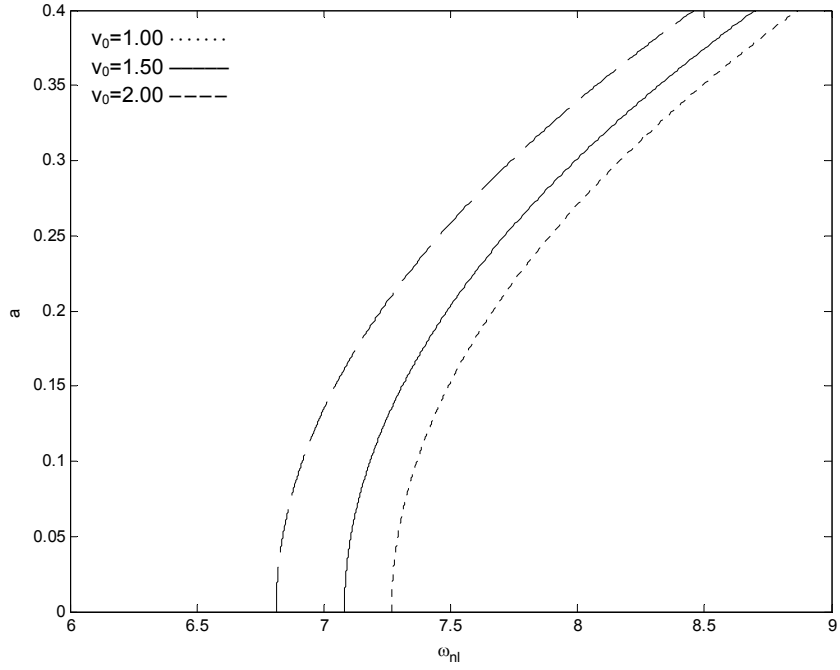
Şekil 3.158 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



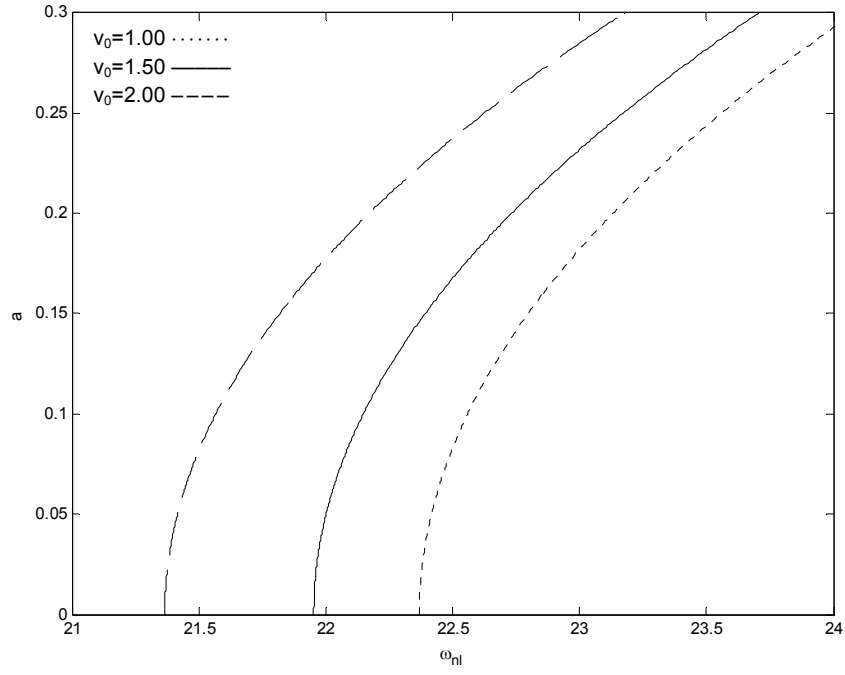
Şekil 3.159 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



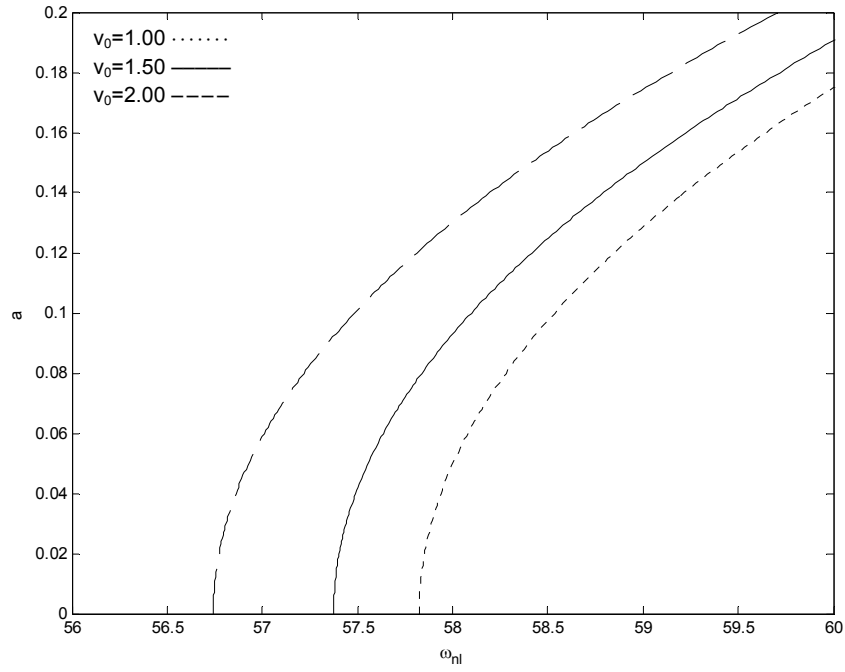
Şekil 3.160 $\eta=0.1$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



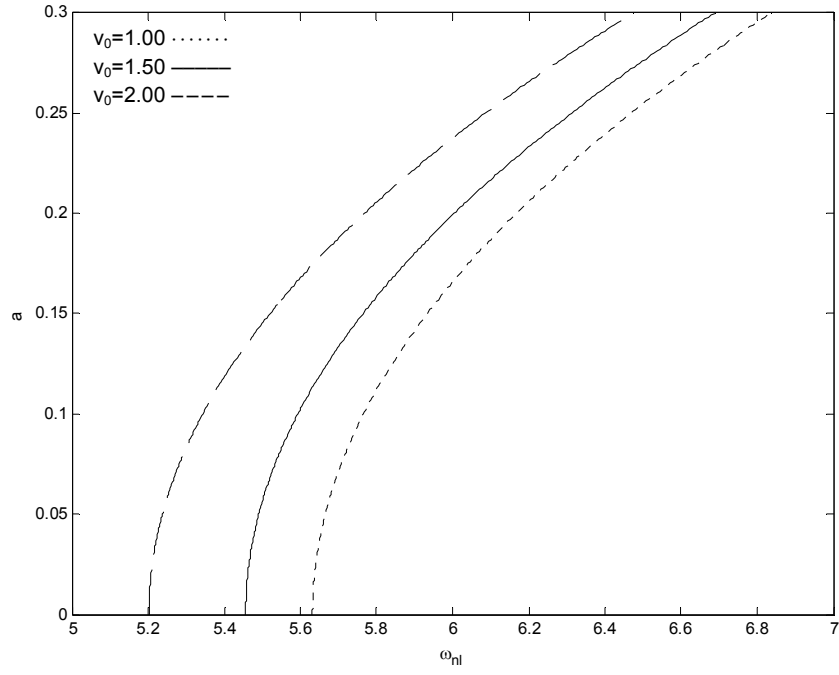
Şekil 3.161 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



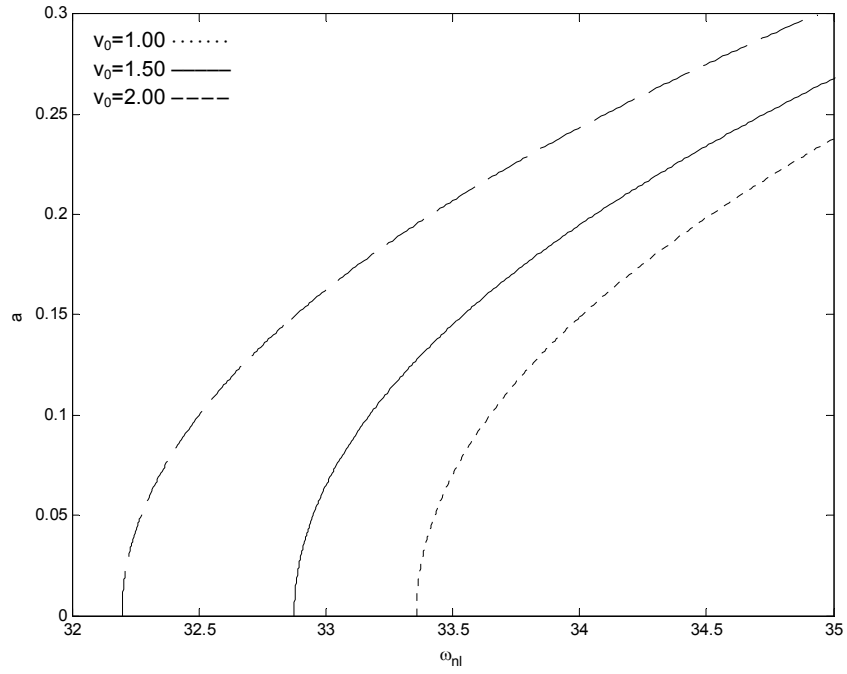
Şekil 3.162 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



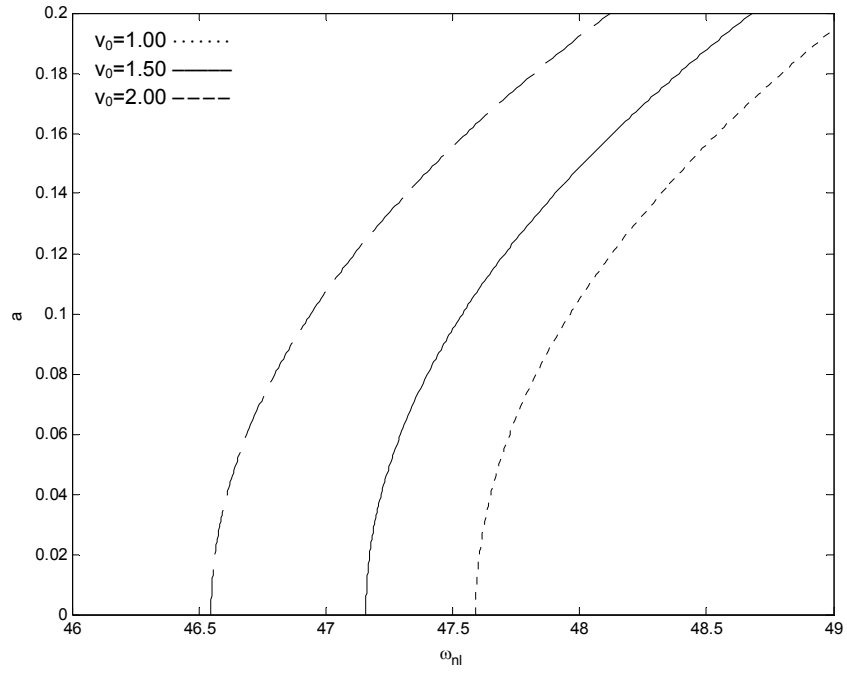
Şekil 3.163 $\eta=0.3$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



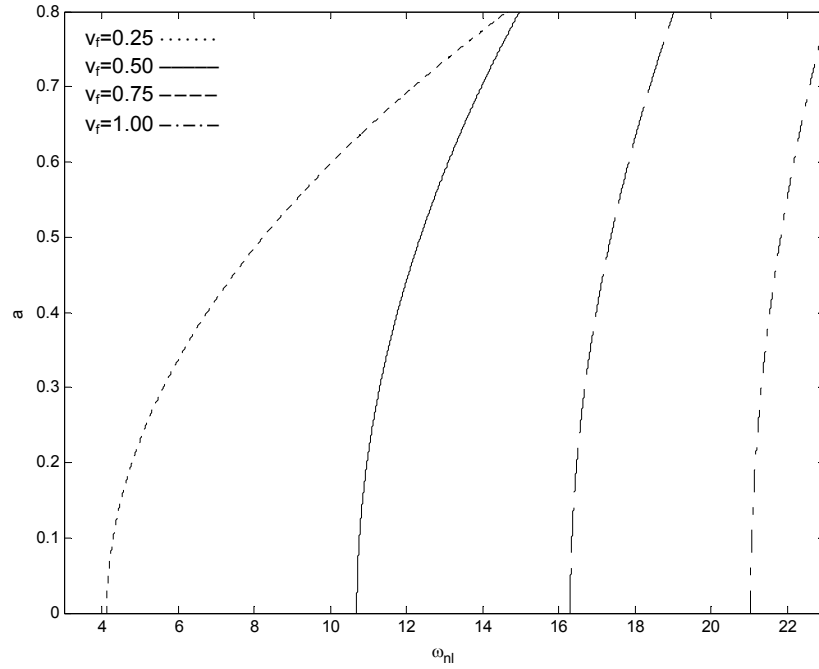
Şekil 3.164 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



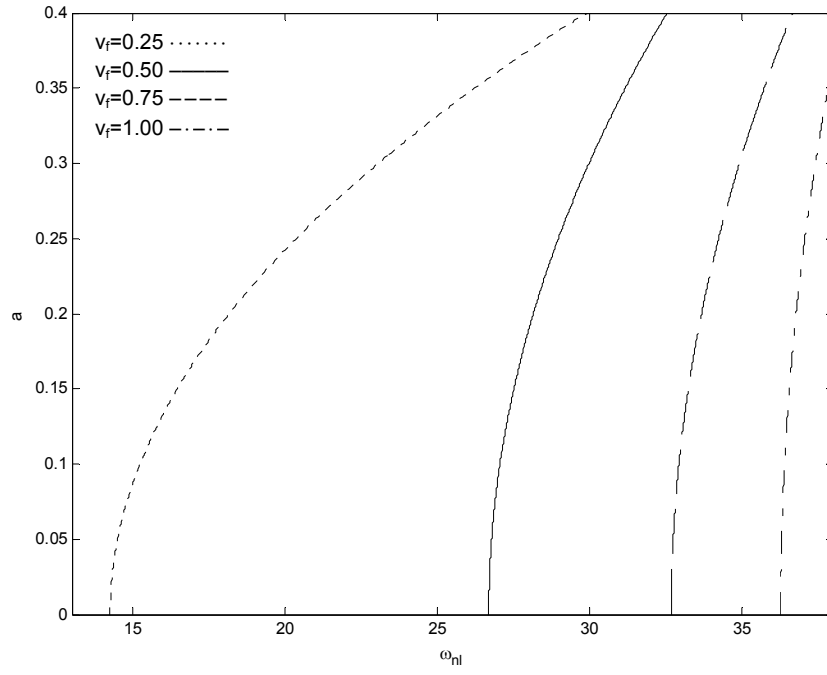
Şekil 3.165 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



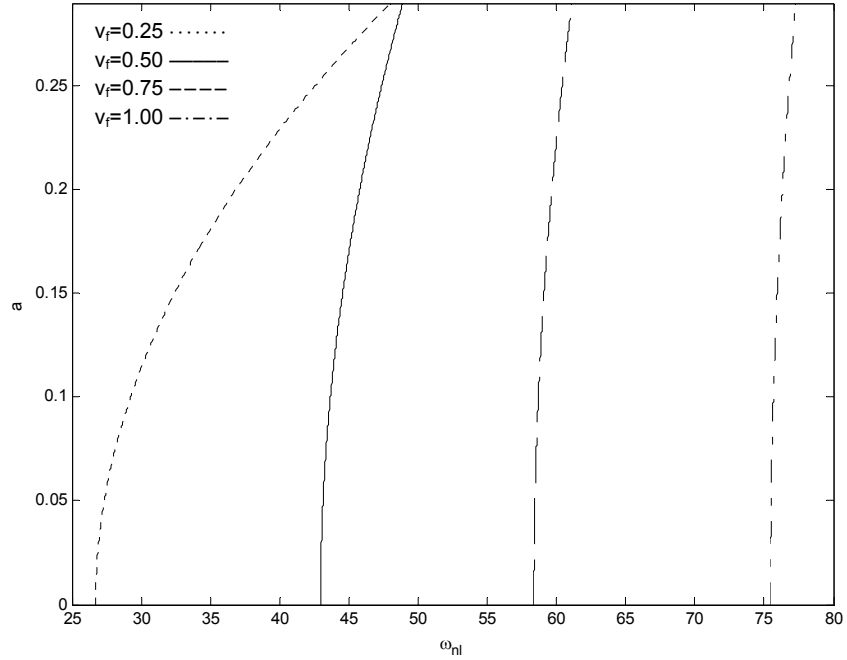
Şekil 3.166 $\eta=0.5$ - $v_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve değişik v_0 değerleri için Nonlinear Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



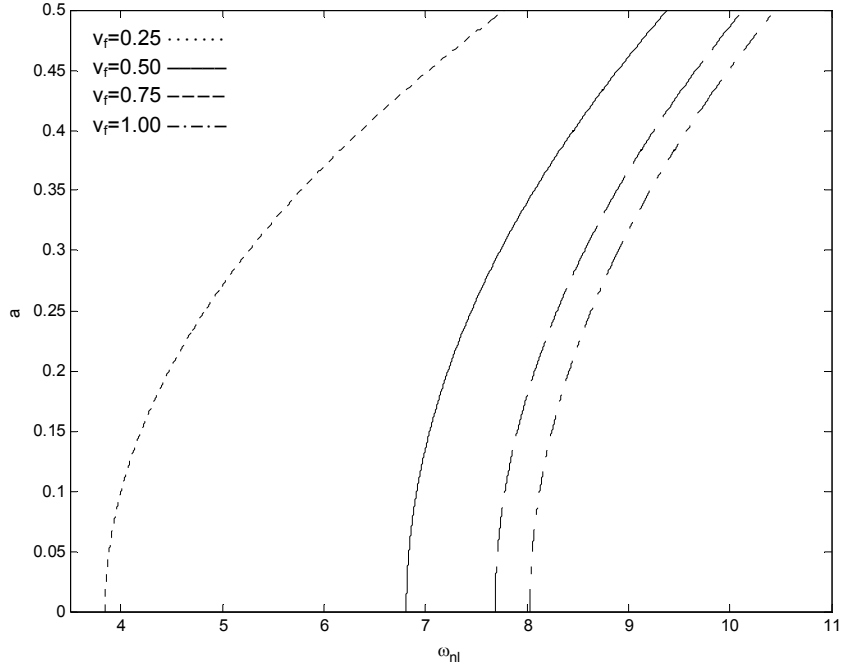
Şekil 3.167 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlinear frekans - Genlik etkileri (1. mod).



