



## YAPILARIN SİSMİK İZOLASYONUNDA KAYAN MODLU AKTİF KONTROL YÖNTEMİ

### (*SLIDING-MODE ACTIVE CONTROL METHOD IN SEISMIC ISOLATION OF STRUCTURES*)

Hasan ALLİ\*, Yusuf CALAYIR\*\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Mevcut kuramsal çalışmada, deprem etkisi altındaki yapıların titreşimlerini azaltmak için aktif kontrol yöntemlerinden biri olan kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin, değişen dinamik yükler, modelleme hatası ve parametrik belirsizliğin olduğu durumlardaki performansı ortaya konmuştur. Sayısal uygulama için dinamik etkiye maruz lineer sönümlü sekiz katlı bir bina göz önüne alınmıştır. Dinamik etki olarak, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni kullanılmıştır. Elde edilen çözümler birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

*In this theoretical study, sliding-mode control method which is one of the active control methods has been applied to suppress structural vibration of earthquake excited structure. The robustness of sliding mode control has been proved when parametric uncertainties, modeling inaccuracies and varying dynamic loads exist. For numerical application, 8-story shear building excited by dynamic loads has been considered. To obtain the response of the building under earthquake forces, the east-west acceleration component of 1992 Erzincan earthquake and the east-west acceleration component of Düzce record and the north-south acceleration component of Bolu record of 1999 Düzce earthquake have been used. The obtained results have been presented in graphical form and compared with each other.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Sismik izolasyon, Kayan modlu kontrol  
*Seismic isolation, Sliding Mode control*

---

\*Fırat Üniversitesi, Makina Müh. Böl., ELAZIĞ

\*\*Fırat Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., ELAZIĞ

## 1. GİRİŞ

Değişen dış etkilere karşı yapıların kendini adapte edebilme yeteneği ile ilgili çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır (Sture, 1997; Utku, 1998). Rüzgar ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz yapıların titreşim kontrolü, pasif ve aktif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Pasif kontrol yöntemleri, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyicileri gibi enerji yutan sistemleri içermektedir (Soong vd., 1997). Aktif kontrol sistemleri ise, sistemde hazır bulundurulmuş dış enerji kaynakları kullanılarak yapıya daha önce belirlenen şekilde kontrol kuvvetlerinin uygulandığı sistemlerdir. Pasif kontrol sistemlerinin değişen dış etkilere karşı kendini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olması ve taban izolasyonlarının verimli olarak genelde alçak binalara uygulanabilirliği, aktif kontrolün gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Soong vd., 1994; Singh ve Matheu, 1997). Ayrıca, yapıların esnekliğinin ve yüksekliğinin artması aktif kontrol sistemlerinin önemini daha da artırmaktadır.

Aktif kontrol yöntemlerinden birisi kayan modlu kontrol yöntemidir. Kayan modlu kontrolün dış etkilere ve parametrik değişikliklere duyarız oluşu en büyük avantajlarından birisidir. Gelişen teknolojinin de bu tür kontrol yöntemlerinin uygulanabilirliğine zemin hazırlaması, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir. Son yıllarda bu kontrol yöntemi, yapıların titreşim kontrolü ile ilgili araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır (Zhao vd., 2000; Matheu, 1998; Yang vd., 1997; Wu, 1998).

Aktif kontrol kuvvetleri aktif kütle sönümleyicileri ve aktif destek elemanları vasıtasıyla sağlanabilmektedir (Soong, 1998). Aktif destek sistemlerinde kontrol kuvveti tabana yerleştirilen bir elektro-hidrolik tahrik makinasına bağlı destekler vasıtasıyla yapıya uygulanmaktadır. Aktif kütle sönümleyicileri ise binanın üst katına yerleştirilir ve hidrolik sistem tarafından kütle harekete geçirilerek gerekli kontrol kuvveti meydana getirilir. Adhikari ve Yamuguchi, aktif kütle sönümleyicili yüksek bir binanın titreşimlerini kontrol etmek amacıyla kayan modlu bir kontrol algoritması geliştirmişlerdir (Adhikari vd., 1997). Bu çalışmada, aktif kütle sönümleyicisi binanın üst katının üzerine yerleştirilmiş olup, başlangıç şartları ve rüzgar kuvveti etkimesi durumları için binanın dinamik cevapları ayrı ayrı elde edilmiştir. Sayısal çözümler, yapının birinci modu dikkate alınarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, depreme dayanıklı bina tasarımında aktif kontrol yöntemi olarak kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmaktadır. Sayısal uygulama için lineer sönümlü sekiz katlı planda ve düşeyde simetrik, kayma çerçevesi olarak çalıştığı kabul edilen bir bina ele alınmaktadır. Kayan modlu kontrolün birbirinden farklı karakterlere sahip depremlerdeki performansını görmek amacıyla, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni kullanılmaktadır. İlk olarak, deprem yer hareketine maruz yapının hareket denklemleri elde edilmekte ve daha sonra kayan modlu kontrolün formülasyonu verilmektedir. Hareket denklemlerinin çözümü için MATLAB paket programı kullanılmaktadır. Son olarak, üç farklı deprem datası için elde edilen çözümler grafiksel olarak verilmekte ve sonuçlar irdelenmektedir.

