



Makale / Research Paper

**Geri Çekme Düzensizliğine Sahip Betonarme Düzlem Çerçevesinin
Sismik Analizi**

Veli BAŞARAN, Murat HIÇYILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200
Afyonkarahisar/TÜRKİYE
vbasaran@aku.edu.tr, murathicilyilmaz@aku.edu.tr

Received/Geliş: 05.03.2018

Revised/Düzeltilme: -

Accepted/Kabul: 13.03.2018

Öz: Bu çalışmada, geri çekme düzensizliğinin betonarme çerçeveler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olarak tasarlanan 5 katlı ve beş açıklıklı bir çerçeve ve bu çerçeveden türetilen geri çekmeli modeller üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yedi adet deprem ivmesi kullanılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Analizler sonucunda kat kolonlarında oluşan en büyük eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri ile kat seviyelerinde ortaya çıkan görelî kat ötelenme oranları tespit edilerek sonuçlar referans çerçeve ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geri çekme yapılan kat ve üst kat seviyelerinde yapısal düzensizlikler ortaya çıkmış, iç kuvvet ve görelî kat ötelenme oranı değerlerinde geri çekme düşey seviyesi ve yüzdesine bağlı olarak artışlar olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Betonarme düzlem çerçeve; Geri çekme düzensizliği; Zaman tanım alanında hesap

Seismic Analysis of RC Plane Frames with Setbacks

Abstract: In this study, the effects of the setback irregularities on reinforced concrete frames are investigated. Nonlinear time history analysis is performed on the 5-storey and five-span frame designed according to the Turkish Earthquake Code and on the derived frame models with setback. Seven ground motions are used, and the averages of the obtained values are taken. The maximum axial force, the maximum shear force and the maximum bending moment values at the storey columns and the maximum interstorey drift ratios are determined and the results are compared with the reference frame. As a result, structural irregularities have been occurred in the storey with setback and the upper storeys, it was seen that the internal force and the interstorey drift ratios values were increased depending on the vertical level and the percentage of setback.

Keywords: RC plane frame; Setback irregularity; Time history analysis

1. Giriş

Yapıların sismik performansını olumsuz etkilemesi nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken uygulamalar düzensizlik olarak ifade edilir. Düzensizlikler, planda veya düşey doğrultuda olabilir. Belirli bir kattan itibaren, aşağıya doğru, bina genişliğinin belirli bir oranda artması olarak tanımlanan ve mimari gereksinimler nedeniyle tasarlanan geri çekme düzensizliği düşey düzensizliklerden bir tanesidir [1].

Geri çekme düzensizliğine sahip binalar kule ve taban olmak üzere iki bölümden oluşur. Çerçevenin alt seviyesi (en fazla sayıda açıklığa sahip olan) taban olarak adlandırılırken, çerçevenin üst seviyesi (en az sayıda açıklığa sahip olan) kule olarak adlandırılır [2,3].

Bu makaleye atıf yapmak için

Başaran, V., Hiçyılmaz, M., "Geri Çekme Düzensizliğine Sahip Betonarme Düzlem Çerçevesinin Sismik Analizi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 353-360.

How to cite this article

Başaran, V., Hiçyılmaz, M., "Seismic Analysis of RC Plane Frames with Setbacks" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 353-360.

