



BETONARME YÜKSEK BİNALARIN TBDY 2018'E GÖRE PERFORMANSA DAYALI TASARIMI - ÖRNEK UYGULAMA

Ulaş GÖKÇEOĞLU¹, Zeynep TUNA DEĞER^{2*}

¹ SDG Mühendislik, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Performansa Dayalı Tasarım, Yüksek Bina Tasarımı, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Bodrum Perdelerin Yüksek Bina Tasarımına Etkisi.</i>	<p>Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre yüksek binaların performansa dayalı tasarım esasları incelenmiş ve örnek bir uygulamayla detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Örnek uygulama için İstanbul'da yer alan ve yüksek bina sınıfına giren 26 katlı bir binanın tasarımı ele alınmıştır. Bina, konut ve işyeri amacıyla tasarlanmış olup, taşıyıcı sistemi yoğunlukla betonarme perdelerden oluşmaktadır. Binanın tasarımı (I) ön tasarım, (II) iyileştirme aşaması ve (III) iyileştirilmiş son tasarım olmak üzere üç aşamada tamamlanmış, performans hedefleri TBDY 2018'e uygun olarak belirlenmiştir. Binanın ön tasarımı tasarım depremi altında gerçekleştirilmiş, servis depremi seviyesinde gerekli iyileştirmeler yapılmış ve maksimum deprem seviyesinde binanın davranışı kontrol edilerek tasarım sonlandırılmıştır. Doğrusal hesap yöntemiyle ve dayanıma göre tasarım felsefesiyle gerçekleştirilen ilk iki tasarım aşaması ETABS programında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler içeren ve şekil değiştirmeye göre tasarım felsefesiyle yapılan üçüncü tasarım aşaması ise Perform3D programında tamamlanmıştır. Binada mimari sebeplerle asimetrik yerleştirilen bodrum perdeleri, binanın tasarım yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamış, ayrıca binanın burulma davranışını belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir. Taşıyıcı sistemin burulma etkilerini azaltacak şekilde planlanması çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur. Bu çalışmada bir vaka çalışması aracılığıyla özetlenen tasarım adımlarının ve analiz modellerinin oluşturulma esaslarının TBDY 2018'e göre yüksek bina tasarımı konusunda örnek teşkil ederek literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.</p>

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF RC TALL BUILDINGS BASED ON THE TURKISH SEISMIC BUILDING CODE 2018 - A CASE STUDY

Keywords	Abstract
<i>Performance Based Design, Tall Building Design, Nonlinear Response History Analyses, Effects of Basement Walls on Design of Tall Buildings.</i>	<p>This study includes a detailed review of the performance-based design methodology for tall buildings according to TBEC 2018 based on a model application. The 26-story residential/office building selected for this research is located in İstanbul and is classified as "tall building". The lateral load resisting system consists of mainly reinforced concrete shear walls in both directions. The design was completed in three stages, namely: (I) preliminary design, (II) improved design, and (III) final design, whereas performance criteria were based on TBEC 2018. The preliminary design was completed at the Design Basis Earthquake (DBE) level in stage I, the design was revised at the Service Level Earthquake (SLE) level in stage II, and was finalized in stage III by checking the nonlinear behavior at the Maximum Considered Earthquake (MCE) level. The first two stages consisting of linear elastic analyses based on force-based design concept were performed in ETABS, whereas the nonlinear Response History Analyses (RHA) were conducted in Perform3D. Basement walls were asymmetrically placed due to architectural reasons had a significant adverse effect on the torsional behavior and played a significant role in selection of the seismic design method. This study will contribute to the literature in terms of investigation and implementation of the new design procedures of tall buildings by means of a case study practice.</p>

Alıntı / Cite

Gökçeoğlu, U., Tuna Değer, Z., (2023). Betonarme Yüksek Binaların Tbdy 2018'e Göre Performansa Dayalı Tasarımı - Örnek Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 535-550.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

U. GÖKÇEOĞLU, 0000-0002-1903-7810
Z. TUNA DEĞER, 0000-0003-3585-6477

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.02.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	13.01.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: zeynep.tuna@itu.edu.tr, +90-212-285-6532

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF RC TALL BUILDINGS BASED ON THE TURKISH SEISMIC BUILDING CODE 2018 - A CASE STUDY

Ulaş GÖKÇEOĞLU¹, Zeynep TUNA DEĞER^{2†}

¹ SDG Mühendislik, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Highlights

- A detailed review of the performance-based design methodology for tall buildings according to TBEC 2018
 - The 26-story residential/office building classified as "tall building" and located in İstanbul is utilized
 - Investigation and implementation of the new design procedures of tall buildings by means of a case study practice
-

Purpose and Scope

The objective of this study is to comprehensively examine the performance-based design methodology for tall buildings in accordance with Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018, employing a model application as the basis for analysis.

Design/methodology/approach

A 26-story building located in İstanbul is used for the case study. The occupancy type of the building is residential/office, the lateral load resisting system consists of reinforced concrete shear walls, and the building is classified as "tall building" based on TBEC 2018. The design process underwent across three distinct stages: (I) preliminary design, (II) improved design, and (III) final design; with performance criteria provided in TBEC 2018. The initial two stages, encompassing force-based design concepts, were conducted using linear elastic analyses performed in ETABS, whereas the nonlinear Response History Analyses were executed in Perform3D.

Findings

- The asymmetric placement of basement walls in the building has significantly adversely affected its torsional behavior. Planning the structural system to minimize torsional effects has been a crucial aspect of the study.
- The nonlinear modeling of the building was carried out according to TBDY 2018 provisions. The maximum relative floor displacements resulting from the maximum earthquake (DD-1) level were calculated as 0.016 and remained below the limits specified in the regulations.
- The ratio of the maximum base shear demand to the building weight for the -x and -y directions at the maximum earthquake (DD-1) level was determined as 0.36 and 0.32, respectively. The highest shear demand was observed in the walls occurred in the area of transfer floors and their surroundings.
- The building height for seismic analysis is defined as the height measured from the floor level of the uppermost story with basement walls enclosing the building from all sides or at least three sides; otherwise, it is measured from the base of the building. In the analyzed building, since the basement walls enclose the building from two sides, the building height is 82.8 meters (BYS = 1), and it was designed in three stages following a deformation-based design philosophy. However, if the basement walls enclosed the building from at least three sides, the fundamental building height for seismic analysis would be 58.3 meters (BYS = 2), requiring a one-stage design approach based on strength. Thus, the significance of determining the design method for basement walls is emphasized in this context.

Practical implications

This study offers a valuable resource to engineering practitioners, equipping them with a comprehensive guide for implementing the latest tall building design procedures. Through a case study approach, practitioners will gain practical insights and recommendations, enabling them to navigate the intricacies of designing tall buildings.

Originality

Literature review shows that studies outlining the TBEC 2018 design philosophies are limited. This study fills this gap by investigating the performance-based design principles for tall buildings according to TBDY 2018 through a meticulous analysis of an exemplary case study.

[†] Corresponding author: zeynep.tuna@itu.edu.tr, +90-212-285-6532

1. Giriş (Introduction)

Yüksek binaların tasarımı geleneksel olarak kuvvet esaslı tasarım yöntemiyle doğrusal analiz prosedürüyle yapılmaktaydı. Ancak 2000'li yılların başından beri yüksek binaların doğrusal olmayan analizleri ve performans esaslı tasarım uygulaması yaygınlaşmıştır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımı mühendislerin daha ekonomik taşıyıcı sistem tasarımı yapabilmelerini sağlaması, binanın belirli deprem seviyelerindeki performanslarının nicel olarak belirlenebilmesi gibi yönleriyle daha avantajlı konuma gelmiştir.

Yüksek binaların performansa dayalı tasarımı için çeşitli uzlaşma raporları ve kılavuz niteliğinde dokümanlar hazırlanmıştır. Bu kılavuz dokümanlara öncü olarak San Francisco, ABD'de yayınlanan AB-083 (2007), 2005 yılından beri Los Angeles Yüksek Binalar Tasarım Konseyi (LATBSDC, 2020) tarafından çeşitli versiyonları yayınlanan ve Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER-TBI, 2017) tarafından yayınlanan tasarım kılavuzları gösterilebilir. Türkiye'de ise performansa dayalı tasarım yaklaşımı ilk olarak İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağında (İYBDY 2007) gündeme gelmiş ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile uygulaması zorunlu hale getirilmiştir.

