



Dolgu Duvarların Mod Katkı Çarpanlarına Etkisinin İncelenmesi

Investigating the Influence of Infill Walls on Modal Contribution Factors

Taner Uçar* 

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir, Türkiye

Öz

Bellirli bir kütle ve rijitliğe sahip dolgu duvarlar binaların serbest titreşim özelliklerini etkilemesi beklenir. Bu durumda taşıyıcı sistemin serbest titreşim analizinden elde edilen modal hesap parametrelerine göre belirlenen ve modal hesap yöntemleri için önem arz eden mod katkı çarpanlarının da değişmesi olasıdır. Çalışmada farklı açıklık ve kat sayısına sahip betonarme çerçevelerde taban kesme kuvveti, devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi olmak üzere üç davranış büyüklüğü için mod katkı çarpanları hesaplanmıştır. Dolgu duvarlar analitik modellerde iki ucu mafsallı köşegen eşdeğer basınç çubuğu olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, ilk iki serbest titreşim modu için ilgili statik mod tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar hesaplanarak modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Yapısal analiz ve deprem tasarımıda genellikle yapıldığı gibi, ilgili çerçevelerde dolgu duvar etkisi dikkate alınmadan aynı büyükler için mod katkı çarpanları ve mutlak hatalar hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarların özellikle taban kesme kuvvetine karşı gelen mod katkı çarpanına etkisinin daha önemli olduğu ve bu davranış büyüklüğü için statik mod tepkisinde ortaya çıkan hatanın azalmasını sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, Devirme momenti, Dolgu duvar, Mod katkı çarpanı, Taban kesme kuvveti, Tepe noktası yanal ötelenmesi

Abstract

Infill walls are expected to affect free vibration characteristics of buildings due to their mass and stiffness. Accordingly, modal contribution factors, which are based on modal parameters of free vibration of a structural system and have a significant importance in modal analysis, will probably vary. In the present study, modal contribution factors for three response quantities, which are base shear, base overturning moment and lateral roof displacement of reinforced concrete frame structures with different numbers of bay and story, are determined. Infill walls are simulated by means of both ends pinned equivalent diagonal compression strut in analytical models. Moreover, the absolute error in the static response of the considered quantities for the first two modes is calculated and the results are evaluated in determining the sufficient number of modes to be included in modal analysis. Modal contribution factors and absolute errors in the static response of the considered quantities are also calculated not taking into account infill walls in frames, as usually done in structural analysis and seismic design, and the results are compared for both cases. Infill walls are found to be more influential on modal contribution factor for base shear than for two other response quantities and reduce the error in static base shear response.

Keywords: Reinforced concrete frame, Overturning moment, Infill wall, Modal contribution factor, Base shear force, Lateral roof displacement

1. Giriş

Binaların deprem hesabının taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda tekil modların dikkate alınan davranış büyüklüklerine katkılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda yerdeğiştirme, görelî kat ötelenmesi, iç kuvvet bileşenleri

gibi çeşitli davranış büyüklüklerine farklı titreşim modların katkılarının görece büyüklüklerini ifade eden mod katkı çarpanlarının hesaplanması önem kazanmaktadır. Ayrıca, modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısının belirlenmesi bakımından da mod katkı çarpanlarının hesaplanması gereklidir. Binaların serbest titreşim özellikleri ile ilişkili modal parametrelere bağlı olarak elde edilen mod katkı çarpanlarına kütle ve rijitliği olan yapısal veya yapısal olmayan her elemanın etkisinin olması muhtemeldir. Bu doğrultuda çeşitli fonksiyonel

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: taner.ucar@deu.edu.tr

gereksinimler ve mimari nedenlerle tüm yapı tiplerinde çok yaygın olarak kullanılan dolgu duvarların etkisinin incelenmesi önem kazanmaktadır.

