

Farklı Özelliklere Sahip Çok Katlı Binalarda Deprem Düzensizliklerinin İrdelenmesi

Yusuf Ziya NOMANOĞLU^{1,a}, Timuçin Alp ASLAN^{1,b}, Beytullah TEMEL^{1,c}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

^aORCID: 0000-0002-9755-977X; ^bORCID: 0000-0002-7558-3568; ^cORCID: 0000-0002-1673-280X

Makale Bilgileri

Geliş : 17.07.2024

Kabul : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560075

Sorumlu Yazar

Timuçin Alp ASLAN

taslan@cu.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Türkiye bina deprem yönetmeliği

Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Yapı düzensizlikleri

Yüksek betonarme binalar

Atf şekli: NOMANOĞLU, Y.Z., ASLAN, T.A., TEMEL, B., (2024). Farklı Özelliklere Sahip Çok Katlı Binalarda Deprem Düzensizliklerinin İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 647-666.

ÖZ

Bu çalışmada, çok katlı betonarme yüksek binaların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY -2018) kapsamındaki hususlara göre analizleri yapılmıştır. Salt betonarme çerçeve sistemler, perdeli sistemler ve bodrum perdeli sistemlerin analizleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine göre yapılmıştır. Bununla beraber analizlerde, farklı modeller için etrafı rijit bodrum perdeleri ile çevrili binaların deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Farklı özelliklere sahip çok katlı binalar modellenerek TBDY- 2018'e göre yapı düzensizlikleri araştırılmıştır. Bina modellemeleri ve analizleri için SAP2000 sonlu elemanlar paket programından faydalanılmıştır.

Examination of Earthquake Irregularities in Multi-Storey Buildings with Different Geometric Features

Article Info

Received : 17.07.2024

Accepted : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560075

Corresponding Author

Timuçin Alp ASLAN

taslan@cu.edu.tr

Keywords

Türkiye building earthquake code

Equivalent seismic load method

Structural irregularities

High-rise reinforced concrete buildings

How to cite: NOMANOĞLU, Y.Z., ASLAN, T.A., TEMEL, B., (2024). Farklı Özelliklere Sahip Çok Katlı Binalarda Deprem Düzensizliklerinin İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 647-666.

ABSTRACT

In this paper, the analysis of tall multi-story buildings is performed based on the regulations of the 2018 Türkiye Building Earthquake Code (TSC-2018). The static and dynamic analysis of reinforced concrete frame structures, structures with shear walls, and structures with shear walls at their basement floors is carried out using equivalent seismic load method. In addition, the response of several models of buildings having their basements surrounded by rigid shear walls is examined under the seismic loads in the analysis. Multi-storey buildings with different characteristics are modeled and structural irregularities are investigated according to TSC-2018. The SAP 2000 finite element package program is used for the modelling and analysis of the buildings.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze istenmeyen oranda can ve mal kayıplarına sebep olan çok sayıda orta ve büyük şiddetli depremler meydana gelmektedir. Bu sebeple deprem etkisi altında olan betonarme binaların tasarımında yeterli dayanımın sağlanması hayati önem taşımaktadır.

Kürkçü [1], yüksek katlı bir betonarme yapının TBDY-2018 göre tasarımını ETABS programını kullanarak yapmıştır. Asıgçel [2], betonarme binalarda deprem etkisini doğrusal analiz metodu kullanarak 2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBH-2007) ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırmıştır. Hamsici [3], çok katlı betonarme binalarda İDECAD programı yardımıyla TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 deprem yönetmeliklerine göre analizleri yapılarak taban kesme kuvvetleri ve maksimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılmalarını yapmıştır. Kapıdaş [4], betonarme yüksek binaların TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre tasarım ve analizini yapmıştır. Adar [5], DBYBH-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerini karşılaştırmış 13 katlı bir yapıyı analiz edip meydana gelen yer değiştirmeleri incelemiştir. Kefeli [6], planda düzensizliği bulunan farklı katlı yapıların SAP2000 programında modellemiş ve itme analizi ve zaman tanım alanında deprem performanslarının analizi için uygulamıştır. Topçu [7], 30 katlı bir betonarme binanın çekirdek perde ve çerçeve sistemi kullanarak tasarımını yapmıştır. Deliktaş [8] geometrik özellik ve kullanım amaçları bakımından aynı olan taşıyıcı sistemleri DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 göre oluşan gerilmeler ve yükleri hesaplayıp karşılaştırmıştır. Tekdemir [9], TBDY-2018 göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme yöntemini kullanarak 4 katlı betonarme bir binanın tasarım, analiz ve karşılaştırmasını yapmıştır. Fraidoon [10], perde sisteme sahip 24 katlı bir betonarme binanın TBDY-2018'e göre tasarımını ve deprem performanslarının incelemesini yapmıştır. Akçora [11], SAP2000 ve ETABS programlarını kullanarak binanın 3 boyutlu sonlu eleman modelleri hazırlamış ve mod birleştirme yöntemi ile analizini yapmıştır. Özmen ve Sayın [12], çok katlı betonarme bir yapının DBYBH-2007 ve TBDY-2018'e göre deprem yüklerini karşılaştırmışlardır. Karaca [13], bodrumlu betonarme binaları irdelenmiş ve bodrumun önemini ve hesaplamalarda dikkat edilmesi gereken hususları ortaya koymuştur. Zeybek [14] çalışmasında TBDY-2018'e göre yüksek katlı bir yapının analizi için yönetmelikte yapılması gerekenleri, aşamalar halinde anlatmış elde ettiği verileri yorumlayarak karşılaşılan zorlukları ve eksiklikleri ortaya koymuştur. Uludağ [15], TBDY-2018'de verilen yükseklik sınırına göre tasarım kurallarını örneklerle karşılaştırarak incelemiştir. Seçkin ve Boran [16], 20 katlı bir binada TBDY 2018'e göre betonarme perdelerin kesme güvenliğini araştırmışlardır. Özerdem [17] farklı detaylara sahip betonarme çerçevelerin deprem davranışlarını incelemiştir. Sağlam [18] betonarme yüksek bir yapının TBDY-2018 e göre tasarımını ve performans analizini SAP 2000 programını kullanarak gerçekleştirmiştir. Yılmaz [18] tez çalışmasında kat adedi farklı binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini TBDY-2018 ve Eurocode-8 deprem yönetmeliklerini kullanılarak incelemiştir.

Bu çalışmada çok katlı betonarme yüksek binaların TBDY-2018 kapsamındaki hususlara göre analizleri yapılmıştır. Salt çerçevelerden oluşan, perdeli ve bodrum perdeli sistemler için incelemeler Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile aşamalar halinde yapılmış, her aşama sonucunda elde edilen veriler yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında TBDY-2018'e [19] göre çeşitli bina modllerinin analizleri yapılacaktır. İlk olarak bina kullanım sınıfı (BKS) ve bina önem katsayı (I) TBDY-2018'de Çizelge 1 incelenerek bina kullanım amacına uygun olarak seçilir.

Farklı deprem yer hareketi düzeyleri için tanımlanmış olan deprem tehlike haritalarına <https://tdth.afad.gov.tr> [20] web adresinden erişim sağlanmaktadır. Haritadan koordinat bilgileri, deprem yer hareketi düzeyi, zemin sınıfı bilgileri ve zemin sınıfına bağlı olarak bina yapılacak parselde özgü spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik tasarım spektrum katsayıları bulunmaktadır.

Çizelge 1. BKS ve I (TBDY-2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Deprem tasarım sınıfı (DTS) ve BKS'ye göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı bulunur (Çizelge 2).

Çizelge 2. DTS (TBDY-2018)

DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{Ds})	Bina kullanım sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{Ds} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 < S_{Ds} \leq 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 < S_{Ds} \leq 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{Ds}$	DTS = 1a	DTS = 1

TBDY-2018 Çizelge 3' ten bina toplam yüksekliği ve DTS'ye göre Bina yükseklik sınıfı (BYS) bulunur. Bina toplam yüksekliği sayısal model oluşturulduktan sonra TBDY-2018 Madde 3.3.1'e göre yeniden belirlenir.

Süneklik düzeylerine göre bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (BYS) Çizelge 4. üzerinde verilmiştir. Çizelge 4'den seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, sayısal model oluşturulduktan sonra TBDY-2018 4.3.2.4. ve 4.3.2.5. maddelerine göre tekrardan değerlendirilir.

