
Araştırma Makalesi / Research Article

Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın TBDY 2018'e göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Tolunay İBİŞ¹, Hakan ULUTAŞ^{2*}

¹*Yüksek İnşaat Mühendisi, 16290, Bursa*

²*Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur (ORCID: 0000-0003-2687-258X) (ORCID: 0000-0003-1721-7268)*

Öz

Bu çalışmada, tasarımı TBDY (2018)'e göre yapılan ve yapımı devam eden betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme analizi ile performans düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen performans analizinin sonucu TBDY 2018'de verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır. Bina daha yapım aşamasında olduğundan yeni yapılacak bir bina gibi değerlendirilip performans analizi bu kapsamda yapılmıştır. Kesitlerin moment eğrilik analizleri ile plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi için SAP 2000'in "Section Designer" arayüzünde faydalanılmıştır. Yapılan statik itme analizi sonucu kolon ve betonarme perdelerde herhangi bir hasar meydana gelmemiş, kirişlerin ise bazıları belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi kiriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. Binanın yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek modlu statik itme analizi, Yeni betonarme bina, TBDY 2018, Performans analizi, Deprem güvenliği.

Determining the Seismic Performance of a New Reinforced Concrete Building According to Turkish Seismic Code 2018

Abstract

In this study, the Project data were obtained in order to investigate a reinforced concrete building whose design was made according to Turkish Seismic Code (TSC-2018) and whose construction continues. The performance level of the building was determined by using static single-mode pushover analysis, one of the nonlinear evaluation methods. The result of the obtained performance analysis has been compared with the target performance level given in the Turkish Seismic Code. Since the building is still under construction, it is evaluated as a new building and performance analysis has been made within this scope. Plastic hinge properties was determined in SAP 2000's Section Designer interface by using moment curvature analysis of sections. As a result of the static single-mode pushover analysis), no damage occurred on the columns and reinforced concrete walls, and some of the beams remained in the obvious damage zone. Since there was no damage to the vertical bearing elements, the building performance level was decided by looking at the beam damages. It has been determined that the building achieved the target performance level given in Turkish Seismic Code.

Keywords: Static single-mode pushover analysis, New reinforced concrete building, TSC 2018, Performance analysis, Seismic safety.

1. Giriş

Ülkemiz, aktif bir deprem kuşağı olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunduğu ve jeolojik oluşumunu geç tamamlamış genç bir ana karaya sahip olmasından dolayı sıklıkla deprem hareketlerine maruz kalmaktadır[1]. Meydana gelen bu depremlerin sebep olduğu can ve maddi kayıplar depreme dayanıklı yapı tasarımını ve mevcut yapıların deprem performansı değerlendirmesini her geçen gün daha da önemli hale getirmiştir. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilk olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1996 yılında çıkan Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi

*Sorumlu yazar: hakannulutas@gmail.com

Geliş Tarihi: 12.04.2021, Kabul Tarihi: 09.06.2021

(ATC 40) [2] ve 2000 yılında yayınlanan Binaların Sismik İyileştirilmesi için Önstandart ve Açıklamalar (FEMA 356) [3] gibi standartlarda geniş bir şekilde yer almıştır [4]. Ülkemizde ise mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesi kavramı il olarak 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) [5]'nin 7. Bölümünde yer almıştır. DBYBHY (2007) [5] yalnız mevcut binaların deprem performansını kapsamaktaydı. Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesi kavramı ise il kez 1 Ocak 2019 tarihi ile yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [6] içerisinde yer almıştır.

Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi üzerine literatürde birçok çalışma olup bunların büyük bir kısmı DBYBHY (2007) [5]'e göre yapılmıştır [4, 7-13]. TBDY (2018) [6]'in yürürlüğe girmesi ile birlikte bu yönetmelikte verilen esaslara göre de binaların performans değerlendirmesi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bunlardan, Kap vd. [14], 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş mevcut bir okul binasının TBDY (2018) [6]'e göre deprem performans analizini yaparak binadaki taşıyıcı elemanların kapasitelerini belirlemişlerdir. Kürkçü [15] tarafından yapılan tez çalışmasında, 20 katlı betonarme bir yapının TBDY (2018) [6]'e göre tasarımı ve deprem performansı zaman tanım alanında hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Akçora [16] tarafından yapılan tez çalışmasında, 30 katlı betonarme yüksek bir bina Türkiye Bina Deprem yönetmeliğine göre incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kesitler için elde edilen plastik şekil değiştirme ve dönme değerleri TBDY (2018) [6]'de verilen sınırları sağladığı belirlenmiştir. Çapa [17], 3, 5 ve 7 katlı 3 adet model bina oluşturmuş, bu binaların deprem performanslarını TBDY (2018) [6]'de verilen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlemiş, elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada, yeni yapılacak betonarme bir binanın deprem performansının doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Binanın performansının belirlenebilmesi için kesitlerin moment eğrilik analizleri ile plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için SAP 2000 [18]'in "Section Designer" arayüzünden faydalanılmıştır. Yapılan analiz sonucu kolon, kiriş ve betonarme perdelerde meydana gelen hasarlardan faydalanarak bina performans düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen performans analizinin sonucu TBDY (2018) [6]'de verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Mevcut veya yeni yapılacak betonarme binaların performans seviyesinin belirlenmesi için TBDY (2018) [6]'de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere iki yöntem önerilmektedir. Doğrusal elastik hesap yönteminde dayanım esaslı çözüm yapılırken, doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde şekil değiştirme ve yer değiştirme odaklı çözüm yapılmaktadır. Bu çalışmada incelenen binanın performansı doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu itme yöntemi ile yapılmıştır.

2.1. Kesit Hasar Durumları

TBDY (2018) [6]'de sünek elemanlar için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Kesitteki sınırlı miktarda elastik ötesi davranış sınırlı hasarla, kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış kontrollü hasarla, ileri düzeyde elastik ötesi davranış ise göçme öncesi hasarla ifade edilmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmez.

2.2. Kesit Hasar Sınırları

TBDY (2018) [6]'de yayılı ve yığılı plastik davranış modellerine bağlı olarak kesit hasar sınırları verilmiştir. Yayılı plastik davranış modelinde şekil değiştirmeye bağlı hasar sınırları, yığılı plastik davranış modelinde ise plastik dönme kapasitesine bağlı hasar sınırları verilmiştir. Bu çalışmada çubuk eleman olarak modellenen kolon, kiriş ve betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış (plastik mafsal) modeli kullanılmıştır. Sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar (GÖ) durumları için yığılı plastik davranış modeline göre verilen hasar sınırları Tablo 1'de verilmiştir.

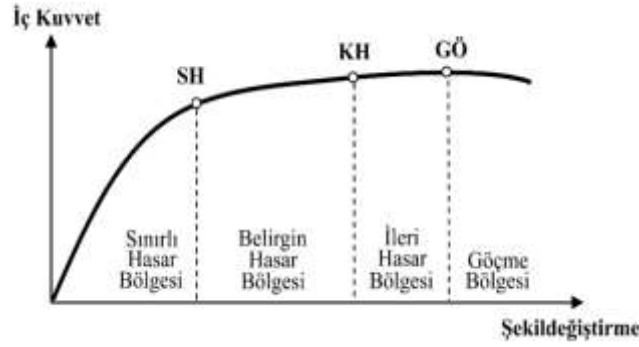
Tablo 1. Hasar durumlarına göre dönme kapasitesi sınırları [6]

Hasar sınırı	Plastik Dönme Sınırı(θ_p)
GÖ	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$
KH	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
SH	$\theta_p^{(SH)} = 0$

Tablo 1’de ϕ_u ile verilen kesitteki göçme öncesi toplam eğriliği; ϕ_y , plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini; L_s , kesme açıklığını; L_p , plastik mafsal boyunu; d_b , ise düğüm noktasındaki donatıların ortalama çapını ifade etmektedir. Bu çalışmada, kesme açıklığı (L_s) kolon ve kirişlerde net açıklığın yarısı, betonarme perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınmıştır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nun yarısına eşit alınmıştır.

2.3. Kesit Hasar Bölgeleri

TBDY (2018) [6]’de Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme bölgesi olmak üzere 4 hasar bölgesi tanımlanmıştır. Elemanın hangi hasar bölgesinde kaldığına elemanın kritik kesitindeki hasara bakarak karar verilir. Eğer elemanın hasarı, sınırlı hasara ulaşamamışsa sınırlı Hasar bölgesinde, sınırlı ile kontrollü hasar arasında ise belirgin hasar bölgesinde, kontrollü hasar ile göçme öncesi arasında ise ileri hasar bölgesinde, göçme öncesi hasar sınırını aşmışsa göçme bölgesindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri [6]

2.4. Performans Düzeyleri

TBDY (2018) [6]’de betonarme yapılar için Kesintisiz Kullanım(KK) performans düzeyi, Sınırlı Hasar(SH) performans düzeyi, Kontrollü Hasar(KH) performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi(GÖ) performans düzeyi olmak üzere 4 performans düzeyi verilmiştir. Bu dört performans düzeyinden herhangi birini sağlayamayan binalar Göçme Durumu’ndadır.

