

## Farklı yüksekliğe sahip betonarme binalarda perde duvar yerleşiminin bina davranışına etkisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi

*Investigation of the effect of shear wall placement on building behavior in reinforced concrete buildings with different heights using linear and non-linear methods*

İsmail TOZLU<sup>1</sup> , Şenol GÜRİSOY\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 18.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 07.02.2024

### Öz

Depreme dayanıklı bina tasarımında betonarme perde duvarların kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle deprem bölgelerinde tasarlanan binalarda kullanılan perde duvarların yapısal davranışa etkisinin anlaşılması önem arz etmektedir. Ayrıca perde duvarlı binalarda doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri için yapısal davranışların ortaya konulmasını gerekmektedir. Bu makalede planda 4 farklı şekilde yerleştirilmiş perde duvarlı çerçeve taşıyıcı sisteme sahip az, orta ve yüksek (6, 9 ve 12) katlı 12 adet bina modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bina modellerinin doğrusal ve doğrusal olmayan (itme ve zaman tanım alanında (ZTA) hesap yöntemleri kullanılarak) analizleri Sta4-Cad programıyla gerçekleştirilmiş ve yapısal davranışlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen sonuçların, perde duvarların en dış akslara yerleştirilmesi durumunda bina yüksekliği arttıkça daha elverişsiz olabileceğini ortaya koymaktadır. İtme ve ZTA doğrusal olmayan çözümlerden elde edilen sonuçlar ise perde duvarların yerleşiminin merkeze yaklaşması durumunda bina yüksekliği arttıkça kirişlerdeki hasar seviyesini arttığını buna karşın düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyesinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca performans düzeylerinde, itme analizinde kiriş hasarlarının etkisi fazla iken ZTA hesapta düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların etkisinin fazla olduğu görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme perde duvarlar, Doğrusal olmayan analiz, Yapısal performans

### Abstract

The use of reinforced concrete shear walls is inevitable in earthquake-resistant building design. For this reason, it is important to understand the effect of shear walls used in buildings designed in earthquake zones on structural behaviour. In addition, it is necessary to reveal the behaviours for linear and non-linear calculation methods in buildings with shear walls. In this article, 12 building models were created in 4 different floor plans with 6, 9 and 12 storeys, having frame structural systems with shear walls, respectively, to represent low, medium and high-rise buildings. Linear and nonlinear (pushover and non-linear time history (NTH)) analyses of the created building models were carried out with the Sta4-Cad program and their linear and nonlinear behaviours were compared. The results obtained from linear structural analyses reveal that if shear walls are placed on the outermost axes, they will become more unfavourable as the building height increases. The results obtained from pushover and NTH analyses show that if the placement of the shear walls approaches the centre, the damage level in the beams increases as the building height increases, in contrast with the damage level in the vertical structural elements decreases. In addition, while the effect of beam damage is greater in the pushover analysis at performance levels, it is seen that the damage effect on vertical structural elements is greater in the NTH analysis.

**Keywords:** Reinforced concrete shear walls, Nonlinear analysis, Structural performance

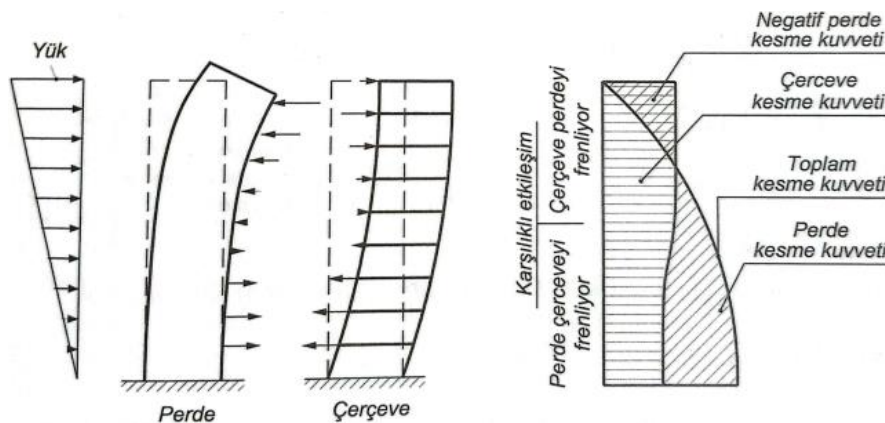
\*Şenol GÜRİSOY; sgursoy@karabuk.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem etkilerinin tamamının malzeme dayanımı ile karşılanmaya çalışılması, taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit boyutlarını büyüteceğinden ekonomiklik ve kullanılabilirlik açısından elverişsiz tasarımlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle söz konusu malzemenin elastik ötesi davranışının hesaplara katılarak deprem etkilerinin dayanımla birlikte plastik şekildeğiştirmelerle karşılandığı taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu husus da süneklik kavramının açıklanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çeşitli yüklere maruz malzeme, yapısal eleman ya da yapının göçmeden önce yapabileceği plastik şekildeğiştirme mertebesi hakkında bilgi veren sünekliğin artmasıyla şekildeğiştirme mertebesi de artmaktadır. Bu durum da yapıların tasarımında bir diğer önemli kavram olan yapı rijitliği gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özetle depreme dayanıklı yapı tasarımında yeterli dayanım, yeterli süneklik ve yeterli rijitliğin birlikte sağlanması gerekmektedir (Karadoğan vd., 2011; Gürsoy, 2013).

Süneklik düzeyi yüksek olan çerçeve sistemlerde bina yüksekliği arttıkça yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin tasarımda belirli bir yükseklikten sonra perde duvarların kullanımı zorunlu olmaktadır. Diğer taraftan söz konusu binadaki perde duvar oranının artması bina rijitliğini arttırmaktadır. Ancak bina rijitliğinin gereğinden fazla olması söz konusu binaya etkileyen deprem yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda çerçeve + perde duvarlar birlikte kullanılarak yeterli süneklik ve rijitliğin birlikte sağlanması hedeflenmektedir (bkz. Şekil 1). Diğer taraftan düşey taşıyıcı yapısal elemanların plandaki yerleşimlerinde en temel ilke kat kütle merkezi ile rijitlik merkezlerinin çakıştırılarak burulma etkisinin getireceği ekstra zorlanmalardan kaçınmaktır. Bu husus kat rijitlik merkezini kolonlara göre daha çok etkileyen perde duvarlarda daha da önemli olmaktadır. Bu amaçla perde duvarlar planda her iki yönde yeterli rijitliği sağlayacak şekilde simetrik yerleştirilmektedir. Ayrıca moment eğrilik ilişkisinde aksel basınç yükünün olumlu katkısından faydalanabilmek için perde duvarların mümkün olduğunca planda homojen dağıtılması gerekmektedir. Bu durumda perde duvarlarda eğilme momenti azalacağından donatı miktarı da azalmaktadır. Perde duvarların plandaki yerleşiminin söz konusu yapı davranışına etkisini incelemek, farklı zemin sınıfları için yapısal elemanlarda oluşan hasarların değerlendirilmesi, farklı perde duvar oranlarının doğrusal olmayan hesap yöntemiyle performans seviyelerine etkisinin araştırılması, perde duvarların doğrusal olmayan davranış üzerine etkisini araştırmak, perde duvar geometrisinin yapısal davranışa etkisini, çerçeve+perde betonarme binaların periyot hesaplarının TBDY'ne göre değerlendirilmesi, perde duvar-çerçeve betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisini ve yüksek yapılarda perde duvarların davranışını incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Uçar & Merter, 2009; Aktan & Kıraç, 2010; Sayın vd., 2010; Sakcalı vd., 2017; Aksoylu & Arslan, 2019; Yaman vd., 2019; Kaya & Özsoy Özbay, 2019; Onat & Usta, 2021; Değer & Başdoğan, 2021; Foroughi & Yüksel, 2021; Dogan vd., 2022; Garip & Eren, 2022; Boru, 2022).

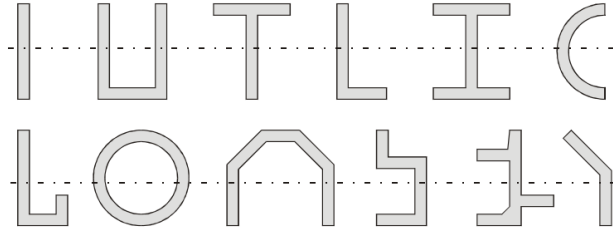


Şekil 1. Perde duvarlı çerçeve davranışı (Celep, 2019)

Figure 1. Frame behaviour with shear wall (Celep, 2019)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre planda uzun kenarın kısa kenara oranının en az 6 olduğu düşey taşıyıcı elemanlar perde duvar olarak nitelendirilmektedir (TBDY, 2019). Perde duvarlar genellikle I, T, L, H, C, U, O, Y vb. şekillerde tasarlanabilmektedirler (bkz. Şekil 2). Düşey yük taşıma kapasitesi oldukça büyük olan perde duvarlar, özellikle uzun kenarları doğrultusunda oldukça rijit olduğundan yatay yük taşımada ve yerdeğiştirmeleri sınırlandırmada oldukça etkili olmaktadır. Diğer bir ifadeyle perde duvarlar görelî kat

yerdeğiştirmelerini ve ikinci merteye etkilerini sınırlandırmaktadırlar. Ayrıca perde duvarlar rijitlikleri nedeniyle depremler sırasında oluşan yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılamakta dolayısıyla diğeri taşıyıcı elemanların hasar görmesini önlemektedirler.