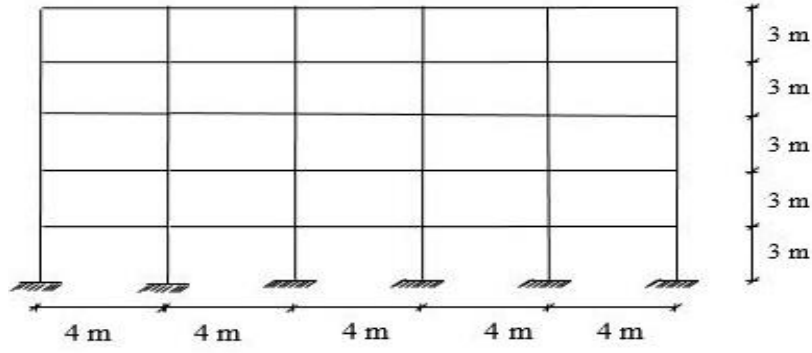
Geri çekme düzensizliği konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yön ve Calayır [4], düşey taşıyıcı elemanların bina yüksekliği boyunca tedrici süreksizliğinin düzlem çerçevelerdeki hasara etkisini doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü ve artımsal eşdeğer deprem yükü hesap yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Analizlerde düşey taşıyıcı elemanları bina yüksekliği boyunca süreksiz 6 katlı ve 5 açıklıklı on yapı ile aynı kat sayısı ve açıklığa sahip sürekli bir yapıyı göz önüne almışlardır. Her iki yöntemle göre belirlenen hasar seviyeleri karşılaştırılarak düşey taşıyıcı elemanlardaki tedrici süreksizliklerin yapısal hasarları olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Mazza [5], sönümleyiciler ile güçlendirilmiş geri çekme düzensizliğine sahip betonarme binaların sismik davranışını araştırmıştır. İncelemede 6 katlı, farklı geri çekme düzensizliğine sahip 2 bina modeli kullanmıştır. Modellerin bir tanesi üçüncü katında bir geri çekmeye diğer model ise ikinci ve dördüncü katlarında iki geri çekmeye sahiptir. Doğrusal olmayan analiz sonucunda geri çekme düzensizliğine sahip modeller ve farklı dağılıma sahip sönümleyiciler ile güçlendirilmiş modellerin görel kat ötelenmeleri karşılaştırılmıştır.

Varadharajan vd. [6], 88 farklı geri çekme geometrisine sahip betonarme düzlem çerçevelerin inelastik sismik taleplerini belirlemişlerdir. Farklı performans seviyelerine ulaşmak için ölçeklendirilmiş 13 yer hareketi kullanmışlardır. Analizler sonucunda maksimum deformasyonların geri çekmenin civarında ve kule bölümünde olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Kashkooli ve Banan [7], 21 adet geri çekme düzensizliğine sahip moment taşıyan 5 katlı çelik çerçeveler üzerinde çalışmışlardır. Her bir çerçevede, 14 yer hareketi için doğrusal olmayan dinamik analiz ve doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda görel kat ötelenmeleri, kat deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Athanassiadou [8], düşeyde düzensiz betonarme çerçevelerin sismik performansını incelemiştir. İncelemede kullanılan modellerin bir tanesi düşeyde düzenli, bir tanesi iki büyük geri çekmeye ve diğeri ise dört büyük geri çekmeye sahiptir. 10 katlı betonarme çerçeve modelleri, Eurocode 8'e göre aynı malzeme ve yer hareketine göre yüksek sünek ve normal sünek olarak dizayn edilmiş, geri çekmeler üst katlarda oluşturulmuştur. Bütün çerçevelere doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında hesap yapılmıştır.

Bu çalışmada, geri çekme düzensizliğinin betonarme çerçeveler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliğine (DBYBHY 2007) [9] uygun olarak tasarlanan 5 katlı ve beş açıklıklı bir çerçeve ve bu çerçeveden türetilen geri çekmeli modeller üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yedi adet deprem ivmesi kullanılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Analizler sonucunda kat kolonlarında oluşan en büyük eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri ile kat seviyelerinde ortaya çıkan görel kat ötelenme oranları tespit edilerek sonuçlar referans çerçeve ile karşılaştırılmıştır.

