

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME ÇERÇEVEDE BOŞLUKLU DOLGU DUVARLARIN  
MODELLENMESİ**

**MURAT ŞAN**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Hamide TEKELİ**

**II. Danışman  
Prof. Dr. Fuat DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2016**



© 2016 [Murat ŞAN]

## TEZ ONAYI

**Murat ŞAN** tarafından hazırlanan " **Betonarme Çerçeve Boşluklu Dolgu Duvarların Modellenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman** **Yrd. Doç. Dr. Hamide TEKELİ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**II. Danışman** **Prof. Dr. Fuat DEMİR**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Özgür ANIL**  
Gazi Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Adı SOYADI**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Enstitü Müdürü** **Doç.Dr.Yasin TUNCER**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Murat ŞAN**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                                                         | i     |
| ÖZET .....                                                                               | iii   |
| ABSTRACT .....                                                                           | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                            | vii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                    | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                  | x     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                     | xii   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                            | 1     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                                                 | 3     |
| 3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ .....                                          | 11    |
| 4. KULLANILAN PROGRAMLARIN TANITIMI .....                                                | 15    |
| 4.1. SAP 2000 analiz programı.....                                                       | 15    |
| 4.2. Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme Programı (BESAM) .....                     | 15    |
| 4.3. Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Programı (DELOP) .....                       | 18    |
| 5. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ .....                                                   | 19    |
| 5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi .....                                                       | 19    |
| 5.2. Diyagonal Eşdeğer Basınç Çubuğu Yöntemi .....                                       | 20    |
| 5.2.1. Boşluksuz dolgu duvarların modellenmesi .....                                     | 21    |
| 5.2.2. Boşluklu dolgu duvarların modellenmesi .....                                      | 22    |
| 5.2.2.1. Asteris (2003) tarafından önerilen yöntem.....                                  | 22    |
| 5.2.2.2. Giannakas vd. (1987) tarafından önerilen yöntem.....                            | 23    |
| 5.2.2.3. Al-chaar (2002) tarafından önerilen yöntem.....                                 | 23    |
| 5.2.2.4. Mondal ve Jain (2008) tarafından önerilen yöntem.....                           | 24    |
| 5.2.2.5. Asteris vd. (2011) tarafından önerilen yöntem.....                              | 25    |
| 6. BOŞLUKLU DOLGU DUVAR MODELİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM .....                                | 26    |
| 6.1. Rijitlik Azaltma Katsayısının Belirlenmesi .....                                    | 26    |
| 6.2. Önerilen Rijitlik Azaltma Katsayısının İncelenmesi .....                            | 31    |
| 6.2.1. Boş çerçeve .....                                                                 | 32    |
| 6.2.2. Tam dolu dolgu duvarlı çerçeve .....                                              | 33    |
| 6.2.2.1. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsal modeli (Akyürek, 2014) .....                | 34    |
| 6.2.2.2. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsal modeli (Sevil vd., 2010) .....              | 35    |
| 6.2.2.3. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsal modeli (Panagiotakos ve Fardis, 1996) ..... | 36    |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.2.4. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsal modeli için önerilen yöntem .....        | 38 |
| 6.2.2.5. Farklı dolgu duvar mafsal modelleri için sonuçların kıyaslanması .....       | 39 |
| 6.2.3. Boşluklu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve numunelerinin modellenmesi ..... | 40 |
| 7. ÇERÇEVE MODELLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ .....                                            | 43 |
| 7.1. Çerçeve Modellerinin Özellikleri .....                                           | 43 |
| 7.2. Çerçeve Modellerine Ait Performans Değerlendirmesi .....                         | 46 |
| 8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....                                                         | 70 |
| KAYNAKLAR .....                                                                       | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                        | 82 |



## **ÖZET**

### **Yüksek Lisans Tezi**

## **BETONARME ÇERÇEVEDE BOŞLUKLU DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ**

**Murat ŞAN**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hamide TEKELİ**

**II. Danışman: Prof. Dr. Fuat DEMİR**

Ülkemizin büyük bir kısmı deprem kuşağı üzerinde bulunduğundan mevcut binaların depreme karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Muhtemel bir depremde mal ve can kaybının en aza indirgenmesi gerekir. İnsanların büyük çoğunluğunun yaşadığı binalar genellikle betonarme çok katlı binalardır. Dolgu duvarlar betonarme yapı sistemlerinde genellikle yapıyı bölümlere ayırmak için kullanılmaktadır. Dolgu duvarlar, mimari fonksiyonları yerine getirmek amacıyla yapılmalarına karşın yapının deprem davranışını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle gerçek davranışın hesaplamalara yansıtılabilmesi için dolgu duvarların da yapısal modellere dâhil edilmesi gerekmektedir.

Dolgu duvarlarda çoğu zaman mimari nedenlerden dolayı, pencere ve kapı gibi boşluklar bırakılmaktadır. Bu boşlukların davranışı bir miktar etkileyeceği ortadadır. Yapı sisteminin deprem yüklemesi altındaki davranışı doğrusal olmadığından deneysel verilerle doğrulanmayan analitik yöntemleri kullanarak sistem davranışını çözümlmek hataları artıracaktır. Bu nedenle çalışmada literatürde bulunan boşluklu dolgu duvara sahip tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve deneylerinden yararlanarak boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılabilecek rijitlik azaltma katsayıları elde edilmiştir. Bu azaltma katsayıları kullanılarak deney çerçeve numuneleri SAP 2000 programında modellenerek doğrusal olmayan çözümlmeleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Buna ilave olarak tam dolu dolgu duvarlı deney numunesinin SAP 2000 modeli üzerinde literatürde tanımlanan farklı eksenel yük mafsalları modelleri oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Tez çalışması kapsamında boşluklu dolgu duvarların bina performansına etkisinin incelenebilmesi amacıyla farklı kat adedine, çerçeve açıklığına, dolgu duvar yerleşimine ve dolgu duvar boşluk oranına sahip betonarme çerçeveler model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarların tüm katlarda bulunduğu ve dükkan

katını temsil etmesi açısından en alt katta dolgu duvarın bulunmadığı durumları için ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır. Dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan çerçeve modellerine ait doğal periyod, enerji tüketme kapasitesi, süneklik, kesme kuvveti kapasitesi, en alt kattaki kolonların hasar dağılımı, çerçevenin performans seviyesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan; farklı boşluk oranına sahip dolgu duvarların, iki boyutlu betonarme çerçevenin davranışı üzerinde davranış farklılıkları gösterdiği, %10 ve daha büyük boşluğa sahip dolgu duvarlardaki boşlukların modellemelerde dikkate alınmasının uygun olacağı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme çerçeve, Boşluklu dolgu duvar, Doğrusal olmayan çözümleme, Performans

**2016, 83 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE MODELLING OF INFILL WALLS WITH OPENING IN REINFORCED CONCRETE FRAMES**

**Murat ŞAN**

**Suleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hamide TEKELİ**

**Co-Supervisor: Prof. Dr. Fuat DEMİR**

As a large part of our country is on the earthquake zone, existing buildings should be able to withstand an earthquake. It should minimize the loss of lives and property in a possible earthquake. Buildings where the majority of people are usually reinforced concrete multi-storey buildings. Infill walls are often used to separate the section of the structure in reinforced concrete construction system. Infill walls can affect positively or negatively the earthquake response of structure, despite in order to fulfill architectural functions. Therefore, to can be reflected the calculation of the actual reaction, Infill walls should be also included to the structural model.

The spaces such as window and door have usually been given up in the infill wall because of architectural causes. It is evident that these spaces affect a far amount of building behavior. Analyzing the system behavior using analytical methods which are not verified by experimental data as the system behavior under the earthquake loading of the architectonics is non-linear, would increase faults. Therefore in this study, the stiffness reduction coefficients which can be used to model the cavernous filling walls have been produced with the help of the experiments about single-floor and single-span reinforced concrete frame which has cavernous filling wall in the literature. The non-linear analysis has been made by modelling the frame samples in the SAP2000 software using these reduction coefficients and obtained results are compared with the experiment result. Additionally, the different axial foal hinge models of the full infill wall identified in the literature have been formed over the SAP2000 software and obtained results are compared with experimental results.

In the scope of the thesis study, in order to investigate the effects of infill walls on the building performance, reinforced concrete frames which have different the floor numbers, frame span, settlement of the infill wall and infill wall with opening have chosen as a model. Both the infill walls found in the all floors and the ground floor which not found the infill walls considered as the shop floor have investigated separately. The equivalent cater-corner compression strut method

has been used to model of the infill walls. For all formed frame models, nature cycle, consuming energy capacity, ductility, shearing force capacity, disservice of the ground floor column and the performance level of the frame have been investigated. It can be said from the obtained results that infill walls with various spaces has different behavior on the behavior of the two dimensional reinforced concrete frame, the spaces of the infill walls that has more than 10% would be proper to the models.

**Keywords:** Reinforced concrete frame, Nonlinear analysis, Performance

**2016, 83 pages**



## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Hamide TEKELİ ve Prof. Dr. Fuat DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımla...

Murat ŞAN  
ISPARTA, 2016



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                 | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. Eleman hasarının belirlenmesi .....                                                                                                  | 14    |
| Şekil 4.1. BESAM programına ait veri girişi.....                                                                                                | 16    |
| Şekil 4.2. DELOP'a ait bir görünüm.....                                                                                                         | 18    |
| Şekil 5.1. Çerçeve içindeki dolgu düzleminin üçgen veya dikdörtgen sonlu<br>elemanlar ağı ile modellenmesi.....                                 | 20    |
| Şekil 5.2. Yatay yüke maruz çerçeve üzerindeki dolgu duvarın modellenmesi                                                                       | 20    |
| Şekil 5.3. Eşdeğer diyagonal sanal basınç çubuğu .....                                                                                          | 21    |
| Şekil 5.4. Açıklık oranı ve yerleşim yerine göre rijitlik azaltma faktörü .....                                                                 | 22    |
| Şekil 5.5. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma katsayısı.....                                                                                  | 23    |
| Şekil 5.6. Dolgu duvar boşlukların dikkate alınması .....                                                                                       | 24    |
| Şekil 5.7. Boşluk oranına bağlı rijitlik azaltma katsayısı .....                                                                                | 24    |
| Şekil 5.8. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma faktörü .....                                                                                   | 25    |
| Şekil 5.9. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma katsayıları .....                                                                               | 25    |
| Şekil 6.1. Deneye numunesine ait donatı şeması .....                                                                                            | 27    |
| Şekil 6.2. Rijitlik azaltma katsayısı ile boşluk oranı ilişkisi .....                                                                           | 30    |
| Şekil 6.3. Boşluklu dolgu duvarlı çerçevede rijitlik azaltma faktörlerinin<br>karşılaştırılması.....                                            | 31    |
| Şekil 6.4. Deney çerçevesine atanan mafsallar.....                                                                                              | 32    |
| Şekil 6.5. Sınır değerlerin moment dönme ilişkisi üzerinde gösterilmesi.....                                                                    | 32    |
| Şekil 6.6. Boş çerçeve için deney ve SAP2000 kapasite eğrilerinin<br>kıyaslanması.....                                                          | 33    |
| Şekil 6.7. Dolgu duvar basınç çubuğunun diyagonal uzunluğu .....                                                                                | 33    |
| Şekil 6.8. Dolgu duvar mafsallık özellikleri.....                                                                                               | 35    |
| Şekil 6.9. Dolgu duvar mafsallık özellikleri.....                                                                                               | 36    |
| Şekil 6.10. Dolgu duvar mafsallık özellikleri .....                                                                                             | 38    |
| Şekil 6.11. Dolgu duvar mafsallık için önerilen model.....                                                                                      | 39    |
| Şekil 6.12. Farklı dolgu duvar mafsallık model sonuçlarının kıyaslanması.....                                                                   | 40    |
| Şekil 6.13. Farklı boşluk oranına sahip numuneler için dolgu duvar mafsallık<br>modeli kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri .....         | 41    |
| Şekil 6.14. Farklı boşluk oranına sahip numuneler için önerilen dolgu duvar<br>mafsallık modeli kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri..... | 42    |
| Şekil 7.1. Üç katlı çerçeve modeller .....                                                                                                      | 44    |
| Şekil 7.2. Beş katlı çerçeve modeller .....                                                                                                     | 44    |
| Şekil 7.3. Sekiz katlı çerçeve modeller.....                                                                                                    | 45    |
| Şekil 7.4. Kolon ve kiriş elemanlara ait kesit özellikleri.....                                                                                 | 45    |
| Şekil 7.5. Üç katlı üç açıklıklı çerçeve modeline atanan plastik mafsallar.....                                                                 | 47    |
| Şekil 7.6. Üç kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri.....                                                                           | 48    |
| Şekil 7.7. Üç kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri.....                                                                          | 49    |
| Şekil 7.8. Beş kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri.....                                                                          | 50    |
| Şekil 7.9. Beş kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri .....                                                                        | 51    |
| Şekil 7.10. Sekiz kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri.....                                                                       | 52    |
| Şekil 7.11. Sekiz kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri .....                                                                     | 53    |
| Şekil 7.12. Üç açıklıklı çerçevelerde farklı boşluk oranlarına göre elde edilen<br>kapasite eğrileri.....                                       | 56    |
| Şekil 7.13. Beş açıklıklı çerçevelerde farklı boşluk oranlarına göre elde edilen<br>kapasite eğrileri.....                                      | 57    |
| Şekil 7.14. Çerçevelere ait doğal periyod ile hedef yer değiştirme ilişkisi .....                                                               | 62    |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.15. Çerçevenin periyodu ile $A_e/A_{bina}$ oranı arasındaki ilişki.....                              | 62 |
| Şekil 7.16. Çerçevelere ait $\Delta_{hedef}/H_{bina}$ oranı ile $A_e/A_{bina}$ oranı arasındaki ilişki ..... | 66 |
| Şekil 7.17. Çerçevelere ait $V_r/W$ oranı ile $A_e/A_{bina}$ oranı arasındaki ilişki.....                    | 66 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                       | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 6.1. Donatılara ait mekanik özellikler .....                    | 27    |
| Tablo 6.2. Beton basınç dayanım değerleri .....                       | 28    |
| Tablo 6.3. Rijitlik azaltma katsayıları .....                         | 29    |
| Tablo 7.1. Üç katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler.....     | 59    |
| Tablo 7.2. Beş katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler .....   | 60    |
| Tablo 7.3. Sekiz katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler ..... | 61    |
| Tablo 7.4. Üç katlı çerçevelere ait kapasite değerleri.....           | 63    |
| Tablo 7.5. Beş katlı çerçevelere ait kapasite değerleri.....          | 64    |
| Tablo 7.6. Sekiz katlı çerçevelere ait kapasite değerleri .....       | 65    |
| Tablo 7.7. Üç katlı çerçevelere ait performans sonuçları.....         | 67    |
| Tablo 7.8. Beş katlı çerçevelere ait performans sonuçları.....        | 68    |
| Tablo 7.9. Sekiz katlı çerçevelere ait performans sonuçları .....     | 69    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                   |                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------|
| A                 | Eşdeğer basınç çubuğunun kesit alanı                     |
| $a_{duvar}$       | Eşdeğer sanal basınç çubuğunun kalınlığı                 |
| $E_c$             | Betonun elastisite modülü                                |
| $E_{duvar}$       | Duvarın elastisite modülü                                |
| F                 | Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel yük taşıma kapasitesi   |
| $f_{duvar}$       | Dolgu duvar basınç dayanımı                              |
| $F_m$             | Dolgu duvar maksimum taşıma yükü                         |
| $F_r$             | Dolgu duvar kalıcı yükü                                  |
| $f_{su}$          | Donatı kopma dayanımı                                    |
| $f_{sy}$          | Donatı akma dayanımı                                     |
| $f_{tp}$          | Dolgu duvar çekme dayanımı                               |
| $F_y$             | Dolgu duvar akma yükü                                    |
| $G_w$             | Dolgu duvarın kayma modülü                               |
| h                 | Kesit boyutu                                             |
| $h_{duvar}$       | Dolgu duvarın yüksekliği                                 |
| $h_k$             | Çerçevenin yüksekliği                                    |
| $I_k$             | Kolonun atalet momenti                                   |
| $k_d$             | Eşdeğer basınç çubuğunun rijitliği                       |
| $K_1$             | Dolgu duvar ilk kayma gerilmesi rijitliği                |
| $K_2$             | Dolgu duvar eksenel rijitliği                            |
| $K_3$             | Dolgu duvar zayıflama rijitliği                          |
| L                 | Çerçevenin genişliği; eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğu  |
| $L_{duvar}$       | Dolgu duvar uzunluğu                                     |
| $l_p$             | Basit eğilme durumundaki plastik mafsallık boyu          |
| N                 | Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel yük taşıma kapasitesi   |
| $S_y$             | Dolgu duvarın akma yükü seviyesindeki yerdeğiştirme      |
| $S_m$             | Dolgu duvarın maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirme |
| $S_r$             | Dolgu duvarın göçme yüküne karşılık gelen yerdeğiştirme  |
| $r_{duvar}$       | Dolgu duvarın köşegen uzunluğu                           |
| $t_{duvar}$       | Dolgu duvarın kalınlığı                                  |
| $\theta$          | Diyagonal çubuğunun yatayla yaptığı açı                  |
| $\alpha$          | Rijitlik azaltma katsayısı                               |
| $\lambda_{duvar}$ | Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı                          |
| $\Delta$          | Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel kısalması               |
| $\delta_y$        | Eşdeğer basınç çubuğunun akma birim kısalması            |
| $\delta_u$        | Eşdeğer basınç çubuğunun sınır birim kısalmasını         |
| $\rho_s$          | Kesitte mevcut olan enine donatının hacimsel oranı       |
| $\rho_{sm}$       | Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı |

## 1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir kısmı deprem kuşağı üzerinde bulunduğundan hem yeni inşa edilen hem de mevcut binaların depreme karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu durum, yeni yapılacak binalar için sağlanabilirse de mevcut binalar için gerekli durumlarda ek tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır. Muhtemel bir depremde ortaya çıkabilecek maddi zararların ve can kayıplarının minimum seviyede tutulabilmesi için güvenlik riski olan binaların belirlenip güçlendirilmesi veya güçlendirmenin ekonomik olmadığı durumlarda yıkılması gerekmektedir.

Ülkemizdeki depremlerin can ve mal kayıplarının gelişmiş ülkelere göre çok fazla olması, mevcut binaların depreme karşı güvenliğinin belirlenmesini gündeme getirmiştir. Binaların deprem güvenliği incelemesinde uygun bir standardın sağlanabilmesi amacıyla, 1997 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik revize edilerek 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) yürürlüğe girmiştir. DBYBHY 2007'nin yedinci bölümünde mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin ilkeleri tanımlanmıştır.

Yaşadığımız mekânların çok büyük kısmı çok katlı betonarme çerçeveli binalardır. Mevcut yönetmeliklerde verilen çözümleme yöntemlerinde çerçeveli bir sistem için sadece döşeme, kiriş, kolon ve temel elemanlarının taşıyıcı oldukları; dolgu duvarların ise yatay yükler altında taşıyıcı etkisinin dikkate alınmadığı analizler yapılmaktadır. Dolayısıyla, betonarme binaların dış ve iç kısımlarında kullanılan ve dış ortamlar ile bağlantıyı kesen, mimari yönden farklı yaşam alanlarının ortaya çıkmasını sağlayan dolgu duvarlar hesaplamalarda taşıyıcı eleman olarak düşünülmemekte sadece düşey yük olarak dikkate alınmaktadır.

Dolgu duvarlar, mimari fonksiyonları yerine getirmek amacıyla yapılmalarına karşın geçmiş yıllarda yaşanan depremlerde gözlenen hasarlar ve son yıllarda

yapılan çalışmalar dolgu duvarların deprem esnasında binanın davranışını etkilediğini, binanın yanal yük taşıma kapasitesini, yanal ötelenme rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini önemli derecede artırdığını göstermiştir (Bayülke, 2003; Kaplan, 2008; Gürpınar, 2011; Akyürek, 2014). Başlangıçta bu kapasite artışları; dolgu duvarların dikkate alınmaması ile güvenli tarafta kalındığını düşündürse de dolgu duvar nedeniyle oluşabilecek kısa kolon, zayıf kat, yumuşak kat gibi düzensizlikler bina davranışında olumsuzluklara da sebep olabilmektedir. Bu nedenle dolgu duvarların yapısal davranışlarının doğru olarak yansıtılabildiği çözümlerle mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş yöntemler mevcuttur. Ancak bu yöntemler genel olarak dolgu duvarların tam dolu olduğu durumu yansıtmaktadır. Dolgu duvarlarda ise çoğu zaman mimari nedenlerden dolayı, pencere ve kapı gibi boşluklar bırakılmaktadır. Özellikle duvar içerisinde bulunan bu boşlukların rijitlik artışını bir miktar azaltacağı bilinmektedir.

Yapılan çalışmada öncelikle boşluklu dolgu duvarların yapısal modellemelerde dikkate alınabilmesi için basitleştirilmiş bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, literatürde bulunan boşluklu dolgu duvara sahip betonarme ereve deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Deney ereve modelleri SAP 2000 analiz programı yardımıyla modellenmiş ve doğrusal olmayan statik yöntem ile çözümlenmiştir. Elde edilen kapasite eğrisi deney sonuçları ile kıyaslanmış ve geliştirilen yaklaşımın geçerliliği araştırılmıştır. Daha sonrasında boşluklu dolgu duvarların bina performansına etkisinin incelenebilmesi amaçıyla farklı kat sayısına, ereve açıklığına, dolgu duvar yerleşimine ve dolgu duvar boşluk oranına sahip betonarme çerçeveler model olarak seçilmiştir. Tüm ereve modellerinin performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dolgu duvarların yapısal davranışı üzerine uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmış, modelleme teknikleri incelenmiştir.

Al-Chaar (2002) tarafından hazırlanan raporda, dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılarak hesaplara dahil edilmesinde yöntemlerin tanıtılması, kapı ve pencere boşlukları bulunan dolgu duvarların yapı sistemine dâhil edilmesi için kullanılabilecek dolgu duvar modellemesi rijitlik açısından değerlendirilmiş ve matematiksel olarak çözüm yolları sunulmuştur.

Asteris (2003) dolgu duvarlardaki boşlukların davranışa yansıtılabilmesi için yeni bir sonlu elemanlar yöntemi önermiştir. Bunun için belli boşluk oranları olan çerçeve modellerinin davranışını bu yöntemle incelemiştir. Yapılan parametrik çalışmada farklı boşluk yüzdesi ve konumları için çözümlemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre boşluğa bağlı bir azaltma katsayısının basınç çubuğu yaklaşımındaki formüllere uygulanmasını önermiştir. Ancak çalışma, elastik kabullerle yapılan analitik çözümlemelerle sınırlı kalmıştır.

İrtem vd (2005) yaptıkları çalışmada DBYBHY 2007'ye uygun olarak tasarlanmış yapı performansına dolgu duvarların etkisini araştırmışlardır. Bu kapsamda dolgu duvarların bulunduğu ve dolgu duvarların olmadığı durumlar için düşey yükler ve deprem yükleri altında bina modellerinin doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizleri yapılmış, yapı davranışları karşılaştırılmıştır. Bina performans düzeylerini belirlemek amacıyla "Kapasite Spektrum Yöntemi" ve Deplasman Katsayıları Yöntemi" kullanılmıştır. Dolgu duvarların konumuna ve deprem tehlike seviyelerine göre değiştiği, özellikle şiddetli ve çok şiddetli depremler için bina performans düzeyini değiştirecek mertebede olduğu ve binanın başlangıç rijitliğinin önemli oranda arttığı belirlenmiştir.

Çağlayan (2006) yaptığı çalışmada dolgulu betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan hesaba göre sonlu elemanlar metodu ile yapı dayanım ve rijitlik değişimini araştırmıştır. Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlar, diyagonal eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiştir.

Kızıloğlu (2006) yaptığı çalışmada dolgu duvarların rijitlik ve kütle artışına, serbest titreşim periyodunun azalmasına katkısını incelemiştir. Betonarme mevcut bir bina sıvasız dolgu duvarlı, sıvalı dolgu duvarlı olarak modellenmiştir. Çözümlemeler sonucunda elde edilen periyodlar ve doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anıl (2006) yaptığı deneysel çalışmada tersinir yatay yükler altındaki tek katlı tek açıklıklı 1/3 ölçeğinde kısmi dolgu duvarlı betonarme sünek çerçeve davranışını incelemiştir. Test sonuçlarından kısmi dolgulu çerçevelerin yalın çerçevelere göre dayanımı ve rijitliğinin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Özdoğu (2006) çalışmasında, zemin kat yükseklikleri farklı üç tip çerçeve ve dört farklı duvar modeliyle toplamda on katlı on iki adet çerçeve sisteminin zaman tanım alanında dinamik analizlerini SAP2000 programı yardımıyla yapmıştır. Çalışma sonunda deprem yükü altında zemin katı boş çerçeve sisteminde kolonların aşırı zorlandığı ve dolgu duvarın olduğu sistemlerde kolonlardaki gerilmelerin düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Bant şeklinde pencere olan çerçeve sistemlerde ise, aşırı gerilmelerin bu sefer pencere bölümündeki kolon üst bölgelerinde toplandığı görülmüştür.

Tetik (2007) yaptığı çalışma kapsamında, mevcut on iki adet binada farklı dolgu duvar yerleşimi tasarlayarak dolgu duvarların bina periyodu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Analiz sonucunda dolgu duvarların yapı rijitliğini ve serbest titreşim periyodunu büyük ölçüde değiştirdiğini görmüştür.

Toker (2007) tarafından yapılan çalışmada; 17 Ağustos 1999 depreminde orta hasar görmüş bir binanın dolgu duvarlı halinin güçlendirme öncesi ve sonrası durumları için doğrusal olmayan dinamik analiz çözümlemeleri yapılmış ve

sonuçlar kıyaslanmıştır. özömlerler farklı zemin tipleri ile 7 farklı deprem kaydı kullanılarak dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız yapı için tekrarlanmıştır. Binanın güçlendirme öncesi ve sonrası performansı DBYBHY 2007'ye göre belirlenmiştir.

Kakaletsis ve Karayannis (2007) yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada boşluklu dolgu duvara sahip çerçevelerin davranışını incelemiştir. Bu amaçla, sekiz tane 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı farklı boşluk oranına ve farklı boşluk yerleşimine sahip çerçeveler üretilmiş ve deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, kolonlara yakın yerleştirilen boşluklu numunelerin merkezi boşluklu numunelere göre daha iyi performans sergilediği görölmüştür.

Mondal vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlı betonarme çerçevede merkezi boşluk olması durumunda yanal rijitliği hesaplamak için kullanılan eşdeğer basınç çubuğunun genişliği için bir indirgenme faktörü sunulmuştur.

