mühendislikdergisi
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Cilt: 7, Sayı: 1,23-32
Mayıs 2016

Betonarme binaların deprem davranışlarının artımsal dinamik analiz yöntemiyle değerlendirilmesi

Mehmet Emin ÖNCÜ[*,1], Merve ŞAHİN YÖN[2]

[1] *Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*
[2] *Tunceli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli*

Makale Gönderme Tarihi: 04.04.2016 Makale Kabul Tarihi: 29.04.2016

Öz

Bu çalışmada, betonarme binaların sismik davranışı artımsal dinamik analiz yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Sayısal çalışma için betonarme çerçeve bir bina seçilmiştir. Seçilen bina için doğrusal olmayan statik itme (Pushover) analizi ve artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizler için seçilen dört deprem ivme kaydı Türk Deprem Yönetmeliğinde Z2 zemin sınıfına göre tanımlanan spektruma ölçeklendirilmiştir. Analizler sonucunda binanın kapasite eğrisi, maksimum tepkileri ve göreli kat ötelemeleri elde edilmiştir. Tepki değerleri kullanılarak binanın idealize edilmiş dinamik pushover eğrisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre seçilen binanın artımsal dinamik analizlerinin yapılmasının deprem davranışının daha doğru tespit edilebilmesi için uygun olacağı görülmüştür. Statik itme analizinden elde edilen göreli kat ötelemelerinin 0.4g'ye kadar olan yer hareketine sahip depremlerin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemelerinden daha büyük sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Artımsal dinamik analiz; Statik pushover analizi; Yayılı plastik mafsal.*

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet Emin ÖNCÜ. *oncume@dicle.edu.tr*; Tel: (0412) 241 10 00 (3544)

Giriş

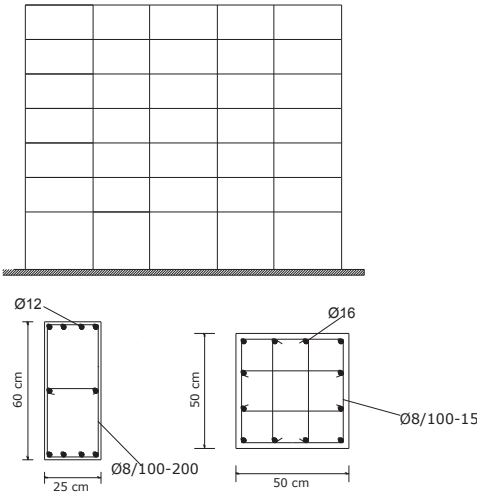
Bir binanın doğrusal elastik bölgeden akma ve göçme bölgesine kadar olan davranışını gösteren bir yönteme ihtiyaç vardır. Çok serbestlik dereceli sistemler için yüksek modların etkisinden dolayı doğrusal olmayan davranışın belirlenmesi zordur. Artımsal dinamik analiz yöntemi binaların doğrusal olmayan davranışlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemde bir grup yer hareketi seçilir ve her bir kayıt deprem ivme katsayıları kullanılarak ölçeklendirilir. (Vamvatsikos ve Cornell (2002); Dolsek ve Fajfar (2005); Han ve Chopra (2006); Amirahmad, (2013)).

Binanın performans tahmininde kullanılan diğer bir yöntem de statik itme (pushover) analizi yöntemidir. Bu yöntem binanın elastik ötesi bölgedeki davranışını gösteren pratik bir metottur. Bu analizden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı binanın kapasite eğrisini verir. Bu eğriyi elde etmek için yanal kuvvetler, binanın tepe noktasının yerdeğiştirmesinin belirlenen bir yerdeğiştirme değerine ulaşıncaya kadar, monolitik olarak arttırılır (Chan ve Zou (2004); İnel ve Özmen (2006); Eslami ve Ronagh (2012); Yön ve Calayır (2014)).

