

KISMİ BOŞLUKLU DOLGU DUVARLARIN BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Onur ÖZTÜRKOĞLU¹, Taner UÇAR¹, Yusuf YEŞİLCE¹

¹DEÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, onur.ozturkoglu@deu.edu.tr, taner.ucar@deu.edu.tr, yusuf.yesilce@deu.edu.tr

ÖZET

Betonarme binalarda mekan oluşturmak ve farklı mekanları birbirinden ayırmak için çeşitli tuğla türlerinden ve gaz betondan yapılan dolgu duvarlar çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip duvarlar çerçeve düzlemini tamamen kapatabildiği gibi aydınlatma, giriş-çıkış ve farklı mimari gereksinimlere bağlı olarak, dolgu duvarın farklı yerlerinde, farklı biçim ve büyüklüklerde kısmi boşlukların açılması çoğu kez kaçınılmazdır. Bununla birlikte, betonarme binaların vazgeçilmez bir elemanı olan dolgu duvarlar, yapısal analizde genellikle binanın hesap modeline dahil edilmemekte ve yalnızca kirişler üzerinde yayılı ağırlık olarak hesaba katılmaktadır. Bu yaklaşımla dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına ve çeşitli yapısal parametrelerine olası etkileri dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada, dolgu duvarlar ve duvar düzlemindeki kısmi boşluklar farklı modelleme teknikleri kullanılarak yapısal analize dahil edilmiştir. Kısmi boşluğun konum ve oranının tek katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçevenin yatay rijitliğine olan etkisi araştırılmıştır. Farklı sayıda kat ve açıklıklara sahip betonarme çerçeveler, Deprem Yönetmeliği-2007 ve TS-500 kurallarına uygun olarak boyutlandırılmıştır. Bu çerçeveler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları dikkate alınarak, kısmi boşluklara sahip dolgu duvarların betonarme çerçevelerin doğrusal elastik deprem hesabına olan etkileri periyot, kat yatay deplasmanı ve görel kat ötelemesi gibi büyüklükler cinsinden incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvar, dolgu duvarın modellenmesi, doğrusal elastik deprem hesabı, kat yatay deplasmanı, görel kat ötelemesi.

INVESTIGATION OF EFFECT OF PARTIALLY INFILLED WALLS TO SEISMIC BEHAVIOUR OF R/C BUILDINGS

ABSTRACT

Infill walls, made of various types of bricks and aerated concrete, are widely used to design spaces and as interior partitions and external walls in reinforced concrete buildings. As well as the frame plane is fully infilled, it is a frequent requirement to left openings with different shape, size and location within the infill wall due to daylighting, entrance-exit and other different architectural necessities. However, infill walls, which are essential parts of reinforced concrete buildings, are generally not taken into account in structural analysis and treated as non-structural components acting as a distributed gravity load on beams. This modeling approach underestimates the potential structural effect of infill walls to seismic response and different structural characteristics of reinforced concrete buildings. In this study, infill walls and partial openings within the wall plane are included in structural analysis by using different modeling techniques. The influence of the position and percentage of the infill opening in lateral stiffness of one-story one-bay infilled frame is investigated. Reinforced concrete frames with different number of stories and bays are designed according to Turkish Seismic Design Code-2007 and TS-500. By using analysis results of considered frames, the effects of partially infilled walls to linear elastic seismic analysis of reinforced concrete frames are investigated in terms of parameters such as structural period, lateral floor displacement and relative interstory drift.

Keywords: Infill walls, modeling of infill walls, linear elastic seismic analysis, lateral floor displacement, relative interstory drift.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada farklı taşıyıcı sistemlere sahip yapılarda, mekanlar oluşturmak ve farklı fonksiyonlara sahip mekanları birbirinden ayırmak için çeşitli tuğla türlerinden veya gaz betondan yapılmış dolgu duvarların kullanılması yaygın bir uygulamadır. Çoğu kez bir çerçeve düzleminde yer alan dolgu duvarlar kimi durumlarda bölücü eleman olarak döşeme üzerinde de konumlandırılmaktadır. Dolgu duvarlar çerçeve düzlemini tamamen kapatabildiği gibi aydınlatma, giriş-çıkış ve farklı mimari gereksinimlere bağlı olarak, dolgu duvarın farklı yerlerinde, farklı biçim ve büyüklüklerde kısmi boşlukların açılması çoğu kez kaçınılmazdır.

Dolgu duvarlar, betonarme binaların yapısal analizinde genellikle hesap modeline dahil edilmemekte ve kirişler üzerinde yayılı ağırlık olarak dikkate alınmaktadır. Homojen ve izotrop olmayan tuğla duvarların hesap modelinin oluşturulması birçok değişkeni içerdiğinden dolayı oldukça karmaşık ve kesin değildir. Ayrıca dolgu duvar ile ilgili tüm değişkenleri kapsayacak şekilde basit bir analitik hesap modelinin önerilmesi de kolay değildir. Bununla birlikte, dolgu duvarların analizlerde dikkate alınmaması, betonarme çerçevelerde yatay rijitlik, dayanım, yer değiştirme sünekliği, enerji tüketimi, göçme mekanizması gibi doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal davranış ile doğrudan alakalı birçok parametrenin hassas bir şekilde belirlenememesine neden olmaktadır. Ayrıca rijitlikteki artışa bağlı olarak yapının dinamik özellikleri de değişmektedir. Genellikle yapısal olmayan eleman olarak dikkate alınsalar bile deprem etkileri altında dolgu duvarların kendisini sınırlayan betonarme çerçeve ile etkileşimi söz konusudur. Bu etkileşimin çerçevenin yapısal davranışına ve performansına olumlu ya da olumsuz bir takım etkilerinin olması kaçınılmazdır. Depremlerde dolgu duvarlarda oluşan hasarlar bu etkileşimin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Dolgu duvarlarda oluşan hasar, yatay yüklere direnme ve enerji sönmüleme anlamına gelir ki bu da dolgu duvarların analitik modellerde hesaba katılmasını gerektirir (Yakut vd., 2013).

