

Betonarme Binaların Mevcut Deprem Performansının Belirlenmesi İçin TBDY-2018' de Önerilen Doğrusal Hesap Yönteminin Uygulanması Üzerine Bir İrdeleme

Tansu GÖKÇE*¹, Varol KARAYEL², Furkan ÇALIM³, Şahabeddin RİFAİ³, Fatih ŞAHİN³, Ercan YÜKSEL³

¹ Bristol Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, BS8 1TR, Bristol, Birleşik Krallık

² IF Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. İstanbul

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34467, İstanbul

(Alınış / Received: 29.07.2022, Kabul / Accepted: 06.03.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Performans değerlendirme,
Doğrusal hesap yöntemi,
Doğrusal olmayan hesap
yöntemi,
Deprem güvenliği.

Öz: Betonarme binaların mevcut deprem güvenliklerinin belirlenmesi için 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri tanımlanmıştır. İlgili hesap yöntemleri çok sayıda binada uygulandıktan sonra elde edilen tecrübe üç katlı mevcut bir betonarme bina üzerinde sayısal olarak örneklenerek, doğrusal değerlendirme yönteminin çok mu konservatif olduğu sorusuna cevap aranmıştır. İncelenen betonarme binanın deprem performansı TBDY-2018 de önerilen doğrusal elastik yöntem uygulandığında, binanın 'Kontrollü Hasar (KH)' performans seviyesini sağlayamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık yığılı plastik mafsallı kabulü ile 11 adet deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler ile yayılı şekildeğiştirme durumunu esas alan itme analizleri sonucunda binanın, 'Kontrollü Hasar (KH)' performans seviyesini sağladığı ortak sonucuna ulaşılmıştır. Değerlendirme farkının, TBDY-2018 Bölüm EK 15.A.2'de yer alan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi alt başlığındaki (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarında alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı görüşüne ulaşılmıştır.

A Study on the Application of Linear Calculation Method Recommended in TBDY-2018 to Determine the Existing Earthquake Performance of Reinforced Concrete Buildings

Keywords

Performance evaluation,
Linear static analysis,
Non-linear analysis,
Seismic safety.

Abstract: Linear and nonlinear analysis methods are defined in the 2018 Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) to determine the existing earthquake safety of reinforced concrete (RC) buildings. After applying the relevant calculation methods in many buildings, the experience gained was numerically sampled on an existing three-story RC building, and an answer was sought as to whether the linear analysis method is too conservative. When the seismic performance of the RC building was applied using the linear analysis method suggested in TBDY-2018, it was concluded that the building could not provide the 'Controlled Damage (KH)' performance level. On the other hand, as a result of non-linear time history analyses using 11 earthquake records with the assumption of lumped plastic hinges and pushover analyses based on the spread plasticity, it was concluded that the building provides the 'Controlled Damage (KH)' performance level. It has been concluded that the difference in the evaluation is due to the fact that rotation is taken as "zero (0)" at the lower ends of the lowest story columns in the equation (15A.1) in the sub-title of displaced axis rotation in TBDY-2018 Section Annex 15.A.2.

1. Giriş

Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için TBDY-2018 de doğrusal ve doğrusal

olmayan hesap yöntemleri tanımlanmıştır. Bu yöntemler pratikte çok sayıda bina üzerinde uygulandıktan sonra, doğrusal hesap yönteminin bazı binalarda ürettiği konservatif sonuçlar dikkat

*İlgili yazar: tansu.gokce@bristol.ac.uk

çekmiştir. Bu durumu örneklemek üzere mevcut bir betonarme binanın deprem performansı farklı yöntemler ile elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Örnek olarak seçilen yapı sistemi, İstanbul Çekmeköy de bulunan bir fabrika tesisi içerisindeki ofis binasıdır. Zemin + 2 normal kat olmak üzere toplam 3 katlı olan betonarme binanın mevcut deprem performansı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) [1] çerçevesinde doğrusal hesap yöntemi kullanılarak [2] nolu referanstaki teknik raporda tayin edilmiş ve istenilen “*Kontrollü Hasar -KH (Can Güvenliği-CG)*” performans seviyesini sağlamadığı belirtilmiştir.

Yapı sahibinin isteği doğrultusunda, makalenin ikinci yazarı tarafından binada inceleme yapılmıştır. Üç katlı betonarme binanın taşıyıcı sistem tertibi değerlendirildiğinde, etkiyen yatay yüklerin her iki doğrultuda tertiplenmiş 200×1000 mm perde sayılabilecek boyutlardaki kolonlar, 450×450 mm kolonlar ve merdiven kenarında yer alan ve iki doğrultuda da çalışan 2 adet betonarme perde tarafından taşındığı görülmüştür. Özellikle 200×1000 mm kesitli kolonların büyük çoğunluğunun taşıyıcı sistemin dört dış aksında rijit yönleri ile konumlanmış olması, iki ana doğrultudaki yatay rijitliğe katkılarının yanı sıra burulma kararlılığı bakımından da olumlu bulunmuştur.

Teknik raporda [2] 12.5 MPa olarak tayin edilen beton basınç dayanımı, üç katlı binanın kolonlarında ortaya çıkabilecek aksel basınç gerilmelerinin düşük seviyelerde oluşacağını göstermektedir. Boyuna ve enine donatıların S420 (Nervürlü) kalitesinde olması ve binanın konumlandığı sahaya ait yerel zemin sınıfının ZC olarak tayin edilmesi de diğer olumlu durumlardır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında sargı donatısı sıklaştırması yapılmadığı için süneklik düzeyi yüksek olmamasına karşın; bina kat sayısının az olması, yatay yük taşıyıcı sistemin oluşturulmasında yukarıda belirtilen olumlu özellikler, yerinde tayin edilen malzeme özellikleri ve yerel zemin şartları ile bu makalenin yazarlarının depreme karşı yapı tasarımı konusundaki tecrübe ve bilgi birikimi birlikte değerlendirildiğinde, binanın TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan performans analizinde ‘*Kontrollü Hasar-KH*’ performans seviyesini sağlayamamış olması şüphe ile karşılanmıştır.

Teknik rapor [2] dikkatlice incelendikten sonra TBDY-2018 Bölüm 15.5 ‘Doğrusal Hesap Yöntemi ile Binanın Mevcut Deprem Performansının Belirlenmesi’ başlığı altında tanımlı işlemlerin tam olarak uygulandığı; bina performans düzeyi ile ilgili olarak elde edilen sonuç üzerinde TBDY-2018 (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin “sıfır (0)” alınmasının çok etkin olduğu görüşüne varılmıştır.

Bunun üzerine, örnek bina bu makale kapsamında TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş, ulaşılan sonuçlar birbirleriyle ve teknik rapor [2] ile karşılaştırılmıştır.

TBDY-2018 de yer alan (15A.1) denkleminin taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarına uygulanması durumunda kullanılabilecek bir öneri geliştirilmiştir. Önerinin uygulandığı durumda “doğrusal hesap yöntemiyle” belirlenen bina deprem performans büyüklükleri “doğrusal olmayan hesap yöntemi” sonuçları ile uyumlu hale gelmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Mevcut Bina Taşıyıcı Sistem Özellikleri

2.1.1. Binadan bilgi toplanması

Bina için hazırlanan teknik raporda [2], yerinde ayrıntılı inceleme yapılarak taşıyıcı sistem rölevesinin çıkarıldığı belirtilmiştir. Taşıyıcı sistem rölevesinden ulaşılan tipik kat kalıp planı Şekil 1’de yer almaktadır.

Raporda, binanın her katından üçer adet olmak üzere toplam 9 adet karot alınarak, laboratuvarında test edildiği belirtilmiştir. Yapılan deneylerde karakteristik beton basınç dayanımı $f_{ck}=12.5$ MPa olarak elde edilmiştir. Betonarme elemanlarda yapılan pas payı sıyırması çalışmasında, boyuna ve enine (sargı) donatı cinsinin S420 betonarme çeliği (nervürlü) olarak saptandığı, kolonlardaki boyuna donatı oranının %1.2 seviyelerinde olduğu, etriyelerin ise 8 mm çaplı donatılardan 220-230 mm aralıklar ile tertiplendiği, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sıklaştırma yapılmadığının ortaya çıkarıldığı da raporda belirtilmiştir.

Binanın konumlandığı sahada, işveren tarafından önceki yıllarda hazırlatılan sondaja dayalı zemin raporundaki değerlerden, yerel zemin sınıfının TBDY-2018’deki ZC zemin sınıfına karşı geldiği bilgisi de raporda yer almaktadır.

Bu makale çalışması kapsamında bina üzerinde ilave ayrıntılı bir inceleme yapılmamış, yerinde bazı gözlemler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen performans hesaplarında, teknik raporda [2] yer alan tüm veriler aynen kullanılmıştır. Binada ayrıntılı inceleme yapıldığı için [2], TBDY-2018 Tablo 15.1’de verilen *bilgi düzey katsayısı* 1.0 olarak alınmıştır.