Mohebkhah vd. (2008) yaptıkları çalışmada iki boyutlu düzlem-monoton yüklemeye maruz dolgulu elik çerçevelerin doğrusal olmayan statik analizlerini yapmışlardır. Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlı çerçeveler makro ve mikro modelleme yöntemleri kullanılarak merkezi boşluklu olarak modellenmiştir. elik çerçevelerin rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesinin dolgu duvar mevcudiyetine göre değişimi üzerine araştırmalar yapmışlardır.

Dolsek ve Fajfar (2008) yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı dört katlı bir betonarme çerçevenin doğrusal olmayan hesap yöntemini kullanarak deprem davranışını incelemişlerdir. Betonarme çerçeve boşluksuz dolgu duvarlı, boşluklu dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız şeklinde oluşturulmuştur. Analiz sonuçları karşılaştırıldığında dolgu duvarların yapının hasar dağılımını tamamen değiştirdiği görölmüştür.

Beklen (2009) yaptığı çalışmada dolgu duvarların binanın deprem davranışına olumlu ve olumsuz etkilerini araştırmıştır. Bu kapsamda farklı çerçevelerin yatay

yükler altında, dolgu duvarlar için sonlu elemanlar modeli ve eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılarak sonuçları kıyaslanmıştır. Bir yapı beş ve on katlı modellenerek farklı kolon boyutları için deprem analizi yapılmıştır. Dolgu duvar malzemesi olarak gaz beton ve tuğla seçilmiştir. Dolgu duvarlarda eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmıştır. Düzlem çerçeve ve üç boyutlu çerçevede dolgu duvarın olumsuz etkileri olan yumuşak kat, kısa kolon ve burulma düzensizliğini araştırılmıştır. Çalışma sonucunda dolgu duvarların periyod, rijitlik, taban kesme kuvveti, yatay yerdeğiştirme üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Sevil vd. (2010) yaptıkları çalışmada sıvanmış ve sıvanmamış boşluklu tuğla dolgu duvarların betonarme çerçeve üzerindeki dayanım ve davranışına olan etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda yalın çerçeveye göre yanal yük taşıma kapasitesinin; sıvanmamış tuğla dolgu duvarlı çerçevede yaklaşık 3.5 kat, sıvanmış tuğla dolgu duvarlı çerçevede ise yaklaşık 4.5 kat arttığı gözlenmiştir.

Dönmez vd. (2010) yaptıkları çalışma kapsamında dolgu duvarlı betonarme çerçeveli sistemlerde dolgu duvar çerçeve etkileşiminin sistemin dinamik değişkenlerine olan etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvarın çerçevenin frekansını yükselttiği ancak moment çerçevelerinde mod şekillerinin çok az değiştiği görülmüştür.

Tar (2010) yaptığı çalışmada, dolgu duvarların modellenmesinde kullanılan farklı eşdeğer basınç çubuğu yöntemlerinin taşıyıcı sistem periyodu ve yer değiştirme kapasitesi bakımından etkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlardan, kullanılan eşdeğer basınç çubuğu modelinin binanın periyodu ve yer değiştirmesi açısından farklılık gösterdiği görülmüştür.

Çankaya (2011) yaptığı çalışmada dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin dinamik davranışını incelemiştir. Bu çalışmada tek açıklıklı ve dört katlı 1/5 ölçeğinde betonarme çerçeveden dört adet üretilmiş ve yatay yük altında test edilmiştir. Numune davranışında sünek ve gevrek donatı detayı ve dolgu duvarların olması ve dolgu duvarların olmaması durumları incelenmiştir. Analizler sonucunda dolgu duvarlı çerçevelerin frekanslarının arttığını; donatı

detayının gevrek veya sünek olması durumlarının ise frekanslarda önemli bir değişiklik ortaya çıkarmadığı gözlenmiştir.

Gürpınar (2011) yaptığı çalışmada dolgu duvarların yapı yatay rijitliğine etkisini incelemiştir. Çalışmada dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiştir. Mimari projedeki gibi yapıya ait dolgu duvarların boşlukları dikkate alınarak analiz modelleri oluşturmuştur. Yapılan analizler sonucunda, dolgu duvarlı yapının serbest titreşim periyodunun %78 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Kaymak (2011) yaptığı çalışmada, çelik çerçevede bulunan dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. İki açıklıklı ve iki katlı çerçeveler bant pencereli, tamamen dolu dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenmiştir. Dolgu duvar malzemesi olarak hafif ve elastisite modülü yüksek gaz beton dolgu malzemesi seçilmiştir. Dolgu duvar modellemesinde eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmış ve çelik çerçevenin çözümlemeleri elasto-plastik analiz yöntemi ile yapılmıştır. Simetrik ve simetrik olmayan dolgu duvarlı çerçevelerin enerji tüketimi, göçme yükü, süneklik, göçme yükü altında taban kesme kuvveti, yatay deplasman değerlerinin değişimi incelenmiştir.

Balık (2012) tarafından yapılan deneysel çalışmada tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçeğinde altı adet betonarme çerçeve üretilmiş ve pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilerek yapısal davranışları incelenmiştir. Numuneler, tersinir tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda betonarme dolgu duvarlı numunelerin yalın çerçeveli numunelere göre daha fazla rijitliğe ve yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.

Nwofor ve Chinwah (2012) yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada, sonlu elemanlar modelleme tekniği ile farklı boyutlarda ve farklı dolgu duvar açıklık yerleşiminin kesme dayanımı üzerinde etkilerini araştırmış ve dolgu duvar boşluk yerleşimi için analitik çözüm üretmiştir. Dolgu duvarların, çerçevenin yanal yerdeğiştirmesini yaklaşık %70 oranında azalttığı görülmüştür.

Sigmund ve Penava (2013) yaptıkları deneysel çalışmada betonarme çerçevede dolgu duvar boşluğunun tipi ve yerleşiminin yanal dayanım üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca dolgu duvar modeli olarak kullanılan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli üzerinde çalışma yapmıştır.

Uysal (2013) yaptığı çalışmada; dolgu duvarlı yapı sistemlerinin hesabı için geliştirilmiş olan hesap yöntemlerinin betonarme çerçeve davranışını nasıl etkilediği konusu üzerinde incelemeler yapmıştır. Bu kapsamda 6 ve 12 katlı yapı modelleri oluşturulmuştur. Dolgu duvar olarak tuğla ve gaz beton dolgu malzemesi seçilmiştir. Sonuç olarak dolgu duvar dikkate alınan yapılarda doğal periyotlarında azalma, taban kesme kuvvetinde artış, maksimum yatay yer değiştirmelerde azalış, kat rijitliklerinde artış gözlenmiştir.

Umair (2013) çalışmasında, model olarak seçilen betonarme çerçevenin tasarımını DBYBHY 2007'ye uygun/uygun olmayan şekilde yapmıştır. Betonarme çerçevelerin çözümlemeleri dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak OpenSees programı kullanılarak yapılmıştır. Dolgu duvar olarak gaz beton kullanılmıştır. Yapılan çözümlemelerde; dolgu duvarların, DBYBHY 2007 ile uyumlu olarak tasarlanan betonarme çerçeveli sistemin hasar dağılımına, şekil değiştirme şekline ve göçme moduna etkisinin oldukça fazla olduğu ancak DBYBHY 2007 ile uyumsuz çerçevelere etkisinin belirgin olmadığı saptanmıştır.

Sönmez (2013) yaptığı çalışmada dolgu duvarın rijitlik değişiminin betonarme çerçeve davranışına etkisini incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda literatürde bulunan bir deney numunesi bilgisayar ortamında modellenerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra beş katlı ve 5 açıklıklı bir çerçeve dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı olarak modellenmiş ve çözümlemeleri dinamik analiz ve statik itme analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Dolgu duvarlı çerçevenin iki açıklığı dolgu duvarlarla doldurularak iki tip dolgu duvarlı çerçeve elde edilmiştir. Birinci çerçevenin açıklıklarına tek tip dolgu duvarlar yerleştirilirken ikinci çerçevenin açıklıklarına aşağıdan yukarıya gittikçe azalan rijitlik ve dayanım değerlerine sahip duvarlar yerleştirilmiştir. Yapılan çözümlemelerde,

dolgu duvarlı çerçevelerde planlı rijitlik dağılımının alt katlardaki ötelenmeyi azalttığını ve deprem performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Yakut vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarların bina deprem davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen 28 adet betonarme bina SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Dolgu duvar, eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile modellenmiştir. Binaların her iki ana doğrultuda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumları için statik itme analizi ile kapasite eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, dolgu duvarların binanın yanal yük taşıma kapasitesini ve yanal ötelenme rijitliğini büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sonuçlar toplam dolgu duvar alanının bina kat alanına bölümüne bağlı olarak regresyon sonucu elde edilen ilişkilerle ifade edilmiştir.

Calio ve Panto (2014) çalışmasında dolgu duvarlı çerçeve yapılarının sismik değerlendirmesi için teorik ve deneysel numuneler üzerinde doğrusal olmayan monoton ve döngüsel statik analizini yapmış ve makro modelleme yaklaşımı sunmuştur. Düzlem makro elementler tarafından tanımlanmış ve yaklaşım güvenliği açısından doğrusal olmayan hesap yöntemi ile dolgu duvarlı betonarme yapılar üzerinde test edilmiştir.

Jinya ve Patel (2014) yaptıkları çalışmada betonarme yapıda kullanılan farklı merkezi açıklıklı dolgu duvarların yapı davranışına etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvar makro modeli için diyagonal eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmış ve diyagonal basınç çubuğu genişliği FEMA yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Çalışmada, merkezi boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için literatürde önerilen rijitlik azaltma faktörleri kullanılmıştır.

Aksoy ve Avşar (2015) yaptıkları çalışmada yapıdaki dolgu duvar etkisini dikkate almak için 4 katlı bir binanın modelini oluşturarak davranışını incelemişlerdir. Bu kapsamda Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE) kısmında dolgu duvar etkisinin dikkate alınması için verilen önerinin uygunluğunu kontrol etmişlerdir. RYTEİE' de verilen dolgu duvar etkisini belli bir

katsayı ile çarpımını dikkate alarak güvenli tarafta kalındığını görmüşlerdir. Ancak dolgu duvarların burulmaya neden olması durumunda kullanılmaması önerilmiştir.

Aydın (2015) tarafından yapılan çalışmada, betonarme taşıyıcı sistem içerisine yerleştirilen boşluklu dolgu duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla farklı dolgu duvar boşluk oranlarına ve konumlarına sahip tek katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeve numuneler 1/3 ölçeğinde üretilmiştir. Dolgu duvar üzerindeki boşluklar, duvarın tam ortasında ve sol üst köşesinde olmak üzere iki farklı konumda yerleştirilmiştir. Herbir konumdaki boşluk, %4, %9, %16 ve %25 olmak üzere farklı oranlarda oluşturulmuştur. Böylece, elde edilen deney sonuçları ile hem boşluk konumu hemde boşluk oranının betonarme çerçeve davranışına etkisi ortaya konulmuştur.

### 3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ

DBYBHY 2007, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı hasar oluşumunun sınırlandırılması” ilkelerine uyulmasını öngörmektedir. Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için ise yeni binalara göre daha farklı ve ayrıntılı bir yaklaşım öngörülmüştür (Celep, 2007)

DBYBHY 2007, 7. bölümünde mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin kullanımını önerir. Doğrusal elastik yöntemin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmaktadır.

DBYBHY 2007’de verilen doğrusal elastik yöntem kuvvet esaslı iken, doğrusal elastik olmayan yöntem şekil değiştirme esaslıdır. Bu nedenle, doğrusal elastik olmayan yöntemde, elemanın hasar seviyesine, beton ve donatının şekildeğiştirme değerlerinin, DBYBHY 2007’de tanımlanan sınır şekildeğiştirme değerleriyle karşılaştırılması ile karar verilir. Elemanın hasar seviyesinden kat performans seviyesi, kat performans seviyesinden de bina performans seviyesi belirlenmektedir. Binanın deprem güvenliğinin olup olmadığına bina performans seviyesinin hedef performans seviyesi ile kıyaslanması neticesinde karar verilir. Bina hedef performans seviyeleri DBYBHY 2007’ de “Hemen Kullanım”, “Can Güvenliği”, “Göçme Öncesi” ve “Göçme Durumu” olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamı, 1. derece deprem bölgesinde ve Z4 yerel zemin sınıfında bulunan konut türü binalar ile sınırlı tutulduğundan, hedef performans olarak yönetmeliğe uygun olmak üzere 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için “Can Güvenliği” performans seviyesi seçilmiştir. DBYBHY 2007 esaslarına göre

Can Güvenliği Performans Seviyesinin sağlanması gereken koşullar aşağıda verilmiştir.

*“(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.*

*(b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En st katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.*

*(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve st kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. “*

Mevcut betonarme binaların performansının belirlenmesinde kullanılan yöntemler arasında doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi, taşıyıcı sistemin daha gerçekçi biçimde ele alınmasını sağlamaktadır. Doğrusal yönteme göre doğrusal elastik olmayan yöntem taşıyıcı sistemin düzensizliğinden daha çok etkilenmektedir.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemide kendi içerisinde alt yöntemlere ayrılmaktadır. Bu yöntemler artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında çözüm yöntemi ile itme analizi olarak tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan zmlmelerde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi yöntemi kullanılmıştır.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarına ait plastik mafsalların tanımlanması gerekmektedir. Plastik mafsalların tanımlanabilmesi için, taşıyıcı sistem elemanlarına ait moment eğrilik ilişkilerinden yararlanarak moment dönme

ilişkileri elde edilir. Basit eğilme durumunda plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi' nin uzunluğu ( $l_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınmaktadır, ( $l_p = 0,5 h$ ).

Doğrusal olmayan itme analizi, birinci mod titreşim şekli ile uyumlu olarak eşdeğer deprem yüklerinin adım adım artırılması ile yapılır. İtme analizi ile koordinatları "taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme" olan kapasite eğrisi elde edilir. Çalışma kapsamında yapılan çözümlemelerde SAP 2000 analiz programı kullanılmış ve kiriş elemanlara  $M_3$ , kolon elemanlara ise  $PM_2M_3$  mafsallık atanmıştır.

Kapasite eğrisinin hazırlanmasından sonra kapasite eğrisinin koordinatları "modal ivme - modal yer değiştirme" koordinatlarına dönüştürülerek modal kapasite eğrisi elde edilir. Modal kapasite eğrisi ile  $S_a-S_d$  formatına dönüştürülmüş spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilerek DBYBHY 2007 esaslarına göre hedef yerdeğiştirme istemi belirlenir.

Binanın bu yerdeğiştirme istemi seviyesindeki taşıyıcı eleman kesitinde meydana gelen beton ve donatıya ait şekil değiştirme değerleri, DBYBHY 2007'de verilen sınır değerlerle kıyaslanarak elemanların hasar seviyeleri tespit edilir. DBYBHY 2007'de, plastik şekildeğiştirmelerin hasar seviyesi için izin verilen üst sınırları Denklem (3.1), Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'teki gibi tanımlanmaktadır. Bu denklemlerde verilen değerler sırasıyla, beton basınç birim şekildeğiştirmesinin (kısılması) ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin (kısılması ve uzaması) üst sınırlarını temsil etmektedir. Burada  $\rho_s$  kesitte mevcut olan,  $\rho_{sm}$  ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

Minimum Hasar Sınırı (MN)

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.1)$$

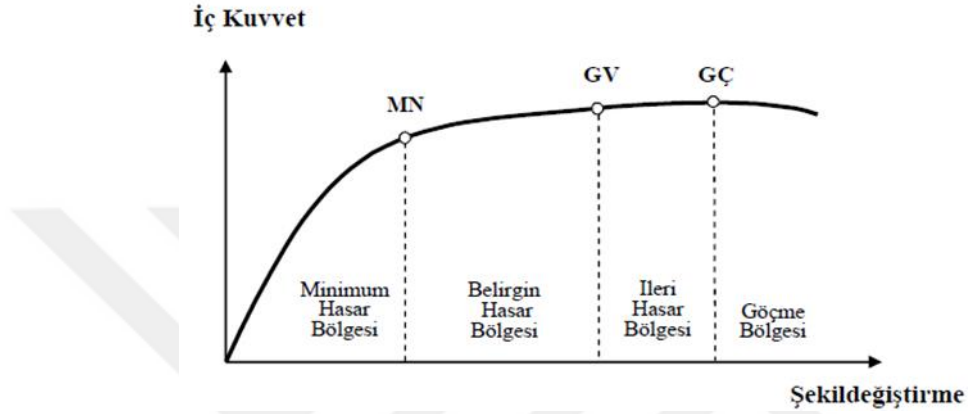
Güvenlik Hasar Sınırı (GV)

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.2)$$

Göçme Hasar Sınırı (GÇ)

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.3)$$

Eleman hasarları elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir. Elemanın hasar seviyesi, kesite ait şekil değıştirme değeri MN sınırına ulaşmadı ise Minimum Hasar bölgesinde, MN ve GV arasında ise Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ile GÇ arasında ise İleri Hasar Bölgesi'nde ve GÇ sınırını aşarsa Göçme Bölgesi'nde olduğu kabul edilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Eleman hasarının belirlenmesi

#### **4. KULLANILAN PROGRAMLARIN TANITIMI**

Bir binanın deprem performansının DBYBHY 2007 esaslarına göre belirlenebilmesi için günümüz şartları bilgisayar programlarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında; TÜBİTAK 111M119 araştırma projesi kapsamında yazılımı hazırlanan BESAM (Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme) ve DELOP (Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Programı) programları ile uluslararası geçerliliği olan SAP2000 sonlu elemanlar programının birbiriyle uyumlu şekilde kullanılmıştır.

##### **4.1. SAP 2000 Analiz Programı**

SAP 2000 sonlu elemanlar programı ile simetrik ve simetrik olmayan yapıların 2 ve 3 boyutlu olarak tasarlanması, modellenmesi, optimizasyonu ve çözülmesi hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Kullanılan bu programda kiriş ve kolonları çubuk eleman olarak modellenir, kat döşemeleri için yatay düzlemde rijit diyafram kabulü yapılabilir. Çelik ve betonarme yapıların çözümleri için zaman tanım alanında hesap, mod birleştirme ve non-linear statik itme (pushover) yöntemleri rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında SAP 2000 14.0.0 versiyonu kullanılarak model çerçevelerin non-linear statik itme hesapları yapılmıştır. İtme analizinde öncelikle kütlelerle uyumlu düşey yükler altında doğrusal elastik olmayan statik analizi yapılmış, bu analiz sonuçları yatay yük ile artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Yapıdaki elemanların kesitlerine ait plastik mafsalları tanımlaması BESAM programı ile yapılarak SAP2000 programına aktarılmıştır.

##### **4.2. Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme Programı (BESAM)**

Programda, Mander sargılı beton modeli kullanılarak kiriş kesitine ait eğilme momenti kapasitesi yanında, moment-eğrilik ilişkisi ve kolon kesitine ait normal kuvvet-eğilme momenti kapasite ilişkisi (karşılıklı etki diyagramı) elde edilmektedir. Programda veri girişine ait bir görünüm Şekil 4.1’de verilmiştir.

**VERİ GİRİŞİ BÖLÜMÜ**

Kayıtlı Veri Seç:  YÜKLE

İsim:  Tip seç:

Kesit Bilgileri  
 b(mm)=  h(mm)=  Pas Payı(mm)=

Kesit Bilgileri  
 fck(MPa)=  fyk(MPa)=

Kesit Bilgileri  
 Etriye Çapı(mm)=  Etriye Aralığı(mm)=

Donatı Çap=  b paralel alt donatı sayısı  Donatı Çap=  h paralel sol donatı sayısı

Donatı Çap=  b paralel üst donatı sayısı  h paralel sağ donatı sayısı

İsim:  Etriye Oranı=

Kesit Bilgileri  
 Kuvvet(kN)=

DEVAM

Şekil 4.1. BESAM programına ait veri girişi

Hem doğrusal elastik hem de doğrusal elastik olmayan çözümlemelerde, kullanıcı için programın sağladığı kolaylıklar aşağıda kısaca özetlenmiştir (Demir vd., 2013):

#### ***Doğrusal Elastik Yöntem (DEHY):***

- BESAM programında sargılı beton modeli için, DBYBHY 2007’de verilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılmıştır. Beton için, oluşturulan bu sargı modeli kullanılarak kiriş kesitine ait moment-eğrilik ilişkisi ve kolon kesitine ait normal kuvvet-eğilme momenti kapasite ilişkisi elde edilebilir.
- Taşıyıcı elemanlara ait donatı girişi, kullanıcıya kolay kullanım sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Özellikle, eleman donatı yerleşiminin tanımlanması için, donatı koordinatlarının programda tanımlanması zaman almakta ve hata riskini artırmaktadır. Bu nedenle programda, belirli bir donatı oranına göre donatı yerleşimi seçilerek kullanıcının koordinat tanımlamasına gerek kalmayacak şekilde düzenleme yapılmıştır.
- Doğrusal elastik hesap yöntemindeki en zor ve zaman alıcı aşamalardan birisi, karşılıklı etki diyagramından  $N_K$  ve  $M_K$  kapasite değerlerinin belirlenmesidir. Uygulamada, karşılıklı etki diyagramını hesap eden çok sayıda program bulunmaktadır. Ancak, bu programların büyük

çoğunluğunda tasarım değerlerinin hesaplanması amaçlandığı için, ayrıca  $N_K$  ve  $M_K$  değerlerini hesap etmemektedir. Bu programlar ile her bir kolon için  $N_K$  ve  $M_K$  değerlerinin karşılıklı etki diyagramından belirlenmesi uzun zaman alarak yorucu olabilmektedir. BESAM programında yapılan düzenlenmelerle istenen sayıda kolonun verileri (G, Q ve E yüklemelerine ait kesit tesirleri DELAP'tan alınarak) veri dosyasına kopyalanmakta ve kolonlara ait  $N_K$  ve  $M_K$  değerleri tek bir aşamada hesaplanarak kolayca kullanıcıya sunulmaktadır.

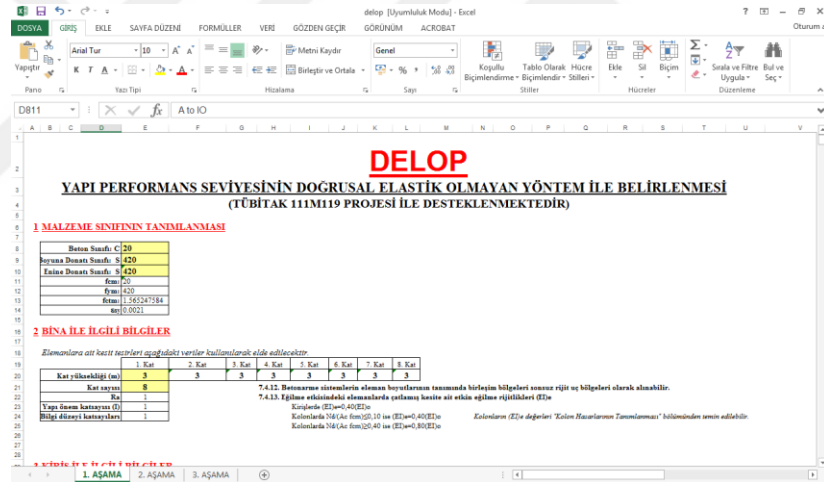
### ***Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem (DEOHY):***

- Doğrusal elastik olmayan çözümleme için öncelikle binanın taşıyıcı sistem elemanlarında plastik mafsalları tanımlamalarının yapılması gerekir. Bu yazılım ile elemanlara ait kesit ve malzeme özellikleri, donatı çapı ve düzeni tanımlandıktan sonra program çalıştırılarak, SAP2000 programında açılmak üzere mafsalların tanımlandığı s2k uzantılı bir dosya hazırlanabilmektedir.
- Doğrusal elastik olmayan yöntemde, elemanın hasar seviyesine şekil değiştirme değerinin yönetmelikte verilen sınır değerleriyle kıyaslanması sonucunda karar verilmektedir. Dolayısıyla hasarın belirlenebilmesi için sınır değerlerin bilinmesi önem arz etmektedir. Mevcut programların büyük bir kısmında, DBYBHY 2007'de verilen sınırlamalar bulunmamaktadır veya bu sınırlamaların düzenlenmesi gerekmektedir. BESAM programında bu sınırlamalar düzenlenerek plastik mafsalları tanımında gerekli tüm bilgiler SAP2000 programının kullanabileceği şekilde elde edilebilmektedir.
- Binaya ait kapasite eğrisinin SAP 2000 programı ile elde edilmesinden sonra, depremin binada yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi gerekir. Bunun için öncelikle kapasite eğrisinin koordinatları "modal yerdeğiştirme – modal ivme" koordinatlarına dönüştürülmeli ve modal kapasite diyagramı elde edilmelidir. Tüm bu işlemler, gerekli verilerin programa tanımlanması ile DBYBHY 2007'ye uygun olarak

hesaplanabilmektedir. Tepe yerdeğiştirme istemi sonuçları program tarafından txt veya xls formatında kullanıcıya sunulmaktadır.

### 4.3. Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Programı (DELOP)

Doğrusal ELastik OLmayan Değerlendirme Programı (DELOP), yönetmelikte verilen koşullarla uyumlu olarak, binanın hedef performans seviyesini sağlayıp sağlamadığının kontrolünü kendi bünyesinde yapan bir yazılımdır. Ancak programın, SAP2000 ve BESAM programları ile uyumlu bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.2’de programın kullanımına ilişkin bir görünüm verilmiştir. Program, üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada giriş, ikinci aşamada kolon elemanlar için gerekli kontroller yapılmakta, üçüncü aşamada ise, binanın performans seviyesine karar verilmektedir (Demir vd., 2013).



