

## VİSKOELASTİK ARA BAĞLI DÜZLEM ÇERÇVELERİN SİNÜZOİDAL DEĞİŞEN KUVVET ETKİSİ ALTINDAKİ KARARLI DURUM CEVABININ İNCELENMESİ

T. Kocatürk<sup>1</sup>, Ö. Tuncer<sup>2</sup>, M. Şimşek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız 34349, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Tuncel Mühendislik Ltd. Şti., Kadıköy, İstanbul, Türkiye  
e-posta:kocaturk@yildiz.edu.tr

### ÖZET

Düzlem çerçeve elemanlarının birbirlerine sürekli ve/veya viskoelastik özelliğe sahip olan iki serbestlik dereceli sonsuz küçük ara bir elaman olan dönme elemanı ile bağlanmasıyla oluşturulan düzlem çerçevenin periyodik dış yük altında kararlı hal cevabı, Euler-Bernoulli kiriş teorisi çerçevesinde enerji tabanlı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çerçeve sistemini oluşturan elemanların malzeme sönümü, viskoelastik ara bağın elastik yay rijitliği ve sönüm değerlerinin kararlı hal yer değiştirmesine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Viskoelastik ara bağlı düzlem çerçevenin çeşitli malzeme sönüm katsayıları için viskoelastik ara bağın optimum sönüm katsayısı araştırılmış ve sürekli bağlı çerçeve ile viskoelastik ara bağlı betonarme çerçevenin, periyodik yük altında yer değiştirme değerleri karşılaştırılarak sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.

### ABSTRACT

Steady state response of portal frames whose members are connected to each other continuously or by infinitesimally small rotational link elements are investigated under a periodic external force within the Euler-Bernoulli beam theory by using energy based finite element method. The effect of damping of the members of portal frames, the values of rotational spring coefficient and damping coefficient of viscoelastic hinges on the steady state response are investigated numerically. Optimum damping coefficients of viscoelastic link elements are investigated for different damping coefficients of members. The results of frames constituted by connecting the members continuously and by connecting the members with link elements in some desired joints (The frames with intermediate viscoelastic hinges) are compared and presented in graphics and tables.

### 1. GİRİŞ

Söz konusu problem mühendislik uygulamaları açısından çok önemlidir. Bilindiği gibi mekanik titreşimlerin sönümlenmesi mühendislik uygulamalarında çok önemli olup sönüm değişik şekillerde sağlanabilir. Fan vd. [1] viskoelastik sınır şartlarına sahip bir çubuğun normal mod yöntemiyle zorlanmış titreşim analizini yapmıştır. Taban hareketine maruz viskoelastik mesnetli bir konsol kirişin kararlı titreşim cevabı Kocatürk[2] tarafından belirlenmiştir. Kocatürk vd. [3] ucunda tekil bir kütle bulunan viskoelastik mesnetli viskoelastik konsol bir kirişin periyodik taban hareketi etkisi altında kararlı titreşimini incelemiştir. Xu and Zhang [4] ara bağ sönümlü çelik çerçevelerin modal analizini ve sismik cevabını sonlu elemanlar metodu ve doğrudan rijitlik metoduna beraberce kullanarak, hareket eşitlikleri sistemini ayırıklaştırmak için kompleks mode süperpozisyon metodunu benimseyerek, incelemiştir. Tuncer [5], viskoelastik ara bağlı düzlem çerçevelerin sinüzoidal değişen kuvvet etkisi altındaki kararlı durum cevabını, hareket eşitliklerini ayırıklaştırmadan incelemiştir. Buradaki çalışmada Tuncer [5] in çalışmasındaki incelemeye paralel olup, sadece çerçeveye gelen yayılı yükler farklı olarak seçilmiştir.

Betonarme çerçevelerin analizinde kolon-kiriş birleşimleri rijit bağlı olarak ele alınmakta ve cevaplar bu duruma göre elde edilmektedir. Daha sonra deprem esnasında kirişlerde plastik mafsallar oluşacağı düşünülmüş ve bu mafsalların ortaya çıkarabileceği sönüm nedeniyle, elde edilen cevaplar değeri 4 ile 8 arasında değişen azaltma katsayısına bölünmektedir. Buradaki çalışmada ise, daha başlangıçta istenilen yerlerde viskoelastik ara bağ oluşturulmuş, bunlar hareket denklemlerinde göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar, yapılan kabuller çerçevesinde kesin olup plastik mafsal durumunda mafsalın istenilen düzeyde oluşmasına bağlı olarak azaltma katsayısını 4 ile 8 arasında değişmesi gibi bir yaklaşımı içermemektedir.