Dolgu duvarlar deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında genellikle yapısal eleman olarak analitik modelde dikkate alınmayıp kat kütesine sabit yük olarak dahil edilmektedir. Buna karşılık belirli bir rijitliğe sahip oldukları için dolgu duvarların, binaların yanal rijitlik ve titreşim özelliklerini değiştirerek hem deprem talebi hem de yapısal kapasite üzerinde etkili olması beklenir. Ayrıca, dolgu duvarların deprem etkisi altında çeşitli düzensizlik durumları meydana getirerek oluşan hasarlarda pay sahibi oldukları yaşanan depremlerde sıkça gözlenmektedir (Vicente vd. 2010, Braga vd. 2011, Kam vd. 2011, Vicente vd. 2012, Hermanns vd. 2014, Varum 2017).

Dolgu duvar literatürde detaylı çalışılan bir konu olup dolgu duvarların modellenmesi, düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarının incelenmesi, dolgu duvarlı binaların deprem etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri, dolgu duvarlı betonarme binaların deprem performansı gibi genel başlıklar altında çok sayıda analitik ve deneysel çalışma bulunmaktadır (Davis vd. 2004, Sivri vd. 2006, Pujol vd. 2008, Çankaya ve Dönmez 2011, Kose ve Karşlıoğlu 2011, Yakut vd. 2013, Aksoy ve Avşar 2015, Furtado vd. 2015, Sönmez ve Dönmez 2015, Basha ve Kaushik 2016, Noh vd. 2017, Qian ve Li 2017, Furtado vd. 2018, Kaya vd. 2018, Alwashali vd. 2019, Li vd. 2019). Dolgu duvarların binaların serbest titreşim özelliklerine etkisinin incelenmesi ise genellikle dolgu duvarlı binaların temel periyodunun belirlenmesine ve dolgu duvarların temel periyoda etkisine yöneliktir (Amanat ve Hoque 2006, Kose 2009, Ricci vd. 2011, Fiore vd. 2012, Hatzigeorgiou ve Kanapitsas 2013, Asteris vd. 2015a, 2015b, Asteris vd. 2016, Perrone vd. 2016, Asteris vd. 2017, Panto vd. 2017).

Temel titreşim periyodunun belirlenmesi binaların deprem hesabı ve tasarımı konusunda şüphesiz en kritik parametrelere birisidir. Buna karşılık dolgu duvarlı binaların deprem tepkisinin sadece kısalan periyotlar dikkate alınarak belirlenmesi yeterli değildir. Çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerde n 'inci serbest titreşim modunun dikkate alınan dinamik tepkiye katkısı, taşıyıcı sisteme kat modal etkin kütlelerinin yük olarak etki ettirildiği statik çözümlemeden elde edilen sonuçların n 'inci modun tek serbestlik dereceli (TSD) sisteminin yer hareketi etkisindeki dinamik çözümlemesinden elde edilen sonuçlarla çarpımından ibarettir. Dolayısıyla, belirli bir rijitliğe sahip dolgu duvarların taşıyıcı sistemin serbest titreşim özelliklerini değiştirerek periyotları

kısaltmanın yanında farklı modal hesap parametrelerini de etkilemesi olasıdır.

Bu çalışmada dolgu duvarların binaların serbest titreşim özellikleri ile doğrudan ilişkili kat modal etkin kütlelerinin yük vektörü olarak taşıyıcı sisteme etkilenmesi sonucu hesaplanan mod katkı çarpanlarına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı kat ve açıklık sayısına sahip dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde taban kesme kuvveti, devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için mod katkı çarpanları hesaplanmış ve sonuçlar dolgu duvarsız çerçeveler için elde edilen değerler ile karşılaştırmalı olarak tablolarda verilmiştir. Ayrıca, modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilintili olarak ilk iki modun katkısı göz önünde bulundurulduğunda dikkate alınan davranış büyüklükleri için statik mod tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçeveler için hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Çalışmada dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına etkisi analitik yöntem kullanılarak incelenmiştir. Öncelikle mod katkı çarpanlarına ait genel denklemler verilmiş ve sonra yapı dinamiği teorileri esas alınarak çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri için mod katkı çarpanlarına ait denklemler oluşturulmuştur. Denklemlerdeki modal parametrelerin el çözümü ile belirlenmesi pratik olmayacağından gerekli veriler bilgisayar ortamında gerçekleştirilen yapısal analizlerden elde edilmiştir. Nümerik uygulamalarda kullanılan betonarme çerçevelerin analitik modelleri oluşturulmuş ve çalışmada amaçlanan etkiyi inceleyebilmek için dolgu duvarlar analitik modellere dahil edilmiştir.