Yüksek binaların performansa dayalı tasarımı çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış, çekirdek perdeli (Bertero, 1980; Eljadei, 2012; Yang v.d., 2010) ve perdeli-çerçeve yüksek binalar için (Aktan ve Bertero, 1984; Shin v.d. 2010; Değer v.d. 2015) ele alınmıştır. Yang v.d. (2012), Değer ve Wallace (2016) ise performansa dayalı tasarımın konvansiyonel kuvvet esaslı tasarımla kıyaslamasını farklı yapısal sistemler için irdelenmişlerdir. Bu çalışmalarda yukarıda bahsi geçen Amerikan yönetmelikleri esas alınmıştır. Türkiye'deki yönetmelikleri ele alan araştırmalara ise, yüksek bina tasarımını İYBDY 2007'ye göre irdelleyen çalışmalar (Temiz, 2014; Özüygür, 2016; Özgün, 2012), sırasıyla perde konumunun ve bağ kirişlerin yapısal davranışa etkisini irdelleyen çalışmalar (Kaya ve Özbay, 2019; Özer ve Yüksel, 2022) ve yüksek bir binanın tasarımını TBDY 2018 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) şartları için kıyaslayan çalışma (Topçu, 2019) örnek gösterilebilir.

Literatüre bakıldığında, yürürlüğe yakın tarihte girmiş olan TBDY 2018'e göre tasarım prosedürünün incelendiği çalışmalar yetersizdir. Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre yüksek binaların performansa dayalı tasarım esasları incelenmiş ve örnek bir uygulamayla detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Bu çalışmanın literatürde yer alan mevcut çalışmalardan farklı olarak ön plana çıkan bir yönü de, mimari gerekçelerle binayı iki taraftan saran ve binada asimetriklik oluşturan bodrum perdeleridir. Bu çalışmada, bodrum perdelerinin TBDY 2018 kapsamında bina yüksekliğine etkisi ve tasarım anlayışının değişmesi ele alınmış, asimetrik bodrum perdelerin burulma etkilerini olumsuz etkilemesi sonucunda taşıyıcı sistemin seçimi konusu irdelenmiştir.

Bu çalışmada örnek uygulama için İstanbul'da yer alan ve yüksek bina sınıfına giren 26 katlı bir binanın tasarımı ele alınmıştır. Ele alınan bina, konut ve işyeri amacıyla tasarlanmış olup, taşıyıcı sistemi iki yönde de yoğunlukla betonarme perdelerden oluşmaktadır. Bu makalede bina ile ilgili genel bilgiler verilmiş, tasarım ve modelleme detayları irdelenmiştir. Tasarıma ait daha detaylı bilgiler ikinci yazarın tez çalışmasından (Gökçeoğlu, 2020) elde edilebilir.

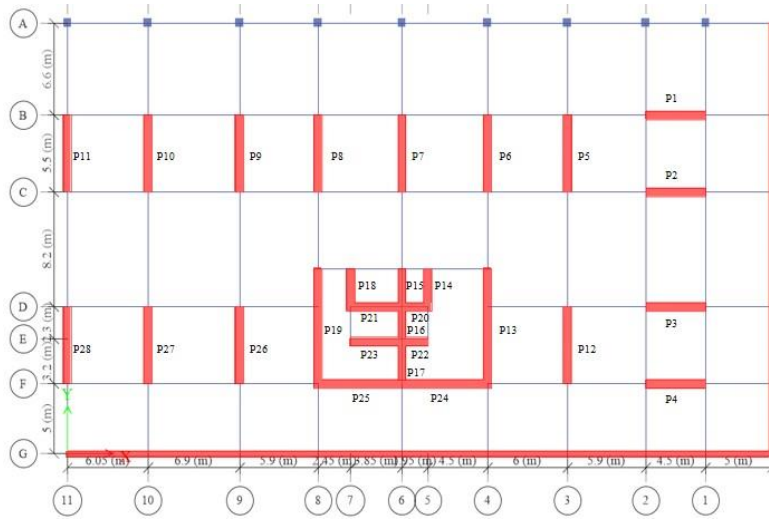
2. Binanın Genel Özellikleri (Building Properties)

Bu çalışmada yer verilen proje İstanbul, Tuzla'da yer almakta olup, projede ikisi simetrik ikiz olan toplam üç blok yer almaktadır (Şekil 1). Dilatasyonla ayrılan ikiz blokların arasında otopark seviyelerinde geçişler mevcuttur. Bu çalışmada incelenen betonarme bina ikiz bloklardan birine ait olup; 17 normal kat ve 9 bodrum katı olmak üzere toplam 26 kattan oluşmaktadır. Bina, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ve betonarme boşluksuz perdelerin deprem yükünü birlikte karşıladığı bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Otopark seviyelerinde binalar arası geçiş sağlamak için bodrum perdelerin binayı iki tarafından sarması gerekmiş; yüksek burulmalara sebebiyet veren bu asimetriklik taşıyıcı sistemin düzenlenmesi bakımından çalışmanın önemli unsurlarından biri olarak kaydedilmiştir.

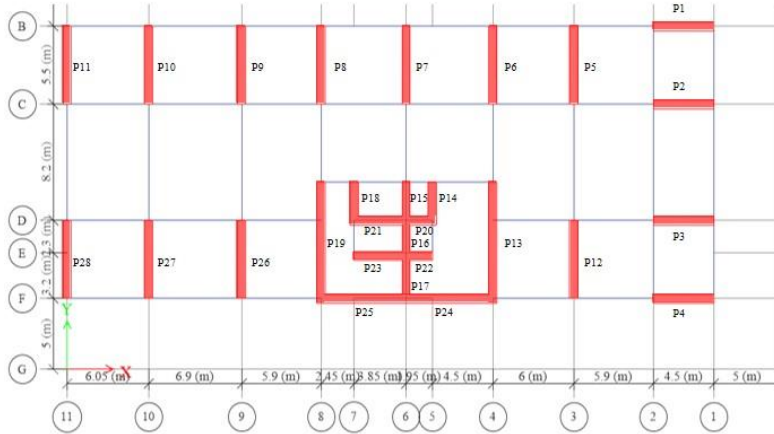
Binanın bodrum katları zeminden itibaren 5 kat (B9-B5) ve sonraki 4 kat (B4-zemin) sırasıyla otopark ve mağaza/iş yeri amacıyla; zemin kat ve üzerindeki katlar ise konut amacıyla tasarlanmıştır. Kat yükseklikleri; otopark katlarında 3,2 m, mağaza/iş yeri katları 4,0 m, konut ve çatı katları 3,0 m olarak belirlenmiştir. Döşeme kalınlıkları konut katlarında 15-20 cm arasında, bodrum katlarda ise 20 cm olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem; Şekil 2 ve Şekil 3'te tip katlara ve bodrum katlara ait plan görünüşleriyle birlikte verilmiş, binanın tasarımına ait detaylar sonraki bölümlerde tartışılmıştır.



Şekil 1. Binanın üç boyutlu görünümü a) mimari, b) analiz modeli
(Three-dimensional view of the building a) architectural, b) analysis model)



Şekil 2. Bodrum katlar için kat planı (Plan view for the basement floors)



Şekil 3. Kule katlar için kat planı (Plan view for the typical floors)

3. Bina Tasarımı (Building Design)

Binanın tasarımı performansa dayalı tasarım felsefesine dayanarak TBDY 2018'e uygun olarak yapılmıştır. Tasarım yöntemi; binanın konumu, kullanım amacı ve yüksekliğine bağlı olarak seçilmektedir. Binanın konumuna bağlı olarak belirlenen harita spektral ivme katsayılarına (S_s ve S_1) ve deprem tehlike haritalarına AFAD'ın internet sitesinden (AFAD, 2020) erişilmiştir. Binanın konut ve işyeri amacıyla kullanılması nedeniyle bina kullanım sınıfı BKS = 3, spektral ivme katsayıları ve BKS'nin birlikte değerlendirilmesiyle deprem tasarım sınıfı ise DTS = 1 olarak belirlenmiştir. TBDY 2018'de deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N ; rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi durumunda bodrum perdelerin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde, aksi halde bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada incelenen

binanın bodrum katlarında kuzey ve doğu cephelere bakan mağaza/işyerlerinin dış cephelerinin camcama kaplama olması ve otopark katlarında diğer bloklarla geçiş sağlanması gibi mimari gereklilikler nedeniyle bodrum perdeler binayı iki taraftan çevrelemektedir. Bu nedenle, deprem hesabına esas bina yüksekliği 82,8 metre olup, bina yükseklik sınıfı $BYS = 1$ olarak belirlenmiştir. Burada, bu bina için bodrum perdelerin tasarım yönteminin belirlenmesinde etkili bir rol oynadığı not edilmelidir. Tasarıma esas tüm parametreler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Deprem tasarım parametreleri (Seismic design parameters)

Tasarım parametreleri	Değer
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s	1,154 g
1.0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı S_1	0,32 g
Zemin Sınıfı	ZB
Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_s	0,9
1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı F_1	0,8
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{Ds}	1,038 g
1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1}	0,256 g
Bina kullanım sınıfı (BKS)	3
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	1
Bina yükseklik sınıfı (BYS)	1