## 2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Her bir ucunda üç serbestliği olan  $L$  boyunda viskoelastik bir çerçeve elemanı ele alınsın (Şekil 1). Çubuk malzemesi için Kelvin-Voigt modelinin kullanılması durumunda bünye bağıntısı izleyen şekilde ifade edilebilir:

$$\sigma = E(\varepsilon + \bar{\eta} \dot{\varepsilon}) \quad (1)$$

Denklem (1)'de  $\bar{\eta}$  malzeme sönümü oranı katsayısıdır. Küçük yer değiştirmeler olduğu ve bütün genliklerin aynı düzlemde gerçekleştiği kabul edilerek çubuğun dinamik davranışı Euler-Bernoulli kiriş teorisi çerçevesinde incelenecektir.

Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre, çerçeve elemanında kartezyen koordinatlarda eğilmeden ve eksenel şekil değiştirmeden oluşan elastik şekil değiştirme enerjisi izleyen şekildedir:

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L EI(x) \left( \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{EA}{2} \int_0^L \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx \quad (2)$$

Denklem (2)'de,  $v(x,t)$  çubuğun eğilme etkisi altındaki yer değiştirme fonksiyonu,  $u(x,t)$  normal kuvvet etkisi altındaki yer değiştirme fonksiyonu,  $E$  Young modülü,  $I$  kiriş kesitinin eylemsizlik momentidir. Dönel atalet etkilerinin ihmal edilmesiyle, herhangi bir andaki düzlem çerçeve elemanının kinetik enerjisi;

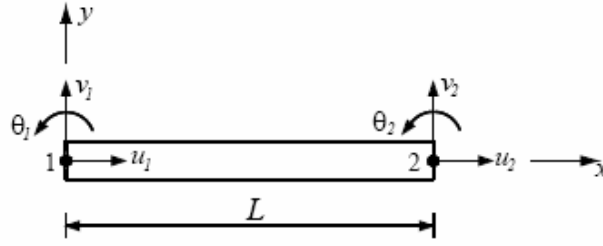
$$T = \frac{1}{2} \int_0^L \rho A \left( \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^L \rho A \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx \quad (3)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $\rho$  çubuk malzemesinin birim hacim kütleleridir. Düzlem çerçeve elemanı için herhangi bir andaki sönüm fonksiyonu izleyen şekildedir:

$$R = \frac{1}{2} \int_0^L \bar{\eta} EI \left( \frac{\partial^2 \dot{v}(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^L \bar{\eta} EA \left( \frac{\partial^2 \dot{u}(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (4)$$

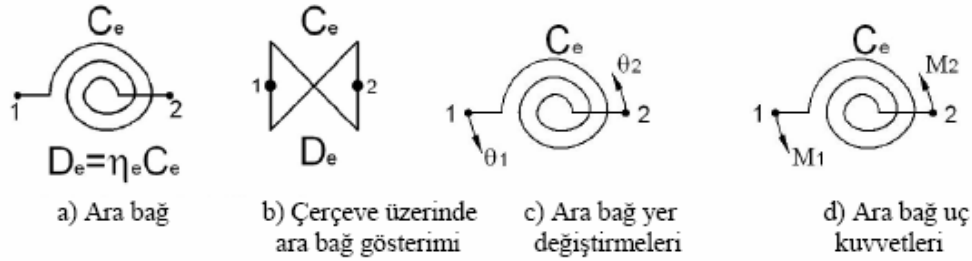
Şekil 1'de verilen düzlem çerçeve elemanının düğüm noktası yer değiştirmeleri aşağıda verildiği gibidir:

$$\{\delta\}_{(e)} = [u_i^{(e)}(t), v_i^{(e)}(t), \theta_i^{(e)}(t), u_j^{(e)}(t), v_j^{(e)}(t), \theta_j^{(e)}(t)]^T \quad (5)$$



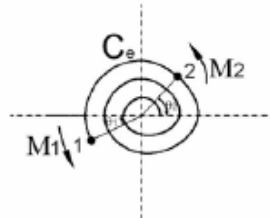
Şekil 1. Düzlem çerçeve elemanı

Ara bağ elemanı iki düğüm noktasına sahip ve her bir düğüm noktasında bir serbestliği olan iki serbestlik dereceli, boyu ihmal edilen bağlantı elemanı olarak tanımlenir (Şekil 2). Şekil 2’de dönme elemanının uç yer değiştirmeleri ve uç kuvvetleri pozitif yönleri ile gösterilmiş olup birinci ucun yer değiştirmesi  $\theta_1$  ile, ikinci ucun yer değiştirmesi  $\theta_2$  ile tanımlenir.