2.1. Mod Katkı Çarpanları

Mod katkı çarpanları dikkate alınan davranış büyüklüklerine farklı titreşim modların katkılarının görece büyüklüklerini ifade eden ve yüklerin konumsal dağılımına bağlı boyutsuz değerlerdir. Mod katkı çarpanları deprem verisinden bağımsız olarak dikkate alınan deprem doğrultusuna ve taşıyıcı sistemin serbest titreşim analizinden elde edilen modal hesap parametrelerine göre hesaplanır. Hesabı istenen davranış büyüklüğü ile ilgili mod katkı çarpanlarının belirlenmesinde temel yaklaşım ÇSD sistemlerin yüklerin konumsal dağılımını belirten zaman parametresinden bağımsız dış yüklerin etkisindeki statik çözümlemesinin yapılmasıdır.

Binaların deprem hesabının taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda tekil modların yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşenleri gibi çeşitli davranış büyüklüklerine katkılarının belirlenmesi önem kazanmaktadır. $r(t)$ ile gösterilen herhangi bir davranış büyüklüğüne tüm modların katkıları dikkate alındığında

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) = \sum_{n=1}^N r_n^{st} [\omega_n^2 D_n(t)] = \sum_{n=1}^N r_n^{st} A_n(t) \quad (1)$$

yazılabilir. Denklem (1)'de $r_n(t)$ dikkate alınan davranış büyüklüğüne n 'inci modun katkısı, r_n^{st} statik mod tepkisi, ω_n çok serbestlik dereceli sistemin n 'inci modunun doğal frekansı, $D_n(t)$ ÇSD sistemin mod denklemlerinin çözümünü TSD sistemin tepkisi üzerinden ifade etmek için kullanılan doğrusal modal yerdeğiştirme, $A_n(t)$ ise n 'inci moda ait sözde ivmedir.

Hesabı istenen davranış büyüklüğüne n 'inci modun katkısı Denklem (2)'deki gibi de ifade edilebilir:

$$r_n(t) = r^{st} \bar{r}_n [\omega_n^2 D_n(t)] = r^{st} \bar{r}_n A_n(t) \quad (2)$$

Bu durumda n 'inci modun katkı çarpanı (birim modal davranış büyüklüğü) \bar{r}_n aşağıdaki bağıntıyla tanımlanır (Chopra, 1995):

$$\bar{r}_n = \frac{r_n^{st}}{r^{st}} \quad (3)$$

Denklem (3)'te $r^{st} = \sum r_n^{st}$ kadardır. Herhangi bir davranış büyüklüğü r için hesaplanacak mod katkı çarpanları doğal titreşim modlarının nasıl ölçeklendiğinden bağımsız olup tüm modlardaki toplamının 1'e eşit olduğu Denklem (3)'ten kolaylıkla görülebilir.

Mod katkı çarpanı \bar{r}_n çeşitli titreşim modlarının herhangi bir davranış büyüklüğüne katkılarının görece büyüklüklerini ve dolayısıyla dinamik analizde hesaba katılması gereken en az mod sayısını etkiler. Dikkate alınan davranış büyüklüğünün kesin değerini bulmak için tüm titreşim modlarının hesaba katılması gerekir. Bununla birlikte, düzlem çerçevelerde birçok durumda az sayıda modla yeterli hassasiyette sonuçlar elde edilebilir. Serbestlik derecesi N olan bir sistemde eğer sadece ilk J mod dikkate alınır, statik mod tepkisinde ortaya çıkan hata Denklem (4)'teki kadar olur (Chopra, 1995):

$$e_j = 1 - \sum_{n=1}^J \bar{r}_n \quad (4)$$

Buna göre davranış büyüklüğünün kesin değerine yakın sonuç elde etmek için hatanın mutlak değerini gösteren $|e_j|$ değerinin yeterince küçük olması gerekir.

