

BETONARME BİNALARIN ÇOK DOĞRULTULU DEPREM YÜKLERİ ALTINDAKİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF NONLINEAR RESPONSE OF RC BUILDINGS UNDER MULTI-DIRECTIONAL SEISMIC LOADS

Umut HASGÜL¹ ve Erdal İRTEM²

ÖZET

Bu çalışmada, deprem yüklerinin betonarme binaların plandaki asal doğrultularının yanı sıra ara doğrultulardan da etkimesi hali için, Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme kavramında esas teşkil eden plastik dönme ve görelî kat ötelemesi taleplerinin en elverişsiz değerleri ile bunları veren kritik deprem doğrultuları belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, binaların kritik deprem doğrultularındaki bu davranış büyüklüklerinin plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre değişim oranları belirlenmiştir. Bunun için, herhangi bir yapısal düzensizliği bulunmayan ve ortogonal akslara sahip üç adet üç katlı betonarme bir bina ile beş katlı betonarme bir binanın, farklı deprem doğrultuları için doğrusal olmayan artımsal statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra, her bir deprem doğrultusu için elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanılarak, tepe yerdeğiştirmesi talepleri (performans noktaları), FEMA 440'daki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile belirlenmiştir. Binaların YKY ile belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri esas alınarak, plastik kesitlerdeki plastik dönme talepleri ile her kattaki görelî kat ötelemesi taleplerinin deprem doğrultusu ile değişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığı altında, ortogonal akslı betonarme binalardaki kirişlerin en elverişsiz plastik dönme taleplerini ve tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin, beklenildiği gibi, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir. Ancak, kolonların en elverişsiz plastik dönme taleplerinin ve en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerinin, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksenlerinden farklı olan belirli doğrultulardan (kritik deprem doğrultularından) etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen betonarme binaların kritik deprem doğrultuları için elde edilen ilgili en elverişsiz davranış büyüklüğü taleplerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre önemli oranda arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kritik deprem doğrultusu, Doğrusal olmayan statik analiz, Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi, Plastik dönme, Görelî kat ötelemesi

ABSTRACT

In this study, the most unfavorable values of plastic rotation and story drift demands which constitute the basis in Performance Based Design and Assessment concept of RC buildings, and also critical earthquake directions related to these response demands are obtained and evaluated in case of earthquake loads act in both principal axis directions (X and Y) and many directions different from the principal axes in plan. Moreover, changing ratios of the response demands in critical earthquake directions in reference to the principal axes in plan of RC buildings are determined. In the study, capacity curves for different earthquake directions of four RC buildings (with three and five stories) that have orthogonal axes and have no structural irregularities are obtained by bi-directional pushover analyses. Then, the buildings are pushed statically to the roof displacement demands (performance points) determined by using Displacement Coefficient Method in FEMA 440, and variations with earthquake directions of the response demands are determined for each building. When the analysis

¹ Araş. Gör., Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, hasgul@balikesir.edu.tr

² Prof. Dr., Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, eirtem@balikesir.edu.tr

2 Betonarme Binaların Çok Doğrultulu Deprem Yükleri Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi

results are evaluated, it is determined that although the most unfavorable beam plastic rotation demands and roof displacement demands occur, as expected, when the earthquake loads act in the principal axis directions in plan of the buildings, the most unfavorable column plastic rotation demands and story drift demands occur in case of the earthquake loads act in the particular directions (critical earthquake directions) out of the principal axis directions. Furthermore, it is concluded that the response demands in the critical earthquake directions of the buildings are significantly increase in reference to the demands obtained from the principal axis directions in plan.

Keywords: Critical earthquake direction, Nonlinear static analysis, Displacement Coefficient Method, Plastic rotation, Story drift

GİRİŞ

Binaların deprem etkisi altındaki sismik tasarımında can (yaşam) güvenliğini sağlayan hasar kontrolünü ana performans hedefi olarak öngören birçok yönetmelik ve standartta (Eurocode-8, 2003; IBC, 2006; DBYBHY, 2007; ASCE 41-06, 2007; vb.), deprem yer hareketinin binaların asal doğrultularının yanısıra ara doğrultulardan da etkimesi halinde, sistem elemanlarında oluşacak en elverişsiz davranış büyüklüklerini (genellikle kesit tesirleri) belirleyebilmek amacıyla çeşitli birleştirme kuralları öngörülmektedir. Bu birleştirme kuralları gözönüne alınarak tasarlanan binaların, öngörülen performans hedeflerini plandaki asal doğrultularının yanısıra, ara deprem doğrultuları için de sağlaması gerekmektedir (Wilson vd., 1995).

Deprem yüklerinin binaların plandaki asal doğrultularının yanısıra ara bir doğrultudan etkimesini (doğrultu etkisini) gözönüne alan ve çoğunlukla *doğrusal-elastik* teorinin esas alındığı literatürdeki çalışmalarda, deprem yer hareketinin bir veya her iki yatay bileşenin aynı anda etkimesi sonucu elde edilen davranış büyüklükleri, zaman tanım alanında analizlerden elde edilen sonuçlar referans alınarak karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, deprem yüklerinin doğrultu etkisi nedeniyle sistem elemanlarında oluşacak en elverişsiz davranış büyüklüklerini tasarım aşamasında kontrol edilebilmesi amacıyla çeşitli birleştirme kuralları önerilmiştir (Newmark, 1975; Rosenblueth ve Contreras, 1977; Çakıroğlu, 1987; Wilson vd., 1995; Lopez ve Torres, 1997; Menun ve Kiureghian, 1998; Özmen, 2005; vb.).

Birçok yönetmelikte, bina ve köprü türü yapı sistemlerinin *doğrusal-elastik* tasarımı için bu birleştirme kurallarının bazıları öngörülmekte (ATC-32, 1996; Eurocode-8, 2003; IBC, 2006; AASHTO, 2006; DBYBHY, 2007; ASCE 41-06, 2007; vb.) ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı sistemlerinin *doğrusal-elastik* tasarımı için önerilen bu birleştirme kuralları ile ilgili çalışmaların bazılarında, bir davranış büyüklüğünün en elverişsiz durumunu veren kritik deprem doğrultusu için de bağıntılar önerilmiştir (Wilson vd., 1995; Lopez ve Torres, 1997; Menun ve Kiureghian, 1998).