Şekil 2. Viskoelastik ara bağ elemanı

Dönme elemanının 1 ve 2 numaralı uçlarının birbirlerine göre yaptığı göreceli yer değiştirme, 1 ve 2 numaralı uçların Şekil 2’deki yer değiştirmesiz konuma göre yaptıkları açıların açısı farkıdır.



Şekil 3. Yer değiştirmiş durumdaki viskoelastik ara bağ elemanı

Dönme elemanı için potansiyel enerji ve sönüm fonksiyonu sırasıyla izleyen şekilde verilir:

$$U_e = \frac{1}{2} C_e (\theta_2(t) - \theta_1(t))^2 \quad (6)$$

$$R_e = \frac{1}{2} C_e \eta_e (\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t))^2 \quad (7)$$

Elemanın yer değiştirmeleri, bilinen şekil fonksiyonları kullanılarak, düğüm noktası yer değiştirmeleri cinsinden izleyen şekilde ifade edilir:

$$\delta^{(e)}(x,t) = N_1(x)u_1^{(e)}(t) + N_2(x)v_1^{(e)}(t) + N_3(x)\theta_1^{(e)}(t) + N_4(x)u_2^{(e)}(t) + N_5(x)v_2^{(e)}(t) + N_6(x)\theta_2^{(e)}(t) \quad (8)$$

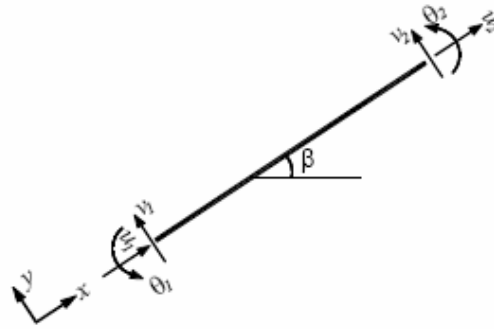
Denklem (8)'de verilen ayrıklaştırılmış yer değıştirme ifadesi denklem (2, 3, 4)'te yerine konulursa bir eleman için herhangi bir andaki kinetik enerji, iç potansiyel enerji, sönüm fonksiyonu ve düğüm kuvvetlerinin potansiyeli düğüm noktası yer değıştirmeleri cinsinden elde edilir:

$$T_{(e)} = \frac{1}{2} \{\dot{\delta}\}_{(e)}^T [M]_{(e)} \{\dot{\delta}\}_{(e)}; \quad U^{(e)} = \frac{1}{2} \{\delta\}_{(e)}^T [K]_{(e)} \{\delta\}_{(e)};$$

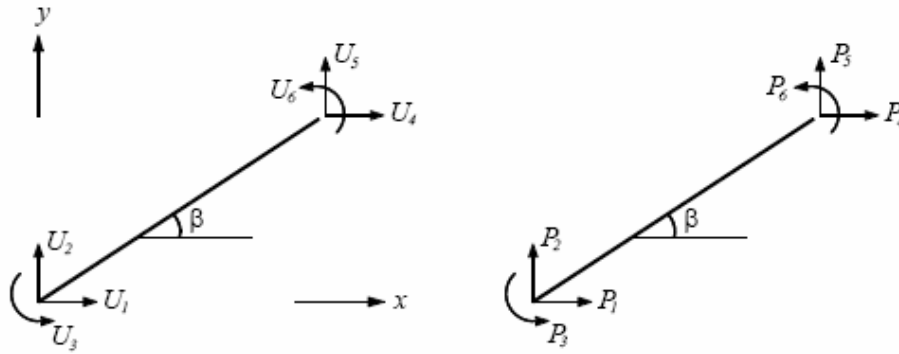
$$R^{(e)} = \frac{1}{2} \{\dot{\delta}\}_{(e)}^T [D]_{(e)} \{\dot{\delta}\}_{(e)}; \quad V_{(e)} = -\{\delta\}_{(e)}^T \{F\}_{(e)} \quad (9)$$

Burada  $[K]_{(e)}, [M]_{(e)}, [D]_{(e)}$  matrisleri sırasıyla,  $6 \times 6$  boyutlarında eleman rijitlik matrisi, eleman kütle matrisi ve eleman sönüm matrisidir.

