

DEPREME DAYANIKLI BİNA TASARIMINDA
PASİF KONTROL

PASSIVE CONTROL IN EARTHQUAKE RESISTANT
BUILDING DESIGN

Mehmet Bakiođlu¹ Ünal Aldemir²

SUMMARY

In this work, base isolations and mass dampers used in earthquake resistant building design are examined. Motion and energy equations of a multistory shear building is given by taking into account the base isolation, mass dampers and internal damping. Nonlinear differential equation of motion is solved numerically by Wilson- θ numerical method using state vector and as an example, solution of a ten-story shear building subjected to a synthetic and Erzincan (1992) earthquake are given.

ÖZET

Bu çalışmada depreme dayanıklı bina tasarımında pasif kontrol elemanları olarak kullanılan taban izolasyonları ve kütle sönümleyiciler incelenmektedir. Çok katlı bir kayma binasının hareket ve enerji denklemleri taban izolasyonu, kütle sönümleyiciler ve iç sönüm hesaba katılarak verilmektedir. Hareketin non-linear diferansiyel denklemi durum vektörü kullanılarak Wilson- θ yöntemi ile sayısal olarak çözülmekte ve örnek olarak sentetik ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisi altında on katlı bir kayma binasının çözümü yapılmaktadır.

¹Prof.Dr. İTÜ İnşaat Fak., 80626, Maslak, İstanbul

²Arş.Gör. İTÜ İnşaat Fak., 80626, Maslak, İstanbul

GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı fikri yapı tarihi kadar eskidir. İnsanlar her depremde sonra yıkılan yapıları ve can kayıpları karşısında depreme dayanıklı yapı tasarımları üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. İnsanların, ampirizm yöntemini kullanarak tasarladıkları eski yapılarda, ne derecede başarılı oldukları, antik ve ortaçağdan günümüze kadar birçok depremde test edilerek gelen yapılardan görülebilir. Bu yapılarda kullanılan düşünce günümüzde kullanılan düşüncenin aynısıdır. Yapı ile zemin arasındaki bağ rijidliğini azaltmak. Farklı olan ise kullanılan malzemedir.

Günümüzde, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılan düşünceler iki grupta toplanabilir. Birinci grup; yapıya özel bir form vererek depreme karşı dayanıklılığını sağlamak. Kolon rijidliklerinin azaltılması (esnek zemin kat), mafsalı kolonlar gibi. Burada gaye, depremden yapıya intikal eden enerjinin belirli yapı elemanları tarafından absorbe edilmesi veya sisteme enerji girişinin azaltılmasıdır. Zeminin iyileştirilme yöntemleri de bu gruba dahil edilebilir. İkinci grup düşünce ise yapıya ilave elemanlar konularak birinci grupta belirtilen gayelerin sağlanmasıdır. Bu elemanlar tabana konulduğunda taban izolasyon, bina içine konulduğunda ilave elemanlar olarak isimlendirilir. Katı veya sıvı sönümleyiciler, özel mesnetler, tendonlar, kayma elemanları bu gruba ait örnekleridir. Bu grupta göz önüne alınan koruyucu elemanlar iki kısma ayrılır. Birinci kısma giren ve pasif kontrol elemanları olarak isimlendirilen elemanlar işlevlerini kendileri yaparlar. İkinci kısma giren elemanlar ise sistemde hazır olarak bulundurulmuş enerjiyi kullanarak gelen etkiye göre sistemi kontrol ederler. Bu elemanlar ise aktif kontrol elemanları olarak isimlendirilirler. Ayrıca iki kısım elemanlarının birlikte kullanıldığı karışık sistemlerde mevcuttur. [9]

Modern anlamda, pasif kontrol olarak, taban izolasyonlarının kullanılması ve geliştirilmesi son 20 yıl içinde olmuştur [1]-[6],[9],[10]. Taban izolasyon elemanları genelde iki grupta toplanırlar; elastik mesnetler ve kayıcı plakalar.

Taban izolasyonları olarak kullanılan elastik mesnetler aralarında çelik plakalar bulunan elastomerik kavuçuklardan tabakalı olarak yapılmış mesnetlerdir. Bu mesnetler düşey doğrultuda sert ve yatay doğrultuda esnektirler. Bu elemanlar yardımı ile sistemin doğal frekansları değiştirilir. Plakalardan yapılan kayıcı elemanlar ise genelde tek basına kullanılmayıp elastik mesnetlerle kullanılmaktadır. Bu şekilde kullanılan kayıcı elemanlar sisteme ilave bir korunma sağlamaktadır.

