



TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ PERFORMANS ESASLI STATİK YÖNTEMLERİN DÜŞEY RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇERÇEVELER ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF PERFORMANCE BASED STATIC METHODS IN TURKISH EARTHQUAKE CODE FOR FRAMES WITH VERTICAL STIFFNESS IRREGULARITY

Kaan TÜRKER¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, 10145, Balıkesir.
kturker@balikesir.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.10.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 21.03.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.70298

Özet

Önemli yenilikler içeren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin (DBYBHY) 2007 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi yaygın olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) veya Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (AEDYY) ile yapılmaya başlanmıştır. Dayandığı esaslar bakımından EDYY’nde AEDYY’ne göre önemli eksiklikler bulunmasına karşılık, DBYBHY’ye göre EDYY herhangi bir sınırlama olmaksızın AEDYY ile aynı kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle yöntemlerin sonuçları arasındaki uyumun incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı mertebelerde düşey rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) bulunan üç betonarme bina çerçevesi ve düzenli (referans) bir çerçeve üzerinde iki yöntem karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirmede kesit hasar düzeyleri, görel kat ötelemeleri ve çerçeve (genel) performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, eleman uçlarındaki sargılama durumunun etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak, iki yöntem arasındaki uyumun rijitlik düzensizliği mertebesine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterdiği görülmüştür. EDYY, düzenli çerçevede ve rijitlik düzensizliği mertebesi düşük olan çerçevede, AEDYY’ne göre daha büyük hasar durumları vermiştir. Ancak, rijitlik düzensizliği mertebesi yüksek olan çerçevelerde EDYY daha düşük hasar düzeyleri vermiştir. Ayrıca, sargılama durumunun kesit hasar bölgelerini ve çerçeve performans düzeyini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Düşey rijitlik düzensizliği, Deprem performansı, Doğrusal elastik yöntem, Doğrusal elastik olmayan yöntem.

Abstract

Seismic performance evaluation of existing RC buildings have commonly been performed by using Equivalent Seismic Load Method (ESLM) and Incremental Equivalent Seismic Load Method (IESLM), since Turkish Earthquake Code 2007 (TEC) including significant improvements have come into force. Although the significant deficiencies are available in ESLM with respect to IESLM, ESLM possess the area of usage same with IESLM according to TEC without any limitation. Therefore, investigation of consistency in results of these methods has importance. In this study, ESLM and IESLM are assessed comparatively on three RC building frames with vertical stiffness irregularity (soft story) and on a regular (reference) frame. Section damage levels, story drift ratios and frame (global) performance levels are compared in the assessment. In addition, the effect of confinement is investigated. The results show that, the consistency of the methods show large diversities according level of stiffness irregularity in frames. IESLM results in more damage levels for frames with higher irregularity. However, ESLM results in more damage levels for frames with lesser irregularity and regular frame. In addition, it has seen that the confinement in members was very effective on section damage regions and frame performance levels.

Keywords: Vertical stiffness irregularity, Seismic performance, Linear static procedure, Nonlinear static procedure.

1 Giriş

ABD’de yaşanan depremler sonucu, yaklaşık onbeş yıl önce ortaya çıkan performansa dayalı tasarım/değerlendirme yaklaşımı bugün oldukça yaygınlaşmış ve çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlamıştır [1]-[5]. Dünyadaki bu gelişmeye paralel olarak, 2007 yılında Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY) de betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan, statik ve dinamik esaslı hesap yöntemlerine yer verilmiştir [6]. DBYBHY’de binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen yöntemler, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Doğrusal elastik yöntemler grubunda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) ve Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) adı altında iki yöntem bulunmaktadır. Doğrusal elastik olmayan yöntemler grubunda ise Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (AEDYY) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi (AMBY) ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (ZTAHY) adı altında üç

yöntem yer almaktadır. EDYY ve AEDYY statik esaslı yöntemler olup yönetmeliğe göre sadece yapı davranışında birinci (temel) modun hakim olduğu binalarda kullanılabilir. Diğer yöntemler ise dinamik/yarı dinamik esaslı olmaları nedeniyle yüksek modların etkin olduğu binalarda da kullanılabilir [6].

DBYBHY’de yer alan doğrusal elastik yöntemler (EDYY ve MBY), doğrusal elastik teoriye dayanan kuvvet esaslı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, doğrusal elastik davranan yapıya etkiyecek deprem yükleri altında, kritik kesitlerde oluşacak kesit tesirleri ve kesit kapasitelerinden yararlanarak kesitlerdeki süneklik taleplerinin yaklaşık olarak elde edilmesi ve bunların kesit şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak hasar düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Esasen yapı kapasitesine bağımlı olan deprem yükleri yerine elastik deprem yüklerinin kullanılması, bu yüklerin tamamının aynı anda taşıyıcı sisteme etkilere kesitler/elemanlar arasındaki yeniden dağılım etkisinin ihmal edilmesi ve kesitlerdeki süneklik taleplerinin kuvvet esaslı bir yaklaşımla temsil ediliyor olması bu yöntemlerin temel

eksiklikleri arasında bulunmaktadır. Bu eksiklikleri nedeniyle doğrusal elastik yöntemlerde gerçek davranıştan belirli ölçüde uzaklaşılabilmektedir. DBYBHY’de yer alan doğrusal elastik olmayan yöntemlerde (AEDYY, AMBY ve ZTAHY), kullanılan deprem yüklerinin/etkilerinin sistemin kapasitesi ile uyumlu olması, elemanların doğrusal olmayan davranışının hesaba katılarak yeniden dağılım etkisinin göz önüne alınması ve eleman hasar kontrollerinin direkt olarak şekildeğiştirme talepleri (plastik dönme, birim şekil değiştirme vb.) ile yapılması deprem etkisi altındaki davranışın daha gerçekçi olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle doğrusal olmayan ZTAHY’nde deprem karakteristikleri, yüksek mod etkileri, yapıdaki sönüm etkileri, histeretik etkiler vb. etkiler de göz önüne alınarak gerçeğe oldukça yakın davranışlar elde edilebilmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, statik esaslı doğrusal elastik olmayan yöntemlerin de planda ve düşeyde önemli yapısal düzensizliği bulunmayan az ve orta katlı yapılarda deprem davranışının belirlenmesinde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir [7]-[9].