2.2. Dikkate Alınan Davranış Büyüklükleri

Çalışma kapsamında ÇSD sistemlerin taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N) için mod katkı çarpanları hesaplanmıştır. Adı geçen davranış büyüklüklerine karşı gelen mod katkı çarpanları deprem kaynaklı yer hareketi etkisinde ÇSD sistemde oluşacak tepkileri yöneten türevsel denklemlerin mod koordinatı $q_n(t)$ için çözülmesinden hareketle elde edilebilir (Chopra, 1995):

$$\ddot{q}_n(t) + 2\zeta_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde ζ_n ÇSD sistemin n 'inci modunun sönüm oranı, $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesinin zamana göre değişimi ve Γ_n n 'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanıdır. Denklem (5)'in $q_n(t)$ çözümünü TSD sistemin tepkisi üzerinden ifade etmek için ÇSD sistemin hareket denklemi doğrusal modal yerdeğiştirmeye bağlı olarak Denklem (6)'daki gibi yazılabilir:

$$\ddot{D}_n(t) + 2\zeta_n \dot{D}_n(t) + \omega_n^2 D_n(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (6)$$

Bu durumda mod koordinatı $q_n(t)$ matematiksel olarak Denklem (7)'deki gibi tanımlanır:

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (7)$$

Taşıyıcı sistemin dikkate alınan serbestliklerindeki fiziksel yerdeğişimlerine n 'inci modun katkısı

$$u_n(t) = \phi_n q_n(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (8)$$

şeklinde yazılır (Chopra, 1995). Denklem (8)'de ϕ_n doğal titreşim modu olarak isimlendirilen $N \times 1$ boyutlu vektördür. Denklem (7) ve (8)'de yer alan modal katkı çarpanı Γ_n Denklem (9)'daki gibi hesaplanır:

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m 1}{\phi_n^T m \phi_n} = \frac{L_n}{M_n} \quad (9)$$

Denklem (9)'da 1 her bileşeni bir olan $N \times 1$ boyutlu etki vektörü, m kütle matrisi ve M_n n 'inci doğal titreşim modunun genelleştirilmiş kütleleridir.

Sistemin tepe noktasının fiziksel yerdeğişimi

$$u_{Nn}(t) = \Gamma_n \phi_{Nn} D_n(t) = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn} A_n(t) \quad (10)$$

olarak yazılır. Denklem (10)'da ϕ_{Nn} taşıyıcı sistemin N 'inci katında (binanın tepe noktasında) n 'inci doğal titreşim moduna ait mod şekli genliğidir. Bu durumda n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin tepe noktası yerdeğiştirmesine karşı gelen mod katkı çarpanı Denklem (11) kullanılarak

$$\bar{u}_{Nn} = \frac{\frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn}}{\sum_{n=1}^N \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn}} \quad (11)$$

şeklinde elde edilir.

ÇSD sistemin tabanındaki kesme kuvveti n 'inci modun tepkisiyle ilintili $f_n(t)$ yüklerinin toplamı kadardır:

$$V_{bn}(t) = 1^T f_n(t) = 1^T k u_n(t) = \frac{L_n^2}{M_n} A_n(t) = M_n^* A_n(t) \quad (12)$$

Buna göre n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin taban kesme kuvvetine karşı gelen mod katkı çarpanı Denklem (13) ile hesaplanabilir:

$$\bar{V}_{bn} = \frac{M_n^*}{\sum_{n=1}^N M_n^*} \quad (13)$$

Denklem (12) ve (13)'te yer alan M_n^* niceliği etkin mod kütlesi olarak adlandırılmaktadır.