2.4.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Kesintisiz Kullanım(KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma ifade etmektedir.

2.4.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının sınırlı düzeyde hasar görmesi veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı kalmasını ifade eden performans düzeyidir. TBDY (2018) [6]’e göre binanın performans seviyesinin sınırlı hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin en fazla %20’si *belirgin hasar bölgesi*’ne geçebilir.

- Düşey taşıyıcı elemanların tamamı *sınırlı hasar bölgesi* içerisinde bulunmak zorundadır.
- Gevrek hasar gören elemanlar var ise, bu elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

2.4.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının can güvenliğini sağlayacak şekilde çok ağır olmayan hasar görmesi veya meydana gelen hasarın onarılabilir olması durumunu ifade eder. TBDY 2018'e göre binanın performans seviyesinin kontrollü hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %35'lik kısmı *ileri hasar bölgesi*' ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- *İleri hasar bölgesi* 'nde bulunun düşey taşıyıcı elemanların, her kat için düşey taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine toplam katkısı %20' den daha az olmalıdır. En son kat için ise *ileri hasar bölgesi* 'ne geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvveti, yine son katta bulunan düşey taşıyıcı elemanların toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olmalıdır.
- Diğer kalan tüm taşıyıcı elemanlar *sınırlı hasar bölgesi* veya *belirgin hasar bölgesi* 'ndedir. Ancak, binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *belirgin hasar bölgesi* 'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.

2.4.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının ileri düzey hasar gördüğü göçme öncesi durumu ifade etmektedir. TBDY (2018) [6]'e göre binanın performans seviyesinin göçmenin önlenmesi olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %20 lik kısmı *göçme bölgesi* ' ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- Diğer tüm taşıyıcı elemanlar *sınırlı hasar bölgesi*, *belirgin hasar bölgesi* veya *ileri hasar bölgesi* 'ndedir. Ancak, Binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *belirgin hasar bölgesi* 'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.
- Göçme öncesi performans düzeyindeki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

2.4.5. Göçme durumu

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi'ni sağlayamayan binalar göçme durumu'ndadır. Göçme durumundaki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

2.5. Bina Performans Hedefleri

TBDY 2018'de yeni yapılacak binaların sağlamları gereken performans hedefleri deprem tasarım sınıflarına göre Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca bu tabloda binanın performans hedefinin belirlenmesinde uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları da belirtilmiştir.

Tablo 2. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları [6]

Deprem Yer Hareket Düzeyi	DTS=1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2		DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

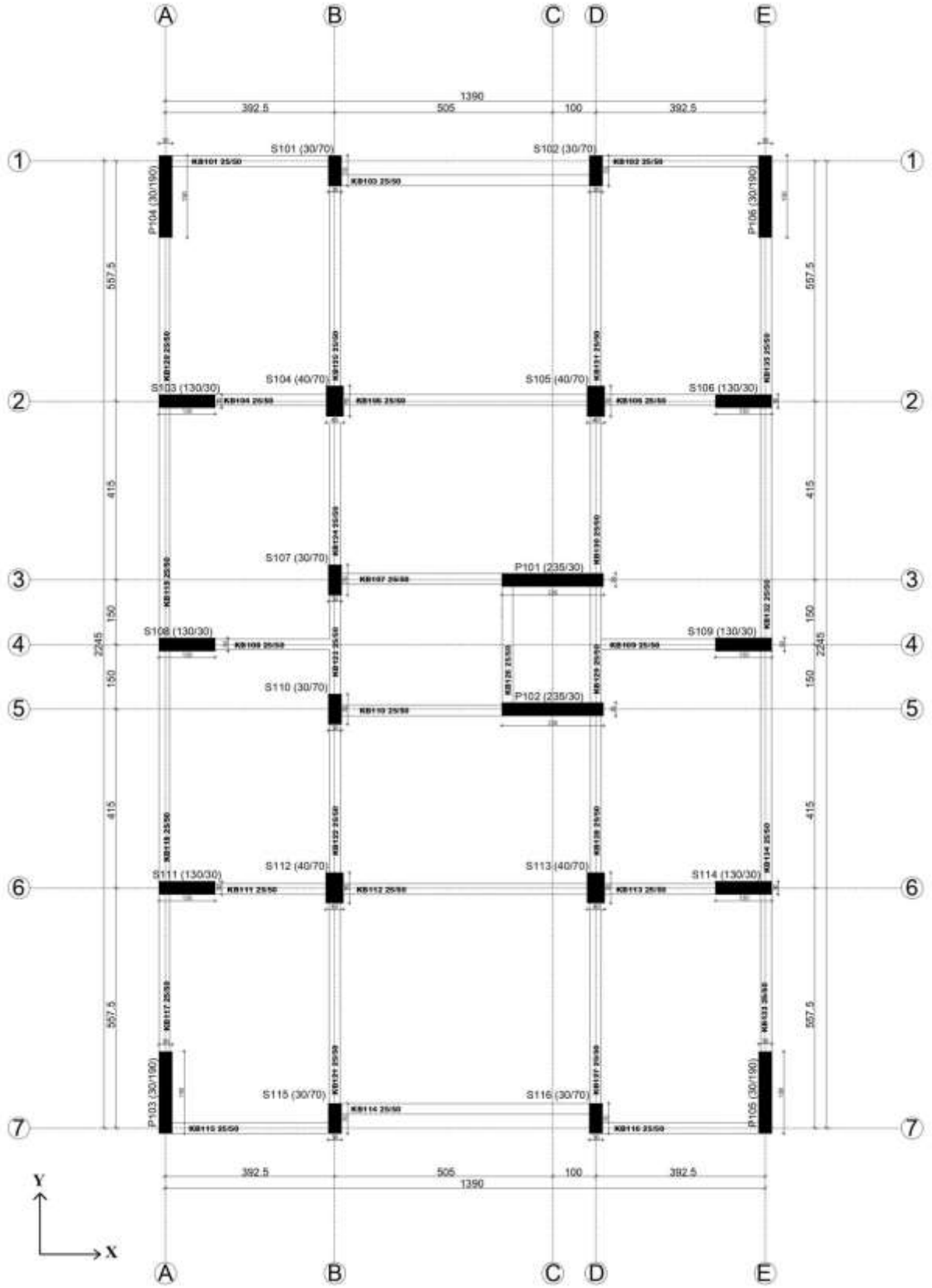
⁽¹⁾ BYS > 3 olan binalarda, ⁽²⁾ BYS = 2,3 olan binalarda uygulanacaktır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, yeni yapılacak 8 katlı betonarme bir binanın deprem performansı incelenmiştir. Bu kapsamda Bursa ili Yıldırım ilçesinde bulunan ve TBDY (2018) [6]'e göre tasarlanıp yapımına devam edilen bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın genel özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Kat sayısı: 8
- Kat yüksekliği (h): 2.8 m
- Yapı toplam yüksekliği: 22.4 m
- Yapı taban alanı: 312 m^2
- Yapı Kullanım Amacı: Konut
- Beton sınıfı: C35
- Donatısı sınıfı: S420
- Yerel zemin sınıfı: ZD

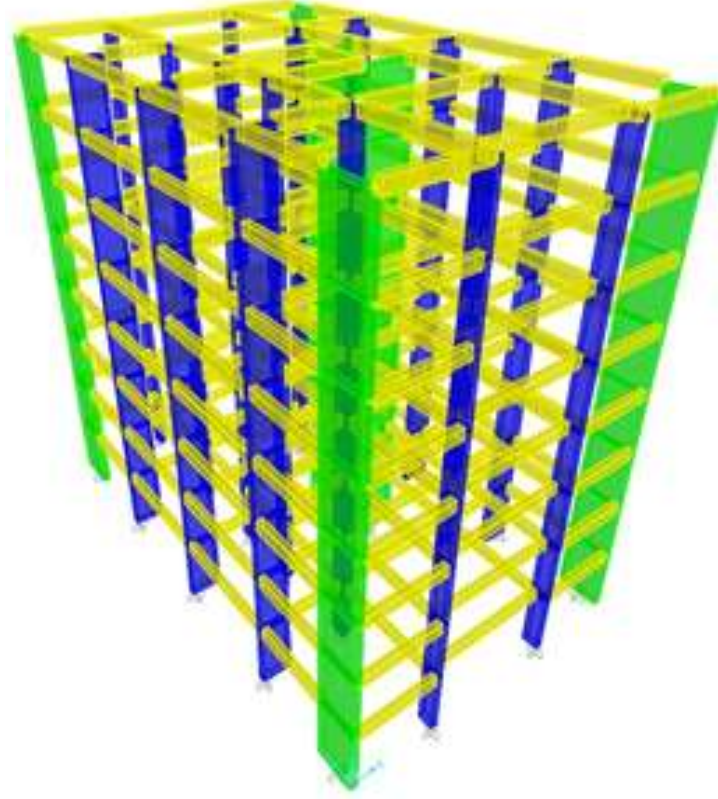
X eksenine göre simetrik olan binanın kalıp planı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tüm katların kalıp planı

3.1. Analiz Modelinin Oluşturulması

İncelenen binanın 3D modeli, SAP 2000 v21. [18] programı ile oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Binanın SAP 2000’de oluşturulan modeli

3.2. Kesitlerin Plastik Mafsal Özelliklerinin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelecek hasarların tespit edilebilmesi için bu elemanların plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Kesitlerin plastik mafsal özelliklerinin belirlenebilmesi için ise her bir kesitin moment eğrilik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kesitlerin moment eğrilik analizleri SAP 2000 programında “Section Designer” arayüzünde yapılmıştır.

