BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN GERÇEK DEPREMLERE AİT İVME KAYITLARI İLE DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

O. Merter[1], T. Uçar[2], Ö. Bozdağ[3], M. Düzgün[4] ve A. Korkmaz[5]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[3] *Öğretim Görevlisi Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[4] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[5] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
Email: onur.merter@deu.edu.tr

ÖZET:

Yeryüzünü ve yapıları etkileyen en önemli doğal afetlerden birisi olan depremlerin yapılara olan etkileri ile bu etkiler altında yapıların davranışlarının, dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi gibi konular "Deprem Mühendisliği" alanını oluşturmaktadır. Bu araştırma alanı, ülkemizde özellikle son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremlerin ardından daha da önem kazanmıştır. Bununla birlikte sismik etkiler altında yapı davranışının belirlenmesine yönelik bir hesap yöntemi olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin kullanımı günümüzde gitgide artmaktadır. Bu tip hesap yöntemleri, deprem etkileri altında yapıdan istenen sismik talebi belirlemenin en gerçekçi yolu olmasına rağmen, karmaşıklığı ve zaman alıcılığı gibi nedenlerden dolayı yönetmeliklerde yapı davranışını daha basit bazı statik yöntemlerle belirleme yoluna gidilmektedir. Bu çalışmada, gerçek deprem ivmelerine maruz çok katlı betonarme çerçeve yapı sistemleri ele alınarak bu tip yapıların deprem etkileri altında doğrusal olmayan dinamik davranışları araştırılmıştır. Analizler için onbir adet farklı gerçek deprem kaydı seçilmiş ve bu depremlerin ivme kayıtlarının Türk Deprem Yönetmeliği'nde (DBYYHY, 2007) Z3 yerel zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklemesi yapılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu yapıların çeşitli tepki parametreleri elde edilerek, sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. DBYBHY (2007) koşullarına uygun olarak boyutlandırılan bu betonarme çerçeve yapıların söz konusu depremler etkisinde zayıf kesitleri belirlenmiş ve oluşan plastik kesit dağılımları dikkate alınarak çerçevelerin genel anlamda deprem performansları ve davranışları değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Deprem mühendisliği, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, yapıların tepki parametreleri, plastik mafsal.

1. GİRİŞ

Bina ve bina türü yapıların deprem hesabında doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışının daha gerçekçi olarak modellenebilmesi ve bilgisayarların işlem kapasitelerinin artmasıyla birlikte, geleneksel olarak kullanılan yöntemlere ilave olarak doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri de binaların tasarımı, analizi ve deprem performansının belirlenmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler arasında Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, literatürde deprem etkileri altında yapı davranışının en gerçekçi şekilde modellendiği yöntem olarak ön plana çıkmaktadır (Li, 1996; Chopra ve Goel, 2002; Antoniou ve Pinho, 2004; Fahjan v.d., 2011).

Herhangi bir kısıtlamaya bağlı kalınmaksızın tüm bina ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilen Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (DBYBHH, 2007), taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranışın dikkate alınarak sisteme ait hareket denkleminin adım adım entegre edilmesi esasına dayanır. Analiz sonucunda her bir zaman artımı için sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik dönme, eleman iç kuvvetleri gibi büyüklükler hesaplanabilir.