Bu çalışmada, betonarme binaların sismik davranışı artımsal dinamik analiz yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Sayısal çalışma için betonarme çerçeve bir bina seçilmiştir. Seçilen binanın doğrusal olmayan statik itme (Pushover) analizi ve artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizler için seçilen dört deprem ivme kaydı Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY-2007) tanımlanan Z2 zemin spektruma ölçeklendirilmiştir. Analizler sonucunda kapasite eğrisi, maksimum tepkiler ve göreli kat ötelemeleri belirlenmiştir. Artımsal dinamik analizlerden elde edilen maksimum tepkiler kullanılarak seçilen binanın dinamik pushover eğrisi elde edilmiştir. Dinamik analizler arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, sayısal çalışma için 7 katlı-5 açıklıklı betonarme bir düzlem çerçeve seçilmiştir. Seçilen binanın toplam yüksekliği 23m, zemin katı 5m, normal katlar ise 3 m olarak seçilmiştir. Birinci, üçüncü ve son açıklıklar 6m; ikinci ve dördüncü açıklıklar 5m'dir. Binanın Z2 zemin sınıfında yer aldığı ve bina önem katsayısının 1 olduğu kabul edilmiştir. Artımsal dinamik analizler için SeismoStruct yapı analiz programı kullanılmıştır. Analizlerde dört farklı deprem kaydının Pik Yer İvmeleri (PGA) 0.1g'den 0.5g' ye kadar arttırılmıştır. Seçilen deprem ivme kayıtları TDY-2007'de tanımlanan Z2 zemin sınıfına uygun olarak tasarım spektrumuna ölçeklendirilmiştir. Binanın temeli rijit olarak kabul edilmiş ve zemin kaynaklı sönüm dikkate alınmamıştır. Binanın görünüşü ve yapısal eleman detayları Şekil 1'de gösterilmiştir.



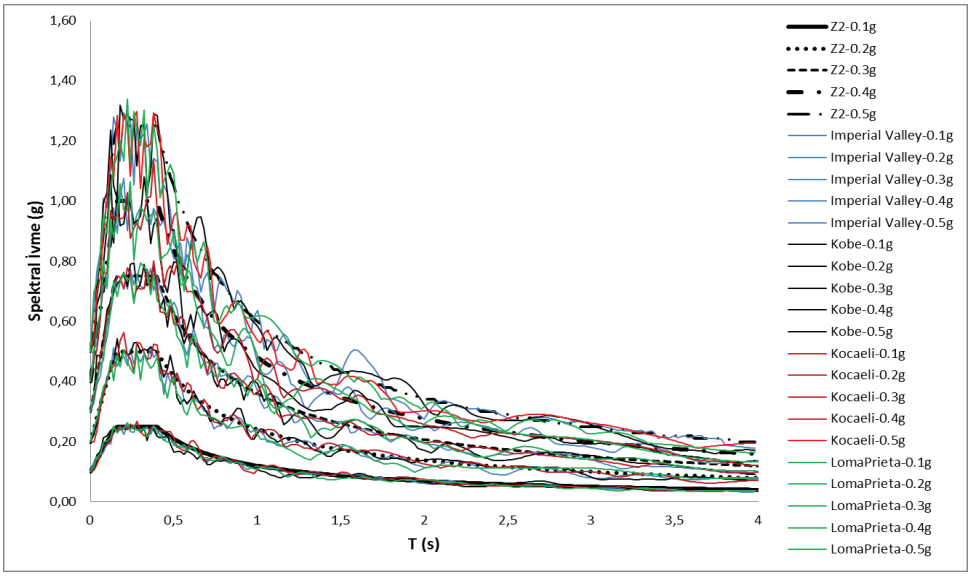
Şekil 1.Seçilen binanın düzlemsel görünüşü ve yapısal elaman detayları

Doğrusal olmayan analizler için birçok araştırmacı tarafından kullanılan yayılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır (Mwafy ve Elnashai (2001); Jeong ve Elnashai (2005);

Kwon ve Kim (2010); Duan ve Hueste (2012); Carvalho ve diğ. (2013); Yön ve Calayır (2015); Yön ve diğ. (2015)). Bu modelde, yapı elemanının yayılı plastik hesabı yapılabilmektedir. Bunun için yapı elemanı üç farklı tipteki liflere bölünebilmektedir. Bazı lifler boyuna çelik donatı çubuklarının modellenmesi için, bazıları doğrusal olmayan sargılı çekirdek beton davranışı için kullanılırken diğer lifler sargısız kabuk beton için tanımlanmıştır. Her bir lif, gerilme alanı malzemede tanımlanmış $\sigma-\varepsilon$ gerilme-şekildeğiştirme kavramına göre belirlenmiştir. Seçilen deprem ivme kayıtlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Analizlerde kullanılan kayıtlar (PEER Strong Motion Database) elde edilmiştir. Şekil 2'de ise bu ivme kayıtlarının tepki spektrumlarının farklı büyüklükteki ivmelere göre Z2 elastik tepki spektrumuna ölçeklendirilmesi gösterilmektedir. Kayıtların ölçeklendirilmesinde SeismoArtif ve SeismoSignal programları kullanılmıştır. Artımsal dinamik analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetleri, tepe deplasmanları ve bu değerlere ait istatistik sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 1. Seçilen deprem ivmelerinin özellikleri.