Dolgu duvarların farklı yaklaşımlarla modellenerek yapısal analize dahil edilmesine yönelik çalışmaların temeli 1950'li yıllara dayanmaktadır (Polyakov, 1950). Bu zamandan günümüze kadar olan süreçte dolgu duvarların modellenmesi, yapısal davranışa etkisi, yatay yükler altında dolgu duvar-çerçeve etkileşimi ve bu etkileşimin sonuçları çok sayıda deneysel ve analitik çalışmaya konu olmuştur. Dolgu duvarın farklı yerlerinde ve çeşitli büyüklüklerde boşluklar açılarak, boşluk konumunun ve oranının eşdeğer basınç çubuğunun genişliğine olan etkisi incelenmiştir (Asteris, 2003). Dolgu duvarlar farklı yaklaşımlarla yapısal analize dahil edilerek modellerin etkinlikleri kıyaslanmıştır (Kaushik et al., 2008). Üç, beş, yedi ve on katlı düzlem çerçevelerde dolgu duvarlar sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş ve çerçeve elemanları ve dolgu duvar arasına bağlantı elemanları yerleştirilmesini önerilmiştir. Farklı durumlar için periyot, kat yatay deplasmanları ve görel kat ötelemeleri kıyaslanmıştır (Dorji et al., 2009). Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlarla modellendiği çerçevelerin yatay deplasmanların, boş çerçevelere göre önemli ölçüde az olduğu görülmüştür (Beklen vd., 2009). Dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve yalnızca ilk katı dolgu duvarsız üç boyutlu yapıların doğrusal olmayan modal analizi sonucunda dolgu duvarların yapı periyodunu düşürdüğü gözlemlenmiş ve çeşitli parametrelere bağlı olan ampirik bir doğal titreşim periyodu formülü elde edilmiştir (Köse, 2009). Üç katlı bir bina dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve yalnızca ilk katı dolgu duvarlı olarak analiz edilmiş ve dolgu duvarların bina performansına önemli katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır (Karasu vd., 2011). Boşluklu ve boşluksuz betonarme çerçevelerin göçme mekanizmaları deneysel olarak incelenmiş ve boşluk oranı ve konumunun davranışa etki araştırılmıştır (Asteris et al., 2011). Kısmi ve tam dolgu duvarlı 2 katlı ve 2 açıklıklı çelik bir çerçevenin yatay yükler altındaki davranışı elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmiştir (Kaymak vd., 2011).

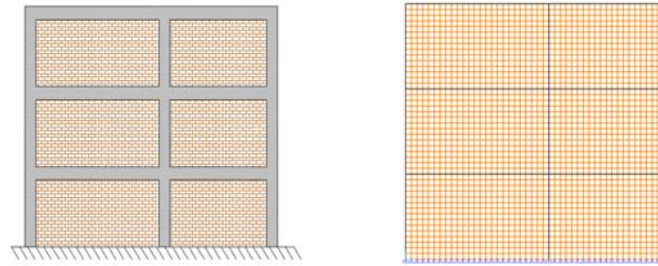
Dolgu duvarların yapısal analize dahil edilmesiyle ilgili araştırmalar çoğunlukla farklı konum ve büyüklüklerde boşluklar bulunmayan dolgu duvarların incelenmesine yöneliktir. Bununla birlikte, dolgu duvar düzleminde açılan boşluklar, dolgu duvarların deprem davranışını etkileyen en önemli parametredir (ATC, 1998). Bu çalışmada öncelikli olarak dolgu duvar düzleminde açılan boşluğun konumunun ve oranının bir betonarme çerçevenin yatay rijitliğine olan etkisi araştırılmıştır. Kısmi boşlukların analize dahil edilmesini sağlayan rijitlik azaltma katsayılarının elde edilmesinde, dolgu duvarlar sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Dolgu duvarlar ve duvar düzlemi içindeki kısmi boşluklar, farklı modelleme teknikleri kullanılarak yapısal analize dahil edilmiştir. Farklı sayıda kat ve açıklıklara sahip 8 adet betonarme çerçeve, TS-500 ve Deprem Yönetmeliği-2007 kurallarına uygun olarak boyutlandırılmıştır. Bu çerçeveler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları dikkate alınarak, kısmi boşluklara sahip dolgu duvarların betonarme çerçevelerin doğrusal elastik deprem hesabına olan etkileri periyot, kat yatay yer değiştirmesi ve görel kat ötelemesi gibi büyüklükler cinsinden incelenmiştir. Son olarak dolgu duvar kalınlığının yapısal davranışa etkileri irdelenmiştir.

2. DOLGU DUVAR MODELLEME TEKNİKLERİ

Çerçeve elemanların arasında bulunan dolgu duvarları modellemek için ‘sonlu elemanlar’ ve ‘eşdeğer basınç çubuğu’ modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1. Dolgu Duvarların Sonlu Elemanlar İle Modellenmesi

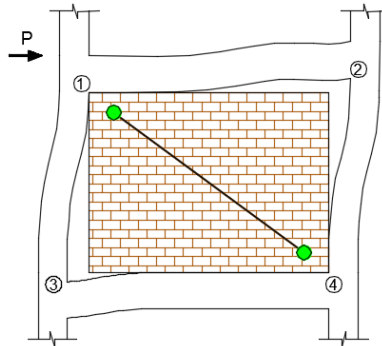
Sonlu elemanlar yönteminde karışık veya büyük alanlar, ‘sonlu eleman’ denilen sürekli ve basit alanlara ayrılır. Malzeme özellikleri bu elemanlar üzerinden tanımlanır ve deplasman, gerilme gibi bilinmeyen değerlerin elemanların köşe noktalarında olduğu düşünülür. Modeldeki sonlu eleman sayısını artışına bağlı olarak daha hassas sonuçlar elde edilmekte fakat hesap yükü de büyük oranda artmaktadır (Chandrupatla et al., 2002). Yüksekliği ve genişliği, kalınlığından oldukça büyük olan dolgu duvarlar yüzey elemanı olarak ele alınıp bir çok araştırmacı tarafından iki boyutlu sonlu elemanlar ile modellenmiştir (Asteris, 2003; Kaushik et al., 2008; Beklen vd., 2009; Dorji et al., 2009). Örnek bir hesap modeli Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dolgu duvarlı bir çerçeve ve sonlu elemanlar hesap modeli

2.2. Dolgu Duvarların Eşdeğer Basınç Çubuğu İle Modellenmesi

Yatay yük altındaki bir betonarme çerçevede, şekil değiştirme esnasında çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasında boşluklar oluşmaktadır. Dolgu duvar çerçeveye 1 ve 4 no’lu köşe noktalarından temas ederken 2 ve 3 no’lu noktalarda temas yoktur. Dolgu duvardaki yük aktarımı 1 ile 4 noktaları arasında olacaktır. Bu yüzden hesap modelinde dolgu duvarı tanımlamak için bu noktalar arasında iki ucu mafsallı bir çubuk tanımlanabilir (Şekil 2) ve bu tarz bir modelleme yaygın bir uygulama alanına sahiptir (Madan et al., 1997; Asteris, 2003; ASCE, 2000; BİB, 2007; Kaushik et al., 2008; Beklen vd., 2009; Köse, 2009; Karasu vd., 2011).