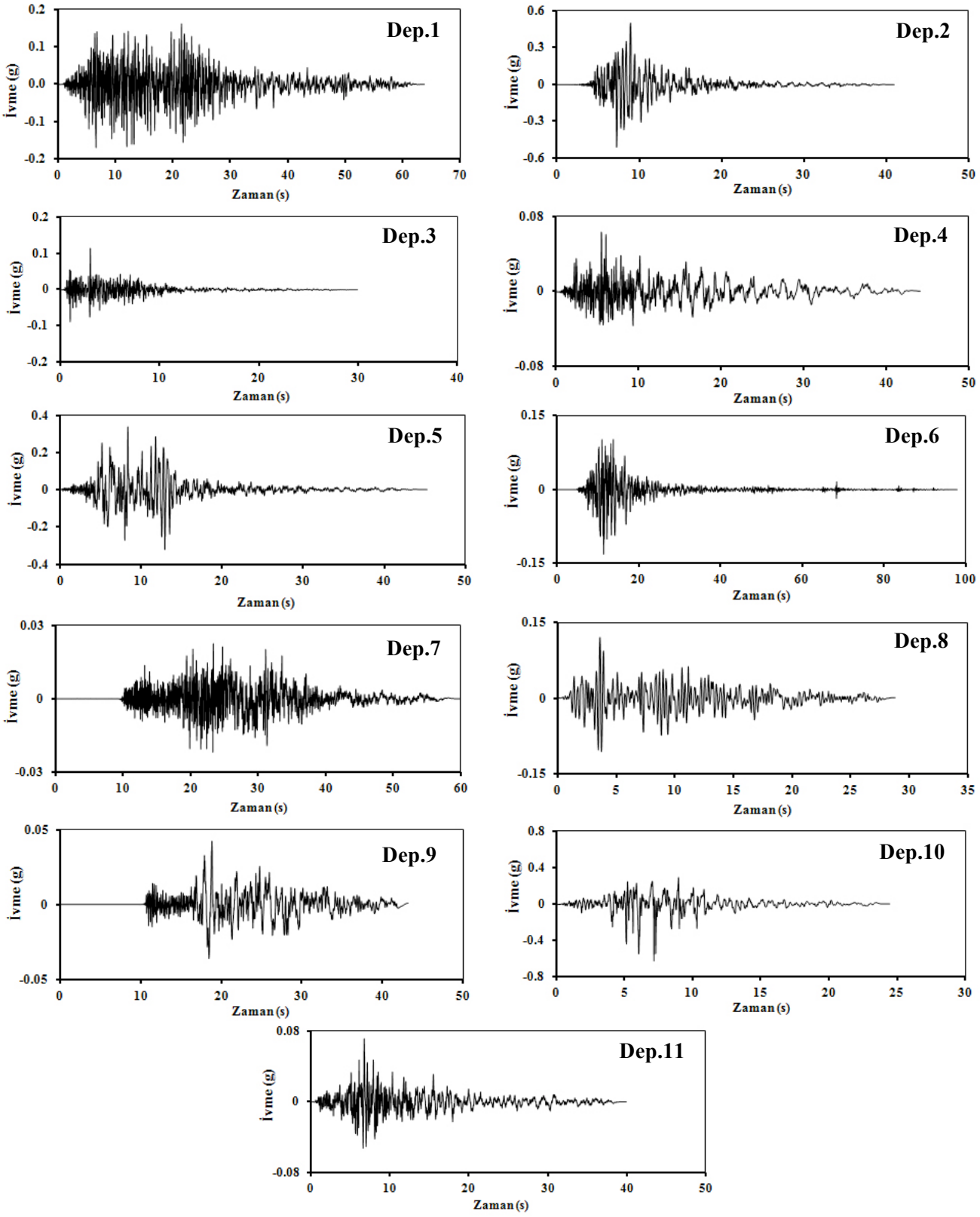
Bu çalışmada, TS-500 (TS-500, 2000) ve DBYBHY (2007)'ye uygun olarak boyutlandırılan 5 ve 10 katlı iki betonarme düzlem çerçevenin Z3 yerel zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş 11 adet farklı gerçek deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen çeşitli tepki parametreleri tablo ve grafik olarak sunulmuş ve ayrıntılı değerlendirme yapılmaksızın, oluşan plastik kesit dağılımları dikkate alınarak yönetmeliğe uygun boyutlandırılan bu çerçevelerin performansları değerlendirilmiştir.