3.2.1. Doğrusal olmayan malzemenin modellenmesi

TBDY 2018’ in 5.4.1.5 (b) maddesine göre yeni yapılacak olan yapılarda *Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım* yaklaşımında beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları kullanılmalıdır. Beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Malzemelerin beklenen ortalama dayanımları [6]

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$

Burada, f_{ce} ; betonun ortalama basınç dayanımını, f_{ck} ; beton karakteristik basınç dayanımı, f_{yk} ; donatı çeliği karakteristik akma dayanımını, f_{ye} ; donatı çeliğinin ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir.

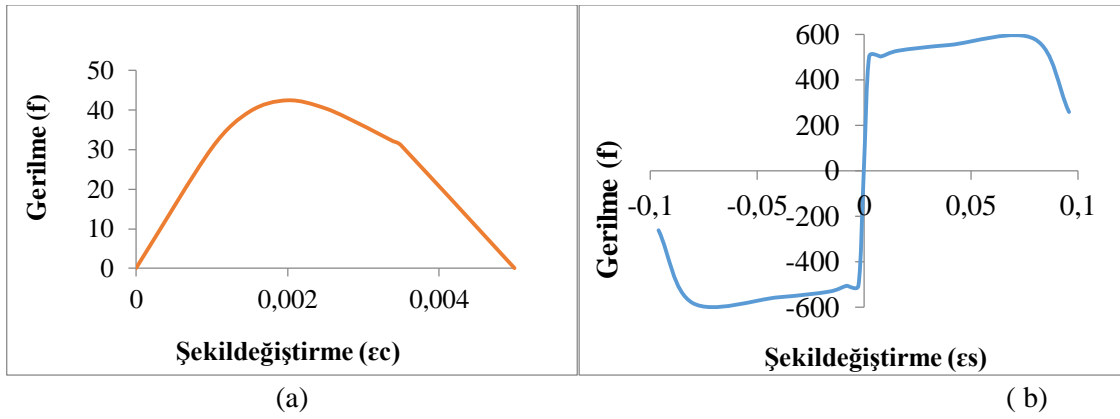
Moment eğrilik analizlerinde kullanılan beton ile donatının özellikleri Tablo 4’te verilmiştir. Donatı çeliğinin bu özelliklerinin belirlenmesinde TBDY 2018 [6] Tablo 5A.1.’den faydalanılmıştır.

Tablo 4. Beton ve donatının özellikleri

Beton	f_{ck} : 35 N/mm ²
	$f_{ce} = 1.3 \times 35 = 45.5$ N/mm ²
	E_c : $3250 \sqrt{45.5} + 14000 = 35922.45$ N/mm ²
Donatı	$f_{ye} = 1.2 \times 420 = 504$ N/mm ²
	E_s : 200000 N/mm ²
	ϵ_{sy} : 0.0021
	ϵ_s : 0.008
	ϵ_s : 0.08
	f_{su} : 504 N/mm ²
	f_{su} : $1.15 \times 504 = 580$ N/mm ²

Burada, E_c ; betonun elastik modülünü, E_s ; donatı çeliğinin elastik modülünü, ϵ_{sy} ; donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesini, ϵ_{sh} ; donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesini, f_{sy} ; donatı çeliğinin akma dayanımını, f_{su} ; donatı çeliğinin kopma dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 4'te verilen özelliklere bağlı olarak sargısız beton ile donatı için oluşturulan gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** Sargısız beton(a) ile donatının (b) gerilme-şekil değiştirme diyagramı

3.2.2. Kiriş kesitlerinin plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi

Kesitlerin plastik mafsal özellikleri, enine ve boyuna donatı, kesit boyutları ve açıklık mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Bu özellikleri aynı olan kirişlere bir tip kesit ismi verilmiştir. İncelenen binada 9 farklı tip kesit vardır. Her tip kiriş için B1'den B9'a kadar isim verilmiştir. Kiriş tip kesitlerinin özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Kiriş özellikleri katlara göre değişiklik göstermediğinden tabloda sadece 1. katın kirişleri yazılmıştır.

Tablo 5. Kiriş tip kesitleri ve bilgileri

Kesit Tipi	Kiriş Adı	b x h (cm)	Net Açıklık (m)	Boy	Donatı Bilgileri		
					Alt Donatı	Üst Donatı	Enine Donatı
B1	K101-K102-K115-K116	25x50	3.60		2Ø12+2Ø14	2Ø12+2Ø14	8Ø/9
B2	K103-K105-K112-K114		5.75		2Ø14+2Ø16	5Ø14	
B3	K104-K106-K108-K109-K111-K113		2.60		2Ø12+2Ø16	2Ø12+3Ø16	
B4	K107-K110		3.70		4Ø12	2Ø12+3Ø14	
B5	K117-K120-K133-K135-K122-K124-K128-K130		3.65		2Ø12+2Ø16	2Ø14+2Ø16	
B6	K121-K125-K127-K131		4.65		4Ø16	2Ø14+3Ø16	
B7	K118-K119-K132-K134		5.35		1Ø14+2Ø16	3Ø14	
B8	K126-K129		2.70		1Ø14+2Ø16	3Ø12	
B9	K123		2.30		2Ø14+2Ø16	5Ø12	

Yapılan moment eğrilik analizi sonucu 9 tip kesitin her birinin akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikleri (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentleri (M_u) elde edilmiştir. Kirişler için bulunan bu değerlerde akma yüzeyi olarak 0° ve 180° için hesaplama yapılmıştır. B2 tip kirişinin moment eğrilik analizi sonucu elde edilen değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. B2 tip kirişin eğrilik analizi değerleri

Kiriş Tipi	Akma Yüzeyi	ϕ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	ϕ_u (m^{-1})	M_u (kNm)
B2	0°	0.00807	173.4675	0.1865	180.0126
	180°	0.00823	187.4965	0.1868	194.8395

Tablo 6'da yer alan değerler dikkate alınarak sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar durumlarının her biri için plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. 0° akma yüzeyi için hesaplanan plastik dönme sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

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

B2 tip kirişinin net uzunluğu $5.75 \Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875$ m

$L_p = h/2 = 0.50/2 = 0.25$ m

$d_b = 0.015$ mm

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.1865 - 0.00807) 0.25 \left(1 - 0.5 \frac{0.25}{2.875} \right) + 4.5 \times 0.1865 \times 0.015 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.036839 \text{ rad}$$

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

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.036839 = 0.02762925 \text{ rad}$$