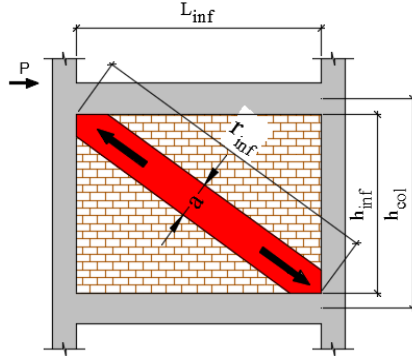
Şekil 2. Dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi

Dolgu duvarı temsil etmek için hesap modeline konulan eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü dolgu duvarın kalınlığı ve elastisite modülüne eşit alınmalıdır (ASCE, 2000). Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği ise birçok araştırmacı tarafından çeşitli denklemlerle öne sürülmüştür (BİB, 2007; Amato et al., 2009). Bu çalışmada eşdeğer basınç çubuğu genişliği (a), FEMA-356 (ASCE, 2000)’da verilen Denklem (1)-(2) kullanılarak hesaplanmıştır.

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

$$a = 0.175 (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2)$$

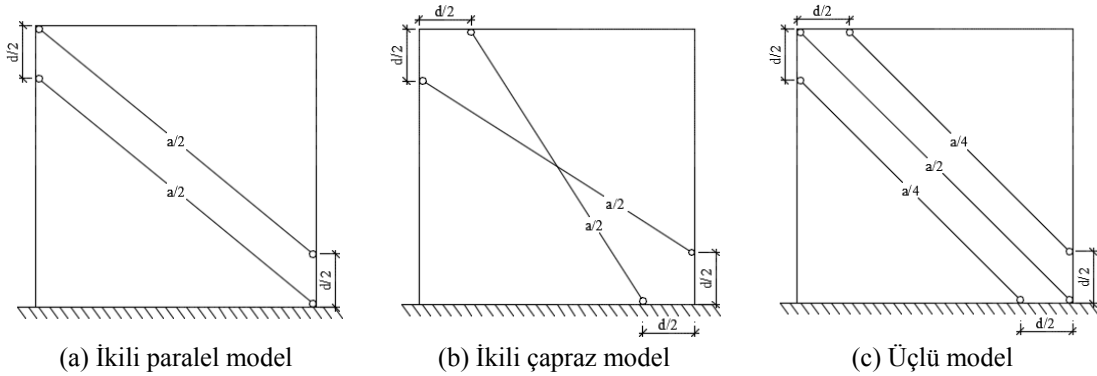
Bu denklemlerde; E_{fe} çerçeve elemanın ve E_{me} dolgu duvarın elastisite modülü, h_{col} kirişlerin orta eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği, I_{col} kolon atalet momenti, h_{inf} dolgu duvar yüksekliği, L_{inf} dolgu duvar uzunluğu, r_{inf} eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğu, t_{inf} dolgu duvarın ve eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı, θ eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin belirlenmesi

Dolgu duvarları modellerken birden fazla eşdeğer basınç çubuğu kullanılabilir. Bu durumda tek eşdeğer basınç çubuğu için hesaplanan çubuk genişliği çoklu çubuklara uygun oranda dağıtılmalıdır. İkili çubuk modellerinde eşdeğer basınç çubuğu genişliği çubuklara eşit oranda dağıtılmaktadır. Üçlü modelde ise ortadaki çubuk diğerlerinin iki katı genişliğe sahiptir. Ayrıca çoklu eşdeğer basınç çubuklarını sisteme yerleştirirken etkili basınç alanı göz önüne alınmalıdır. Dolgu duvarların ikili, üçlü ve beşli eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi ve bu çubukların sistemde tanımlanması gereken yerleri ve genişlikleri oranı Şekil 4'de gösterilmiştir. Burada d eşdeğer basınç çubuklarının sisteme yerleştirilmesinde kullanılan uzunluk olup Denklem (3) ile hesaplanmaktadır (Kaushik et al., 2008).

$$d = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_{fe} I_{col} h_{inf}}{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}} \quad (3)$$



(a) İkili paralel model

(b) İkili çapraz model

(c) Üçlü model

Şekil 4. Çoklu eşdeğer basınç çubuğu modellerinde çubuk konumları ve genişlikleri

2.3. Dolgu Duvarlardaki Kısmi Boşlukların Hesap Modeline Dahil Edilmesi

Günümüzde inşa edilen yapılarda aydınlatma, giriş-çıkış ve farklı mimari gereksinimlerden dolayı dolgu duvarlar kısmi boşluklu olarak imal edilmektedirler. Farklı konuma, büyüklüğe ve şekle sahip bu boşlukların dolgu duvarın yatay rijitliğine farklı oranda etkisi muhtemeldir. Bu bakımdan dolgu duvar düzlemindeki boşlukların modellenerek analize dahil edilmesi önemlidir.

2.3.1. Kısmi Boşlukların Sonlu Elemanlar Metodunda Hesap Modeline Dahil Edilmesi

Sonlu elemanlar kullanılarak modellenen dolgu duvarlarda kısmi boşlukları hesap modeline dahil etmek oldukça kolaydır. Boşlukların konumunu, büyüklüğünü ve şeklini doğru temsil edecek şekilde modeldeki sonlu elemanların kaldırılması yeterli olacaktır. Boşluğun tam olarak tanımlanması için kullanılacak sonlu elemanların boyutlarının boşluğun boyutlarına göre seçilmesi önemlidir.

