



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Betonarme Karma Taşıyıcı Sistemlerin TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Performans Analizi ve Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırması

 Rohullah JAMAL^{a,b*},  S. Bahadır YÜKSEL^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

^b Theoretical and Applied Mechanics department, Electromechanics Faculty, Kabul Polytechnic University, Kabul, AFGHANISTAN

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: jamal.rohullah@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.927086

ÖZ

Bu çalışmada, ASCE 41-17'de tanımlanan ve TBDY 2018'e göre kullanıcı tarafından hesaplanan doğrusal olmayan elemanların plastik mafsallık özellikleri ve hasar sınırları ele alınarak itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı perdeli çerçevesel bina ele alınarak analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme elemanların plastik mafsallık özelliklerinin etkili parametreleri plastik mafsallık uzunluğu ve enine donatı mesafesidir. Bu çalışmada artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi yöntemiyle BKTS-1, 2 ve 3 betonarme binaların analizleri ETABS 19-0.2 programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri elde edilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen kapasite eğrilerinin sonucunda performans noktalarında elde edilen taban kesme kuvvetlerinin miktarı ve tepe yer değiştirme miktarı ASCE 41-17'ye göre daha fazla elde edilmiştir. İki farklı yönetmeliğe göre elde edilen sonuçlarında etkilenen faktörler; yapıya etkiyen düşey yük miktarı, betonarme elemanların efektif rijitliği ve plastik mafsallık özellikleridir.

Anahtar Kelimeler: İtme analizi, Kapasite eğrisi, Plastik mafsallık, Taban kesme kuvveti, Tepe yer değiştirme.

Obtaining and Comparison of Nonlinear Calculation Methods and Performance Analysis of Curtain Frame Systems According to TBDY 2018 and ASCE 41-17

ABSTRACT

In this study, pushover analysis was carried out by ASCE 41-17 and TBDY 2018 having default plastic hinge properties and considering the plastic hinge properties and damage limits of the nonlinear elements calculated by the user, respectively. In this study, four-span, 3, 5, and 7-storey shear wall-framed building is considered and the results of the analysis are compared. The effective parameters of plastic hinge properties of reinforced concrete elements are plastic hinge length and transverse reinforcement spacing. In this study, BKTS-1, 2 and 3 reinforced concrete buildings were analyzed with ETABS 19-0.2 program by pushover analysis methods. As a result of the analysis carried out, capacity curves were obtained according to two different standards. As a result of the capacity curves obtained according to TBDY 2018, the amount of base shear and peak displacement obtained at performance points were obtained more than ASCE 41-17. The factors affecting the results obtained according to two different standards are the amount of vertical load, the effective stiffness of the reinforced concrete elements and the plastic hinges properties.

Keywords: Base shear force, Capacity curves, Peak displacement, Plastic hinge, Pushover analysis.

I. GİRİŞ

Elastik olmayan davranışı amaçlanan, sık deprem yüklemesine maruz kalan, sismik etkiler altındaki yapıların davranışlarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu metodlar mevcut yapı sistemlerinin performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra yeni yapılacak yapı sistemlerinin tasarımının yeterli düzeyde olup olmadığını belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır. Hem mevcut yapı sistemleri için hem de yeni yapılacak yapı sistemleri için belirlenen iç kuvvet ve şekil değiştirme istemleri yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Sismik yer değiştirme tahminleri, doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilebilir. Binaların sismik tasarımı için doğrusal elastik analiz kullanılırken, elastik olmayan davranış, sık olmayan deprem yüklemelerine maruz kalan çoğu yapıda amaçlanmaktadır. Bu nedenle, sismik yükler altında binaların gerçek davranışını belirleyebilmek için doğrusal olmayan analizlerin kullanılması önemlidir [1].

Doğrusal olmayan statik yöntemler, yapıların gerçek davranışını daha iyi temsil etmektedir. Doğrusal olmayan analiz, mevcut ve yeni yapıların sismik performans değerlendirmesi için popüler bir araç haline gelmiştir. Doğrusal olmayan statik yöntemler belirli yer hareketi kayıtları altında olan yapıların analizleri yansıtmak için doğal olarak yetersiz kalmaktadır [2]. Bir diğer önemli noktada, doğrusal olmayan statik analizden gözlemlenen hasar modelinin, bazı durumlarda doğrusal olmayan dinamik analize kıyasla önemli ölçüde farklı olabileceğidir [3]. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinin, sismik talep tahminleri ve yapıların performans değerlendirmesi için daha doğru bir yöntem olduğunun bilinmesine rağmen, doğrusal olmayan statik analiz, basitliği nedeniyle yapı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunları aşmak için farklı doğrusal olmayan statik analiz prosedürleri geliştirilmiştir [4]-[6].

Bu çalışmada, üç tip betonarme karma taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan performans analizi iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. İki farklı yönetmelikte tanımlanmış ve hesaplanan doğrusal olmayan elemanların plastik mafsallık özellikleri kullanılarak itme analizlerinin sonuçlarındaki olası farklılıkların incelemesi ve karşılaştırması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tipik planı iki eksene göre simetrik olduğu için burulma etkisi olmamakta ve üç boyutlu olarak modellenmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin üç boyutlu olarak modellenmesi ve tasarımı ETABS 19-02 [7] programı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı plastik mafsallık özelliklerine sahip üç, beş ve yedi katlı dört açıklıklı binalar ele alınmış ve elde edilen performans analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Performans analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri ve dayanımı, plastik mafsallık özellikleri ele alınarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri çizilmiştir. Kapasite ve talep eğrileri aynı eksen takımına dönüştürülerek yapı sisteminin performans noktaları belirlenmiştir (TBDY 2018) [8]. ASCE 41-17 [9] yönetmeliğe göre performans noktasının belirlenmesinde kapasite eğrisi ve ideal kapasite eğrisi üst üste çizilmiş ve performans noktası elde edilmiştir. TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre hesaplanan kapasite eğrileri ve elde edilen performans noktalarındaki tepe yatay yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti, kat kesme kuvvetleri ve kat ötelenmelerin miktarı karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

A. TEKNİK LİTERATÜR ÖZETİ

Jamal ve Yüksel (2021), TBDY 2018 ve ASCE 41-17'de tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Çalışmada üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçeveli taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan analizleri iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. Bu kapsamda yapı sisteminin bilgi düzeyi, malzeme dayanımları ve elemanların plastik mafsallık özellikleri belirlenmiştir. Elemanların plastik mafsallık özellikleri ve malzeme dayanımları ele alınarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri hesaplanarak çizilmiştir. Kapasite ve talep eğrileri aynı eksen takımına dönüştürülerek yapı