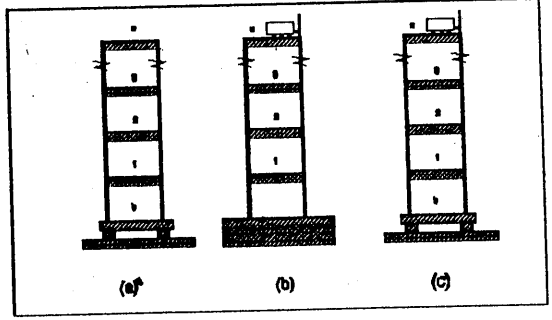
Elastik mesnetlerin en zayıf yönleri mesnetlerde oluşan kaldırma kuvvetlerinin yüksek binalarda devirme etkisi yapabilmesidir. Buna ilaveten bazı elastomerik mesnetlerde, her depremde sonra oluşan kalıcı deformasyonlar toplanarak artmaktadır. Bu nedenlerle elastik mesnetler yüksek binalarda kullanılmamaktadır.

Kayıcı plakalarla yapılan taban izolasyonunda ise geri çağırıcı bir kuvvet gerekmektedir ve bu kuvvetin teşkili de zor bir problemdir. Plakalardaki sürtünme katsayısı küçük olan sistemlerde sistem tamamen geri çağırıcı kuvvetin etkisi altında hareket etmekte ve kayıcı plakaların avantajı kaybolmaktadır. Bu nedenle sürtünme katsayısı 0.15-0.20 değerlerine kadar artırılmaktadır. Sürtünme katsayısı artırıldığında ise ivmesinin maksimum değeri μg den küçük depremlerde sürtünme plakaları çalışmamaktadırlar (μ =sürtünme katsayısı). Bu durumda yapı zarar görmese bile yapı içindeki bazı aletler zarar görmektedir. Nükleer santrallarda olduğu gibi bazı yapılarda aletlerin korunması yapının korunması kadar önemlidir. Bu tip önemli yapılara karışık ve hatta kontrollü koruyucu sistemler önerilmektedir [3], [10].

Bu çalışmada taban izolasyonları ve kütle sönümleyiciler incelenmektedir. Çok katlı bir kayma binasının formülasyonu; taban izolasyonu, kütle sönümleyiciler ve iç sönüm hesaba katılarak verilmektedir. Ayrıca sisteme ait enerji ifadeleri çıkarılmaktadır. Sisteme ait non-lineer diferansiyel denklem, durum vektörü kullanılarak Wilson- θ yöntemi ile sayısal olarak çözülmek ve örnek olarak bir sentetik ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisi altında on katlı bir kayma binasının sayısal çözümü verilmektedir.

FORMÜLASYON

Taban izo. ve kütle sönümleyicili n katlı bir kayma binası şekil (1) de görülmektedir. Şekil de sıra ile taban izolasyonu, en üstte kütle sönümleyici ve taban izolasyonu ile kütle sönümleyicinin beraber kullanılması hali görülmektedir. Sisteme $X_0(t)$ şeklinde yatay deprem ivmesi etkimesi halinde sistemin hareket denklemi matris formunda aşağıda verilmektedir.



Şekil 1

$$M \ddot{Y}(t) + F_d(t) + F_s(t) = -M v \ddot{X}_0(t) \quad (1)$$

Burada; M , (SD,SD) boyutlu (SD=Serbestlik Derecesi) diyagonal kütle matrisi olup elemanları kat, taban izolasyonu ve sönümleyicilerin kütleleridir. $Y(t)$ vektörü, (SD) boyutlu davranış vektörü olup elemanları, kütlelerin zemine göre rölatif yer değiştirmeleridir. $F_d(t)$ ve $F_s(t)$ vektörleri ise (SD) boyutlu olup sıra ile sönüm ve geri çağırıcı kuvvetlerdir. v , elemanları 1 olan (SD) boyutlu bir vektördür.