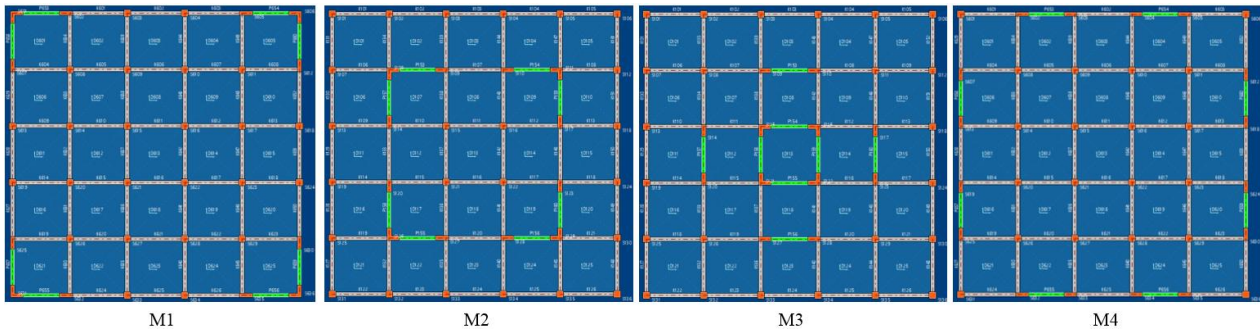
**Şekil 2.** Uygulamalarda kullanılan çeşitli perde duvar kesitleri (Tuna, 2000)  
**Figure 2.** Various shear wall sections used in applications (Tuna, 2000)

Bu makalede planda perde duvar yerleşiminin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranışa etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla planda dış akslardan bina merkezine doğru ve her iki yönde kesme alanları eşit olacak şekilde 4 farklı perde duvar yerleşiminde 6, 9, 12 katlı toplam 12 adet model oluşturulmuştur. Oluşturulan bina modellerinin Sta4-Cad programıyla doğrusal ve tek modlu itme ile zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir (Sta4-Cad, 2021). Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlenmeler sonucunda doğal periyot değerleri, mod şekilleri, görece kat ötelenmeleri, yapısal burulma katsayıları ve donatı metrajları, doğrusal olmayan yapısal çözümlenmeler sonucunda ise yapısal elemanların hasar seviyeleri ve söz konusu binadaki dağılımları karşılaştırılmıştır. Böylelikle perde duvar yerleşiminin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranışa etkisi değerlendirilerek bina yüksekliğine bağlı olarak uygun perde duvar yerleşimine ilişkin bazı sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Bina modellerinin oluşturulması ve yapısal çözümlenmeler

### 2. Creation of building models and structural analyses

Bu makalede, perde duvarların plandaki yerleşimin söz konusu binanın davranışına etkisini incelemek amacıyla teknik literatürde verilen 4 farklı kat planı (bkz. Şekil 3) dikkate alınmıştır (Gürsoy, 2017). Ayrıca düşey taşıyıcı elemanların yerleşimi ile birlikte bina yüksekliğinin değişiminin de söz konusu binanın davranışa etkisi incelenmiştir. Bu amaçla önce her bir kat planı için az, orta ve yüksek (6, 9 ve 12) katlı 12 adet bina modeli oluşturulmuş, daha sonra söz konusu bina modellerinin Sta4-Cad programıyla doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir.



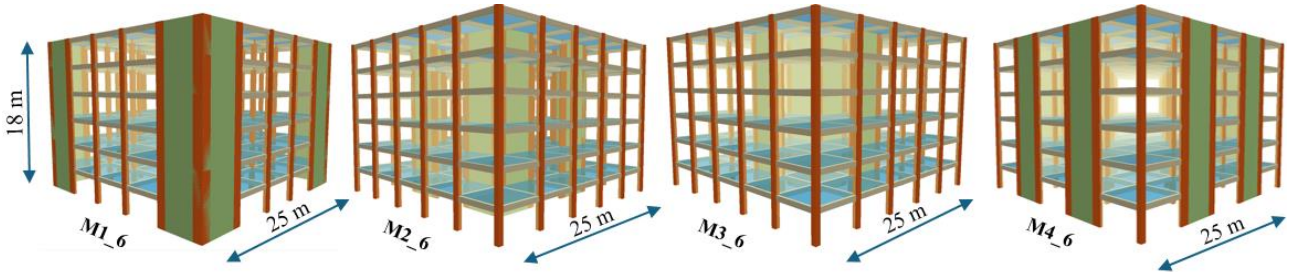
**Şekil 3.** Bina modellerinin kat planlarında perde duvarların yerleşimleri  
**Figure 3.** Locations of shear walls in the storey plan of building models

Bina modellerinin, Karabük ilinin Safranbolu ilçesinde inşa edileceği, kat yüksekliklerinin 3 m dolayısıyla 6, 9 ve 12 katlı bina modellerinin toplam yüksekliğinin sırasıyla 18, 27 ve 36 m olduğu, her iki doğrultuda 5'er metreden 5 açıklıklı dolayısıyla plan boyutlarının her iki doğrultuda 25 m olduğu ve taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi yüksek perde duvar + çerçeve sisteminden oluştuğu kabul edilmiştir. Bina modelleri oluşturulurken TBDY'de verilen etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmış, döşemeler için rijit diyafram kabulü yapılmış, kolon-kiriş birleşimi yarı rijit ve düşey taşıyıcı elemanların temele tam ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilmiştir. Diğer taraftan modellerin kat planlarında perde duvarların kesme alanları her iki doğrultuda eşit olacak şekilde yerleştirilmiş ve kat kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakıştırılmıştır. Yapısal çözümlenmelere ilişkin diğeri tasarım parametreleri Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Yapısal çözümlerinde kullanılan tasarım parametreleri  
**Table 1.** Design parameters used in structural analyses

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
Kolon enkesit boyutları (mm)		500 x 500
Kiriş enkesit boyutları (mm)		250 x 500
Perde duvarların kalınlığı (mm)		300
Döşemelerin kalınlığı (mm)		150
Deprem düzeyi		DD2
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ( $S_s$ )		0,678
1s'lik periyot için harita spektral ivme katsayısı ( $S_1$ )		0,233
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{ds}$ )		0,833
1s'lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{d1}$ )		0,335
Eksantrisite		% 5
Sönüm oranı		% 5
Zemin sınıfı		ZC
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu	$T_a$ (s)	0,08
	$T_b$ (s)	0,402
Malzeme sınıfları	Beton	C30
	Donatı	B420C
Elastisite modülü (MPa)	Beton	31800
	Donatı	200000
Tüm döşemeler için kaplama yükü	G (kN/m <sup>2</sup> )	2,12
	Q (kN/m <sup>2</sup> )	2
Tuğla duvar	Kalınlığı (mm)	130
	Yükü (kN/m)	6,25
Betonarme birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )		25

Burada duvar boşluklarının ihmal edildiğini, bina modellerinin isimlendirilmesinde ilk sayı plan şeklini, ikinci sayı ise toplam kat sayısını ifade ettiğini belirtmek yararlı olacaktır. Örneğin M1\_6, 1. kat planına sahip 6 katlı bina modelini temsil etmektedir. 6 katlı bina modellerinin 3 boyutlu görünüşleri Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** 6 katlı modellerin 3 boyutlu görünüşleri (18x25x25 m)  
**Figure 4.** 3D views of 6-storey models (18x25x25 m)