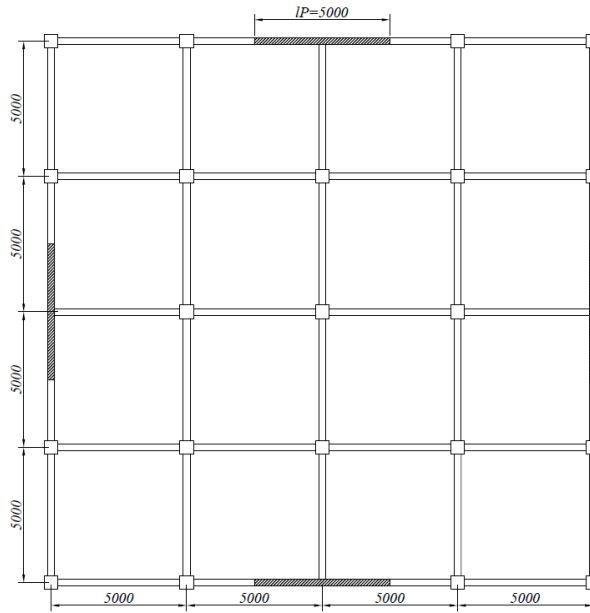
sisteminin performans noktası belirlenmiştir. TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre hesaplanan kapasite eğrileri ve elde edilen performans noktaları karşılaştırarak yorumlanmıştır [10].

Karabulut (2011), DBYBHY 2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak mevcut betonarme binalar için karşılaştırma yapmıştır. Çalışmada DBYBHY 2007 ve TS500 yönetmeliklerine uygun olarak boyutlandırılmış kat adedi ve taşıyıcı sistemlerinin özelliği bakımından farklı olan üç bina, iki farklı doğrusal olmayan statik analiz yöntemine göre incelenmiş, daha sonra elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır [11].

Sönmez (2012), DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Çalışmada farklı kat yüksekliğine sahip betonarme binaların doğrusal olmayan analizleri iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. Bu doğrultuda farklı kat adetlerine sahip yapılara ait deprem talep yerdeğiştirme durumu, her bir kesitin performans düzeyi, kesitlerin hasar durumları, farklı yönetmelikler açısından yapılan analizlerle karşılaştırılmıştır [12].

II. MATERYAL VE METOT

TBDY 2018 ve TS 500 [13]'e göre tasarlanan dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı betonarme karma taşıyıcı sistemler tasarlanmış ve taşıyıcı sistemlerin farklı yönetmeliklere göre analizleri yapılarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil (1)'de gösterildiği gibi kolon eksenlerinin mesafesi 5m ve kat yüksekliği 3,5m'dir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tasarımında beton sınıfı C30 ve donatı sınıfı B420C olarak ele alınmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tipik kat planı

Tablo 1. Kullanılan malzeme özellikleri

C30 betonun mekanik özellikleri					
	Karakteristik Basınç Dayanımı,	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı		28 Günlük Elastik Modülü, E_c
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	(MPa)	f_{ctk} (Mpa)		(MPa)
C30	30	37	1,9		32000
B420C donatı çeliğinin mekanik özellikleri					
	Minimum Akma Dayanımı, f_{yk}	Minimum Kopma Dayanımı, f_{su}	$\emptyset \leq 32$ İçin Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	$32 < \emptyset \leq 50$ İçin Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	Elastik Modülü, E_s
Donatı Sınıfı	(MPa)	(MPa)			(MPa)
B420C	420	550	8	8	200000

Binaların İstanbul ilinin Bakırköy ilçesi Yeşil köy mahallesinde olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda TBDY 2018 ve TS 500'e göre tasarlanan binalar DD2 tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi) için $S_s=1,27$ ve $S_1=0,329$ ele alınarak modellenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistem modellerinde deprem ve zemin parametreleri AFAD (<http://tdth.afad.gov.tr>) web sayfasından parametreleri alınarak Tablo 2'de verilmiştir.

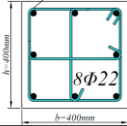
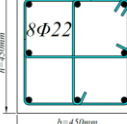
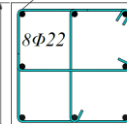
Tablo 2. Hesaplarda kullanılan deprem ve zemin parametreleri

Bina Önem Katsayısı	I=1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=3
Eksantriste Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=7
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	Ta= 0,06; Tb= 0,32
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_s = 1,294$
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1 = 0,329$
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_s = 1,5528$
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_1 = 0,4935$

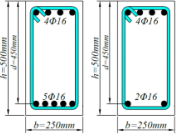
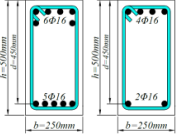
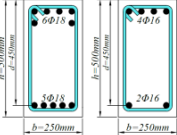
Çalışmaya konu olan göre tüm yapı sistemleri için, TS498'e göre normal kat döşemelerine etkiyen ilave sabit yükler $2,12 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen ilave sabit yükler $1,5 \text{ kN/m}^2$ ve kirişlere etkiyen duvar yükü de $4,8 \text{ kN/m}$ olarak ele alınmıştır. Normal kat döşemelerine etkiyen hareketli yük $3,5 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen hareketli yük ise $1,5 \text{ kN/m}^2$ olarak ele alınmıştır.

BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 bina tipleri için kolonların en-kesit boyutları sırasıyla $400 \times 400 \text{ mm}$, $450 \times 450 \text{ mm}$ ve $500 \times 500 \text{ mm}$ ve kirişlerin en-kesit boyutları $250 \times 500 \text{ mm}$ ve döşeme kalınlığı 160 mm olarak seçilmiştir. Betonarme elemanlarda, kolonlar ve kirişlerde pas payı 50 mm ve döşemelerde ise 20 mm olarak alınmıştır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tasarımı ETABS 19-0.2 programı ile TBDY 2018 ve TS 500'e göre yapılmıştır. Betonarme kolonların ve kirişlerin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı sırasıyla Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Betonarme kolon ve kirişlerin boyuna ve enine donatıların miktarı ASCE 41-17 performans analizinde hesaplanmış donatıları otomatik olarak programa tanımlanarak doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Betonarme perde duvarların donatıların miktarı ve donatı yerleşim planı Şekil 2'de verilmiştir.

