

Yapı davranışının yarı-aktif yalıtım sistemleri kullanılarak bulanık mantık ile kontrolü

Recep Kadir PEKGÖKGÖZ* , Feridun ÇILI

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Yapıyı ve içindeki ekipmanları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilen yöntemlerden birisi, sismik taban yalıtım yöntemidir. Bu yöntem günümüze kadar pek çok yapıda uygulanmıştır. Bu yapıların, Northridge ve Kobe depremlerinde olduğu gibi yakın-fay nedeniyle oluşan büyük zemin hızlarına sahip depremler etkisinde yeterince koruma sağlayamayacağı endişesi, araştırmacıları düşündürmüştür. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla izolatörlere sönümleyiciler eklenmektedir. Bu çalışmada seçilen yapının dinamik davranışı, sismik yalıtım sistemine yarı-aktif sönümleyiciler eklenerek bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilmiştir. Üyelik fonksiyonları, genetik algoritma yöntemiyle belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları belirlenen kontrol sisteminin, yakın-fay etkisi gösteren depremlere karşı, üyelik fonksiyonları gelişigüzel seçilmiş kontrol sistemine göre daha iyi dinamik davranış sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Sismik taban yalıtımı, bulanık mantık yöntemi ile kontrol, genetik algoritma, yarı-aktif sönümleyici, akıllı yapılar.*

Fuzzy logic control of structural behavior using semi-active isolation systems

Abstract

Seismic base isolation is one of the most known methods developed to protect structures and equipments inside the structures against earthquakes. Until today, seismic base isolation methods are successfully applied to many structures. Consideration of near-fault, high-velocity, long-period seismic pulses, as were recorded in Northridge and Kobe earthquakes, made researchers to think that protection against such earthquakes can not be sufficient for structure with seismic base isolation. In order to reduce these effects, isolators with supplemental damping device are added to seismic isolators. In this study, dynamic behavior of a selected structure is controlled by fuzzy logic methods with additional semi-active hydraulic dampers to seismic base isolation system consisting of rubber bearing. The genetic algorithm is an optimization method that is adapted from the principle of living evaluation. This method has been widely used by researchers and has been successfully applied to various problems. The membership functions have an important role in the control by fuzzy logic method. The membership functions for fuzzy logic controller are optimized by using genetic algorithm operations. Fuzzy logic membership functions are determined by genetic algorithm method. As a result, it is understood that, for the protection of structures against earthquakes having near-fault effect characteristic, fuzzy logic controller with determined membership functions provides higher performance compared to fuzzy logic controller with random selected membership functions.

Keywords: *Seismic base isolation, fuzzy logic control, genetic algorithm, semi-active dampers, intelligent structures.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Recep Kadir PEKGÖKGÖZ. recepkadir@yahoo.com; Tel: (212) 293 1300/2281.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Deprem yükleri etkisi altında yapı davranışının yarı-aktif akışkanlı sönümleyiciler ve sismik taban yalıtım sistemleri kullanılarak bulanık mantık yöntemi ile kontrolü" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 11.05.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 01.06.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Yapı mühendisliğinin önemli bir amacı, deprem ve şiddetli rüzgar gibi büyük yüklerden dolayı yapılarda oluşan hasarın düzeyini kontrol altında tutmaktır. Özellikle deprem bölgelerinde yaşayan insanların hayatları ve bu bölgelerde bulunan yapılar ciddi tehdit altındadır. Bu kapsamda tüm tasarımcıların birinci önceliği, yapıların içerisinde yaşayan insanların hayatlarını ve yapıları korumaktır. Son yıllarda, yapılarda oluşacak hasarları azaltmak amacıyla, aktif kontrol sistemlerinin uygulanması fikri artarak popüler olmuştur (Soong, 1990). Aktif kontrol algoritmalarında, yapının dinamik davranışını kontrol edebilmek için karmaşık matematiksel denklemler kullanılmaktadır. İlk yapılan araştırmalarda ve aktif yapı kontrolünün gelişme sürecinde, mekanik ve elektrik kontrol sistemlerine ait kontrol algoritmalarının, inşaat mühendisliği problemlerine uyarlanması sonucu elde edilen kontrol algoritmaları kullanılmıştır (Soong, 1990). Ölçekli laboratuvar modelleri ve gerçek ölçekteki modeller üzerine yapılan deneyler bu doğrusal algoritmaların etkinliğini göstermiştir (Reinhorn vd., 1993).

Son yıllarda yapı kontrol mühendisliğinde, titreşimin kontrol edilmesi konusunda bulanık mantık yöntemi dikkatleri üzerine çekmiştir (Subramaniam vd., 1996; Symans ve Kelly, 1999). Bulanık mantık küme teorisi ile yapısal sistemlerin aktif kontrolü geniş bir şekilde araştırılmaktadır (Wang ve Lee, 2002). Bu çalışmalar; deprem hareketinin tahmini, yapının tanımlanması ve kontrol parametrelerinin belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Yakın zamanlarda bulanık mantık kontrol sistemlerinin, genetik algoritma yöntemi ya da yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak verimin artırılması önerilmiştir (Futura vd., 1994).

Genetik algoritma yöntemi araştırmacılar tarafından oldukça yaygın olarak kullanılmakta ve çok önemli problemlerde başarı ile uygulanmaktadır (Michalewicz, 1996). Genetik algoritma yöntemi, karmaşıklık ve süreksizlik içerebilen çözüm uzayında en uygun çözüm değerini bulma konusunda, geleneksel gradiyan esaslı araştırma tekniklerine göre oldukça etkilidir;

çünkü problemin çözümünde sadece değerlendirme fonksiyonu için bilgi gerekmektedir. Bu nedenle genetik algoritma yöntemiyle kontrol sistemi tasarımında ve optimizasyon konusunda oldukça esneklik sağlanmaktadır (Kim ve Ghaboussi 1998). Genetik algoritma yöntemi, optimum kontrol için kazancın belirlenmesinde (Kundu ve Kawata, 1996), yapay sinir ağları ile kontrol sisteminin ağırlık uyumunda (Lewis ve Fagg, 1992) ve bulanık mantık kontrol sisteminin ölçeklendirme parametrelerinin belirlenmesi (Kang-Min vd., 2004) gibi kontrol sistemi tasarımı alanında başarı ile uygulanmaktadır.

