

## KAYMA ÇERÇEVELER NDE OPT MUM SÖNÜMLEY C DA ILIMINA GEV EK KUMLU ZEM N N ETK S

H. Hasmeden<sup>1</sup>, O. Sivrikaya<sup>2</sup> ve E. Aydın<sup>3</sup>

<sup>1</sup> n aat Yük. Müh., n aat Müh. Bölümü, Ni de Üniversitesi, Ni de

<sup>2</sup> Prof. Dr., n aat Müh. Bölümü, Ni de Üniversitesi, Ni de

<sup>3</sup> Doç. Dr., n aat Müh. Bölümü, Ni de Üniversitesi, Ni de  
E-posta: eaydin@nigde.edu.tr

### ÖZET

Bu çalı mada; kayma çerçevesi olarak modellenen 5 katlı bina tipi bir yapıda, viskoz sönümleyicilerin optimum da ılımı ve bu da ılıma gev ek kumlu zeminin etkisi ara tırılmı tır. Ayrıca, optimizasyon a amasında kullanılan toplam sönüm katsayısı de i iminin, sönümleyici da ılımı üzerindeki etkisi de incelenmi tir. Yapı-zemin ili kisi bir do rusal yay ve sönümleyici ile bir açısıl yay ve sönümleyici mesnet olarak modellenmi , kat kütle ve rijitlikleri ise üniform olarak tanımlanmı tır. Yapı ve zemin malzemesi lineer elastik kabul edilmi tir. Yapı-zemin modelinin hareket denklemi olu turulmu ve “Fourier Dönü ümü” kullanılarak frekans tanım alanında davranı denklemleri türetilmi tir. Optimizasyon yöntemi olarak Steepest Direction Search Algoritması kullanılmı tır. Frekans uzayında tanımlanan yapının tepe yerde i tirme davranı ı minimize edilmi tir. Yapının birinci moduna kar ı gelen optimum tasarım bulunmu ve daha sonra El-Centro (NS) deprem ivme kaydı kullanılarak, zaman tanım alanında hesaplar yapılmı tır. Optimum tasarımlı yapının yerde i tirme ve ivme davranı ları üzerinde, gev ek kumun etkisi irdelenmi tir. Gev ek kumun sönümleyicilerin katlar arasında da ılımını de i tirdi i gözlenmi tir. Sönümleyicisiz sisteme göre, sönümleyicili sistemde daha az yerde i tirme ve ivme olu maktadır. Ayrıca toplam sönüm katsayısındaki artı bu yapısal davranı ları daha da küçültmektedir. Yapı-Zemin ba lantısının ankastre olması durumunda yerde i tirmeler ve ivmeler beklendi i gibi gev ek kumlu duruma göre daha az olmaktadır. Literatürdeki çalı malarda, sönümleyici da ılımı problemlerinde kullanılan üst yapı modelleri genellikle zemine rijit ba lanmakta, zemin etkisi ise dikkate alınmamaktadır. Bu çalı ma ile sönümleyici da ılımı probleminde gev ek kumlu zeminin etkisi ortaya konulmu tur.

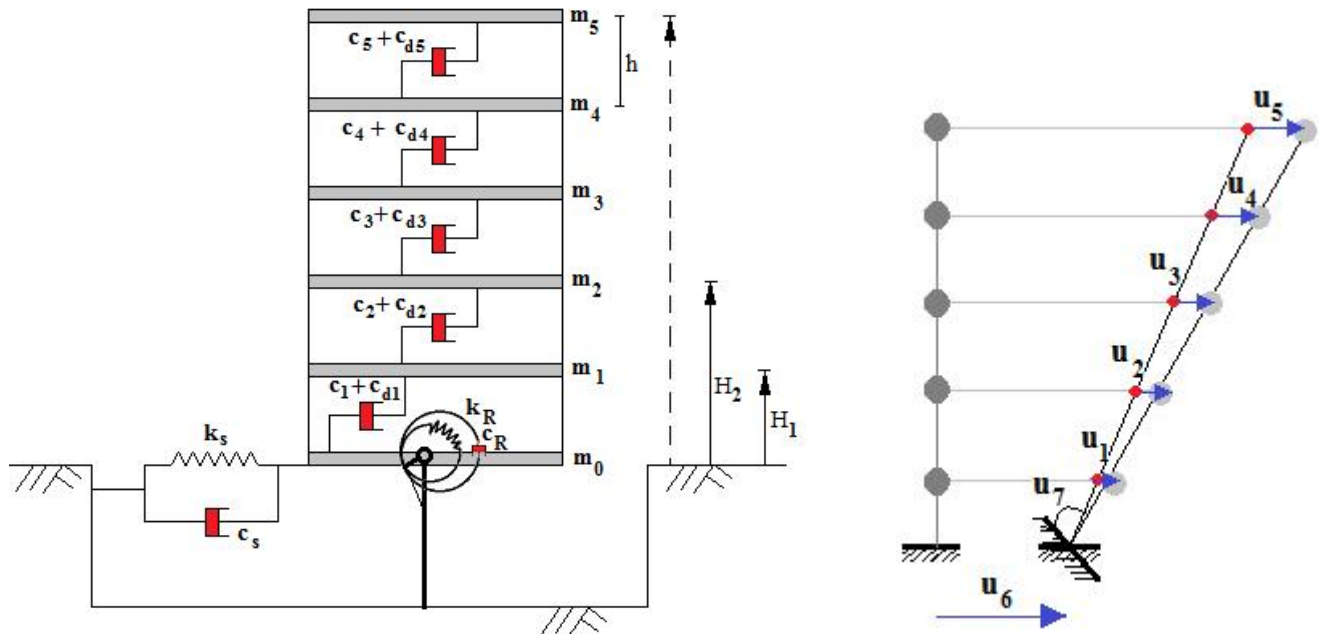
**ANAHTAR KEL MELER :** Zemin-yapı etkile imi, Viskoz sönümleyici, Optimizasyon, Gev ek kum