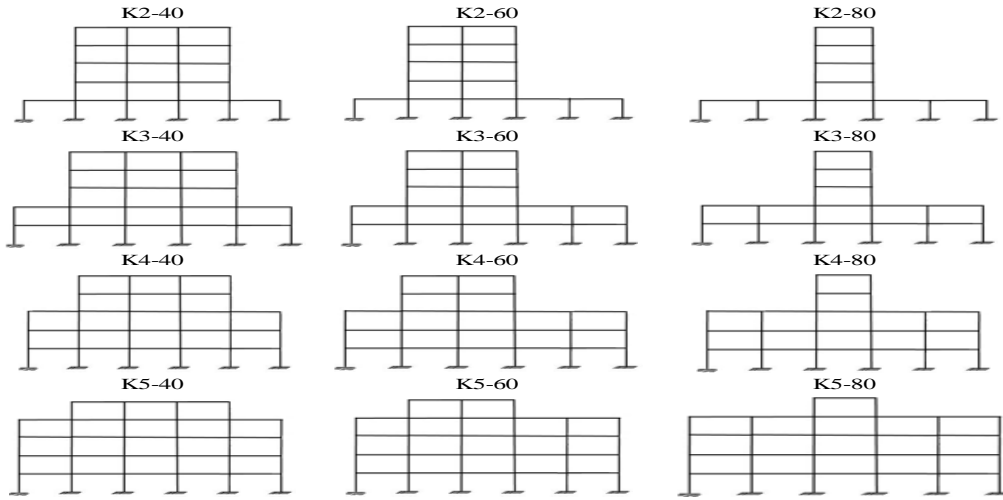
2. Çalışmada Kullanılan Çerçeve Modelleri

Bu çalışmada kullanılan betonarme çerçevenin tasarımı DBYBHY 2007, TS500 [10] ve TS498 [11]'e uygun olarak yapılmıştır. Referans model 5 katlı ve beş açıklıklıdır. Çerçeveye etki eden g sabit yükü normal katlar için 20 kN/m, çatı katı için 7.0 kN/m; q hareketli yükü ise normal katlar için 2.67 kN/m, çatı katı için 2.0 kN/m olarak alınmış ve katlara düzgün yayılı yük olarak yüklenmişlerdir. Tüm kolonlar 50x50 cm ve kirişler 25x50 cm olarak tasarlanmıştır. Beton sınıfı C25/30 seçilmiştir ($E=30.000$ MPa). Her kat kendi içinde rijit diyafram tanımlanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı 0.3, etkin yer ivmesi katsayısı 0.3, bina önem katsayısı 1.0, taşıyıcı sistem davranış katsayısı 8.0, yerel zemin sınıfı Z3 olarak dikkate alınmıştır. Referans çerçeveye ait görünüm Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Referans çerçeveye ait görünüm

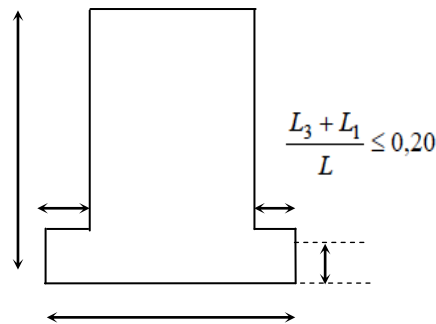
Sayısal uygulama için referans çerçeve üzerinde geri çekme yapılarak 12 adet yeni model türetilmiştir. Geri çekmeler ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci kat seviyelerinde ve planda %40-60-80 olacak şekilde tasarlanmıştır. Geri çekmeli modeller üzerinde isimlendirme yapılırken öncelikle hangi katta geri çekme yapıldığı daha sonra planda yüzde kaç geri çekme yapıldığı belirtilmektedir. Örneğin K3-80, üçüncü kat seviyesinde %80'lik geri çekmeyi ifade etmektedir. Türetilen 12 adet model Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Geri çekme düzensizliğine sahip çerçeve modelleri

2.1. Düzensizlik Kriterleri

Eurocode 8'e göre [12] geri çekmenin toplam yapı yüksekliğinin 0.15 katından daha yukarıda ve aksenal simetriyi koruyan kademeli geri çekme olması halinde, herhangi bir kattaki plan ölçülerinin kendinden bir önce gelen kata göre %20'den daha küçük olmaması şartı vardır. Bu düzensizlik durumu Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Eurocode 8'e göre geri çekme düzensizliği kriteri

Referans model haricindeki tüm modeller için birbirini takip eden katlar arasında plan boyutundaki farklar %40 ve üzeri olduğu için türetilen modellerde geri çekme düzensizliği mevcuttur.