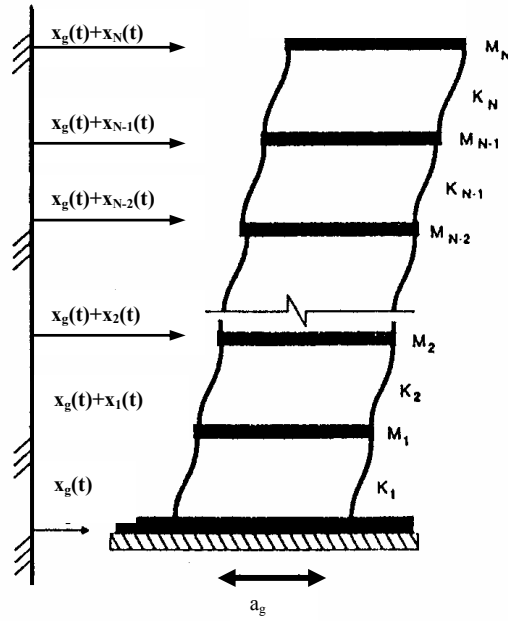
## 2. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Çok katlı planda ve düşeyde simetrik ve kayma çerçevesi davranışı gösterecek şekilde modellenen bir binanın simetri eksenlerinden biri doğrultusunda yatay yer hareketi etkisindeki davranışı Şekil 1 'de görülmektedir.

***Aktif olarak kontrol edilen sistemin yatay yer hareketi etkisindeki davranışı,***

$$M \ddot{x}(t) + C \dot{x}(t) + Kx(t) = Bu(t) + Ha_g(t) \quad (1)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Burada  $M$ ,  $C$  ve  $K$  matrisleri ( $N \times N$ ) boyutlu olup, sistemin sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini temsil etmektedir. ( $N \times 1$ ) boyutunda olan  $\ddot{x}$ ,  $\dot{x}$  ve  $x$  vektörleri sistemin, sırasıyla yere göre bağıl ivme, hız ve deplasman vektörleridir.  $B$ , kontrol kuvvetinin ( $N \times 1$ ) boyutlu yerleşim vektörü ve  $H = -Md$  vektörü, ( $N \times 1$ ) boyutlu deprem etkisi yerleşim vektörüdür. Burada  $d$ , tüm terimleri 1 olan ( $N \times 1$ ) boyutlu deprem etki vektörüdür.  $a_g(t)$  ise, göz önüne alınan depremin ivme kaydırıdır.



Şekil 1. N katlı bir binanın matematik modeli

Deplasman vektörü  $x$ 'in çözümü için yaygın olarak modların süperpozisyonu yöntemi uygulanır. Bu yöntemde önce sistemin sönümsüz serbest titreşim denklemleri olan

$$M \ddot{x}(t) + Kx(t) = 0 \quad (2)$$

ifadesi çözümlenerek, sistemin serbest titreşim frekansları ve modları bulunur. Daha sonra sistemin sönümlü ve zorlanmış davranışı ele alınarak, çözümün

$$x = \phi q(t) \quad (3)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Burada  $\phi$  modal matrisi,  $q$  ise modal koordinat vektörünü göstermektedir. Eşitlik 3, 1 yerine yazılırsa

$$M\phi \ddot{q}(t) + C\phi \dot{q}(t) + K\phi q(t) = Bu(t) + Ha_g(t) \quad (4)$$

bağıntısı elde edilir. Bu denklemin her iki tarafı  $\phi^T$  ile çarpılır ve sistemin klasik viskoz sönümlü olduğu kabul edilirse

$$\phi^T M \phi \ddot{q}(t) + \phi^T C \phi \dot{q}(t) + \phi^T K \phi q(t) = \phi^T B u(t) + \phi^T H a_g(t)$$

veya

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = \phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t) \quad (n=1,2,3,\dots,N) \quad (5)$$

eşitliği ile verilen birbirinden bağımsız N adet denklem elde edilir. Burada,  $M_n$ ,  $C_n$  ve  $K_n$  sırasıyla n. modal kütle, n. modal sönüm ve n. modal rijitliği göstermektedir.  $\phi_n$  ve  $q_n$  ise sırasıyla n.mod ve n. modal koordinat olmaktadır. Eşitlik 6'nın sağ tarafı ise modal yükü ( $P_n(t) = \phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t)$ ) belirler. Eşitlik 6,

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \left[ \frac{\phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t)}{M_n} \right] \quad (n=1,2,3,\dots,N)$$

formunda yazılabilir. Burada  $w_n$  ve  $x_n$  sırasıyla, n. moda ait doğal frekansı ve sönüm oranını göstermektedir.

### 3. KAYAN MODLU KONTROLÜN TASARIMI

Kayan modlu kontrol özel bir tür değişken yapıli kontroldür. Kullanıcı tarafından seçilen ve kayma yüzeyi olarak adlandırılan bir yüzey, durum uzayında seçilir. İlk olarak, durum değişkenleri, kayma-yüzeyi üzerine gitmeye zorlanır. Durum değişkenleri kayma yüzeyine ulaştıktan sonra, bu yüzey üzerinde orijine doğru yöneltecek kontrol sinyalleri belirlenir. Bu kontrol türünün en önemli özelliği, dış etkenlere ve parametre değişikliklerine duyarsız olmasıdır (Slotine vd, 1991). Sistem davranışını temsil eden Eşitlik 7, durum uzayı vektörü kavramı kullanılarak