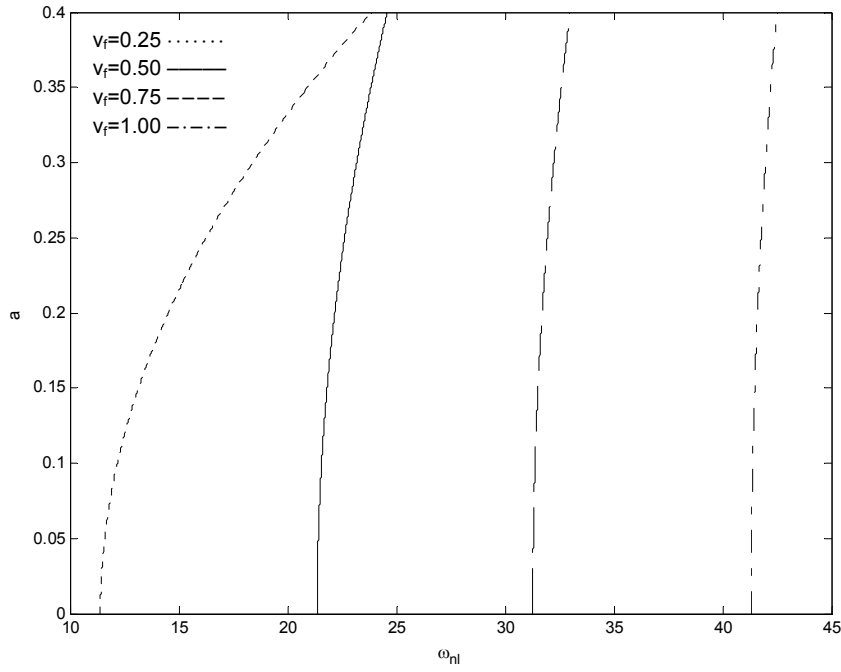
Şekil 3.168 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve ν_f değerleri için Nonlineer Frekans-Genlik etkileri (2. mod).



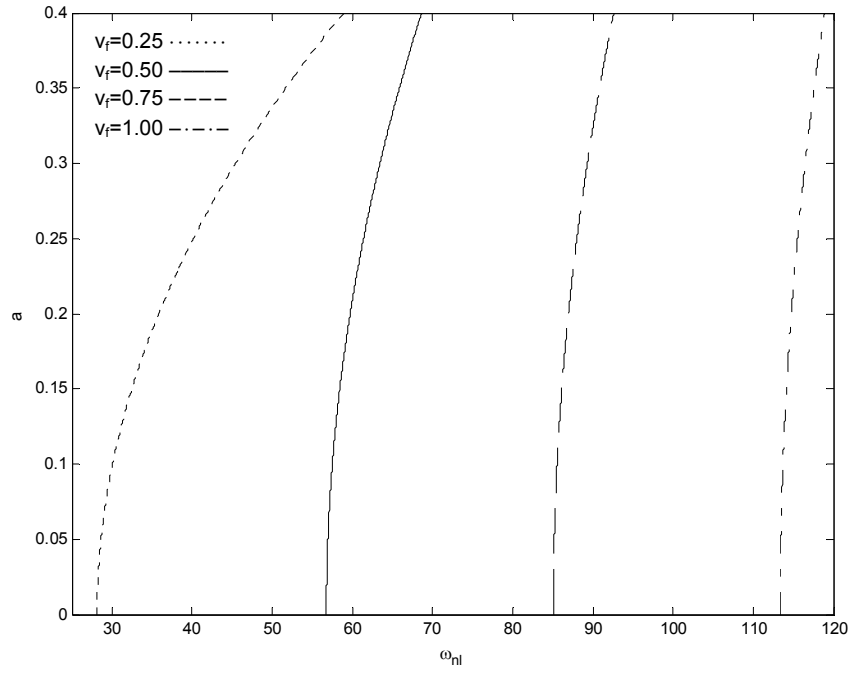
Şekil 3.169 $\eta=0.1$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve ν_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



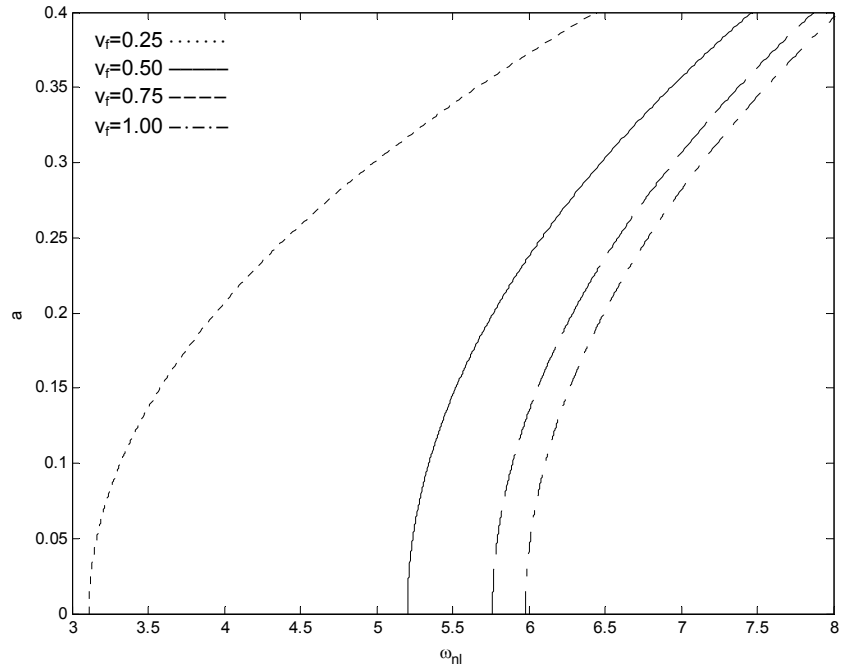
Şekil 3.170 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



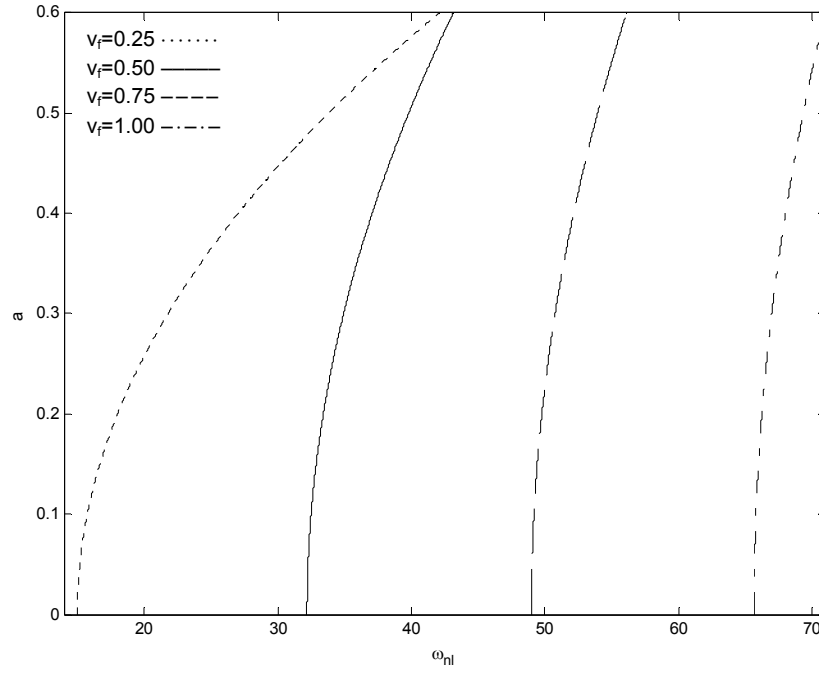
Şekil 3.171 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



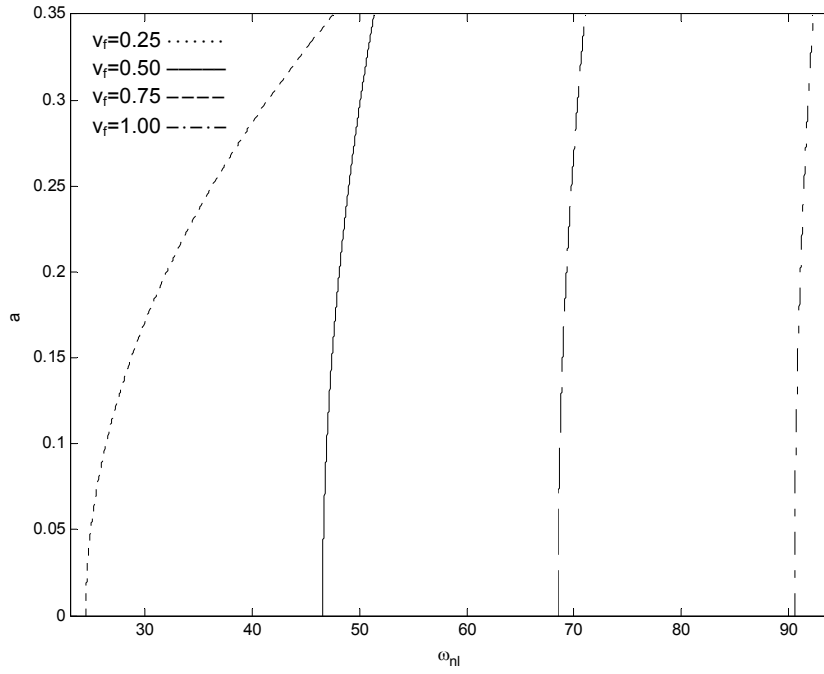
Şekil 3.172 $\eta=0.3$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve ν_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



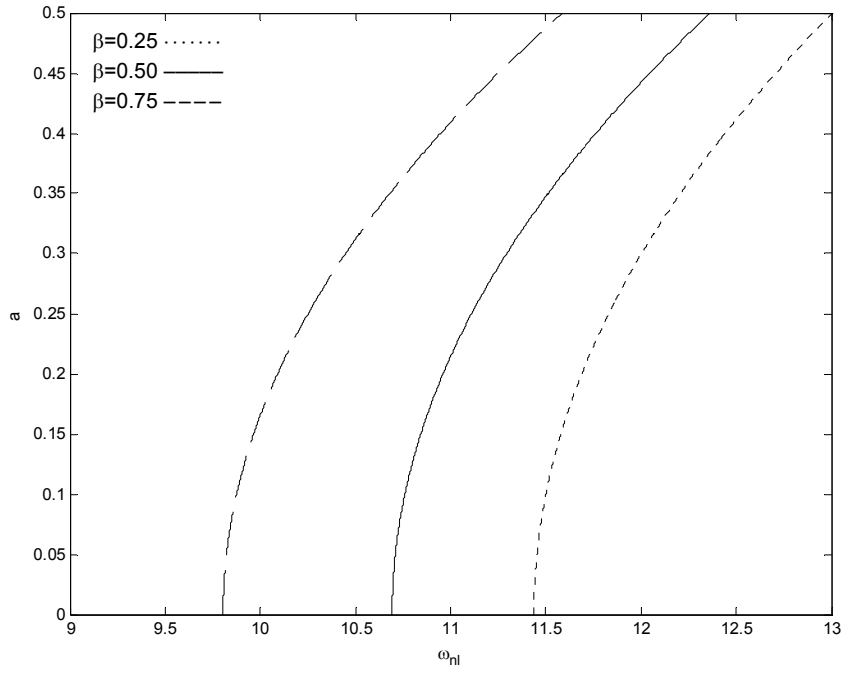
Şekil 3.173 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve ν_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



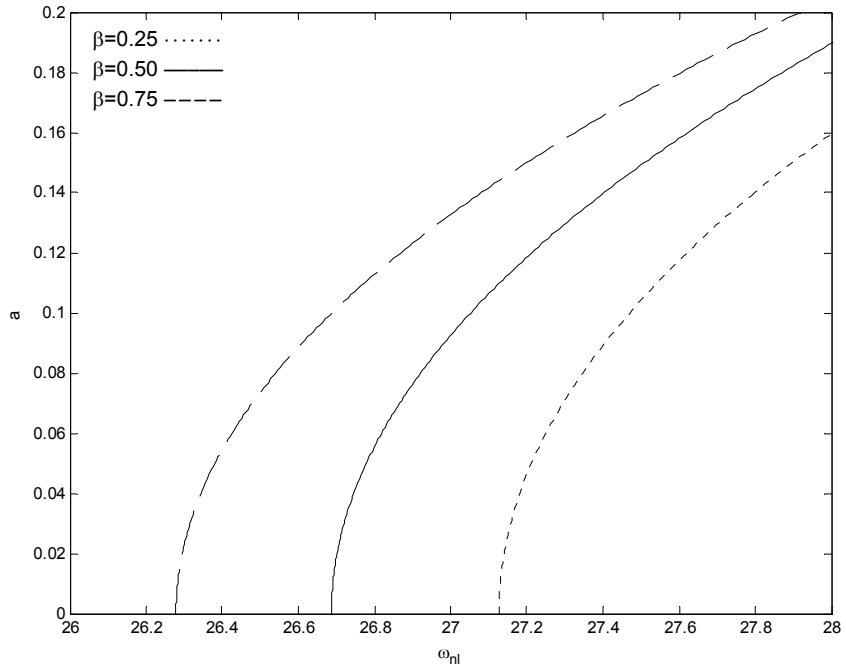
Şekil 3.174 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



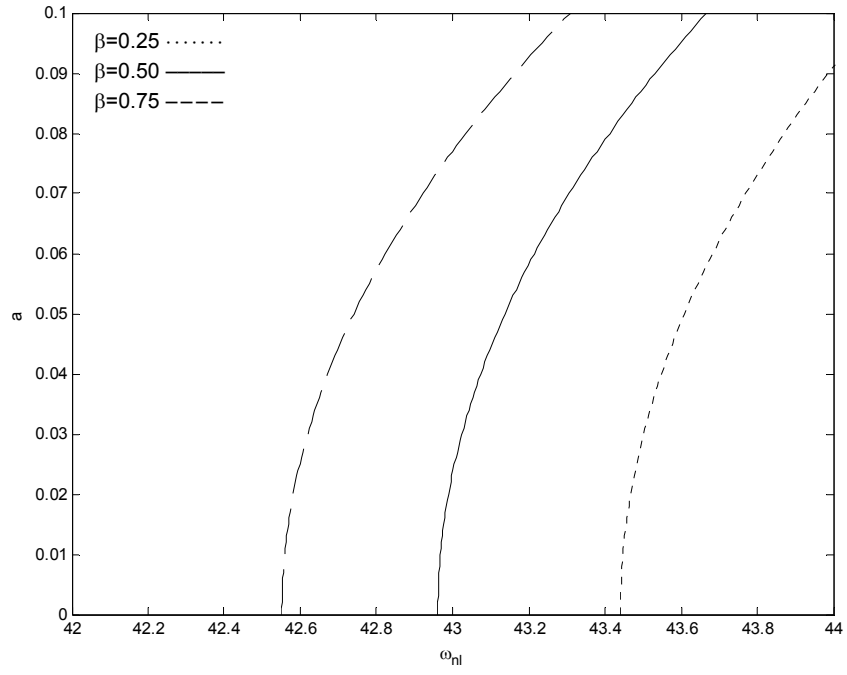
Şekil 3.175 $\eta=0.5$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve v_f değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