Performans esaslı benzer yöntemlerin yer aldığı ASCE/SEI 41-06 [10] ve EUROCODE 8-Part 3 [11] gibi standartlarda doğrusal elastik teoriye dayanan basitleştirilmiş yöntemlerin kullanımının çeşitli parametrelere (bazı yapısal düzensizlik durumlarının bulunması, hasar düzeyini ifade eden talep/kapasite oranlarının maksimum değeri, sistemdeki maksimum ve minimum talep/kapasite oranlarının oranı gibi) sınırlandırıldığı görülmektedir. DBYBHY’de ise doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin kullanımı ile ilgili herhangi bir koşul/zorunluluk bulunmamaktadır. Bu nedenle EDYY ve AEDYY’nin farklı yapı sistemleri üzerinde ve çeşitli yapısal parametrelere göre karşılaştırılarak sonuçları arasındaki uyumun ortaya konması, bina performans değerlendirmelerinin daha doğru yapılabilmesi bakımından önem arz etmektedir. Önemli yapısal düzensizliği bulunmayan binalar üzerinde yapılan çalışmalarda genel olarak EDYY’nin beklediği gibi daha elverişsiz sonuçlar (büyük hasar durumları) verdiği ve güvenli tarafta kalmayı sağladığı görülmüştür [12]-[14]. Buna karşılık düzensiz yapı sistemleri üzerinde yapılmış değerlendirme çalışmalarının sayısı henüz çok yetersizdir [15].

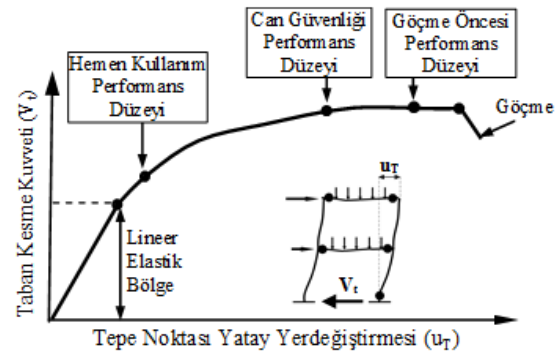
Türkiye’de ve dünyanın diğer bir çok deprem ülkesinde meydana gelen depremlerde göçmelere neden olan en önemli düzensizliklerden birisi *katlar arası (düşey) rijitlik düzensizliği* veya *yumuşak kat* olarak adlandırılan düzensizliktir [16]-[18]. Rijitlik düzensizliği, binadaki herhangi bir katın yanıl öteleme rijitliğinin bitişik katların rijitliğine göre önemli ölçüde daha düşük olması durumudur. Binalarda düşey rijitlik düzensizliği genellikle iki farklı şekilde oluşabilmektedir. Bunlardan birincisi dolgu duvarların belirli katlarda (genellikle en alt katta) çeşitli sebeplerle kaldırılması sonucu dolgunsuz katın rijitliğinin dolgu duvar bulunan katlardaki rijitliğe göre önemli ölçüde düşük kalması durumudur. Diğer bir düşey rijitlik düzensizliği nedeni ise binada herhangi bir katın diğer katlara göre daha yüksek yapılması, buna karşılık kolon enkesitlerinde yeterli artış yapılmaması sonucu yüksek katın yanıl öteleme rijitliğinin diğer katlara göre düşük kalması durumudur. Bazı binalarda her iki sebebin birlikte bulunduğu veya başka sebeplerle düşey rijitlik düzensizliği oluşumu da görülebilmektedir. Rijitlik düzensizliği bulunan binalarda deprem etkisi altında en büyük zorlanmalar genellikle düzensizliğin bulunduğu kattaki kolonların alt ve üst uçlarında yoğunlaşmakta ve bu bölgelerdeki kapasitelerin aşılması

durumunda kat mekanizması ile göçmeler meydana gelebilmektedir [19].

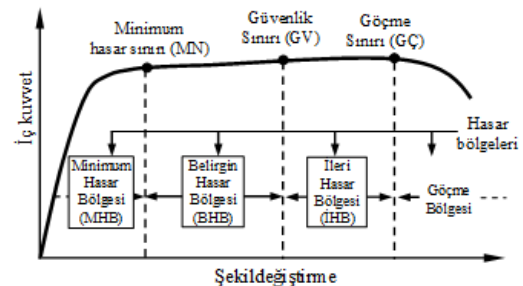
Bu çalışmada, farklı mertebelerde düşey rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği) bulunan bina çerçeveleri üzerinde EDYY ve AEDYY’nin karşılaştırılması ve yöntemlerin arasındaki uyumun değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2 DBYBHY (2007)’e Göre Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi ve Katlar Arası (Düşey) Rijitlik Düzensizliği

Bina deprem performansı, belirli bir deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasarların türlerine, düzeylerine ve binadaki dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bina güvenlik durumunu ifade etmektedir. Binalar için standart bir güvenlik tanımı yapabilmek amacıyla, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY), binalara gelebilecek deprem etkileri, elemanlarda oluşabilecek hasar türleri, düzeyleri ve bu hasarların dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bina performans düzeyleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır [6]. DBYBHY’de tanımlanan bina performans düzeyleri, Şekil 1’de verilen bina kapasite eğrisi üzerinde şematik olarak gösterilmiştir [6]. DBYBHY’e göre deprem etkisi altında, kesme kırılması oluşmayan elemanların belirli bir eğilme şekildeğişmesi kapasitesine sahip oldukları kabul edilmekte ve bu elemanlar *sünek* olarak nitelendirilmektedir. Deprem etkisi altında kesme kapasitesi yetersiz olduğu için kesme kırılması oluşan elemanlar *gevrek* olarak nitelendirilmektedir. Sünek elemanlar için DBYBHY’de tanımlanan hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 2’de verilen iç kuvvet şekil değiştirme bağıntısı üzerinde şematik olarak gösterilmiştir [6].



Şekil 1: Bina performans düzeyleri.



Şekil 2: Kesit hasar sınırları/bölgeleri.