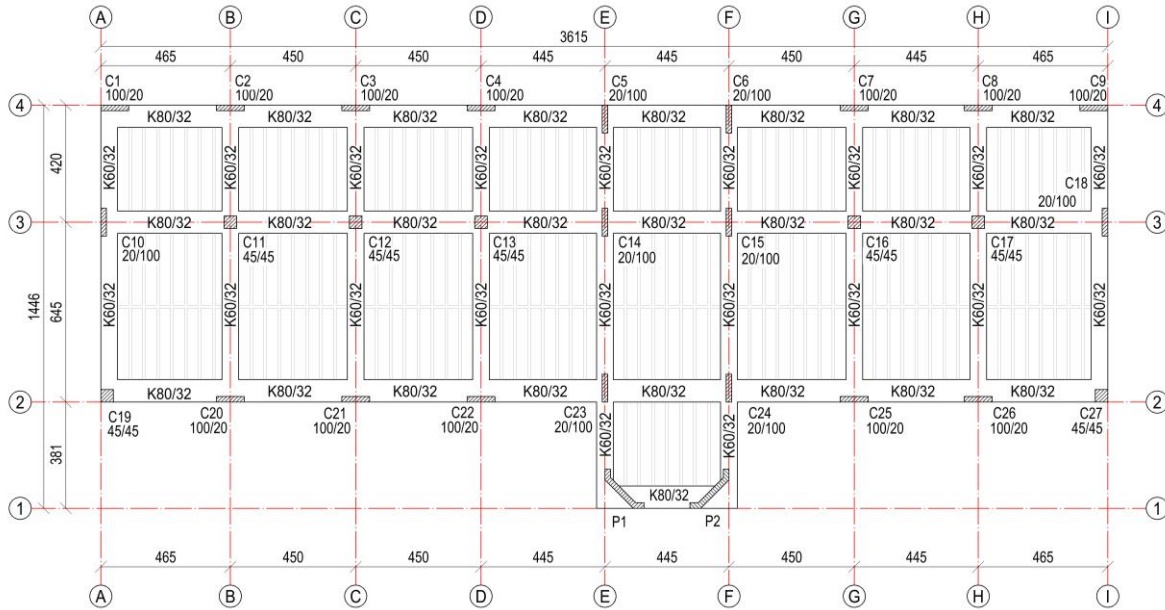
2.1.2. Taşıyıcı sistem özellikleri

Zemin + 2 normal kat olmak üzere toplam 3 katlı binanın tipik kalıp planı Şekil 1’de verilmiştir. Binada 320 mm yükseklikli asmolon döşeme sistemi kullanılmıştır. Yatay yükler, her iki doğrultuda da betonarme çerçeveler tarafından taşınmaktadır. Merdiven bölgesinde yer alan ve taşıyıcı sistemin her

iki doğrultudaki yatay rijitliğine katkı veren 2 adet betonarme perde eleman da mevcuttur, (P1 ve P2 perdeleri).

200×1000 mm kesitli kolonların (perdelerin) büyük çoğunluğunun binanın her iki doğrultusunda dış cephelerde kuvvetli yönleri ile konumlanmış olması, yatay rijitliği artırıcı etkisinin yanında taşıyıcı sistemin burulma kararlılığına olumlu etkisi bakımından da dikkat çekmektedir.

Üç katlı binanın açıklık değerleri, 200×1000 mm ve 450×450 mm kolon kesit boyutları ile $f_{ck}=12.5$ MPa olarak belirlenen beton basınç dayanımı birlikte değerlendirildiğinde, kolonlarda oluşan aksel gerilmelerin $0.20f_{ck}\sim 0.3\times f_{ck}$ gibi düşük seviyelerde kaldığı, bu durumun da kolon süneklikleri bakımından olumlu olduğu söylenebilir. Ayrıntılı inceleme raporunda [2], bodrum katı bulunmayan binanın yüzeysel temel sistemi ile ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır.



Şekil 1. Zemin, 1. ve 2. normal kat tavanı kalıp planı.

2.2. Doğrusal hesap yöntemi ile betonarme binanın deprem performansının belirlenmesinde 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 (DBYBHY - 2007)'de [3] doğrusal elastik hesap yöntemi ile bina deprem performansı tayini, Bölüm 7.5'e göre özetle; önce taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1$ alınarak, üç boyutlu hesap modeli üzerinde gerçekleştirilecek doğrusal analizler (eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi ile) ile elastik iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler elde edilmektedir. Eleman hasar sınırlarını tayin etmek üzere, önceden hesaplanan eleman taşıma kapasiteleri ile analizlerden elde edilen iç kuvvetler kullanılarak, eleman üzerindeki kesme kuvveti ve normal kuvvet seviyelerine de bağlı olarak etki/kapasite oranları (r_s) hesaplanmaktadır. Örnek olmak üzere, DBYBHY-2007 yönetmeliğinde kiriş ve kolonlar için verilen hasar sınırları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [3].

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ

≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Tablo 2. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [3].

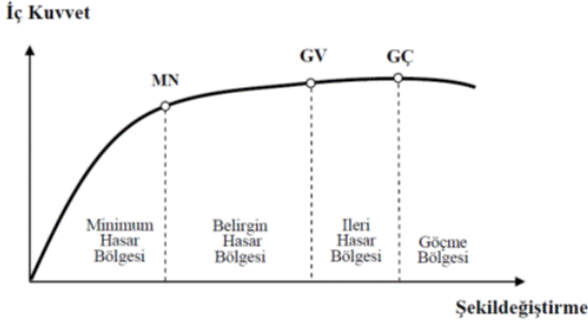
Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{N_k}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Hasar sınırlarını kontrol eden diğer bir büyüklük de kat yerdeğiştirmelerinden elde edilen görelî kat ötelemeleri oranları olup, bu oranlara karşı gelen hasar sınırları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Göreli kat öteleme sınırları [3].

Görelî Kat Ötelenmesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

Son olarak, Bölüm 7.7'de binanın mevcut deprem performansının tayin edilmesine yönelik olarak kat bazında kolon ve kiriş elemanlarını hasar sınır düzeylerine ait yüzde olarak verilen oranlar kullanılarak, binanın mevcut deprem performansı düzeyi ortaya çıkarılmaktadır. İlgili performans düzeyleri Şekil 2' de gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Bina performans düzeyi [3].

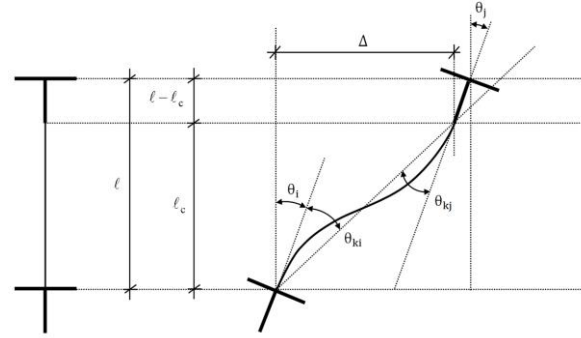
TBDY-2018'de doğrusal elastik hesap yöntemi ile bina deprem performansının tayininde Bölüm 15.5 'e göre özetle; 2008 yönetmeliğine benzer olarak önce taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1$ alınarak, üç boyutlu hesap modeli üzerinde gerçekleştirilecek doğrusal analizler (eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi ile) ile elastik iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve düğüm noktası dönmeleri elde edilmektedir. Eleman hasar sınırlarını tayin etmek üzere 2007 yönetmeliğinde kullanılan iç kuvvet etki/kapasite oranları değil, düğüm noktası dönmeleri kullanılmaktadır. TBDY-2018'in doğrusal elastik yöntemle deprem performansının tayini bölümünde getirilen en önemli değişiklik, düğüm noktaları dönmelerinden plastik dönmelerin elde edilmesi, bu dönmelerin kesit analizleri ile elde edilen kesit plastik dönme kapasitesi ile oranlanarak elde edilen büyüklüklerin plastik dönme sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesit hasar sınırlarının ortaya konmasıdır. İzlenen yol esasen şekildeğiştirmeye göre tasarım prensibine karşı gelmektedir. Kirişler için kesit uç dönme değeri doğrudan toplam kesit dönmesi (θ_{ki}) olarak kabul edilirken, kolonlar için yeni bir tanım olarak yerdeğiştirmiş eksen dönmesi ortaya konmakta ve kolon toplam uç dönmeleri olarak yerdeğiştirmiş eksen dönmesi kullanılmaktadır, Şekil 3. Kolonlar için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi Denklem 1 ile elde edilmektedir.

$$\theta_{ki} = \frac{\Delta}{\ell_c} - \theta_i \quad (1)$$

Kesit toplam dönme değeri, kesitin akma dönmesi ile plastik dönmelerinin toplamı olarak Denklem 2 ile verilmektedir. Kesit akma dönmesi, kesit analizi ile

hesaplanabileceği gibi yönetmeliğin ilgili bölümünde pratik olarak kullanılacak eşitliklere yer verilmektedir. Denklem 2'de kesit akma dönmesi değeri yerine koyulduğunda kesitte oluşacak plastik dönme miktarı (talebi) hesaplanmaktadır.

$$\theta_{ki} = \theta_{yi} + \theta_{pi} \quad (2)$$

**Şekil 3.** Yerdeğiştirmiş eksen ve düğüm noktası dönmeleri ile kat öteleme ilişkisi, [1].

Analizler sonucunda elde edilen kesit plastik dönme talepleri, plastik dönme kapasitesi için Denklem 3 ile verilen sınır değer ile karşılaştırılarak eleman hasar sınırları elde edilmektedir. Kontrollü Hasar (KH) için Denklem 3 ile elde edilen değer 0.75 katının aşılması gerekmektedir, Denklem 4. Sınırlı Hasar (SH) için kesitte plastik dönme talebinin oluşmaması istenmektedir, Denklem 5.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (4)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (5)$$

Beton ve çelik şekildeğiştirmelerine (ε_c ; ε_s) ait sınır değerler Denklem 6, 7 ve 8 'de verilmektedir.