Çizelge 3. BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY-2018)

Bina yükseklik sınıfı	Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Çizelge 4. Bina taşıyıcı sistemleri için R, D ve BYS katsayıları (TBDY-2018)

Bina taşıyıcı sistemi	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R	Dayanım fazlalığı katsayısı D	İzin verilen bina yükseklik sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	BYS ≥ 4
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2.5	BYS ≥ 4
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 6
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS ≥ 6
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
A32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6

TBDY-2018'de madde 4.5.9'a göre kat kütleleri belirlenirken sabit yüklerin tamamı ve hareketli yüklerin ise binanın kullanım amacına göre Çizelge 5' te verilen katılım katsayısına (n) göre belirli bir kısmı dikkate alınmaktadır. Ayrıca çatı katı yüklerinin ise %30'u göz önüne alınır.

Çizelge 5. n değerleri (TBDY-2018)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

TBDY-2018 madde 4.5.8'e göre, dayanıma göre tasarım kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin tanımlanmasında Çizelge 6'da verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılır (TBDY-2018).

Çizelge 6. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları

Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	Etkin kesit rijitliği çarpanı	
Perde – döşeme (düzlem içi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – döşeme (düzlem dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

TBDY-2018 Madde 3.3.1.1 de verilen koşulların her ikisini de sağlayan bodrumlu binalarda bina tabanı, bodrum perdelerinin üst konundaki kat döşeme seviyesinde tanımlanır (TBDY-2018).

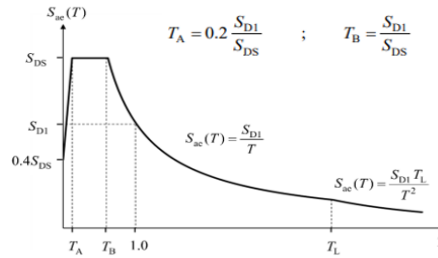
1. Bodrumun her taraftan veya en az üç taraftan rijit perdeler ile çevrilmesi
2. Bina eksenlerinin birbirine dik doğrultularındaki hâkim titreşim modunda, bodrum katlar dâhil binanın tümü için hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodunun, aynı taşıyıcı sistemin zemin katının döşeme yükleri ve bodrum yükleri hesaba katılmadan aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1,1'den küçük olması durumudur.

TBDY-2018'e göre herhangi bir deprem hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu $S_{ac}(T)$, doğal titreşim periyoduna göre yer çekim ivmesi cinsinden

$$S_{ac}(T) = \begin{cases} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{cases}$$

denklemleri yardımıyla bulunur.

Denklemlerde görüldüğü üzere tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} yatay tasarım spektrumu köşe periyotlarına T_A ve T_B 'ye bağlı olarak tanımlanır. (TBDY-2018).



Şekil 1. Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY- 2018)

Deprem düzensizlikleri kontrol edilirken depreme karşı davranıştaki olumsuzluklar sebebiyle tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken düzensiz binaların tanımlanmasında, planda ve düşey doğrultuda meydana gelen düzensizliklerle ilgili durumlar Çizelge 7'de verilmiştir (TBDY-2018).

Çizelge 7. Düzensiz binalar (TBDY-2018)

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili maddeler
A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu	3.6.2.1
A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede; I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	3.6.2.2
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu.	3.6.2.2
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili maddeler
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'nin, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> c_{η} 'nin 0.80'den küçük olması durumu.	3.6.2.3
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu.	3.6.2.1
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu.	3.6.2.4

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde TBDY 2018'e göre 4 adet farklı model için bina düzensizlikleri SAP2000 [21] programından alınan sonuçlar yardımıyla incelenmiştir. Modellemeler oluşturulurken bodrum perdelerinin ve kat perdelerinin bina davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca modellerde simetrik ve asimetric perdelerin deprem düzensizlikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Uygulama 1. Etrafı Rijit Perdelerle Çevrili Bodrum Perdeli Sistem

Binanın Adana/Sarıçam'da Çukurova üniversitesi yerleşkesinde inşa edilmesi planlanmaktadır. Yerel zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir.

Bina Bilgileri:

Kat adedi	: 1 Bodrum + 10 Kat
Kat Yüksekliği	: 3m
Kolon	: 80x80 cm
Kiriş	: 40x60 cm
Döşeme Kalınlığı	: 20 cm
Perde	: 40 cm
Bodrum kat bodrum perdeleri ile çevrilmiştir.	

Malzeme:

Beton	: C40/50
Donatı Çeliği	: S420

Yükler:

Normal katlar için;

Sabit (Zati) Yük	: 3,5 kN/m ²
Hareketli Yük	: 5 kN/m ²
Çatı katı için;	
Sabit (Zati) Yük	: 4 kN/m ²
Hareketli Yük	: 1,5 kN/m ²
Kar yükü	: 1,15 kN/m ²

Binamız konut amacı ile kullanılacaktır. TBDY-2018 Çizelge 3.1'e göre bina kullanım sınıfı BKS=3 bina önem katsayısı I=1 olarak belirlenmiştir.

Deprem hareketi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) standart tasarım deprem yer hareketi olarak dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektrumu oluşturulur.

DD-2 deprem düzeyi ve ZC zemin sınıfı için Türkiye Deprem Tehlike Haritasından aldığımız parametreler;

$$S_S=0,527 \quad S_I=0,130 \quad S_{DS}=0,679 \quad S_{D1}=0,195 \quad PGA=0,231 \quad PGV=11,826$$

olarak bulunmuştur.

S_{DS} ve BKS kullanılarak TBDY-2018 Çizelge 2'den DTS=1 belirlenir.

TBDY-2018 Çizelge 3'ten yararlanılarak DTS ve Kat yüksekliği bilgilerini kullanarak Bina Yükseklik Sınıfı BYS=4 belirlenir.



Şekil 2. Türkiye deprem tehlike haritaları kullanıcı girdileri

Çıktılar

$$S_S = 0.527 \quad S_1 = 0.130 \quad S_{D5} = 0.679 \quad S_{D1} = 0.195$$

$$PGA = 0.231 \quad PGV = 11.826$$

S_0 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

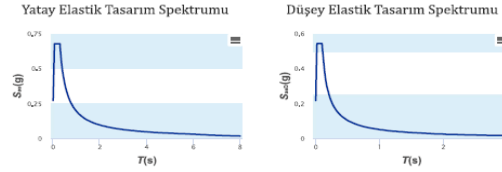
S_1 : 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D0} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

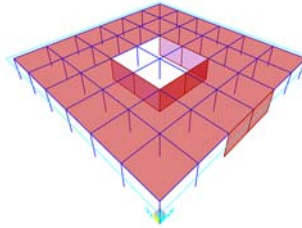


Şekil 3. Türkiye deprem tehlike haritaları çıktıları (AFAD)

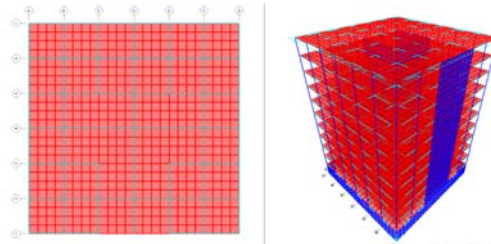
TBDY-2018 Çizelge 3.4'e göre izin verilen bina yükseklik sınıfları içerisinde $BYS \geq 2$ ve A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarmeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R=7$ ve $D=2,5$ seçilir.

SAP2000 programı yardımıyla bina modeli oluşturularak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizler yapılacaktır.

Bina modelinde 1 adet merkezde olmak üzere C perde ve 1 adette binanın dış kenarında perde-bulunmakta olup bodrum katının etrafı dıştan rijit perdelerle çevrilmiştir.



Şekil 4. SAP2000 3 boyutlu kat perspektif görünüşü



Şekil 5. SAP2000 Döşeme sonlu elemanlar modeli ve bina perspektif görünüşü

Bu modelde perde elamanlarının asimetrik konumlarından dolayı bina modelinin simetrikliği bozulduğundan X ve Y yönlerinde farklı hâkim titreşim periyotları ($T^{(x)}=0,94$ sn, $T^{(y)}=0,70$ sn) elde edilmiştir.

TBDY-2018 Madde 4.7.3.2'ye göre binanın hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA}=C_t H_N^{3/4}$ değerinin 1.4 katını geçmemelidir.

$C_t=0,07$ Binanın bodrum katındaki üstündeki toplam yükseklik $H_N=30$ m için $1,4 \times T_{pA}=1,256$ sn ($T^{(x)}=0,94$ sn, $T^{(y)}=0,70$ sn) $< 1,4 \times T_{pA} = 1,256$ sn şartını sağlamaktadır.

Bina kat yüksekliğinin belirlenmesi için bodrum kat yükleri ihmal edilerek hâkim doğal titreşim periyodu değerleri bulunmalıdır.