Sismik taban yalıtım sistemleri, yapıların titreşimini ve deprem esnasında oluşan hasarı azaltmak için yaygın olarak kullanılan başarılı yöntemlerden birisidir. Taban yalıtım sistemleri bugüne kadar pek çok yapıda uygulanmıştır (Kelly, 1996). Sismik taban yalıtımlı yapıların, Northridge ve Kobe depremleri kayıtlarında olduğu gibi, yakın-fay etkisinin neden olduğu büyük yük zemin hızına sahip depremler söz konusu olduğunda, yeterli koruma sağlayamayacağı endişesi, araştırmacıları düşündürmüştür (Johnson vd., 1998). Faya yakın bölgelerdeki yapılar için sismik taban yalıtımı projeleri hazırlanırken, sismik taban yalıtımı ile ilgili yönetmelikler, yalıtım seviyesinde çok büyük tasarım yerdeğiştirmeleri bırakmayı öngörmektedir (Kelly, 1999). Bu sakıncaları azaltmak için izolatörlere ek sönümleyici aygıtlar eklenmektedir (Asher vd., 1996). Taban yerdeğiştirmesi bu şekilde azaltılırken, kat ivmeleri ve katlar arası ötelenmeler, ek sönümleyicisiz taban yalıtım sistemlerine göre bir miktar artmaktadır.

Böyle durumlarda diğer çözüm yöntemi, ayarlanabilen sönüm sağlayan yarı-aktif sönümleyiciler kullanmaktır. Sönüm katsayısı ayarlanabilen yarı-aktif sönümleyicilerden oluşmuş karma yalıtım sistemleri ile kontrol kuvvetinin belirlenmiş bir sınır değeri için, sismik taban yalıtım sisteminin taban yerdeğiştirmesi kontrol edilmektedir. Bu çalışmada yakın-fay etkisinin sismik taban yalıtımlı yapılarda neden olduğu izolasyon seviyesindeki büyük yerdeğiştirmelerin, yarı-aktif sönümleyiciler ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak azaltılması amaçlanmıştır. Bu-

lanık mantık yönteminde önemli bir yer tutan, üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de, genetik algoritma yöntemidir. Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının sınırları yakın-fay etkisi özel-liği gösteren, Hyogo-Ken Nanbu (Kobe) depremine ait ivme kaydı kullanılarak genetik algoritma yöntemiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu şekilde elde edilen üyelik fonksiyonları ile oluşturulmuş bulanık mantık kontrol sistemi, farklı özellikteki depremlere ait ivme kayıtları kullanılarak denenmiştir.

Farklı sismik taban yalıtımlı sistemlerin irdelenmesi

Sismik taban yalıtımının, genel olarak elastik birinci titreşim periyodu, 1 s'den kısa olan küçük ve orta büyüklükteki ya da başka bir deyişle en fazla, 10~12 katlı binalar için uygun olduğu bilinmektedir (Komodromos, 2000). Elastik birinci titreşim periyodu 2 s'den uzun olan yüksek yapılar için, aktif, yarı-aktif ve pasif sismik kontrol sistemleri ve elastik birinci titreşim periyodu 1 s ile 2 s arasındaki yapılar için yukarıda sözü edilen sistemlerden birisi ya da karma sistemlerin kullanılması önerilmektedir.

Sismik taban yalıtımının ve yarı-aktif sönümleyicilerin etkinliğini inceleyebilmek için elastik birinci titreşim periyodu 0.50 s olan, beş katlı ve taşıyıcı sistemi düzenli bir betonarme bina seçilmiştir. Seçilen binaya ait, yapısal özellikler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Sabit tabanlı bir binaya ait özellikler

Malzeme	C 25/S 420
g (döş., kap., duv.) (sabit yük)	7.1 kN/m ²
q (Hareketli yük)	2.0 – 1.0 kN/m ²
h (kat yüksekliği)	3.0 m
Kiriş boyutları	30x60 cm
Kolon boyutları	50x50 cm
Döşeme kalınlığı	14 cm

Yapı, kütlelerin kat seviyelerinde toplandığı, dönme ve aksenal şekil değiştirmelerin önlenildiği seviyede dayanıma sahip, yalnız kütlelerin yatay doğrultuda hareket edebildiği çok serbest-

lik dereceli toplu kütleli sistem olarak modellenmektedir. Yapının sönüm matrisinin hesaplanmasında, sönümün sadece rijitlik matrisi ile orantılı olduğu varsayılmıştır. Seçilen yapı betonarme olduğundan, sönüm oranı $\zeta_{yap}=0.05$ olarak seçilmiştir.

Yapıya yerleştirilen, düşük sönümlü kauçuk izolatörler elastik birinci titreşim periyodu göz önüne alındığında $\zeta_{izo}=0.04$ sönüm oranı için doğrusal davranış göstermektedir (Johnson vd., 1998). İzolatörlerin C_0 sönüm katsayıları, bu oran dik-kate alınarak hesaplanmıştır. Sismik taban yalıtımlı yapıya ait özellikler Tablo 2'de özetlenmiştir.

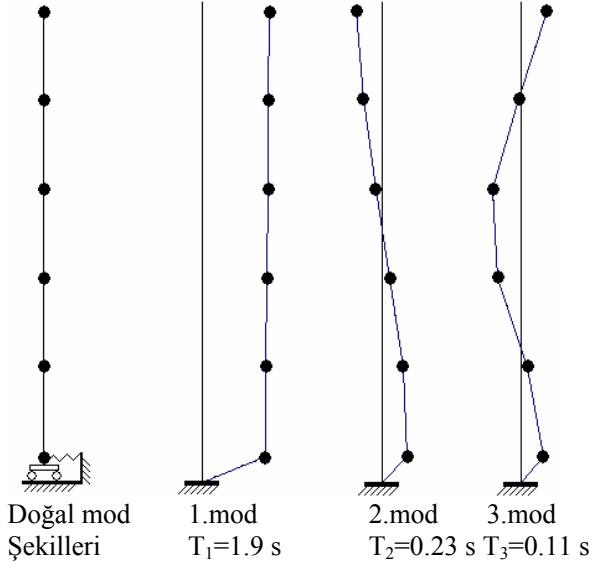
Tablo 2. İzolatörlü sistemin yapısal model parametreleri

Kat düzeyi	Kütle (ton)	Rijitlik (kN/m)	Sönüm katsayıları (kNs/m)
yalıtım	422.53	26976	655.95
1	422.53	1640000	13050
2	422.53	1640000	13050
3	422.53	1640000	13050
4	422.53	1640000	13050
5	372	1640000	13050

Sismik yalıtımlı yapıların dinamik davranışını daha iyi anlayabilmek için çalışmada kullanılan ve yapısal özellikleri Tablo 2'de verilen sismik yalıtımlı yapının ilk üç moduna ait mod şekilleri Şekil 1'de verilmiştir. Bir yapı sisteminin deprem yükleri altındaki elastik davranışını kontrol eden en önemli büyüklük, sistemin elastik birinci titreşim periyodu ya da bir başka deyişle elastik rijitliğidir (Çılı, 1976). Sismik yalıtımlı yapının birinci mod şekli incelendiğinde, üst yapının izolatör üzerinde rijit bir cisim gibi hareket ettiği görülür. Bu davranış üst yapının elastik bölgede kaldığını ve yapıda kalıcı hasarların oluştuğu plastik bölgeye geçilmediğini göstermektedir.