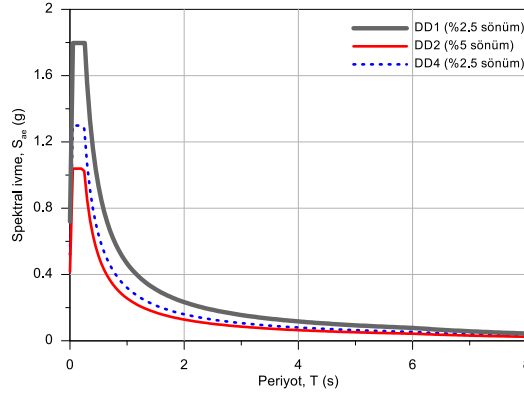
Bu çalışmadan incelenen bina; TBDY 2018’e göre yüksek bina sınıfına girdiği için ($BYS = 1$), tasarımı Bölüm 13’e uygun olarak performansa dayalı tasarım yöntemiyle üç aşamada tamamlanmıştır. Tasarımın birinci aşaması, dayanıma göre tasarım felsefesiyle 475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen tasarım depremi (DD-2) altında kontrollü hasar (KH) performans hedefini sağlayacak şekilde yapılmıştır. İkinci aşamada, yapısal elemanların 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Tasarımın birinci ve ikinci aşamasında binanın doğrusal elastik modeli ve analizleri ETABS V17.0.1 programında tamamlanmıştır. Tasarımın üçüncü aşamasında ise, yapısal elemanların 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Bu amaçla, binanın doğrusal olmayan analiz modeli Perform3D V6 programında oluşturulmuş ve 11 çift deprem yer hareketi için zaman tanım alanında analizleri tamamlanmıştır. Tablo 2’de üç tasarım aşamasının karşılaştırılmalı özeti verilmiştir.

Tablo 2. Üç aşamalı tasarım özeti (Three-stage design summary)

Tasarım Aşaması	I	II	III
Deprem düzeyi	DD-2	DD-4	DD-1
Performans hedefi	Kontrollü Hasar	Kesintisiz Kullanım	Göçmenin Önlenmesi
Tasarım yöntemi	Dayanıma göre tasarım	Dayanıma göre tasarım	Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
Hesap yöntemi	Mod birleştirme	Mod birleştirme	Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz
Bina Önem Katsayısı, I	TBDY 2018 Tablo 3.1	$I = 1.0$	-
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R	TBDY 2018 Tablo 4.1	$R = 1.0$	-
Dayanım Fazlalığı Katsayısı, D	TBDY 2018 Tablo 4.1	$D = 1.0$	-
Malzeme dayanımları	TBDY 2018 Bölüm 4.1	Beklenen dayanım	Beklenen dayanım
Rijitlik	TBDY 2018 Bölüm 13.4	TBDY 2018 Bölüm 13.5	TBDY 2018 Bölüm 13.6
Kritik iç kuvvetler	Kapasite tasarımı	Tasarım iç kuvveti	Max (22 hesap) + std.sapma
Kritik olmayan iç kuvvetler	Tasarım iç kuvveti	Tasarım iç kuvveti	Ortalama (22 hesap)
Şekildeğiştirme limiti	-	-	TBDY 2018 Bölüm 5.8.1, 5A
Görelî kat ötelemesi limiti	0.008 \bar{K}	-	Max %4.5, Ortalama %3
Dayanım limitleri	TBDY 2018 Bölüm 4, 7	Sünek $E/K \leq 1.5$, Gevrek $E/K \leq 1.5$	TBDY 2018 Bölüm 7

3.1. Tasarım Aşaması I (Design Stage I)

Tasarımın ilk aşamasında, dayanıma göre tasarım (DGT) esaslarıyla TBDY 2018'e uygun olarak belirlenen yatay elastik tasarım ivme spektrumu (Şekil 4) kullanılmıştır. Hesaplarda mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler tarafından birlikte karşılandığı için $R = 7$ olarak belirlenmiş, ancak binanın kuzey kenar aksında yer alan çerçevelerin aldığı taban devrilme momenti toplamının, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momentinin $1/6$ 'sından az olması sebebiyle $R = 5,6$ olarak revize edilmiştir. Tasarım yüklerinin belirlenmesinde binanın zati yüklerine ilave olarak Tablo 3'te listelenen yükler kullanılmıştır. Birinci aşama bina tasarımın ait parametreler Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Tasarım ivme spektrumları

Tablo 3. Binaya uygulanan yük bilgisi (Applied loads)

Kullanım Alanı	Yükün uygulandığı bina kotu	Zati Yük (kN/m ²)	Hareketli Yük (kN/m ²)
Otopark	+3,20 - +16,30	2,50	5,00
Mağaza	+20,30 - +31,80	3,00-4,00	5,00
Konut	+34,80 - +82,80	3,50-7,00	2,00 - 5,00
Sığınak	+3,20	5,00	2,00
Depo	+3,20 - +16,30; +31,80	2,50-3,50	5,00
Konsollar	+28,30 - +82,80	3,00	5,00
Merdiven Evi	+3,20 - +82,80	2,50-4,00	5,00
Çatı	+82,80	3,50-4,50	1,50

Tablo 4. I. Aşama bina tasarımına ait parametreler (Design parameters for Design Stage I)

Tasarım Parametreleri	Değer
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R	5,6
Dayanım fazlalığı katsayısı D	2,5
Bina önem katsayısı I	1,0
Deprem yükü azaltma katsayısı R _a	5,6
Deprem hesabına esas bina kütlesi m _t	53592 t
Ek dışmerkezlik	%5
Azaltılmış modal taban kesme kuvveti V _t	V _{tx} = 16859,28 kN V _{ty} = 16796,05 kN
Minimum taban kesme kuvveti V _{t,min}	22278 kN
Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β _{IE}	1,33
Büyütülmüş taban kesme kuvveti V _t	V _{tx} = 23604,82 kN V _{ty} = 23516,72 kN

Yapı malzemeleri, C40/50 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliği olarak seçilmiştir. Bu malzemelere karşılık gelen beton karakteristik basınç dayanımı 40 MPa, çelik karakteristik akma dayanımı ise 420 MPa'dır. Tasarım için ETABS programında oluşturulan doğrusal elastik analiz modelinde rijit temel varsayımı yapılmış ve yapı-zemin etkileşimi ihmal edilmiştir. Binanın doğal titreşim periyotları ve ilgili kütle katılım oranları Tablo 5'te

gösterilmiştir. Modlara ait baskın davranışlar birinci ve ikinci modda sırasıyla kısa (-x) ve uzun (-y) doğrultuda yanal ötelenme ve üçüncü modda burulma olmakla birlikte; mimari nedenlerle asimetrik olarak binayı iki taraftan çevreleyecek şekilde yerleştiren bodrum perdelerin rijitlik merkezini kütle merkezinden uzaklaştırması nedeniyle ilk iki modda da yüksek burulma etkileri görülmüştür. Burulma davranışını sınırlanmak amacıyla iteratif bir çalışma yürütülmüş ve taşıyıcı sistem seçimi ve eleman boyutlandırılmasına karar verilmiştir. Bu yönüyle, asimetrik bodrum perdeler ve sebep oldukları burulma davranışı çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur. Her iki doğrultu için rüzgar yükü hesabı, TS498 (1997) ve İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği (İYBYR-2009) kıyaslanarak yapılmış; sonuçlar, deprem yüklerinin tasarımı belirlediğini göstermiştir.

Tablo 5. Modal analiz sonuçları (Modal analysis results)

Mod sayısı	Periyot (s)	Davranış	Kütle katılım oranı
1	2,53	-x doğrultusunda yanal ötelenme	0,2563
2	1,99	-y doğrultusunda yanal ötelenme	0,4305
3	1,27	burulma	0,2280

Tasarımın birinci aşamasında binanın genel davranışına ait görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci merteye etkisi, düzensizliklerin kontrolü, perdelerde eksenel ezilmeler, vb. kontroller yapılmıştır. Binada, gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı kullanılmamıştır. Binadaki görel kat ötelemesi değerlerinin, -x doğrultusu için maksimum 0,0059; -y doğrultusu için 0,0061 olduğu ve bu aşama için TBDY 2018 görel kat ötelemelerinin kontrolü kapsamında verilen sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Binada burulma (A1) düzensizliği görülmüştür, ancak yumuşak kat (B2) düzensizliği bulunmamaktadır. Burulma düzensizliğinin mertebesine ilişkin hesaplar ve -x ve -y doğrultuları için katlardaki burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) Tablo 6'da sunulmuştur. Burulma düzensizliği katsayısı -x ve -y doğrultuları için sırasıyla 1,65 ve 1,98 seviyelerindedir.