Depremler	İstasyon	Yön	Tarih	Büyüklük	PGA (g)
İmperial Valley	El Centro Array	D-B	19 Mayıs 1940	7.0	0.313
Kobe	Kjm	D-B	16 Ocak 1995	6.9	0.821
Kocaeli	Düzce	K-G	17 Ağustos 1999	7.4	0.358
Loma Prieta	Corralitos	D-B	18 Ekim 1989	6.9	0.644



Şekil 2. Z2 zemin sınıfı için elastik tepki spektrumuna ölçeklenen deprem ivme kayıtlarının tepki spektrumları

Tablo 2. Farklı PGA değerlerine göre analizlerden elde edilen tepe deplasmanı ve taban kesme kuvvetleri

Depremler	PGA (g)	Tepe Deplasmanı (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
İmperial Valley	0.1	0.122	507.6
	0.2	0.192	623.1
	0.3	0.328	665.6
	0.4	0.389	709.8
	0.5	0.495	769.6
Kobe	0.1	0.105	505.7
	0.2	0.185	552.4
	0.3	0.255	658.5
	0.4	0.445	661.7
	0.5	0.515	669.2
Kocaeli	0.1	0.114	530.4
	0.2	0.195	652.8
	0.3	0.303	604.1
	0.4	0.452	679.1
	0.5	0.525	681.6
Loma Prieta	0.1	0.106	531.2
	0.2	0.231	682.8
	0.3	0.284	697.9
	0.4	0.358	604.8
	0.5	0.374	650.1

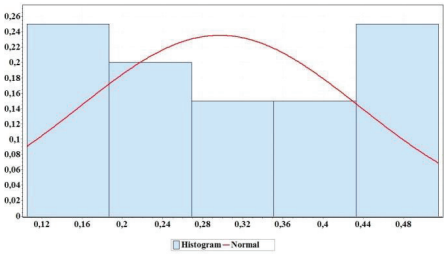
Tablo 3. Deprem kayıtlarına ait istatistiksel veriler.

	Max.	Min.	Ort.	Varyans	Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Medyan	Toplam	Veri sayısı
Deplasman	0.53	0.11	0.3	0.02	0.14	0.47	0.14	0.29	5.97	20
Taban Kesme Kuvveti	769.6	505.7	631.9	5331.04	73.01	244.48	-0.40	655.65	12638.00	20

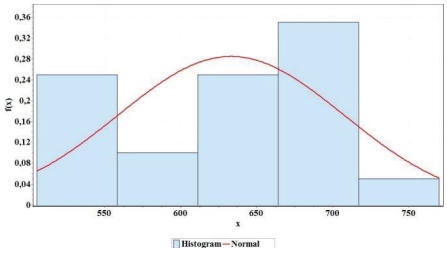
Tablo 4. İç bağımlılıklar

I. Mertebe İç Bağımlılık	II. Mertebe İç Bağımlılık	III.Mertebe İç Bağımlılık
-0.125223754	-0.418174364	-0.263052457

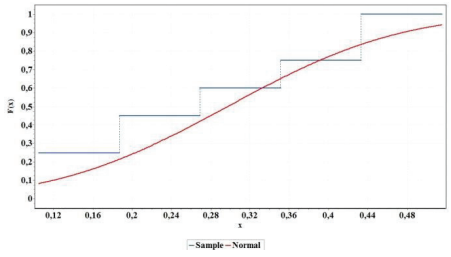
Şekil 3-4'de Deplasman ve Taban Kesme Kuvvetlerine ait Histogram ve Normal Dağılım Eğrileri, Şekil 5-6'da bu değerlere ait Kümülatif Dağılım Eğrileri gösterilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'den görüldüğü üzere veriler normal dağılıma uygundur.



