



AYNI DÖŞEME BOŞLUK ORANINA SAHİP BETONARME BİNALARDA BOŞLUK KONUMUNUN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION WITH LINEAR AND NONLINEAR METHODS OF THE
EFFECT ON BEHAVIOR OF OPENING LOCATION IN REINFORCED
CONCRETE BUILDINGS WITH THE SAME SLAB OPENING RATIO

Samet Oğuzhan DOĞAN¹

İsmail TOZLU²

Şenol GÜRSOY³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1528656>

Sorumlu Yazar
(Corresponding Author)
sgursoy@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi
(Received)
05.08.2024

Revizyon Tarihi
(Revised)
04.02.2025

Kabul Tarihi
(Accepted)
06.02.2025

Öz

Deprem gerçeğiyle sürekli olarak karşı karşıya kalan ülkemizde, binalardaki hasarların maalesef deprem yönetmeliğinde belirtilen yapısal düzensizlikler nedeniyle oluştuğu görülmektedir. Ayrıca uygulama ve projelerdeki hatalar da binaların hasar görmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada betonarme binalarda bulunan aynı döşeme boşluklarının konumunun doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranışa etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla örnek olarak seçilmiş betonarme bir bina modelinde farklı konumlarda aynı orandaki döşeme boşluklarının, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği koşulları da dikkate alarak, deprem performansına etkileri Sta4-CAD programı yardımıyla irdelenmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal çözümlemelerden elde edilen sonuçlar perde duvarların etrafında döşeme boşluğu olması durumunda yatay yük aktarımında büyük problemler oluştuğunu ve söz konusu döşeme boşluğunun planda köşe noktalarında yapılması durumunda yapısal davranışın olumsuz etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Depreme dayanıklı tasarım, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz, döşeme boşluğu konumu.

Abstract

In our country, which is constantly faced with the reality of earthquakes, unfortunately, it is seen that the damages in buildings occur due to the structural irregularities specified in the earthquake regulations. In addition, errors in implementation and projects also cause damage of buildings. In this study, the effects of the location of the same slab openings in reinforced concrete buildings on linear and nonlinear structural behaviour were comparatively investigated. For this purpose, the effects on the earthquake performance, considered the conditions of the Turkish Building Earthquake Code, of the same ratio of slab openings at different locations in a reinforced concrete building model selected as an example were examined with the help of the Sta4-CAD program. The results obtained from linear and nonlinear structural analyses reveal that major problems occur in horizontal load transfer in cases where there is a slab opening around the shear walls, and that structural behaviour is negatively affected when the slab opening is made at the corner points in the plan.

Keywords: Earthquake resistant design, linear and nonlinear analysis, slab opening location.

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye.
oguzhan_dogan_1@windowslive.com.

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye.
ismailtozlu@karabuk.edu.tr

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye.
sgursoy@karabuk.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye’de dünya mimarisinden esinlenerek ve ülke koşulları göz ardı edilerek farklı mimari tasarımlar ortaya konulmaktadır. Bundan dolayı da Türkiye’deki deprem gerçeğine rağmen inşaat uygulamalarında hala estetik kaygılar ve çok fonksiyonlu kullanımlar öncelik taşımaktadır. Diğer bir ifadeyle söz konusu tasarımlar ülkemizin koşullarına bakılmaksızın estetik kaygılar ön plana çıkarılarak yapılmaktadır. Ayrıca estetik kaygılar ön plana çıkarılarak asimetrik ve/veya simetrik döşeme boşlukları olan yapılar oluşturulmaktadır. Özetle, gelişen ve değişen inşaat uygulamalarına bakıldığında öncelikli olarak mimari tasarımlar ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan depremlerde hasar gören binalar incelendiğinde meydana gelen hasarların bazen doğrudan doğruya mimari tasarımlarla ilişkili olduğu görülmektedir (TMMOB-a, 1993; TMMOB-b, 1993; Durmuş vd., 1999; Sezen vd., 2003; Doğangün, 2004; Korkmaz vd., 2011; Işık vd., 2022). Mimari tasarımda özgür davranmak adına ülke koşulları gözardı edilerek taşıyıcı sistem düzenlemesi normal koşullarda dahi güvenli bir çözümü zorlaştırırken, bu duruma deprem etkileri de eklendiğinde taşıyıcı sistem davranışında maalesef çok daha önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır (Gürsoy, 2014; Gürsoy vd., 2015; Gürsoy ve Öz, 2016; Gürsoy ve Doğan, 2020; Akbaş ve Çalışkan, 2023; Tozlu ve Gürsoy, 2024a). Bu hususlar düşünüldüğünde taşıyıcı sistemin tasarım ve düzenlenmesinin tekniğine uygun yapılması büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de çoğu deprem ülkesinde olduğu gibi farklı zamanlarda yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde gerçekleştirilecek tasarımlar için bazı hüküm ve öneriler bulunmaktadır (ABYYHY, 1998; TDY, 2007; TBDY, 2019).

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY) *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar* kapsamında, herhangi bir kattaki döşemede merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden büyük döşeme boşluklarından kaçınılması gerektiği belirtilmektedir. Aksi durumda döşeme süreksizliğinden dolayı planda A2-I türü döşeme süreksizliği oluşacağı ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı ifade edilmektedir (TBDY, 2019). Söz konusu döşeme süreksizliği bulunan betonarme binalarda, döşemelerin kendi düzlemlerinde etkiyen deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı yapısal elemanlara güvenle aktarabildiğinin gösterilmesi için iki boyutlu *levha (membran)* veya *kabuk* sonlu elemanlar ile modellenmesi gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalarda döşeme boşluğu içeren betonarme yapılarda boşluk oranıyla birlikte döşeme boşluğunun kat planındaki yerinin, taşıyıcı sistem seçiminin ve kat planına yerleştirilme şeklinin önemli olduğu dile getirilirken (Terzi ve Elçi, 2006; Yön vd. 2009) söz konusu düzensizliklerin mevcut olduğu betonarme binalarda, burulma etkilerini azalttığı için, taşıyıcı sistem olarak perdeli veya perde + çerçeveli olan betonarme yapıların incelenmesi buna ek olarak da uygulayıcılar tarafından tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Aktan ve Kıraç, 2009; Terzi ve Elçi, 2009; Öztürk, 2013; Kasap vd., 2015; Boru, 2022; Öztemel vd., 2022).

Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği koşulları dikkate alınarak betonarme binalarda planda farklı konumlarda aynı orandaki döşeme boşluklarının söz konusu binanın deprem performansına etkileri Sta4-CAD programı yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal çözümlemelerinden elde edilen bulguların karşılaştırılmasıyla daha emniyetli ve ekonomik tasarımlar için bazı sonuç ve öneriler sunulmuştur.