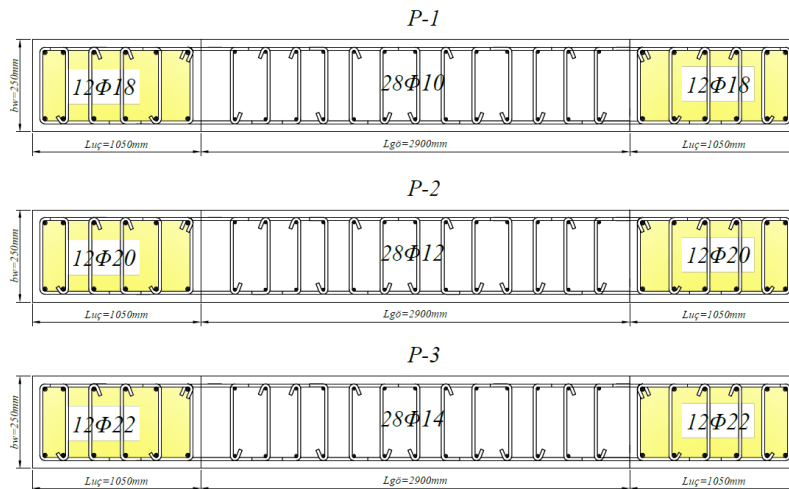
Tablo 3. Betonarme kolonların en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı ve yerleşimi

Bina Tipi	Kolon	Boyut (mm)	Düşey Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı Oranı
BKTS-1		400x400	8Φ22	Φ10/100	0,01900
BKTS-2		450x450	8Φ22	Φ10/100	0,01502
BKTS-3		500x500	8Φ22	Φ10/100	0,01216

Tablo 4. Betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı ve yerleşimi

Bina Tipi	Kiriş	Katlar	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet
BKTS-1 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-1		Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	5Φ16	5Φ16
BKTS-2 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-2		Üst	6Φ16	6Φ16
			Alt	5Φ16	5Φ16
BKTS-3 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-3		Üst	6Φ18	6Φ18
			Alt	5Φ18	5Φ18

Not: Tüm kat kirişlerinde Φ8/100 etriye kullanılmıştır.



Şekil 2. Betonarme perde duvarların en-kesit boyutları ve donatı yerleşim

Betonarme taşıyıcı sistemlerin modellenmesinde, kolonların ve perdelerin temel ile bağlantısının ankastre olduğu varsayılmıştır. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit (diyafram) olarak varsayılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizlerinin yapılabilmesi için kolonlar, kirişler ve perde duvarların etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi amacı ile TBDY 2018 ve ASCE 41-17’de verilen etkin eğilme rijitlik oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Eğilme altındaki betonarme elemanların etkin eğilme rijitlik oranları TBDY2018’e göre sabit bir katsayı olarak verilmiş Tablo 5’te özetlenmiştir. Betonarme kolonların etkin rijitlik oranlarının hesaplanması amacıyla, ASCE 41-17’ye göre iki eksenel yük sınırı verilmiştir. Betonarme kolonlarda uygulanan eksenel yük miktarı (N_D) iki sınır değerin arasında olduğu zaman etkin eğilme rijitliğinin çarpanı doğrusal enterpolasyon ile elde edilmektedir. Betonarme kirişlerin ve kolonların etkin rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Betonarme kolonların, kirişlerin ve perde duvarların etkin eğilme rijitliklerinin çarpanları

TBDY 2018’e göre		
Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	Etkin kesit rijitliği çarpanı (ke)	
	Eğilme	Kesme
Çubuk elemanlarda		
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Betonarme perde	0,25	1,00
ASCE 41-17’ye göre		
Öngerilmemiş kirişleri	0,30	0,40
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.5$	0,70	0,40
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.1$	0,30	0,40
Betonarme perde	0,35	0,40

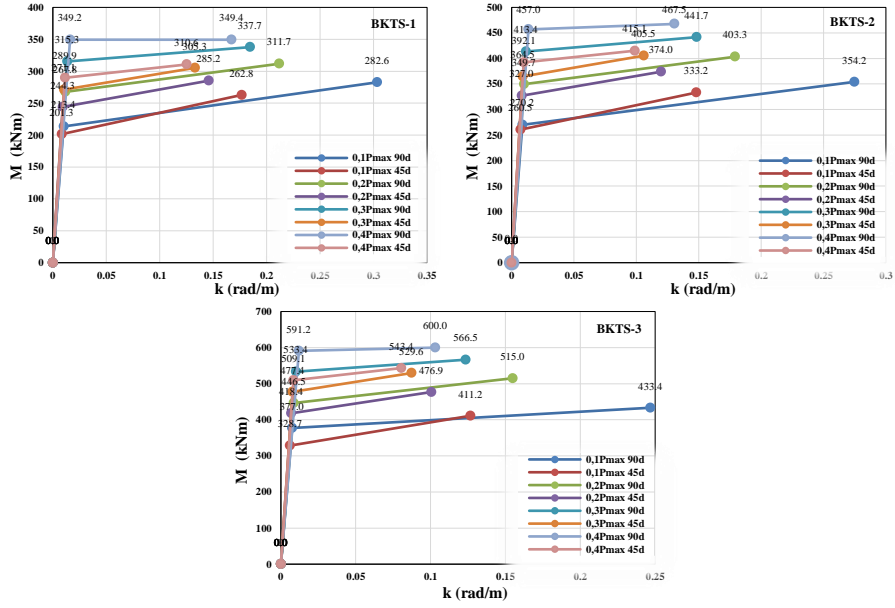
Tablo 5’te N_D , deprem hesabından elde edilmiş toplam etkilenen yük miktarı ve (EI_o) çatlamamış kolon en-kesitlerin eğilme rijitliği oranıdır. Betonarme kolonların etkin rijitlik çarpanlarının elde edilmesi için N_D deprem hesabında esas alınan bir ön düşey yük hesabı ile belirlenmektedir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği (EI)_e kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılmaktadır. Deprem hesabında aynı rijitlik çarpanları kullanılmaktadır. Betonarme elemanların etkin rijitlik çarpanları TBDY 2018’e göre sabit katsayı olarak verilmiştir (Tablo 5). Betonarme elemanların etkin rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilmiştir. Betonarme kolonların etkin rijitlik çarpanlarının hesaplanması ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilen denklemlere göre hesaplanarak analizlerde kullanılmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımı, TS500 (2000)’e göre yapılmış ve betonarme elemanların donatılarının miktarı hesaplanmıştır. Tablo 2’de özellikleri verilen karma taşıyıcı sistemlerin analizleri ETABS 19-0.2 ile yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımı yapıldıktan sonra itme analizi yapabilmek için elemanlara plastik mafsalları tanımlanmıştır.

