



## Deprem Etkisindeki Betonarme Binalarda Dolgu Duvarların Davranışa Etkilerinin İncelenmesi

### Investigation Of The Effects Of Infill Walls On Behavior In Reinforced Concrete Buildings Under The Influence Of Earthquake

Zehra Şule Garip\*<sup>1</sup>, Şeyda Dibekoğlu<sup>1</sup>

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

**Başvuru/Received:** 21/09/2022

**Kabul / Accepted:** 19/10/2022

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 15/06/2023

**Son Versiyon/Final Version:** 15/06/2023

#### Öz

Betonarme binalarda dolgu duvarlar, yatay dayanıma katkıları göz ardı edilerek çizgisel yük olarak hesaplara dahil edilmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında öngörülen yapı davranışı gerçeği yansıtmamakta ve deprem tehlikesinin yüksek olduğu Ülkemizde dolgu duvarlar yıkıcı etkilere neden olabilmektedir. Bu çalışmada betonarme binalarda dolgu duvar etkilerinin incelenmesi için farklı özelliklere sahip 6 adet bina modeli tasarlanmıştır. Dolgu duvar etkileri ile meydana gelebilecek olası yumuşak kat düzensizliğini ortaya koyabilmek için iki farklı zemin kat yüksekliği dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında boş çerçeve, çizgisel yüklü çerçeve ve çizgisel yük + eşdeğer basınç çubuklu çerçeve olmak üzere üç farklı betonarme bina modeli tasarlanmıştır. Betonarme bina modellerinin doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizgisel yük + eşdeğer basınç çubuklu sistemlerin boş ve çizgisel yüklü sistemlerle kıyaslanması durumunda periyot değerlerinde, tepe noktası yerdeğiştirmelerinde ve etkin görelî kat ötelenme değerlerinde azalma, spektral ivme değerlerinde ve taban kesme kuvvetlerinde artma ve yumuşak kat düzensizliği oluşumu belirlenmiştir. Dolayısıyla, betonarme bina modellerinde dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuklu olarak modellenmesinin yapı davranışı açısından daha doğru sonuçlar vereceği kanaatine varılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Dolgu duvar, Eşdeğer basınç çubuğu, Betonarme”

#### Abstract

Infill walls are included in the calculations as linear load in reinforced concrete buildings, ignoring their contribution to horizontal strength. For this reason, the structural behaviour foreseen at the design stage does not reflect reality. The filling walls can cause destructive effects in our country, where the severe earthquake danger is. In this study, 6 building models with different features were designed to examine the infill wall effects in reinforced concrete buildings. Two different ground-storey heights are considered to reveal the possible soft-storey irregularity that may occur due to the infill wall effects. Within the scope of the study, three different reinforced concrete building models are designed to empty frame, linear loaded frame and linear load + equivalent pressure bar frame. Although the linear load + equivalent pressure bar systems are compared with empty and linear loaded systems, a decrease in period values, peak point displacements and effective relative storey displacement values, an increase in spectral acceleration values and base shear forces, and the formation of soft storey irregularity are determined. Therefore, it has been concluded that modelling the infill walls with equivalent pressure bars in reinforced concrete building models will give more accurate results in terms of building behaviour.

#### Key Words

“Infill wall, Equivalent pressure bar, RC”

## 1. Giriş

Ülkemiz coğrafyasında birçok diri fay hattının varlığı nedeniyle bina tasarımı ve analizlerinde deprem etkileri önemli bir parametredir. Kolon, perde duvar ve kirişler tarafından oluşturulan taşıyıcı sistemlerde yaşam alanları dolgu duvarlar ile bölümlere ayrılmakta ve bu şekilde kompozit çerçeveler meydana gelmektedir. Betonarme binaların tasarım ve analizlerinde genellikle dolgu duvarlar, yapıya olumlu etkileri dikkate alınarak sadece düşey yük olarak hesaplamalara dahil edilmektedir. Dolgu duvarların bu yaklaşımla hesaplarda dikkate alınması durumunda yapının mukavemetine katkıları ihmal edilirken dolgu ağırlığı çerçeveye taşınarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Ersoy 1971). Dolgu duvarlar, kat planındaki konumlarına bağlı olarak kütle ve rijitlik merkezlerini değiştirerek ilave dışmerkezlik neden olmakta ve yapıda ek burulma etkileri oluşturabilmektedir (Doğan, Bakırcı ER 2011). DBYBHY2007 kullanılarak dolgu duvarların, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ile modellenmesi ve sisteme düşey yük olarak etki ettirilmesi durumunda yapı performansı ile burulma ve yumuşak kat gibi düzensizliklerde artış meydana geldiği belirlenmiştir (Bayrak, Bikçe 2019). Zemin kat hariç tüm kat planlarında dolgu duvar yer alan betonarme bina modellerinde, dolgu duvarların hesaplara dahil edilmemesi durumunda oluşabilecek düzensizliklerin dikkate alınamayacağı bir gerçektir. Zemin katta dolgu duvar bulunmaması yatay ötelenmenin bu katta yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. (Seyit Ali Kaplan 2008). Dolgu duvarların dayanımları oranında yapıya olumlu ve olumsuz birtakım etkileri söz konusudur. Bu konuda birçok deneysel ve analitik çalışma gerçekleştirilmiş ve dolgu duvarların taşıyıcı sistemde modellenmesi ile yapının rijitliği, periyodu, yatay yük taşıma kapasitesi, sönüm oranı gibi dinamik özelliklerinin önemli derecede etkilendiği görülmüştür.

Tam ölçekli 4 katlı betonarme bir binada gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda görelî kat ötelenme değerleri dolgu duvarsız çerçeve modelde %2 iken, zemin katı dolgu duvarsız çerçeve modelde %3.55 olarak belirlenmiştir. Ayrıca en büyük görelî kat ötelenme değerleri dolgu duvarsız çerçeve modelinde ikinci katta meydana gelirken zemin katı dolgu duvarsız çerçeve modelinde alt katta meydana gelmiştir (P Neogro and G Verzeletti 1996). Ayrıca farklı geometriye sahip 10 katlı, 5 farklı dolgu duvarlı betonarme binalarda gerçekleştirilen eşdeğer deprem yükü analizlerinde binalarda sırasıyla her katta dolgu duvarlar kaldırılarak yumuşak kat ve zayıf kat etkileri incelenmiştir. N katlı bina modellerinde 2. ve N-1. katta dolgu duvarların kaldırılması durumlarında yumuşak kat düzensizliklerinin ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir (Ertürkmen ve Çağatay 2016). Bu nedenle dolgu duvarların yapıda meydana gelen görelî kat ötelenmeleri ve yumuşak kat düzensizlikleri üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Dolgu duvarlar, yapıların birçoğunda çerçeve elemanlar ile arasında esnek derzler olmadan inşa edilmekte ancak hesaplamalarda bu detay dikkate alınmamaktadır. Bu durum yapının deprem etkisi altında gösterdiği davranışı etkilemektedir. Güncel yönetmeliğimiz TBDY2019 ile dolgu duvarların çerçeve elemanları ile arasında esnek derz olması veya olmaması durumu ayrıca dikkate alınarak görelî kat ötelenmeleri için kısıtlamalar getirilmiştir.

Farklı yüksekliklere, yapısal sistemlere ve dolgu duvar dizilimlerine sahip betonarme bina modellerinin farklı açılarda etkileyen deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri sonucunda, dolgu duvarlı binalarda dolgu duvarsız binalara kıyasla ardışık deprem olgusunun yapısal hasar üzerindeki etkisinin daha büyük olduğu ortaya konmuştur (Morfidis ve Kostinakis 2017). Dolgu duvarsız, boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı 4 katlı betonarme binalarda iki farklı sismik tehlike bölgesi için gerçekleştirilen pushover analizi ve doğrusal olmayan spektrum yaklaşımı ile dolgu duvarların yapı boyunca hasarın dağılımını tamamen değiştirebileceği belirlenmiştir. Dolgu duvarların hasar alması ile yapının dayanımda azalma meydana gelmesi ve yer hareketi düzeyindeki bir miktar artış ile yapıda ciddi hasarların oluşabileceği belirtilmiştir. (Dolsek ve Fajfar 2008)

DBYBHY2007'e göre 2. Derece deprem bölgesinde Z2 zemin sınıfında yer alan 4 katlı betonarme bir binada dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve yarı dolgu duvarlı modeller oluşturulmuş ve dolgu duvarların sönümleme etkisi irdelenmiştir. Dolgu duvarların kolon kesme taleplerinde önemli farklılıklar meydana getirdiği ve dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı ile depremden gelen kesme kuvvetlerinin doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dolgu duvarların deprem enerjisini önemli oranda sönümlediği de belirtilmektedir (Çelebi ve Beyen, 2018). Kahramanmaraş'taki 3 adet mevcut betonarme bina modeli üzerinden gerçekleştirilen doğrusal modal analizlerden dolgu duvarlı binaların doğal periyotlarında azalmalar meydana geldiği ancak mod şekillerinde farklılık oluşmadığı belirlenmiştir (Köse ve Karşoğlu, 2007).

DBYBHY2007'e göre artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizleri gerçekleştirilen farklı açıklık ve farklı kat sayısına sahip betonarme binalarda eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenen dolgu duvarların yerleşiminin davranışa etkisi araştırılmıştır. Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığı ayrıca dolgu duvarlar yerleşiminde simetrisinin bina kapasitesi eğrisini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir (Akyürek vd. 2018). DBYBHY 2007'e göre zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilen, temel çerçeve, dolgu çerçeve, yumuşak katlı çerçeve olmak üzere 3 tipte tasarlanan binalarda eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenen dolgu duvarların farklı yerleşimlerinin yapı davranışına etkileri incelenmiştir. Dolgu duvarların yerleşiminin düzenli olmasının yapı davranışına olumlu etkilerinin olduğu ve dolgu duvarların yapıda rijitlik artışı sağladığı belirtilmiştir (Sivri vd. 2006).

DBYBHY2007'e göre modal analizleri gerçekleştirilen farklı açıklık ve kat sayılarına sahip 16 betonarme binada dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Dolgu duvarların çerçeve ile etkileşiminde eksenel basınca çalışan boşluk elemanlar tasarlanmıştır. Boşluk eleman ve eşdeğer basınç çubuğunun rijitliklerine eşit alındığında, sonlu elemanlar ve eşdeğer basınç çubuğu modellerinin benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Öztürkçü vd. 2015).

TBDY2019'a göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilen betonarme binalarda 5 farklı dolgu duvar oranı dikkate alınarak sismik davranışa etkileri araştırılmıştır. Her iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenen dolgu duvarların ortalarına aksel yük mafsalı yerleştirilmiştir. Dolgu duvar oranının artması ile yapı rijitliğinin artış gösterdiği ve görelî kat ötelenme değerlerinde azalmalar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik dönme değerlerinin ve yapıda meydana gelebilecek hasarların önemli oranda azaldığı vurgulanmıştır (Çavdar vd. 2020).