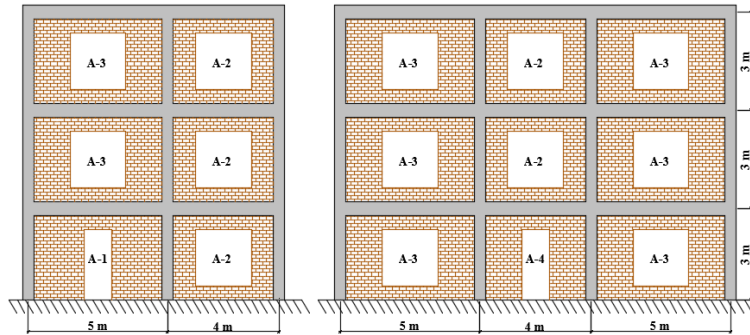
2.3.2. Kısmi Boşlukların Eşdeğer Basınç Çubuğu Metodunda Dahil Edilmesi

Eşdeğer basınç çubuğu ile modellemede çubuğun elastisite modülü ve kalınlığı dolgu duvarla aynı olduğundan, kısmi boşluklardan dolayı meydana gelen rijitlik kaybını, çubuğun genişliğini azaltarak hesap modeline dahil etmek gereklidir. Boşluksuz dolgu duvar için bulunan eşdeğer basınç çubuğu genişliği 'rijitlik azaltma faktörü (k)' ile çarpılmaktadır. Rijitlik azaltma faktörü boşluğun boyutuna ve yerine göre değişmektedir. Dolgu duvarın boşluklu olması durumunda eşdeğer basınç çubuğunun genişliği Denklem (4) ile hesaplanabilmektedir.

$$a = 0.175k(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (4)$$

3. SAYISAL UYGULAMALAR

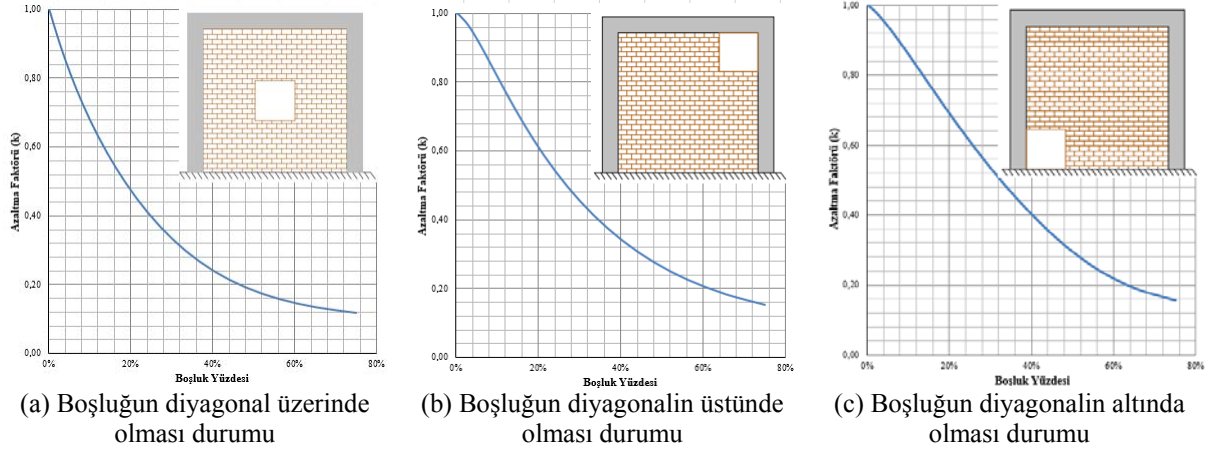
Dolgu duvar düzlemindeki kısmi boşlukların yatay yüklü betonarme yapıların davranışı üzerindeki etkilerini inceleyebilmek amacıyla 2 açıklıklı 3 ve 4 katlı (BÇ_2-3 ve BÇ_2-4) ve 3 açıklıklı 3 ve 4 katlı (BÇ_3-3 ve BÇ_3-4) çerçeveler seçilmiştir. Z3 zemin türü üzerinde buldukları kabul edilen çerçevelerin deprem hesabında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmış ve çerçeveler malzeme ve geometri özellikleri bakımından TS-500 (TSE, 2000) ve Deprem Yönetmeliği (BİB, 2007) koşullarını sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Beton sınıfı C20 olan çerçevelerde kolon boyutları 40x40cm olup, kiriş boyutları 25x50cm'dir. Öncelikle tüm çerçevelerde 20cm kalınlığında boşluklu dolgu duvarlar dikkate alınmıştır. Dolgu duvarın elastisite modülü $E_{me}=6000$ MPa'dır. Boyutlandırma ve diğer tüm analizler SAP2000 (2014) bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. 3 katlı çerçeveler ve bu çerçevelerdeki kapı ve pencere boşlukları Şekil 5'de gösterilmiştir. Yüksekliği, genişliği, dolgu duvardaki boşluğun boyutları ve konumu aynı olan açıklıklara aynı numara verilerek açıklıklarla çerçevelerdeki açıklıklar numaralandırılmıştır.



Şekil 5. 3 katlı çerçeveler

Çalışmada ilk olarak, boyutlandırılan çerçevelerin dar açıklığından çıkarıldığı kabul edilen (A-2) tek katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçeve kullanılarak rijitlik azaltma faktörünün elde edilmesi incelenmiştir. Dolgu duvar

sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Rijitlik azaltma faktörünün dolgu duvar içinde açılan boşluğun konumuna ve oranına bağlı olarak değişimi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Azaltma faktörünün (k) boşluk oranına ve konumuna göre değişimi

Çalışmanın ikinci aşamasında, günümüzde çoğu uygulamada yapıldığı gibi dolgu duvarlar hesap modeline dahil edilmemiş ve sadece düşey yük olarak modellenmişlerdir (MODEL-1). Daha sonra dolgu duvarlar boyutlarına ve içlerindeki boşluklara göre farklı kalınlıklarda 4 farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ile modellenmiştir. MODEL-2’de eşdeğer tek basınç çubuğu, MODEL-3’de ikili paralel ve MODEL-4’de ikili çapraz eşdeğer çubuklar, MODEL-5’de üçlü paralel çubuklar kullanılmıştır. Altıncı ve son modelde ise dolgu duvarların düzleminde bulunan kısmi boşluklar hesaba katılmayıp duvarların tam dolu modellenmesi yapılmıştır (MODEL-6).