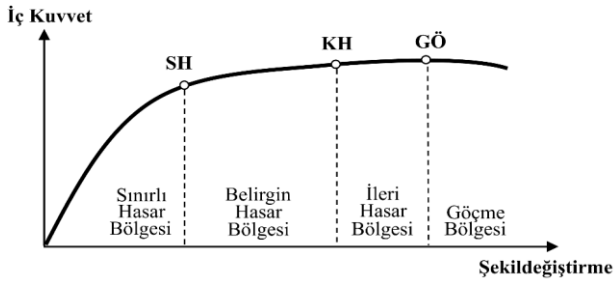
$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad ; \quad (6)$$

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4 \varepsilon_{su}$$

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (7)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (8)$$

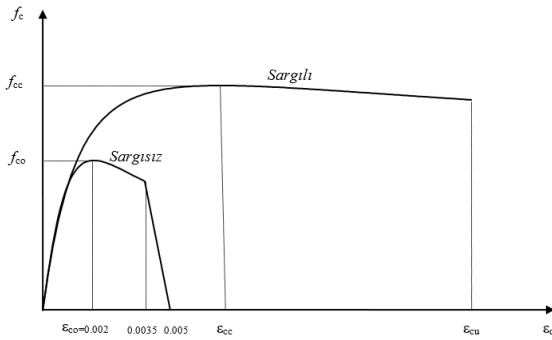
Bölüm 15.8' de, kat bazında kolon ve kiriş elemanların hasar sınır düzeylerine ait yüzde olarak verilen oranlar kullanılarak, binanın mevcut deprem performans düzeyi ortaya konmaktadır. İlgili performans düzeyleri Şekil 4' de tanımlandığı gibi sıralanmaktadır.



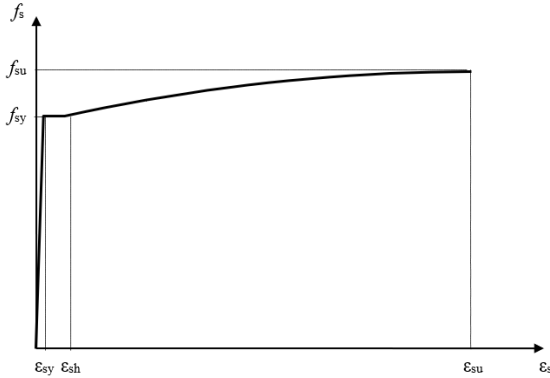
Şekil 4. Bina performans düzeyi [1].

2.3. Şekil değiştirme esaslı doğrusal ve doğrusal olmayan analizlere esas olan ortak malzeme modelleri

Şekil değiştirme esaslı doğrusal ve doğrusal olmayan analizlere esas olacak beton ve çelik modelleri sırasıyla, Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmektedir.



Şekil 5. Sargılı ve sargısız beton modelleri [1].



Şekil 6. Betonarme çelik modeli [1].

İncelenen sistemde, Tablo 4'ün ikinci satırında yer alan S420 kalitesindeki çelik bilgileri kullanılmıştır.

Tablo 4. Donatı çeliklerine ait bilgi [1].

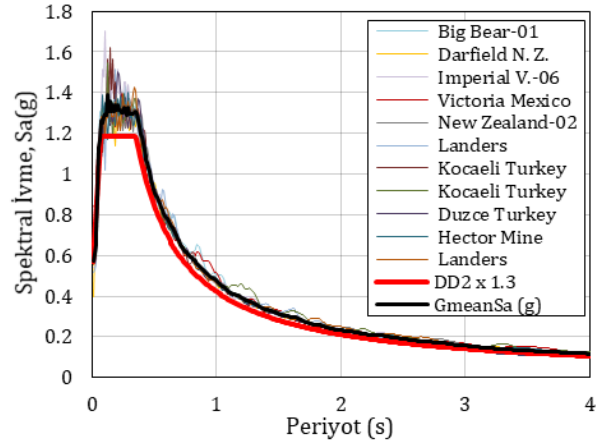
Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 - 1.35

2.4. Gerçekleştirilen analizler

Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri üç farklı yazılım ile yapılmıştır. Bunlardan ilki, akademik amaçlı hazırlanmış olup geliştirme süreci devam eden ve doğrusal yaklaşımla tamamen yönetmelik koşullarına göre analiz ve değerlendirme yapabilen STATERA [4] isimli yazılımdır. İkincisi, "kesin çözüm" olarak kabul edilen ve detaylı üç boyutlu modelleme ile doğrusal olmayan analizin yapıldığı ETABS yazılımıdır [5]. Üçüncü yazılım ise düzlem sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini yapabilen DC2B yazılımıdır [6].

2.4.1. Deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılan deprem yer hareketlerinin seçimi, TBDY-2018 uyarınca, mevcut yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, zemin sınıfı, faylanma mekanizmaları ve fay sistemlerine olan mesafeleri dikkate alınarak yapılmıştır. Seçilen 11 adet deprem ivme kaydının her iki yatay bileşeni hedef spektrumun 1.3 katı ile spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının bileşke spektrumları, bileşke spektrumların geometrik ortalamaları

2.4.2. Kesit Analizleri

Kolonlarda aksel kuvvetin moment ve eğrilığe olan etkisini dikkate almak için, aksel kuvvetler G+nQ yük birleşiminden elde edilmiştir. İlgili moment-eğrilik değerleri SAP2000 yazılımı [7] Section Designer Modülü kullanılarak elde edilmiştir. Beton için Mander vd. [8] makalesi esaslarını içeren ve TBDY-2018 Ek 5A'da tanımlanan (Şekil 5) sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. "Göçmenin Önlenmesi" performans düzeyi için beton birim kılcalmasının hesabında TBDY-2018'da verilen Denk. (5.4) uygulanmıştır. 200×1000 mm kesitli kolonlarda, mevcut zayıf sargının beton davranış modeline etkisi olmadığı görülmüştür.

Tipik kesitlere ait hasar sınırları, TBDY-2018’de farklı performans düzeyleri için tanımlanan denklemler (Denklem 3, 4, 5) kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4.3. Yapının üç boyutlu doğrusal analizi

Örnek binanın performans hesabına ait ayrıntılı bilgi [2] de yer almaktadır. Bu makalede STATERA [4] yazılımı ile benzer performans sonuçları elde edilmiştir.

STATERA, betonarme üç boyutlu çerçeve türü sistemlerin TBDY-2018’de tanımlanan doğrusal hesap yöntemi kullanılarak deprem performanslarını belirlemek üzere oluşturulmuş bir yazılımdır. Betonarme taşıyıcı sistemin tüm bileşenleri “çubuk elemanlar” ile idealleştirilmiştir. Etkin rijitlik hesabında kullanılan çarpanlar kolonlarda 0.60, kirişlerde 0.35 olarak seçilmiştir. Kat döşemeleri için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Mod birleştirme yöntemi ile kat hizalarına etkileyen deprem yükleri hesaplanmış ve kat kütle merkezlerine etkilmiştir. Deprem yükleri Tablo 5’te verilmiştir.

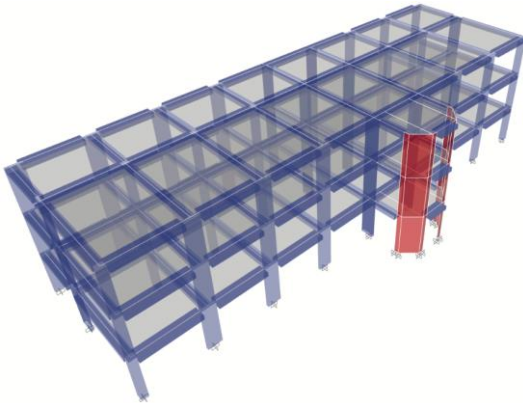
Tablo 5. Katlara etkileyen deprem yükleri.

Kat	Kat Kütlesi (ton)	Kat Kuvvetleri [kN]	
		X doğrultusu	Y doğrultusu
2. Normal	507.60	3725.22	2912.629
1. Normal	534.35	2122.09	1390.515
Zemin	534.76	1152.52	968.358
V_t		6999.83	5271.5

Çubuk uçlarına plastik mafsallar atanmış ve plastik dönme sınırları tanımlanmıştır. Elemanların akma dönmeleri $\theta_y = \Phi_y \times L_s / 3$ bağıntısı ile hesaplanırken kesme açıklığı $L_s = L/2$ olarak alınmıştır.