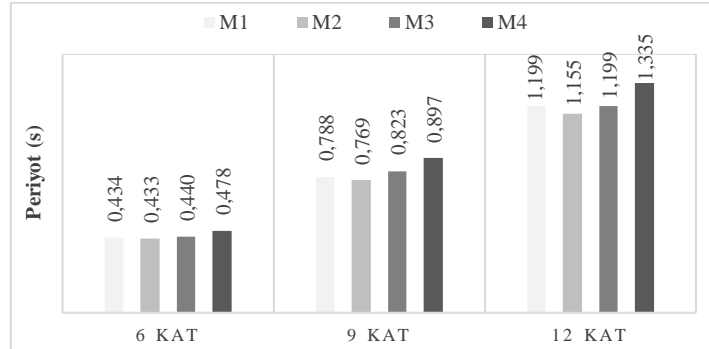
## 2.1. Doğrusal yapısal çözümleme

### 2.1. Linear analysis

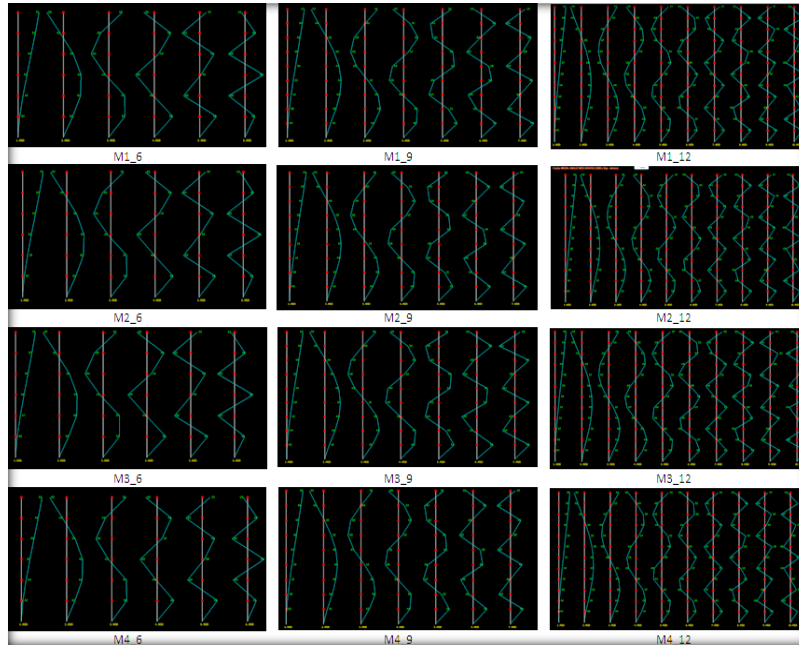
Bina modellerinin modal analiz sonucu elde edilen yapı hâkim periyot değerleri Şekil 5'te verilmektedir. Bu şekilden dikkate alınan kat planlarından en küçük periyot değerinin M2 bina modellerinden elde edildiği, en büyük periyot değerlerinin ise M4 modelleri için elde edildiği ve bina yüksekliğine bağlı olarak elde edilen periyot değerlerinin sıralamasının değişmediği görülmektedir. Diğer taraftan yapısal çözümlerden bina yüksekliği arttıkça burulma modunun davranışa katkısının arttığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen mod şekillerinden bina yüksekliğin artmasıyla genlikler değişse de bina mod şekillerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür (bkz. Şekil 6).

Perde duvarlar yüksek rijitliklerinden dolayı kat planındaki yerleşimleri burulma etkisine neden olabilmektedir. Uygulamada yönetmelik koşullarının sağlanması amacıyla genellikle bina merkezinde perde duvarlar yerleştirilmekte ve dış akslarda çerçeve sistemler kullanılmaktadır. Bu durum özellikle kat planı boyutları arttıkça dış akslardaki yapısal elemanlar bina merkezindekilere göre sünek davranmakta dolayısıyla söz konusu binada burulma etkileri ortaya çıkabilmektedir. Bu durumun kontrolü için dikkate alınan bina

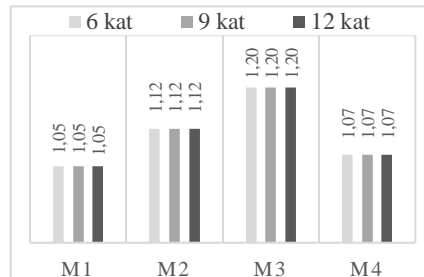
modellerinin yüksekliğe bağlı olarak eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen burulma katsayıları verilmiştir (bkz. Şekil 7). Bu şekilden perde duvarların yerleşimi söz konusu binanın merkezine yaklaştıkça elde edilen burulma katsayılarının arttığı, ancak bina yüksekliğinin artmasıyla burulma katsayılarının değişmediği anlaşılmaktadır. Bu husus bina modellerinin 1. mod şekillerinin ve görel kat ötelenmelerinin benzerlik göstermesiyle açıklanabilmektedir (bkz. Şekil 8).



**Şekil 5.** Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen hâkim periyot değerleri  
*Figure 5. Dominant period values obtained from linear structural analysis of building models*

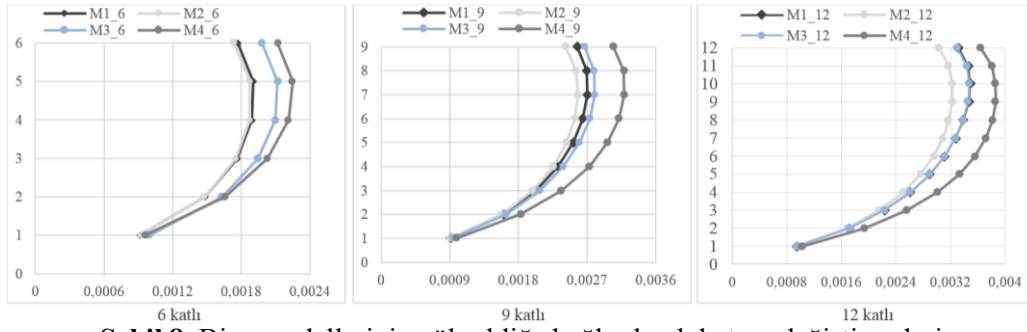


**Şekil 6.** Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümlerden elde edilen mod şekilleri  
*Figure 6. Mode shapes obtained from linear structural analysis of building models*



**Şekil 7.** Bina modellerinin eşdeğer deprem yükü yönteminden yüksekliğe bağlı olarak elde edilen burulma katsayıları

*Figure 7. Torsional coefficients obtained from the equivalent earthquake load method of building models depending on height*



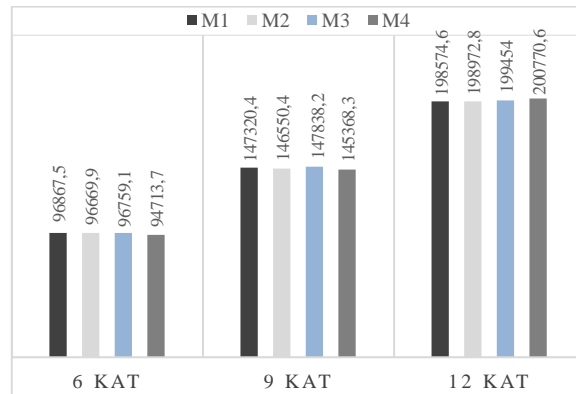
**Şekil 8.** Bina modellerinin yüksekliğe bağlı olarak kat yerdeğiştirmeleri  
**Figure 8.** Storey displacement of building models depending on height

Eşdeğer deprem yükü (EDY) ve mod birleştirme (MB) yöntemleriyle gerçekleştirilen yapısal analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri ve maksimum çatı yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu tablodan bina yüksekliği arttıkça periyot değerlerinin artmasına bağlı olarak spektral ivme değerlerinin azalması nedeniyle taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca az ve orta katlı binalar için MB yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri EDY yönteminden elde edilenden daha büyük olmasına karşın, yüksek binalar için tam tersi bir durum olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek modların katkısını ortaya koymaktadır. Bu hususta EDY yönteminde bina yüksekliğine bağlı kısıtlama getirilmesi nedenini doğrulamaktadır.

Bina modellerinin doğrusal yapısal çözümleme sonucu elde edilen toplam donatı metrajları Şekil 9’da verilmiştir. Bina modelleri için TBDY’ne göre R katsayısı 7 olarak seçilse de M1 ve M4 modellerinde kenar aks perde duvarları için  $M_{dev}/M_o$  oranı  $1/6$ ’dan ve M3 modeli perde duvarlarında  $M_{dev}/M_o$  oranı  $1/3$ ’ten büyük olduğundan R katsayısı %20 azaltılarak 5.6 alınmıştır. Bu nedenle karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla tüm bina modellerinde  $R=5.6$  olarak dikkate alınmıştır. Ancak bu durumda M2 için tasarımda kullanılacak deprem yükü değeri olması gerekenden daha fazla alınmıştır. Buna göre az ve orta katlı binalar için en az donatı miktarı M4 modelinde yüksek binalarda ise M1 modelinde elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Bina modellerinin deprem yükleri (kN)  
**Table 2.** Earthquake loads of building models (kN)

Bina modelleri	Kat sayısı	EDY yöntemi	MB yöntemi	Maksimum çatı yerdeğiştirmesi (mm)
M1	6	4986.3	6081.93	9.7258
	9	4592.7	5046.75	19.9906
	12	4507.2	4417.95	33.9069
M2	6	5038.18	6144.47	9.6317
	9	4656.08	5181.34	19.2622
	12	4563.42	4591.87	31.9224
M3	6	4968.4	6047.47	10.7741
	9	4632.03	5044.24	20.6173
	12	4506.15	4425.61	33.9363
M4	6	4409.35	5315.99	11.227
	9	4151.68	4409.67	23.3991
	12	4085.93	3947.73	38.1154



**Şekil 9.** Bina modellerinin doğrusal çözümleme sonucu hesaplanan toplam donatı metrajları (kg)  
**Figure 9.** Total reinforcement quantities calculated as a result of linear analysis of building models (kg)

## 2.2. Doğrusal olmayan yapısal çözümler

### 2.2. Nonlinear structural analysis

Doğrusal olmayan hesaplamalarda TBDY koşulları dikkate alınmıştır. Analiz modellerinde kolon ve kirişler çubuk eleman, perde duvarlar ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. Tüm kolonlar için boyuna donatı 20Ø14 ve sargı donatısı Ø8/15/8, kiriş alt donatısı 5Ø14, üst donatısı 2Ø14+3Ø12, etriyesi Ø8/9 olarak ve perde duvarlar için donatılar düşeyde her iki tarafta simetrik 16Ø12 ve yatayda Ø8/10 olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri olarak tek modlu itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tercih edilmiştir. TBDY'ne göre tek modlu itme yöntemi kullanılabilirlik durumu değerlendirildiğinde modellerin kütle katılım oranları ve burulma katsayılarının uygun olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 7). Bu makalede, pratikliği nedeniyle sıkça tercih edilen tek modlu itme yönteminin yapı davranışını yansıtmakta yetersiz kaldığı ortaya koymak için, doğrusal olmayan davranışı en yakın şekilde temsil eden ZTA doğrusal olmayan analiz sonuçları ile tek modlu itme analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) açısından kullanılan 6 ve 9 katlı binalar (BYS=5) TBDY'ne göre tek modlu itme analizi sınır değerlerini sağlamaktadır. Buna karşın 12 katlı bina modellerinde tek modlu itme analizinin kullanılabilirliği için TBDY koşullarının sağlamamasına rağmen karşılaştırma için tercih edilmiştir. Böylelikle yönetmelikteki sınır durumun aşılmasının sonuçları ne kadar değiştirdiği ortaya konmak hedeflenmiştir. ZTA analiz için teknik literatürde birçok çalışmada sıklıkla tercih edilen Newmark metodu tercih edilmiştir (Çavdar & Bayraktar, 2016; Çavdar, 2022). Ayrıca doğrusal olmayan çözümlerde taşıyıcı sistem elemanlarında yayılı plastik mafsalsal davranış modeli dikkate alınmıştır.