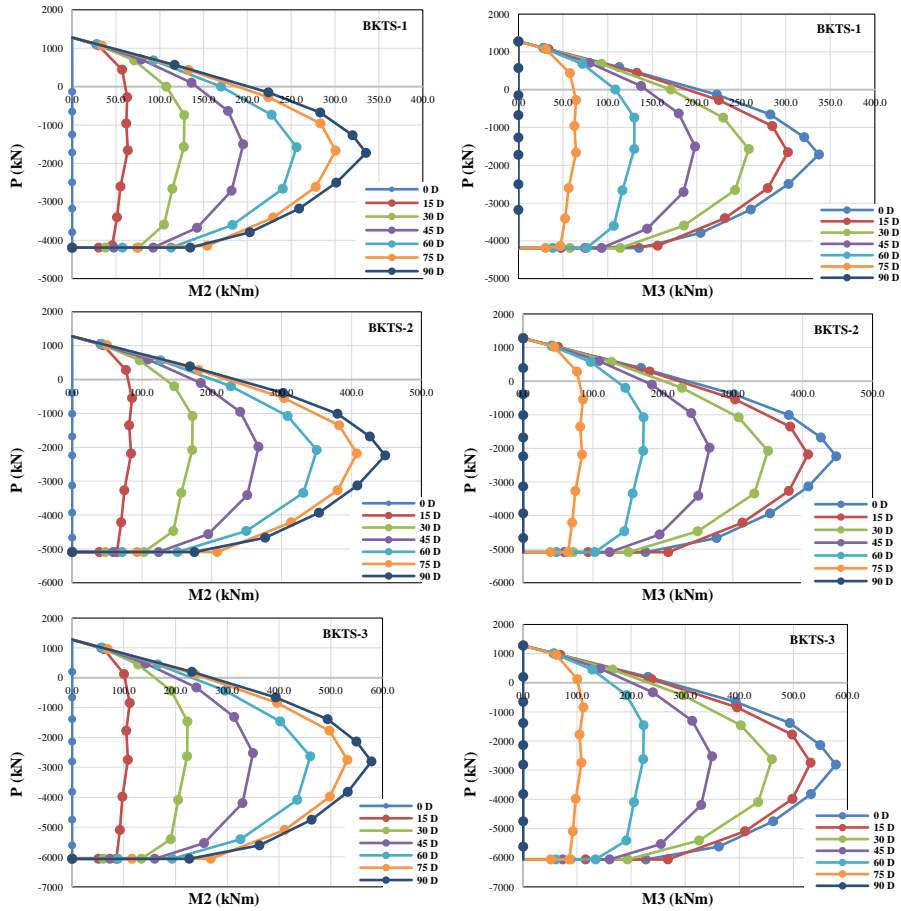
A. BETONARME KOLONLARIN KİRİŞLERİN VE PERDELERİN TBDY 2018’E GÖRE PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizinde, dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı betonarme karma taşıyıcı sistemlerin kolonlarında, kirişlerinde ve perde duvarlarında plastik mafsalları özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme kirişlerin ve kolonların plastik mafsalları özellikleri TBDY 2018’e göre SAP 2000 [14] programı ile hesaplanmıştır. Plastik mafsalları özelliklerinin hesaplanması için, SAP 2000 programında beton için sargılı ve sargısız beton malzeme modelleri ve donatı çeliği malzeme modeli tanımlanmıştır. Kullanılan beton malzeme modeli Mander sargılı ve sargısız beton modeli [15] ve donatı çeliği malzeme modeli için ise Park modeli ele alınmıştır. Betonarme kolonların plastik mafsalları özelliklerinin tanımlanması için, kolonların moment-eğrilik ilişkisi ve iki boyutlu normal kuvvet -moment etkileşim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme

kolonların moment–eğrilik ilişkisi ve normal kuvvet–moment etkileşim eğrilerinin hesaplanması SAP 2000 programı ile hesaplanarak eğrileri çizilmiştir. Çizilen grafikler Şekil 3 ve 4’te verilmiştir.

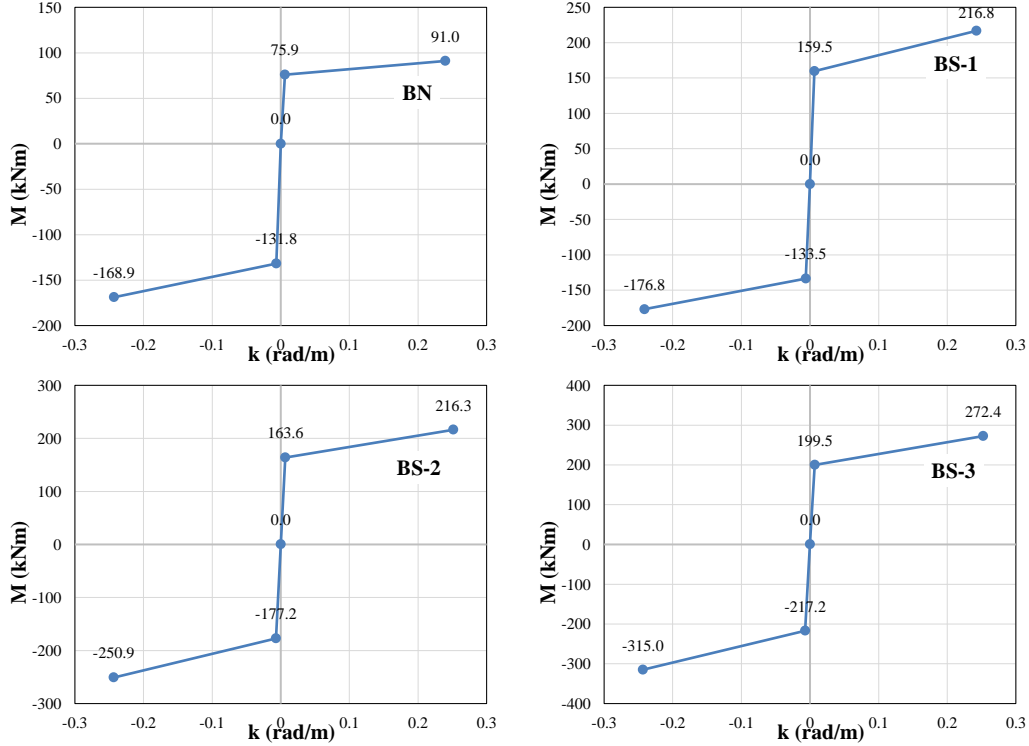


Şekil 3. TBDY 2018’e göre kolonların moment–eğrilik ilişkisi



Şekil 4. TBDY 2018’e göre kolonların 2 boyutlu normal kuvvet–moment etkileşim grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizinde, kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Betonarme kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kirişlerin moment–eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kirişlerin moment–eğrilik ilişkilerinin değerleri SAP 2000 programı ile elde edilerek moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri çizilmiştir. Çizilen moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. TBDY 2018’e göre betonarme kirişlerin moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerdeki kolonların ve kirişlerin birleşim noktalarına yakın bölgelerinde plastik mafsallık oluştuğu kabul edilmekte ve betonarme perde duvarlarda ise en alt kattaki perdenin temele birleştiği noktaya yakın bölgede plastik mafsallık oluştuğu kabul edilmektedir. Ancak kirişlerde ise düşey yüklerden ötürü açıklık ortasında da plastik mafsallık oluşabilir. Tüm taşıyıcı sistemler karma (perdeli çerçevesi) olduğu için, plastik mafsallık özellikleri kolonların alt ve üst mesnetlerinde, kirişlerde ise sol ve sağ mesnetlerinde tanımlanmıştır.

