

## BETONARME YAPILARDA DOLGU DUVAR-ÇERÇEVE ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

### (*INVESTIGATION OF INFILL WALL-FRAME INTERACTION IN RC STRUCTURES*)

Onur ÖZTÜRKOĞLU<sup>1</sup>, Taner UÇAR<sup>2</sup>, Yusuf YEŞİLCE<sup>3</sup>

#### ÖZ

Betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşimi özellikle yatay yükler etkisinde önem kazanmakta ve bu durumun bir sonucu olarak söz konusu etkileşimin modellenmesi gündeme gelmektedir. Çalışmada, eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yaklaşımları kullanılarak dolgu duvarların betonarme analizlerde hesap modeline dahil edilmesi amaçlanmıştır. Dolgu duvarın çerçeve elemanlarıyla etkileşimi, sadece aksenal basınca çalışan boşluk elemanları kullanılarak modellenmiştir. Modal analizden bulunan doğal titreşim periyotları ve doğrusal elastik deprem hesabı sonucu elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri ve göreceli kat ötelemeleri, farklı modeller üzerinden kıyaslanarak dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin model farklılıklarına bağlı olarak değişebildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** dolgu duvar, eşdeğer basınç çubuğu, sonlu elemanlar, dolgu duvar-çerçeve etkileşimi

#### ABSTRACT

*Infill wall-frame interaction has a particular importance when reinforced concrete structures are subjected to lateral loads and as a consequence, the modelling of the aforementioned interaction becomes an issue. The aim of this study is to incorporate infill walls into the model by considering the analytical models of equivalent compression strut and finite elements. Infill wall-frame interaction is modelled by using gap elements, which bear only compression forces. Natural periods obtained from the modal analysis, and the lateral floor displacement and the relative interstory drifts obtained from linear-elastic seismic analysis are compared across different models. It is observed that infill wall-frame interaction may vary depending on modelling.*

**Keywords:** *infill wall, equivalent compression strut, finite elements, infill all-frame interaction*

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR, onur.ozturkoglu@deu.edu.tr (sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İZMİR, taner.ucar@deu.edu.tr

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR, yusuf.yesilce@deu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yapıların büyük çoğunluğunda farklı mekanları birbirinden ayırmak ve kullanım alanlarını dış ortamdaki izole etmek amacıyla çeşitli tuğla, bims ve gazbeton malzemelerinden yapılan dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmasına karşın, malzemelerdeki çeşitliklere bağlı olarak homojen ve izotrop olmayan, kısmi boşluklu ve tam dolu gibi farklı şekillerde uygulanabilen dolgu duvarların hesap modelinin oluşturulması, birçok değişkeni içerdiğinden dolayı karmaşıktır. Ayrıca dolgu duvar ile ilgili tüm değişkenleri kapsayacak şekilde basit bir analitik hesap modelinin önerilmesi bir çok faktörün göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, dolgu duvarlar genellikle yapıların hesap modeline dahil edilmeyip, yapısal analiz ve boyutlandırma yalnızca düşey yük olarak dikkate alınmaktadır.

Dolgu duvarın yapısal olmayan eleman olarak göz önünde bulundurulması ve yalnızca modal kütle hesabında ağırlık olarak dikkate alınmasına yönelik pratik yaklaşım, eğer dolgu duvarlar çerçeve ile etkileşim halinde olmasaydı doğru kabul edilebilirdi. Yapısal olmayan eleman olarak düşünülmesine rağmen, deprem etkileri altında dolgu duvarlar etrafını çevreleyen betonarme çerçeve ile birlikte çalışarak bir etkileşim söz konusudur. Bu etkileşimin, çerçevenin yapısal davranışına ve deprem performansına olumlu ya da olumsuz bir takım etkilerinin olması kaçınılmazdır. Böylece tasarım aşamasındaki betonarme yapı ile deprem etkilerine maruz kalan dolgu duvarlı betonarme yapının dayanım ve davranışı birbirinden oldukça farklı olmaktadır. Deprem sonrası yapılan gözlemler ve araştırmalarda dolgu duvarlarda kalıcı deformasyonlara bağlı tipik hasarlara rastlanmaktadır. Dolgu duvarda oluşan bu tip hasarlar, enerji sönümlenme ve yatay yükler etkisine karşı direnç anlamına gelmektedir [1-3].

Yatay yükler altında yapı davranışına bariz etkisi olan dolgu duvarların hesap modeline katılmasının yanı sıra, dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki etkileşimin de dikkate alınarak bu modele dahil edilmesi önemlidir. Böylece betonarme çerçevelerde yatay rijitlik, dayanım, yerdeğiştirme sünekliği, enerji tüketimi, göçme mekanizması gibi doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranış ile ilgili birçok parametrenin daha hassas bir şekilde belirlenmesi mümkün olacaktır.

Literatürde dolgu duvarların çeşitli yaklaşımlarla modellenip yapısal analize dahil edildiği ve statik ve/veya dinamik yatay yükler altında davranışının incelendiği çok sayıda analitik ve deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu konudaki çalışmaların başlangıcı 1950'li yıllara dayanmakla beraber [4], dolgu duvarların modellenmesine ve dolgu duvar-çerçeve arasındaki etkileşimin incelenmesine yönelik araştırmalar günümüzde de yoğun olarak devam etmektedir. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenip çeşitli yapısal parametrelere ve yapıların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışına etkisinin incelendiği çalışmalara sıkça rastlanmakta [5-13], ayrıca eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına bazı ulusal [14] ve uluslararası [15] yönetmeliklerde de yer verilmektedir. Eşdeğer basınç modeline ilave olarak dolgu duvarların sonlu elemanlarla modellenmesine [16-20] ve dolgu duvar düzleminde açılan boşlukların analitik modele dahil edilmesine [21-25] yönelik çalışmalar da literatürde önemli bir yere sahiptir. Bunların yanı sıra dolgu duvarların yapısal davranışa etkilerinin araştırıldığı deneysel çalışmalar da yoğun olarak yapılmaktadır [22, 26-32].