Doğrusal elastik yöntemlerde düşey yükler ve yatay deprem etkisi altında sünek elemanlardaki hasarı belirlemek amacıyla *etki/kapasite* (r) oranları kullanılmaktadır [6]. Bu oranlar kirişlerde eğilme momentleri, kolonlarda ise eğilme momentleri ve normal kuvvetler (karşılıklı etki diyagramları) vasıtasıyla hesaplanmaktadır. *Etki* olarak elastik deprem

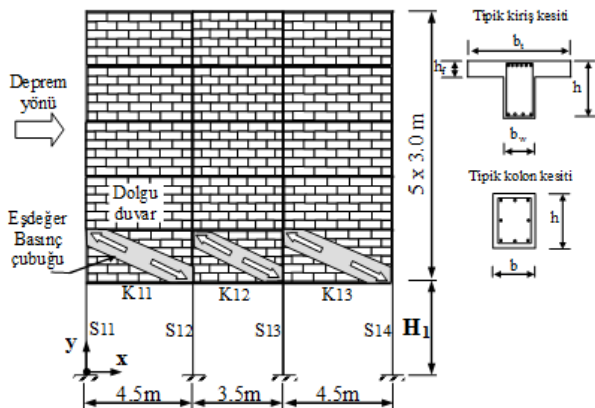
yükleri altında oluşan kesit tesirleri esas alınmaktadır. *Kapasite* olarak ise elemanın deprem yönü ile uyumlu kapasitesinden düşey yük tesirlerinin vektörel olarak çıkarılması ile elde edilen *artık moment kapasiteleri* esas alınmaktadır [6].

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerde düşey yükler ve yatay deprem etkisi altında sünek elemanlardaki hasarı belirlemek amacıyla kritik bölgelerdeki beton (kabuk betonu ve sargılı göbek betonu) ve çelik *birim şekil değiştirme* değerleri kullanılmaktadır [6]. Bunun için doğrusal olmayan analiz ile deprem etkisi altında kritik kesitler için belirlenen *plastik dönme* talepleri, plastik mafsal uzunlukları kullanılarak kesit eğrilik taleplerine dönüştürülmektedir. Daha sonra kesitler için hazırlanan Moment-Eğrilik bağıntıları yardımıyla beton ve çelik için birim şekil değiştirme talepleri elde edilmektedir [6]. DBYBHY’de B2 düzensizliği olarak ifade edilen katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği), görelî kat öteleme oranları esas alınarak belirlenmektedir. Düşey rijitlik düzensizliği, herhangi bir i inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile elde edilen *Rijitlik düzensizliği katsayısının* (η_{ki}) 2.0 dan fazla olması durumudur. Yönetmeliğe göre B2 düzensizliği sadece yeni binaların tasarımı aşamasında kontrol edilmekte ve bu düzenliğin bulunması hesap yönteminin seçiminde etkili olmaktadır. Buna karşılık mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi aşamasında *Rijitlik düzensizliği* ile ilgili herhangi bir kontrol veya koşul bulunmamaktadır [6].

3 Çerçeve Taşıyıcı Sistemler Üzerinde Sayısal İncelemeler

3.1 Taşıyıcı Sistemlerin Özellikleri

Çalışmada dört adet altı katlı çerçeve taşıyıcı sistem incelenmiştir (Şekil 3). Çerçevelerin, planda düzenli ve her iki doğrultuda simetrik betonarme bir binanın bir iç aks çerçevesini temsil ettikleri kabul edilmiştir. Çerçevelerde düşey rijitlik düzensizliği dolgu duvarların etkisini göz önüne alarak ve kat yüksekliği artırılarak oluşturulmuştur. Birinci çerçeve (Ç1), herhangi bir yapısal düzensizliği bulunmayan düzenli çerçevedir. Bu çerçevenin sonuçları düzenli ve düzensiz çerçeveleri karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Diğer üç çerçevede, ilk katın yüksekliği (H_1) artırılmış ve sadece bu katta dolgu duvarlar kaldırılıp diğer katlarda göz önüne alınarak farklı düzeylerde düşey rijitlik düzensizliği bulunan çerçeveler (Ç2, Ç3, Ç4) oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: İncelenen çerçeve taşıyıcı sistemlerin tipik özellikleri.

Çerçevelerin kirişlerinde döşemelerden aktarılan yükler ($G=4.5kN/m^2$, $Q=2.0kN/m^2$) ve $2.75kN/m$ ’lik duvar yükleri bulunmaktadır. Ayrıca kolon-kiriş birleşim noktalarında, çerçeveye dik bina kirişlerindeki yükleri temsil eden tekil yükler bulunmaktadır. Sadece düzenli çerçevenin tasarımı yapılmış düzensiz çerçevelerde eleman özelliklerinin değişmediği kabul edilmiştir. Tasarımda 1975 Deprem Yönetmeliği [20] (deprem bölge katsayısı $C_0=0.1$, yapı önem katsayısı $I=1.0$, yapı tipi katsayısı $K=1.0$, zemin cinsi II-a) esas alınmış [20] ve beton sınıfı C16, beton çeliği sınıfı S220 olarak seçilmiştir.

Eleman enkesit özellikleri Tablo 1,2’de verilmiştir. Çerçevelerin birinci (hakim) modlarına ait özellikler ve DBYBHY’e göre belirlenen maksimum rijitlik düzensizliği katsayıları ($\eta_{ki,max}$) Tablo 3’de verilmiştir. Çerçeveler, EDYY ve AEDYY’nin uygulanabilmesi için yönetmelikte verilen ön koşulları (kat adedi ve hakim mod kütle katılım oranı) sağlamaktadır [6].

Kiriş ve kolon uç bölgelerindeki sargılama durumunun yöntemler arasındaki farklara etkisini incelemek amacıyla tüm değerlendirmeler iki farklı sargılama durumu için yapılmıştır. Buna göre birinci durumda DBYBHY’deki sargılama şartını sağlamayan kiriş ve kolonlarda $\phi 8/20$ çift kollu etriye bulunduğu, ikinci durumda ise sargılama şartını sağlayacak şekilde kirişlerde $\phi 8/10$ çift kollu etriye, kolonlarda $\phi 10/6$ çift kollu etriye ve iki doğrultuda birer $\phi 10$ çiroz bulunduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1: Kolon özellikleri.