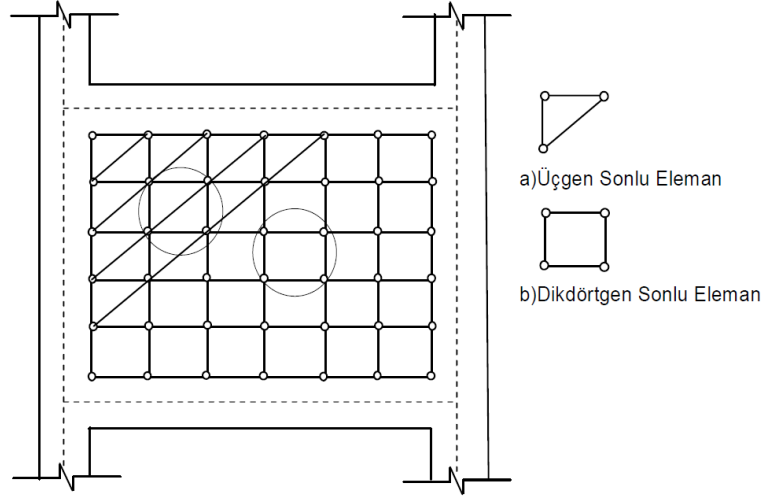
Şekil 4.2. DELOP'a ait bir görünüm

## 5. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

Binaların çözümlenmesinde dolgu duvarlar, sadece düşey yük olarak hesaplara dahil edilmekte, taşıyıcı eleman olarak dikkate alınmamaktadır. Ancak yapılan çalışmalar ve geçmiş depremlerdeki hasarlar dolgu duvarların yapısal davranış üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yapısal çözümlemelerde dolgu duvarların yapı sistemine olan olumlu ya da olumsuz etkilerinin dikkate alınması, gerçek davranışın model üzerine yansıtılabilmesi için oldukça önemlidir. Fakat dolgu duvarlı binaların modellenmesi ve deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi, basit ve kolay bir işlem değildir. Bu da tasarımının karışıklığı ve uygun bir teorinin geliştirilememesinden kaynaklanmaktadır. Dolgu duvarların çerçeve ile birlikte modellenmesinde kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

### 5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

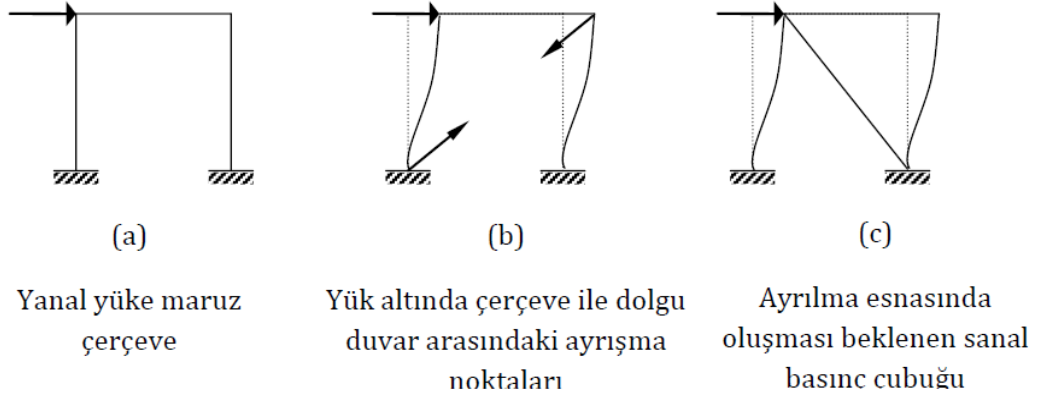
Dolgu duvar modeli oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Mallick ve Severn, 1967; Mallick ve Garg, 1971; Budak, 1997; Asteris, 2003; Yücesan, 2005). Bu yöntemde düzlem dolgu sistem sürekli bir ortam olarak kabul edilir ve iki boyutlu dikdörtgen veya üçgenlerden oluşan sadece düğüm noktalarında denge ve süreklilik koşullarını sağlayan, çok yüksek seviyede hiperstatik düzlem gerilme problemi olan sonlu sayıda elemanlardan oluşur (Şekil 5.1). Çözümü ancak bilgisayar programları yardımıyla mümkün olan, dolgu duvarın çerçeve sistemine etkisini gerçeğe yakın yansıtabilmesi için dolgu duvar elemanları birbirlerine harç yardımıyla hiç boşluk olmayacak şekilde kenetlenmiş ve çerçeve sistemi ile dolgu duvar bağlantısı yük aktarımının tam yapılabilmesi için iyi olması gereklidir.



Şekil 5.1. Çerçeve içindeki dolgu düzleminin üçgen veya dikdörtgen sonlu elemanlar ağı ile modellenmesi (Beklen, 2009)

## 5.2. Diyagonal Eşdeğer Basınç Çubuğu Yöntemi

Deprem yükü etkisinde yerdeğiştirme yapan çerçevenin bir yüzünde dolgu duvar ile ayrışma meydana gelirken diğer yüzünde sanal bir basınç çubuğu oluşmaktadır (Şekil 5.2).



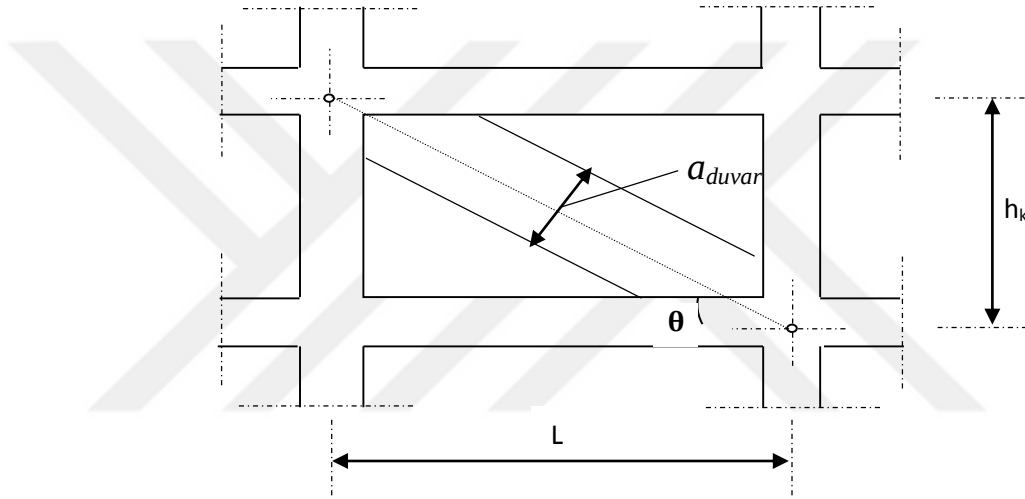
Şekil 5.2. Yatay yüke maruz çerçeve üzerindeki dolgu duvarın modellenmesi (Akyürek, 2014)

Diyagonal eşdeğer basınç çubuğu yönteminde, kullanılacak basınç çubuğu genişliği hesabı üzerine yapılmış araştırmalar eski yıllara dayanmaktadır (Polyakov, 1956; Holmes, 1961; Smith and Carter, 1969; Smith, 1962; Mainstone, 1971; Liauw and Kwan, 1984). Smith yöntemi olarak adlandırılan metot

modelleme kolaylığı açısından FEMA 273, FEMA 356 ve DBYBHY 2007 gibi farklı ülkelerin yönetmeliklerinde de benimsenmiştir.

### 5.2.1. Boşluksuz dolgu duvarların modellenmesi

Bu yöntemdeki sanal basınç çubuğunun genişliğinin hesabı; DBYBHY 2007 tarafından Denklem (5.1) ve Denklem (5.2)' de verildiği gibi önerilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Eşdeğer diyagonal sanal basınç çubuğu

$$a_{duvar} = 0.175 \times (\lambda_{duvar} \times h_k)^{-0.4} \times r_{duvar} \quad (5.1)$$

$$\lambda_{duvar} = \left[ \frac{E_{duvar} \times t_{duvar} \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_k \times h_{duvar}} \right]^{1/4} \quad (5.2)$$

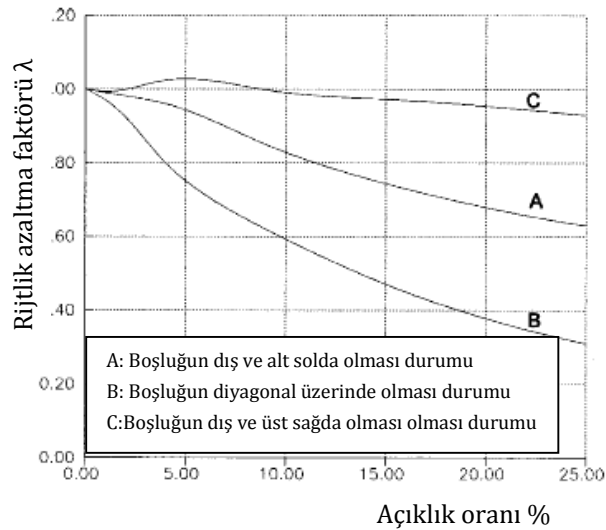
Burada  $a_{duvar}$ , eşdeğer sanal basınç çubuğunun kalınlığını;  $h_k$ , çerçevenin yüksekliğini;  $L$ , çerçevenin genişliğini;  $E_c$ , betonun elastisite modülünü;  $E_{duvar}$ , duvarın elastisite modülünü;  $t_{duvar}$ , dolgu duvarın kalınlığını;  $\theta$ , diyagonal çubuğunun açısını;  $r_{duvar}$ , dolgu duvarın köşegen uzunluğu;  $h_{duvar}$ , dolgu duvarın yüksekliğini;  $I_k$ , kolonun atalet momentini ifade etmektedir.

### 5.2.2. Boşluklu dolgu duvarların modellenmesi

Uygulamada dolgu duvarlar üzerinde çoğu zaman kapı ve pencere gibi mimari nedenlerle boşluklar bırakılmaktadır. Bu boşlukların dolgu duvarın çerçeveye olan katkısını bir miktar azaltacağı ortadadır. Boşluksuz dolgu duvarlar için önerilen yöntemin boşluklu dolgu duvarlarda da kullanılabilmesi için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak boşluklu dolgu duvarın rijitliği, boşluksuz dolgu duvar rijitliğinin belli bir oranda azaltılması ile elde edilmiştir.

#### 5.2.2.1. Asteris (2003) tarafından önerilen yöntem

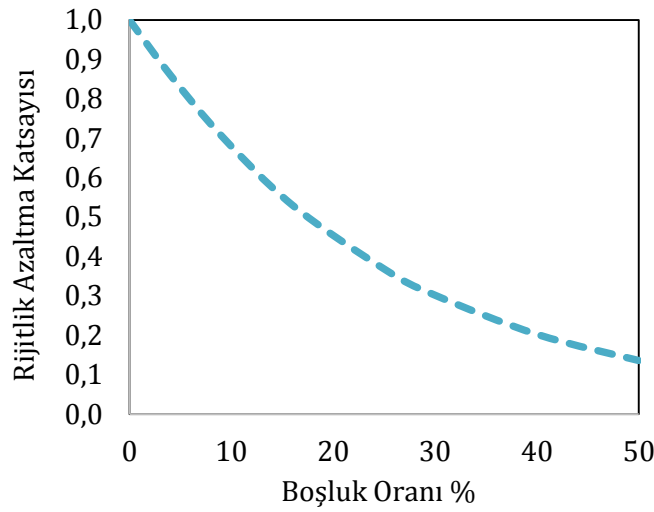
Asteris (2003) çalışmasında, teorik olarak sonlu elemanlar metodunu kullanarak tek kat ve tek açıklıklı dolgu duvarlı modelde boşluk oranını ve yerleşimini değiştirerek sismik analiz yapmıştır. Analiz sonucunda açıklık oranı ve yerleşim yerine göre rijitlik azaltma faktörü elde etmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Açıklık oranı ve yerleşim yerine göre rijitlik azaltma faktörü (Asteris, 2003)

#### 5.2.2.2. Giannakas vd. (1987) tarafından önerilen yöntem

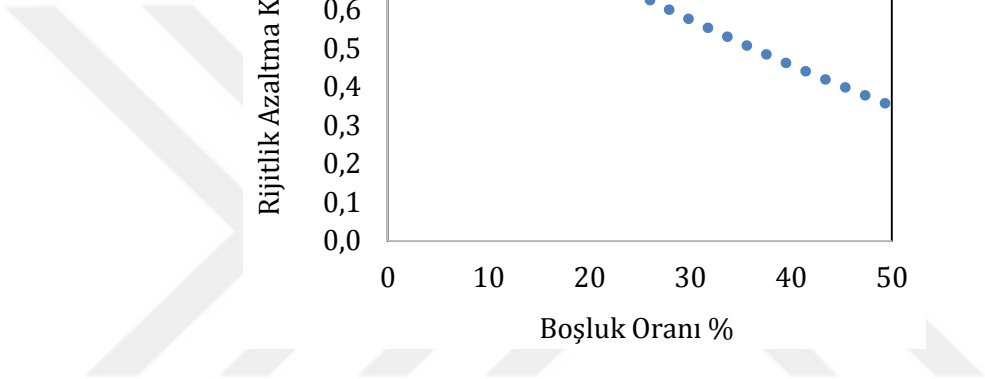
Giannakas vd. (1987) analitik olarak yaptıkları çalışmada; sonlu elemanlar metodunu kullanarak ve malzemelerin homojen, izotropik, elastik olduğunu varsayarak %20-30 boşluk oranının boşluksuz dolgu duvarlı çerçevenin rijitliğini %70-80 oranında azalttığını gözlemlemişlerdir. Boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılacak rijitlik azaltma katsayıları boşluk oranına bağlı olarak Şekil 5.5'te verildiği gibi önerilmiştir.



Şekil 5.5. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma katsayısı (Giannakas vd. 1987)

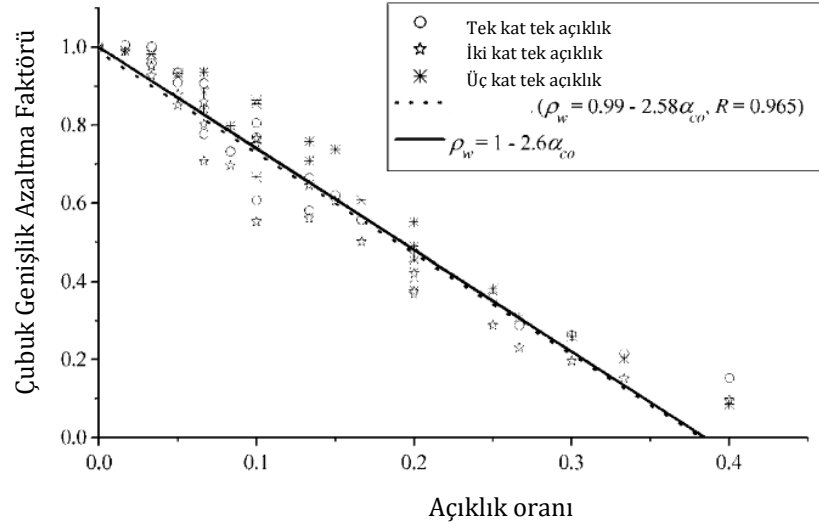
#### 5.2.2.3. Al-chaar (2002) tarafından önerilen yöntem

Al-chaar (2002) hazırladığı raporda, dolgu duvarın çerçeve sistemine dâhil edilmesini ve birlikte değerlendirilmesini amaçlamış ve bununla ilgili yöntemler sunmuştur. Yaptığı çalışmada dolgu duvardaki boşluk oranına bağlı olarak rijitlik azaltma faktörü kullanılmasını önermiştir (Şekil 5.6, Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Boşluk oranına bağlı rijitlik azaltma katsayısı (Al-chaar, 2002)

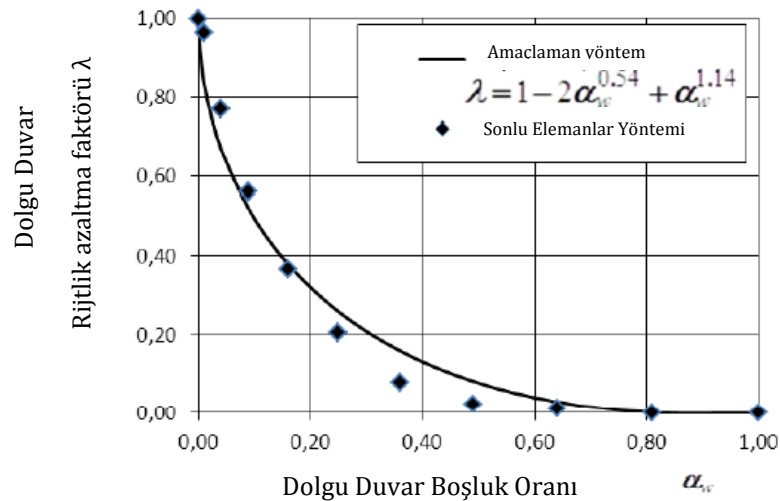
Mondal ve Jain (2008), farklı kat ve farklı açıklıklı çerçevelerde, farklı dolgu duvar boşluk oranları için sonlu elemanlar metodunu kullanarak analizler yapmışlardır. Yapılan teorik çalışmada boşluklu dolgu duvarın çerçeve rijitliğine etkisini araştırmış ve bulduğu boşluksuz dolgu duvara göre farklı rijitlik azaltma faktörlerini idealleştirmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma faktörü (Mondal ve Jain, 2008)

#### 5.2.2.5. Asteris vd. (2011) tarafından önerilen yöntem

Asteris vd. (2011) yaptıkları teorik çalışmada daha önce Asteris (2003) tarafından sonlu elemanlar metodu ile elde edilen rijitlik azaltma faktörlerini eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli ile elde ederek sonuçları karşılaştırmıştır. Farklı boşluk oranları için önerilen rijitlik azaltma katsayıları Şekil 5.9’da verilmiştir.



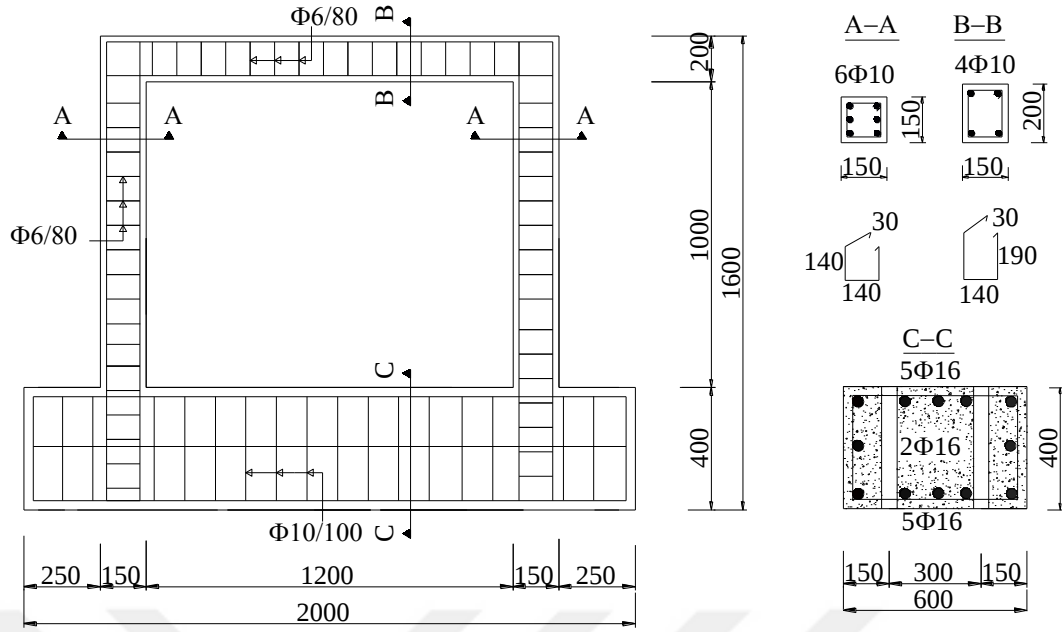
Şekil 5.9. Boşluk oranına göre rijitlik azaltma katsayıları (Asteris vd. , 2011)

## **6. BOŞLUKLU DOLGU DUVAR MODELİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM**

Boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılması için literatürde önerilen yöntemlerin büyük çoğunluğu teorik hesaplamalarla ortaya konulmuştur. Önerilecek yöntemin deneysel verilerle doğrulanması gerçekçi çözümlerin yapılabilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle, yapılan çalışma kapsamında önerilen yöntemde literatürdeki deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile boşluk oranına bağlı olarak elde edilen rijitlik azaltma katsayıları, boşluksuz dolgu duvar modeline uygulanarak boşluklu dolgu duvar modeli oluşturulmuştur.

### **6.1. Rijitlik Azaltma Katsayısının Belirlenmesi**

Aydın (2015) tarafından yapılan çalışmada, farklı boşluk oranlarına ve konumlarına sahip dolgu duvarlı tek katlı, tek açıklıklı ve 1/3 ölçekli olarak üretilen betonarme çerçevelerin davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılacak olan rijitlik azaltma katsayılarının belirlenmesinde bu deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Betonarme çerçeveye ait taşıyıcı elemanların kesit boyutları, kullanılan boyuna ve enine donatı miktarları Şekil 6.1’ de verilmiştir.



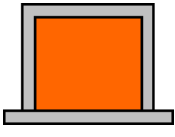
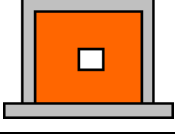
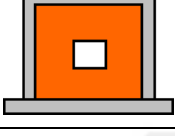
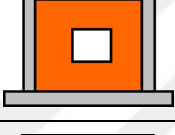
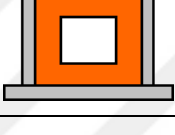
Şekil 6.1. Deneye numunesine ait donatı şeması (Aydın, 2015)

Numune üretiminde kullanılan donatıların akma ( $f_{sy}$ ) ve kopma ( $f_{su}$ ) dayanım değerleri Tablo 6.1 'de, her bir numune için elde edilen ortalama beton basınç dayanım değerleri ise Tablo 6.2' de verilmiştir (Aydın, 2015). Bu değerler betonarme çerçeve ait mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kullanılmıştır. Değerlendirmelerde dolgu duvar üzerindeki boşluğun duvarın tam ortasında (orta boşluk) bulunduğu numuneler için elde edilen deney sonuçları dikkate alınmıştır. Bunun nedeni ise orta bölgede bulunan boşluğa ait sonuçların kenar boşluğa ait sonuçlara göre daha kritik olarak elde edilmesidir. Boşluk oranı ifadesi ile dolgu duvar alanının (dolgu duvar uzunluğu  $\times$  dolgu duvar yüksekliği) boşluğun alanına oranı kastedilmektedir.

Tablo 6.1. Donatılara ait mekanik özellikler (Aydın, 2015)

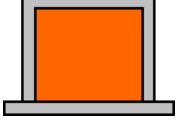
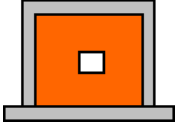
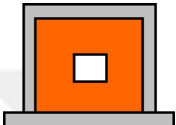
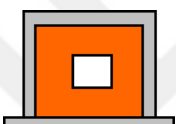
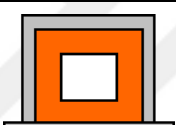
| Donatı çapı (mm) | $f_{sy}$ (MPa) | $f_{su}$ (MPa) |
|------------------|----------------|----------------|
| 6                | 374            | 476            |
| 10               | 449            | 524            |
| 16               | 452            | 536            |

Tablo 6.2. Beton basınç dayanım değerleri (Aydın, 2015)

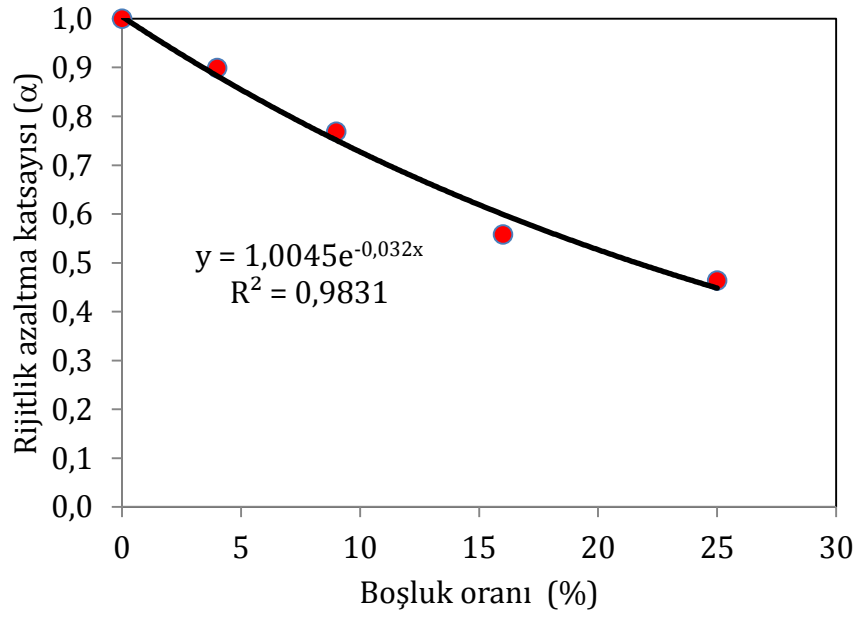
| Numune                                                                             | Boşluk oranı | $f_c$ (MPa)<br>(Silindir) |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|
|   | %0           | 20                        |
|   | %4           | 21                        |
|   | %9           | 21                        |
|   | %16          | 20                        |
|  | %25          | 22                        |

Numunenin yatay yük- yerdeğiştirme grafiklerinin eğiminden elde edilen rijitlik değerleri her bir çevrimde farklılık gösterdiği için kıyaslamalarda başlangıç rijitliğinin kullanılması tercih edilmiştir. Bunun için her bir numunede bir yaklaşım olarak % 0.1 ötelenme oranındaki değerler kullanılmıştır. Hesaplanan rijitlik değerleri Tablo 6.3 'te verilmiştir (Aydın, 2015). Boşluklu numuneler için elde edilen değerler, tam dolu numune değerlerine oranlanarak rijitlik azaltma katsayısı ( $\alpha$ ) değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6.3. Rijitlik azaltma katsayıları (Aydın, 2015)

| Numune                                                                              | Boşluk oranı | Yatay ötelenme rijitliği (kN/mm) | Rijitlik azaltma katsayısı ( $\alpha$ ) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
|    | %0           | 48                               | 1.00                                    |
|    | %4           | 43                               | 0.90                                    |
|    | %9           | 37                               | 0.77                                    |
|    | %16          | 27                               | 0.56                                    |
|  | %25          | 22                               | 0.46                                    |

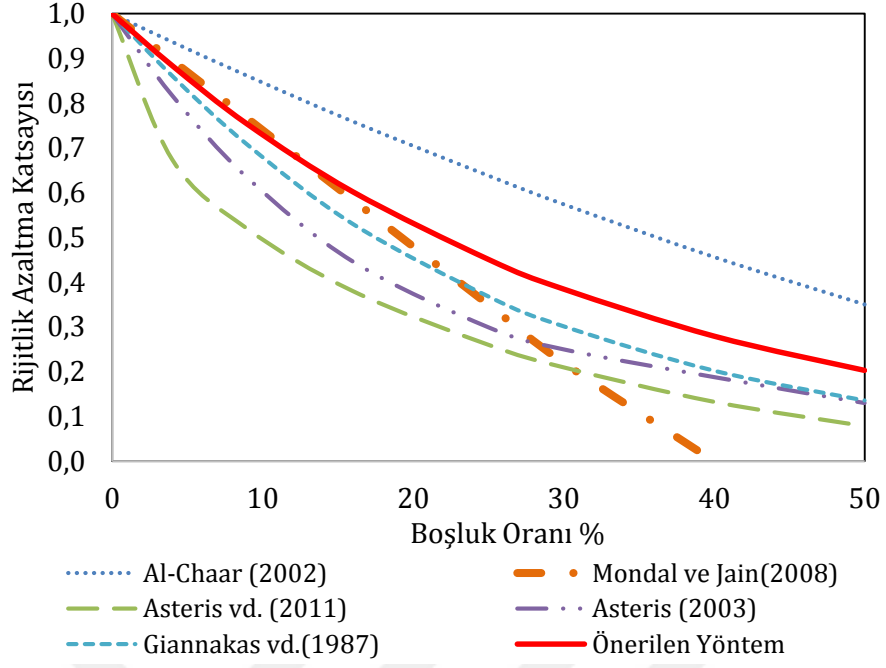
Çizelge 6.3 'te verilen rijitlik azaltma katsayısı ( $\alpha$ ) değerlerinin boşluk oranına bağlı olarak değişimi ve aralarındaki ilişki formülü Şekil 6.2 'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Rijitlik azaltma katsayısı ile boşluk oranı ilişkisi

Dolgu duvarda farklı boşluk oranlarına sahip betonarme çerçeve deneylerinden elde edilen rijitlik azaltma katsayıları (Şekil 6.2), tam dolu dolgu duvarı temsil eden diyagonal eşdeğer basınç çubuğunun kesit boyutlarına uygulanarak azaltma sağlanmıştır.

