

EFFECTS OF NEAR-FAULT AND FAR-FAULT GROUND MOTIONS ON SEISMIC PERFORMANCE OF 5-STORY R/C BUILDING

*Rehber AKDOĞAN**, *A.Halim KARAŞIN*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Turkey

* Corresponding author; E-mail: rehber.akdogan@dicle.edu.tr

Received: 15 October 2016; Accepted: 12 April 2017

In this study, seismic performance of a building structure which designed according to current Turkey Earthquake Code (TEC-2007) is examined. Effects of near-fault and far-fault ground motions on the seismic performance is investigated. Current earthquake code is not describe any information about near-fault or far-fault ground motion. To search this effect, 3 groups of strong ground motions each include 7 strong ground motion records are selected with regard to TEC-2007 and seismic performance of 5-story reinforced concrete structure is assessed. The focused structure is represent our county stock in high incidence. The results show that near-fault records are more destructive for structure.

Key words: *seismic performance, near-fault, far-fault, strong ground motion*

YAKIN VE UZAK FAY YER HAREKETLERİNİN 5 KATLI BETONARME BİNANIN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET: Yapılan çalışmada, konut tipi bir yapının ülkemizde kullanılmakta olan deprem yönetmeliğine (DBYBHY-2007) göre deprem performansı incelenmiştir. Güncel çalışmalarda sıkça ele alınan yakın fay ve uzak fay etkilerinin deprem performansı incelemesindeki etkisi irdelenmiştir. Mevcut deprem yönetmeliği yakın veya uzak fay etkisi ile ilgili bir tanımlama yapmamaktadır. Bu etkiyi inceleyebilmek için faya mesafesine göre her biri 7 kuvvetli yer hareketinden oluşan 3 grup kuvvetli yer hareketi kaydı yönetmeliğimize göre seçilmiş ve bu kayıtlara göre yapının performansı incelenmiştir. İncelenen betonarme yapı, ülkemizde konut amaçlı kullanılan yapı stokunun ciddi bir kısmını oluşturduğu için 5 katlı olarak belirlenmiştir. Uygulanan analizlerden elde edilen sonuçlara göre faya yakın kaydedilen yer hareketlerinin yapıda daha fazla hasara yol açtığı anlaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: deprem performansı, yakın fay, uzak fay, kuvvetli yer hareketi.

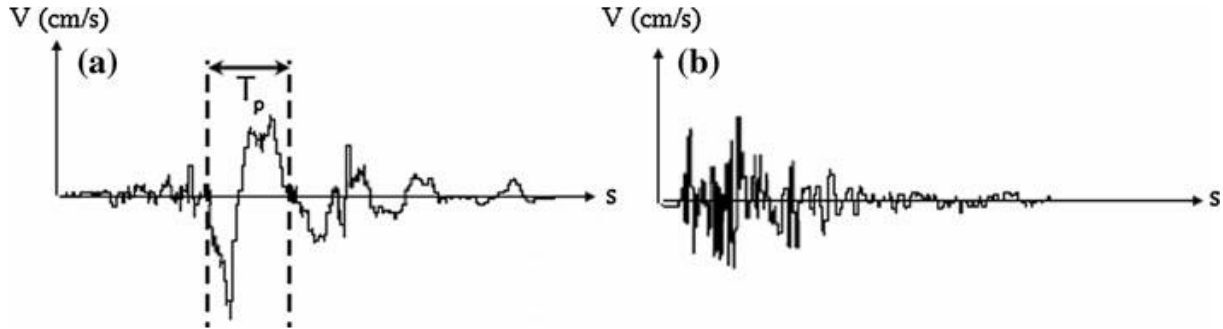
1. Giriş

Ülkemizdeki nüfusun %70'i 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yaşamakta olduğundan dolayı uzun yıllar boyunca yaşanan depremlerde (Erzincan 1992, Kocaeli 1999, Van 2011 vs) büyük can kayıpları yaşanmış, meydana gelen hasarlardan dolayı tüm ülkede büyük manevi ve maddi kayıp yaşanmıştır. Böylesi kayıplara neden olan imalat ve tasarım kusurları 1940lardan bu yana çıkartılan deprem şartnameleriyle giderilmeye çalışılmıştır. Geçmişin verdiği her deneyimle beraber gelişen deprem bilgisi yenilenen her şartnameyle beraber ortaya koyulmuştur. Geliştirilen yeni hesap yöntemleri ve mühendislik yaklaşımlarıyla günümüze kadar geliştirilerek sunulan depremle ilgili teknik şartnameler [1];