Zemin kat döşemeleri dâhil olmak üzere tüm bodrum kat kütleleri hesaba katılmadan çözümlenen modele ait X ve Y doğrultularındaki serbest titreşim periyodları, binanın tümü için hesaplanan X ve Y doğrultusundaki periyodlarla karşılaştırdığımızda çıkan farkın çok az olduğu görülmüştür ($T^{(x)}=0,94$ sn, $T^{(y)}=0,70$ sn). Bu sebepten bina tabanı, bodrum katla zemin kat arasındaki kat döşemesinden tanımlanacaktır. $H_N=30$ m olarak alınır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde tüm kat kütleleri kat hizasında yığılı olarak hesaplanır. Kat hizasında bulunan döşeme kiriş gibi tüm taşıyıcı yapı elemanları kat kütlelerine dâhil edilir. Fakat kolon perde gibi düşey taşıyıcı elemanların ise uzunluklarının yarısı buldukları katın kütlelerine katılır.

Buna göre üst bölüm toplam kat kütlesi 9876 ton, bodrum kat toplam kütlesi 1131 ton olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8. Kat kütleleri

Kat No	Kütle (Ton)
10	906
9	997
8	997
7	997
6	997
5	997
4	997
3	997
2	997
1	997
Bodrum	1131

TBDY-2018'e göre yatay tasarım spektrumu köşe periyodları hesaplanmıştır.

$$T_A = 0,2 \frac{0,195}{0,679} \Rightarrow T_A = 0,057 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{0,195}{0,679} \Rightarrow T_B = 0,287 \text{ sn}$$

Üst Katlar:

TBDY-2018'e göre yatay elastik tasarım spektral ivmeleri sırasıyla X ve Y doğrultularında aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$S_{ae}(T^{(x)}) = \frac{0,195}{0,94} \Rightarrow S_{ae}(T^{(x)}) = 0,207 \text{ g}$$

$$S_{ae}(T^{(y)}) = \frac{0,195}{0,7} \Rightarrow S_{ae}(T^{(y)}) = 0,278 \text{ g}$$

TBDY-2018'e göre deprem yükü azaltma katsayısı sırasıyla X ve Y doğrultularında aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$R_a(T^{(x)}) = \frac{7}{1} \Rightarrow R_a(T^{(x)}) = 7, \quad R_a(T^{(y)}) = \frac{7}{1} \Rightarrow R_a(T^{(y)}) = 7$$

TBDY-2018'e göre azaltılmış tasarım spektral ivmesi sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$S_{aR}(T^{(x)}) = \frac{0,207}{7} \Rightarrow S_{aR}(T^{(x)}) = 0,030 \text{ g} \quad S_{aR}(T^{(y)}) = \frac{0,278}{7} \Rightarrow S_{aR}(T^{(y)}) = 0,039 \text{ g}$$

Bodrum katı:

TBDY-2018'de $T=0$ için elde edilen azaltılmış spektral ivme;

$$S_{aR}(0) = \frac{0,4 \times 1,198}{1,5} \Rightarrow S_{aR}(0) = 0,181 \text{ g}$$

olarak hesaplanır.

Üst Katlar:

TBDY-2018'e göre X ve Y doğrultularındaki toplam eşdeğer deprem yükü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T)g \geq 0,04 m_t I S_{DS}g$$

$$V_{tE}^{(x)} = 9876 * 0,030 * 9,81 \geq 0,04 * 9875,64 * 1 * 0,679 * 9,81$$

$$V_{tE}^{(x)} = 2906 \text{ kN} \geq 2631 \text{ kN}$$

$$V_{tE}^{(y)} = 9876 * 0,039 * 9,81 \geq 0,04 * 9876 * 1 * 0,679 * 9,81$$

$$V_{tE}^{(y)} = 3778 \text{ kN} \geq 2631 \text{ kN}$$

Bodrum Kat:

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T)g$$

$$V_{tE}^{(x)} = 1331 * 0,181 * 9,81 = 2008 \text{ kN}$$

TBDY-2018'e göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri,

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada binanın tepesine etkiyen X ve Y doğrultusundaki ek eşdeğer deprem yükleri;

$$\Delta F_{NE}^{(x)} = 0,0075 N V_{tE} = 217,98 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(y)} = 0,0075 N V_{tE} = 283,374 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmıştır. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Katlara etkiye eşdeğer deprem yükleri

Kat no	h _i m	H _i m	m _i ton	m _i H _i Tonm	F _{iE} ^(X) (kN)	F _{iE} ^(Y) (kN)
10	3	30	906	27176	670	871
9	3	27	997	26909	447	582
8	3	24	997	23919	398	517
7	3	21	997	20929	348	452
6	3	18	997	17940	298	388
5	3	15	997	14950	249	323
4	3	12	997	11960	199	258
3	3	9	997	8970	149	194
2	3	6	997	5980	99	129
1	3	3	997	2990	50	65

TBDY-2018, madde 4.5.10'a göre kat döşemlerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, kat kütle merkezlerine etkiyen yatay deprem yükleri, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyunun +%5 ve -%5' i kadar kaydırılarak bu durumlar için ayrıca deprem hesabı yapılacaktır.

Ele alınan bina sırasıyla "EXÜ", "EXÜ+%5", "EXÜ-%5", "EYÜ", "EYÜ+%5" ve "EYÜ-%5" yüklemeleri altında incelenmiş ve X ve Y yönleri için en olumsuz sonuçlar burulma düzensizliği (A1) kontrolleri için Çizelge 10 ve 11'de verilmiştir.

Örnek binada X doğrultusunda A1-Burulma Düzensizliğinin en elverişsiz değerleri EXÜ+%5 yükleme durumu için elde edilmiştir. Binada X doğrultusuna dik doğrultuda asimetrik perde elemanları bulunduğu için η_{bi} kat sayısı $1,2 < \eta_{bi} < 2,0$ koşulu oluşmaktadır. Bu durumda TBDY-2018, madde 4.7.4'e göre X doğrultusunda uygulanan $\pm\%5$ ek dış merkezlik, her katta hesaplanan D_{bi} katsayısıyla çarpılarak büyütülmeli ve analiz tekrarlanarak tasarıma esas iç kuvvetler ve yer değiştirmeler hesaplanmalıdır.

Çizelge 10. "EXÜ+%5" yüklemesi için A1 kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}	(Δ _i) _{max}	(Δ _i) _{min}	(Δ _i) _{ort}	η _{bi}
10	1,3902	0,26	0,0833	0,0297	0,0565	1,474
9	1,3069	0,2303	0,1045	0,0304	0,06745	1,5492
8	1,2024	0,1999	0,1249	0,0303	0,0776	1,609
7	1,0775	0,1696	0,1435	0,0297	0,0866	1,657
6	0,934	0,1399	0,159	0,0286	0,0938	1,695
5	0,775	0,1113	0,1699	0,0268	0,09835	1,727
4	0,6051	0,0845	0,1745	0,0243	0,0994	1,755
3	0,4306	0,0602	0,1704	0,0211	0,09575	1,779
2	0,2602	0,0391	0,1521	0,0177	0,0849	1,791
1	0,1081	0,0214	0,1081	0,0214	0,06475	1,669

Çizelge 11. “EYÜ+5” yüklemesi için A1 kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}	(Δ _i) _{max}	(Δ _i) _{min}	(Δ _i) _{ort}	η _{bi}
10	1,038	0,7702	0,0899	0,0731	0,0815	1,103
9	0,9481	0,6971	0,1001	0,0793	0,0897	1,115
8	0,848	0,6178	0,1077	0,0831	0,0954	1,128
7	0,7403	0,5347	0,1139	0,0858	0,09985	1,140
6	0,6264	0,4489	0,1179	0,087	0,10245	1,150
5	0,5085	0,3619	0,1186	0,0857	0,10215	1,161
4	0,3899	0,2762	0,1153	0,0817	0,0985	1,170
3	0,2746	0,1945	0,107	0,0746	0,0908	1,178
2	0,1676	0,1199	0,0925	0,064	0,07825	1,182
1	0,0751	0,0559	0,0751	0,0559	0,0655	1,146

Binada EYÜ±5 yükleme durumu için ise Y doğrultusuna dik yöndeki perdeler simetrik olarak yerleştirildiğinden burulma düzensizliği katsayı η_{bi} <1,2 koşulunu sağlamaktadır. Aynı zamanda EYÜ yükleme durumu için binanın rijitlik merkezi ve kütle merkezi aynı noktada olduğundan burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} = 1 olarak incelenmiştir.