2.4.4. Yapının üç boyutlu doğrusal olmayan analizi

Yapının doğrusal olmayan üç boyutlu hesap modeli ETABS yazılımı [5] kullanılarak yapılmıştır, Şekil 8.



Şekil 8. Yapının üç boyutlu ETABS modeli.

Çubukların doğrusal olmayan davranışı yığılı plastisite ile temsil edilmiştir. Çubuk elemanların uçlarında plastik mafsallık bölgeleri tanımlanmış, bunların arasında kalan bölge ise doğrusal olarak modellenmiş ve etkin kesit rijitlikleri Denklem 9a’ya göre belirlenmiştir. Hesaplarda kullanılan M_y akma momenti ve ϕ_y akma eğriliği, dikdörtgen kesitli kolonların 0° ve 90° doğrultuları için (G+nQ) yük durumunda oluşan aksel yük değerleri esas alınarak hesaplanmıştır. Plastik mafsallık akma dönmesi, θ_y , Denklem 9b’ye göre belirlenmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (9a)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (9b)$$

Betonarme perdeleri temsil eden kabuk sonlu elemanlar üzerinde tüm moment ve kuvvetler dikkate alınırken, döşemeleri temsil eden membran sonlu elemanlar üzerinde sadece düzlemine dik momentler ve düzlemi içindeki kuvvetler kullanılmıştır. Perde ve döşeme elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları TBDY-2018 Tablo 4.2 doğrultusunda tanımlanmıştır, Tablo 6.

Tablo 6. Betonarme taşıyıcı sistem etkin kesit rijitliği çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde - Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde - Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00

Zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılan "Direct Integration" çözüm yönteminde sönüm oranı %5 olarak kabul edilmiş ve tanımlanmasında kütle ve rijitlik orantılı "Rayleigh Damping" kullanılmıştır.

2.4.5. Yapının iki boyutlu doğrusal olmayan analizi

DC2B [6], düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan analizini yayılı şekildeğiştirme yaklaşımını esas alarak yapan bir yazılımdır. İncelenen üç boyutlu sistemin kısa ve uzun doğrultularında yer alan "A aksı" ve "4 aksı" çerçevelerinin doğrusal olmayan analizi DC2B yazılımı ile yapılmıştır. Analizlerin üç boyutlu yapı davranışını yeterince temsil edebilmesi için, düzlem çerçevelere aktarılan yük ve kütle hesapları dikkatlice yapılmıştır.

Doğrusal olmayan analizde, her çubuk sanal 100 dilime bölünmüştür. Dilimlerin doğrusal olmayan

davranışı, kesit analizleri ile elde edilen moment-eğrilik ilişkileri üzerinden tanımlanmaktadır.

Üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla doğru karşılaştırma yapabilmek üzere, deprem kayıtlarının her biri için “kat kesme kuvveti / taban kesme kuvveti oranları” hesaplanmış ve 11 deprem kaydı için belirlenen büyüklüklerin ortalaması alınmıştır. Bu ortalama büyüklükler, DC2B yazılımı ile yapılan itme analizinde “kat yatay kuvvet oranları” olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde, 11 deprem kaydı için üç boyutlu hesap modeli kullanılarak elde edilen tepe yerdeğiştirme istemlerinin ortalaması alınmış; “A aksı” ve “4 aksı” çerçeveleri için yapılan doğrusal olmayan analizlerde kullanılan “hedef yerdeğiştirmeler” elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Analizler sonuçlarının karşılaştırılması

3.1.1. Serbest titreşim analizi sonuçları

Etkin kesit rijitliği çarpanlarının kullanıldığı doğrusal hesap modeli ile yapılan serbest titreşim analizinde elde edilen ilk beş titreşim moduna ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 7’de verilmiştir. Sistemin doğrusal olmayan analiz modelinde elde edilen ilk beş moduna ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 8’de, mod şekilleri de Tablo 9’da gösterilmiştir. Burulmanın etkin mod olduğu görülmektedir.

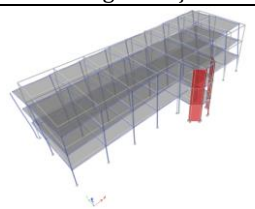
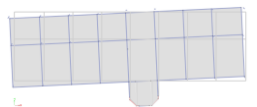
Tablo 7. Doğrusal analizlerde elde edilen modal özellikler.

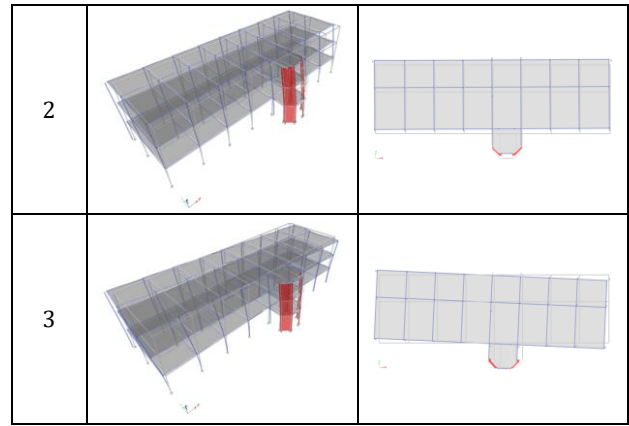
Mod	Periyot T (s)	Kütle Katılım Oranı		
		U _x	U _y	R _z
1	0.817	0.0324	0.4860	0.2608
2	0.753	0.1078	0.2756	0.3952
3	0.648	0.6384	0.0036	0.1271
4	0.204	0.0226	0.0207	0.1167
5	0.170	0.0119	0.1588	0.0110

Tablo 8. Doğrusal olmayan analizlerde elde edilen modal özellikler.

Mod	Periyot T (s)	Kütle Katılım Oranı		
		U _x	U _y	R _z
1	1.676	0.3327	0.0341	0.4420
2	1.133	0.0373	0.7076	0.0057
3	0.817	0.4100	0.0082	0.3430
4	0.456	0.0565	0.0062	0.0811
5	0.263	0.0368	0.1512	0.0051

Tablo 9. Yapının ilk üç mod şekli.

Mod	Mod Şekli	
	3D görünüş	Plan görüntüsü
1		



3.1.2. Göreli kat ötelemesi kontrolleri

İki ana doğrultuda göreli kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi (Δ_i) ve göreli kat ötelemesi oranı (Δ_i/h_i) Denklem 10’a göre hesaplanmıştır. Üç farklı yazılım ile gerçekleştirilen analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması yatay yük dağılımı için elde edilen Δ_i/h_i oranları Tablo 10’da verilmiştir.

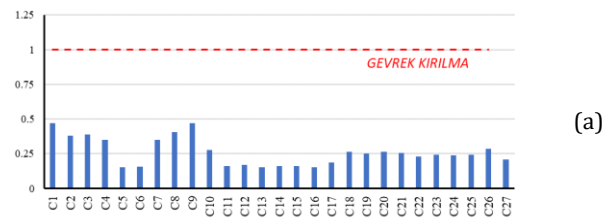
$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (10)$$

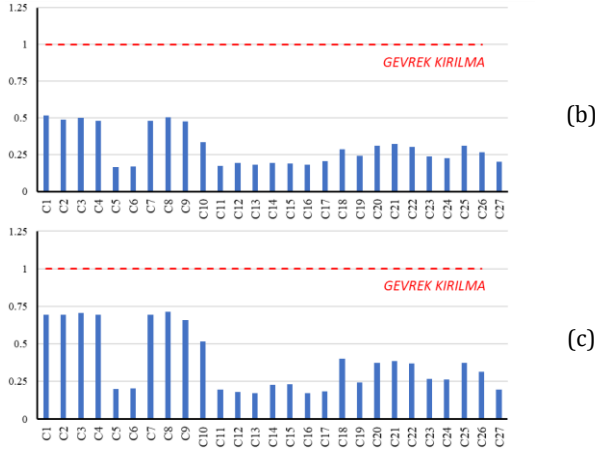
Tablo 10. Göreli kat ötelemesi oranları (Δ_i/h_i).

Kat	STATERA		ETABS		DC2B	
	X	Y	X	Y	X	Y
3	0.0097	0.0111	0.0115	0.0160	0.0125	0.0154
2	0.0100	0.0105	0.0125	0.0154	0.0119	0.0145
1	0.0053	0.0053	0.0074	0.0079	0.0067	0.0085

3.1.3. Kolon kesme güvenliği kontrolleri

11 deprem kaydı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda taşıyıcı sistemin kolonlarına etkiyen en büyük kesme kuvvetleri, ilgili kolon kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı sistemin kolonlarında her deprem kaydı için ortaya çıkan en büyük kesme kuvvetlerinin ortalaması; beton basınç dayanımı 12.5 MPa, donatı akma dayanımı 420 MPa, enine donatı $\phi 8/220$ mm alınarak hesaplanan kolon kesme kapasitesine oranlanarak Şekil 9 da verilen çubuk diyagram elde edilmiştir. Buna göre binadaki tüm kolonların kesme güvenliği kontrollerini sağladığı gözlenmiştir.