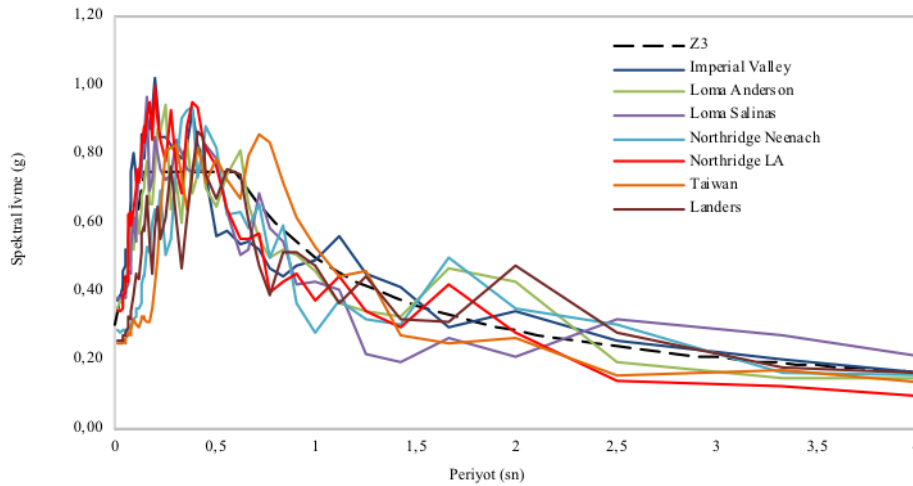
2.2. Zaman Tanım Alanında Analiz

Sismik tepkilerin belirlenebilmesi için, SAP2000 yapısal analiz programında [13] modellenen çerçeveler üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, Fahjan'ın [14] yaptığı bir çalışma neticesinde ölçeklendirilerek deprem yönetmeliğinde verilen tasarım spektrumuna uygun hale getirilmiş olan 7 adet yer ivmesi kaydı kullanılmıştır. Değerler tüm yer ivmeleri için elde edilen sonuçların ortalamasıdır. P-delta etkileri ihmal edilmiş ve tüm çerçeveler için %5 sönüm oranı dikkate alınmıştır. Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nden [15] alınan deprem ivmesi kayıtları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deprem ivmesi kayıtları

Kayıt ismi	Tarih	İstasyon	Kayıt	Ölçek	Süre (sn)
Imperial Valley	15.10.79	El Centro Array#12	HE12140	8.46	39
Loma Prieta	18.10.89	Anderson Dam	ADL340	14.82	39
Loma Prieta	18.10.89	Salinas-John Work	ASJW160	13.72	39.9
Northridge	17.01.94	Neenach-Sacatarra	NEE090	16.92	48
Northridge	17.01.94	LA-Pico Sentous	PIC090	11.16	40
Taiwan	14.11.86	Smart1 O01	45O01EW	6.60	44
Landers	28.06.92	San Bernardino	HOS180	9.85	120

Deprem ivme kayıtlarının 2. derece deprem bölgesi ve Z3 zemin şartları için elde edilen spektral ivme grafikleri Şekil 4'te görülmektedir.



