

Farklı Yönetmeliklerde Tanımlanan Etkin Kesit Rijitliklerinin Yapı Davranışına Etkisinin İncelenmesi

Onur Karaalioglu¹, Gökhan Dok², Hakan Öztürk³

¹ Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği, KOCAELİ

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği, SAKARYA

³ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, SAKARYA

(Alınış / Received: 23.03.2024, Kabul / Accepted: 03.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Betonarme yapılar,
Etkin kesit rijitliği,
Doğrusal olmayan analiz

Öz: Bu çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan etkin kesit rijitliği değerleri için farklı tasarım yönetmeliklerinde tanımlanmış yaklaşımların, yapısal davranışa etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda özellikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) kullanılan yukarıda bahsi geçen değerlerin güncel deneysel, nümerik ve analitik çalışmalarla uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır. Değerlendirme için tasarımı yapılan örnek sonlu eleman modelleri farklı etkin kesit rijitlik değerleri kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmada güncel tasarım yönetmeliklerinin gereksinimlerini sağlayan, 8 katlı, herhangi bir yapısal kusuru veya düzensizliği bulunmayan, üç boyutlu betonarme yapı modelleri 11 farklı kuvvetli yer hareketi kullanılarak değerlendirilmiştir. Nümerik analizlerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak analiz sonuçları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Federation Internationale du Beton (FIB) Model Code 2010 ve bu alanda uluslararası kabul görmüş güncel çalışmalar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda etkin kesit rijitlikleri ile betonarme yapıda değişen kuvvet, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi talepleri ile yapıya ait dinamik karakteristikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapısal performans değerlendirmesinde kullanılan ve TBDY 2018'de belirlenen etkin kesit rijitliğine ait tanımlamaların güncellenmesi önerilmiştir.

Examining the Effect of Effective Section Stiffness Defined in Different Regulations on Structural Behavior

Keywords

Reinforced concrete
structures,
Effective cross-section
stiffness,
Nonlinear analysis

Abstract: In this study, the effects of the approaches defined in different design regulations for effective cross-section stiffness used in earthquake resistant structural design on structural behavior were investigated comparatively. For this purpose, investigation of the reliability of the above-mentioned values used in the Turkish Building Seismic Code (TBSC-2018) is aimed at considering current experimental, numerical, and analytical studies. Several sample finite elements models created for evaluation are analyzed with nonlinear time-history analysis including different effective stiffnesses. In the study, 3 dimensional reinforced concrete models with 8 stories, having no irregularity, and satisfying current design specifications are evaluated under 11 different strong ground motions. Average values obtained from numerical analysis results are compared with each other in TBSC-2018, Federation Internationale du Beton (FIB) Model Code 2010, and some current widely accepted international studies. Within this scope, dynamic characteristics of the structure with changing force, displacement, and relative story drift due to effective cross-section stiffness are evaluated. According to the obtained results, it is proposed that the effective sectional stiffness definitions used for structural performance evaluation defined in TBSC-2018 should be modified.

*İlgili Yazar, email: hakanozturk@sakarya.edu.tr

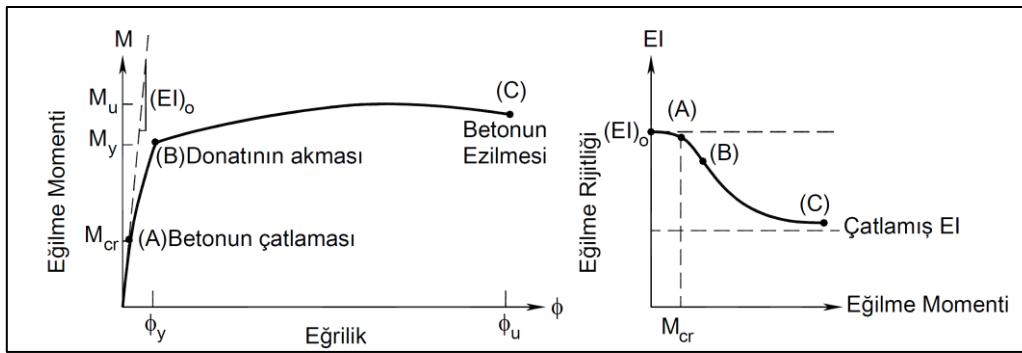
1. Giriş

Ülkemiz birçok aktif fay zonuna sahip olması sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramı büyük bir önem arz etmektedir. Yapı davranışının iyi bilinmesi ve günümüzde hesaplamalar için kullanılan bilgisayar programları ile bu davranışın gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi, yapı mühendislerinin daha hassas sonuçlar elde etmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde bilinen gerçek yapı davranışının doğrusal olmaması ve deprem sonrasında yapılarda meydana gelecek hasar seviyelerini belirleyebilmek amacıyla performans dayalı tasarım kavramı ortaya çıkmıştır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımında taşıyıcı sistemin malzeme davranışı en önemli etkenlerden biridir. Yapı mühendisliğinde kullanılan malzemelerin doğrusal olmadığı ve kompleks bir davranış sergilediği bilinmektedir [1]. Bu kompleks davranışı yakınsamak adına birtakım basitleştirilmiş malzeme modelleri geliştirilmiştir [1]. Betonarme elemanlar özelinde yapılan bu çalışmalarda sargı donatısının beton dayanımına ve süneklığe büyük oranda katkı sağladığı tespit edilmiştir [2]. Bu çalışmada da sargısız ve sargılı beton malzemesi için Mander [3] malzeme modeli kullanılmıştır.

Etkin kesit rijitliği kavramı, elemanların eğilme rijitliğini temsil eden bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Betonarme elemanlarda eğilme rijitliğinin göstergesi olarak eğilme momenti - eğrilik ilişkileri göz önüne alınmaktadır. Elemanların moment - eğrilik ilişkilerini analitik olarak incelemek ve parametrik çalışmalar gerçekleştirmek adına bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir [4]. Betonarme kesitlerin eğilme momenti - eğrilik ilişkisini incelemek üzere yapılan çalışmalarda eksenel kuvvet, enine ve boyuna donatı oranları, beton dayanımı parametrelerinin eğrilik sünekliliği ve etkin kesit rijitliği gibi özelliklere etkisi irdelenmiştir [4] [5]. Kumbasar [6] tarafından betonarme kesitlerin eğilme rijitliği üzerine yapılan çalışmada; boyuna donatı oranı, dış merkezlik oranı ve eksenel yük gibi parametreler göz önüne alınarak etkin kesit rijitliği için birtakım bağıntılar önerilmiştir.