2. SEÇİLEN DEPREM KAYITLARI

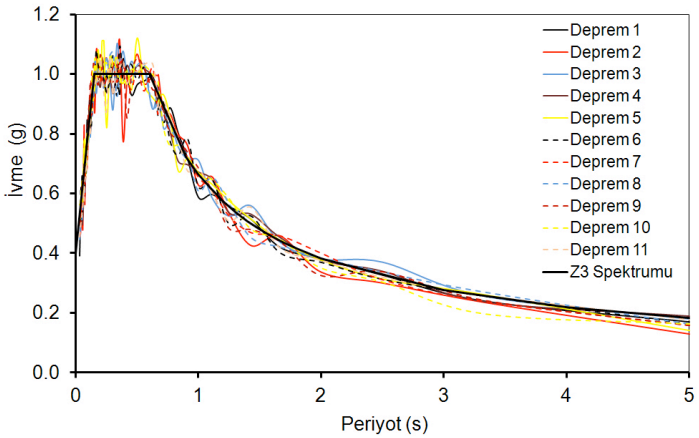
Çalışma kapsamında moment büyüklükleri (M_w) 6 ila 7.5 arasında değişen 11 adet farklı ve filtreli deprem ivme kaydı seçilmiştir. Depremlerin ivme kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin internet sitesinden elde edilmiş (PEER, 2013) ve bu deprem kayıtlarının özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Burada M_w depremin moment büyüklüğü, R_{JB} Joyner-Boore mesafesi, PGA, PGV ve PGD ise sırasıyla en büyük yer ivmesi, hızı ve yer değiştirmesidir. Depremlere ait ivme kayıtları Şekil 1'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan depremler Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiştir (Şekil 2).

Tablo 1. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem No	Deprem ve Tarihi	M_w	İstasyon (Bileşen)	R_{JB} (km)	Mekanizma	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	**ImperialValley**, 15.10.1979	6.5	Cerro Prieto #6604	15.19	Doğrultu Atımlı	0.176	14.04	5.84
2	**Kobe**, 16.01.1995	6.9	Nishi Akashi	7.1	Doğrultu Atımlı	0.509	37.30	9.52
3	**Morgan-Hill**, 24.04.1984	6.2	Gilroy-Gavilan Coll.	14.8	Doğrultu Atımlı	0.114	3.60	0.87
4	**Parkfield**, 28.06.1966	6.2	Cholame – Shandon	17.64	Doğrultu Atımlı	0.063	6.80	3.55
5	**Hector Mine**, 16.10.1999	7.1	SCSN 99999 Hector	10.35	Doğrultu Atımlı	0.306	34.21	17.71
6	**Chi-Chi**, 20.09.1999	6.2	CHY080-E	12.4	Doğrultu Atımlı	0.123	15.86	5.64
7	**Düzce**, 12.11.1999	7.1	Sakarya-090	45.2	Doğrultu Atımlı	0.023	5.50	7.34
8	**Düzce**, 12.11.1999	7.1	Mudurnu-000	34.3	Doğrultu Atımlı	0.120	9.30	7.63
9	**Düzce**, 12.11.1999	7.1	Lamont 362	23.4	Doğrultu Atımlı	0.042	9.20	8.07
10	**Victoria, Mex.**, 06.09.1980	6.3	Cerro Prieto #6604	13.8	Doğrultu Atımlı	0.621	31.60	13.2
11	**Chalfant-Vall.**, 21.07.1986	6.2	Convict Creek #54099	29.4	Doğrultu Atımlı	0.064	3.79	1.26