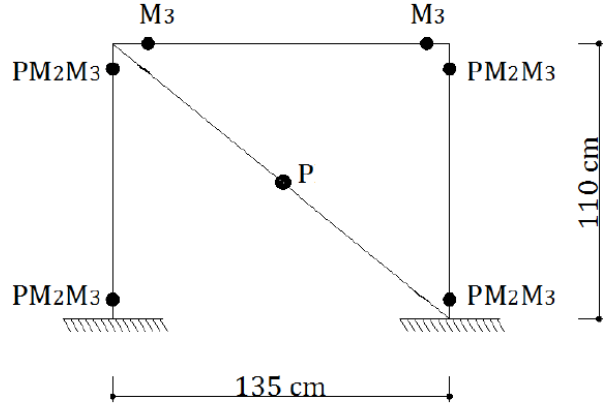
Çalışma kapsamında boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için önerilen rijitlik azaltma katsayıları, dolgu duvar üzerindeki boşluk oranına bağlı olarak Şekil 6.3 ' de literatürdeki bazı yöntemlerle kıyaslamalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.3. Boşluklu dolgu duvarlı çerçevede rijitlik azaltma faktörlerinin karşılaştırılması

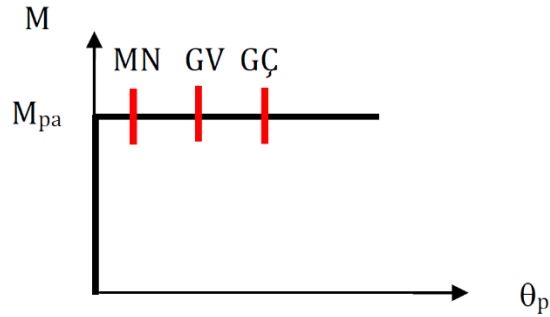
## 6.2. Önerilen Rijitlik Azaltma Katsayısının İncelenmesi

Çalışma kapsamında önerilen azaltma katsayılarının geçerliliğinin kanıtlanabilmesi için deney numuneleri SAP 2000 programı ile modellenerek doğrusal olmayan statik çözümlemeleri yapılmıştır. Bunun için kolon elemanlara  $PM_2M_3$ , kiriş elemanlara  $M_3$ , dolgu duvara ise P eksenel yük mafsalı atanmıştır (Şekil 6.4). Dolgu duvara atanacak eksenel yük mafsalı ile ilgili literatürde farklı yöntem ve kabuller mevcuttur. Tam dolu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve deney numunesine ait oluşturulan bilgisayar modeli üzerinde bu yöntemlerden bazıları uygulanarak gerekli kıyaslamalar yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile literatürdeki modelden yararlanarak basitleştirilmiş bir dolgu duvar mafsalı modeli önerilmiştir.



Şekil 6.4. Deney çerçevesine atanan mafsallar

Kolon ve kiriş elemanlara ait mafsallar BESAM programı yardımıyla tanımlanmıştır. BESAM programı ile, kesite ait moment eğrilik ilişkisinden yararlanarak moment dönme ilişkisi elde edilir. Plastik şekil değiştirme bölge uzunluğu ( $L_p$ ), elemanın çalışan doğrultusundaki kesit boyutu ( $h$ ) nin yarısına eşit olarak dikkate alınmıştır ( $L_p=0.5 \times h$ ). DBYBHY 2007’de tanımlanan kesitin hasar sınırları BESAM programı tarafından hesaplanarak plastik mafsal üzerine tanımlanmıştır (Şekil 6.5).

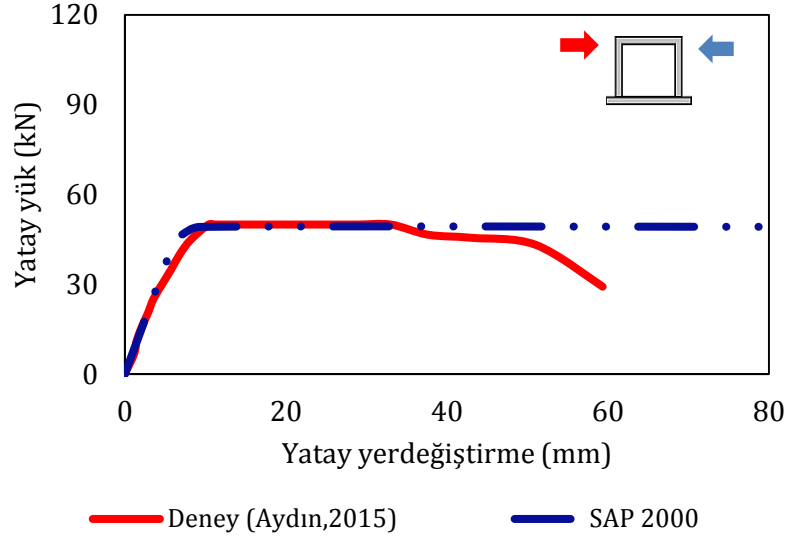


Şekil 6.5. Sınır değerlerin moment dönme ilişkisi üzerinde gösterilmesi

### 6.2.1. Boş çerçeve

Burada öncelikle boş çerçeve modelinin doğrusal olmayan çözümlemeleri yapılarak kolon ve kiriş mafsal atamalarının uygunluğu test edilmiştir. Boş çerçeve için oluşturulan SAP 2000 modeli sonucunun deney sonucu ile

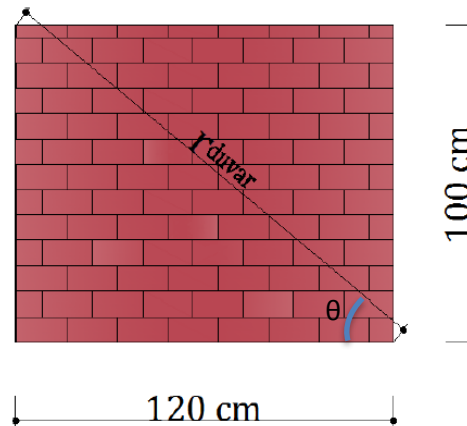
kıyaslanması Şekil 6.6 'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde sonuçların birbiri ile oldukça uyumlu olduğu görülebilir.



Şekil 6.6. Boş çerçeve için deney ve SAP2000 kapasite eğrilerinin kıyaslanması

### 6.2.2. Tam dolu dolgu duvarlı çerçeve

Dolgu duvarı temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun kesitinin ve eksenel yük mafsallıklarının belirlenebilmesi için dolgu duvara ait mekanik özelliklerin bilinmesi gerekir. Hesaplamalarda dikkate alınan duvar modeli Şekil 6.7' de görülmektedir.



Şekil 6.7. Dolgu duvar basınç çubuğunun diyagonal uzunluğu (Akyürek 2014)

Çalışma kapsamında betonun elastisite modülü ( $E_c$ ) ortalama olarak 28500 MPa, dolgu duvara ait basınç dayanımı ( $f_{duvar}$ ) 5 MPa, dolgu duvar kalınlığı ( $t_{duvar}$ ) 120 mm, dolgu duvar yüksekliği ( $h_{duvar}$ ) 1000 mm olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarın elastisite modülü ise Denklem (6.1) ile hesaplanmıştır. Dolgu duvar eşdeğer sanal basınç çubuğunun kalınlığı ( $a_{duvar}$ ), Denklem (5.1) kullanılarak 173 mm olarak elde edilmiştir.

$$E_{duvar} = 550 \times \sqrt{f_{duvar}} \quad (\text{FEMA 306}) \quad (6.1)$$

Dolgu duvarda tanımlanacak eksenel yük mafsali için literatürde önerilen çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda sunulmuştur. Burada tanımlanan farklı eksenel yük mafsali modelleri, boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunesine ait oluşturulan SAP 2000 modeli üzerinde tanımlanarak çözümlemeler yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanarak yöntemler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

#### **6.2.2.1. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsali modeli (Akyürek, 2014)**

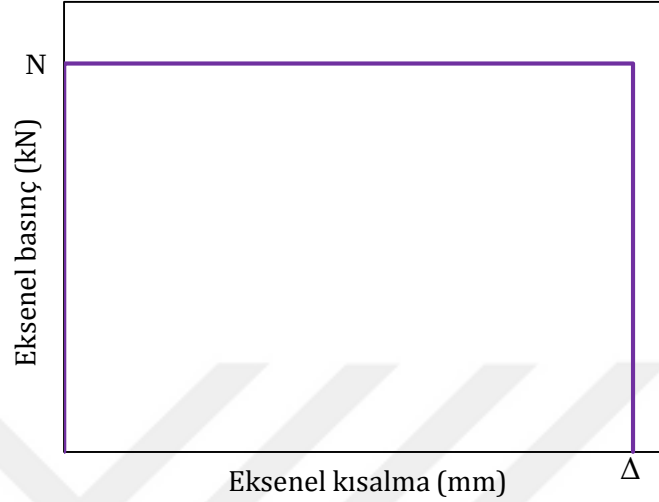
Akyürek (2014) çalışmasında dolgu duvarı temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için uyguladığı eksenel yük mafsali özelliklerini, dolgu duvarın basınç özelliklerini kullanarak ve temel mukavemet formüllerinden yararlanarak belirlemiştir. Diyagonal çubuğun belli bir eksenel kısalmaya ulaştığında tamamen yük taşıyamaz olduğunu kabul etmiştir (Şekil 6.8). Burada dolgu duvara ait kesit alanı ( $A$ ) Denklem (6.2), eksenel yük kapasitesi ( $N$ ) Denklem (6.3) ve eksenel kısalma kapasitesi ( $\Delta$ ) ise Denklem (6.4) ile hesaplanmıştır.

$$A = a_{duvar} \times t_{duvar} \quad (6.2)$$

$$N = f_{duvar} \times A \quad (6.3)$$

$$\Delta = (N \times L) / (E_{duvar} \times A) \quad (6.4)$$

Burada L, dolguyu temsil eden eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğunu ifade etmektedir. Hesaplamalar sonucunda dolgu duvara ait eksenel basınç kapasitesi (N) 103.6 kN, eksenel kısalma değeri ( $\Delta$ ) ise 3.4 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.8. Dolgu duvar mafsallık özellikleri (Akyürek 2014)

#### 6.2.2.2. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsallık modeli (Sevil vd., 2010)

Sevil vd. (2010) çalışmasında dolgu duvarı temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için uyguladığı eksenel yük mafsallık hesabında, dolgu duvarın basınç etkisindeki değerlerini kullanmıştır. Diyagonal çubuğun üstündeki yükün, akma sınırına kadar doğrusal olarak arttığı, akma sınırından sonra da doğrusal olarak azaldığı kabul edilmiştir (Şekil 6.9). Sıvanmış ve sıvanmamış dolgu duvarın sınır eksenel birim kısalması için farklı hesaplamalar kullanmıştır. Yapılan çalışmada deney numuneleri sıvanmış olduğu için mafsallık modelinin tanımlanmasında sıvanmış değerler üzerinden işlem yapılmıştır. Dolgu duvarın elastisite modülü hesabında Denklem (6.1) ifadesi kullanılmıştır. Dolguyu temsil eden eşdeğer basınç çubuğunun eksenel yük taşıma kapasitesi (F), Denklem (6.5); eşdeğer basınç çubuğunun rijitliği ( $k_d$ ), Denklem (6.6); eşdeğer basınç çubuğunun akma birim kısalması ( $\delta_y$ ), Denklem (6.7); sınır birim kısalması ( $\delta_u$ ), ise sıvanmış dolgu duvar için Denklem (6.8), sıvanmamış dolgu duvar için Denklem (6.9) ile hesaplanmaktadır.

$$F = F_{cc} = f_{duvar} \times t_{duvar} \times a_{duvar} \quad (6.5)$$

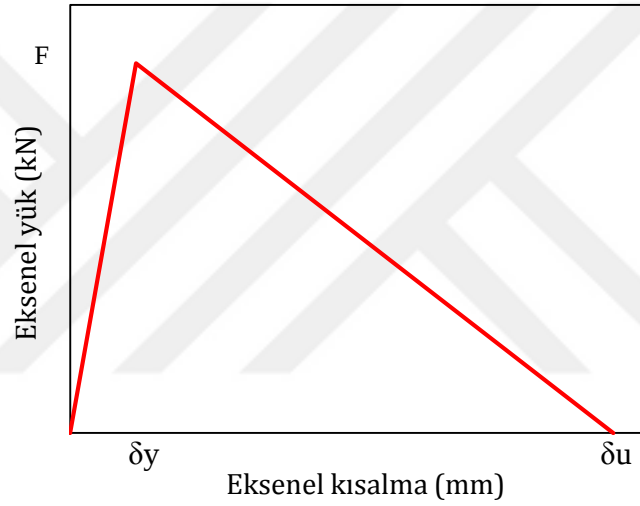
$$k_d = \frac{a_{duvar} \times E_{duvar} \times t_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (6.6)$$

$$\delta_y = \frac{F}{k_d} \quad (6.7)$$

$$\delta_u = 0.020 \times r_{duvar} \text{ (sıvanmış tuğla dolgu duvar)} \quad (6.8)$$

$$\delta_u = 0.015 \times r_{duvar} \text{ (sıvanmamış tuğla dolgu duvar)} \quad (6.9)$$

Hesaplamalar sonucunda mafsallı modeline ait eksenel yük taşıma kapasitesi (F) 103.6 kN, eşdeğer basınç çubuğunun akma birim kısalması ( $\delta_y$ ) 2.84 mm, sınır birim kısalması ( $\delta_u$ ) ise 23.42 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.9. Dolgu duvar mafsallı özellikleri (Sevil vd. 2010)

### 6.2.2.3. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsallı modeli (Panagiotakos ve Fardis, 1996)

Panagiotakos ve Fardis (1996) çalışmasında dolgu duvarı temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli üzerine uyguladığı eksenel yük mafsallı hesabında; dolgu duvarın çekme dayanım değerlerini kullanmıştır. Dolgu duvara ait mafsallı modeli üç aşamalı olarak dikkate almıştır. Burada ilk olarak dolgu duvarın başlangıç kayma davranışı, ardından dolgu duvarın çerçeveden ayrıldıktan sonraki davranışı, son olarak dolgu duvarın zayıflama davranışı temsil edilmiştir (Şekil 6.10). Dolgu duvarın elastisite modülü ( $E_{duvar}$ ) Denklem

(6.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Mafsal modelinde dolgu duvara ait kayma modülü ( $G_w$ ), elastisite modülünün ( $E_{duvar}$ ) 0.4 katı olarak dikkate alınmıştır (Celarec vd., 2012; Kakaletsis vd., 2011; Uva vd., 2012; Kızıloğlu, 2006). Çalışma kapsamındaki modellemelerde dolgu duvarın çekme dayanımı ( $f_{tp}$ ) 0.54 MPa alınmıştır (Jinya ve Patel, 2014). Dolgu duvarın başlangıç rijitliği ( $K_1$ ), Denklem (6.10); eksenel rijitliği ( $K_2$ ), Denklem (6.11) ile hesaplanmaktadır. Zayıflama rijitliği, ( $K_3$ ) ise Denklem (6.12)'de görüldüğü gibi verilen aralıkta uygun bir değer olarak seçilebilir.

$$K_1 = \frac{G_w \times t_{duvar} \times L_{duvar}}{h_{duvar}} \quad (6.10)$$

$$K_2 = \frac{E_{duvar} \times a_{duvar} \times t_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (6.11)$$

$$K_1 0.005 \leq K_3 \leq 0.1 K_1 \quad (6.12)$$

Dolgu duvar akma yükü ( $F_y$ ), Denklem (6.13); dolgu duvar maksimum yükü ( $F_m$ ), Denklem (6.14) ile hesaplanmaktadır. Dolgu duvar kalıcı yükü ( $F_r$ ) ise Denklem (6.15) 'de görüldüğü gibi verilen aralıkta uygun bir değer olarak seçilebilir.

$$F_y = f_{tp} \times t_{duvar} \times L_{duvar} \quad (6.13)$$

$$F_m = 1.3 \times F_y \quad (6.14)$$

$$0 \leq F_r \leq 0.1 F_y \quad (6.15)$$

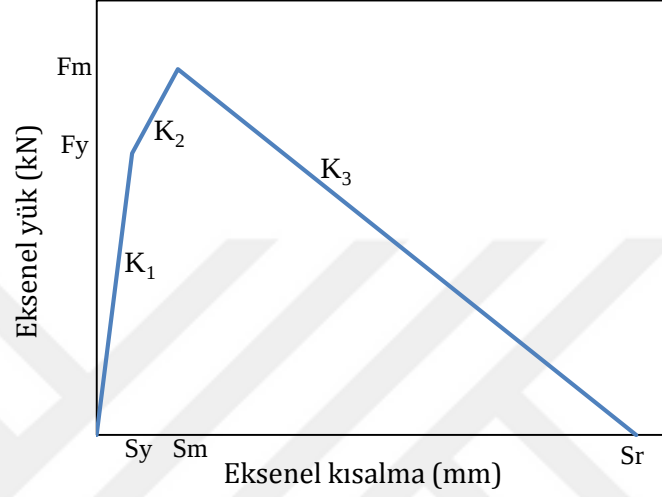
Dolgu duvarın akma yükü seviyesindeki yerdeğiştirmesi ( $S_y$ ), maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmesi ( $S_m$ ) ve ( $S_r$ ) sırasıyla Denklem (6.16), Denklem (6.17) ve Denklem (6.18) ile hesaplanabilir.

$$S_y = \frac{F_y}{K_1} \quad (6.16)$$

$$S_m = S_y + \frac{F_m - F_y}{K_2} \quad (6.17)$$

$$S_r = S_m + \frac{F_m - F_r}{K_3} \quad (6.18)$$

Tam dolu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve deney numunesinde tanımlanan dolgu duvar mafsalsal modeline ait  $F_y$ ,  $F_m$  ve  $F_r$  değerleri sırasıyla 77.8 kN, 101.1 kN, 0 kN olarak;  $S_y$ ,  $S_m$  ve  $S_r$  değerleri ise yine sırayla 0.5 mm, 1.1 mm ve 7.5 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.10. Dolgu duvar mafsalsal özellikleri (Panagiotakos ve Fardis, 1996)

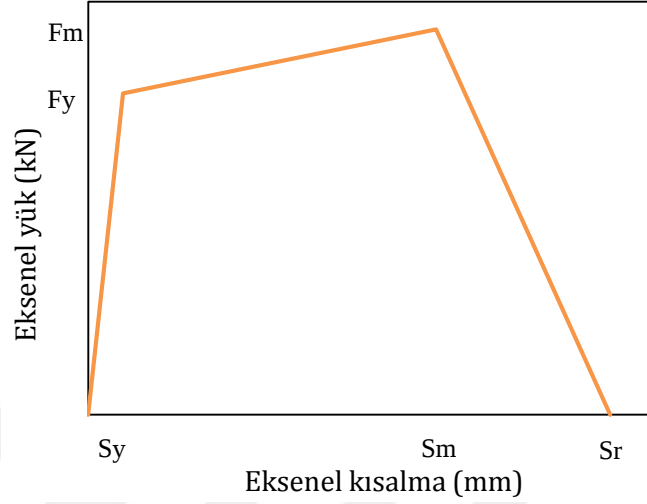
#### 6.2.2.4. Dolgu duvara ait eksenel yük mafsalsal modeli için önerilen yöntem

Tez çalışması kapsamında önerilen mafsalsal modelinde; Panagiotakos ve Fardis (1996) çalışmasında kullanılan modelde belirtilen ifadelerde bazı düzenlemeler yapılarak bilgisayar model sonuçlarının deney sonuçları ile daha uyumlu olması sağlanmıştır. Önerilen mafsalsal modelinde, Panagiotakos ve Fardis (1996) mafsalsal modelinden farklı olarak aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır (Şekil 6.11).

Dolgu duvar maksimum yükünün ( $F_m$ ), dolgu duvar akma yükü ( $F_y$ ) ile 1.2 katsayısının çarpılmasıyla ve dolgu duvar kalıcı yükünün ( $F_r$ ) sıfır olarak dikkate alınması önerilmiştir.

Dolgu duvarın maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmesinin ( $S_m$ ) ve göçme yüküne karşılık gelen yerdeğiştirmesinin ( $S_r$ ) sırasıyla akma yükü seviyesindeki

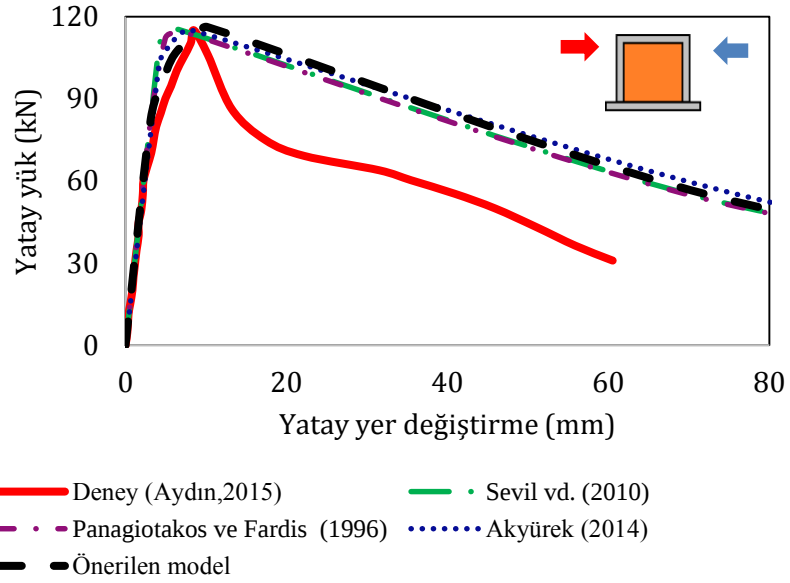
yerdeğiştirme ( $S_y$ ) değerinin 10 ve 15 katı olarak dikkate alınması tavsiye edilmiştir. Mafsal hesabında kullanılacak diğer tüm özellikler Panagiotakos ve Fardis (1996) modeline göre belirlenecektir.



Şekil 6.11. Dolgu duvar mafsalı için önerilen model

#### 6.2.2.5. Farklı dolgu duvar mafsal modelleri için sonuçların kıyaslanması

Dolgu duvar için literatürde sunulan ve çalışma kapsamında önerilen eksenel yük mafsal modellerinin SAP 2000 analiz programında tanımlanması ve betonarme çerçevenin doğrusal olmayan statik analiz yöntemi kullanılarak çözümlenmesi sonucunda elde edilen kapasite eğrileri, deney sonuçları ile Şekil 6.12’de kıyaslanmıştır. Tüm mafsal modelleri ile elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar dolgu duvar için tanımlanan mafsal özelliklerinin kullanılabilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Mafsal modelleri arasındaki farklılığın, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve çözümleme sonuçları üzerine çok yansımadağı söylenebilir. Ancak burada sınırlı sayıda yapılan çözümleme sonucuna bağılı olarak dolgu duvar mafsal modelinin önemli olmadığı sonucunu çıkarmak doğru değildir. İleride, bu konudaki incelemelerin, üç boyutlu farklı kat adedine ve farklı dolgu duvar yerleşimine sahip betonarme binalar üzerinde de yapılarak genişletilmesi uygun olacaktır.