Betonarme elemanlarda etkin kesit rijitlikleri farklı yönetmeliklerde farklı şekillerde ele alınmaktadır. Tekinsav vd. [7] tarafından yapılan çalışmada, bir kiriş kesitinin boyutları sabit tutulup beton dayanımı, enine ve boyuna donatı oranları parametreleri değiştirilerek analitik yöntemlerle etkin kesit rijitliği değerleri hesaplanmış ve bu değerler DBYBHY [8], TBDY [9] ve Eurocode-8 [10] yönetmeliklerinde sunulan etkin kesit rijitliği değerleri ile kıyaslanmıştır. Bir başka çalışmada, farklı tasarım yönetmeliklerindeki etkin kesit rijitliği değerleri göz önüne alınarak betonarme bir yapının doğrusal olmayan yöntemler ile elemanların performans seviyesi belirlenmiş ve etkin kesit rijitliklerinin değişimi ile elemanlarda farklı düzeyde hasar seviyeleri tespit edilmiştir [11]. Etkin kesit rijitliklerinin incelenmesinde yapay sinir ağları ve genetik programlama gibi yöntemlere dayalı tahmin modelleri ve formülasyonlar da geliştirilmiştir [12] [13].

Şekil 1'de betonarme bir kesitin Eğilme momenti - Eğrilik ve Eğilme momenti - Eğilme rijitliği ilişkilerinin genel bir gösterimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde donatının akması (B) durumundan sonra eğilme rijitliğinde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Çatlamış eğilme rijitliği olarak adlandırılan bu parametrenin, yukarıda bahsedilen ve bu çalışmada yer alan bulgulara göre, yapı tasarımı ve deprem performans seviyesinin belirlenmesi gibi mühendislik konularında önemli bir yere sahip olduğu kaçınılmaz bir olgudur.



Şekil 1. Eğilme Momenti - Eğilme Rijitliği ilişkisi

Bu çalışmada betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 8 katlı yapının ETABS [14] sonlu elemanlar programı yardımıyla 11 çift deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Betonarme kesitlerde farklı şekillerde ele alınan etkin kesit rijitliği katsayısının bina davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu farklılıklar neticesinde yapıda meydana gelen kuvvet, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi talepleri ile yapıya ait dinamik karakteristikler değerlendirilmiştir. Nümerik analizlerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak analiz sonuçları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [9], Federation Internationale du Beton (FIB) Model Code 2010 [17] ve bu alanda uluslararası kabul görmüş güncel çalışmalar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yöntemi kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analizlerde kullanılan deprem kayıtlarını elde etmek için üç kaynak mevcuttur. Bunlardan; gerçek deprem kayıtları, benzeştirilmiş kayıtlar ve yapay olarak oluşturulmuş kayıtlar olarak söz edilebilir [15]. Çalışmada 11 çift gerçek deprem yer hareketi kullanılmış ve kayıtlara ait veriler Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) [16] kuvvetli yer hareketi veri tabanından elde edilmiştir. Gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için zaman ve frekans tanım alanında olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır [15]. Bu çalışmada deprem kayıtlarının frekans içeriğini değiştirmemek adına zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak her bir model için ölçekleme katsayıları belirlenmiştir.

Betonarme kesitlerin etkin kesit rijitlikleri Başlangıç, TBDY 2018 [9] Tasarım, TBDY 2018 [9] Performans, FIB 2010 [17], Grammatikou vd. [18] olmak üzere beş farklı model için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan bağıntılar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Etkin kesit rijitliği bağıntıları

Model	$\theta_{shear,y}$	θ_y	EI_{eff}
Başlangıç	-	-	E_0
TBDY 2018 [9] Tasarım	-	-	Kolonlarda $0.70E_0$ Kirişlerde $0.35E_0$
TBDY 2018 [9] Performans	-	$\theta_y = \frac{\varphi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\varphi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$	$EI_{eff} = \frac{M_y L_s}{3\theta_y}$
FIB 2010 [17]	-	$\theta_y = \frac{\varphi_y L_s}{3}$	$EI_{eff} = \frac{M_y L_s}{3\theta_y}$
Grammatikou vd. [18]	$\theta_{shear,y} = 0.0019 \left(1 + \frac{h}{1.6L_s}\right)$	$\theta_y = \frac{L_s + \alpha_v z}{3} + \alpha_{sl} \frac{\varphi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f'_c}} + \theta_{shear,y}$	$EI_{eff} = \frac{M_y L_s}{3\theta_y}$

TBDY 2018’de dayanıma göre tasarlanan (DGT) bir yapıda da değerlendirmeye alındığında mevcut yapı olarak değerlendirilip şekildedirmeye göre (ŞGDT) analiz edilerek sonuçları yorumlanır. Dolayısıyla mevcut tasarım yaklaşımının değerlendirme ile arasında oluşabilecek muhtemel farklılıkları karşılaştırmak adına DGT’de (Tasarım) tanımlanan etkin kesit eğilme rijitlikleri çalışmaya dâhil edilmiştir.

