



HİBRİD KONTROLLÜ TABAN İZOLASYONLU SİSTEMLERİN OPTİMİZASYONU

Serdar ULUSOY

Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
serdar.ulusoym@tau.edu.tr

(Geliş/Received: 17.04.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.07.2020)

ÖZ: Bu çalışmada, yüksek sönümlü kauçuk mesnet modeline aktif kontrol sistemi uygulanarak, hibrid kontrollü taban izolasyonlu sistemlerin darbe tipi titreşim içeren yakın fay etkisi altında davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda, yapı tepkimelerindeki değişimin daha iyi irdelenmesi için hibrid kontrollü taban izolasyonlu yapı modelinin etkin titreşim periyodu sırasıyla 2.0, 3.0 ve 4.0 sn. ve her bir periyot için etkin sönüm oranı %20 ve %30 olarak alınmıştır. Taban izolasyonunun bulunduğu kata aktif tendonlar yerleştirilerek, deprem kaydının her adımı için tendonlara uygulanacak kontrol kuvveti ve oluşan yanal ötelemeler hesaplanmıştır. Orantı-İntegral-Türev (PID) kontrolcüsünün kontrol kuvvetine, yapının toplam kütesine bağlı olarak sınır konulmuştur. Kontrolcünün parametreleri ise öğretim-öğrenme tabanlı algoritma (TLBO) ile belirlenmiştir. Sonuç olarak hibrid kontrollü taban izolasyonlu yapı modellerinde yanal ötelemelerin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Taban izolasyon, Aktif kontrol, Öğretim-öğrenme tabanlı algoritma*

Optimization of Base Isolated Hybrid Control Systems

ABSTRACT: In this study, active control system is used for the high damping rubber bearing model and the behavior of base isolated hybrid control systems under the near-fault ground motions is investigated. In this context, in order to examine the change of the structure reactions, the effective vibration period and the effective damping rate for each period of base isolated hybrid control systems were taken as 2.0, 3.0 and 4.0 second and 20% and 30%, respectively. By placing the active tendons on the base of structures, the control forces and lateral displacements were calculated for each step of the earthquake record. The control force of the proportional-integral-derivative (PID) controller is limited depending on the total mass of the structure. The parameters of the controller were determined by teaching-learning based algorithm (TLBO). As a result, the lateral displacement of base isolated hybrid control systems is significantly reduced.

Key Words: *Base isolation, Active control, Teaching- Learning Based Algorithm.*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Stratejik önemi yüksek olan hastane vb. yapılarda, geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı yerini taban izolasyonlu depreme dayanıklı yapı tasarımına bırakmıştır. Bu değişikliğin en önemli nedeni ise deprem esnasında ve sonrasında yapıların işlevlerini sürdürebilmeleri ve titreşime hassas cihazlarda maddi hasarların oluşmamasının istenmesidir. Ancak Northridge gibi yakın fay deprem hareketine maruz kalan sismik izolatörlü yapıların tabanında yüksek yanal ötelemeler meydana gelmiştir (Jangid ve Kelly, 2001). Oluşan bu yüksek yanal ötelemenin yıkıcı etkilerini ortadan kaldırmak için ise yapının tabanında ek sönümleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sönümleyiciler pasif (viskoz sönümleyicisi), yarı aktif (manyetik rezonans sönümleyici) uygulandığı gibi hibrid kontrol (taban izolasyonlu sisteme aktif

kontrol sisteminin eklenmesiyle oluşan sistem) olarak ta uygulanmaktadır (Applied Technology Council, 1993). Pasif, semi aktif ve aktif sistemlerin uygulandığı birçok çalışma literatürde mevcuttur. Yakın fay deprem etkisi altındaki sağlık merkezinin güçlendirilmesi için yüksek sönümlü kauçuk mesnetleri ile birlikte pasif viskoz sönümleyicilerin kullanılması (Asher ve diğ., 1996), sürtünmeli sarkaç mesnet prensibine göre çalışan taban izolasyonlu yapıya sürtünmeye bağlı olarak değişkenlik gösteren sürtünmeli sönümleyiciler eklenmesi (Ribakov, 2010), üç farklı izolasyon sisteminin (elastomerik yay sönümleyiciyle paralel kayıcı sürtünmeli mesnetin kullanımı, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetle paralel kayıcı sürtünmeli mesnetin kullanımı ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetle paralel kayıcı sürtünmeli mesnetin kullanımı) betonarme yapıya uygulanması (Cancellara ve Angelis, 2016) gibi taban kesme kuvvetini ve taban izolasyonundaki ötelemelerin azaltıldığı pratik alanda uygulamalar pasif sistemlere örnek verilebilir. Semi aktif sistemlere (akıllı sistemlere) ise daha çok deneysel yapılan bazı çalışmalar, sürtünmeli sarkaç mesnetli çerçeve sistemin semi aktif hidrolik sönümleyiciler ile kombine edilmesi (Madden ve diğ., 2002), manyetik rezonans sönümleyicileri üç farklı bulanık mantık kontrolcüsüyle yer değiştirme, hız ve ivmenin geri beslendiği, yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapı üzerindeki uygulama (Lin ve diğ., 2006) ve manyetik alan uygulaması ile yanal rijitliği kontrol edilebilir bir sisteme dönüştüğü manyetik rezonans elastomer mesnetin kayma modülü farklı iki materyal ile tasarlanması (Li ve diğ., 2013) örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmalar ile sistemlerin yakın ve uzak fay etkisi altındaki davranışları incelenmiş, analitik ve deneysel sonuçların birbirleriyle uyumlu olduklarını ve semi aktif izolasyon sistemlerin, yapının sismik performansının arttığı belirlenmiştir. Aktif kontrol sistemlerinin (hibrid kontrol sistemleri) kullanıldığı hibrid kontrollü taban izolasyonlu sistemler için yapılan çalışmalarda, kayan kipli kontrol sisteminin kauçuk mesnetli yapı modelinde önemli ölçüde başarılı olduğu (Zhao ve diğ., 2000), H2/LQG kontrolcülü aktif kontrolcüsünün yapısal tepkimeleri azalttığı (Johnson ve diğ., 1998) görülmüştür. Ayrıca Johnson ve arkadaşları, taban izolasyonlu yapı ile taban izolasyonu ile birlikte manyetik rezonans sıvı sönümleyicileri bir arada olduğu semi aktif sistemleri ve H2/LQG kontrolcülü hibrid kontrollü taban izolasyonlu sistemlerin davranışlarını kıyaslamışlardır. Semi aktif ve aktif kontrol sistemlerinin taban izolasyonlu sisteme göre yapısal tepkimelerde daha başarılı olduğunu saptamışlardır. Semi aktif kontrol sisteminde ihtiyaç duyulan kontrol kuvvetinin aktif kontrole nazaran daha düşük olduğu belirlemişlerdir.