### 2.2.1. Tek modlu itme analizi

#### 2.2.1. Single-mode pushover analysis

Doğrusal olmayan yapısal çözümlerde beton ve çelik malzemeleri için kullanılan malzeme modelleri Şekil 10'da verilmektedir. Bina modellerinin bu malzeme modelleri kullanılarak gerçekleştirilen itme analizleri sonucu elde edilen yerdeğiştirmeleri Şekil 11'de verilmiştir. Bu şekilden bina modelleri yerdeğiştirmeleri sıralamasının bina yüksekliğiyle değişmediği ve söz konusu binanın periyot sıralamasıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca yerdeğiştirme talebi, periyot değeri yüksek olan M4 modellerinde en büyük iken periyot değerleri az olan M2 modellerinde en küçük çıkmıştır.

Bina modellerinin yapısal elemanlardaki birim şekil değiştirmeler TBDY'ne göre değerlendirilmiş ve yapısal elemanlardaki hasar seviyeleri belirlenmiştir (bkz. Şekil 12).  $\epsilon_c$  beton birim kısalmasını,  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını,  $\alpha_{se}$  sargı donatısı etkinlik katsayısını,  $\rho_{sh,min}$  iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını,  $f_{ywe}$  sargı donatısının beklenen akma dayanımını,  $f_{ce}$  betonun beklenen basınç dayanımını,  $\rho_{sh}$  hacimsel etriye oranını,  $A_{sh}$  sargı donatısı alanını,  $s$  etriye aralığını,  $a_i$  yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_o$  ve  $h_o$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutunu göstermek üzere beton ve çelik sınır değerleri Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için sırasıyla (1), (2), (3) ve (4) bağıntılarıyla belirlenmiştir. Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için sınır değerler GÖ değerlerinin %75'i, Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için ise sınır değerler beton ezilmesi için 0.0025, donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi için 0.0075 olarak dikkate alınmıştır. Buna göre kirişlerin ve düşey taşıyıcı elamanların hasar seviyelerinin katlardaki yüzdesel dağılımları Tablo 3'te verilmektedir. Ayrıca bina modellerinin performans düzeyleri ise Tablo 4'te verilmiştir. Bu tablolardan, 6 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanlarda ise M3 bina modelinde ilk iki kattaki yapısal elamanların %0.3~0.5 BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Buna göre 6 katlı bina modellerinden M1, M2 ve M4 SH performans düzeyini sağlarken M3 modeli ise KH performans düzeyi sağlamaktadır. 9 katlı bina modellerinden M1 modelindeki bütün kirişlerin SH bölgesinde olduğu, M2 ve M3 modellerinde üst kat kirişlerinin %7.7'sinin ve M4 modelinde ise 4. kattan itibaren kirişlerin %69.2 BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Ayrıca 9 katlı M1 ve M4 modellerindeki düşey taşıyıcı elamanlarda hasar görülmezken, M3 modelinde %0.3~0.5 ilk dört katta ve M2 modelinde ise ilk iki kattaki düşey taşıyıcı elamanların % 43~46'sı BH bölgesine geçtiği görülmektedir. Buna göre 9 katlı bina modellerinden sadece M1 modeli SH performans düzeyini sağlarken, diğer tüm bina modelleri KH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 12 katlı bina modellerinden M1 modelindeki üst kat kirişlerinin %7.7 BH bölgesine geçmiş, ancak perde duvarların yerleşimi bina merkezine yaklaştıkça kirişlerdeki hasar oranları M2 için % 42, M3 için % 61.5 ve M4'de ise % 90'nı BH bölgesine geçmiştir. Ayrıca kiriş hasar yüzdeleri artmasıyla düşey taşıyıcı elamanlardaki hasar seviyelerinin azaldığı görülmektedir. 12 katlı M1 ve M2 modellerindeki 1. kattaki düşey yapısal elamanların

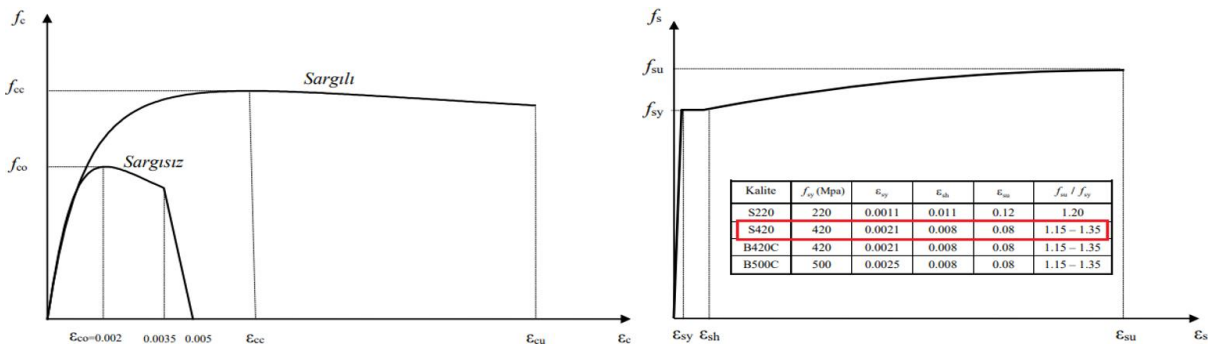
neredeyse yarısı, M3'te maksimum %3'ü ve M4'te maksimum %11.4'ü BH bölgesine geçmektedir. Elde edilen bulgulardan, perde duvar yerleşiminin bina merkezine yaklaşmasıyla, dikkate alınan modellerin alt katlarındaki düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar oranlarının azaldığı, buna karşın üst katlardaki kiriş hasar oranlarının ise arttığı görülmektedir. Bu sonuç 12 katlı bütün bina modellerinin KH performans düzeyinde olduğunu göstermektedir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad (1)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} * \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2)$$

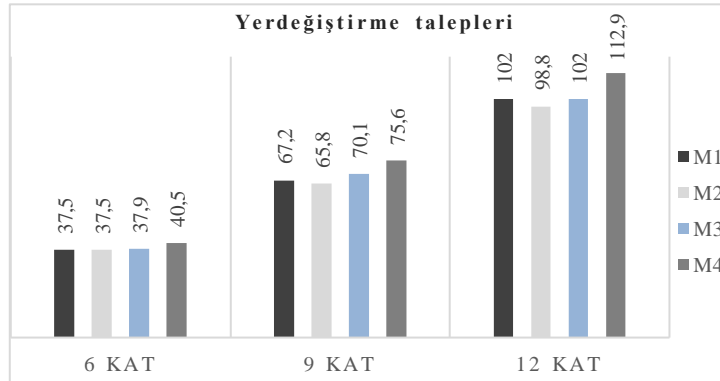
$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k * s} \quad (3)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 * b_0 * h_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * h_0}\right) \quad (4)$$



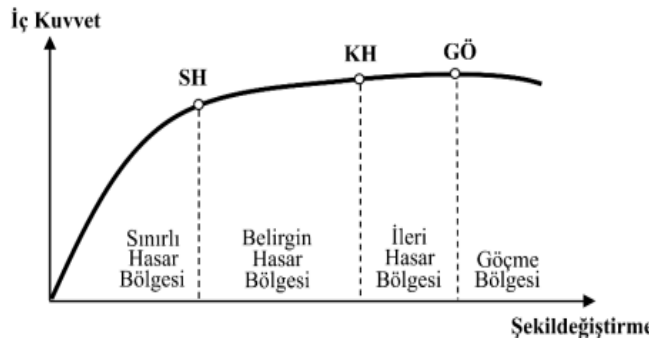
**Şekil 10.** Bina modellerinin tek modlu itme analizinde kullanılan beton ve donatı doğrusal olmayan malzeme modelleri (TBDY, 2019)

**Figure 10.** Concrete and reinforcement nonlinear material models used in single-mode pushover analysis of building models (TBDY, 2019)



**Şekil 11.** Bina modellerinin tek modlu itme analizi sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri (mm)

**Figure 11.** Displacement values obtained from single-mode pushover analysis of building models (mm)



**Şekil 12.** TBDY'ne göre kesit hasar bölgeleri (TBDY, 2019)

**Figure 12.** Damage zones according to TBDY (TBDY, 2019)



**Tablo 3.** Tek modlu itme analizi sonucunda kirişler ve düşey taşıyıcı yapısal elemanlardaki hasarların katlara göre yüzdesel dağılımları**Table 3.** The percentage distribution of damages in beams and vertical load-bearing structural elements as a result of single-mode pushover analysis