Betonarme perde duvarlar yayılı plastik mafsallık (fiber hinge) kullanılarak modellenmiştir. Betonarme perdelerde Şekil 2’de verilen donatılar ETABS 19-0.2 programına tanımlanmıştır.

B. BETONARME KOLONLARIN KİRİŞLERİN VE PERDELERİN ASCE 41-17’YE GÖRE PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizlerini yapabilmek amacıyla ASCE 41-17’ye göre betonarme kirişlerin, kolonların ve perde duvarların plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla betonarme kirişlerin ve kolonların plastik mafsallık özellikleri ASCE 41-17’de verilen özellikler sırasıyla Tablo 6 ve 7’de verilmiştir. Plastik mafsallık özellikleri ETABS 19-02’ tanımlı olduğu için default olarak tanımlanmaktadır. ASCE 41-17’ye göre betonarme perde duvarlar yayılı plastik mafsallık (fiber hinge) kullanılarak modellenmiştir.

Tablo 6. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kirişler [ASCE 41-17]

Durum	Modelleme değişkenleri			Kabul edilmiş kriterler				
	Plastik Dönme Açılırları (Rad)		Artık Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı (Rad)				
	Performans Seviyesi							
Durum 1: Eğilme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
$\frac{(\rho - \rho')}{\rho}$	Enine donatı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_{CE}}}$	a	b	c	IO	LS	CP
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.050	0.2	0.0100	0.025	0.050
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.020	0.040	0.2	0.0050	0.020	0.040
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.020	0.2	0.0050	0.015	0.020
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.010	0.015	0.2	0.0015	0.010	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.010	0.015	0.2	0.0050	0.010	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010
Durum 2: kesme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.003	0.020	0.2	0.0015	0.010	0.020
Etriye Aralığı $\geq d/2$			0.003	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010
Durum 3: Açıklık boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.003	0.020	0.0	0.0015	0.010	0.020
Etriye Aralığı $\geq d/2$			0.003	0.010	0.0	0.0015	0.005	0.010
Durum 4: Kolon kiriş birleşim bölgesine yeterli derecede saplanmamış kirişler ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.0100	0.020	0.030

Not: f'_{CE} in lb/in² ve (MPa) olarak verilmiştir.

^a Tabloda listelenenler arasındaki değerler doğrusal enterpolasyon ile belirlenir.

^b Durum i,ii,iii,iv'ten birden fazla halin sağlanması durumunda, minimum şartı sağlayacak değerler kullanılır.

^c Sırasıyla "C" ve "NC", uygun ve uygun olmayan enine donatıların kısaltmalarıdır. Enine donatının uygun olması için plastik mafsal bölgesinde, etriye aralığı d/3 ten küçük olmalı, orta ve yüksek süneklik talebine sahip elemanlar için, kesme donatıları tasarım kesme kuvvetlerinin ¾'ünü taşımalıdır. Aksi halde enine donatıların uygun olmadığı kabul edilir.

^d V, NSP veya NDP'nin tasarım kesme kuvvetidir.

Tablo 6. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kolonlar [ASCE 41-17]

Durum	Modelleme değişkenleri		Kabul edilmiş kriterler								
	Plastik Dönme Açılırları, a ve b (Rad).		Plastik dönme açısı (Rad)								
	Artık dayanım oranı, c		Performans seviyesi								
IO						LS			CP		
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen kolonlar ^a											
$a = \left(0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}} \right) \geq 0.0$											
$\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \leq 0.5 \text{ için } b = \frac{0.5}{5 + 0.8 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \rho_t f_{yIE}} - 0.01 \geq a^a$						0.15 ^a			0.5b ^b		
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \geq 0.0$						≤ 0.005			0.7b ^b		
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar ^c											
$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t \cdot f_{yIE}}{\rho_t \cdot f_{yIE}} \right) \geq 0.0$											
$b = \left(0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 12 \rho_t^\theta \right) \geq 0$						0.0			0.5 ^b		
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$						≤ 0.06			0.7 ^b		

Not: ρ_t , çekirdeğe yeterince sabitlenmediğinde hiçbir durumda 0.0175'ten fazla veya 0.0075'ten küçük alınmamalıdır. Tablodaki denklemler ρ_t değeri 0.0005'ten küçük olan kolonlar için geçerli değildir.

V_{yE} / V_{CoIOE} , 0.2'den az alınmamalıdır.

NUD, Denklemde (7-34)'te, açıklandığı gibi yanall kuvvetlerin etkilerini açıklayan maksimum basınç eksenel yük hesabı olacaktır. Alternatif olarak, NUD'un bir limit-durum analizine dayanarak değerlendirilmesine izin verilecektir.

^ab, $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} > 0.5$ için $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0.5$ değerinden $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0.7$ değerinde lineer olarak azaltılacaktır, ancak a'dan küçük olmamalıdır

^b $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}}$ 0,1'den küçük alınmamalıdır.

^cKolonların, ekteki hesaplanan çelik stresinin Denklem (10-1a) veya (10-1b) tarafından belirtilen çelik stresi aştığı yetersiz gelişme veya ek yerleri ile kontrol edildiği düşünülmektedir. Yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için modelleme parametresi, yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen sütünların parametrelerini asla aşmayacaktır.

^aYeterli gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için, birleşme bölgesinde sıfır alınacak, uzunluğu boyunca en az iki bağ grubu tarafından geçilmeyecektir.

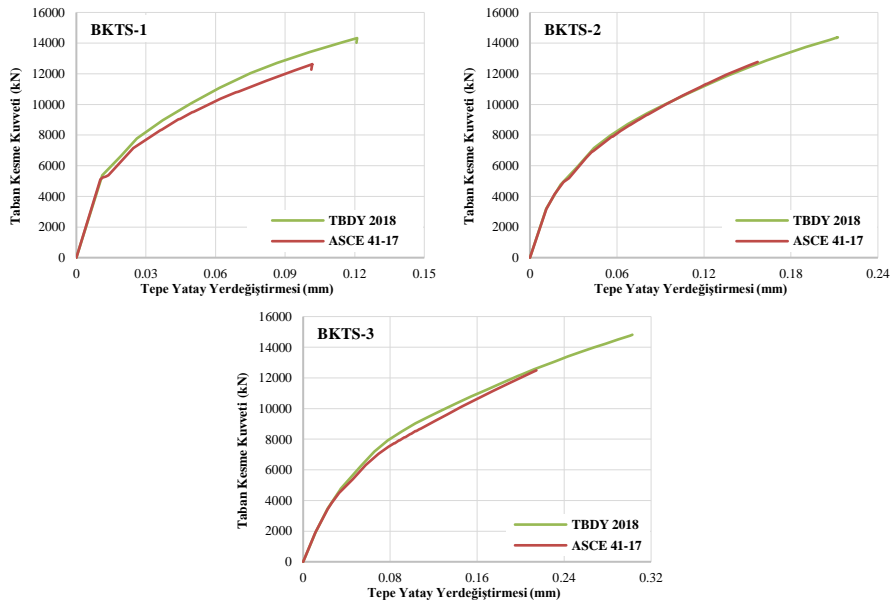
^c ρ_t , 0.0075'ten daha fazla alınmaz.