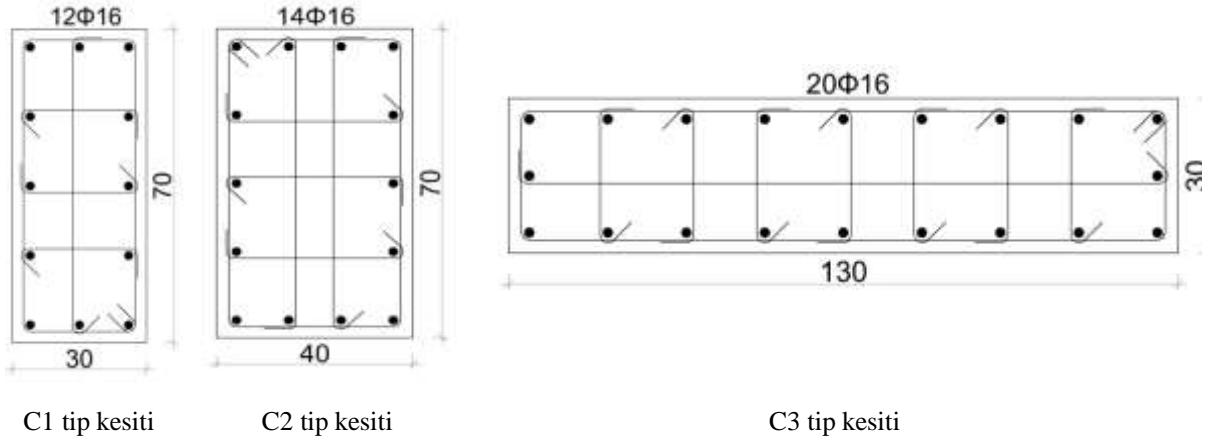
$$\theta_p^{(SH)} = 0$$

3.2.3. Kolon ve betonarme perde kesitlerinin plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi

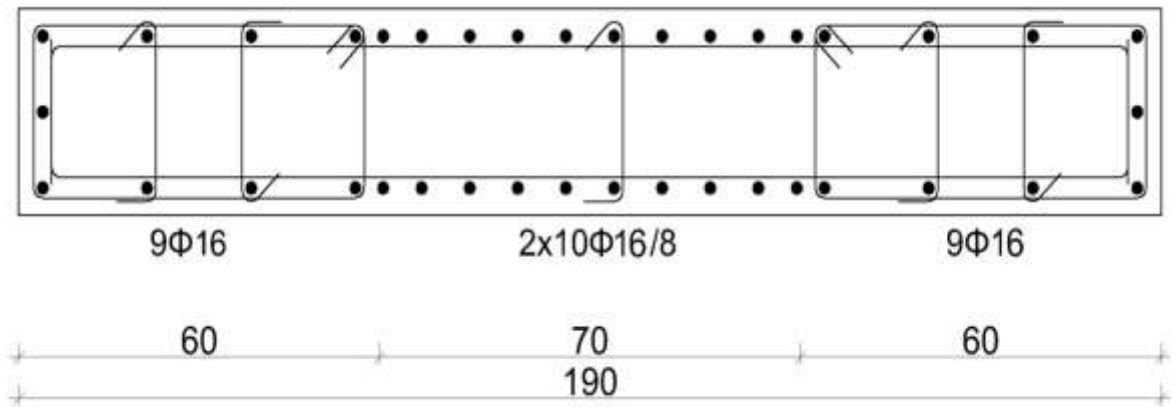
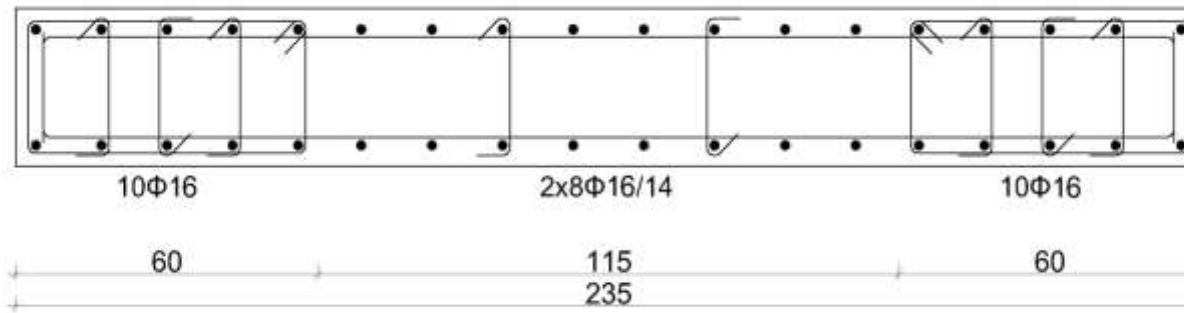
Kolon ve betonarme perdelerde de kirişlere benzer olarak enine ve boyuna donatı, kesit boyutları ve açıklık mesafesine göre tip kesit adlandırılması yapılmıştır. Kolonlar için kesit tipleri C harfi ile betonarme perdeler için W ile oluşturulmuştur. İncelenen binada 3 tip kolon, 2 tip betonarme perde kesiti bulunmaktadır. Kolon ve betonarme perde tip kesitlerinin özellikleri Tablo 7'de kesitleri ise Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 7. Kolon ve betonarme perde kesitlerinin özellikleri

Kesit Tipi	Kolonlar	b x h	Sıklaştırma Bölgesi Enine Donatısı
C1	S101-S102-S107-S110-S115-S116	30x70	8Ø/8
C2	S104-S105-S112-S113	40x70	8Ø/8
C3	S103-S106-S111-S114	130x30	8Ø/8
W1	P101-P102	235x30	8Ø/8
W2	P103-P104-P105-P106	30x190	8Ø/8



Şekil 5a. Kolon tip kesitleri



Şekil 5b. Betonarme perde tip kesitleri

Kolon ve betonarme perdelerin moment eğrilik bağıntılarının elde edilmesinde kirişlerden farklı olarak aksel yük seviyesi de dikkate alınmıştır. Kesitlerin moment-eğrilik analizleri 9 adet aksel yük altında yapılmıştır. Moment-eğrilik analizleri 0^0 ve 90^0 olmak üzere 2 doğrultu için yapılmıştır. M2 eğilme doğrultusu için 0^0 'dan elde edilen moment-eğrilik değerleri, M3 eğilme doğrultusu için 90^0 'dan elde edilen moment-eğrilik değerleri kullanılmıştır. C1 tip kolon kesiti için yapılan moment eğrilik analizi sonucu elde edilen akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikler (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentler (M_u) aksel yük seviyesi ve akma yüzeyine bağlı olarak Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. C1 tip kolonun moment eğrilik analizi sonuçları

Kolon Tipi	P (kN)	Akma Yüzeyi	Φ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	Φ_u (m^{-1})	M_u (kNm)	L_p
C1	-7395	0°	0.01130	309.9739	0.0538	191.0999	0.15
		90°	0.00462	742.3118	0.0218	498.7976	0.35
	-6660	0°	0.01270	354.8609	0.0588	258.9297	0.15
		90°	0.00513	844.2299	0.0237	660.5676	0.35
	-5465	0°	0.01550	402.6571	0.0696	342.0784	0.15
		90°	0.00622	947.5434	0.0283	833.8808	0.35
	-4207	0°	0.01970	426.003	0.0901	368.5381	0.15
		90°	0.00784	989.0779	0.0354	906.8484	0.35
	-2740	0°	0.01930	387.7868	0.1233	358.2386	0.15
		90°	0.00773	903.8282	0.0496	871.159	0.35
	-2078	0°	0.01740	341.1767	0.1592	332.1316	0.15
		90°	0.00741	820.0568	0.0622	801.6431	0.35
	-1352	0°	0.01640	291.697	0.2255	288.9669	0.15
		90°	0.00714	701.7643	0.0789	695.2434	0.35
	-643.388	0°	0.01570	230.6674	0.3682	233.4912	0.15
		90°	0.00703	562.7579	0.1122	569.9397	0.35
	226.1852	0°	0.01480	135.1166	0.341	138.3892	0.15
		90°	0.00728	342.0772	0.1318	359.3741	0.35

Moment eğrilik analiz sonuçlarından faydalanarak kesit hasar sınırlarına tekabül eden plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. C1 tipi kesitinin 0° akma yüzeyi için 7395 kN eksenel yük altında plastik dönme sınır değerleri aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((\Phi_u - \Phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \Phi_u d_b \right)$$

$$L_s = 2.30/2 = 1.15 \text{ m}$$

$$L_p = h/2 = 0.30/2 = 0.15 \text{ m}$$

$$d_b = 0.016$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.0538 - 0.01130) 0.15 \left(1 - 0.5 \frac{0.15}{1.15} \right) + 4.5 \times 0.0538 \times 0.016 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.006555$$

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

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.006555 = 0.0049162$$

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

3.2.4. Plastik mafsal kesitlerinin oluşturulması

Her bir taşıyıcı elemanın plastik mafsal özellikleri belirlendikten sonra kiriş, kolon ve betonarme perdeler için plastik mafsal kesitleri oluşturulmuştur. Kirişler için eksenel kuvvet ihmal edildiğinden bu kesitlerin modellenmesinde M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Kolon ve betonarme perde kesitlerine eğilme momenti ile birlikte eksenel kuvvet de etki ettiği için bu kesitler için P-M2-M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Kolon ve betonarme perde kesitleri için ayrıca 0°, 45° ve 90° olmak üzere 3 adet akma yüzeyi tanımlanması da yapılmıştır. Plastik mafsal kesitleri tanımlandıktan sonra bu kesitlerin binanın 3D modelinde bulunan ilgili kesitlere atanmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarının her iki ucuna plastik mafsal atanmıştır. Perdelerde ise sadece elemanın alt ucuna plastik mafsal atanmıştır.

3.3. Etkin Kesit Rijitliklerinin Hesaplanması

TBDY (2018) [6]'e göre yeni yapılacak binalarda yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş ve betonarme perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem 1'e göre belirlenmektedir.

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

Burada, M_y ; çubuk elemanların uç bölgelerindeki plastik mafsalların etkin akma momentlerinin ortalamasını, θ_y ; çubuk elemanların uç bölgelerindeki plastik mafsalların akma dönmelerinin ortalamasını ifade etmektedir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri (M_y) moment eğrilik analizi ile belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının akma dönmeleri (θ_y) ise Denklem 2 ile belirlenmektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2)$$

Burada, ϕ_y plastik mafsalsındaki etkin akma eğriliğini ifade etmektedir. η katsayısı ise kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde 0.5 alınmaktadır.

- Kirişlerin Etkin Kesit Rijitliği

B2 tip kiriş kesitinin etkin kesit rijitlik çarpanı aşağıda hesaplanmıştır. Kirişin moment eğrilik analizi sonuçları Tablo 6'dan alınmıştır.