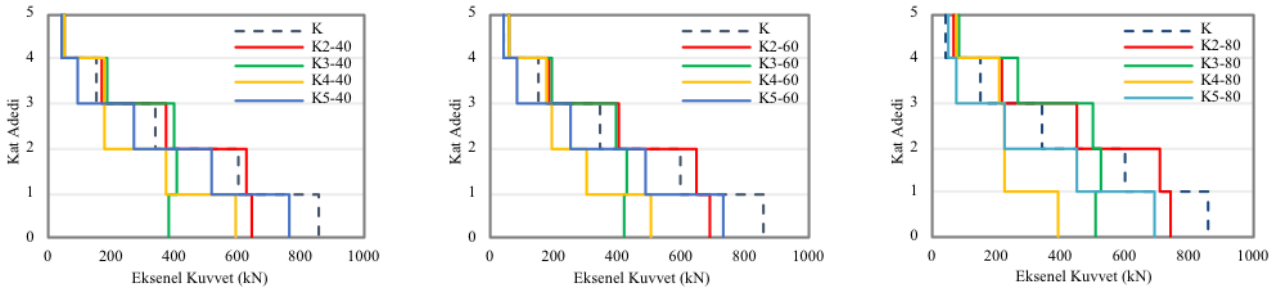
Şekil 4. Ölçeklendirilmiş spektral ivme grafikleri

3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.1. Eksenel Kuvvet Değerleri

Analizler sonucunda, sırasıyla kat planında %40, %60 ve %80 geri çekme oranları ve referans çerçeve için kat kolonlarında elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri Şekil 5'de görülmektedir. 'K' geri çekmesiz referans modele ait sonuçları göstermektedir. Diğer modeller için birinci indis geri çekme yapılan kat seviyesini, ikinci indis ise bu kat seviyesinde plan üzerinde

yapılan geri çekme yüzdesini göstermektedir. Örnek vermek gerekirse K3-60 üçüncü kat seviyesinde %60'lık geri çekmeyi ifade etmektedir. Sonuçlar yedi adet deprem ivmesi için ortalama değerler alınarak hesap edilmiştir.

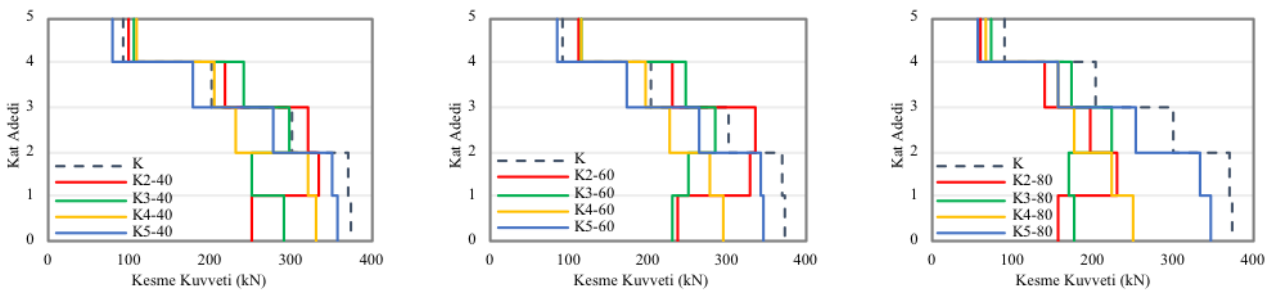


Şekil 5. Kat kolonlarında elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri

Birinci kat için en büyük eksenel kuvvet değerleri tüm grafiklerde referans modele aittir. Bununla birlikte kat seviyelerinde geri çekmelere bağlı olarak eksenel kuvvetlerde artış olmuştur. İkinci katta yapılan geri çekmeden sonra tüm katlardaki eksenel kuvvet değerleri referans modele oranla artış göstermiştir. Bu artış geri çekme yüzdesi ile orantılı olarak artmıştır. Örneğin referans model için ikinci kat seviyesinde elde edilen ortalama eksenel kuvvet değeri 600 kN'dur. Bununla beraber aynı kat seviyelerindeki %40, %60 ve %80 geri çekme oranları için bu değerler sırasıyla 631 kN, 648 kN ve 714 kN olarak elde edilmiştir. Benzer durum üçüncü kat ve üst katlarda yapılan geri çekme sonucu elde edilen değerlerde de görülmektedir. Grafiklerden elde edilen diğer bir sonuç ise hangi katta geri çekme yapıldı ise ilgili katın altındaki katlarda elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin referans modele göre daha küçük olduğu halde, o kat ve üzerindeki katlarda elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin referans modele göre artış göstermesidir. Bu artış miktarı geri çekme yüzdesi ile orantılıdır. Sonuç olarak alt katlarda yapılan geri çekmelerin eksenel kuvvetler açısından üst katlara göre daha etkili olduğu, bununla beraber planda geri çekme yüzdesi arttıkça geri çekme yapılan kat ve üst katlarda eksenel kuvvetlerde belirgin bir artış olduğu görülmüştür.