Genel eksen takımı ile  $\beta$  açısı yapan yerel eksen takımı için çerçeve elemanın uç yer değıştirmeleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Çerçeve elemanın yerel eksen takımıdaki uç yer değıştirmeleri



Şekil 5. Çerçeve elemanın genel eksen takımıdaki uç yer değıştirmeleri ve uç kuvvetleri

Bu çerçeve elemanın genel koordinat takımıdaki uç yer değıştirmeleri ve uç yükleri Şekil 5'de verilmiştir. Genel koordinat sistemindeki düğüm noktası yer değıştirmeleri ile yerel eksen takımıdaki çubuk uç yer değıştirmeleri arasındaki bağıntı matris formunda izleyen şekilde yazılır:

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{Bmatrix} = [T]\{U\} \quad (10a)$$

$$[\delta] = [T][U]; [\delta] = [u_1 \ v_1 \ \theta_1 \ u_2 \ v_2 \ \theta_2]^T \quad (10b)$$

Bilindiği üzere burada  $[T]$  dönüşüm matrisi olarak tariflenir. Aynı bağıntı eleman uç kuvvetleri ile elemanın genel koordinat sistemindeki düğüm noktası kuvvetleri arasında da mevcuttur; dolayısıyla çubuk uç kuvvetleri ile düğüm noktası kuvvetleri arasındaki bağıntı izleyen şekilde verilir:

$$[p] = [T][P]; [p] = [N_1 \ V_1 \ M_1 \ N_2 \ V_2 \ M_2]^T; [P] = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6]^T \quad (11)$$

Yerel eksen takımında çubuk uç kuvvetleri ile uç yer değiştirmeleri arasındaki bağıntı izleyen şekilde verilir:

$$[p] = [k][\delta] \quad (12)$$

Genel eksen takımındaki yer değiştirmeler bilinirse (12) ifadesi izleyen şekilde yazılır:

$$[p] = [k][T][U] \quad (13)$$

(13) ifadesinde (11) denklemini kullanılırsa izleyen eşitlik elde edilir:

$$[T][P] = [k][T][U] \quad (14)$$

(14) eşitliğinin her iki tarafı  $[T]^{-1}$  ile çarpılırsa izleyen eşitlik elde edilir:

$$[T]^{-1}[T][P] = [T]^{-1}[k][T][U] \quad (15)$$

$$[T]^{-1} = [T]^T \quad (16)$$

(16) ifadesinin kullanımıyla genel koordinatlarda dış yük–yer değiştirme bağıntısı izleyen şekilde yazılır:

$$[P] = [T]^T[k][T][U] \quad (17)$$

Eleman rijitlik matrisinin genel koordinatlardaki ifadesi izleyen şekilde verilir:

$$[K]=[T]^T[k][T] \quad (18)$$

Kütle matrisinin ve sönüm matrisinin genel eksen takımına dönüştürülmesinde yukarıda açıklanan işlemler sırası ile uygulanır.

$$[M]=[T]^T[m][T] \quad (19)$$

$$[C]=[T]^T[c][T] \quad (20)$$

Herhangi bir an için tüm sistemin kinetik enerjisi, potansiyel enerjisi, sönüm fonksiyonu, dış yüklerin potansiyeli elemanın ilgili büyüklüklerinin toplamı alınarak izleyen şekilde yazılabilir:

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{\delta}\}^T [M] \{\dot{\delta}\}; \quad U = \frac{1}{2} \{\delta\}^T [K] \{\delta\}; \quad R = \frac{1}{2} \{\dot{\delta}\}^T [D] \{\dot{\delta}\}; \quad V = -\{\delta\}^T \{F\} \quad (21)$$

Ara bağ elemanının potansiyel enerjisi ve sönüm fonksiyonu ise izleyen şekilde yazılabilir

$$U_e = \frac{1}{2} C_{ei} [\delta_i(t)]^2; \quad R_e = \frac{1}{2} D_{ei} [\dot{\delta}_i(t)]^2; \quad (22)$$