Analizlerde kullanılan çerçevelerde, boyut ve konumları farklı olan kapı ve pencere boşlukları Şekil 5’de A-1, A-2, A-3 ve A-4 olarak gösterilmiştir. Rijitlik azaltma faktörleri, dikkate alınan modellerde bulunan boşluklara bağlı olarak ortaya çıkan her farklı durum için dolgu duvarların sonlu elemanlarla modellendiği analizler sonucunda elde edilmiştir. Açılan boşlukların oranı, hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu kalınlıkları ve rijitlik azaltma faktörleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Analiz modellerinde kullanılan parametreler

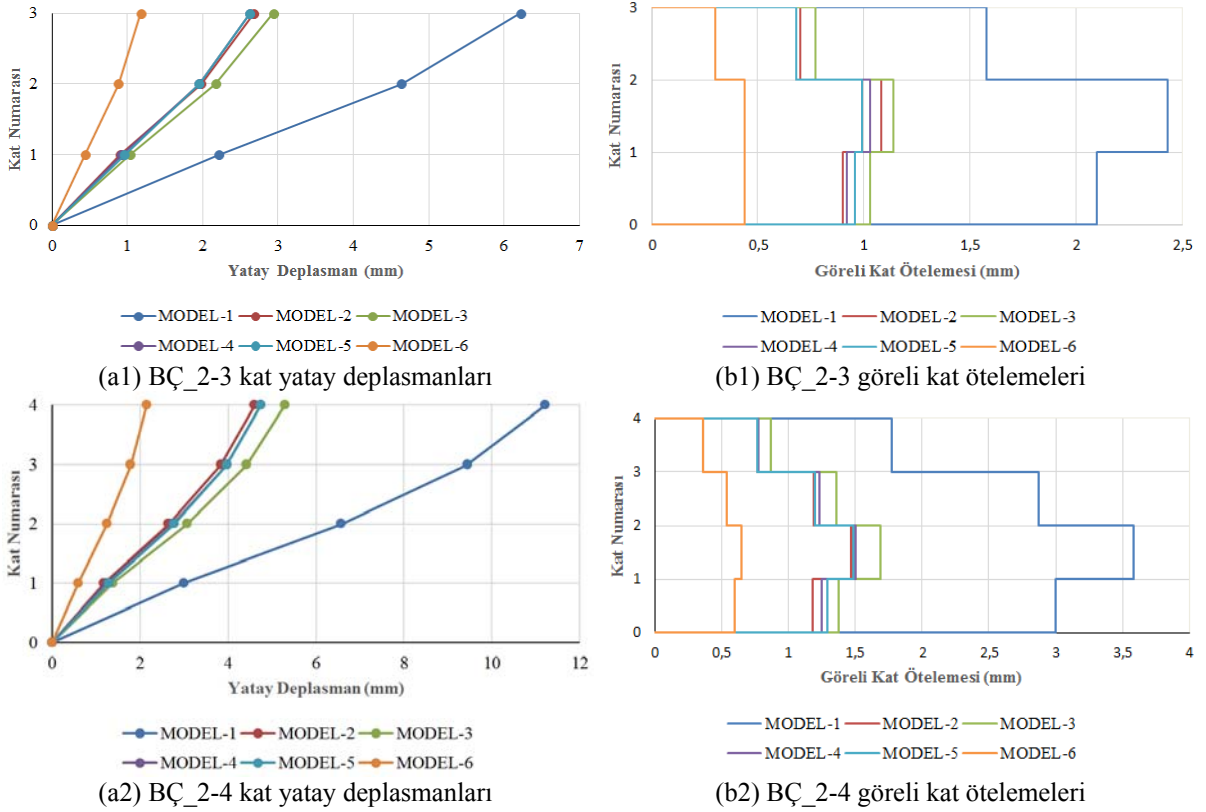
	MODEL-2	MODEL-3	MODEL-4	MODEL-5	MODEL-6
A-1	Boşluk Oranı (%)	17	17	17	0
	k	0,57	0,57	0,57	1,00
	a (mm)	331	165	165	165 / 83
A-2	Boşluk Oranı (%)	33	33	33	0
	k	0,30	0,30	0,30	1,00
	a (mm)	139	70	70	70 / 35
A-3	Boşluk Oranı (%)	27	27	27	0
	k	0,38	0,38	0,38	1,00
	a (mm)	213	107	107	107 / 53
A-4	Boşluk Oranı (%)	21	21	21	0
	k	0,50	0,50	0,50	1,00
	a (mm)	240	120	120	120 / 60

Çalışmada kullanılan tüm çerçevenin ve oluşturulan modellerin modal analiz sonucu elde edilen birinci doğal titreşim periyodu ve kütle katılım oranları Tablo 2’de verilmiştir. Kat kütleleri düşey yüklerle uyumlu olarak belirlenmiştir ($g+nq$). Kullanım amacı konut olarak öngörülen bu çerçeveler için hareketli yük katılım katsayısı $n=0,3$ alınmıştır.