Kat sayısı	Kirişler (%)												Düşey taşıyıcı yapısal elemanlar (%)												
	M1			M2			M3			M4			M1			M2			M3			M4			
	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	
6 katlı modeller	6	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	5	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.5	0.5	-	100	-	-
9 katlı modeller	9	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	8	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	7	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	6	100	-	-	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	5	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	30.8	69.2	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	61.5	38.5	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.7	0.3	-	100	-	-
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	53.7	46.3	-	99.7	0.3	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	56.2	43.8	-	99.6	0.4	-
12 katlı modeller	12	96.2	3.8	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	15.4	84.6	-	100	-	-	100	-	-	98.1	1.9	-	100	-	-
	11	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	15.4	84.6	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	10	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.1	0.9	-	100	-	-
	9	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.7	0.3	-	99.4	0.6	-	100	-	-
	8	92.3	7.7	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.6	0.4	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	7	100	-	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.9	0.1	-	99.3	0.7	-	100	-	-
	6	100	-	-	57.7	42.3	-	38.5	61.5	-	7.7	92.3	-	100	-	-	99.2	0.8	-	99.3	0.7	-	99.1	0.9	-
	5	100	-	-	57.7	42.3	-	50	50	-	30.8	69.2	-	93.5	6.5	-	98.8	1.2	-	99.3	0.7	-	91.3	8.7	-
	4	100	-	-	57.7	42.3	-	50	50	-	84.6	15.4	-	92.1	7.9	-	99.5	0.5	-	97	3	-	88.6	11.4	-
	3	100	-	-	61.5	38.5	-	69.2	30.8	-	100	-	-	93.1	6.9	-	99.5	0.5	-	97.6	2.4	-	90.7	9.3	-
	2	100	-	-	100	-	-	88.5	11.5	-	100	-	-	93.1	6.9	-	50.3	49.7	-	99.1	0.9	-	92.3	7.7	-
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	49.7	50.3	-	56	44	-	99	1	0	91.6	8.4	-

**Tablo 4.** Bina modellerinin tek modlu itme analizi sonucu elde edilen performans düzeyleri**Table 4.** Performance levels obtained as a result of single-mode pushover analysis of building models

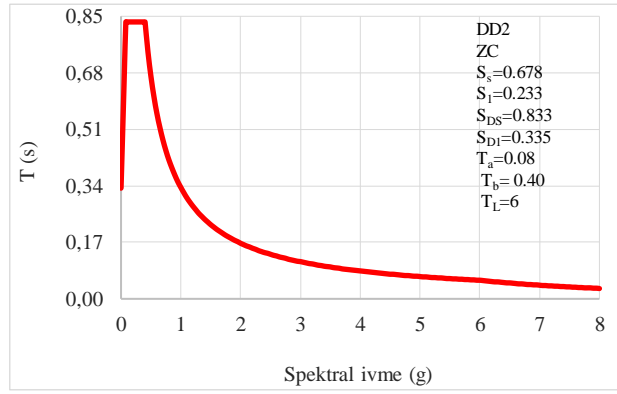
Kat Sayısı	Performans Düzeyi			
	M1	M2	M3	M4
6	SH	SH	KH	SH
9	SH	KH	KH	KH
12	KH	KH	KH	KH

### 2.2.2. Zaman tanım alanında analiz

#### 2.2.2. Time-history analysis

Zaman tanım alanında (ZTA) analizdeki en önemli husus, uygun deprem hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklenmesidir. Buradaki ana amaç analizlerde kullanılacak depremlerin tasarım spektrumu ile uyumlu olması gerekliliğidir. Söz konusu binaların bulunduğu lokasyon ve zemin sınıfı için AFAD'ın interaktif web uygulamasından elde edilen tasarım spektrumu Şekil 13'te verilmiştir. (AFAD, 2023). Bu amaçla Peer veri bankasından (Peer, 2023) gerekli parametrelere göre indirilen 100 adet deprem hareketinden uygun deprem hareketinin seçimi için (5) bağıntısı kullanılmıştır. (5) bağıntısındaki  $T_A$  ve  $T_B$  ölçeklendirmenin yapılacağı periyot aralığının başlangıç ve bitiş değerlerini,  $S_a^{gerçek}$  ölçeklenecek yer hareketi ivme değerini ve  $S_a^{hedef}$  tasarım spektrumu ivme değerlerini temsil etmektedir.  $\alpha$  depremin ivme zaman grafiği ile tasarım spektrumu arasındaki en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenen bir katsayıdır (Özdemir & Fahjan, 2007). Bu çalışmada seçilen 11 adet deprem hareketi ve  $\alpha$  katsayıları Tablo 5'te verilmektedir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) * S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (5)$$



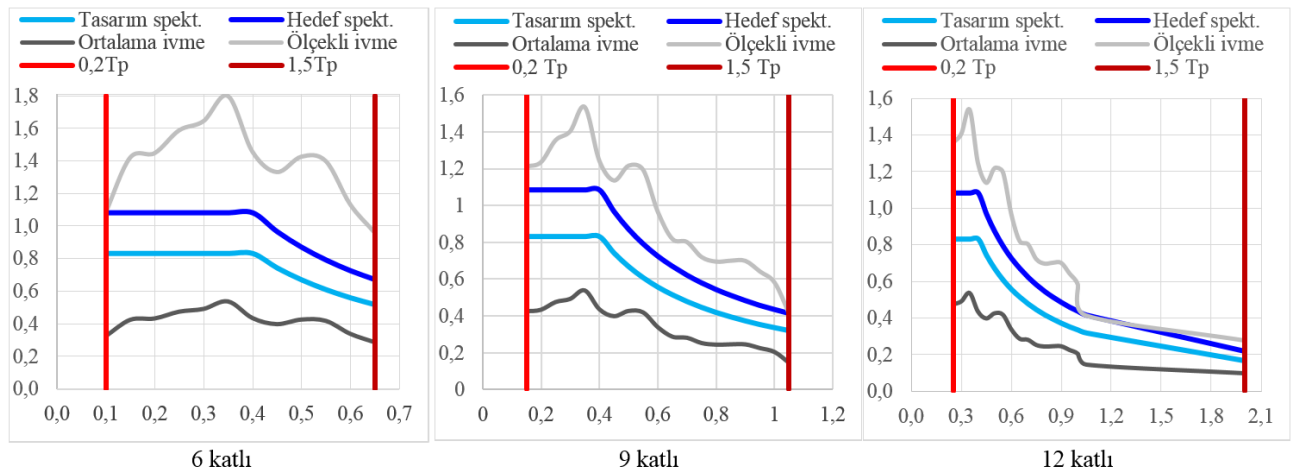
Şekil 13. Tasarım spektrumu  
Figure 13. Design spectrum

Tablo 5. Seçilen deprem kayıtları (Peer, 2023)

Table 5. Selected earthquake records (Peer, 2023)

RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon Adı	Magnitüde	$\alpha$
832	Landers	1992	Amboy	7.28	1.68
838	Landers	1992	Barstow	7.28	1.94
855	Landers	1992	Fort Irwin	7.28	1.98
928	Big Bear-01	1992	Sage- Fire Station	6.46	1.77
1160	Kocaeli_Türkiye	1999	Fatih	7.51	0.99
1166	Kocaeli_Türkiye	1999	İzmit	7.51	1.80
1619	Duzce_Türkiye	1999	Mudurnu	7.14	2.18
1627	Caldiran_Türkiye	1976	Maku	7.21	3.43
1762	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	1.24
1770	Hector Mine	1999	Big Bear Lake- Fire Station	7.13	1.01
1794	Hector Mine	1999	Joshua Tree	7.13	1.24

TBDY’de basit ölçekleme ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçekleme olmak üzere iki farklı yöntem önerilmektedir. Teknik literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında basit ölçekleme yönteminin daha elverişsiz sonuçlar verdiği görülmektedir (Tozlu, 2023). Bu makalede, emniyetli tarafta kalabilmek adına basit ölçekleme yöntemiyle ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Basit ölçekleme yönteminde deprem hareketi ivme değerlerinin ortalaması alınarak yapı hâkim periyotlarının ( $T_p$ ) 0.2~1.5 katı arasında tasarım ivme spektrumu değerlerinin 1.3 katından daha küçük olmayacak şekilde ölçekleme yapılmaktadır. Aynı kat sayısına sahip bina modelleri için aynı ölçek katsayıları kullanılmıştır. Bu nedenle 6, 9 ve 12 katlı bina modellerinin hâkim periyot değerleri, kendi içlerinde ortalamaları alınarak dikkate alınmıştır (bkz. Tablo 6). Yapılan ölçekleme işlemi sonucu 0.2~1.5  $T_p$  aralığı için davranış spektrumları Şekil 14’te ve ölçekleme işlemi yapılmamış deprem ivme-zaman grafikleri de her iki doğrultu için sırasıyla Şekil 15~Şekil 17’de verilmiştir.