- 1940 – Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944 – Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949 – Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953 – Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1968 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1975 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1998 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 2007 – Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

DBYBHY-2007 [2] yönetmeliği ülkemizde geçerli olan en güncel deprem yönetmeliğidir. Bu yönetmelik hem deprem analizi hem de taşıyıcı sistem tasarımı açısından diğer yönetmeliklere kıyasla daha gelişmiş olmakla beraber doğrusal olmayan zaman tanım alanında kullanılmak üzere seçilecek deprem kayıtlarında, depremin merkez üssünün deprem kaydının alındığı noktaya uzaklığını dikkate almamaktadır. Ancak, özellikle son yıllarda faya yakın bölgelerden elde edilen deprem kayıtlarının yüksek hızlı darbe etkisi içermesi nedeniyle diğer kayıtlara göre önemli farklılıklar içerdiği

bilinmektedir. Akkar ve ark. [3], yakın fay ve uzak fay kuvvetli yer hareketi arasındaki farkı Şekil 1’de gösterilen hız kaydında da görülen darbe periyodu ile açıklamışlardır. Buradaki darbe periyodu, fayın kayıt merkezine uzaklığı, fayın doğrultusu ve fayın yırtılma yönünden etkilenmektedir [4, 5, 6].



Şekil 1. Kuvvetli Yer Hareketi Hız Kaydı, (a)Yakın Fay Kuvvetli Yer Hareketi, (b)Uzak Fay Kuvvetli Yer Hareketi [3]

Yakın fay etkileri konutlar, barajlar, tüneller, nükleer santraller gibi pek çok yapı tipinde incelenmiştir. Chopra ve Chintanapakdee [7] yaptıkları çalışmada tek serbestlik dereceli sistemlerde yakın fay ve uzak fay deprem kayıtlarının spektruma etkisini incelemişlerdir. Yakın fay deprem kayıtlarının bileşenlerinin bile çoğu durumda farklı etkilere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Adanur ve ark. [8] ise uzak ve yakın fay deprem kayıtlarının Boğaziçi köprülerinin deprem performanslarına etkilerini incelemişlerdir. Zhang ve Wang [9] uzak ve yakın fay deprem kayıtların betonarme ağırlık tipi bir barajın sismik performansına etkisini incelemişlerdir. Liu ve ark. [10] faya yakın bir bölgede olduğu düşünülen farklı kat sayısına sahip bitişik binaların etkilerini incelemişlerdir. Mazza ve Vulcano [11] yaptıkları çalışmada yakın fay yer hareketlerinin yatay ve düşey bileşenlerini dikkate alarak taban izolasyonlu betonarme çerçeveli binaların doğrusal olmayan dinamik tepkileri üzerine etkilerini incelemişlerdir.

2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında deprem merkez üssünün, deprem kaydının alındığı noktaya uzaklığı irdelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle betonarme bir yapının tasarımı yapılmış ve tasarım kriterlerine uygun olarak deprem grupları belirlenmiştir.