Yapıların Matlab/Simulink'te modellenmesi

Bilgisayar ile simülasyon terimi, incelenen sistemin bazı önemli karakteristik özelliklerinin belirlenerek, matematiksel modellerinin geliştirildiği bir tekniği ifade etmektedir.



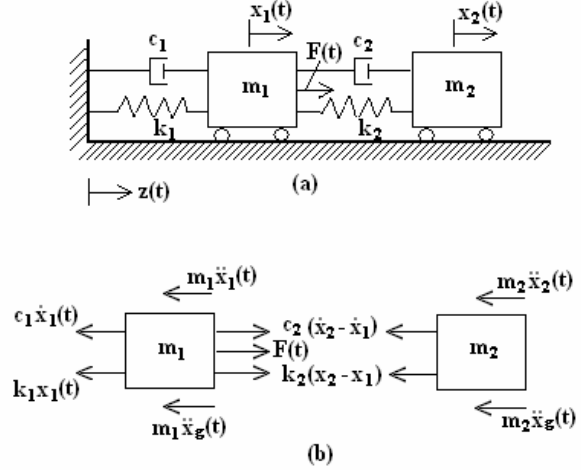
Şekil 1. Seçilen sismik taban yalıtımlı yapının doğal mod şekilleri

Genellikle bu işlem, zamana bağlı adi diferansiyel denklemler şeklindeki modellerin, bilgisayar simülasyonu ile sayısal olarak çözülmesini kapsamaktadır (Gardner, 2001).

İnşaat mühendisliği alanında karşılaşılan yapıların dinamik modelleri diferansiyel denklemlerle ifade edilmiştir. Bu diferansiyel denklemlerin çözümü için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada seçilen yapıların dinamik davranışları, MATLAB ve SIMULINK bilgisayar programlarından yararlanılarak incelenmiştir.

Matlab, teknik programlama için geliştirilmiş yüksek verimli bir bilgisayar programlama dilidir. Başlangıçta matris ve vektör işlemlerini yapmak için geliştirilmesine karşın, daha sonraları programlama özelliği de eklenmesiyle gelişmiş, bir program haline gelmiştir. Matlab bilgisayar programının kullanımı, bir çok kullanıcının tercih etmesi sonucu zaman içerisinde hızla artmıştır. Simulink, dinamik sistemlerin modellenmesi, simülasyonu ve incelenmesi için geliştirilmiş bir bilgisayar paket programıdır. Simulink bilgisayar programı kullanılarak, doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik modellerin, belirli bir zaman aralığında, kısa süreli zaman dilimleri için ya da iki zaman sisteminin karışımı ile oluşturulmuş melez zaman sistemleri için ince-

lenmesi mümkün olmaktadır. Simulink programının sağladığı grafik kullanım sayesinde, modeller kolaylıkla blok diyagramlar şeklinde oluşturulmaktadır; bu nedenle yapısal kontrol uygulamaları için ideal bir ortam sağlamaktadır (Symans ve Kelly, 1999).



Şekil 2. a) İki serbestlik dereceli yapı modeli
b) Serbest cisim diyagramı

Çok serbestlik dereceli yapılar için yapılan hesaplamalar, iki serbestlik dereceli yapılar için yapılan hesaplamalara benzer olduğundan burada sadece iki serbestlik dereceli yapıya ait hesaplamalar ve Simulink modeli gösterilmiştir. İki serbestlik dereceli yapı sisteminin, yapıya deprem ivmesi $\ddot{x}_g(t)$ ve dışarıdan uygulanan kontrol kuvveti $F(t)$ 'nin de etkimesi hali için hareket bağıntısı yazılmıştır. Şekil 2b'deki sağ ve soldaki kütlelere etkiyen kuvvetlerin dengesi aşağıda incelenmiştir. Şekil 2b'deki m_2 kütlelerinin dengesinden $\ddot{x}_2(t)$,

$$-m_2 \ddot{x}_2(t) - m_2 \ddot{x}_g(t) - k_2 [x_2(t) - x_1(t)] + c_2 [\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)] = 0 \quad (1)$$

$$\ddot{x}_2(t) = -\frac{k_2}{m_2} [x_2(t) - x_1(t)] +$$

$$-\frac{c_2}{m_2} [\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)] - \ddot{x}_g(t) \quad (2)$$

ve m_1 kütlelerinin dengesinden $\ddot{x}_1(t)$,

$$F(t) + k_2[x_2(t) - x_1(t)] + c_2[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)] = m_1\ddot{x}_1(t) + k_1x_1(t) + c_1\dot{x}_1(t) + m_1\ddot{x}_g(t) \quad (3)$$

$$\ddot{x}_1(t) = -\frac{k_1}{m_1}x_1(t) - \frac{c_1}{m_1}\dot{x}_1(t) + \frac{k_2}{m_1}[x_2(t) - x_1(t)] + \frac{c_2}{m_1}[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)] + \frac{F(t)}{m_1} - \ddot{x}_g(t) \quad (4)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. 1, 2, 3, ve 4 bağıntılarından yararlanılarak iki serbestlik dereceli yapının dinamik modeli, matlab ve simulink bilgisayar programları kullanılarak, Şekil 3'te gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan yapıların simülasyon modelleri, yukarıda açıklanan iki serbestlik dereceli yapılarda olduğu gibi benzer adımlar takip edilerek matlab/simulink'de oluşturulmuştur.