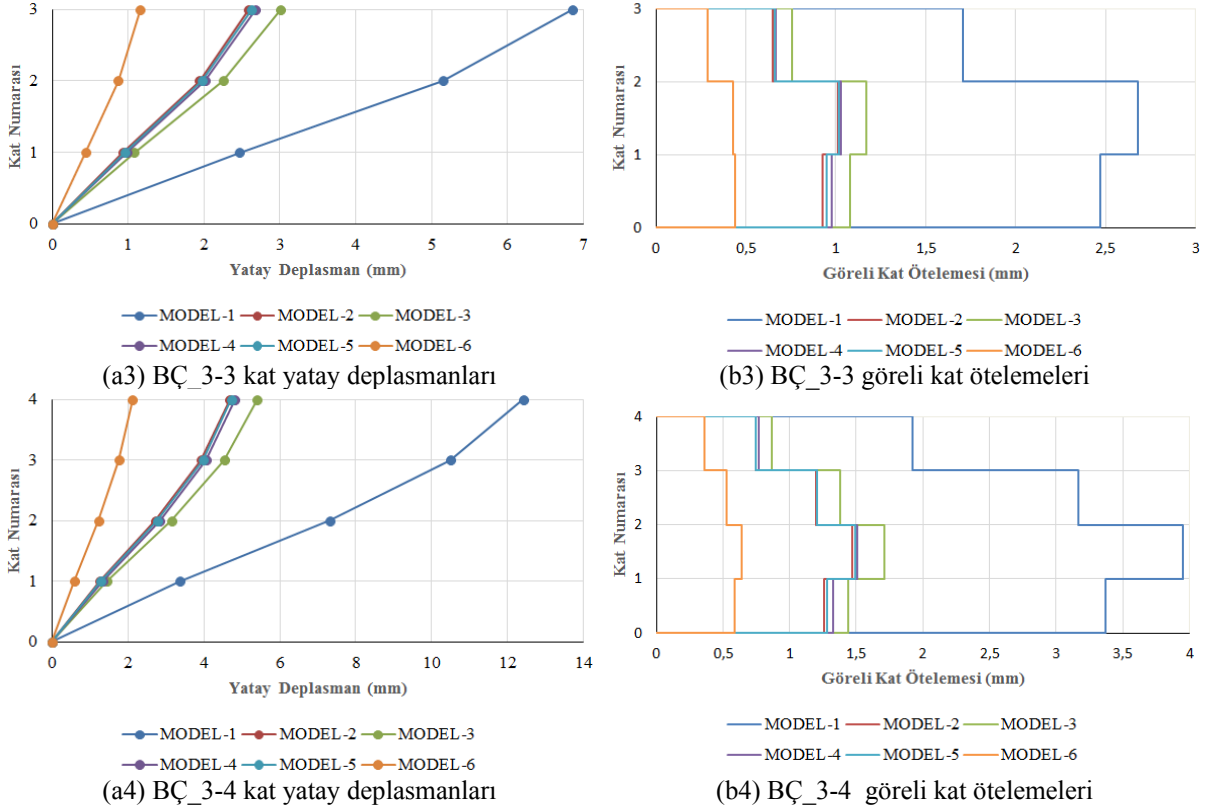
Tablo 2. Çerçeveselerin modal özellikleri

	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3	MODEL-4	MODEL-5	MODEL-6
BÇ_2-3						
Periyot (sn)	0,36	0,27	0,26	0,26	0,25	0,18
Kütle Katılım Oranı	0,88	0,87	0,86	0,87	0,87	0,89
BÇ_2-4						
Periyot (sn)	0,48	0,32	0,34	0,33	0,33	0,24
Kütle Katılım Oranı	0,86	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86
BÇ_3-3						
Periyot (sn)	0,39	0,25	0,26	0,25	0,25	0,18
Kütle Katılım Oranı	0,88	0,89	0,87	0,88	0,88	0,89
BÇ_4-3						
Periyot (sn)	0,51	0,33	0,34	0,33	0,33	0,24
Kütle Katılım Oranı	0,86	0,87	0,86	0,86	0,86	0,87

20cm kalınlığında dolgu duvarları bulunan ve dolgu duvarların farklı sayısı ve kalınlıklara sahip eşdeğer basınç çubukları ile modellendiği çerçeveselerin SAP2000 yapısal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal elastik deprem hesabı sonucu elde edilen kat yatay deplasmanları ve görel kat ötelemeleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Analiz modellerinin kat yatay deplasmanları ve görel kat ötelemeleri ($t_{inf} = 20\text{cm}$)



Şekil 7. Analiz modellerinin kat yatay deplasmanları ve görel kat ötelemeleri ($t_{inf} = 20\text{cm}$) (devam ediyor)

Dolgu duvar kalınlıklarının davranışa etkilerini görmek için çerçeveler, diğer parametreleri aynı tutularak 20cm ve 10cm duvar kalınlıkları değişken seçilerek analiz edilmiştir. Daha önceki analizlerde MODEL-2,3,4 ve 5 birbirine çok yakın sonuçlar verdiği için ve MODEL-1’de de dolgu duvar tanımlanmadığından, bu analizler sadece MODEL-2 ve MODEL-6 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

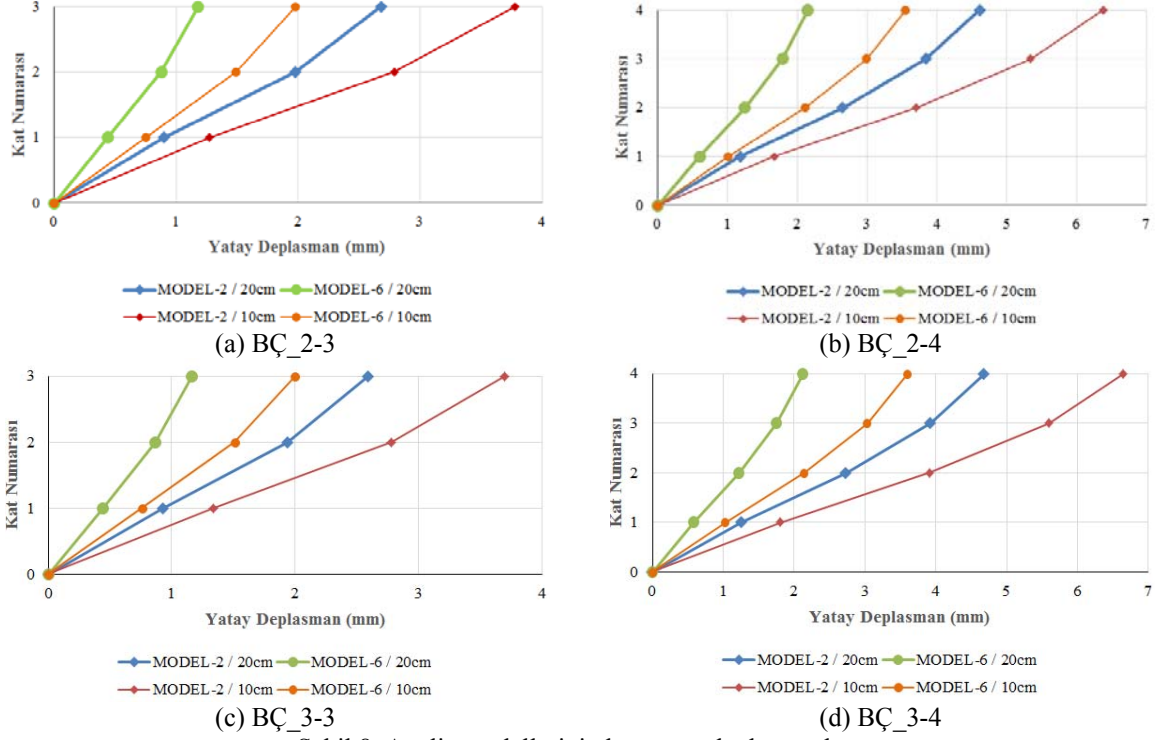
Aynı çerçeveler için, dolgu duvar kalınlıklarının 10cm ve 20 cm alınması durumunda; modal analiz sonucunda elde edilen parametreler karşılaştırmalı olarak Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Farklı dolgu duvar kalınlıkları için çerçevelerin modal özellikleri