2.1. Yapı bilgisi

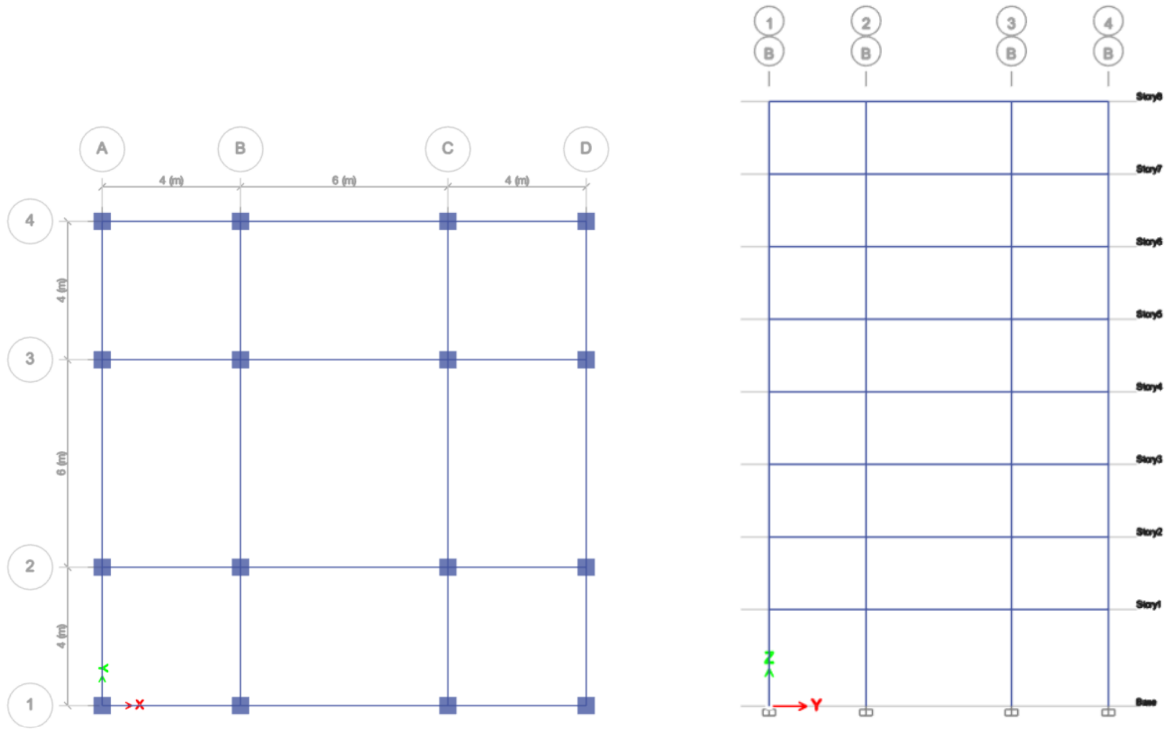
Bu çalışmada ele alınan yapının malzemesi betonarme olup çerçeve taşıyıcı sisteme sahiptir. X ve Y yönlerinde eşdeğer olan yapı aynı zamanda iki doğrultuda da simetrik özelliklerdedir. Beton sınıfı C25 ve donatı sınıfı S420 olarak belirlenmiştir. Yapı tüm katlarda aynı plana sahip olup 1. kat, 2-3-4. katlar, 5-6-7-8. katlar olmak üzere kolonlar için farklı etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Kirişlerde açıklık uzunluğuna göre etkin kesit rijitlikleri değişmektedir. Bu bağlamda iki farklı kiriş tipi elde edilmiştir. Yapıdaki elemanlara ait bilgiler Tablo 2’de detaylı şekilde verilmiştir [9].

Tablo 2. Elemanlara ait bilgiler

Kesit adı	Eleman	Beton-Donatı sınıfı	Betonun Elastisite Modülü (MPa)	Donatının Elastisite Modülü (MPa)	Donatının Akma Dayanımı (MPa)	Boyutlar (mm)	Boyuna ve Enine Donatılar (mm)
C1	Kolon	C25 – S420	30000	210000	420	500x500	12Φ18 Φ10/100
B1	Kiriş	C25 – S420	30000	210000	420	300x600	6Φ12 Φ10/100

Çalışmada kullanılan yapısal model için gerçek bir yapı kullanılmamıştır. Yapının Sakarya’da TBDY 2018’e göre tasarımı yapılarak inşa edileceği varsayılmıştır. Yapı konum olarak deprem riski yüksek olduğu düşünülen Sakarya ilindedir ve zemin sınıfı ZD olarak seçilmiştir. Yapı X ve Y yönlerinde 14’er metre uzunluğa sahiptir ve üçer açıklıktan oluşmaktadır. Yapının zemin katı 4 metre yüksekliğe sahip olmakla birlikte diğer katlar ise 3 metre

yükseklindedir, yapının toplam yüksekliği 25 metredir. Şekil 2’de yapıya ait kat planı ve B aksına ait görünüş verilmiştir.