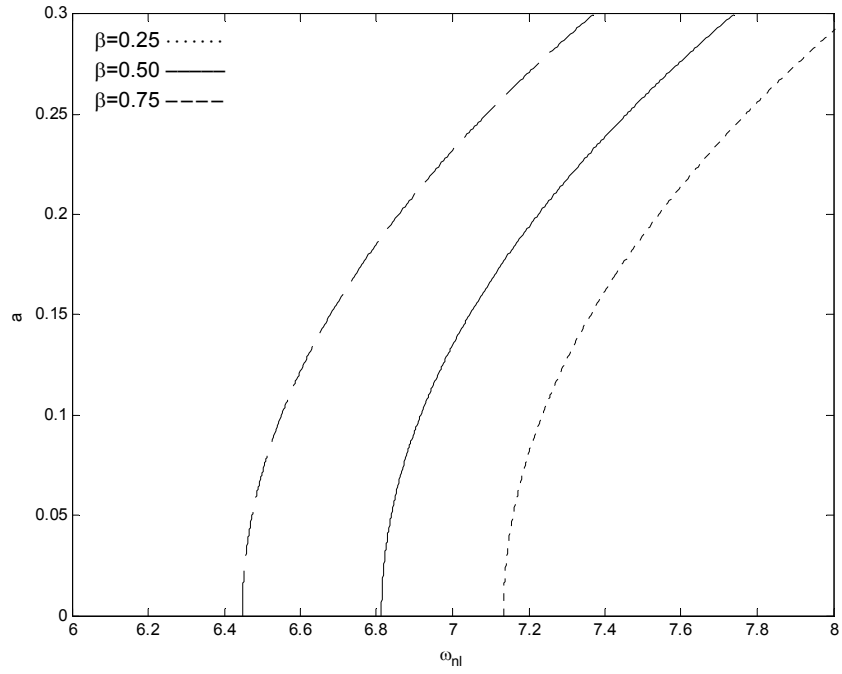
Şekil 3.176 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



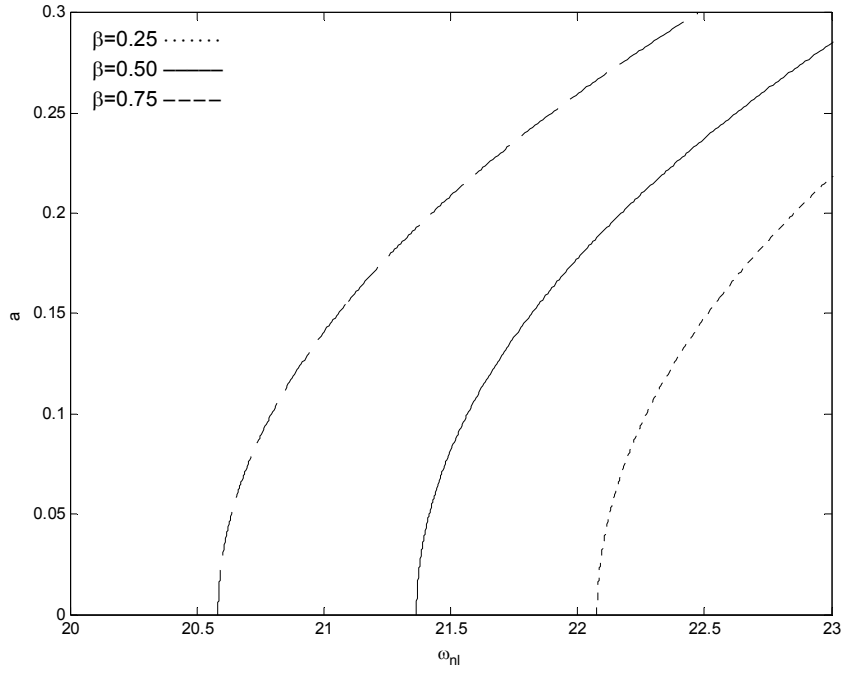
Şekil 3.177 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



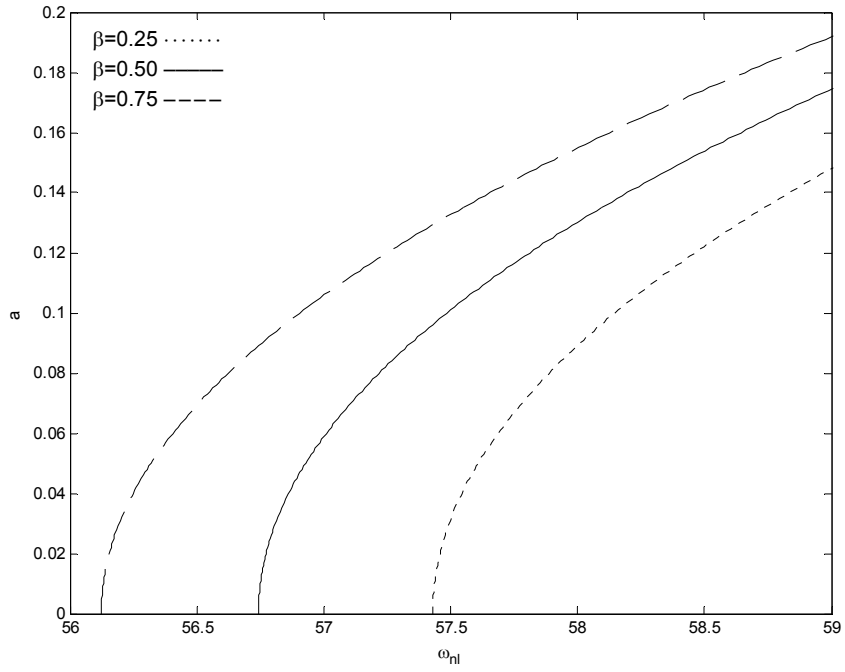
Şekil 3.178 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



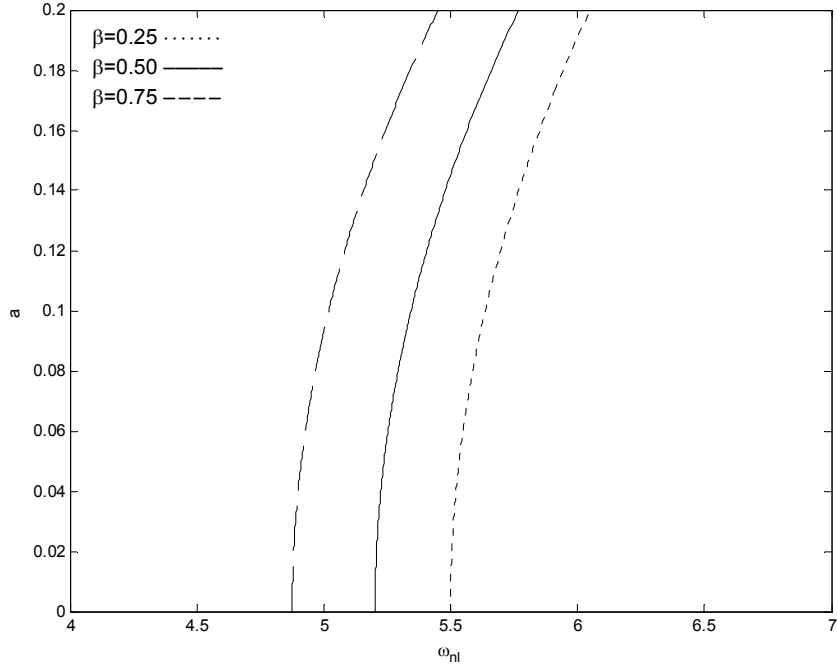
Şekil 3.179 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



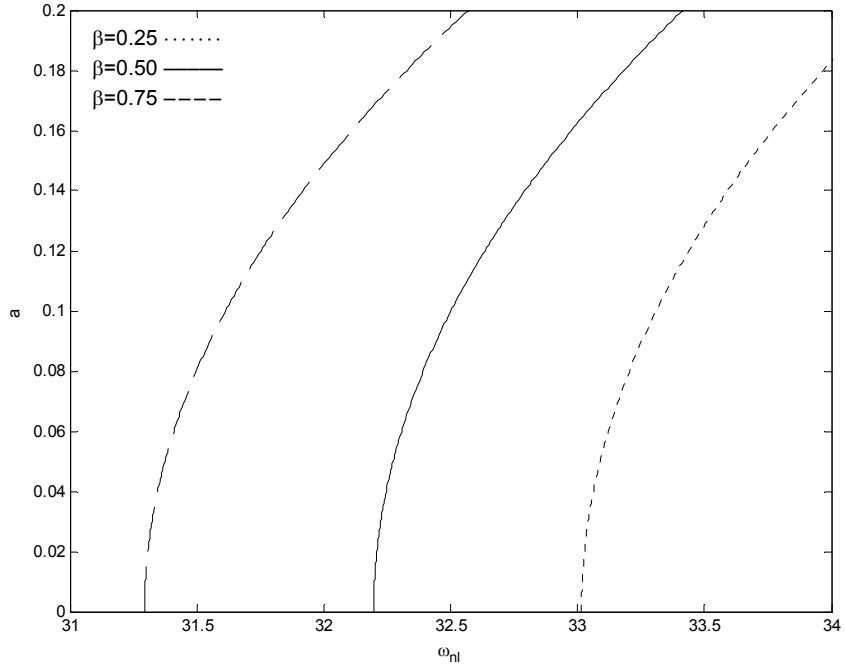
Şekil 3.180 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



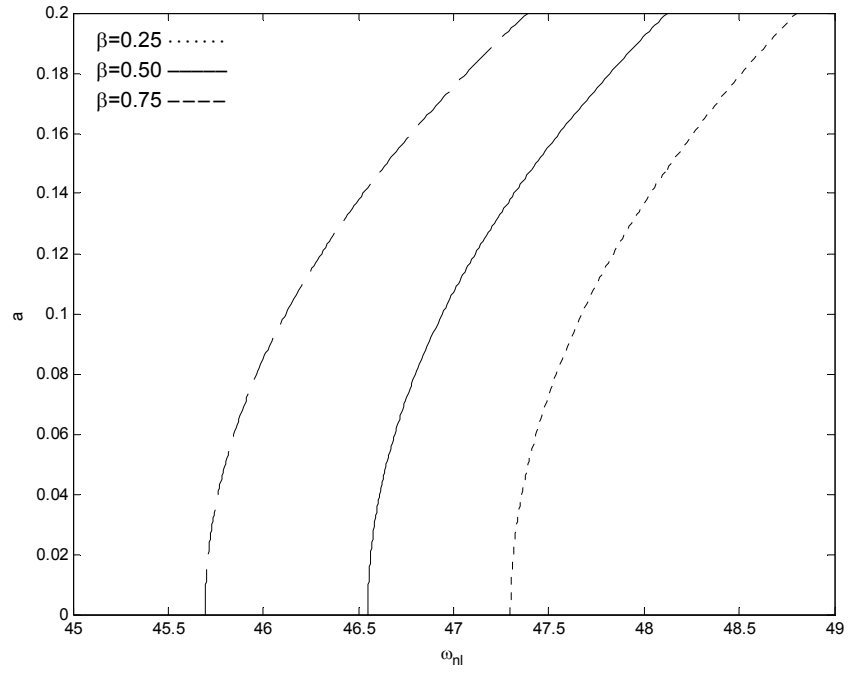
Şekil 3.181 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



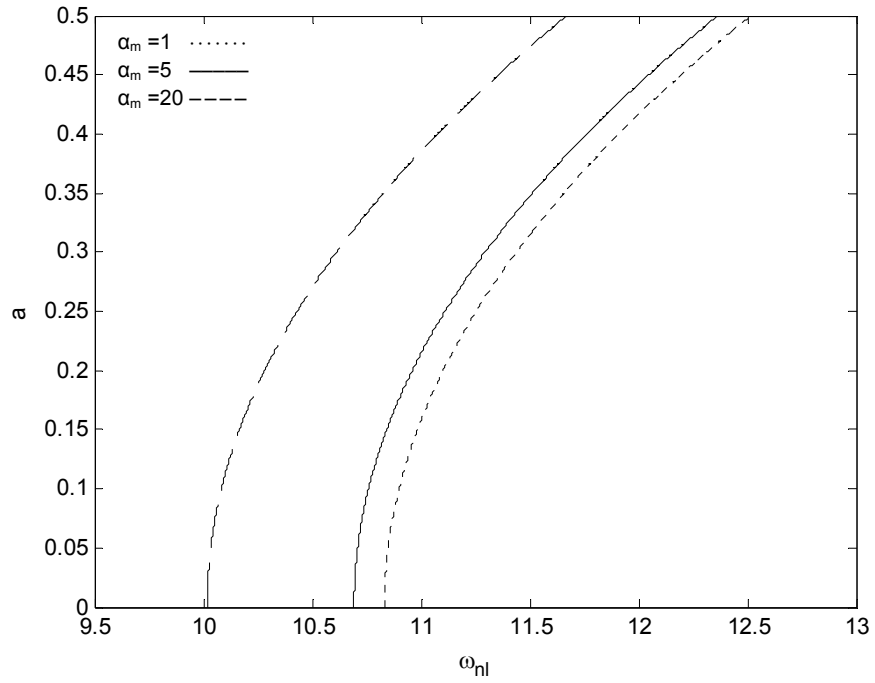
Şekil 3.182 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



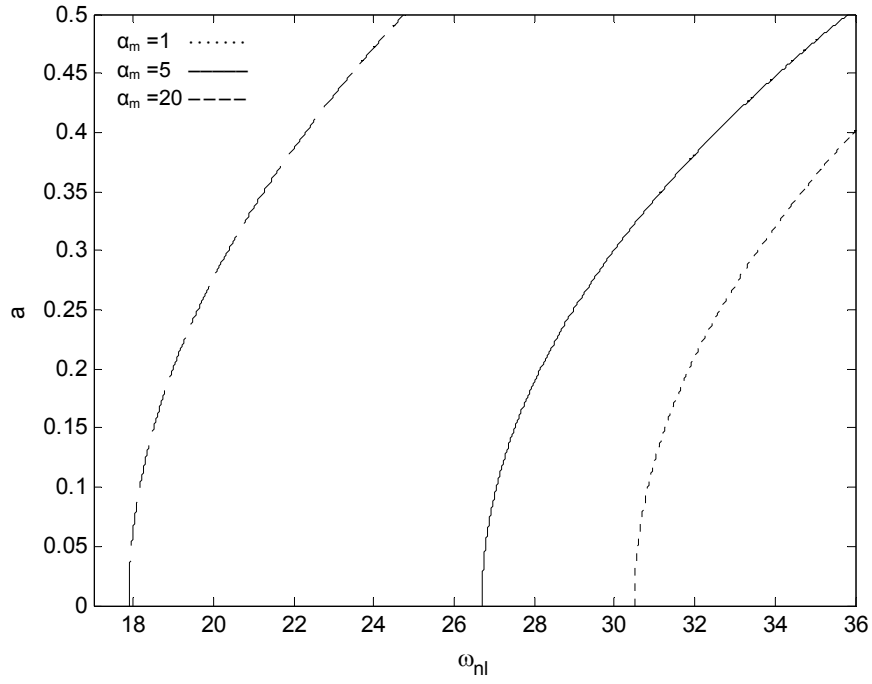
Şekil 3.183 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



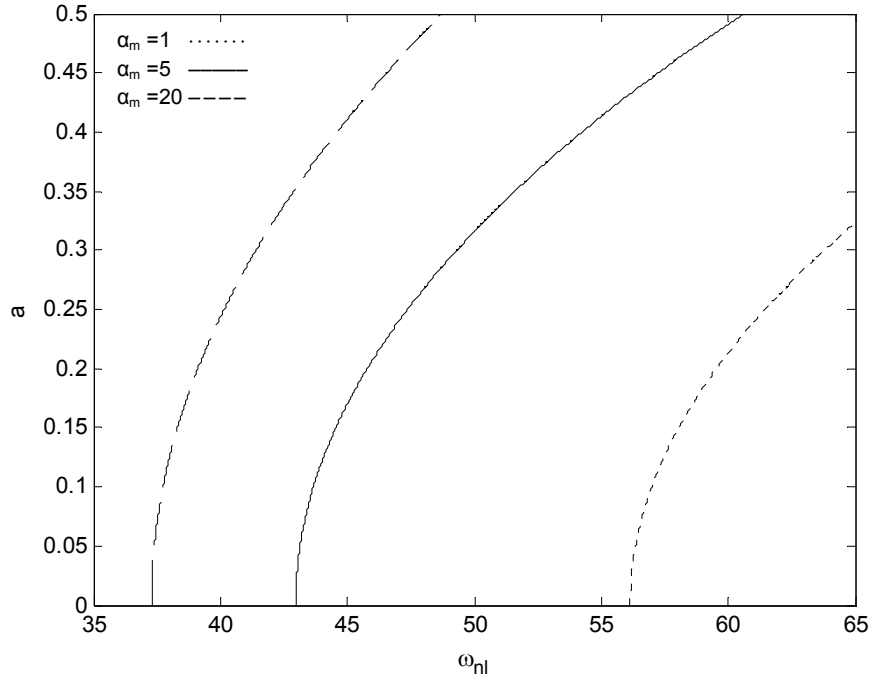
Şekil 3.184 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ - $\alpha_m=5$ ve β değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