Yukarıda (22) denklemindeki  $i$  sistemdeki viskoelastik ara bağ sayısı belirtir.  $C_{ei}$   $i$  inci ara bağın yay rijitliği,  $D_{ei}$   $i$  inci ara bağın sönüm parametresi değerleridir. Sistemdeki düğüm noktası sayısı  $n$  ise, sistemin sahip olduğu toplam serbestlik derecesi,  $p$  izleyen şekilde verilir:

$$p = n + i \quad (23)$$

Tüm sistem için fonksiyonel aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$I = T - (U + V + U_e) \quad (24)$$

Sönüm kuvvetleri  $Q_{D_k}$ , sönüm fonksiyonları  $R$  ve  $R_e$ 'nin  $\dot{\delta}_k$ 'ya göre türevleri alınarak bulunur.

$$Q_{D_k} = -\frac{\partial(R + R_e)}{\partial \dot{\delta}_k}, \quad k = 1, p \quad (25)$$

Denklem (25) de üstteki nokta zamana göre türevi göstermektedir. Tüm sistem için izleyen Lagrange denklemleri uygulanırsa;

$$\frac{\partial I}{\partial \delta_k} - \frac{d}{dt} \frac{\partial I}{\partial \dot{\delta}_k} + Q_{D_k} = 0, \quad k = 1, p \quad (26)$$

aşağıda verilen denklem takımı elde edilir:

$$[K]\{\delta\} + [C_e]\{\dot{\delta}\} + [D]\{\dot{\delta}\} + [D_e]\{\dot{\delta}\} + [M]\{\ddot{\delta}\} = \{P\} \quad (27)$$

Denklem (27)'de  $[K], [C_e], [M], [D], [D_e]$  matrisleri,  $p \times p$  boyutlarında olan düzlem çerçeve elemanlarının rijitlik matrisi, viskoelastik ara bağın rijitlik matrisi, çerçeve elemanlarının sönüm

matrisi, viskoelastik ara bağıın sönüm matrisi ve sistem kütle matrisidir. Sisteme etki eden periyodik kuvvet aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\{F(t)\} = \{Q\} \cdot e^{i\omega t} \quad (28)$$

Bu durumda sistemin kararlı durum titreşimleri için zamana bağılı düğüm noktası yer değıştirmeleri izleyen şekilde yazılabilir:

$$\{\delta(t)\} = \{\bar{\delta}\} e^{i\omega t} \quad (29)$$

Denklem (29)'daki  $\{\bar{\delta}\}$  yer değıştirme vektörünün elemanları faz açısı içeren kompleks genliklerdir. Denklem (29) göz önüne alınarak, denklem (27) izleyen matris formunda ifade edilebilir:

$$[K]\{\bar{\delta}\} + [C_e]\{\bar{\delta}\} + i\omega[D]\{\bar{\delta}\} + i\omega[D_e]\{\bar{\delta}\} - \omega^2[M]\{\bar{\delta}\} = \{Q\} \quad (30)$$

Denklem (1) göz önüne alınarak denklem (30) aşağıdaki formda yazılabilir:

$$[K]\{\bar{\delta}\} + [C_e]\{\bar{\delta}\} + i\omega\bar{\eta}[K]\{\bar{\delta}\} + i\omega\eta_e[C_e]\{\bar{\delta}\} - \omega^2[M]\{\bar{\delta}\} = \{Q\} \quad (31)$$

$$([K] + [C_e] + i\omega\bar{\eta}[K] + i\omega\eta_e[C_e] - \omega^2[M])\{\bar{\delta}\} = \{Q\} \quad (32)$$

izleyen tanımlama yapılırsa

$$([K] + [C_e] + i\omega\bar{\eta}[K] + i\omega\eta_e[C_e] - \omega^2[M]) = [\bar{K}] \quad (33)$$

Denklem izleyen şekilde elde edilir.