Şekil 2. ETABS kat planı ve B aksının görünüşü

2.2. Kullanılan deprem kayıtları

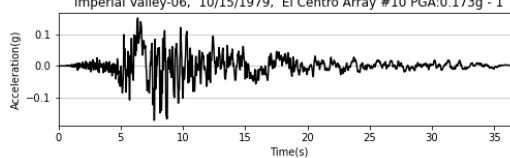
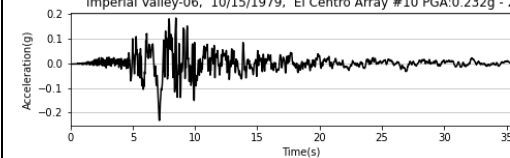
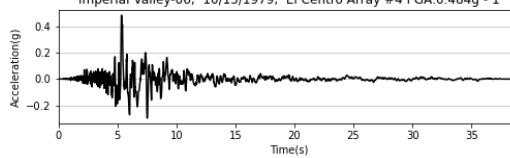
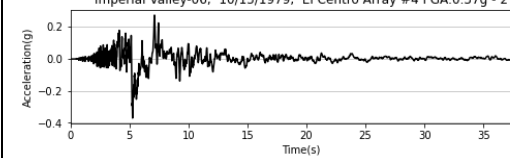
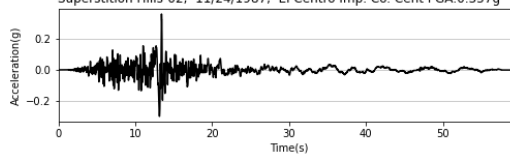
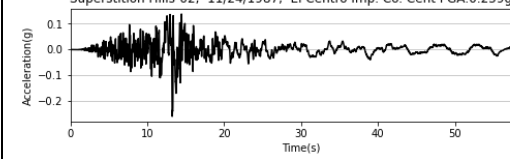
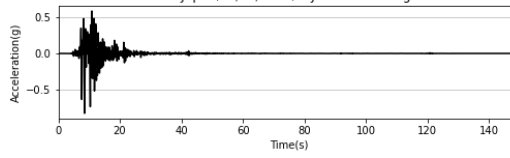
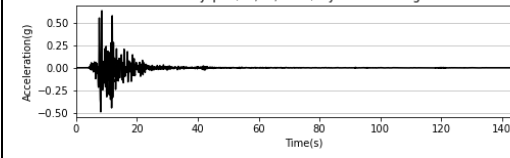
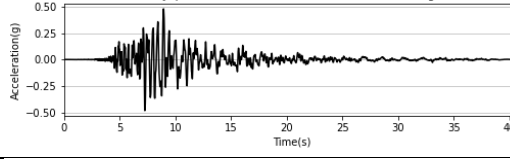
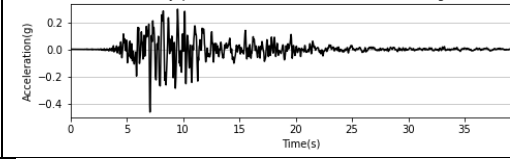
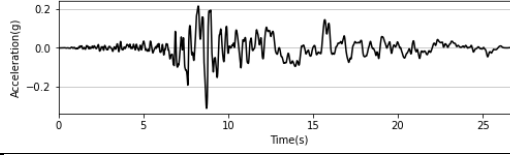
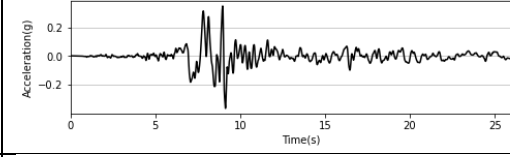
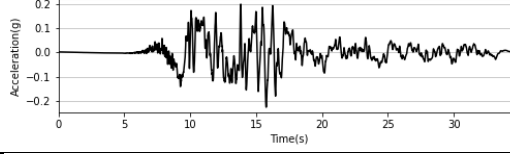
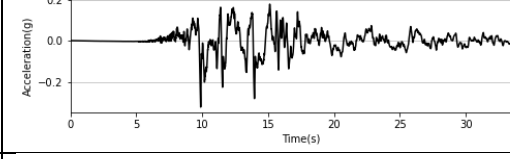
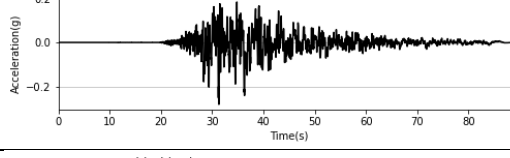
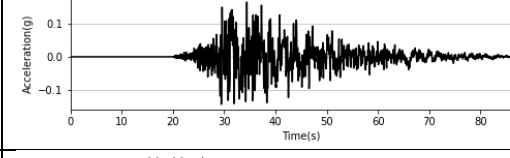
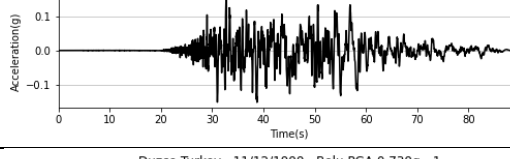
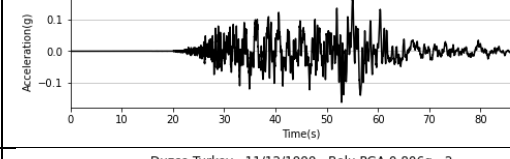
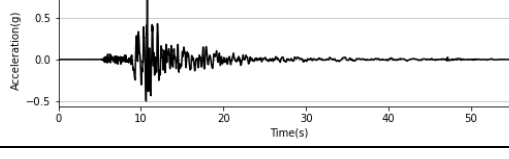
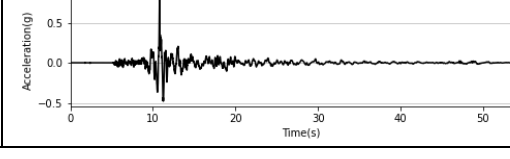
Bu çalışmada PEER yer hareketi veri tabanından elde edilmiş 11 adet deprem hareketi kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları iki bileşenden oluşmak üzere toplamda 22 ivme kaydı analizlerde kullanılmıştır. Yapıların X ve Y yönlerinin eşdeğer olması sebebiyle X ve Y yönlerinde deprem kayıtları eş zamanlı olarak uygulanarak her bir model yapı için 11 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. 5 farklı etkin kesit rijitliği yaklaşımı için toplamda 55 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının maksimum yer ivmesi (peak ground acceleration), RSN (Record Sequence Number) ve hareket süresi bilgileri Tablo 3’te sunulmuştur.

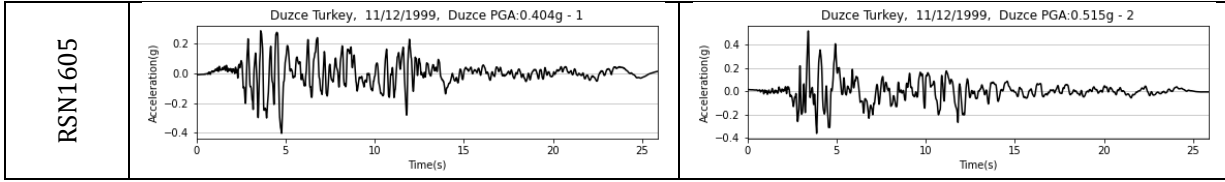
Tablo 3. Kullanılan deprem kayıtlarının bilgileri

Deprem	Yıl	İstasyon	PGA (g)	Süre (s)
El Centro, ABD	1979	RSN173 - El Centro #10	0,232g	37,05
		RSN179 - El Centro #4	0,484g	39,085
Superstition Hills, ABD	1987	RSN721 - El Centro Imp. Co. Cent	0,357g	59,99
Kobe, Japonya	1995	RSN1106 - KJMA	0,834g	149,98
		RSN1111 - Nishi-Akashi	0,483g	40,95
Kocaeli, Türkiye	1999	RSN1158 - Duzce	0,364g	27,18
		RSN1176 - Yarimca	0,322g	34,995
Chi-Chi, Tayvan	1999	RSN1193 - CHY024	0,282g	89,995
		RSN1535 - TCU109	0,162g	89,995
Duzce, Türkiye	1999	RSN1602 - Bolu	0,806g	55,89
		RSN1605 - Duzce	0,515g	25,88