$$\dot{z}_n(t) = A_n z_n(t) + D_{1n} u(t) + D_{2n} a_g(t) \quad (8)$$

şeklinde birinci mertebe diferansiyel denklem olarak da ifade edilebilir. Burada

$$A_n = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta_n \omega_n \end{bmatrix}, D_{1n} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\phi_n^T B}{M_n} \end{bmatrix}, D_{2n} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\phi_n^T H}{M_n} \end{bmatrix}, z_n(t) = \begin{bmatrix} q_n(t) \\ \dot{q}_n(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.  $A_n$ , n. moda ait durum değişken matrisini;  $D_{1n}$ ,  $D_{2n}$  ve  $z_n$  ise sırasıyla, n. moda ait kontrol etki yerleşim vektörünü, deprem etki yerleşim vektörünü ve durum değişken vektörünü belirtmektedir. Kayma yüzeyi, Şekil 2’de görüldüğü gibi,

$$S = \{z: \sigma(z,t)=0\} \quad (10)$$

bağıntısıyla tanımlanabilir.

Eşdeğer kontrol, Utkin-Drazenovre’nin eşdeğer kontrol yöntemi uygulanarak elde edilebilir (Adhikari vd, 1997). Bu yöntem kayma yüzeyi üzerinde kalma şartını aşağıdaki şekilde ifade etmektedir. Bir lineer sistem için seçilen kayma yüzeyi

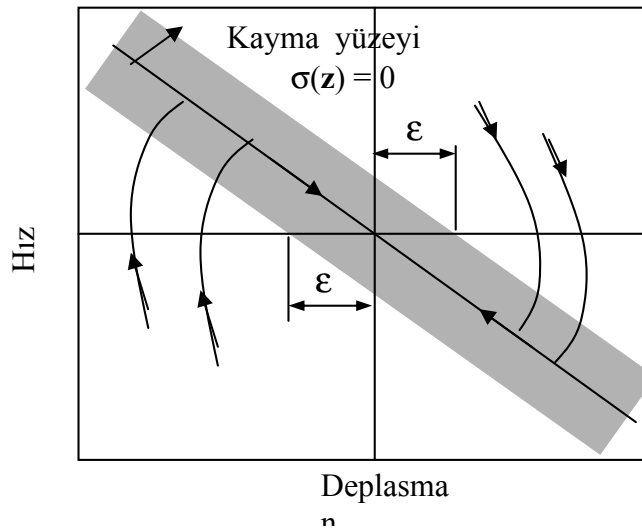
$$\sigma(z) = S z \quad (11)$$

ise,

$$\sigma(z) = 0 \quad \text{ve} \quad \dot{\sigma}(z) = 0 \quad (12)$$

şartını sağlayacak eşdeğer kontrol kuvveti:

$$u_{eq}(z,t) = -(SD_1)^{-1} [SAz(t) + SD_2 a_g(t)] \quad (13)$$



Şekil 2. Kayma yüzeyi kavramı.

eşitliği ile tanımlanabilir. Burada  $S$  ( $1 \times 2n$ ) boyutlu sabit bir matristir. Eşitlik 13’te verilen kontrol kanununun,  $a_g(t)$  dış tahriği daha önce bilinmediğinden dolayı, açıkça sentezi yapılamaz. Fakat uygun şartlar altında, bilinen sistem parametreleri kullanılarak ve kontrol sinyali süresiz hale getirilerek (yani çok sık olarak yön değiştirmeye müsaade edilerek), yukarıdaki kontrol kanunu gerçekleştirilebilir. Bundan dolayı Eşitlik 13’te  $a_g(t)$ ’yi ihmal ederek, bunun yerine dış tahrikteki belirsizliğin yerini almak için uygun bir  $\eta$  parametresi seçilir.  $\eta$ , kontrol kuvvetinin, durum değişkenlerini kayma yüzeyine ulaştırmasını garanti edecek şekilde seçilir. Matematiksel olarak bu şart.

$$\sigma(z) \cdot \dot{\sigma}(z) < 0 \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklem aşağıdaki sonucu doğurmaktadır.

$$\eta \geq |(SD_1)^{-1} S \hat{a}(t)| < 0 \quad (15)$$

Burada  $\hat{a}(t)$ , kontrol edilen sistemde tahmin edilen toplam belirsizliği ifade etmektedir. Bundan dolayı elde edilen kontrol kuvveti

$$u_{eq}(z,t) = -(SD_1)^{-1} S A z(t) - \eta \operatorname{sgn}(\sigma(z)) \quad (16)$$

bağıntısıyla verilebilir. Burada  $\operatorname{sgn}$  fonksiyonu işaret fonksiyonudur. Fakat bu kontrol yönteminin en önemli dezavantajı, kontrol girişinin sürekli olmaması ve kontrol sinyallerinin çok sık bir şekilde yön değiştirmesidir (chattering). Bu ise arzu edilmeyen bir durumdur. Bundan dolayı bu dezavantajı gidermek için, kontrol sinyalini kayma yüzeyi üzerinde tutmak yerine, kalınlığı  $\varepsilon$  olan ince bir sınır tabakası içinde, sistemi tutacak şekilde belirlenir (Şekil 2). İdeal kayma hali için kullanılan işaret fonksiyonu nedeniyle sık sık işaret değiştiren kontrol sinyalinde daha düzgün ve sürekli bir yapı elde etmek amacıyla işaret fonksiyonu yerine daha farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Böylelikle kontrol sinyali kayma yüzeyi yerine, yüzey etrafındaki  $\pm \varepsilon$  bandı içerisinde belirlenmiş olur. Yüzey etrafındaki bant genişliğini belirleyen  $\varepsilon$ , bir tasarım parametresi olup, meydana gelecek hata (bu problem için titreşim genliği ve hızının denge durumundan olan farkı) ve yön değiştirme sayısı arasındaki ilişkiyi belirleyecektir. Hatanın az olması istendiğinde kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısı artacaktır. Kontrol sinyalinde süreklilik istendiğinde ise hata artacaktır. Seçilen  $\varepsilon$  parametresi ile kontrol sinyali yön değiştirme sayısı ve hata arasında denge kurulmaya çalışılır. Bunu sağlayacak kontrol kuvveti