Tablo 6. Burulma düzensizliği (-x doğrultusu) (Torsional irregularity (-x direction))

KAT	-x doğrultusu					-y doğrultusu				
	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(min)}$	$\Delta_{i,ort}$	$\eta_{bi,max}$	A1	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(min)}$	$\Delta_{i,ort}$	$\eta_{bi,max}$	A1
K16	7,34	4,34	5,84	1,26	>1,2	7,89	3,34	5,62	1,40	>1,2
K15	7,46	3,86	5,66	1,32	>1,2	7,93	3,18	5,55	1,43	>1,2
K14	7,53	3,89	5,71	1,32	>1,2	7,96	3,54	5,75	1,38	>1,2
K13	7,62	3,92	5,77	1,32	>1,2	8,02	3,64	5,83	1,38	>1,2
K12	7,72	3,95	5,84	1,32	>1,2	8,04	3,06	5,55	1,45	>1,2
K11	7,8	3,98	5,89	1,32	>1,2	8,07	3,3	5,69	1,42	>1,2
K10	7,87	3,97	5,92	1,33	>1,2	8,1	3,24	5,67	1,43	>1,2
K9	7,92	4,01	5,97	1,33	>1,2	8,12	3,19	5,65	1,44	>1,2
K8	7,95	3,99	5,97	1,33	>1,2	8,11	3,12	5,62	1,44	>1,2
K7	7,94	3,97	5,96	1,33	>1,2	8,1	3,05	5,58	1,45	>1,2
K6	7,9	3,92	5,91	1,34	>1,2	8,07	2,93	5,5	1,47	>1,2
K5	7,82	3,87	5,85	1,34	>1,2	8,02	2,82	5,41	1,48	>1,2
K4	7,69	3,79	5,74	1,34	>1,2	7,84	2,69	5,27	1,49	>1,2
K3	7,5	3,69	5,6	1,34	>1,2	7,92	2,55	5,24	1,51	>1,2
K2	7,26	3,59	5,43	1,34	>1,2	7,68	2,38	5,03	1,53	>1,2
K1	6,95	3,43	5,19	1,34	>1,2	7,52	2,21	4,87	1,54	>1,2
Zemin	4,88	3,28	4,08	1,20	OK	7,32	2,01	4,67	1,57	>1,2
1BD	4,36	3,51	3,94	1,11	OK	8,24	2,07	5,16	1,60	>1,2
2BD	8,07	5,98	7,03	1,15	OK	8,95	5,12	7,04	1,27	>1,2
3BD	6,04	2,09	4,07	1,48	>1,2	8,6	0,27	4,43	1,94	>1,2
4BD	4,66	0,99	2,83	1,65	>1,2	7,59	0,11	3,85	1,97	>1,2
5BD	3,42	0,79	2,11	1,62	>1,2	5,68	0,12	2,9	1,96	>1,2
6BD	2,55	0,69	1,62	1,57	>1,2	4,23	0,05	2,14	1,98	>1,2
7BD	2,03	0,5	1,27	1,60	>1,2	3,24	0,09	1,67	1,94	>1,2
8BD	1,39	0,42	0,9	1,54	>1,2	1,84	0,08	0,96	1,92	>1,2
9BD	0,68	0,23	0,45	1,51	>1,2	1,12	0,12	0,62	1,81	>1,2

İkinci merteye etkileri her iki doğrultuda da oldukça düşük seviyede kalmıştır. Perdelerde eksenel yük düzeyi, perdeye gelen eksenel kuvvetin perde kesit alanına ve karakteristik basınç dayanımına bölünmesiyle ($P/A_{gf,c}$) bulunmuş olup, G+Q+E kombinasyonunda bu düzeyin 0,35 değerini aşmaması hedeflenmiştir. Perdeler eksenel ezilme kapasiteleri yönünden yeterli görülüp, kesit büyütmesi yapılmamıştır. Kolonlarda ise eksenel yük düzeyi kontrolü 0,40 değeriyle sağlanmış ve olumsuz bir duruma rastlanmamıştır.

Binanın podyum katlarında deprem etkileri ile birlikte perdelerde eksenel çekme gerilmeleri meydana gelebilmektedir. Bu nedenle transfer katları ve altı-üstü katlarında (2BD, 3BD, 4BD) çekme gerilmeleri, deprem etkisini içeren yük birleşimlerinin tamamının bulunduğu bir zarfla kontrol edilmiştir. Çekme kuvvetinin kapasiteye oranı %0,15 seviyesinde görüldüğünden bu katlarda çekme sebebiyle donatı artımı yapmaya gerek

duyulmamıştır. Betonarme perdelerdeki boyuna donatılarının belirlenmesi için ilk etapta ETABS programında düzgün dağılılı donatı varsayımı yapılarak perdelerdeki kesit tesirlerinin mertebesine bakılmış, sonrasında ise her perde özelinde donatı tasarımı yapılmış ve yetersizlik olan perdelerde donatı artımına gidilerek boyuna donatılar belirlenmiştir. Perdelerin kritik perde yüksekliği belirlenmiş, buna uygun olarak uç bölgeleri tayin edilerek donatılandırma işlemi tamamlanmıştır. Perdelerin enine donatı tasarımı da TBDY 2018’de tanımlanan kesme güvenliği sınırlarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Perde donatılandırması işlemi, sürtünme kesmesi ve normal kuvvet-moment (P-M-M) kapasite diyagramları kontrolünü takiben tamamlanmıştır.

Kiriş ve kolonların eğilme tasarımları yapılırken ETABS programı ile maksimum donatı istemlerine göre, uygun donatı çapı seçilerek istenen donatı alanını sağlayacak donatı yerleşimi yapılmıştır. Mümkün olan durumlarda tipleştirme yapılmış, mevcut donatılarla etki/kapasite oranları kıyaslanmıştır. Kolon boyuna donatı alanının brüt kesitin %1’inden az ve %4’ünden daha büyük olamayacağı göz önüne alınmıştır. Kolonlardaki P-M-M etkileşim diyagramları kontrol edildiğinde kesit tesirlerinin düşük olduğu görülmüş, böylece kolonlarda tek tip donatı ve kesit kullanılması uygun bulunmuştur. Kiriş ve kolon enine donatı hesabı, TBDY 2018 uyarınca kesme güvenliğini sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döşemelerin detaylı tasarımı, sehim hesapları ve kontrolleri SAFE programında yapılmıştır. Deprem kuvvetiyle transfer katında (+24,30 kotunda) asansör boşluğundaki perdelerin birbirlerine doğru veya birbirlerine ters yönde hareket etmeleri sebebiyle döşemede oluşan çekme ve basınç kuvvetlerini ifade eden “podyum etkileri” kontrol edilmiştir. Podyum etkilerinin beton katkısı ile karşılanmadığı kabul edilerek, güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, döşemede eğilme donatısı dışında ilave donatılar kullanılmıştır.

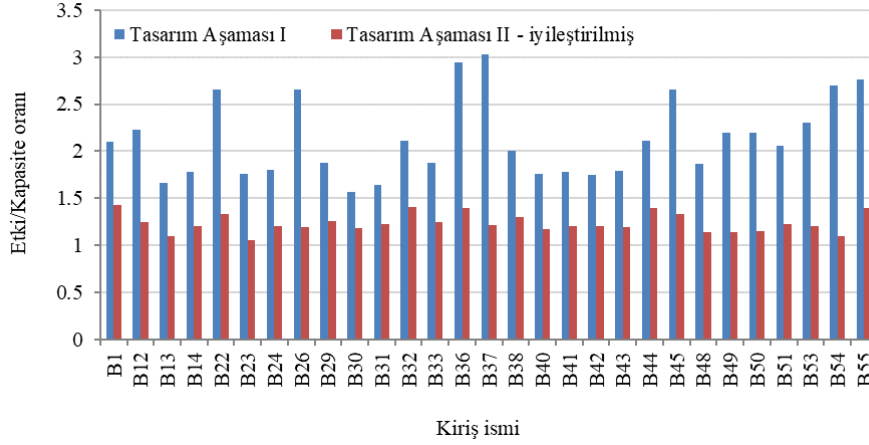
3.2. Tasarım Aşaması II (Design Stage II)

Tasarımın ikinci aşamasında yapısal elemanların 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemiyle yapılan doğrusal hesaplar, DD-4 seviyesi için elde edilen ivme spektrumu (Şekil 4) için doğrusal elastik ETABS modeliyle, Tablo 7’de verilen çatlamış kesit rijitlikleri (TBDY 2018) kullanılarak yapılmıştır. Bu aşamada taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayıları sırasıyla R=1 ve D=1; sönüm oranı ise %2,5 alınmıştır.

Tablo 7. Etkin kesit rijitliği çarpanları (Effective stiffness coefficients)

Taşıyıcı sistem elemanı	I. Aşama	II. Aşama	III. Aşama
Perde duvarlar	Eğilme – 0,50 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 1,00 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Fiber elemanlar
Çerçeve kirişleri	Eğilme – 0,35 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,70 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,35 EI _g Kesme – 1,00 GA _g
Çerçeve kolonları	Eğilme – 0,70 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,90 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,70 EI _g Kesme – 1,00 GA _g
Bodrum perdeleri	Eğilme – 0,50 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 1,00 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,50 EI _g Kesme – 1,00 GA _g
Döşemeler	Eğilme – 0,25 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,50 EI _g Kesme – 1,00 GA _g	Eğilme – 0,25 EI _g Kesme – 1,00 GA _g

Tüm elemanlar için etki/kapasite oranının; sünek davranışa sahip iç kuvvetler için 1,5, kesme davranışına sahip iç kuvvetler için 0,7 değerini aşmaması sağlanmıştır. Perdelerde etki/kapasite oranı 1,5 değerini aşmamış, en yüksek etki/kapasite oranı 1,118 olarak hesaplanmıştır. Ön tasarımdaki kapasiteler kullanılarak yapılan kontrollerde herhangi bir limit aşımına rastlanılmadığı için, perde ve kolon donatılarında iyileştirme yapılması gerekmemiştir. Kirişlerde ise, kesme davranışı için etki/kapasite oranları limitlerin altında kalırken, eğilme davranışı için etki/kapasite oranlarının 1,5 sınır değeri aştığı kirişler tespit edilmiş ve ilgili kirişlerde iyileştirme yapılmıştır. Eğilme davranışı bakımından donatıları yetersiz kalan kirişlere alt ve üst yüzlerine donatılar ilave edilmiş, yapılan iyileştirmeden önceki ve sonraki maksimum etki/kapasite oranları Şekil 5’te sunulmuştur.