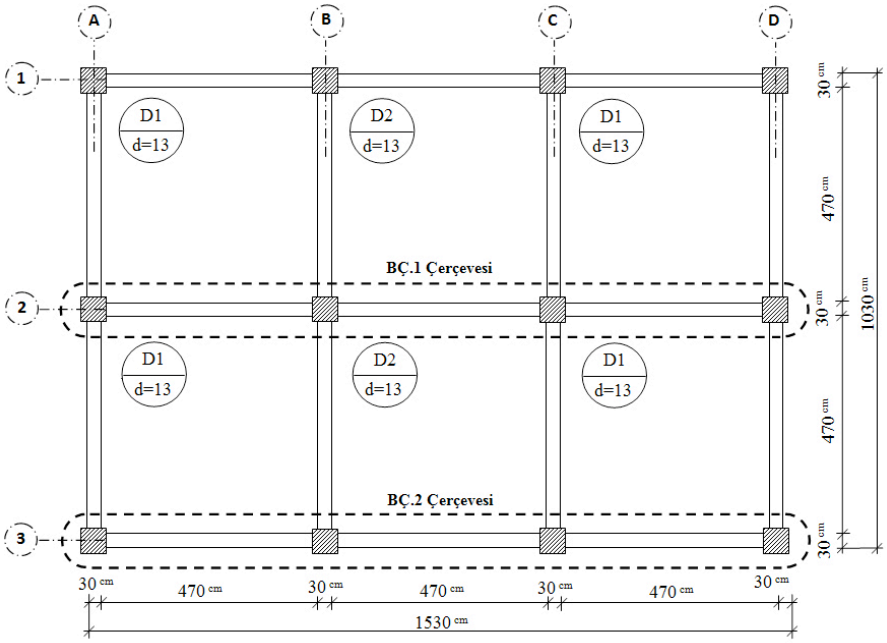
Şekil 1. Tablo 1'de özellikleri verilen depremlerin ivme kayıtları



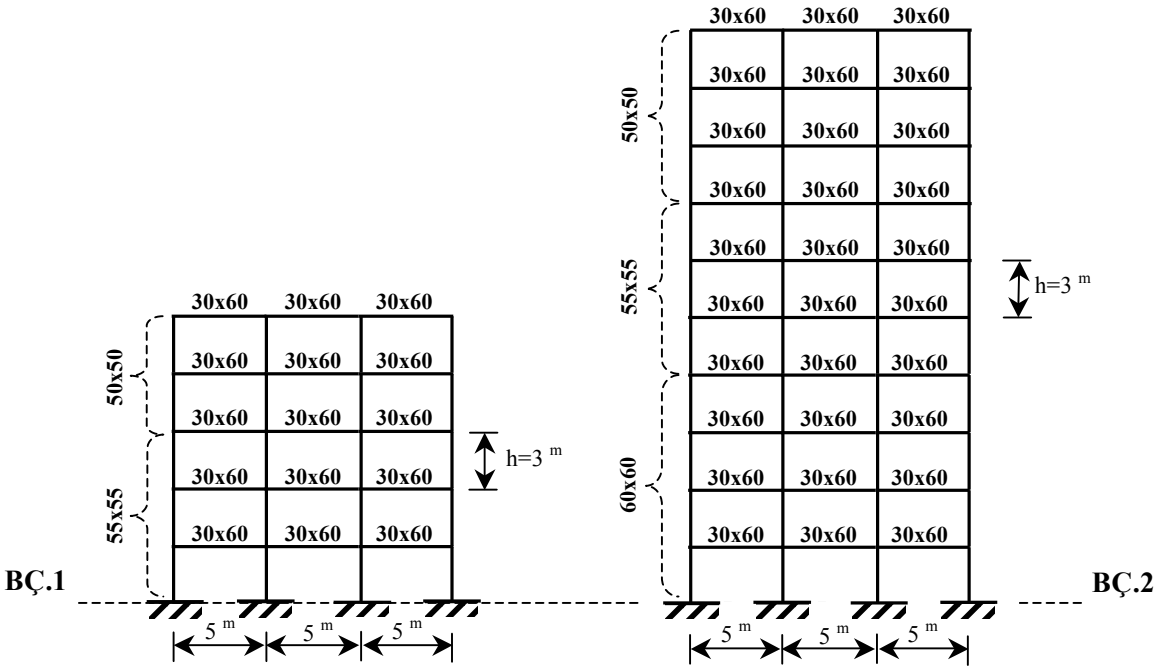
Şekil 2. Z3'e göre ölçeklendirilmiş ivme spektrumları ve Z3'e ait elastik tasarım ivme spektrumu