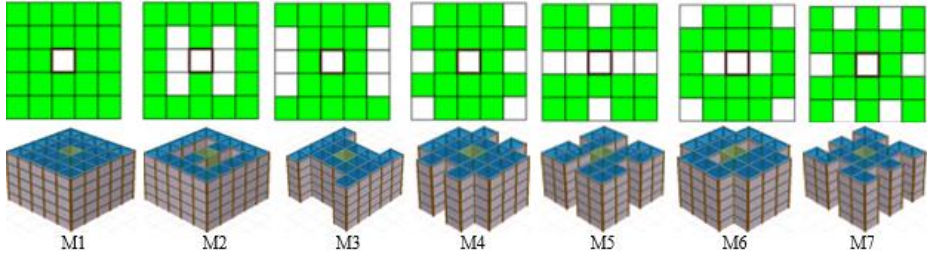
2. MATERYAL METOT

Bu çalışmada aynı oranda ve farklı konumlarda döşeme süreksizliğine sahip 7 adet betonarme bina modeli incelenmiştir. Bunlardan 1. model (M1) referans model olarak dikkate alınarak diğer bina modelleri boşluk alanının plan alanına oranı eşit olacak şekilde seçilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan çekirdek perdeli ve çerçeve sistemli taşıyıcı sistemlere sahip konut türü 7 adet binanın kat planları ve 3 boyutlu görünimleri Şekil 1’de verilmiştir. Bu şekilde 5 kattan oluşan söz konusu binaların kat yükseklikleri eşit ve 3m’dir. En dıştaki donatının dış yüzünden beton yüzüne olan mesafeyi ifade eden net beton örtü kalınlığı genel geçer bir değer olarak 25 mm alınmıştır. Bu durumda çekme donatısı ağırlık merkezinden beton yüzüne olan mesafe olarak tanımlanan beton örtü kalınlığı (d') çekme donatısı ve etriye kalınlığı göz önünde bulundurularak yaklaşık 40 mm olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca kolonlar ve kirişler çubuk eleman, kalınlıkları 150 mm olan döşemeler ise alan eleman olarak modellenmiştir. Yapısal çözümlemelerde TBDY etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmış, düğüm noktaları tam rijit birleşim ve zemin kat kolonlarının temele tam ankastre bağlantılı olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca her bir açıklığı 5 m’den oluşan kat planlarının toplam yatay uzunlukları her iki doğrultuda 25 m’dir. Yapısal çözümlemelerde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. TBDY md. 6.1.3 gereğince yapısal olmayan elemanların ağırlığının, bulunduğu katın ağırlığına oranı %10’dan büyük olması halinde taşıyıcı sistemin bir parçası olarak analizlerde dikkate alınması gerekse de yapılan çalışmada tuğla duvarların yatay rijitliğe katkısı ihmal edilerek değerlendirme yapılmıştır. Bu durumda tuğla duvarlar ölü yük olarak kirişlere etkiltilmiştir.

Tablo 1. Yapısal Çözümlemelerde Kullanılan Tasarım Parametreleri

Bina önem katsayısı (I)	1	
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	5,6	
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	2,5	
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0,3	
Kolonların enkesit boyutları (mm)	450 x 450	
Kirişlerin enkesit boyutları (mm)	300 x 600	
Perde duvarların kalınlıkları (mm)	300	
Döşemelerin kalınlığı (mm)	150	
Deprem düzeyi	DD2	
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds})	0,8812	
1s’lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1})	0,354	
Eksantirisite (%)	5	
Sönüm oranı (%)	5	
Yerel zemin sınıfı	ZC	
Betonarme birim hacim ağırlığı (kN/m^3)	2,5	
Malzeme sınıfları	Beton	C25
	Donatı	B420C
Elastisite modülü (MPa)	Beton	30000
	Donatı	200000
Tüm döşemeler için kaplama yükü	G (kN/m^2)	2,12
	Q (kN/m^2)	2

Tuğla duvar	Kalınlık (mm)	130
	Yükü (kN/m)	3,25



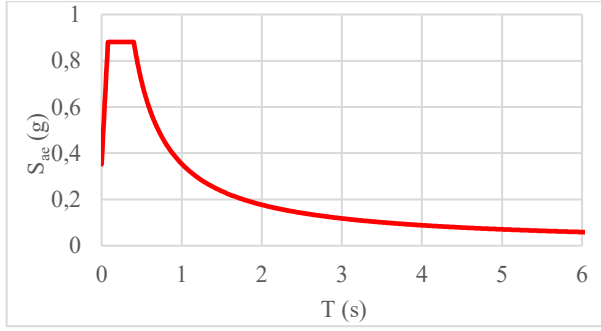
Şekil 1. Bina Modellerinin Kat Planları ve 3 Boyutlu Görünümleri

3. YAPISAL ÇÖZÜMLEMELER

Bina modellerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal çözümlemeleri TBDY koşulları gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Doğrusal (lineer) hesap için taşıyıcı sistem davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeli ve çerçevesi sistemler için 7 alınsa da TBDY'e göre perde duvar taban momentinin toplam yapı devrilme momentine oranı tüm modeller için 1/3'ten büyük çıktığı için 4/5 oranında azaltılarak 5,6 alınmıştır. Ayrıca yapısal çözümlemelerde dikkate alınan tasarım spektrum eğrisi Şekil 2'de verilmektedir.