Zemin kat planında dolgu duvarların yer almaması ve diğer tüm katlarda dolgu duvarların bulunması durumunda binalarda birçok olumsuzluğun meydana gelebileceği önceden yapılan birçok çalışma ve gözlemler ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmada betonarme bina modellerinde zemin kat hariç tüm katlarda dolgu duvarlar yer almaktadır. Düzensizlikler hakkında bilgi sahibi olabilmek adına iki farklı zemin kat yüksekliği tercih edilmiştir. Genel olarak betonarme binalarda dolgu duvarlar, taşıyıcı sisteme sadece düşey yük olarak etki ettirilmekte ancak dayanıma katkıları dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle dayanıma etkilerinin belirlenebilmesi için dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubukları olarak taşıyıcı sisteme dahil edilmiştir. Betonarme bina modelleri dolgu duvar açısından üç farklı tipte tasarlanmıştır. Birinci bina tipinde çerçeve sistemde dolgu duvar olmaması durumu, ikinci bina tipinde çerçeve sistemde zemin kat hariç tüm katlarda dolgu duvarların çizgisel düşey yük olarak etki ettirilmesi durumu, üçüncü bina tipinde ise çerçeve sistemde zemin kat hariç tüm katlarda dolgu duvarların çizgisel düşey yük olarak etki ettirilmesi ve eşdeğer basınç çubukları ile modellenmesi durumu dikkate alınmıştır. Betonarme bina modellerinin analizleri iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada betonarme bina modellerinin TBDY2019 kriterleri dikkate alınarak dayanıma göre tasarımı (DGT), ikinci aşamada ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri (ŞGDT) yapılmıştır. Analizler sonucunda betonarme bina modellerinde meydana gelen yumuşak kat etkileri, etkin görelî kat ötelenme değerleri, tepe noktası maksimum yerdeğiştirme değerleri, taban kesme kuvvetleri ve bina modellerinde oluşan plastik mafsalları değerlendirilmiştir.

## 2. Yöntem

Betonarme binalarda dolgu duvar etkilerinin incelenmesi için farklı özelliklere sahip 6 adet bina modeli tasarlanmıştır. Bu modellerde dolgu duvar etkileri ile meydana gelebilecek olası yumuşak kat düzensizliğini ortaya koyabilmek için iki farklı zemin kat yüksekliği dikkate alınmıştır. Betonarme binaların taşıyıcı sistemleri doğrusal analizler sonucunda yumuşak kat yüksekliği oluşturmayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca hiçbir bina modelinde zemin katta dolgu duvar modellemesi yapılmamıştır.

### 2.1. Betonarme Bina Bilgileri

Betonarme bina modelleri, zemin kat hariç tüm kat yükseklikleri eşit ve 3m olacak şekilde 8 katlı olarak tasarlanmış ve tek tip kat planı kullanılmıştır (Dibekoğlu 2022). Bina modellerine ait kat planı, 3 boyutlu görünüşler ve taşıyıcı sisteme ait kesitler sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 de verilmiştir. Kat alanı  $900m^2$  olan bina modellerinde taşıyıcı sistem aks aralıkları 5m olup toplam  $6 \times 6$  açıklıktan oluşturulmuştur.

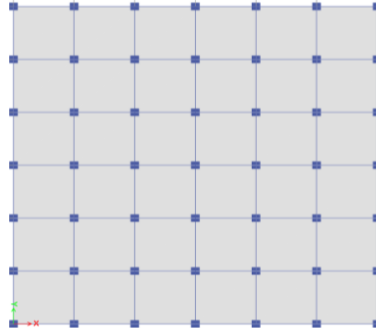
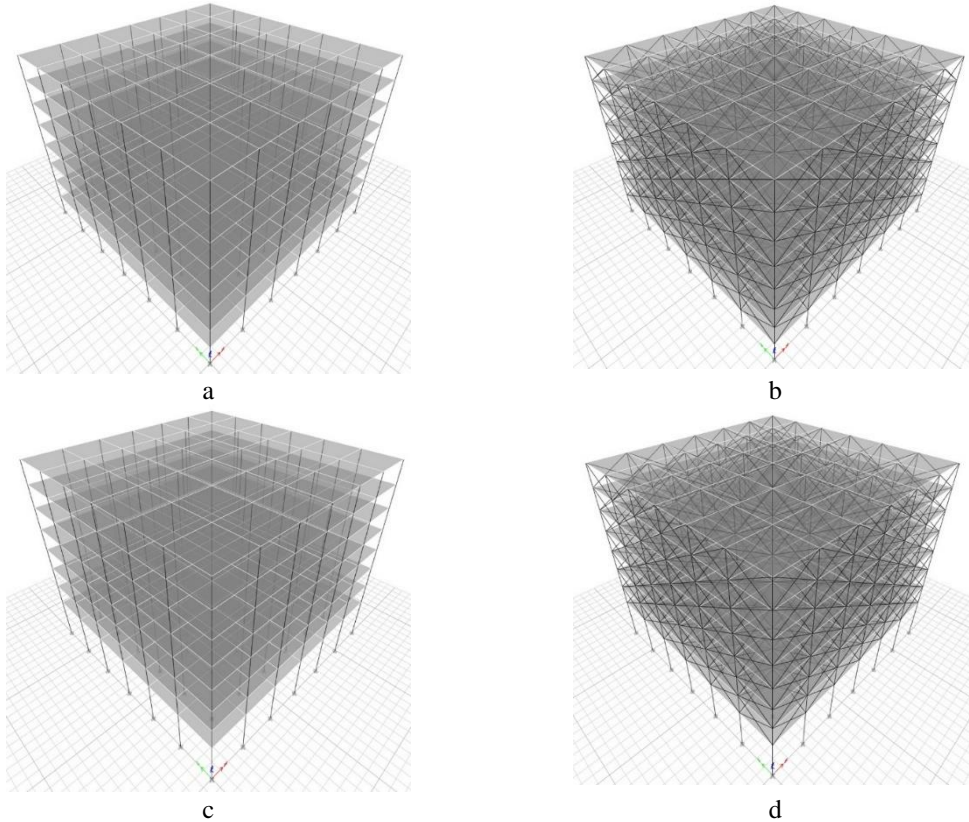
Betonarme bina modelleri dolgu duvar açısından 3 farklı tipte tasarlanmış ve bu tasarımlara ait isimlendirmeler Tablo 1 de sunulmuştur. Çalışmada, dolgu duvar etkilerinin dikkate alınmadığı boş çerçeveler B harfi ile, dolgu duvarların sadece çizgisel yük olarak tüm girişlere etki ettirildiği modeller Ç harfi ile ve dolgu duvarların girişlerdeki çizgisel yükleri sabit tutularak zemin kat hariç diğer katlarda kütsüz eşdeğer basınç çubukları kullanılarak tasarlandığı modellerde E harfi ile ifade edilmiştir. Ayrıca betonarme binalarda dikkate alınan genel tasarım parametreleri Tablo 2 de sunulmuştur.

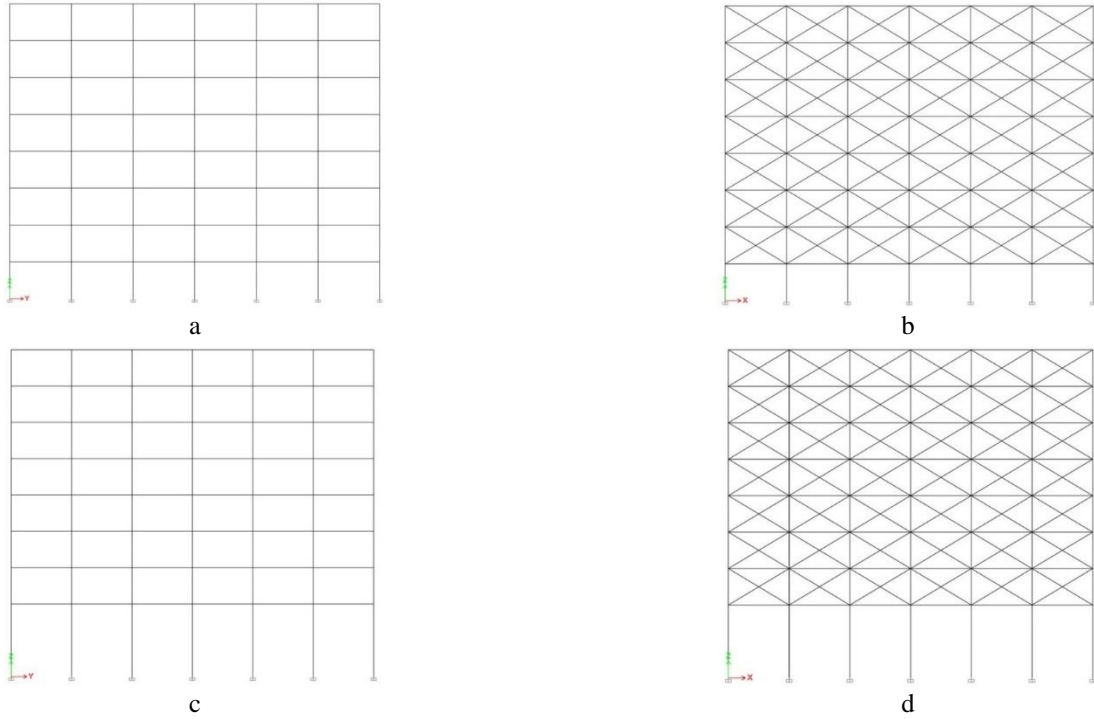
**Tablo 1.** Betonarme Bina Modellerine Ait İsimlendirme

Zemin Kat Yüksekliği	Boş Çerçeve (Duvar yükü yok)	Çizgisel Duvar Yüklü Çerçeve	Çizgisel Duvar Yüğü + Eşdeğer Basınç Çubuklu Çerçeve
$h_z = 3 m$	B-Z3	Ç-Z3	Ç+E-Z3
$h_z = 6 m$	B-Z6	Ç-Z6	Ç+E-Z6

**Tablo 2.** Betonarme Binaların Genel Tasarım Parametreleri

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	2
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1 (Konut)
Bina Taşıyıcı Sistemi	A11-Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Zemin Sınıfı	ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)
Beton Sınıfı	C35/45 ( $E = 33000 \text{ N/mm}^2$ )
Donatı Sınıfı	B420C ( $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ )

**Şekil 1.** Betonarme Bina Modellerinde Kullanılan Kalıp Planı.**Şekil 2.** Betonarme Bina Modellerinin 3 Boyutlu Görünüşleri. (a) B-Z3 ve Ç-Z3; (b) Ç+E-Z3; (c) B-Z6 ve Ç-Z6; (d) Ç+E-Z6.



**Şekil 3.** Betonarme Bina Modellerinin Taşıyıcı Sistem Kesitleri. (a) B-Z3 ve Ç-Z3; (b) Ç+E-Z3; (c) B-Z6 ve Ç-Z6; (d) Ç+E-Z6.