Kat	Kolon adı	Boyutlar		Boyuna Donatı
		b (cm)	h (cm)	
1-3	S11, S14, S21, S24, S31, S34	70	30	8 ϕ 20
	S12, S13, S22, S23, S32, S33	50	50	8 ϕ 20
4-6	S41, S44, S51, S54, S61, S64	60	30	8 ϕ 18
	S42, S43, S52, S53, S62, S63	40	40	8 ϕ 20

Tablo 2: Kiriş özellikleri.

Kat	Kiriş adı	Kesit	Boyuna Donatı		Boyutlar	
			üst	alt	b_w (cm)	h (cm)
1	K11,	Sol uç	6 ϕ 20	4 ϕ 20	30	60
		Sağ uç	5 ϕ 20	3 ϕ 20		
2	K21	Sol uç	6 ϕ 20	4 ϕ 20	30	60
		Sağ uç	5 ϕ 20	4 ϕ 20		
3	K31	Sol uç	6 ϕ 20	4 ϕ 20	30	60
		Sağ uç	4 ϕ 20	3 ϕ 20		
4	K41	Sol uç	5 ϕ 20	3 ϕ 20	30	50
		Sağ uç	4 ϕ 20	2 ϕ 20		
5	K51	Sol uç	6 ϕ 16	3 ϕ 16	30	50
		Sağ uç	5 ϕ 16	3 ϕ 16		
6	K61	Sol uç	5 ϕ 16	3 ϕ 16	30	50
		Sağ uç	4 ϕ 16	3 ϕ 16		
6	K62	Sol uç	4 ϕ 16	3 ϕ 16	30	50
		Sağ uç	4 ϕ 16	3 ϕ 16		

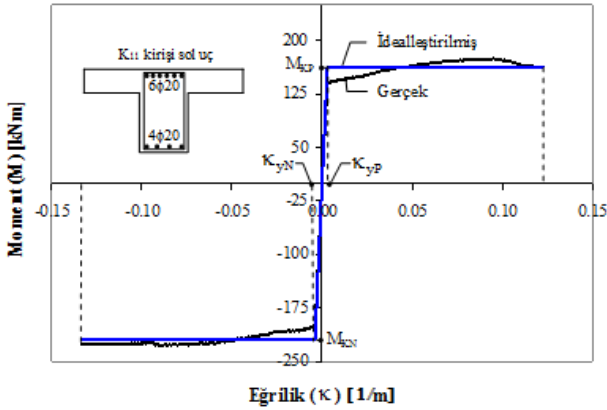
$h_f=12cm$ $b_c=102cm$ (kenar aç.) $b_w=72cm$ (orta aç.)

Tablo 3: Çerçevelerin hakim moduna ait özellikleri ve düşey rijitlik düzensizliği katsayıları.

Çerçeve adı	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
İlk kat yüksekliği (H ₁)	3.0	4.0	5.0	6.0
Hakim Periyodu (T ₁) (s)	0.495	0.636	0.813	1.018
Etkin modal kütle (M _{si}) (kNs ² /m)	378	395	402	404
Modal kütle katılım oranı	0.93	0.97	0.99	0.99
Rijitlik düzensizliği katsayısı ($\eta_{k,max}$)	1.59	2.31	3.12	3.99
Düzensizlik durumu	Düzenli	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz

3.2 Analiz Özellikleri

EDYY ve AEDYY'ne ait kesit tesirlerinin belirlenmesinde II. Mertebe (P- Δ) etkileri göz önüne alınmıştır. Her iki yöntemde de DBYBHY'de önerilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde, yığılı plastik davranış yaklaşımı esas alınmıştır. Plastik mafsallardaki Moment-Eğrilik (M- κ) bağıntısının belirlenmesinde DBYBHY'de önerilen sargılı/sargısız beton ve çelik gerilme-şekil değiştirme bağıntıları esas alınmıştır. Sistemin doğrusal olmayan analizi için Moment-Eğrilik bağıntıları, idealleştirme ve gerçek bağıntı altında kalan alanların eşitliği sağlanacak şekilde ve ideal-elasto-plastik olarak idealleştirilmiştir (Şekil 4). Analizlerde sargın eleman moment ve normal kuvvet taşıma kapasitesine olan etkisi ihmal edilmiş, sadece eleman şekil değiştirme kapasitesi ve beton hasar sınırları üzerindeki etkisi göz önüne alınmıştır.

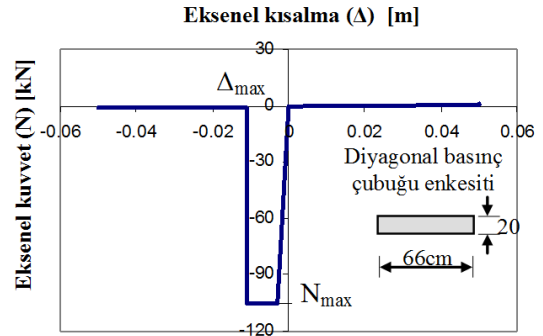


Şekil 4: Kiriş için gerçek ve idealleştirilmiş Moment-eğrilik bağıntısı (K11 kirişi, sol uç).

Kolonlarda taşıma kapasiteleri için moment (M) ve normal kuvvet (N) karşılıklı etki diyagramları esas alınmış ve birim şekil değiştirme taleplerinin belirlenmesinde, ilgili normal kuvvet talebi için elde edilen (M- κ) bağıntıları göz önüne alınmıştır.

Çerçevelerdeki dolgu duvarlar iki ucu mafsallı eşdeğer diyagonal basınç çubukları ile temsil edilmiştir. Bu çubukların rijitlikleri, aksel yük taşıma kapasiteleri ve şekil değiştirme kapasiteleri ASCE/SEI-4106[10]'ya göre belirlenmiştir. Dolgu duvar özellikleri sistemde düzensizlik yaratacak rijitlikte

seçilmiştir. Büyük açıklıktaki dolgu duvarları temsil eden basınç çubuklarının aksel kuvvet-plastik kılma bağıntısı Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Dolgu duvarı temsil eden diyagonal basınç çubuğu için Aksel kuvvet-kılma bağıntısı.

Çerçevelerin performansları DBYBHY'de tanımlanan, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremi için belirlenmiştir. Deprem bölgesi: 1, Zemin sınıfı: Z2 olarak göz önüne alınmıştır. Çalışmada (+x) yönündeki deprem performanslarına ait sonuçlar sunulmuştur (Şekil 3).