III. ARASTIRMA BULGULAR

Bu çalışmada üç tip betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizi TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizlerinin yapılabilmesi için, etkin en-kesit rijitlikleri, eşdeğer deprem yükü dağılımları ve plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme karma taşıyıcı sistemler için, taşıyıcı sistem elemanlarının etkin en-kesit rijitlik çarpanları ve eşdeğer deprem yükü dağılımları hesaplanarak ele alınmıştır. Plastik mafsal özellikleri ETABS 19-0.2 programında iki farklı yönetmeliğe göre analizlerde ele alınmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizi TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen itme analizinin sonuçları (kapasite eğrileri, performans noktaları, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve kat ötelenmeleri) elde edilerek aşağıda verilmiştir.

A. KAPASİTE EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin artımsal eşdeğer deprem yükü itme analizlerinin kapasite eğrilerin elde edilmesi amacı ile üç tip BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 binaların analizi ETABS 19.02 programı ile gerçekleştirilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizleri TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklere göre gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda yapı sistemlerinin kapasite eğrileri (tepe yatay yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti eğrileri) elde edilmiştir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrilerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 binaların karşılaştırmalı kapasite eğrileri

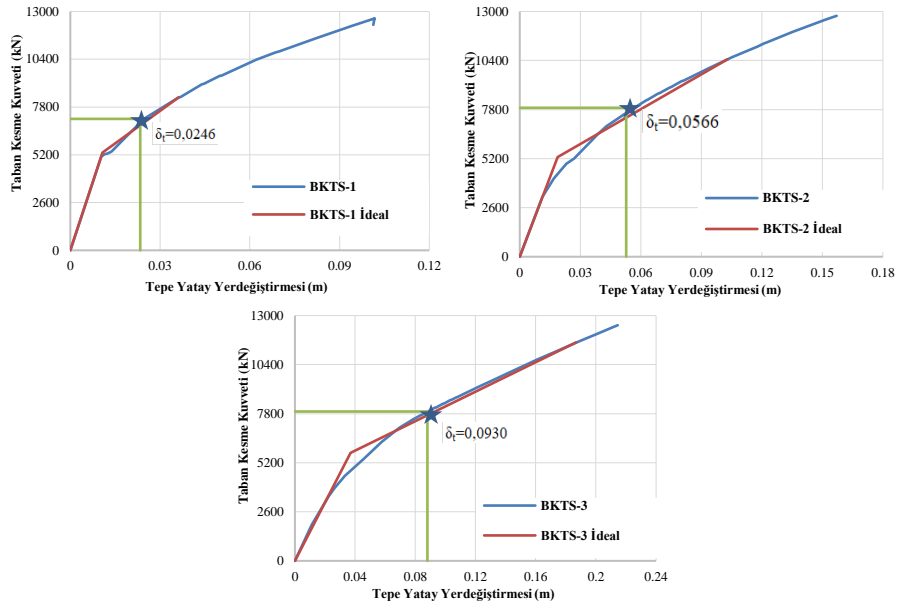
B. BKTS-1, 2 VE 3 PERFORMANS NOKTALARININ BELİRLENMESİ

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin (BKTS) performans noktalarının belirlenmesi için kapasite eğrilerinin (taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafiğinin) spektral ivme (S_a)-spektral yerdeğiştirme (S_d) eksen takımına dönüştürülmesi gerekmektedir. Deprem etkisi ve talep eğrisi olarak adlandırılan, eksenleri spektral ivme (S_a)-periyot (s_n) olan elastik ivme spektrumu eğrisine de eksen dönüşümü uygulanmış ve spektral ivme (S_a)-spektral yerdeğiştirme (S_d) eksen takımına dönüşümü yapılmıştır. ASCE 41-17'ye göre performans noktasının belirlenmesinde kapasite eğrisi ve ideal kapasite eğrisi üst üste çizilmekte ve farklı katsayılar hesaplanarak performans noktası belirlenmektedir.

TBDY 2018'e göre performans noktaları belirlenerek Tablo 7'de verilmiştir. ASCE 41-17 yönetmeliğe göre performans noktaları belirlenerek Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 7. BKTS 1, 2 ve 3 tip binaların TBDY 2018'e göre x eksenı doğrultusunda performans noktalarının belirlenmesi

Performans noktası		
Bina tipi	Tepe yatay yerdeğiştirmesi (m)	Taban kesme kuvveti (kN)
BKTS-1	0,0261	7785
BKTS-2	0,0676	8719
BKTS-3	0,1031	9019



Şekil 7. BKTS 1, 2 ve 3 tip binaların ASCE 41-17'ye göre x eksenı doğrultusunda performans noktalarının belirlenmesi

BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 tip betonarme taşıyıcı sistemlerinin x eksenı doğrultusu için performans noktaları belirlenerek Tablo 7 ve Şekil 7'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre ETABS 19-02 programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda, BKTS-1 tipi binada üçüncü, BKTS-2 tipi binada altıncı ve BKTS-3 tipi binada dokuzuncu hesap adımı yapı sistemlerinin performans değerlendirilmelerinin yapılacağı hesap adımları olarak belirlenmiştir.

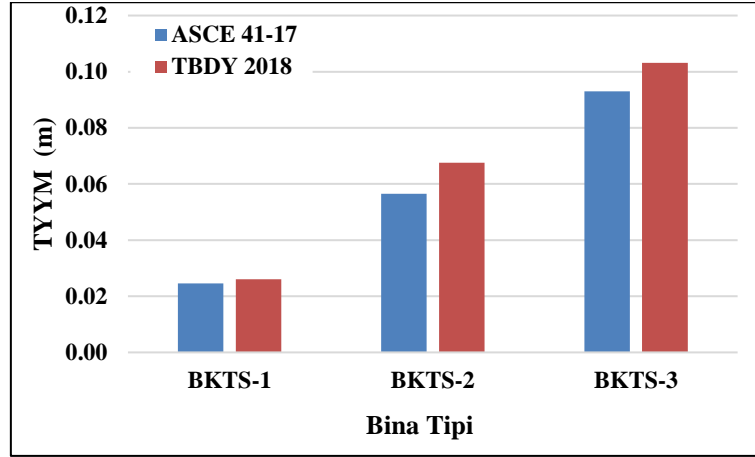
ASCE 41-17'ye göre ETABS 19-02 programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda, BKTS-1 tipi binada beşinci, BKTS-2 tipi binada sekizinci ve BKTS-3 tipi binada on üçüncü hesap adımında performans noktasına ulaşılmıştır.