### 1.G R

Son yıllarda depreme dayanıklı yapı tasarımında post modern dönemin sonucu olarak ortaya çıkan sönümleyicilerin yapılara uygulamaları ve yeni tip sönümleyiciler geli tirilmi tir. Bu teknolojik elemanların yapılara yerle tirilmesi ile yapılar deprem veya rüzgar yükleri altında elastik sınırlarda kalabilmekte ve dinamik dı etkileri büyük oranda absorbe edebilmektedirler. Sönüm elemanlarının yapısal davranı ları iyile tirdi i bilinmektedir. Son yıllarda çalı malar sönüm elemanlarının optimum yerle imleri üzerine yo unla maktadır. Sönümleyicilerin optimal yerle imini bulmak için lineer serbestlik dereceli bir sistemde nümerik bir metod gösterilmi tir(Gurgoze ve Müller, 1992). Kayma çerçevelerinin deprem davranı larında sönümleyici da ılımının etkileri ve üniform kat rijitlikli bir yapı için, yapıdaki kat sayısının yarısına alttan itibaren viskoz sönümleyiciler eklenmesinin yeterli oldu u gösterilmi tir (Hahn ve Sathivageeswara, 1992). Bir yapıda viskoz sönümleyicilerin optimal konfigürasyonunu bulmak için bir tasarım metodu geli tirilmi tir(Zhang ve Soong, 1992). Spekturumları uyumlu depremlerin bir kümesi vasıtasıyla, amaçlanmı bir kayma yapısı modeli kullanılarak hem optimal sönümleyici da ılımı hem de optimal kat rijitlik da ılımını bulmak için bir algoritma

amaçlanmıştır (Tsuji ve Nakamura, 1996). Keyfi deterministik ve stokastik etkiler için amaçlanan titreşim parametrelerinin dağılımıyla titreşimin düzeltilmesi için etkili ve basit bir optimum kontrol yöntemi gösterilmiştir (Masri, 1981). Takewaki, rijitlikli ve belli yapılar için optimal sönümleyicilerin yerleşimini amaçlanmıştır (Takewaki, 1998-1999). Esnek sistemlerin bir sınıfının titreşim kontrolünde ayrık pasif sönümleyicilerin optimum tasarımı için bir gradyan algoritması gösterilmiştir (De Silva, 1981). Visko-elastik olarak sönümlü yapılarda, sönümün tekrar tasarımı için bir sonlu elemanlar perturbasyon metodu geliştirilmiştir (Cao ve Mlejnek, 1995). E zamanlı optimal rijitlik ve sönümleyici katsayılarını bulmak için deformasyonları ve ivmeleri aynı zamanda kontrol eden, gradyan temelli bir algoritma geliştirilmiştir (Takewaki, 1999). Problem aslında ters bir öz vektör problemidir. Zemin büyütme davranışını da içeren en üst kata yerleştirilen bir kütle (tuned mass) ile yapıdaki optimal viskoz sönümleyiciler için sistematik bir metod amaçlanmıştır (Takewaki, 2000). Toplam eklenen sönümleyicilerin belirli bir kısıtlaması altında bir yapısal sistemin birinci sönümsüz doğal frekansı altında, hesaplanan transfer fonksiyonlarının büyüklüklerinin toplamını minimize ederek optimal sönümleyici yerleşimini bulmak için sistematik ve etkili bir prosedür gösterilmiştir (Takewaki, 1997). Optimallik kriterleri türetilmiş ve optimal sönümleyicilerin yerleşimi herhangi belirsiz bir iteratif yöntemle yapılmaksızın bu kriterler üzerinde hesaplanmıştır. Optimum sönümleyici dağılımı konusunda literatürde pek çok çalışma mevcuttur (Aydın ve diğ. 2007, Cimellaro 2007, Lavan ve Levy 2009, Aydın 2013, Aydın 2012, Sönmez ve diğ. 2013). Burada bazıları verilen çalışmaların çoğunda üst yapı dikkate alınarak sönümleyicilerin en uygun yerleşimleri araştırılmıştır. Bu çalışmada, daha önce Takewaki (2000) tarafından verilen çalışmadaki modelleme yöntemi ve optimizasyon tekniği kullanılmış olup, zemin gevşek kumlu ve rijit olarak düşünülmüştür. Gevşek kumlu zemin durumu ve rijit zemin durumları için optimum sönümleyici dağılımı araştırılmış ve sayısal sonuçlar karıştırılmıştır.