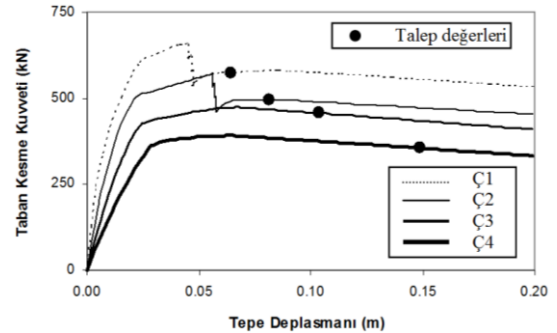
Çerçevenin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde SAP2000 Yapı Analiz programından [21], kesit analizlerinde ise XTRACT kesit analiz programından [22] yararlanılmıştır.

3.3 Analiz Sonuçları ve Karşılaştırılması

Çalışmada elemanların kesme kapasitelerinin ve düğüm noktalarının (birleşimlerin) kesme kapasitelerinin yeterli olduğu ve bu sebeplerle gevrek bir kırılma oluşmadığı kabul edilmiştir.

EDYY ile kiriş ve kolon kritik kesitlerindeki talep etki/kapasite oranlarını belirlemek amacıyla, her bir çerçevede (1.0G+0.3Q) düşey yüklemesi ve eşdeğer elastik deprem yükleri için doğrusal elastik analizler yapılmıştır.

AEDYY ile kolon ve kiriş kritik kesitlerindeki birim şekil değiştirme taleplerini belirleyebilmek amacıyla, her bir çerçevenin (1.0G+0.3Q) düşey yükleri altında monoton artan yatay deprem yükleri için doğrusal elastik olmayan analizi yapılmıştır. Analizlerde birinci (hakim) mod ile uyumlu yatay yük dağılımı esas alınmıştır. Her bir deprem düzeyi için çerçevelerin maksimum tepe yer değiştirmesi talepleri yönetmelikte öngörülen eşit yer değiştirme kuralı ile belirlenmiştir [6]. Çerçeveler için elde edilen kapasite eğrileri ve göz önüne alınan deprem için elde edilen talep değerleri (tepe yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti) Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Çerçevelerin kapasite eğrileri ve göz önüne alınan deprem için talep değerleri.

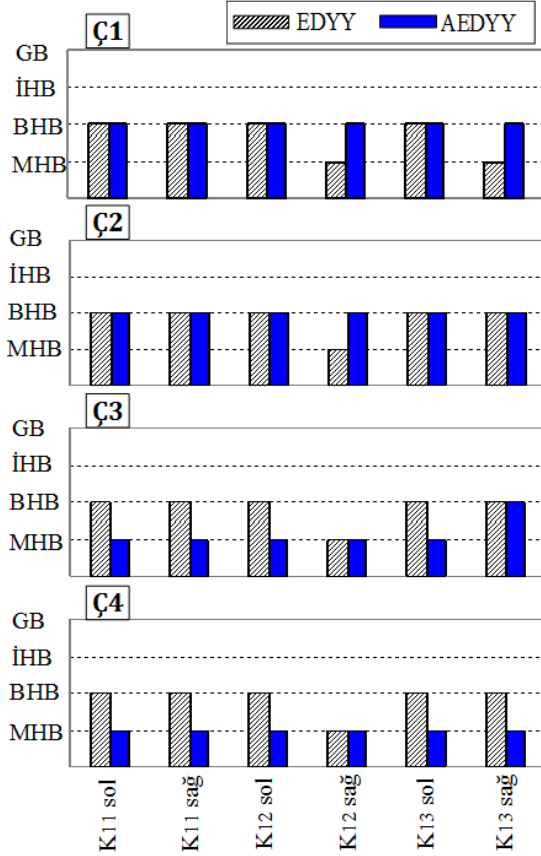
Göz önüne alınan deprem etkisi altında, çerçeveler için elde edilen spektral talepler (yer değiştirme ve ivme) ve gerçek (tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvveti) talepler Tablo 4’de sayısal olarak verilmiştir.

Tablo 4. Göz önüne alınan deprem için çerçevelere ait spektral ve gerçek talep değerleri.

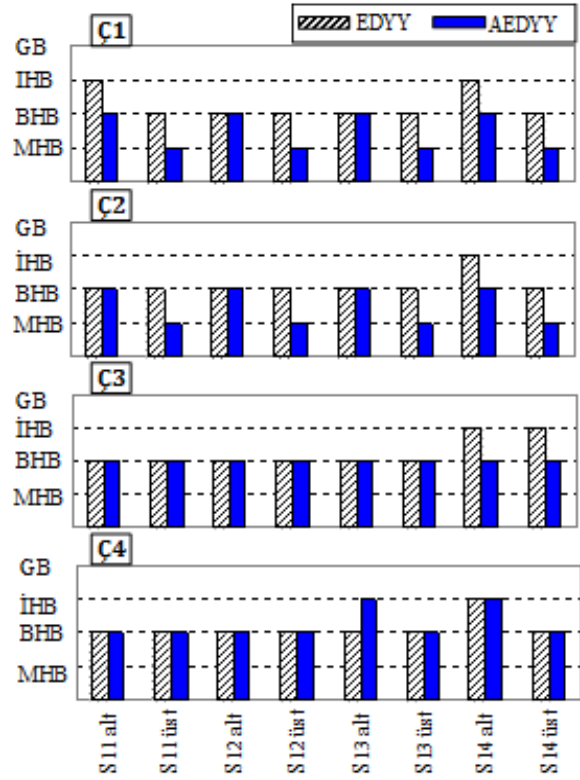
Çerçeve adı	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
Spektral ivme (S_a) (m/s^2)	8.27	6.77	5.56	4.65
Spektral yer değiştirme (S_d) (m)	0.051	0.069	0.093	0.122
Çerçeve tepe yer değiştirme (m)	0.0644	0.0814	0.1038	0.1486
Çerçeve taban kesme kuvveti (kN)	573.4	496.8	456.7	355.5