$$[\bar{K}]\{\bar{\delta}\} = \{Q\} \quad (34)$$

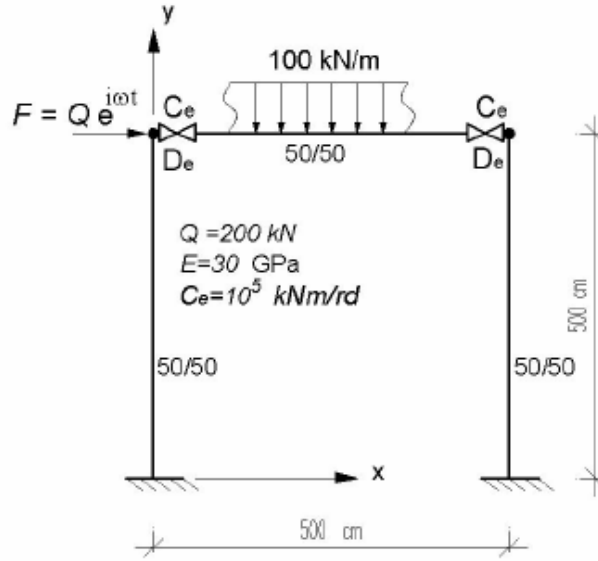
Yukarıdaki denklemin çözümü  $\bar{\delta}$  değıerlerini kompleks olarak verir. Bu büyüklüklerin mutlak değıerleri yer değıştirmelerin genliklerini verir.

Düzlem çerçevenin yükün statik olarak etkimesi ( $\omega = 0$ ) sonucu tepe noktasının yük doğrultusunda yaptığı yer değıştirme  $u_{s_0}$ , çerçevenin dinamik yükleme durumunda tepe noktasının yaptığı yer değıştirme  $U_d$  olarak tanımlanırsa  $R_d$  dinamik büyütmeye çarpanı izleyen şekilde verilir:

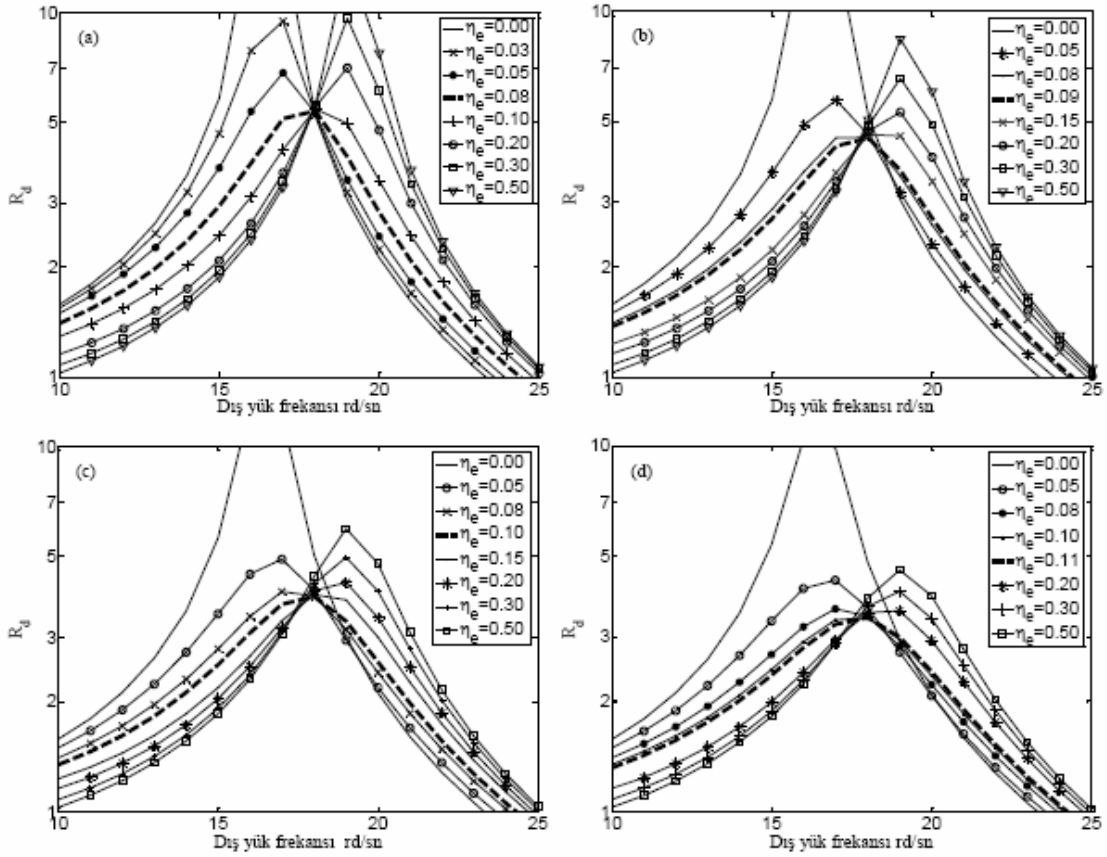
$$R_d = \frac{U_d}{u_{s_0}} \quad (35)$$