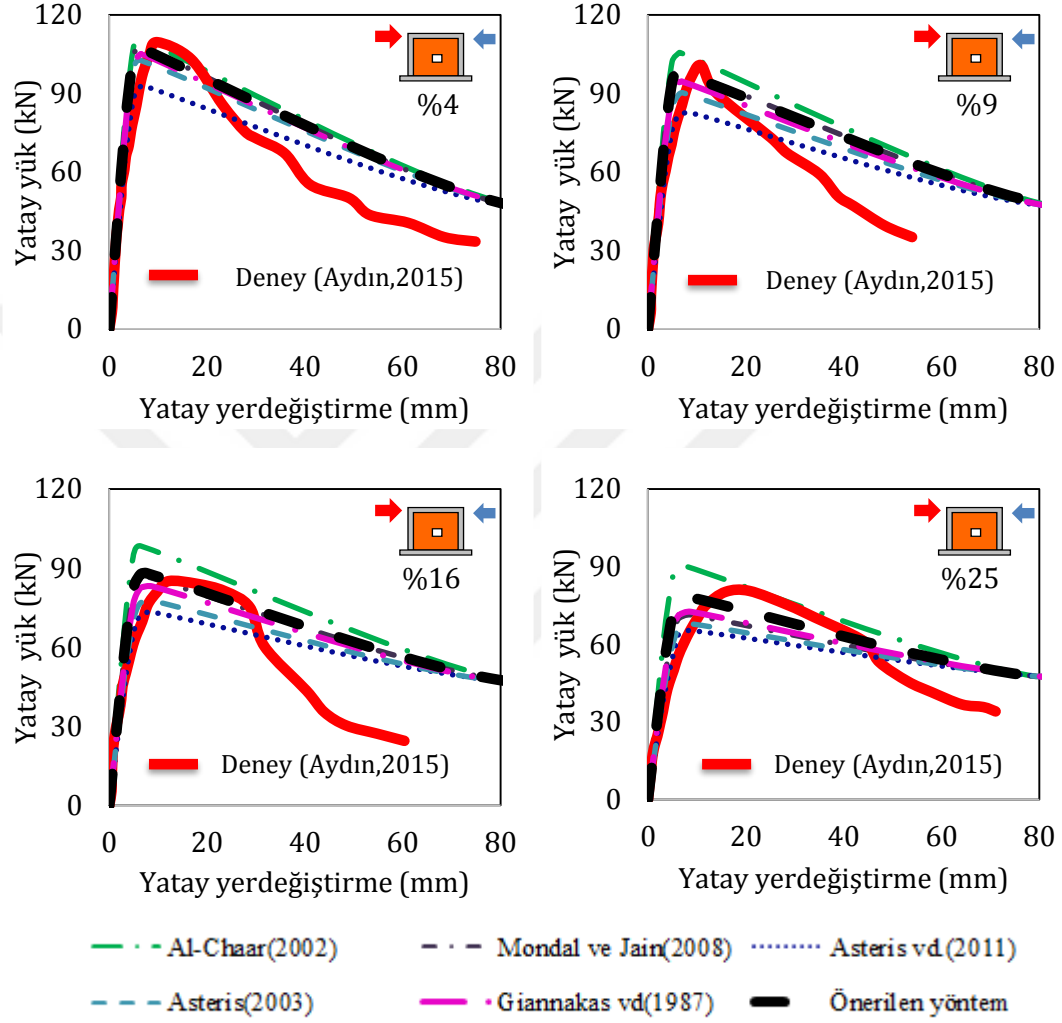
Şekil 6.12. Farklı dolgu duvar mafsallı model sonuçlarının kıyaslanması

### 6.2.3. Boşluklu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve numunelerinin modellenmesi

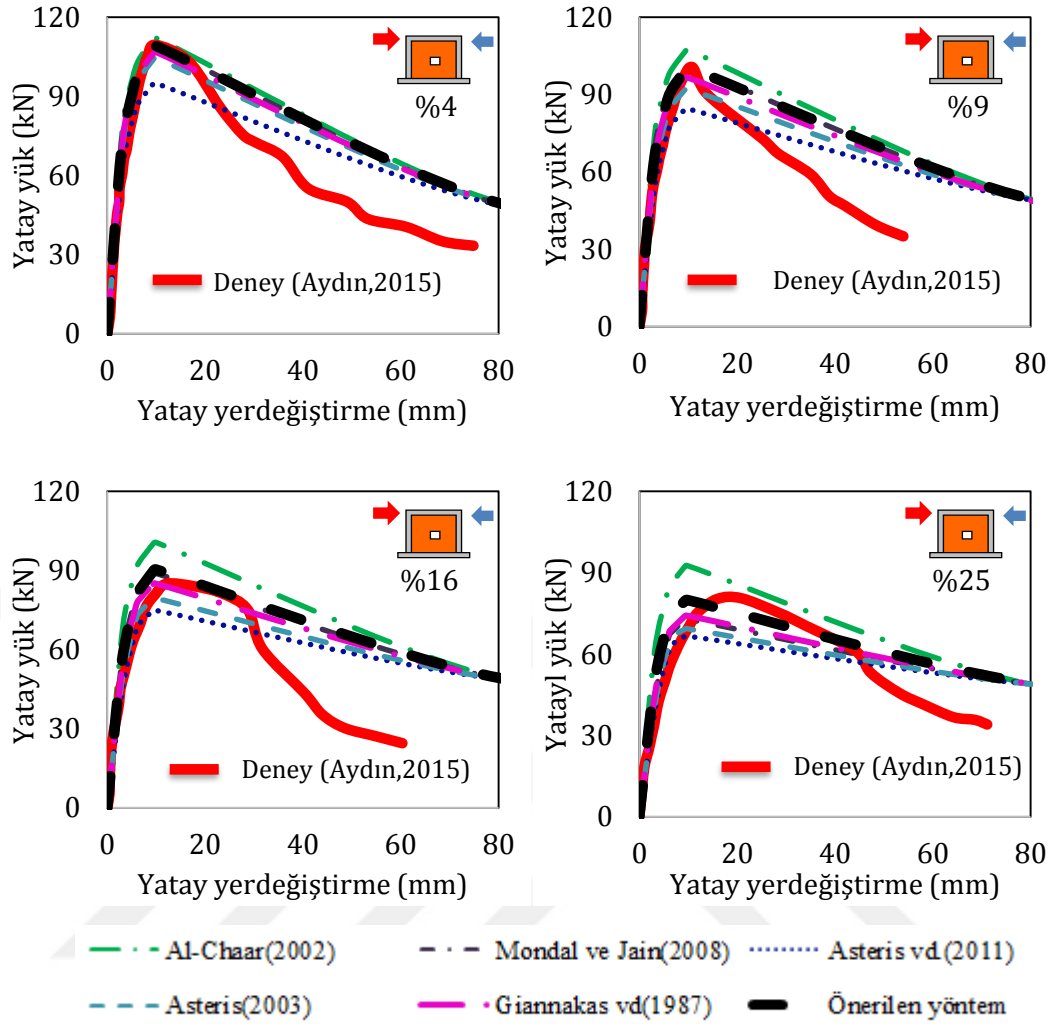
Boş ve tam dolu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve numunelerinin SAP 2000 programı yardımıyla modellenerek çözümlenmesi ile elde edilen sonuçların, deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum, betonarme çerçeveye ve dolgu duvara tanımlanan mafsalların, gerçek davranışı yansıttığını göstermektedir. Bundan sonraki aşamada ise Aydın (2015) tarafından deneyleri yapılan farklı oranlarda boşluğa sahip dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunelerine ait SAP 2000 modelleri oluşturularak doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile çözümlenmeleri yapılmıştır. Burada dolgu duvar mafsallı modeli için Panagiotakos and Fardis (1996) yöntemi ve çalışma kapsamında önerilen yöntem olmak üzere iki farklı model kullanılmıştır.

Boşluklu dolgu duvarın modellenmesi için ise hem literatürdeki yöntemler (Asteris, 2003; Giannakas vd., 1987; Al-chaar, 2002; Mondal ve Jain, 2008; Asteris vd., 2011) hem de çalışma kapsamında önerilen yöntem için çözümlenmeler

yapılmış ve elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Farklı boşluk oranına sahip numuneler için Panagiotakos ve Fardis (1996) dolgu duvar mafsalları modeli kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri Şekil 6.13’de, önerilen mafsalları modeli için elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.14’ de verilmiştir.



Şekil 6.13. Farklı boşluk oranına sahip numuneler için Panagiotakos ve Fardis (1996) dolgu duvar mafsalları modeli kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri



Şekil 6.14. Farklı boşluk oranına sahip numuneler için önerilen dolgu duvar mafsallı modeli kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri

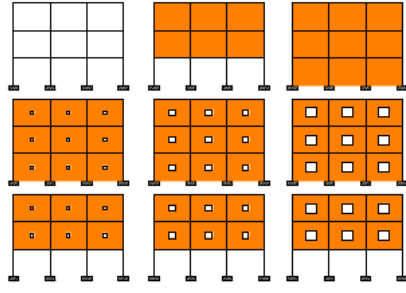
Boşluklu dolgu duvarın modellenmesinde kullanılan yöntemlerin kıyaslanması sonucunda, %4 boşluk oranına sahip deney numunesinde farklı yöntemler uygulanarak elde edilen program sonuçlarının deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak boşluk oranı arttıkça yöntemler arasındaki farklılıkların sonuçlara yansımaları daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Çalışma kapsamında boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılmak üzere önerilen yöntemin (rijitlik azaltma katsayılarının) sonuçlarının deney sonuçları ile kıyaslanması neticesinde oldukça uyumlu olduğu ve hata oranının kabul edilebilir seviyelerde kaldığı söylenebilir.

## 7. ÇERÇEVE MODELLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ

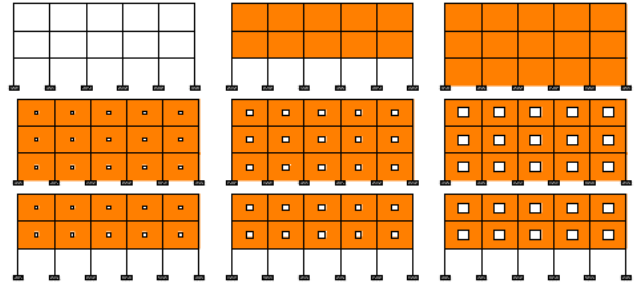
### 7.1. Çerçeve Modellerinin Özellikleri

Çalışma kapsamında yapılan çözümlemelerde kullanılan iki boyutlu çerçeveler üç, beş ve sekiz katlı olarak tasarlanmıştır. Herbir çerçeve modeline ait açıklık sayısı ise üç ve beş olarak seçilmiştir. Dolayısıyla iki boyutlu toplam altı adet çerçeve modeli oluşturulmuştur. Çerçevelere ait açıklık mesafeleri 4m ve kat yükseklikleri ise 3m olarak seçilmiştir. Her kat seviyesinde rijit diyafram etkisi dikkate alınmıştır. Modellerin Z4 yerel zemin sınıfı ve 1. derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilmiştir. Bina türü konut olarak dikkate alınmıştır.

Oluşturulan çerçeve modellerinin tüm katlarında dolgu duvarın bulunduğu ve dükkan katını temsil etmesi açısından en alt katta dolgu duvarın bulunmadığı durumları için ayrı ayrı çözümlemeler yapılmıştır. Bu çerçeve modelleri betonarme konut türü bir binanın dış aksı olarak düşünüldüğünden dolgu duvarlar, tam dolu yanında %3, %10 ve %20 merkezi boşluk oranları içinde oluşturulmuştur. Burada belirtilen boşluk oranları; dolgu duvar alanının (dolgu duvar uzunluğu  $\times$  dolgu duvar yüksekliği) boşluk alanına (boşluk genişliği  $\times$  boşluk yüksekliği) oranını ifade etmektedir. Kiriş elemanlara dolgu duvar yükü düzgün yayılı yük olarak, döşeme yükü ise üçgen yayılı yük olarak modellenmiştir. Dolgu duvar yükü 8.7 kN/m, döşeme sabit ve hareketli yükü sırasıyla 9.8 , 4 kN/m<sup>2</sup> olarak seçilmiştir. Oluşturulan üç katlı çerçeve modelleri Şekil 7.1’de, beş katlı çerçeve modelleri Şekil 7.2’de ve sekiz katlı çerçeve modelleri ise Şekil 7.3’te verilmiştir.

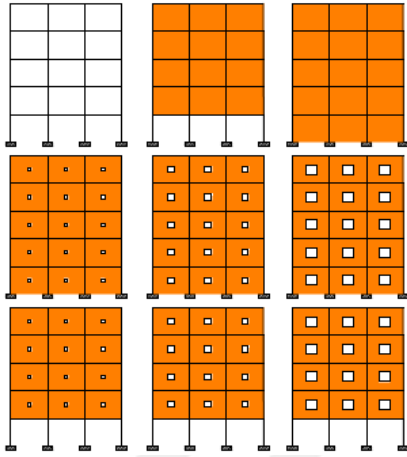


(a) 3 açıklıklı modeller

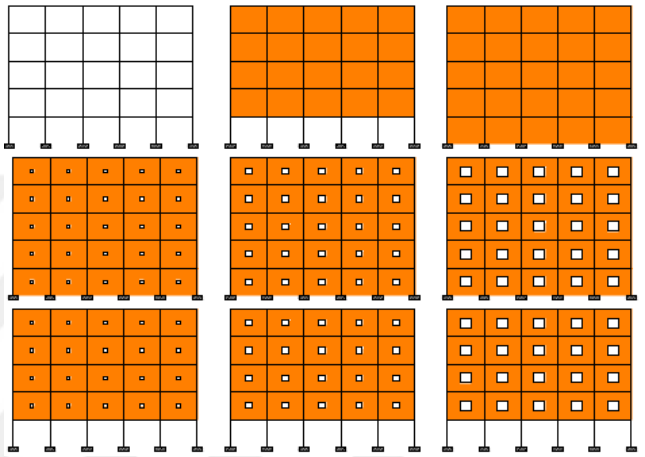


(b) 5 açıklıklı modeller

Şekil 7.1. Üç katlı çerçeve modeller

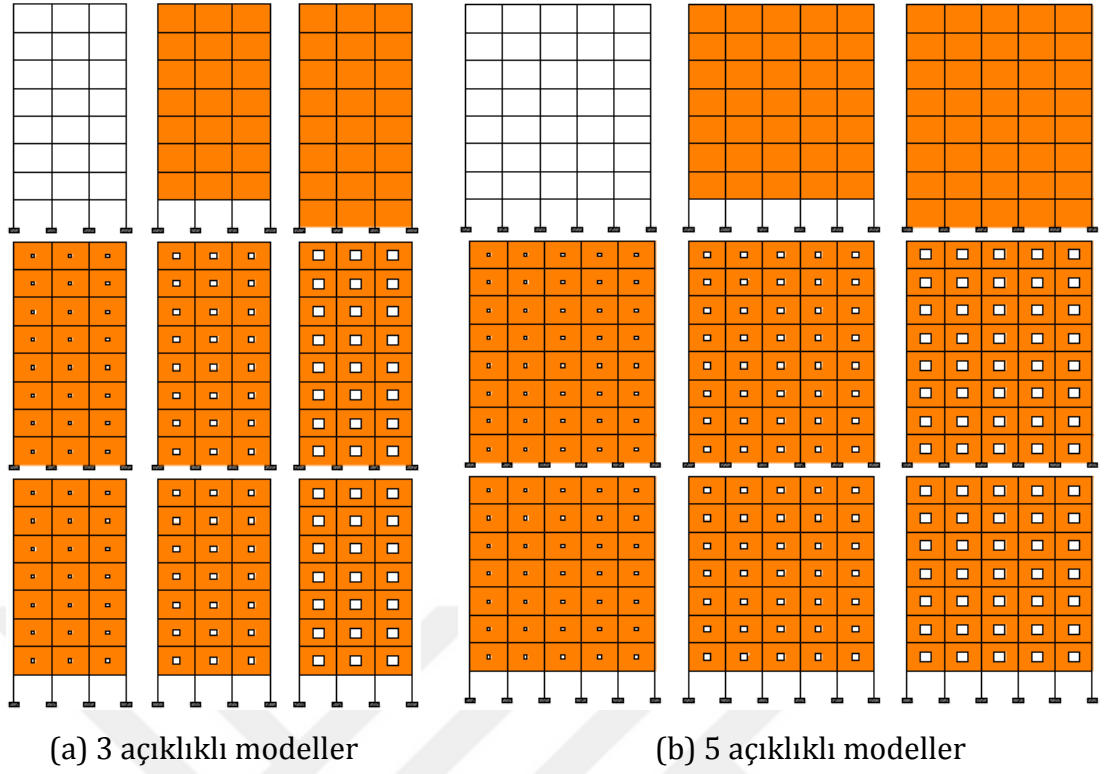


(a) 3 açıklıklı modeller



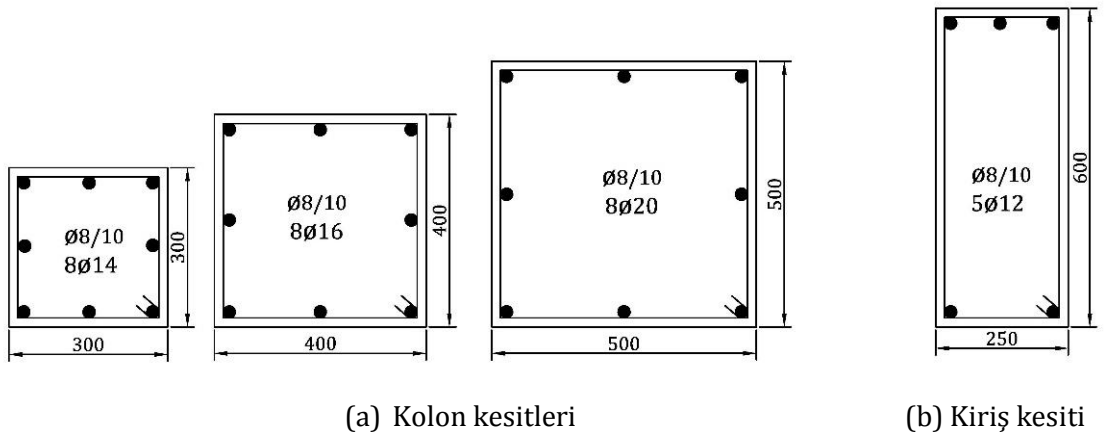
(b) 5 açıklıklı modeller

Şekil 7.2. Beş katlı çerçeve modeller



Şekil 7.3. Sekiz katlı çerçeve modeller

Kolon boyutları; 3 katlı çerçevelerde 300×300 mm, 5 katlı çerçevelerde 400×400 mm, 8 katlı çerçevelerde 500×500 mm olarak kullanılmıştır. Tüm modellerde, kiriş boyutları 250×600 mm, beton basınç dayanımı 20MPa ve donatı akma dayanımı 420 MPa olarak dikkate alınmıştır. Kolon elemanlara ait donatı oranı %1-1.2 arasında kullanılmıştır. Kolon ve kiriş elemanlara ait kesit özellikleri Şekil 7.4' te verilmiştir



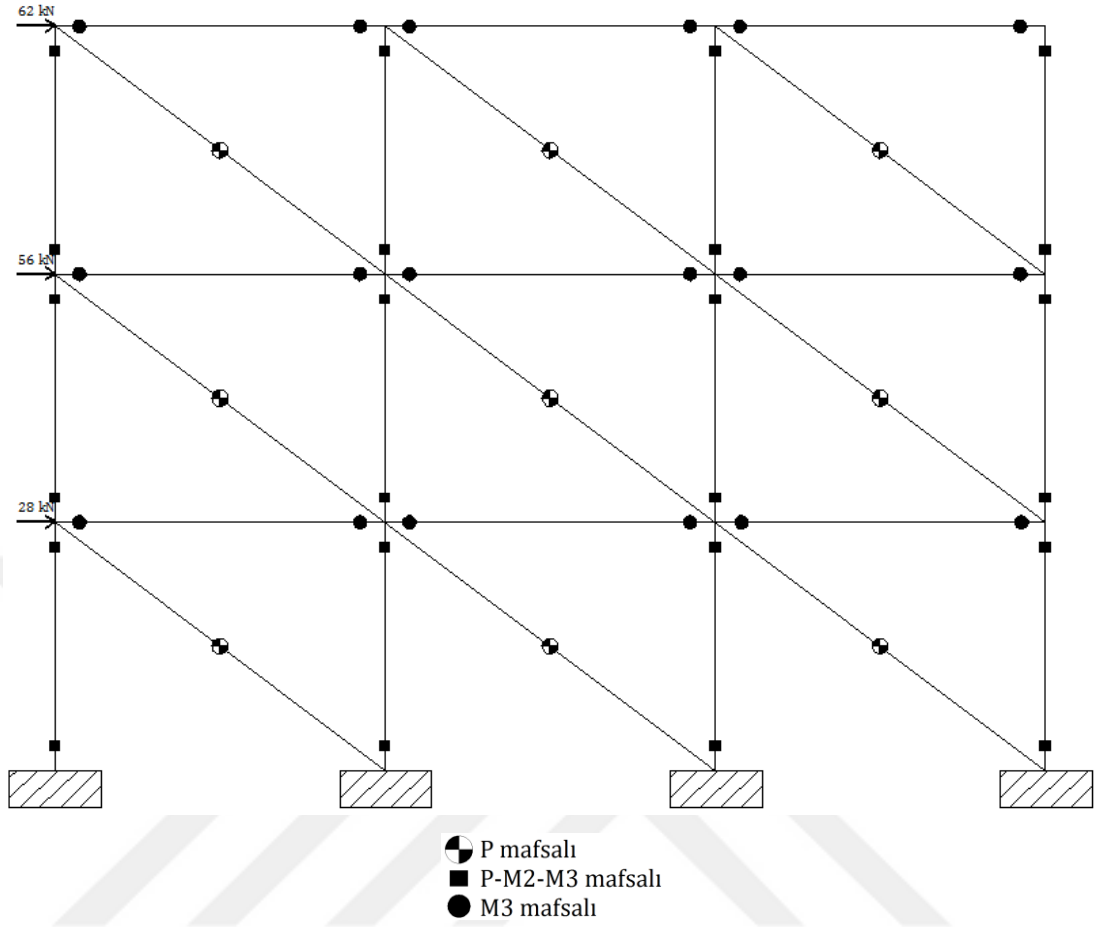
Şekil 7.4. Kolon ve kiriş elemanlara ait kesit özellikleri

## 7.2. Çerçeve Modellerine Ait Performans Değerlendirmesi

Oluşturulan çerçeve modellerinin performans seviyeleri; doğrusal elastik olmayan yöntemler arasından “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi” yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan çözümlemelerde bilgi düzeyi kapsamlı olarak dikkate alınmıştır. İki boyutlu çerçeve modelleri, düşey yükler altında kütlelerle uyumlu olarak doğrusal olmayan statik analiz çözümlemesinin ardından adım adım artan yatay yük altında artımsal itme analizi ile çözümlenmiştir.

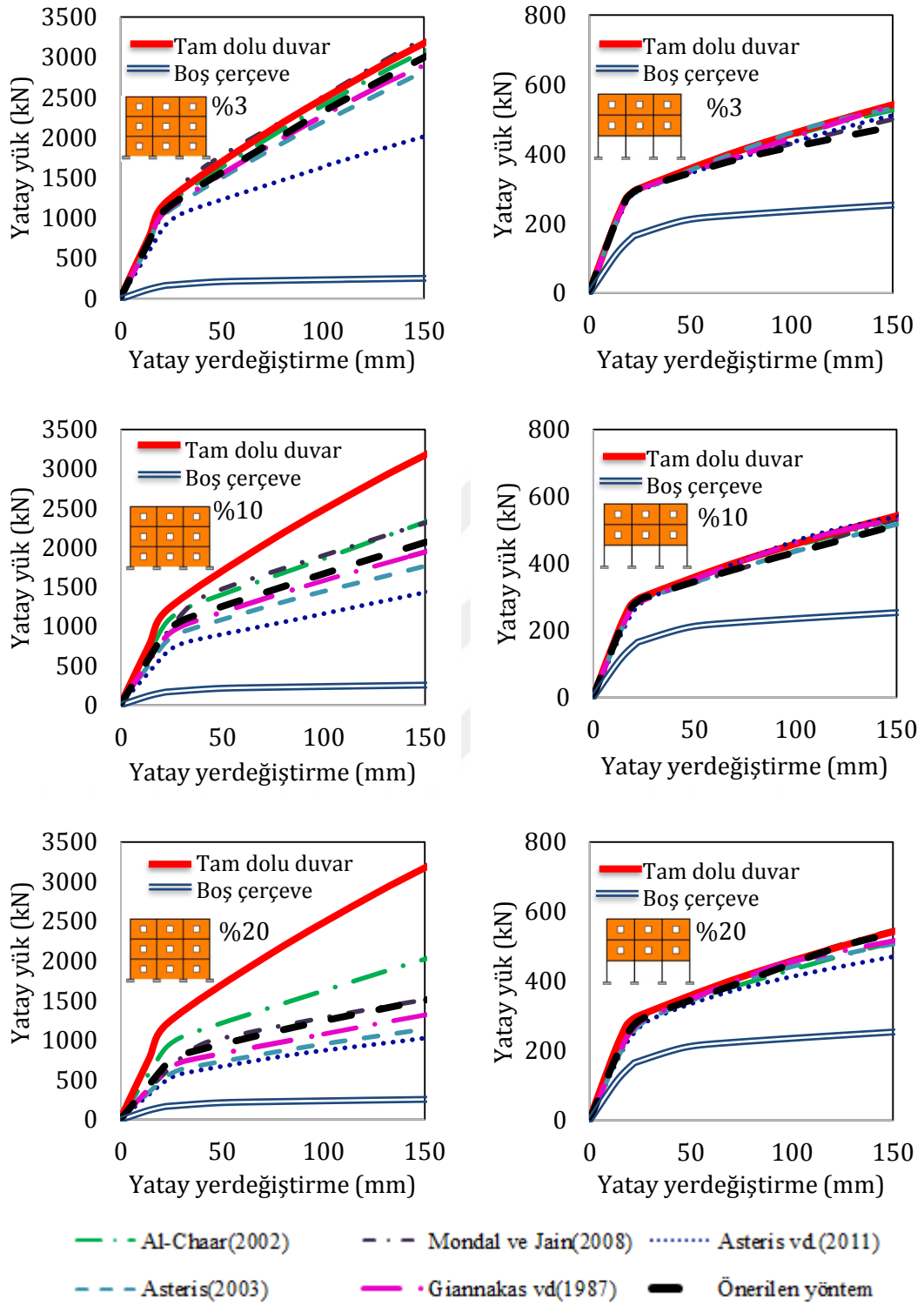
Doğrusal elastik olmayan hesap yönteminin uygulanabilmesi için taşıyıcı sistem elemanlarına plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekir. Kolon ve kirişlerin mafsallık tanımlanmasında DBYBHY 2007’ de önerilen yığılı plastik davranış modelini kullanan BESAM yazılımı kullanılmıştır. Kolon elemanlara PM<sub>2</sub>M<sub>3</sub> mafsallık, kiriş elemanlara ise M<sub>3</sub> mafsallık atanmıştır. Kolon ve kirişlerin mafsallık boyu çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı olarak dikkate alınmıştır.

Dolgu duvarlar, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Dolgu duvar üzerine eksenel yük mafsallık tanımlanmıştır. Çerçeve çözümlemelerinde mafsallık modeli olarak sadece Panagiotakos ve Fardis (1996) tarafından önerilen model dikkate alınmıştır. Çerçeve modeline ait mafsallık tanımlaması örnek olması açısından üç katlı üç açıklıklı çerçeve modeli için Şekil 7.5’te verilmiştir.