Örnek binada brüt kat alanı (A): 24×24=576 m²
 Örnek binada kat içindeki boşluk alanı (Ab): 8×8=64 m²
 64<576/3=192 m² koşulunu sağlamaktadır.

Aynı zamanda deprem yüklerinin düşey doğrultuda sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşlukları bulunmadığından ve döşemenin düzlem içi rijitliği ile dayanımında ani azalmalar olmadığından binada A2 düzensizliği bulunmamaktadır.

Örnek binada kat planında balkon gibi çıkıntı yapan kısım bulunmadığından dolayı A3 düzensizliği bulunmamaktadır.

Örnek bina modelinde etkili kesme alanları katlar arası değişmediğinden B1 düzensizliği bulunmamaktadır.

Daha sonra B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolleri için binada sırasıyla “EXÜ”, “EXÜ+5”, “EXÜ-5”, “EYÜ”, “EYÜ+5” ve “EYÜ-5” yüklemeleri için çalışmalar yapılmış ve X ve Y yönleri için en olumsuz sonuçlar Çizelge 12 ve 13’de verilmiştir.

Çizelge 12. “EXÜ-5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h _i	(Δ _i) _{ort}	(Δ _i /h _i) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i+1} /h _{i+1}) _{ort})	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i-1} /h _{i-1}) _{ort})
10	300	0,05265	0,00018	-----	0,85
9	300	0,06195	0,00021	1,18	0,88
8	300	0,0703	0,00023	1,13	0,90
7	300	0,0777	0,00026	1,11	0,93
6	300	0,0835	0,00028	1,07	0,96
5	300	0,0869	0,00029	1,04	0,99
4	300	0,08735	0,00029	1,01	1,04
3	300	0,0838	0,00028	0,96	1,13
2	300	0,07405	0,00025	0,88	1,28
1	300	0,0577	0,00019	0,78	-----

Çizelge 13. “EYÜ-5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h _i	(Δ _i) _{ort}	(Δ _i /h _i) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i+1} /h _{i+1}) _{ort})	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i-1} /h _{i-1}) _{ort})
10	300	0,0815	0,00027	-----	0,91
9	300	0,0897	0,0003	1,10	0,94
8	300	0,0954	0,00032	1,06	0,96
7	300	0,09985	0,00033	1,05	0,97
6	300	0,10245	0,00034	1,03	1,00
5	300	0,10215	0,00034	1,00	1,04
4	300	0,0985	0,00033	0,96	1,08
3	300	0,0908	0,0003	0,92	1,16
2	300	0,07825	0,00026	0,86	1,19
1	300	0,0655	0,00022	0,84	-----

Çizelgeler incelendiğinde, hesaplanan η_{ki} 2,0 sınırı değerini aşmadığından bina modelinde komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat-B2) bulunmamaktadır.

Örnek bina taşıyıcı sistem modelinde yapı elamanlarının bazı katlarda kaldırılma ya da hareket etme gibi bir durumu olmadığından taşıyıcı elamanlarda herhangi bir süreksizlik yoktur. Örnek bina modelinde B3 düzensizliği bulunmamaktadır.

Görelî kat ötelemelerini incelediğimiz (Çizelge 14 ve 15) bu kısımda ise ele alınan modelimizin TBDY-2018 madde 4.9.1 ile tanımlanan duruma uyduğu görülmektedir. κ katsayısı betonarme binalarda “1” alınacaktır. λ katsayısı ise DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak tanımlanmıştır.

DD-2 yer hareketi için:

$$S_{ae}(T^{(x)}) = 0,207 \text{ g} \quad ; \quad S_{ae}(T^{(y)}) = 0,278 \text{ g}$$

DD-3 yer hareketi için:

$$T_A = 0,2 \frac{0,076}{0,243} = 0,062 \text{ sn} \quad ; \quad T_B = \frac{0,076}{0,243} = 0,313 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T^{(x)}) = \frac{0,076}{0,94} = 0,08 \text{ g} \quad ; \quad S_{ae}(T^{(y)}) = \frac{0,076}{0,7} = 0,11 \text{ g}$$

$$\lambda^{(x)} = \frac{0,08}{0,207} = 0,386 \quad ; \quad \lambda^{(y)} = \frac{0,08}{0,207} = 0,396$$

Çizelge 14. “EXÜ+%5” yüklemesi için görelî kat ötelemesi kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(Δ _i) _{max}	(δ _i) _{max}	h _i	λ	$\lambda * \frac{(\delta_i)_{max}}{h_i}$
10	1,3902	0,0833	0,5831	300	0,386	0,00075026
9	1,3069	0,1045	0,7315	300	0,386	0,0009412
8	1,2024	0,1249	0,8743	300	0,386	0,00112493
7	1,0775	0,1435	1,0045	300	0,386	0,00129246
6	0,934	0,159	1,113	300	0,386	0,00143206
5	0,775	0,1699	1,1893	300	0,386	0,00153023
4	0,6051	0,1745	1,2215	300	0,386	0,00157166
3	0,4306	0,1704	1,1928	300	0,386	0,00153474
2	0,2602	0,1521	1,0647	300	0,386	0,00136991
1	0,1081	0,1081	0,7567	300	0,386	0,00097362

Çizelge 15. “EYÜ+%5” yüklemesi için görelî kat ötelemesi kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(Δ _i) _{max}	(δ _i) _{max}	h _i	λ	$\lambda * \frac{(\delta_i)_{max}}{h_i}$
10	1,038	0,0899	0,6293	300	0,396	0,00083068
9	0,9481	0,1001	0,7007	300	0,396	0,00092492
8	0,848	0,1077	0,7539	300	0,396	0,00099515
7	0,7403	0,1139	0,7973	300	0,396	0,00105244
6	0,6264	0,1179	0,8253	300	0,396	0,0010894
5	0,5085	0,1186	0,8302	300	0,396	0,00109586
4	0,3899	0,1153	0,8071	300	0,396	0,00106537
3	0,2746	0,107	0,749	300	0,396	0,00098868
2	0,1676	0,0925	0,6475	300	0,396	0,0008547
1	0,0751	0,0751	0,5257	300	0,396	0,00069392

Çizelgeler incelendiğinde, görelî kat ötelemesi kontrolünde 0,008 sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür.

TBDY-2018, madde 4.9.1’e göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda ve her bir i. katında ikinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}$ hesaplanmıştır (Çizelge 16 ve 17).

Çizelge 16. “EXÜ” yüklemesi için ikinci mertebe gösterge değeri

Kat no	(Δ _i) _{ort}	m _i (ton)	w _i (kN)	V _i (kN)	h _i	θ _{II,i}
10	0,0545	905,9	8.886,6828	670	300	0,00241
9	0,06475	996,6	9.777,0384	447	300	0,00361
8	0,07385	996,6	9.777,0384	398	300	0,00462
7	0,08215	996,6	9.777,0384	348	300	0,00562
6	0,0886	996,6	9.777,0384	298	300	0,00656
5	0,09255	996,6	9.777,0384	249	300	0,00740
4	0,09335	996,6	9.777,0384	199	300	0,00806
3	0,0898	996,6	9.777,0384	149	300	0,00839
2	0,07935	996,6	9.777,0384	99	300	0,00806
1	0,06125	996,6	9.777,0384	50	300	0,00681

Çizelge 17. “EYÜ” yüklemesi için ikinci mertbe gösterge değeri

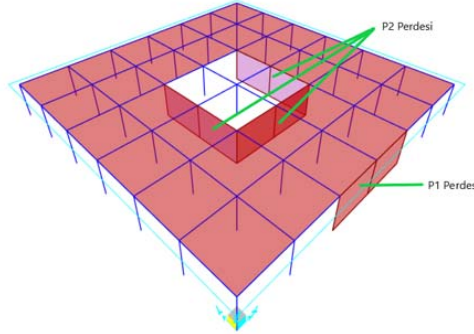
Kat no	(Δ_i) _{ort}	m _k (ton)	w _k (kN)	V _i (kN)	h _i	$\theta_{n,i}$
10	0,0815	905,9	8.886,6828	871	300	0,00277
9	0,0897	996,6	9.777,0384	582	300	0,00384
8	0,0954	996,6	9.777,0384	517	300	0,00459
7	0,0999	996,6	9.777,0384	452	300	0,00526
6	0,1024	996,6	9.777,0384	388	300	0,00583
5	0,1022	996,6	9.777,0384	323	300	0,00628
4	0,0985	996,6	9.777,0384	258	300	0,00654
3	0,0908	996,6	9.777,0384	194	300	0,00653
2	0,0782	996,6	9.777,0384	129	300	0,00611
1	0,0655	996,6	9.777,0384	65	300	0,00560

$\theta_{II,max} = 0,12 \frac{D}{C_{hR}}$ İkinci mertbe etkileri kontrolünde 0,085 sınır değeri aşılmamıştır.