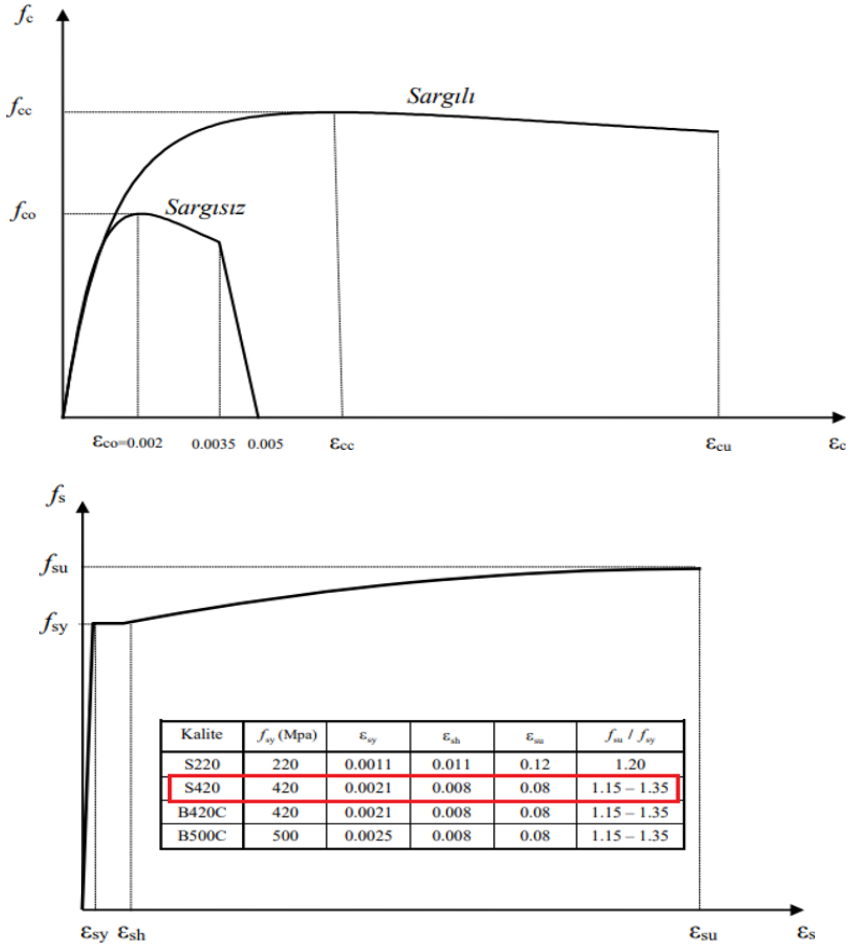
İncelenen modeller konut olarak ele alındığından *Bina Kullanım Sınıfı* (BKS) değerinin 3 olması ve kısa periyot spektral ivme değerinin (S_{DS}) 0,75'ten büyük olması sebebiyle *Deprem Tasarım Sınıfı* (DTS) 1 olarak tespit edilmiştir. Toplam bina yüksekliği (15 m) ve DTS'ne göre *Bina Yükseklik Sınıfı* (BYS) değeri 6'dır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen doğrusal analizler modellerin *Dayanım Göre Tasarım* (DGT) felsefesiyle öntasarımı için kullanılmıştır. Buradaki amaç ele alınan modeller için uygun kesit boyutlarını ve donatı oranlarını belirlemektir. Bunun yanı sıra çekirdek perdeli olarak düzenlenen taşıyıcı sistemlerde burulma etkilerinin daha etkin olabilmesi sebebiyle burulma düzensizlikleri karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak DGT yaklaşımındaki kontrollerden görel kat ötelenmeleri sonuçları değerlendirilmiştir. Modeller için ikincil mertbe etkileri ihmal edilebilir düzeyde olduğu için bu durum hakkında değerlendirme gerçekleştirilmemiştir.

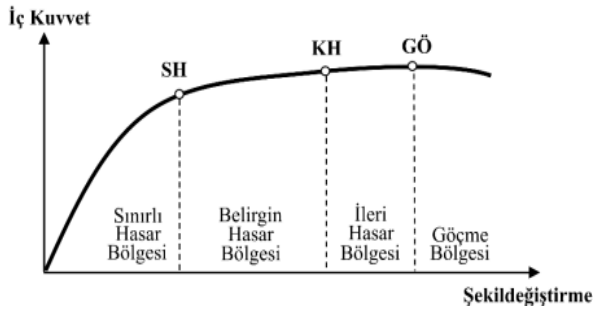


Şekil 2. Yapısal Çözümlerinde Dikkate Alınan Tasarım Spektrumu

DGT ile öntasarımı yapılmış modellerin mevcut yapılar olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle performans hedefi için değerlendirme yaklaşımı TBDY gereği doğrusal olmayan yöntemlerle analiz edilmiştir. Doğrusal olmayan çözümler TBDY'ne göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre analiz modellerinde kolon ve kirişler çubuk eleman, perde duvarlar ise düzlem dışı şekil değiştirmelerin de dikkate alınabildiği 3 boyutlu kabuk sonlu eleman olarak modellenmiştir. Çekirdek perdeli taşıyıcı sistemlerde burulma etkilerinin daha fazla olabilmesi nedeniyle doğrusal olmayan analiz için tek modlu itme metodu yerine çok modlu itme metodu tercih edilmiştir. Dikdörtgen kesitli ya da plandaki en büyük kol uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 0,5 değerini aşmaması durumunda perde elemanlar için TBDY şartlarıncı yığılı plastik mafsallı davranış modeli kullanılabilir. Ancak mevcut yapıların çekirdek perdeli sistem olması nedeniyle doğrusal olmayan yapısal çözümlerde taşıyıcı sistem elemanlarında yayılı plastik mafsallı davranış modeli dikkate alınmıştır. Modellemede tercih edilen malzeme davranışları Şekil 3'te ve TBDY'de kesit hasar sınırları ise Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 3. Beton ve Donatı Çeliğinin Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri (TBDY, 2019)



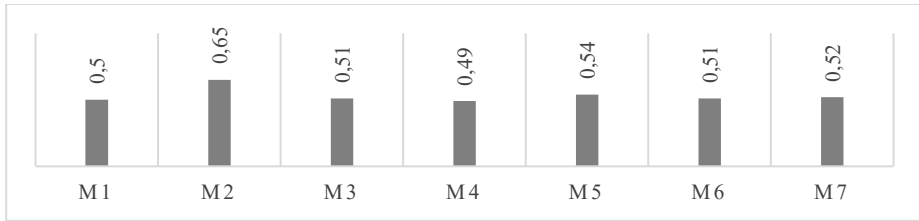
Şekil 4. TBDY'ne Göre Hasar Bölgeleri ve Sınırları (TBDY, 2019)

3.1. Modal Analiz Sonuçları

Modal analizler sonucu elde edilen ilk 3 mod değerleri tüm modeller için Tablo 2’de, burulma modu periyot değerleri Şekil 5’te verilmektedir. Tüm bina modelleri için hâkim mod burulma etkisinde çıkmıştır. Bu durumun kat kütle merkezlerinde bulunan perde duvarlardan kaynaklandığı açıkça ortadadır. Ayrıca en büyük burulma etkilerinin M2 ve M5 modellerinde olduğu görülmüştür. Bu husus diğer bina modelleriyle düşünüldüğünde, bina merkezindeki perde elemanlara döşeme boşlukları nedeniyle yük aktarılamaması durumunda, perde elemanların yeterli yük alamaması sebebiyle çevre akslardaki çerçeve elemanların daha çok zorlanmasıyla artan yatay deplasman değerlerinden olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Modellerin İlk 3 Mod Değerleri (s)

Modeller	Burulma Modu Periyodu	X-X Doğrultusu Periyodu	Y-Y Doğrultusu Periyodu
M1	0,50	0,394	0,394
M2	0,65	0,388	0,644
M3	0,52	0,353	0,351
M4	0,49	0,351	0,353
M5	0,54	0,355	0,356
M6	0,51	0,354	0,353
M7	0,52	0,363	0,361