Pasif sönümleyiciler düşük deprem kayıtları etkisi altında taban izolasyonunda oldukça yüksek rijitlik oluşturduklarından yapının hareketi kısıtlanmaktadır. Bu nedenle düşük deprem kayıtları etkisinde etkili bir kontrol sistemi oluşturulamamaktadır. Semi aktif kontrol sistemleri taban izolasyonlu sistemlerde en yaygın olarak kullanılan sistemleri oluşturmaktadır. Aktif sistemler ise diğer uygulamalara göre (pasif ve semi aktif kontrol sistemleri) yapı kontrolünde en yüksek enerji sönümleyen sistemlerdir. Bu çalışma ile daha fazla enerjiyi uygun kontrol kuvveti ile sönümleyen hibrid kontrollü taban izolasyonlu sistemin (PID Kontrolcülü sistemin, yüksek sönümlü kauçuk mesnetle kullanımı) kontrol kuvvetinin kapasitesi yapının toplam kütesinin %10 veya %15 kadar sınırlandırılarak, yakın fay etkisindeki depremlerde yapının tabanındaki deplasmanların güvenli bir aralıkta tutulması sağlanmıştır. Bu amaçla PID kontrolcüsünün parametrelerinin belirlenmesinde meta sezgisel algoritmalarından biri olan öğretme-öğrenme tabanlı algoritma kullanılmıştır. Böylelikle taban izolasyonundaki deplasmanların azaltılması aktif tendon sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Materyal (Material)

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapı modeline uygulanan aktif kontrollü sistemin PID kontrolcüsünün modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Yapının birinci katında oluşan yanal öteleme değeri sensörler tarafından ölçülerek, uygulanması gereken kontrol kuvveti dinamik verenler tarafından belirlenir. Uygulanacak kontrol kuvveti tendonlar ile yapıya etki ettirilir. Bu durumda, Şekil 1 'de gösterilen F_1 ve F_2 kuvvetleri, deprem etkisi sonucu tendonlarda oluşan dinamik kuvvetleri göstermektedir. Statik yüklem etkisi altında kablolarda meydana gelen kuvvetin F kadar olduğu

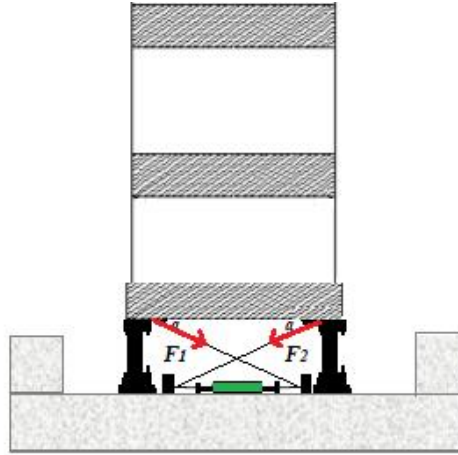
varsayılırsa, depremin $+x$ yönünde meydana gelmesi sonucu F_1 kuvveti $F-k_c u(t)$ olurken, F_2 kuvveti ise $F+k_c u(t)$ kadar olmaktadır. Ters yönde yani $-x$ yönünde gelmesi sonucunda ise F_1 kuvveti $F+k_c u(t)$ olurken, F_2 kuvveti ise $F-k_c u(t)$ kadar olmaktadır. Burada k_c yayların rijitlik değerini $u(t)$ ise kontrol sinyali değerini göstermektedir. PID kontrolcüsü, deprem etkisiyle birinci katta meydana gelen yanal ötelemeleri referans değeri ile karşılaştırır. Referans değeri sıfır olarak kabul edilerek taban katta yanal ötelemenin olmadığı varsayılır. Referans değeri ile sistemde gerçekte oluşan yanal ötelemenin farkı hata sinyalini $e(t)$ vermektedir. Yapıya etki eden kontrol sinyali değeri $u(t)$ ise Denklem 1 ile hesaplanır. Burada t zaman aralığını, K_p orantı katsayısını, T_i integral katsayısını, T_d Türev katsayısını ve $e(t)$ hata sinyali temsil etmektedir.

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

Hibrid kontrollü taban izolasyonlu yapı modelinin hareket denklemi ise Denklem 2'de verilmiştir. Burada k_c kablunun rijitlik katsayısını, α kabloların yatayla yaptığı açığı, $a(t)$ yapının ivme vektörünü, $v(t)$ yapının hız vektörünü, $x(t)$ yapının yer değiştirmesini, \dot{x}_g yerin ivmesini, $[1]$ birim vektörü, $u(t)$ kontrol sinyali vektörünü, $[M]$ yapının kütle matrisini, $[K]$ yapının rijitlik matrisini ve $[C]$ yapının sönüm matrisini göstermektedir. Denklem 3' te ise kontrol sinyalinin katlardaki değerleri verilmiştir. Sadece taban katında kontrolcü bulunduğu diğer katlarda bu değer sıfır olarak alınmıştır.

$$[M]a(t) + [C]v(t) + Ku(t) = -[M][1]\dot{x}_g - 4k_c \cos \alpha u(t) \quad (2)$$

$$u(t) = [u_{taban} \ 0 \ 0 \ 0 \dots] \quad (3)$$



Şekil 1. Hibrid kontrollü taban izolasyonlu sistem.

Figure 1 Base isolated hybrid control system

Metasezgisel algoritmalar, doğadaki olaylardan esinlenerek mühendislikte karşılaşılan karmaşık problemlerin amaç fonksiyonunu, tasarım değişkenlerini ($x_i = 1, \dots, n$) kullanarak kısa sürede en uygun değere getirmek için geliştirilmiş matematiksel ifadelerdir. İlk aşamada rastgele olarak belirlenen tasarım değişkenleri, optimizasyon süreci boyunca tasarım kısıtlamalarını dikkate alarak optimum değerlerine ulaşmaktadırlar. Bu sebeple meta sezgisel algoritmaların matematiksel ifadeleri farklılık gösterse de en iyi sonucu seçme ve rastlantısal seçim gibi özellikler tüm meta sezgisel algoritmaların yapısında mevcuttur (Yang, 2010). Bu çalışmada kullanılacak olan meta sezgisel algoritma Rao tarafından geliştirilen öğretme-öğrenme tabanlı meta sezgisel algoritmadır (Rao ve diğ., 2011). Bu algoritma bir sınıftaki konuyu en iyi bilen öğretmen, amaç fonksiyonunun çözümü olarak kabul edilir. Konu öğretmen tarafından öğrencilere aktarıldıktan sonra öğrenciler kendi aralarında gelişimlerini sürdürür ve konuya daha iyi hâkim olan öğrenci sınıfa yeni öğretmen olarak atanır. Öğretme-öğrenme algoritması iki fazdan (öğretme ve öğrenme

fazı) oluşmaktadır. Her iki fazın (öğretme ve öğrenme fazı) matematiksel ifadeleri sırasıyla denklem 4 ve 5 verilmiştir. Burada X_{yeni} yeni çözümü, $X_{ögrt}$ en iyi çözümü, X_{mev} i'nci tekrarlama sonucu oluşan tasarım değişkenini, TF 1 veya 2 değerini alan öğretim faktörünü, X_{ort} çözüm kümesindeki tüm elemanların ortalamalarını, rast (1) 0 ile 1 arasındaki rastgele değişen bir sayıyı, x_j^t ve x_k^t ise rastgele seçilmiş iki tasarım değişkeni ifade etmektedir. Öğretim öğrenme tabanlı metasezgisel algoritmanın akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