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme (PDTD) kavramını esas alan çok sayıda yönetmelik ve önstandart niteliğindeki dokümanda (Japanese PRESSS, 1994; ATC 40, 1996; FEMA 356, 2000; Eurocode-8, 2003; DBYBHY, 2007; ASCE 41-06, 2007; vb.), öngörülen performans hedefine bağlı olarak belirlenen deprem tehlike seviyesi (veya seviyeleri) altında yapısal davranış taleplerinin belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik analizlerin, binanın karakteristik özellikleri gözönüne alınmaksızın birbirinden bağımsız olarak plandaki asal eksen doğrultularından yapılması öngörülmektedir. Buna karşın, deprem yer hareketinin yatay bileşenlerine ait doğrultuların değişken olduğu bilinmektedir. Deprem etkisinin binanın plandaki asal eksen doğrultularından etkime olasılığı ile herhangi bir ara doğrultudan etkimesi olasılığı aynıdır. Deprem etkisinin binanın plandaki asal doğrultularının yanısıra herhangi bir ara doğrultudan etkimesi durumu, tasarım aşamasında bazı yaklaşımlarla gözönüne alınmaya çalışılmasına karşın, PDTD kavramı çerçevesinde binaların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesini ve öngörülen performans düzeylerinin değerlendirilmesini gözönüne alan herhangi bir araştırmaya literatürde henüz rastlanamamıştır. Bu nedenle, depremin binaların plandaki asal eksen doğrultularının yanısıra ara doğrultulardan da etkimesi hali için, öngörülen performans düzeylerinin değerlendirilmesinde etkin olan yapısal davranış büyüklüklerinin (plastik şekildeğiştirme talepleri ve görece kat öteleme talepleri) doğrusal olmayan teori çerçevesinde araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada, çok doğrultulu deprem yükleri altında betonarme binaların performans düzeylerinin belirlenmesinde etkin olan yapısal davranış taleplerinin (plastik dönme ve görelî kat ötelemesi taleplerinin) oluşacak en elverişsiz değerleri ile bunları veren kritik deprem doğrultularının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde, plandaki her iki asal eksenine göre simetrik veya antisimetrik olan 3 katlı üç ayrı betonarme bina ile 5 katlı bir betonarme bina incelemiştir. İncelenen binaların plandaki asal eksenlerinin yanısıra çok sayıdaki ara deprem doğrultusu için artımsal statik itme (pushover) analizleri yapılarak, kapasite eğrileri ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha sonra, literatürde yaygın olarak kullanılan FEMA 440 (2005)'deki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile, ilgili deprem doğrultularının her biri için belirlenen tepe yerdeğiştirme talepleri (performans noktaları) esas alınarak, plastik kesitlerdeki (mafsallardaki) plastik dönme talepleri ile binaların görelî kat ötelemesi talepleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığı altında, deprem yüklerinin doğrultu etkisi nedeniyle betonarme binaların kolon ve kirişlerinde oluşan plastik dönme taleplerinin ve görelî kat ötelemesi taleplerinin en elverişsiz değerlerini veren kritik deprem doğrultuları ile bu davranış büyüklüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre değişim oranları belirlenerek değerlendirilmiştir.

BETONARME BİNALAR ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER

Betonarme Binaların Özellikleri

Sayısal incelemeler kapsamında, betonarme binaların doğrusal olmayan statik analizlerinde deprem yüklerinin doğrultu etkisini araştırmak için, herhangi yapısal düzensizliği olmayan ve ortogonal akslara sahip 3 katlı üç betonarme bina ile 5 katlı bir betonarme bina üç boyutlu olarak incelemiştir [Hasgül, 2011]. İncelenen dört adet betonarme binanın özellikleri aşağıda verilmiştir.

- **3KC-[1-3]** : Üç (3) Katlı betonarme Çerçeve binalar.
 - **3KC-1** : Plandaki her iki asal eksen doğrultusunda tek açıklıklı, kolon enkesit geometrisi *dikdörtgen* olan bina (Şekil 1),
 - **3KC-2** : Planda bir doğrultuda tek açıklıklı, diğer doğrultuda iki açıklıklı, kolon enkesitleri *kare ve dikdörtgen* olan bina (Şekil 1),
 - **3KC-3** : Plandaki her iki asal eksen doğrultusunda iki açıklıklı, kolon enkesitleri *kare ve dikdörtgen* olan bina (Şekil 1),
- **5KC** : Plandaki her iki asal eksen doğrultusunda dört açıklıklı, kolon enkesitleri *kare ve dikdörtgen* olan beş (5) Katlı betonarme Çerçeve bina (Şekil 1).

Sayısal incelemeler kapsamında ele alınan dört betonarme bina, TS 500 (2000), TDY (2007) ve yürürlükteki ilgili diğer Türk Standartlarına göre boyutlandırılmıştır. Planda ve düşeyde herhangi bir yapısal düzensizliği bulunmayan, her katta sonsuz rijit diyafram özelliği gösteren döşemelerin bulunduğu ve süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan betonarme binaların kat planları Şekil 1'de, boyutlandırılmasında kullanılan genel parametreler, kiriş ve kolonların enkesit boyutları ile donatıları Hasgül (2011)'de verilmiştir.

Gözönüne Alınan Deprem Doğrultuları

Sayısal incelemeler kapsamında ele alınan 3KC ve 5KC binalar, plandaki her iki asal eksene göre simetrik veya antisimetriktir. Bu nedenle, deprem yüklerinin $\beta = 0^\circ \sim 180^\circ$ arasında etkimesi halinde, herhangi bir kolon plastik kesitinde elde edilen plastik dönme talep değerleri ile bu kolonun plandaki asal eksene göre antisimetrik konumunda olan kolon plastik kesitinin $\beta = 180^\circ \sim 360^\circ$ arasında X-X eksenine göre antisimetriği olan β deprem doğrultuları için elde edilenler eşittir. Örneğin, incelenen binaların $\beta = 45^\circ$ 'lik deprem doğrultusu için herhangi bir kolon plastik kesitinde elde edilen θ_{px} ve θ_{py} plastik dönme talepleri ile bu plastik kesitin plandaki asal eksene göre antisimetrik konumunda olan kolon plastik kesitinin $\beta = 225^\circ (45^\circ + 180^\circ)$ 'lik deprem doğrultusu için elde edilenlere eşittir. Ayrıca, deprem yüklerinin $\beta = 0^\circ \sim 180^\circ$ arasında etkimesi halinde elde edilen yerdeğiştirme talepleri ve görelî kat ötelemesi talepleri değerleri ile $\beta = 180^\circ \sim 360^\circ$ arasında X-X eksenine göre antisimetriği olan β deprem doğrultuları için elde edilenler eşittir. Bu nedenle, sayısal

4 Betonarme Binaların Çok Doğrultulu Deprem Yükleri Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi

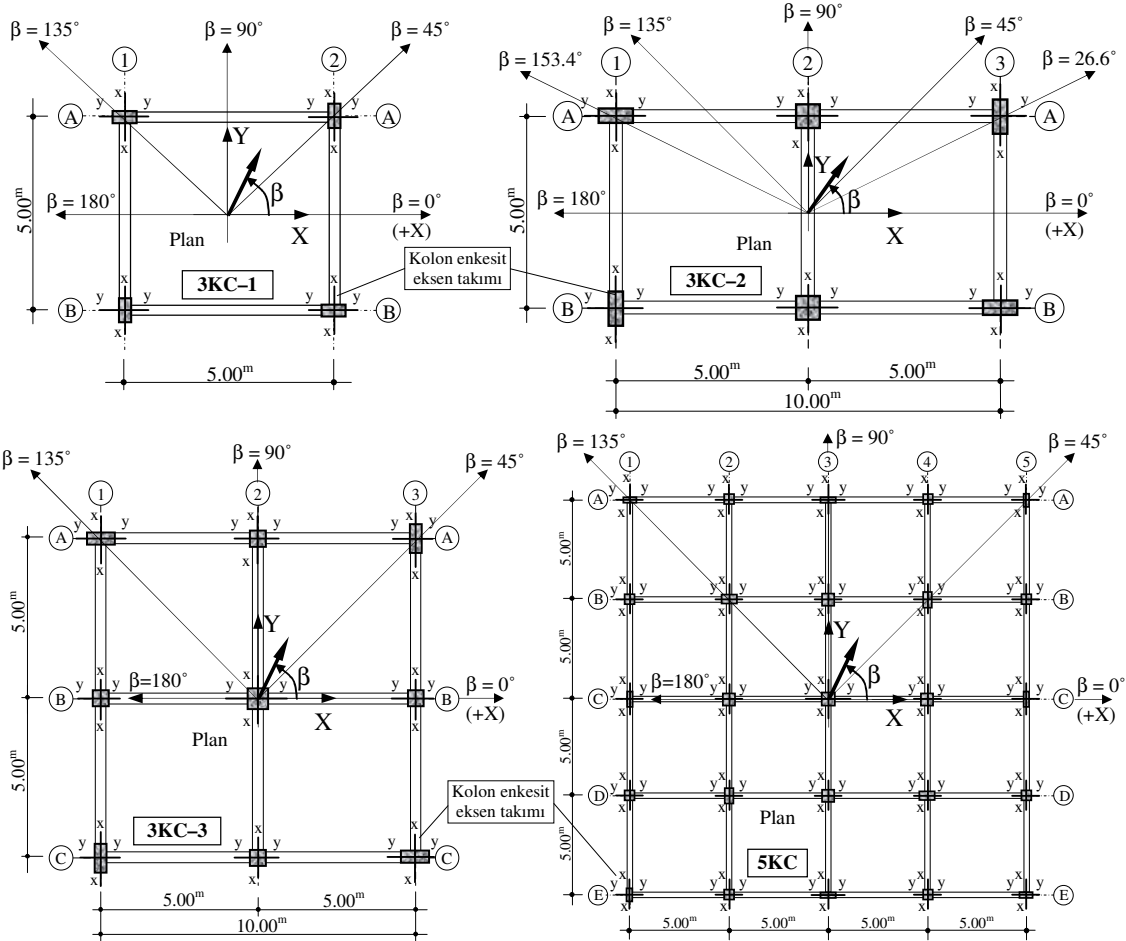
incelemeler kapsamında ele alınan betonarme binaların şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan statik analizlerinin $\beta=0^\circ\sim 180^\circ$ arasında yapılması yeterli olmuştur.