3.2. Kesme Kuvveti Değerleri

Analizler sonucunda, sırasıyla kat planında %40, %60 ve %80 geri çekme oranları ve referans çerçeve için kat kolonlarında elde edilen en büyük kat kesme kuvveti değerleri Şekil 6'da görülmektedir. 'K' geri çekmesiz referans modele ait sonuçları göstermektedir.



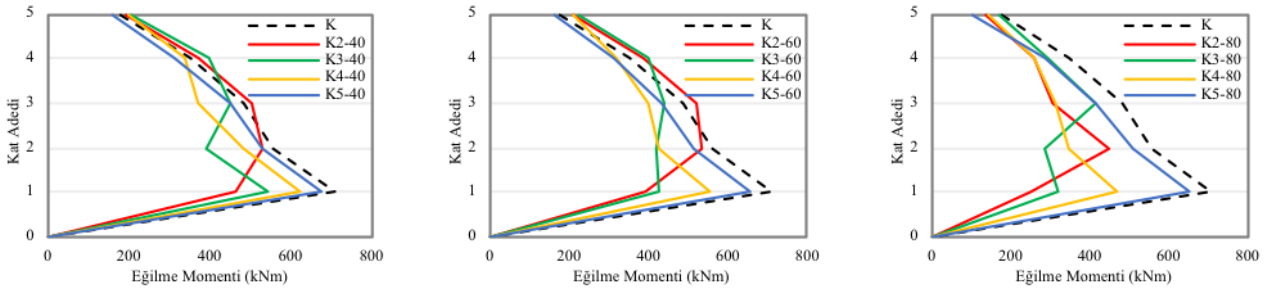
Şekil 6. Kat kolonlarında elde edilen en büyük kesme kuvveti değerleri

Referans model için üst katlara çıkıldıkça kolon kesme kuvvetlerinde azalma görülmektedir. Diğer modellerde referans modele göre genel olarak daha düşük kesme kuvveti değerleri elde edilmiş gibi görünse de modelleri kendi içlerinde rölatif bir değerlendirmeye tabi tutmak daha verimli olacaktır. İkinci ve üçüncü kat seviyelerinde yapılan geri çekme ile beraber, referans modelin aksine, ilgili katlardaki kesme kuvveti değerlerinde alt katlara göre büyük artış oranları görülmektedir. Örneğin referans model için birinci ve ikinci katlar arası rölatif değişim oranı yaklaşık 0.99 iken, ikinci kat seviyesindeki %80'lik geri çekme ile bu oran 1.48'e çıkmıştır. Aynı şekilde ikinci ve üçüncü kat

seviyeleri arasında referans modeldeki değişim oranı 0.81 iken üçüncü kat seviyesindeki geri çekme ile bu oran 1.30'a çıkmıştır. Bu durumun aksine, dördüncü ve beşinci katlardaki geri çekmelerde, alt katlar ile mukayese edildiğinde kesme kuvvetlerinde bir artış gözlenmemiştir. Özellikle beşinci katta %40 ve %60 geri çekme için elde edilen sonuçlar referans modele oldukça yakındır. Sonuç olarak, ikinci ve üçüncü katlarda yapılan %40 ve %60'luk geri çekme değerlerinde en elverişsiz sonuçların elde edildiği, bununla beraber üst katlarda yapılan geri çekmenin kat kesme kuvveti bakımından dikkate değer olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmadığı görülmüştür.