$$x_{yeni} = x_{mev} + rast(1)(x_{ögrt} - TFx_{ort}) \quad (4)$$

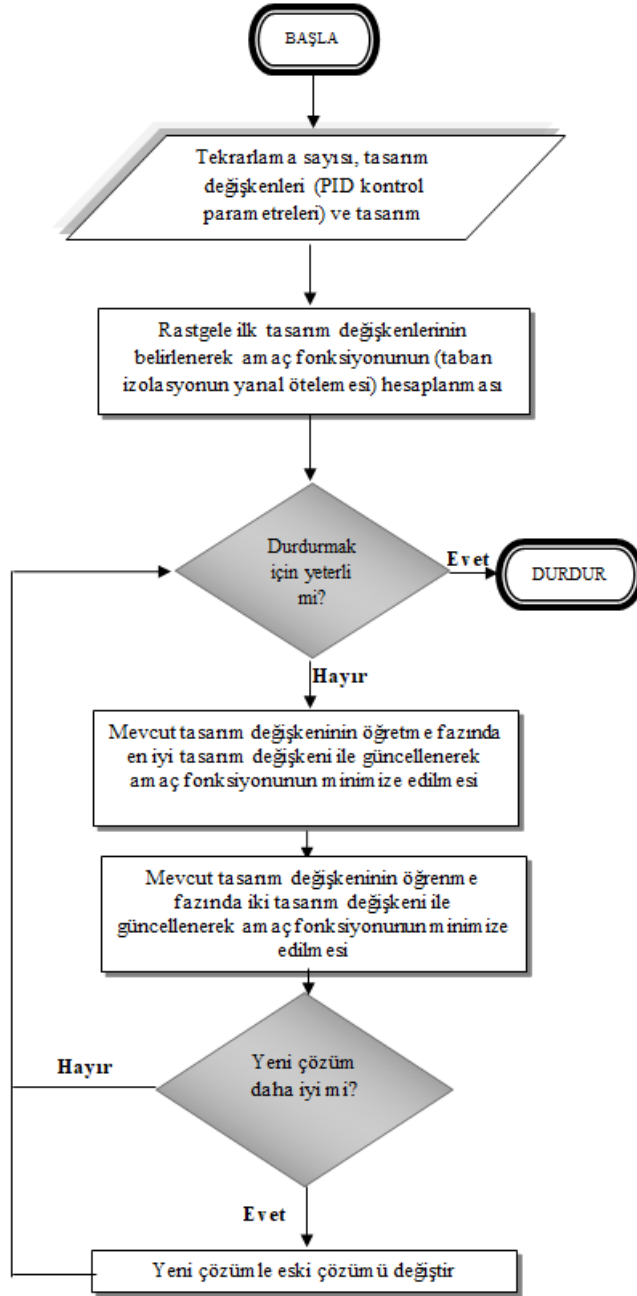
$$x_{yeni} = \begin{cases} x_{mev} + rast(1)(x_j^t - x_k^t) & \text{eğer } f(x_j^t) < f(x_k^t) \\ x_{mev} + rast(1)(x_k^t - x_j^t) & \text{eğer } f(x_k^t) < f(x_j^t) \end{cases} \quad (5)$$

Öğretim- öğrenme tabanlı algoritmanın optimizasyon işlem aşamaları şu şekilde özetlenir:

- Tekrarlama sayısı, tasarım değişkenleri (PID kontrol parametreleri) ve tasarım değişkenlerinin sınır aralığının belirlenmesi
- Rastgele ilk tasarım değişkenlerinin belirlenerek amaç fonksiyonunun (taban izolasyonunun yanıl ötelemesi) hesaplanması
- Optimizasyon sürecinin başlatılması
- Mevcut tasarım değişkeninin öğretim fazında en iyi tasarım değişkeni ile güncellenerek amaç fonksiyonunun minimize edilmesi
- Mevcut tasarım değişkeninin öğrenme fazında iki tasarım değişkeni ile güncellenerek amaç fonksiyonunun minimize edilmesi
- Optimizasyon sürecinin her tekrarlama için yapılması
- Optimizasyon sürecinin sonlandırılması

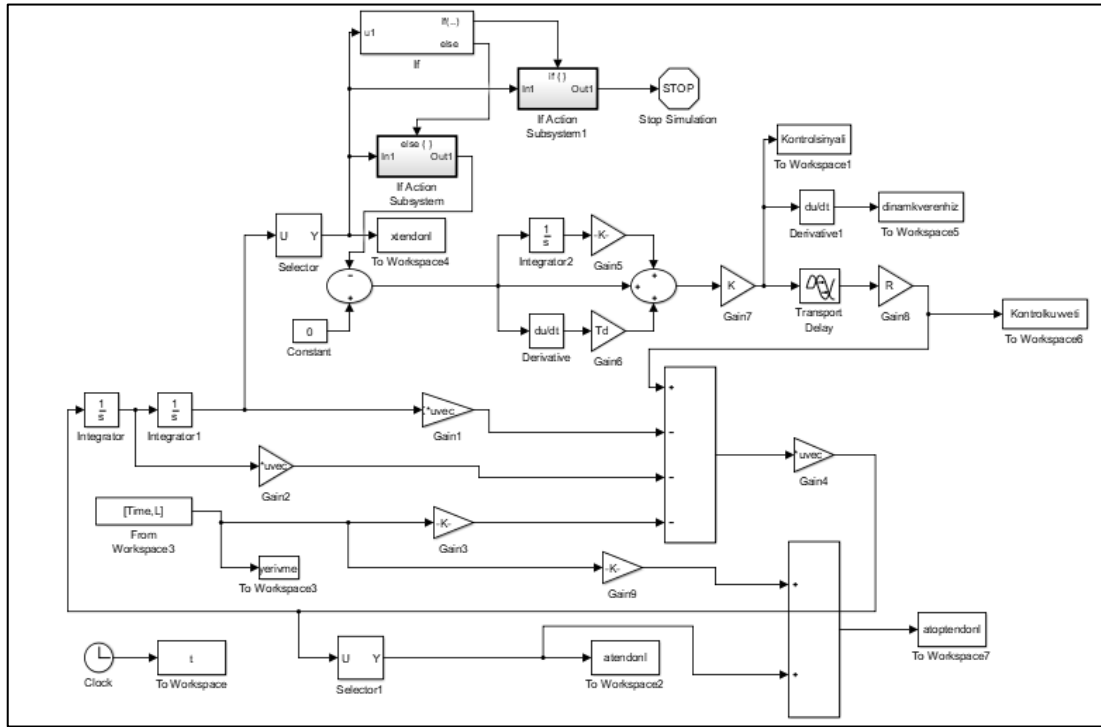
Yöntem (Method)

Çok serbest dereceli yapı modelinin optimizasyon sürecinde ve yapı tepkimelerinin elde edilmesinde Matlab programı (Matlab, 2015) ve bu programın alt bir programı olan Simulink programı (Simulink, 2015) kullanılmıştır. Öğretim- öğrenme tabanlı algoritmanın matematiksel ifadeleri, tasarım parametreleri, tasarım kısıtlamaları (kontrol kuvveti sınırı gibi), yapının matematiksel modeli ve yapıya etki eden yakın fay deprem kayıtları (FEMA P-695, 2009) için Matlab programından, oluşan diferansiyel denklemin çözümü nümerik çözümü için Simulink programında yer alan Runge-Kutta metodundan yararlanılmıştır. Çok serbest dereceli sistemin optimizasyon sürecindeki blok diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir. Yapının ivme değerinin integrali alınarak hız değerine, hız değerinin integrali alınarak yapıya yer değiştirme değerine ulaşılmıştır. Deprem kaydı, yapının rijitliği vb. değerler ise Matlab üzerinden okunarak, Simulink'e aktarılmıştır Tüm değerler Denklem 2'de yerine konarak Kütle, Rijitlik ve Sönüm matrisleriyle çarpılmıştır. Referans değeri sıfır alınarak hata sinyali bulunmuş ve Denklem 1'de verilen kontrol sinyali elde edilmiş ve yapıya kontrol kuvveti uygulanarak taban izolasyondaki deplasmanı azaltılmıştır. Öğretim- öğrenme tabanlı algoritması vasıtasıyla da bu değer en optimum olarak hesaplanmıştır. Kontrolcüde meydana gelen zaman gecikmesi değeri Nigdeli ve Boduroğlu'nun yaptığı çalışmadan 20 ms olarak alınmıştır (Nigdeli ve Boduroğlu, 2013).