Şekil 5. II. Aşama iyileştirmeden sonra kiriş sünek davranışlarının etki/kapasite oranları (Demand/capacity ratios after enhancement in Design Stage II)

3.3. Tasarım Aşaması III (Design Stage III)

Tasarımın üçüncü aşamasında yapısal elemanların 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladıkları kontrol edilmiştir. Bunun için, DD-1 deprem seviyesi için elde edilen ivme spektrumuna (Şekil 4) göre ölçeklendirilmiş 11 yer hareketi çifti kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Davranış büyüklüklerinin değerlendirilmesinde ivme kayıtlarının uygulanması ve eksenlerinin 90° döndürülmesiyle birlikte toplam 22 deprem hesabından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Seçilen depremlerin listesi deprem süreleri, büyüklükleri ve faya uzaklıklarıyla birlikte Tablo 8’de sunulmuştur.

Yapıda değerlendirmeye esas kuvvetli yer hareketleri seçimi, TBDY 2018’e göre yapılmış ve bu seçimlerde yer hareketlerinin lokal zemin şartlarına mümkün olan en fazla yakınlıkta olan zemin tiplerine uygun olarak seçilmesi ve seçilen bu kayıtların spektruma maksimum örtüşmeyle ölçeklenerek eşlenmesi hedeflenmiştir. Buna göre, seçilmiş olan kayıtların SRSS (The Square Root of Sum of the Squares: Karelerin Toplamının Karekökü) metoduyla bulunan bileşke spektrumlarının ortalamasının $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1,3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmiştir. Yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesine ilişkin detaylı bilgiler başka kaynaklarda (Gökçeoğlu, 2020) bulunabilir.

3.3.1. Doğrusal Olmayan Modelleme (Nonlinear Modeling)

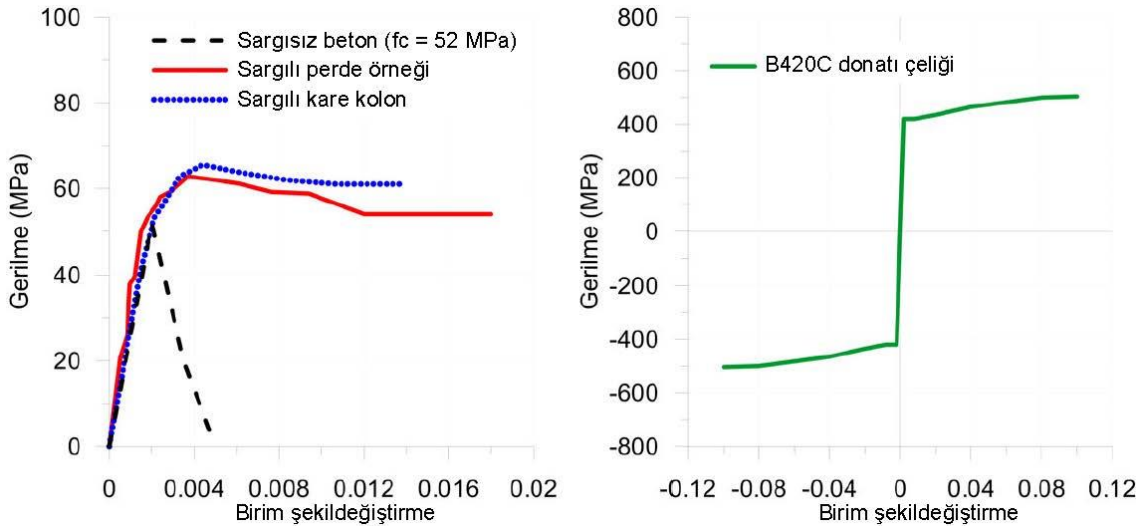
Analizler, Perform3D programında oluşturulan üç boyutlu doğrusal olmayan analiz modeliyle gerçekleştirilmiştir. Analitik modellemede aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Modeli basitleştirmek için döşemeler ve binayı çevreleyen kısa konsol kirişler modellenmemiş ve çizgisel yük olarak uygulanmıştır.
- İkinci mertebe etkileri hesaba katılmıştır.
- Yapının temeli ankastre kabul edilmiştir. Yapı-zemin etkileşimi, zemin sınıfı ZD’den daha zayıf olmadığı için dikkate alınmamıştır (TBDY 2018).
- ETABS modelinden Perform3D modeline geçiş sürecinde modelin periyotları, elemanların farklı yük kombinasyonlarına ait analiz sonuçlarının örtüştüğü teyit edilmiştir.

Tablo 8. Seçilen depremlerin listesi (List of the selected ground motions)

Deprem Çifti	Deprem İsmi	M_w	Süresi (s)	Faya uzaklık (km)
JOS000-090	Landers	7,30	43,98	11,02
BRS00-090	Landers	7,30	39,96	34,86
MVH045-135	Landers	7,30	56,06	40,86
AMA000-090	Kobe	6,90	53,99	11,34
IZN180-090	Kocaeli	7,50	29,99	30,73
ARC000-090	Kocaeli	7,50	25,30	10,56
LAMONT362E-N	Düzce	7,10	32,99	23,41
BOL000-090	Düzce	7,10	55,89	12,02
CPE147-237	Imp.Valley	6,53	63,74	15,20
PTS225-315	Imp.Valley	6,53	39,37	12,59
BTP090-360	HectorMine	7,13	67,84	63,05

Yapısal elemanların doğrusal olmayan modellenmesinde TBDY 2018 tarafından verilen hükümler esas alınmıştır. Betonarme perde duvarların modellenmesi için yayılı plastik davranış modeline uygun olarak, dört düğüm noktalı lif (fiber) elemanlar kullanılmıştır. Fiber elemanların tanımında beton ve donatı çeliği için beklenen (ortalama) malzeme dayanımlarını ($1,3f_c$ ve $1,2f_y$) yansıtan tek eksenli gerilme - şekildeğiştirme bağıntıları (Şekil 6) kullanılmış, sargısız beton (pas payı) ihmal edilmiş ve yüklemekten sonra düzlem kesitin düzlem kaldığı varsayılmıştır. Malzeme davranışlarının tanımında TBDY 2018 hükümleri esas alınmıştır. Betonun elastisite modülü E_c , TS500 (2000)'e göre C40/50 sınıfı beton için 34000 MPa olarak kullanılmıştır. Perdelerin kesme davranışı elastik şekilde modellenmiştir.

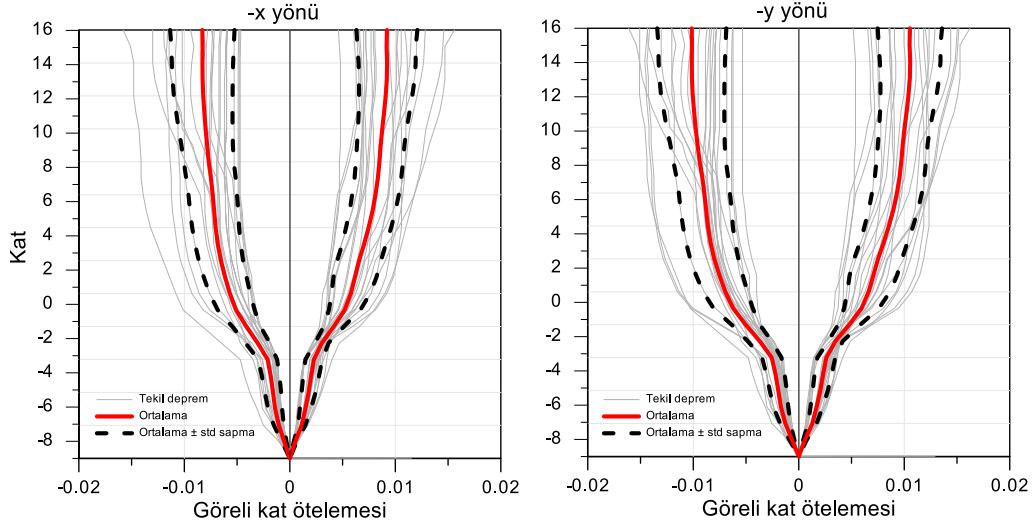
**Şekil 6.** Malzeme davranış modelleri (Material behavior models)

Çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş ve kolon elemanları; yığılı plastik davranış modeli yaklaşımıyla modellenmiştir. Buna göre, uç bölgelerinde plastik mafsallar yer alan elastik elemanlar kullanılmış, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ise rijit uç bölgeleriyle modellenmiştir. Elemanların elastik bölgeleri, kesit özellikleri ve TBDY 2018'e göre Tablo 7'de gösterilen etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan plastik mafsallık özellikleri kirişler için elastik-tam plastik moment - dönme ilişkileri ile, kolonlar için ise normal kuvvet - moment etkileşim diyagramları ile tanımlanmıştır. Dayanım ve rijitlikteki çevrimsel azalma ihmal edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplar için Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır. Buna göre, sönüm katsayısı $0,2T_1$ ve $1,5T_1$ periyotlarında $\xi = \%2,5$ olarak tanımlanmıştır. Burada T_1 , binanın hakim titreşim periyodudur. Yük birleşimleri, bina servis yüklemesi (G+nQ) ön analizi yapıldıktan sonra, bu analize deprem etkileri eklenerek hesaba katılmıştır.