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN BETONARME ÇERÇEVE YAPILAR

Çalışma kapsamında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için ele alınan betonarme çerçevelerin, Şekil 3'de verilen kalıp planının belirtilen akslarından çıkarıldığı kabul edilmiştir. Söz konusu çerçeveler DBYBHY (2007) ve TS-500 (2000) standartlarına göre süneklik düzeyi yüksek olarak boyutlandırılmıştır. Tasarımda kullanılan malzemeler C25/S420'dir. Çerçevelerin 1. derece deprem bölgesinde ve Z3 yerel zemin türü üzerinde inşa edildiği varsayılmıştır. Döşemeler için öngörülen hareketli yük 3.5 kN/m^2 ve kaplama+sıva yükü 1.5 kN/m^2'dir. Kat yükseklikleri, kiriş açıklıkları ve taşıyıcı sistem elemanlara ait boyutlar, çerçevelerin Şekil 4'deki boy kesitlerinde belirtildiği gibidir. Çerçevelerin tasarımında kiriş ve kolon boyutları her katın tüm açıklıklarında aynı olacak şekilde seçilmiştir. Çerçeve kirişleri dikdörtgen kesitli olup, kolonlar ise kare kesitli ve simetrik donatılıdır. BÇ.1 çerçevesinin 1. kat kolonlarında boyuna donatı 12f22 ve üst kat kolonlarının tümünde 12f18'dir. BÇ.2 çerçevesinin kolonlarının boyuna donatıları ise 1. katta 12f24, 2.: 4. kat arasında 12f20 ve diğer üst katlarda 12f18'dir. Her iki çerçevenin kiriş mesnetlerinin boyuna donatıları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. BÇ.1 ve BÇ.2 çerçevelerinin çıkarıldığı betonarme kat kalıp planı



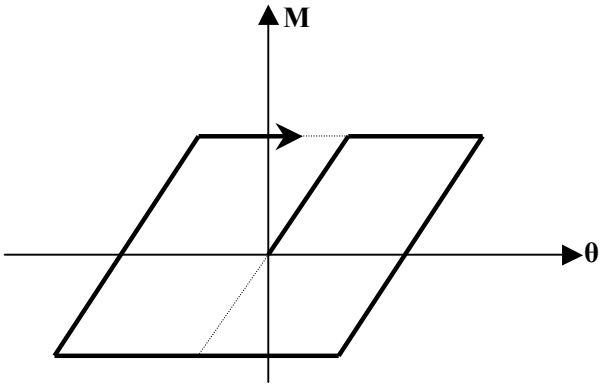
Şekil 4. Beş ve on katlı betonarme çerçeve türü yapılar (BÇ.1 ve BÇ.2)

Tablo 2. Çerçeve kirişlerinin mesnet donatıları

BÇ.1 Çerçevesi Kiriş Donatıları				BÇ.2 Çerçevesi Kiriş Donatıları			
Kat	Konum	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Kat	Konum	Sol Mesnet	Sağ Mesnet
1-2	Üst	8ϕ18	8ϕ18	1-5	Üst	7ϕ18	7ϕ18
	Alt	5ϕ18	5ϕ18		Alt	5ϕ18	5ϕ18
3	Üst	7ϕ18	7ϕ18	6-7	Üst	6ϕ18	6ϕ18
	Alt	4ϕ18	4ϕ18		Alt	4ϕ18	4ϕ18
4	Üst	7ϕ16	7ϕ16	8-9	Üst	6ϕ16	6ϕ16
	Alt	4ϕ16	4ϕ16		Alt	3ϕ16	3ϕ16
5	Üst	4ϕ16	4ϕ16	10	Üst	4ϕ16	4ϕ16
	Alt	3ϕ16	3ϕ16		Alt	3ϕ16	3ϕ16