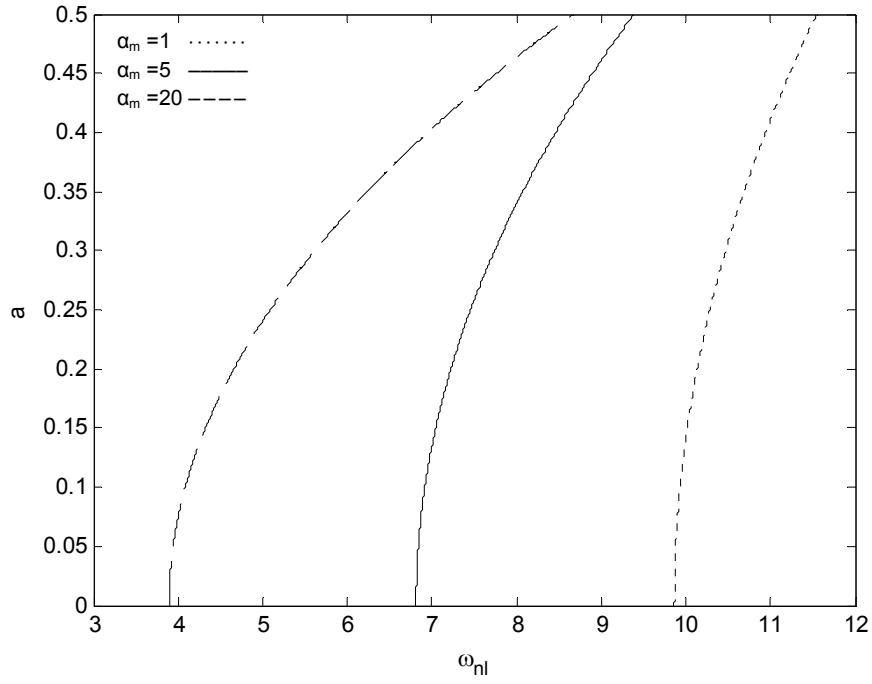
Şekil 3.185 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



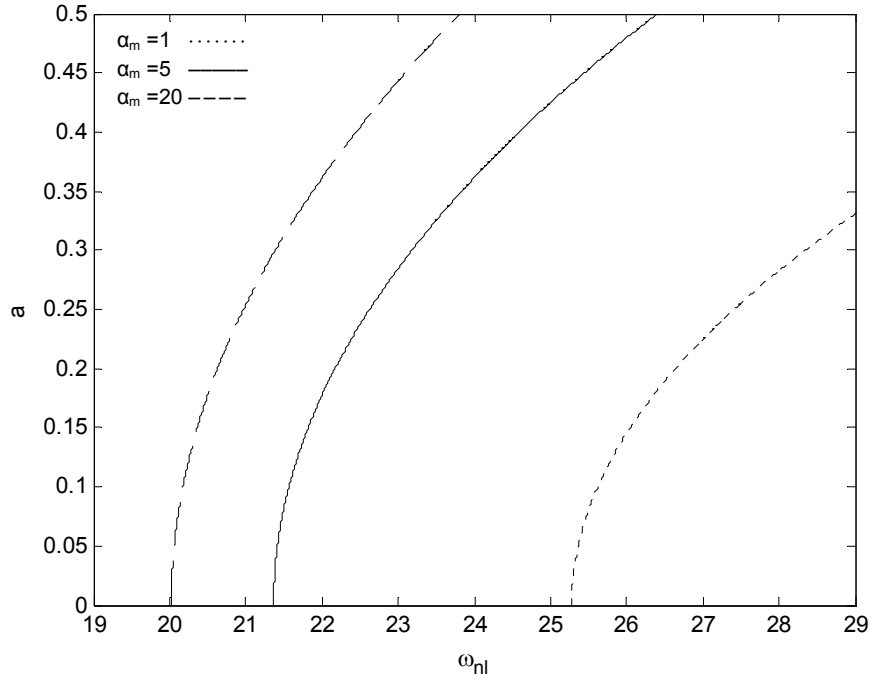
Şekil 3.186 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. Mod).



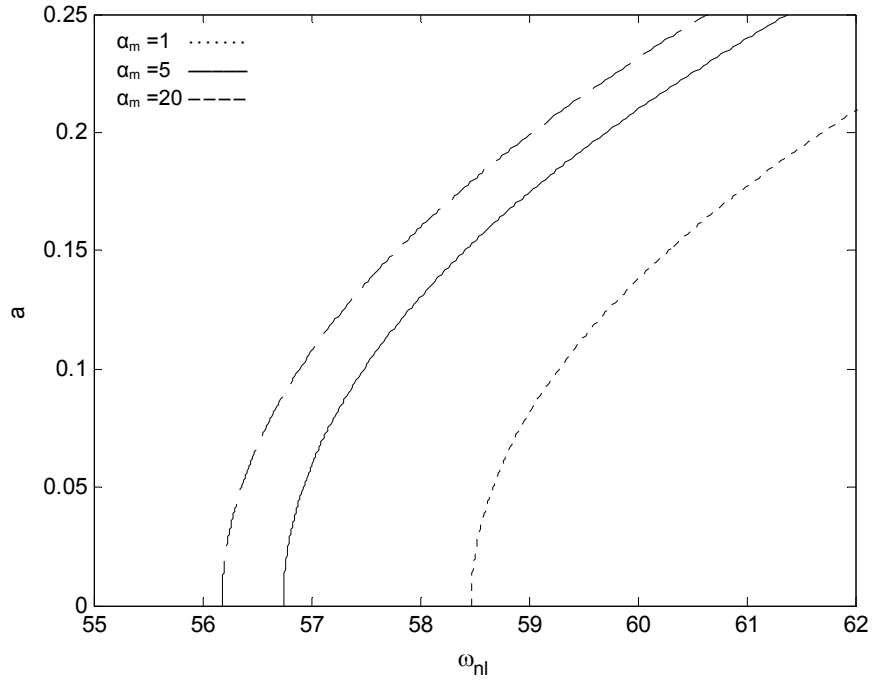
Şekil 3.187 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



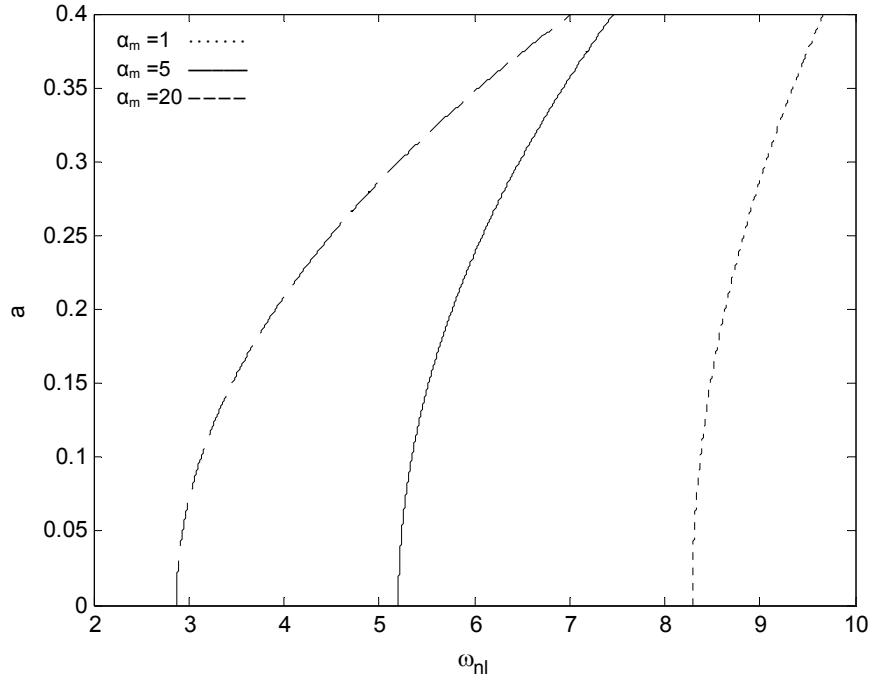
Şekil 3.188 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



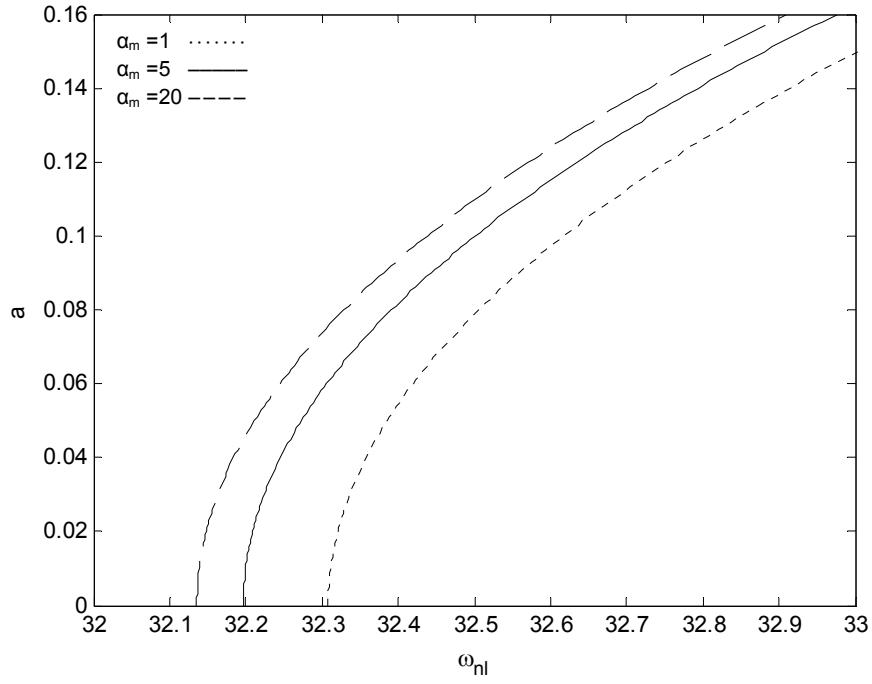
Şekil 3.189 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



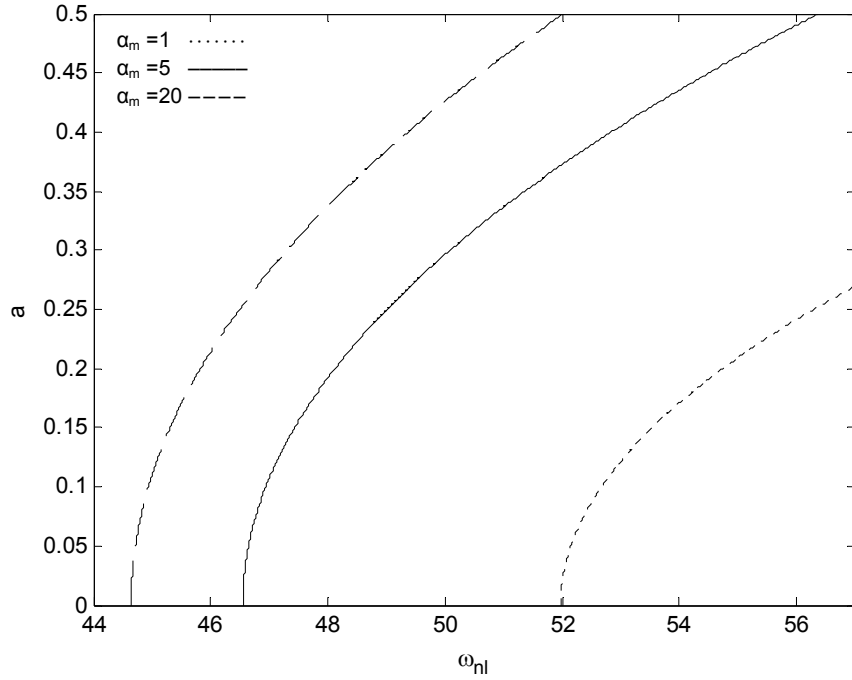
Şekil 3.190 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



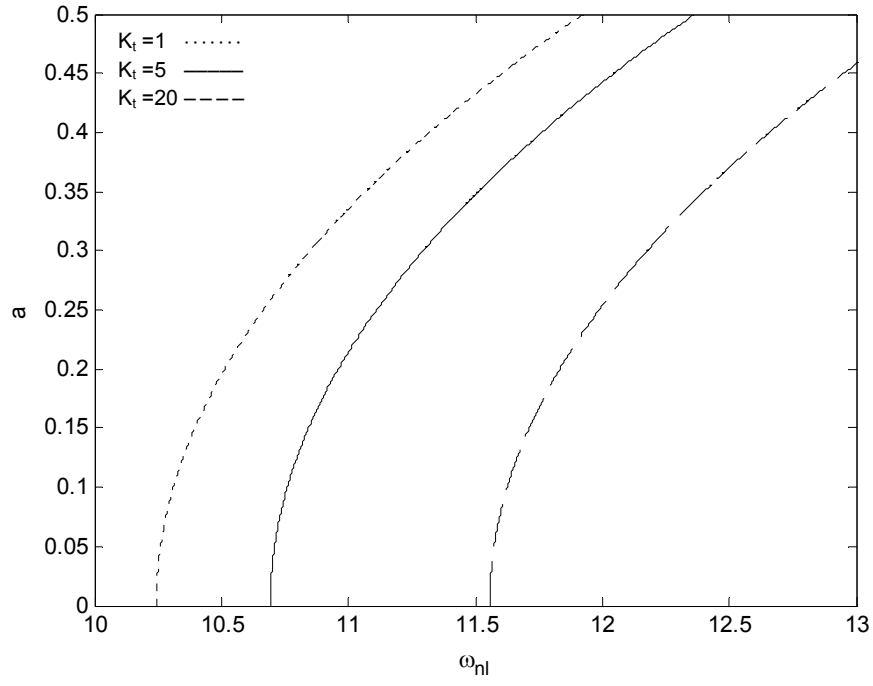
Şekil 3.191 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



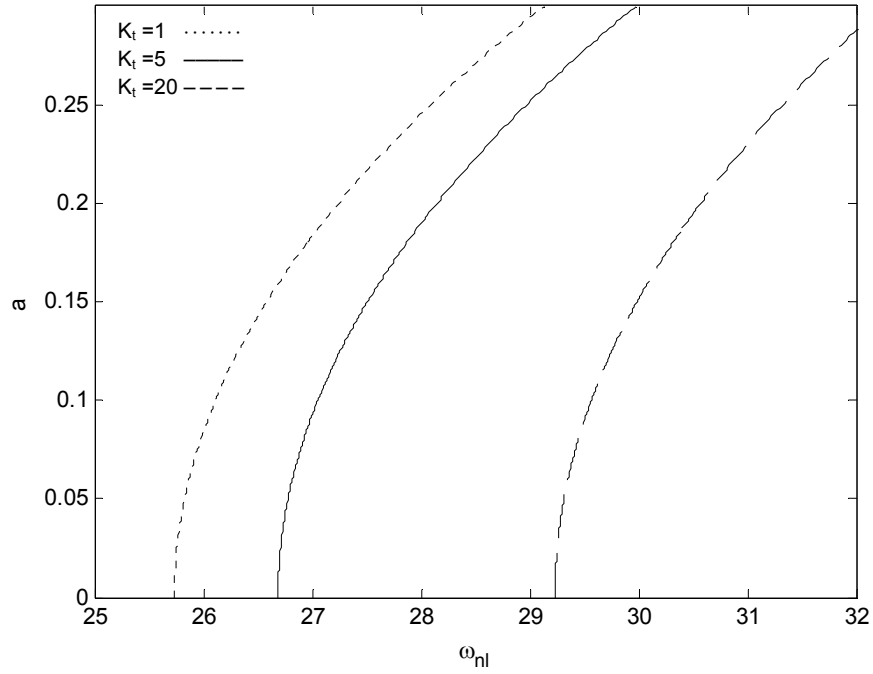
Şekil 3.192 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