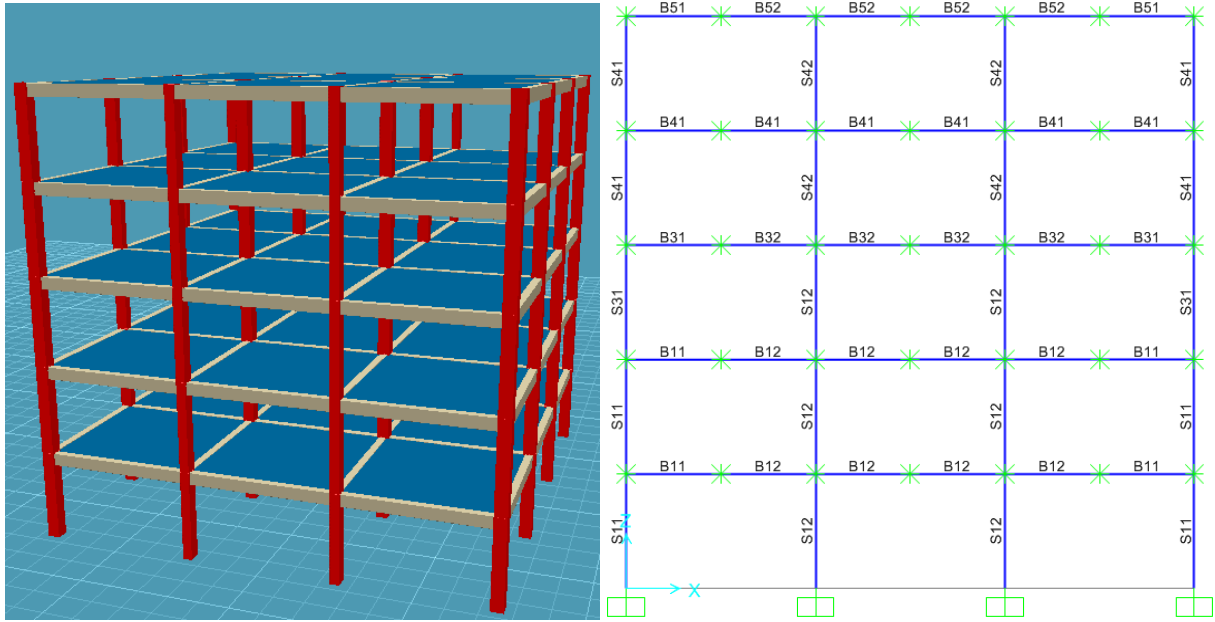
2.1. Tasarım

Dikkate alınan bina 5 katlı, her iki yönde 3 açıklıklı, betonarme çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip, konut amaçlı kullanılacak simetrik bir binadır. Yapının her iki yönde 5’er m açıklığa sahip olduğu düşünülmüştür. Bu yapının statik hesabı, ülkemizde sıklıkla kullanılmakta olan Sta4Cad paket programı [12] kullanılarak yapılmıştır. Program tasarımı TSE-500 [13], TSE-498 [14] VE DBYBHY-2007 [2] yönetmeliklerini dikkate almaktadır. Tasarım aşamasında dikkate alınan bilgiler Tablo 1’de verilmiştir;

Tablo 1. Tasarım Parametreleri

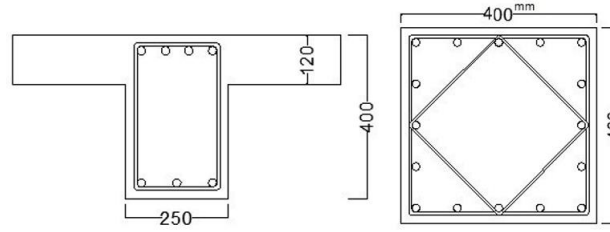
Tasarım parametresi	Veri
Deprem bölge katsayısı (A_0)	0.4
Deprem yapı davranış katsayısı (R_x/R_y)	8
Yapı önem katsayısı (I)	1
Yerel zemin sınıfı	Z2
Zemin grubu	C
Spektrum karakteristik periyodu (T_a/T_b)	0.15/0.6
Hareketli yük katsayısı	0.3
Zemin yatak katsayısı (K_0)	3000 t/m ³
Kayma dalgası hızı, ($V_{s,30}$)	200~400 m/s
Sabit yük (G)	5.0 kN/m ²
Hareketli yük (Q)	3.5 kN/m ²

Şekil 2'de yapının genel görünümü (sol) ve dikkate alınan aks ve eleman bilgileri (sağ) verilmiştir.



Şekil 2. Yapının Genel Görünümü (Solda), Dikkate Alınan Aks ve Eleman Bilgileri (Sağda)

Çerçeve sistemindeki elemanların tümü çubuk olup, kirişlerin tamamı 25x40, S11 kolonları 35x40 ve S12 kolonları 40x40 boyutlarındadır (Şekil 3). Tasarım aşamasında kiriş tabliyesinin kesit dayanımına olan etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil 3. Kiriş ve Kolon Eleman Kesitleri

Çerçeve sistemin yükleri, döşemelerin yükleri uygun şekilde dağıtılarak hesaplanmıştır. Bina ve kat kütlesi buna göre hesaplanmıştır,

$$m_i = G + 0.3 * Q = 570.75 \text{ kN} \quad (1)$$

2.2. Kuvvetli Yer Hareketlerinin Belirlenmesi

Statik ve betonarme tasarımı yapılan çerçeve sistemi Perform-3D sonlu elemanlar programı [15] kullanılarak modellenmiş ve sismik analizleri yapılmıştır. Serbest titreşim analizi sonucunda yapının hâkim titreşim periyodu $T_1 = 1.328$ sn, katkı çarpanı %82 olarak hesaplanmıştır. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçimi DBYBHY-2007 dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre;