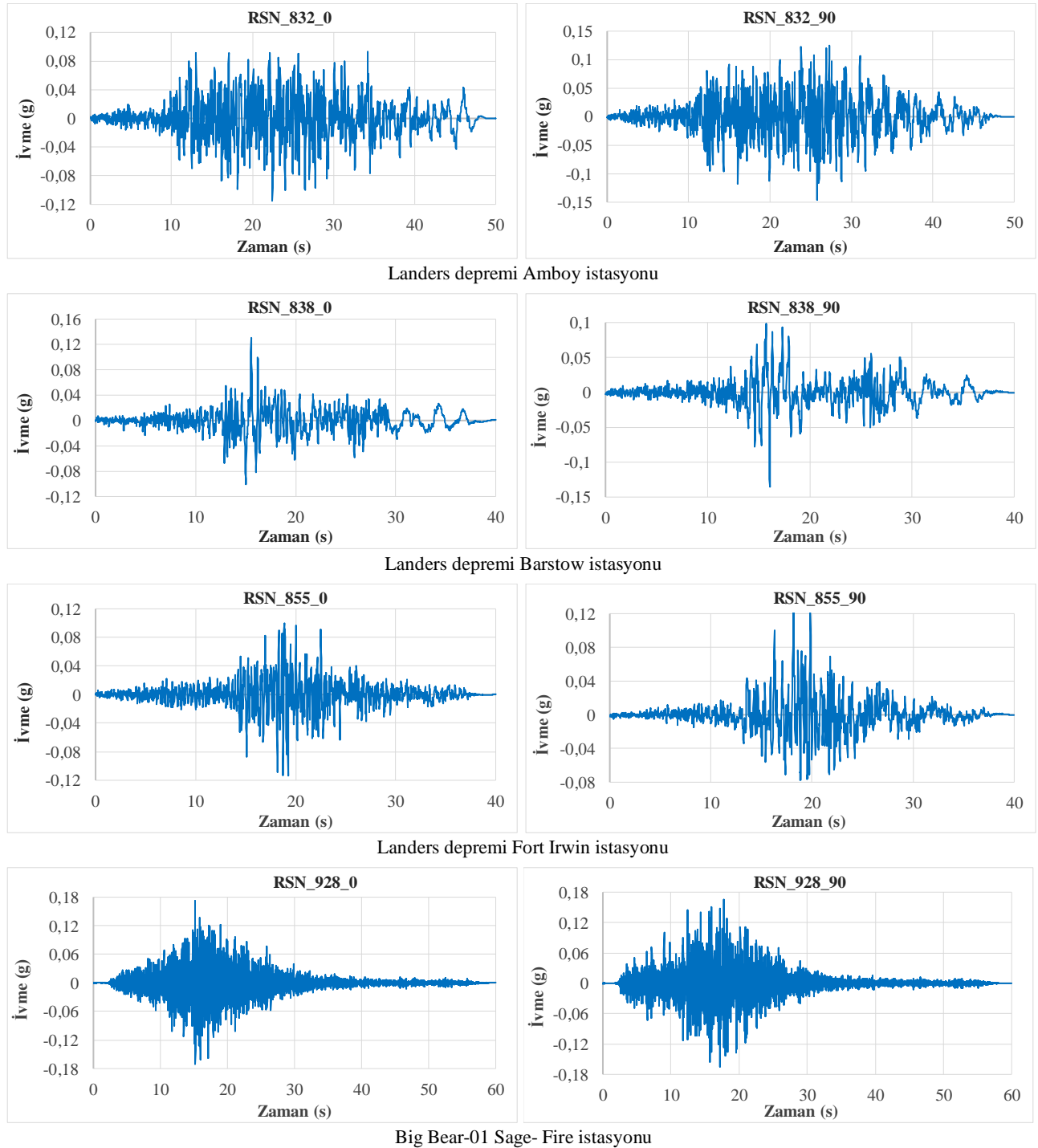
Şekil 14. Basit ölçekleme işlemi

Figure 14. Amplitude Scaling Method

**Tablo 6.** Deprem kayıtlarının ölçek katsayıları  
**Table 6.** Scale coefficients of earthquake records

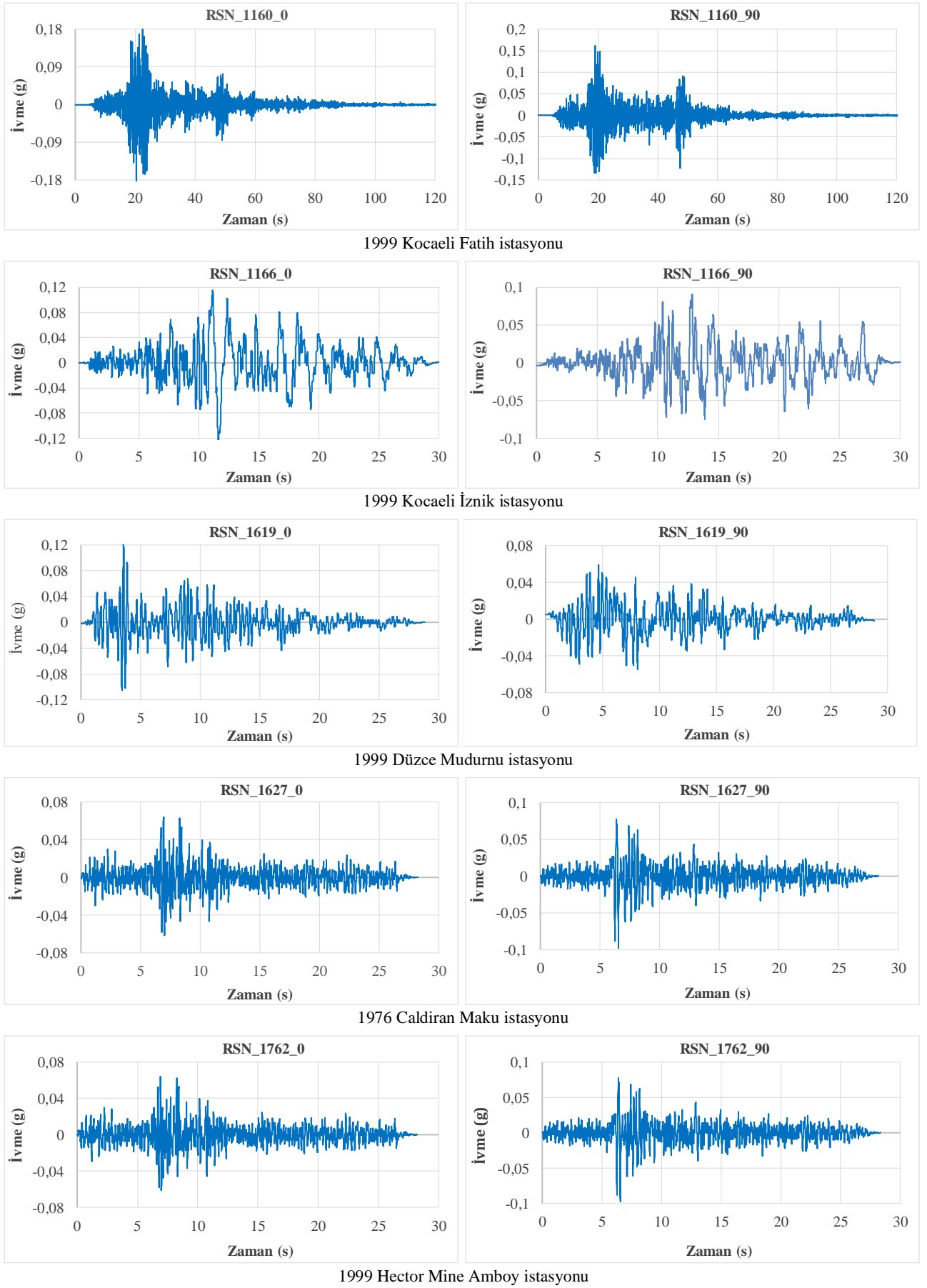
Kat Sayısı	$T_p$ Ortalama	$0.2 T_p$	$1.5 T_p$	Ölçek Katsayısı
6	0.45	0.09	0.67	3.35
9	0.82	0.16	1.23	2.86
12	1.22	0.24	1.83	2.86

Burada dikkate alınan ivme-zaman kayıtlarının hassasiyetine göre ölçek aralığında yaklaşık değerler kabul edilmiş olduğu ve bina modelleri simetrik olduğu için yapısal çözümlerinde tek doğrultudaki hesabın yeterli görüldüğünden deprem ivme kayıtları  $90^\circ$  çevrilerek analizlerin tekrar yapılmadığını belirtmek yararlı olacaktır.