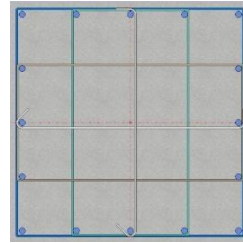
Betonarme bina modelleri her iki doğrultuda (X, Y) süneklik düzeyi yüksek çerçeveler olarak tasarlanmış ve TBDY2019 da yer alan süneklik düzeyi yüksek kolon ve kiriş tasarım kriterleri dikkate alınmıştır. Taşıyıcı sistemde kullanılan kolon ve kirişlere ait kesit ve donatıları plastik mafsallık tanımlamasında kolaylık sağlaması amacıyla tek tip kullanılmış ve özellikleri Şekil 4 de sunulmuştur. Kiriş boyutları  $300 \times 600$  mm olup, üst donatı  $5\phi 12$  ( $565,5 \text{ mm}^2$ ), alt donatı  $2\phi 12 + 1\phi 16$  ( $427,3 \text{ mm}^2$ ) olarak donatıları belirlenmiştir. Kolon boyutları  $700 \times 700$  mm olup, minimum %1 donatı oranı sağlanacak şekilde  $16\phi 20$  ( $5026,5 \text{ mm}^2$ ) donatı yerleştirilmiştir. Tasarım aşamasında betonun kesme dayanımına katkısı ( $V_c = 0$ ) ihmal edilmiştir. Bina modellerinde 150 mm kirişli döşemeler kullanılmış ve döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram olarak davrandığı kabulü yapılmıştır.



Kiriş Boyutu  $300/600$  (mm)

Üst donatı  
 $5\phi 12$  ( $565.50 \text{ mm}^2$ )

Alt donatı  
 $2\phi 12 + 1\phi 16$  ( $427.30 \text{ mm}^2$ )

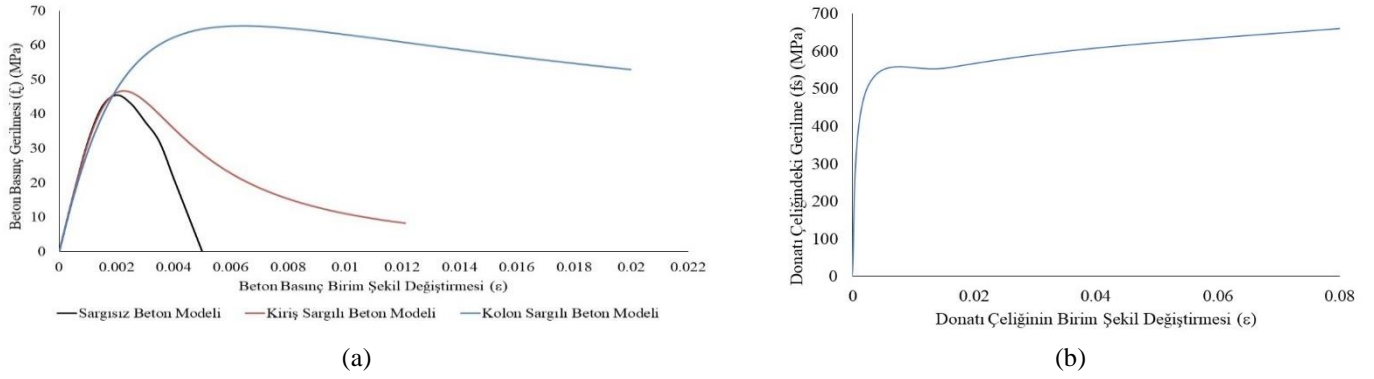


Kolon Boyutu:  $700/700$  (mm)

$16 \phi 20$  ( $5026.5 \text{ mm}^2$ )

**Şekil 4.** Betonarme Bina Modellerinin Taşıyıcı Sistem Elemanlarına ait Kesit Detayları. (a) Kiriş Kesiti; (b) Kolon Kesiti.

Betonarme bina modellerinin şekil değiştirmeye göre değerlendirilme ve tasarımında, beton ve donatı çeliğinin dayanımları sırasıyla 1.3 ve 1.2 oranında artırılarak beklenen (ortalama) dayanımları esas alınmıştır. Analizlerde kullanılan malzeme bilgileri Şekil 5 te sunulmuştur.



Şekil 5. Doğrusal Olmayan Analizlerde Kullanılan Malzeme Bilgileri (a) Sargılı-Sargısız Beton Modelleri, (b) Donatı Çeliği Gerilme Şekil Değişirme Eğrisi.

## 2.2. Dolgu Duvarların Eşdeğer Basınç Çubukları Olarak Modellenmesi

Betonarme binalarda dolgu duvarların modellenmesinde kullanılan eşdeğer basınç çubuklarının genişliğinin hesabında kullanılan parametreler Şekil 6 da verilmiştir. Dolgu duvarlar deprem gibi yatay yükler altında basınç kuvvetine karşı dayanım göstermektedir. Çekme kuvvetleri etkisi altında herhangi bir dayanım gösteremedikleri için çerçeve sistem ile dolgu duvar arasında temas yüzeylerinde azalmalar görülmektedir. Şekil 6 da görüldüğü gibi dolgu duvarda gösterilen  $a$  kalınlığındaki diyagonal hatta yük aktarımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle eşdeğer basınç çubukları diyagonal hat üzerinde modellenebilmektedir. Bu şekilde eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü, dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülü ile aynı değerleri alabilmektedir.

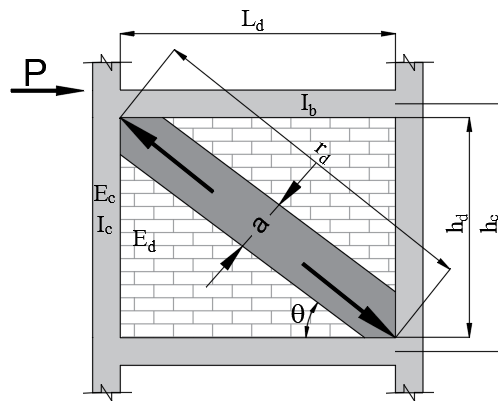
Betonarme binalarda kullanılan dolgu duvarları temsil eden eşdeğer basınç çubuklarının genişliklerinin hesabında, TBDY2019 ve FEMA356 ile verilen Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılmıştır. Eşitliklerde kullanılan parametreler Tablo 3 de verilmiştir. Dolgu duvar malzemesi olarak elastisite modülü ( $E_d$ ) 2000 MPa, basınç dayanımı ( $f_d$ ) 3 MPa olan ve TBDY2019 da belirtilen boşluklu fabrika tuğlası tercih edilmiştir.

$$a = 0,175(\lambda_d h_c)^{-0,4} r_d \quad (1)$$

$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4 E_c I_c h_d} \right]^{-\frac{1}{4}} \quad (2)$$

Tablo 3. Eşdeğer Basınç Çubuğunun Kalınlığı Belirlenirken Kullanılan Değerler.

$E_d$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$h_d$ (m)	$L_d$ (m)	$t_d$ (m)	$r_d$ (m)	$I_c$ (m)	$\sin 2\theta$	$\lambda_d$	$a$ (m)
2000	33000	2.40	4.30	0.13	4.92	0.02	0.85	0.00043	0.777

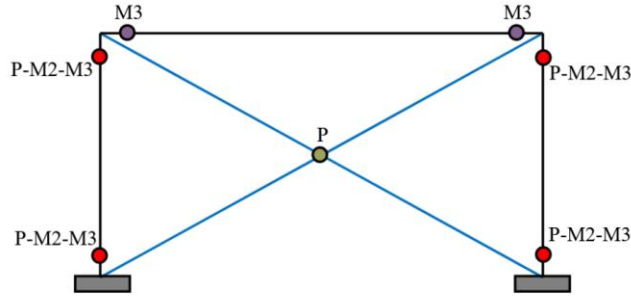


Şekil 6. Eşdeğer Basınç Çubuğuna Ait Bilgiler (a) Duvar Genişliği Hesabında Kullanılan Parametreler (Öztürkoğlu 2016).

## 2.3. Plastik Mafsallar

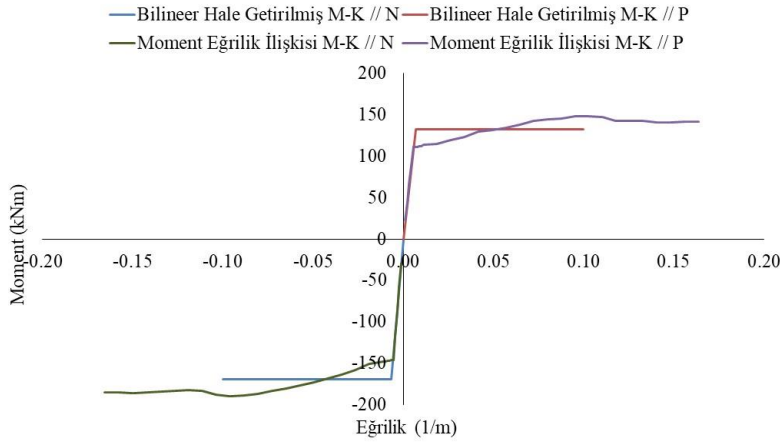
Betonarme bina modellerinde plastik mafsallar TBDY2019 doğrultusunda uygulama kolaylığı olması açısından kolon ve kirişlerin temiz açıklıklarına tanımlanmıştır. Kolonların normal kuvvet ve eğilme momenti etkisi altında olmalarından dolayı PM2M3 mafsalı

ve kirişlerin basit eğilme etkisi altında olmalarından dolayı M3 mafsalı, dolgu duvarların aksel basınç kuvvetine çalışmaları nedeniyle eşdeğer basınç çubuklarının orta noktalarına aksel yük (P) mafsalı tanımlanmış ve Şekil 7 de gösterilmiştir.



Şekil 7. Çerçeve Elemanlarında Tanımlanan Plastik Mafsallar.

Kiriş tip kesiti için XTRACT programı ile elde edilen moment eğrilik grafikleri Şekil 8 de sunulmuştur. Tip kesitin akma momenti ( $M_y$ ), bu akma momentine karşılık gelen akma eğriliği ( $\phi_y$ ), göçmenin önlenmesi performans düzeyi dönme sınır değerinin belirlenmesi için göçme öncesi eğrilik değeri ( $\phi_u$ ) ve plastik dönme performans sınır değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Tip kiriş için beton ve donatı çeliğine ait birim şekil değiştirme sınır değerleri Tablo 5 de verilmiştir. Beton ve donatı çeliğinin göçmenin önlenmesi için verilen birim kısalma değerleri dikkate alınarak  $\phi_u$  değeri belirlenmiş ve  $\phi_u$  değeri belirlenirken göçme öncesi sınır değerine öncelikli olarak ulaşan beton veya donatı çeliğine ait eğrilik değerleri dikkate alınmıştır. Göçme önlenmesi performans düzeyi için plastik performans sınır değerleri hesaplanırken plastik mafsallı boyu ( $L_p$ ) 0.3m, kesme açıklığı ( $L_s$ ) 2.15m ve boyuna donatı çap ortalaması ( $d_b$ ) 12.5 mm olarak alınmıştır.



Şekil 8. Kiriş Tip Kesitine Ait Moment Eğrilik İlişkisi.