- 0° Akma yüzeyi için;

Kirişin net boyu 5.75 m $\Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875$ m

$M_y = 173.4675$ kNm

$\phi_y = 0.00807$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

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

$$\theta_y = \frac{0.00807 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00807 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01075 \text{ rad}$$

- 180° Akma yüzeyi için;

$M_y = 187.4965$ kNm

$\phi_y = 0.00823$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

$$\theta_y = \frac{0.00823 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00823 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01093 \text{ rad}$$

$$M_{y,ort} = \frac{173.4375 + 187.4965}{2} = 180.482 \text{ kNm}$$

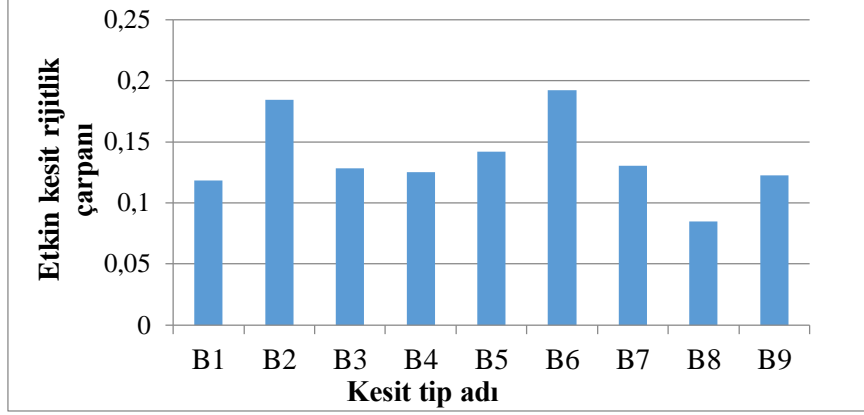
$$\theta_{y,ort} = \frac{0.01075 + 0.01093}{2} = 0.01084 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{180.482}{0.01084} \times \frac{2.875}{3} = 15954.78 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_o = 86529.32 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_o} = 0.184386$$

Diğer tip kiriş kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kirişlerin etkin kesit rijitlik çarpanları

- Kolon ve betonarme perdelerin etkin kesit rijitliği

Düşey taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliklerinin hesabı için ise bina önce $G+nQ$ kombinasyonu altında analize tabi tutulmuştur. Burada; G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, n hareketli yük azaltma katsayısını göstermektedir. Her bir düşey taşıyıcı elemenda bu yük birleşimi altında meydana gelen eksenel yük değeri belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri (M_y) ve plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğrilikleri (ϕ_y) elde edilen bu eksenel yük altında yapılan Moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir. C3 Tip kolon kesiti içinde yer alan S103-S106-S111-S114 kolonları ile S108-S109 kolonlarının yapı içindeki konumları farklı olduğundan bu kolonlardan $G+nQ$ yük birleşimi altında elde edilecek olan eksenel yük değerleri farklı olacaktır. Eksenel yük değerleri farklı olması da etkin kesit rijitlik çarpanını da değiştirecektir. Bu yüzden etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi aşamasında S103-S106-S111-S114 kolonları C3_1 tip kolon olarak, S108-S109 kolonları ise C3_2 tip kolon olarak adlandırılmıştır. $G+nQ$ yük birleşimi altında her kat için tip kesite bağlı olarak elde edilen eksenel yük değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. $G+0.3Q$ yük birleşimi altında kolon/perdelerde oluşan eksenel kuvvetler (kN)

Kesit Tipi	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat	7. Kat	8. kat
C1	-1222.5	-1061.5	-902.12	-743.65	-586.04	-429.09	-272.52	-116.75
C2	-2040.5	-1768.5	-1502.4	-1240.1	-980.93	-724.48	-469.64	-217.45
C3_1	-1250.3	-1096.7	-939.89	-781.13	-620.65	-458.79	-296.16	-131.85
C3_2	-1443.2	-1261.1	-1078.0	-894.09	-709.50	-524.4	-338.91	-153.20
W1	-2067.5	-1812.3	-1554.4	-1293.8	-1031.1	-766.85	-501.32	-234.95
W2	-1022.1	-898.50	-771.61	-642.85	-512.43	-380.7	-248.17	-114.22

C1 tipi bir kolonun 1.kat için 0^0 Akma yüzeyinin etkin kesit rijitlik çarpanının hesaplanması aşağıda yapılmıştır. Kolonun etkin akma momentleri(M_y) ve etkin akma eğrilikleri(ϕ_y) 1222.5 kN eksenel yük altında yapılan moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir

Kolonun net boyu 2.30 m $\Rightarrow L_s = 2.30/2 = 1.15$ m

$M_y = 281.7803$ kNm

$\phi_y = 0.01630$ rad/m

$d_b = 0.0016$ m

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

$$\theta_y = \frac{0.01630 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.3}{1.15} \right) + \frac{0.01630 \times 0.0016 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

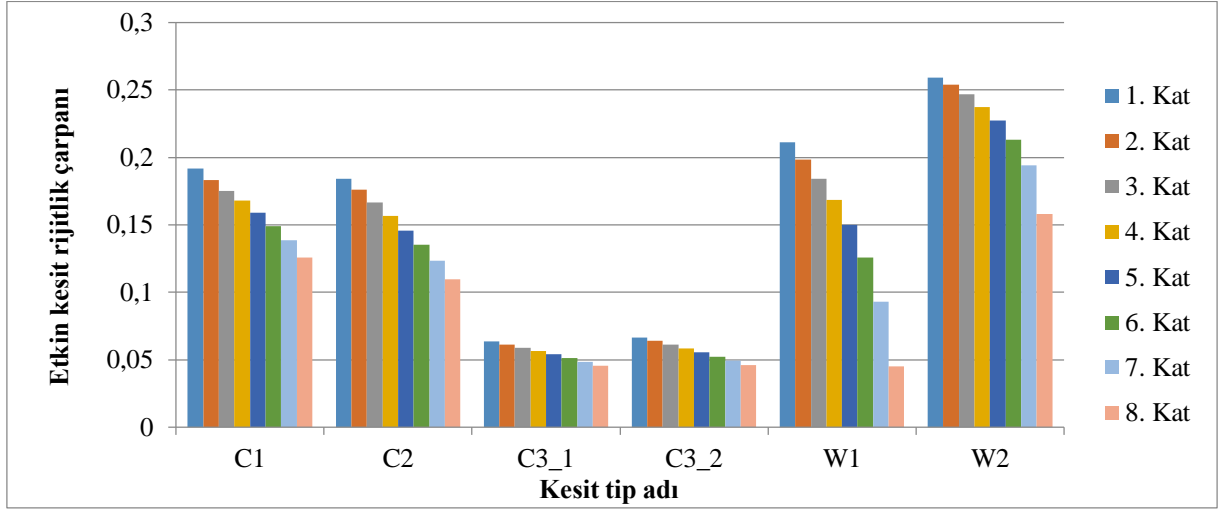
$$\theta_y = 0.010771 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{281.7803}{0.010771} \times \frac{1.15}{3} = 10028.3 \text{ kNm}^2$$

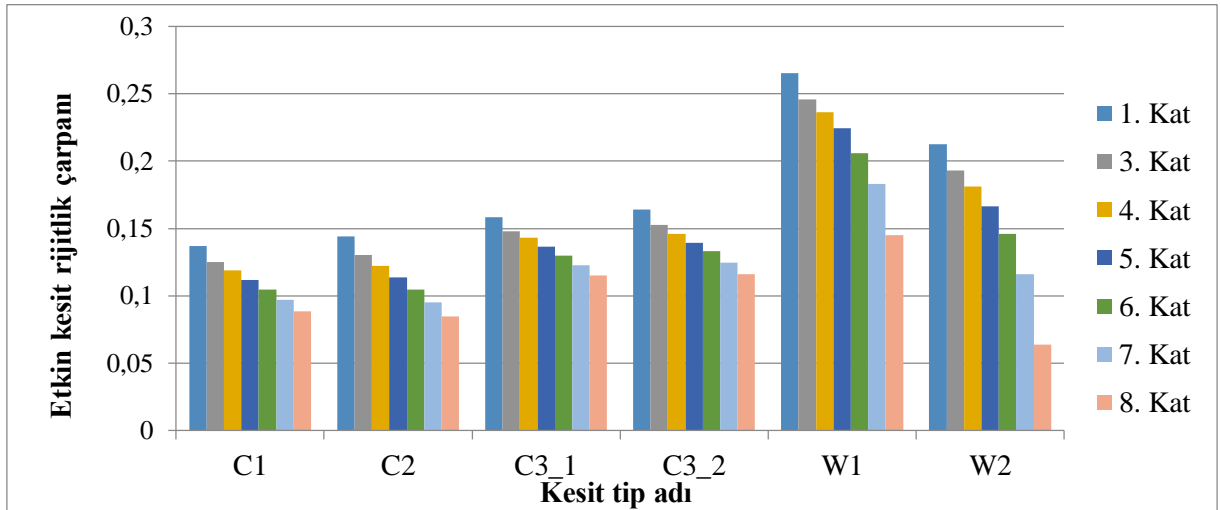
$$X \text{ doğrultusu Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_x = 52332.93 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_x} = \mathbf{0.192}$$

Diğer tip kolon ve betonarme perde kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7a. Kolon ve perdelerin X doğrultusu için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları



Şekil 7b. Kolon ve perdelerin Y doğrultusu için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları

3.4. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Tanımlanması

TBDY 2018 [6]'e göre statik itme analizinden önce statik düşey yüklerin hesaplanarak yapıya artımsal olarak uygulanması gerekmektedir. Doğrusal olmayan statik hesap olan bu yöntemle bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet değerleri yatay deprem hesabının başlangıç adımı olarak kullanılmalıdır. Statik itme analizinin başlangıç adımı olan statik düşey yükler Denklem 3 ile hesaplanmaktadır.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3)$$

Burada, $E_d^{(Z)}$ ise düşey deprem etkisini ifade etmektedir. Düşey deprem etkisi ($E_d^{(Z)}$) Denklem 4 ile elde edilmektedir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3) S_{DS} G \quad (4)$$

Burada; S_{DS} binanın kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir. Binaın bulunduğu konum, yer hareket düzeyi ve zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınmaktadır. Denklem 4 ile elde edilen $E_d^{(Z)}$, Denklem 3'te yerine koyulursa Denklem 5 elde edilir.