Sunulan çalışmada, farklı kat ve açıklık sayılarına sahip dört adet betonarme yapı sisteminde dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yaklaşımları

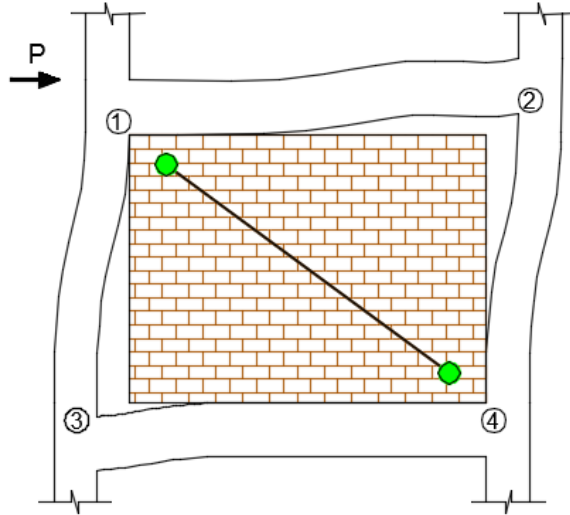
kullanılarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar ile betonarme çerçeve arasındaki bağlantıyı tanımlayabilmek için doğrusal olmayan boşluk elemanlar kullanıldığı gibi, bağlantı elemanı kullanılmadan dolgu duvar ile çerçevenin birbirine direkt olarak birbirine bağlandığı modeller de hazırlanmıştır. Boşluk elemanların aksenal rijitlikleri iki farklı yaklaşımla hesaplanarak dikkate alınmıştır. Toplam on altı adet betonarme model çerçevenin analizi sonucunda elde edilen doğal titreşim periyotları, kat yatay yerdeğiştirmeleri ve görel kat ötelemeleri karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

Literatürde dolgu duvar yapımında kullanılan tuğla ve harç özelliklerinin ayrı ayrı tanımlandığı ve dolgu duvarın içinde de bağlantı elemanların kullanıldığı hesap modellerinin, genellikle duvar içerisindeki hasarı tespit edebilmek için kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada genel olarak dolgu duvarların çerçeve sistemin davranışına etkisinin araştırılması amaçlandığından bu tür bir modelleme tekniği seçilmemiştir. Dolgu duvarlar makro modelleme kullanılarak hesap modelinde tanımlanmış ve bu nedenle dolgu duvar malzemesinin rijitliği kullanılmıştır.

### 2.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu İle Modelleme

Yatay yük etkisi altındaki bir çerçeve Şekil 1'deki gibi deforme olacağından dolgu duvarın çerçeve ile olan bağlantısı 2 ve 3 numaralı köşelerde kesilecektir. Duvar üzerindeki yük aktarımı temas halinde bulunan 1 ve 4 numaralı noktalar arasında gerçekleşeceğinden ve dolgu malzemelerinin çekme dayanımının genellikle ihmal edilecek kadar düşük olması sebebiyle dolgu duvarlar, bu noktalar arasında yalnızca aksenal basınç kuvveti taşıyabilen diyagonal bir çubuk ile tanımlanabilmektedir.



Şekil 1. Yatay yük etkisi altında deforme olmuş bir çerçeve ve eşdeğer basınç çubuğu

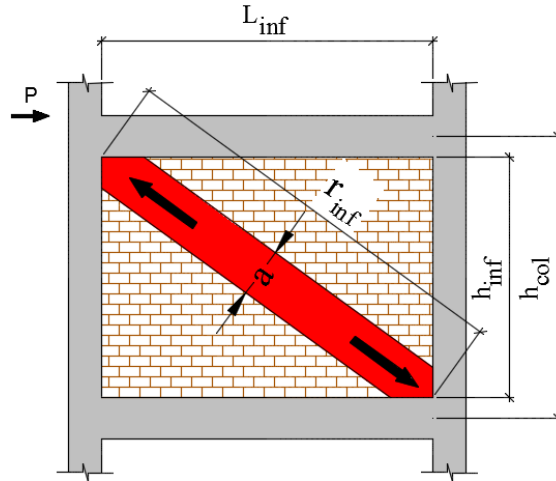
Modellemede eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülü ile aynı alınmaktadır. Bu çubuğun genişliği ise Eşitlik (1)-(3) kullanılarak hesaplanabilir [15].

$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

$$r_{inf} = \sqrt{L_{inf} + h_{inf}} \quad (2)$$

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (3)$$

Söz konusu eşitliklerde;  $E_{me}$  ve  $E_{fe}$  dolgu duvarın ve çerçeve elemanların elastisite modülünü,  $t_{inf}$  dolgu duvarın ve eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığını,  $\theta$  eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açının değerini,  $I_{col}$  kolonların atalet momentini,  $h_{inf}$  ve  $L_{inf}$  dolgu duvarın yüksekliğini ve uzunluğunu,  $r_{inf}$  eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğunu,  $h_{col}$  giriş orta eksenleri arasında kalan kolon yüksekliğini,  $\lambda_1$  dolgu duvar ile çerçeve rijitliğini görel olarak temsil eden bir parametreyi,  $a$  ise eşdeğer basınç çubuğu genişliğini ifade etmektedir. Bu eşitliklerde kullanılan geometrik parametreler bazıları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin belirlenmesinde kullanılan parametreler

## 2.2. Sonlu Elemanlar İle Modelleme

Sonlu elemanlar yaklaşımında dolgu duvarlar kabuk eleman olarak düşünülmekte ve sonlu eleman adı verilen küçük parçalara bölünerek hesap modelinde tanımlanmaktadır. Seçilen sonlu eleman boyutları küçüldükçe, analiz sonuçları hassaslaşacak, buna karşın işlem yükü ve analiz süresi uzayacaktır.