Çalışmada, 3KC ve 5KC betonarme binaların $\beta=0^\circ\sim 180^\circ$ arasındaki bölgede yapılacak doğrusal olmayan statik analizlerinde deprem yükleri;

- Binaların plandaki asal eksen doğrultularından ($\beta=0^\circ, 90^\circ$ ve 180°) ve $\beta=0^\circ\sim 180^\circ$ arasında 10° 'lik aralıklarla etkiyen ($\beta=10^\circ, 20^\circ, \dots, 170^\circ, 180^\circ$) ara doğrultulardan,
- Binaların plan köşegeni (diyagonal) doğrultularından,
- Her bina için ortak ara doğrultu olan $\beta=45^\circ, \beta=135^\circ$ 'lik özel iki doğrultudan etkilenmiştir.

Buna göre, $\beta=0^\circ\sim 180^\circ$ arasındaki bölgede *kare* planlı binalarda toplam 21 (yirmi bir) farklı deprem doğrultusu, *dikdörtgen* planlı binada ise toplam 23 (yirmi üç) farklı deprem doğrultusu gözönüne alınmıştır (Şekil 1).

İncelenen betonarme binaların şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan statik analizlerinde gözönüne alınan deprem doğrultuları, kat planları üzerinde gösterilmiştir (Şekil 1). Binaların her katındaki kat kütle merkezine etkiyen deprem yüklerinin, plandaki +X'den itibaren saat akrebinin tersi yönünde yaptığı açı β deprem doğrultusu olarak tanımlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 3KC ve 5KC binaların kat planları, asal eksenleri ve β deprem doğrultuları

Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Statik Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde, 3KC ve 5KC betonarme binaların görece kat ötelemeleri ile plastik kesitlerdeki (mafsallardaki) plastik dönme taleplerinin deprem doğrultusu ile değişimini belirlemek amacıyla, incelenen dört adet betonarme binanın gözönüne alınan β deprem doğrultularında iki doğrultulu doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır.

Varsayımlar

Deprem yüklerinin betonarme binanın asal eksen doğrultularının yanısıra ara doğrultulardan da etkimesi hali için yapılan doğrusal olmayan statik analizlerde;

- Deprem yer hareketinin düşey bileşeni ihmal edilmiştir.
- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin *plastik kesit* (plastik mafsal) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitler dışındaki bölgelerde sistemin *doğrusal-elastik* davrandığı varsayılmıştır.
- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastikleşmeyi ifade eden akma koşullarının, kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Kiriş ve kolon plastik kesitlerindeki malzemenin doğrusal olmayan davranışını temsil eden *moment-plastik dönme* bağıntıları için *rijit-plastik model* esas alınmıştır.
- Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan İkinci Mertebe Teorisine göre statik analizler yapılmıştır. Böylece, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teori esas alınmıştır.
- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş ve kolon) çatlama enkesit rijitlikleri için TDY (2007)'de önerilen bağıntılardan yararlanılmıştır.
- Kesme kuvveti ve burulma momenti etkisi altında sistemin *doğrusal-elastik* davranış gösterdiği kabul edilmiştir.

Binaların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

İncelenen betonarme binaların yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerinin belirlenmesi için, sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre iki doğrultulu artımsal statik itme (pushover) analizleri gözönüne alınan deprem doğrultuları (β) için yapılmış ve deprem yüklerinin etkilediği doğrultudaki *Toplam Taban Kesme Kuvveti-Tepe Ötelemesi* ($V_T - \Delta_{tepe}$) eğrileri (kapasite eğrileri) elde edilmiştir (Şekil 2).

İncelenen binaların gözönüne alınan her bir β deprem doğrultusu için etkin (çatlama) enkesitli birinci doğal titreşim periyotlarının 1.00^{sn} 'yi geçmemesi ($T_{1,e} < 1.00^{sn}$) ve ayrıca modal kütle katılım oranının %70'den büyük olması yani, sadece birinci titreşim modunun etkin olması ve yüksek modların etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olması nedeniyle, artımsal statik itme analizlerinde yatay deprem yükü olarak birinci mod atalet kuvveti dağılımı esas alınmıştır (1). İncelenen 3KC-[1,3] ve 5KC binaların gözönüne alınan her deprem doğrultusu için birinci doğal titreşim moduna ait mod şeklinin aynı olması ve ayrıca, 3KC-2 binadaki mod şeklinin deprem doğrultusu ile değişiminin ihmal edilebilecek düzeyde olması nedeniyle, (1) bağıntısıyla hesaplanan yatay kat kütle kuvvetlerinin belirlenmesinde, binaların asal eksen doğrultularındaki birinci mod şekli esas alınmıştır.