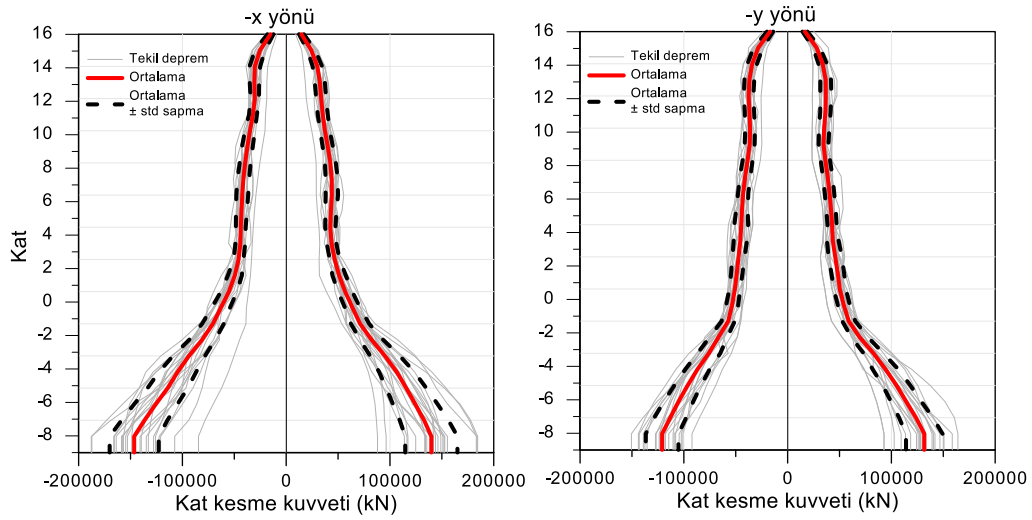
3.3.2. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları (Nonlinear Analysis Results)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları Şekil 7 ve 8'de sırasıyla görece kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri için sunulmuştur. TBDY 2018'e göre, 11 deprem çifti (22 deprem analizi) için elde edilen ortalama görece kat ötelemesi oranının $0,03'$ ü, tek depremden elde edilen en büyük görece kat ötelemesi oranının ise $0,045'$ i geçmemesi gerekmektedir. Binada görülen maksimum görece kat ötelemeleri her iki doğrultu için $0,016$ olarak belirlenmiş ve sınırların altında kaldığı teyit edilmiştir (Şekil 7). Maksimum taban kesme kuvveti, -x ve -y

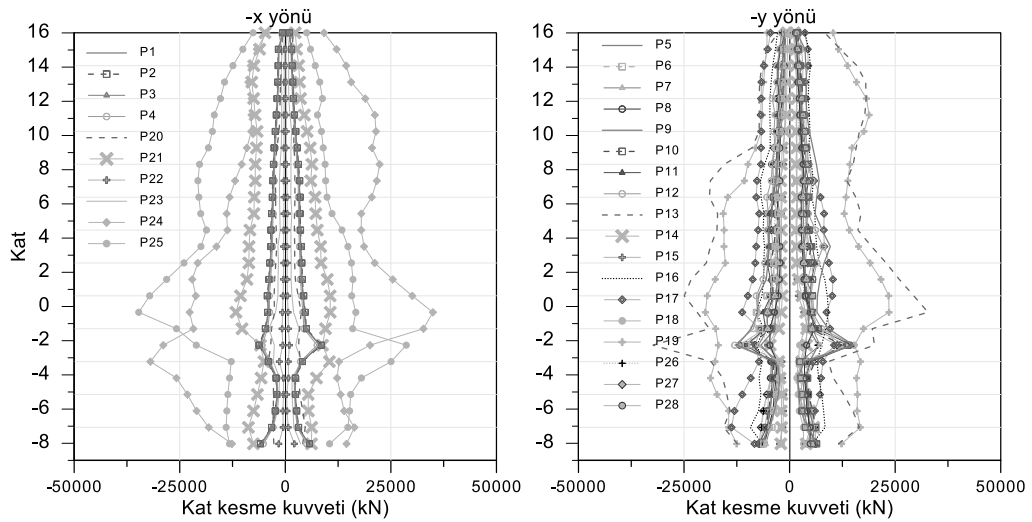
doğrultuları için sırasıyla 190886 kN ve 169071 kN (Şekil 8) ve bu kuvvetlerin bina ağırlığına oranı sırasıyla 0,36 ve 0,32'dir. Perdelerde en çok zorlanan bölgenin transfer katları ve çevresi olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 7. (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için görelî kat ötelemeleri (Story drifts for (a) -x direction, (b) y direction)

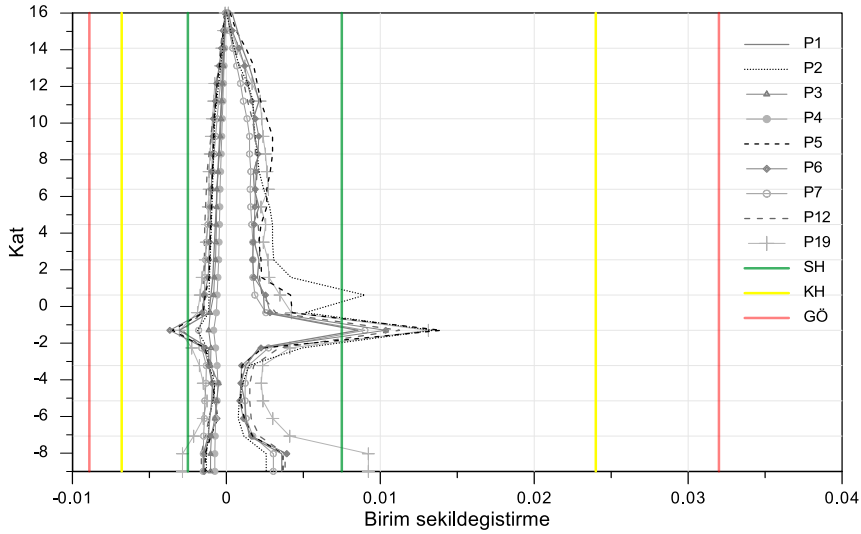


Şekil 8. (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için kat kesme kuvvetleri (Story shears for (a) -x direction, (b) y direction)



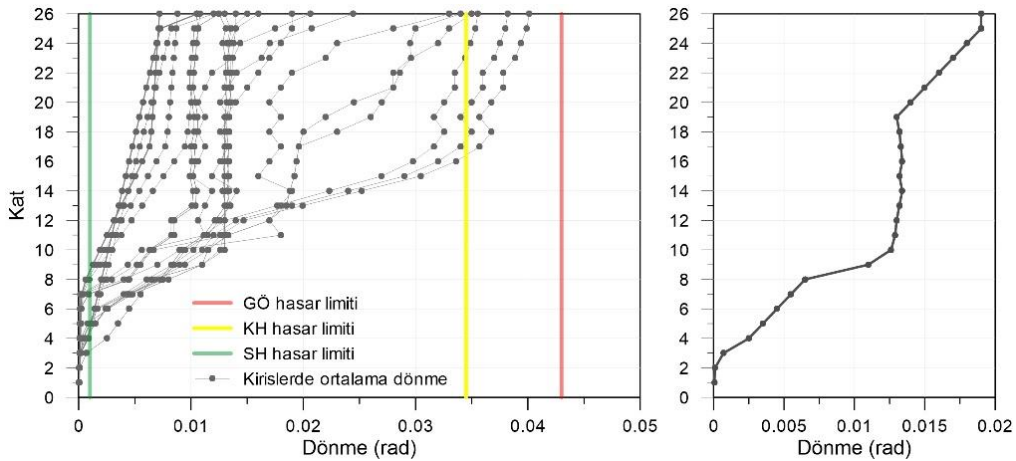
Şekil 9. Perdelerde (a) -x doğrultusu ve (b) -y doğrultusu için kesme kuvvetleri (Shear demands at shear walls for (a) -x direction, (b) y direction)