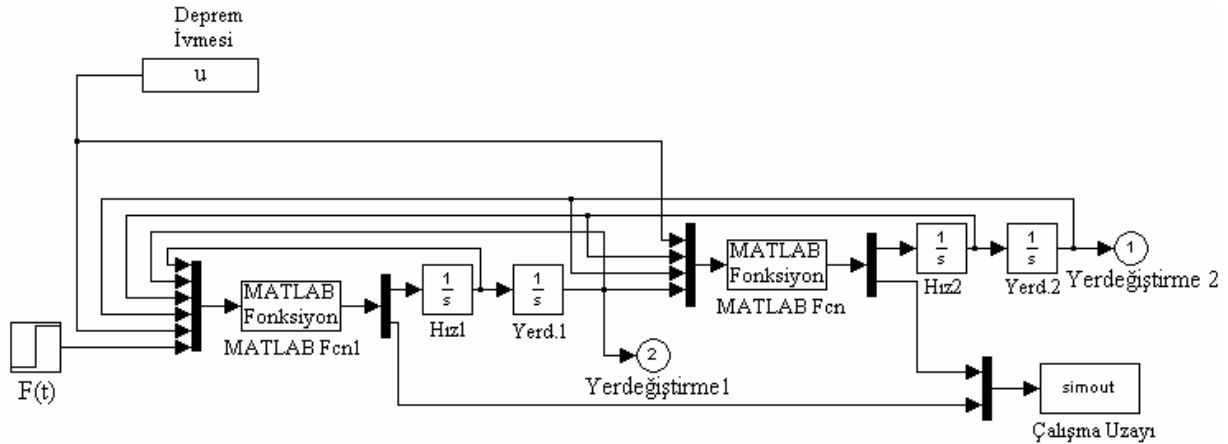
Tablo 2'de yapısal özellikleri verilen sismik taban yalıtımlı yapıya ait simulink programında oluşturulmuş simülasyon modeli Şekil 4'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan deprem ivmesi kayıtlarına ait yer ivmesi değerleri bir Matlab programı dosyasına kaydedilmiştir. Model çalıştırıldığında, bu veriler program tarafından çalıştırılarak hafızada tutulmaktadır. Sismik tabanlı yapıya ait yapısal değerler ve hesaplamalar, matlab fonksiyonu olarak adlandırılan bloklar tarafından değerlendirilmektedir. Dinamik analiz, daha önceden belirlenmiş bir zaman dilimi

için gerçekleştirilmiştir. Bu zaman dilimi deprem kaydının uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Dinamik analiz sonuçları, grafikler yardımıyla programın çalışmasıyla eş zamanlı olarak izlenebilmektedir.

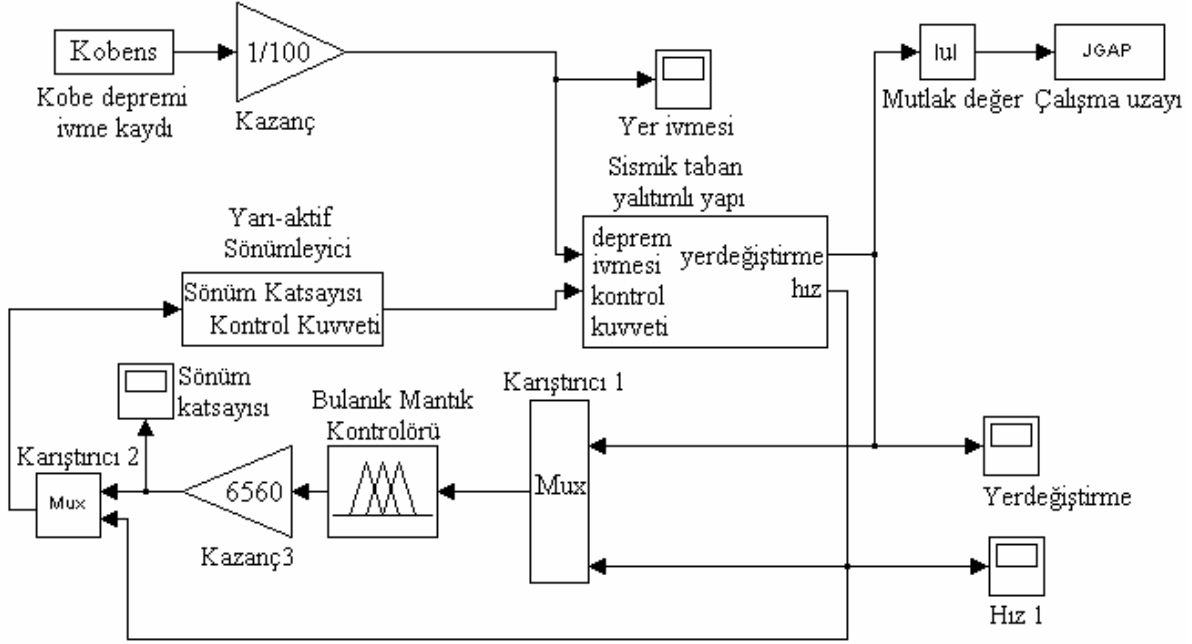
Şekil 4'te simulink programında oluşturulan model herhangi bir depreme ait ivme kaydı için çalıştırıldığında, sismik taban yalıtımlı yapının dinamik davranışı sonucu, izolatör seviyesine ait hız ve yerdeğiştirme değerleri hesaplanmaktadır. İzolatörlere dışarıdan eklenen ve dinamik özellikleri ayarlanabilen sönümleyiciye gönderilecek sönüm katsayısı, hesaplanan, bu değerlere bağlı olarak, bulanık mantık kontrol sistemi tarafından belirlenmektedir. Belirlenen sönüm katsayısı Şekil 4'te "yarı-aktif sönümleyici" olarak gösterilmiş blok tarafından, kontrol kuvvetine dönüştürülerek yapıya uygulanmıştır. Bu şekilde model deprem süresince çalıştırılarak, sismik taban yalıtımlı yapının davranışı kontrol edilmiştir.

Dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları

Çalışmada kullanılan deprem kayıtları, sismik taban yalıtımlı yapıların tasarım gereksinimleri düşünüülerek, karakteristik zemin hareketlerinin geniş bir bölümünü temsil edecek şekilde seçilmiştir. Depremlere ait bilgiler (Naeim ve Kelly, 1999) kaynak kitapla birlikte verilen CD ve <http://peer.berkeley.edu> internet sitesinden elde edilmiştir. Bu depremlerin özellikleri, Housner Şiddetleri ($SI_{0,20}$) dahil Tablo 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. İki serbestlik dereceli yapının matlab/simulink'de oluşturulmuş simülasyon modeli



Şekil 4. Dinamik davranışı, bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilen sismik taban yalıtımlı yapı

Tablo 3'te verilen deprem kayıtları, A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yüzeysel dalgası büyüklüğü $MS \geq 7$ olan depremler A grubunda, $MS < 7$ olan orta büyüklükteki depremler B grubunda değerlendirilmiştir. Yakın-fay etkisini temsil ettiği düşünülen büyük zemin hızlarına sahip depremler, deprem kaydının adının önüne (*) işareti konularak diğer depremlerden ayrılmıştır.