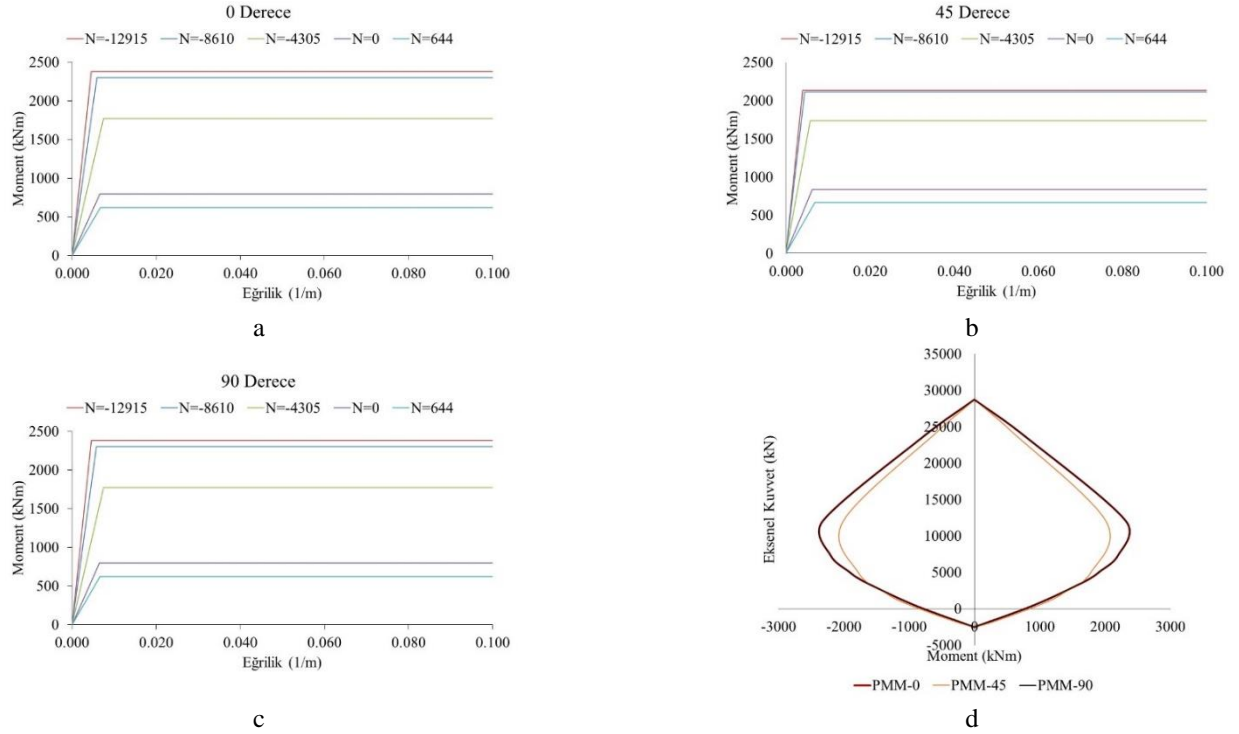
Tablo 4. Tip Kiriş İçin Akma Eğriliği, Akma Momenti, Göçme Öncesi ve Plastik Dönme Sınır Değerleri.

Tip Kiriş 30x60	$\phi_y (m^{-1})$	$M_y (kNm)$	$\phi_u (m^{-1})$	Plastik dönme performans sınır değerleri		
				$\theta_p^{(G\acute{O})} (rad)$	$\theta_p^{(KH)} (rad)$	$\theta_p^{(SH)} (rad)$
Pozitif	0.006965	132	0.06319	0.01283	0.00962	0
Negatif	0.006567	169	0.06338	-0.01295	-0.00971	0

Tablo 5. Tip Kiriş Ve Tip Kolon İçin Birim Şekil Değiştirme Sınır Değerleri.

	Beton birim şekil değiştirme sınır değerleri			Donatı çeliği birim şekil değiştirme sınır değerleri		
	$\epsilon_c^{(G\acute{O})}$	$\epsilon_c^{(KH)}$	$\epsilon_c^{(SH)}$	$\epsilon_s^{(G\acute{O})}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(SH)}$
Kiriş	0.005386	0.004039	0.0025	0.032	0.024	0.0075
Kolon	0.014366	0.010775	0.0025	0.032	0.024	0.0075

Kolon tip kesiti için XTRACT programı ile elde edilen moment eğrilik grafikleri ve PMM ilişkisi Şekil 9 de sunulmuştur. Kolonun taşıyabileceği maksimum yük değeri 28700 kN olarak PMM diyagramından alınmış ve bu yükün %45, %30, %15, %0 ve %(-25) oranlarında,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  etkileşim yüzeyleri için moment eğrilik değerleri belirlenmiştir. Tip kesitin akma momenti ( $M_y$ ), bu akma momentine karşılık gelen akma eğriliği ( $\phi_y$ ), göçmenin önlenmesi performans düzeyi dönme sınır değerinin belirlenmesi için göçme öncesi eğrilik değeri ( $\phi_u$ ) ve plastik dönme performans sınır değerleri Tablo 6'te sunulmuştur. Tip kolon için beton ve donatı çeliğine ait birim şekil değiştirme sınır değerleri Tablo 5 de verilmiştir. Plastik mafsal boyu ( $L_p$ ) 0.35 m,  $h_z = 3$  m olan modellerde kesme açıklığı ( $L_s$ ) 1.2 m,  $h_z = 6$  m olan modellerde kesme açıklığı ( $L_s$ ) 2.7 m ve boyuna donatı çap ortalaması ( $d_b$ ) 20 mm olarak hesaba dahil edilmiştir. Kolonların maruz kaldıkları aksenal kuvvet değerleri dikkate alınarak etkin kesit rijitlik çarpanları hesaplanmış ve tasarımları gerçekleştirilmiştir.



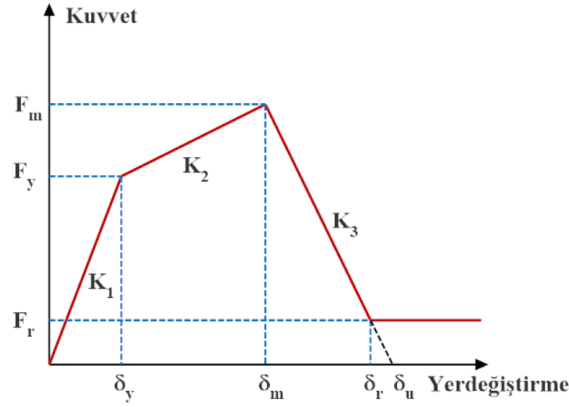
Şekil 9. Kolon Tip Kesitinin Moment Eğrilik Grafikleri Ve PMM İlişkisi (a)  $0^\circ$  Etkileşim Yüzeyi , (b)  $45^\circ$  Etkileşim Yüzeyi , (c)  $90^\circ$  Etkileşim Yüzeyi , (d) PMM İlişkisi

Tablo 6. Kolon Tip Kesiti Akma Eğriliği, Akma Momenti, Göçme Öncesi ve Plastik Dönme Sınır Değerleri.

Açı (derece)	Eksenal Yük (kN)	$\phi_y (m^{-1})$	$M_y (kNm)$	$\phi_u (m^{-1})$	Plastik dönme performans sınır değerleri		
					$\theta_p^{(G\ddot{O})} (rad)$	$\theta_p^{(KH)} (rad)$	$\theta_p^{(SH)} (rad)$
0	-12915	0.004596	2377	0.04229	0.01019	0.00764	0
	-8610	0.005886	2300	0.06020	0.01464	0.01098	0
	-4305	0.007472	1769	0.07193	0.01741	0.01305	0
	0	0.006554	795.8	0.05700	0.01367	0.01025	0
	644	0.006709	621.2	0.05526	0.01317	0.00988	0
45	-12915	0.003947	2136	0.03179	0.00756	0.00567	0
	-8610	0.004472	2111	0.03888	0.00932	0.00699	0
	-4305	0.005784	1738	0.05239	0.01261	0.00946	0
	0	0.006206	836.8	0.04816	0.01141	0.00856	0
	644	0.006840	663.7	0.04637	0.01081	0.00811	0
90	-12915	0.004596	2377	0.04229	0.01019	0.00764	0
	-8610	0.005886	2300	0.06020	0.01464	0.01098	0
	-4305	0.007472	1769	0.07193	0.01741	0.01305	0
	0	0.006554	795.8	0.05700	0.01367	0.01025	0
	644	0.006709	621.2	0.05526	0.01317	0.00988	0



Eşdeğer basınç çubuklarında tanımlanan plastik mafsallarda Panagiotakos ve Fardis (1996) tarafından önerilen Şekil 10 da verilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi modeli kullanılmıştır. Önerilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi 4 aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşama dolgu duvarın başlangıç kayma dayanımını, ikinci aşama dolgu duvarın çerçeveden ayrıldıktan sonraki davranışı, üçüncü aşama dolgu duvarın maksimum kuvvete ulaştığında oluşan deplasmandan sonraki hasarlı davranışı ve son aşama ise dolgu duvarın kalan sabit dayanımını ifade etmektedir. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine ait parametreler Tablo 7 de sunulmuştur. Depremin çevrimsel bir yükleme olması nedeniyle eşdeğer basınç çubukları her iki yönde sadece basınca çalışacak şekilde modellenmiştir.



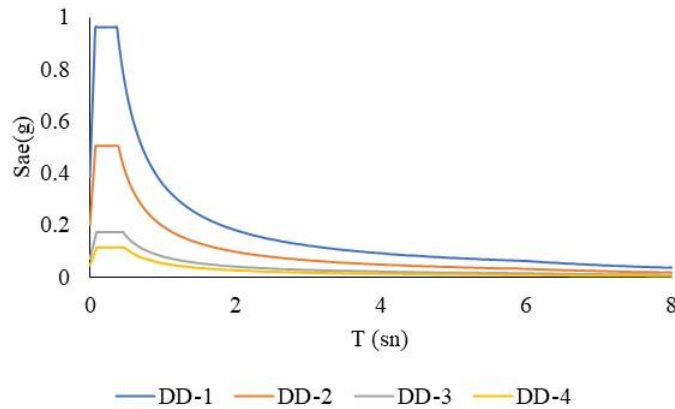
Şekil 10. Eşdeğer Basınç Çubuğuna Ait Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi.

Tablo 7. Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi Parametreleri.

Kuvvet			Yerdeğiştirme			Rijitlik		
F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>m</sub> (kN)	F <sub>r</sub> (kN)	δ <sub>y</sub> (mm)	δ <sub>m</sub> (mm)	δ <sub>r</sub> (mm)	K <sub>1</sub> (kN/m)	K <sub>2</sub> (kN/m)	K <sub>3</sub> (kN/m)
111.8	145.34	0	0.6	1.42	157	186333.33	41007.698	931.667

#### 2.4. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Dönüştürülmesi

Betonarme bina modellerinin 41.977708° enlem ve 33.757782° boylamda Kastamonu İli, İnebolu İlçesinde yer aldığı kabulü yapılarak Türkiye deprem tehlike haritalarından bu koordinatlara ait tasarım parametreleri dikkate alınmıştır (AFAD 2020). Deprem yer hareketi düzeylerine için bu konuma ait spektral ivme değerleri Şekil 11 verilmiş olup deprem parametreleri Tablo 8 de sunulmuştur.



Şekil 11. Deprem Yer Hareketi Düzeylerine Ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumları.