## 2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU



ekil 1. 5 katlı bir kayma çerçevesinin zemin-yapı modeli ve deformasyon şekli

ekil 1'deki gibi 5 katlı yapı zemin modeli düşünülür. Sismik etkiye maruz toplu kütleli sistem, genelleştirilmiş koordinat sisteminde zamana bağlı olarak;  $u(t)$  yerdeğiştirme vektörünü gösterir.  $M$  sistemin kütle matrisi,  $M_B$  yapının kütle matrisi,  $M_{BS}$  doğal yaya ait kütle matrisi,  $M_{BR}$  açılmalı yaya ait kütle matrisi,  $K$  sistemin rijitlik

matrisi,  $K_B$  yapının rijitlik matrisi,  $K_S$  zeminin do rusal rijitlik matrisi,  $K_R$  zeminin açıs al rijitlik matrisi,  $C$  sistemin sönüm matrisi,  $C_B$  yapının sönüm matrisi,  $C_S$  zeminin do rusal sönüm matrisi,  $C_R$  zeminin açıs al sönüm matrisi olarak tanımlansın.  $M$  ve  $K$  matrislerine ait elemanlar bilinmektedir. Yapısal sönüm matrisi  $C=\beta K$  ekleinde rijitlikle orantılı olarak seçilmiştir. Hareketin zaman ba lı diferansiyel denklemi;

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr\ddot{u}_g \quad (1)$$

ekleindedir. Burada sistem kütle matrisi,

$$[M] = \begin{bmatrix} [M_B] & [M_{BS}] & [M_{BR}] \\ & E_1 & E_2 \\ \text{Simetri} & & E_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ekleinde verilmekte olup  $M_B$ ,  $M_{BS}$  ve  $M_{BR}$  matrisleri a a ıdaki gibi tanımlanabilir (Takewaki 2000).

$$[M_B] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad [M_{BS}] = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \end{bmatrix} \quad [M_{BR}] = \begin{bmatrix} m_1 H_1 \\ m_2 H_2 \\ m_3 H_3 \\ m_4 H_4 \\ m_5 H_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$H_i$  her kat için zeminden kat seviyesine olan yüksekli i ifade etmektedir. Denklem (2)'de verilen  $E_1$ ,  $E_2$  ve  $E_3$  a a ıdaki gibi hesaplanabilir.

$$E_1 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 \quad (4)$$

$$E_2 = m_1 H_1 + m_2 H_2 + m_3 H_3 + m_4 H_4 + m_5 H_5 \quad (5)$$

$$E_3 = m_1 H_1^2 + m_2 H_2^2 + m_3 H_3^2 + m_4 H_4^2 + m_5 H_5^2 + I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} + I_{R_4} + I_{R_5} \quad (6)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & m_1 H_1 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & m_2 & m_2 H_2 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & m_3 & m_3 H_3 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & m_4 & m_4 H_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & m_5 & m_5 H_5 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \sum_{i=1}^5 m_i & \sum_{i=1}^5 m_i H_i \\ m_1 H_1 & m_2 H_2 & m_3 H_3 & m_4 H_4 & m_5 H_5 & \sum_{i=1}^5 m_i H_i & \sum_{i=1}^5 (m_i H_i^2 + I_{R_i}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Denklem (3), (4), (5) ve (6), denklem (2)'de yerine koyulursa sistemin kütle matrisi denklem (7)'deki gibi elde edilir. Sistem rijitlik matrisi,

$$[K] = [K_B] + [K_S] + [K_R] \quad (8)$$

eklinde üst yapının, zeminin yatay ve dönel rijitliklerini ifade eden parçaların toplamı olarak ifade edilebilir (Takewaki 2000). Burada,

$$[K_B] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[K_S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [K_R] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_R \end{bmatrix} \quad (10)$$

olarak verilebilir. Zeminin rijitlik parametreleri ve sistem rijitlik matrisi,

$$k_s = \frac{6,77}{1,79 - \epsilon} Gr \quad k_R = \frac{2,52}{1 - \epsilon} Gr^3 \quad (11)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_R \end{bmatrix} \quad (12)$$

olarak bilinmektedir. Burada, G zeminin kayma modülü,  $\nu$  zeminin poisson oranını, r ise yapının oturma alanının e de er te et çemberinin yarıçapını ifade etmektedir. Sistem sönüm matriside rijitlik matrisine benzer formda a a ıdaki gibi yapı ve zeminin sönüm parametrelerine ba lı olarak hesaplanabilir (Takewaki 2000).