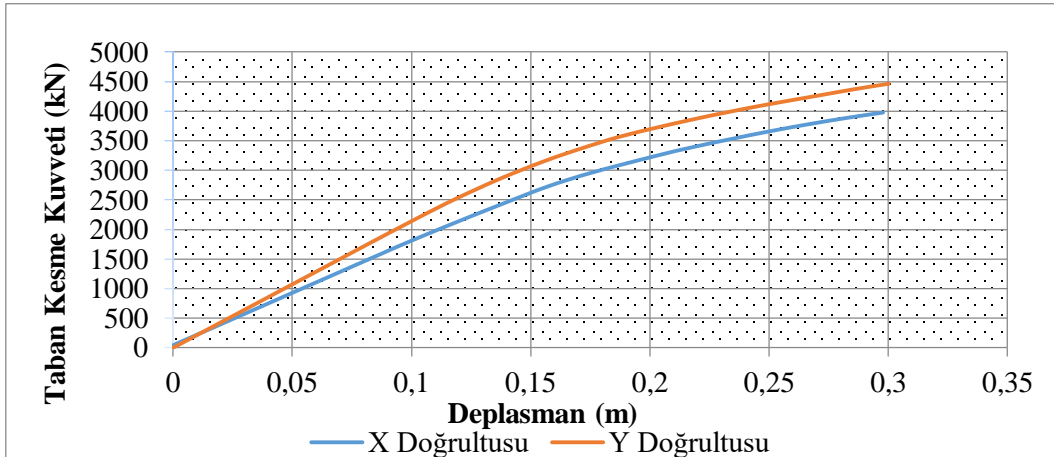
$$G(1 + 0.2 \times S_{DS}) + nQ \quad (5)$$

Konut türü binalar için n değeri 0.3 alınmalıdır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) için ise hedef performans seviyesi için gerekli yer hareket düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Yeni yapılacak bir binanın hedef performans seviyesi Tablo 2'e göre belirlenmektedir. Tablo 2'de yer alan Deprem Tasarım sınıfı ise DD-2 deprem düzeyine için S_{DS} değerine göre belirlenmektedir. Binaın bulunduğu konum, DD-2 deprem yer hareket düzeyi ve ZD zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından $S_{DS} = 0.973$ olarak elde edilmiştir. TBDY 2018 [6] de yer alan Tablo 3.2'e göre konut türü bir binanın $S_{DS} = 0.973$ için DTS=1 olmaktadır. Bu durumda Tablo 2'e göre binanın hedef performans seviyesi DTS=1 için DD-2 deprem yer hareket düzeyine göre Kontrolü Hasar(KH)'dır. DD-2 deprem düzeyi için S_{DS} değeri ile n değerleri Denklem 5'te yerlerine yazılırsa Denklem 6 elde edilir.

$$1.195G + 0.3Q \quad (6)$$

Denklem 6.14'de yer alan G ve Q yüklerinin önündeki katsayılar SAP 2000'de tanımlanan statik düşey yüklemenin scale faktörleri olarak kullanılmıştır

Sabit tek modlu itme analizi, deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde yük artımı prensibine dayanmaktadır. İncelenen binanın her bir katına, ilgili doğrultunun mod şekli genliği ile katlara ait kütlelerin çarpımıyla elde edilen değerlere göre yatay yükler uygulanmış, yapılan statik itme analizi sonucu Şekil 8'de verilen kapasite eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 8. Binaın her iki doğrultusunun kapasite eğrileri

3.5. Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Binaın taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek hasarların belirlenmesi için binanın her iki doğrultuda hedef deplasman seviyesine kadar statik itme analizine tabi tutulması gerekir. Hedef deplasman seviyesinin belirlenmesi için kapasite eğrisi ile talep spektrumu aynı grafikte kesiştirilmelidir. Kapasite

eğrisi ile talep spektrumunun eksen takımları aynı olmadığından öncelikle kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının dönüştürülmesi gereklidir. Kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının değiştirilmesi ile modal kapasite eğrisi oluşturulur. Eksen takımının dönüştürülmesi ile spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) eksenleri elde edilir. Eksen dönüştürme işlemi hakkında detaylı bilgilendirme TBDY 2018 [6] 5B.1. maddesinde bulunmaktadır. Eksen takımının dönüştürülmesi için gerekli parametreler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için gerekli veriler

Yön	Kat	Kat Kütleli kNs ² /m	Mod şekli genliği (m)	M_1 (kNs ² m)	L_{x1} (kNs ²)	$\Gamma_1^{(X)}$ (1/m)	M_{x1} (kNs ² /m)
X	1	4026.19	0.001461	1.024	49.212	48.065	2365.345
	2	4026.19	0.004827				
	3	4026.19	0.00919				
	4	4026.19	0.013903				
	5	4026.19	0.018483				
	6	4026.19	0.022573				
	7	4026.19	0.02592				
	8	3340.118	0.028387				
Y	1	4026.19	0.001556	1.021	49.444	48.438	2394.989
	2	4026.19	0.005069				
	3	4026.19	0.009513				
	4	4026.19	0.014204				
	5	4026.19	0.018667				
	6	4026.19	0.022572				
	7	4026.19	0.025702				
	8	3340.118	0.027953				

Modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği nokta elastik tasarım spektral yer değiştirme $S_{de}(T_1)$ olarak ifade edilmektedir. X ve Y doğrultularının her biri için elastik tasarım spektral yer değiştirmeler elde edilmiştir. Talep ve kapasite spektrumlarının ikisi de elastik tabanlı olduğundan modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği noktayı her zaman doğrusal olmayan spektral yer değiştirme $S_{di}(T_1)$ olarak ifade etmek doğru olmayacaktır. Denklem 7 ile de anlaşılacağı üzere elastik tasarım spektral yer değiştirmeden doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye geçiş için C_R dönüştürme katsayısı kullanılmaktadır.

$$S_{di1} = C_{R1}S_{de1} \quad (7)$$

C_R dönüştürme katsayısı ile ilgili detaylı işlemler TBDY 2018 [6]'in 5B.3. maddesinde bulunmaktadır. X ve Y doğrultularının her ikisinde de hakim titreşim periyod S_{DS}/S_{D1} değerinden büyük olduğu için yönetmelik gereği C_R dönüştürme katsayısı her iki doğrultuda da 1 alınmıştır. Bu durumda her iki doğrultuda da elastik tasarım spektral yer değiştirme doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirmeye eşit çıkmıştır [$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = S_{de}(T_1)$]. Elde edilen $d_{1,max}^{(X)}$ değeri Denklem 8'de yerine koyularak hedef yer değiştirme istemi ($u_{Nx1}^{(X)}$) elde edilmiştir.

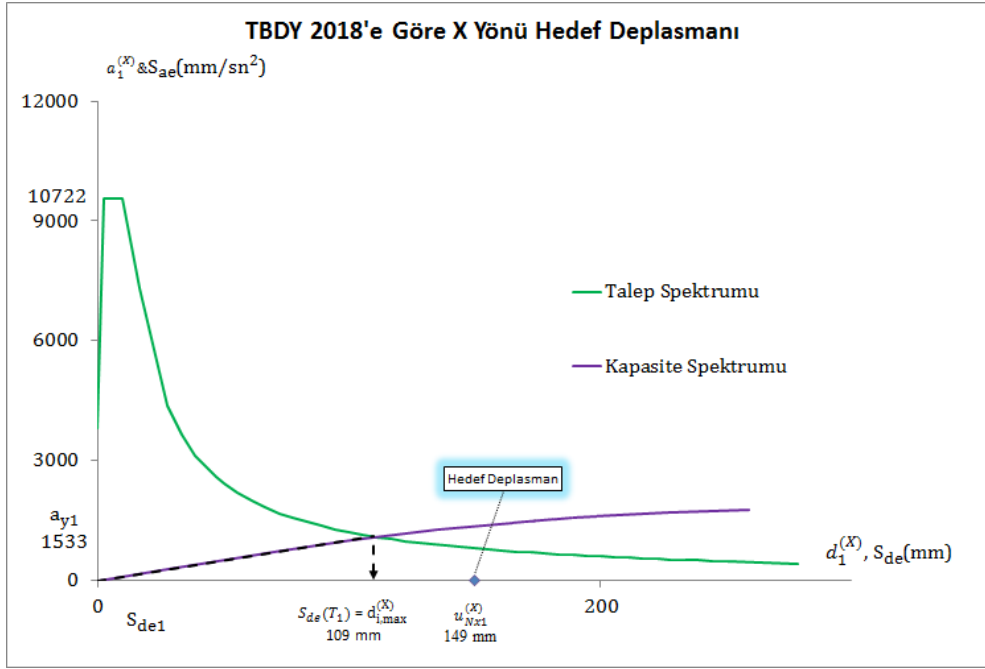
$$u_{Nx1}^{(X)} = \Phi_{Nx1}\Gamma_1^{(X)}d_{1,max}^{(X)} \quad (8)$$

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesi için gerekli yardımcı veriler ile bu verilerin kullanılmasıyla elde edilen hedef deplasmanlar istemleri Tablo 11'de verilmiştir.