Şekil 9. Kolon kesme güvenliği kontrolü: (a) 2. normal kat, (b) 1. normal kat, (c) Zemin kat

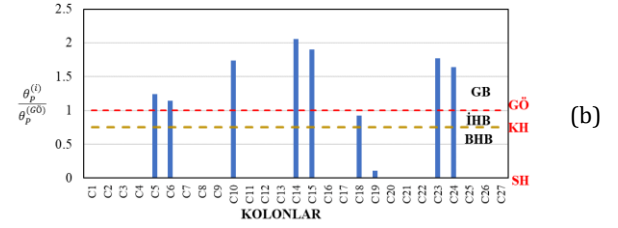
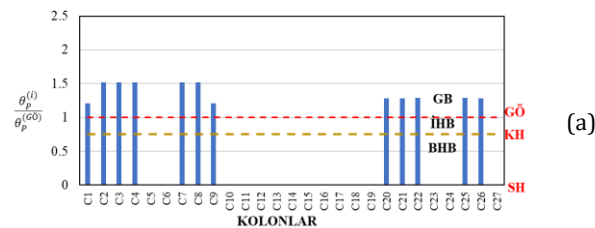
3.1.4. Kolon hasar dağılımları

Çalışmanın amacının; TBDY-2018 Bölüm 15.5 de verilen doğrusal hesap yöntemleri ile deprem hesabında, zemin kat kolonlarındaki hasar durumunun belirlenmesinde alt uçlarında dönmelerin 'sıfır (0)' alınması yaklaşımının irdelenmesi olduğu için, hasar dağılımları değerlendirmesinde kirişler kapsam dışı bırakılmış sadece kolonlara yönelik değerlendirme yapılmıştır.

3.1.4.1. Üç boyutlu doğrusal analiz

Performans analizinde deprem etkisi ile düşey yüklerin birlikte dikkate alınabilmesi için iki birleşik yük durumu tanımlanmıştır. Bunlar G+0,3Q+EX ve G+0,3Q+EY dir. Her yük birleşimi için, kolonun iki eğilme ekseninde uçlarında oluşan yatay ötelenmeler (Δ_x ve Δ_y), yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri (θ_{ki} ve θ_{kj}), plastik dönmeler (θ_{pi} ve θ_{pj}) ve GÖ performans düzeyi için plastik dönme ($\theta_{p(GÖ-CP)}$) değerleri hesaplanmıştır. Her katta kolonların hasar düzeyleri (en büyük plastik dönme talebinin plastik dönme sınırına oranı) çubuk diyagram şeklinde elde edilmiştir. Şekil 10'da iki farklı yük birleşimi için zemin kat kolonlarında oluşan hasar düzeyleri gösterilmektedir.

STATERA yazılımı ile yönetmelik koşullarına göre yapılan doğrusal analiz ve değerlendirme sonucunda; yapının zemin katında çok sayıda kolonda plastik dönme sınırlarının aşılması göçme bölgesine geçildiği görülmüştür.



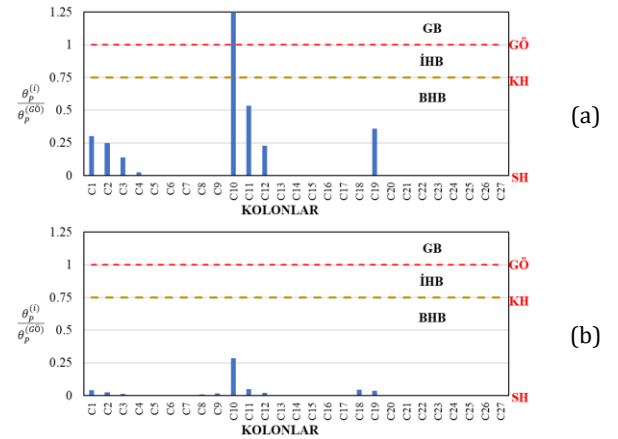
Şekil 10. STATERA - Zemin kat kolonlarının hasar dağılımı: (a) G+0,3Q+EX yük birleşimi, (b) G+0,3Q+EY yük birleşimi.

3.1.4.2. Üç boyutlu doğrusal olmayan analiz

ETABS yazılımı kullanılarak 11 deprem kaydı için zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde elde edilen plastik mafsal dönmeleri, hasar sınırları ile karşılaştırılmıştır.

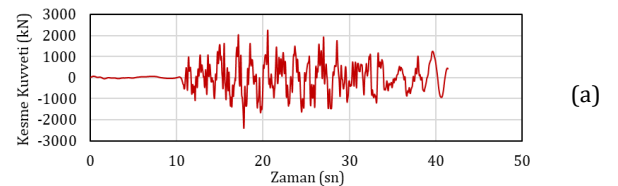
Doğrusal analiz sonuçlarından farklı olarak; 11 adet deprem kaydından sadece biri için zemin kattaki C10 kolonunda (3-A aksları) *Göçmenin Önlenmesi* (GÖ) hasar sınırının aşıldığı belirlenmiştir, Şekil 11a.

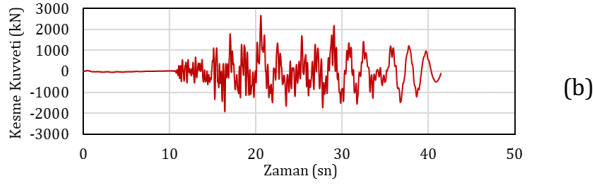
Onbir adet deprem kaydı sonuçlarının ortalamasına göre yapılan değerlendirmede, 9 adet kolonun inelastik bölgeye geçtiği ve *Sınırlı Hasar* (SH) bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir, Şekil 11b.



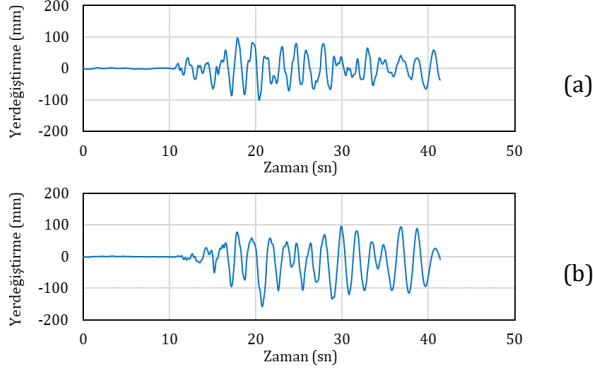
Şekil 11. ETABS - Zemin kat kolonlarının hasar dağılımı: (a) En büyük deprem, (b) 11 deprem kaydının ortalaması.

Kolonlar üzerinde en büyük hasara sebep olan 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde meydana gelen taban kesme kuvveti zaman serisi Şekil 12'de, en üst kat kütle merkezinin yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi de Şekil 13'te iki ana doğrultu için verilmiştir.





Şekil 12. 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde oluşan taban kesme kuvvetleri zaman serisi: (a) X doğrultusu, (b) Y doğrultusu.



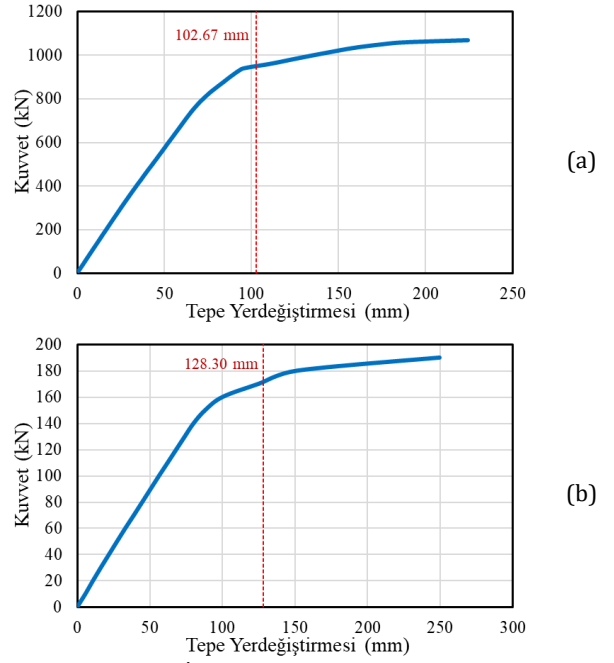
Şekil 13. 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde oluşan tepe yer değıştirmesi zaman serisi: (a) X doğrultusu, (b) Y doğrultusu.

3.1.4.3. İki boyutlu doğrusal olmayan analiz

ETABS yazılımıyla gerçekleştirilen analizlerde 11 adet deprem kaydı için elde edilen kat kesme kuvvetleri oranlarının ortalaması, yatay yük dağıtım oranı olarak kullanılarak DC2B yazılımı ile itme analizleri yapılmıştır. Binanın iki ana doğrultusunda elde edilen *taban kesme kuvveti - tepe yatay yer değıştirmesi* ilişkileri Şekil 14 de verilmiştir.