Literatürde dolgu duvarın sonlu elemanlar ile modellemesine yönelik çalışmalar incelendiğinde, özellikle dolgu duvar ile çerçeve elemanı arasındaki etkileşimin farklı şekillerde modellenebildiği ve buna bağlı olarak analiz sonuçlarının değiştiği görülmektedir. Dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki bağlantının doğru tanımlanması, sonlu elemanlar ile modelleme yönteminde önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Duvar üzerinden sadece basınç kuvvetleri aktarılacağından, bu bağlantıyı sağlamak için çekme kuvvetlerini iletmeyen boşluk eleman tanımlanabilecektir. Bu tarz bir modellemede

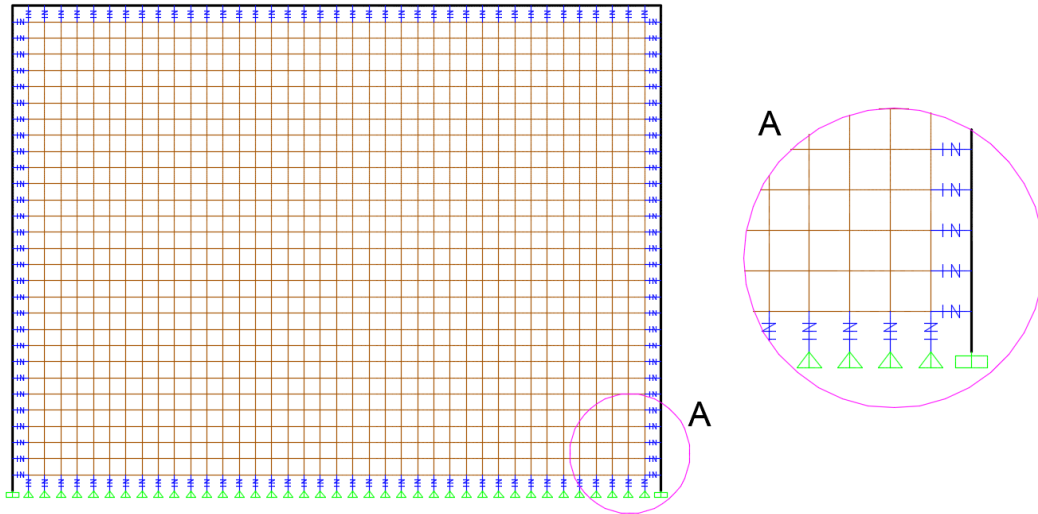
girdi olarak boşluk elemanın rijitliğine gereksinim vardır. Literatürde boşluk elemanın rijitliği için Dorji ve Thambiratnam [16] tarafından Eşitlik (4) ve Eşitlik (5) önerilmiştir. Bununla birlikte boşluk elemanın rijitliğinin, eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliğini veren Eşitlik (6) ile hesaplanması şeklinde bir yaklaşım da söz konusu olabilmektedir.

$$k_i = t_{inf} E \quad (4)$$

$$k_g = 0.0378k_i + 347 \quad (5)$$

$$k_g = \frac{t_{inf} a E_{me}}{r_{inf}} \quad (6)$$

Eşitlik (4)-(6)'da  $k_i$  dolgu duvarın rijitliğini,  $k_g$  ise boşluk elemanın rijitliğini temsil etmektedir. Şekil 3'de tek katlı ve tek açıklıklı bir çerçevenin sonlu elemanlar yaklaşımı ile oluşturulan hesap modeli ve dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin boşluk elemanlar kullanılarak modellenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Sonlu elemanlar ile dolgu duvar modellenmesi

### 3. NÜMERİK ÇALIŞMA

Çalışmanın nümerik uygulamalarında düzlem çerçeveler kullanılmıştır. Dolgu duvar dağılımı düzenli, planda simetrik veya simetriğe yakın, düşey doğrultuda düzensizlik içermeyen 3 boyutlu yapıların 2 boyutlu çerçevelerle temsil edilebileceği kabul edilmiştir.

Dolgu duvar modelleme yaklaşımlarını incelemek amacıyla 2 açıklıklı 4 katlı (BÇ\_2-4), 2 açıklıklı 5 katlı (BÇ\_2-5), 3 açıklıklı 4 katlı (BÇ\_3-4) ve 3 açıklıklı 5 katlı (BÇ\_3-5) olmak üzere 4 adet betonarme düzlem çerçeve seçilmiştir. Bu çerçevelerin 2-açıklıklı olanlarında sol açıklık 5 m ve sağ açıklık 4 m'dir. 3-açıklıklı çerçevelerde ise kenar açıklıklar 5 m iken orta açıklık 4 m'dir. Kat yükseklikleri her katta eşit olup 3 m olarak alınmıştır.