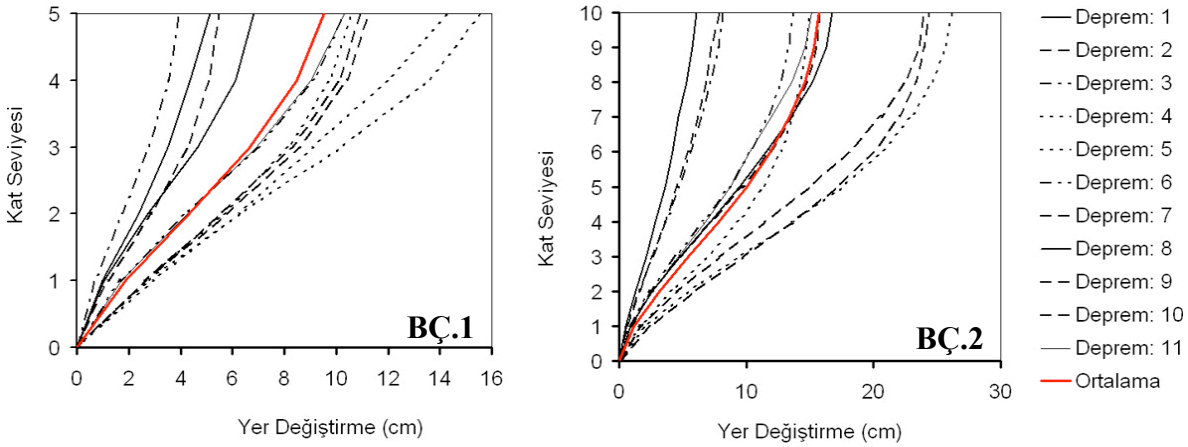
4. DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZLER

Bu çalışmada kapsamında Şekil 5'de gösterilen çerçevelerin, Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 11 adet depreme ait ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Sönüm oranı %5 olarak alınıp, kütle ve rijitlik ile orantılı olan Rayleigh sönüm modeli (Chopra, 1995) kullanılmıştır. Kiriş ve kolonların etkin eğilme rijitlikleri (EI_e) DBYBHY (2007)'de belirtildiği gibi alınmıştır. Kesitlerin doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesinde, sargılı ve sargısız beton ile donatı çeliği için DBYBHY (2007)'de verilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Kesit analizleri XTRACT (2006) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çevrimsel ilişkisi elastoplastik olarak tanımlanan plastik mafsalların kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde oluştuğu kabul edilmiştir. Plastik mafsallara ait çevrimsel eğilme momenti (M) - dönme (θ) ilişkisi Şekil 5'de gösterilmiştir. Çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde çözüm yöntemi olarak "Doğrusan İntegrasyon Yöntemi" kullanılmış ve analizlerde SAP2000 (2013) programından yararlanılmıştır.



Şekil 5. Plastik mafsallar için kabul edilen çevrimsel M-θ ilişkisi

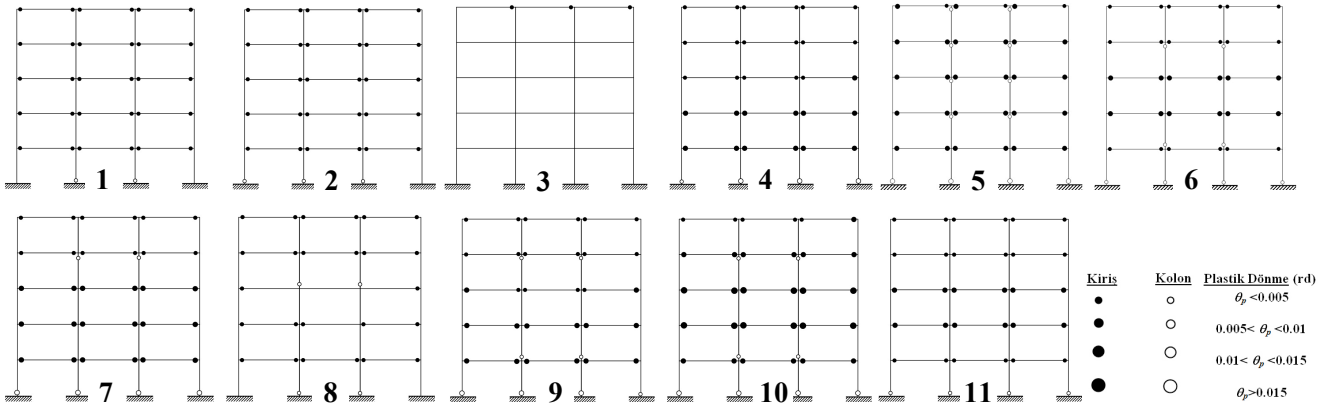
Çalışma kapsamında ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının kullanılması ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen her iki çerçeveye ait kat yatay yer değiştirmeleri Şekil 6'da görülmektedir. Çerçeveler için analizlerden elde edilen en büyük taban kesme kuvvetleri (V_{max}) ve bunların toplam yapı ağırlığına (W) oranları (V_{max}/W) Tablo 3'de verilmiştir.