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden kısa olmamalı,
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g 'den küçük olmamalı,
- Her ivme kaydı için %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

PEER Ground Motion Database'den [16] faydalanılarak seçilen deprem kayıtları DBYBHY-2007 dikkate alınarak yeniden ölçeklendirilmiştir. Belirlenen gruplarda fayın uzaklıkları Joyner-Boore mesafelerine göre (R_{jb}) sınıflandırılarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deprem Kayıt Grupları

Grup	Faya olan uzaklık (R_{jb}), km
G1	0-5
G2	5-20
G3	20-100

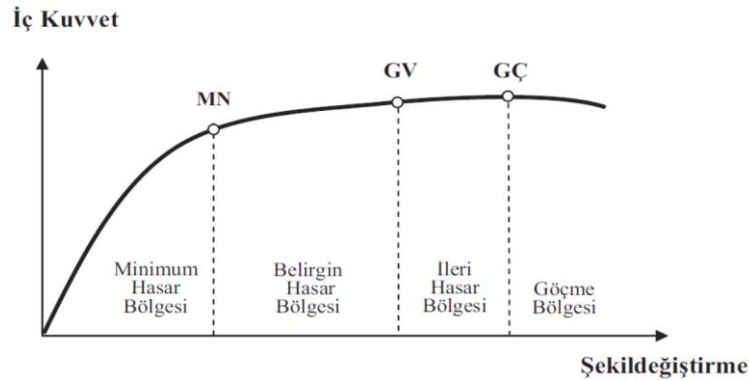
PEER Ground Motion Database, Amerikan şartnamelerini (ASCE 7-16, 2016 [17]) dikkate alarak deprem kayıtlarını belirlemektedir. Bu şartnamede deprem kayıtlarının belirlenmesi, 2 boyutlu veya 3 boyutlu yapı tipine göre farklıdır. Bu nedenle, belirlenen deprem kayıtları DBYBHY-2007'de uygun olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Tablo 2'de verilen uzaklıklar ve Tablo 1'de verilen tasarım parametrelerine uygun olarak belirlenip yeniden ölçeklendirilen deprem kayıtları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Dikkate Alınan Deprem Kayıtları

Grup	NGA	Deprem kaydı	Büyüklüğü (mag)	R _{jb} (km)	Ölç. kats.
G1	179 FN	Imperial Valley-06	6.53	4.9	1.60
	183 FP	Imperial Valley-06	6.53	3.9	1.00
	821 FN	Erzincan, Turkey	6.69	0	1.10
	1063 FN	Northridge-01	6.69	0	0.75
	1085 FN	Northridge-01	6.69	0	0.80
	1176 FP	Kocaeli, Turkey	7.51	1.4	1.00
	1605 FP	Duzce, Turkey	7.14	0	1.22
G2	184 FP	Imperial Valley-06	6.53	5.1	1.00
	266 FN	Victoria, Mexico	5.33	18.5	4.00
	802 FN	Loma Prieta	6.9	7.6	2.00
	988 FP	Northridge-01	6.69	15.5	3.00
	1009 FN	Northridge-01	6.69	14.6	2.00
	1158 FP	Kocaeli, Turkey	7.51	13.6	1.50
	1500 FN	Chi-Chi, Taiwan	7.62	17.2	2.00
G3	169 FP	Imperial Valley-06	6.53	22.0	2.00
	832 FN	Landers	7.28	69.2	3.00
	838 FP	Landers	7.28	34.9	4.00
	862 FN	Landers	7.28	54.2	4.00
	1187 FN	Chi-Chi, Taiwan	7.62	38.1	2.21
	1640 FN	Manjil, Iran	7.37	93.6	4.00
	3277 FN	Chi-Chi, Taiwan	6.3	61.5	4.00

3. Bulgular

Her deprem grubu için ayrı ayrı yapılan analizlerden elde edilen kesme kuvveti, yer değiştirme oranı ve eleman uç dönmelerinin ortalaması alınarak (DBYBHY-2007, 2.9.3) elde edilen değerlerle deprem performansı elde edilmiştir. Burada tanımlanmış olan hasar bölgeleri ve hasar sınırları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Eleman Düzeyinde Hasar Sınırlandırması (DBYBHY-2007)