### 3.1. Çerçeveselerin boyutlandırılması

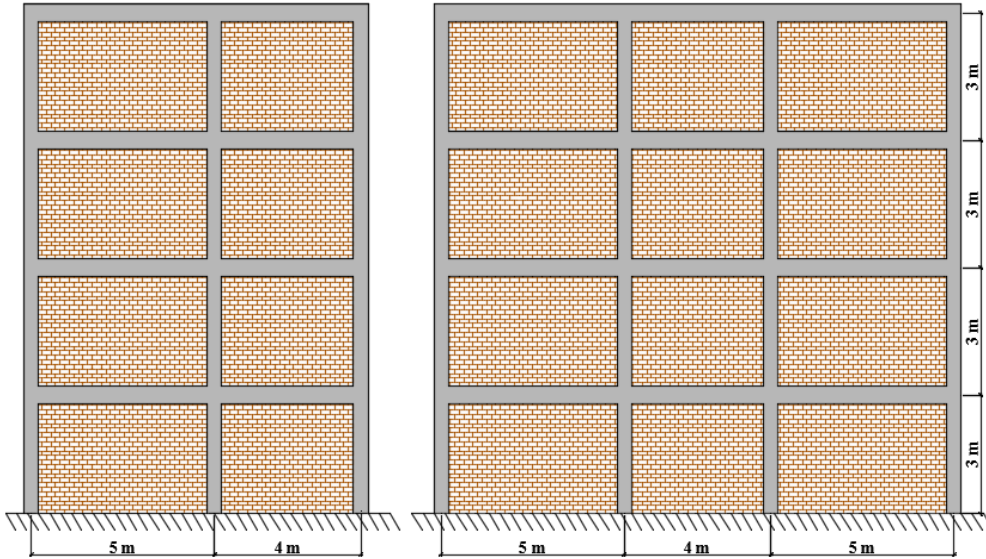
Seçilen düzlem çerçeveler öncelikle Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [14] ve TS500 [33] koşullarını sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Çerçeveselerin bir konut yapısının kenar aksından çıkartıldığı kabul edilmiş ve düşey yükler üç boyutlu yapı üzerinden hesaplanarak çerçevelere paylaştırılmıştır. Çerçeveselerin modal kütleleri ölü yükler ile hareketli yüklerin %30'unun toplamından hesaplanmıştır. Çerçeveselerin boyutlandırılması aşamasında doğrusal elastik deprem hesabı Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi [14] kullanılarak yapılmıştır. Beton sınıfı C20 olarak seçilmiştir. Boyutlandırmada kullanılan diğer parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Boyutlandırmada esas alınan bazı parametreler

Deprem bölgesi	1
Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )	0.40
Bina önem katsayısı ( $I$ )	1.0
Yerel zemin sınıfı	Z3
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A=0.15$ sn, $T_B=0.60$ sn
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ )	8
Hareketli yük katılım katsayısı ( $n$ )	0.30

Çerçeveselerin doğrusal elastik hesap modelleri SAP2000 [34] yapısal analiz yazılımında hazırlanmış ve TS500'de verilen farklı yük birleşimleri dikkate alınarak boyutlandırması gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma sonucunda çerçevelerdeki tüm kirişler 25x50 cm olarak belirlenmiştir. Kare olarak tasarlanan kolon kesitlerinin boyutları ise 40x40 cm'dir.

Kalınlığı  $t_{inf}=20$  cm ve elastisite modülü  $E_{me}=6000$  MPa olarak kabul edilen dolgu duvarlar, çerçevelerin tüm açıklıklarını boşluksuz olarak kaplamaktadır. Çalışmada kullanılan BÇ\_2-4 ve BÇ\_3-4 çerçeveleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Analizlerde kullanılan 4 katlı çerçeveler

### 3.2. Dolgu Duvarların Analize Dahil Edilmesi

İlk aşamada dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak analize dahil edilmiştir. Eşdeğer basınç çubuklarının genişlikleri Eşitlik (1)-(3) kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 2’de farklı genişlikteki açıklıklarda yer alan dolgu duvarları temsil eden eşdeğer basınç çubuklarının genişlikleri ve bu genişlik değerlerinin hesaplanmasında kullanılan yardımcı parametreler verilmiştir. Kat yüksekliği tüm çerçeveler için sabit olduğundan, eşdeğer basınç çubuğunun genişliğinin hesabında dolgu duvarın uzunluğu önem kazanmaktadır.

Çizelge 2. Eşdeğer basınç çubuklarına ait parametreler

Açıklık (m)	$h_{inf}$ (cm)	$t_{inf}$ (cm)	$r_{inf}$ (cm)	$\lambda_1$	$a$ (cm)
4	250	20	523.5	$1.140 \times 10^{-3}$	46.4
5	250	20	438.3	$1.171 \times 10^{-3}$	56.0

İkinci aşamada dolgu duvarlar sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. 10x10 cm boyutlarındaki sonlu elemanların betonarme çerçeve ile etkileşimini tanımlamak için boşluk elemanlar kullanılmıştır. Bu modellerde boşluk elemanın rijitliği iki farklı şekilde hesaplanarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvar-çerçeve etkileşimin dikkate alınmadığı analiz modelleri ise bağlantı elemanı kullanılmadan oluşturulmuştur.