$$[C] = [C_B] + [C_S] + [C_R] \quad (13)$$

$$c_s = \frac{6,21}{2,54 - \epsilon} \dots v_s r^2 \quad c_R = \frac{0,136}{1,13 - \epsilon} \dots v_s r^4 \quad (14)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_R \end{bmatrix} \quad (15)$$

Burada  $\rho$  yo unlu  $u$ ,  $v_s$  kayma dalgası hızını göstermektedir. Bu matris ek sönümleyicileri kapsamaz. Denklem (1)'e Fourier Dönü üümü uygulanırsa,

$$(K + i\omega C - \omega^2 M)U \omega = -Mr\ddot{U}_g(\omega) \quad (16)$$

formuna dönü türülebilir. Burada  $U(\omega)$  ve  $\ddot{U}_g(\omega)$  terimleri,  $u(t)$  ve  $\ddot{u}_g(t)$ 'nin Fourier Dönü üümlerini ifade eder. Üst yapıya eklenen viskoz sönümleyicilerin parametrelerini kapsayan sönüm matrisi eklenince, hareket denkleminin Fourier Dönü üümü,

$$(K + i\omega(C + C_d) - \omega^2 M)U_d \omega = -Mr\ddot{U}_g(\omega) \quad (17)$$

olarak yazılabilir.  $U_d \omega$  sönümleyicili durumdaki yerde  $i$  tirme vektörünün Fourier Dönü üümünü ifade eder ve  $C_d$  ise,

$$[C_d] = \begin{bmatrix} c_{d1} + c_{d2} & -c_{d2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_{d2} & c_{d2} + c_{d3} & -c_{d3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_{d3} & c_{d3} + c_{d4} & -c_{d4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_{d4} & c_{d4} + c_{d5} & -c_{d5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_{d5} & c_{d5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

olarak verilebilir. Yeni bir parametre (Takewaki, 2000),

$$X \omega = \frac{U_d(\omega)}{\ddot{U}_g(\omega)} \quad (19)$$

eklinde tanımlanırsa, denklem (17) a a ıdaki gibi yazılabilir.

$$\Lambda X = -Mr \quad (20)$$

X transfer fonksiyonuna karşılık gelen yerde i tirme vektörü,  $\Lambda$  matrisi ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\Lambda = (K + i\omega(C + C_d) - \omega^2 M) \quad (21)$$

Denklem (20)'den transfer fonksiyonuna karşılık gelen yerde i tirme vektörü çekilirse,

$$X = -\Lambda^{-1}Mr \quad (22)$$

eklinde olur. Burada bilinmeyen  $c_{di}$  sönümleyici parametreleri  $\Lambda$  matrisi içerisinde yer almaktadır. Minimize edilmek istenen tepede i tirmesinin transfer fonksiyonu  $X$  vektörü içinde bulunmaktadır. Bu konuda verilen yönetici denklemler Takewaki (2000)'den alınmıştır.

### 3. TEPE YERDE TİRMESİNİN SÖNÜM OPTİMİZASYONU

Optimum sönümleyici dağılımı probleminin amaç fonksiyonu, transfer fonksiyonu tepede i tirmesi şeklindedir. Sönümleyicilerin toplamında bir aktif ve her bir sönümleyicide bir tane olmak üzere, tasarım değişkeni sayısı kadar pasif kısıtlama mevcuttur. Toplam tepede i tirmesinin transfer fonksiyonu genli  $f$  olarak amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f = |X_5| + |X_6| + H_5|X_7| \quad (23)$$

Burada;  $X_5$  tepedeki görece i tirmesinin transfer fonksiyonu genli  $f_5$ ,  $X_6$  zeminin yatay yerde i tirmesinin transfer fonksiyonu genli  $f_6$ ,  $X_7$  temelin açılmalarda i tirmesinin transfer fonksiyonu genli  $f_7$  ini,  $H_5$  ise 5. katın zeminden yüksekliği  $H_5$  göstermektedir. Eklenen sönümleyicilerin toplamında yapılan aktif ve pasif kısıtlamalar aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum_{i=1}^n c_{di} = W \quad (24)$$

$$0 \leq c_{di} \leq \bar{c}_{di} \quad (i=1, \dots, 5) \quad (25)$$

$W$ ,  $\bar{c}_{di}$  sırasıyla, sönümleyicilerin sönüm katsayılarının toplamı için verilen bir üst sınır değer ve her bir sönümleyicinin sönüm katsayısı için bilinen üst sınır değerlerdir. Seçilen amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar altında Lagrangian (L) fonksiyoneli,

$$L(c_d, \lambda, \mu, v) = f + \lambda \left( \sum_{i=1}^n c_{di} - W \right) + \sum_{i=1}^n \mu_i (0 - c_{di}) + \sum_{i=1}^n v_i (c_{di} - \bar{c}_{di}) \quad (26)$$