SAP2000 Kat planı perdelerin perspektif görünüşü Şekil 6’da verilen modelimizde bina tabanında meydana gelen devrilme momenti Çizelge 18’de, perde taban devrilme momentleri ise Çizelge 19’da verilmektedir.

Çizelge 18. Toplam devrilme momenti

Kat no	H _i (m)	F _{ie} ^(X) (kN)	F _{ie} ^(Y) (kN)	H _i *F _{ie} ^(X) (kNm)	H _i *F _{ie} ^(Y) (kNm)
10	30	670	871	20093	26120
9	27	447	582	12078	15701
8	24	398	517	9543	12406
7	21	348	452	7306	9498
6	18	298	388	5368	6978
5	15	249	323	3728	4846
4	12	199	258	2386	3101
3	9	149	194	1342	1745
2	6	99	129	596	775
1	3	50	65	149	194
				62589	81366



Şekil 6. Kat planı perdelerin perspektif görünüşü

Çizelge 19. Perde taban devrilme momentleri (kNm)

P1 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} =	3897
P2 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} =	22399
P2 perdesi için Y-doğrultusundaki M _{DEV} =	33678

TBDY-2018, madde 4.3.2.4 (a)’ya göre taşıyıcı sistemde tek bir perdenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV}, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M₀’ in 1/3’ ünden fazla olmamalıdır (Çizelge 20).

Çizelge 20. M_{DEV} / M₀ oranı

P1 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	6%
P2 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	36%
P2 perdesi için Y-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	41%

Çizelge incelendiğinde P1 perdesi X doğrultusu için TBDY-2018 Madde 4.3.2.4.(a) koşulunu sağladığı ancak P1 perdesi Y doğrultusu ve P2 perdesi için bu koşulun sağlanmadığı görülmektedir.

Bu durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yerine 4/5 R alınarak tüm hesaplar tekrarlanmalıdır.

TBDY-2018 madde 4.3.4.5'e göre, perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %40'ından az %75'inden fazla olmamalıdır (Çizelge 21).

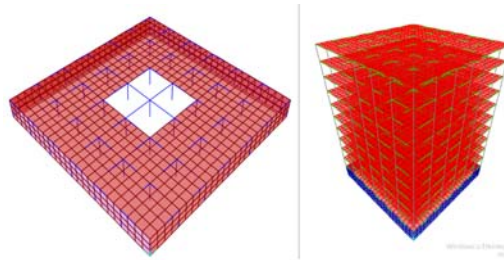
Çizelge 21. Toplam M_{DEV} / M_0 oranı

X-doğrultusundaki toplam $M_{DEV} / M_0 =$	42%
Y-doğrultusundaki toplam $M_{DEV} / M_0 =$	41%

Model X ve Y doğrultusunda TBDY-2018 madde 4.3.4.5 koşulunu sağlamaktadır.

Uygulama 2. Etrafı Rijit Perdelerle Çevrili Bodrum Sistem

Model 2'de (Şekil 7.) model 1'deki bina modelinin kat perdelerini çıkartıp kat perdelerinin yapı düzensizlikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 7. SAP2000 Bina döşeme modeli ve bina perspektifi görünüşü

Yapıdan kat perdeleri çıkartıldığı için ikinci modelde daha yüksek hakim titreşim periyodu değerleri bulunmuştur. Bunun yanı sıra binada asimetrik perde bulunmadığından dolayı x ve yönlerinde aynı hâkim titreşim periyodu değerleri bulunmuştur ($T^{(x)}=1,07$ sn, $T^{(y)}=1,07$ sn).

Örnek binada sırasıyla “EXÜ”, “EXÜ+%5”, “EXÜ-%5”, “EYÜ”, “EYÜ+%5” ve “EYÜ-%5” yüklemeleri için işlemler yapılmış binanın X ve Y yönleri için binanın simetrik olması sebebiyle aynı değerlerin bulunduğu gözlenmiş ve en elverişsiz haldeki burulma düzensizliği durumu Çizelge 22.'de verilmiştir.

Örnek binada X ve Y doğrultusunda A1-Burulma Düzensizliği bulunmamaktadır.

Burulma düzensizliğinin en elverişsiz değerleri, X ve Y deprem doğrultularında EXÜ ve EYÜ $\pm\%5$ yüklemeleri için hesaplanmıştır. Önceki modelimize göre perdelerin olmaması burulma düzensizliği açısından dezavantaj oluşturulurken, binanın simetrik bir modele sahip olduğundan daha elverişli η_{bi} değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 22. “EXÜ+%5” yüklemesi için A1 kontrolü

Kat n	$(d)_{max}$	$(d)_{min}$	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{min}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10	1,2249	0,9991	0,056	0,046	0,051	1,098
9	1,1689	0,9531	0,0779	0,0637	0,0708	1,100
8	1,091	0,8894	0,1006	0,0822	0,0914	1,100
7	0,9904	0,8072	0,1217	0,0992	0,11045	1,101
6	0,8687	0,708	0,1397	0,1137	0,1267	1,102
5	0,729	0,5943	0,1539	0,1253	0,1396	1,102
4	0,5751	0,469	0,1628	0,1324	0,1476	1,102
3	0,4123	0,3366	0,1633	0,1327	0,148	1,103
2	0,249	0,2039	0,1471	0,1195	0,1333	1,103
1	0,1019	0,0844	0,1019	0,0844	0,09315	1,093

Aynı şekilde B2 düzensizliği kontrolünde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 23).

Çizelge incelendiğinde hesaplanan η_{ki} 2,0 sınır değerini aşmadığından bina modelinde B2 bulunmamaktadır.

Çizelge 23.“EXÜ” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h _i	(Δ _i) _{ort}	(Δ _i /h _i) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i+1} /h _{i+1}) _{ort})	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i-1} /h _{i-1}) _{ort})
10	300	0,051	0,00017	-----	0,720
9	300	0,0708	0,00024	1,388	0,774
8	300	0,0914	0,0003	1,290	0,827
7	300	0,1104	0,00037	1,207	0,870
6	300	0,1268	0,00042	1,148	0,908
5	300	0,1395	0,00047	1,100	0,944
4	300	0,1477	0,00049	1,058	0,997
3	300	0,148	0,00049	1,002	1,111
2	300	0,1332	0,00044	0,9	1,429
1	300	0,0932	0,00031	0,699	-----

Görelî kat ötelemelerini incelediğimizde (Çizelge 24.) ise DD-3 yer hareketine göre gerekli işlemler yapıldıktan sonra $\lambda^{(xy)} = 0,390$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 24. “EXÜ+5%” yüklemesi için görelî kat ötelemesi kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(Δ _i) _{max}	(δ _i) _{max}	h _i	λ	λ*(δ _i) _{max} /h _i
10	1,2249	0,056	0,448	300	0,390	0,00058
9	1,1689	0,0779	0,6232	300	0,390	0,00081
8	1,091	0,1006	0,8048	300	0,390	0,00105
7	0,9904	0,1217	0,9736	300	0,390	0,00127
6	0,8687	0,1397	1,1176	300	0,390	0,00145
5	0,729	0,1539	1,2312	300	0,390	0,0016
4	0,5751	0,1628	1,3024	300	0,390	0,00169
3	0,4123	0,1633	1,3064	300	0,390	0,0017
2	0,249	0,1471	1,1768	300	0,390	0,00153
1	0,1019	0,1019	0,8152	300	0,390	0,00106

Çizelge incelendiğinde, görelî kat ötelemesi kontrolünde 0,008 sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür.

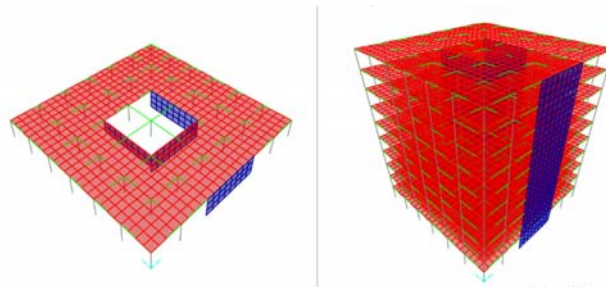
İkinci mertbe etkilerine ait değerler Çizelge 25.’de sunulmuştur. İkinci mertbe etkileri kontrolünde 0,085 sınır değeri aşılmadığı görülmüştür.