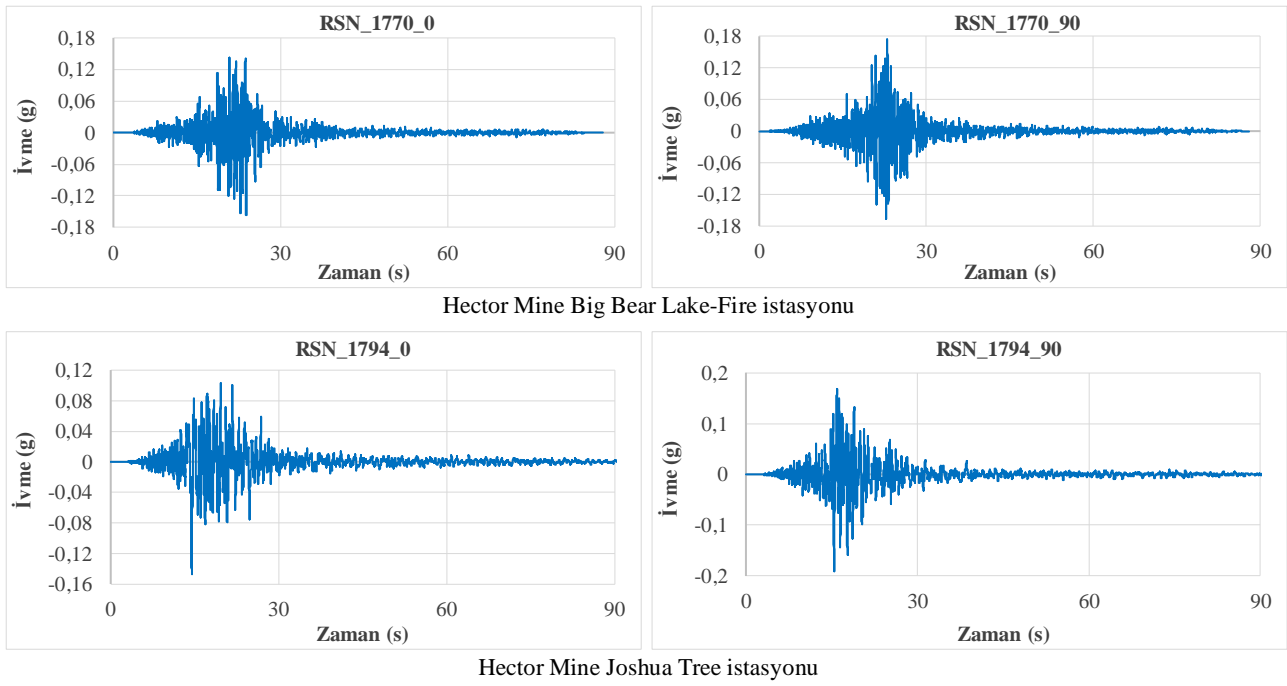
**Şekil 15.** 1992 Landers ve Big Bear-01 depremlerinin ivme zaman grafikleri

**Figure 15.** Acceleration-time history graphs of 1992 Landers and Big Bear-01 earthquakes



Şekil 16. Kocaeli, Düzce, Caldiran ve Hector Mine depremlerinin ivme zaman grafikleri

Figure 16. Acceleration-time history graphs of Kocaeli, Düzce, Caldiran and Hector Mine earthquakes



Şekil 17. 1999 Hector Mine depremlerinin ivme zaman grafikleri

Figure 17. Acceleration-time history graphs of 1999 Hector Mine earthquakes

ZTA doğrusal olmayan analiz sonucundaki yapısal elamanların hasar seviyeleri ve katlardaki dağılımları Tablo 7’de verilmektedir. Ayrıca bina modellerinin performans düzeyleri ise Tablo 8’de verilmiştir.

**Tablo 7.** ZTA analiz sonucunda kirişler ve düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların katlara göre dağılımları (%)  
**Table 7.** The distribution of damages in beams and vertical structural elements as a result of NTH analyses (%)

Kat sayısı	Kirişler (%)												Düşey taşıyıcı yapısal elemanlar (%)														
	M1			M2			M3			M4			M1			M2			M3			M4					
	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH	SH	BH	IH			
6 katlı modeller	6	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	5	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	93.2	6.8	-	86.4	6.8	6.8	100	-	-	100	-
9 katlı modeller	9	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	8	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	7	100	-	-	92.3	7.7	-	97.7	2.3	-	98.1	1.9	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	6	100	-	-	92.3	7.7	-	95.5	4.5	-	99.6	0.4	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	5	100	-	-	92.3	7.7	-	100	-	-	99.6	0.4	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	4	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	3	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	93.2	4.5	2.3	84.1	6.8	9.1	95.5	4.5	-	100	-
12 katlı modeller	12	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	98.1	1.9	-	100	-	-		
	11	92.3	7.7	-	94.2	5.8	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	10	92.3	7.7	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.1	0.9	-	100	-	-		
	9	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	99.4	0.6	-	100	-	-		
	8	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	88.5	11.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	7	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	88.5	11.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	6	90.4	9.6	-	92.3	7.7	-	84.6	15.4	-	86.5	13.5	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	5	92.3	7.7	-	96.2	3.8	-	84.6	15.4	-	92.3	7.7	-	100	-	-	100	-	-	99.3	0.7	-	100	-	-		
	4	100	-	-	96.2	3.8	-	84.6	15.4	-	96.2	3.8	-	100	-	-	100	-	-	97	3	-	100	-	-		
	3	100	-	-	61.5	38.5	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	97.6	2.4	-	100	-	-		
	2	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	99.1	0.9	-	100	-	-		
	1	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	86.4	4.5	9.1	56	44	-	97.7	-	2.3	100	-	-		

**Tablo 8.** Bina modellerinin ZTA analiz sonucu elde edilen performans düzeyleri  
**Table 8.** Performance levels of building models obtained as a result of NTH analysis

Kat Sayısı	Performans Düzeyi			
	M1	M2	M3	M4
6	KH	GÖ	SH	SH
9	KH	Göçme	KH	SH
12	GÖ	Göçme	GÖ	SH

Bu tablolardan 6 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanların M1 bina modelinin KH performans düzeyinde, M2 bina modelinin GÖ performans düzeyinde ve M3 ve M4 bina modellerinin ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 9 katlı bina modellerinden M3 ve M4 modellerinde orta katlardaki kirişlerin (bina performans düzeyini etkilemeyecek kadar az miktarda) BH bölgesinde olduğu, M1 ve M2 modellerinde ise kirişlerde hasar oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca 9 katlı bina modellerinin düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarın M1 ve M3 modellerinde KH düzeyinde, M2 modelinde Göçme bölgesinde ve M4 modelinde ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. 12 katlı bina modellerinde kirişlerin tamamının SH bölgesinde olduğu ve düşey taşıyıcı elamanların M1 ve M3 bina modellerinin KH performans düzeyinde, M2 bina modelinin Göçme bölgesinde ve M4 bina modelinin ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir.

### 3. Sonuçlar ve öneriler

#### 3. Conclusions and recommendations

Bu çalışmada, 4 farklı kat planına sahip 6, 9 ve 12 katlı betonarme perde duvar-çerçeve taşıyıcı sistemli 12 adet bina modelinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Perde duvarların yerleşimi, her iki doğrultuda kesme alanları eşit olacak şekilde, dış akslardan merkeze doğru kaydırılarak kat planları oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmaktadır.

- Doğrusal yapısal çözümlerden, dikkate alınan bina yükseklikleri (6, 9 ve 12 kat) için, en küçük hâkim periyot değerleri M2 modellerinde ve en yüksek hâkim periyot değerleri M4 modellerinden elde edilmiştir. Elde edilen bu bulgu rijitliği en yüksek olan bina modelinin M2 modeli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bina yüksekliğinin artmasıyla periyot değerlerinin sıralamasını değiştirmedeği görülmektedir.
- Gerçekleştirilen doğrusal yapısal çözümlerden bina yüksekliğinin artmasıyla genlikler değişse de mod şekillerinin aynı olduğu görülmüştür. Bu bulgu bina yüksekliğinin mod şekillerini değiştirmedeğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bina yüksekliği arttıkça burulma etkilerinin davranışa katkısının arttığı görülmektedir.
- Kat planlarında perde duvarların yerleşiminin bina merkezine doğru kayması durumunda çerçeve sistemlerden oluşan dış akslardaki yerdeğiştirme değerlerinin bina merkezine göre daha fazla olduğu dolayısıyla yapısal davranışta karmaşıklığa neden olan burulma etkilerinin arttığı görülmektedir. Buna karşın perde duvarların dış akslara yerleştirilmesi durumunda, bina merkezindeki yerdeğiştirme değerleri dış akslara göre daha fazla olmakta dolayısıyla söz konusu bina davranışındaki düzensizlikleri arttırmaktadır. Bu nedenle, özellikle plan boyutlarının artmasıyla birlikte, perde duvarların tüm akslarda homojen olacak şekilde dağıtılması gerekmektedir.
- Doğrusal yapısal çözümler sonucunda en büyük ortalama kat yerdeğiştirme değerleri M4 modellerinden elde edilmiştir. Bununla birlikte perde duvarların dış akslarda yoğunlaştığı M1 modelinde ortalama kat yerdeğiştirme değerlerinin bina yüksekliği arttıkça burulma etkilerinin büyük olduğu M3 modeline yaklaştığı, hatta 12 katlı bina modelinde üst katlarda daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç burulma etkileri kaygısıyla en dış akslara perde duvarlar yerleştirilerek oluşturulan modellerden, bina yüksekliği arttıkça daha elverişsiz değerlerin elde edilebileceğini göstermektedir.
- EDY ve MB yöntemleriyle yapılan doğrusal analizlerden, bina yüksekliğinin artmasıyla, periyotlardaki uzamalar nedeniyle, söz konusu binaya etki eden deprem yüklerinin dolayısıyla da taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca az ve orta yükseklikteki binalar için EDY yönteminden elde edilen sonuçlar daha küçük iken, yüksek bina için tam tersi bir durum söz konusudur. Diğer taraftan EDY ve MB yöntemlerinden elde edilen taban kesme kuvvetleri sıralamasının periyot değerleri sıralamasının tam tersi olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç TBDY’de EDY yönteminin bina yüksekliğine göre kısıtlanması hüküm ve önerilerini doğrulamaktadır.
- Doğrusal yapısal çözümler sonucunda her bir bina yüksekliği için beton metrajı aynı iken, az ve orta yükseklikteki binalar için M4 modellerinden ve yüksek binalar için M1 modelinden en küçük donatı metrajı

elde edilmiştir. Bu durumun bina yüksekliğinin artmasına bağlı olarak kat yerdeğiştirmelerinin artması dolayısıyla ikincil merteye etkilerinin getirdiği kesit zorlarından kaynaklandığı söylenebilir.