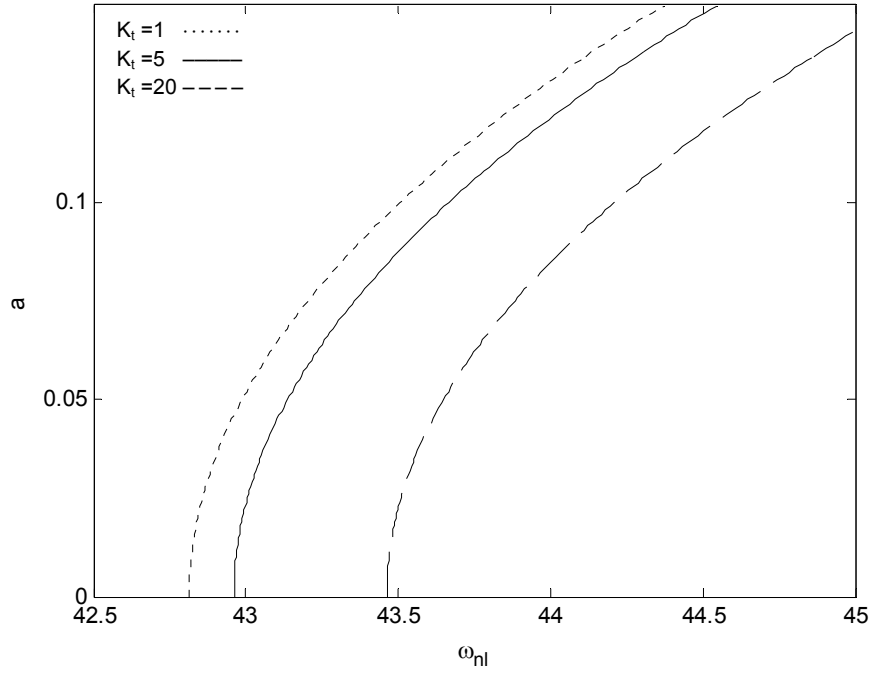
Şekil 3.193 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve α_m değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



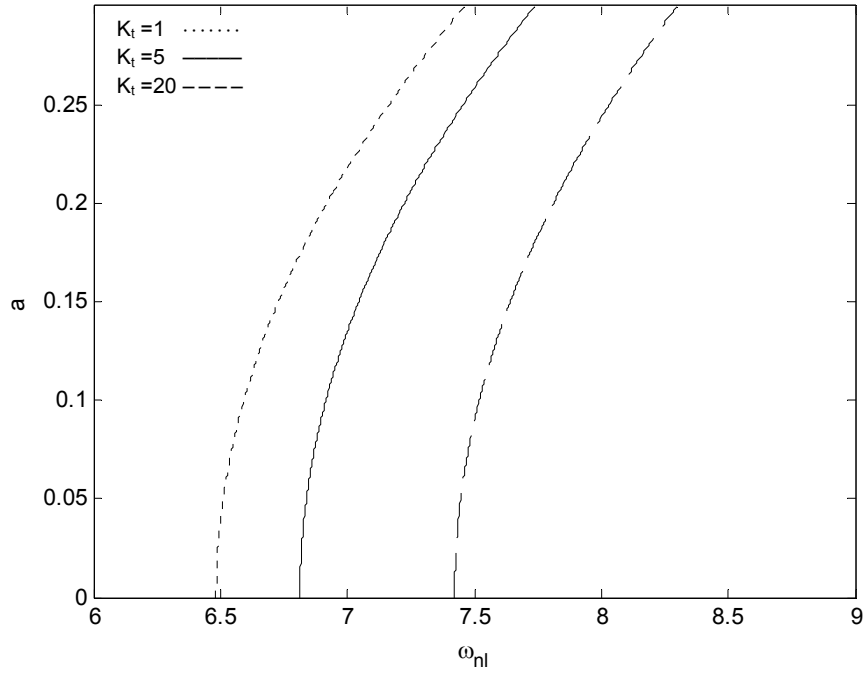
Şekil 3.194 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



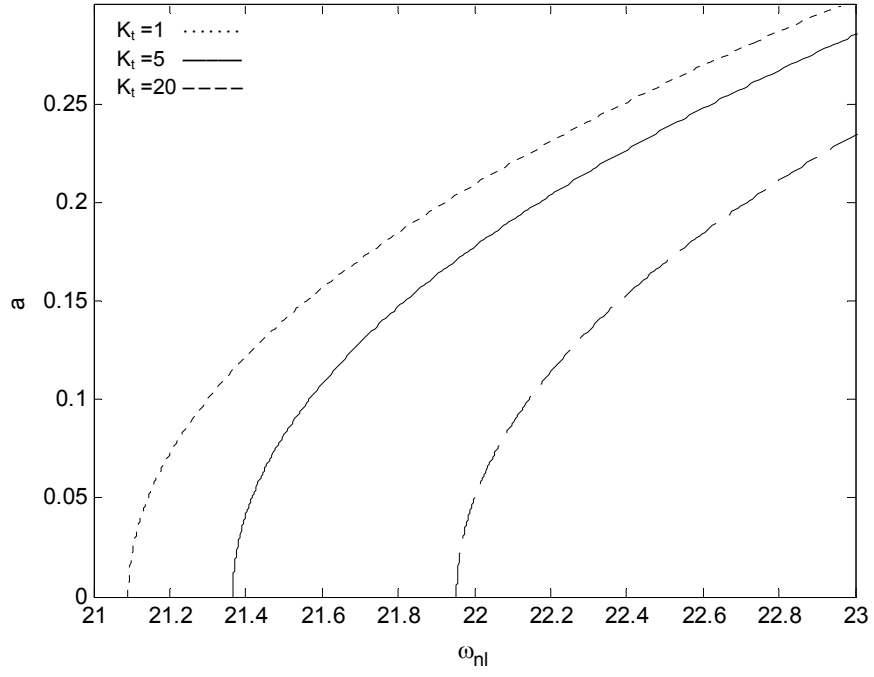
Şekil 3.195 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



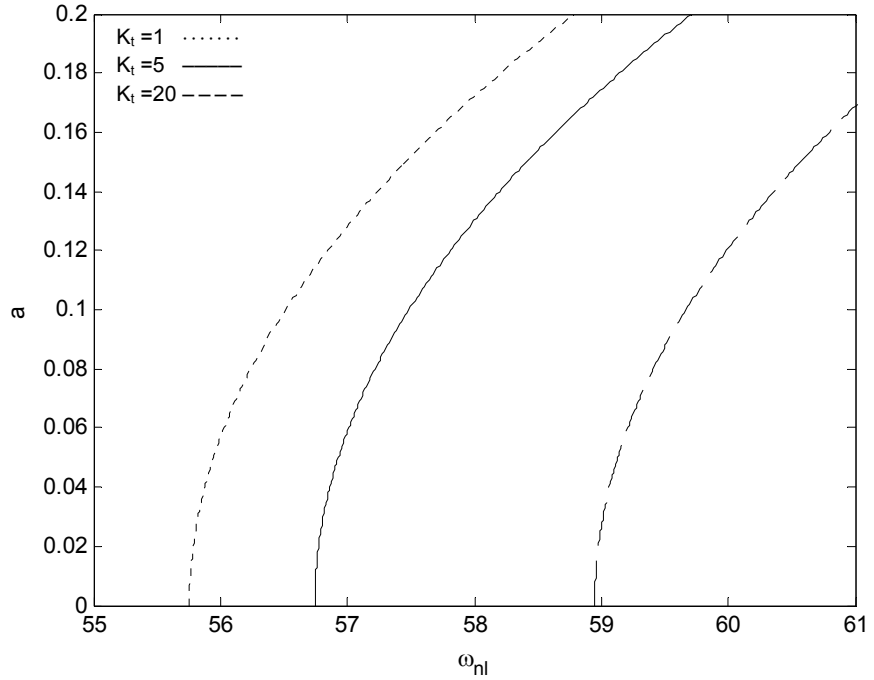
Şekil 3.196 $\eta=0.1$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



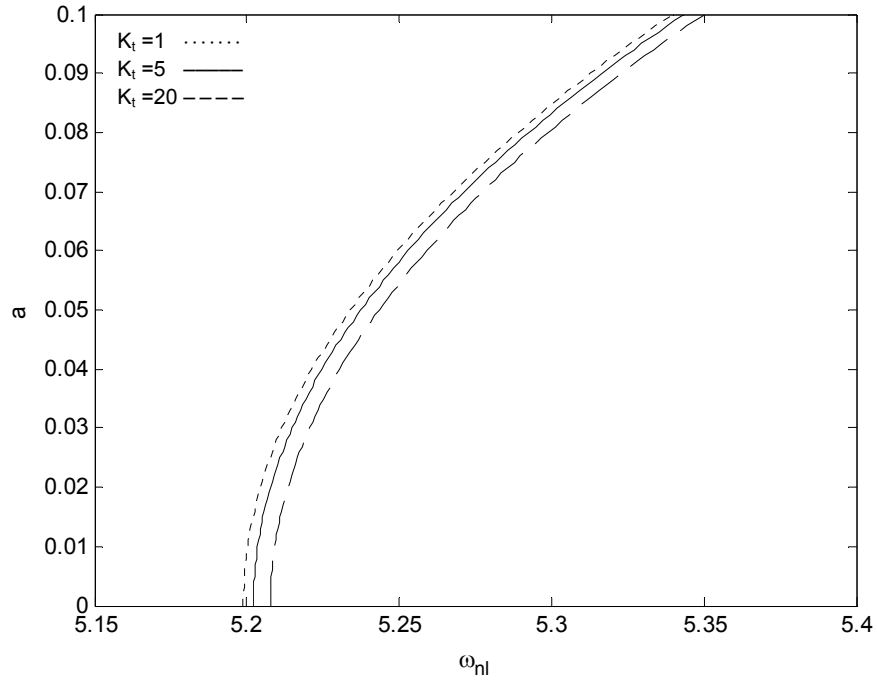
Şekil 3.197 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



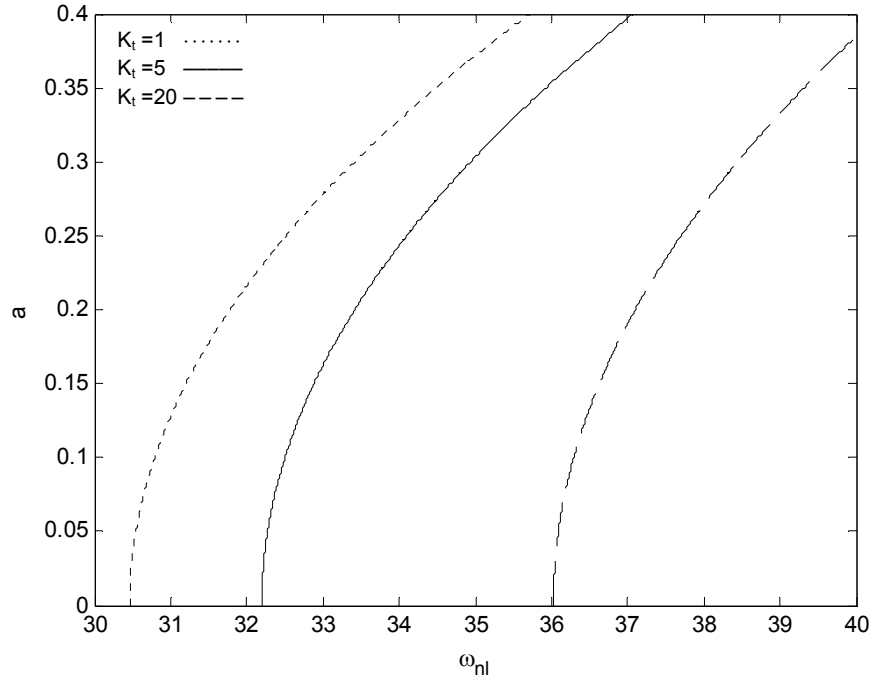
Şekil 3.198 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



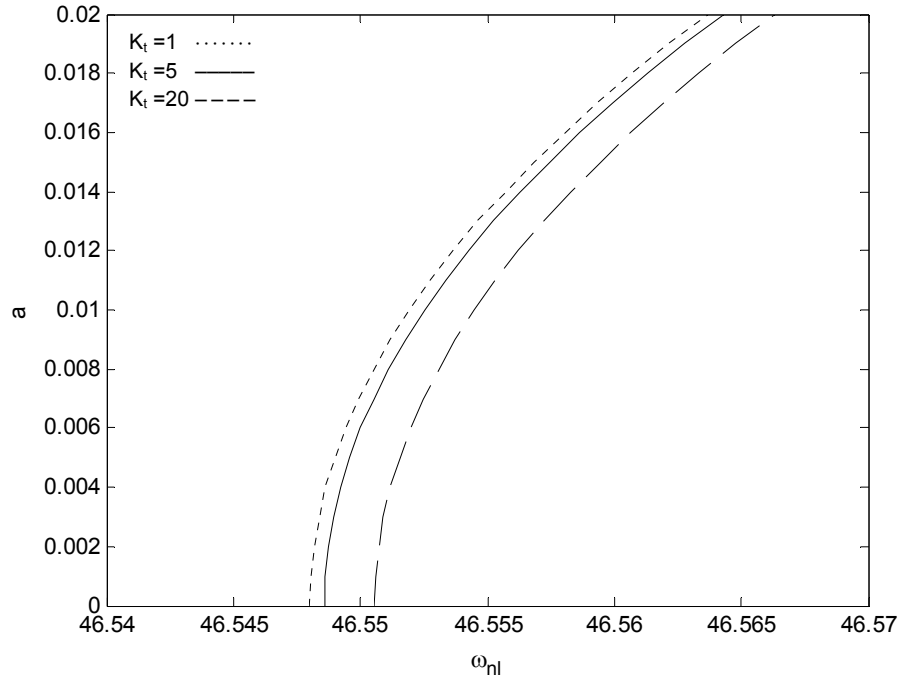
Şekil 3.199 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



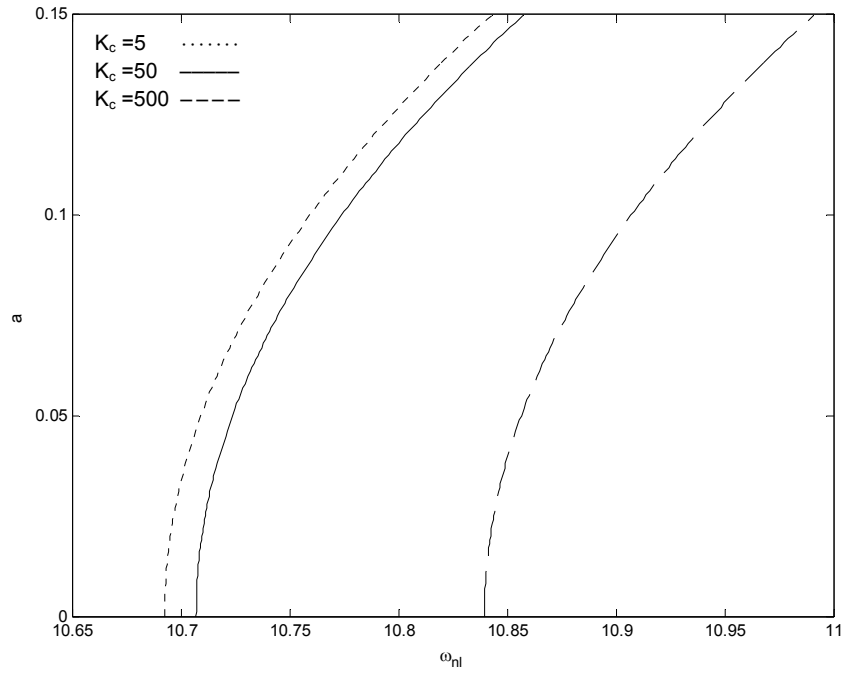
Şekil 3.200 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



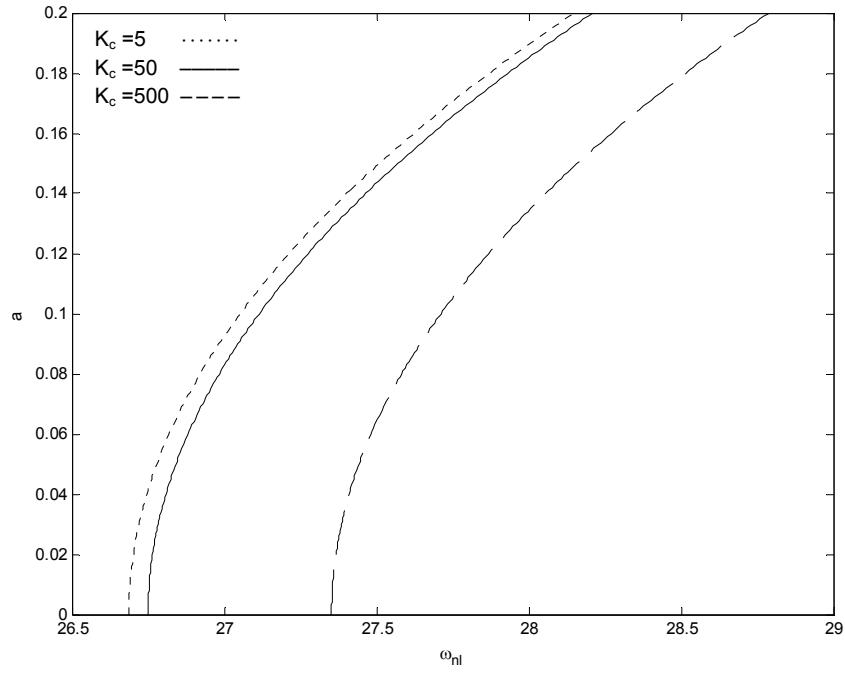
Şekil 3.201 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