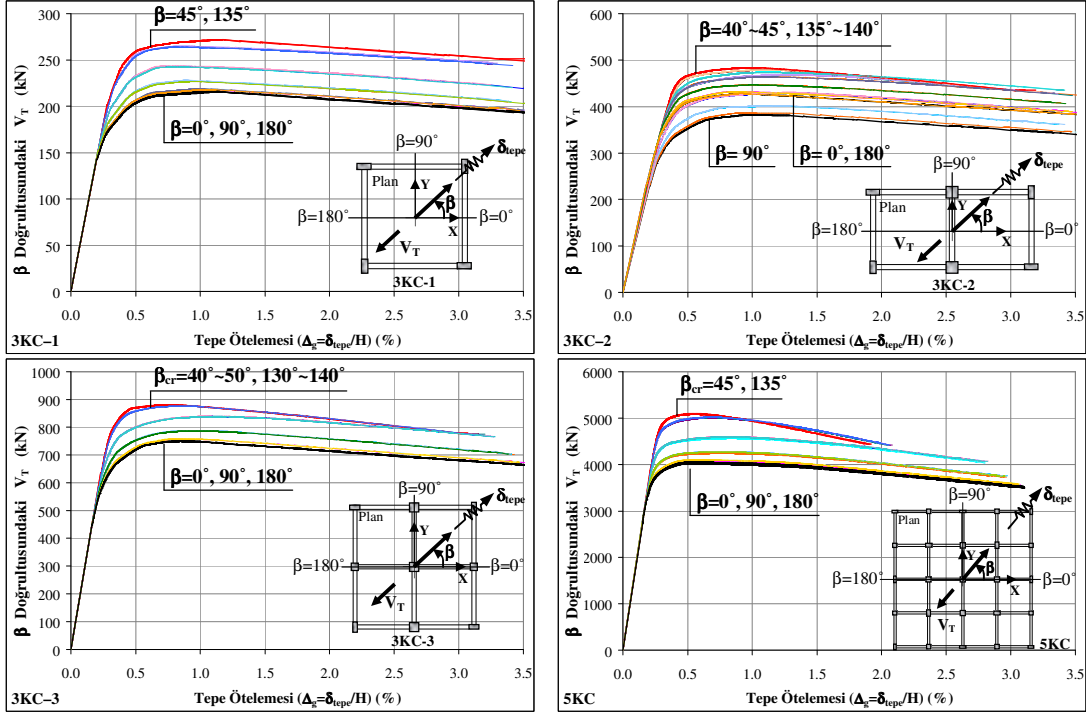
$$F_i = m_i \Phi_{i1} \quad (1)$$

Burada, F_i i nolu kattaki yatay kat kütle kuvvetini, m_i i nolu kattaki kat kütlelerini, Φ_{i1} birinci moda ait i nolu kattaki özvektörü göstermektedir.

Depremi temsil eden bu yük dağılımları, binaların kat kütle merkezlerine etkilmiştir. Artımsal statik itme analizlerinde düşey yük olarak ($1.0G + 0.30Q$) yüklemesi esas alınmıştır. Çalışmada, incelenen binaların gözönüne alınan her deprem doğrultusuna ait artımsal statik itme (pushover) analizleri için *CSI Perform-3D* bilgisayar programından yararlanılmıştır (CSI, 2006).

İncelenen betonarme binaların farklı deprem doğrultuları için elde edilen kapasite eğrileri incelendiğinde (Şekil 2), planı *kare* olan 3KC-[1 ve 3] ve 5KC binaların plandaki her iki asal eksen (X ve Y) doğrultusundaki yatay öteleme rijitliklerinin aynı olması nedeniyle, V_T yatay yük (deprem) taşıma kapasiteleri de aynı olmaktadır. Buna karşın, planı *dikdörtgen* olan 3KC-2 binanın plandaki her iki asal eksen doğrultusundaki yatay öteleme rijitlikleri farklı olduğundan, beklenildiği gibi, yatay öteleme rijitliği daha az olan doğrultudaki V_T yatay yük taşıma kapasitesi de daha az olmaktadır (Şekil 2). Ayrıca, incelenen binalarda en büyük yatay yük taşıma kapasitesinin, beklenildiği gibi, binanın her iki doğrultusundaki çerçevelere ait kiriş rijitliklerinin de etkili olması nedeniyle, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksenlerinden farklı ara doğrultulardan etkimesi halinde oluştuğu görülmektedir (Şekil 2).

6 Betonarme Binaların Çok Doğrultulu Deprem Yükleri Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi

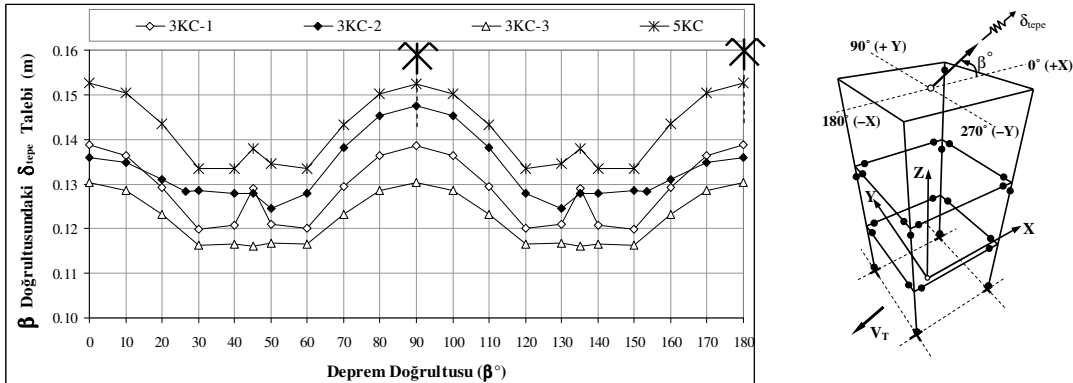


Şekil 2. Binaların gözönüne alınan β deprem doğrultularına ait kapasite eğrileri

Binaların Tepe Yerdeğiştirmesi Taleplerinin Belirlenmesi

Çalışmada incelenen betonarme binaların gözönüne alınan her bir β deprem doğrultusu için artımsal statik itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanılarak δ_{tepe} tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin (performans noktaları) belirlenmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan FEMA 440 (2005)'deki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) esas alınmıştır. ATC-55 projesi kapsamında hazırlanan FEMA 440 raporunda, binaların KYK ile tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin belirlenmesinde farklı etkileri (tekrarlı yükler altındaki histeretik davranışın etkisi, doğrusal- elastik davranış ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeler arasındaki ilişki) temsil eden C katsayıları üzerinde çok sayıda çalışma yapılmış ve yöntemde önemli iyileştirmeler yapılmıştır.

YKY ile tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin belirlenmesinde deprem tehlike seviyesi olarak, $I = 1$ olan binalar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve maksimum spektral ivmesi 1.0g olan TDY 2007'deki %5 sönümlü tasarım ivme spektrumu esas alınmıştır. İncelenen binaların doğrusal olmayan analizleri (ön analizler) sonucunda, yapısal elemanlardaki plastik dönme taleplerinin küçük değerler olması nedeniyle, TDY 2007'deki tasarım ivme spektrumu 1.5 kat artırılarak ölçeklendirilmiştir. İncelenen 3KC ve 5KC binaların her bir β deprem doğrultusu için hesaplanan δ_{tepe} tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin β ile değişimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Binaların δ_{tepe} tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi

Şekil 3’deki grafiklerden görüleceği üzere,

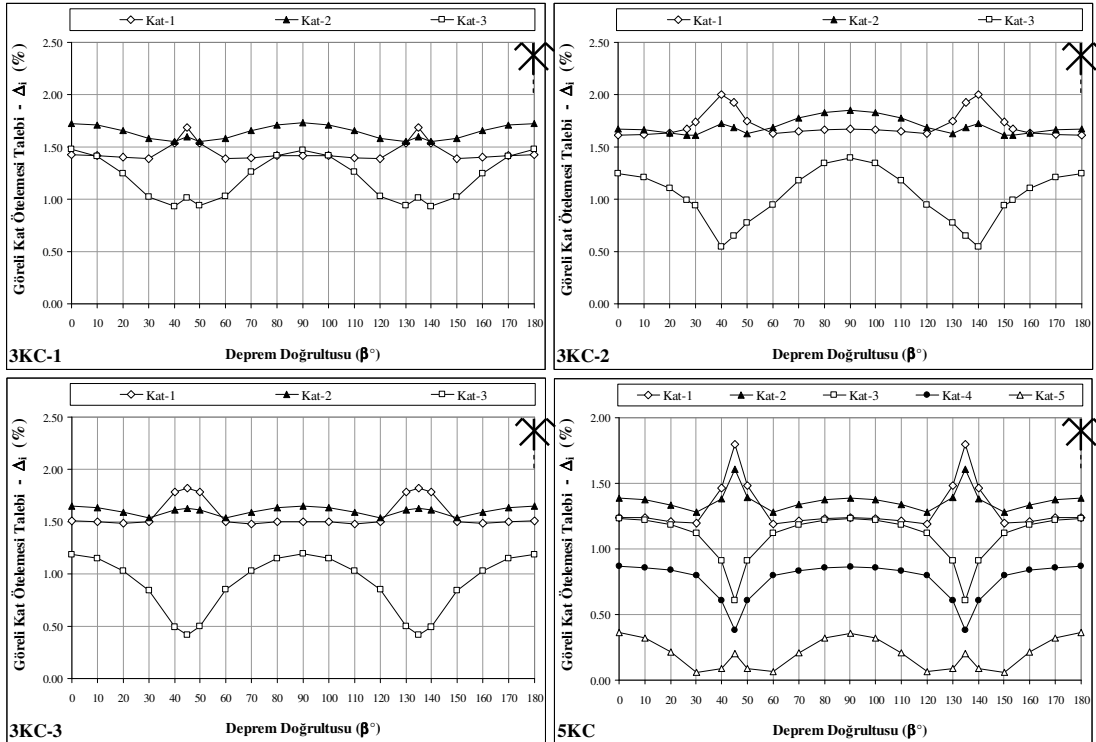
- Plamı *kare* olan 3KC–[1,3] ve 5KC binaların en elverişsiz tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin (δ_{tepe}^{cr}), deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen (X ve Y) doğrultularından etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir.
- Plamı *dikdörtgen* olan 3KC–2 binada ise, beklenildiği gibi, deprem yüklerinin binanın yatay rijitliğinin en az olduğu asal eksen (Y) doğrultularından etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir.

Bunun nedeni, binaların plandaki asal eksen doğrultularındaki V_T yatay yük taşıma kapasitelerinin ara deprem doğrultularındakilere göre daha küçük olmasıdır (Şekil 3). Bununla birlikte, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularına $\pm 10^\circ$ yakın olan doğrultulardan etkimesi halinde, en elverişsiz tepe yerdeğiştirmesi taleplerine çok yakın $[(0.95-1.00) \delta_{tepe}^{cr}]$ değerlerin de elde edildiği görölmüştür (Şekil 3).

Ayrıca, $\beta=0^\circ \sim 180^\circ$ arasındaki deprem doğrultuları için elde edilen tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin, ($\delta_{tepe}-\beta$) grafiklerindeki $\beta=90^\circ$ ’ye göre simetrik olduğu, $\beta=0^\circ \sim 360^\circ$ arasındaki deprem doğrultuları için ise $\beta=180^\circ$ ’ye göre de simetrik olduğu görölmüştür (Şekil 3).

Betonarme Binaların Görelü Kat Ötelemesi Taleplerinin Belirlenmesi

Çalışmada gözönüne alınan deprem doğrultuları için YKY ile belirlenen tepe yerdeğiştirmesi taleplerine ulaşmış betonarme binaların her bir katındaki Δ_i görelü kat ötelemesi talepleri belirlenmiştir. Binaların $\beta=0^\circ \sim 180^\circ$ arasında gözönüne alınan deprem doğrultuları için elde edilen görelü kat ötelemesi taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi Şekil 4’deki grafiklerde verilmiştir. $\beta=180^\circ \sim 360^\circ$ arasındaki Δ_i değerleri ile $\beta=0^\circ \sim 180^\circ$ için elde edilen değerler simetriktr.



Şekil 4. 3KC ve 5KC binaların görelü kat ötelemesi taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi

Şekil 4’den görüleceği üzere,

- Üst katlardaki (3KC binalarda 2. ve 3. katlar için, 5KC binada 3. 4. ve 5. katlar için) en elverişsiz görelü kat ötelemesi taleplerinin (Δ_i^{cr}),

- Planı *kare* olan 3KC–[1,3] ve 5KC binalarda deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen (X ve Y) doğrultularından etkimesi halinde olduğu,
- Planı *dikdörtgen* olan 3KC–2 binada ise, deprem yüklerinin binanın yatay rijitliğinin daha az olduğu asal eksen (Y) doğrultusundan etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).
- Bununla birlikte en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerine çok yakın $[(0.95–1.00)\Delta_i^{cr}]$ değerlerin, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultuları ile bunlara $\pm 20^\circ$ farklı olan doğrultular arasından etkimesi halinde, 3KC binaların 2. katında ve 5KC binanın 3. ve 4. katlarında, $\pm 10^\circ$ yakın olan doğrultulardan etkimesi halinde ise, 3KC binaların 3. katında ve 5KC binanın 5. katında elde edildiği görülmektedir (Şekil 4).
- Alt katlardaki en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerinin (Δ_i^{cr}) ise,
 - Planı *kare* olan 3KC–[1,3] ve 5KC binalarda deprem yüklerinin binaların plan köşegeni (diyagonal) doğrultularından ($\beta_{cr} = 45^\circ, 135^\circ$ ile $\beta_{cr} = 225^\circ, 315^\circ$) etkimesi halinde olduğu,
 - Planı *dikdörtgen* olan 3KC–2 binada ise, deprem yüklerinin $\beta_{cr} = 40^\circ, 140^\circ$ ile $\beta_{cr} = 220^\circ, 320^\circ$ ’lik ara doğrultulardan etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Bununla birlikte, deprem yüklerinin 3KC–2 binanın kritik deprem doğrultularına 5° yakın olan ara doğrultulardan ($\beta_{cr} = 45^\circ, 135^\circ$ ile $\beta_{cr} = 225^\circ, 315^\circ$), 3KC–3 binada ise, plan köşegeni (diyagonal) doğrultularına $\pm 5^\circ$ yakın olan ara doğrultulardan ($\beta_{cr} = 45^\circ \pm 5^\circ, 135^\circ \pm 5^\circ$ ile $\beta_{cr} = 225^\circ \pm 5^\circ, 315^\circ \pm 5^\circ$) etkimesi halinde, en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerine çok yakın $[(0.95–1.00)\Delta_i^{cr}]$ değerlerin de elde edildiği görülmektedir (Şekil 4).
- Ayrıca, incelenen 3KC ve 5KC binaların alt katlardaki en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerinin, plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre değişim oranlarının; 3KC–[1-3] binaların 1. katları için sırasıyla, %18.64, %19.61, %21.21 oranında arttığı, 5KC bina için, 1. katta %44.87 ve 2. katta %15.85 oranında arttığı belirlenmiştir.