ÇSD sistemin tabanındaki devirme momenti, n 'inci modun eşdeğer statik yüklerinin tabana göre momentleri alınarak elde edilir:

$$M_{bn}(t) = h^T f_n(t) = \frac{\phi_n^T m h}{\phi_n^T m 1} M_n^* A_n(t) = h_n^* M_n^* A_n(t) \quad (14)$$

Denklem (14)'ten hareketle n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin tabanındaki devirme momenti için n 'inci modun katkı çarpanı Denklem (15) kullanılarak hesaplanır:

$$\bar{M}_{bn} = \frac{h_n^* M_n^*}{\sum_{n=1}^N h_n^* M_n^*} \quad (15)$$

Denklem (15)'te h_n^* etkin mod yüksekliğidir. Denklem (11), (13) ve (15) sırasıyla tepe noktası ötelenmesi, taban

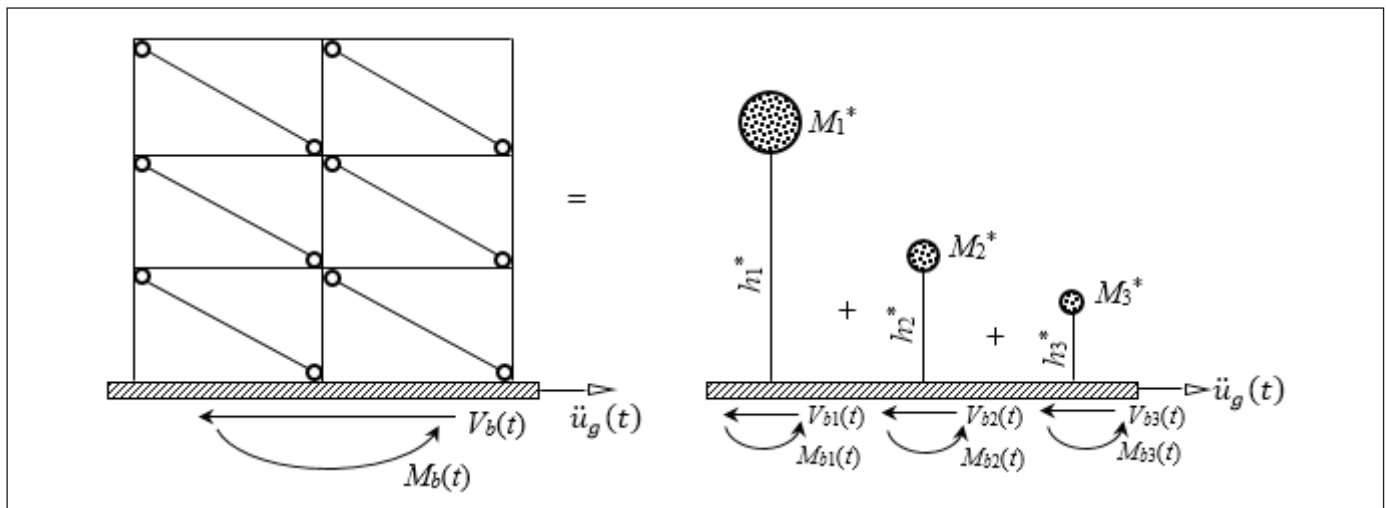
kesme kuvveti ve taban devirme momenti için mod katkı çarpanlarını verir.

n 'inci titreşim modunun tabandaki kesme kuvvetine ve devirme momentine katkısını bulmak için kullanılan yöntem Şekil 1'de gösterilmiştir. Şeklin sol tarafında yer alan çerçevedeki iki ucu mafsallı çubuklar dolgu duvarları temsil etmektedir.

2.3. Çerçevelerin Analitik Modelleri

Bu çalışma kapsamında dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına etkisi kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen iki, üç ve dört açıklıklı betonarme çerçevelerin analiz sonuçlarına üzerinden incelenmiştir. Dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına olası etkisini değerlendirebilmek amacıyla aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçeveler yapısal analiz ve deprem tasarımında alışlagelen biçimde dolgu duvarsız olarak da dikkate alınmıştır. Böylece çalışma kapsamında gerçekleştirilen modal analizlerde toplamda 36 adet çerçeve kullanılmıştır.