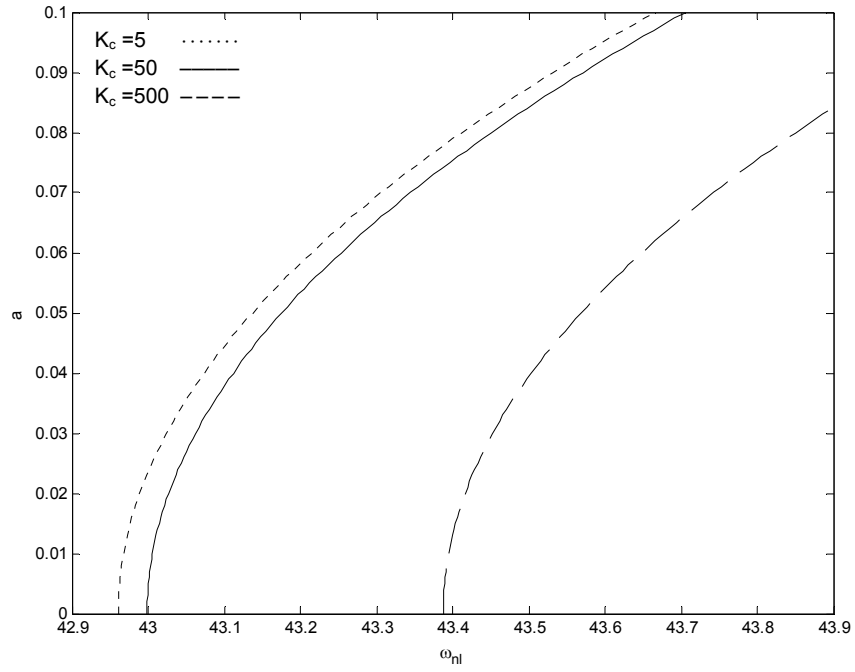
Şekil 3.202 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_c=5$ ve K_t değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



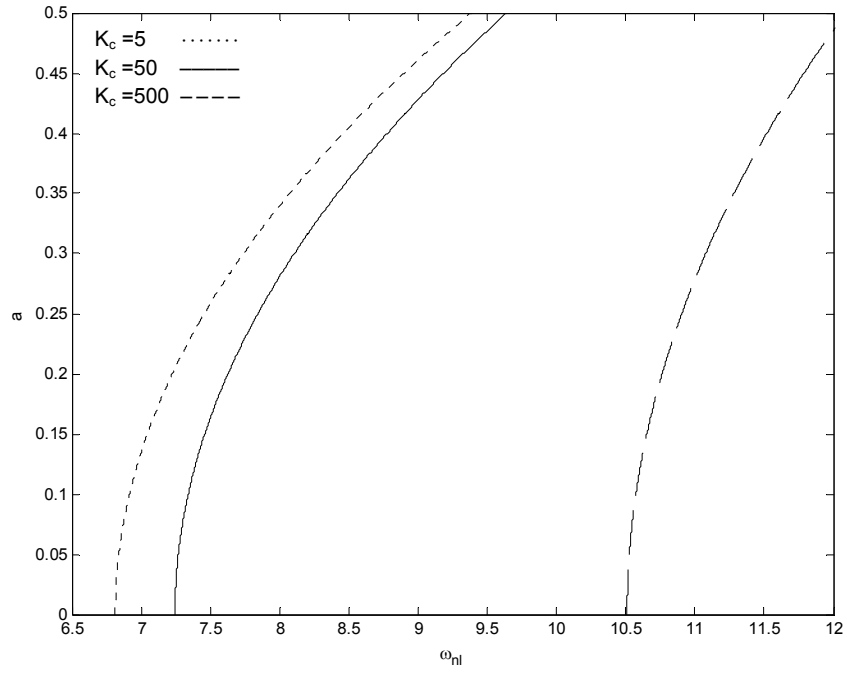
Şekil 3.203 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



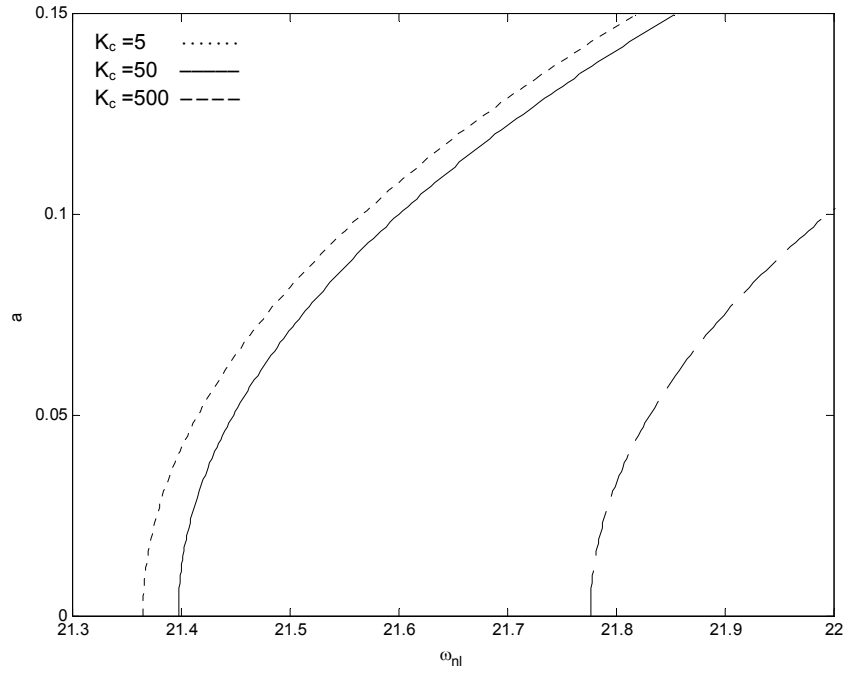
Şekil 3.204 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



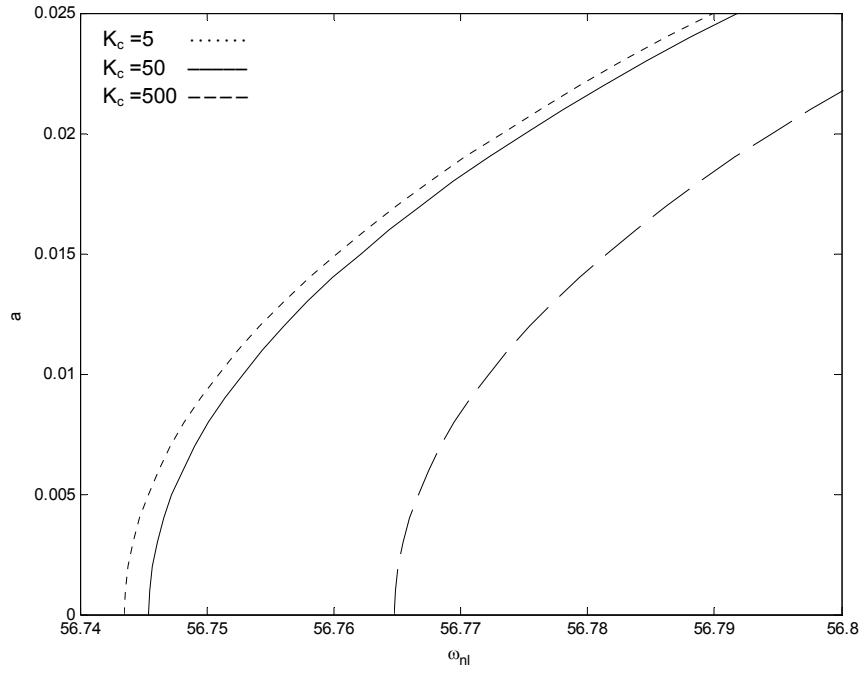
Şekil 3.205 $\eta=0.1$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



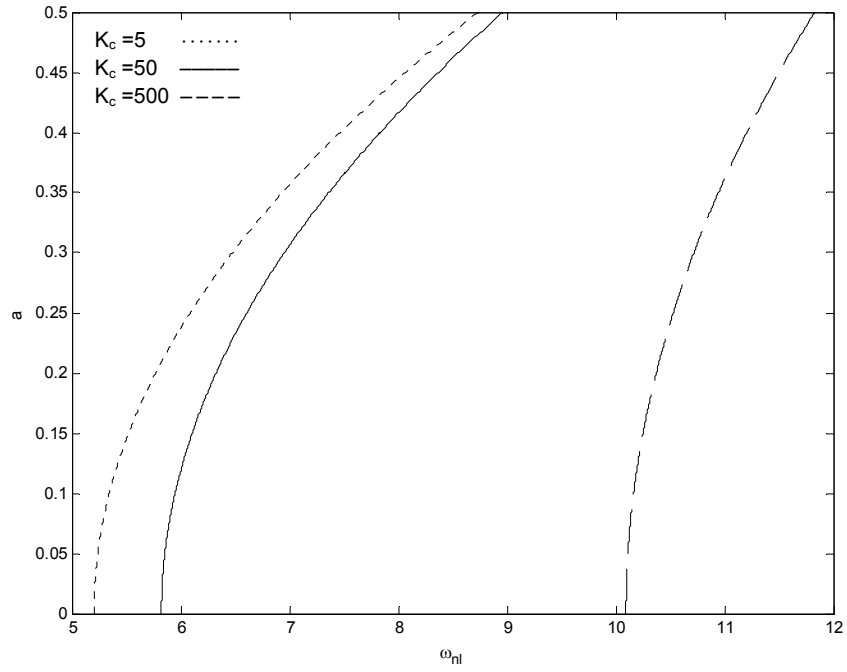
Şekil 3.206 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



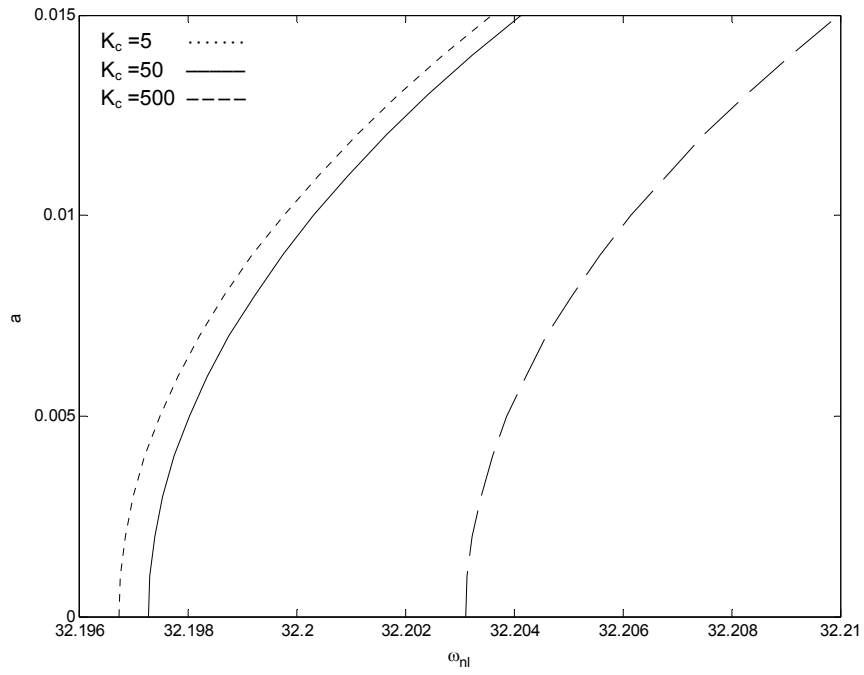
Şekil 3.207 $\eta=0.3$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



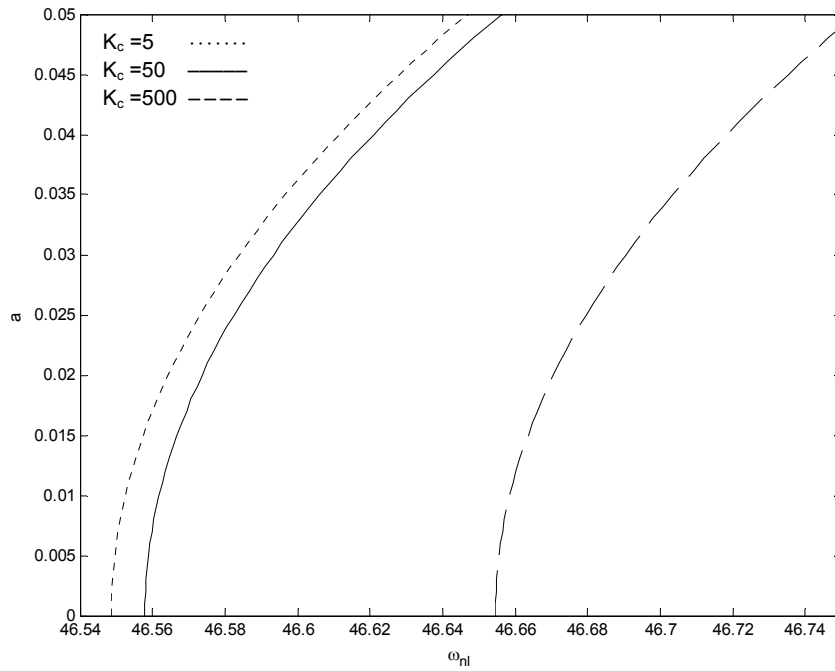
Şekil 3.208 $\eta=0.3$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



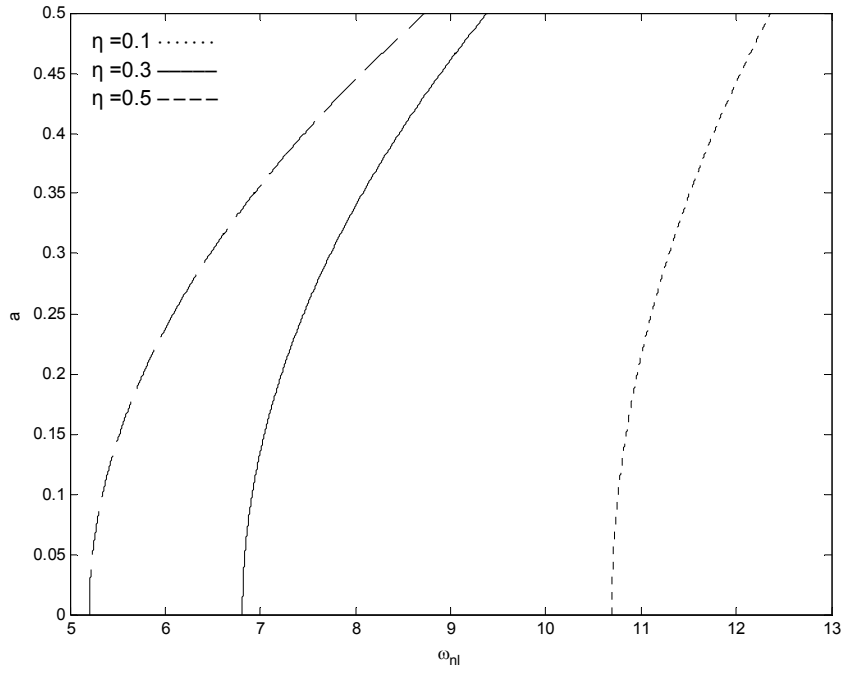
Şekil 3.209 $\eta=0.5$ - $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