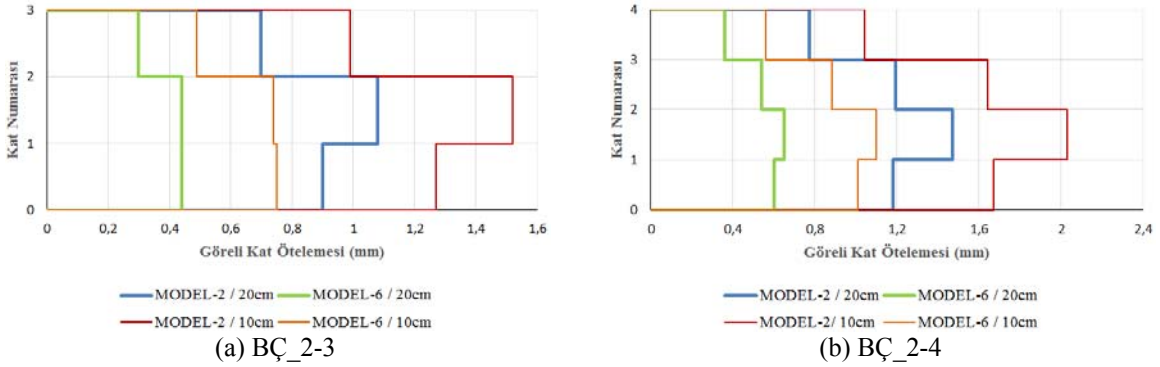
		$t_{inf}=20\text{cm}$		$t_{inf}=10\text{cm}$	
		Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı
BÇ_2-3	MODEL-2	0,27	0,87	0,31	0,87
	MODEL-6	0,18	0,89	0,22	0,89
BÇ_2-4	MODEL-2	0,32	0,85	0,37	0,86
	MODEL-6	0,24	0,86	0,29	0,87
BÇ_3-3	MODEL-2	0,25	0,89	0,29	0,89
	MODEL-6	0,18	0,89	0,22	0,90
BÇ_3-4	MODEL-2	0,33	0,87	0,38	0,87
	MODEL-6	0,24	0,87	0,29	0,87

MODEL-2 ve MODEL-6’ın doğrusal elastik deprem hesabı sonucunda elde edilen kat yatay deplasmanları Şekil 8’de gösterilmiştir. Aynı modellere ait görel kat ötelemesi grafikleri ise Şekil 9’da verilmiştir. Farklı dolgu duvar kalınlıkları için çerçevelerin doğal titreşim moduna ait kütle katılım oranlarında değişim olmamakla

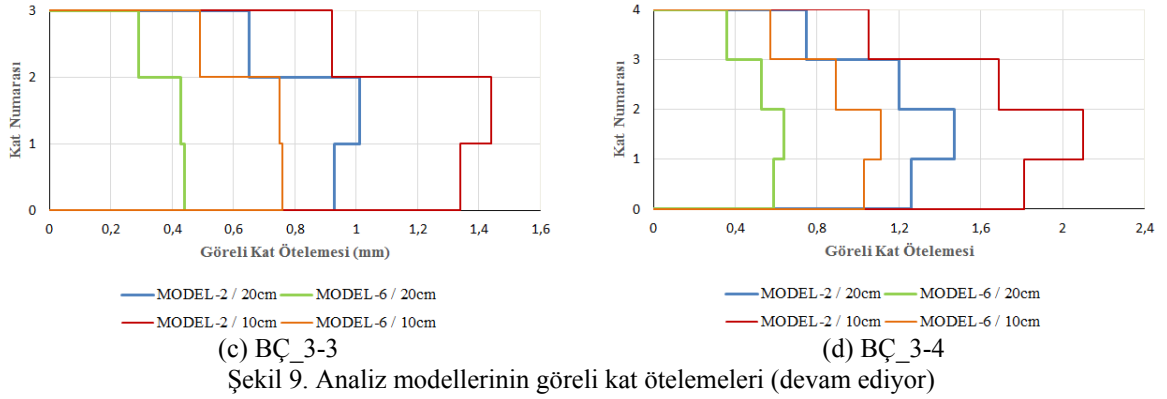
birlikte, dolgu duvar kalınlığının azaltılması durumunda periyot uzamaktadır. Doğal titreşim periyodundaki bu uzama oranı, boşluksuz dolgu duvarlı çerçevede (MODEL-6) daha fazladır. Genel olarak dolgu duvar kalınlığındaki azalma, kısmi boşluklu dolgu duvarlı analiz modellerinin (MODEL-2) kat yatay deplasmanlarında ve görel kat ötelemelerinde, boşluksuz analiz modellerine (MODEL-6) göre bir miktar daha büyük artışa neden olmaktadır.