**Tablo 8.** Betonarme Bina Modellerinin Bulunduğu Konuma Ait Deprem Parametreleri. (AFAD 2020)

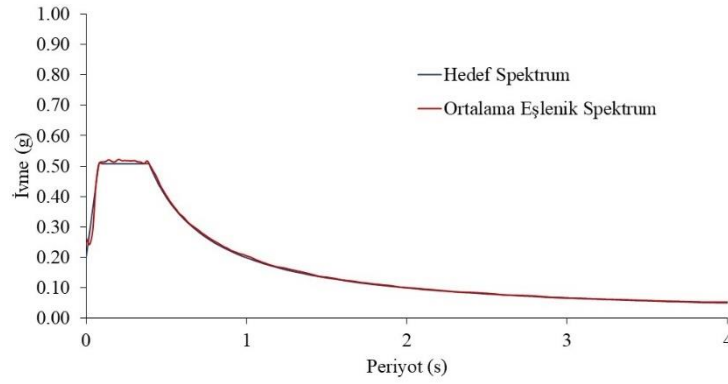
DTS	Seçilen İl	Enlem Boylam	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	S <sub>s</sub>	F <sub>s</sub>	S <sub>DS</sub>	PGA	T <sub>A</sub>
				S <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	S <sub>D1</sub>	PGV	T <sub>B</sub>
DTS2	Kastamonu	41.977708° 33.757782°	DD-1	0.803	1.2	0.964	0.336	0.074
				0.239	1.5	0.359	20.165	0.372
			DD-2	0.390	1.3	0.507	0.167	0.078
				0.132	1.5	0.198	11.020	0.391
			DD-3	0.132	1.3	0.172	0.059	0.030
				0.052	1.5	0.078	4.366	0.152
			DD-4	0.088	1.3	0.114	0.040	0.094
				0.036	1.5	0.054	3.021	0.472

Binanın yapılması planlanan Kastamonu ili İnebolu ilçesi yakınında sismik olarak dünyadaki en aktif doğrultu atımlı fay sistemlerinden biri olan Kuzey Anadolu fay hattı mevcuttur. Deprem kayıtları doğrultu atımlı faylanma mekanizmasına sahip olacak şekilde seçilmiştir. Yakın fay etkisini önlemek adına fay kırılma uzaklığı 20-50 km arasında olan deprem kayıtları kullanılmıştır. Ayrıca tercih edilen yerel zemin sınıfı ZC olduğu için zemin kayma dalga hızı  $(V_s)_{30} = 360 - 760$  m/s olarak alınmıştır. Belirtilen özelliklere sahip 11 adet deprem kaydı takımı PEER veri tabanından elde edilmiş ve özellikleri Tablo 9 da sunulmuştur.

**Tablo 9.** Tasarım Spektrumuna Uyuşum Sağlanarak Dönüştürülecek Deprem Kayıtları.

Peer Numarası	Yer	Yıl	Fay Tipi	Büyüklik	Rrup (km)	Vs30 (m/s)	D5-95 (s)	Kullanılan Deprem Kaydı
190	Imperial Valley-06	1979	Doğrultu Atımlı	6.53	24.61	362.38	11.60	√
472	Morgan Hill	1984	Doğrultu Atımlı	6.19	31.88	543.63	21.80	√
1166	Kocaeli, Turkey	1999	Doğrultu Atımlı	7.51	30.73	476.62	19.50	---
1619	Duzce, Turkey	1999	Doğrultu Atımlı	7.14	34.30	535.24	16.40	√
4150	Parkfield-02, CA	2004	Doğrultu Atımlı	6.00	22.02	412.79	15.40	√
6057	Big Bear-01	1992	Doğrultu Atımlı	6.46	26.47	362.39	13.80	---
6059	Big Bear-01	1992	Doğrultu Atımlı	6.46	29.06	396.41	12.10	---
6060	Big Bear-01	1992	Doğrultu Atımlı	6.46	41.89	367.84	12.90	---
6875	Joshua Tree, CA	1992	Doğrultu Atımlı	6.10	22.30	396.41	16.10	---
6876	Joshua Tree, CA	1992	Doğrultu Atımlı	6.10	29.40	425.02	7.80	---
6878	Joshua Tree, CA	1992	Doğrultu Atımlı	6.10	21.97	367.84	10.70	√

TBDY2019 da deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ve spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme olmak üzere iki şekilde kullanılacağı belirtilmektedir. Deprem kayıtları SeismoMatch programı kullanılarak DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ile spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmüştür. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamalarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması Şekil 12 ile verilmiş ve bu deprem kaydı takımlarından 5 adeti doğrusal olmayan analizlerde kullanılmıştır. Burada betonarme binalardaki dolgu duvarların etkileri araştırıldığından tüm deprem kaydı takımlarının kullanılmasına gerek görülmemiştir. Betonarme binalarda deprem hesabı, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz olarak gerçekleştirildiği için Rayleigh orantılı sönüm matrisinin oluşturulması için dikkate alınan modlarda sönüm oranı %5 olarak alınmıştır.



Şekil 12. Dönüştürülen Deprem Yer Hareketlerinin Spektrumlarının Ortalamalarının Tasarım Spektrumu İle Karşılaştırılması.

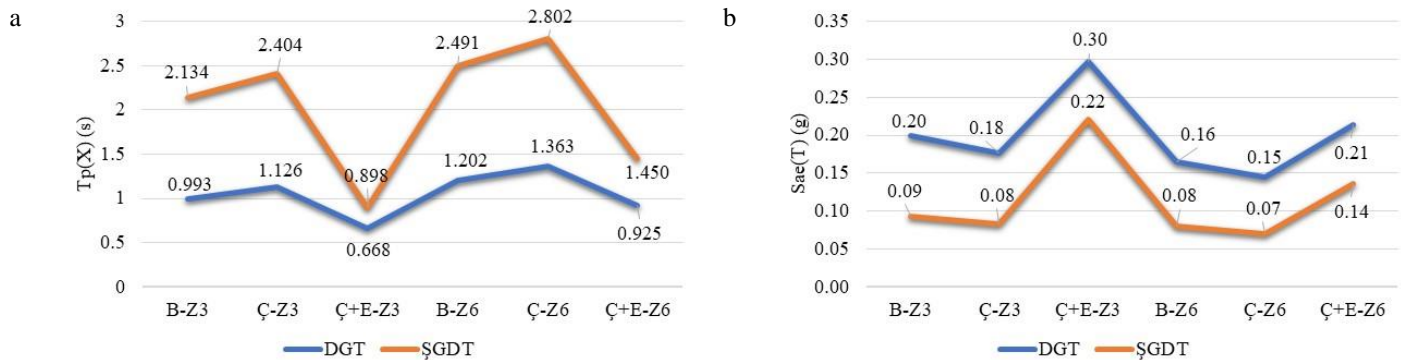
### 3. Değerlendirme

Bu çalışmada simetrik kat planına sahip, iki farklı zemin kat yüksekliğine sahip çerçeve tipi betonarme bina modelleri tasarlanmıştır. Dolgu duvarların dikkate alındığı modellerde zemin kat haricindeki tüm katlarda dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubukları kullanılarak modellenmiştir. Dolgu duvarsız, çizgisel yüklü ve çizgisel yük + eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak üç farklı tipte oluşturulan toplamda 6 adet betonarme bina modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek dolgu duvar etkileri belirlenmiştir (ETABS 19). Tüm tasarım ve analiz aşamalarında TBDY2019 kriterleri dikkate alınmıştır.

Betonarme bina modellerinde dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGDT) dikkate alınarak gerçekleştirilen modal analizler sonucunda elde edilen periyot değerleri ve spektral ivme değerleri ilk iki mod için Şekil 13a da sunulmuştur. Bilindiği gibi her iki tasarım yönteminde dikkate alınan etkin kesit rijitlikleri ve tasarım ilkeleri farklılık göstermektedir. Burada bahse konu olan bu farklılıkların, modal analizler ile ortaya konulmasıdır.

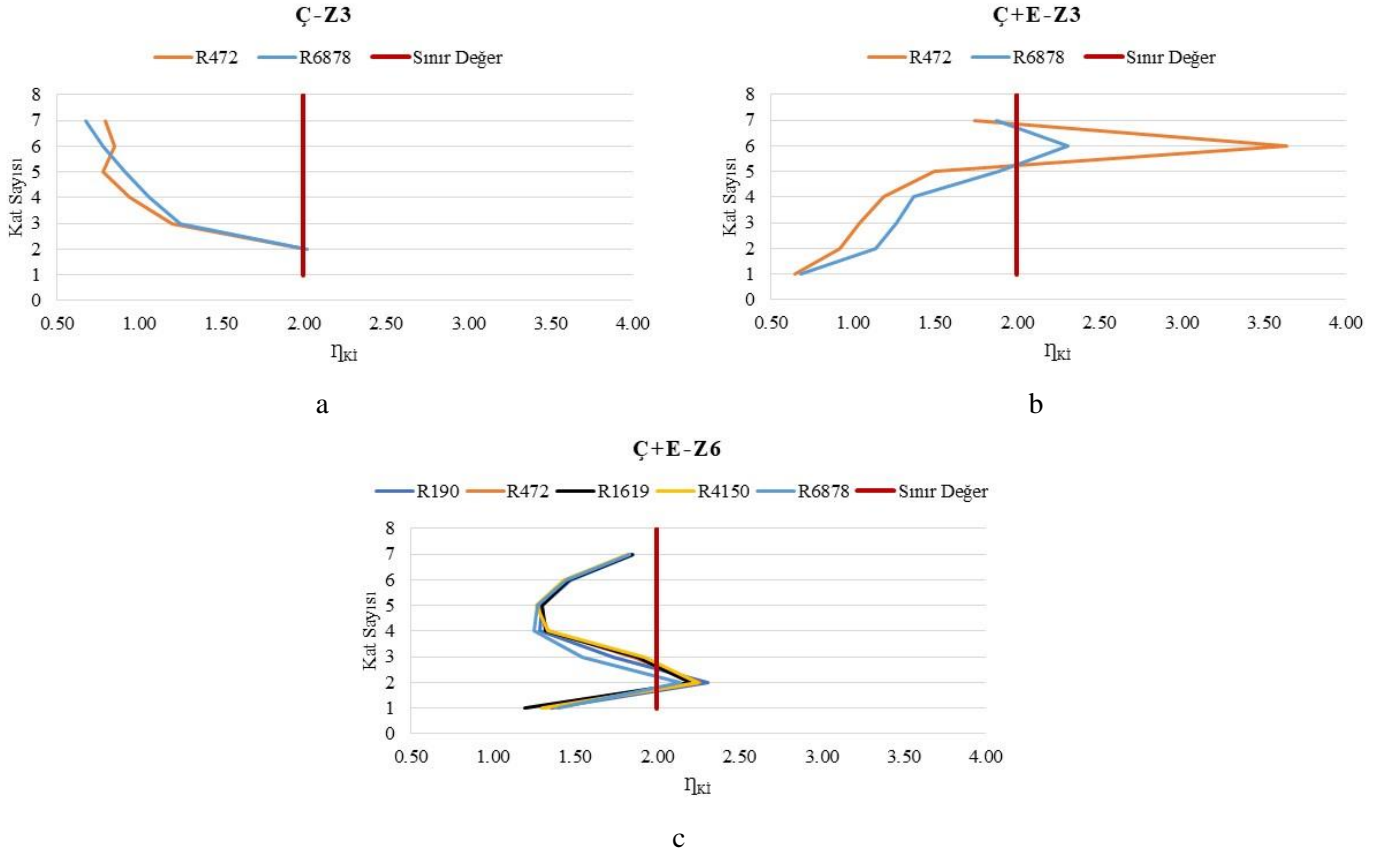
Şekil 13a incelendiğinde ŞGDT ile elde edilen periyot değerlerinin DGT'ye göre artış gösterdiği ve meydana gelen artış oranlarının B-Z3 ve Ç-Z3 modellerinde %110, Ç+E-Z3 modelinde %30, B-Z6 ve Ç-Z6 modellerinde %110, Ç+E-Z6 modelinde %60 bandında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu veriler ışığında farklı zemin kat yüksekliğine sahip modellerde, boş çerçeveler ile çizgisel yüklü çerçevelerin benzer periyot artış oranlarına sahip olduğu ancak bu sistemlerde dolgu duvarların modellenmesi ile artış oranlarında ciddi düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca zemin kat yüksekliğinin iki kat artması ile periyot değerlerinin artış oranlarında da iki kat bir artış tespit edilmiştir. Ayrıca Ç-Z3 modelinin B-Z3, Ç-Z6 modelinin B-Z6 ile kıyaslanması durumunda DGT ve ŞGDT'ye göre periyot değerlerinde meydana gelen artış oranları %15 bandında gerçekleşmiştir. DGT ve ŞGDT'ye göre sırasıyla, Ç+E-Z3 modelinde Ç-Z3 modeline kıyasla %40 ve %60 bandında, Ç+E-Z6 modelinde Ç-Z6 modeline kıyasla %30 ve %50 bandında periyot değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde eşdeğer basınç çubukları kullanılarak modellenen dolgu duvarların yapının periyodunda ciddi azalmalara neden olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 13b incelendiğinde ŞGDT ile elde edilen spektral ivme değerlerinin DGT'ye göre azalış gösterdiği ve meydana gelen azalma oranlarının B-Z3 ve Ç-Z3 modellerinde %50, Ç+E-Z3 modelinde %30, B-Z6 ve Ç-Z6 modellerinde %50, Ç+E-Z6 modelinde %40 bandında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu veriler ışığında farklı zemin kat yüksekliğine sahip modellerde, boş çerçeveler ile çizgisel yüklü çerçevelerin spektral ivme değerlerinde benzer azalma oranlarına sahip olduğu ancak bu sistemlerde dolgu duvarların modellenmesi ile azalma oranlarında artış olduğu gözlemlenmiştir.