eklinde verilebilir. Burada  $\lambda$ ,  $\mu = \{\mu_i\}$  ve  $v = \{v_i\}$  Lagrange çarpanlarıdır. Amaç fonksiyonunu minimize etmek için sönüm katsayılarının alt ve üst kısıtlamaları olmaksızın  $L(\mu = 0, v = 0)$  Lagrangian fonksiyonelinin,  $c_{di}$  ve  $\lambda$ 'ya göre türevleri alınırsa,

$$f_{,j} + \lambda = 0 \quad (j=1, \dots, 5) \quad 0 < c_{dj} < \bar{c}_{dj} \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n c_{dj} - W = 0 \quad (28)$$

denklemleri bulunur. Burada  $f_{,j}$ ,  $c_{dj}$ 'ye göre kısmi türevleri göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken husus, eklenen sönümleyicilerin sönüm katsayılarının negatif olamamasıdır. Sönüm katsayılarının eksi olmasının fiziksel bir anlamı yoktur. Eğer sönüm katsayılarının alt ve üst kısıtlamaları aktif ise, denklem (28) aşağıdaki gibi düzeltilmelidir.

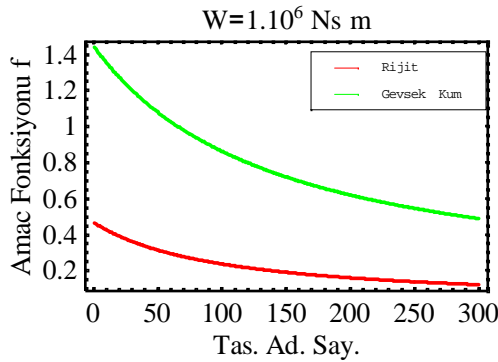
$$f_{j,j} + \lambda \geq 0 \quad c_{dj} = 0 \quad (29)$$

$$f_{j,j} + \lambda \leq 0 \quad c_{dj} = \bar{c}_{dj} \quad (30)$$

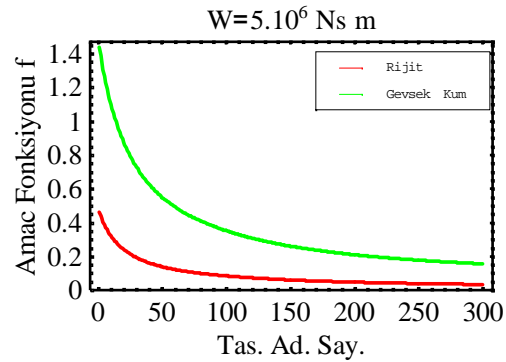
Lineer olmayan bu denklem takımı Steepest Direction Search Algoritması kullanılarak sayısal olarak çözülecektir (Takewaki 2000).

#### 4. SAYISAL ÖRNEK

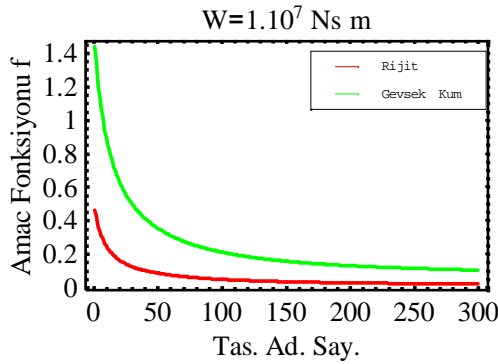
Sayısal simülasyon için ekil 1'deki gibi 5 katlı bir kayma çerçevesi örnek olarak seçilmiştir. Seçilen 5 katlı yapıda, katların kütleleri (m) ve kat kütle atalet momentleri ( $I_R$ ) sırasıyla;  $m_i=30 \times 10^3$  kg,  $I_{Ri}=1.6 \times 10^5$   $\text{kgm}^2$  ( $i=1, \dots, 5$ ) ile temele ait  $m_0=90 \times 10^3$  kg,  $I_{R0}=4.8 \times 10^5$   $\text{kgm}^2$  ve kat yükseklikleri ( $h_i$ ) 3.5m olarak alınmıştır (Takewaki, 2000). Yapı-zemin etkileşiminin yatay hareketi ( $k_s, c_s$ ) ve açılma hareketi ( $k_R, c_R$ ) ile ilgili rijitlik ve sönüm katsayıları Parmelee (1970) tarafından önerilen denklem(11) ve (14) yardımıyla bulunmuştur. Yapısal sönüm  $\zeta_0=2\%$ , kat rijitlikleri üniform olarak  $2.5 \times 10^7$  N/m seçilmiştir.