$$u_{eq}(z,t) = -(SD_1)^{-1} S A z(t) - \eta \operatorname{sat}(\sigma(z)) \quad (17)$$

denkleminde hesaplanabilir. Burada  $\operatorname{sat}$  fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\operatorname{sat}(\sigma(z)) = \begin{cases} \sigma(z) & \text{eğer } |\sigma(z)| \leq \varepsilon \\ \operatorname{sgn}(\sigma(z)) & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (18)$$

Ancak, pratikte bütün tahrik elemanları her zaman sınırlı kapasiteye sahip olduklarından, probleme, aşağıdaki sınırlayıcı eklenmiştir.

$$u(z,t) = \begin{cases} u(z,t) & \text{eğer } |u(z,t)| \leq u_{\max} \\ \frac{u(z,t)}{|u(z,t)|} u_{\max} & \text{eğer } |u(z,t)| > u_{\max} \end{cases} \quad (19)$$

Burada  $u_{\max}$ , tahrik elemanının maksimum kapasitesini göstermektedir.

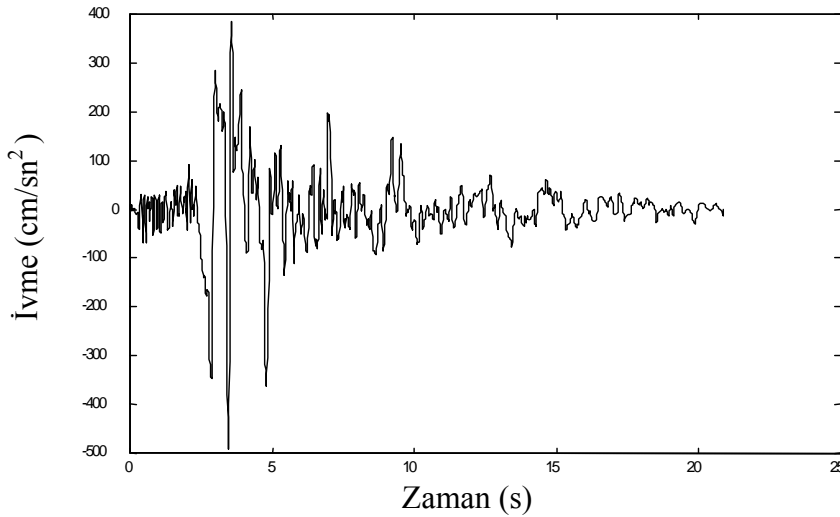
#### 4. SAYISAL ÖRNEK

Yukarıda verilen kayan modlu kontrol algoritmasının uygulanması için lineer sönümlü sekiz katlı bir bina örnek olarak seçilmiştir. Binanın plan ve düşeyde simetrik olduğu ve kayma çerçevesi davranışı gösterdiği kabul edilmiş olup, bu binaya ait kütle ve rijitlik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

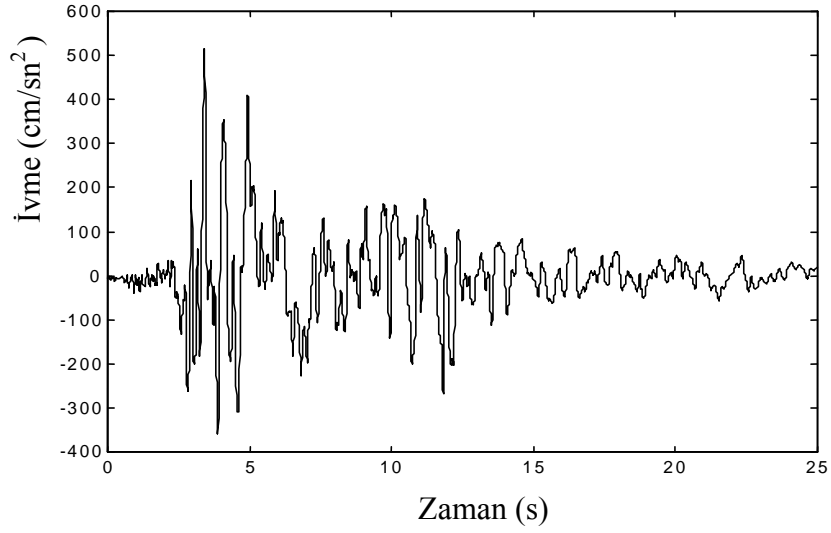
Çizelge 1. Binanın kütle ve rijitlik özellikleri