Yapı sistemlerinin performans noktasındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için tepe yatay yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, görelı kat ötelenmeleri ve hasar gören elemanların oranlarının iki farklı yönetmeliklerine göre karşılaştırılması gerekmektedir.

C. TEPE YATAY YERDEĞİŞTİRME MİKTARLARIN HESAPLANMASI (TYYM)

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklerine göre performans noktalarında elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmelerinin miktarı elde edilmiştir. Elde edilen Tepe Yatay Yerdeğiştirme Miktarının (TYYM) karşılaştırmalı grafiği Şekil 8'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre

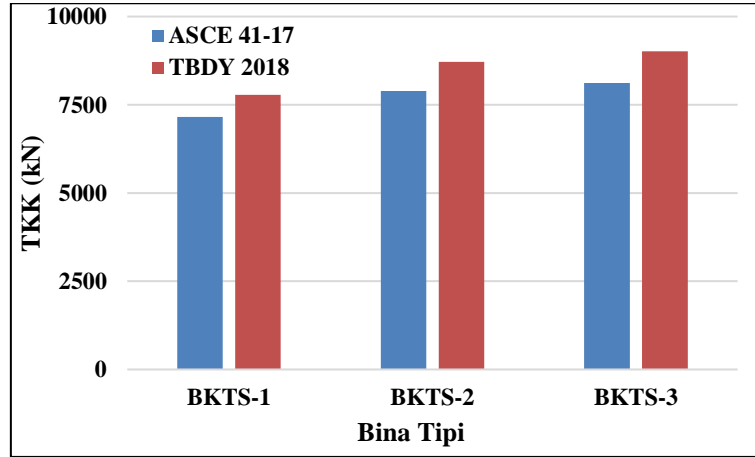
elde edilen tepe yatay yerdeğiştirme miktarı ASCE 41-17'ye göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 8).



şekil 8. İki farklı yönetmeliğe göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarının karşılaştırılması grafiği

Ç. TABAN KESME KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI (TKK)

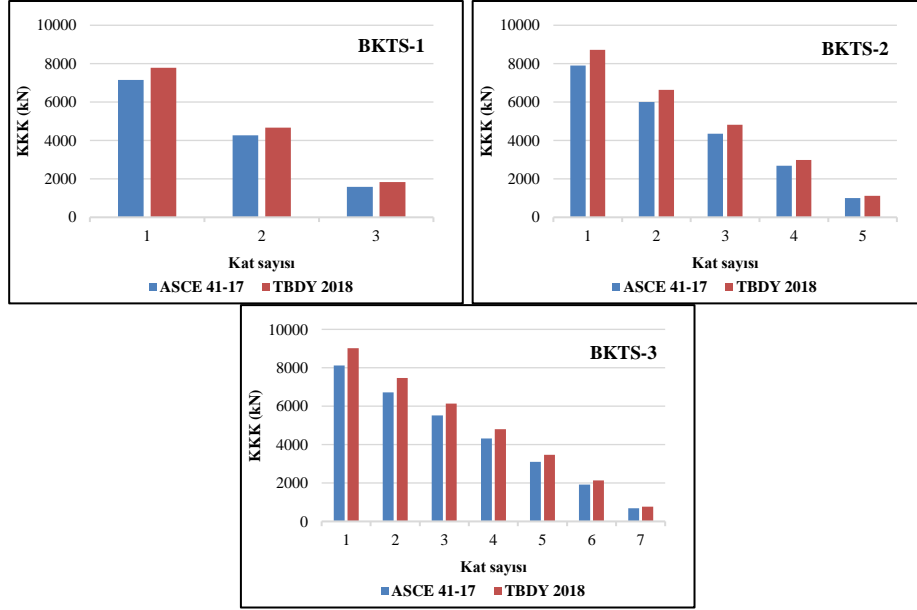
TBDY 2018 ve ASCE41-17 yönetmeliklerine göre ETABS 19-0.2 programı ile geręekleřtirilen betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizlerinin sonucunda, performans noktasında Taban Kesme Kuvvetleri (TKK) elde edilmiştir. İki farklı yönetmeliğe göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı grafiği şekil 9'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen taban kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE41-17'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 9).



şekil 9. Elde edilen taban kesme kuvveti karşılaştırılması grafiği

D. KAT KESME KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI (KKK)

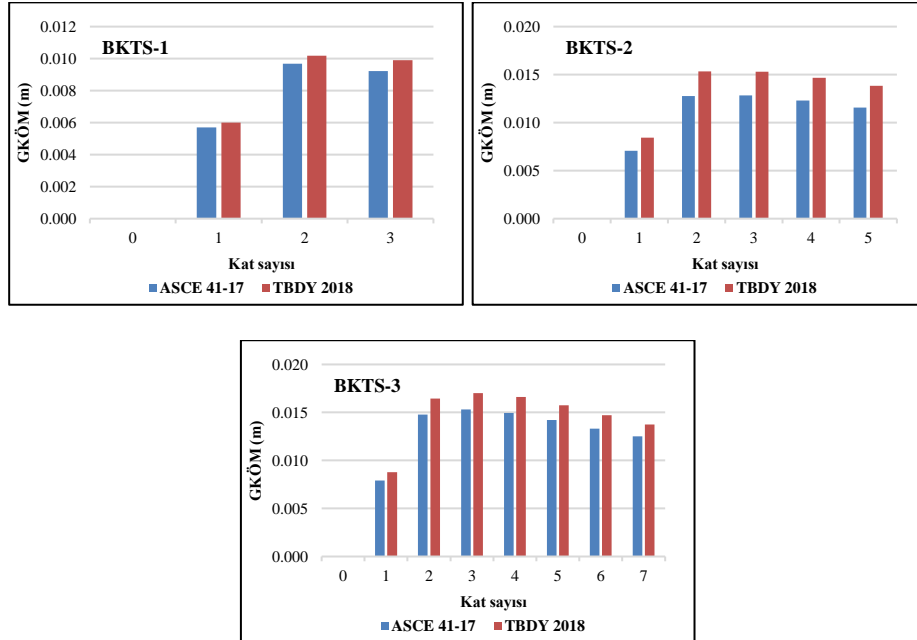
TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre lineer olmayan itme analizi ile Kat Kesme Kuvvetlerin (KKK) miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan kat kesme kuvvetlerin karşılaştırmalı grafiği şekil 10'da verilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen kat kesme kuvvetlerin miktarı ASCE41-17'ye göre hesaplanan kat kesme kuvvetlerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 10).