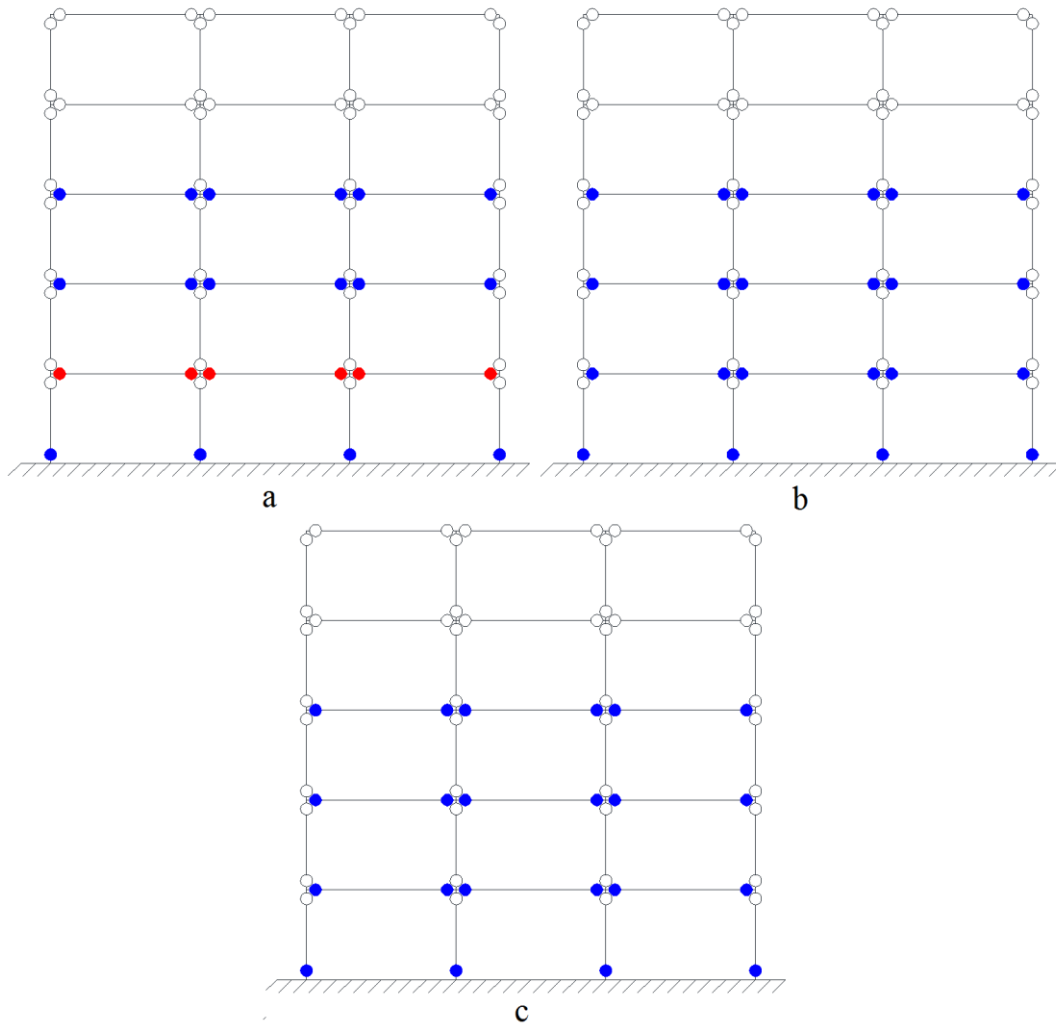
Elde edilen sonuçlara göre tüm analiz grupları için hem kat kesme kuvveti hem de eleman kesme kuvveti açısından güvenli olduğu tespit edilmiştir. Rölatif kat yer değiştirmesi ve eleman

düzeyinde performans sonuçları analiz grubuna bağlı olarak Tablo-4’de verilmiştir. Burada MN minimum hasar bölgesini, BH belirgin hasar bölgesini, İH ileri hasar bölgesini ve G göçme gölgesini göstermektedir.

Tablo 4. Performans Değerlendirmesi Sonuçları

Grup	Eleman	Eleman hasarları			G	Yapı hasarı	
		MH	BH	İH		Depl., %	Hasar
G1	Kolon	16	4	-	-	2.797	BH
	Kiriş	6	6	3	-		
G2	Kolon	16	4	-	-	2.300	BH
	Kiriş	6	9	-	-		
G3	Kolon	16	4	-	-	2.352	BH
	Kiriş	6	9	3	-		

Eleman uç eğriliğine bağlı sismik performans sonuçları Şekil 5’te gösterilmiştir. Şekillerde eleman uç hasar düzeyleri renklerle ifade edilmiştir. Beyaz minimum hasar düzeyini, mavi belirgin hasar düzeyini ve kırmızı ileri hasar düzeyini göstermektedir.