Şekil 7.5. Üç katlı üç açıklıklı çerçeve modeline atanan plastik mafsallar

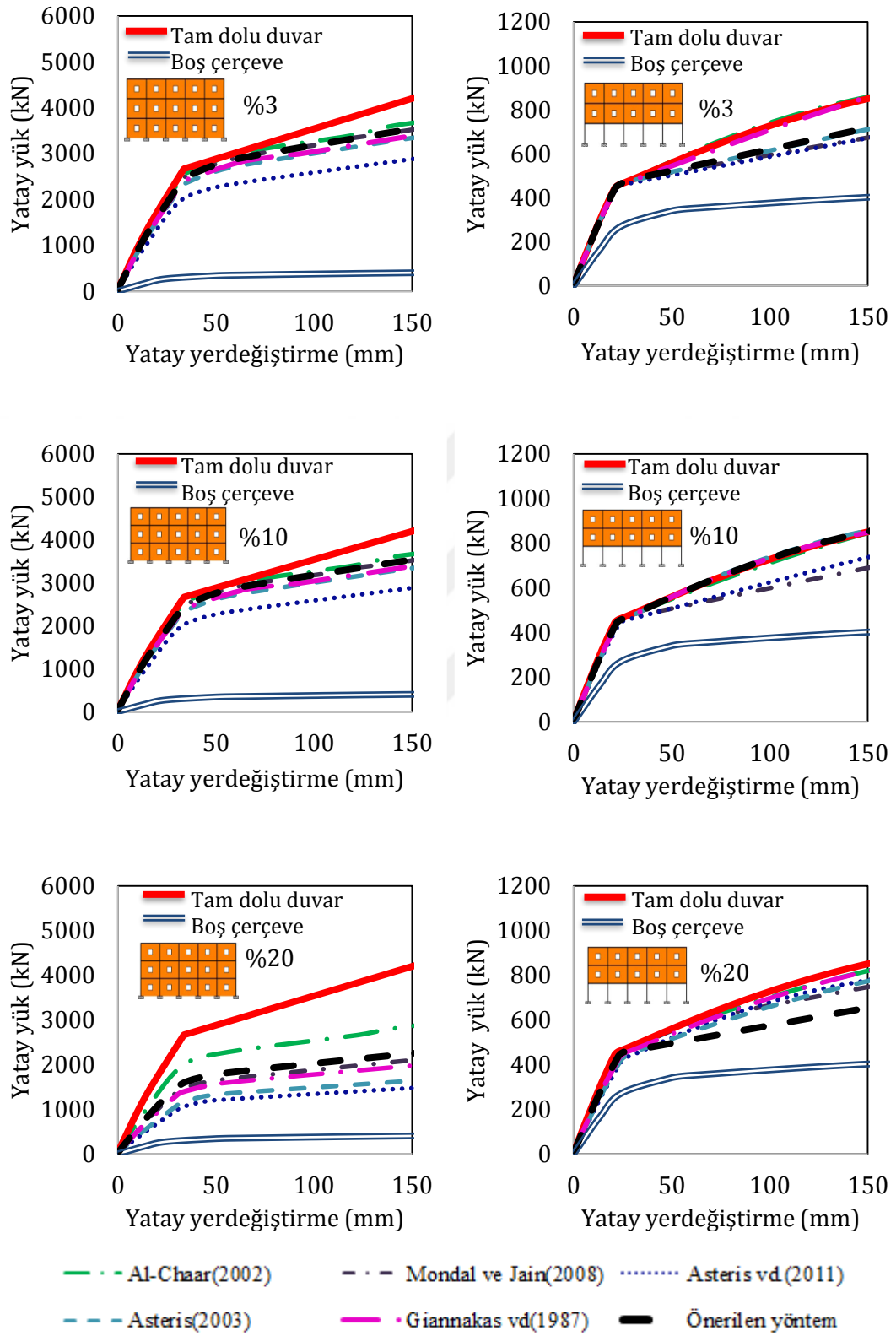
Çerçevelere ait performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için, öncelikle “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi” ile çözümlenerek taban kesme kuvveti – çatı katı yerdeğiştirmesi (kapasite eğrisi) grafiklerinin elde edilmesi gerekir. Burada asıl amaç, boşluk oranına bağlı olarak önerilen farklı rijitlik azaltma katsayılarının çok katlı ve çok açıklıklı çerçeve modellerine uygulanması ve elde edilen sonuçların kıyaslanmasıdır. Bu nedenle, literatürde ve çalışma kapsamında boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için önerilen rijitlik azaltma katsayıları tüm çerçeve modellerine uygulanarak çerçevelere ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Kapasite eğrileri; 3 kat 3 açıklıklı çerçeve için Şekil 7.6’da, 3 kat 5 açıklıklı çerçeve için Şekil 7.7’de, 5 kat 3 açıklıklı çerçeve için Şekil 7.8’de, 5 kat 5 açıklıklı çerçeve için Şekil 7.9’da, 8 kat 3 açıklıklı çerçeve için Şekil 7.10’da, 8 kat 5 açıklıklı çerçeve için ise Şekil 7.11’ de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



(a)Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

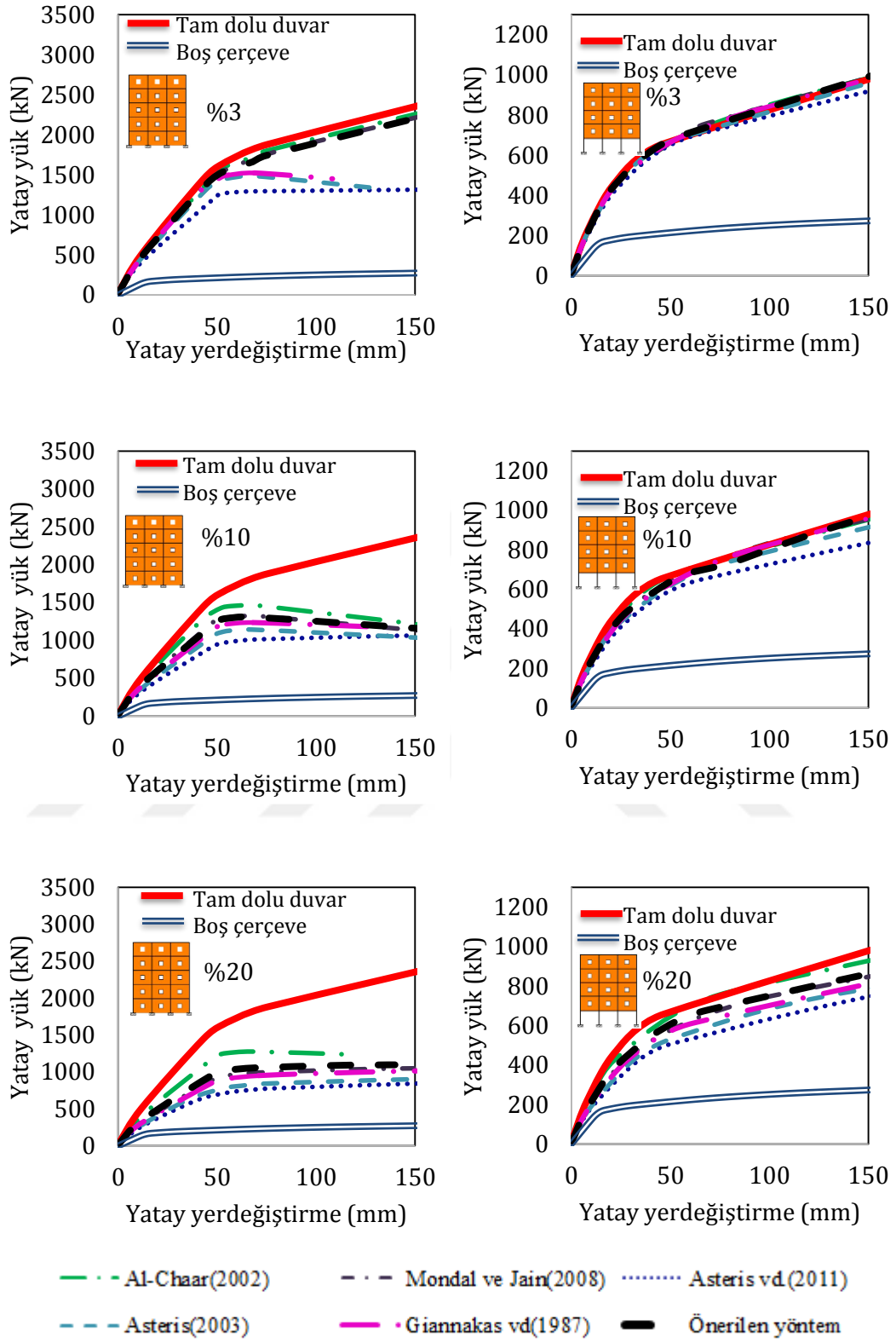
Şekil 7.6. Üç kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

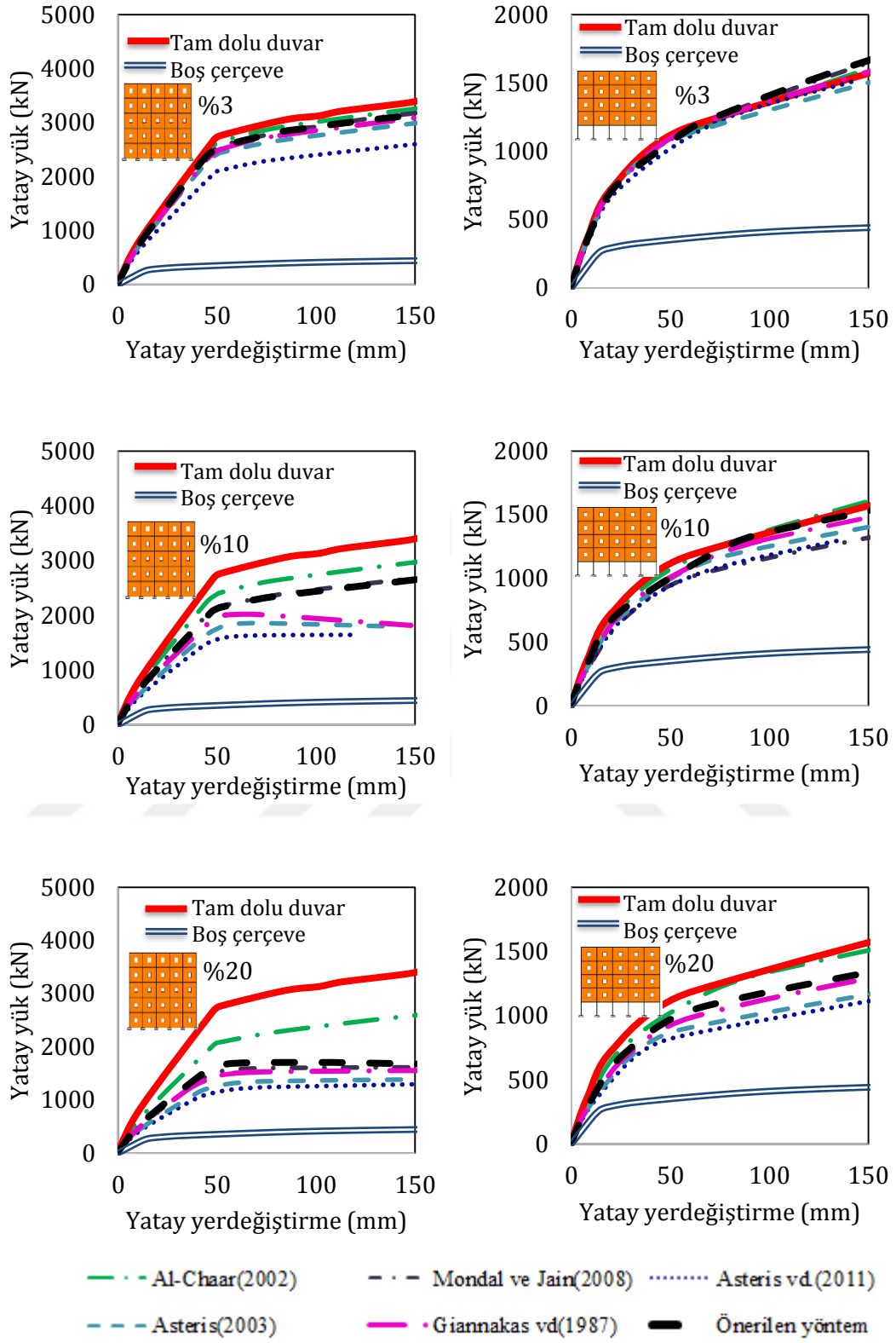
Şekil 7.7. Üç kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

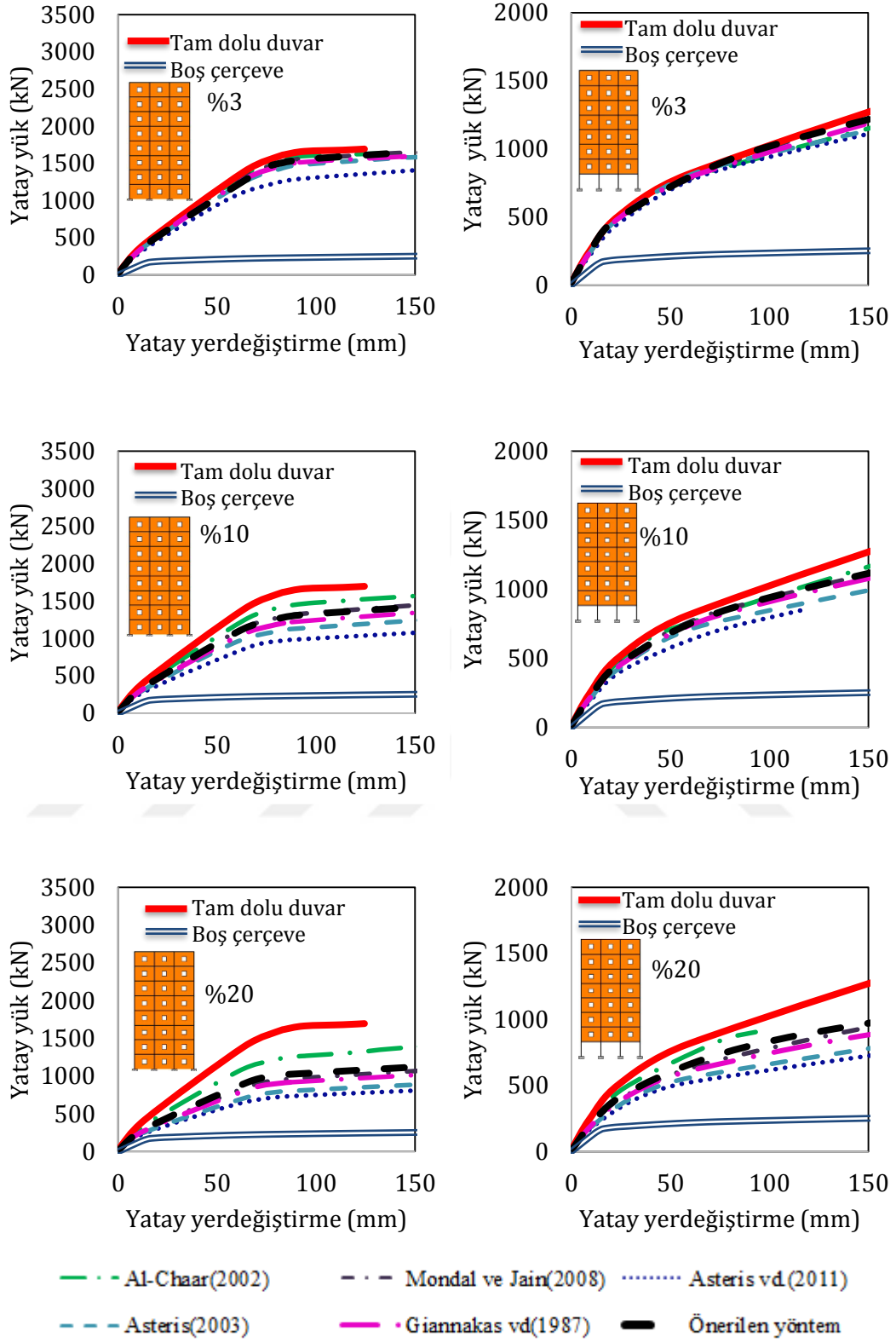
Şekil 7.8. Beş kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

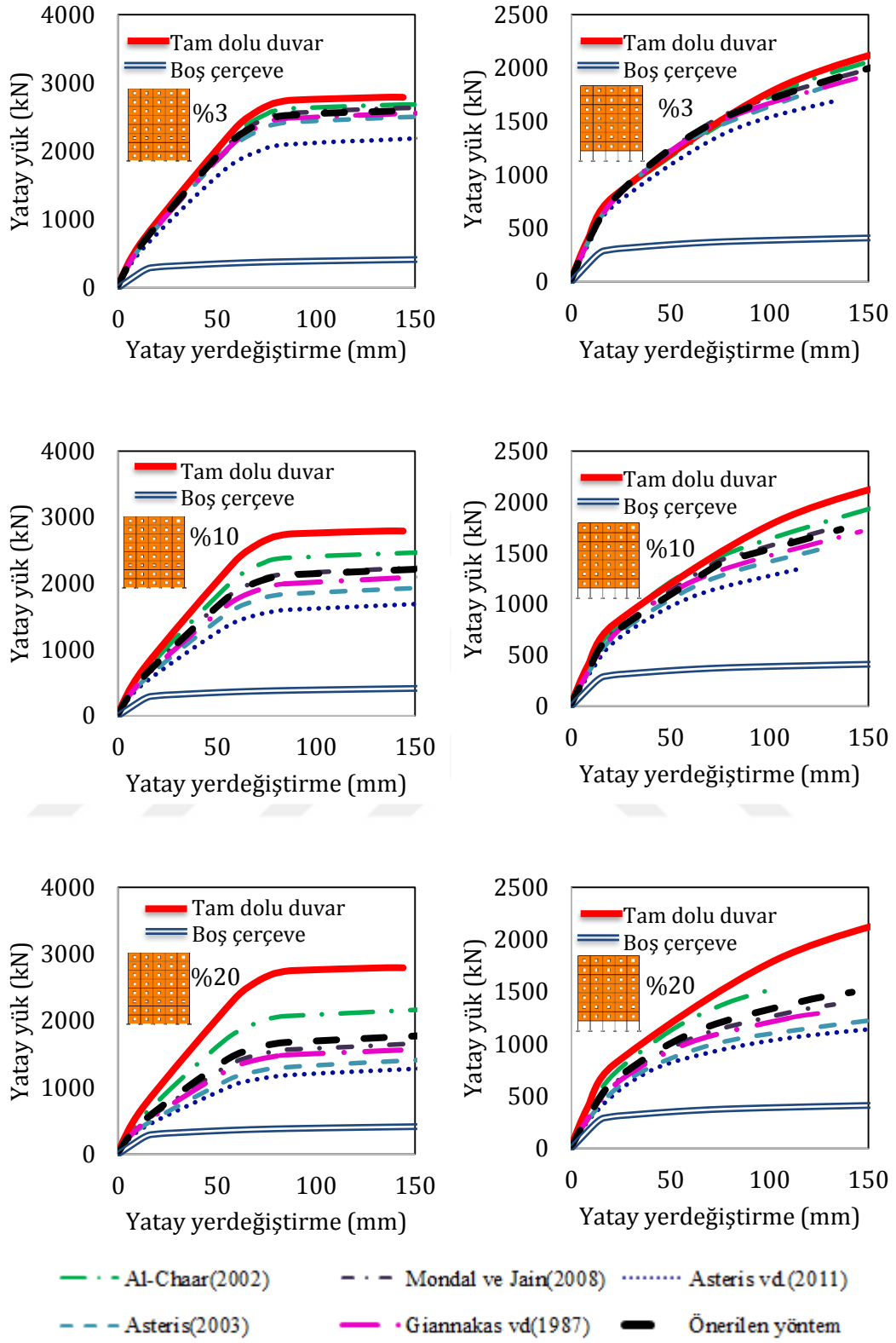
Şekil 7.9. Beş kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

Şekil 7.10. Sekiz kat ve üç açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

Şekil 7.11. Sekiz kat ve beş açıklıklı çerçevelerin kapasite eğrileri

Şekil 7.6 ile Şekil 7.11 arasındaki grafikler incelendiğinde dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırdığı görülmektedir. Özellikle tüm katlarda tam dolu dolgu duvarın bulunması durumunda meydana gelen kapasite artışı, zemin katında dolgu duvar bulunmaması durumuna göre daha fazla olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar gerçek davranışın yapı modeline yansıtılabilmesi için dolgu duvarların yapısal çözümlerinde dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

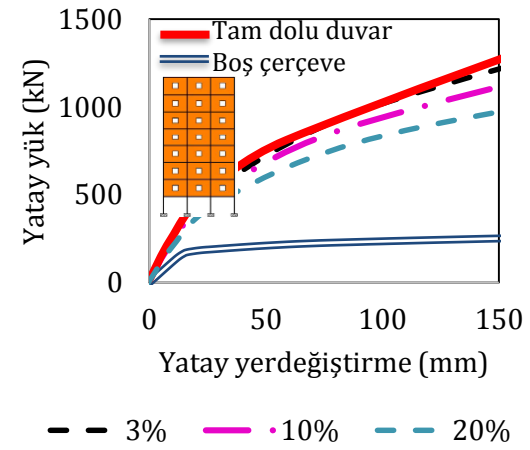
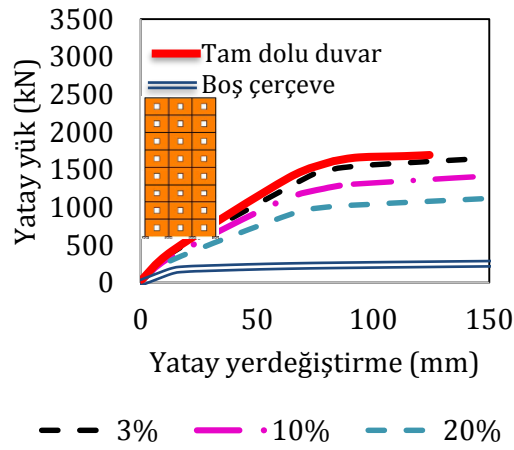
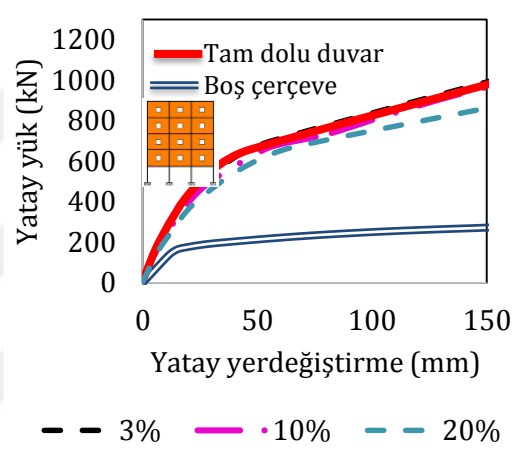
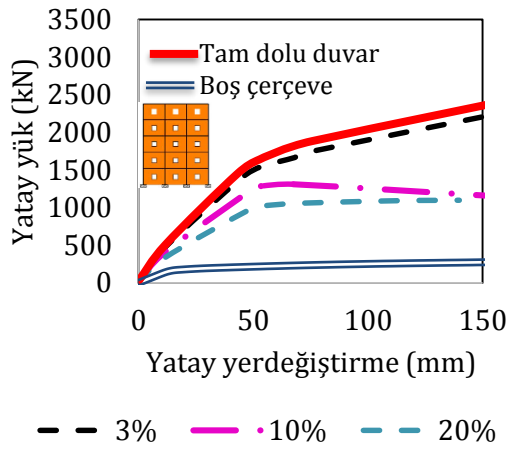
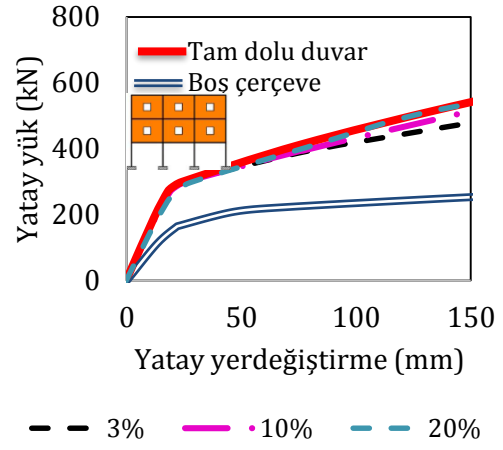
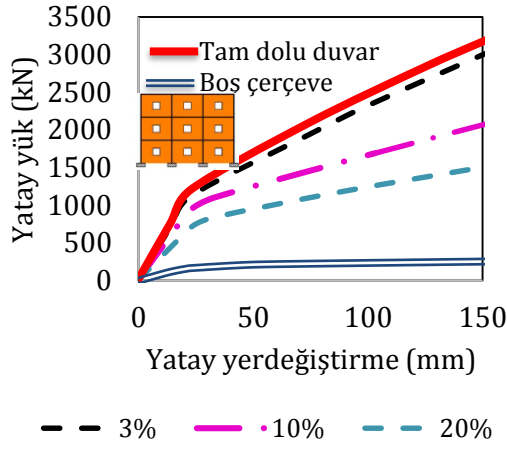
Dolgu duvardaki boşluk oranı arttıkça beklendiği gibi çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Küçük boşluk oranlarını temsil eden %3 boşluk oranına sahip çerçevelerde yatay yük taşıma kapasitesi değerleri, kat adedi ve açıklık sayısından bağımsız olarak tam dolu çerçevenin yatay yük kapasitesi değerlerine yakın olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda %3 boşluk oranı için farklı boşluk azaltma yöntemlerinden elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu, yani yöntem farklılıklarının sonuçlara çok fazla yansımadağı görülebilir. Dolayısıyla dolgu duvar modellemelerinde %3 oranında bulunan boşlukların ihmal edilebileceğı söylenebilir. Ancak boşluk oranının arttığı %10 ve %20 boşluk oranına sahip çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesinde tam dolu çerçeveye oranla önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Ayrıca farklı boşluk modelleme yöntemleri için elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla %10 boşluk oranını aşan modellerde kullanılan boşluk azaltma yönteminin seçimi sonuçlar üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Sonuç olarak, %10 boşluk oranını aşan dolgu duvara sahip betonarme çerçevelerde boşlukların yapısal modellemelerde mutlaka dikkate alınması gerektiğı ve boşluk modelinin seçiminin de sonuçlar üzerinde oldukça etkili olduğu söylenebilir.

Boşluk oranına bağılı olarak önerilen farklı rijitlik azaltma katsayılarından elde edilen sonuçların kıyaslanması sonucunda en düşük kapasite genel olarak Asteris vd. (2011) modelinden elde edilmektedir. Tez çalışması kapsamında literatürdeki deney sonuçlarından yararlanarak önerilen rijitlik azaltma katsayıları kullanılarak hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi değerlerinin,

diğer boşluk modelleme yöntemlerine ait kapasite değerlerinin yaklaşık bir ortalaması olduğu dikkati çekmektedir.

Sadece zemin katta dolgu duvarın bulunmaması durumunda elde edilen yatay yük taşıma kapasitesinin boş çerçeve ile kıyaslanması neticesinde meydana gelen artış, tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumunda meydana gelen artışa göre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Boşluk oranının artışı ise bu davranışı çok fazla etkilememektedir. Bunun muhtemel nedeni kapasite eğrisi elde edilirken zemin katta meydana gelen taban kesme kuvvetinin hesaplarda dikkate alınmasıdır. Boşluk oranı artışının çerçevenin kapasitesinde tam dolu çerçeveye göre ortaya çıkardığı azalma, zemin katta dolgu duvarın bulunmadığı modellerde tüm katların tam dolu olduğu modellere göre daha az olarak ortaya çıkmaktadır.