### 3. SAYISAL HESAPLAMALAR VE BULGULAR

Elastik ara bağı durumu için çerçeve rijitlik matrisleri Aköz [6] tarafından elde edilmiş olup sistem rijitlik matrisinin oluşturulmasında söz konusu rijitlik matrisinden faydalanılmıştır. Şekil 6'da ele alınan sistemin çeşitli malzeme sönüm değıerleri altında viskoelastik ara bağı (link eleman), sistemin yer değıştirme değıerini en aza indiren optimum sönüm katsayısı aranmıştır. Problemin devamında sistem elemanlarının birbirine rijit bağılı olma durumu göz önüne alınarak elde edilen yer değıştirme değıerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Viskoelastik ara bağlı düzlem çerçeve



Şekil 7. Çeşitli  $\bar{\eta}$  ve  $\eta_e$  değerleri için dinamik büyütme çarpanının frekans parametresi ile değişimi

(a)  $\bar{\eta} = 0$ , (b)  $\bar{\eta} = 0.002$ , (c)  $\bar{\eta} = 0.004$ , (d)  $\bar{\eta} = 0.006$ ,  $C_e = 10^5$  kNm/rd

Şekil 7'den görülmektedir ki verilen grafiklerde rezonans tepeleri oluşmaktadır. Şekil 7a sönümsüz düzlem çerçevenin birleşim noktalarındaki viskoelastik ara bağın çeşitli sönüm değerleri altındaki



cevabını temsil eder. Görüldüğü gibi malzeme sönümünün sıfır olması durumunda ( $\bar{\eta} = 0$ ) tüm eğriler bir noktada kesişmiştir. Bu kesişim noktasını tepe noktası alan eğri viskoelastik ara bağın optimum sönüm değerini temsil eder. Bununla birlikte, Şekil 7 b-c-d'den görülmektedir ki sistemde malzeme sönümü olması durumunda böylesi kesişim noktaları mevcut değildir. Fakat buna karşılık eğrilerin kesişimleri belli bir bölge etrafında yoğunlaşmıştır. Eğrilerin kesişimlerinin yoğunlaştığı bu bölgeyi tepe noktası alan eğri ara bağın optimum sönüm değerini temsil eder. Şekil 7'de optimum sönümü temsil eden eğriler kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 7d incelendiğinde görülmektedir ki malzeme sönüm değerinin artması ile eğrilerin tepe noktaları birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu yaklaşma malzeme sönüm değerinin artmasıyla, viskoelastik ara bağın sistem üzerindeki etkisinin azaldığını göstermektedir.

Viskoelastik ara bağın sönümü için optimum bir değer seçilerek sistemin tepe noktası yer değiştirmesini düşük değere indirmek mümkündür. Bu en düşük değer, malzeme sönümünün olmaması durumunda, incelenen cevap eğrilerinin ayrı ayrı her biri için, cevap eğrilerinin kesişim noktalarına karşı gelen sönüm değeridir. Şekil 7'den görülmektedir ki malzeme sönümü olması durumunda, belirli bir malzeme sönümü için uygun ara bağ sönümünün seçimiyle sistemin yer değiştirme cevabı en düşük değere indirgenebilir.

Tablo 1 ve 2'de viskoelastik ara bağlı çerçeve ile sürekli bağli çerçeveler için dinamik büyütme çarpanı ve tepe noktası yer değiştirmeleri verilmiştir. Bu iki tablonun incelenmesinden viskoelastik ara bağın sistem üzerindeki etkisi görülmektedir. Malzeme sönümünün artmasıyla viskoelastik ara bağın sistem üzerindeki etkisi azalmaktadır. Sürekli bağli çerçevenin; verilen yatay yükün statik olarak etkimesi sonucu tepe noktası yer değiştirmesi  $u_{s_0} = 0.0096$  m olarak bulunmuştur. Ara bağli çerçevenin aynı yük altındaki statik yer değiştirme değeri  $u_{s_0} = 0.0132$  m dir. Fakat bu iki çerçevenin dinamik yükleme altındaki tepe noktası yer değiştirmeleri karşılaştırıldığında; malzeme sönümünün olmadığı durumda yer değiştirmeler oranının  $\infty$  olduğu, malzeme sönümünün varlığı durumunda ise bu oranının 3, 4 olduğu görülmüştür. Bu oran farklı örneklerde 9 değerine kadar çıkmıştır. Bu da dinamik yükler altında viskoelastik ara bağın sistem üzerinde çok büyük etkisi olduğunu açıkça ortaya koyar.