Bulanık mantık kümelerinin belirlenmesi

Sismik taban yalıtımlı yapıya eklenen ve özellikleri ayarlanabilen sönümleyiciyi kontrol eden bulanık mantık kontrol sistemi, Matlab bilgisayar programının bir alt bölümü olan bulanık mantık alet kutusu kullanılarak oluşturulmuştur. Kontrol sisteminin bütünü, bir sistem modeli olarak ele alınmıştır. Sistem esas olarak, iki giriş üyelik fonksiyonu ve bir adet çıkış üyelik fonksiyonundan oluşmuştur. Giriş üyelik fonksiyonları, sismik taban yalıtımlı yapının izolatör düzeyindeki yerdeğiştirme ve hız değerlerinden oluşturulmuştur. Çıkış üyelik fonksiyonu ise, dinamik özellikleri ayarlanılan sönümleyicinin sönüm katsayısı değeri olarak belirlenmiştir. Hız ve yer değıştirme olarak belirlenen giriş

üyelik fonksiyonları, 2 tane trapez ve 7 tane üçgen olmak üzere toplam 9 adet kümeden oluşturulmuştur. Sönüm katsayısı olarak belirlenen çıkış üyelik fonksiyonu ise 5 tane üçgen tip üyelik fonksiyonundan seçilmiştir. Bulanık mantık çıkarım sistemi olarak, Mamdani yöntemi kullanılmıştır (Mamdani ve Assilian, 1981). Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları arasında 81 adet kural tanımlanmıştır (Tablo 4). Çıkış üyelik fonksiyonu, ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmıştır.

Kontrol kurallarının belirlenmesi

Bulanık mantık kontrolü için üyelik fonksiyonlarının ve EGER-İSE (IF-THEN) kurallarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, EGER-İSE kuralları iki adet ön bölüm ve bir adet sonuç bölümünden oluşturulmuştur. Bu parametreler ön bölüm için izolatör düzeyinde yere göre göreceli yerdeğiştirme ve hız, sonuç bölümü ise izolatör düzeyine yerleştirilen sönümleyicinin sönüm katsayısıdır. Kurallar, aşağıda verilen mantık çerçevesinde düşünülerek belirlenmiştir:

Üst yapı, başlangıç konumunda durmakta ise rüzgar vb. yük durumunda yapının en az etkilenmesi

Tablo 3. Çalışmadaki dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri

Deprem sınıfı	Deprem İsmi	İstasyon	Tarihi	Bileşeni	Büyüklüğü M_S	SI $\xi=0.2(\text{cm})$	En Büyük Zemin İvmesi \ddot{x} /(g)	En Büyük Zemin Hızı (cm/s)
A	*Kocaeli (Gölcük)	Yarımca Petkim	17.08.1999	KG	7.8	101.66	0.328	88.7
	*Landers	Lucerno Valley	28.06.1992	DB	7.4	78.83	0.703	25.72
	*Hyogo-Ken Nanbu	Kobe City (JMA)	16.01.1995	KG	7.2	275.18	0.830	90.84
	*Cape Mendocino	Petrolia	25.04.1992	DB	7.1	232.33	0.662	89.45
	*Loma Prieta	Lexington Dam	17.10.1989	DB	7.1	188.49	0.409	94.98
B	*Imperial Valley	Array #6	15.10.1979	K230D	6.9	136.74	0.436	108.71
	*Erzincan	95 Erzincan	13.03.1992	KG	6.8	181.23	0.515	83.9
	*Northridge	Sylmar,	17.01.1994	DB	6.7	173.37	0.604	76.94

için başlangıç rijitliği büyük olmalıdır. Bu durum büyük sönüm sağlanılarak oluşturulabilir.

- Üst yapı başlangıç konumundan uzaklaşmaya başladığında, izolasyon sisteminin hızı, yerdeğiştirmeye göre ters ise yapı yavaşlamaktadır ve bir süre sonra durup geriye doğru harekete başlayacaktır. Bu durumda sönüm-leyicide düşük sönüm katsayısı oluşturulmalıdır. Böylece oluşan küçük sönüm kuvveti, üst yapı başlangıç konumuna dönerken en küçük direnci gösterir.
- Üst yapı başlangıç konumundan uzaklaşırken, izolasyon sisteminin hız değerinin işareti, yerdeğiştirmenin işaretiyle aynı ise yapı hızlanmaktadır. Yapıyı yavaşlatmak için sönüm katsayısı artırılmalıdır. Böylece hareket zorlaştırılmakta ve yapının yavaşlatılması sağlanmaktadır. Sönüm gerek artırılırken gerekse azaltılırken sönüm katsayısı kademe olarak değiştirilmektedir

Aşağıda bu kurallara ait örnekler verilmektedir:

- Eğer yer değiştirme, olumsuz (negatif) büyük ve hız olumsuz (negatif) büyük ise sönüm katsayısı, çok büyüktür (Eğer $x < NB$ ve $\dot{x} < NB$ ise $C_d > CB$).
- Eğer yer değiştirme, olumlu (pozitif) büyük ve hız sıfır ise sönüm katsayısı, çok büyüktür (Eğer $x > PB$ ve $\dot{x} > SF$ ise $C_d > CB$).

Çalışmada bu şekilde, 81 adet kural tanımlanmış ve Tablo 4'te özetlenmiştir.

Akışkanlığı kontrol edilebilen sıvılı sönümleyiciler

Sismik yalıtım sistemiyle aynı düzeye yerleştirilen yarı-aktif sönümleyicinin sağladığı doğrusal olmayan sönüm kuvveti, sönümleyicinin yere göre bulunduğu konumun göreceli hız değerinin 'n' kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir:

$$F_d = C_d |\dot{x}|^n \text{Sgn}(\dot{x}) \quad (5)$$

$$C_d = f(x, \dot{x}) \quad (6)$$

Burada F_d sönüm kuvvetini, C_d , 6 bağıntısıyla verildiği şekilde yer değiştirme ve hıza bağlı

olarak hesaplanan sönüm katsayısını, \dot{x} görece- li hız değerini ve n , 0.5 ile 2 arasında değişen bir katsayıyı ifade etmektedir. Çalışmada “Nonlinear Sönümleyicili Pasif Yapı” NLSPY’da n değeri, yakın fay etkisinin neden olduğu, yüksek hıza sahip darbeleri azaltmakta etkili olduğu için 0.5 olarak alınmıştır. Bulanık mantıkla kontrol edilen “Bulanık Mantık Kontrol Sistemine Genetik Algoritma Uygulanmamış” BMKGAUYM, “Bulanık Mantık Kontrol Sistemine Genetik Algoritma Uygulanmış” BMKGAUY’lar da ve “Lineer Sönümleyicili Pasif Yapı” LSPY’da n ’nin 1’e eşit olduğu doğrusal sönümleyici kullanılmıştır. Bu sönümleyici vasıtası ile yapıya uygulanan kuvvetin bir parametresi de yapının hızına bağlı olduğundan, yarı-aktif ayarlanabilen sönümleyiciler olarak adlandırılmaktadır. Bu sönümleyiciler ile 0.40’a varan sönüm oranları elde edilebilmektedir. Yüksek sönüm kapasiteli böyle sönümleyiciler köprü ve binalarda kullanılmaktadır (Constantinou vd., 1993).