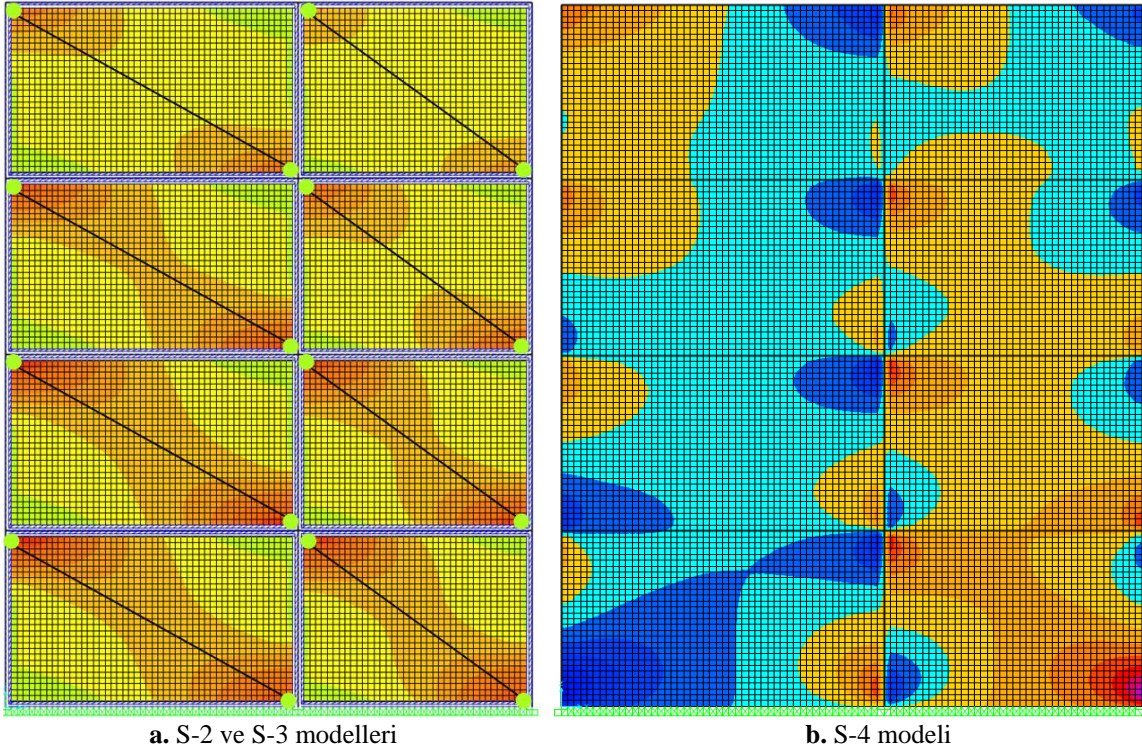
Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımıyla tanımlandığı modeller “S-1”; sonlu elemanlar ile tanımlandığı çerçevelerde boşluk elemanın rijitliğinin Eşitlik (4) ve (5) ile hesaplandığı modeller “S-2”, Eşitlik (6) ile hesaplandığı model ise “S-3” olarak kısaltılmıştır. Dolgu duvar ile çerçeve arasında boşluk elemanın kullanılmadığı model “S-4” olarak tanımlanmıştır. S-2 modellerinde dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülü tüm açıklıklarda aynı olduğundan boşluk elemanların rijitliği  $k_g=45707$  N/mm olarak hesaplanmıştır. S-3 modellerinde ise rijitlik; eşdeğer basınç çubuğu genişliği ve açıklık boyutlarına göre değişeceğinden, boyutları farklı olan açıklıklardaki boşluk eleman rijitliği farklı değerlere sahip olacaktır. 4x3 m boyutlara sahip açıklıklarda bulunan boşluk elemanların rijitliği  $k_g=115200$  N/mm olarak elde edilirken, 5x3 m boyutlarındaki açıklıklarda ise  $k_g=115266$  N/mm olarak elde edilmiştir.

Çerçevelerin SAP2000 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen modal analizden elde edilen doğal titreşim moduna ait periyot değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak analize dahil edildiği model (S-1) ile dolgu duvar-çerçeve arasındaki etkileşimin boşluk elemanları kullanılarak tanımlandığı modellerden (S-2 ve S-3) elde edilen doğal titreşim periyodu değerleri tüm çerçeveler için uyumlu değerlere sahiptir. Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki etkileşimin dikkate alınmadığı model (S-4) için hesaplanan doğal titreşim periyotları ise diğer üç modelden elde edilen periyot değerlerine göre oldukça kısa süreye sahiptir. Birbirine çok yakın olmakla birlikte, S-1 modeline olarak S-2’nin periyotları uzun, S-3’ün periyotları ise kısadır.

Çizelge 3. Çerçevelerin doğal titreşim periyotları

Çerçeve	T (sn)			
	S-1	S-2	S-3	S-4
BÇ_2-4	0.24	0.26	0.22	0.10
BÇ_2-5	0.30	0.32	0.28	0.14
BÇ_3-4	0.24	0.26	0.22	0.09
BÇ_3-5	0.29	0.32	0.27	0.12

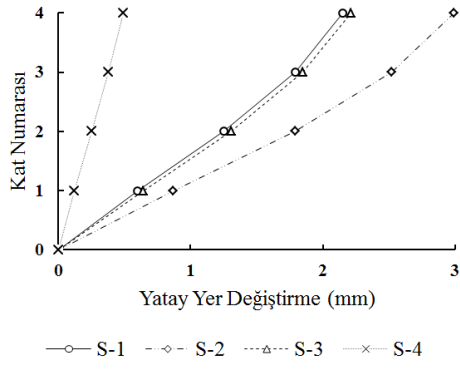
Sonlu elemanlar ile çerçeve arasında bağlantı elemanı kullanılan S-2 ve S-3 modellerinde, dolgu duvar sadece basınç kuvvetlerini aktarmış ve gerilmeler açıklıkların çapraz köşeleri arasındaki diyagonal hatlarda yoğunlaşmıştır. Bu durum S-1 modellerinde dolgu duvarın modellenmesinde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımını teyit etmektedir. Bağlantı elemanı kullanılmadan hazırlanan S-4 modellerinde dolgu duvarlar üzerinde diyagonal hat üzerinde yoğunlaşan basınç gerilmelerine ek olarak, diğer iki köşe arasındaki diyagonalde çekme gerilmeleri de oluşmuştur. Şekil 5’de S-2, S-3 ve S-4 modellerinde deprem etkisinden dolayı dolgu duvarda oluşan gerilme dağılımı gösterilmiştir.