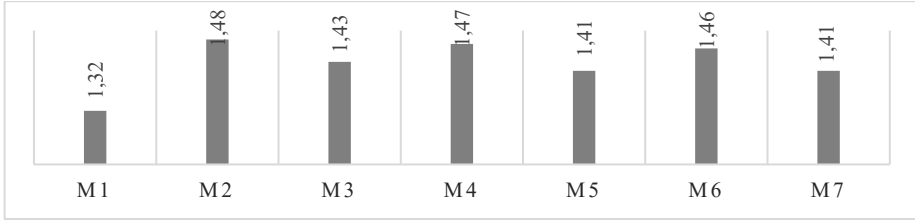


Şekil 5. Bina Modellerinin Burulma Modu Periyot Değerleri

Dikkate alınan yapı planları her iki yatay eksene göre yükleme ve taşıyıcı sistem boyutları olarak simetrik olduğu için kat kütle merkezi ve rijitlik merkezi tüm modeller için kat merkezinde çakışmaktadır. Burada burulma modlarının baskın olmasının nedeni kütle ve rijitlik merkezi arasındaki fark (eksantirisite) yerine yatay rijitliği büyük olan perde duvarların kat merkezinde toplanmasından kaynaklanmaktadır.

3.2. Doğrusal Hesap Sonuçları

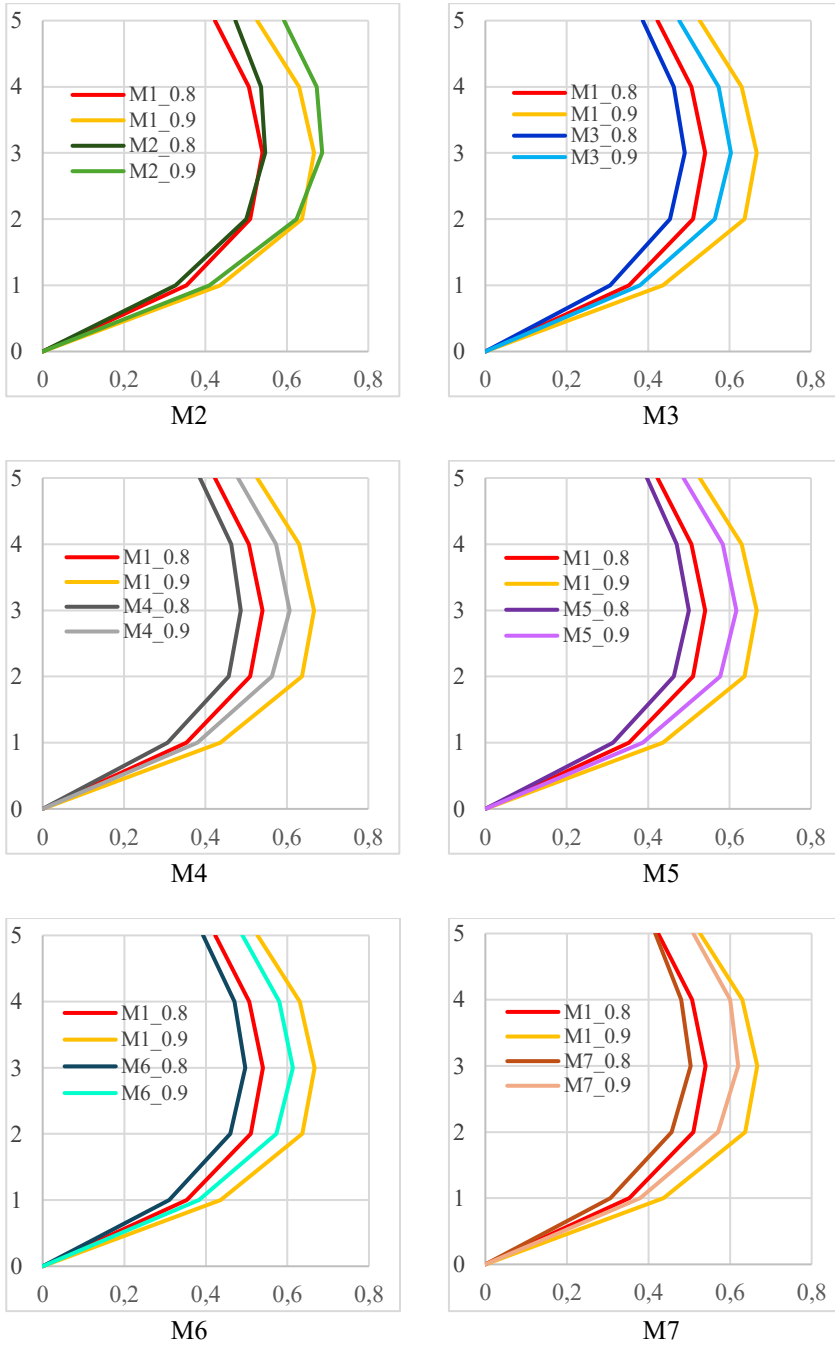
Doğrusal analiz sonucu elde edilen burulma düzensizliği katsayıları Şekil 6’da verilmektedir. Bu şekilden de beklendiği gibi en düşük burulma düzensizliği katsayısı M1 modelinde elde edilmiştir. Ancak bu model dahil tüm bina modellerinde perde duvarlar kütle merkezinde toplandığı için TBDY’de verilen sınır değer aşılmıştır.



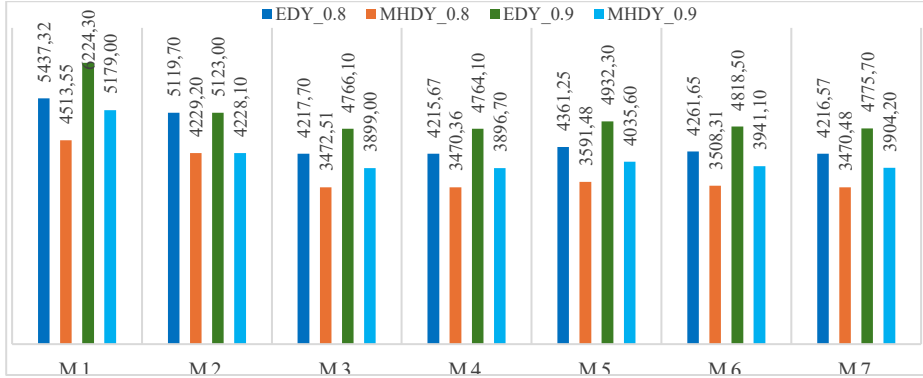
Şekil 6. Bina Modellerinin Burulma Düzensizliği Katsayıları