3.3. Eğilme Momenti Değerleri

Analizler sonucunda, referans model ve farklı katlarda yapılan geri çekme sonucu elde edilen en büyük kolon eğilme momenti değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

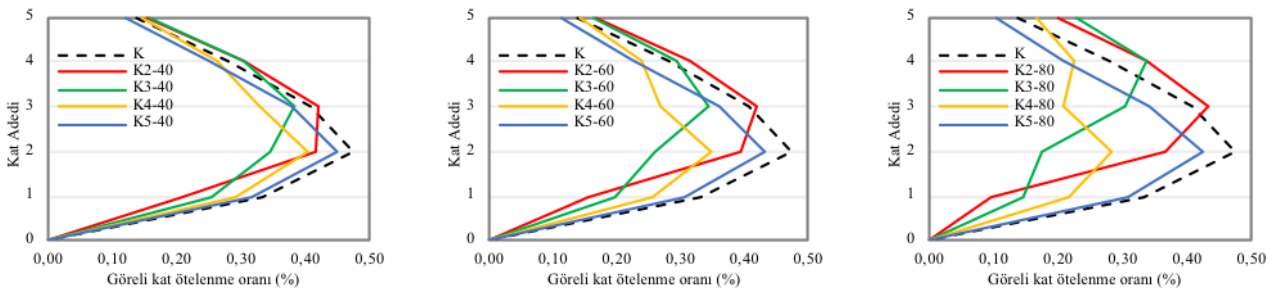


Şekil 7. En büyük eğilme momenti değerleri

Planda geri çekme yüzdesi arttıkça eğilme momenti değerlerinde referans modele göre düşüş gözlenmiştir. Kat seviyelerinde geri çekmeye bağlı oluşan kütle düşüşleri çerçeveye gelen deprem yüklerinin azalmasına sebebiyet verdiği için bu beklenen bir sonuçtur. Referans model için sonuçlar incelenecek olursa en büyük kolon eğilme momentlerinin birinci katta ortaya çıktığı üst katlara gittikçe bu değerlerin azaldığı görülmektedir. Dördüncü ve beşinci katlarda yapılan geri çekmeler sonucu elde edilen sonuçlar da referans model ile benzerdir. Bununla beraber ikinci ve üçüncü kat seviyelerinde yapılan geri çekmeler neticesinde ilgili katlarda ortaya çıkan kolon eğilme momenti değerleri diğer tüm katlara göre daha büyük çıkmıştır. Sonuç olarak alt katlarda yapılan geri çekme sonucunda ilgili katlarda görece moment artışı olurken, üst katlar için değerlerde belirgin bir değişim görülmemiştir.

3.4. Görelî Kat Ötelenme Oranı Değerleri

Analiz sonucunda, referans model ve farklı katlarda yapılan geri çekme sonucu elde edilen en büyük görelî kat ötelenme oranı değerleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. En büyük görelî kat ötelenme oranı değerleri

%40 geri çekme ile elde edilen değerlerin, referans model ile yakınlık gösterdiği söylenebilir. Geri çekme %60'a çıktığında geri çekme yapılan katlardaki görelî kat ötelenme oranları önceki duruma göre artmıştır. Bununla beraber en belirgin fark %80 geri çekmede görülmektedir. Şöyle ki; beşinci