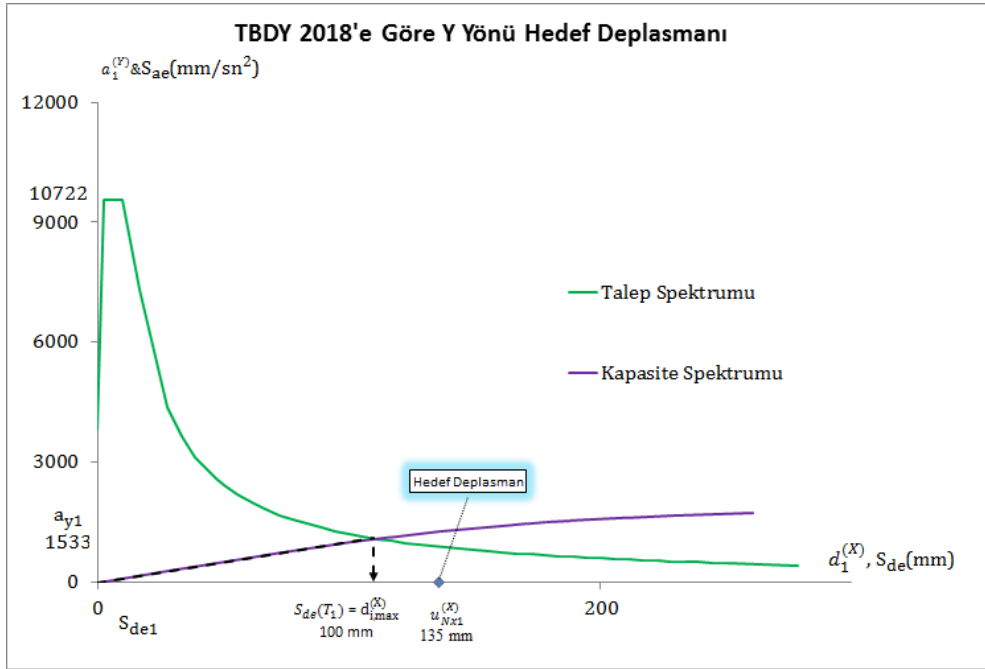
Tablo 11. Hedef deplasman istemleri

Doğrultu	$S_{de}(T_1)$ (mm)	$d_{1,max}^{(X)}$ (mm)	Φ_{Nx1}	$\Gamma_1^{(X)}$	$u_{Nx1}^{(X)}$ (mm)
X	109.6	109.6	0.028387	48.065	149
Y	100.19	100.19	0.027953	48.438	135

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesinde kullanılan grafikler Şekil 9'da verilmiştir.



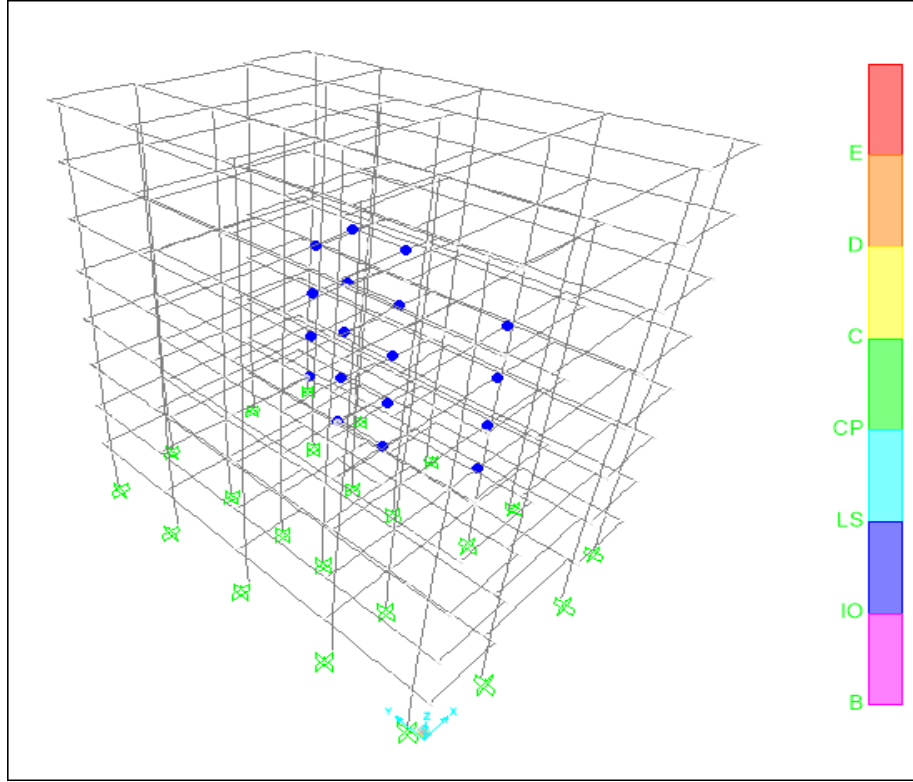
Şekil 9a. X doğrultusunun hedef deplasman isteminin belirlenmesi



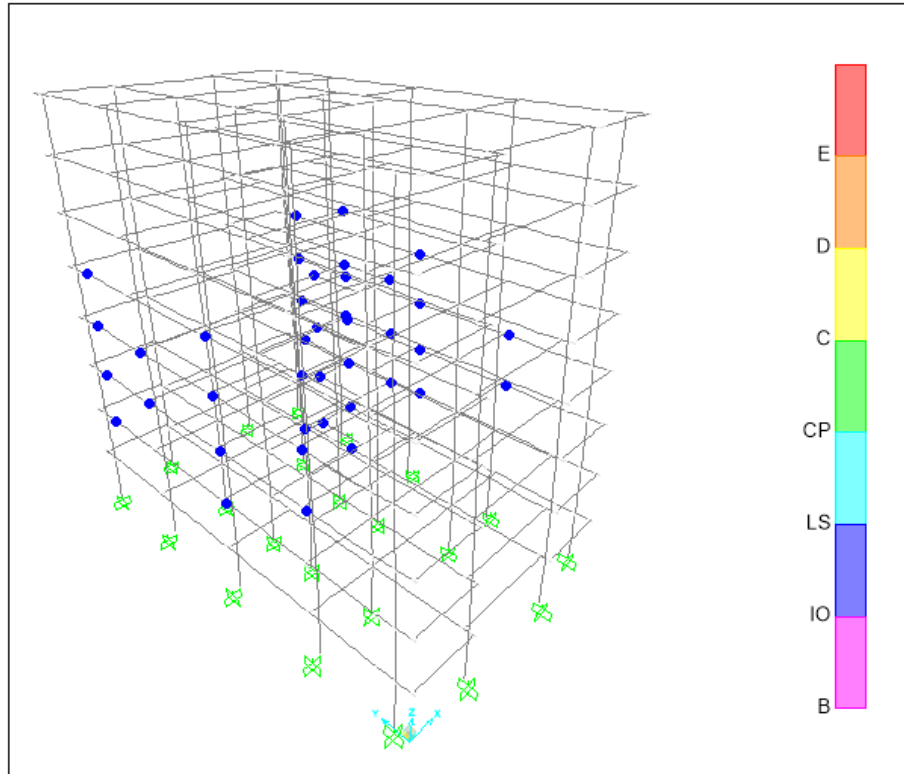
Şekil 9b. Y doğrultusunun hedef deplasman isteminin belirlenmesi

3.6. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Yapılması

İncelenen binanın X ve Y doğrultularının her biri için hedef deplasman seviyesine kadar sabit tek modlu statik itme analizi yapılmıştır. Böylece her bir taşıyıcı elemanda meydana gelen hasarla belirlenmiştir (Şekil 10).