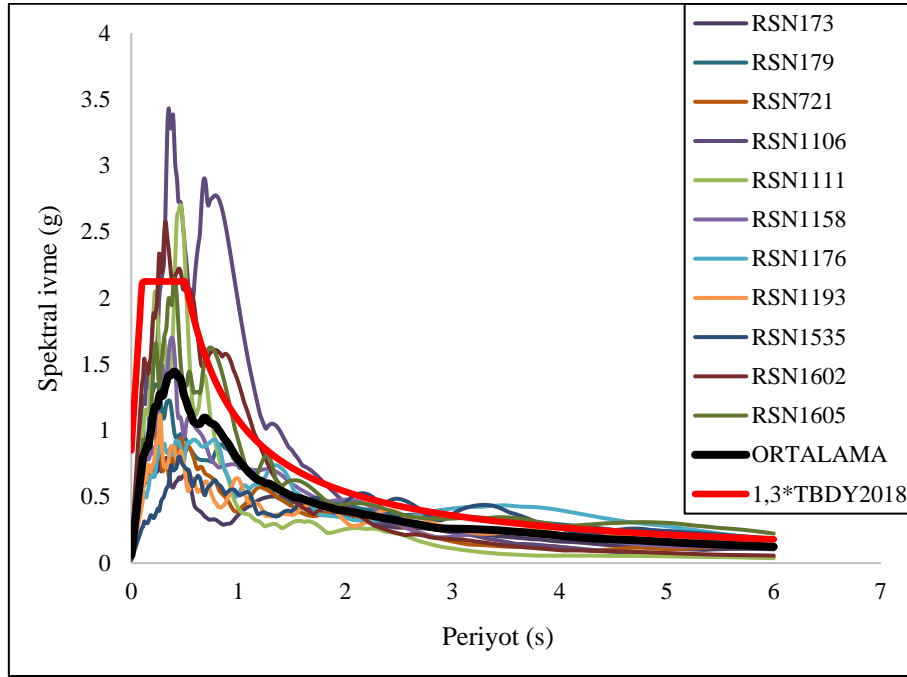
Çalışmada kullanılan ve Tablo 3’te verilen deprem kayıtlarına ait ivme – zaman grafikleri ile pik ivme değerleri ile Tablo 4’te verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve AFAD tarafından sunulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanımıyla Deprem Yer Hareketi Düzeyi – 2 (DD-2) seviyesine göre yatay elastik ivme tasarım spektrumu elde edilmiştir [19]. Tablo 4’te verilen ivme kayıtlarının her bir bileşeni için davranış spektrumları elde edilmiştir. Her bir deprem hareketinin iki bileşenine ait davranış spektrumları, kareleri toplamının karekökü yöntemi ile bileşke spektruma dönüştürülmüş ve 11 deprem yer hareketi için Şekil 3’te görüldüğü gibi ortalama davranış spektrumu elde edilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan deprem kayıtları

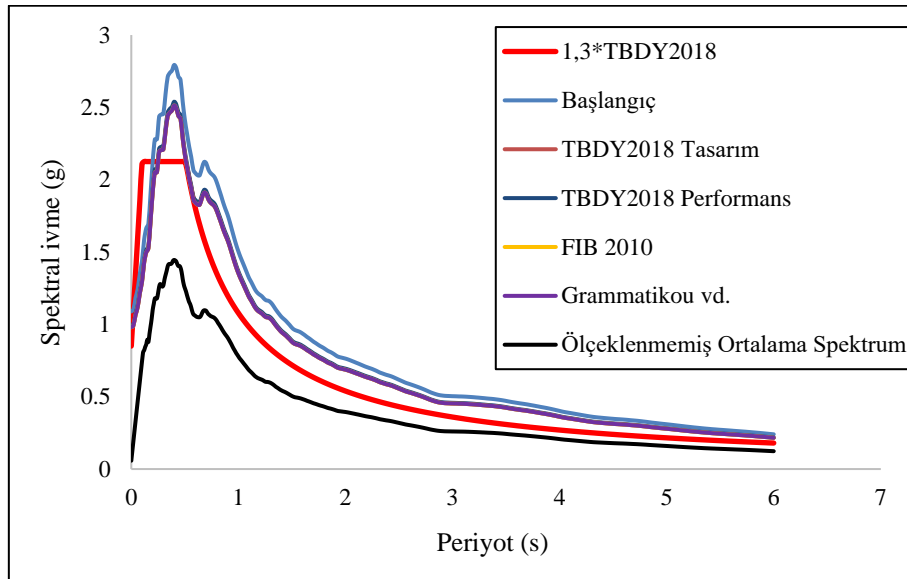
İstasyon	Deprem bileşeni - 1	Deprem bileşeni - 2
RSN173	Imperial Valley-06, 10/15/1979, El Centro Array #10 PGA:0.173g - 1 	Imperial Valley-06, 10/15/1979, El Centro Array #10 PGA:0.232g - 2 
RSN179	Imperial Valley-06, 10/15/1979, El Centro Array #4 PGA:0.484g - 1 	Imperial Valley-06, 10/15/1979, El Centro Array #4 PGA:0.37g - 2 
RSN721	Superstition Hills-02, 11/24/1987, El Centro Imp. Co. Cent PGA:0.357g - 1 	Superstition Hills-02, 11/24/1987, El Centro Imp. Co. Cent PGA:0.259g - 2 
RSN1106	Kobe Japan, 1/16/1995, KJMA PGA:0.834g - 1 	Kobe Japan, 1/16/1995, KJMA PGA:0.63g - 2 
RSN1111	Kobe Japan, 1/16/1995, Nishi-Akashi PGA:0.483g - 1 	Kobe Japan, 1/16/1995, Nishi-Akashi PGA:0.464g - 2 
RSN1158	Kocaeli Turkey, 8/17/1999, Duzce PGA:0.312g - 1 	Kocaeli Turkey, 8/17/1999, Duzce PGA:0.364g - 2 
RSN1176	Kocaeli Turkey, 8/17/1999, Yarimca PGA:0.227g - 1 	Kocaeli Turkey, 8/17/1999, Yarimca PGA:0.322g - 2 
RSN1193	Chi-Chi Taiwan, 9/20/1999, CHY024 PGA:0.282g - 1 	Chi-Chi Taiwan, 9/20/1999, CHY024 PGA:0.165g - 2 
RSN1535	Chi-Chi Taiwan, 9/20/1999, TCU109 PGA:0.151g - 1 	Chi-Chi Taiwan, 9/20/1999, TCU109 PGA:0.162g - 2 
RSN1602	Duzce Turkey, 11/12/1999, Bolu PGA:0.739g - 1 	Duzce Turkey, 11/12/1999, Bolu PGA:0.806g - 2 



Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için basit ölçeklendirme yönteminden faydalanılarak tasarım spektrumunun 1,3 katı hedef spektrum olarak belirlenmiştir. TBDY 2018'de belirtildiği üzere bina hakim periyodunun (T_p) 0,2 ve 1,5 katları periyot aralığında deprem kayıtlarından alınan spektral ivme değerlerinin gözü önüne alınan hedef spektrumdaki (TBDY 2018'e göre tanımlanan tasarım ivme spektrumu) deprem yer hareketlerinin genliklere göre ölçeklendirilecektir. Ölçeklenmiş bileşke spektrumların ortalamasından elde edilen $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki spektral ivme değerlerinin, TBDY 2018'e göre tanımlanan tasarım ivme spektrumundaki genliklerden küçük olmaması koşuluna uygun biçimde Şekil 4'te görüldüğü gibi deprem kayıtları ölçeklendirilmiştir.