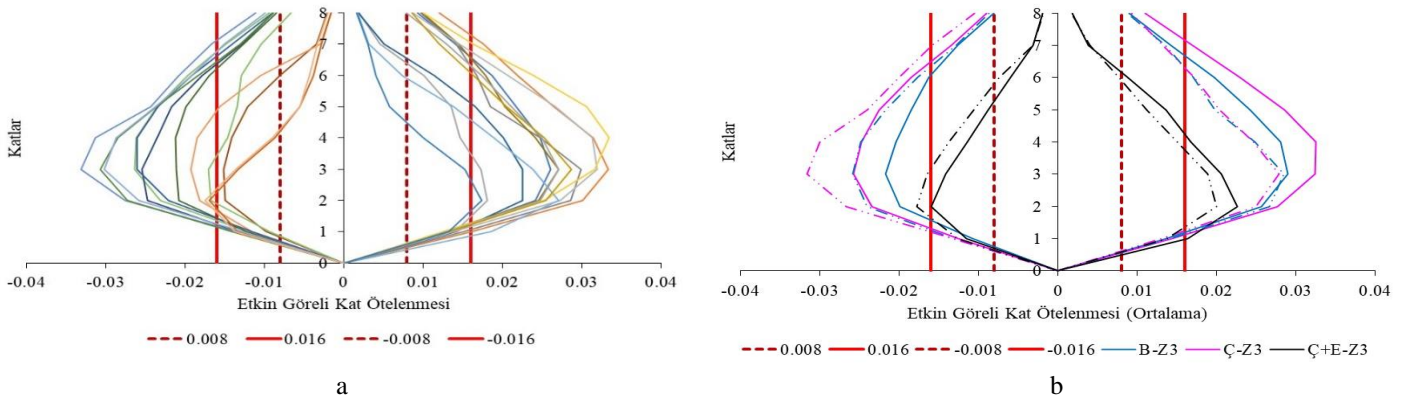
Şekil 13. DGT Ve ŞGDT'ye Göre Modal Analiz Sonuçları (a) Periyotlar; (b) Spektral İvme Değerleri.

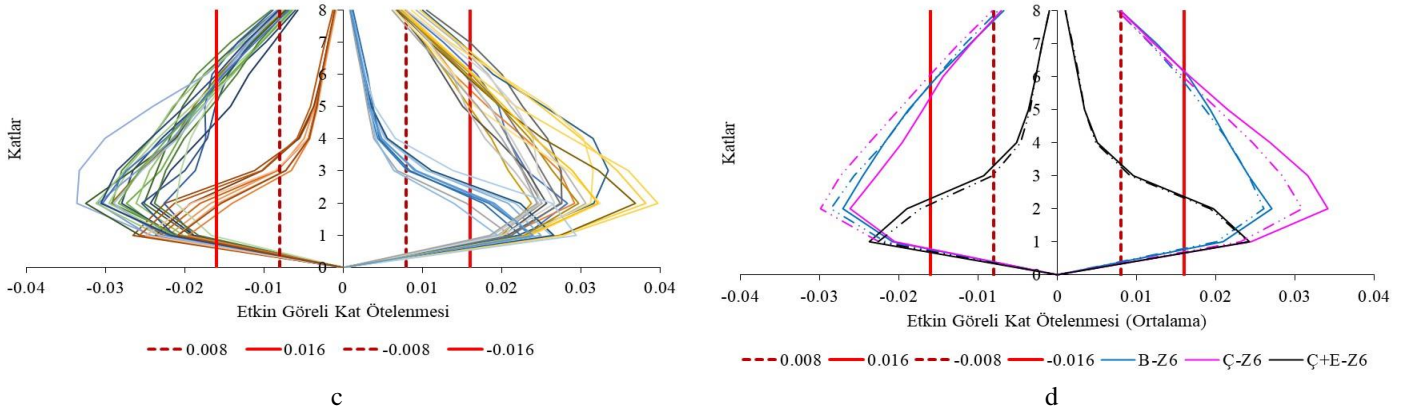
Zemin kat yüksekliğinin değişmesi ile oluşması muhtemel yumuşak kat düzensizliğine dolgu duvar etkilerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen veriler Şekil 14 de sunulmuştur. Zemin kat yüksekliği 3m olan yapıların dolgu duvarsız modellerde yumuşak kat düzensizliği meydana gelmezken, çizgisel yüklü ve dolgu duvarlı bina modellerinde tüm deprem kayıtlarında yumuşak kat düzensizliği meydana gelmiştir. Zemin kat yüksekliği 6m olan yapıların dolgu duvarsız ve çizgisel yüklü modellerde yumuşak kat düzensizliği meydana gelmezken, dolgu duvarlı bina modellerinde tüm deprem kayıtlarında yumuşak kat düzensizliği meydana gelmiştir. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak modellenmesi halinde ortaya çıkan bu durum betonarme binalarda dolgu duvarların dikkate alınmasının önemini göstermektedir. Genel olarak betonarme binalarda dolgu duvarların sadece çizgisel yük olarak hesaplara dahil edilmesinin davranış açısından yanıltıcı olabileceği görülmektedir.



Şekil 14. Yumuşak Kat Düzensizliği Meydana Gelen Modellere Ait  $\eta_{ki}$  Değerleri. (a) Ç-Z3; (b) Ç+E-Z3; (c) Ç+E-Z6.

Betonarme bina modellerinden elde edilen etkin görelî kat ötelenme değerleri ve ortalamaları Şekil 15 de sunulmuştur. B-Z6 ve Ç-Z6 bina modellerinde gözlemlenen etkin görelî kat ötelenmelerinin benzer değerler aldığı, Ç+E-Z6 bina modellerinde ise bu değerlerde genel olarak azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak tüm bina modellerinin TBDY2019 ile sunulan sınır değerleri aştığı görülmektedir. Etkin görelî kat ötelenme sınır değerlerinin betonarme bina modellerinin doğrusal analizlerinde sağlanmasına karşın doğrusal olmayan analizlerde sağlanmadığı net olarak belirlenmiştir. Dolgu duvarlı modellerde oluşan etkin görelî kat ötelenme değerleri diğer modellere kıyasla azalmaktadır.