Kat No	Kütle Değeri (kg)	Rijitlik Değeri (N/m)
1	535000	$3426000 \times 10^3$
2	535000	$3426000 \times 10^3$
3	523000	$1615000 \times 10^3$
4	523000	$1615000 \times 10^3$
5	523000	$1615000 \times 10^3$
6	517000	$473400 \times 10^3$
7	517000	$473400 \times 10^3$
8	517000	$473400 \times 10^3$

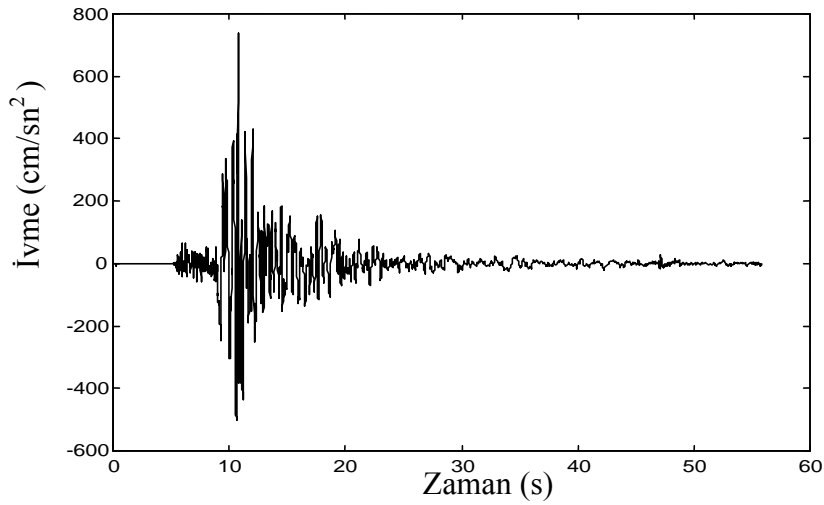
Bu yapıya, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni ayrı ayrı uygulanmaktadır. Bu ivme kayıtları Şekil 3,4,5’de verilmiştir (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi). Bu şekillerden de görüleceği gibi bunlar farklı karakterlerdeki depremleri temsil etmektedir.



Şekil 3. 1992 Erzincan depreminin doğu-batı ivme bileşeni

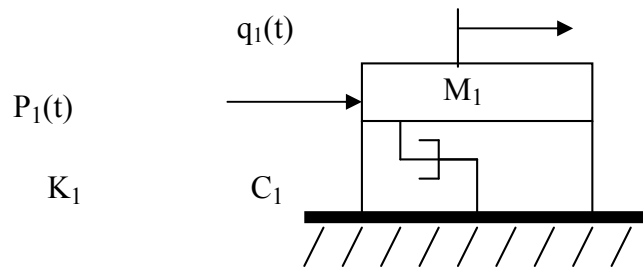


Şekil 4. 1999 Düzce depremi Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni



Şekil 5. 1999 Düzce depremi Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni

Binanın titreşim tepki analizinde, yapının birinci modunun baskın olduğu görüldüğünden, çözümde sadece bu modun katkısı göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla sekiz katlı bina Şekil 6'da verilen tek serbestlik dereceli bir sistemle temsil edilmektedir.



Şekil 6. Yapının birinci moduna ait genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli sistem



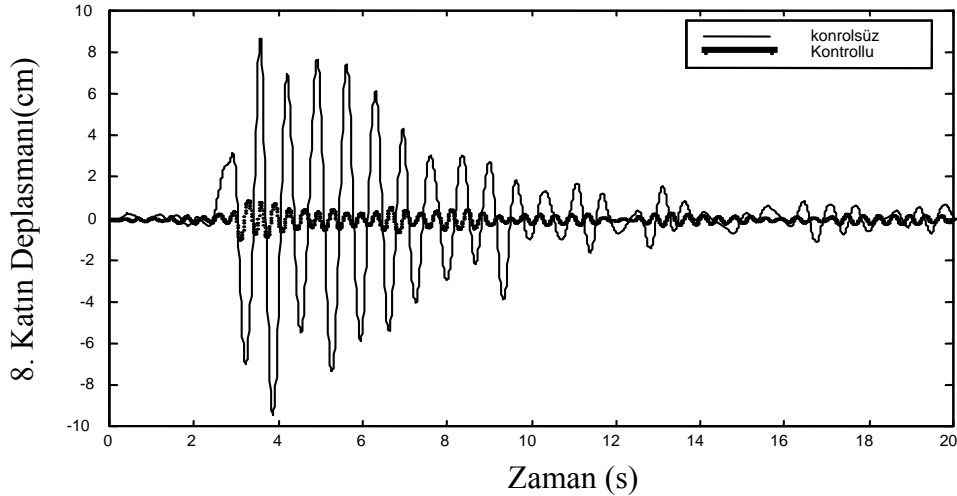
Binanın ilk doğal frekansı  $\omega_1 = 10.32$  rad/sn olarak elde edilmiştir. Kontrol yönteminin etkinliğini açıkça görmek amacıyla yapının modal sönüm oranı,  $\zeta_1 = 0.01$  gibi küçük bir değer seçilmiştir. Bu yapının birinci moda ait durum denklemi;