Şekil 3. Deprem hareketlerine ait davranış spektrumları ve ortalama spektrum grafikleri



Şekil 4. Ölçeklenmiş spektrum grafikleri

2.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

Doğrusal olmayan analizlerde ilk aşama olarak doğrusal olmayan malzeme tanımlaması yapılmalıdır. Bu çalışmada TBDY’de yer alan doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanılmıştır. Eleman kesitlerinin analizleri için XTRACT [20] kesit analiz programından yararlanılmıştır. XTRACT programında kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri belirlenmiştir. Yapının taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluştuğu için doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsallı) Modeli tercih edilmiştir. Kolon elemanlar için P-M2-M3, kiriş elemanlar için ise M3 plastik mafsalları tanımlanmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için yapının kendi ağırlığı (sabit ve hareketli yükler) basamak fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları bu basamak fonksiyonundan sonra etkiyecek şekilde yapıya etkilmiştir. Deprem kayıtları her iki bileşen aynı anda olacak şekilde X ve Y yönlerinde etkilmiştir. Yapı her iki doğrultuda eşdeğer olduğu için bileşenler arasında 90° dönüşüm yapılmasına gerek görülmemiştir. Toplamda 5x11 olmak üzere 55 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

Bu çalışmada etkin kesit rijitliği parametresinin yapı davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Etkin kesit rijitliği katsayısının farklı şekilde ele alınmasında dinamik parametreler ile birlikte taban kesme kuvveti, tepe deplasmanı ve görel kat ötelemesi gibi yapı davranışını önemli ölçüde temsil eden sonuçlar incelenmiştir.

XTRACT programından elde edilen moment-eğrilik ilişkileri sonucunda incelenen 5 farklı yaklaşım için etkin kesit rijitlikleri Tablo 1’de verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan etkin kesit rijitliği katsayıları Tablo 5’te görülmektedir. Başlangıç modelinde hiçbir azaltma yapılmayıp eleman rijitlikleri başlangıç değerleri olarak kabul edilmiştir. En düşük etkin kesit rijitliği katsayıları ise TBDY 2018 [9] Performans ve Grammatikou vd. [18] yaklaşımlarında görülmektedir.

Tablo 5. Hesaplanan etkin kesit rijitliği katsayıları

Eleman	Başlangıç	TBDY2018 Tasarım	TBDY2018 Performans	FIB 2010	Grammatikou vd.
Kolon 5-8. katlar	1	0.7	0.148	0.298	0.147
Kolon 2-4. katlar	1	0.7	0.174	0.337	0.173
Kolon zemin kat	1	0.7	0.202	0.337	0.199
Kiriş (4m)	1	0.35	0.090	0.177	0.089
Kiriş (6m)	1	0.35	0.112	0.177	0.109

Tablo 5’te verilen etkin kesit rijitliği katsayıları göz önüne alınarak yapılan analizler sonucunda 11 adet deprem yüklemesi durumu için ortalama değerler hesaplanmıştır. Yapılara ait periyot değerleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taban kesme kuvveti ve ortalama tepe deplasman değerleri Tablo 6 ve Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 6. Periyot, taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı sonuçları (X yönü)

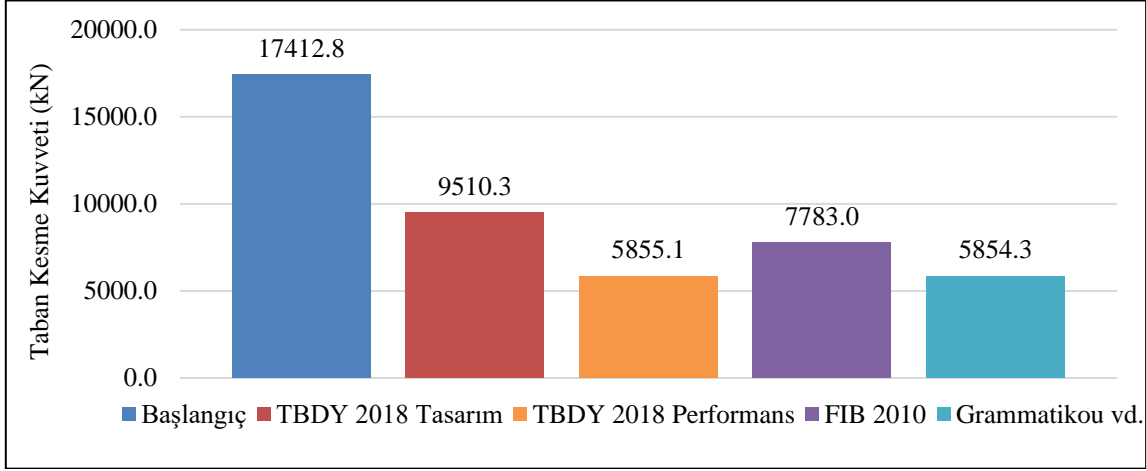
Model	Periyot T (s)	Ortalama taban kesme kuvveti (kN)	Ortalama tepe deplasmanı (m)
Başlangıç	0,861	17412,76	0,299
TBDY 2018 Tasarım	1,226	9510,25	0,315
TBDY 2018 Performans	2,311	5855,08	0,685
FIB 2010	1,715	7783,01	0,472
Grammatikou vd.	2,325	5854,28	0,694

Tablo 7. Periyot, taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı sonuçları (Y yönü)

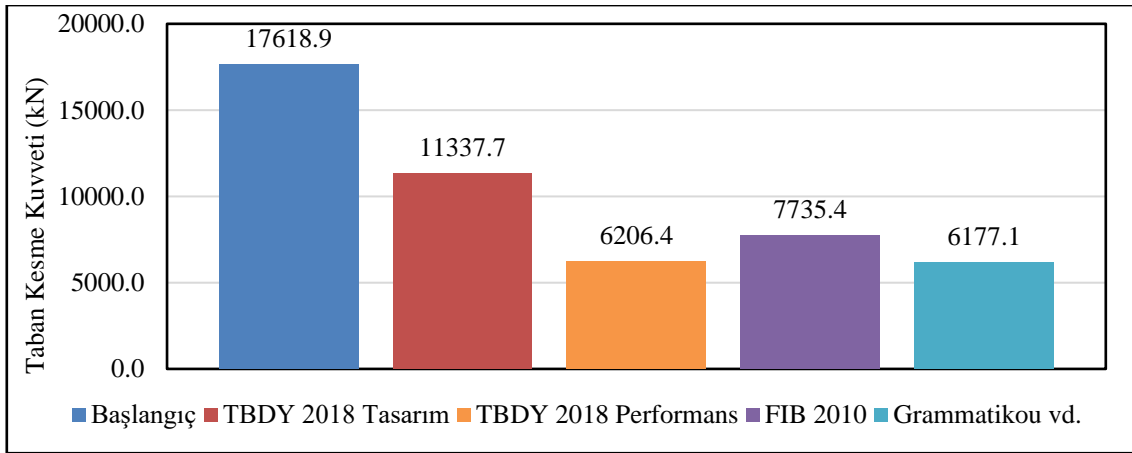
Model	Periyot T (s)	Ortalama taban kesme kuvveti (kN)	Ortalama tepe deplasmanı (m)
Başlangıç	0,861	17618,91	0,302
TBDY 2018 Tasarım	1,226	11337,74	0,380
TBDY 2018 Performans	2,311	6206,44	0,745
FIB 2010	1,715	7735,42	0,528
Grammatikou vd.	2,325	6177,07	0,748