3.3.1 Kesit Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

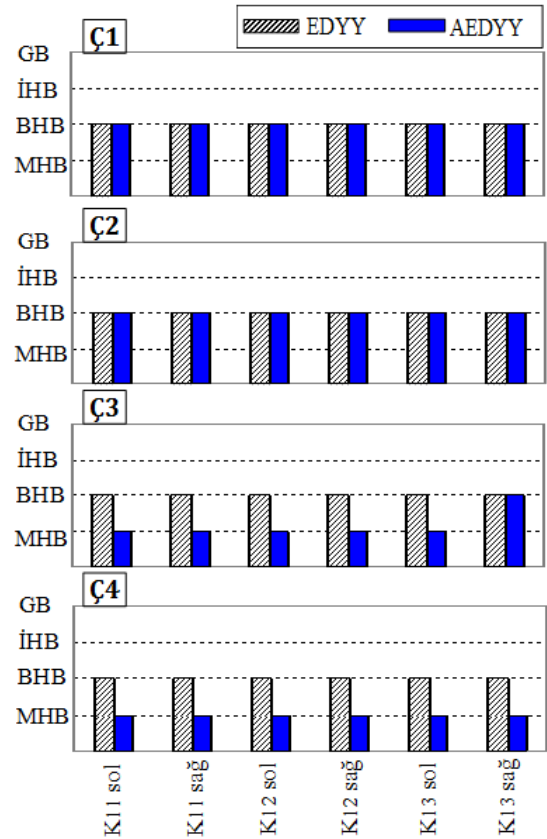
Kesit hasarları çerçevelerin düşey rijitlik düzensizliği bulunan birinci kat kirişlerinde ve kolonlarında yoğunlaşmış diğer katlardaki hasar genel olarak minimum hasar düzeyinde kalmıştır. Bu nedenle EDYY ve AEDYY’nden elde edilen kesit hasar bölgeleri sadece birinci kat için karşılaştırılmıştır. Kirişler ve kolonlarda uygun sargılı ve yetersiz sargılı durumlar için elde edilen kesit hasar bölgeleri Şekil 7-10’da gösterilmiştir.



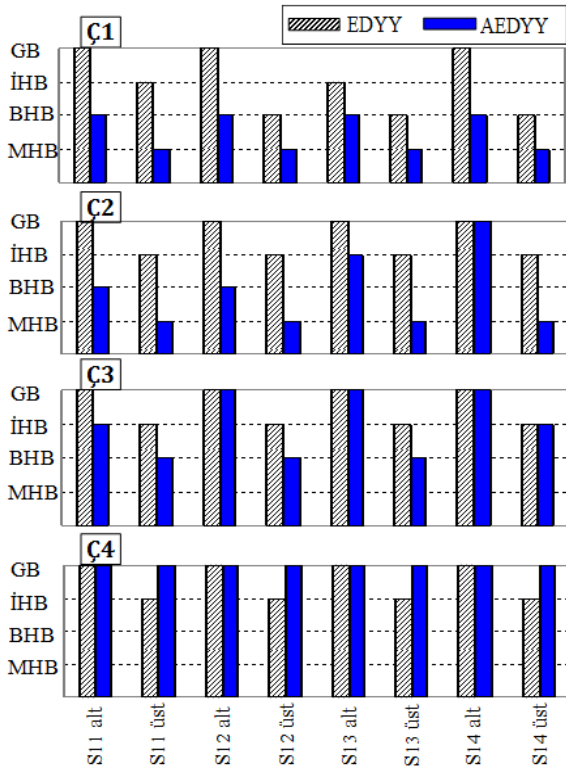
Şekil 7: Uygun sargılı kiriş kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması.



Şekil 8: Uygun sargılı kolon kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması.



Şekil 9: Yetersiz sargılı kiriş kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması.



Şekil 10: Yetersiz sargılı kolon kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kirişlerde, uygun sargılı durumda; iki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen kesit hasar düzeyleri arasındaki fark en fazla bir hasar bölgesi kadardır. Düzensizlik mertebesi arttıkça yöntemler arasındaki uyum azalmıştır. Düzensizlik katsayısı (η_k) daha düşük olan Ç1 ve Ç2'de AEDYY, düzensizlik katsayısı yüksek olan Ç3 ve Ç4'de EDYY daha elverişsiz hasar durumları vermiştir (Şekil 7).

Kirişlerde, yetersiz sargılı durumda; iki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen kesit hasar düzeyleri arasındaki fark en fazla bir hasar bölgesi kadardır. Düzensizlik mertebesi arttıkça yöntemler arasındaki uyum azalmıştır. Düzensizlik katsayısı daha düşük olan Ç1 ve Ç2'de iki yöntem aynı hasar düzeylerini vermiş, düzensizlik katsayısı yüksek olan Ç3 ve Ç4'de EDYY daha elverişsiz hasar durumları vermiştir (Şekil 9).

Kolonlarda, uygun sargılı durumda; iki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen kesit hasar düzeyleri arasındaki fark en fazla bir hasar bölgesi kadardır. Düzensizlik mertebesi arttıkça yöntemler arasındaki uyum artmıştır. Düzensizlik katsayısı en yüksek olan Ç4'de, sadece bir kesitte AEDYY daha elverişsiz hasar durumu vermiş, diğer çerçevelerde EDYY daha elverişsiz hasar durumları vermiştir (Şekil 8).

Kolonlarda, yetersiz sargılı durumda; iki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen kesit hasar düzeyleri arasındaki fark en fazla iki hasar bölgesi kadardır. Düzensizlik mertebesi arttıkça yöntemler arasındaki uyum artmış ve fark en fazla bir hasar bölgesine düşmüştür. Ç1, Ç2 ve Ç3'de EDYY daha elverişsiz hasar durumları vermiş, düzensizlik katsayısı en yüksek olan Ç4'de, AEDYY daha elverişsiz hasar durumu vermiştir (Şekil 10).