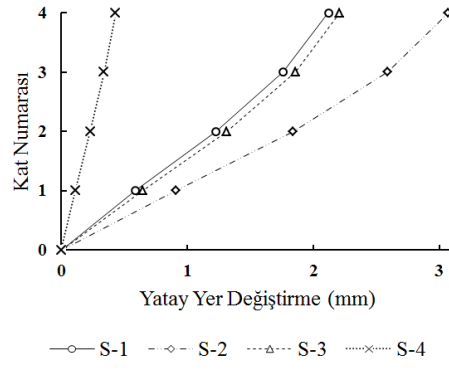
Şekil 5. Deprem etkisi altında dolgu duvarda oluşan gerilmeler (BÇ\_2-4)

Çalışmada dikkate alınan analiz modelleri için düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 6’da; aynı yük birleşiminden elde edilen görel kat ötelemeleri ise Şekil 7’de sunulmuştur. Açıklık ve kat sayısı farklı çerçevelerin S-1 ve S-3 modellerinden elde edilen kat yatay yerdeğiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri birbirine çok yakındır. Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki etkileşimi modellemede kullanılan boşluk elemanının rijitliğinin daha düşük alındığı S-2 modelinden elde edilen değerler ise daha büyük değerlere sahiptir. Duvar ile çerçeve etkisinin dikkate alınmadığı S-4 modelinden ise diğer modellere göre oldukça küçük yerdeğiştirme değerleri hesaplanmıştır.

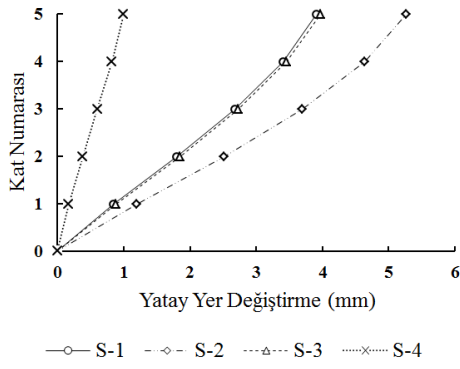




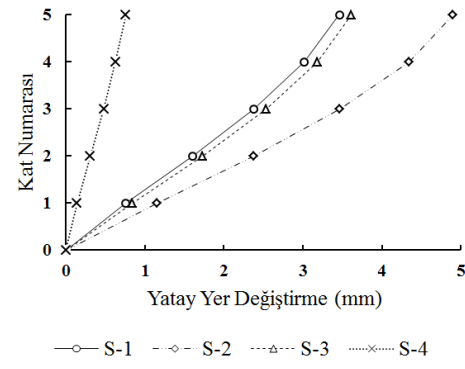
a. BÇ\_2-4



b. BÇ\_3-4

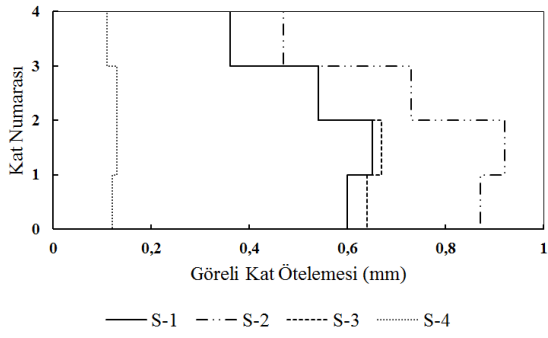


c. BÇ\_2-5

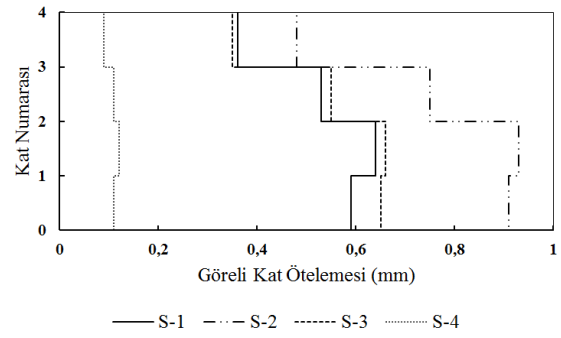


d. BÇ\_3-5

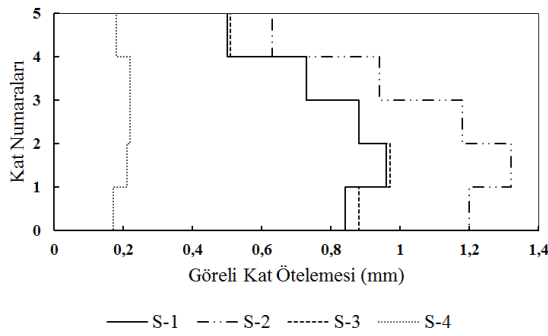
Şekil 6. Kat yatay yerdeğiştirmeleri



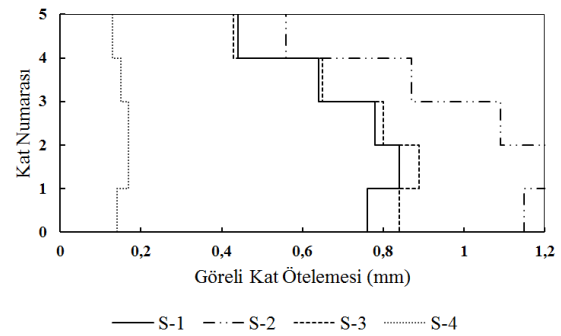
a. BÇ\_2-4



b. BÇ\_3-4



c. BÇ\_2-5



d. BÇ\_3-5

Şekil 7. Göreli kat ötelemeleri

#### 4. SONUÇLAR

Dolgu duvarlar ile ilgili farklı yaklaşımlar kullanılarak hazırlanan modellere ait analiz sonuçlarından kat yatay yerdeğiştirmeleri, görelı kat ötelemeleri ve birinci moda ait doğal titreşim periyotları elde edilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1) Dolgu duvarların sonlu elemanlar ile modellenmesinde çerçeve ile duvar arasında bağlantı elemanı kullanılmaması durumunda, dolgu duvar çekme kuvvetlerini de ilettiğinden modelleme tekniğı açısından basınç çubuğı yaklaşımı ile eşdeğerlik sağlanamamıştır.

2) Dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasında sadece aksel basınç kuvveti ileten boşluk elemanlarının kullanılması, dolgu duvarların sonlu elemanlar tekniğı ile doğru bir şekilde modellenmesi ve duvar ile betonarme çerçeve arasındaki etkileşimin hassas bir şekilde dikkate alınması bakımından önemlidir.

3) Boşluk elemanlarının rijitliğinin eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliğı olarak alınması durumunda, kat yatay yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri, dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğı ile temsil edildiğı modellerin analiz sonuçları arasında çok yakın değerler elde edilmiştir. Rijitliğı, Dorji ve Thambiratnam'ın yaklaşımıyla hesaplanan modellerde ise, aynı parametreler boşluk elemanının düşük rijitliğı nedeniyle daha büyük olarak elde edilmiştir. Boşluk elemanının kullanılmadığı ve sonlu elemanlar ile çerçevenin birbirine doğrudan bağı olduğu S-4 modellerinde, yerdeğiştirme değerleri diğer modellere göre oldukça küçük değerlere sahiptir.

4) S-3 modellerinde hesaplanan doğal titreşim periyotları, S-2 modellerine göre daha kısa periyotlar elde edilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğı yaklaşımı ile hazırlanan S-1 modellerinin periyotları ise S-2 ve S-3'ün arasında kalmakta ve her üç modelden elde edilen periyot değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Sonlu elemanlar ile çerçeve eleman arasında herhangi bir bağlantı elemanı kullanılmadan hazırlanan S-4 modelleri ise, oluşturulan modeller arasında en kısa periyotlara sahip olan modellerdir.

Dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki etkileşim dikkate alınması ve bu etkileşimin doğru bir şekilde modellenmesi, daha hassas sonuçlar elde etmek için önemlidir. Çalışmanın, dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin modellenmesinde, boşluk elemanını rijitliğinin belirlenmesine yön gösterebileceğı öngörülmektedir. Boşluk elemanının rijitliğinin eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliğine eşit alınması durumunda, çok yaygın bir modelleme tekniğı olarak kullanılan eşdeğer basınç çubuğı yaklaşımı sonlu elemanlar modeli ile yaklaşık sonuçlar vermektedir. Dolgu duvarların sonlu elemanlar modelinde duvar-çerçeve etkileşimin dikkate alınmadığı durumlarda ise çeşitli yapısal parametreler için farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

**KAYNAKLAR**

- [1] Yakut A, Binici B, Demirel İO, Özcebe G., Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 2013.
- [2] Öztürkoğlu O, Uçar T, Yeşilce Y., Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi, *International Burdur Earthquake & Environment Symposium*, Burdur, 2015, s.123-133.
- [3] Sayın B, Kaplan, SA., Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modelleme Teknikleri, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, s.474-480.
- [4] Polyakov SV., Investigation of the Strength and of the Deformational Characteristics of Masonry Filler Walls and Facing on Framed Structures, *Construction Industry Institute*, No.3, 1950.
- [5] Madan A, Reinborn AM, Mander JB, Valles RE., Modelling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis"ü, *Journal of Structural Engineering*, Cilt.123, No.10, 1997, s.1295-1307.
- [6] Sivri M, Demir F, Kuyucular A., Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt.10, No.1, 2006, s.109-115.
- [7] Kaushik HB, Rai DC, Jain SK., A Rational Approach to Analytical Modelling of Masonry Infills in Reinforced Concrete Frames Buildings, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 12-17 Ekim, 2008.
- [8] Köse MM., Parameters Affecting the Fundamental Period of RC Buildings with Infill Walls, *Engineering Structures*, Cilt.31, No.1, 2009, s.93-102.
- [9] Kaymak F, Tuna ME. 2011., Kısmi ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt.26, No.2, 2011, s.435-445.
- [10] Karasu TO, Erdem RT, Demir A, Bağcı M., Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Binanın Performansının İncelenmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt.7, No.2, 2011, s.64-69.
- [11] Akpınar U, Binici B., The Effect of Infill Wall Collapse on the Deformation Estimations of Reinforced Concrete Frames, *Journal of Civil Engineering and Science*, Cilt.2, Sayı.3, 2013, s.171-177.
- [12] Liu L, Wu Z, Sun H., The Influence of Infill Walls on RC Frames under Seismic Excitation, *Architectural Engineering*, Cilt.2, Sayı.4, 2014, s.68-72.
- [13] Rathod P, Dyavanal SS., Seismic Evaluation of Multistorey RC Building with Openings in Unreinforced Masonry Infill Walls with User Defined Hinges, *Proceedings of IRF International Conference*, Bengaluru, India, 5 Temmuz 2014, s.115-120.
- [14] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
- [15] Federal Emergency Management Agency. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), Washington DC, 2000.
- [16] Dorji J, Thambiratnam DP., Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads, *The Open Construction and Building Technology Journal*, Cilt.3, 2009, s.119-126.
- [17] Beklen C, Çağatay İH., Çerçevelerde Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi*, Cilt.24, No.1-2, 2009, s.77-90.
- [18] Durmazgezer E., Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Deprem Etkileri Altındaki Davranışının İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2013, s.125.