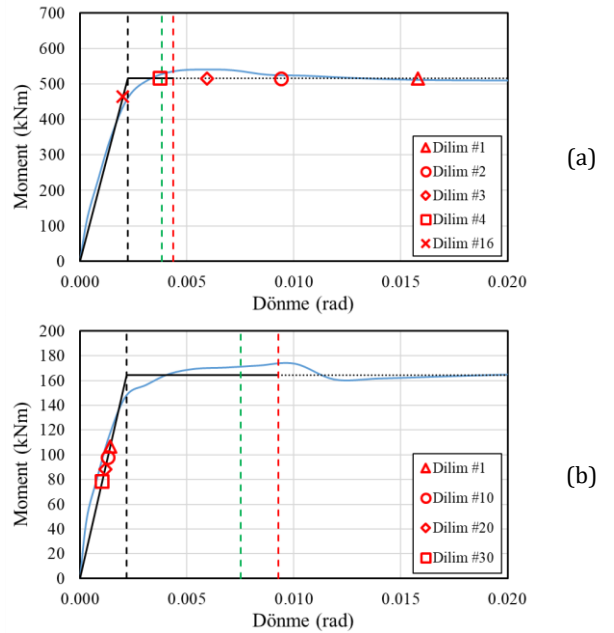
Onbir adet depremin ortalama tepe yer değıştirmesi istemine karşı gelen yer değıştirme düzeyinde (Şekil 14'te kırmızı çizgi ile gösterilmiştir) çubuk uç kuvvetleri ve eğrilik değeri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçların diğer yazılımların sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için, plastik mafsal boyu olarak $L_p=d/2$ yaklaşımı kullanılarak, DC2B tarafından hesaplanan eğrilik değeri üzerinden dönme değeri geçilmiştir.

Şekil 14 de iki ana doğrultu için işaret edilen ortalama yer değıştirme düzeyinde, sistemin çubuk elemanları üzerinde tanımlı 100'er adet sanal dilimde ortaya çıkan eğriliklerden dönmelere geçilmiş ve sınır durumlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 14. DC2B - İtme analizi sonuçları: (a) Aks 4, uzun doğrultu, (b) Aks A, kısa doğrultu.

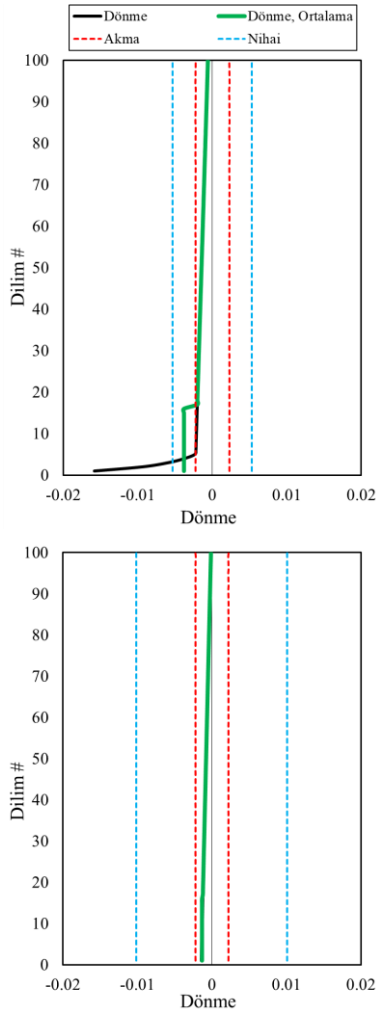
Kısa doğrultu için yapılan analizde, güçlü ekseninde çalışan 200×1000 mm kesitli C10 kolonunda en büyük hasar gözlenmiştir. C10 kolonunda, G+nQ yük birleşiminden elde edilen sabit aksenal yük (474 kN) değeri kullanılarak hesaplanan moment-dönme ilişkisi Şekil 15(a)'da mavi renkle verilmiştir. Moment-dönme ilişkisinin ideal elastoplastik yaklaşım ile idealleştirilmesi durumu da siyah renkle gösterilmiştir. Dönme sınır durumları (SH, KH, GÖ) da aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Her çubuğun 100 sanal dilime bölündüğü modelde, zemin kat kolonlarında her dilimin kalınlığı 33 mm olmaktadır.



Şekil 15. Moment-dönme ilişkileri: (a) 200×1000 mm kesitli C10 kolonu, (b) 450×450 mm kesitli C19 kolonu.

Şekil 15a'da kolon yüksekliği boyunca akma sınırını aşan dört dilim ile elastik bölgede kalan bir dilimin numaraları verilmiştir. C10 kolonu alt ucunda, 99 mm'lik yüksekliğe karşı gelen ilk üç dilimde hesaplanan dönme değerleri *GÖ sınır koşulunu* aşarken, dördüncü dilimdeki dönme değeri *KH bölgesinde* kalmıştır. Diğer dilimlerde *SH sınır koşulu* aşılmamıştır.

Bir karşılaştırma yapılabilme üzere, 450×450 mm kesitli C19 kolonu için G+nQ yük birleşiminden elde edilen sabit eksenel yük (318 kN) kullanılarak hesaplanan moment-dönme grafiği ile ideal elastoplastik yaklaşımla idealleştirilmiş biçimi Şekil 15(b)'de verilmiştir. C19 kolonunun her bir diliminde hesaplanan ortalama dönme değeri doğrusal elastik bölgede kalmış, kalıcı hasar oluşmamıştır. Bu sonuç, üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla uyumludur.



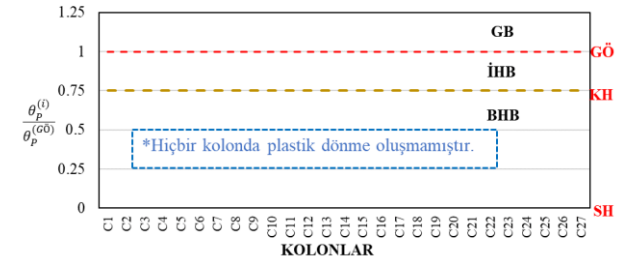
Şekil 16. DC2B analizi sonucunda elde edilen Zemin kat kolonları hasar dağılımı: (a) 200×1000 mm kesitli C10 kolonu, (b) 450×450 mm kesitli C19 kolonu.

DC2B ile yapılan analizde, C10 kolonunda plastik mafsalsal uzunluğuna ($d/2=500$ mm) isabet eden sanal dilimlerdeki dönme değerlerinin ortalaması nihai dönme değerini aşmamaktadır. Diğer kolon ve kiriş elemanlarda nihai dönmenin aşılmadığı, sadece birkaç

kolonda akma dönmesi değerinin sınırlı miktarda aşıldığı gözlenmiştir, Şekil 16.

Onbir adet deprem kaydı yerdeğiştirme istemleri ortalaması için DC2B ile yapılan değerlendirmede; hiçbir kolonda göçme durumuna geçilmemesi, en büyük hasarın C10 kolonunda oluşması ve inelastik bölgeye geçen az sayıdaki kolonda sınırlı hasar meydana gelmesi, ETABS yazılımı ile yapılan üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçları ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler (ETABS, DC2B, STATERA) sonucunda tüm kat kirişlerinde ve 1. ve 2. Normal Kat kolonlarında herhangi bir kalıcı hasar oluşmamıştır, Şekil 17.



Şekil 17. Normal kat kolonlarının hasar dağılımı.

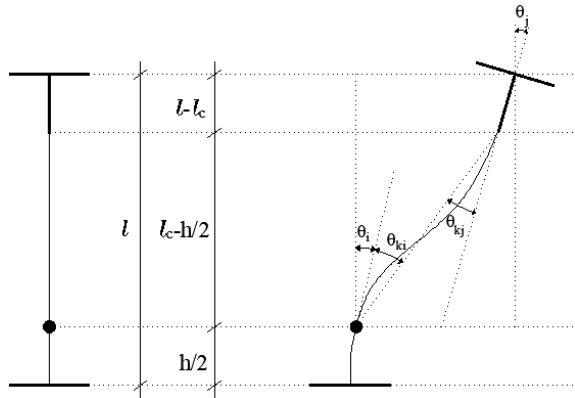
TBDY-2018 de verilen ve bu makalede uygulanan doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yaklaşımları; incelenen taşıyıcı sistemin kirişleri ve normal kat kolonlarında birbiriyle uyumlu sonuçlar verirken, zemin kat kolonları için elde edilen hasar dağılımlarında önemli bir farklılık elde edilmiştir. Bu farklılığın muhtemel sebebinin TBDY-2018 Bölüm EK 15.A.2'de yer alan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi alt başlığındaki (15A.1) denklemde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı görüşüne ulaşılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Öneriler

TBDY-2018 de yer alan (15A.1) denklemde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı düşünülen farklılığın giderilmesi için değişik yaklaşımlar kullanılabilir. İlk akla gelenler; kolon alt uçlarında temel rijitliğini temsil edebilecek "elastik ankastre mesnetler" kullanmak veya elastik zemine oturan temel sistemi ile üstyapı modelinin bütünselik oluşturulmasıdır.