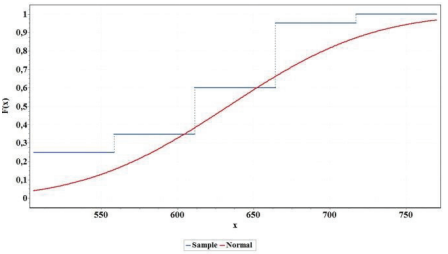
Şekil 3.Deplasman Değerlerinin Histogramı ve Normal Dağılım Eğrisi



Şekil 4.Kesme Kuvveti Değerlerinin Histogramı ve Normal Dağılım Eğrisi

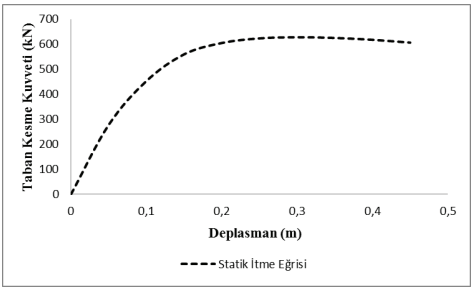


Şekil 5.Deplasman Değerlerinin Kümülatif Dağılımı

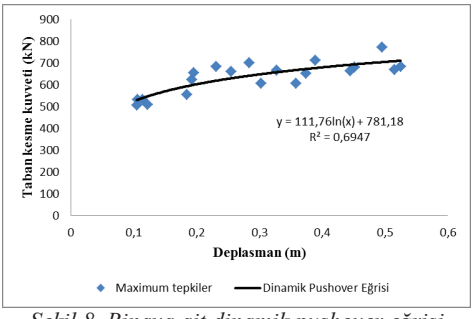


Şekil 6.Kesme Kuvveti Değerlerinin Kümülatif Dağılımı

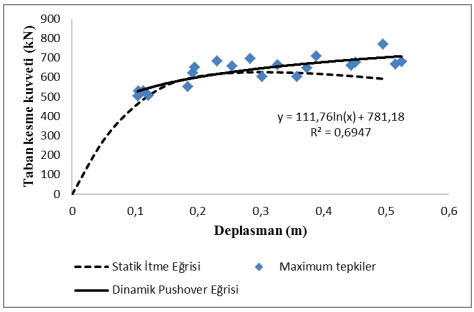
Binanın statik itme analizinden elde edilen statik itme eğrisi Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 8'de maksimum tepkilerden elde edilen dinamik pushover eğrisi gösterilmektedir. Bu eğrinin korelasyon katsayısı 0.6947 olarak hesaplanmıştır. Şekil 9'da ise dinamik pushover eğrisi ile statik pushover eğrisinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu iki eğri 0.3m deplasman değerine kadar yaklaşık benzer sonuçlar verirken bu değerden sonra statik pushover eğrisi dinamik pushover eğrisinin altında kalmaktadır.