- Doğrusal yapısal çözümlerden M4 modelinde perde duvarları bağlayan kat kirişlerinde, bina yüksekliği arttıkça perde elemanlardaki eğilme etkilerinin artmasına bağlı olarak söz konusu kirişlerdeki ilave donatı miktarı artmaktadır.
- İtme analizi sonucu elde edilen talep yerdeğiştirmelerinin sıralamasının periyot değerleri sıralamasıyla uyumluluk gösterdiği ve en yüksek talebin sürekliliği en fazla olan M4 modellerinde, buna karşın en düşük talebin ise M2 modellerinde olduğu görölmektedir.
- Gerçekleştirilen itme analizlerden, perde duvarların yerleşimi merkeze yaklaştıkça kirişlerdeki hasar seviyelerinin arttığı, perde duvarların dikdörtgen kesitli olması durumunda özellikle perde duvara bağlanan kirişlerde yüksek oranda hasar meydana geldiği ve perde duvarların L şeklinde teşkil edilmesi durumunda deprem doğrultusuna göre çalışmayan doğrultudaki perde duvar kolunda depremin doğrultusuna göre çekme ya da basınç oluştuğu, buna karşın deprem doğrultusuna göre çalışan perde duvar kolunda oluşan eğilmeye bağlı yerdeğiştirmelerin azaldığı dolayısıyla bu durumun perde duvara bağlanan kirişlerdeki hasar seviyelerini düşürdüğu görölmektedir.
- Planda perde duvarların L şeklinde teşkil edilmesi durumunda söz konusu binanın performansını alt katlardaki düşey yapısal eleman hasarları belirlerken, diğer durumda orta ve üst katlardaki kiriş hasarları belirlemiştir.
- ZTA doğrusal olmayan analiz sonucunda perde duvarların yerleşimi söz konusu binanın merkezine yaklaştıkça kirişlerdeki hasar yüzdelerinin arttığı, düşey taşıyıcı elemanlardakinin ise azaldığı görölmektedir. Elde edilen bu sonuç kiriş hasarlarıyla sönmölenen toplam enerjinin arttığını dolayısıyla düşey taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyelerini düştüğünü göstermektedir. Ayrıca dikdörtgen perde duvarları bağlayan kirişlerdeki hasar seviyeleri bu makalede dikkate alınan diğer bina modellerine göre daha fazla iken bina yüksekliğinin artmasıyla artan burulma etkilerinden dolayı M3\_12 modelinde tam tersi bir durum söz konusudur.
- Yapısal çözümlerden, her bina yükseklik gurubunda perde duvarların dış akslarda olmasıyla burulma etkilerinin ve düşey taşıyıcı eleman hasarlarının az buna karşın kiriş hasarlarının yüksek olduğu M4 bina modellerinin diğer bina modellerine göre daha iyi performans gösterdiği görölmüştür.
- İtme analizi ile ZTA doğrusal olmayan yapısal çözümlerden elde edilen bina performans düzeylerinin farklılık gösterdiği, itme analizden sadece 1. mod şekline uyumlu olarak tek doğrultuda talep noktasına kadar itilmesi, plan doğrultularında ayrı ayrı hesap yapılması nedenleriyle özellikle yapı yüksekliğinin ve deprem etkilerinin artmasıyla söz konusu binanın davranışını temsil etmekte yetersiz kaldığı görölmektedir. Ayrıca itme analizinde oluşan hasar yüzdelerinin ZTA hesap yöntemiyle hesaplanan hasar yüzdelerinden daha fazla olduğu görölmüştür.
- Performans düzeylerinde, itme analizinde kiriş hasarlarının etkisi fazlayken ZTA düşey taşıyıcı elemanlardaki hasarların etkisi fazla olduğu görölmektedir.
- Bu çalışmayla, TBDY’de verilen itme analizine ilişkin verilen sınır değerlerin yapısal davranışı ortaya koymada oldukça kritik olduğu doğrulanarak özellikle dikdörtgen kesitli perde duvarların itme analizlerinde kirişlerdeki hasarlar nedeniyle daha da elverişsiz sonuçlar verdiği görölmüştür. Yazarlar taşıyıcı sistemi bu tür binalar için ZTA doğrusal olmayan hesap yönteminin kullanılmasını önermektedirler.

#### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Yazarlar, Prof. Dr. şenol GÜRSOY ve Arş. Gör. İsmail TOZLU bu makalenin gelişmesinde, yazımı ve denetlenmesinde katkıda bulunmuştur.

#### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

- AFAD (2023). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Aksoylu, C., ve Arslan, M. H. (2019). Çerçeve + perde türü betonarme binaların periyod hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382. <https://doi.org/10.17482/uumfd.603437>
- Aktan, S. ve Kıraç, 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>
- Celep, Z. (2019). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, 7. Baskı, Beta Basım ve Yayımlar Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar, A. (2016). Nonlinear earthquake performance evaluation of a structure collapsed during the Van, Turkey, earthquake on October 23, 2011, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (4), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000816](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000816)
- Çavdar, Ö., (2022). Seismic performance of a high-rise building by using linear and nonlinear methods, *Natural Hazards*, 112 (2), 1359-1378. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05231-z>
- Çolakoğlu, H. E. (2019). U şekilli betonarme perdelerin farklı yatay yük etkileri altında doğrusal olmayan davranışı, *Teknik Dergi*, 30 (1), 8887-8912. <https://doi.org/10.18400/tekderg.344813>
- Değer, Z. ve Başdoğan, Ç. (2021). Betonarme perdelerin yığılı plastik davranış ile doğrusal olmayan modellenmesi ve hasar sınırları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36 (2), 641-654. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.719923>
- Dogan, O., Genç, Y. ve Odacıoğlu, O. G. (2022). Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25 (4), 1561-157. <https://doi.org/10.2339/politeknik.871889>
- Foroughi, S. ve Yüksel, B. (2021). Sünek betonarme perde duvarların şekil değiştirme esaslı hasar sınırları, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7 (2), 244-255. <https://doi.org/10.28979/jarnas.845418>
- Garip, Z.Ş. ve Eren, E., (2022). Perde duvarlı ve çerçeveli betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 700-715. <https://doi.org/10.29130/dubited.937668>
- Gürsoy, Ş., (2017). Betonarme perde duvar konumunun binaların deprem davranışı ve kaba inşaat maliyeti üzerine etkisi, *2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017)*, 21-23 Eylül, 1-10, Bayburt/TÜRKİYE.
- Gürsoy, Ş., (2013). Farklı rijitleştirici elemanlara sahip binaların depreme göre maliyetlerinin karşılaştırılması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 533-544.
- Karadoğan, F. Pala, S. Yüksel, E. ve Durgun, Y. (2011). *Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme*, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kaya, G. ve Özsoy Özbay, A. E. (2019). Perde ve çerçeveli betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışa etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (1), 7-17. <https://doi.org/10.21923/jesd.429880>
- Onat, Ö. ve Usta, P. (2021). 20 katlı betonarme yapının farklı perde duvar yerleşimlerine göre deprem analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 363-369. <https://doi.org/10.31590/ejosat.912625>
- Özdemir, Z. ve Fahjan, Y. M. (2007). Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, 435-446, İstanbul.



- Peer, (2023). Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- Sakcalı, G. B., Tekeli, H. ve Demir, F. (2017). The effects of shear wall amount on building performance in RC buildings, *Sakarya University Journal of Science*, 21 (2), 157-168. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296998>
- Sayın, E., Yön, B. ve Calayır, Y. (2010)., Perde konumunun ve zemin sınıfının betonarme yapılarıdaki hasar oranına etkisi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26 (1), 1-6.
- Sta4-CAD (2021). Structural analysis for computer aided design”, ver.14.1. [www.sta.com.tr](http://www.sta.com.tr)
- TBDY (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364 Sayılı Resmi Gazete.
- Tozlu, İ. (2023). *Tünel kalıp sistemli orta katlı betonarme binaların deprem performansının belirlenmesinde yer hareketi kaydı ölçekleme yöntemlerinin ve güçlü yer hareketi kısmının etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tuna, M. E. (2000). Depreme dayanıklı yapı tasarımı”, Tuna eğitim ve kültür vakfı, Ankara.
- Uçar, T. ve Merter, O. (2009). Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçeve binaların deprem davranışına etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (2), 11-18.
- Yaman, S. Tekeli, H. ve Demir, F. (2019). Betonarme binalarda perde yeri değişiminin bina performansına etkisi, *Avrupa bilim ve teknoloji dergisi*, 16, 194-204. <https://doi.org/10.31590/ejosat.528665>