Genetik algoritma yöntemi ile üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu

Bir nesildeki birey sayısı popülasyon büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Popülasyon büyüklüğünün az olması çeşitliliği azaltacağı gibi, fazla olması da bilgisayardaki çalışma zamanını artırmaktadır. Çalışmada nesil sayısı ve bir nesildeki birey sayısı 40 olarak seçilmiştir. Sismik yalıtımlı yapının izolasyon düzeyindeki yerdeğiştirilmesi, değerlendirme fonksiyonu olarak seçilmiştir. Ge-

netik algoritma yöntemi ile giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının parametreleri değiştirilerek izolasyon seviyesindeki yerdeğiştirmenin en küçük değeri bulunmaya çalışılmıştır.

Genetik Algoritma işlemleri önceden belirlenen nesil sayısı 40’a kadar tekrarlandığında, her bir nesilde iyi bireyler seçilip başarısız bireyler elendiğinden belirli bir nesil sayısından sonra değerlendirme fonksiyonunun değişmediği görülmektedir. Bu işlemler sonucunda, bulanık mantık kontrol sistemine ait yeni giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları bulunmuştur. Giriş yerdeğiştirme üyelik fonksiyonuna ait şekil, Şekil 5’te verilmiştir.

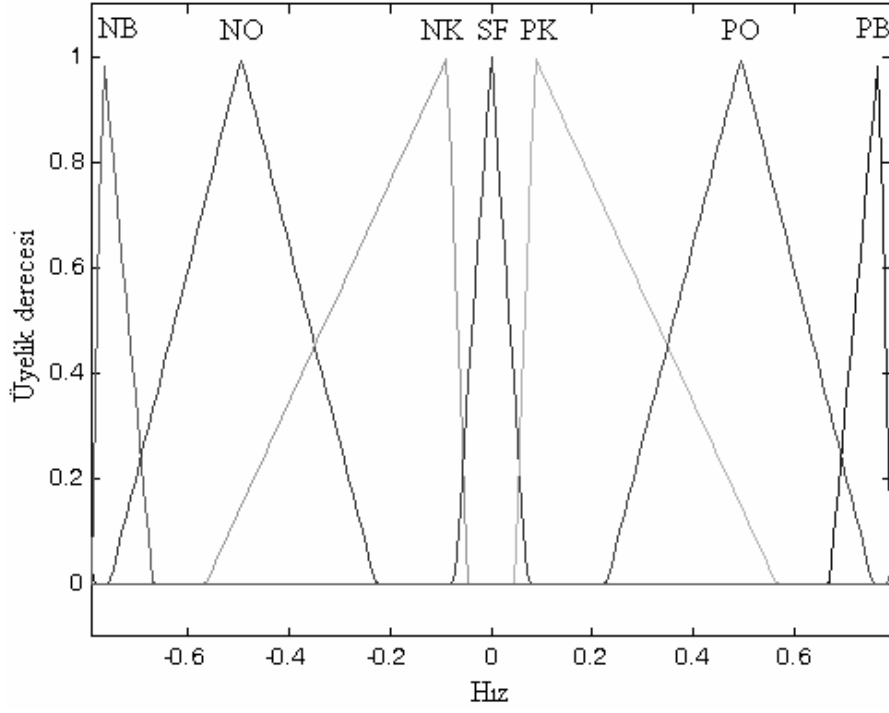
Değerlendirme

Çalışmada kullanılan ve dinamik davranışları birbirleriyle karşılaştırılan yapıların isimleri, bir çok kez tekrarlandığından, aşağıda verilen kısaltmalar ile adlandırılmıştır.

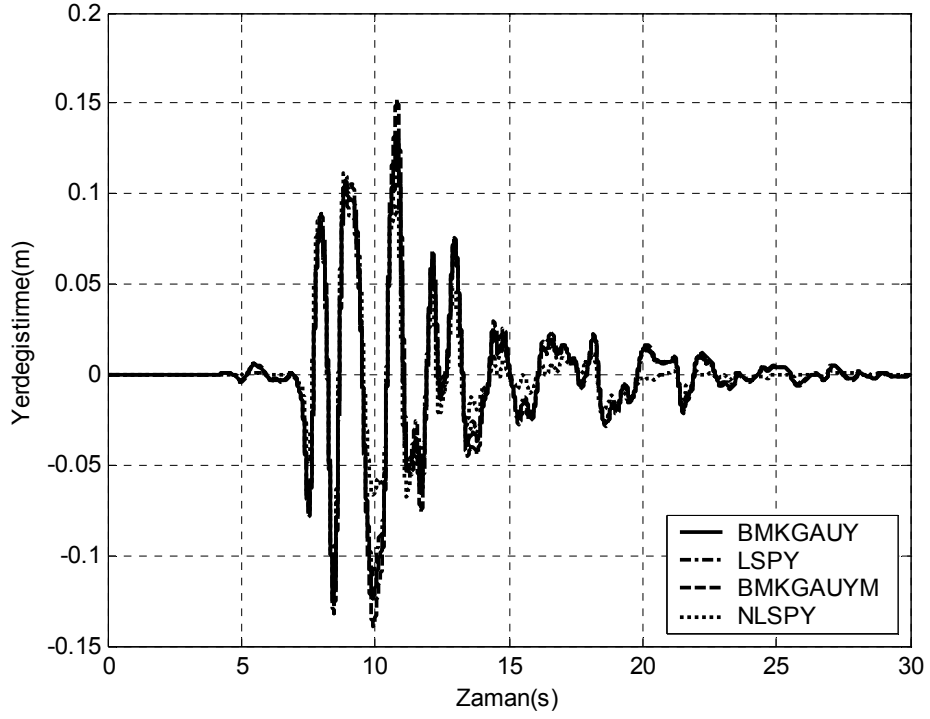
- LSPY ile kauçuk yalıtım sistemi ve ek doğrusal pasif sönümleyicili yapıyı (5 bağıntısında $n=1$)
- NLSPY ile kauçuk yalıtım sistemi ile doğrusal olmayan yapıyı (5 bağıntısında $n=0.5$)
- BMKGAUYM ile kauçuk yalıtım sistemi ve ilave yarı-aktif doğrusal sönümleyicinin bulanık mantık ile kontrol edildiği, Genetik Algoritma yönteminin uygulanmadığı yapıyı
- BMKGAUY ile kauçuk yalıtım sistemi ve ilave yarı-aktif doğrusal sönümleyicinin