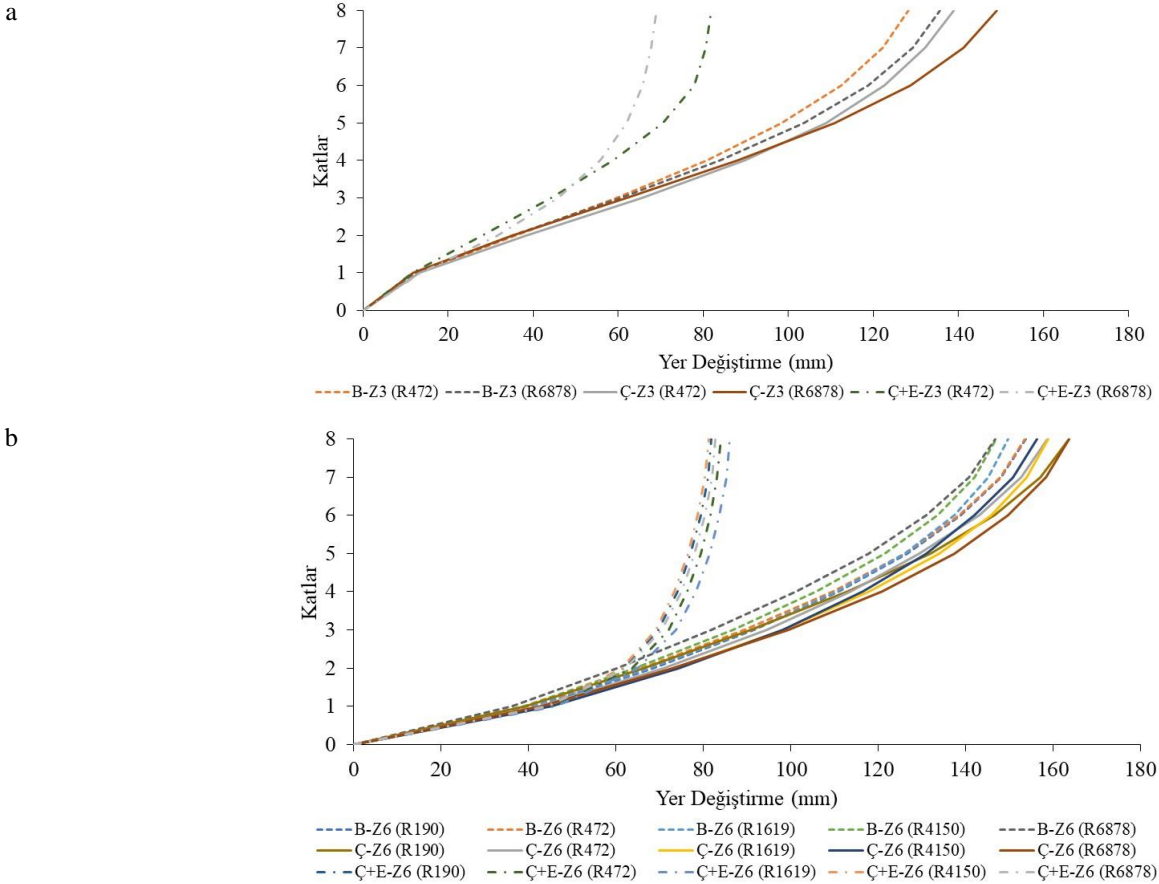




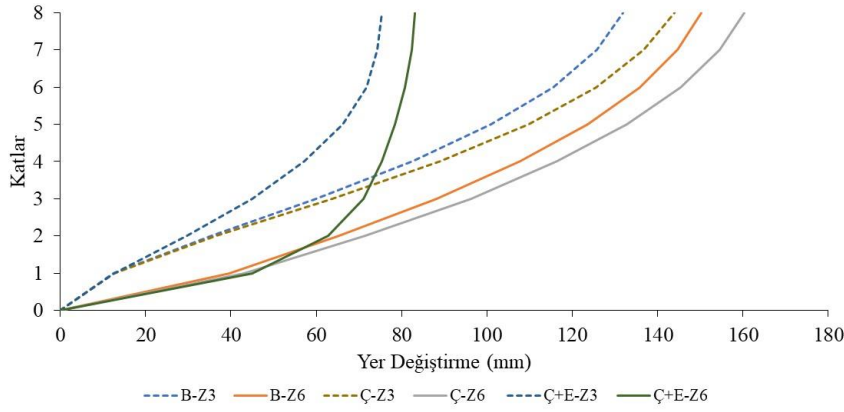
Şekil 15. Etkin Görelî Kat Ötelenme Değerleri (a)  $h_z = 3m$ ; (b)  $h_z = 3m$  (ortalama); (c)  $h_z = 6m$ ; (d)  $h_z = 6m$  (ortalama).

Betonarme bina modellerinden elde edilen kat yer değiştirme değerleri Şekil 16 da sunulmuştur. Katlarda meydana gelen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde; B-Z6 modelinde elde edilen değerler B-Z3 kıyaslandığında zemin katta %220, 2. katta %80 artış, Ç-Z6 modelinde elde edilen değerler Ç-Z3 kıyaslandığında zemin katta %240, 2. katta %100 artış, Ç+E-Z6 modelinde elde edilen değerler Ç+E-Z3 kıyaslandığında zemin katta %260, 2. katta %110 artış meydana gelirken diğer katlarda bu artış oranları giderek azalarak 8. Katta %10 mertebesine kadar gerilemiştir. Zemin kattaki en yüksek artış oranının dolgu duvarlı modellerde ortaya çıktığı ve bu durumun zemin katta dolgu duvar eksikliğinden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Zemin kat yükseklikleri aynı olan tüm dolgu duvarsız, çizgisel yüklü ve dolgu duvarlı bina modellerinde, zemin kat yer değiştirmeleri benzer değerleri alırken üst katlara çıkıldıkça dolgu duvarlı modellerde meydana gelen kat yer değiştirmeleri diğer modellere kıyasla yaklaşık %35 oranında bir azalış göstermiştir. Buradan dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modele dahil edilmesi ile yapı davranışındaki olumlu etkisi görülmektedir.

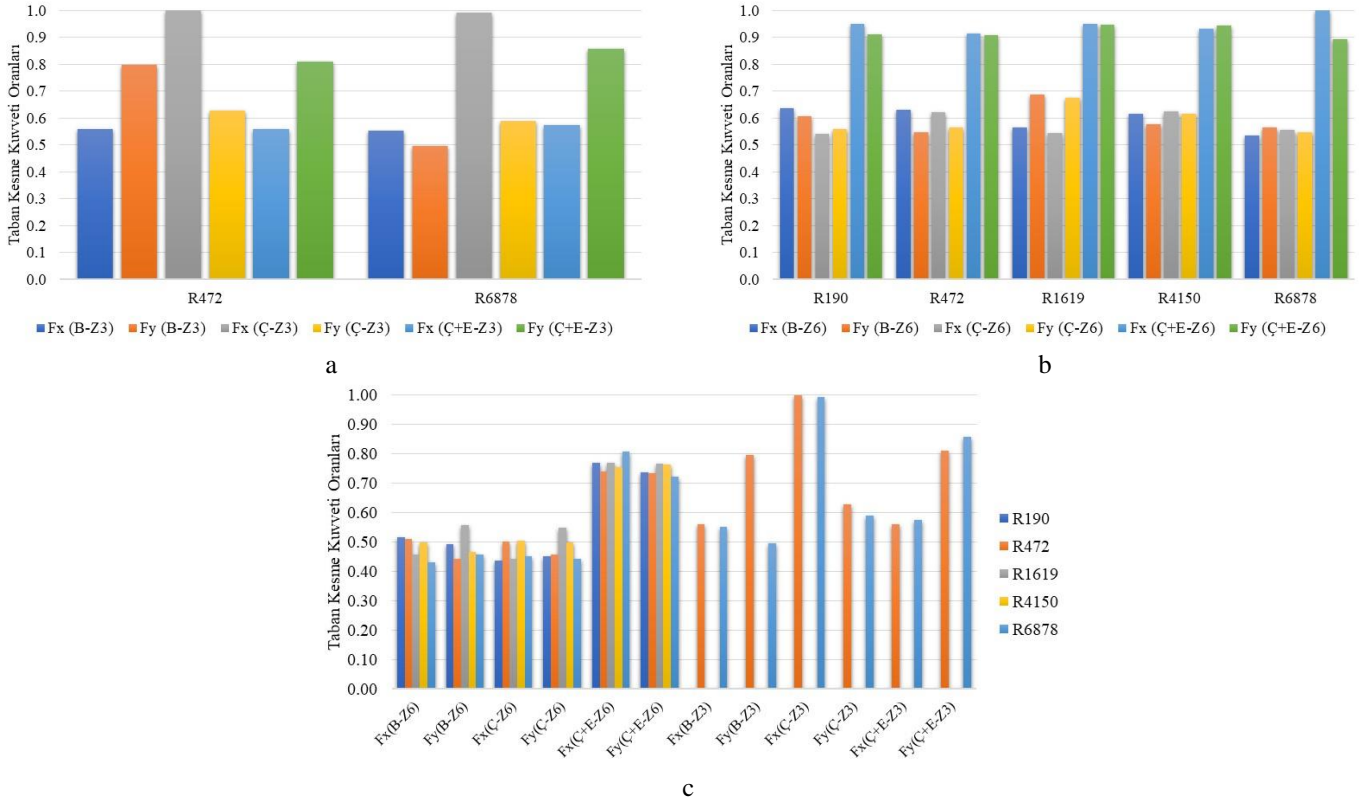


c



Şekil 16. Betonarme Bina Modellerine Ait Maksimum Kat Yerdeğiştirme Değerleri. (a)  $h_z = 3m$ ; (b)  $h_z = 6m$ ; (c) ortalama.

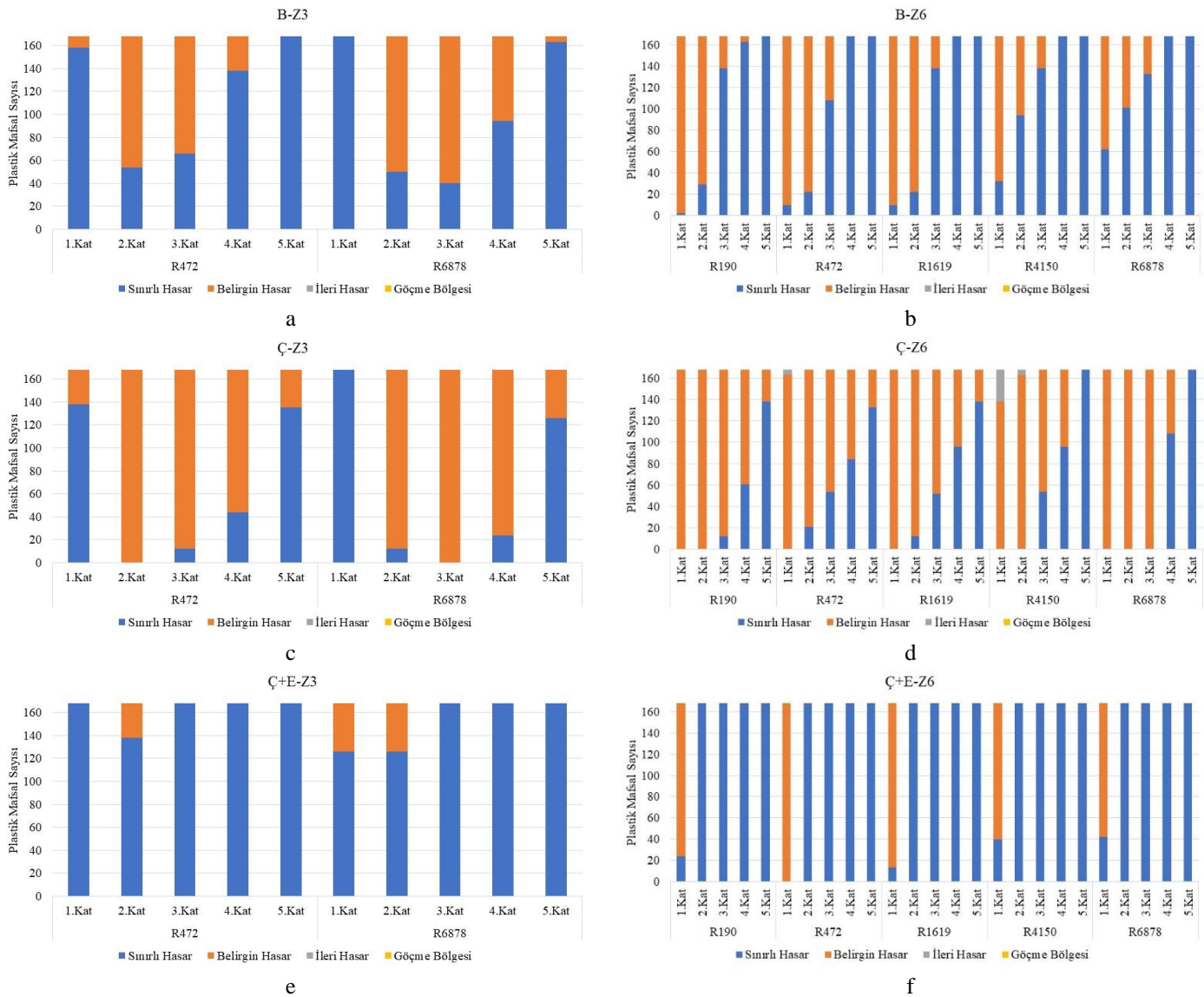
Betonarme bina modellerinden elde edilen taban kesme kuvveti oranları Şekil 17 de sunulmuştur. Zemin kat yüksekliği 3 m olan bina modellerinde en yüksek taban kesme kuvveti oranları çizgisel yüklü sistemlerde meydana gelirken sonrasında dolgu duvarlı sistemler takip etmiştir. Zemin kat yüksekliği 6 m olan bina modellerinde dolgu duvarlı sistemlerde taban kesme kuvveti oranları ortalama %30 oranında artış göstermiştir. Tüm betonarme bina modellerinde meydana gelen taban kesme kuvveti değerleri kendi içlerinde oranlanmış ve Şekil 17c de sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi en yüksek taban kesme kuvveti değerleri zemin kat yüksekliği 3 m olan çizgisel yüklü sistemlerde belirlenmiştir. Bu değeri zemin kat yüksekliği 3 m olan dolgu duvarlı sistemler ve zemin kat yüksekliği 6 m olan dolgu duvarlı sistemler takip etmiştir. Betonarme binalarda dolgu duvarların varlığı yapının rijitliğini bir miktar artırırken yapının ağırlığını da arttırmaktadır. Bu nedenle yapıya etki edecek yatay deprem yüklerinin de artmasına neden olmaktadır. Çizgisel yüklü sistemlerde ise herhangi bir rijitlik artışı olmadan yatay deprem yüklerinin artması söz konusu olmaktadır.