Şekil 7. Binaya ait statik itme eğrisi

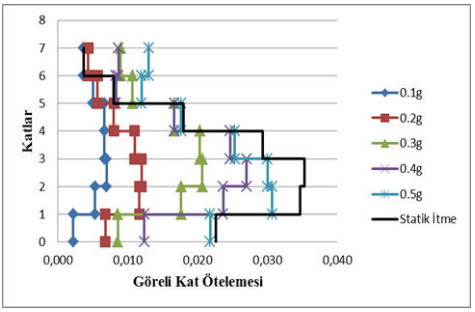


Şekil 8. Binaya ait dinamik pushover eğrisi

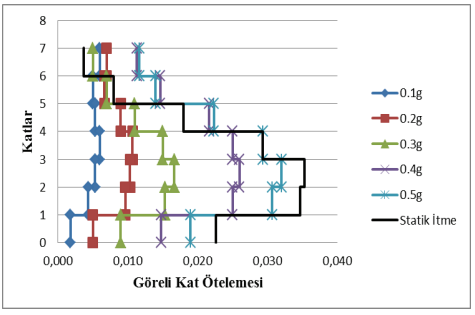


Şekil 9. Dinamik pushover eğrisi ile statik itme eğrisinin karşılaştırılması

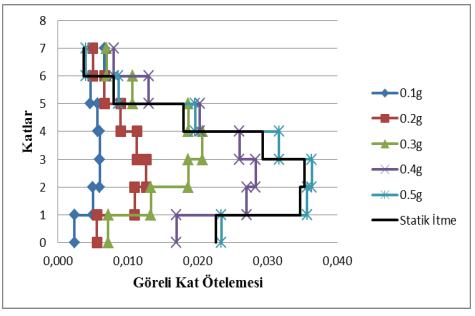
0.1g'den 0.5g'ye kadar ölçeklendirilmiş Imperial Valley, Kobe, Kocaeli ve Loma Prieta depremlerinin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri Şekil 10-13'de verilmiştir. Buna göre, statik itme analizinden elde edilen göreli kat ötelemeleri Imperial Valley ve Kobe depremlerinin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemelerini 4 ve 5. katlara kadar kapsarken, üst katlarda dinamik analizlerden elde edilen göreli kat ötelemeleri statik itme analizinden elde edilen göreli kat ötelemeleri değerlerini aşmaktadır. Kocaeli ve Loma Prieta depremleri için benzer sonuçlar elde edilmesine karşın, bu depremlerin 0.5g'ye göre ölçeklenmiş kayıtlarının dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri tüm katlarda statik itme analizinden elde edilen göreli kat ötelemeleri değerlerini aşmaktadır. Buna göre, seçilen binanın alt katlarında ve 0.5g deprem ivmesine sahip ölçeklenmiş depremler dışında, statik itme analizi dinamik analizi temsil ettiği görülmüştür.



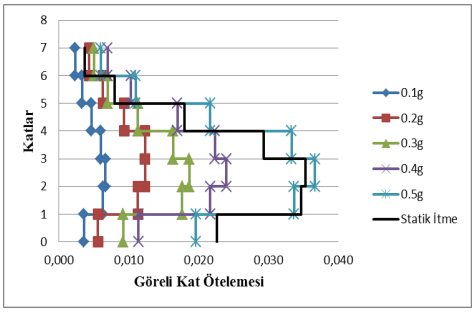
Şekil 10. Statik itme analizi ve İmperial Valley depreminin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri



Şekil 11. Statik itme analizi ve Kobe depreminin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri



Şekil 12. Statik itme analizi ve Kocaeli depreminin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri



Şekil 13. Statik itme analizi ve Loma Prieta depreminin dinamik analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemeleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme binaların sismik davranışı artımsal dinamik analiz yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Sayısal çalışma için betonarme çerçeve bir bina seçilmiştir. Seçilen bina için doğrusal olmayan statik itme (Pushover) analizi ve artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizler için seçilen dört deprem ivme kaydı Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan spektruma ölçeklendirilmiştir. Analizler sonucunda kapasite eğrisi ve maksimum tepkiler belirlenerek seçilen binanın dinamik pushover eğrisi elde edilmiştir.

- ✓ Statik itme analizinden elde edilen eğri ile dinamik analizlere göre elde edilen eğri 0.3m deplasman değerine kadar yaklaşık benzer sonuçlar verirken bu değerden sonra statik pushover eğrisi dinamik pushover eğrisinin altında kalmaktadır.
- ✓ Seçilen binanın alt katlarında ve 0.5g deprem ivmesine sahip ölçeklenmiş depremler dışında, statik itme analizi dinamik analizi temsil ettiği görülmüştür.

Binaların deprem davranışlarının daha doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için dinamik analizler ile statik itme analizinin karşılaştırılması uygun olacaktır.

Kaynaklar

Amirahmad, F. (2013). Nonlinear dynamic analysis of modular steel buildings in two and three dimensions, *Master Thesis*, Department of Civil Engineering University of Toronto.

Carvalho, G., Bento, R. and Bhatt, C. (2013). Nonlinear static and dynamic analyses of reinforced concrete buildings – comparison of different modeling approaches, *Earthquakes and Structures*, **4 (5)**, 451-470.

Chan, C.M. and Zou, X.K. (2004). Elastic and inelastic drift performance optimization for reinforced concrete buildings under earthquake loads, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**, 929-950.

Dolsek, M. and Fajfar, P. (2005). Simplified non-linear seismic analysis of infilled reinforced concrete frames, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**,49–66.

Duan, H. and Hueste, M.B.D. (2012). Seismic performance of a reinforced concrete frame building in China, *Engineering Structures*, **41**, 77-89.