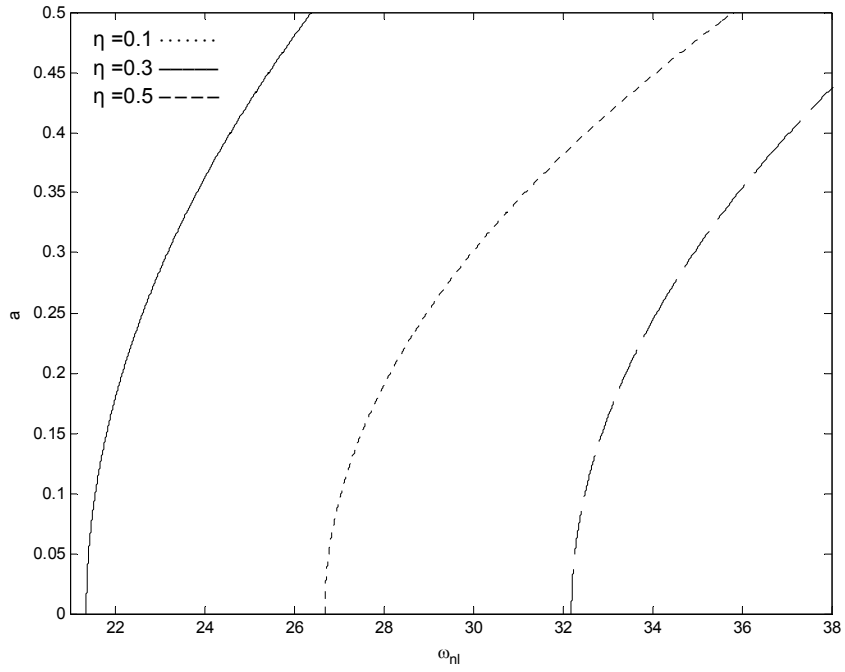
Şekil 3.210 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



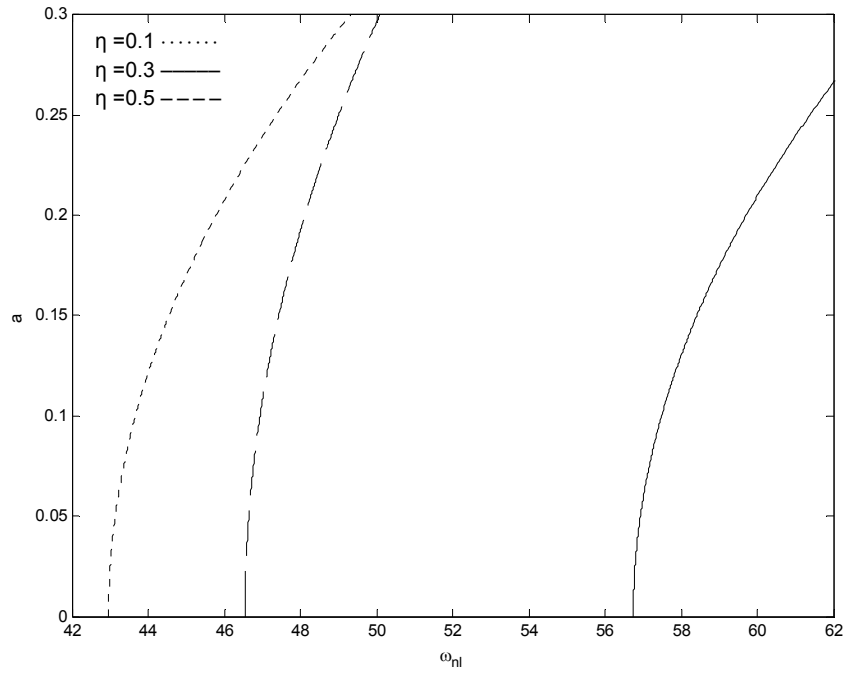
Şekil 3.211 $\eta=0.5$ - $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ ve K_c değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).



Şekil 3.212 $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (1. mod).



Şekil 3.213 $\nu_r=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (2. mod).



Şekil 3.214 $\nu_f=0.50$ - $\beta=0.50$ - $\alpha_m=5$ - $K_t=5$ - $K_c=5$ ve η değerleri için Nonlineer Frekans - Genlik etkileri (3. mod).

3.2.3. Ω 'nın 0'a yakın olduğu durum

Bu bölümde akışkan hızı değişim frekansının sıfıra yakın olduğu durum incelenmiştir. Bu durumda değişim frekansı denklem (3.127) gibi alınırsa,

$$\Omega = \varepsilon \sigma \quad (3.127)$$

Çözülebilirlik şartı denklem (3.128)'deki gibi bulunur.

$$0 = D_1 A + (k_1 \cos \sigma T_1 + k_2 \sin \sigma T_1) - S_{1\mu} A - k_3 A^2 \quad (3.128)$$

Burada tanımlanan katsayılar aşağıdaki gibidir,

$$k_1 = \frac{\beta v_1 \Omega \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right)}{2 \left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right)} \quad (3.129)$$

$$k_2 = -\beta v_1 \frac{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} \bar{Y}_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 \bar{Y}_2' \bar{Y}_2 dx \right) + v_0 \left(\int_0^{\eta} \bar{Y}_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 \bar{Y}_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \right)}{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right)} \quad (3.130)$$

$$S_1 = \frac{\left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) \right)}{-2 \left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right)} \quad (3.131)$$

$$k_3 = \frac{1}{2} v_b^2 \frac{\left[2 \left(\int_0^{\eta} Y_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) + \left(\int_0^{\eta} \bar{Y}_1'' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 \bar{Y}_2'' \bar{Y}_2 dx \right) \left(\int_0^{\eta} Y_1'^2 dx + \int_{\eta}^1 Y_2'^2 dx \right) \right]}{-2 \left(i\omega \left(\int_0^{\eta} Y_1 \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2 \bar{Y}_2 dx \right) + \beta v_0 \left(\int_0^{\eta} Y_1' \bar{Y}_1 dx + \int_{\eta}^1 Y_2' \bar{Y}_2 dx \right) \right)} \quad (3.132)$$

Genlik-faz modülasyon denklemleri ise şöyle elde edilir.

$$D_1 a = (-k_{1R} \cos \sigma T_1 - k_{2R} \sin \sigma T_1 - S_{1R} \mu) a \quad (3.133)$$

$$D_1 \theta = (-k_{1I} \cos \sigma T_1 - k_{2I} \sin \sigma T_1) - S_{1I} \mu + k_{3I} \frac{1}{4} a^2 \quad (3.134)$$

Bu durumda

$$a = a_0 e^{-S_{1R} \mu t + \frac{1}{\sigma} (k_{1R} \cos \sigma T_1 - k_{2R} \sin \sigma T_1)} \quad (3.135)$$

olur. $|\cos \sigma T_1| \leq 1$ ve $|\sin \sigma T_1| \leq 1$ olduğu için genlikler zamana göre sınırlıdır. Bu durum için kararsızlık söz konusu değildir. Sistem her zaman kararlıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada eksenel hareketli çok mesnetli akışkan taşıyan kiriş ele alınmıştır. Kirişin uçlarda zemine ankastre mesnetlerle bağlandığı, orta kısımda ise zeminin yumuşamasından, gevşemesinden veya esnemesinden dolayı titreşim esnasında genliklerin oluştuğu, bu durum da konsantre kütle-yay ile modellenmiştir. Akışkan hızının ortalama bir hız etrafında harmonik olarak değiştiği kabul edilmiştir ($v(t)=v_0+\varepsilon v_1 \sin \Omega t$). Kiriş uzamalarından kaynaklanan nonlinear etkiler de dikkate alınarak hareket denklemleri ve sınır şartları Hamilton prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen hareket denklemleri boyutsuzlaştırılarak malzeme ve geometrik yapıya olan bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Perturbasyon metotlarından biri olan çok zaman ölçekli metot kullanılarak yaklaşık çözümler bulunmuştur. Perturbasyon serisindeki ilk terim lineer problemi oluşturmaktadır. Lineer problemin çözümü ile orta kısımda yer alan mesneden değişik konumları, değişik yay katsayısı, değişik kütle miktarı, değişik kiriş katsayısı, değişik doluluk oranları ve akışkan hız değerleri için tabii frekanslar tam olarak hesaplanmıştır. İkinci mertebeye ortaya çıkan nonlinear terimler, lineer probleme düzeltme terimleri getirmektedir. Nonlinear terimlerin tabii frekansa etkisi değişik parametreler için hesaplanmıştır. Akışkan hızı değişim frekansının sıfır ve tabii frekansın iki katından uzak olduğu, akışkan hızı değişim frekansının sıfıra yakın olduğu ve akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olduğu durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olması durumunda temel parametrik rezonans meydana gelmektedir. Temel parametrik rezonans durumu detaylı bir şekilde incelenmiştir. Her durum için kararlılık analizi yapılarak çözümlerinin kararlı ve kararsız olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Akışkan hızının, yayların katsayısının, kütlelerin değişiminin, kiriş katsayısı, doluluk oranlarının ve mesnet konumunun bifurkasyon noktalarına etkileri incelenmiştir. Faz modülasyon denklemleri elde edilmiştir. Genliklerin artmaya başladığı bifurkasyon (dallanma) noktaları tespit edilmiştir.

Lineer problemin çözümünden değişik parametreler için birinci, ikinci ve üçüncü tabii frekanslar elde edilmiş bulunan sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Buna göre tüm mesnet konumları için kirişlik katsayısı arttığında tabii frekans değerleri artmaktadır. Akışkan hızı arttığında ise tabii frekanslar azalmaktadır. Belli bir hız değerinden sonra tabii frekans değerleri elde edilememektedir. Bu durum kritik hız olarak değerlendirilmektedir. Tüm mesnet konumları için akışkan taşıyan kirişin doluluk oranı arttığında tabii frekansların başlangıç değeri aynı noktadan başlamaktadır. Doluluk oranı arttıkça aynı akışkan hızı değeri için frekanslar azalmaktadır. Orta bölümde bulunan mesneden konsantre kütle miktarı arttığında tabii frekans değerleri azalmaktadır. Akışkan hızı arttığında da frekanslar azalmaktadır. Orta bölümdeki mesneden dönme yayının katsayısı arttığında tabii frekansların başlangıç değerleri artmaktadır. Mesnet konumu ortada ($\eta=0.5$) olduğunda ise birinci ve üçüncü mod değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır (Şekil 3.14). Orta bölümdeki mesneden lineer yay katsayısı arttığında tabii frekans

değerleri artmakta bu artış miktarı birinci modda daha fazla diğer modlarda ise sınırlı olmaktadır. Bu durum grafiklerde yakınlaştırma işlemi yapılarak gösterilmiştir. Tüm durumlarda akışkan hızı arttığında tabii frekans değerleri azalmaktadır.

Perturbasyon analizinde ε mertebesindeki denklemler nonlinear problemi oluşturmaktadır. Nonlinear problem akışkan hızı değişim frekansının (Ω), sıfır ve tabii frekansın iki katından uzak olduğu, akışkan hızı değişim frekansının sıfıra yakın olduğu ve akışkan hızı değişim frekansının tabii frekansın iki katına yakın olduğu durumlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Akışkan hızı değişim frekansı, tabii frekansın iki katına yakın olması durumunda temel parametrik rezonans problemi ortaya çıkmaktadır. Temel parametrik rezonans durumunda problemin basit ve basit olmayan iki çözümü mevcuttur. Basit çözümün geçerli olduğu bölgelerde genlikler sıfırdır. Genliklerin sıfır olduğu durumdaki kararlılık bölgeleri tüm durumlar için akışkan hızına bağlı olarak elde edilmiş ve $(\Omega-v_0)$ grafikler halinde gösterilmiştir. Basit olmayan çözümün olduğu bölgelerde ise genlikler artmaktadır. Bu ise istenmeyen bir durumdur. Genliklerin artmaya başladığı bifurkasyon (dallanma) noktaları tespit edilmiş ve değişik parametreler için $(\sigma-a)$ grafikler şeklinde gösterilmiştir.

Temel parametrik rezonansın çözümünden elde edilen sonuçlara göre aynı kirişlik katsayısı (v_f), doluluk oranı (β), konsantre kütle (α_m), dönme yayı (K_t), lineer yay (K_c) katsayı değerleri ve farklı mesnet konumları (η) için akışkan hız (v_0) değeri artması ile basit olmayan çözümün ortaya çıktığı ve genliklerin arttığı bölgeler genişlemektedir. Mesnet konumunun orta bölüme yaklaşması halinde kararsızlık bölgelerindeki genişleme diğer durumlara göre daha az olmaktadır (Şekil 3.17-Şekil 3.25). Genliklerin sıfır olduğu durumdaki kararlılık bölgeleri tüm parametrelerin değişimi için ayrı ayrı incelenmiş ve akışkan hızına bağlı olarak $(\Omega-v_0)$ grafikler halinde ilk üç modu gösterilmiştir. Tüm durumlarda 1. mod en dar kararsızlık bölgesine sahip olurken 3. mod en geniş kararsızlık bölgesine sahip olmuştur. Bununla birlikte özellikle 3. modda akışkan hızı arttığında kararsızlık bölgeleri önce genişlemiş kritik hıza yaklaştığında ise daralmıştır, tüm durumlarda kritik hız civarında ani genişlemeler meydana gelmiştir (Şekil 3.26-Şekil 3.61). Ayrıca genliklerin sıfır olduğu durum $(\Omega-v_0)$ ile sıfırdan farklı olduğu durumda $(\sigma-a)$ grafikler halinde gösterilmiştir. Buna göre aynı mesnet konumu için kirişlik katsayısı arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemekte, akışkan hızı kritik sınıra ulaştığında ise bazı durumlarda daralmalar görülmektedir, kritik hız civarında ani genişlemeler göze çarpmaktadır. sabit akışkan hızı $v_0=2$ alınarak elde edilen $(\sigma-a)$ grafiklerinde ise kirişlik katsayısı arttığında sertleştirici etki azalmaktadır. Mesnet konumu orta bölüme yaklaştığında kararsızlık bölgeleri diğer konumlara göre daha dar elde edilmiştir (Şekil 3.62-Şekil 3.79). Doluluk oranı arttığında ise kararsızlık bölgeleri genişlemekte, sertleştirici etki de artmaktadır bununla birlikte sistemin çalışacağı akışkan hızı azalmaktadır. Mesnedin orta bölüme yaklaşmasıyla kararsızlık bölgeleri daralmaktadır. Tüm durumlarda akışkan hızı arttığında

kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmakta ve kritik akışkan hızı civarında ani genişlemeler görülmektedir (Şekil 3.80-Şekil 3.97). Konsantre kütle miktarı arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemekte ve sistemin sertleştirici etkisi de artmaktadır. Mesnet orta bölüme yaklaştığında kararsızlık bölgeleri daralmaktadır. Akışkan hız arttığında ise kararsızlık bölgesi önce genişlemekte sonra daralmaktadır (Şekil 3.98-Şekil 3.115). Dönme yayı etkisi arttığında kararsızlık bölgeleri genişlemekte ve sistemin sertleştirici etkisi de artmaktadır. Mesnet orta bölüme yaklaştığında kararsızlık bölgeleri daralmaktadır. Akışkan hız arttığında ise kararsızlık bölgesi önce genişlemekte sonra daralmaktadır (Şekil 3.116-Şekil 3.133). Lineer yay etkisi arttığında ise sistemdeki değişim diğer parametrelerin değişimine oranla özellikle ikinci ve üçüncü modda çok sınırlı olmaktadır. Bu durum grafiklerde yakınlaştırma işlemi yapılarak gösterilmiştir. Akışkan hızı arttığında ise kararsızlık bölgeleri önce genişlemekte daha sonra daralmaktadır (Şekil 3.134-Şekil 3.151). Mesnet konumu orta bölüme yaklaştığında kararsızlık bölgeleri daralmakta sistemde ise sertleştirici etki artmaktadır. Mesnet konumu ortada olduğunda sistem en dar kararsızlık bölgesine sahip olacak şekilde çalışabilir (Şekil 3.152-Şekil 3.157). Gerçek problemlerde basit çözümün ortaya çıktığı ve genliklerin sınırlı olduğu kararlı bölgelerde çalışmak oldukça önemlidir. Çünkü basit olmayan çözümün aktif olduğu bölgelerde, şekillerde de gösterildiği gibi, titreşim genlikleri artmaktadır. Bu ise istenmeyen bir durumdur. Titreşim genliklerinin en yüksek olduğu durum birinci tabii frekans ile ilgili parametrik rezonans durumudur. Yüksek tabii frekanslar için de parametrik rezonans durumu oluşması mümkündür. Fakat bu durumlarda titreşim tabiatı gereği genlikler daha düşük olmaktadır. Tasarım için en tehlikeli bölgeler ise akışkan hızının kritik hıza yakın olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde çalışıldığında hemen hemen bütün akışkan hız değerleri için çözümler kararsız hale gelmektedir.