Şekil 2. Öğretme- öğrenme tabanlı algoritmanın akış şeması

Figure 2 Flowchart of Teaching-Learning based Algorithm



Şekil 3. Hibrid Kontrollü taban izolasyonlu yapının optimizasyon sürecindeki blok diyagramı.

Figure 3 Block diagram of base isolated hybrid control structure in optimization process

NÜMERİK ÖRNEK (NUMERICAL EXAMPLE)

Bu çalışmada kullanılacak 10 katlı kontrolsüz yapı modeli Gaffarzadeh ve Younespour yaptığı çalışmadan alınmıştır (Ghaffarzadeh ve Younespour, 2014). Yapı modelinin tabanında izolasyon ve aktif kontrol bulunmadığı durumda Çizelge 1’de gösterilen darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem hareketlerinden 10. Kayıt 1. Bileşen (Northridge - Rinaldi Receiving Sta) en kritik kayıttır ve hibrid izolatörlü yapının yapısal tepkimelerinde, diğer kayıtlara kıyasla daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğundan bu kayıt optimizasyon sürecinde kullanılmıştır. Kontrolsüz yapının ivme değerleri düşürmek için kullanılan taban izolasyonu 6 farklı şekilde uygulanacaktır. Bu 6 farklı yapı modelinin etkin periyotları ve etkin sönüm oranları ise Çizelge 2’ de verilmiştir. Yapıya eklenen aktif tendonların yatayla yaptığı açı ve tendonların rijitliği Chung, Lin, Reinhorn ve Soong (1989) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır (Chung ve diğ., 1989). Bu değerler sırasıyla 36 derece ve 372100N/m’dir. Böylelikle oluşan yeni hibrid izolatörlü yapı modelinin sayısal değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. Her model için etkin rijitlik ve etkin sönüm değerleri Denklem 6 ve 7 ile hesaplanmıştır. Burada m_{total} yapının toplam kütesini, T_{eff} yapının etkin periyodunu, ζ_{eff} yapının etkin sönüm oranını, k_{eff} taban izolasyonunun etkin rijitliğini ve c_{eff} taban izolasyonunun etkin sönümünü ifade etmektedir. Farklı yapı modelleri için öğretme- öğrenme tabanlı algoritmaya göre optimize edilen PID kontrolcü parametreleri ise Çizelge 4’te verilmiştir. Bu parametreler hibrid kontrollü taban izolasyonlu yapı modellerinde kullanıldığında, 28 farklı deprem kaydının yapısal tepkimeleri Çizelge 5’ten Çizelge 12’ye kadar ek bölümünde sunulmuştur. Kontrolsüz yapıya uygulanan taban izolasyonu, yapının ivmelerini azaltmış ama yapının tabanındaki deplasman artırmıştır. Uygun kontrol değeri sınırlandırmaları ile hibrid kontrollü taban izolasyon sisteminin taban deplasmanları 55 cm altına tutulmuştur.

$$k_{eff} = \left(\frac{2\pi}{T_{eff}}\right)^2 * m_{total} \quad (6)$$

$$c_{eff} = 2 * m_{total} * \left(\frac{2\pi}{T_{eff}}\right) * \xi_{eff} \quad (7)$$

Çizelge 1. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay yer hareketi depremleri.*Table 1. Near-fault Ground motions*

Earthquake No.	Earthquake Name	Recording Station	Year	Magnitude
1	Irpinia, Italy-01	Sturno	1980	6.9
2	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	1987	6.5
3	Duzce, Turkey	Duzce	1999	7.1
4	Erzican, Turkey	Erzican	1992	6.7
5	Imperial Valley-06	El Centro Array #6	1979	6.5
6	Imperial Valley-06	El Centro Array #7	1979	6.5
7	Kocaeli, Turkey	Izmit	1999	7.5
8	Landers	Lucerne	1992	7.3
9	Cape Mendocino	Petrolia	1992	7.0
10	Northridge-01	01Rinaldi Receiving Sta	1994	6.7
11	Loma Prieta	Saratoga – Aloha	1989	6.9
12	Northridge-01	01 Sylmar - Olive View	1994	6.7
13	Chi-Chi, Taiwan	TCU065	1999	7.6
14	Chi-Chi, Taiwan	TCU102	1999	7.6

Çizelge 2. Taban izolasyonlu yapı modellerine ait etkin periyot ve sönüm oranı*Table 2. Effective Period and Damping ratio of base isolated Structures*

Model No.	Modelin Etkin Periyodu (sn)	Modelin Etkin sönüm Oranı (%)
1	2.0	20
2	2.0	30
3	3.0	20
4	3.0	30
5	4.0	20
6	4.0	30

Çizelge 3. Taban izolasyonlu yapı modellerinin kütle, rijitlik ve sönüm değerleri.*Table 3. Mass, stiffness and damping values of base isolated Structures*

Kat	Kütle (kg)	Rijitlik (N/m)	Sönüm (Ns/m)
Taban _{i,model}	105000	$k_{i, eff}$	$C_{i, eff}$
1-3	105000	170000000	754850
4-6	95000	160000000	708650
7-9	90000	140000000	623300
10	85000	110000000	620950

Çizelge 4. Hibrid kontrollü taban izolasyonlu yapı modellerinin Northridge depremi etkisinde optimum PID parametreleri.*Table 4. Optimum PID parameter of base isolated hybrid control structure under Northridge Earthquake*

Model	Kontrol Limiti (%)	K_p	T_d	T_i	Taban ötelemesi (cm)
1	10	-0.1162	4.9296	2.2466	30.43
2	10	-0.1308	4.5006	1.4670	27.37
3	10	-0.6304	1.0420	1.8794	37.39
4	10	-0.6380	1.0094	3.4283	34.19
5	15	-0.2118	4.8803	4.7742	36.52
6	15	-0.3066	3.3943	4.9705	34.34

BULGULAR (RESULTS)