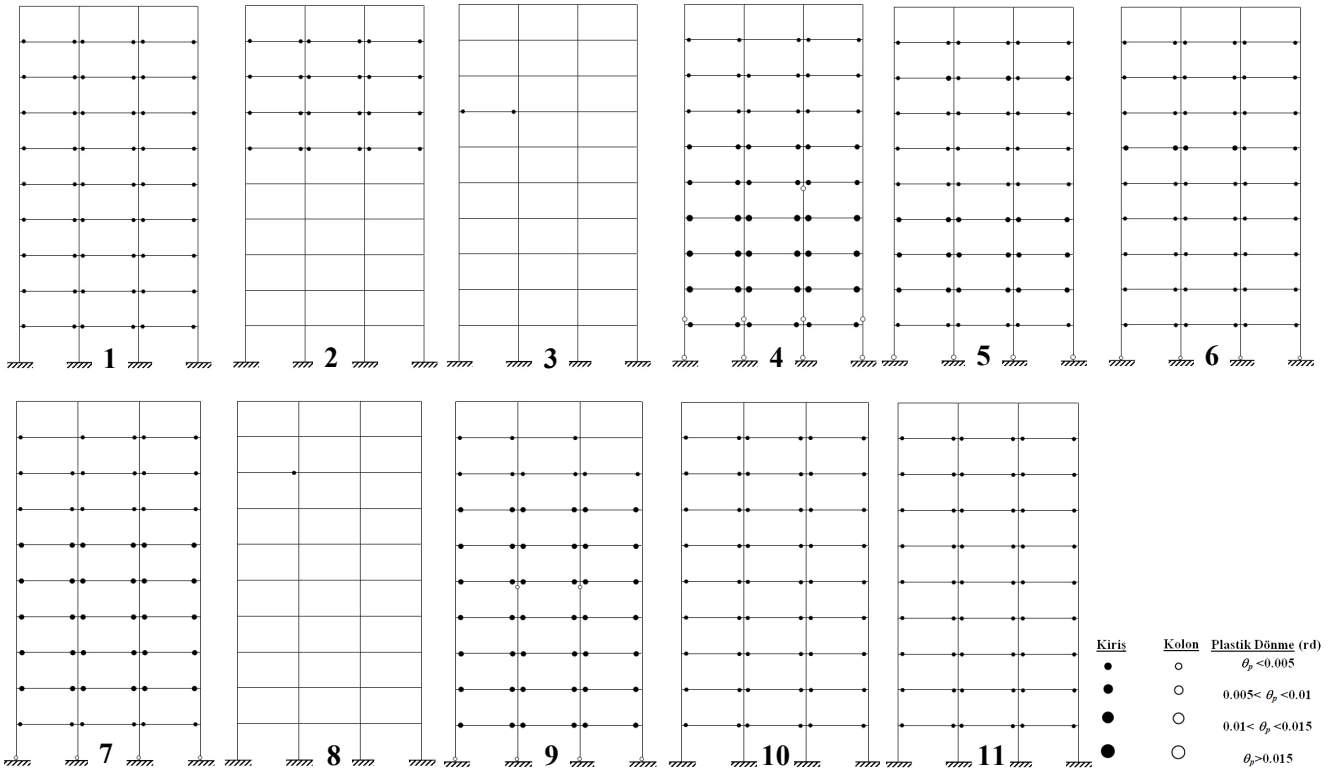
Şekil 6. BÇ.1 ve BÇ.2 çerçevelerine ait yer değiştirme sonuçları