Lineer viskos sönüm ve lineer elastik geri çağırıcı kuvvet halinde $F_d(t)$ ve $F_s(t)$ vektörleri aşağıdaki şekilde yazılabilirler.

$$F_d(t) = C \dot{Y}(t) \quad , \quad F_s(t) = K Y(t) \quad (2)$$

Burada C ve K matrisleri, (SD,SD) boyutlu simetrik band matrisler olup sönüm ve rijidlik matrisleri olarak isimlendirilirler.

Yukarıda (1) de verilen matris denklemi aşağıda (3) de verilen durum vektörü $Z(t)$ ((3) Eşitliğinde T üssü transpozeyi göstermektedir.) kullanılarak sayısal olarak Wilson- θ yönetimi ile çözülebilir. Bu konuda detaylı bilgiler [11] de verilmektedir.

$$Z(t) = [Y(t) , \dot{Y}(t)]^T \quad (3)$$

Yukarıda verilen (1) eşitliği sol taraftan hız

vektörünün transpozesi $\mathbf{Y}(t)^T$ ile çarpılıp, depremin başlangıç anından herhangi bir t anına kadar integrale edilir ise aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{Y}}(\tau) d\tau + \int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{F}_d(\tau) d\tau + \int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{F}_s(\tau) d\tau = - \int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{M} \mathbf{v} \dot{\mathbf{X}}_0 d\tau \quad (4)$$

Yukarıda verilen (4) eşitliğinde bulunan ilk terim sistemin toplam rölatif kinetik enerjisi olup, integral sonucu aşağıda verilmektedir.

$$\int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{Y}} d\tau = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{Y}}(t)^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{Y}}(t) \quad (5)$$

İkinci terim ise sistem tarafından iç sönüm olarak absorbe edilen enerjiyi göstermektedir. Üçüncü terim şekil değiştirme enerjisini göstermekte olup, lineer elastik sistemlerde;

$$\int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{F}_s(\tau) d\tau = \int_0^t \dot{\mathbf{Y}}(\tau)^T \mathbf{K} \mathbf{Y}(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \mathbf{Y}(t)^T \mathbf{K} \mathbf{Y}(t) \quad (6)$$

şeklindedir. Dördüncü terim ise t anına kadar giren rölatif deprem enerjisini göstermektedir.

Sistemin rölatif enerji dengesini belirleyen (4) eşitliği yardımı ile taban izolasyonun, kütle sönümleyicilerinin veya her bir katın çeşitli şekilde absorbe ettiği enerjileri bulmak mümkündür.

SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama olarak Erzincan (1992) ve sentetik bir depremin etkisi altında on katlı bir kayma binasının çözümü yapılmıştır.

Hesaplarda kullanılacak sentetik deprem

$$\dot{\mathbf{X}}_0(t) = m(t) \dot{\mathbf{X}}(t) \quad (7)$$

şeklinde olup burada; $m(t)$ deterministik zarf

fonksiyonu, $X(t)$ ise ortalaması sıfır ve spektral güç yoğunluğu $S(w)$ olan stasyonere rastgele bir işlemdir [7]. Hesaplarda spektral güç yoğunluğu $S(w)$ olarak, Kanai-Tajima tarafından aşağıdaki verilen fonksiyon kullanılmıştır.

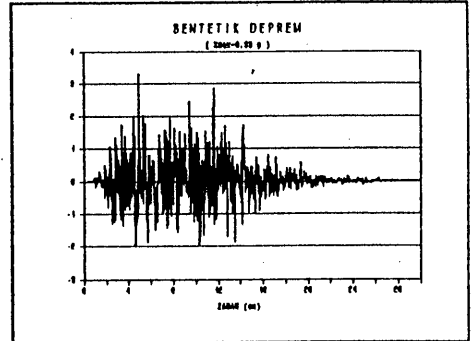
$$S(w) = \frac{1 + 4\xi_g^2 (w/w_g)^2}{[1 - (w/w_g)^2]^2 + 4\xi_g^2 (w/w_g)^2} S^2 \quad (8)$$

Burada w_g , ξ_g , S^2 sıra ile zeminin karakteristik frekansı, hakim sönüm katsayısı, zemin hareketinin şiddeti olup hesaplarda sıra ile 18.85 rd/sn, 0.65 ve 0.00465 m²/sn³/rd değerleri kullanılmıştır. $m(t)$ fonksiyonu ise

$$\begin{aligned} m(t) &= 0 & t < 0, & m(t) = (t/t_1)^2 & 0 \leq t \leq t_1 \\ m(t) &= 1 & t_1 \leq t \leq t_2, & m(t) = e^{-c(t-t_2)} & t_2 \leq t \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde alınmış olup hesaplarda $t_1=3$ sn, $t_2=13$ sn ve $c=0.26$ sn⁻¹ değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sentetik deprem kaydı şekil (2) de görülmektedir.