Doğrusal yapısal çözümlemeler sonucu her bir model için x-x doğrultusundaki görelî kat ötelenmeleri, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı hesabında kullanılan ampirik katsayının (γ_E) burulma düzensizliği gereği dikkate alınması ve alınmaması durumları için karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de verilmektedir. Kütlelerin azalmasına bağlı olarak yatay yükün azalmasıyla M2 modeli dışındaki tüm bina modellerinde M1 modeline göre görelî kat ötelenmeleri mertebelerinde azalmalar olduğu görülmektedir. M2 modelinde ise kütle ve yatay yük azalsa da döşeme süreksizliğinden kaynaklı yük aktarımı problemlerinden dolayı görelî ötelenme değerleri M1 modelinden büyük çıkmıştır. M2 modelindeki görelî ötelenmelerinin M1 modelindeki görelî ötelenmelere oranının maksimum değeri $\gamma_E=0,8$ ve $\gamma_E=0,9$ için sırasıyla 1,12 ve 1,13 olarak elde edilmiştir. Ayrıca görelî kat ötelenmeleri M3-M4-M5-M6 için yaklaşık değerler göstermiştir. Diğer taraftan M1 modelindeki görelî ötelenmelere oranı, M3-M4-M5-M6 için ortalama 0,92 olarak elde edilmiştir. M7 modelinde üst katlarında M3-M4-M5-M6 modellerine göre M1 modeli görelî kat ötelenmeleri değerlerine yaklaşımlar gözlemlenmiştir.

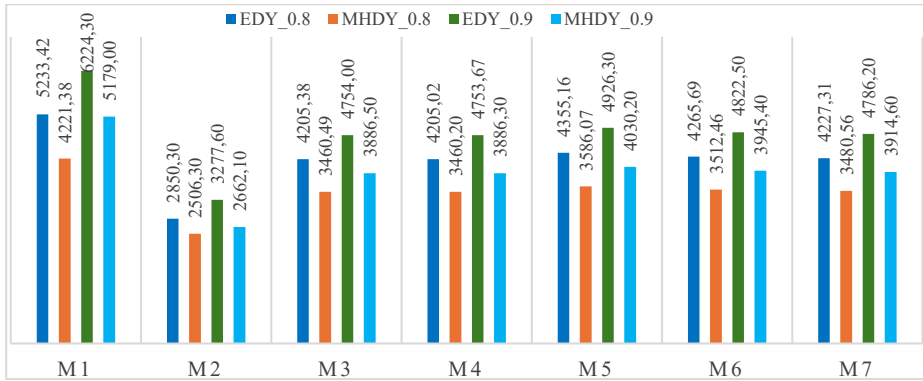
Yapısal çözümlemelerden her bir model için burulma düzensizliğinden dolayı eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı hesabında kullanılan ampirik katsayının (γ_E) burulma düzensizliği gereği dikkate alınması ve alınmaması durumlarında x-x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 8’de verilmektedir. Modal hesap sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin eşdeğer deprem yükünden elde edilen taban kesme kuvvetlerine oranı γ_E katsayısının 0,8 ve 0,9 alınması durumlarının her ikisi için tüm modellerde yaklaşık 1,2 çıkmıştır. γ_E değerinin 0,9 alınması durumunda 0,8 alınması durumuna göre hem eşdeğer deprem yükünden hem de modal hesaptan elde edilen taban kesme kuvveti değerleri %10 artmıştır. Benzer karşılaştırmalar y-y doğrultusu için Şekil 9’da verilmektedir. Bu şekilden de x-x doğrultusu için elde edilen sonuçların y-y doğrultusu için de yaklaşık olarak geçerli olduğu görülmektedir. Burada dikkat çeken husus y-y doğrultusunda döşeme süreksizliğinden dolayı M2 modelinde perde duvarlara yük aktarımında yaşanan problem nedeniyle söz konusu doğrultudaki perde duvarların yük alamamasından kaynaklanan toplam taban kesme kuvvetindeki düşüştür. Bu değerlendirmelerin genel sonucunda döşeme boşluk oranının aynı olması durumunda plandaki yerleşimi eşdeğer deprem yükünden ve modal analizden, γ_E değerinin 0,8 ya da 0,9 alınması durumları için elde edilen sonuçların değişmeyeceği söylenebilmektedir.



Şekil 7. Bina Modellerinin Göreli Kat Ötelenmeleri



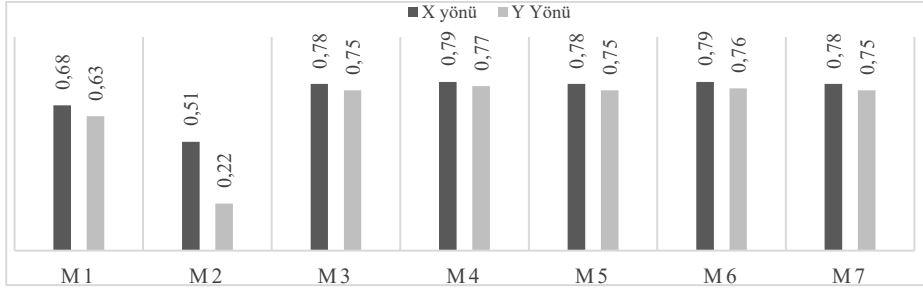
Şekil 8. Bina Modellerinin x-x Doğrultusundaki Toplam Deprem Yüğü (kN)



Şekil 9. Bina Modellerinin y-y Doğrultusundaki Toplam Deprem Yüğü (kN)

Çalışmada ele alınan yapı planlarında boşluk alanı/brüt kat alanı değeri M1 referans modeli dışındaki tüm modeller için 0,28 değerinde olup 1/3 (0,33) değerinden küçüktür. Modellerdeki A2 düzensizlik durumu boşluk oranının fazlalığından değil, taşıyıcı sistem elemanları arasındaki yük aktarımını güvenle sağlayamayacak yerel döşeme boşluklarının olması nedeniyle oluşmaktadır. Bilindiği gibi yapıya gelen yatay yükün büyük bir kısmı perde duvarlar tarafından taşınmaktadır. Yerel döşeme boşluklarının perde elemanlar etrafında olması durumunda perde elemanlara oldukça düşük yatay yük iletilebildiği için perde elemanların taşıyıcı sistemin tümü göz önüne alındığında yatay yük taşıma kapasitesinde etkisiz kalmaktadır. Perde elemanların yatay yük taşımasında etkisizliği ile oluşan bu durum çerçeve elemanların daha çok zorlanmasına neden olmaktadır. Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlemelerden perde duvar taban devrilme momentlerinin bina devrilme momentlerine oranı Şekil 10'da verilmektedir. Bu şekilden düzenli olan M1 modelindeki oran düşey taşıyıcı elemanların azalmasına bağlı olarak, M2 modeli hariç, diğer modellerde x-x doğrultusu için yaklaşık %15 ve y-y doğrultusu içinse yaklaşık olarak %20 değerinde artmıştır. Ayrıca M2 modelinde ise bazı perde duvarların, döşeme süreksizliğinden dolayı yük aktarımındaki problemten kaynaklı perde duvar olarak çalışamamasından dolayı diğer bina modellerine kıyasla oldukça az yatay yük aldıkları dolayısıyla da perde duvar

taban devrilme momentlerinin bina devrilme momentlerine oranında, M1 modeline kıyasla x-x doğrultusu için yaklaşık 1,33 kat ve y-y doğrultusu için yaklaşık 2,86 kat azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Bina Modellerinin Perde Duvar Taban Momenti Oranları