Çizelge 25. “EXÜ” yüklemesi için ikinci mertbe gösterge değeri

Kat no	(Δ _i) _{ort}	m _i (ton)	w _i (kN)	V _i (kN)	h _i (cm)	θ _{pi}
10	0,051	900,9	8.837,9271	506	300	0,00297
9	0,0708	967,2	9.488,1339	332	300	0,00516
8	0,0914	967,2	9.488,1339	295	300	0,00747
7	0,1104	967,2	9.488,1339	258	300	0,00986
6	0,1268	967,2	9.488,1339	221	300	0,01226
5	0,1395	967,2	9.488,1339	185	300	0,01455
4	0,1477	967,2	9.488,1339	148	300	0,01664
3	0,148	967,2	9.488,1339	111	300	0,01805
2	0,1332	967,2	9.488,1339	74	300	0,01766
1	0,0932	967,2	9.488,1339	37	300	0,01351

Uygulama 3. Perdeli Sistem

Bu uygulamada bir adet binanın merkezinde olmak üzere ve bir adette binamızın dış kenarında perde bulunmakta olup modelde (Şekil 8) bodrum katı bulunmamaktadır. Üçüncü modelde birinci bina modelinden bodrum katı modelden çıkartılarak bodrumun hâkim titreşim periyodu ve deprem düzensizlikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 8. SAP2000 Bina döşeme modeli ve bina perspektifi görünüşü

Bu uygulamada yapıdaki etrafı rijit perdelerle çevrili bodrum katın çıkartılması sonucunda bina toplam ağırlığının azalmasından dolayı periyodların değerlerinde bir miktar düşüş yaşanmıştır. Ama aynı zamanda bina rijitliği azaldığından dolayı X ve Y doğrultularındaki hâkim titreşim periyodu değerleri arasındaki farkın büyüdüğü görülmüştür ($T^{(x)}=0,90$ sn, $T^{(y)}=0,64$ sn).

Ele alınan bina sırasıyla “EXÜ”, “EXÜ+%5”, “EXÜ-%5”, “EYÜ”, “EYÜ+%5” ve “EYÜ-%5” yüklemeleri altında incelenmiş ve X ve Y yönleri için en olumsuz sonuçlar burulma düzensizliği kontrolleri için Çizelge 26 ve 27’de verilmiştir.

Çizelge 26. “EXÜ+%5” yüklemesi için A1 kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}	(Δ _i) _{max}	(Δ _i) _{min}	(Δ _i) _{ort}	η _{bi}
10	1,331	0,2124	0,0838	0,0263	0,05505	1,522
9	1,2472	0,1861	0,1055	0,0271	0,0663	1,591
8	1,1417	0,159	0,1262	0,0267	0,07645	1,650
7	1,0155	0,1323	0,1447	0,0261	0,0854	1,694
6	0,8708	0,1062	0,1598	0,0247	0,09225	1,732
5	0,711	0,0815	0,1694	0,0227	0,09605	1,763
4	0,5416	0,0588	0,1716	0,02	0,0958	1,791
3	0,37	0,0388	0,1632	0,0166	0,0899	1,815
2	0,2068	0,0222	0,1374	0,0131	0,07525	1,825
1	0,0694	0,0091	0,0694	0,0091	0,03925	1,768

Çizelge 27. “EYÜ+%5” yüklemesi için A1 kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}	(Δ _i) _{max}	(Δ _i) _{min}	(Δ _i) _{ort}	η _{bi}
10	0,9938	0,7171	0,0915	0,0733	0,0824	1,110
9	0,9023	0,6438	0,1021	0,0797	0,0909	1,123
8	0,8002	0,5641	0,1099	0,0832	0,09655	1,138
7	0,6903	0,4809	0,116	0,0856	0,1008	1,150
6	0,5743	0,3953	0,119	0,0858	0,1024	1,162
5	0,4553	0,3095	0,1182	0,0831	0,10065	1,174
4	0,3371	0,2264	0,1124	0,0771	0,09475	1,186
3	0,2247	0,1493	0,1005	0,0671	0,0838	1,199
2	0,1242	0,0822	0,0809	0,053	0,06695	1,208
1	0,0433	0,0292	0,0433	0,0292	0,03625	1,194

Örnek binada X ve Y doğrultusunda A1-Burulma Düzensizliği bulunmaktadır. Modelden etrafı rijit perdelerle çevrili bodrum katın çıkartılması sonucu bina rijitliği azaldığından burulma düzensizliği değeri oldukça artmıştır. Burulma düzenliği katsayısının en elverişsiz değerleri “EXÜ+%5” yüklemesi için hesaplanmıştır. Bu durumda TBDY-2018, madde 4.7.4’e göre x doğrultusunda uygulanan ±%5 ek dışmerkezlilik, her katta hesaplanan D_{bi} katsayısıyla çarpılarak büyütülmeli ve analiz tekrarlanarak tasarıma esas iç kuvvetler ve yer değiştirmeler hesaplanmalıdır.

Ele alınan bina sırasıyla “EXÜ”, “EXÜ+%5”, “EXÜ-%5”, “EYÜ”, “EYÜ+%5” ve “EYÜ-%5” yüklemeleri altında incelenmiş ve X ve Y yönleri için en olumsuz sonuçlar B2 düzensizliği kontrolleri Çizelge 28 ve 29’da verilmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde, hesaplanan η_{ki} 2,0 sınır değerini aşmadığından bina modelinde B2 bulunmamaktadır.

Çizelgeler incelendiğinde, görelî kat ötelemesi kontrolünde 0,008 sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür (Çizelge 30 ve 31).

Çizelge 28. “EXÜ+%5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h _i	(Δ _i) _{ort}	(Δ _i /h _i) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i+1} /h _{i+1}) _{ort})	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / ((Δ _{i-1} /h _{i-1}) _{ort})
10	300	0,05505	0,00018	-----	0,830
9	300	0,0663	0,00022	1,204	0,867
8	300	0,07645	0,00025	1,153	0,895
7	300	0,0854	0,00028	1,117	0,925
6	300	0,09225	0,00031	1,080	0,960
5	300	0,09605	0,00032	1,041	1,002
4	300	0,0958	0,00032	0,997	1,065
3	300	0,0899	0,0003	0,938	1,194
2	300	0,07525	0,00025	0,837	1,917
1	300	0,03925	0,00013	0,521	-----

Çizelge 29. “EYÜ+%5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h_i	$(\Delta_i)_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
10	300	0,0824	0,00027	-----	0,906
9	300	0,0909	0,0003	1,103	0,941
8	300	0,09655	0,00032	1,062	0,957
7	300	0,1008	0,00034	1,044	0,984
6	300	0,1024	0,00034	1,015	1,017
5	300	0,10065	0,00034	0,982	1,062
4	300	0,09475	0,00032	0,941	1,130
3	300	0,0838	0,00028	0,884	1,251
2	300	0,06695	0,00022	0,798	1,846
1	300	0,03625	0,00012	0,541	-----

Çizelge 30. “EXÜ+%5” yüklemesi için görel kat ötelemesi kontrolü

Kat no	$(d_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}$	h_i	λ	$\lambda^*(\delta_i)_{max}/h_i$
10	1,331	0,0838	0,5866	300	0,387	0,00076
9	1,2472	0,1055	0,7385	300	0,387	0,00095
8	1,1417	0,1262	0,8834	300	0,387	0,00114
7	1,0155	0,1447	1,0129	300	0,387	0,00131
6	0,8708	0,1598	1,1186	300	0,387	0,00144
5	0,711	0,1694	1,1858	300	0,387	0,00153
4	0,5416	0,1716	1,2012	300	0,387	0,00155
3	0,37	0,1632	1,1424	300	0,387	0,00147
2	0,2068	0,1374	0,9618	300	0,387	0,00124
1	0,0694	0,0694	0,4858	300	0,387	0,00063

Çizelge 31. “EYÜ+%5” yüklemesi için görel kat ötelemesi kontrolü

Kat no	$(d_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}$	h_i	λ	$\lambda^*(\delta_i)_{max}/h_i$
10	0,9938	0,0915	0,6405	300	0,396	0,00085
9	0,9023	0,1021	0,7147	300	0,396	0,00094
8	0,8002	0,1099	0,7693	300	0,396	0,00102
7	0,6903	0,116	0,812	300	0,396	0,00107
6	0,5743	0,119	0,833	300	0,396	0,0011
5	0,4553	0,1182	0,8274	300	0,396	0,00109
4	0,3371	0,1124	0,7868	300	0,396	0,00104
3	0,2247	0,1005	0,7035	300	0,396	0,00093
2	0,1242	0,0809	0,5663	300	0,396	0,00075
1	0,0433	0,0433	0,3031	300	0,396	0,0004