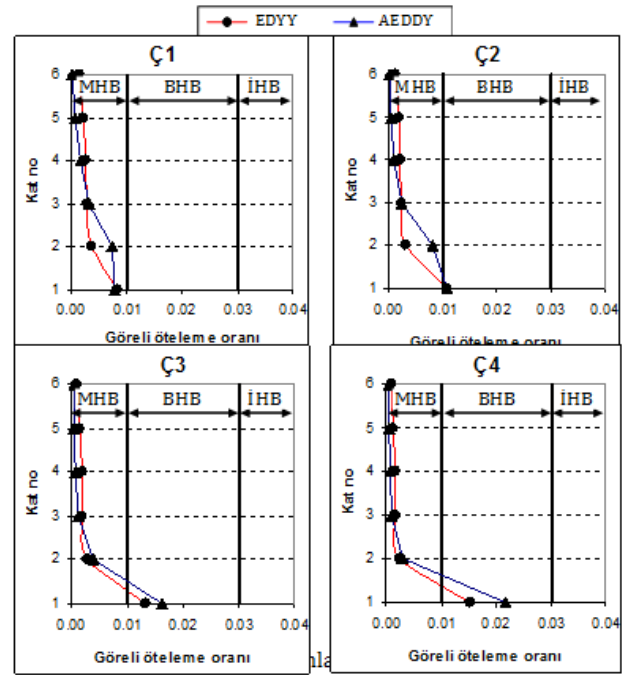
3.3.2 Görelî Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması

DBYBHY gereğince EDYY'nde kolonlar için her bir katta görelî öteleme oranları hesaplanmış ve bunlara göre de hasar

bölgeleri belirlenmiştir (Şekil 11). Çalışmada ayrıca, AEDYY'nden de görelî öteleme değerleri elde edilmiş ve iki yöntemin sonuçları arasındaki uyum değerlendirilmiştir.

EDYY'nde düzensizliğin bulunduğu katta, görelî öteleme oranları, etki/kapasite oranlarına göre genel olarak daha düşük hasar düzeyleri vermiştir. Bu iki kriterin verdiği hasar düzeyleri arasındaki fark, uygun sargılı durumda en fazla bir hasar bölgesi kadar iken, yetersiz sargılı durumda en fazla iki hasar bölgesine çıkmıştır.

Düzensizliğin bulunduğu katta, EDYY ve AEDYY'nin verdiği görelî öteleme oranları arasındaki fark, düzensizlik katsayısına bağlı olarak artmakla birlikte, hasar bölgesini değiştirmeyecek mertebede kalmıştır. Ç3 ve Ç4'de AEDYY daha büyük öteleme oranları vermiştir (Şekil 11).



Şekil 11: Görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması.

3.3.3 Performans Düzeylerinin Karşılaştırılması

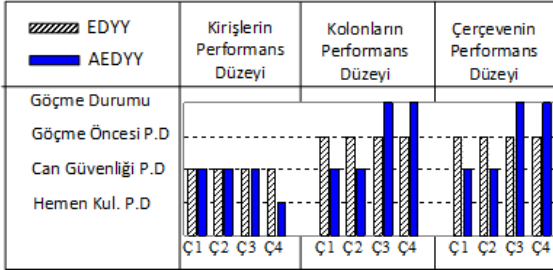
Her iki yöntemden elde edilen kiriş ve kolon kesit hasar bölgeleri yönetmelikte öngörüldüğü gibi kat bazında değerlendirilerek çerçevelerin performans düzeyleri elde edilmiştir (Şekil 12-13). Çerçevelerin performans düzeylerinin belirlenmesinde etkili olan elemanı göstermek amacıyla kirişler, kolonlar ve çerçevenin genel performans düzeyleri ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Her iki yöntemde (EDYY ve AEDYY) çerçevelerin genel performans düzeylerinin belirlenmesinde düşey rijitlik düzensizliğinin bulunduğu birinci kat kolonlarındaki hasar düzeyi etkili olmuştur (Şekil 12,13).

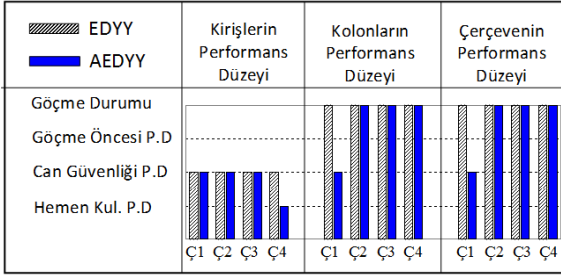
Kirişlerdeki sargı durumunun performans düzeyine etkisi olmamıştır. Kolonlardaki sargı durumu ise her iki yöntemde de performans düzeyini değiştirecek düzeyde etkili olabilmştir (Şekil 12, 13).

Düzensizliği bulunmayan çerçevede (Ç1), EDYY daha elverişsiz performans düzeyleri vermiştir. İki yöntem arasındaki fark, uygun sargılı durumda bir performans düzeyi kadar, yetersiz sargılı durumda iki performans düzeyi kadar olmuştur (Şekil 12, 13).

Ç3'de uygun sargılı durum için, EDYY AEDYY ile aynı veya daha elverişsiz kesit hasarları işaret etmesine rağmen, daha iyi bir performans düzeyi vermiştir. Bunun nedeni DBYBHY'de "iki ucunda da minimum hasar sınırı aşılmış elemanlar" için verilen kat bazındaki özel değerlendirme kriteridir. Buna göre EDDY'nde ilgili düğüm noktalarında *kirişe göre güçlü kolon koşulu* sağlandığı için söz konusu özel kriter uygulanmamıştır. Buna karşılık AEDYY'nde "iki ucunda da minimum hasar sınırı aşılmış elemanlar" nedeniyle performans düzeyi iki aşama üste geçerek *Göçme bölgesi* olmuştur.



Şekil 12: Performans düzeylerinin karşılaştırılması (uygun sargılı durum).



Şekil 13: Performans düzeylerinin karşılaştırılması (yetersiz sargılı durum).

4 Sonuçlar

Çalışmada, Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY-2007) yer alan doğrusal elastik *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* (EDYY) ve doğrusal elastik olmayan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* (AEDYY), farklı mertebelerde düşey rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) bulunan betonarme bina çerçeveleri üzerinde karşılaştırılmış ve iki yöntemin sonuçları arasındaki uyum incelenmiştir. Çerçevelerde sadece üst katlardaki dolgu duvarların etkisini göz önüne alarak ve birinci kat yüksekliğini artırarak farklı mertebelerde rijitlik düzensizliği oluşturulmuştur. İki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen kesit hasar bölgeleri, görelî kat öteleme oranları ve performans düzeyleri karşılaştırılarak sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler hasarların yoğunlaştığı birinci kat kolonları ve kirişlerini içermektedir.