- [19] Allouzi R, Irfanoglu A, Haikal G., Non-linear Finite Element Modeling of RC Frame-Masonry Wall Interaction Under Cyclic Loadings, *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska, 21-25 Temmuz 2014.
- [20] Koutromanos I, Shing PB., Numerical Modeling of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame Buildings, *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, 2014, s.1-15.
- [21] Asteris PG., Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames, *Journal of Structural Engineering*, Cilt.129, No.8, 2003, s.1071-1079.
- [22] Kakaletsis DJ, Karayannis CG., Influence of Masonry Strength and Openings on Infilled R/C Frames Under Cycling Loading, *Journal of Earthquake Engineering*, Cilt.12, Sayı.2, 2008, s.197-221.
- [23] Asteris PG, Chrysostomou CZ, Giannopoulos IP, Smyrou E., Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames with Openings, *III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Corfu, Greece, 25-28 Mayıs 2011.
- [24] Pradhan PM, Pradhan PL, Maskey RK., A Review on Partial Infilled Frames Under Lateral Loads, *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, Cilt.8, Sayı.1, 2012, s.142-152.
- [25] Andrei Z., Influence of Openings on the Behaviour of Masonry Infill Frames, *2nd International Conference on Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics (ICAESAM'2014)*, İstanbul, 4-5 Mayıs 2014, s.91-93.
- [26] Mehrabi AB, Shing PB, Schuller MP, Noland JL., Experimental Evaluation of Masonry Infilled RC Frames, *Journal of Structural Engineering*, Cilt.122, Sayı.3, 1996, s.228-237.
- [27] Mosalam KM, White RN, Gergely P., Static Response of Infilled Frames using Quasi-Static Experimentation, *Journal of Structural Engineering*, Cilt.123, Sayı.11, 1997, s.1462-1469.
- [28] Pujol S, Climent AB, Rodriguez ME, Pardo LPS., Masonry Infill Walls: An Effective Alternative for Seismic Strengthening of Low-Rise Reinforced Concrete Building Structures, *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 12-17 Ekim 2008.
- [29] Sevil T, Baran M, Canbay E., Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesi Yapılarının Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development*, Cilt.2, Sayı.2, 2010, s.35-42.
- [30] Asteris PG, Kakaletsis DJ, Chrysostomou CZ, Smyrou EE. 2011., Failure Modes of Infilled Frames, *Electronic Journal of Structural Engineering*, Cilt.11, Sayı.1, 2011, s.11-20.
- [31] Valente M., Seismic Performance Assessment of a Masonry Infilled Ductile RC Structure, *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Cilt. 4, Sayı. 6, 2012, s.701-704.
- [32] Kuang JS, Zhang H., Shake Table Tests of Infilled RC Frames with Different Column-to-Infill Connections, *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, İstanbul, 25-29 Ağustos 2014.
- [33] TS500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [34] SAP 2000 Integrated Solution for Structural Analysis & Design V.16.0.0, Computer and Structures Inc, USA.

**ÖZGEÇMİŞ/CV****Onur ÖZTÜRKOĞLU; Araştırma Görevlisi (Research Assistant)**

Lisans derecesini 2013'de Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden aldı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Yüksek Lisans Programı'nda yüksek lisans öğrencisidir ve aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Araştırma ve çalışma alanları betonarme binaların doğrusal olmayan statik ve dinamik analizi ve dolgu duvarların modellenmesidir.

*He has got his bachelors' degree in Civil Engineering Department at Pamukkale University. He is a student in Structural Engineering MSc program at The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylul University and has been working as a research assistant at Civil Engineering Department of the same university. His research interests are nonlinear static and dynamic analysis of RC buildings and modelling of infill walls.*

**Taner UÇAR; Yrd. Doç. Dr. (Assistant Prof.)**

Lisans derecesini 2002'de Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden, yüksek lisans derecesini 2006'da Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Programı'ndan ve doktora derecesini 2011'de Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Doktora Programı'ndan aldı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Araştırma ve çalışma alanları betonarme binaların doğrusal olmayan statik ve dinamik analizi, betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve sismik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması üzerinedir.

*He has got his bachelors' degree in Civil Engineering Department at Dokuz Eylul University in 2002, his master degree in Structural Engineering MSc program at Dokuz Eylul University in 2006, and his PhD degree in Structural Engineering PhD program at Dokuz Eylul University in 2011. He is an academic member of Architecture Department of Dokuz Eylul University. His research interests focus on nonlinear static and dynamic analysis of RC buildings, determination of earthquake safety of RC buildings and derivation of seismic fragility curves.*

**Yusuf YEŞİLCE; Doç. Dr. (Associate Prof.)**

Lisans derecesini 2002'de Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden, yüksek lisans derecesini 2005'de Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Programı'ndan ve doktora derecesini 2009'da Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Doktora Programı'ndan aldı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Araştırma ve çalışma alanları yapıların statik ve dinamik analizi ve yapı mekaniği üzerinedir.

*He has got his bachelors' degree in Civil Engineering Department at Dokuz Eylul University in 2002, his master degree in Structural Engineering MSc program at Dokuz Eylul University in 2005 and his PhD degree in Structural Engineering PhD program at Dokuz Eylul University in 2009. He is an academic member of Civil Engineering Department of Dokuz Eylul University. His research interests focus on static and dynamic analysis of structures and structural mechanics.*