Şekil 10. Elde edilen kat kesme kuvveti karşılaştırması grafiği

E. GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİN MİKTARI HESAPLANMASI (GKÖM)

TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklere göre gerçekleştirilen doğrusal olmayan itme analizi sonuçlarından, performans noktasında elde edilen Görelî Kat Ötelemelerin Miktarı (GKÖM) elde edilmiştir. Elde edilen görelî kat ötelemelerinin karşılaştırmalı grafiği şekil 11’de verilmiştir. TBDY 2018’e göre elde edilen görelî kat ötelemelerin miktarı ASCE41-17’ye göre hesaplanan görelî kat ötelemelerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Elde edilen görelî kat ötelemesi miktarının karşılaştırılması grafiği

F. HASAR GÖREN ELEMANLARIN ORANLARININ HESAPLANMASI

TBDY 2018 ve ASCE 41-17’ye göre betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin performans noktalarında hasar gören elemanların oranları yüzde (%) olarak elde edilmiştir. Elde edilen hasar gören elemanların

oranları karşılaştırmalı grafiği Şekil 12’de verilmiştir. ASCE 41-17’ye göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin tüm elemanları Immediate Occupancy (IO) hemen kullanım hasarı gören elemanlardır. ASCE 41-17 yönetmelikteki hemen kullanım hasar sınırı TBDY 2018 yönetmelikteki sınırlı hasar sınırına karşı gelmektedir. TBDY 2018 yönetmeliğe göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları sınırlı hasar (SH) ve kontrollü hasar (KH) sınırlarına ulaşılmaktadır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin performan analizlerin sonuçlarına göre hiçbir eleman göçme önlenmesi (GÖ) ve Collapse Prevention (CP) hasar sınırlarına ulaşılmamaktadır.



Şekil 12. Hasar gören elemanların yüzdeler oranları karşılaştırılması grafiği

IV. SONUÇLAR

TBDY 2018 ve ASCE 41-17’ye göre tanımlanan düşey yük miktarı, plastik mafsallı özellikleri ve çatlamış kesit rijitlik oranlarına göre elde edilen analiz sonuçları değişmektedir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan itme analizlerinden elde edilen verilerine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

BKTS-1, 2 ve 3 tip binalarında, TBDY 2018’e göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarı ASCE 41-17’ye göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarından daha fazla elde edilmiştir. Tepe yatay yerdeğiştirme miktarının artışı kat sayısı az olan binalarda azalmaktadır. Kat sayısı arttığı zaman tepe yatay yerdeğiştirme miktarının yüzdeler artışı daha belirgindir.

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinde, TBDY 2018’e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE 41-17’ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin miktarından daha fazla elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetleri miktarının artışı kat sayısı fazla olan binalarda daha fazladır. Kat sayısı arttığı zaman taban kesme kuvvetlerinin miktarı yüzdeler artışı azalmaktadır.

TBDY 2018’e göre elde edilen kat kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE41-17’ye göre hesaplanan kat kesme kuvvetlerinin miktarından daha fazla elde edilmiştir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerde, kat kesme kuvvetlerinin artışı birinci katta çok ve değer katlarda yüzdeler artışı miktarı azalmaktadır.

ASCE 41-17’ye göre elde edilen görel kat ötelenmelerinin miktarı TBDY 2018’e göre elde edilen görel kat ötelenmelerinin miktarından daha az elde edilmiştir. Görel kat ötelenme miktarının azalışı BKTS-1, 2 ve 3 binada birinci katta az ve kalan katlarda bu azalışın miktarı artırılmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerinde hasar gören elemanların sayısı yüzde olarak verilmiştir (Şekil 12). TBDY 2018’e göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları sınırlı hasar ve kontrollü hasar gören elemanlardır. ASCE 41-17’ye göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları Immediate Occupancy (IO) hemen kullanım hasarı gören elemanlardır. ASCE 41-17 yönetmelikteki hemen kullanım hasar sınırı TBDY 2018 yönetmelikteki sınırlı hasar sınırına karşı gelmektedir.

Araştırma bulguları ve elde edilen verilere göre bu değişimler TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre tanımlanan farklı düşey yük miktarına, plastik mafsallık özelliklerine ve betonarme elemanların etkin rijitliklerine bağlıdır. Plastik mafsallık özellikleri farklı yönetmeliğe göre farklı plastik mafsallık özellikleri tanımlanmıştır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] MJN. Priestley, "Myths and fallacies in earthquake engineering—conflicts between design and reality," *Bull N Z Natl Soc Earthq Eng*, vol. 26, no. 3, pp. 329–341, 1993.
- [2] W. Liao, C. H. Loh, and S. Wan "Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions," *Struct Des Tall Spec Build*, vol. 10, no. 3, pp. 219–229, 2001.
- [3] S. D. Kim, and E. Amore "Push-over analysis procedure in earthquake engineering," *Earthq Spectra*, vol. 15, no. 6, pp. 417–434, 1999.
- [4] JM. Bracci, SK. Kunnath, and AM. Reinhorn "Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structures," *J Struct Eng*, vol. 123, no. 1, pp. 3–10, 1997.
- [5] B. Gupta, and SK. Kunnath "Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures," *Earthq Spectra*, vol. 16, no. 2, pp. 367–391, 2000.
- [6] AK. Chopra, and RK. Goel "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings," *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 31, no. 3, pp. 561–582, 2002.
- [7] Structural software for analysis and design ETABS 19-0.2, *Computer program*, Version 19.0.2. California (USA): CSI Computers & structures, 2019.
- [8] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı TBDY 2018, 2018.
- [9] *ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE 41-17 Standard, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2017.
- [10] R. Jamal, ve S. B. Yüksel, "TBDY 2018 ve ASCE 41-17'e Göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapı sistemlerinin performans analizinin elde edilmesi ve karşılaştırması," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 432-444, 2021.
- [11] A. Karabulut, "TDY 2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin mevcut betonarme binalar için karşılaştırılması," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [12] M. Sönmez, "DBYBHY-07 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [13] *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS500, 2000.
- [14] Structural software for analysis and design SAP2000, *Computer program*, Version 20.0.0, California (USA): CSI Computers & structures, 2017.
- [15] J. B. Mander, M. J. N. Priestley, and R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete," *Journal of Structural Engineering ASCE*, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.