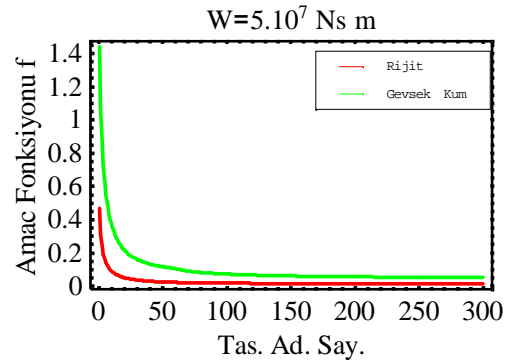
(a)



(b)



(c)



(d)

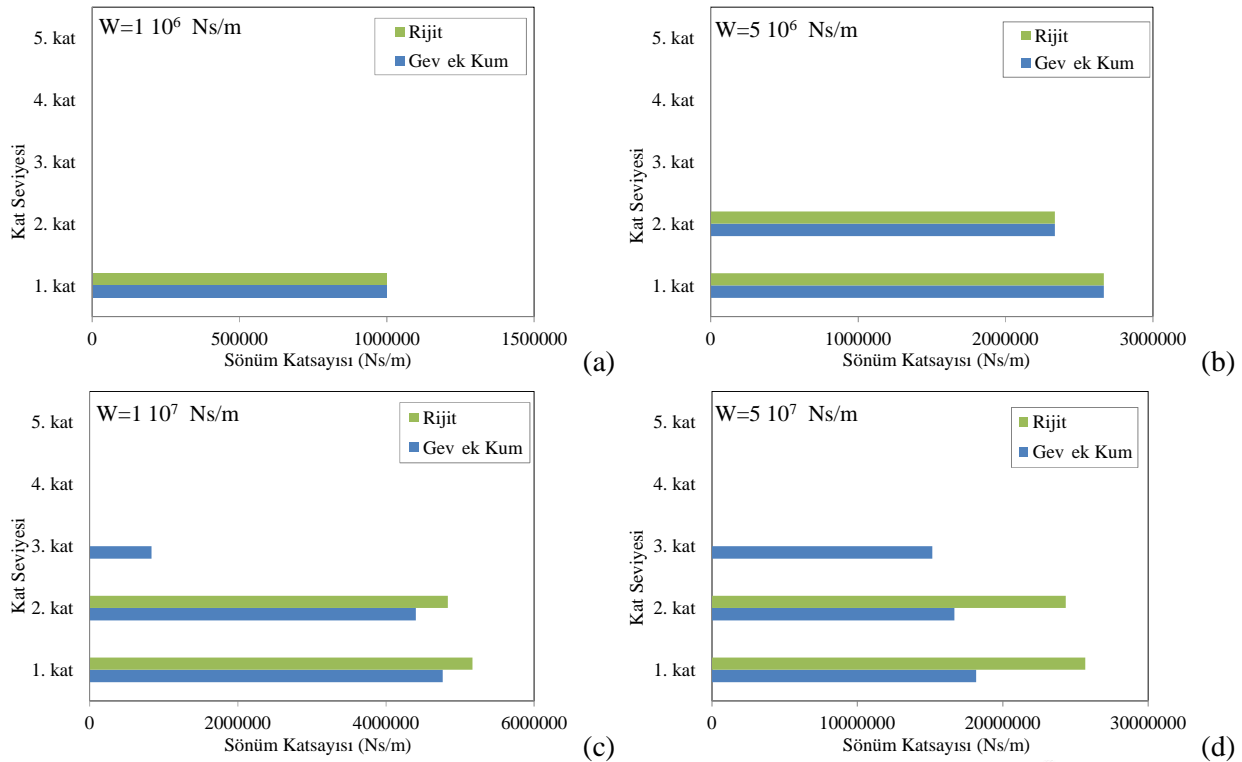
ekil 2. Farklı toplam sönüm değerleri için amaç fonksiyonunun tasarım adımları ile değişimi (a)  $W = 1 \cdot 10^6 \text{Ns/m}$  (b)  $W = 5 \cdot 10^6 \text{Ns/m}$  (c)  $W = 1 \cdot 10^7 \text{Ns/m}$  (d)  $W = 5 \cdot 10^7 \text{Ns/m}$

Yapının oturma alanının genişliği ve deprem etkisi çemberin yarıçapı olup 4 m seçilmiştir. W, toplam sönüm olmak üzere;  $1 \cdot 10^6$  Ns/m,  $5 \cdot 10^6$  Ns/m,  $1 \cdot 10^7$  Ns/m ve  $5 \cdot 10^7$  Ns/m miktarları için sönüm miktarları ve zeminin sıklığı 1 (gevsek kum) seçilerek kayma çerçevesinde sönümleyici optimizasyonu problemi incelenmiştir. Analizlerde kullanılacak zeminlere ait parametreler olan yoğunluk ( $\rho$ ), poisson oranı ( $\nu$ ), kayma dalgası hızı ( $v_s$ ) ve kayma modülü (G) Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uygulamada kullanılmak üzere seçilen  $v_s$ ,  $v$ ,  $G$ ,  $\rho$  değerleri

	$v_s$ (m/s)	$v$	$G$ (MPa)		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
			Statik	Dinamik	
Gev ek Kum	150	0.25	8	33	1450

ekil 2’de dört farklı toplam sönüm miktarı için rijit ve gev ek kum durumları için amaç fonksiyonunun tasarım adımlarına göre değişimi görülmektedir. Rijit mesnetli durumda amaç fonksiyonu değerlerinin daha düşük değerler aldığı bu grafiklerden izlenebilmektedir. Sönümleyici miktarındaki artış, her bir tasarım adımında amaç fonksiyonunun yani yatay yerde i tirmenin transfer fonksiyonu genliğinin daha da hızlı bir şekilde azalmasına sebep olmaktadır.