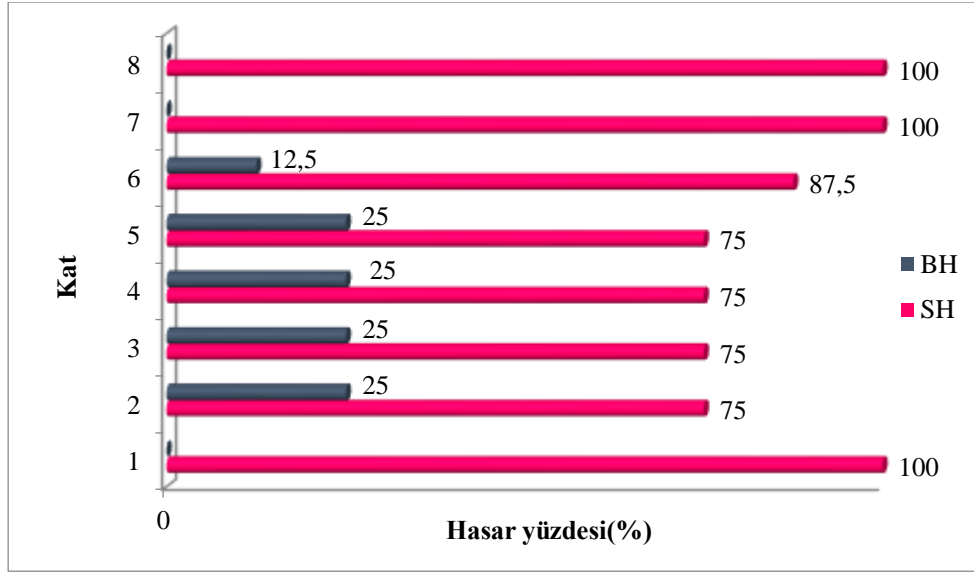
Şekil 10a. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar



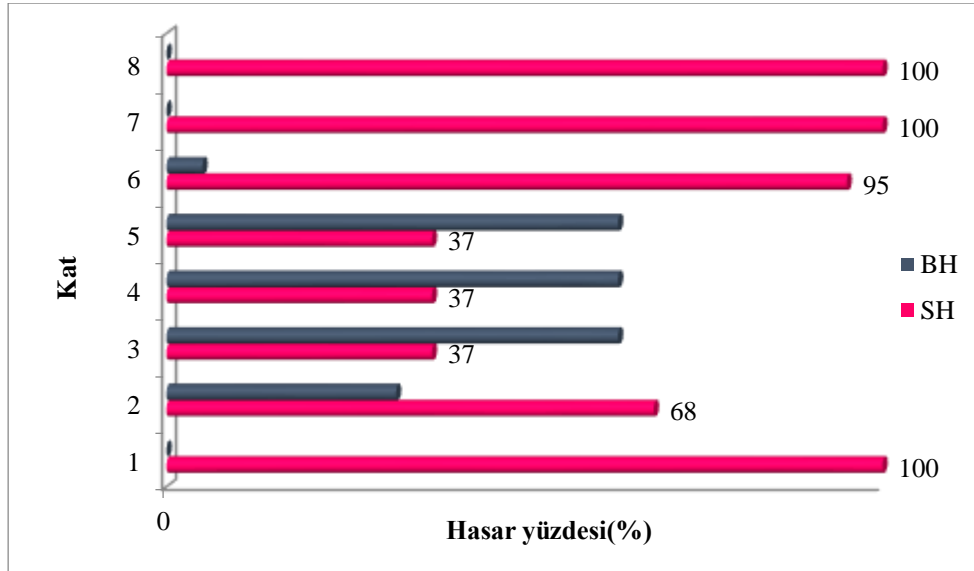
Şekil 10a. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar

Şekil 10 incelendiğinde tüm katlarda tüm düşey taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmediği görülmektedir. Kirişlerdeki hasar incelendiğinde ise bazı kirişlerin belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Mafsallaşma renginin mavi olması ilgili elemandaki hasarın sınırlı hasar sınırını aştığı ve belirgin hasar bölgesinde kaldığını göstermektedir. Bina'nın performans seviyesinin belirlenmesi için kat ve doğru'lu bazında belirgin hasar bölgesine geçen kirişlerin oransal olarak

belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 11a'da X doğrultusu için Şekil 11b'de ise Y doğrultusu için katlara göre girişlerin yüzdelik olarak ne kadarının hangi hasar bölgesinde kaldığını görülmektedir.



Şekil 11a. X doğrultusu için yüzdelik olarak giriş hasar bölgeleri



Şekil 11b. Y doğrultusu için yüzdelik olarak giriş hasar bölgeleri

Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi giriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. TBDY 2018 [6]'e göre binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, belirgin hasar bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'sine eşit veya altında ise ilgili katın performans düzeyi Sınırlı'dır. 1., 6., 7. ve 8. katlarda her iki doğrultuda da belirgin hasar bölgesindeki girişlerin yüzdesi 20'nin altında kalmaktadır. Dolayısı ile 1., 6., 7. ve 8. katlar *Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde*'dir. 2., 3., 4., 5. katlar da ise her iki doğrultuda da belirgin hasar bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'sinden fazladır ama ileri hasar bölgesine geçen giriş yoktur. Dolayısıyla 2., 3., 4., 5. katlar *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi*'ndedir.

Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi binanın performans düzeyi olarak belirlenir. Bu durumda bina *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi*'ndedir. TBDY 2018'e göre binanın hedef performans seviyesi DD-2 deprem düzeyi için *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi* olması gerekmektedir. Bina yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, TBDY (2018) [6]'e göre tasarlanan ve yapımına devam edilen betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinde tek modlu itme analizi ile performans analizi yapılmıştır. Bina daha yapım aşamasında olduğundan yeni yapılacak bir bina gibi değerlendirilip performans analizi bu kapsamda yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesinde, mevcut binaların performansının belirlenmesine göre en belirgin farklardan biri etkin kesit çarpanları ile ilgilidir. Mevcut binalarda çubuk eleman olarak modellenen kiriş, kolon ve betonarme perdeler için aksel etkin kesit çarpanları sırasıyla 0.35, 0.7 ve 0.5 iken, yeni yapılan binalarda elemanların her birinin etkin kesit çarpanları için moment eğrilik analizinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kirişlerin etkin kesit çarpanları 0.0848-0.1921 arasında, kolonların etkin kesit çarpanları 0.0455-0.1916 arasında, betonarme perdelerin etkin kesit çarpanları ise 0.0452-0.2653 arasında çıkmıştır.
- Yapılan tek modlu itme analizi sonucu kolon ve betonarme perdelerde herhangi bir hasar meydana gelmediği, kirişlerin ise bazılarının belirgin hasar bölgesinde kaldığı belirlenmiştir.
- Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi kiriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucu 1., 6., 7. ve 8. katların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde, 2., 3., 4. Ve 5. katların ise Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu belirlenmiştir.
- Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi, binanın performans düzeyi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla binanın Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu tespit edilmiştir.
- TBDY 2018'e göre binanın DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'ni sağlaması gerekmektedir. Bina yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.
- Binanın betonarme perde elemanlarının kalıp planında uygun yerlerde simetrik ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesi düşey taşıyıcı elemanların hasar görmemesinde ve binanın hedef performans seviyesini sağlamasında etkili olduğu söylenebilir.
- TBDY (2018) [6]'in yeni bir yönetmelik olması sebebiyle gerek özel gerekse kamuda çalışan mühendisler için bazı kavramların örneklerle açıklanması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu çalışma ile yeni deprem yönetmeliğinin kavranabilmesi noktasında karşılaşılabilecek problemlere ışık tutması amaçlanmıştır. Yönetmeliğin farklı bölümleri için de bu tür çalışmaların yapılması nitelikli mühendis sayısını artıracığı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yalın M. 2020. Mevcut Bir Okul Binasının Deprem Performansının 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine göre Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, 1-175.

- [2] ATC 40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, ABD.
- [3] FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- [4] Turkey A., Guler K. 2017. Bir Okul Binasının Tasarımı ve Deprem Performansının Değerlendirilmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications, 1 (2): 27-37.
- [5] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [6] TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [7] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. 2018. An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek Sayı 1): 224-237.
- [8] Gündoğay A., Tekeli H., Ulutaş H. 2019. Mevcut Atölye Binalarının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10 (2): 755-768.
- [9] Dilmaç H. 2020. Preliminary Assessment Approach to Predict Seismic Vulnerability of Existing Low and Mid-Rise RC Buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, 75 (2): 211-227.
- [10] Özdemir M., Işık E., Ülker E. 2016. Farklı Kat Adetlerine Sahip Betonarme Binaların Performans Değerlendirilmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 5 (2): 183-190.
- [11] Ulutaş H., Dilmaç H., Tekeli H., Demir F. 2019. Mevcut Okul Türü Binaların Deprem Güvenliğinin Pratik Bir Şeklide Belirlenmesi için Bir Yaklaşım: ATI. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (2): 329-337.
- [12] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. 2018. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete, 22 (5): 439-447. DOI: 10.12989/cac.2018.22.5.000
- [13] Işık E., Öztürk G. 2017. Betonarme Binalarda Kat Yüksekliğinin Yapı Performansına Etkisi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (1) : 299-305.
- [14] Kap T., Özgün E., Uzunoğlu M. M. 2019. Betonarme Bir Okul Binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine göre İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1): 1140-1150.
- [15] Kürkçü F. 2020. 20 Katlı Betonarme Bir Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-237.
- [16] Akçora A. A. 2020. Betonarme Yüksek Binaların 2018 Yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre İncelenmesi: 30 Katlı Bina Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1-161.
- [17] Çapa Y. U. 2020. Kat Adetleri Farklı Betonarme Binaların Deprem Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 1-113.
- [18] SAP2000. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.