- İki yöntem arasındaki uyum sistemdeki düzensizlik mertebesine bağlı olarak büyük farklılıklar göstermiştir. Düzensizlik mertebesi arttıkça giriş hasarlarındaki uyumun azaldığı, kolon hasarlarındaki uyumun arttığı gözlenmiştir. Kolon kesit hasar düzeylerindeki fark en fazla iki hasar bölgesi kadar, giriş hasar düzeyleri arasındaki fark en fazla bir hasar bölgesi kadar olmuştur.
- Sargılama durumunun her iki yöntemde de kesit hasar düzeylerini önemli ölçüde değiştirdiği ve bu değişimin çerçevelerin (genel) performans düzeyini değiştirecek mertebede olduğu belirlenmiştir. Sargı durumunun etkisi daha çok kolon elemanlarında

görülmüştür. Sargılama durumu EDYY'nde, hem düzenli çerçevede hem de düşey rijitlik düzensizliği bulunan çerçevelerde çok etkili olurken, AEDYY'nde daha çok düzensiz çerçevelerde etkili olmuştur. İki yöntemin kolon sonuçları arasındaki uyum sargılı durumda sargısız duruma göre önemli ölçüde artmıştır.

- EDYY, düşey rijitlik düzensizliği bulunmayan (Ç1) çerçevede ve rijitlik düzensizliği en düşük olan çerçevede (Ç2), AEDYY'ne göre daha elverişsiz hasar durumları vermiştir. Ancak rijitlik düzensizliği daha yüksek olan çerçevelerde (Ç3, Ç4) AEDYY'nin daha elverişsiz hasar durumları verebildiği belirlenmiştir. Her iki yöntemin dayandığı esaslar göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde; EDYY'nin rijitlik düzensizliği bulunan sistemlerde emniyetsiz performans değerlendirmelerine yol açabileceği düşünülmektedir.
- Rijitlik düzensizliğinin bulunduğu bir çerçevede (Ç3), AEDYY'nin verdiği kesit hasar düzeyleri EDYY ile aynı veya bazı kesitlerde daha düşük olmasına rağmen, AEDYY'ine göre çerçeve genel performans düzeyi çok daha elverişsiz olarak elde edilmiştir. Bunun nedeni DBYBHY'inde "iki ucunda da minimum hasar sınırı aşılmış elemanlar" için verilen kat bazındaki özel değerlendirme kriteridir. Buna göre EDYY'nde, ilgili düğüm noktalarında "*kirişe göre güçlü kolon koşulu*" sağlanması durumunda söz konusu özel kriterin uygulanmasına gerek kalmamaktadır. Bu durum söz konusu kriterin dolgu duvar nedeniyle rijitlik düzensizliği oluşan çerçevelerde olumsuz sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir.
- EDYY'nde düzensizliğin bulunduğu katta, görelî öteleme oranları, kesit tesirlerinden elde edilen etki/kapasite oranlarına göre genel olarak daha düşük hasar düzeyleri vermiştir. Bu iki kriterin verdiği hasar düzeyleri arasındaki fark, sargı durumuna bağlı olarak iki hasar bölgesine kadar çıkabilmektedir.
- Düzensizliğin yüksek olduğu çerçevelerde AEDYY daha büyük öteleme oranları vermiştir. Ancak düzensizliğin en yüksek olduğu çerçevede dahi görelî öteleme oranı yaklaşık 0.02 olarak elde edilmiştir. Buna göre, EDYY'nde verilen görelî öteleme kriteri sınırlarının (MN, GV, GC) çok yüksek olduğu ve incelenen çerçevelerde rijitlik düzensizliğine yönelik hasarları belirlemede yetersiz kaldığı söylenebilmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak, deprem performansı belirleme yöntemlerinin uygulama sınırlarının ortaya konması ve geliştirilmesi amacıyla, özellikle yapısal düzensizliği bulunan sistemler üzerindeki değerlendirme çalışmalarının daha geniş kapsamlı olarak sürdürülmesi gerektiği düşünülmektedir.

5 Kaynaklar

- [1] SEAOC., Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Vision 2000, Structural Engineers Association of California, 1995.
- [2] ATC., Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Vol. 1. Applied Technology Council. Washington, DC., USA, 1996.

- [3] Poland, C.D. and Hom, D.B., Opportunities and Pitfalls of Performance Based Seismic Engineering. Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, 69-78. Slovenia, 1997.
- [4] FEMA., Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *FEMA 356*. Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [5] Federal Emergency Management Agency (FEMA)., Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, FEMA 440, (ATC-55 project), Washington, DC., USA, 2004.
- [6] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [7] Mwafy, A.M. and Elnashai, A.S., "Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings", *Engineering Structures*, 23, pp. 407, 2001.
- [8] Krawinkler, H. and Seneviratna, G.D.P.K., "Pross and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation", *Engineering Structures*, pp. 452, 1998.
- [9] Lawson, R.S., Vance, V. and Krawinkler, H., Nonlinear static push-over analysis-why, when, and how?, *Proceedings of Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 1, pp. 283, 1994.
- [10] ASCE/SEI 41-06., Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, 2007.
- [11] Eurocode 8., Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, 2005.
- [12] Sucuoğlu, H., "Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 445: 24-36, 2007.
- [13] Şengöz, A. ve Sucuoğlu, H., "Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi" Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri," *İMO Teknik Dergi*, 20 (1), 4609-4633, 2009.
- [14] Uygun, G. ve Celep, Z., "Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi" *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 269-279, 2007.
- [15] Türker, K., "Rijitlik Düzensizliği Bulunan Binalarda Deprem Performansı Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 2011.
- [16] Tezcan, S. ve Yazıcı, S.A., "Soft Storey Dilemma in Earthquake Resistant Design," *Turkish Earthquake Foundation*, KT 019-67, 2001.
- [17] Erdik, M., "Report on 1999 Kocaeli and Düzce Earthquakes," B.U. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Department of Earthquake Engineering, 2000.
- [18] MCEER Ed. by Scawthorn, C., "The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999" Reconnaissance Report, The Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Universty of Buffalo, NY, USA, 2000.
- [19] Elnashai, A.S. and Sarno, L.D., *Fundamentals of Earthquake Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom, 2008.
- [20] ABYYHY., Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1975.
- [21] CSI SAP2000, Structural Analysis Program, Berkeley, California, 2005.
- [22] ISS XTRACT., Cross Section Analysis Program, 2001.