3.3. Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçları

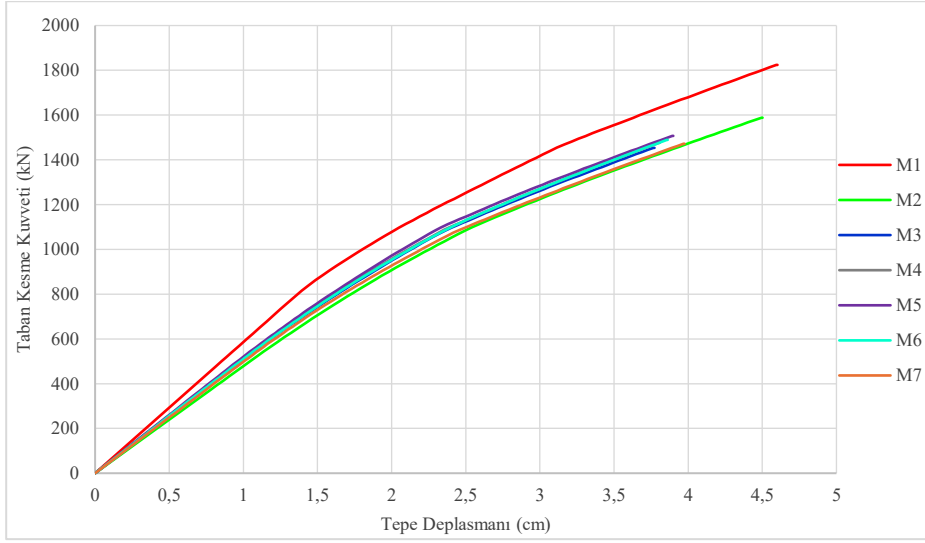
Doğrusal olmayan yapısal çözümlemelerden x ve y doğrultusunda elde edilen itme eğrileri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmektedir. Döşeme süreksizliği en az olan M1 modelinde kapasitenin en büyük olduğu her iki şekilden de görülmektedir. Ayrıca M2 modeli hariç diğer bina modelleri için planda her iki doğrultuda benzer özellikler olduğu için x-x ve y-y doğrultularında sonuçlar oldukça benzer olarak elde edilmiştir. Ancak M2 modelinde y-y doğrultusunda yatay doğrultudaki döşeme süreksizliğinden dolayı perde duvarlara yük aktarımı problemi olduğu için M2 modeli y-y doğrultusunda perde-çerçeve sistemli bina gibi değil çerçeve sistemli bir bina gibi davranmış göstermektedir. Bu nedenle y-y doğrultusunda yapısal rijitliğin az olduğu, diğer bir ifadeyle maksimum yerdeğiştirmenin plastik şekildeğiştirmelerin başladığı andaki şekildeğiştirmeye oranı temsil eden sünekliğinin diğer modellerden oldukça büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca yapısal çözümlemelerden sünekliğin artması deprem etkisinde yapısal sistemlerin hasar alarak enerji tüketiminin artmasını sağlasa da tek başına deprem güvenliğinin sağlanması koşulunu yerine getirmek için yeterli olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan sünekliğin yanında yapısal davranışta yüklerin güvenle taşıyıcı elemanlar arasında aktarımının da son derece önemli olduğuna söz konusu çalışmayla dikkat çekilmiştir. Diğer taraftan diğer bina modellerinin itme eğrileri her iki doğrultu için benzer çıkmıştır.

TBDY’nde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve göçme durumu olarak 4 farklı performans düzeyi verilmektedir. Hesaplamalar sonucu herhangi bir kat için düşey taşıyıcı elemanlarda plastik hasarın mevcut olmaması ve kırışların en çok %20’si hasar almış ise SH performans düzeyi sağlanmış kabul edilmektedir. Eğer kırışların en çok %35’i ileri hasar bölgesinde ve düşey taşıyıcı elemanların tümünün Sınırlı hasar bölgesinde ya da belirgin hasar bölgesinde olması durumunda ya da ileri hasar bölgesindeki düşey taşıyıcı elemanların her bir katta toplam kesme kuvvetinden aldığı payın %20’nin (en üst katta %40) altında olmak şartıyla ileri hasar bölgesinde olması durumunda KH performans düzeyinin sağlandığı varsayılır. Buna ek olarak kat kırışlarının en fazla %20’si göçme bölgesinde ve diğer tüm elemanların göçme bölgesine ulaşmamış olması ve belirgin hasar sınırı aşılmış

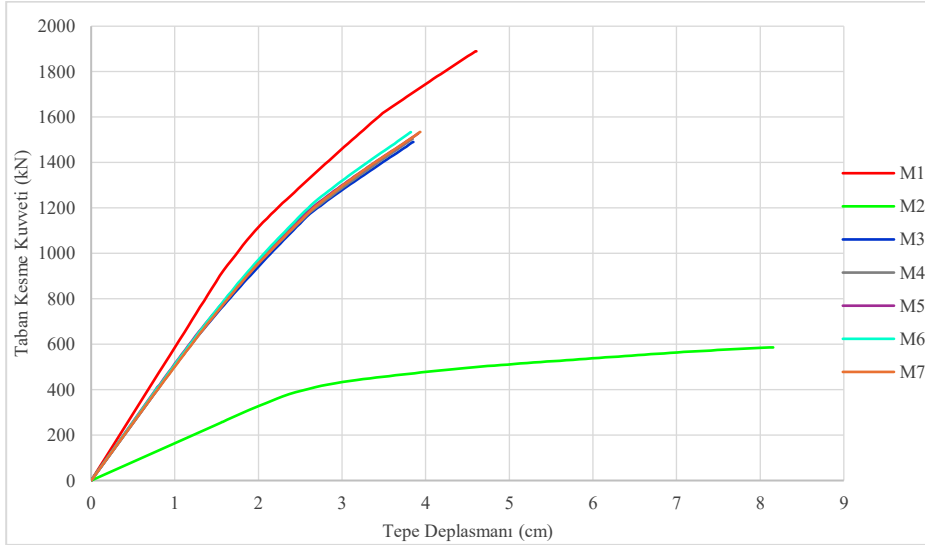
olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması durumunda GÖ performans düzeyinin sağlandığı belirtilmektedir. GÖ durumunun sağlanamaması durumunda ise yapının göçtüğü kabul edilmektedir.