Eslami, A. and Ronagh, H.R. (2014). Effect of elaborate plastic hinge definition on the pushover analysis of reinforced concrete buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **23 (4)**, 254-271.

Han, S.W. and Chopra A.K. (2006). Approximate incremental dynamic analysis using the modal pushover analysis procedure, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **35**,1853–1873.

İnel, M. and Özmen, H. B. (2006). Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings, Engineering Structures, **28**, 1494–1502.

Jeong, S.H. and Elnashai, A.S. (2005). Analytical assessment of an irregular RC frames for full-scale 3d pseudo-dynamic testing part i: analytical model verification, *Journal of Earthquake Engineering*, 9 (1), 95-128, 2005.

Kwon, O.S. and Kim, E. (2010). Case study: Analytical investigation on the failure of a two-story RC building damaged during the 2007 Pisco-Chincha earthquake, *Engineering Structures*, **32**, 1876-1887.

Mwafy, A.M. and Elnashai, A.S. (2001). Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings, *Engineering Structures*, **23**, 407-424.

PEER Strong Motion Database, www.peer.berkeley.edu/smcat/search.html

SeismoArtif v2.1 - A computer program for generating artificial earthquake accelerograms matched to a specific target response spectrum. Available online: www.seismosoft.com [July 19, 2013].

SeismoSignal v5.1 - A computer program for the processing of strong-motion data. Available at: www.seismosoft.com [July 19, 2013].

SeismoStruct v7- A computer program developed for the accurate analytical assessment of structures, subjected to earthquake strong motion. Available online: www.seismosoft.com [September 8, 2014].

Türk Deprem Yönetmeliği 2007, Ankara, Turkey.

Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2002). Incremental dynamic analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**, 491–514.

Yön, B. and Calayır, Y (2014). Effects of confinement reinforcement and concrete strength on nonlinear behaviour of RC buildings, *Computers and Concrete*, **14(3)**, 279-297.

Yön, B. and Calayır, Y (2015). The soil effect on the seismic behaviour of reinforced concrete buildings, *Earthquakes and Structures*, **8(1)**, 133-152.

Yön, B., Öncü, M.E. and Calayır, Y (2015). Effects of seismic zones and site conditions on response of RC buildings, *Gradevinar*, **67 (6)**, 585-596.

Evaluation of seismic behavior of RC buildings using incremental dynamic analysis method

Extended abstract

In this study, seismic behavior of reinforced concrete buildings the pushover and incremental dynamic analysis method was investigated.

For numerical application, 7 storeys and 4 bays reinforced concrete frame with high ductility was selected. The total height of the building is 23 meters. Height of the first story of the building is 5 m and the upper story heights are 3 m. First and last bays are 6 m, second and fourth bays are 5 m. It was assumed that, the building importance coefficient 1.0.

For incremental dynamic analyses SeismoStruct program which can simulate the inelastic response of structural systems subjected to static and dynamic loads was used. The selected earthquake records were scaled according to the elastic design spectrum for Z2 soil class defined in Turkish Seismic Code (TSC).

A numerical study was performed for a reinforced concrete frame building. Pushover analysis according to triangular load shapes and incremental dynamic analyses were performed for selected building. For the nonlinear analysis, four ground motion records were selected to ensure compatibility with the design spectrum defined in the Turkish Seismic Code. The maximum response, dynamic pushover curve, capacity curves, interstorey drifts of the selected building were obtained. Results were compared each other and good correlation was obtained between the dynamic analyses envelope and static pushover curves for the building. According to results;

Displacement increases depend on the increasing of ground acceleration. Minimum displacements occur at 0.1g ground accelerations while maximum values occur at 0.5g ground accelerations for all earthquakes.

The interstory drifts increases depend on increasing of peak ground accelerations. For upper stories the interstory drifts obtained from scaled Imperial Valley and Kobe earthquakes exceed interstory drifts of the triangular load shapes. But, at lower stories, interstory drifts obtained from these earthquakes are under the interstory drifts of the lateral static load shapes except Kocaeli and Loma Prieta earthquakes.

According to the findings, the lateral static loading shows dynamic behaviour of the selected building until 0.5g ground accelerations and lower staories. To evaluate the accurate behaviour of reinforced concrete buildings, the dynamic pushover envelopes should be compared with static pushover curve.

Keywords: *Incremental dynamic analysis, pushover analysis, distributed plastic hinge.*

mühendislikdergi