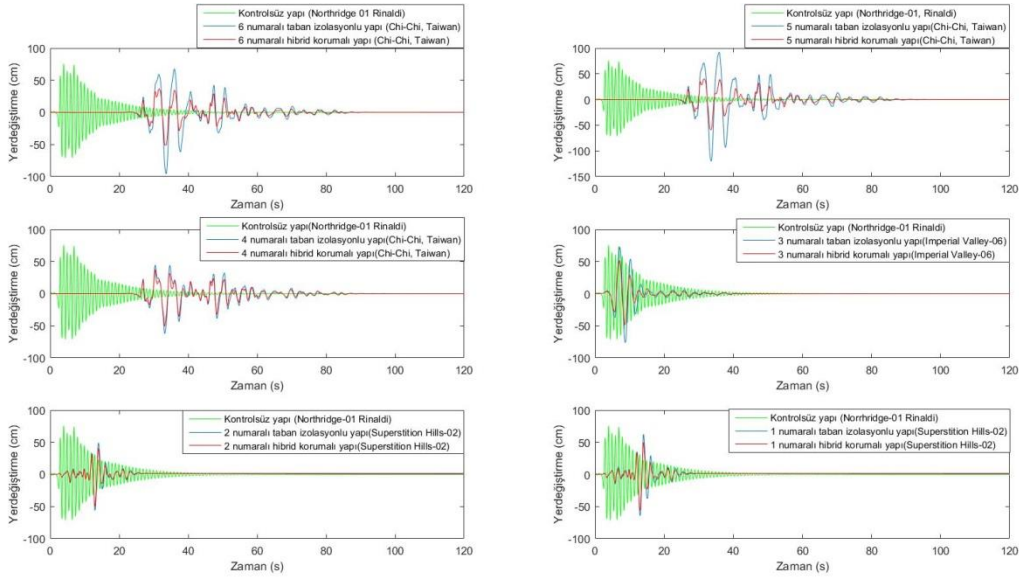
Yapılan bu çalışmada yapı modelinin farklı deprem kaydı etkisi altındaki maksimum yapısal tepkimeleri (yer değiştirme ve toplam ivme değerleri) Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Taban izolasyonun ve aktif kontrol sisteminin bulunmadığı modelin 10. Kayıt 1. Bileşen (Nordridge-01, 01Rinaldi Receiving Sta) etkisi altında maksimum yer değiştirmesi 75.67 cm ve toplam ivmesi 37.38 m/s² olarak hesaplanmış ve zamana bağlı yapısal tepkimeleri Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. İvme değerinin oldukça yüksek olması sebebiyle taban katta 6 farklı izolasyon sistemi uygulanmıştır. Her bir taban izolasyon modeli ve hibrid kontrol modeli tek başına incelendiğinde, 6 numaralı modelin taban izolasyonunda yanal ötelemenin ve toplam ivmenin en kritik kayıta 13. kayıt 1. bileşende (Chi-Chi, Taiwan, TCU065) 88.15 cm ve 2.93 m/s² olduğu ve bu değerlerin hibrid kontrolle 47.93 cm ve 2.67 m/s² indiği, 5 numaralı modelin taban izolasyonunda yanal ötelemenin ve toplam ivmenin en kritik kayıta 13. kayıt 1. bileşende (Chi-Chi, Taiwan, TCU065) 110.8 cm ve 3.15 m/s² olduğu ve yine bu değerlerin hibrid kontrolle 54.89 cm ve 2.72 m/s² indiği Şekil 4 ve 5'te görülmektedir. Etkin periyotları aynı olmasına rağmen etkin sönümleri farklı olan 4 ve 3 numaralı model için en kritik deprem kaydı sırasıyla 13. kayıt 1. bileşen (Chi-Chi, Taiwan, TCU065) ve 5. kayıt 2. bileşen (Imperial Valley-06, El Centro Array #6) olmuştur. Bu deprem kayıtları etkisi altında, 4 numaralı modelin taban izolasyonunda yanal ötelemenin ve toplam ivmenin 53.36 cm ve 2.77 m/s² olduğu ve bu değerlerin hibrid kontrolle 41.40 cm ve 2.85 m/s² getirildiği, 3 numaralı modelin ise taban izolasyonunda yanal ötelemenin ve toplam ivmenin 66.95 cm ve 3.34 m/s² olduğu ve bu değerlerin hibrid kontrolle 43.90 cm ve 3.07 m/s² getirildiği Şekil 4 ve 5'te görülmüştür. Son olarak ise 2 numaralı ve 1 numaralı model incelendiğinde, taban izolasyonunda yanal ötelemenin 2 ve 1 numaralı modeller için en kritik deprem kaydında 2. kayıt 1 bileşen (Superstition Hills-02, Parachute Test Site) 40.88 cm ve 47.50 cm olduğu ve bu değerlerin hibrid kontrolle sırasıyla 35.54 cm ve 40.84 cm düştüğü Şekil 4 ve 5 ile tespit edilmiştir.

Her modelin taban izolasyonunda yanal ötelemenin 55 cm altına inmesi hedeflenmiştir. Bu şartı sağlayan 1-4 numaralı modellere %10'luk kontrol kuvveti limitinin uygulanması uygun görülürken 5 ve 6 numaralı modellere % 15'lik kontrol kuvveti limiti uygun görülmüştür. Kontrolsüz, Taban İzolasyonlu ve Hibrid kontrollü yapı modellerinin maksimum yapı tepkimeleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Kontrolsüz, Taban İzolasyonlu ve hibrid kontrollü yapı modellerinin en kritik kayıt etkisi altında maksimum yapısal tepkimeleri

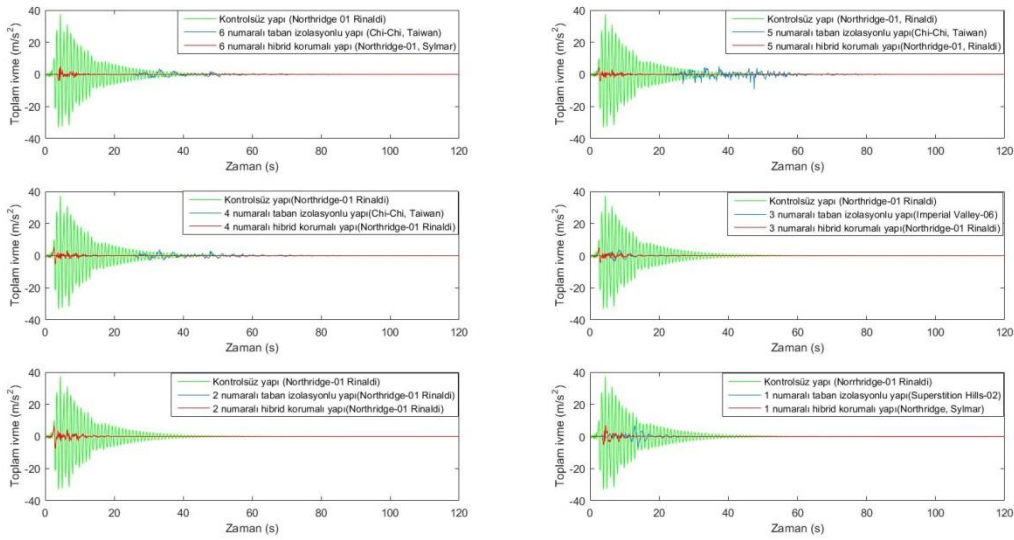
Table 5. The maximum structural responses of uncontrolled structure, base isolated structure and hybrid controlled structure under critical excitation.

Model	Maksimum yerdeğiştirme (cm)	Maksimum toplam ivme (m/s ²)
Kontrolsüz yapı	75.67	37.38
Taban izolasyonlu 1 numaralı yapı	64.26	6.54
Taban izolasyonlu 2 numaralı yapı	56.07	6.78
Taban İzolasyonlu 3 numaralı yapı	76.13	4.18
Taban izlasyonlu 4 numaralı yapı	62.21	4.57
Taban izolasyonlu 5 numaralı yapı	119.7	3.54
Taban izolasyonlu 6 numaralı yapı	95.65	3.41
Hibrid kontrollü 1 numaralı yapı	56.54	7.12
Hibrid kontrollü 2 numaralı yapı	50.14	7.89
Hibrid kontrollü 3 numaralı yapı	55.71	5.17
Hibrid kontrollü 4 numaralı yapı	50.61	5.42
Hibrid kontrollü 5 numaralı yapı	59.01	4.56
Hibrid Kontrollü 6 numaralı yapı	51.52	4.99



Şekil 4. En kritik deprem etkisi altında yapı modellerinin en üst katının zaman- yer değiştirme grafiği

Figure 4 The time history of top Displacement of structures under critical excitation



Şekil 5. En kritik deprem etkisi altında yapı modellerinin en üst katının zaman- toplam ivme grafiği

Figure 5 The time history of top total acceleration of structures under critical excitation

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kontrolsüz yapı modelinde meydana gelen yüksek toplam ivme değerlerinin azaltılması için yapı modeline, farklı sönüm oranlarına sahip yüksek sönümlü kauçuk mesnet ilave edilerek farklı periyotlardaki yapı modelinin toplam ivme değerleri azaltılmıştır. Bu ivme değerleri 37.38 m/s^2 den 3.41 m/s^2 kadar taban izolasyonla azaltılmıştır. Ancak azalan bu ivme değerlerine karşı taban izolasyonda meydana gelen yüksek yanal ötelemeler izolasyon sisteminde yırtılmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle yanal ötelemelerin azaltılması için hibrid kontrol sistemi (taban izolasyonlu sistem ile birlikte aktif kontrol sisteminin kullanılması) uygulanmıştır. Böylece taban taban izolasyonda meydana gelen maksimum yanal