ekil 3. Farklı toplam sönüm değerleri için optimum sönümleyici dağılımı (a)  $W = 1 \cdot 10^6$  Ns/m (b)  $W = 5 \cdot 10^6$  Ns/m (c)  $W = 1 \cdot 10^7$  Ns/m (d)  $W = 5 \cdot 10^7$  Ns/m

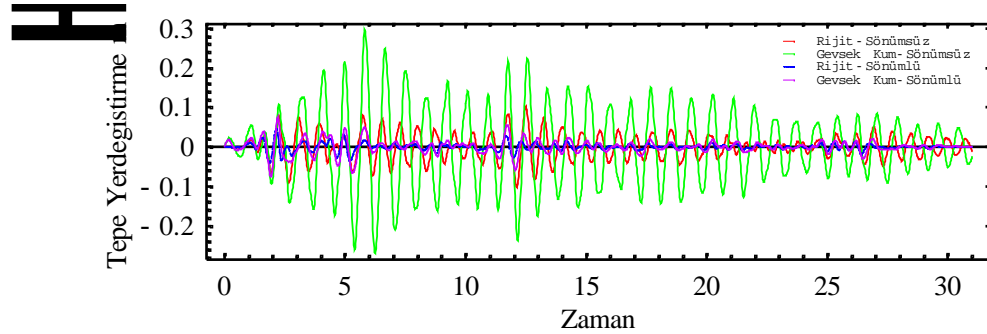
ekil 3 dört farklı toplam sönüm miktarının dağılımı durumunda, katlardaki sönümleyicilerin sönüm katsayılarının dağılımını göstermektedir. Katlara dağıtılacak olan toplam sönüm miktarının düşük olması ( ekil 3 (a,b)), zeminin rijit ve gev ek kum kabul edilmesi durumları için dağılımı de i tirmemektedir. Toplam sönüm miktarının artması ( ekil 3 (c,d)), rijit ve gev ek kumlu zemin durumları için dağılımı de i tirmektedir. Zeminin rijit olması durumunda ilk iki kata dağılan sönüm miktarı, gev ek kum olması durumunda ilk üç kata dağılmaktadır. Çalınan mada kullanılan metod daha önce rijit zeminli çerçevelere uygulanmıştır. Sönümleyicilerin yerle zeminin katlar arası rölatif yerde i tirmelerin büyük olduğu katlara odaklanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla zeminin rijitten gev ek kuma geçmesi hali, rölatif yerde i tirmelerinde daha fazla katta büyük değerler almasına sebep olmaktadır ve sönümleyicilerin optimum yerde dağıtılması durumunda, bu katlara sönümleyicilerin dağılımı görülmektedir. Model yapıda optimum dağılımlar farklı sönüm miktarları ve zemin koşulları için bulunduğundan sonra, tasarımların deprem etkisi altındaki davranışlarının bulmak için zaman tanım alanında



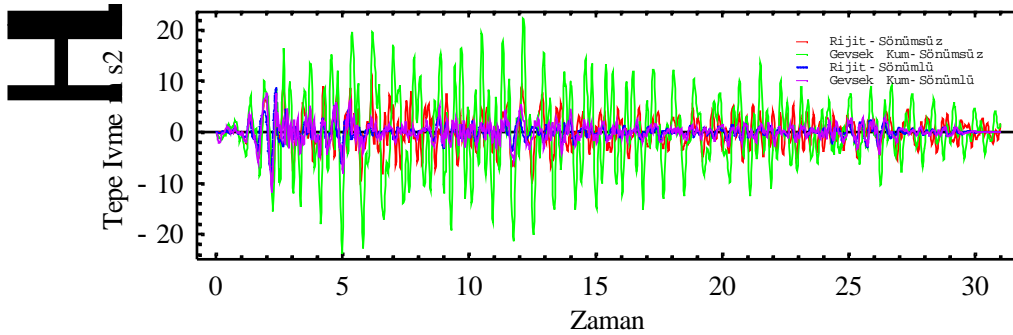
hesaplar yapılmıştır. El Centro (KG) deprem ivme kaydı kullanılarak yapının tepe yerdeğiştirme ve tepe ivmelerinin değiştirilmesi için 4'üncü de görülmektedir. En büyük davranış değerleri gevşek kum-sönümsüz durumda gerçekleşmektedir. Rijit-sönümlü durum en küçük davranış değerlerini verirken, gevşek kum-sönümlü durum bundan biraz daha fazla davranış değerlerine ulaşmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, 5 katlı bir kayma çerçevesi zemin ile beraber modellenerek, yapıya yerleştirilecek olan viskoz sönümleyicilerin optimum dağılımları hesaplanmıştır. Yapıya dağıtılacak olan toplam sönümleyici miktarındaki artış ve zeminin rijit ve gevşek kumlu olması durumlarında optimum sönümleyici dağılımları ve bunlara karşılık gelen bazı yapısal davranışlar incelenmiştir. Yapının birinci mod davranış dikkate alınarak Steepest Direction Search Algoritması kullanılarak yapının tepe yerdeğiştirilmesi minimize edilmiştir. Bulunan optimum dağılımlar incelendiğinde toplam sönüm miktarının az olması hali için; hem yapının zemine rijit bağlı olması hem de gevşek kumlu zemin durumunda, sönümleyiciler ilk iki kata dağılmıştır. Toplam sönümleyici miktarının artması durumunda, rijit duruma karşılık gelen sönümleyicilerin dağılımı ilk iki kata olurken, gevşek kumlu durumda ilk üç kata dağılmaktadır. Zaman tanım alanında yapılan deprem analizlerinde zeminin kumlu olması durumdaki olumsuz etkileri göstermektedir. Sönümleyicilerin optimum tasarımında, yapı ve zeminin beraber modellenerek birbirlerine olan etkileşimlerinin ve gerek yapı, gerekse zeminin değiştirilmesinin etkileri dikkatlenmelidir. Bulunan sonuçlar optimum sönümleyici dağılımında, zeminin rijit ve kumlu olması durumlarında sonuçların nasıl değiştiğini ortaya koymuştur.