Şekil 5. Eleman Hasar Düzeyleri, a) G1 Grubu, b) G2 Grubu, c) G3 Grubu

4. Sonuçlar

Bu alışmada, DBYBHY-2007'e göre tasarlanmış betonarme bir yapının orta aksının, faya uzaklıklarına göre farklı belirlenmiş 3 kuvvetli yer hareketi grubuna göre deprem performansı incelenmiştir. Dikkate alınan ereve için yapılan analizler neticesinde aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir;

- Tüm kat ve elemanların kesme kuvveti açısından yeterlidir.
- Kat yer değiştirme oranının en yüksek %2.797 ile G1 grubunda ve en düşük %2.3 ile G2 grubunda olduğu ancak bütün analiz gruplarında bu açıdan belirgin hasar seviyesinde olduğu tespit edilmiştir.
- Eleman eğrilikleri açısından en fazla hasarın G1 grubunda olduğu ve bazı kirişlerin ileri hasar bölgesine ulaştığı grlmştir.
- En az hasarın ise G2 ve G3 gruplarında eşit sayıda olduğu tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, analiz için seçilen depremlerin aynı spektruma göre belirlenmiş olsalar dahi aynı sonuçlar vermeyebileceği ve sonuçlar açısından yakın depremlerin yapıya çok daha fazla hasar verdiği sonucuna varılmıştır.

References

- [1] Alyama E.A., Erdoğan A.S., Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Turkey, pp. 707-715
- [2] DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, *Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı*, Ankara, Turkey, 2007
- [3] Akkar, S, Yazgan, U, Gulkan, P., Drift Estimates in Frame Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions, *Journal of Structural Engineering ASCE*, 131 (2005), pp. 1014–1024
- [4] Archuleta, R.J., Hartzell, S.H., Effect of Fault Finiteness on Near-Source Ground Motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71 (1981), pp. 939–957
- [5] Megawati, K., Higashihara, H., Koketsu, K., Derivation of Near-Source Ground Motions of the 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake from Vibration Records of the Akashi Kaikyo Bridge and Its Implications, *Engineering Structures* 23 (2001), pp. 1256–1268
- [6] Pulido, N., Kubo, T, Near-Fault Strong Motion Complexity of the 2000 Tottori Earthquake (Japan) from a Broadband Source Asperity Model, *Tectonophysics*, 390 (2004), pp. 177–192
- [7] Chopra, A.K., Chintanapakdee, C., Comparing Response of SDF Systems to Near-Fault and Far-Fault Earthquake Motions in the Context of Spectral Regions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30 (2001), pp. 1769–1789
- [8] Adanur, S., Altunişik, A.C., Bayraktar, A., Akkse, M., Comparison of Near-Fault and Far-Fault Ground Motion Effects on Geometrically Nonlinear Earthquake Behavior of Suspension Bridges, *Natural Hazards*, 64 (2012), pp. 593-614

- [9] Zhang, S., Wang, G., Effects of Near-Fault and Far-Fault Ground Motions on Nonlinear Dynamic Response and Seismic Damage of Concrete Gravity Dams, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53 (2013), pp. 217-229
- [10] Liu, T., Luan, Y., Zhong, W., Earthquake Responses of Clusters of Building Structures Caused by a Near-Field Thrust Fault, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 42 (2012), pp. 56-70
- [11] Mazza, F., Vulcano, A., Effects of Near-Fault Ground Motions on the Nonlinear Dynamic Response of Base-Isolated R.C. Framed Buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41 (2012), pp. 211-232
- [12] Sta4Cad V12.1, Statik ve Betonarme Yapı Analizi Programı, *STA Bilgisayar ve Mühendislik Ltd. Şti.*, İstanbul, Turkey, 2007
- [13] TSE-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Hesap Kuralları, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara, Turkey, 2000
- [14] TSE-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Turkey, 1997
- [15] Perform3D V.5., Structural-Engineering Software, *Computer & Structures INC*, USA, 2011
- [16] PEER Ground Motion Database, http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database
- [17] ASCE 7-16, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineering/Structural Engineering Institute*, USA, 2016