Tablo 3. Analizler sonucu elde edilen V_{max} ve V_{max}/W değerleri

Deprem	BÇ.1	BÇ.2	BÇ.1	BÇ.2
No	V_{max} (kN)	V_{max} (kN)	V_{max}/W	V_{max}/W
1	1176	1243	0.184	0.159
2	1143	941.6	0.179	0.120
3	900	780.4	0.141	0.100
4	1314	1211	0.205	0.155
5	1342	1234	0.209	0.158
6	1325	1007	0.207	0.129
7	1283	1230	0.200	0.157
8	1079	720.8	0.169	0.092
9	1261	1178	0.197	0.151
10	1281	1166	0.200	0.149
11	1249	1183	0.195	0.152



Şekil 7. BÇ.1 çerçevesine ait ve 11 farklı depremden elde edilmiş olan plastik mafsal dağılımları



Şekil 8. BÇ.2 çerçevesine ait ve 11 farklı depremden elde edilmiş olan plastik mafsal dağılımları

Şekil 7 ve Şekil 8'de, ele alınan betonarme çerçevelere ait ve 11 farklı deprem ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilmiş plastik mafsalların dağılımları görülmektedir. Plastikleşen kesitlerin dönme değerlerinin değişim aralıklarına bağlı olarak, plastik mafsallar farklı çaplara sahip dairelerle temsil edilmiştir. İçi boş olan daireler kirişlerde oluşan plastik mafsalları, içi dolu olarak gösterilen daireler ise kolonlardaki plastik mafsalları simgelemektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de çerçeveler üzerinde yazılı olan sayılar çalışmada kullanılan depremlerin numaralarıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TS-500 (2000) ve DBYBHY (2007)'ye uygun olarak boyutlandırılan 5 ve 10 katlı iki betonarme çerçevenin, Z3 yerel zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş 11 adet farklı gerçek deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz çıktısı olarak her iki çerçeveye ait kat yatay yer değiştirmeleri ve her bir deprem kaydı için en büyük taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

Kat yatay yer değiştirmeleri incelendiğinde her depremin, analizlere kendi özelliğini yansıtmakta olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla farklı depremlerden farklı yapısal tepki parametreleri elde edilmektedir.

Binaların tasarımında kullanılan V_t/W oranı BÇ.1 için 0.119 ve BÇ.2 için 0.085'dir. Her bir deprem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden elde edilen V_{max}/W oranı, tasarımda dikkate alınan değerin üzerindedir. Ayrıca V_{max}/W oranları, binanın kat sayısının artışına bağlı olarak azalmaktadır. Bu durumda binaların yatay dayanım ve rijitliklerinin, kat sayıları arttıkça azaldığı söylenebilir.

Farklı depremlerin farklı göçme mekanizmaları oluşturduğu görülmüştür. Plastikleşen kesitlerin çerçeve elemanlarındaki dağılımları ve bu kesitlerdeki plastik dönme değerleri incelendiğinde, kolonların çoğunlukla elastik davrandığı ve mafsallaşmaların genellikle kiriş elemanlarda oluştuğu gözlemlenmiştir. Yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan çerçeve türü yapılar, genel olarak yönetmeliğin öngördüğü kolonların kirişlerden daha güçlü olması, elamanların kesmeden önce eğilme kapasitesine ulaşması gibi koşulları sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Antoniou, S. ve Pinho, R. (2004). Advantages and limitations of adaptive and non-adaptive force-based pushover procedures. *Journal of Earthquake Engineering* **8:4**, 497-522.

Chopra, A.K. (1995). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Chopra, A.K. ve Goel, R.K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demand for buildings. *Earthquake Engineering&Structural Dynamics* **31:3**, 561-582.

CSI (2013). SAP2000: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures v.15.1.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

Fahjan, Y.M., Vatansever, S. ve Özdemir, Z. (2011). Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları ile Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.

Li, Y.R. (1996). Non-Linear Time History and Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation. Doktora Tezi, Texas Üniversitesi, Austin, TX, ABD.

Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) (2013),PEER Strong Motion Database, http://peer.berkeley.edu/.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), 26454 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS-500), Ankara.

XTRACT Educational 3.0.7 (2006). Imbsen Software Systems, Sacramento.