Tablo 4. Bulanık mantık kuralları

		Yerdeğiştirme									
		C_d	NÇB	NB	NO	NK	SF	PK	PO	PB	PÇB
H 1 z	PÇB	B	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB
	PB	O	B	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB
	PO	K	O	B	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB
	PK	SF	K	O	B	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB
	SF	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB
	NK	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	B	O	K	SF
	NO	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	B	O	K
	NB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	B	O
	NÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	ÇB	B



Şekil 5. Normalize edilmiş giriş hız üyelik fonksiyonunun (V/V_{max}), Genetik Algoritma uygulanmış durumu



Şekil 6. Kobe deprem hareketi etkisindeki yapılarda oluşan yer değiştirme miktarının karşılaştırılması

bulanık mantık ile kontrol edildiği, Genetik Algoritma yönteminin uygulandığı yapı ifade edilmiştir.

Genetik algoritma ile ayarlanmış üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulmuş, bulanık mantık kontrol sistemi ve bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilen sismik taban yalıtımlı yapıya ait simülasyon modeli kullanılarak, Tablo 3’de verilen deprem kayıtları için, (LSPY), (NLSPY), (BMKGAUYM) ve (BMKGAUY) durumları için incelenmiştir. Bu inceleme sonucu elde edilen grafiklerden, yalnız Kobe depremi ivme kaydı kullanılarak elde edilmiş yukarıda bahsedilen yapılara ait yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 6’da verilmiştir. Tablo 5, elde edilen grafiklerin incelenmesi sonucu ortaya çıkan bilgilerin değerlendirilmesi ile oluşturulmuştur.

Tablo 5’te, izolasyon düzeyinde oluşan en büyük taban yer değiştirme değeri, bir izolatöre ait toplam kauçuk tabaka kalınlığı ile, taban kesme kuvveti ve sönümleyicilerde oluşan kontrol kuvvetleri, yapının toplam ağırlığı ile ve en büyük katlar arası göreceli ötelenme miktarı, kat yüksekliğine bölünerek boyutsuz hale çevrilmiştir. En üst katta oluşan, en büyük ivme değeri yerçekimi ivmesi cinsinden verilmiştir.

Sonuçlar

Tablo 5’in incelenmesi sonucu aşağıda verilen sonuçlara ulaşılabılır;

- Genetik algoritma yönteminin uygulanması sonucu, BMKGAUYM yapı ile BMKGAUY yapı arasında, izolasyon seviyesindeki taban yerdeğiştirmesi değeri arasında, %6-%13 oranında değişen bir azalma sağlanmıştır. Bu oranın, yakın-fay etkisinin olduğu deprem kayıtlarında ~%11 oranına ulaştığı gözlenmiştir. Bu çalışmanın amacı yakın-fay etkisinin, izolasyon seviyesinde oluşturduğu büyük yerdeğiştirmeleri azaltmak olduğu için, bu sonuç oldukça önemlidir. Genetik Algoritma yönteminin uygulanması, yapıya ek bir sistem ve ek bir maliyet gerektirmemektedir. Mevcut sistem
- NLSPY ve LSPY yapıda, izolatör seviyesindeki taban yedeğiştirmesinde, BMKGAUYM ve BMKGAUY yapıya göre sağlanan azalmaya karşılık kontrol kuvveti miktarında, NLSPY yapıda %6-%100 ve LSPY yapıda %16-%30 oranlarında büyüme meydana gelmiştir. BMKGAUYM yapıya göre BMKGAUY yapıda kontrol kuvveti miktarında, %7-%18 oranında bir artma oluşmuştur. Kontrol kuvveti miktarının büyümesi, eklenen sönümleyicinin boyutlarının büyümesine neden olacağından maliyetin artmasına neden olmaktadır. Kontrol kuvvetinin büyük olması, güçlendirilecek eski yapılarda büyük kuvvetlerin aktarılmasında yaşanılacak güçlüklerden dolayı, bu tür yapılarda istenilmeyen bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu tip yapılarda, BMKGAUY yapı tercih edilmelidir.
- LSPY yapıyla BMKGAUY yapı arasındaki kontrol kuvveti miktarı arasındaki fark (~%15) olarak gerçekleşmiştir. Bu çalışmada, 20x20 m boyutlarında 5 katlı küçük bir yapı kullanılmıştır. Yapının boyutu ve kat adedi arttıkça bu farktan elde edilecek kuvvet miktarındaki azalmadan sağlanılacak sönümleyici boyutları önemli bir duruma gelecektir. Bu sonuca göre faya yakın bölgelerde yapılacak büyük yapılarda BMKGAUY yapı tercih edilmelidir.
- BMKGAUYM yapıda sönüm oranının, %2-%40 arasında değiştiği kabul edilmiştir. Genetik Algoritmayla yapılan optimizasyon işlemleri sonucunda sönüm oranları %13-%40 gibi daha yüksek değerlere çıktığı ve yapıya iletilen enerjinin daha büyük bir oranının bu yolla tüketildiği görülmüştür
- LSPY, NLSPY, BMKGAUYM ve BMKGAUY yapılarda, en üst katta oluşan ivme değerleri bakımından karşılaştırıldıklarında, aralarındaki farkın ihmal edilebilecek derecede küçük olduğu görülmüştür. Bu açıdan, bu yapıların tümü başarılı bulunmuştur.