ötelemeler 110.8 cm'den 54.89 cm düşürülmüştür. Bu çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Taban izolasyonlu hibrid kontrollü sistemlerde toplam ivme ve taban yanal ötelemelerinin önemli ölçüde azaltıldığı
- Aktif kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetine uygun sınırlandırma getirilerek, bu sistemlerin taban izolasyonlu sistemlere uygulanabileceği
- Meta sezgisel algoritmaların taban izolasyonlu hibrid kontrollü sistemlerde kontrolcü parametrelerinin belirlenmesinde kısa sürede etkili olduğu
- Teorik ve pratik alandaki sismik izolasyonlu uygulamalara katkı sağlayacağı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Applied Technology Council 17-1., 1993, "Proceedings on seismic isolation, passive energy dissipation, and active control" Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Asher J.W., Young R.P., Ewing R.D., 1996, "Seismic isolation design of the San Bernardino county medical center replacement Project". The Structural Design of Tall Buildings, Vol 5, 265-279.
- Cancellara D., Angelis F.D., 2016, "Nonlinear dynamic analysis for multi-storey RC structures with hybrid base isolation systems in presence of bi-directional ground motions" Composite Structures, 154, 464-492.
- Chung L.L., Lin R.C., Reinhorn A.M., Soong T.T., 1989, "Experimental Study of Active Control for MDOF Seismic Structures". Journal of Structural Engineering (ASCE), 115, 1609-1627.
- FEMA P-695., 2009, "Quantification of Building Seismic Performance Factors" Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Ghaffarzadeh H., Younespour A., 2014, "Active Tendons Control of Structures Using Block Pulse Functions". Structural Control and Health Monitoring, 21, 1453-1464.
- Jangid R.S., Kelly J.M., 2001, "Base isolation for near-fault motions". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30, 691-707.
- Johnson E.A., Ramallo J.C., Spencer B.F., Sain M.K., 1998 "Intelligent base isolation systems". 2th World Conference on structural Control, Japan, June 28-July 1.
- Li J., Li Y., Samali B., 2013, "Development of adaptive seismic isolators for ultimate seismic protection of civil structure". Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical and Aerospace Systems, pp. 1-12.
- Lin P.Y., Roschke P.N., Loh C.H., 2006, "Hybrid base-isolation with magnetorheological damper and fuzzy control". Structural Control and Health Monitoring, 14, 384-405.
- Madden G.J., Symans M.D., Wongprasert N., 2002, "Experimental verification of seismic response of building frame with adaptive sliding base-isolation system". Journal of Structural Engineering, Vol 128, No.8.
- MathWorks Inc., 2015, "MATLAB R2015b.Natick". MA, USA.
- Nigdeli S.M., Boduroğlu B.H., 2013, "Active Tendon Control of Torsionally Irregular Structures under Near-Fault Ground Motion Excitation". Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 28, 718-736.
- Rao R.V., Savsani V.J., Vakharia D.P., 2011, "Teaching-learning-based optimization a novel method for constrained mechanical design optimization problems". Computer-Aided Design, 43(3), 303-315.
- Ribakov Y., 2010, "Reduction of structural response to near fault earthquakes by seismic isolation columns and variable friction dampers". Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 9, 113-122.
- Simulink., 2015, "MATLAB R2015b.Natick". MA, USA.
- Yang X.S., 2010, "Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications". John Wiley&Sons.

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, 29, 315-326.

Ek (Appendix)

Çizelge 6. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 6 numaralı yapının %15'lik kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.

Table 6. The maximum structural responses of structure number 6 under near fault ground motions with 15% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	14.08	15.35	11.24	12.64	0.73	0.91	1.18	1.56	33.01	397.5
	2	38.80	42.12	22.93	25.24	1.28	1.36	1.37	1.75	52.55	632.8
2	1	50.28	55.19	36.78	39.69	1.98	2.25	2.61	3.58	116.9	1480
	2	20.61	21.75	13.41	15.11	0.86	1.31	1.49	1.94	42.51	511.9
3	1	30.26	32.61	17.03	19.35	1.55	1.73	1.82	2.23	44.89	540.5
	2	49.41	53.70	32.19	36.29	1.56	1.87	2.01	3.25	53.38	642.8
4	1	26.16	28.41	19.90	22.81	1.62	2.00	2.83	2.94	59.36	714.8
	2	32.91	35.82	26.45	29.15	1.35	1.66	1.78	3.42	86.48	1041
5	1	40.11	43.63	26.29	29.23	1.25	1.90	2.07	2.45	53.22	640.8
	2	72.83	78.16	41.48	45.95	2.52	2.96	2.55	2.66	78.49	945.1
6	1	25.69	27.75	15.49	17.12	0.83	1.12	1.00	2.17	36.63	441.0
	2	57.47	62.16	32.07	36.81	1.78	1.93	2.34	3.44	68.97	830.5
7	1	16.29	18.03	9.810	10.94	0.72	0.89	1.10	1.29	35.57	428.4
	2	11.92	12.97	6.970	7.390	0.78	0.81	0.97	1.12	19.20	231.2
8	1	65.43	70.94	37.71	40.92	2.85	2.73	3.37	2.70	84.66	101.9
	2	17.30	18.87	9.950	11.63	1.32	1.11	2.55	1.87	26.00	313.0
9	1	12.36	14.08	9.790	13.71	1.43	1.61	2.56	3.03	42.54	512.2
	2	28.09	33.16	21.25	27.66	2.14	2.92	2.93	3.93	87.69	1056
10	1	43.47	49.79	34.34	43.94	1.96	3.37	2.94	4.92	129.3	1557
	2	25.75	29.00	20.76	24.22	1.50	1.98	2.35	3.04	70.98	854.7
11	1	15.73	17.24	12.77	14.12	1.34	1.42	1.84	2.41	43.94	529.1
	2	26.91	29.50	14.87	16.60	1.40	1.33	1.72	1.57	30.21	363.8
12	1	27.11	30.89	20.75	25.86	1.40	2.12	2.40	3.73	63.60	765.8
	2	37.03	37.94	27.61	33.87	2.50	2.93	3.96	4.99	100.9	1215
13	1	88.15	95.65	47.93	51.52	2.93	3.41	2.67	3.99	90.06	1085
	2	50.00	49.96	31.72	34.21	2.12	2.65	2.38	3.86	83.39	1004
14	1	56.43	60.95	30.83	33.58	1.56	1.66	1.79	2.17	64.53	777.1
	2	50.41	54.69	29.44	33.13	1.55	1.80	1.53	1.68	64.95	782.1