Tablo 6 ve Tablo 7’de verilen sonuçlar incelendiğinde maksimum taban kesme kuvveti Başlangıç modelinde maksimum tepe deplasmanı ise Grammatikou vd. modelinde oluşmuştur. TBDY 2018 Performans modeli ise Grammatikou vd. modeline oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6’da ortalama taban kesme kuvvetlerinin sütun grafik olarak gösterimi verilmiştir. Bu grafikler ile Tablo 6 ve Tablo 7’nin anlaşılması hedeflenmiştir.

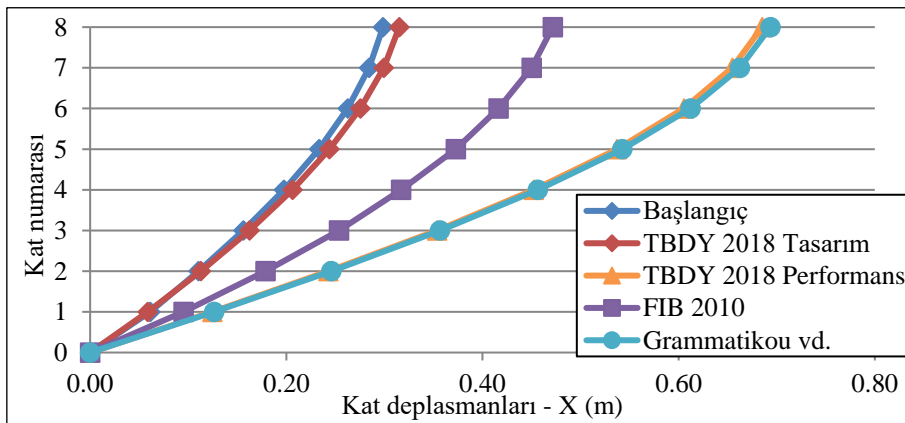


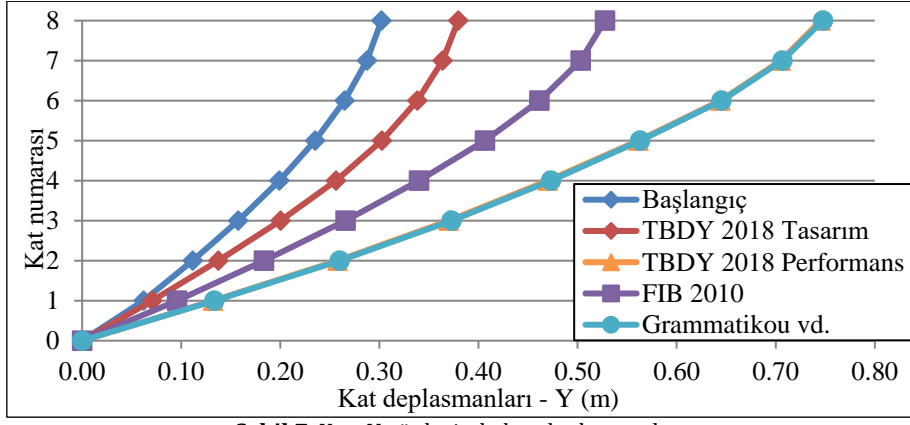
Şekil 5. X yönü için ortalama taban kesme kuvveti değerleri



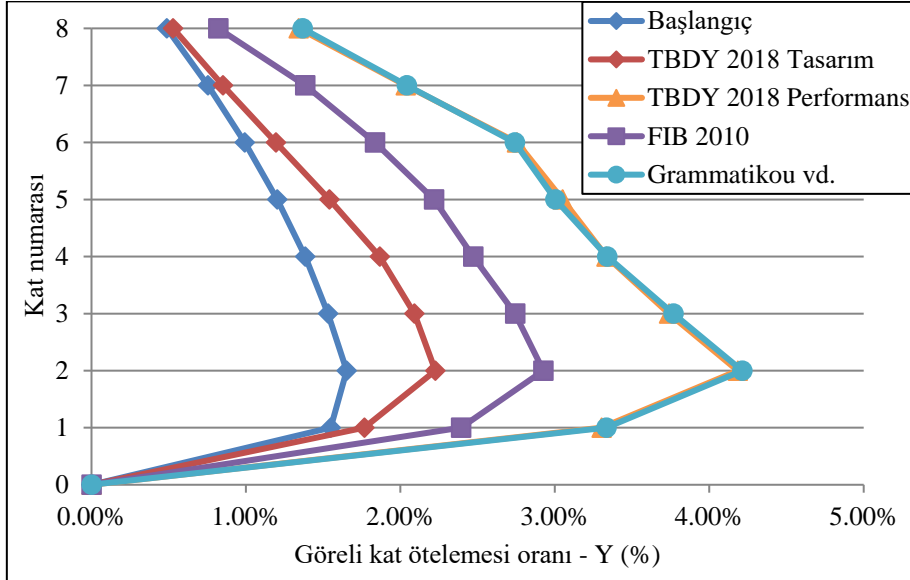
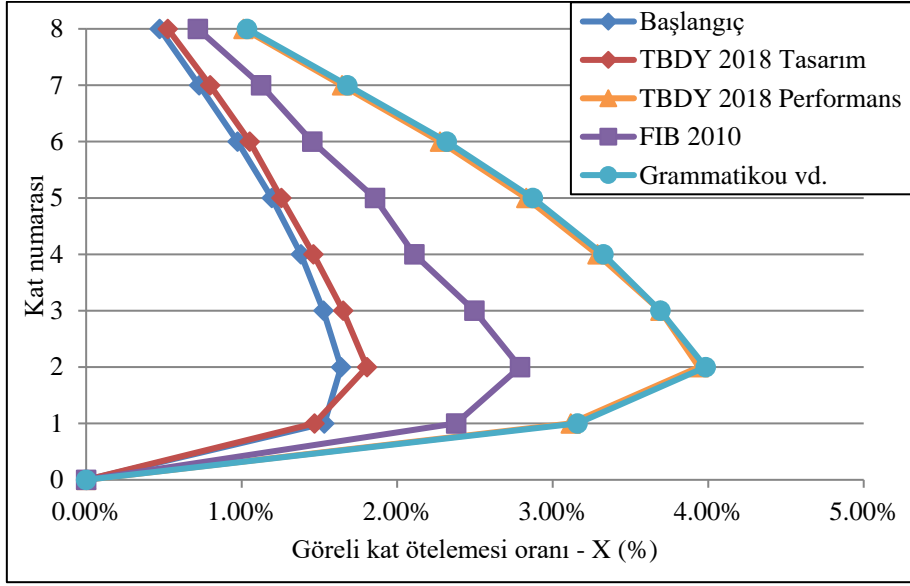
Şekil 6. Y yönü için ortalama taban kesme kuvveti değerleri