Şekil 8. Analiz modellerinin kat yatay deplasmanları



Şekil 9. Analiz modellerinin görel kat ötelemeleri



4. SONUÇLAR

Dolgu duvar düzleminde açılan kısmî boşlukların farklı modelleme teknikleri kullanılarak yapısal analize dahil edildiği ve bu tip boşlukların ve dolgu duvar kalınlığının betonarme çerçevelerin çeşitli modal parametrelerine ve yatay yükler altındaki davranışına olan etkilerinin incelendiği bu analitik çalışmadan elde edilen somut bulgular aşağıdaki sunulmuştur:

- (1) Boşluk oranının artması çerçevenin yatay rijitliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu azalma çerçevenin dolgu duvarsız olarak dikkate alınması durumunda %88'lere kadar ulaşabilmektedir.
- (2) Boşluğun diyagonalin tam üzerinde bulunması ve boşluk oranının %70'leri aşması durumunda yatay rijitlik azaltma faktörünün hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. Bu durumda dolgu duvarlı çerçevenin davranışı, boş çerçevenin davranışına çok benzer olacaktır. Dolayısıyla bu oran civarında ve bunun üzerinde boşluklar bulunan dolgu duvarların, yapısal analize dahil edilmemesinin hesap sonuçlarına önemli bir etkisi olmayacaktır.
- (3) Kat yatay deplasmanları, çerçevenin yatay rijitliğinin fonksiyonudur. Dolayısıyla yatay rijitlikteki azalmaya neden olan her etki, kat yatay deplasmanında artışa neden olacaktır. Dolgu duvarların ve bu duvarlardaki kısmî boşlukların dikkate alındığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar da bunu doğrular niteliktedir. Dolgu duvar düzlemindeki boşlukların varlığına bağlı olarak kat yatay deplasmanları artmıştır. Dolgu duvarın sadece düşey ağırlık olarak tanımlandığı MODEL-1'in kat yatay deplasmanları, dolgu duvarların boşluklarla birlikte tanımlandığı MODEL-2,3,4 ve 5'in ortalama 2,5 katı kadardır. Dolgu duvarın boşluksuz olarak sisteme dahil edildiği MODEL-6 ise MODEL-2,3,4 ve 5'in kat yatay deplasmanlarının yaklaşık olarak yarısına sahiptir. Boşluklu dolgu duvarın farklı yaklaşımlarla modellendiği MODEL-2,3,4 ve 5'in kat yatay deplasmanları arasında kayda değer bir farklılık görülmemiştir.
- (4) Kat yatay deplasmanlarında olduğu gibi, MODEL-1'in görelî kat ötelemeleri MODEL-2,3,4 ve 5'in ortalama 2,5 katıdır. Boşluklu dolgu duvar modellerinde elde edilen görelî kat ötelemesi değerleri, dolgu duvarın boşluksuz tanımlandığı modellerin ortalama 2,2 katıdır.
- (5) Dolgu duvarların boşluksuz olarak modellendiği MODEL-6'nın birinci doğal titreşim periyodu MODEL-2,3,4 ve 5'e göre kayda değer bir şekilde kısarken, dolgu duvarın yapısal analize katılmadığı MODEL-1'in periyodu diğer modeller arasında en uzun olanıdır.
- (6) Sistemde bulunan dolgu duvarların kalınlığı yatay rijitliği etkileyeceğinden buna bağlı olarak kat yatay deplasmanları ve görelî kat ötelemeleri etkilenmektedir. 20cm kalınlığında dolgu duvara sahip çerçeveler, 10cm kalınlığında dolgu duvarlı çerçevelere göre daha az miktarda deplasman ve görelî kat ötelemesi yapmaktadır. Yine yatay rijitliğin fazla olmasından dolayı 20cm kalınlığındaki dolgu duvarlı çerçeveler, 10cm kalınlığında dolgu duvarlı çerçevelere göre birinci doğal titreşim periyodu daha kısadır.
- (7) Dolgu duvarın modellenip modellenmemesi veya farklı kalınlıklarda modellenmesi durumunda kütle katılım oranlarında kayda değer bir farklılık gözlenmemiştir.

Dolgu duvarlar betonarme çerçevelerin yatay rijitliğini ve bununla ilgili parametreleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Dolgu duvarların içinde yer alan kısmî boşlukların da bu değişimi etkilediği elde edilen analiz

sonuçlarından açıkça görülmektedir. Bu nedenle dolgu duvardaki kısmı boşlukların analitik modele dahil edilmesi, yapısal davranış ile ilgili çeşitli parametrelerin daha hassas belirlenmesi bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Amato, G., Fosetti, M., Cavaleri, L., Papia, M. 2009. An Update Model of Equivalent Diagonal Strut for Infill Panels. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Napoli, Italy, p.119-128.
- ASCE 2000. *FEMA 356: Prestandart and Commentary fort the Seismic Rehabilitation of Buildings*. American Society of Civil Engineers, Washington, DC.
- Asteris, P.G. 2003. Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames. *Journal of Structural Engineering ASCE*, 129, 1071-1079.
- Asteris, P.G., Kakaletsis, D.J., Chrysostomou, C.Z., Smyrou, E.E. 2011. Failure Modes of In-filled Frames. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 11, 1, 11-20.
- ATC 1998 (ATC-43 Project). *FEMA 306: Evulation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. Basic Procedures Manual*. Applied Technology Council, p.183, Redwood City, California.
- Beklen, C., Çağatay, İ.H. 2009. Çerçevelerde Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, 1-2, 77-90.
- BİB 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (Deprem Yönetmeliği-2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, s.159, Ankara.
- Chandrupatla, T.R., Belegundu, A.D. 2002. Introduction to Finite Elements in Engineering. 3th edition. Prentice Hall. New Jersey, p.453.
- Dorji, J., Thambiratnam D.P. 2009. Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Unders Seismic Loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 3, 119-126.
- Karasu, T.O., Erdem, R.T., Demir, A., Bağcı, M. 2011. Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Binanın Performansının İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7, 2, 61-69.
- Kaymak, F., Tuna, M.E. 2011. Kısmi ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26, 2, 435-445.
- Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K. 2008. A Rational Approach to Analytical Modelling of Masonry Infills in Reinforced Concrete Frames Buildings. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Kose, M.M. 2009. Parameters Affecting the Fundamental Period of RC Buildings with Infill Walls. *Engineering Structures*, 31, 93-102.
- Madan, A., Reinborn A.M., Mander J.B., Valles R.E. 1997. Modelling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis. *Journal of Structural Engineering*, 123, 1295-1302.
- Polyakov, S.V. 1950. Investigation of the Strenght and of the Deformational Characteristics of Masonry Filler Walls and Facing on Framed Structures. Construction Industry Institute, No.3.
- SAP2000 V16.0.0. 2014. Integrated Finite Element Analysis and Structural Design of Structures. Computer and Structures Inc., USA.
- TSE 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS-500). Türk Standartları Enstitüsü, s.67, Ankara.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ.O., Özcebe, G. 2013. Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.