İkinci mertebe etkilerine ait değerler Çizelge 32 ve 33’de sunulmuş ve 0,085 sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

Çizelge 32. “EXÜ” yüklemesi için ikinci mertebe gösterge değeri

Kat no	$(\Delta_i)_{ort}$	$m_k(\text{ton})$	$w_k(\text{kN})$	$V_i(\text{kN})$	h_i	$\theta_{i,i}$
10	0,05305	905,9	8.886,6828	692	300	0,00227
9	0,06325	996,6	9.777,0384	462	300	0,00341
8	0,07255	996,6	9.777,0384	411	300	0,00439
7	0,0807	996,6	9.777,0384	360	300	0,00534
6	0,0868	996,6	9.777,0384	308	300	0,00622
5	0,0901	996,6	9.777,0384	257	300	0,00697
4	0,0897	996,6	9.777,0384	205	300	0,00749
3	0,08395	996,6	9.777,0384	154	300	0,00759
2	0,0702	996,6	9.777,0384	103	300	0,00690
1	0,03675	996,6	9.777,0384	51	300	0,00395

Çizelge 33. “EYÜ” yüklemesi için ikinci mertebe gösterge değeri

Kat no	$(\Delta_i)_{ort}$	$m_k(\text{ton})$	$w_k(\text{kN})$	$V_i(\text{kN})$	h_i	$\theta_{i,i}$
10	0,0825	905,9	8.886,6828	960	300	0,00255
9	0,0909	996,6	9.777,0384	641	300	0,00353
8	0,0965	996,6	9.777,0384	570	300	0,00421
7	0,1008	996,6	9.777,0384	499	300	0,00481
6	0,1024	996,6	9.777,0384	427	300	0,00529
5	0,1006	996,6	9.777,0384	356	300	0,00561
4	0,0948	996,6	9.777,0384	285	300	0,00571
3	0,0838	996,6	9.777,0384	214	300	0,00547
2	0,0669	996,6	9.777,0384	142	300	0,00474
1	0,0363	996,6	9.777,0384	71	300	0,00281

Örnek modelimizde bina tabanında meydana gelen devrilme momenti ve perde taban devrilme momentleri (Çizelge 34 ve 35) verilmektedir.

Çizelge 34. Toplam devrilme momenti

Kat No	H _i (m)	F _{IE} ^(X) (kN)	F _{IE} ^(Y) (kN)	H _i *F _{IE} ^(X) (kNm)	H _i *F _{IE} ^(Y) (kNm)
10	30	692	960	20762	28799
9	27	462	641	12481	17312
8	24	411	570	9861	13678
7	21	360	499	7550	10472
6	18	308	427	5547	7694
5	15	257	356	3852	5343
4	12	205	285	2465	3420
3	9	154	214	1387	1924
2	6	103	142	616	855
1	3	51	71	154	214
				64675	89711

Çizelge 35. Perde taban devrilme momentleri (kNm)

P1 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} =	3994
P2 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} =	25763
P2 perdesi için Y-doğrultusundaki M _{DEV} =	42853

Çizelge 36’da ise Perdelere etkilenen M_{DEV}/M₀ sunulmakta ve bu modelde P1 perdesi X doğrultusu için TBDY-2018 Madde 4.3.2.4.(a) koşulunu sağladığı ancak P1 perdesi Y doğrultusu ve P2 perdesi için bu koşulun sağlanmadığı görülmektedir.

Çizelge 36. Perdelere etkilenen M_{DEV}/M₀ oranı

P1 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	6%
P2 perdesi için X-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	40%
P2 perdesi için Y-doğrultusundaki M _{DEV} / M ₀ =	48%

Perdeli Sistemli modelimizde Toplam M_{DEV}/M₀ oranı Çizelge 37’de verilmektedir.

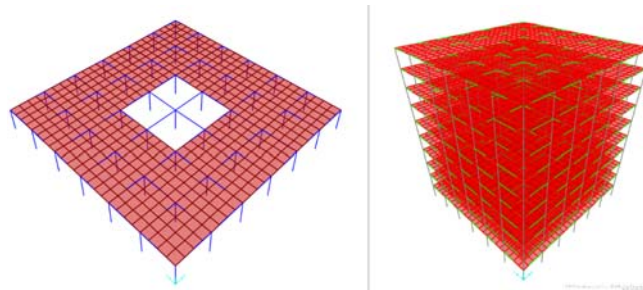
Çizelge 37. Toplam M_{DEV}/M₀ oranı

X-doğrultusundaki toplam M _{DEV} / M ₀ =	46%
Y-doğrultusundaki toplam M _{DEV} / M ₀ =	48%

X ve Y doğrultusunda TBDY-2018 madde 4.3.4.5 koşulunun sağlandığı anlaşılmaktadır.

Uygulama 4. Salt Betonarme Çerçeve Sistem

Model 4’te, Uygulama 1’deki bina modelinin bodrum katı ve kat perdeleri (Şekil 9.)binadan çıkartılıp yapıdaki düzensizlikler incelenmiştir. Hâkim Doğal Titreşim Periyodunun değerleri SAP 2000 sonlu elemanlar programı yardımıyla T^(x,y)=1,03 sn ve T_{PA}=0,897 sn olarak bulunmuştur. Bu değerler T < 1,4xT_{PA} şartını sağlamaktadır.



Şekil 9. SAP2000 Döşeme sonlu elemanlar modeli ve bina perspektif görünüşü

Örnek binada sırasıyla “EXÜ”, “EXÜ+%5”, “EXÜ-%5”, “EYÜ”, “EYÜ+%5” ve “EYÜ-%5” yüklemeleri için işlemler yapılmış binanın X ve Y yönleri için binanın simetrik olması sebebiyle aynı değerlerin bulunduğu gözlenmiş ve el verişsiz haldeki burulma düzensizliği durumu Çizelge 38’de verilmiştir.

Çizelge 38. “EXÜ+%5” yüklemesi için A1 kontrolü

Kat no	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}	(Δ _i) _{max}	(Δ _i) _{min}	(Δ _i) _{ort}	η _{bi}
10	1,1941	0,9706	0,0567	0,0465	0,0516	1,098
9	1,1374	0,9241	0,079	0,0646	0,0718	1,100
8	1,0584	0,8595	0,1023	0,0834	0,09285	1,101
7	0,9561	0,7761	0,1236	0,1007	0,11215	1,102
6	0,8325	0,6754	0,142	0,1156	0,1288	1,102
5	0,6905	0,5598	0,1562	0,1269	0,14155	1,103
4	0,5343	0,4329	0,1643	0,1335	0,1489	1,103
3	0,37	0,2994	0,1623	0,1315	0,1469	1,104
2	0,2077	0,1679	0,1393	0,1127	0,126	1,105
1	0,0684	0,0552	0,0684	0,0552	0,0618	1,106

Örnek binada X ve Y doğrultusunda A1-Burulma Düzensizliği bulunmamaktadır.

B2 düzensizliği kontrolü Çizelge 39’da verilmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde hesaplanan η_{ki} 2,0 sınır değerini aştığından B2 düzensizliği bulunmaktadır. TBDY-2018’e göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, her bir katta burulma düzensizliği katsayısının η_{bi} ≤ 2 koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalarda kullanılabilir.

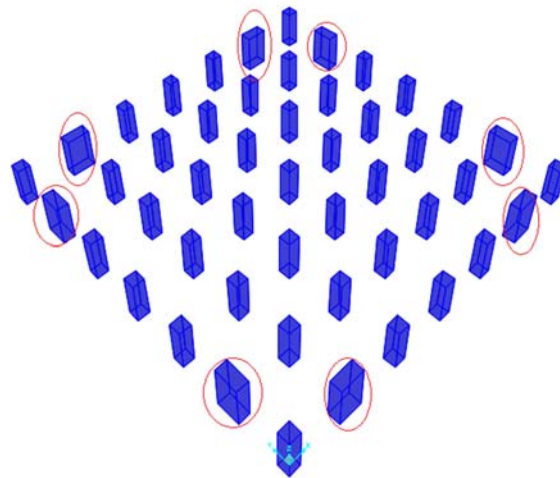
Çizelge 39. “EXÜ+%5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h _i	(Δ _i) _{ort}	(Δ _i /h _i) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / (Δ _{i+1} /h _{i+1}) _{ort}	η _{ki} = (Δ _i /h _i) _{ort} / (Δ _{i-1} /h _{i-1}) _{ort}
10	300	0,0516	0,00017	-----	0,718
9	300	0,0718	0,00024	1,391	0,773
8	300	0,09285	0,00031	1,293	0,827
7	300	0,11215	0,00037	1,207	0,870
6	300	0,1288	0,00043	1,148	0,909
5	300	0,14155	0,00047	1,098	0,950
4	300	0,1489	0,0005	1,051	1,013
3	300	0,1469	0,00049	0,986	1,165
2	300	0,126	0,00042	0,857	2,038
1	300	0,0618	0,00021	0,490	-----

Bu sebeple yumuşak kat düzensizliğini gidermek için modelde bazı kolon boyutları bulunduğu kenara paralel olacak biçimde büyütülecektir. Modelinde bazı kolon boyutları 80x80cm den 80x160cm’a çıkarılmıştır.