Perdelerde birim şekildeğiştirme talepleri binada fazla sayıda bulunan perdeler (P1-P12, P26-P28) için incelenmiştir. Perdelerde şekildeğiştirmelerinin değerlendirilmesinde uzama birim şekildeğiştirmeleri, eleman bazında atanan gerinimölçerler ile değerlendirilmiş ve Şekil 10'da çizilmiştir. Perdelerin bir kısmında (örn: P2, P5) donatı çeliği birim uzamaları sınırlı hasar (SH) limit değerlerini aşmış, ancak göçmenin önlenmesi (GÖ) performans hedefleri sağlandığı için bu perdelerde iyileştirme yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 10. Örnek perdeler için birim şekildeğiştirme talepleri (Strain demands at selected shear walls)

Kolon ve kirişlerde göçmenin önlenmesi (GÖ) performans seviyesinin kontrolü mafsal dönme seviyelerine göre belirlenmiştir. Analiz sonuçları, birkaç katta ve az sayıda olan kolonların esas olarak elastik davrandığını göstermiştir. Maksimum kolon dönmeleri, bodrum perdelerinin bittiği 8'inci katta görülmüştür. Elastik ötesi davranış ve histeretik enerji sönmülmesinin büyük bölümü kirişlerde görülmüştür. Kirişlerde maksimum dönme (Şekil 11(a)) 0,04 rad olup, göçmenin önlenmesi performans kriterleri sağlanmıştır. Kat diyaframlarının düşey eksen etrafındaki dönmeleri ise Şekil 11(b)'de gösterilmiştir. Dönme değerlerinin üst katlara doğru arttığı ve en yüksek dönme değerinin 0,018 rad olduğu belirlenmiştir.



Şekil 11. (a) Kirişlerde dönmeler, (b) Diyafram dönmeleri ((a) Beam rotations, (b) Diaphragm rotations)

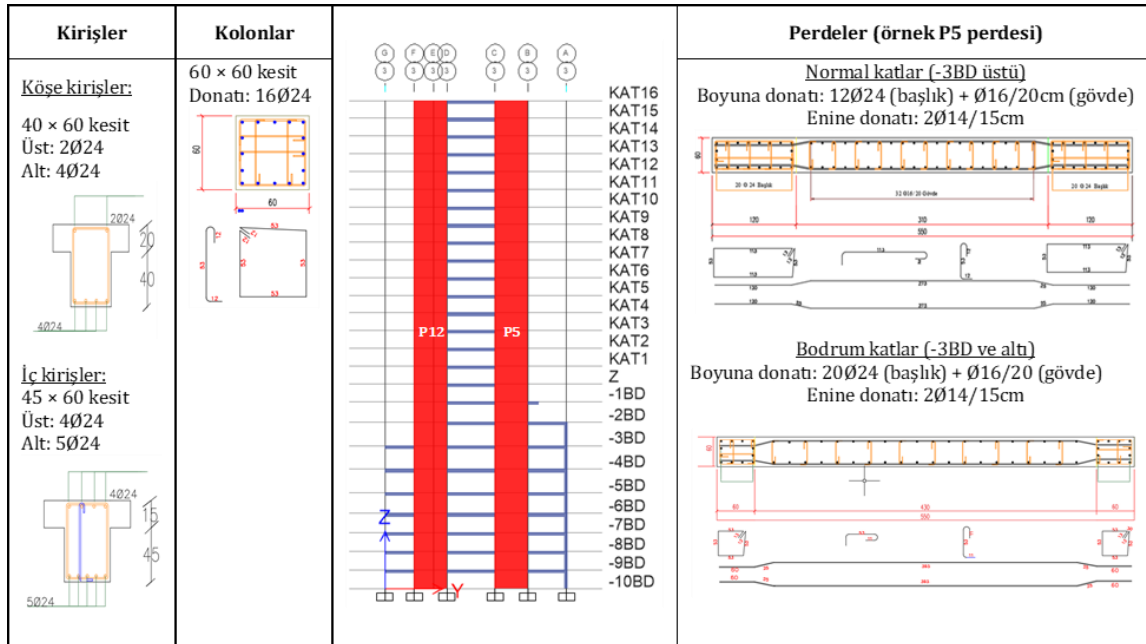
Performansa dayalı tasarım yöntemiyle TBDY 2018 Bölüm 13'e uygun olarak tasarımı tamamlanmış binanın eleman boyutu ve donatı oranı gibi tasarım sonuçları Şekil 12 ve Şekil 13'te sırasıyla "3" ve "B" akslarındaki elemanlar için örnek olarak sunulmuştur. Tasarımda tiplleştirilmeye gidildiği için benzer köşe kirişlerde ve iç kirişlerde aynı boyutlandırma ve donatılandırma yapılmıştır. Ayrıca perde, kolon ve kirişler için örnek kalıp planları sunulmuştur. Binanın taşıyıcı sisteminin yapısı gereği diğer akslarda da benzer boyut ve donatılar elde edilmiştir.

Sistemde inelastik deformasyonlar ve inelastik şekil değiştirme enerjisi beklendiği gibi görülmüş olup, gruplar atanarak eleman bazlı değerlendirme yapılmıştır. Perde, kolon ve kiriş elemanları, performans hedefi olarak belirlenen limitleri aşmamaktadır. Kesme kuvvetleri transfer katlarında artış göstermektedir, herhangi bir perde

için, yönetmelikte tanımlanan birim uzama kısıtlama limitlerinin aşılması durumu ile karşılaşmamıştır. Yapının harcadığı inelastik enerjiye, tüm eleman grupları katılmıştır. Kolonların gerek yapıdaki sayısı itibariyle gerekse de inelastik davranış gösterecek kesit ve donatıya sahip olmaması nedeniyle inelastik enerjiye katkısı oldukça düşük kalmıştır. Kolonlar neredeyse yapıda hiç inelastik enerji harcamamıştır (<%1).

Modellerin tamamı, analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanan programlar (ETABS, Perform3D) tarafından yapılmıştır. Bu süreçte TBDY 2018 kriterlerine bağlı kalmış, ancak yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışının tanımlanmasında (örn: kiriş ve kolonlarda plastik mafsalları tanımlama) PEER-TBI (2017) ve ATC-72 (2010) gibi uluslararası standartlara başvurulmuştur. Tüm bunlara rağmen farklı programlarda gerek programın yapısı gerekse de modellemeye kaçınılmayacak hususlardan dolayı bazı farklar olabilmektedir. Bu süreçte yapının kütle farkının, halihazırda ülkemizde tasarımı yapılmakta olan projelerde, tasarım teknik personelinin genel bir değer olarak belirlediği %5 maksimum kütle farkı kriteri dikkate alınmıştır. Yapıda kesit analizleri iki farklı programda (SAP2000 ve XTRACT) denenmiş ve iki programdan gelen değerlerin en olumsuzunu alınmıştır. Yapılan hesapların güvenliği her aşamada kontrol edilmiştir. Doğrulama sonucunda karşılaşılan hata oranları %10'dan daha düşüktür ve tasarımı değiştirebilecek mertebelere rastlanmamıştır.

Binada, binayı çevreleyen bodrum perdelerin bittiği katta podyum katları mevcuttur. Yüksek binalarda mimari olarak istenen podyum katlarında, perdelerin plandaki uzunluklarının ve rijitliklerinin çok ani şekilde yapıya katılması nedeniyle yumuşak kat düzensizliği, yapı göreceli kat ötelenmeleri, ötelenmeye açık perdelerde toptan göçme gibi sorunlar görülebilmektedir. Ayrıca, deprem etkisi altında kesme etkilerinin en yüksek seviyeleri de ani kesit değişimlerinin olduğu bu katlarda görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen binanın, yumuşak kat kontrolleri, kat ötelenmeleri kontrol edilmiş ve binanın TBDY 2018'de belirtilen kriterlerin tamamını sağladığı görülmüştür. Binanın özellikle kesme etkisi için en kritik bölgesinin podyum katları olduğu düşünülerek, bu katlarda kesme kapasiteleri sargı donatılarıyla artırılmış ve bazı perdelerde bu katların donatıları tiplendirilerek temelden itibaren uygulanmıştır.



Şekil 12. 3 aksındaki yapısal elemanların tasarım özeti (Design summary of structural members at axis 3)

Kiriş tip A	Kiriş tip B	Tip A	Tip B	Tip C	Kiriş tip C	Perdeler (örnek P1 perdesi)
45/60 kiriş. Üst donatı: 3Ø24, alt donatı: 4Ø24	45/60 kiriş. Üst donatı: 4Ø24, alt donatı: 5Ø24				40/60 kiriş. Üst donatı: 2Ø24, alt donatı: 4Ø24	<p>Normal katlar (-3BD üstü) Boyuna donatı: 12Ø24 (başlık) + Ø16/20cm (gövde) Enine donatı: 2Ø18/15cm</p> <p>Bodrum katlar (-3BD ve altı) Boyuna donatı: 20Ø24 (başlık) + Ø16/20 (gövde) Enine donatı: 2Ø18/15cm</p>

Şekil 13. B aksındaki yapısal elemanların tasarım özeti (Design summary of structural members at axis B)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, asimetrik bodrum perde yerleşimi nedeniyle yüksek burulma etkisi gösteren 26 katlı betonarme bir konut/işyeri binasının TBDY 2018 hükümlerine göre tasarımı yapılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ve betonarme boşluksuz perdelerden oluşmaktadır.