Plastik Kesitlerdeki Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi

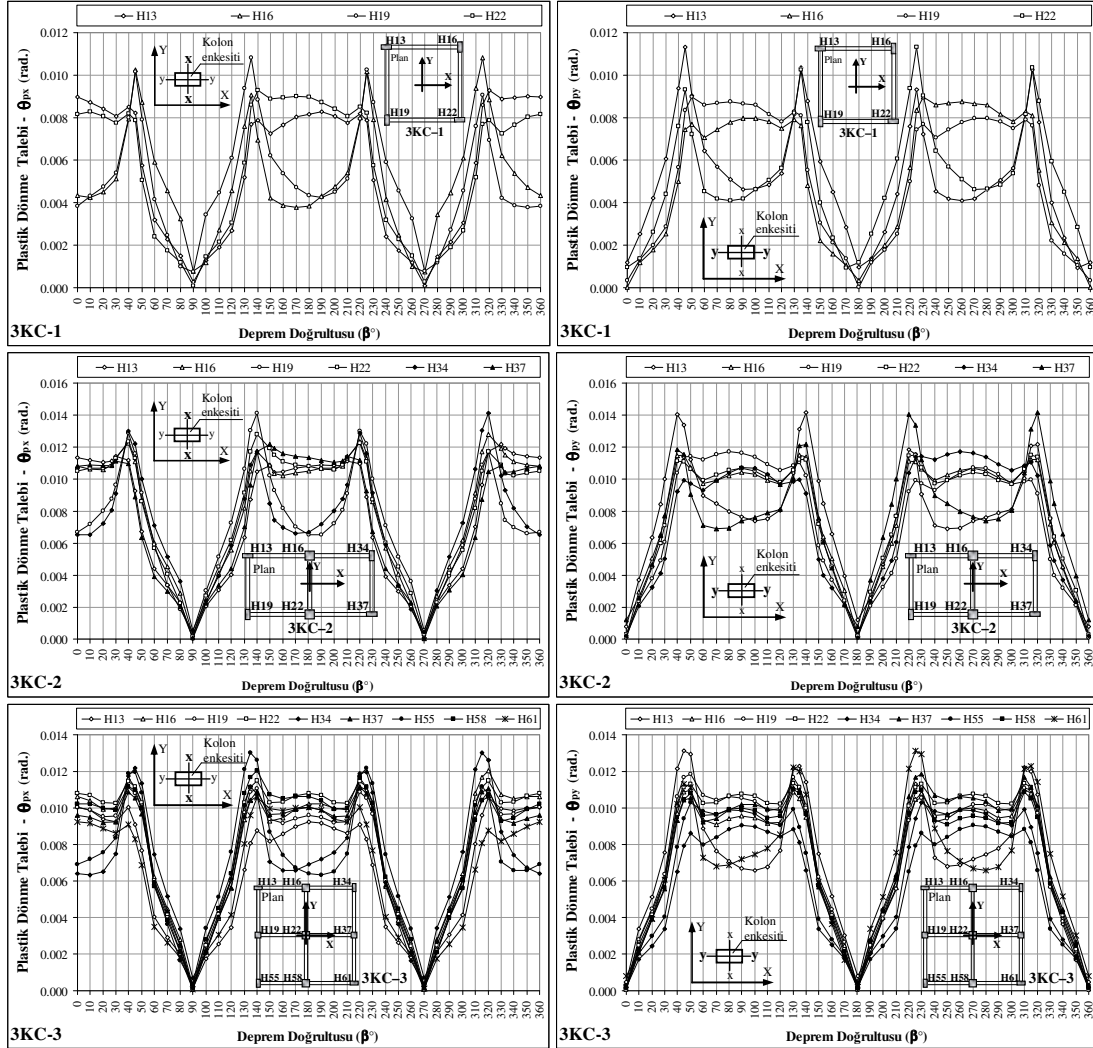
Çalışma kapsamında ele alınan betonarme binaların gözönüne alınan β deprem doğrultularında yapılan şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan statik analizleri sonucunda, en elverişsiz kiriş plastik dönme taleplerinin, beklenildiği gibi, deprem yüklerinin kiriş eksenine paralel doğrultudan etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, ortogonal akslara sahip binaların kiriş plastik kesitlerindeki en elverişsiz plastik dönme taleplerinin elde edilmesi için, binanın plandaki asal eksen doğrultularında ($\beta = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ ve 270°) yapılacak doğrusal olmayan statik analizler yeterli olmakta ve bu nedenle, çok doğrultulu deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan değerlendirme analizleri kirişler için gerekmemektedir.

Ayrıca, incelenen betonarme binaların gözönüne alınan β deprem doğrultuları için YKY ile belirlenen tepe yerdeğiştirmesi talepleri esas alınarak, kolon plastik kesitlerindeki θ_{px} ve θ_{py} plastik dönme taleplerinin deprem doğrultusu ile değişimi belirlenmiştir. Bunun için öncelikle, binalarda plastik kesitlerin (mafsalların) olduğu kolon kesitleri belirlenmiştir. Buna göre, incelenen betonarme binalarda analiz yapılan tüm deprem doğrultularının her birinde oluşan kolon plastik kesitlerinin *en alt kat kolonlarının alt uçları* olduğu ve bu kesitlerdeki plastik dönme taleplerinin diğer katlardakilere göre daha büyük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, kolon plastik kesitlerindeki şekildeğiştirme taleplerinin deprem doğrultusu ile değişiminin incelenmesi, binaların sadece *en alt kat kolonlarının alt uçlarındaki* kesitlerde yapılmıştır.

Planda simetrik veya antisimetrik olan 3KC ve 5KC binalarda $\beta = 0^\circ \sim 180^\circ$ arasında gözönüne alınan deprem doğrultuları için, en alt kat kolonlarının alt uçlarındaki plastik kesitlerdeki θ_{px} ve θ_{py} plastik dönme taleplerinden yararlanılarak, deprem yüklerinin $\beta = 0^\circ \sim 360^\circ$ arasından etkimesi halinde θ_{px} ve θ_{py} taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi Şekil 5-6’deki grafiklerde verilmiştir.

İncelenen betonarme binaların en alt kat kolonlarının alt uçlarında oluşan plastik kesitlerdeki θ_{px} ve θ_{py} plastik dönme taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi incelendiğinde (Şekil 5-6), en elverişsiz (θ_{px}^{cr} ve θ_{py}^{cr}) ve ona çok yakın değerlerdeki $[(0.95–1.00)\theta_{px}^{cr}$ ve $(0.95–1.00)\theta_{py}^{cr}]$ kolon plastik dönme taleplerinin, plastik kesitteki normal kuvvet düzeyine ve kolonun enkesit geometrisine bağlı olarak farklı deprem doğrultularında oluşabildiği belirlenmiştir. Buna göre;

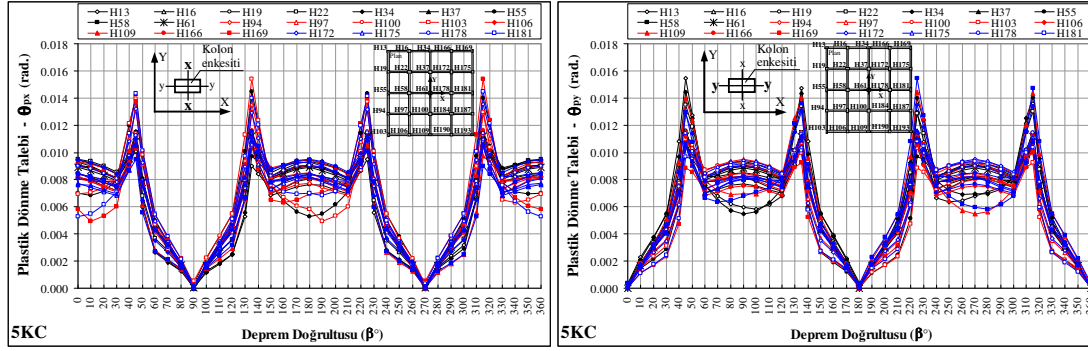
- 3KC binalardaki en elverişsiz θ_{px}^{cr} ve θ_{py}^{cr} plastik dönme taleplerinin,
 - *Kare enkesitli* kolon plastik kesitlerinde, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksenlerinden (X ve Y) farklı olan ve çoğunlukla $\beta_{cr}=45^\circ \pm 5^\circ$, $135^\circ \pm 5^\circ$ ile $\beta_{cr}=225^\circ \pm 5^\circ$, $315^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki doğrultulardan etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, binaların kritik deprem doğrultularındaki plastik dönme taleplerinin, plandaki asal eksen doğrultularından elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5).
 - *Dikdörtgen enkesitli* kolon plastik kesitlerinde ise çoğunlukla, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen (X ve Y) doğrultularından ve bu doğrultulara $\pm 20^\circ$ farklı olan ($\beta_{cr}=0^\circ \pm 20^\circ$, $90^\circ \pm 20^\circ$ ile $\beta_{cr}=180^\circ \pm 20^\circ$, $270^\circ \pm 20^\circ$) doğrultular arasından ve ayrıca, $\beta_{cr}=45^\circ \pm 5^\circ$, $135^\circ \pm 5^\circ$ ile $\beta_{cr}=225^\circ \pm 5^\circ$, $315^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki doğrultulardan etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. 3KC binalar için θ_{px} ve θ_{py} taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi

- 5KC binanın *kare* ve *dikdörtgen enkesitli* kolon plastik kesitlerindeki en elverişsiz θ_{px}^{cr} ve θ_{py}^{cr} plastik dönme taleplerinin, deprem yüklerinin binanın plan köşegeni ($\beta_{cr}=45^\circ$, 135° ve $\beta_{cr}=225^\circ$, 315°) doğrultularından etkimesi halinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). 5KC binanın kolon plastik kesitlerindeki θ_{px} ve θ_{py} taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi, 3KC binalar için elde edilenlerle oldukça benzer olmasına karşın, özellikle kritik deprem doğrultularındaki θ_{px} ve θ_{py} taleplerinin normal kuvvetin artışına paralel olarak oldukça arttığı görülmüştür (Şekil 6).

10 Betonarme Binaların Çok Doğrultulu Deprem Yükleri Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi



Şekil 6. 5KC bina için θ_{px} ve θ_{py} taleplerinin β deprem doğrultusu ile değişimi

- İncelenen binaların kritik deprem doğrultularındaki kolon plastik dönme taleplerinin (θ_{px}^{cr} ve θ_{py}^{cr}), asal eksen doğrultularından elde edilenlere (θ_{px}^{asal} ve θ_{py}^{asal}) göre değişim oranlarının;
 - *Kare enkesitli* kolonlarda, maksimum %42.4 oranında arttığı,
 - *Dikdörtgen enkesitli* kolonlarda ise, kare enkesitli kolonlara göre çok daha büyük oranlarda arttığı (maksimum %149.9) belirlenmiştir (Şekil 5–6, Tablo 1).

Tablo 1. Kritik Deprem Doğrultularındaki θ_{px} ve θ_{py} Kolon Plastik Dönme Taleplerinin Asal Eksen Doğrultularından Elde Edilenlere Göre Değişim Oranları

Bina	Kolon Enkesit Geometrisi	Kolon Plastik Kesit Sayısı	θ_{px} ve θ_{py} için Değişim Oranları (%)					
			$100 \cdot (\theta_{px}^{cr} - \theta_{px}^{asal}) / \theta_{px}^{asal}$			$100 \cdot (\theta_{py}^{cr} - \theta_{py}^{asal}) / \theta_{py}^{asal}$		
			Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama
3KC-1	<i>Dikdörtgen</i>	4	+3.5	+149.9	+76.7	+3.7	+144.8	+74.2
3KC-2	<i>Kare</i>	2	+18.4	+18.4	+45.5	+7.8	+7.8	+31.1
	<i>Dikdörtgen</i>	4	+7.3	+110.9		+0.5	+85.0	
3KC-3	<i>Kare</i>	4	+6.3	+13.7	+26.9	+5.6	+12.3	+25.0
	<i>Dikdörtgen</i>	5	+5.5	+87.9		+4.4	+82.7	
5KC	<i>Kare</i>	13	+25.9	+42.4	+44.5	+26.3	+42.1	+44.6
	<i>Dikdörtgen</i>	12	+14.5	+122.5		+13.3	+126.7	

SONUÇLAR

Çok doğrultulu deprem yükleri altında betonarme binaların Performansa Dayalı Tasarımı ve Değerlendirilmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya literatürde henüz rastlanamamıştır. Bu çalışmada, çok doğrultulu deprem yükleri altında betonarme binaların performans düzeylerinin belirlenmesinde etkin olan yapısal davranış taleplerinin (plastik dönme ve görel kat öteleme talepleri) oluşacak en elverişsiz değerleri ile bunları veren kritik deprem doğrultuları belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bunun için, üç adet 3 katlı ve bir adet 5 katlı betonarme binanın plandaki asal eksenlerinin yanısıra çok sayıdaki ara deprem doğrultuları için artımsal statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra, FEMA 440'daki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile belirlenen tepe yerdeğiştirme talepleri esas alınarak, binaların kolon ve kiriş plastik kesitlerdeki (mafsallardaki) plastik dönme talepleri ile görel kat öteleme taleplerinin deprem doğrultusu ile değişimi incelenmiş ve bu davranış taleplerinin en elverişsiz değerleri ile bunları veren kritik deprem doğrultuları belirlenmiştir. Bu sonuçların ışığı altında, binaların kritik deprem doğrultularındaki plastik dönme taleplerinin ve görel kat öteleme taleplerinin, plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre değişim oranları belirlenerek değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında herhangi bir yapısal düzensizliği bulunmayan ve ortogonal akslara sahip dört farklı betonarme binanın çok doğrultulu deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan statik analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Elde edilen sonuçların, çalışma kapsamında ele alınan betonarme binaların genel özelliklerini kapsayan diğer betonarme binalar için de geçerli olacağı düşünülmektedir.