$$\dot{z}_1(t) = A_1 z_1(t) + D_{11} u(t) + D_{21} a_g(t) \quad (20)$$

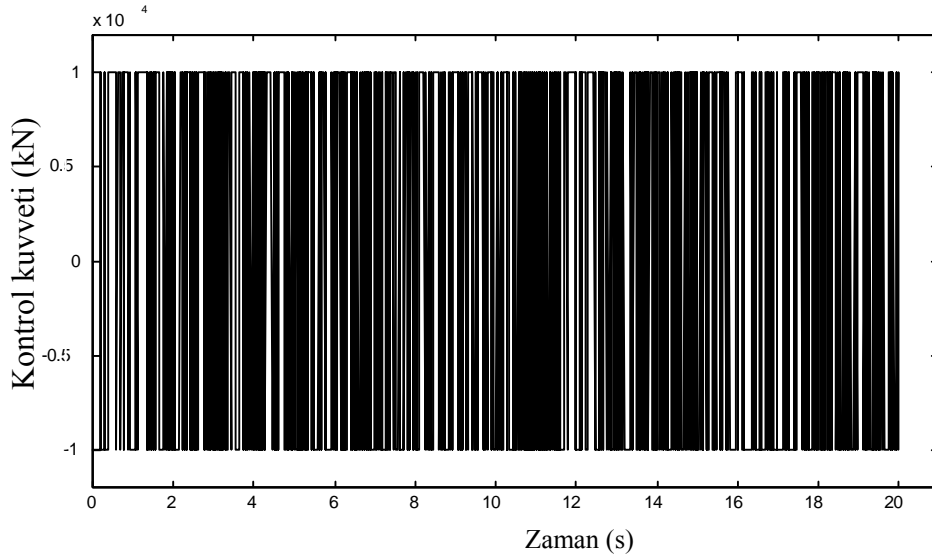
bağıntısıyla verilebilir. Burada

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_1^2 & -2\zeta_1\omega_1 \end{bmatrix}, \quad D_{11} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\phi_1^T \mathbf{B}}{M_1} \end{bmatrix}, \quad D_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\phi_1^T \mathbf{H}}{M_1} \end{bmatrix} \quad (21)$$

dır. Kontrol kuvvetinin binanın üst katı hizasında etkidiği kabul edilmiştir. En iyi çözüm  $\mathbf{S} = [0.45 \ 1]$  seçilerek elde edilmiştir.  $\eta$  parametresi 20 kN'luk sabit bir değer olarak alınmıştır. Hareket denkleminin çözümü için MATLAB paket programı kullanılmıştır.

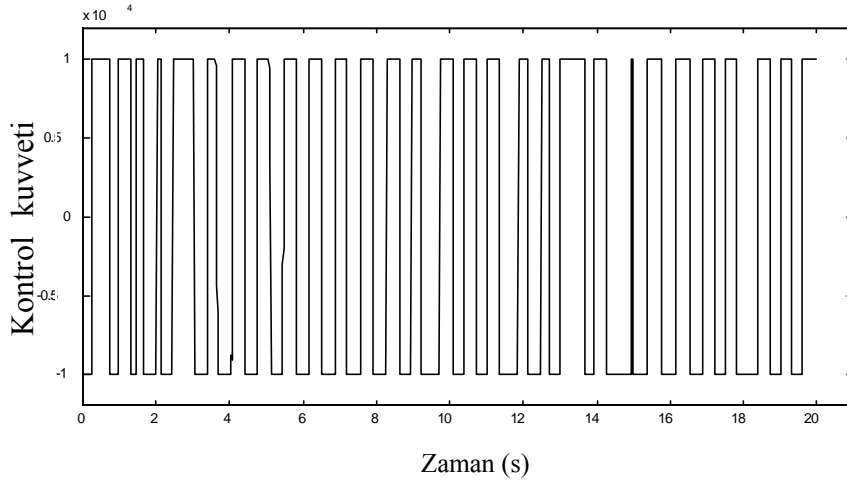


Şekil 7. Sekizinci katın kontrollü ve kontrolsüz deplasmanı



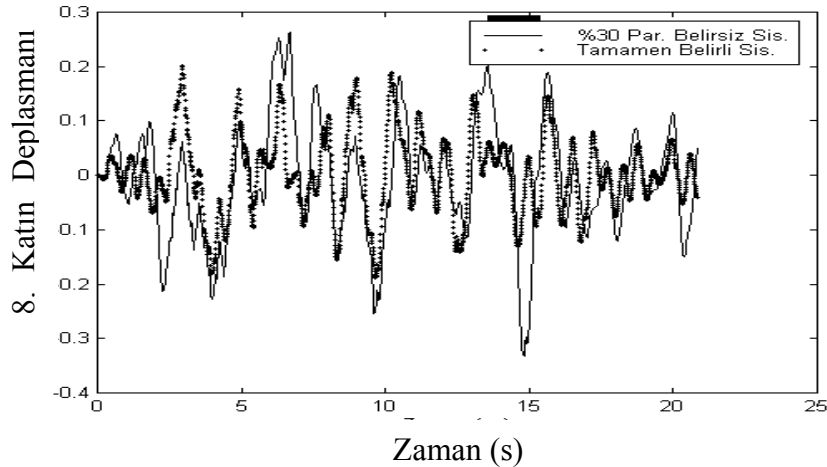
Şekil 8. Kontrol elemanına uygulanan kontrol kuvveti (sınır tabaka uygulanmadan)