Çizelge 7. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 5 numaralı yapının %15'lik kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.**Table 7.** The maximum structural responses of structure number 5 under near fault ground motions with 15% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	15.24	16.64	11.92	13.27	0.67	0.73	1.10	1.43	34.24	412.3
	2	46.79	50.69	26.00	28.64	1.26	1.47	1.36	1.62	57.77	695.7
2	1	55.60	60.91	39.87	43.58	1.87	1.98	2.37	3.32	120.4	1450
	2	24.45	26.16	14.48	15.92	0.86	1.13	1.33	1.75	43.46	523.3
3	1	37.52	40.35	19.38	21.65	1.53	1.71	1.79	2.12	47.66	573.9
	2	56.88	61.54	35.66	39.84	1.57	1.82	1.91	2.91	59.77	719.7
4	1	32.81	35.57	21.48	23.87	1.18	1.56	2.60	2.80	63.74	767.6
	2	35.67	38.80	28.05	30.73	1.23	1.34	1.71	3.02	89.06	1072
5	1	46.72	50.80	29.25	32.28	1.31	1.66	1.92	2.36	57.37	690.8
	2	88.35	95.03	47.45	51.79	2.47	3.08	2.60	2.72	85.05	1024
6	1	30.08	32.54	17.54	19.27	0.85	0.92	0.95	1.94	37.70	454.0
	2	71.33	77.09	35.88	40.31	1.90	2.03	2.25	3.10	72.86	877.3
7	1	19.69	21.49	11.18	12.46	0.72	0.83	1.02	1.21	36.83	443.4
	2	15.07	16.36	7.840	8.170	0.70	0.76	0.94	1.05	20.36	245.1
8	1	79.53	85.91	42.71	46.48	2.68	2.80	3.29	2.72	90.57	1091
	2	21.22	22.99	11.30	13.05	1.03	0.98	2.37	1.66	28.31	340.8
9	1	14.42	15.72	10.27	13.86	1.15	1.35	2.31	2.66	44.38	534.5
	2	32.90	37.62	22.11	27.30	1.87	2.52	2.78	3.72	90.80	1093
10	1	46.95	52.68	36.52	45.46	1.63	2.91	2.73	4.56	129.5	1559
	2	26.84	30.00	22.32	25.84	1.27	1.72	2.11	2.84	72.48	872.8
11	1	17.36	19.08	13.48	14.91	1.12	1.08	1.76	2.19	45.62	549.4
	2	33.82	36.90	16.97	18.84	1.31	1.37	1.69	1.47	33.10	398.6
12	1	29.31	32.72	22.49	27.45	1.25	1.88	2.16	3.38	64.10	771.8
	2	40.78	42.63	29.76	34.80	2.03	2.49	3.72	4.37	103.3	1244
13	1	110.8	119.7	54.89	59.01	3.15	3.54	2.72	3.65	97.88	1179
	2	51.78	56.28	34.55	37.37	2.03	2.31	2.35	3.57	90.30	1087
14	1	68.67	74.18	35.63	38.68	1.79	1.83	1.71	1.96	70.03	843.3
	2	60.30	65.22	33.59	37.48	1.55	1.91	1.57	1.63	70.94	854.2

Çizelge 8. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 4 numaralı yapının %10'luk kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.

Table 8. The maximum structural responses of structure number 4 under near fault ground motions with 10% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	13.93	15.68	11.20	13.45	1.11	1.30	1.13	1.55	22.48	270.7
	2	31.34	35.59	22.69	26.84	1.66	1.98	1.54	2.06	38.57	464.4
2	1	48.38	54.86	40.69	47.27	2.77	3.52	3.00	4.38	81.78	984.7
	2	16.79	19.42	13.82	16.68	1.36	1.66	1.41	1.85	28.94	348.5
3	1	15.58	22.21	15.07	18.25	1.76	1.97	1.86	2.25	27.72	333.8
	2	33.70	39.19	26.81	32.14	1.77	2.32	2.09	3.29	37.98	457.3
4	1	26.70	30.74	21.94	27.18	2.09	2.50	2.80	3.00	41.84	503.8
	2	33.78	38.62	28.79	34.32	1.96	2.44	2.07	3.48	59.08	711.4
5	1	35.03	40.09	26.27	31.32	1.94	2.60	2.32	2.72	42.00	505.6
	2	52.19	60.21	37.76	44.31	3.09	3.10	2.86	3.12	54.33	654.2
6	1	21.48	24.72	16.15	19.04	1.06	1.69	1.08	2.33	25.27	304.3
	2	40.22	46.10	27.53	32.58	2.31	2.71	2.57	3.61	49.61	597.4
7	1	13.22	15.14	10.58	12.68	1.03	1.17	1.21	1.38	24.18	291.1
	2	8.550	9.890	6.550	8.150	0.89	1.02	1.00	1.14	12.58	151.5
8	1	45.80	53.07	35.60	42.10	3.29	2.85	3.42	3.14	54.48	656.0
	2	11.94	14.04	8.680	10.51	1.65	1.40	2.25	2.00	18.48	222.6
9	1	12.91	15.60	10.50	15.10	1.85	2.10	2.49	2.90	27.55	331.8
	2	26.13	31.94	23.52	31.14	2.70	3.33	3.01	3.85	58.94	709.7
10	1	39.98	49.68	34.19	45.80	2.72	4.57	3.28	5.42	85.81	1033
	2	30.15	35.26	23.25	27.73	2.24	2.78	2.53	3.47	47.59	573.0
11	1	16.13	18.47	14.02	16.26	1.73	1.98	1.96	2.55	30.35	365.5
	2	19.12	21.45	13.90	15.96	1.58	1.45	1.71	1.69	19.63	236.4
12	1	30.25	36.66	23.09	29.49	2.10	2.89	2.29	3.71	47.15	567.8
	2	36.97	43.66	31.55	36.96	3.51	3.64	4.29	5.31	66.57	801.6
13	1	53.36	62.21	41.40	50.61	2.77	3.71	2.85	4.22	55.60	669.3
	2	34.39	39.92	26.10	31.21	2.24	3.03	2.46	3.82	55.97	674.0
14	1	38.81	44.42	28.66	33.17	1.90	1.95	1.92	2.46	45.07	542.7
	2	41.35	47.71	31.11	36.47	2.09	2.17	1.94	2.28	45.81	551.6

Çizelge 9. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 3 numaralı yapının %10'luk kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.**Table 9.** The maximum structural responses of structure number 3 under near fault ground motions with 10% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	18.57	21.23	12.71	14.88	1.19	1.34	1.16	1.43	24.82	298.8
	2	38.78	44.15	26.71	31.79	1.81	2.10	1.69	2.11	46.20	556.3
2	1	55.86	63.78	45.67	52.95	2.91	3.28	2.97	4.23	88.24	1063
	2	20.84	23.80	15.23	18.24	1.34	1.60	1.46	1.74	31.00	373.2
3	1	22.88	26.01	17.10	20.66	1.68	1.79	1.84	2.15	30.10	362.4
	2	37.01	42.86	29.18	34.92	1.77	2.10	1.97	2.86	44.65	537.6
4	1	30.91	35.23	24.93	30.39	1.61	2.20	2.49	2.85	47.66	574.0
	2	40.35	45.71	33.10	39.38	2.15	2.33	2.04	2.99	63.22	761.3
5	1	42.01	47.97	30.35	36.19	1.81	2.57	2.22	2.76	49.44	595.3
	2	66.95	76.13	43.90	51.85	3.34	3.61	3.07	3.31	61.72	743.2
6	1	26.15	29.93	19.06	22.64	1.24	1.37	1.10	2.08	26.92	324.1
	2	51.18	58.60	33.57	39.57	2.40	2.52	2.52	3.24	55.76	671.4
7	1	16.13	18.44	12.01	14.63	0.94	1.17	1.16	1.27	25.84	311.2
	2	9.880	11.59	7.130	9.370	0.80	0.97	0.95	1.12	13.21	159.1
8	1	54.10	62.38	40.24	48.13	3.22	2.92	3.36	3.02	59.81	720.2
	2	14.17	16.46	9.850	11.90	1.27	1.27	1.92	1.79	21.35	257.1
9	1	16.76	19.65	11.63	15.78	1.46	1.65	2.14	2.53	29.56	356.0
	2	29.11	34.00	25.43	32.81	2.54	3.03	2.92	3.61	63.26	761.7
10	1	44.10	53.34	37.39	48.45	2.43	4.18	3.08	5.17	87.72	1056
	2	36.90	42.91	27.49	32.77	2.17	2.56	2.41	3.32	53.30	642.0
11	1	18.01	20.68	15.46	18.07	1.56	1.63	1.89	2.32	32.95	396.8
	2	22.97	25.79	15.60	18.26	1.52	1.44	1.66	1.59	21.71	261.4
12	1	37.00	44.00	27.12	34.14	2.15	2.98	2.27	3.26	51.25	617.1
	2	42.92	50.61	35.80	42.66	3.06	3.54	4.14	4.64	71.38	859.5
13	1	58.66	67.97	45.51	55.71	2.77	3.58	2.87	3.90	65.35	787.0
	2	44.04	50.72	30.35	36.24	2.12	2.68	2.38	3.42	62.12	748.0
14	1	47.20	53.90	33.66	39.65	2.10	2.26	1.93	2.30	51.41	619.0
	2	49.65	57.15	36.78	43.61	2.27	2.55	2.15	2.42	53.35	642.4

Çizelge 10. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 2 numaralı yapının %10'luk kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.