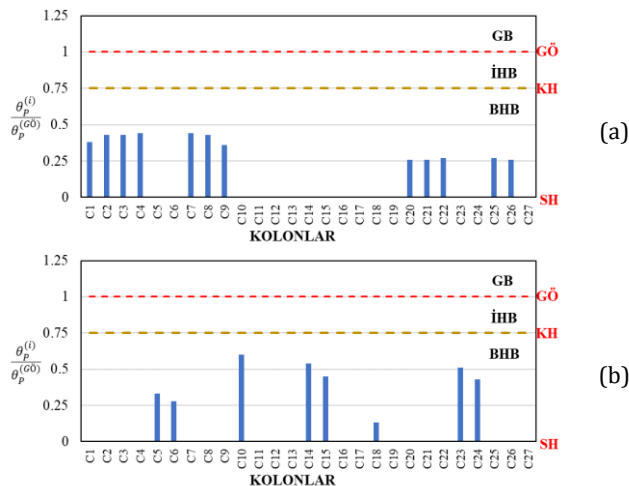
Bu makalede, yukarıdaki yaklaşımlardan farklı olarak; taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarında, plastik mafsalsal boyunu temsil etmek üzere, alt uçtan $h/2$ kadar yukarıda ara nokta tanımlanması yolu önerilmektedir, Şekil 18. "h" eğilme doğrultusunda kolon kesiti faydalı yüksekliğini göstermektedir. Taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarının alt uçlarına yakın konumda tanımlanan bu ara noktadaki dönme büyüklükleri kullanılarak hasar değerlendirmeleri yapılmaktadır.



Şekil 18. Yerdeğiştirmiş eksen dönmesi hesabı için önerilen yaklaşım.

İncelenen sistemde, yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerlerinin *göçmenin önlenmesi* (GÖ) hasar sınırına karşı gelen dönme değerine oranları (r_i ve r_j) TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki farklı yaklaşım ile hesaplanmış ve Ek A'da sunulan tablolarda sayısal olarak verilmiştir.

İncelenen taşıyıcı sistemin zemin kat kolonları için önerilen yaklaşım kullanıldığında, doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak hiçbir kolonda *İleri Hasar Bölgesi*'ne (İHB) geçilmemiştir, Şekil 19.



Şekil 19. Önerilen yaklaşım ile STATERA yazılımı tarafından zemin kat kolonları için belirlenen hasar dağılımı: (a) G+0,3Q+EX yük birleşimi, (b) G+0,3Q+EY yük birleşimi.

4.2. Sonuçlar

Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri pratikte çok sayıda binada uygulandıktan sonra bazı binalarda doğrusal hesap yönteminin ürettiği aşırı güvenli sonuçlar dikkat çekmiştir. Bu durumu örneklemek amacıyla mevcut bir betonarme binanın deprem performansı farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal hesap yönteminin uygulanmasında kullanılmak üzere bina en alt kat kolonlarıyla ilgili bir öneri

geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- TBDY-2018 esaslarına göre yapılan doğrusal elastik analizde, 200×1000 mm kesitli zemin kat kolonlarının alt uçlarında plastik dönme kapasitesi aşarak "*Göçmenin Önlenmesi* (GÖ)" hasar seviyesi sınırının ötesine geçildiği gözlenmiştir. Dolayısıyla bu hesap yöntemi uygulandığında, bina için "*Kontrollü Hasar* (KH)" performans hedefinin sağlanmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Onbir adet deprem kaydının kullanıldığı doğrusal olmayan hesap yaklaşımında, hiçbir kolonda plastik dönme kapasitesinin aşılmadığı ve binanın "*Kontrollü Hasar* (KH)" performans hedefini sağladığı gözlenmiştir.
- Binanın iki ana doğrultusundan çıkarılan düzlem çerçeveler üzerinde yayılı şekildeğiştirme yaklaşımını kullanarak yapılan itme analizlerinde elde edilen sonuçların, zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçları ile çok uyumlu olduğu ve sınırlı sayıdaki kolonda akma sınırının aşıldığı görülmüştür.
- Uygulanan üç hesap yönteminde tüm kirişler ve normal kat kolonları için benzer hasar dağılımları elde ediliyor iken; zemin kat kolonlarının alt uçları için, doğrusal hesap yöntemi uygulandığında ortaya çıkan hasar dağılımı doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin sonuçlarından oldukça farklıdır.
- Deprem performansının değerlendirilmesinde, mevcut haliyle doğrusal hesap yönteminin kullanımı en alt kat kolonlarında dolayısıyla binanın genelinde konservatif sonuçlara götürebilmektedir. Bu durum, binayı kullananları endişelendirmekte ve maddi kayıplara da neden olabilmektedir.
- TBDY-2018 (15A.1) denkleminin uygulanması sırasında, en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınması ile ilişkili olduğu düşünülen konservatif hasar sonuçlarının düzeltilmesi amacıyla; kolon alt ucundan h/2 yüksekte bir ara nokta tanımlanarak, kolon hasarının değerlendirilmesinde bu noktadaki dönme büyüklüğünün kullanılması önerilmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 (TBDY-2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [2] Jungheinrich İstif Makinaları San. ve Tic. Ltd. Şti Binasının (B Blok) Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi 'Rise Mühendislik, Kasım 2020, İstanbul'
- [3] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY 2007). T.C. Bayındırlıkve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [4] Rifai, Ş. 2018. Development of a computer program for analysis and linear seismic performance evaluation of frame type reinforced concrete buildings according to TSC-2018 [*Betonarme çerçeve türü binaların analizi ve TBDY 2018'e göre doğrusal yöntemler ile performans değerlendirilmesi için bir yazılım geliştirilmesi*] İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 174s, İstanbul.
- [5] CSI, "ETABS Software for Building Analysis and Design," Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [6] Karadoğan, F., Pala, S., Yüksel, E., Durgun, Y. 2015. Yapısal Çözümleme Cilt: II. OYTEV, İstanbul.
- [7] CSI, "SAP2000 Structural Analysis and Design," Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [8] Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Division (ASCE), 114(8), 1804-1826.

Ekler

Ek A. TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki ayrı yaklaşım ile zemin kat kolonlarında hesaplanan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerleri ve hasar oranı karşılaştırmaları. (X Doğrultusu İçin)