Yapının 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni etkisindeki aktif kontrollü ve kontrolsüz 8. kat deplasmanının zamanla değişimi Şekil 7’de sunulmuştur. Titreşimlerin büyük bir ölçüde azaldığı ve kayan modlu kontrolün performansının çok yüksek olduğu görülmektedir. Titreşim genliklerindeki azalışa paralel olarak, kat kesme kuvvetleri ve momentlerinde de düşmeler olacaktır. Bu sonuç yapıların sismik izolasyonunda aranan bir özelliktir. Şekil 8’de ise aynı deprem etkisi altında sınır tabaka uygulanmadan kontrol kuvvetinin zamanla değişimi görülmektedir. Burada  $|u_{\max}| = 10$  kN olarak alınmıştır. Bu kontrolün dezavantajı olan kontrol sinyalinin çok sık sayıda yön değiştirmesi açıkça görülmektedir. Sonuç olarak tahrik elemanı bu çok sayıda yön değiştirme işlemi takip edemeyebilir. Bundan dolayı sınır tabaka uygulama zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9. Kontrol elemanına uygulanan kontrol kuvveti ( $\epsilon=0.001$  sınır tabaka uygulanması durumunda)

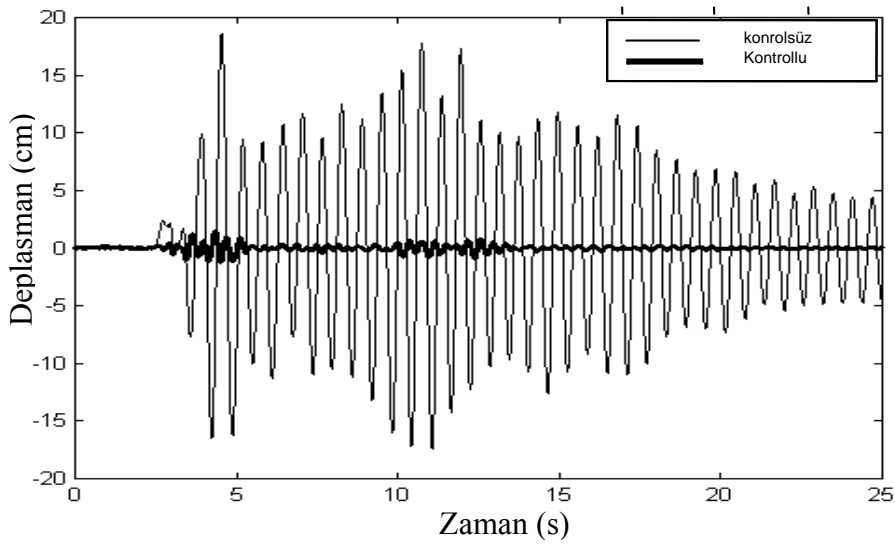
Sınır tabakası uygulamasının etkisini görmek amacıyla,  $\epsilon = 0.001$  alınarak çözümler tekrarlanmıştır. Sınır tabakası uygulamasının 8 inci kat deplasmanını pek etkilemediği ve bu deplasmanın Şekil 7’de verilen deplasmana benzer değişim gösterdiği görülmüştür. Buna karşılık, kontrol kuvveti değişimi önemli ölçüde etkilenmektedir. Şekil 9’da sınır tabakası uygulandığı durumdaki kontrol kuvvetinin zamanla değişimi verilmekte ve kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısında önemli ölçüde azalma meydana geldiği görülmektedir.



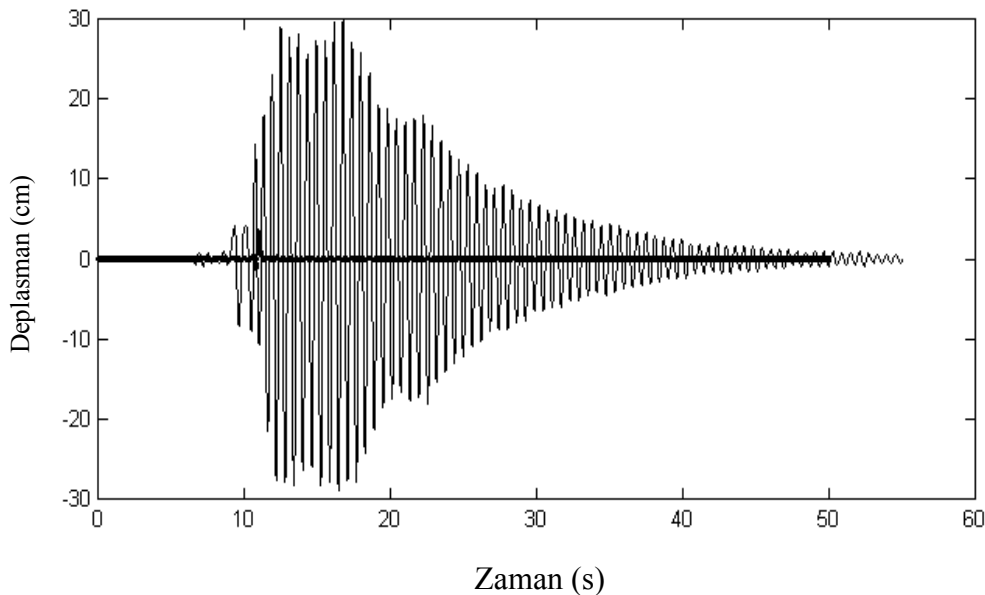
Şekil 10. Kayan kipli kontrolün parametrik belirsizliğe olan duyarlılığı.