Doğrusal olmayan çok modlu itme analizi sonucu elde edilen yapısal elemanlardaki hasar dağılımları x ve y doğrultuları için elverişsiz durum dikkate alınarak Tablo 3'te verilmektedir. Bu tablodan M2 modeli dışındaki diğer bina modellerinde kiriş hasarı görülmemiştir. Düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar dağılımları incelendiğinde perde duvarların yük almamasına bağlı olarak M2 modelinin 1. katındaki kolonların yaklaşık %70'i belirgin hasar mertebesine geçmiştir. Diğer bina modellerinin düşey taşıyıcı hasarları 1. ve 2. katlarında gözlemlenmiştir. Bu durum dikkate alındığında en iyi yapısal performansın M1 modelinden elde edildiği görülmektedir. Daha sonra M5 ve M7 modelleri gelirken en olumsuz yapısal performans M4 ve M6 modellerinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak döşeme süreksizliğinin bulunmadığı M1 modelinde en iyi yapısal performans, döşeme süreksizliğinin konumuna bağlı olarak M2 modelinde en olumsuz performansın elde edildiği görülmektedir. Ayrıca diğer bina modelleri için değerlendirme yapıldığında, bina modeli planın köşe noktalarında kolon-kiriş-döşeme olan modeller (M5&M7) köşe noktasında süreksizlik olan modellerden (M4&M6) daha iyi performans göstermektedir. Bu durumun köşe noktalarında mevcut olan yapısal elemanların burulma rijitliğini arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu husus teknik literatürdeki perde-çerçeve sistemler için yapılan çalışmalarda da burulma rijitliğinin artması için perde duvarların köşe noktalara her iki doğrultuda çalışacak şekilde yerleştirilmesi mantığıyla da uyushmaktadır (Aktan ve Kırac, 2010; Sayın vd., 2010; Boru, 2022; Tozlu ve Gürsoy, 2024b). Diğer taraftan Şekil 6'da verilen burulma düzensizliği katsayıları da incelendiğinde köşe noktalarda taşıyıcı elemanlar bulunan M3-M5-M7 modellerinin burulma düzensizliği katsayılarının M4-M6 modellerinden düşük olduğu da görülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde, sonuç olarak her bir model için özellikle zemin katlardaki düşey taşıyıcı elemanlarda hasar mevcut olması hiçbir modelin SH performans düzeyini sağlayamadığını göstermektedir. M2 modelinde perde elemanların yatay yük taşınmasına yeterli katkı sağlayamadığından artan deplasmanlarla birlikte çerçeve elemanlarda oldukça büyük mertebelerde plastik hasarlar olduğu görülmektedir. Diğer modeller kirişlerde plastik hasar görülmemektedir. Düşey taşıyıcı elemanların ise %5~10 mertebelerinde belirgin hasar mertebesinde olduğu görülmüştür. Bütün bu durumlar birlikte değerlendirildiğinde incelenen modeller için Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞDGT) ilkesiyle hedeflenen KH performans düzeyinin sağlandığı görülmüştür. Ancak hasarlı düşey taşıyıcı eleman yüzdesi M1 referans modeline göre M2 modeli haricindeki diğer modellerde 1,2~1,8 kat artış olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Bina Modellerinin x-x Doğrultusundaki İtme Eğrileri



Şekil 12. Bina Modellerinin y-y Doğrultusundaki İtme Eğrileri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu makalede, TBDY koşulları dikkate alınarak planda farklı konumlarda aynı orandaki döşeme boşluklarının söz konusu binanın deprem performansına etkileri Sta4-CAD programı yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar ve önerileri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Tablo 3. Taşıyıcı Sistem Elemanları Hasar Dağılımları (%)

Bina modelleri	Katlar	Kirişler		Düşey taşıyıcı elemanlar		Bina modelleri	Katlar	Kirişler		Düşey taşıyıcı elemanlar	
		SH	BH	SH	BH			SH	BH	SH	BH
M1	5	100	0	100	0	M5	5	100	0	100	0
	4	100	0	100	0		4	100	0	100	0
	3	100	0	100	0		3	100	0	100	0
	2	100	0	99,8	0,2		2	100	0	99,8	0,2
	1	100	0	94,6	5,4		1	100	0	93,4	6,6
M2	5	100	0	100	0	M6	5	100	0	100	0
	4	100	0	100	0		4	100	0	100	0
	3	14,3	85,7	100	0		3	100	0	100	0
	2	0	100	100	0		2	100	0	99,8	0,2
	1	0	100	28,3	71,7		1	100	0	90,4	9,6
M3	5	100	0	100	0	M7	5	100	0	100	0
	4	100	0	100	0		4	100	0	100	0
	3	100	0	100	0		3	100	0	100	0
	2	100	0	99,8	0,2		2	100	0	99,8	0,2
	1	100	0	93,3	6,7		1	100	0	93,2	6,8
M4	5	100	0	100	0						
	4	100	0	100	0						
	3	100	0	100	0						
	2	100	0	99,8	0,2						
	1	100	0	90,3	9,7						

SH: Sınırlı Hasar BH: Belirgin Hasar

- Gerçekleştirilen modal analizlerden döşeme boşluklarının kat kütle merkezine yakın olduğu bina modellerinde burulma periyodunun arttığı görülmektedir.
- Doğrusal yapısal çözümlerlerden, M2 modeli hariç, tüm bina modellerinde M1 modeline göre göreceli kat ötelenmelerinde azalmalar ve M2 modelinde ise döşeme süreksizliğinden kaynaklı yük aktarımı problemlerinden dolayı göreceli ötelenme değerlerinde M1 modeline göre artma olduğu görülmektedir.
- Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlerlerden perde duvar taban devrilme momentlerinin bina devrilme momentlerine oranının, M2 modeli hariç, M1 modelinde diğer bina modellerine göre hem x-x doğrultusunda hem de y-y doğrultusunda arttığı görülmektedir. Buna karşın M2 modelinde döşeme süreksizliğinden dolayı bazı perde duvarların yük aktarımındaki problemlerden kaynaklı perde duvar taban devrilme momentlerinin bina devrilme momentlerine oranında, hem x-x doğrultusunda hem de y-y doğrultusunda M1 modeline kıyasla azalma olduğu görülmüştür.