Table 10. The maximum structural responses of structure number 2 under near fault ground motions with 10% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	11.02	14.83	9.250	13.20	1.41	1.82	1.46	2.07	21.81	262.6
	2	17.08	23.51	14.21	20.05	1.73	2.48	1.60	2.44	21.39	257.6
2	1	40.88	56.07	35.54	50.14	4.15	6.29	4.28	6.29	66.98	806.6
	2	12.81	18.15	10.94	15.43	1.52	2.03	1.77	2.42	19.65	236.6
3	1	13.82	18.00	11.61	15.30	1.89	2.35	2.11	2.83	22.26	268.0
	2	20.26	27.68	16.24	22.62	2.30	3.75	2.36	4.39	30.36	365.6
4	1	19.61	27.40	16.35	23.62	2.95	3.26	3.35	3.29	30.06	362.0
	2	31.67	43.35	26.19	36.54	3.19	4.34	3.13	4.66	43.04	518.3
5	1	21.94	29.58	17.67	24.16	2.58	3.07	2.64	3.10	33.34	401.5
	2	27.40	37.14	23.50	32.17	3.41	3.90	3.40	4.30	35.14	423.2
6	1	12.33	16.30	10.15	14.41	1.42	2.92	1.44	3.19	22.78	274.3
	2	24.94	32.60	20.56	27.03	3.05	4.18	2.89	4.67	38.46	463.1
7	1	11.02	14.18	9.490	12.88	1.49	1.95	1.46	2.03	20.54	247.3
	2	5.780	8.060	5.140	7.700	1.16	1.34	1.14	1.43	10.80	130.1
8	1	25.50	33.94	23.17	31.08	3.31	3.73	3.40	4.06	36.87	443.9
	2	7.700	10.62	6.500	9.110	2.32	2.28	2.77	2.58	14.37	173.0
9	1	9.320	15.14	8.570	14.84	2.64	3.06	3.02	3.72	20.51	247.0
	2	22.91	34.00	20.66	32.13	3.35	4.80	3.29	5.06	41.08	494.6
10	1	30.09	43.94	27.37	41.66	3.90	6.86	4.10	7.89	82.51	993.6
	2	23.66	31.53	19.02	25.86	3.23	4.52	3.56	4.48	37.04	446.1
11	1	14.00	19.43	11.72	16.87	2.08	2.99	2.10	3.21	23.59	284.0
	2	10.25	12.98	9.150	11.96	1.59	1.87	1.76	1.94	15.47	186.3
12	1	22.70	29.62	18.72	24.57	3.04	4.08	2.90	4.65	40.75	490.7
	2	33.76	43.58	29.32	38.92	5.17	6.78	5.20	7.78	67.01	806.9
13	1	28.72	38.25	24.23	34.06	3.22	4.77	3.15	5.45	35.46	427.0
	2	27.29	37.85	23.53	33.54	2.84	4.38	2.89	4.94	39.29	473.0
14	1	26.81	35.92	22.37	30.36	2.48	3.44	2.38	3.40	36.90	444.3
	2	25.69	34.44	20.90	28.38	2.41	3.09	2.17	2.78	32.21	387.9

Çizelge 11. Darbe tipi titreşim içeren yakın fay deprem etkisi altındaki 1 numaralı yapının %10'luk kontrol kuvvet limiti ile oluşan maksimum yapı tepkimeleri.

Table 11. The maximum structural responses of structure number 1 under near fault ground motions with 10% control limit.

D	Bileşen	Yer değiştirme (cm)				Toplam İvme (m/s ²)				Kontrol sinyali (cm)	Kontrol kuvveti (KN)
		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Taban izolasyon		Hibrid kontrol		Kontrollü	Kontrollü
		Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	10.kat	Taban	Taban
1	1	13.44	18.16	11.08	14.93	1.49	1.71	1.45	1.85	23.63	284.6
	2	20.72	28.03	16.71	23.18	1.94	2.62	1.73	2.49	25.26	304.2
2	1	47.50	64.26	40.84	56.54	4.35	6.54	4.25	6.48	73.03	879.4
	2	15.71	21.82	12.80	18.25	1.43	2.15	1.57	2.13	22.20	267.4
3	1	16.58	21.67	13.71	17.97	1.79	2.30	1.95	2.44	22.72	273.6
	2	26.09	35.26	20.14	27.69	2.30	3.41	2.34	3.90	35.00	421.3
4	1	23.78	32.45	19.38	27.23	2.53	3.37	3.05	3.30	34.38	414.0
	2	38.96	52.79	31.61	43.57	3.40	4.96	3.28	4.42	48.47	583.7
5	1	27.87	37.21	21.80	29.50	2.69	3.27	2.60	3.17	38.00	457.5
	2	32.10	43.20	27.23	37.04	3.50	4.05	3.48	4.04	38.14	459.3
6	1	15.42	20.34	12.16	16.14	1.65	2.67	1.41	3.00	24.94	300.3
	2	30.85	40.43	24.89	32.66	3.33	3.84	3.11	4.28	43.40	522.6
7	1	13.03	16.82	11.01	14.37	1.54	1.92	1.50	2.01	22.51	271.0
	2	7.250	9.940	5.750	8.150	1.19	1.27	1.18	1.38	11.77	141.7
8	1	27.80	36.90	25.28	33.86	3.21	3.47	3.31	3.80	37.87	456.0
	2	9.140	12.53	7.620	10.58	1.73	2.00	2.29	2.35	15.73	189.4
9	1	10.07	15.69	9.240	15.24	2.19	2.51	2.65	3.10	21.09	253.9
	2	26.00	36.68	22.82	34.21	3.44	4.62	3.44	4.88	43.67	525.9
10	1	34.17	46.79	30.43	44.00	4.00	6.16	3.94	7.07	86.14	1037
	2	30.90	40.81	23.47	31.46	3.19	4.59	3.33	4.62	39.33	473.6
11	1	17.20	23.49	14.07	19.71	2.05	2.79	2.08	3.03	27.13	326.7
	2	11.41	14.52	10.14	13.00	1.45	1.80	1.64	1.89	17.57	211.6
12	1	28.60	37.50	22.63	29.70	3.33	3.53	3.08	4.20	45.00	541.9
	2	39.57	50.59	33.83	43.99	5.20	6.44	5.34	7.12	71.62	862.4
13	1	36.53	48.52	28.78	38.39	3.63	4.33	3.25	4.86	42.93	517.0
	2	31.50	43.08	27.40	38.32	2.76	4.66	2.93	4.46	44.49	535.7
14	1	32.60	43.41	26.77	36.07	2.89	3.80	2.53	3.53	42.03	506.1
	2	32.07	42.80	25.36	34.20	2.87	3.66	2.43	3.12	39.38	474.2