Yapı davranışının en önemli parametreleri içerisinde kat yerdeğiştirmeleri ve görel kat ötelemesi değerleri yer almaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8’de analizler sonucunda elde edilen kat yerdeğiştirmeleri ve görel kat ötelemesi oranları görülmektedir.





Şekil 7. X ve Y yönlerinde kat deplasmanları



Şekil 8. X ve Y yönlerinde görece kat ötelemesi oranları

Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde maksimum deplasman ve görece kat ötelemeleri TBDY 2018 Performans ve Grammatikou vd. modelinde elde edilmiştir. Beklenildiği üzere hiçbir kesit rijitliği azaltılmayan Başlangıç modeli en rijit davranışı sergileyerek deprem etkisi altında en düşük deplasmanı yapacak davranışı sergilemiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

8 katlı betonarme taşıyıcı sisteme sahip, konum olarak Sakarya ilinde bulunan yapı modelleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile 11 deprem hareketi etkisinde incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda farklı etkin kesit rijitliği kullanımının yapı davranışını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Bu farklılıkların gerçek yapı davranışını ne derecede yansıttığı konusunda belirsizlik oluşmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin tasarım ve performans yaklaşımlarında kullanılan farklı etkin kesit eğilme rijitliklerinin dikkate alınması durumunda analiz sonuçlarına göre yapı davranışı bakımından önemli farkların oluşabileceği gözlemlenmiştir. Böylelikle tasarımı TBDY 2018'deki DGT ile yapılan birçok yapının mevcut yapı olarak ŞGDT'ye göre performans değerlendirmesi yapıldığında, öngörülenden daha büyük yerdeğiştirmelere maruz kalabileceği, yapıda oluşan iç kuvvet dağılımını değiştirebileceği ve görelî kat ötelemesi sınırlarının aşılabileceği düşünülmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Performans yapı modeli göz önüne alındığında diğer yaklaşımlara göre daha olumsuz sonuçların elde edildiği görülmüştür. Yapıların maliyet ve işçiliği göz önüne alınırsa bu durum ilave kaynak kullanımına sebep olmaktadır. Yapılan bu çalışmada incelenen modellerin simetrik yapıda oldukları ve düzensizlik bakımından bir kusuru bulunmadığından dolayı daha kapsamlı sonuçlar elde etmek için çalışma alanının genişletilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre yapısal performans değerlendirmesinde kullanılan ve TBDY 2018'de belirlenen etkin kesit rijitliğine ait tanımlamaların güncellenmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- [1] Celep, Zekai. 2017. Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme. Dördüncü Baskı. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 234s.
- [2] Binici, B. 2005. An analytical model for stress-strain behavior of confined concrete. *Engineering Structures*, 27(7), 1040-1051.
- [3] Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1804-1826.
- [4] Ersoy, U., & Özcebe, G. 1998. Sarılmış betonarme kesitlerde moment-eğrilik ilişkisi analitik bir irdeleme. *İMO Teknik Dergi*, 9(4), 1799-1827.
- [5] Akkaya, A. 2014. Betonarme kolon davranışının moment eğrilik ilişkisi ile parametrik olarak incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Sakarya.
- [6] KUMBASAR, N. 2015. Betonarme Kesitlerin Eğilme Rijitliği. *İMO Teknik Dergi*, 26(4), 7265-7278.
- [7] Tekinsav, E., Çanak, P., Dok, G., Öztürk, H. 2018. Betonarme Kirişlerin Etkin Eğilme Rijitliği Analizi ve Yönetmeliklerle Karşılaştırması. 2ND International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, 04-06 Mayıs, Sakarya, 765-775.
- [8] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. 2007. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- [9] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 2018. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [10] British Standards Institution. 1996. Eurocode 8 : design provisions for earthquake resistance of structures. British Standards Institution.
- [11] Dok, G., Ozturk, H., Demir, A., Çağlar, N. 2020. Investigation of Effective Bending Rigidity Considering Different Code Approaches. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, 1(1), 35-48.
- [12] Das, S., & Choudhury, S. 2019. Influence of effective stiffness on the performance of RC frame buildings designed using displacement-based method and evaluation of column effective stiffness using ANN. *Engineering Structures*, 197, 109354.
- [13] Çağlar, N., Demir, A., Ozturk, H., & Akkaya, A. 2015. A simple formulation for effective flexural stiffness of circular reinforced concrete columns. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 38, 79-87.
- [14] ETABS v.18.1.1 Extended Three Dimensional Analysis of Building System, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

- [15] Özdemir, Z., & Fahjan, Y. M. 2007. Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul, 435-446.
- [16] Pacific Earthquake Engineering Research Center. 2005. PEER Strong Motion Database on Line. Berkley. <https://peer.berkeley.edu/peer-strong-ground-motion-databases>.
- [17] Federation Internationale du Beton (FIB). 2010. fib Model Code for Concrete Structures 2010. 10.1002/9783433604090.
- [18] Grammatikou, S., Biskinis, D., & Fardis, M. N. 2018. Effect of load cycling, FRP jackets, and lap-splicing of longitudinal bars on the effective stiffness and ultimate deformation of flexure-controlled RC members. Journal of Structural Engineering, 144(6), 04018056.
- [19] AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- [20] XTRACT v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.