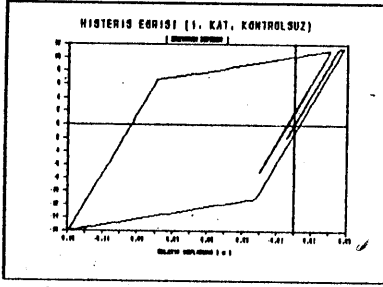
Binanın kat kütleleri eşit olarak $m=400$ ton ve her katta iç sönüm katsayısı $c=3590$ kN.sn/m alınmıştır. Bilineer elasto-plastik olarak kabul edilen malzemede rijidlik akmadan önce $k_1=450000$ kN/m, aktıktan $k_2=0.1*k_1$ ve akma uzaması 2,5 cm olarak alınmıştır. Binanın hesaplanan doğal frekansları 5,01; 14,93;



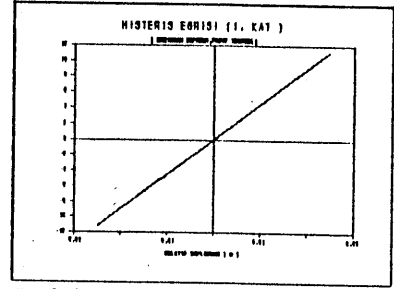
Şek.(2) Sentetik Deprem

24,51; 33,54; 41,83; 49,18; 55,43; 60,44; 64,10; 66,33 rd/sn olarak bulunmuş olup birinci moda karşı gelen sönüm oranı %2 dir. Yapılan hesaplarda sentetik deprem halinde en alt katta zemine göre max. deplasman 0,0114 m ve taban kesme kuvveti 5,15 MN bulunmuştur. Erzincan depremi etkisinde ilk katta max. deplasman 0,1292 m ve taban kesme

kuvveti 15,93 MN bulunmuş olup ilk altı kat akma sınırını geçmiştir. Pasif kontrol olarak $m_b=500$ ton ve $c_b=605$ kN.sn/m ve $k_b=20000$ kN/m olan bir taban izolasyonu seçilmiştir. Bu durumda sistemin doğal frekansları 1,97; 9,79; 18,73 ... 66,38 rd/sn olarak bulunmuş olup, birinci moda karşı gelen sönüm oranı %2,7 dir. Taban izolasyonunun bulunması halinde Erzincan depremine göre yapılan hesaplarda ilk katta max. 0,0247 m deplaman ve 11,15 MN kesme kuvveti, taban izolasyonunda ise max. 0.6206 m deplasman elde edilmiştir. Erzincan depremi etkisi altında, binanın kontrolsüz ve taban izolasyonlu olması durumlarında 1.kata ait histeris eğrileri ise Şek. (3) ve Şek. (4) de, deplasmanlar ise Şek. (5) de görülmektedir.



Şekil (3)



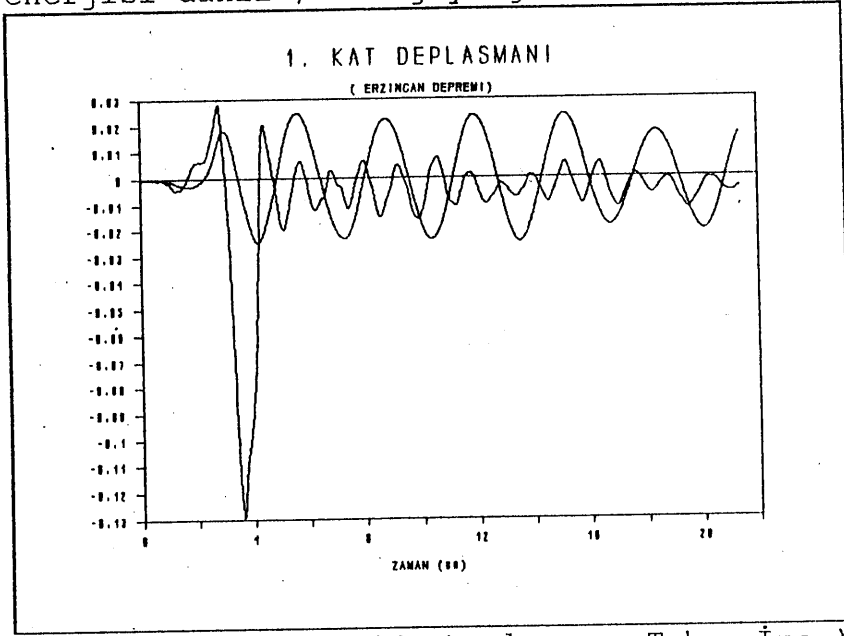
Şekil (4)