Yapı modellemesi ve sistem parametreleri (rijitlik, kütle, sönüm) hesabında belirli ölçüde hatalar mevcuttur. Bu ve benzeri tür hataların kayan modlu kontrol üzerindeki etkisini görmek amacıyla fiziksel parametreler belirli bir oranda değiştirilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, aynı deprem etkisi kullanılarak, fiziksel parametrelerin (kütle ve rijitlik) %30 değiştirilmesine rağmen 8 inci katın deplasmanında önemli ölçüde bir artma görülmemektedir. Bu da kayan modlu kontrolün parametrik belirsizliğe duyarlı olmadığını göstermektedir.

Kayan modlu kontrolün farklı karaktere sahip depremlerdeki performansını ortaya koymak amacıyla göz önüne alınan binanın, 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni etkisindeki kontrollü ve kontrolsüz deplasman çözümleri Şekil 11,12'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi deplasmanlar önemli ölçüde azalmaktadır. Bundan dolayı, kayan modlu kontrolün söz konusu depremler için performansının yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 11. 1999 Düzce depremi Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni etkisindeki yapının sekizinci katının kontrollü ve kontrolsüz deplasmanı



Şekil 12. 1999 Düzce depremi Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni etkisindeki yapının sekizinci katının kontrollü ve kontrolsüz deplasmanı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı karakterdeki depremlere maruz planda ve düşeyde simetrik ve kayma çerçevesi davranışı gösteren sekiz katlı lineer sönümlü bir binanın titreşimlerini azaltmak için, parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı nedeniyle kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan kontrol yönteminin, göz önüne alınan farklı karakterdeki depremler için titreşim genliklerinde önemli ölçüde azalmalar meydana getirdiği görülmüştür. Ayrıca, kayan modlu kontrol algoritmasına sınır tabakası uygulandığında, kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısında azalma meydana gelmiştir. Sistemin fiziksel parametrelerinde olabilecek büyük orandaki belirsizliklerin, bu kontrol yöntemi uygulandığı zaman, sistemin titreşim cevabına önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar kayan modlu yöntemin yapı sistemleri için etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Adhikari R., Yamaguchi H. (1997): "Sliding Mode Control of Buildings with ATMD", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 26, p. 409-422.
- Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, İvme Kayıtları, [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr), Ankara.
- Matheu E. E. (1998): "Output – Feedback Sliding Mode Control with Generalized Sliding Surface for Civil Structures under Earthquake Excitation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 27, p. 259-283.
- Singh M. P., Matheu E.E. (1997): "Active and Semi-Active Control of Structures under Seismic Excitation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 26, p. 193-213.
- Slotine F.F.E., Li W. (1991): "Applied Nonlinear Control", Prentice Hall, New Jersey,
- Soong T. T. (1998): Experimental Simulation of Degrading Structures through Active Control. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 27, p. 143-154.
- Soong T. T., Constantinou M.C. (1994): "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer", Verlag, New York.
- Soong T. T., Dargush G.F. (1997): "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley and Sons, New York.
- Sture S. (1997): Structural Control: Past, Present and Future, Journal of Engineering Mechanics. ASCE, Special Issue, V. 123, No: 9.
- Utku Ş. (1998): "Theory of Adaptive Structures", Incorporating Intelligence into Engineered Products, Boca Raton, CRC Press, New York.
- Yang J.N., Wu J.C., Agrawal A.K., Hsu S.Y. (1997): "Sliding Mode Control with Compensator for Wind and Seismic Response Control", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 26, p. 1137-1156.
- Zhao B., Lu X., Wu M., Mei Z. (2000): "Sliding-Mode Control of Buildings with Base Isolation Hybrid Protective System", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 29, p. 315-326.
- Wu J. C. (1998): "Application of Sliding Mode Control to Benchmark Problem", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 27, p. 1247-1266.

## SEMBOLLER

$\mathbf{M}$  : Sistemin kütle matrisi

$\mathbf{K}$  : Sistemin rijitlik matrisi

$\mathbf{C}$  : Sistemin sönüm matrisi

$\mathbf{x}$  : Yere göre bağıl deplasman vektörü

$\dot{\mathbf{x}}$  : Yere göre bağıl hız vektörü

$\ddot{\mathbf{x}}$  : Yere göre bağıl ivme vektörü

$\mathbf{B}$  : Kontrol kuvveti yerleşim vektörü

$\mathbf{H}$  : Deprem etkisi yerleşim vektörü

$\mathbf{A}_n$  : n. moda ait durum değişken matrisi

$\mathbf{D}_{1n}$  : n. moda ait kontrol etki yerleşim vektörü

$\mathbf{D}_{2n}$  : n. moda ait deprem etki yerleşim vektörü

$\mathbf{z}_n$  : n. moda ait durum değişken vektörü

$\mathbf{d}$  : Deprem etki vektörü

$a_g$  : Deprem ivme kaydı

$x_g$  : Yer deplasmanı

$\mathbf{f}$  : Modal matris

$\Phi_n$  : n. mod

$\mathbf{q}$  : Modal koordinat vektörü

$q_n$  : n. modal koordinat

$\mathbf{u}$  : Kontrol kuvveti

$\omega_n$  : n. moda ait doğal frekans

$\xi_n$  : n. moda ait sönüm oranı

$\sigma$  : Kayma yüzeyi

$\varepsilon$  : Sınır tabaka kalınlığı

$\hat{\mathbf{a}}$  : Kontrol edilen sistemde tahmin edilen toplam belirsizlik

$t$  : Zaman