(a)



(b)

ekil 4. El Centro depremi altında model yapının (a) yerdeğiştirme ve (b) ivme değiştirilmesi

## KAYNAKLAR

Aydın E. (2013). A simple damper optimization algorithm for both target added damping ratio and interstorey drift ratio. *Earthquakes and Structures* **5:1**,083-109.

- Aydın, E. (2012). Optimal damper placement based on base moment in steel building frames. *Journal of Constructional Steel Research*, **79**,216-225.
- Aydın, E., Boduroglu, M.H. ve Güney D. (2007). Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures. *Engineering Structures* **29**:2,176-185.
- Cao, X. ve Mlejnek, H. P. (1995). Computational prediction and redesign for visco-elastically damped structures. *Computer Methods Applied Mech. Eng.* **125**,1-16.
- Cimellaro, G.P. (2007). Simultaneous stiffness-damping optimization of structures with respect to acceleration displacement and base shear. *Engineering Structures* 29, 2853-2870.
- De Silva, C.W. (1981). An algorithm for the optimal design of passive vibration controllers for flexible systems. *J. Sound of Vib.* **75**:4,495-502.
- Gürgöze, M. ve Müller, P. C. (1992). Optimal position of dampers in multi body systems. *J. Sound of Vib.***158**:3, 517-530.
- Hahn, G. D. ve Sathivageeswara, K. R. (1992). Effects of added-damper distribution on the seismic response of Building. *Comp. & Struct.* **43**:5, 941-950.
- Lavan, O. ve Levy, R. (2009). Simple iterative use of Lyapunov's solution for the linear optimal design of passive devices in framed structures. *J. Earthq. Eng.* 13:5, 650-666.
- Masri, S. F., Bekey, G. A. ve Caughey, T. K. (1981). Optimum pulse control of flexible structure. *J. Applied Mechanich ASCE* **48**, 619-626.
- Parmele, R.A. (1970). The influence of foundation parameter on the seismic response of interaction systems. *Proceedings of the 3rd Japan Earthquake Engineering Symposium.*
- Sönmez M., Aydın E. ve Karabörk T. (2013). Using an artificial bee colony algorithm for the optimal placement of viscous dampers in planar building frames. *Structural and Multidisciplinary Optimization* **48**:2,395-409.
- Takewaki, I. (1997). Optimal damper placement for minimum transfer functions. *Earthquake Engineering and Struct. Dyn* **26**, 1113-1124.
- Takewaki, I. (1998). Optimal damper position in beams for minimum dynamic compliance. *Comp. Methods & Applied Mechanic Engineering* **156**,363-373.
- Takewaki, I. (1999). Displacement-acceleration control via stiffness-damping collaboration. *Earthquake Engineering and Struct Dyn* **28**, 1567-1585.
- Takewaki, I. (2000). Soil-structure random response reduction via TMD-VD simultaneous use. *Comp. Methods. Apl. Mech. Eng* **190**, 677-690.
- Takewaki, I. ve Uetani, K. (1999). Optimal damper placement for building structure including surface ground amplification. *Procc. 13th ASCE Engineering Mechanics Division Specialty Conf., Baltimore.*
- Tsuji, M. ve Nakamura, T. (1996). Optimum viscous dampers for stiffness design of shear buildings. *Struct. Des. Of Tall Buildings* **5**, 217-234.
- Zhang, R. H. ve Soong, T.T. (1992). Seismic design of visco-elastic dampers for structural Application. *J. Structural Engineering ASCE* **118**:5, 1375-1392.