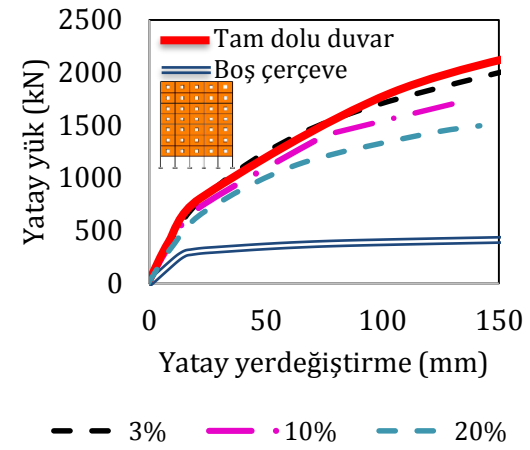
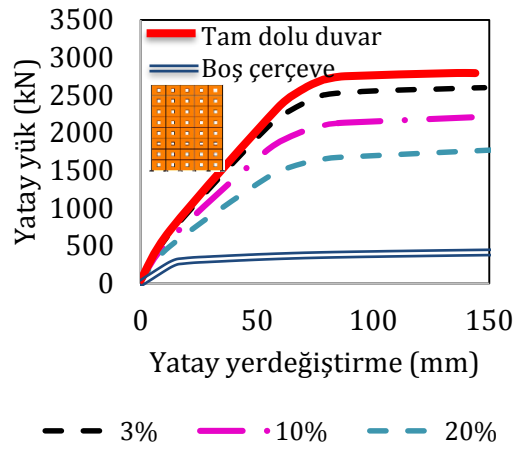
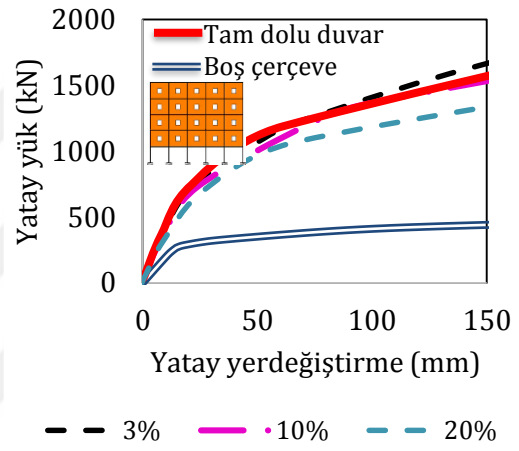
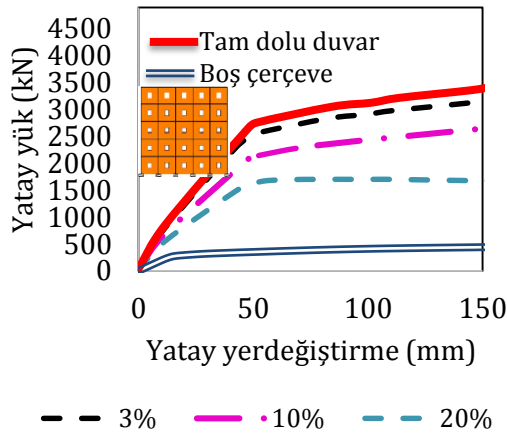
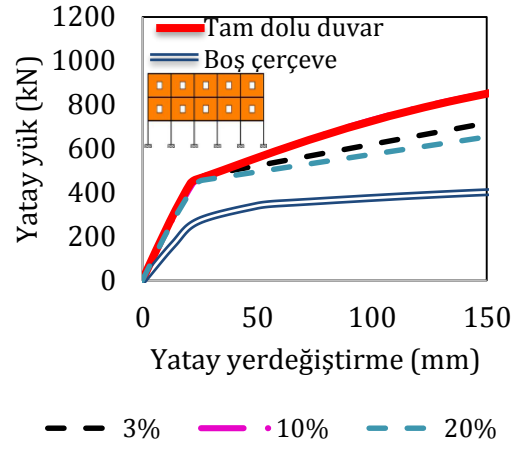
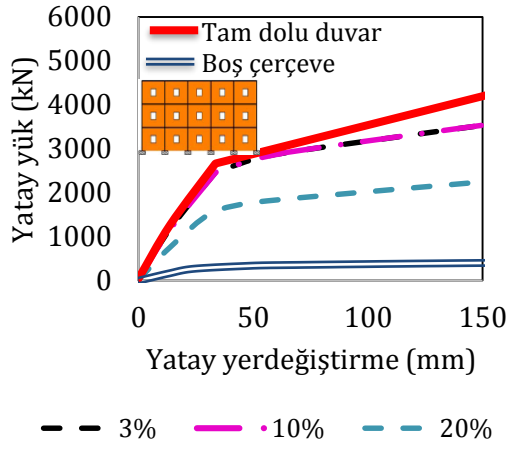
Farklı boşluk oranları için elde edilen kapasite eğrileri üç açıklıklı çerçeveler için Şekil 7.12' de, beş açıklıklı çerçeveler için ise Şekil 7.13' te verilmiştir. Mafsalların tanımlanmasında Panagiotakos ve Fardis (1996) mafsal modeli kullanılmıştır. Boşlukların tanımlanmasında ise çalışma kapsamında önerilen azaltma katsayıları kullanılmıştır.



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

Şekil 7.12. Üç açıklıklı çerçevelerde farklı boşluk oranlarına göre elde edilen kapasite eğrileri



(a) Tüm katlar dolgu duvarlı

b) Birinci kat dolgu duvarsız

Şekil 7.13. Beş açıklıklı çerçevelerde farklı boşluk oranlarına göre elde edilen kapasite eğrileri

Şekil 7.12 ile Şekil 7.13'te verilen grafikler incelendiğinde dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay ötelenme rijitliğini bir miktar artırdığı görülebilir. Dolgu duvardaki boşluk oranının artmasıyla çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi ve yatay ötelenme rijitliği tam dolu dolgu duvarlı numuneye göre bir miktar azalmaktadır. Bu değişim zemin katta dolgu duvar bulunmayan modellerde daha az olarak ortaya çıkmaktadır.

Çerçeve modellerinin çatlamamış kesitlere ait birinci doğal periyod ( $T_1$ ), birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ), süneklik ve enerji tüketme kapasiteleri sonuçları 3, 5 ve 8 katlı çerçeve modelleri için sırayla Tablo 7.1, Tablo 7.2, Tablo 7.3 de verilmiştir. Tablolarda ifade edilen %0 boşluk oranı tam dolu dolgu duvarlı çerçeveyi, %100 boşluk oranı ise tamamen boş çerçeveyi temsil etmektedir. Çerçeveye ait süneklik değeri, hedef yerdeğiştirme seviyesindeki yatay ötelenme değerinin akma anındaki ötelenme değerine oranlanması ile elde edilmiştir. Enerji tüketme kapasitesi hesabında ise kapasite eğrisinin altında kalan alan hedef yerdeğiştirme seviyesine kadar hesaplanarak toplanmıştır. Temel periyod sonuçlarının değerlendirilebilmesi için  $A_e/A_{bina}$  oranı hesaplanarak tabloya dahil edilmiştir. Burada  $A_{bina}$  tüm katların alan toplamını,  $A_e$  ise etkili kesme alanını temsil etmektedir.  $A_e$  değeri Denklem (7.1)'de verildiği gibi, en alt kattaki tüm kolon alanı ( $A_c$ ) ile deprem doğrultusunda bulunan dolgu duvar alanının %15 ile çarpılarak toplanmasından ( $A_d$ =dolgu duvar kalınlığı  $\times$  dolgu duvar uzunluğu) elde edilmektedir. Dolgu duvar üzerinde boşlukların bulunması durumunda dolgu duvar uzunluğu, toplam dolgu duvar uzunluğundan boşluk uzunluğunun çıkarılması ile elde edilmiştir. Böylece alan hesabında en kritik kesit dikkate alınmıştır. En alt katta dolgu duvar bulunmayan modellerde dolgu duvar alanı sıfır olarak dikkate alınmıştır.

$$A_e = A_c + 0.15 \times A_d \quad (7.1)$$

Tablo 7.1. Üç katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | T <sub>1</sub><br>(sn) | A <sub>e</sub> /A <sub>bina</sub> | R <sub>y1</sub> | Süneklik | Enerji tüketme<br>kapasitesi<br>(kNmm) |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|----------------------------------------|
| 3            | 3                 | Var               | 0%                   | 0.18                   | 0.0101                            | 4.5             | 6.2      | 115313                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.19                   | 0.0092                            | 6.8             | 8.2      | 99820                                  |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.21                   | 0.0087                            | 5.2             | 7.1      | 153427                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.23                   | 0.0073                            | 4.4             | 5.7      | 185396                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.45                   | 0.0049                            | 6.1             | 5.1      | 174017                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.37                   | 0.0049                            | 4.5             | 5.0      | 201298                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.37                   | 0.0049                            | 4.5             | 4.9      | 196051                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.38                   | 0.0049                            | 4.6             | 5.2      | 197680                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.38                   | 0.0049                            | 4.7             | 4.9      | 204890                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.45                   | 0.0049                            | 6.1             | 5.1      | 174017                                 |
|              | 5                 | Var               | 0%                   | 0.18                   | 0.0097                            | 7.6             | 8.3      | 72420                                  |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.19                   | 0.0088                            | 6.3             | 7.4      | 92559                                  |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.21                   | 0.0083                            | 5.1             | 6.4      | 126908                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.23                   | 0.0068                            | 4.5             | 5.6      | 159311                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.46                   | 0.0044                            | 6.4             | 5.0      | 173645                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.38                   | 0.0044                            | 5.0             | 5.0      | 196822                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.38                   | 0.0044                            | 4.7             | 4.6      | 188513                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.39                   | 0.0044                            | 4.9             | 5.0      | 200665                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.39                   | 0.0044                            | 4.8             | 4.6      | 187288                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.46                   | 0.0044                            | 6.4             | 5.0      | 173645                                 |

Tablo 7.2. Beş katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | T <sub>1</sub><br>(sn) | A <sub>e</sub> /A <sub>bina</sub> | R <sub>y1</sub> | Süneklik | Enerji tüketme<br>kapasitesi<br>(kNmm) |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|----------------------------------------|
| 5            | 3                 | Var               | 0%                   | 0.28                   | 0.0082                            | 3.6             | 5.5      | 263959                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.28                   | 0.0077                            | 3.1             | 4.5      | 269534                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.30                   | 0.0073                            | 3.9             | 4.9      | 221522                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.33                   | 0.0065                            | 3.3             | 3.5      | 235819                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.50                   | 0.0052                            | 9.3             | 8.1      | 135970                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.36                   | 0.0052                            | 4.4             | 4.4      | 209121                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.37                   | 0.0052                            | 4.5             | 4.4      | 214652                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.38                   | 0.0052                            | 4.4             | 4.2      | 217974                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.39                   | 0.0052                            | 4.9             | 4.4      | 220727                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.50                   | 0.0052                            | 9.3             | 8.1      | 135970                                 |
|              | 5                 | Var               | 0%                   | 0.27                   | 0.0078                            | 5.2             | 7.2      | 214901                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.27                   | 0.0072                            | 4.9             | 6.5      | 210099                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.30                   | 0.0069                            | 3.4             | 4.3      | 233030                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.33                   | 0.0061                            | 3.3             | 3.4      | 226967                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.51                   | 0.0047                            | 8.8             | 6.6      | 140012                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.36                   | 0.0047                            | 4.6             | 4.7      | 209664                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.37                   | 0.0047                            | 4.7             | 4.7      | 213270                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.38                   | 0.0047                            | 5.2             | 5.2      | 219728                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.39                   | 0.0047                            | 5.0             | 4.4      | 215464                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.51                   | 0.0047                            | 8.8             | 6.6      | 140012                                 |

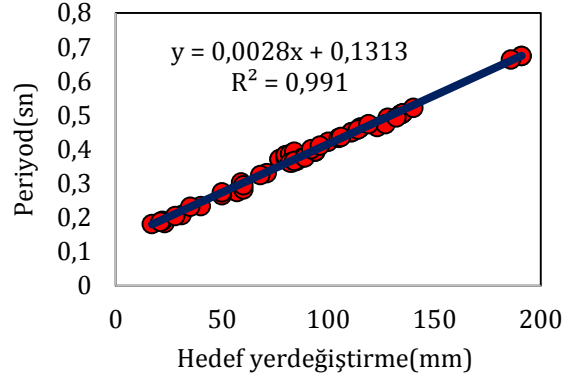
Tablo 7.3. Sekiz katlı çerçevelere ait temel yapısal özellikler

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | T <sub>1</sub><br>(sn) | A <sub>e</sub> /A <sub>bina</sub> | R <sub>y1</sub> | Süneklik | Enerji tüketme<br>kapasitesi<br>(kNmm) |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------|----------------------------------------|
| 8            | 3                 | Var               | 0%                   | 0.42                   | 0.0068                            | 3.3             | 3.4      | 316621                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.43                   | 0.0065                            | 3.5             | 3.4      | 319737                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.46                   | 0.0063                            | 3.6             | 3.2      | 314245                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.49                   | 0.0058                            | 4.2             | 3.2      | 292013                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.67                   | 0.0050                            | 13.1            | 7.0      | 126365                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.47                   | 0.0050                            | 5.3             | 5.4      | 261114                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.47                   | 0.0050                            | 6.0             | 5.7      | 260421                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.49                   | 0.0050                            | 5.8             | 5.3      | 261860                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.52                   | 0.0050                            | 6.0             | 5.1      | 292013                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.67                   | 0.0050                            | 13.1            | 7.0      | 126365                                 |
|              | 5                 | Var               | 0%                   | 0.40                   | 0.0064                            | 3.5             | 3.5      | 294296                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.41                   | 0.0061                            | 3.3             | 3.2      | 293307                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.44                   | 0.0059                            | 3.6             | 3.2      | 289521                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.47                   | 0.0054                            | 3.9             | 3.2      | 275516                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.66                   | 0.0046                            | 13.1            | 6.6      | 123719                                 |
|              |                   | Yok               | 0%                   | 0.45                   | 0.0046                            | 6.4             | 6.6      | 247861                                 |
|              |                   |                   | 3%                   | 0.46                   | 0.0046                            | 5.4             | 5.0      | 251906                                 |
|              |                   |                   | 10%                  | 0.48                   | 0.0046                            | 5.8             | 5.0      | 246770                                 |
|              |                   |                   | 20%                  | 0.51                   | 0.0046                            | 5.8             | 4.8      | 245234                                 |
|              |                   |                   | 100%                 | 0.66                   | 0.0046                            | 13.1            | 6.6      | 123719                                 |

Sonuçlar incelendiğinde; dolgu duvarlar içerisinde bulunan boşlukların çerçevenin temel periyodunu tam dolu dolgu duvarlı çerçeveye göre bir miktar azalttığı görülmektedir. Dolgu duvarın mevcut olduğu modellerde birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ) çerçevenin sünekliği ile değer olarak yakınlık gösterirken, dolgu duvarın bulunmadığı yalın çerçevede  $R_{y1}$  değeri çerçevenin süneklik değerine göre oldukça yüksek oranlarda ortaya çıkmaktadır.

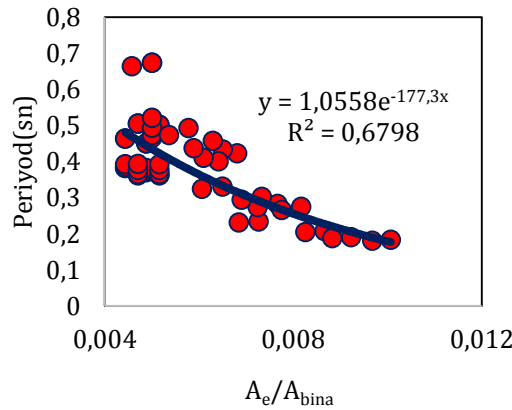
Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvara sahip çerçevelerde ortaya çıkan enerji tüketme kapasite değerleri yalın çerçeveye göre yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Boşluk oranının artması ile enerji tüketme kapasitesi tam dolu numuneninkine göre fazla değişim göstermemiştir.

Tüm katlarda dolgu duvarın bulunduğu çözümlemelere ait elde edilen birinci mod doğal periyod değerleri ile çerçevelerin hedef yerdeğiştirme değerleri arasındaki ilişki Şekil 7.14’de verilmiştir.



Şekil 7.14. Çerçevelere ait doğal periyod ile hedef yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 7.14 incelendiğinde, doğal periyod ile hedef yerdeğiştirme değerleri arasında beklendiği gibi doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Doğal periyodun  $A_e/A_{bina}$  oranına bağlı olarak değişimi ise Şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.15. Çerçevenin periyodu ile  $A_e/A_{bina}$  oranı arasındaki ilişki

Üç, beş ve sekiz katlı çerçevelere ait, hedef yerdeğiştirme ( $\Delta_{hedef}$ ), hedef yerdeğiştirme seviyesinde meydana gelen kesme kuvveti kapasitesi ( $V_r$ ) gibi davranış özellikleri Tablo 7.4, Tablo 7.5, Tablo 7.6’da sırasıyla verilmiştir. Burada çerçevenin kesme kapasitesindeki artış yüzdesi; dolgu duvarlı çerçevedeki kesme kuvveti kapasitesinin boş çerçeveye göre yüzde olarak artışını ifade etmektedir.

Tablo 7.4. Üç katlı çerçevelere ait kapasite değerleri

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı % | $\Delta_{hedef}$<br>(mm) | $\Delta_{hedef}/H_{bina}$ | $V_r$ (kN) | $V_r / W$ | $V_r$ %<br>artış |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|------------|-----------|------------------|
| 3            | 3                 | Var               | 0%                | 23                       | 0.0026                    | 1090       | 1.028     | 354              |
|              |                   |                   | 3%                | 22                       | 0.0024                    | 1040       | 0.981     | 333              |
|              |                   |                   | 10%               | 31                       | 0.0034                    | 1160       | 1.094     | 383              |
|              |                   |                   | 20%               | 40                       | 0.0044                    | 1040       | 0.981     | 333              |
|              |                   |                   | 100%              | 111                      | 0.0123                    | 240        | 0.226     | 0                |
|              |                   | Yok               | 0%                | 77                       | 0.0086                    | 415        | 0.392     | 73               |
|              |                   |                   | 3%                | 77                       | 0.0086                    | 390        | 0.368     | 63               |
|              |                   |                   | 10%               | 80                       | 0.0089                    | 400        | 0.377     | 67               |
|              |                   |                   | 20%               | 82                       | 0.0091                    | 415        | 0.392     | 73               |
|              |                   |                   | 100%              | 111                      | 0.0123                    | 240        | 0.226     | 0                |
|              | 5                 | Var               | 0%                | 17                       | 0.0019                    | 1520       | 0.864     | 311              |
|              |                   |                   | 3%                | 21                       | 0.0023                    | 1650       | 0.938     | 346              |
|              |                   |                   | 10%               | 28                       | 0.0031                    | 1750       | 0.994     | 373              |
|              |                   |                   | 20%               | 35                       | 0.0039                    | 1630       | 0.926     | 341              |
|              |                   |                   | 100%              | 115                      | 0.0128                    | 370        | 0.210     | 0                |
|              |                   | Yok               | 0%                | 80                       | 0.0089                    | 640        | 0.364     | 73               |
|              |                   |                   | 3%                | 80                       | 0.0089                    | 570        | 0.324     | 54               |
|              |                   |                   | 10%               | 82                       | 0.0091                    | 640        | 0.364     | 73               |
|              |                   |                   | 20%               | 84                       | 0.0093                    | 550        | 0.313     | 49               |
|              |                   |                   | 100%              | 115                      | 0.0128                    | 370        | 0.210     | 0                |

Tablo 7.5. Beş katlı çerçevelere ait kapasite değerleri

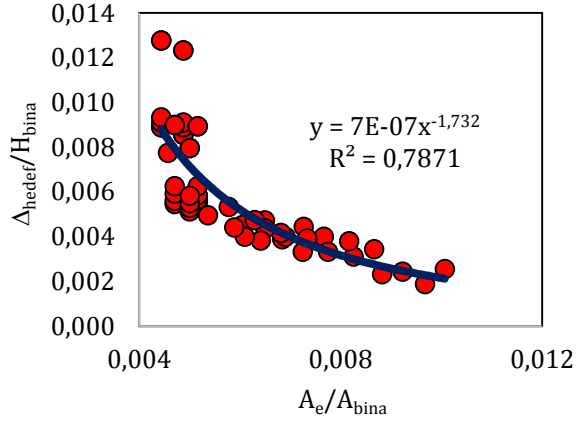
| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı % | $\Delta_{hedef}$<br>(mm) | $\Delta_{hedef}/H_{bina}$ | Vr (kN) | Vr / W | Vr %<br>artış |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|---------|--------|---------------|
| 5            | 3                 | Var               | 0%                | 57                       | 0.0038                    | 1730    | 0.930  | 541           |
|              |                   |                   | 3%                | 60                       | 0.0040                    | 1600    | 0.860  | 493           |
|              |                   |                   | 10%               | 59                       | 0.0039                    | 1300    | 0.699  | 381           |
|              |                   |                   | 20%               | 71                       | 0.0047                    | 1050    | 0.565  | 289           |
|              |                   |                   | 100%              | 134                      | 0.0089                    | 270     | 0.145  | 0             |
|              |                   | Yok               | 0%                | 83                       | 0.0055                    | 770     | 0.414  | 185           |
|              |                   |                   | 3%                | 85                       | 0.0057                    | 790     | 0.425  | 193           |
|              |                   |                   | 10%               | 88                       | 0.0059                    | 750     | 0.403  | 178           |
|              |                   |                   | 20%               | 94                       | 0.0063                    | 730     | 0.392  | 170           |
|              |                   |                   | 100%              | 134                      | 0.0089                    | 270     | 0.145  | 0             |
|              | 5                 | Var               | 0%                | 50                       | 0.0033                    | 2730    | 0.898  | 535           |
|              |                   |                   | 3%                | 50                       | 0.0033                    | 2550    | 0.839  | 493           |
|              |                   |                   | 10%               | 60                       | 0.0040                    | 2230    | 0.734  | 419           |
|              |                   |                   | 20%               | 68                       | 0.0045                    | 1700    | 0.559  | 295           |
|              |                   |                   | 100%              | 135                      | 0.0090                    | 430     | 0.141  | 0             |
|              |                   | Yok               | 0%                | 82                       | 0.0055                    | 1270    | 0.418  | 195           |
|              |                   |                   | 3%                | 84                       | 0.0056                    | 1300    | 0.428  | 202           |
|              |                   |                   | 10%               | 89                       | 0.0059                    | 1300    | 0.428  | 202           |
|              |                   |                   | 20%               | 94                       | 0.0063                    | 1150    | 0.378  | 167           |
|              |                   |                   | 100%              | 135                      | 0.0090                    | 430     | 0.141  | 0             |

Tablo 7.6. Sekiz katlı çerçevelere ait kapasite değerleri

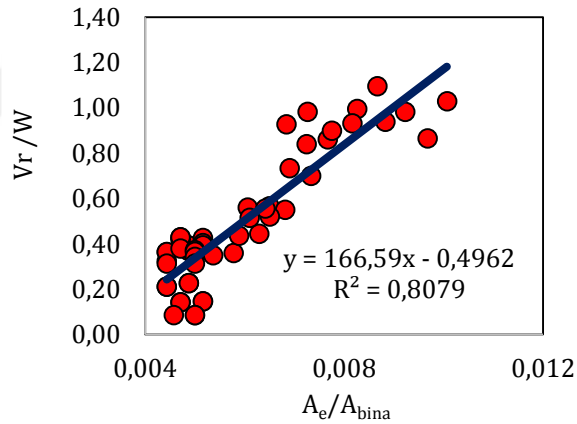
| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1. katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı % | $\Delta_{hedef}$<br>(mm) | $\Delta_{hedef}/H_{bina}$ | $V_r$ (kN) | $V_r / W$ | $V_r$ %<br>artış |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|------------|-----------|------------------|
| 8            | 3                 | Var               | 0%                | 100                      | 0.0042                    | 1670       | 0.549     | 542              |
|              |                   |                   | 3%                | 105                      | 0.0044                    | 1580       | 0.520     | 508              |
|              |                   |                   | 10%               | 114                      | 0.0048                    | 1350       | 0.444     | 419              |
|              |                   |                   | 20%               | 128                      | 0.0053                    | 1090       | 0.359     | 319              |
|              |                   |                   | 100%              | 191                      | 0.0080                    | 260        | 0.086     | 0                |
|              |                   | Yok               | 0%                | 123                      | 0.0051                    | 1130       | 0.372     | 335              |
|              |                   |                   | 3%                | 127                      | 0.0053                    | 1110       | 0.365     | 327              |
|              |                   |                   | 10%               | 132                      | 0.0055                    | 1040       | 0.342     | 300              |
|              |                   |                   | 20%               | 140                      | 0.0058                    | 950        | 0.313     | 265              |
|              |                   |                   | 100%              | 191                      | 0.0080                    | 260        | 0.086     | 0                |
|              | 5                 | Var               | 0%                | 92                       | 0.0038                    | 2750       | 0.554     | 555              |
|              |                   |                   | 3%                | 96                       | 0.0040                    | 2550       | 0.514     | 507              |
|              |                   |                   | 10%               | 106                      | 0.0044                    | 2160       | 0.435     | 414              |
|              |                   |                   | 20%               | 119                      | 0.0050                    | 1730       | 0.349     | 312              |
|              |                   |                   | 100%              | 186                      | 0.0078                    | 420        | 0.085     | 0                |
|              |                   | Yok               | 0%                | 117                      | 0.0049                    | 1890       | 0.381     | 350              |
|              |                   |                   | 3%                | 118                      | 0.0049                    | 1810       | 0.365     | 331              |
|              |                   |                   | 10%               | 124                      | 0.0052                    | 1670       | 0.337     | 298              |
|              |                   |                   | 20%               | 133                      | 0.0055                    | 1460       | 0.294     | 248              |
|              |                   |                   | 100%              | 186                      | 0.0078                    | 420        | 0.085     | 0                |

Tablolarda elde edilen sonuçlar incelendiğinde en büyük hedef yerdeğiştirmenin boş çerçevelerde, en küçük hedef yerdeğiştirmenin ise genel olarak tam dolu dolgu duvarın bulunduğu çerçevelerde elde edildiği görülmüştür. Dolgu duvarın üzerinde boşluğun bulunması durumunda ise boşluk miktarının artması ile hedef yerdeğiştirme değerinde arttığı gözlenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevenin boş çerçeveye göre kesme kapasitesinde meydana gelen artış yüzdesi, üç katlı çerçevelerde boşluk oranına bağlı olarak fazla değişmezken kat sayısı arttıkça (beş ve sekiz katlı çerçevelerde) bu artışta meydana gelen azalmalar dikkati çekmektedir. Buradan kat sayısı arttıkça, dolgu duvar üzerinde bulunan boşluğun çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin arttığı söylenebilir. Ayrıca en alt katta dolgu duvarın bulunmadığı çözümlerlerden elde edilen kesme kapasitesindeki artış yüzdesi tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumuna göre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.

Çerçevelere ait  $\Delta_{hedef}/H_{bina}$  oranı ile  $A_e/A_{bina}$  oranı arasındaki ilişki Şekil 7.16'da,  $V_r/W$  oranı ile  $A_e/A_{bina}$  oranı arasındaki ilişki ise Şekil 7.17'de verilmiştir.  $A_e/A_{bina}$  oranının  $\Delta_{hedef}/H_{bina}$  oranı ile arasında parabolik bir ilişki elde edilirken,  $V_r/W$  ile doğrusal bir ilişki elde edilmiştir.



Şekil 7.16. Çerçevelere ait  $\Delta_{hedef}/H_{bina}$  oranı ile  $A_e/A_{bina}$  oranı arasındaki ilişki



Şekil 7.17. Çerçevelere ait  $V_r/W$  oranı ile  $A_e/A_{bina}$  oranı arasındaki ilişki

Çerçevelerin en alt kolonlarına ait hasar dağılımı, hasara bağlı olarak kesme kuvveti dağılımı ve performans sonuçları üç, beş ve sekiz katlı çerçeveler için Tablo 7.7, Tablo 7.8, Tablo 7.9' da sırasıyla verilmiştir.