**Tablo 1.** Viskoelastik ara bağli düzlem çerçevenin çeşitli malzeme sönümü altında tepe noktası yer değiştirme değerini en aza indiren optimum ara bağ sönümleri, dinamik büyütme çarpanı ve tepe noktası yer değiştirmesi

$C_e = 10^3$				
	$\bar{\eta} = 0$	$\bar{\eta} = 0.002$	$\bar{\eta} = 0.004$	$\bar{\eta} = 0.006$
$\eta_e$	0.08	0.09	0.10	0.11
$R_d$	5.36	4.51	3.87	3.38
$U_d$ (m)	0.071	0.059	0.051	0.045

**Tablo 2.** Sürekli bağli düzlem çerçevenin çeşitli malzeme sönümü altında tepe noktası yer değiştirme değeri ve dinamik büyütme çarpanı değerleri

$C_e = \infty$				
	$\bar{\eta} = 0$	$\bar{\eta} = 0.002$	$\bar{\eta} = 0.004$	$\bar{\eta} = 0.006$
$\eta_e$	-	-	-	-
$R_d$	$\infty$	20.51	12.20	8.46
$U_d$ (m)	$\infty$	0.197	0.117	0.081

#### 4. SONUÇLAR

Viskoelastik ara bağın düzlem çerçevenin dinamik davranışı üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Belirli bir ara bağ (link eleman) elastik yay rijitliği ve malzeme sönümü için dinamik büyütme çarpanının tepe değerini, sistemin tepe noktası yer değiştirmesini en aza indirecek en uygun sönüm değerlerinin elde edilebileceği ortaya konmuştur. Malzeme sönümünün artımıyla optimum ara bağ sönümü artmakta, tepe değerinin ortaya çıktığı zorlama frekansı ve dinamik büyütme çarpanı, yer değiştirmeler farkı azalmaktadır. Viskoelastik ara bağlı sistem statik olarak yüklendiğinde elde edilen yer değiştirmeler ara bağısız sisteme göre büyük olmakta, yani viskoelastik ara bağlı sistemin rijitliği sürekli sisteme göre daha düşük olmaktadır. Bununla birlikte, dinamik yükleme altında viskoelastik ara bağlı çerçevenin yer değiştirmeleri ara bağısız durumdaki çerçevenin dinamik yükleme altındaki yer değiştirmelerinden dikkate değer derecede küçük olmaktadır. Birleşim noktalarında yapılacak izolasyonda, doğal olarak tüm yapı malzemelerinde bulunan iç sönümün de dikkate alınmasının gerekli olduğu ve cevapları önemli düzeyde azalttığı görülmüştür. Burada çalışmayı kısa tutabilmek için incelenmemekle beraber, çeşitli elastik yay rijitliği ve malzeme sönümü değerleri için düzlem çerçevenin dinamik cevabını minimum yapacak en uygun ara bağlantı elemanı sönüm değeri bulunabilir.

Söz konusu ara bağların betonarme çerçeve sistemlerinde de kullanılabileceği düşünülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda betonarme çerçevelerde ara bağların yapılabirlik ve ekonomiklik açısından irdelenmesi amaçlanmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Z. J. Fan, K. H. Lee, K. H. Kang, K. J. Kim, "The forced vibration of a beam with viscoelastic boundary supports", *Journal of Sound and Vibration*, 210 (5), 673–682, 1998.
- [2] T. Kocatürk, "Determination of the steady-state response of viscoelastically supported cantilever beam under sinusoidal base excitation", *Journal of Sound and Vibration*, 281, 1145-1156, 2005.
- [3] T. Kocatürk, M. Şimşek, N. İlhan, "Vibration of a Viscoelastically Supported Viscoelastic Cantilever Beam with a Tip Mass Subjected to Harmonic Base Excitation", 13th International Congress on Sound and Vibration, Vienna- Austria, July 2-6, 2006: CD-Rom Proceedings.
- [4] Y. L. Xu, W. S. Zhang, "Modal Analysis and Seismic Response of Steel Frames with Connection Dampers", *Engineering Structures*, 23, 385-396.
- [5] Ö. Tuncer, "Viskoelastik ara bağlı düzlem çerçevelerin zorlanmış titreşimleri", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [6] A. Y. Aköz, "Enerji Yöntemleri ve Yapı Sistemleri", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.