Şekil 17. Betonarme Bina Modellerine Ait Taban Kesme Kuvveti Oranları. (a)  $h_z = 3m$ ; (b)  $h_z = 6m$ ; (c) karşılaştırma.

Betonarme bina modellerinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizleri sonucunda sistemde tanımlı plastik mafsalların durumu ve sayıları Şekil 18 de verilmiştir. Betonarme bina modellerinde kolonlarda plastik mafsala meydana gelmemiş dolayısıyla sadece kirişlerde meydana gelen plastik mafsalların sayıları üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Dolgu duvarların sadece çizgisel yük olarak sisteme dahil edilmesi durumunda belirgin hasar durumundaki plastik mafsalların sayısında artış olduğu

gözlemlenmiştir. Bu artışın genel olarak ilk 5 katta meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak dolgu duvarların sisteme eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak dahil edilmesi durumunda boş çerçevede meydana gelen belirgin hasar durumundaki plastik mafsallarda ciddi azalmaların meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 18. Betonarme Bina Modellerinde Plastik Mafsalları. (a) B-Z3; (b) B-Z6; (c) Ç-Z3; (d) Ç-Z6; (e) Ç+E-Z3; (f) Ç+E-Z6.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada 3m ve 6m olmak üzere iki farklı zemin kat yüksekliği ile simetrik kat planına sahip betonarme bina modellerinde TBDY2019 da belirtilen kriterler dikkate alınarak tasarım yapılmıştır. Dolgu duvarların dikkate alındığı modellerde zemin kat haricindeki tüm katlarda dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubukları kullanılarak modellenmiştir. Dolgu duvarsız, çizgisel yüklü ve çizgisel yük + eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak üç farklı tipte oluşturulan toplamda 6 adet betonarme bina modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek dolgu duvar etkileri belirlenmiştir. PEER veri tabanından elde edilen 11 adet deprem kaydı takımı tasarım spektrumuna uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmüş ve zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerin çok uzun sürmesi nedeniyle zemin kat yüksekliği 3m ve 6m olan modellerde sırasıyla 2 ve 5 farklı dönüştürülmüş deprem kaydı takımı kullanılmıştır. Buradaki amaç dolgu duvar etkilerinin incelenmesi olduğu için tüm deprem kaydı takımları dikkate alınmamıştır. Analizlerden elde edilen veriler değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- Betonarme bina modellerinin modal analizleri sonucunda, ŞGDT ile elde edilen periyot değerlerinin DGT sonucunda elde edilenlere kıyasla genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Dolgu duvarların çizgisel yük olarak etki ettirildiği sistemlerin periyotları boş çerçeveli sistemin periyot değerlerinden yüksek çıkmaktadır. Buradan da görüldüğü gibi dolgu duvarların ağırlığının sadece yük olarak sisteme etki ettirilmesi nedeniyle sistemde meydana gelen kütle artışı periyodun artmasına neden olmaktadır.

Ancak dolgu duvarlar sisteme yük olarak etki ettirilirken ayrıca eşdeğer basınç çubuklarının kullanılması durumunda sistemde meydana gelen rijitlik artışı ile periyot değerlerinde azalma görülmektedir. Eşdeğer basınç çubuklu sistemdeki periyot değerleri boş çerçeveli sistem ve çizgisel yüklü sistem değerlerinden daha düşük çıkmaktadır.

- Spektral ivme değerleri, boş çerçeveli sistemlerle kıyaslandığında çizgisel yüklü sistemlerde azalma eğilimindeyken eşdeğer basınç çubuklu sistemlerde artış eğilimi göstermektedir. Genel olarak dolgu duvarların çizgisel yük olarak ele alınması ile sistemlerin maruz kalacağı spektral ivme değerleri gerçeği yansıtmamaktadır. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi ile daha gerçekçi sonuçların elde edildiği açıktır. Ayrıca zemin kat yüksekliğinin artması durumunda spektral ivme değerlerinde düşme gözlemlenmiştir.
- Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi durumunda sistemde yumuşak kat etkileri görülebilmektedir. Dolayısıyla sistemin dolgu duvarsız veya sadece çizgisel yüklü olarak modellenmesi davranış açısından yanıltıcı sonuçlara varmamıza neden olmaktadır.
- Dolgu duvarların çizgisel yük olarak etki ettirilmesi durumunda etkin görel kat ötelenme değerlerinde önemli değişimler oluşmazken, eşdeğer basınç çubuklu sistemlerde bu değerlerde ciddi azalmalar belirlenmiştir. Dolayısıyla eşdeğer basınç çubuklarının etkin görel kat ötelenmelerinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir.
- Betonarme bina modellerinde katlarda meydana gelen yerdeğiştirmeler değerlendirildiğinde tüm modellerde 1. ve 2. katlarda benzer değerlerin meydana geldiği ancak tepe noktasına doğru bu benzerliğin ortadan kalktığı belirlenmiştir. En yüksek tepe noktası yerdeğiştirmesi çizgisel yüklü sistemlerde meydana gelirken en düşük değer eşdeğer basınç çubuklu sistemlerde gözlemlenmiştir. Boş çerçeveli sistemlerde tepe noktası yer değiştirmeleri çizgisel yüklü sistemlerde meydana gelen tepe noktası yer değiştirme değerlerine yaklaşık çıkmaktadır.
- Dolgu duvarların çizgisel yük olarak etki ettirilmesi durumunda belirgin hasar durumundaki plastik mafsallarda artış olurken eşdeğer basınç çubuklu sistemlerde boş çerçevede elde edilen değerden de düşük olmaktadır. Zemin kat yüksekliği 6m olan çizgisel yüklü sistemlerde 1. katlarda ileri hasar durumunda plastik mafsallarda gözlemlenmiştir.

Özetle eşdeğer basınç çubuklu sistemlerin boş ve çizgisel yüklü sistemlerle kıyaslanması durumunda periyot değerlerinde azalma, spektral ivme değerlerinde artma, yumuşak kat düzensizliği oluşma durumu, tepe noktası yerdeğiştirmelerinde azalma, taban kesme kuvvetlerinde artma ve etkin görel kat ötelenme değerlerinde azalma belirlenmiştir. Dolayısıyla, betonarme bina modellerinde dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuklu olarak modellenmesinin yapı davranışı açısından daha doğru sonuçlar vereceği kanaatine varılmıştır.

Bu çalışma da dikkate alınan kriterlerin sınırlı olduğu ve dolayısıyla betonarme bina modellerinde genelleme yapabilmek için daha kapsamlı çalışmaların gerçekleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalarda literatürde önerilen eşdeğer basınç çubuğu modelleme tekniklerinin yapı davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

## Referanslar

AFAD. (2020). T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tdth.afad.gov.tr/>.

Akyürek, O., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). Plandaki dolgu duvar yerleşiminin bina performansı üzerindeki etkisi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 10(1), 42-55.

Bayrak, O. F., & Bıkçe, M. (2019). Dolgu duvarların yapısal düzensizliklere ve performansa etkisinin mevcut bir yapı üzerinde incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(3), 465-484. DOI: 10.17482/uumfd.477760.

Çavdar, Ö., Gülfem, K. Ö. S. E., & Sunca, F. (2020). Betonarme binaların deprem performanslarına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(1), 465-484.

Çelebi, O., & Beyen, K. (2018). Betonarme binaların depreme karşı davranışında dolgu duvarların ve sönümleyici sistemlerin etkisi. Afet ve Risk Dergisi, 1(1), 9-25.

DBYBHY2007. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T. C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.depremn.gov.tr>.

Dibekoğlu, Ş. (2022). Deprem etkisindeki betonarme binalarda dolgu duvarların davranışa etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

Doğan, O. & Bakırcı Ş. E. (2011). Hareketli yük ve dolgu duvar dağılımının burulma düzensizliğine etkisi. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 2-5.

Dolšek, M., & Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame—a deterministic assessment. Engineering Structures, 30(7), 1991-2001.



Ersoy, U., Uzsoy, Ş., & Aktan, E. (1971). Dolgulu çerçevelerin davranış ve mukavemeti. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: MAG-205, Ankara.

Ertürkmen, D., & Çağatay, İ. H. (2016). Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 269-278.

ETABS 19. (2019). Integrated Software For Structural Analysis And Design, Computers And Structures Inc., California.

FEMA356. (2000). Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, USA.

Kaplan, S. A. (2008). Dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 6(452), 49-62.

Köse, M. M., & Karslıoğlu, Ö. (2007). Dolgu duvarların bina doğal modal periyot ve mod Şekline olan etkileri. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 261-270.

Morfidis, K., & Kostinakis, K. (2017). The role of masonry infills on the damage response of R/C buildings subjected to seismic sequences. Engineering Structures, 131, 459-476.

Negro, P., & Verzeletti, G. (1996). Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: energy considerations from pseudodynamic tests. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 25(8), 753-773.

Öztürkoğlu, O. (2016). Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Öztürkoğlu, O., Taner, U., & Yeşilce, Y. (2015). Betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(51), 109-121.

Panagiotakos, T. B., & Fardis, M. N. (1996, June). Seismic response of infilled RC frames structures. In 11th World Conference on Earthquake Engineering (Vol. 23, p. 28).

PEER, Ground Motion Database NGA-West2, Pacific Earthquake Engineering Research Center, <https://ngawest2.berkeley.edu/site> , son erişim: Ekim 2021

SeismoMatch. (2021). Earthquake Software for Response Spectrum Matching. Earthquake Engineering Software, Seismosoft, Lombardiya, İtalya, 2021.

Sivri, M., Demir, F., & Kuyucular, A. (2006). Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 109-115.

TBDY2019. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

XTRACT. (2004). Cross-sectional analysis of structural components. Imbsen and Associates Inc., Sacramento.