Taban izolasyonunda meydana gelen deplasmanları azaltmak için sisteme kütlesi $m_d=500$ ton, doğal frekansı sistemin ilk frekansına eşit, ($w=1,97$ rd/sn) ve sönümü oranı %10 olan bir kütle sönümleyicisi, taban izolasyona, izolasyon seviyesine bağlanmıştır. Yapılan hesaplarda taban izolasyonunda max. 0,5459 m, sönümleyicide max. 1,211 m deplasman ve birinci katta ise max. 0,0222 m deplasman ile max. 10,00 MN kesme kuvveti bulunmuştur. Birinci kat deplasmanlarına ait diyagram Şekil (6) da görülmektedir. Tablo (1) ve Tablo (2) de kontrolsüz, taban izolasyonlu ve kütle sönümleyicili hallere ait max. rölatif deplasmanlar ve kesme kuvvetleri verilmektedir.

Tablo 1 de kütlelerin ve katların max. rölatif deplasmaları cm olarak verilmektedir. Tablo 2 de ise kütlelere ve katlara gelen max. kuvvetler MN olarak verilmektedir. Her iki tabloda 1. kolonda sentetik, 2. kolonda kontrolsüz Erzincan, 3.

kolonda taban izolasyonlu Erzincan, dördüncü kolon ise taban izo+kütle sönümleyicili Erzincan depremine ait değerler verilmektedir.

Şekil (7) de Erzincan depremi ve taban izolasyonlu halde enerjiler görülmektedir. En üstteki eğri sisteme giren enerjiyi göstermektedir. En alttaki eğri sönüm enerjisini ve ortadaki eğri ise taban izolasyonu tarafından alınan (sönüm enerjisi dahil) enerjiyi göstermektedir.



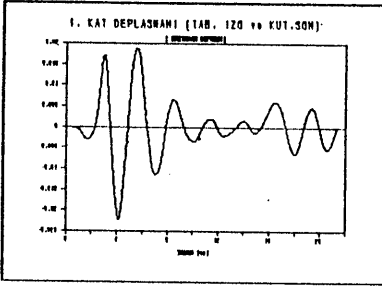
Şek. (5) 1.Kat Dep. (Kontrolsuz ve Taban İzo.)

Tablo 1

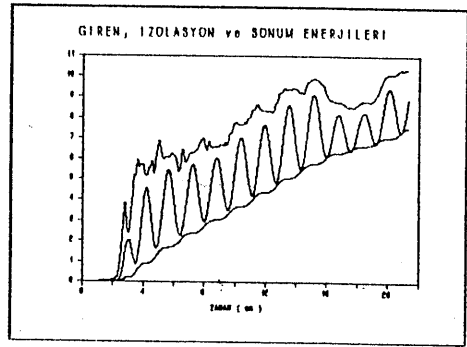
Kütle No	(1)	(2)	(3)	(4)
Izo.			62,06	54,59
1	1,14	12,92	2,47	2,22
2	1,10	11,14	2,29	2,06
3	1,00	8,49	2,08	1,87
4	1,01	5,87	1,85	1,67
5	1,04	4,16	1,61	1,45
6	1,01	2,95	1,36	1,22
7	0,90	2,41	1,10	0,99
8	0,73	1,99	0,83	0,75
9	0,52	1,39	0,55	0,50
10	0,27	0,71	0,28	0,25