- 1) İncelenen binaların farklı deprem doğrultuları için elde edilen kapasite eğrileri incelendiğinde beklenildiği gibi, planı *kare* olan binaların plandaki her iki asal eksen doğrultusundaki yatay öteleme rijitliklerinin de aynı olması nedeniyle, yatay yük taşıma kapasiteleri aynı olmaktadır. Buna karşın, planı *dikdörtgen* olan binanın plandaki her iki asal eksen doğrultusundaki yatay öteleme rijitlikleri farklı olduğundan, yatay öteleme rijitliği daha az olan doğrultudaki yatay yük taşıma kapasitesi de daha az olmaktadır. Ayrıca, incelenen binalarda en büyük yatay yük taşıma kapasitesinin, binanın her iki doğrultusundaki çerçevelere ait kiriş rijitliklerinin de etkili olması nedeniyle, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksenlerinden farklı ara doğrultulardan etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir.
- 2) δ_{tepe} tepe yerdeğiştirmesi taleplerine ait en elverişsiz değerlerin, planı *kare* olan binalarda deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından, planı *dikdörtgen* olan binada ise, binanın yatay rijitliğinin daha az olduğu asal eksen doğrultusundan etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularına $\pm 10^\circ$ yakın olan doğrultulardan etkimesi halinde, en elverişsiz tepe yerdeğiştirmesi taleplerine çok yakın olan $[(0.95-1.00)\delta_{tepe}^{cr}]$ değerler de elde edilmektedir.
- 3) Δ_i görelî kat ötelemesi taleplerine ait en elverişsiz değerlerin,
 - Üst katlarda, planı *kare* olan binalarda deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından, planı *dikdörtgen* olan binada ise, binanın yatay rijitliğinin daha az olduğu asal eksen doğrultusundan etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir. Bununla birlikte en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerine çok yakın $[(0.95-1.00)\Delta_i^{cr}]$ değerlerin, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultuları ile bunlara $\pm 10^\circ$ yakın olan doğrultulardan etkimesi halinde elde edildiği belirlenmiştir.
 - Alt katlarda ise, 3KC binalarda deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultularından farklı olan ve çoğunlukla $\beta_{cr} = 45^\circ \pm 5^\circ, 135^\circ \pm 5^\circ$ ile $\beta_{cr} = 225^\circ \pm 5^\circ, 315^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki doğrultulardan etkimesi halinde oluştuğu, 5KC binada ise deprem yüklerinin binanın plan köşegeni doğrultularından etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir.
- 4) En elverişsiz kiriş plastik dönme taleplerinin, beklendiği gibi, deprem yüklerinin kiriş eksenine paralel olan doğrultulardan etkimesi halinde oluştuğu belirlenmiştir. Bu nedenle, ortogonal akslara sahip binaların kiriş plastik kesitlerindeki en elverişsiz plastik dönme taleplerinin (yanısıra plastik eğrilik taleplerinin) elde edilmesi için binanın asal eksen doğrultularında yapılacak doğrusal olmayan statik analizlerin yeterli olduğu ve çok doğrultulu deprem yükleri altında bu analizlerin kirişler için gerekli olmadığı belirlenmiştir.
- 5) En elverişsiz ve ona çok yakın değerlerde $[(0.95-1.00)\theta_{px}^{cr}]$ ve $[(0.95-1.00)\theta_{py}^{cr}]$ olan kolon plastik dönme taleplerinin ise çoğunlukla, deprem yüklerinin binaların plandaki asal eksen doğrultuları ile bu doğrultulara $\pm 20^\circ$ farklı olan doğrultular arasından ve ayrıca, $\beta_{cr}=45^\circ \pm 5^\circ, 135^\circ \pm 5^\circ$ ile $\beta_{cr}=225^\circ \pm 5^\circ, 315^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki doğrultulardan etkimesi halinde oluştuğu görülmüştür.
- 6) İncelenen betonarme binaların δ_{tepe} tepe yerdeğiştirmesi taleplerinin, Δ_i görelî kat ötelemesi taleplerinin ve kiriş-kolon plastik kesitlerindeki θ_p plastik dönme taleplerinin en elverişsiz değerlerinin belirlenebilmesi için, çok sayıda deprem doğrultusu için araştırma yapılması yerine, aşağıda önerilen daha az sayıdaki kritik deprem doğrultusu için araştırma yapılmasının yeterli olduğu belirlenmiştir. Buna göre, deprem yüklerinin binalara plandaki;
 - asal eksenler $\beta_{cr} = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ ve 270° ,
 - $\beta_{cr}=45^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki $\beta_{cr}= 40^\circ, 45^\circ$ ve 50° ,
 - $\beta_{cr}=135^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki $\beta_{cr}= 130^\circ, 135^\circ$ ve 140° ,
 - $\beta_{cr}=225^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki $\beta_{cr}= 220^\circ, 225^\circ$ ve 225° ,
 - $\beta_{cr}=315^\circ \pm 5^\circ$ arasındaki $\beta_{cr}= 310^\circ, 315^\circ$ ve 320° ,
 - planlı kare olmayan binalarda ayrıca *plan köşegeni (diyagonal)* doğrultularından (kritik deprem doğrultularından) etkilerek iki doğrultulu doğrusal olmayan statik analizlerin yapılması önerilmektedir.
- 7) Binaların kolon plastik kesitlerindeki plastik dönme taleplerinin en elverişsiz değerlerini veren β_{cr} kritik deprem doğrultularının belirlenmesinde, farklı plan geometrisinin (*kare* ve *dikdörtgen*) oldukça az etkili olduğu, buna karşın kolon enkesitinin kare veya dikdörtgen olmasının etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Ayrıca, binaların üst katlarındaki en elverişsiz görelî kat ötelemesi taleplerini veren β_{cr} kritik deprem doğrultularının belirlenmesinde, plan geometrisinin

- etkili bir parametre olduğu, buna karşın kolon enkesitinin kare veya dikdörtgen olmasının oldukça az etkili olduğu görülmüştür. Binaların alt katlarındaki görelî kat ötelemesi talepleri için ise, farklı plan ve kolon enkesit geometrisinin oldukça az etkili olduğu belirlenmiştir.
- 8) İncelenen betonarme binaların kritik deprem doğrultularındaki plastik dönme taleplerinin, plandaki asal eksen doğrultularından elde edilenlere göre çok büyük oranda arttığı belirlenmiştir. Oluşan bu farkın, binaların Performansa Dayalı Tasarım Değerlendirmesi kapsamında performans düzeyini değiştirebilecek mertebede olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, incelenen binaların kritik deprem doğrultuları ve asal eksen doğrultularından elde edilen görelî kat ötelemesi talepleri arasındaki farkın, performans düzeyini değiştirmeyecek mertebede olduğu görülmüştür. Bu nedenle, binaların performans düzeylerinin değerlendirilmesinde görelî kat ötelemesi taleplerinin etkili bir parametre olmadığı söylenebilir.
- 9) Deprem yüklerinin doğrultu etkisi ile ilgili genel bir değerlendirme yapıldığında, betonarme binaların şekildeğiştirme bazlı en elverişsiz davranış büyüklüğü taleplerinin (plastik dönme taleplerinin ve görelî kat ötelemesi taleplerinin) ve dolayısıyla bunları veren kritik deprem doğrultularının belirlenebilmesi için, binaların plandaki asal eksen doğrultularındaki analizlerin yeterli olmadığı, ayrıca asal eksenlerden farklı çok sayıda ara deprem doğrultusu için de araştırma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kritik deprem doğrultularının belirlenebilmesi ile ilgili olarak 6. madde'deki önerilerden yararlanılabilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO (2006) Recommended LRFD Guidelines for the Seismic Design of Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, NCHRP 20-07 Task 193
- ASCE 41-06 (2007) Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineering, Reston, Virginia
- ATC-32 (1996) Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations, Applied Technology Council, Redwood City, California
- ATC 40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Vol:1, Redwood City, California
- CSI Perform-3D (2006) Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California
- Çakıroğlu A (1987) "Earthquake-Resistant Design According to the Most Unfavourable Seismic Direction under Combined Internal Forces", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15(7), 853-864
- DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TDY 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- Eurocode-8 (2003) Design of Structures for Earthquake Resistance, European Standard Norme EN 1998-1 European Committee for Standardization, Brussels
- FEMA 356 (2000) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA 440 (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Hasgül (2011) Binaların Şekildeğiştirme Bazlı Doğrusal Olmayan Analizinde Deprem Doğrultusu Etkisinin İncelenmesi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi tamamlanma aşamasındadır)
- IBC (2006) International Building Code, International Code Council, Inc. (ICC), Birmingham
- Japanese PRESSS (1994) Japanese PRESSS Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings, Research Report No. 10
- Lopez OA and Torres R (1997) "The Critical Angle of Seismic Incidence and the Maximum Structural Response", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26(9), 881-894
- Menun C and Kiureghian AD (1998) "A Replacement for the 30%, 40% and SRSS Rules for Multicomponent Seismic Analysis", *Earthquake Spectra*, 14(1), 153-163
- Newmark NM (1975) "Seismic Design Criteria for Structures and Facilities: Trans-Alaska Pipeline System", *Proceedings of the U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 94-103
- Özmen G (2005) "Ortogonal Olmayan Yapılarda Maksimum Donatı Oranlarının Tayini", *İMO Teknik Dergi*, Yazı 230, 3445-3466
- Rosenblueth E and Contreras H (1977) "Approximate Design for Multicomponent Earthquakes", *Journal of the Engineering Mechanics*, 103, 881-893
- TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Wilson EL, Suharwardy I. and Habibullah A (1995) "A Clarification of the Orthogonal Effects in a Three-Dimensional Seismic Analysis", *Earthquake Spectra*, 11(4): 659-666