Perturbasyon analizinde ε mertebesindeki denklemlerin oluşturduğu nonlinear problemde, akışkan hızı değişim frekansının (Ω), sıfırdan ve $2\omega'$ dan uzak olduğu durumda, nonlinear terimlerin tabii frekansa katkılarını gösteren nonlinear frekans değerleri elde edilmiştir. Nonlinear frekans eğrilerinin sağa doğru yatması sertleşme tip (hardening type) davranışın göstergesidir. Bulunan sonuçlara göre akışkan hız değerinin artması ile nonlinear frekans değerleri azalmaktadır. Genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır (Şekil 3.158-Şekil 3.166). Kirişlik katsayısının artması ile nonlinear frekans değeri artmaktadır. Genliklerin artması da nonlinear frekans değerini arttırmaktadır. Bu artış düşük kirişlik katsayısı değerinde daha fazla olmakta, kirişlik katsayısı arttığında nonlinear frekanslardaki artış azalmaktadır (Şekil 3.167-Şekil 3.175). Doluluk oranının artması ise nonlinear frekans değerini azaltmakta, genliklerin artması ise nonlinear frekans değerini arttırmaktadır (Şekil 3.176-Şekil 3.184). Orta bölümdeki mesnette yer alan konsantre kütle miktarının artması ile nonlinear frekans değeri azalmaktadır. Genliklerdeki artış ise nonlinear frekans değerlerini azaltmaktadır (Şekil 3.185-Şekil 3.193). Orta bölümdeki dönme yayı katsayısının artması nonlinear frekansları arttırmakta, genlik artışı da nonlinear

etkileri arttırmaktadır (Şekil 3.194-Şekil 3.202). Lineer yay katsayısı arttığında nonlineer değerler ikinci ve üçüncü modda birbirine çok yakın çıkmakta ve artış miktarı çok az olmaktadır. Genliklerin artması da nonlineer frekansı arttırmaktadır (Şekil 3.203-Şekil 3.211). Mesnet konumu kenarlardaki ankanstre mesnetten orta bölüme yaklaştığında nonlineer frekans değeri azalmaktadır. Bütün durumlarda olduğu gibi genliklerin artması nonlineer etkileri arttırmaktadır (Şekil 3.212-Şekil 3.214).

Bu çalışmanın devamı olarak şu çalışmalar yapılabilir.

1. Mesnet tipi değiştirilebilir.
2. İdeal olmayan sınır şartları için çözümler araştırılabilir.
3. Tabii frekanslar arasında oluşabilecek 2:1 ve 3:1 iç rezonanslar incelenebilir.
4. Deneysel sonuçlar ile elde ettiğimiz sonuçlar ile yaklaşık analitik çözümler karşılaştırılabilir.
5. Toplam ve fark tipi kombinasyon rezonansları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Banerjee, J. R. (2012). Free vibration of beams carrying spring-mass systems – A dynamic stiffness approach. *Computers & Structures*, 104-105, 21–26.
doi:10.1016/j.compstruc.2012.02.020
- Benjamin, T. B. (1961). Dynamics of a System of Articulated Pipes Conveying Fluid. I. Theory. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 261(1307), 457–486. doi:10.1098/rspa.1961.0090
- Chen, L.-Q., Zhang, Y.-L., Zhang, G.-C. ve Ding, H. (2014). Evolution of the double-jumping in pipes conveying fluid flowing at the supercritical speed. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 58, 11–21. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2013.08.012
- Chen, S. S., Cai, Y. ve Zhu, S. (1996). Flow-Induced Vibration of Tubes in Cross-Flow. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 118(November), 253–258.
- Dai, H. L., Wang, L., Qian, Q. ve Ni, Q. (2014). Vortex-induced vibrations of pipes conveying pulsating fluid. *Ocean Engineering*, 77, 12–22. doi:10.1016/j.oceaneng.2013.12.006
- Enz, S. (2010). Effect of asymmetric actuator and detector position on Coriolis flowmeter and measured phase shift. *Flow Measurement and Instrumentation*, 21(4), 497–503.
doi:10.1016/j.flowmeasinst.2010.07.003
- Enz, S. ve Thomsen, J. J. (2011). Predicting phase shift effects for vibrating fluid-conveying pipes due to Coriolis forces and fluid pulsation. *Journal of Sound and Vibration*, 330(21), 5096–5113. doi:10.1016/j.jsv.2011.05.022
- Ghayesh, M. H., Païdoussis, M. P. ve Amabili, M. (2013). Nonlinear dynamics of cantilevered extensible pipes conveying fluid. *Journal of Sound and Vibration*, 332(24), 6405–6418.
doi:10.1016/j.jsv.2013.06.026
- Ghayesh, M. H., Païdoussis, M. P. ve Modarres-Sadeghi, Y. (2011). Three-dimensional dynamics of a fluid-conveying cantilevered pipe fitted with an additional spring-support and an end-mass. *Journal of Sound and Vibration*, 330(12), 2869–2899.
doi:10.1016/j.jsv.2010.12.023
- Kheiri, M. ve Païdoussis, M. P. (2014). On the use of generalized Hamilton's principle for the derivation of the equation of motion of a pipe conveying fluid. *Journal of Fluids and Structures*. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2014.06.007
- Kheiri, M., Païdoussis, M. P., Del Pozo, G. C. ve Amabili, M. (2014). Dynamics of a pipe conveying fluid flexibly restrained at the ends. *Journal of Fluids and Structures*.
doi:10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.023
- Lee, K., Cho, Y. ve Chung, J. (2012). Dynamic contact analysis of a tensioned beam with a moving mass–spring system. *Journal of Sound and Vibration*, 331(11), 2520–2531.
doi:10.1016/j.jsv.2012.01.014

- Li, B., Gao, H., Zhai, H., Liu, Y. ve Yue, Z. (2011). Free vibration analysis of multi-span pipe conveying fluid with dynamic stiffness method. *Nuclear Engineering and Design*, 241(3), 666–671. doi:10.1016/j.nucengdes.2010.12.002
- Li, S., Liu, G. ve Kong, W. (2014). Vibration analysis of pipes conveying fluid by transfer matrix method. *Nuclear Engineering and Design*, 266, 78–88. doi:10.1016/j.nucengdes.2013.10.028
- Lilkova-Markova, V. A. D. and S. V. (2003). Dynamic stability of a fluid-conveying cantilevered pipe on an additional combined support. *International Applied Mechanics*, 39(2), 185–191.
- M. Pakdemirli and A. G. Ulsoy. (1997). Stability analysis of an axially accelerating string. *Journal of Sound and Vibration*, 203(5), 815–832.
- Meng, D. ve Chen, L. (2012). Nonlinear free vibrations and vortex-induced vibrations of fluid-conveying steel catenary riser. *Applied Ocean Research*, 34, 52–67. doi:10.1016/j.apor.2011.10.002
- Mockenstrum E.M. ; Perkins N.C. and Ulsoy A.G. (1994). Stability and limit cycles of parametrically excited, axially moving strings. *Journal of Vibration and Acoustics*, (ASME 118), 346–350.
- Modarres-Sadeghi, Y. ve Païdoussis, M. P. (2009). Nonlinear dynamics of extensible fluid-conveying pipes, supported at both ends. *Journal of Fluids and Structures*, 25(3), 535–543. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2008.09.005
- Modarres-Sadeghi, Y. ve Païdoussis, M. P. (2013). Chaotic oscillations of long pipes conveying fluid in the presence of a large end-mass. *Computers & Structures*, 122, 192–201. doi:10.1016/j.compstruc.2013.02.005
- Mulcahy, T. M. (1983a). A review of leakage-flow-induced vibrations of reactor components. *Components Technology Division*, (ANL-83-43).
- Mulcahy, T. M. (1983b). Leakage-flow-induced vibration of a tube-in-tube slip joint. *Components Technology Division*, ANL-83-56.
- Nayfeh, A. H. (1981). *Introduction to perturbation techniques*. New York: John Wiley.
- Ni, Q., Zhang, Z. L. ve Wang, L. (2011). Application of the differential transformation method to vibration analysis of pipes conveying fluid. *Applied Mathematics and Computation*, 217(16), 7028–7038. doi:10.1016/j.amc.2011.01.116
- Nikolić, M. ve Rajković, M. (2006). Bifurcations in nonlinear models of fluid-conveying pipes supported at both ends. *Journal of Fluids and Structures*, 22(2), 173–195. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2005.09.009
- Öz, H. R. (2002). Natural frequencies of fluid conveying tensioned pipes and carrying a stationary mass under different end conditions. *Journal of Sound and Vibration*, 253(2), 507–517. doi:10.1006/jsvi.2001.4010

- Öz, H. R. ve Boyaci, H. (2000). Transverse Vibrations of Tensioned Pipes Conveying Fluid With Time-Dependent Velocity. *Journal of Sound and Vibration*, 236(2), 259–276. doi:10.1006/jsvi.2000.2985
- Öz, H. R. ve Evrensel, C. a. (2002). Natural Frequencies of Tensioned Pipes Conveying Fluid and Carrying a Concentrated Mass. *Journal of Sound and Vibration*, 250(2), 368–377. doi:10.1006/jsvi.2001.3764
- Özkaya, E. (2001). Linear transverse vibrations of a simply supported beam carrying concentrated masses. *Mathematical and Computational Applications*, 6(3), 179–187.
- Özkaya, E. ve Pakdemirli, M. (2000). Vibrations of an axially accelerating beam with small flexural stiffness. *Journal of Sound and Vibration*, 234(3), 521–535. doi:10.1006/jsvi.2000.2890
- Paidoussis, M. P. (2006). Real-life experiences with flow-induced vibration. *Journal of Fluids and Structures*, 22(6-7), 741–755. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2006.04.002
- Paidoussis M. P. and Semler C. (1998). Non-linear dynamics of a fluid-conveying cantilevered pipe with a small mass attached at the free end. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 33(1), 15–32.
- Paidoussis, M. P., Grinevich, E., Adamovic, D. ve Semler, C. (2002). Linear and nonlinear dynamics of cantilevered cylinders in axial flow. part 1: physical dynamics. *Journal of Fluids and Structures*, 16(6), 691–713. doi:10.1006/jfls.2002.0447
- Pakdemirli M. and Batan H. (1993). Dynamic Stability Of A Constantly Accelerating Strip. *Journal of Sound and Vibration*, 168(2), 371–378.
- Pakdemirli, M., Nayfeh, S. A. ve Nayfeh, A. H. (1995). Analysis of One-to-One Autoparametric Resonances in Cables- Discretization vs . Direct Treatment. *Nonlinear Dynamics*, 8(1995), 65–83.
- Pakdemirli M. ve Ulsoy A. G. and Ceranoglu A. (1994). Transverse Vibration of an Axially Accelerating String. *Journal of Sound and Vibration*, 169(2), 179–196.
- R. M. C. So, A. Y. L. X. Q. W. (2001). Flow-induced vibration of an euler-bernoulli beam. *Journal of Sound and Vibration*, 243(2), 241–268. doi:10.1006/jsvi.2000.3342
- Ritto, T. G., Soize, C., Rochinha, F. A. ve Sampaio, R. (2014). Dynamic stability of a pipe conveying fluid with an uncertain computational model. *Journal of Fluids and Structures*. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2014.05.003
- S.-Y. Lee and C. D.Mote, J. (1997). A generalized treatment of the energetics of translating continua, part II: beams and fluid conveying pipes. *Journal of Sound and Vibration*, 204(5), 735–753.
- So, R. M. C., Wang, X. Q., Xie, W.-C. ve Zhu, J. (2008). Free-stream turbulence effects on vortex-induced vibration and flow-induced force of an elastic cylinder. *Journal of Fluids and Structures*, 24(4), 481–495. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2007.10.013

- So, R. M. C., Zhou, Y. ve Liu, M. H. (2000). Free vibrations of an elastic cylinder in a cross flow and their effects on the near wake. *Experiments in Fluids*, 29, 130–144.
- Ulsoy, A. G., Mote, C. D. ve Szymani, R. (1978). Principal Developments in Band Saw Vibration and Stability Research. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 36, 273–280.
- Wang, L., Dai, H. L. ve Qian, Q. (2012). Dynamics of simply supported fluid-conveying pipes with geometric imperfections. *Journal of Fluids and Structures*, 29, 97–106. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2011.12.013
- Wang, X. Q., So, R. M. C. ve Chan, K. T. (2003). A non-linear fluid force model for vortex-induced vibration of an elastic cylinder. *Journal of Sound and Vibration*, 260(2), 287–305. doi:10.1016/S0022-460X(02)00945-8
- X. Q. Wang, R. M.C. So, and, Y. L. (2001). Flow-Induced Vibration of an Euler–Bernoulli Beam. *Journal of Sound and Vibration*, 243(2), 241–268. doi:10.1006/jsvi.2000.3342
- Yang, X., Yang, T. ve Jin, J. (2007). Dynamic stability of a beam-model viscoelastic pipe for conveying pulsative fluid. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 20(4), 350–356. doi:10.1007/s10338-007-0741-x
- Yi-min, H., Seng, G., Wei, W. ve Jie, H. (2012). A direct method of natural frequency analysis on pipeline conveying fluid with both ends supported. *Nuclear Engineering and Design*, 253, 12–22. doi:10.1016/j.nucengdes.2012.07.022
- Zhang, Y.-L. ve Chen, L.-Q. (2011). Internal resonance of pipes conveying fluid in the supercritical regime. *Nonlinear Dynamics*, 67(2), 1505–1514. doi:10.1007/s11071-011-0084-5
- Zhang, Y.-L. ve Chen, L.-Q. (2013). External and internal resonances of the pipe conveying fluid in the supercritical regime. *Journal of Sound and Vibration*, 332(9), 2318–2337. doi:10.1016/j.jsv.2012.12.010
- Zhu, J., Wang, X. Q., Xie, W.-C. ve So, R. M. C. (2008). Flow-induced instability under bounded noise excitation in cross-flow. *Journal of Sound and Vibration*, 312(3), 476–495. doi:10.1016/j.jsv.2007.08.041
- Zhu, J., Wang, X. Q., Xie, W.-C. ve So, R. M. C. (2009). Turbulence effects on fluidelastic instability of a cylinder in a shear flow. *Journal of Sound and Vibration*, 321(3-5), 680–703. doi:10.1016/j.jsv.2008.09.048

EKLER

Lineer problemin çözümünde kullanılan sınır şartlarından elde edilen 8x8 katsayılar matrisi.

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 i\gamma_1 & i\gamma_2 & i\gamma_3 & i\gamma_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e^{b_1} & e^{b_2} & e^{b_3} & e^{b_4} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & i\gamma_1 e^{b_1} & i\gamma_2 e^{b_2} & i\gamma_3 e^{b_3} & i\gamma_4 e^{b_4} \\
 e^{b_1\eta} & e^{b_2\eta} & e^{b_3\eta} & e^{b_4\eta} & -e^{b_1\eta} & -e^{b_2\eta} & -e^{b_3\eta} & -e^{b_4\eta} \\
 i\gamma_1 e^{b_1\eta} & i\gamma_2 e^{b_2\eta} & i\gamma_3 e^{b_3\eta} & i\gamma_4 e^{b_4\eta} & -i\gamma_1 e^{b_1\eta} & -i\gamma_2 e^{b_2\eta} & -i\gamma_3 e^{b_3\eta} & -i\gamma_4 e^{b_4\eta} \\
 (i\gamma_1 K_1 - \gamma_1^2) e^{b_1\eta} & (i\gamma_2 K_1 - \gamma_2^2) e^{b_2\eta} & (i\gamma_3 K_1 - \gamma_3^2) e^{b_3\eta} & (i\gamma_4 K_1 - \gamma_4^2) e^{b_4\eta} & \gamma_1^2 e^{b_1\eta} & \gamma_2^2 e^{b_2\eta} & \gamma_3^2 e^{b_3\eta} & \gamma_4^2 e^{b_4\eta} \\
 (\alpha_m \omega^2 - K_c - i\gamma_1^3) e^{b_1\eta} & (\alpha_m \omega^2 - K_c - i\gamma_2^3) e^{b_2\eta} & (\alpha_m \omega^2 - K_c - i\gamma_3^3) e^{b_3\eta} & (\alpha_m \omega^2 - K_c - i\gamma_4^3) e^{b_4\eta} & i\gamma_1^3 e^{b_1\eta} & i\gamma_2^3 e^{b_2\eta} & i\gamma_3^3 e^{b_3\eta} & i\gamma_4^3 e^{b_4\eta}
 \end{bmatrix}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmet KESİMLİ
 Doğum Tarihi : 09.09.1983
 Doğum yeri : Manisa
 Uyruğu : T.C.
 Medeni Durum : Evli

Eğitim

- Eylül 2007-Ağustos 2010, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, *Yüksek Lisans*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Teorisi ve Dinamiği.
- Eylül 2001-Eylül 2006, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Lisans*, Uşak Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- Eylül 1997-Haziran 2001, Cumhuriyet Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı), Manisa.

İş Tecrübeleri

- Şubat 2012 - , *Öğretim Görevlisi*, Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum.
- Şubat 2010 - Şubat 2012, *Araştırma Görevlisi*, Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum.
- Ağustos 2008-Kasım 2009, *Proje Araştırma Görevlisi (TÜBİTAK 107M302)*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Eylül 2007 - Haziran 2008, *Proje Araştırma Görevlisi (TÜBİTAK 104M427)*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Mart 2007 - Ağustos 2007, Yetkili Makine Mühendisi, Çağlar Yapı Malzemeleri ve Doğalgaz, Manisa.
- Temmuz 2006 - Şubat 2007, Yetkili Makine Mühendisi, Mekanik Mühendislik ve Doğalgaz, Manisa.