Ebatları değiştirilen kolonlar Şekil 10’da işaretlenmiştir. Kolonlardaki ebat değişikliği bina zemininden bina tepesine sürekliliği bozmadan yapılmıştır.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar B2 düzensizliği kontrolü için Çizelge 40’da verilmiştir.



Şekil 10. Kat kolon planı

Çizelge 40. “EXÜ+%5” yüklemesi için B2 kontrolü

Kat no	h_i	$(\Delta)_ort$	$(\Delta/h_i)ort$	$\eta_{ki} = (\Delta/h_i)ort / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})ort$	$\eta_{ki} = (\Delta/h_i)ort / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})ort$
10	300	0,0634	0,000211	-----	0,783
9	300	0,08095	0,00027	1,276	0,807
8	300	0,10025	0,000334	1,238	0,844
7	300	0,1187	0,000396	1,184	0,881
6	300	0,13465	0,000449	1,134	0,916
5	300	0,14695	0,00049	1,091	0,953
4	300	0,15415	0,000514	1,048	1,003
3	300	0,15355	0,000512	0,996	1,097
2	300	0,13985	0,000466	0,910	1,945
1	300	0,0719	0,00024	0,514	-----

Çizelgeler incelendiğinde, hesaplanan η_{ki} 2,0 sınır değerini aşmadığından bina modelinde B2 düzensizliği bulunmamaktadır.

DD-3 yer hareketi düzeyine göre gerekli işlemler yapıldıktan sonra $\lambda^{(x)} = 0,390$, $\lambda^{(y)} = 0,390$ olarak hesaplanmış ve görel kat öteleme kontrolü Çizelge 41’de gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 41. “EXÜ+%5” yüklemesi için görel kat öteleme kontrolü

Kat No	$(d_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}$	h_i	λ	$\lambda^*(\delta_i)_{max}/h_i$
10	1,2805	0,0698	0,5584	300	0,390	0,0007259
9	1,2107	0,0889	0,7112	300	0,390	0,0009246
8	1,1218	0,11	0,88	300	0,390	0,001144
7	1,0118	0,1303	1,0424	300	0,390	0,0013551
6	0,8815	0,1477	1,1816	300	0,390	0,0015361
5	0,7338	0,1613	1,2904	300	0,390	0,0016775
4	0,5725	0,1693	1,3544	300	0,390	0,0017607
3	0,4032	0,1689	1,3512	300	0,390	0,0017566
2	0,2343	0,1543	1,2344	300	0,390	0,0016047
1	0,08	0,08	0,64	300	0,390	0,000832

Çizelge incelendiğinde görel kat öteleme kontrolünde 0,008 sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür.

İkinci mertebe etkilerine ait değerler Çizelge 42’de sunulmuştur.

Çizelge 42. “EXÜ+%5” yüklemesi için ikinci mertebe gösterge değeri

Kat No	$(\Delta)_ort$	$m_i(\text{ton})$	$w_i(\text{kN})$	$V_i(\text{kN})$	h_i	θ_{pi}
10	0,0634	920,5	9.030,2031	532	300	0,00359
9	0,0809	1.006,4	9.872,6859	354	300	0,00576
8	0,1002	1.006,4	9.872,6859	314	300	0,00801
7	0,1187	1.006,4	9.872,6859	275	300	0,01037
6	0,1347	1.006,4	9.872,6859	236	300	0,01273
5	0,147	1.006,4	9.872,6859	196	300	0,01500
4	0,1541	1.006,4	9.872,6859	157	300	0,01699
3	0,1536	1.006,4	9.872,6859	118	300	0,01833
2	0,1398	1.006,4	9.872,6859	79	300	0,01814
1	0,0719	1.006,4	9.872,6859	39	300	0,01020

İkinci mertebe etkileri kontrolünde 0,085 sınır değeri aşılmamıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çok katlı betonarme binaların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamındaki hususlara göre tasarım ve analizleri yapılmıştır. Salt betonarme çerçeve sistemler, perdeli sistemler ve bodrum perdeli sistemlerin statik ve dinamik analizleri Eşdeğer deprem Yüğü Yöntemine göre incelenmiştir. Farklı modeller üzerine yapısal düzensizlikler incelenmiş ve ortaya çıkan bu düzensizliklerin giderilmesine yönelik çözüm yolları araştırılmıştır.

Yapılan incelemelerde; etrafı rijit perdelerle çevrili betonarme bodrum katlı binaların yapı düzensizlikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmıştır. Ele alınan betonarme modellerde kat perdelerinin yumuşak kat düzensizliği üzerinde önemli bir katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Perdelerin eksik ya da yetersiz olduğu yapılarda yumuşak kat düzensizliği gözlenebilmektedir. Bu durumda TBDY-2018’ne göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz yapılamamaktadır. Yumuşak kat düzensizliğinin giderilmesiyle ilgili olarak; salt betonarme karkas çerçeve sistemlerde bazı kolon boyutları iki yönde de büyütülerek yumuşak kat düzensizliği giderilebilecektir.

Sonuç olarak; çok katlı binalar üzerinde yapılan hesaplamalar ve analizler, TBDY-2018 ilkelerinin dikkatli şekilde uygulanması gerektiği ortaya konulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Kürkçü, F., 2019. 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, 237.
2. Asıgçel, Z., 2019. Betonarme binalarda deprem etkisinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 86.
3. Hamsici, M., 2019. Çok katlı betonarme binalarda 2018 deprem yönetmeliği ile tanımlanan spektrum eğrilerinin etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 206.
4. Kapıdaş, İ.F., 2019. Betonarme yüksek binaların TBDY 2018 kapsamında analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 144.
5. Adar, K., 2019. 2007 deprem yönetmeliği'nin 2018 deprem yönetmeliği ile karşılaştırılması ve deprem yükü hesabındaki farklar. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, 79.
6. Kefeli, E., 2019. Planda düzensizliği bulunan betonarme binaların Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018'e göre performanslarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 205.
7. Topçu, S., 2019. Betonarme yüksek bir binanın Türkiye bina deprem yönetmeliği'ne göre tasarımının irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 141.
8. Deliktaş, M., 2020. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY 2007) ile Türkiye bina deprem yönetmeliği (TBDY 2018) revizyonlarının karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 161.
9. Tekdemir, H., 2020. Betonarme binaların deprem performanslarının Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018'e göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 83.
10. Fraidoon, A.B., 2020. Betonarme yüksek bir binanın TBDY 2018'e göre tasarımı ve deprem performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 190.
11. Akçora, A.A., 2020. Betonarme yüksek binaların 2018 yılı Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre incelenmesi: 30 katlı bina örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 161.
12. Özmen A., Sayın E., 2021. Deprem etkisinde çok katlı betonarme bir binanın TDY-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılması. OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2),124-133.
13. Karaca, B., 2022. Bodrumlu betonarme binaların Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018'e göre irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 112.
14. Zeybek, K.F., 2022. Deprem etkisi altındaki yüksek binaların 2018 Türk deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 114.
15. Uludağ, A.B., 2022. Türkiye bina deprem yönetmeliği'nde verilen yükseklik sınırına göre tasarım kurallarının örneklerle karşılaştırılması incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145.
16. Seçkin, A., Doran B., 2023. Betonarme perdelerin kesme güvenliğinin TBDY-2018'e göre incelenmesi. Turkish Journal of Civil Engineering,107-127.
17. Özerdem, A., 2023. Farklı detaylara sahip betonarme çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 76.
18. Yılmaz, M., 2024. Kat adedi farklı binaların TBDY-2018 ve Eurocode 8 deprem yönetmeliklerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 115.
19. TBDY-2018. Türkiye bina deprem yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
20. AFAD, 2018. Türkiye deprem tehlike haritası. www.afad.gov.tr.
21. SAP2000 V20, 2019. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, California.