- Yapısal çözümlemelerden elde edilen bulgular, perde duvarların etrafında döşeme boşluğu olması yatay yük aktarımında büyük problemler oluşturduğunu ve bu durumun söz konusu binanın yapısal davranışı önemli ölçüde değiştirebileceğini göstermektedir. Elde edilen bu sonuç perde duvar etrafında döşeme boşluğu yapılmasından kesinlikle kaçınılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.
- Doğrusal olmayan çok modlu itme analizi sonucu M2 modeli dışındaki diğer bina modellerinde kiriş hasarı görülmediği ve perde duvarların yük almamasına bağlı olarak M2 modelinin 1. katındaki kolonların yaklaşık %70'i belirgin hasar bölgesine geçtiği görülmüştür. Özetle döşeme süreksizliğinin bulunmadığı M1 modelinde en iyi yapısal performansın ve en kötü yapısal performansın M2 modelinden elde edildiği görülmektedir.
- Yapısal çözümlemelerden planda köşe noktalarında kolon-kiriş-döşeme olan modellerin köşe noktaları süreksiz olan modellere göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Ayrıca köşe noktalarında kolon-kiriş-döşeme olan modellerin burulma düzensizliği katsayılarının köşe noktaları süreksiz olan modellere göre düşük olduğu görülmektedir.
- Doğrusal olmayan yapısal çözümlemelerden planda köşe noktaları süreksiz olan modellerin hasar mertebelerinin arttığı görülmüştür.
- Yazarlar çekirdek perde duvarlı-çerçeve elemanlardan oluşan binalar için döşeme boşluğu yapılması gerekliliği durumda, yapısal davranışın olumsuz etkilenmemesi için döşeme boşluğunun perde duvarların çevresinde ve kat planı köşe noktalarında yapılmamasını önermektedirler.
- Sonuçlar değerlendirildiğinde perde duvar etrafında döşeme boşluğu olması durumu kolonlara göre daha bariz olumsuzluklara yol açmıştır. Bu nedenle TBDY'nde A2 türü düzensizlik kapsamında bulunan "Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu" kolon ve perdeler için ayrı ayrı değerlendirilmeli ve perde duvarlar için daha kısıtlayıcı kurallar açık bir şekilde ifade edilmelidir.

Kat sayısının artırılması ve buna bağlı olarak artan iç kuvvet değerlerini karşılamak adına artırılması gereken beton basınç dayanımı değeri, döşeme kalınlığı ve hatta kat içinde döşeme kalınlığının farklılık göstermesi gibi durumlar bunun yanı sıra farklı zemin ve deprem tasarım sınıflarında sonuçların tartışılması gerektiği açıktır. Bu çalışmada uygulamada sıklıkla karşılaşılan durumun ortaya konması hedeflendiğinden bu durumlar çalışma kapsamına alınmasa da gelecek çalışmalarda yukardaki durumların göz önüne alındığı araştırmaların yapılması tavsiye edilmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- ABYYHY, (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Akbaş, A. & Çalışkan, Ö. (2023). Deprem etkisinde hasar alan betonarme yapıların düzensizlik türleri yönü ile incelenmesi. *In International Conference on Scientific and Academic Research*, 1, 428-435.
- Aktan, S. & Kırac, N. (2010). Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 15-32.
- Boru, E. (2022). Betonarme perdelerin planda farklı yerleşiminin bina davranışına etkisinin incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 10(2), 259-272. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1062254>
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841-856.
- Durmuş, A., Doğangün, A., Hüsem, M. & Pul, S. (1999). 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin mühendislik açısından öndeğerlendirme raporu. *TMMOB İnşaat Mühendisler Odası Trabzon Şubesi*, 53s.
- Gürsoy, Ş. (2014). Comparative investigation of the costs and performances of torsional irregularity structures under seismic loading according to TEC. *Computers and Concrete*, 14(4), 405-417.
- Gürsoy, Ş. & Doğan, S.O. (2020). Betonarme binalardaki döşeme boşluğu konumu ve büyüklüğünün deprem davranışı ve kaba inşaat maliyetine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1407-1422.
- Gürsoy, Ş. & Öz, R. (2016). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışına ve kaba inşaat maliyetine etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, Karabük, Türkiye, 243-250.
- Gürsoy, Ş., Öz, R. & Baş, S. (2015). Investigation of the effect of weak-story on earthquake behaviour and rough construction costs of RC buildings. *Computers and Concrete*, 16(1), 141-161.
- Işık, E., Karasin, İ.B. & Öncü, M.E. (2022). The effect of slab discontinuities on structural performance caused by mezzanine. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(1), 111-126. <https://doi.org/10.24012/dumf.1080070>
- Kasap, H., Mert, N., Sevim, E. & Şeber, B. (2015). Perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemli binalarda taşıyıcı sistem seçiminin yapı davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi. *APJES*, 3(1), 48-55.

- Korkmaz, K.A., Uçar, T. & Düzgün, M. (2011). Yapısal düzensizlikleri olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.7240/mufbed.62985>
- Öztemel, M., Turan, M.T. & Çolakoğlu, H.E. (2022). Mevcut az katlı betonarme bir binada perde kullanımı ve yerleşiminin yapısal davranışa etkisinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 153-159. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1078414>
- Öztürk, T. (2013). Binalarda döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışına etkisi. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 24(116), 6233-6256.
- Sayın, E., Yön, B. & Calayır, Y. (2010). Perde konumunun ve zemin sınıfının betonarme yapılardaki hasar oranına etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(1), 1-6.
- Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K.J. & Mosalam, K.M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. *Engineering Structures*, 25(1), 103-114.
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.
- TDY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Terzi, M. & Elçi, H. (2006). Çerçeve tipi betonarme yapılarda döşeme süreksizliklerinin kesit tesirlerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 341-349.
- Terzi, M. & Elçi, H. (2009). Perde-çerçeve betonarme yapılarda A2 türü düzensizliğin kesit tesirlerine etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 83-94.
- TMMOB, (1993). 13 Mart 1992 Erzincan depremi Mühendislik Raporu. *İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi*, Ankara.
- TMMOB, (1993). 13 Mart 1992 Erzincan depremi. *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul, 48s.
- Tozlu, İ. & Gürsoy, Ş. (2024a). B3 Düzensizliği konumunun yapısal performansa etkisinin incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(45), 81-96. (DOI: <https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1406397>).
- Tozlu, İ. & Gürsoy, Ş. (2024b). Farklı yüksekliğe sahip betonarme binalarda perde duvar yerleşiminin bina davranışına etkisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14(2), 493-509. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1362519>

Yön, B., Ulucan, Z. Ç. & Öncü, M. E. (2010). Döűemelerdeki boűluk konumunun kayma gerilmesine etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 45-51.