Tablo 5. Kullanılan deprem kayıtları için dinamik davranışları karşılaştırılan yapıların tepkileri

Deprem ismi	Yapı tipi	İzolasyon sev. Yerdeğiş. Miktarı / Top. kauçuk tab. kalınlığı	Taban kesme kuvveti miktarı / Yapı ağırlığı	Kontrol kuvveti miktarı / Yapı ağırlığı	En üst katta ol. en büyük ivme değeri (g)	En büyük katlar arası ötelenme / Kat yük.x10 ⁻⁴
Kocaeli PGA= 0.328 g	LSPY	0.56 (%16)	0.57	0.126 (%18)	0.35	1.42
	NLSPY	0.35 (%48)	0.48	0.131 (%22)	0.253	1.73
	BMKGAUYM	0.67	0.61	0.107	0.366	1.5
	BMKGAUY	0.61 (%8)	0.59	0.117 (%9)	0.357	1.46
Landers (Lucerno Valley) PGA=0.703g	LSPY	0.25 (%15)	0.35	0.072 (%26)	0.73	1.24
	NLSPY	0.12 (%60)	0.48	0.12 (%100)	0.79	2.15
	BMKGAUYM	0.29	0.33	0.057	0.695	1.08
	BMKGAUY	0.27 (%8)	0.34	0.064 (%12)	0.715	1.16
Hyogo-Ken Nan. (Kobe City) PGA=0.830g	LSPY	0.58 (%24)	0.96	0.302 (%30)	0.8	3.0
	NLSPY	0.47 (%39)	0.91	0.263 (%14)	0.786	2.53
	BMKGAUYM	0.76	0.87	0.231	0.876	2.66
	BMKGAUY	0.67 (%13)	0.91	0.266 (%15)	0.841	2.78
Cape Mendocino (Patrolia) PGA=0.662g	LSPY	0.93 (%12)	1.1	0.269 (%23)	0.835	3.22
	NLSPY	0.81 (%24)	1.02	0.242 (%11)	0.835	2.91
	BMKGAUYM	1.06	1.09	0.218	0.884	3.05
	BMKGAUY	1.0 (%6)	1.08	0.242 (%11)	0.864	3.08
Loma Priate (Lexington Dam) PGA=0.409g	LSPY	0.8 (%10)	0.94	0.226 (%16)	0.55	2.51
	NLSPY	0.63 (%30)	0.87	0.207 (%6)	0.56	2.38
	BMKGAUYM	0.89	0.92	0.195	0.56	2.38
	BMKGAUY	0.85 (%5)	0.92	0.212 (%9)	0.553	2.42
Imperial Valley PGA=0.436g	LSPY	0.83 (%18)	0.76	0.198 (%19)	0.273	2.0
	NLSPY	0.6 (%41)	0.68	0.188 (%13)	0.394	2.13
	BMKGAUYM	1.02	0.87	0.166	0.242	2
	BMKGAUY	0.92 (%9)	0.81	0.181 (%9)	0.258	1.92
Erzincan PGA=0.515g	LSPY	0.97 (%14)	1.04	0.211 (%20)	0.511	2.73
	NLSPY	0.88 (%22)	1.03	0.198 (%13)	0.405	2.66
	BMKGAUYM	1.13	1.07	0.176	0.524	2.73
	BMKGAUY	1.05 (%7)	1.04	0.189 (%7)	0.517	2.72
Northridge (Sylmar) PGA=0.604g	LSPY	0.63 (%21)	0.79	0.212 (%18)	0.581	2.33
	NLSPY	0.55 (%31)	0.77	0.198 (%10)	0.515	2.13
	BMKGAUYM	0.8	0.8	0.18	0.61	2.3
	BMKGAUY	0.71 (%11)	0.8	0.192 (%7)	0.60	2.3

Kaynaklar

- Asher, J.W., Young R.P. ve Ewing, R.D., (1996). Seismic isolation design of the San Bernardino Country Medical Center replacement project, *Journal of Structural Design Of Tall Buildings*, **5**, 265-279.
- Çılı, F., (1976). Yüksek olmayan yapıların deprem yükleri altındaki elastik olmayan davranışı, *İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi*, İstanbul.
- Constantinou, M.C., Symans, M.D., Tsopelas, P., ve Taylor, D.P., (1993). Fluid viscous dampers in applications of seismic energy dissipation and seismic isolation, *Proc. Of Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Control*, San Francisco, **2**, 581-591.
- Futura, H., Okunan, H., Kaneyoshi, M. ve Tanaka, H., (1994). Application of genetic algorithms to self-tuning of fuzzy active control for structural vibration, *In First World Conference on Structural Control*, Los Angeles, CA, WP1.3-WP1.12.
- Gardner, J.F., (2001). Simulations of machines using Matlab and Simulink, *Wadsworth Group*.
- Johnson, E.A., Ramallo, J.C., Spencer, B.F. ve Sain, M.K., (1998). Intelligent Base Isolation Systems, *Proc., 2nd World Conf. on Struct. Control*, Kyoto, Japan, **1**, 367-377.
- Kang-Min Choi., Sang-Won Cho., Hyung-JO Jung., ve In-Won Lee., (2004). Semi-active fuzzy control for seismic response reduction using magnetorheological dampers, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **33**, 723-736.
- Kelly, J.M., (1996). Earthquake resistant design with rubber, *2nd edition, Springer-Verlag*, London.
- Kelly, J.M., (1999). The role of damping in seismic isolation, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **28**, 3-20.
- Kim, Y.-J. ve Ghaboussi, J., (1998). A new genetic algorithm based control method using state space reconstruction, *2 nd World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan, 2007-2014.
- Komodromos, P., (2000). Seismic isolation for earthquake resistant structures, *WIT Pres.*, London.
- Kundu, S. ve Kawata, S., (1996). Genetic algorithms for optimal feedback control design, *Engineering Application Of Artificial Intelligence*, **9/4**, 403-411.
- Lewis, M.A. ve Fagg, A.H., (1992). Genetic programming approach to the construction of a neural net-work for control of a walking robot, *Proc. IEEE Inter. Conf. Robot. Automa.*, 2618-2623.
- Mamdani, E.H. & Assilian, S., (1981). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. In *Fuzzy Reasoning and Its Applications*, E. H. Mamdani and B.R. Gaines, eds., Academic Pres, London.
- Michalewicz., (1996). Genetic algorithms + data-structures = evolution program, *Springer*, Berlin.
- Naeim, F., and Kelly, J.M., (1999). Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practice, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Reinhorn, A.M., Soong, T.T., Riley, M.A. and Lin, R.C., (1993). Full scale implementation of active control: II. Installation and performance, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **119**, 6, 1935-1960.
- Soong, T.T., (1990). Active structural control: Theory and practice, *Logman Scientific and Technical, Essex*, England.
- Subramaniam, R.S., Reinhorn, A.M., Riley, M.A., and Nagarajaiah, S., (1996). Hybrid control of structures using fuzzy logic, *Microcomputers Civil Engineering*, **11**, 1-17
- Symans, M.D., and Kelly, S.W., (1999). Fuzzy logic control of bridge structures using intelligent semi-active isolation systems, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **28**, 1, 37-60.
- Wang, A.P., Lee, C.D., (2002). Fuzzy sliding mode control for a building structure based on genetic algorithms, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **31**, 881-895.

<http://peer.berkeley.edu>, (2005)