Kolon	L (m)	Yük Birleşimi	θ_y	$\theta_{p(G\ddot{O})}$	Ara Noktasız Model (Yönetmelik)							Ara Noktalı Model (Öneri)										
					Δ_x (m)	θ_i	θ_j	θ_{ki}	θ_{kj}	θ_{pi}	θ_{pj}	r_i	r_j	Δ_x (m)	θ_i	θ_j	θ_{ki}	θ_{kj}	θ_{pi}	θ_{pj}	r_i	r_j
C1	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00279	-0.0195	0.0	-0.0095	0.0059	-0.0036	0.00338	-0.00108	1.21	0.39	-0.0195	-0.0023	-0.0095	0.0036	-0.0036	0.0011	-0.0011	0.38	0.39
C2	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00222	-0.0195	0.0	-0.0091	0.0059	-0.0032	0.00338	-0.00070	1.52	0.31	-0.0195	-0.0024	-0.0091	0.0035	-0.0032	0.0010	-0.0007	0.43	0.31
C3	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00222	-0.0195	0.0	-0.0091	0.0059	-0.0032	0.00338	-0.00070	1.52	0.31	-0.0195	-0.0024	-0.0091	0.0035	-0.0032	0.0010	-0.0007	0.43	0.31
C4	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00222	-0.0195	0.0	-0.0092	0.0059	-0.0033	0.00338	-0.00077	1.52	0.35	-0.0195	-0.0024	-0.0092	0.0035	-0.0033	0.0010	-0.0008	0.44	0.35
C5	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01459	0.00678	-0.0195	0.0	-0.0030	0.0059	0.0029	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0195	-0.0038	-0.0030	0.0021	0.0029	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C6	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01459	0.00678	-0.0195	0.0	-0.0030	0.0059	0.0029	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0195	-0.0038	-0.0030	0.0021	0.0029	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C7	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00222	-0.0195	0.0	-0.0092	0.0059	-0.0033	0.00338	-0.00077	1.52	0.35	-0.0195	-0.0024	-0.0092	0.0035	-0.0033	0.0010	-0.0008	0.44	0.35
C8	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00222	-0.0195	0.0	-0.0091	0.0059	-0.0032	0.00338	-0.00070	1.52	0.32	-0.0195	-0.0024	-0.0091	0.0035	-0.0032	0.0010	-0.0007	0.43	0.32
C9	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00252	0.00279	-0.0195	0.0	-0.0093	0.0059	-0.0034	0.00338	-0.00091	1.21	0.33	-0.0195	-0.0024	-0.0093	0.0035	-0.0034	0.0010	-0.0009	0.36	0.33
C10	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01508	0.00651	-0.0181	0.0	-0.0072	0.0055	-0.0017	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0025	-0.0072	0.0029	-0.0017	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C11	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00610	0.00323	-0.0181	0.0	-0.0070	0.0055	-0.0015	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0026	-0.0070	0.0029	-0.0015	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C12	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00602	0.00332	-0.0181	0.0	-0.0070	0.0055	-0.0015	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0026	-0.0070	0.0029	-0.0015	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C13	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00602	0.00332	-0.0181	0.0	-0.0072	0.0055	-0.0017	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0026	-0.0072	0.0029	-0.0017	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C14	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01749	0.00370	-0.0181	0.0	-0.0031	0.0055	0.0024	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0035	-0.0031	0.0020	0.0024	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C15	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01749	0.00370	-0.0181	0.0	-0.0030	0.0055	0.0025	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0035	-0.0030	0.0020	0.0025	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C16	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00602	0.00332	-0.0181	0.0	-0.0072	0.0055	-0.0017	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0026	-0.0072	0.0029	-0.0017	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C17	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00610	0.00323	-0.0181	0.0	-0.0071	0.0055	-0.0017	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0026	-0.0071	0.0029	-0.0017	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C18	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01508	0.00651	-0.0181	0.0	-0.0042	0.0055	0.0013	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0181	-0.0032	-0.0042	0.0022	0.0013	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C19	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00537	0.00709	-0.0160	0.0	-0.0074	0.0048	-0.0025	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0160	-0.0020	-0.0074	0.0028	-0.0025	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C20	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00241	0.00189	-0.0160	0.0	-0.0077	0.0048	-0.0028	0.00243	-0.00043	1.28	0.23	-0.0160	-0.0019	-0.0077	0.0029	-0.0028	0.0005	-0.0004	0.26	0.23
C21	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00241	0.00189	-0.0160	0.0	-0.0077	0.0048	-0.0028	0.00243	-0.00042	1.28	0.22	-0.0160	-0.0019	-0.0077	0.0029	-0.0028	0.0005	-0.0004	0.26	0.22
C22	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00241	0.00187	-0.0160	0.0	-0.0077	0.0048	-0.0029	0.00242	-0.00046	1.29	0.25	-0.0160	-0.0019	-0.0077	0.0029	-0.0029	0.0005	-0.0005	0.27	0.25
C23	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01650	0.00416	-0.0160	0.0	-0.0036	0.0048	0.0012	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0160	-0.0029	-0.0036	0.0019	0.0012	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C24	3.3	G + 0.3Q + EX	0.01650	0.00416	-0.0160	0.0	-0.0028	0.0048	0.0020	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0160	-0.0031	-0.0028	0.0018	0.0020	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C25	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00241	0.00187	-0.0160	0.0	-0.0077	0.0048	-0.0029	0.00242	-0.00047	1.29	0.25	-0.0160	-0.0019	-0.0077	0.0029	-0.0029	0.0005	-0.0005	0.27	0.25
C26	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00241	0.00189	-0.0160	0.0	-0.0077	0.0048	-0.0029	0.00243	-0.00044	1.28	0.24	-0.0160	-0.0019	-0.0077	0.0029	-0.0029	0.0005	-0.0004	0.26	0.24
C27	3.3	G + 0.3Q + EX	0.00537	0.00709	-0.0160	0.0	-0.0065	0.0048	-0.0017	0.00000	0.00000	0.00	0.00	-0.0160	-0.0022	-0.0065	0.0026	-0.0017	0.0000	0.0000	0.00	0.00

Ek B. TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki ayrı yaklaşım ile zemin kat kolonlarında hesaplanan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerleri ve hasar oranı karşılaştırmaları. (Y Doğrultusu İçin)

Kolon	L (m)	Yük Birleşimi	θ_y	$\theta_{p(\text{çö})}$	Ara Noktasız Model (Yönetmelik)								Ara Noktalı Model (Öneri)										
					Δ_y (m)	θ_i	θ_j	θ_{ki}	θ_{kj}	θ_{pi}	θ_{pj}	r_i	r_j	Δ_y (m)	θ_i	θ_j	θ_{ki}	θ_{kj}	θ_{pi}	θ_{pj}	r_i	r_j	
C1	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01444	0.00932	0.0202	0.0	-0.0058	0.0061	0.0004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0202	-0.0034	-0.0058	0.0028	0.0004	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C2	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01459	0.00678	0.0195	0.0	-0.0058	0.0059	0.0001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0195	-0.0032	-0.0058	0.0027	0.0001	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C3	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01459	0.00678	0.0188	0.0	-0.0058	0.0057	-0.0001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0188	-0.0030	-0.0058	0.0027	-0.0001	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C4	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01459	0.00678	0.0181	0.0	-0.0062	0.0055	-0.0007	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0181	-0.0028	-0.0062	0.0027	-0.0007	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C5	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00252	0.00222	0.0174	0.0	-0.0088	0.0053	-0.0035	0.00275	-0.00097	1.24	0.44	0.44	0.0174	-0.0020	-0.0088	0.0033	-0.0035	0.0007	-0.0010	0.33	0.44
C6	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00252	0.00222	0.0167	0.0	-0.0084	0.0051	-0.0034	0.00254	-0.00087	1.14	0.39	0.39	0.0167	-0.0019	-0.0084	0.0031	-0.0034	0.0006	-0.0009	0.28	0.39
C7	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01459	0.00678	0.0160	0.0	-0.0056	0.0048	-0.0007	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0160	-0.0024	-0.0056	0.0024	-0.0007	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C8	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01459	0.00678	0.0153	0.0	-0.0048	0.0046	-0.0002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0153	-0.0024	-0.0048	0.0022	-0.0002	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C9	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01444	0.00932	0.0146	0.0	-0.0045	0.0044	-0.0001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0146	-0.0024	-0.0045	0.0021	-0.0001	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C10	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00247	0.00210	0.0202	0.0	-0.0100	0.0061	-0.0038	0.00367	-0.00137	1.74	0.65	0.65	0.0202	-0.0024	-0.0100	0.0037	-0.0038	0.0013	-0.0014	0.60	0.65
C11	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00610	0.00323	0.0195	0.0	-0.0085	0.0059	-0.0026	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0195	-0.0026	-0.0085	0.0033	-0.0026	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C12	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00602	0.00332	0.0188	0.0	-0.0081	0.0057	-0.0024	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0188	-0.0025	-0.0081	0.0032	-0.0024	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C13	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00602	0.00332	0.0181	0.0	-0.0079	0.0055	-0.0024	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0181	-0.0024	-0.0079	0.0031	-0.0024	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C14	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00250	0.00134	0.0174	0.0	-0.0086	0.0053	-0.0034	0.00277	-0.00087	2.06	0.64	0.64	0.0174	-0.0020	-0.0086	0.0032	-0.0034	0.0007	-0.0009	0.54	0.64
C15	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00250	0.00134	0.0167	0.0	-0.0083	0.0051	-0.0033	0.00255	-0.00076	1.90	0.57	0.57	0.0167	-0.0020	-0.0083	0.0031	-0.0033	0.0006	-0.0008	0.45	0.57
C16	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00602	0.00332	0.0160	0.0	-0.0071	0.0048	-0.0022	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0160	-0.0021	-0.0071	0.0028	-0.0022	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C17	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00610	0.00323	0.0153	0.0	-0.0068	0.0046	-0.0022	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0153	-0.0020	-0.0068	0.0027	-0.0022	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C18	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00247	0.00210	0.0146	0.0	-0.0074	0.0044	-0.0030	0.00194	-0.00052	0.92	0.25	0.25	0.0146	-0.0017	-0.0074	0.0027	-0.0030	0.0003	-0.0005	0.13	0.25
C19	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00537	0.00709	0.0202	0.0	-0.0092	0.0061	-0.0031	0.00077	0.00000	0.11	0.00	0.00	0.0202	-0.0026	-0.0092	0.0036	-0.0031	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C20	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01552	0.00524	0.0195	0.0	-0.0070	0.0059	-0.0011	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0195	-0.0029	-0.0070	0.0030	-0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C21	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01552	0.00524	0.0188	0.0	-0.0064	0.0057	-0.0007	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0188	-0.0029	-0.0064	0.0028	-0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C22	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01557	0.00515	0.0181	0.0	-0.0066	0.0055	-0.0011	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0181	-0.0027	-0.0066	0.0028	-0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C23	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00238	0.00164	0.0174	0.0	-0.0086	0.0053	-0.0033	0.00290	-0.00092	1.77	0.56	0.56	0.0174	-0.0021	-0.0086	0.0032	-0.0033	0.0008	-0.0009	0.51	0.56
C24	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00238	0.00164	0.0167	0.0	-0.0083	0.0051	-0.0032	0.00268	-0.00082	1.64	0.50	0.50	0.0167	-0.0020	-0.0083	0.0031	-0.0032	0.0007	-0.0008	0.43	0.50
C25	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01557	0.00515	0.0160	0.0	-0.0060	0.0048	-0.0011	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0160	-0.0023	-0.0060	0.0025	-0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C26	3.3	G + 0.3Q + EY	0.01552	0.00524	0.0153	0.0	-0.0056	0.0046	-0.0010	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0153	-0.0023	-0.0056	0.0024	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
C27	3.3	G + 0.3Q + EY	0.00537	0.00709	0.0146	0.0	-0.0068	0.0044	-0.0024	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.0146	-0.0018	-0.0068	0.0026	-0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00