Tablo 2

Kütçe No	(1)	(2)	(3)	(4)
Izo.			12,41	10,92
1	5,15	15,93	11,15	10,00
2	4,98	15,14	10,29	9,25
3	4,50	13,94	9,34	8,42
4	4,53	12,77	8,32	7,51
5	4,68	11,99	7,24	6,53
6	4,52	11,45	6,11	5,51
7	4,03	10,86	4,94	4,45
8	3,29	8,94	3,73	3,36
9	2,33	6,23	2,50	2,25
10	1,21	3,18	1,29	1,13



Şekil (6)



Şekil (7)

SONUÇ

Bu çalışmada, Erzincan (1992) depremine dayanamayan on katlı bir binanın pasif kontrol olarak kullanılan elastik mesnetler yardımı ile aynı depreme dayanıklı hale geldiği gösterilmiştir. Ayrıca taban izolasyona bir kütle sönümleyicisi eklenerek teşkil edilen karma bir sistem yardımı ile izolasyon ve kat deplasmanlarını azaltılmıştır.

Kullanılan sayısal hesap yöntemi, sönüm kuvvetinin hızın ve geri çağırıcı kuvvetin yolun fonksiyonu olması halinde geçerlidir. Bu durum uygulamada ortaya çıkan bir çok non-lineerliği kapsamaktadır. Bilhassa elastomerik malzemelerde kuvvet deformasyon bağıntılarının non-lineer olması verilen sayısal hesap yönteminin faydasını göstermektedir. Ayrıca bahsedilen hesap yöntemini

esas alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Son zamanlarda geliştirilen enerji söndürücülerin tasarımlarında enerji hesapları gerekmektedir [5]. Bu nedenle geliştirilen bilgisayar programına enerji hesapları eklenmiştir.

KAYNAKLAR

- (1) Constantinou, M.C., Mokha, A.S., and Reinhorn. A.M., (1990) , " Taban İzolasyonunda Teflon Yataklar II, Modelleme ", J. Struc. Eng., ASCE. 116(2), pp. 455-474, (İngilizce)
- (2) Kelly, J.M., (1982) "Depreme Karşı Taban İzol.", Shck.V.Dig., 14, No.5, 17-25 (İngilizce)
- (3) Feng, M.Q., (1993) "Binalara Karışık Kayan İzolasyon Sistemlerinin Uygulanması", J. Eng. Mech., ASCE, 119, No.10, pp.2090-2108 (İngilizce)
- (4) Kelly, J.M., (1986), "Depreme Karşı Taban İzol.", J.Soil.Dyn.E.Eng.5(3), pp.202-216, (İngilizce)
- (5) Pinelli, J.P., Craig, I., J., Goodno, J., B., (1994) "Enerji Söndürücü Kaplamalı Bağlantıların Tasarım Kriterleri, Deprem Mühendisliği ABD 5. Milli konferansı., 1, 1003-1012. (İngilizce)
- (6) Shentor, H.W., Lin, A.N., " Sabit taban ve Taban İzolasyonlu Beton Çerçevelerin Rölatif Performansı", (1993) J.Struct.Eng., ASCE, 119(10), pp.2592-2968, (İngilizce)
- (7) Shinozuka, M., Deodatis, G., " Stokastik İşlemlerin Spektral Tanımlama ile Simülasyonu", (1991) Appl.Mech.Rev., 44(4), 191-203, (İngilizce)
- (8) Su, L., Ahmadi, G., Tadjbaksh, J.G., (1989), "Taban İzolasyonlu Sistemlerde Mukayeseli Çalışma", J.Eng.Mech., ASCE, 115(9), pp.1976-1992, (İngilizce)
- (9) Tsai, H.C., Kelly, J.M., " Taban İzolasyonlu Binalarda Yapının ve İlave Elemanların Depreme Karşı Davranışı", (1989), Earth.Eng.Struct.Dyn., 18, pp. 551-564, (İngilizce)
- (10) Yang, J.N., Danielians, A., Liu, S.C. (1991) "Binalarda depreme karşı karışık kontrol sistemler", J.Eng.Mec. 117, 836-853 (İngilizce)
- (11) Yang, J.N., Long, F.X., Wong, D. (1988) "Non linear yapıların optimal kontrolü", J.App.Mech, ASME, 55, pp.931-938, (İngilizce)