Tablo 7.7. Üç katlı çerçevelere ait performans sonuçları

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1.<br>katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | Kolon sayısı |    |    |    |        | Kesme kuvveti<br>(%) |     |    |    | Perf.<br>sev. |
|--------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|----|----|----|--------|----------------------|-----|----|----|---------------|
|              |                   |                      |                      | MH           | BH | İH | GB | Toplam | MH                   | BH  | İH | GB |               |
| 3            | 3                 | Var                  | 0%                   | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 3%                   | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 10%                  | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 20%                  | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 100%                 | 2            | 2  | 0  | 0  | 4      | 43                   | 57  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 10%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 100%                 | 2            | 2  | 0  | 0  | 4      | 43                   | 57  | 0  | 0  | CG            |
|              | 5                 | Var                  | 0%                   | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 3%                   | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 10%                  | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 20%                  | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 100%                 | 2            | 4  | 0  | 0  | 6      | 33                   | 67  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 10%                  | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 100%                 | 2            | 4  | 0  | 0  | 6      | 33                   | 67  | 0  | 0  | CG            |

Tablo 7.8. Beş katlı çerçevelere ait performans sonuçları

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1.<br>katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | Kolon sayısı |    |    |    |        | Kesme kuvveti<br>(%) |     |    |    | Perf.<br>sev. |
|--------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|----|----|----|--------|----------------------|-----|----|----|---------------|
|              |                   |                      |                      | MH           | BH | İH | GB | Toplam | MH                   | BH  | İH | GB |               |
| 5            | 3                 | Var                  | 0%                   | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 3%                   | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 10%                  | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 20%                  | 3            | 1  | 0  | 0  | 4      | 92                   | 8   | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 10%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                    | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              | 5                 | Var                  | 0%                   | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 3%                   | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 10%                  | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 20%                  | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   |                      | 100%                 | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 10%                  | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                    | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100                  | 0   | 0  | 0  | HK            |

Tablo 7.9. Sekiz katlı çerçevelere ait performans sonuçları

| Kat<br>adedi | Açıklık<br>sayısı | 1.<br>katta<br>duvar | Boşluk<br>oranı<br>% | Kolon sayısı |    |    |    |        | Kesme kuvveti (%) |     |    |    | Perf.<br>Sev. |
|--------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|----|----|----|--------|-------------------|-----|----|----|---------------|
|              |                   |                      |                      | MH           | BH | İH | GB | Toplam | MH                | BH  | İH | GB |               |
| 8            | 3                 | Var                  | 0%                   | 2            | 2  | 0  | 0  | 4      | 67                | 33  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 3%                   | 2            | 2  | 0  | 0  | 4      | 64                | 36  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 10%                  | 3            | 1  | 0  | 0  | 4      | 90                | 10  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                 | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100               | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 2  | 1  | 1  | 4      | 0                 | 43  | 27 | 30 | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 2  | 1  | 1  | 4      | 0                 | 37  | 33 | 30 | GD            |
|              |                   |                      | 10%                  | 0            | 3  | 1  | 0  | 4      | 0                 | 68  | 32 | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 4  | 0  | 0  | 4      | 0                 | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 4            | 0  | 0  | 0  | 4      | 100               | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              | 5                 | Var                  | 0%                   | 1            | 3  | 0  | 2  | 6      | 7                 | 89  | 0  | 4  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 4            | 2  | 0  | 0  | 6      | 60                | 40  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 10%                  | 4            | 2  | 0  | 0  | 6      | 65                | 35  | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 5  | 1  | 0  | 6      | 0                 | 91  | 9  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100               | 0   | 0  | 0  | HK            |
|              |                   | Yok                  | 0%                   | 0            | 4  | 2  | 0  | 6      | 0                 | 99  | 1  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 3%                   | 0            | 4  | 2  | 0  | 6      | 0                 | 94  | 6  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 10%                  | 0            | 5  | 1  | 0  | 6      | 0                 | 95  | 5  | 0  | GD            |
|              |                   |                      | 20%                  | 0            | 6  | 0  | 0  | 6      | 0                 | 100 | 0  | 0  | CG            |
|              |                   |                      | 100%                 | 6            | 0  | 0  | 0  | 6      | 100               | 0   | 0  | 0  | HK            |

Tablolar incelendiğinde en alt katta dolgu duvarın bulunmaması durumunda en alt kat kolonlarında ortaya çıkan hasar, tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumundaki hasara göre daha fazla olduğu görülür. Tüm katlarda dolgu duvarın bulunduğu üç katlı çerçevelerde dolgu duvarın mevcudiyeti kolonlardaki hasarı azaltarak performans seviyesini artırırken, beş ve sekiz katlı binalarda kolonlardaki hasarı artırarak performans seviyesini azaltmıştır. Dolayısıyla dolgu duvarların dikkate alınması ile çerçevenin performans seviyesi olumlu yada olumsuz şekilde etkilenebilmektedir. Bu durum yapıda, dolgu duvar ve betonarme elemanlarının etkileşimi sonucunda taşıyıcı sistemde farklı hasar mekanizmalarının oluşabileceğini göstermektedir.

## 8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Dolgu duvarlar, mimari fonksiyonları yerine getirmek amacıyla yapılmalarına karşın yapının yanal yük dayanımını, rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini bir miktar olumlu yönde artırmaktadır. Bu olumlu etkilerin hesaplamalarda dikkate alınmaması güvenli tarafta kalındığını düşündürse de bazı durumlarda olumsuzluklara da neden olabilmektedir. Planda ve düşeydeki düzensiz dolgu duvar yerleşimi, yapıda ilave burulma, yumuşak kat ve kısa kolon gibi olumsuzlukların oluşmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle, yapısal çözümlemelerde dolgu duvarların yapı sistemine olan olumlu ya da olumsuz etkilerinin dikkate alınması, gerçek davranışın model üzerine yansıtılabilmesi için oldukça önemlidir.

Dolgu duvarların betonarme yapı davranışı üzerindeki etkilerini modellemek için literatürde önerilen farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler arasında modelleme kolaylığı açısından en çok kabul gören dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesidir. Ancak önerilen bu yöntem ile tam dolu dolgu duvarlar modellenebilmektedir. Oysaki binalarda, genellikle dolgu duvarlar üzerinde kapı ve pencere gibi boşluklar bulunmaktadır. Bu boşlukların davranışı bir miktar değiştireceği ortadadır.

Çalışma kapsamında öncelikle boşluksuz dolgu duvarlar için önerilen yöntemin boşluklu dolgu duvarlarda da kullanılabilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin esası; genel olarak boşluklu dolgu duvarın rijitliği, boşluksuz dolgu duvar rijitliğinin belli bir oranda azaltılması ile elde edilmiştir. Bu azaltma oranlarının elde edilmesi amacıyla; literatürde bulunan farklı oranlarda boşluklu dolgu duvara (%0, %4, %9 ve %16) sahip betonarme çerçeve deneylerinden (Aydın, 2015) yararlanılmıştır. Deney sonuçlarından, boşluk oranı ile yanal ötelenme rijitliği değerleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen bu ilişkiden yararlanarak boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için bir yöntem geliştirilmiştir.

Deney numuneleri SAP 2000 analiz programında modellenerek doğrusal olmayan yöntem ile çözümlenmiş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Boş ve tam dolu dolgu duvara sahip betonarme çerçevelerde; SAP 2000 analiz programı sonuçları ile deney sonuçlarının uyumlu olması; betonarme çerçevede ve tam dolu dolgu duvarda kullanılan plastik mafsalların gerçek davranışı yansıttığını göstermektedir. Dolayısıyla yapılan çözümlemelerde boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için önerilen yöntemin etkinliği açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Boşluklu dolgu duvarların modellenmesi için çalışma kapsamında önerilen yöntem sonuçları, literatürde önerilen diğer yöntemlerin sonuçları ve deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında boşluklu dolgu duvarların modellenmesinde kullanılmak üzere önerilen yöntemin (rijitlik azaltma katsayılarının) sonuçlarının deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu ve hata oranının kabul edilebilir seviyelerde kaldığı söylenebilir.

Tam dolu dolgu duvara sahip betonarme çerçeve numunesinin doğrusal olmayan yöntem ile çözümlenebilmesi için dolgu duvara ait literatürde tanımlanan farklı eksenel yük mafsalları oluşturularak çözümlemeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Tüm mafsal modelleri ile elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu görülebilir. Bu sonuçlar dolgu duvar için tanımlanan mafsal özelliklerinin kullanılabilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Mafsal modelleri arasındaki farklılığın, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve çözümleme sonuçları üzerine çok yansımadağı söylenebilir.

Tez çalışması kapsamında boşluklu dolgu duvarların bina performansına etkisinin incelenebilmesi amacıyla farklı kat adedine, çerçeve açıklığına, dolgu duvar yerleşimine ve dolgu duvar boşluk oranına sahip betonarme çerçeveler model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarların tüm katlarda bulunduğu ve dükkan katını temsil etmesi açısından en alt katta dolgu duvarın bulunmadığı durumları için ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır. Dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemi kullanılmıştır. Tüm model çerçevelerin doğrusal elastik olmayan yöntem ile çözümlemeleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırdığı görülmüştür. Özellikle tüm katlarda tam dolu dolgu duvarın bulunması durumunda meydana gelen kapasite artışı, zemin katında dolgu duvar bulunmaması durumuna göre daha fazla olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar gerçek davranışın yapı modeline yansıtılabilmesi için dolgu duvarların yapısal çözümlemelerde dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Dolgu duvardaki boşluk oranı arttıkça beklendiği gibi çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Küçük boşluk oranlarını temsil eden %3 boşluk oranına sahip çerçevelerde yatay yük taşıma kapasitesi değerleri, kat adedi ve açıklık sayısından bağımsız olarak tam dolu dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi değerlerine yakın olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda %3 boşluk oranı için farklı boşluk azaltma yöntemlerinden elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu, yani yöntem farklılıklarının sonuçlara çok fazla yansımadağı görülebilir. Dolayısıyla dolgu duvar modellemelerinde %3 oranında bulunan boşlukların ihmal edilebileceğı söylenebilir. Ancak boşluk oranının arttığı %10 ve %20 boşluk oranına sahip çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesinde tam dolu çerçeveye oranla önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Ayrıca farklı boşluk modelleme yöntemleri için elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla %10 boşluk oranını aşan modellerde kullanılan boşluk azaltma yönteminin seçimi sonuçlar üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Sonuç olarak, %10 boşluk oranını aşan dolgu duvara sahip betonarme çerçevelerde boşlukların yapısal modellemelerde mutlaka dikkate alınması gerektiğı ve boşluk modelinin seçiminin de sonuçlar üzerinde oldukça etkili olduğu söylenebilir.

Boşluk oranına bağılı olarak önerilen farklı rijitlik azaltma katsayılarından elde edilen sonuçların kıyaslanması sonucunda en düşük kapasite genel olarak Asteris vd. (2011) modelinden elde edilmektedir. Tez çalışması kapsamında literatürdeki deney sonuçlarından yararlanarak önerilen rijitlik azaltma katsayıları kullanılarak hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi değerlerinin,

diğer boşluk modelleme yöntemlerine ait kapasite değerlerinin yaklaşık bir ortalaması olduğu dikkati çekmektedir.

Sadece zemin katta dolgu duvarın bulunmaması durumunda elde edilen yatay yük taşıma kapasitesinin boş çerçeve ile kıyaslanması neticesinde meydana gelen artış, tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumunda meydana gelen artışa göre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Boşluk oranının artışı ise bu davranışı çok fazla etkilememektedir. Bunun muhtemel nedeni kapasite eğrisi elde edilirken zemin katta meydana gelen taban kesme kuvvetinin hesaplarda dikkate alınmasıdır. Boşluk oranı artışının çerçevenin kapasitesinde tam dolu çerçeveye göre ortaya çıkardığı azalma, zemin katta dolgu duvarın bulunmadığı modellerde tüm katların tam dolu olduğu modellere göre daha az olarak ortaya çıkmaktadır.

Dolgu duvarlar içerisinde bulunan boşlukların çerçevenin temel periyodunu tam dolu dolgu duvarlı çerçeveye göre bir miktar artırdığı görülmektedir. Dolgu duvarın mevcut olduğu modellerde birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ) çerçevenin sünekliği ile değer olarak yakınlık gösterirken, dolgu duvarın bulunmadığı yalın çerçevede  $R_{y1}$  değeri çerçevenin süneklik değerine göre oldukça yüksek oranlarda ortaya çıkmaktadır.

Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvara sahip çerçevelerde ortaya çıkan enerji tüketme kapasite değerleri yalın çerçeveye göre yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Boşluk oranının artması ile enerji tüketme kapasitesi tam dolu numuneninkine göre fazla değişim göstermemiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en büyük hedef yerdeğiştirmenin boş çerçevelerde, en küçük hedef yerdeğiştirmenin ise genel olarak tam dolu dolgu duvarın bulunduğu çerçevelerde elde edildiği görülmüştür. Dolgu duvarın üzerinde boşluğun bulunması durumunda ise boşluk miktarının artması ile hedef yerdeğiştirme değerinde arttığı gözlenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevenin boş çerçeveye göre kesme kapasitesinde meydana gelen artış yüzdesi, üç katlı çerçevelerde boşluk oranına bağlı olarak fazla değişmezken kat sayısı arttıkça

(beş ve sekiz katlı çerçevelerde) bu artışta meydana gelen azalmalar dikkati çekmektedir. Buradan kat sayısı arttıkça, dolgu duvar üzerinde bulunan boşluğun çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin arttığı söylenebilir. Ayrıca en alt katta dolgu duvarın bulunmadığı çözümlerlerden elde edilen kesme kapasitesindeki artış yüzdesi tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumuna göre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.

En alt katta dolgu duvarın bulunmaması durumunda en alt kat kolonlarında ortaya çıkan hasarın, tüm katlarda dolgu duvarın bulunması durumundaki hasara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Tüm katlarda dolgu duvarın bulunduğu üç katlı çerçevelerde dolgu duvarın mevcudiyeti kolonlardaki hasarı azaltarak performans seviyesini artırırken, beş ve sekiz katlı binalarda kolonlardaki hasarı artırarak performans seviyesini azaltmıştır. Dolayısıyla dolgu duvarların dikkate alınması ile çerçevenin performans seviyesi olumlu yada olumsuz şekilde etkilenebilmektedir. Bu durum yapıda, dolgu duvar ve betonarme elemanlarının etkileşimi sonucunda taşıyıcı sistemde farklı hasar mekanizmalarının oluşabileceğini ve özellikle yüksek katlı binalarda dolgu duvarların dikkate alınmasının gerekliliğini göstermektedir. Sonuç olarak, farklı boşluk oranına sahip dolgu duvarların, iki boyutlu betonarme çerçevenin davranışı üzerinde davranış farklılıkları gösterdiği, %10 ve daha büyük boşluğa sahip dolgu duvarlardaki boşlukların modellemelerde dikkate alınmasının uygun olacağı söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Acun, B., Sucuoğlu, H., 2011. Betonarme Kolonların Şekildeğiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 356, 5523-5541.
- Aksoy, H.B., Avşar, Ö., 2015. Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisinin Basitleştirilmiş Bir Yöntemle Dikkate Alınması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 115-122.
- Akyürek, O., 2014. Betonarme Bina Performansına Dolgu Duvarların Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Isparta.
- Al-Chaar, G., 2002. Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures: US Army Corps of Engineers Engineer Research and Development Center Construction Engineering Research Laboratory, TA7 E8 NO.ERDC/CERL TR-02-1, 86p.
- Anil, O., Altin, S., 2007. An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. Engineering Structures, 29(3), 449-460
- Asteris, P. G., 2003. Lateral Stiffness Of Brick Masonry in Filled Plane Frames. Journal of Structural Engineering, 129(8), 1071-1079.
- Asteris, P. G., Chrysostomou, C. Z., Giannopoulos, I. P., Smyrou, E., 2011. Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames With Openings. III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Corfu, Greece, 26-28.
- Aydın, A., 2015. Boşluklu Dolgu Duvarlara Sahip Betonarme Binaların Deprem Davranışının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Isparta.
- Balık, F. S., 2012. Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 245s, Konya.
- Baran, M., Sevil, T., 2010. Analytical And Experimental Studies On Infilled RC Frames. International Journal Of The Physical Sciences, 5(13), 1891-1998.
- Bayülke, N. 2003. Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426, 85-98.

- Beklen, C., 2009. Binalarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Adana.
- Betonarme Elemanlarda **S**Argı ve **M**odelleme (BESAM), 2013. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (111M119).
- Calio, I., Panto, B., 2014. A Macro-Element Modelling Approach Of Infilled Frame Structures. Computers & Structures, 143, 91-107.
- Celarec, D., Dolšek, M. 2013. The Impact Of Modelling Uncertainties On The Seismic Performance Assessment Of Reinforced Concrete Frame Buildings. Engineering Structures, 52, 340-354.
- Celarec, D., Ricci, P., Dolsek, M. 2012. The sensitivity of seismic response parameters to the uncertain modelling variables of masonry-infilled reinforced concrete frames. Engineering Structures, 35, 165-177.
- Celep, Z. 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış Ve Çözümleme: Deprem Yönetmeliği (2007) Kavramları, Beta Basım Yayım, 237s, İstanbul.
- Chung, K. F., Chan, C. K. 2011. Advanced Finite Element Modelling of Composite Beams With High Strength Materials and Deformable Shear Connectors. Procedia Engineering, 14, 1114-1122.
- Çağlayan, E., 2006. Betonarme Çerçevelerin Yatay Yüklere Göre Analizinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47s.
- Çankaya, A.M. 2011. Dynamic Behavior of Reinforced Concrete Frames With Infill Walls. The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, Master of Science, 132s. İzmir.
- Çıtıpıtıoğlu, E., Yılmaz, Ç., Akkaş, N., ve Değer, M., 1997, Taşıyıcı Olmayan Bölme Duvarların Deprem Davranışına Katkıları ve Sonuçların Deprem Yönetmeliğine Uyarlanması. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Nisan, Proje No: ITAG/TOKI-531, Ankara.
- Demir, F., Tekeli, H., Güler, K., Celep, Z., Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım, Tübitak 111M119 nolu proje, 2013.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Doğrusal Elastik Olmayan Program (DELOP), 2013. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (111M119).

- 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.
- Dönmez, C., Altınay, M., Aktaş, E., Özen, S., 2010. Modal Deney Yöntemi İle Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Çerçeve Bölme Duvar Etkileşiminin İncelenmesi. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu*, 128s. Proje No, 104I107.
- Ersoy, U. (2007). Betonarme Yapıların Onarımı Ve Güçlendirilmesi Uygulama Ve Araştırmalar. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, İstanbul, 207-216.
- FEMA-306, 1998. Evaluation Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington.
- Fiore, A., Porco, F., Raffaele, D., Uva, G. 2012. About The Influence Of The Infill Panels Over The Collapse Mechanisms Activated Under Pushover Analyses: Two Case Studies. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 39, 11-22.
- Giannakas, A., Patronis, D., Fardis, M. 1987. The Influence Of The Position And The Size Of Openings To The Elastic Rigidity Of Infill Walls. *8th Hellenic Concrete Conf.*, May, Xanthi Kavala Greece, 49–56.
- Güder, S. O. 2013. Dolgu Duvarların Yapısal Analizlerde Göz Önüne Alınmasının Düşey Düzensizlik Ve Deprem Performansına Etkileri. *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*, 121s, İstanbul.
- Gürpınar, Z., 2011. Rijit Ötelenme Hareketine Maruz Mevcut Dolgu Duvarlı Bir Yapının Deprem Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Belirlenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. 165s. İstanbul.
- Holmes, M., 1961. Steel Frames With Brickwork And Concrete Infilling, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 19(4), 473-478.
- İlki, A., Celep, Z. 2011. Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, ODTÜ Ankara.
- Jinya, M. H., Patel, V. 2014. Analysis Of RC Frame With And Without Masonry Infill Wall With Different Stiffness With Outer Central Opening. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 3(6), 76-83.
- Kakaletsis, D., Karayannis, C. 2007. Experimental Investigation Of Infilled R/C Frames With Eccentric Openings. *Structural Engineering and Mechanics*, 26(3), 231-250.

- Kakaletsis, D. J., Karayannis, C. G. 2009. Experimental Investigation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Openings. *ACI Structural Journal*, 106(2), 132-141.
- Kakaletsis, D. J., Karayannis, C. G., Panagopoulos, G. K. 2011. Effectiveness of Rectangular Spiral Shear Reinforcement on Infilled R/C Frames Under Cyclic Loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 15(8), 1178-1193.
- Karaduman, A. 2005. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 345-349.
- Kaymak, F., Tuna, M. E. 2011. Kısmi Ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi İle İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 435-445.
- Kızıloğlu, M.Y., 2006. Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 94s. İstanbul.
- Kose, M. M. 2009. Parameters Affecting The Fundamental Period Of RC Buildings With Infill Walls. *Engineering Structures*, 31(1), 93-102.
- Liauw, T.C., and Kwan, K.H. 1984. Nonlinear Behavior Of Non-Integral Infilled Frames. *Computers & Structures* 18(3), 551-560.
- Mainstone, R.J., 1974. Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames. *Building Research Station, UK*,
- Mallick, D. V., Garg, R. P., 1971. Effect Of Openings On The Lateral Stiffness Of Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 49(2), 193-209.
- Moghadam, H. A., Mohammadi, M. G., Ghaemian, M. 2006. Experimental And Analytical Investigation into Crack Strength Determination Of Infilled Steel Frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(12), 1341-1352.
- Mohebkhah, A., Tasnimi, A., Moghadam, H. 2007. A Modified Three-Strut (Mts) Model For Masonry-Infilled Steel Frames With Openings. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 9(1-2), 39-48.
- Mohebkhah, A., Tasnimi, A. A., Moghadam, H. A. 2008. Nonlinear Analysis Of Masonry-Infilled Steel Frames With Openings Using Discrete Element Method. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(12), 1463-1472.

- Mondal, G., Jain, S. K. 2008. Lateral Stiffness Of Masonry Infilled Reinforced Concrete (Rc) Frames With Central Opening. *Earthquake Spectra*, 24(3), 701-723.
- Nwofor, T., Chinwah, J. (2012). Finite Element Modeling of Shear Strength of Infilled Frames with Openings. *International Journal of Engineering and Technology*, 136(3), 285-296.
- Özdoğu, O.Z., 2006. Deprem Etkisi Altındaki Binaların Davranışına Dolgu Duvarların Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s. Sakarya.
- Öztürk, M. S. 2005. Effects Of Masonry Infill Walls On The Seismic Performance Of Buildings. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Ankara.
- Panagiotakos, T., Fardis, M. 1996. Seismic Response Of Infilled Rc Frames Structures. 11th World Conference on Earthquake Engineering, June, Acapulco. 225.
- Paul, G., Agarwal, P. 2012. Experimental Verification Of Seismic Evaluation Of Rc Frame Building Designed as Per Previous Is Codes Before And After Retrofitting by Using Steel Bracing. *Asian Journal of Civil Engineering*, 13(2), 165-179.
- Peynirci, R., 2007. Betonarme Çerçeve Sistemlerde Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Katkısı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Afyon.
- Polyakov, S. 1956. Masonry in Framed Buildings. Gosudarstvennoelzdatel Stvo Literaturny Po Stroitel Stvui Arkitektuze Moscow.
- SAP 2000, 2011. Computers and Structures, Inc., v.14.0.0, Structural Analysis Program, Berkeley, CA, USA.
- Sevil, T., Baran, M., Canbay, E. 2010. Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesi Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel Ve Kuramsal Çalışmalar. *International Journal of Engineering*, 2(2), 35-42.
- Siddiqui, U.A, 2013. Seismic Performance Evaluation Of Reinforced Concrete Frames Infilled With Autoclave Aerated Concrete Masonry, Middle East Technical University in Science Institute, Thesis Of Master, 119s. Ankara
- Sigmund, V., Penava, D. 2013. Assessment of Masonry Infilled Reinforced-Concrete Frames with Openings. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 20(3), 459-466.

- Smith, B. S., 1962. Lateral Stiffness of Infilled Frames. ASCE Structural Division Journal, 92, No. ST1, 381-403.
- Smith, B. S. And Carter , C., 1969. A Method of Analysis for Infilled Frames. Proceedings of the Institution of Civil Engineer, 44(1), 31-48.
- Sönmez, E. 2013. Effect Of Infill Wall Stiffness Variations On The Behavior Of Reinforced Concrete Frames Under Earthquake Demands. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, İzmir.
- Strepelias, E., Palios, X., Bousias, S. N., Fardis, M. N. 2014. Experimental Investigation of Concrete Frames Infilled with RC for Seismic Rehabilitation. Journal of Structural Engineering, 140(1).
- Sucar, İ., 2008. Betonarme Yapılarda Yatay Yükler Etkisinde Dolgu Duvarların Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s. Balıkesir.
- Tan, K. H., Cheng, G. H., Cheong, H. K. 2005. Size Effect in Shear Strength Of Large Beams - Behaviour and Finite Element Modelling. Magazine of Concrete Research, 57(8), 497-509.
- Tasnimi, A. A., Mohebkah, A. 2011. Investigation On The Behavior Of Brick-Infilled Steel Frames With Openings, Experimental And Analytical Approaches. Engineering Structures, 33(3), 968-980.
- Toker, A. 2007. Betonarme Bir Yapıda Dolgu Duvar Etkisinin Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemiyle İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, İstanbul.
- Tar, Ö.İ., 2010. Dolgu Duvarların Modellenmesinde Kullanılan Eş Değer Basınç Çubuğu Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s. İstanbul.
- Tetik, D. 2007. Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Serbest Titreşimine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s. İstanbul.
- Tuncer, Ö. 2008. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Uva, G., Raffaele, D., Porco, F., Fiore, A. 2012. On the role of equivalent strut models in the seismic assessment of infilled RC buildings. Engineering Structures, 42, 83-94.
- Uysal, K.E, 2013. Betonarme Binalarda Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 243s. İstanbul.

Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ., Özcebe, G. 2013. Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, MKÜ – Hatay.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ŞAN

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : mrt7456@gmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Anadolu Lisesi, 2009

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 2013

### Mesleki Deneyim

Zambak Yapı Denetim Bağcılar, İstanbul 2014-2014

Gümüşhane Üniversitesi

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi 2014-...halen

## **Yayınları**

Tekeli,H.,Dilmaç,H.,Demir,,Erkan,K.T.,Şan,M.(2013).Riskli Binaların Değerlendirilmesi Üzerine Bir İnceleme, İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, Mkü,Hatay,Türkiye

Şan,M.,Tekeli,H.,Demir,F.(2015)The Effect of Infill Wall Configuration on Seismic Performance of RC Frames, Imcofe'15 : International Multidisciplinary Congree Of Eurasia, Skopje, Macedonia

Saka,F.,Gül,F.,Oğuz,Y.,Şan,M.(2015).Sellerde Risk Yönetimi Ve Kentsel Önlemler, Yedinci Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon, Türkiye