katta yapılan geri çekme haricinde, geri çekme hangi katta yapıldı ise o kat için elde edilen görelî kat ötelenme oranı bir alt kata göre daha büyük çıkmıştır. Referans model ile karşılaştırıldığında, birinci katta geri çekmeye bağılı olarak görelî kat ötelenme oranları büyük ölçüde düşüş göstermiş fakat geri çekme yapılan katlarda bu oran keskin bir yükseliş göstermiştir. Sonuç olarak özellikle alt katlarda planda yüksek oranda yapılan geri çekmelerde, ilgili kat ve bir üst kat görelî kat ötelenme oranlarında gözle görülür bir artış olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, geri çekme düzensizliğinin betonarme çerçeveler üzerindeki etkileri incelenmiştir. 5 katlı ve beş açıklıklı bir çerçeve ve bu çerçeveden türetilen geri çekmeli modeller üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda kat kolonlarında oluşan en büyük aksel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri ile kat seviyelerinde ortaya çıkan görelî kat ötelenme oranları tespit edilerek sonuçlar referans çerçeve ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre;

- Alt katlarda yapılan geri çekmelerin aksel kuvvetler açısından üst katlara göre daha etkili olduğu, bununla beraber planda geri çekme yüzdesi arttıkça geri çekme yapılan kat ve üst katlarda aksel kuvvetlerde belirgin bir artış olduğu görülmüştür.
- Kesme kuvvetleri dikkate alındığında, ikinci ve üçüncü katlarda yapılan %40 ve %60'lık geri çekme değerlerinde en elverişsiz sonuçların elde edildiği, bununla beraber üst katlarda yapılan geri çekmenin dikkate değer olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmadığı görülmüştür.
- Planda geri çekme yüzdesi arttıkça eğilme momenti değerlerinde referans modele göre düşüş gözlenmiştir. Alt katlarda yapılan geri çekme sonucunda ilgili katlarda rölâtif olarak moment artışı olurken, üst katlar için değerlerde belirgin bir değişim görülmemiştir.
- En üst katta yapılan geri çekme haricinde, geri çekme hangi katta yapıldı ise o kat için elde edilen görelî kat ötelenme oranı bir alt kata göre daha büyük çıkmıştır. Özellikle alt katlarda planda yüksek oranda yapılan geri çekmelerde, ilgili kat ve bir üst kat görelî kat ötelenme oranlarında gözle görülür bir artış olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Özmen, G., Pala, S., Yalçın, K., " Çok Katlı Yapılarda Geri Çekme Düzensizliğinin Deprem Hesabına Etkisi", Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ankara, (1997).
- [2] Karavasilis, T.L., Bazeos, N., Beskos, D.E., Seismic response of plane steel MRF with setbacks: Estimation of inelastic deformation demands, *Journal of Constructional Steel Research*, 2008, 64:644–654.
- [3] Cheung, V.W.T., Tso, W.K., Lateral Load Analysis for Buildings with Setback, *Journal of Structural Engineering*, 1987, 113(2):209-227.
- [4] Yön, B., Calayır, Y., "Düşey taşıyıcı elemanların bina yüksekliğince tedrici süreksizliğinin yapısal hasara etkisi", Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, (2011).
- [5] Mazza, F., Nonlinear seismic analysis of r.c. framed buildings with setbacks retrofitted by damped braces, *Engineering Structures*, 2016, 126:559–570.
- [6] Varadharajan, S., Sehgal, V.K., Saini, B., Determination of inelastic seismic demands of RC moment resisting setback frames, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2013, 13:370–393.
- [7] Kashkooli, A.N., Banan, M., Effect of frame irregularity on accuracy of modal equivalent nonlinear static seismic analysis, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2013, 17(5):1064-1072.
- [8] Athanassiadou, C.J., Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation, *Engineering Structures*, 2008, 30:1250–1261.

- [9] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TC. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, (2007).
- [10] TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [11] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1997).
- [12] Eurocode 8, Design Of Structures for Earthquake Resistance, Brussels: European Committee for Standardization, (2004).
- [13] Sap2000, Yapısal Analiz Programı, Versiyon 19.2.0, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, (2014).
- [14] Fahjan, Y.M., Selecting and scaling of real earthquake records appropriate the acceleration design spectrum in Turkish earthquake code, IMO Technical Journal, 4423-4444, (2008).
- [15] Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat>, 2006.