- Binada mimari sebeplerle asimetrik yerleştirilen bodrum perdeler, binanın tasarım yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bodrum perdelerin binayı 3 taraftan çevrelemiyor olması, bina yüksekliğinin temel seviyesinden hesaplanmasını gerektirmiş ve bina yükseklik sınıfı $BYS = 1$ olduğundan, bina "yüksek bina" olarak Bölüm 13'e göre tasarlanmıştır.
- Binanın tasarımı, performansa dayalı tasarım felsefesiyle üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bina; tasarımın birinci aşamasında dayanıma göre tasarım felsefesiyle 475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen tasarım depremi (DD-2) altında kontrollü hasar (KH) performans hedefini sağlayacak şekilde tasarlanmış, ikinci ve üçüncü aşamasında ise binanın sırasıyla 43 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen servis depremi (DD-4) altında kesintisiz kullanım (KK) performans kriterlerini ve 2475 yıl tekrarlanma periyoduna karşılık gelen maksimum deprem (DD-1) altında göçmenin önlenmesi (GÖ) performans kriterlerini sağladığı kontrol edilmiştir.
- Tasarımın birinci ve ikinci aşamasında binanın doğrusal elastik modelleme ve analizleri ETABS programında, üçüncü aşamasında ise doğrusal olmayan modelleme ve analizleri Perform3D programında yapılmıştır. Tasarımın birinci aşamasında ön tasarım yapılmış, ikinci aşamasında ise bazı kirişlerin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Tasarımın üçüncü aşamasında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler maksimum deprem seviyesini temsil eden 11 çift deprem yer hareketinin 0 ve 90 derece açıyla uygulanması sonucu toplam 22 yükleme durumu için tamamlanmıştır.
- Binadaki asimetrik bodrum perde yerleşimi binanın burulma davranışını belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir. Taşıyıcı sistemin burulma etkilerini azaltacak şekilde planlanması çalışmanın belirleyici unsurlarından biri olmuştur.
- Binanın doğrusal olmayan modellemesi TBDY 2018 hükümlerine göre yapılmıştır. Maksimum deprem (DD-1) seviyesinde meydana gelen maksimum görece kat ötelemeleri 0,016 olarak hesaplanmış ve yönetmelikte verilen sınırların altında kalmıştır.
- Maksimum deprem (DD-1) seviyesinde en yüksek taban kesme kuvveti talebinin bina ağırlığına oranı $-x$ ve $-y$ doğrultuları için sırasıyla 0,36 ve 0,32 olarak elde edilmiştir. Perdelerde en yüksek kesme talebi alan bölgenin transfer katları ve çevresi olduğu görülmüştür.
- Elastik ötesi davranış ve histeretik enerji sönümlenmesinin büyük bölümü kirişlerde görülmüştür. Kirişlerde maksimum dönme 0,04 rad olup, göçmenin önlenmesi performans kriterleri sağlanmıştır.

Binanın tasarımında karşılaşılan zorlukların başında doğrusal olmayan modelleme ve analizlerin gerektiği son tasarım aşaması gelmiştir. Yönetmelikte görece yeni olan bu kısımda tanımlanmamış ya da ucu açık bırakılmış tanımların olması, yabancı yönetmeliklerden yardım almayı gerektirmiştir. Yüksek binalarda bileşen sayısının fazla olması nedeniyle zaman tanım alanında analizlerin uzun zaman alması ve her yapısal elemanda şekil

değiştirme taleplerinin kontrol edilmesi için kesit kapasite ve taleplerinin hesabının zahmetli bir işlem olması, tasarımda iterasyon sayısını mümkün olduğunca küçük tutmayı gerektirmiş, bu da eleman boyutlarında optimizasyon yapma konusunu sınırlandırmıştır. Bununla birlikte, sonuçların çıktılarının değerlendirilmesi şekil değiştirmeye göre tasarımın zorlayıcı kısımları olmuştur. TBDY 2018’de tasarım yöntemi bina yükseklik sınıfına bağlı olarak seçilmektedir. Deprem hesabına esas bina yüksekliği ise rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi durumunda bodrum perdelerin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde, aksi halde bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada incelenen binanın bodrum perdeleri binayı iki taraftan çevrelediği için bina yüksekliği 82,8 metre olmuş (BYS = 1) ve tasarım şekil değiştirme esaslı tasarım felsefesiyle üç aşamalı olarak yapılmıştır. Ancak, binanın bodrum perdeleri binayı en az üç taraftan çevrelemiş olsaydı deprem hesabına esas bina yüksekliği 58,3 metre (BYS=2) olacağından, tasarımın dayanıma göre tasarım anlayışıyla tek aşamalı olarak yapılması gerekecekti. Burada, bodrum perdelerin tasarım yönteminin belirlenmesinde etkili bir rol oynadığının altı çizilmelidir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- AB, SEAONC 083, 2007. Recommended Administrative Bulletin on the Seismic Design and Review of Tall Buildings Using Non-Prescriptive Procedures. Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC) AB-083 Tall Buildings Task Group, San Francisco.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020. “Türkiye deprem tehlike haritası”, <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH> [Erişim: Ağustos 1, 2020].
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Ankara, Türkiye.
- Aktan A., Bertero V., 1984. Seismic response of R/C frame-wall structures. J. Str. Eng. 110(8): 1803–1821.
- ATC-72-1, 2010. Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Bertero V.V., 1980. Seismic behavior of R/C wall systems, Proc. of the 7th WCEE, Istanbul, Turkey, Vol. 6.
- Değer Z.T., Wallace J.W., 2016. Seismic performance of reinforced concrete dual-system buildings designed using two different design methods. Struct. Des. Tall Special Build. Jan;25(1):45-59.
- Değer Z.T., Yang, T.Y., Wallace J.W., Moehle J., 2015. Seismic performance of reinforced concrete core wall buildings with and without moment resisting frames. Struct. Design Tall Spec. Build., DOI: 10.1002/tal.1175.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.
- Eljadei A.A., 2012. Performance based design of coupled wall structures. Doktora Tezi. U of Pittsburgh.
- ETABS [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Gökçeoğlu, U., 2020. Betonarme Yüksek Bina Türü Bir Yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne Göre Performans Esaslı Tasarımı ve Tasarım Yöntemine Bodrum Perde Duvarlarının Etkisi. Yüksek lisans tezi. İTÜ Afet Yönetimi Enstitüsü.
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı, 2008. Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, 2009. Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Kaya, G. & Özsoy Özbay, A. E., 2019. Perde Ve Çerçevesel Betonarme Yapılarda Perde Konumunun Planda Düzenlenmesi Ve Yapısal Davranışa Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 7-17.
- Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC), 2020. An Alternative Procedure for Seismic Analyses and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region: A Consensus Document.
- Özer, Ö. & Yüksel, B., 2022. Deprem Etkilerinin Betonarme Çerçeveler İle Bağ Kirişli Betonarme Perdeler Tarafından Birlikte Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişi Modellerinin Yapı Performansına Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10 (1) , 161-179.
- Özgün, E., 2012. İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Yüksek Bir Binanın Analizi. Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özuygur, A. R., 2016. Performance-based Seismic Design of an Irregular Tall Building – A Case Study. Structures. Vol. 5. Elsevier.
- PEER TBI, 2017. Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Berkeley, CA.
- Perform 3D [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- SAFE [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- SAP2000 [Bilgisayar Yazılımı] Computers & Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Shin, M., Kang, T., Grossman, J.S., 2010. Practical modelling of high-rise dual-systems with reinforced concrete slab-column frames. Struct. Design Tall Spec. Build. 19 (2010): 728–749.

- Temiz, G.M., 2014. Betonarme Yüksek Bir Binanın 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarımı ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topçu, S., 2019. Betonarme yüksek bir binanın Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımının irdelenmesi. Yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- TS498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değeri. Türk Standartları Enstitüsü, 2. Baskı, Ankara, Kasım, 1997. [Erişim tarihi: 30.09.2021]
- XTRACT. (2004). Cross Section Analysis Program of Structural Engineers. Imbsen Software Systems.
- Yang T.Y., Moehle J., Bozorgnia Y., Zareian F., Wallace J.W., 2012. Performance assessment of tall concrete core-wall building designed using two alternative approaches, Earthquake Eng. Struct. Dyn. 41, (11): 1515–1531.
- Yang T.Y., Moehle J.P., Hurtato G., 2010. Seismic modeling and behavior of gravity frames in high-rise building. Proceedings, 9th NCEE, Toronto, Canada.