Çerçeve elemanlarında karakteristik beton basınç dayanımı $f_{ck} = 25$ MPa, elastisite modülü ise $E_c = 30000$ MPa olarak dikkate alınmıştır. Çerçevelerin açıklık uzunlukları özdeş olup 5 m, tipik kat yüksekliği ise tüm çerçevelerde $h_i = 2.7$ m'dir (Şekil 2). Çalışmada kullanılan çerçeveler üç boyutlu bir yapının kenar çerçeveleri olarak varsayılmış ve düşey yükleri buna uyumlu olarak dikkate alınmıştır. Kat kütleleri ölü yükler ile hareketli yüklerin %30'unun toplamından hesaplanmış olup iki, üç ve dört açıklıklı çerçeveler için kat kütleleri sırasıyla $m_j = 36.5$ ton, 54 ton ve 71 ton; son katın kütleleri ise $m_N = 27.5$ ton, 40.5 ton ve 53.5 ton olarak



Şekil 1. Taban kesme kuvveti ve devirme momenti için mod çözümlemesi.

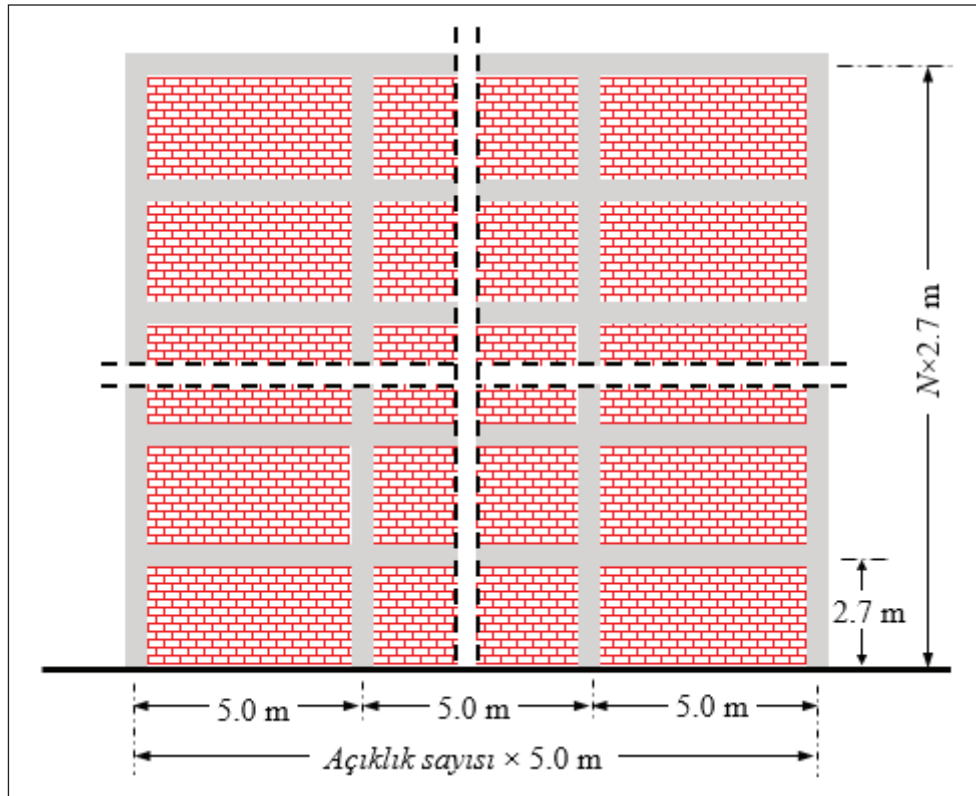
bulunmuştur. Dikdörtgen kesitli kirişlerin gövde genişliği $b_w = 250$ mm, yüksekliği ise $h = 500$ mm'dir. Kolonlar kare kesitli olarak tasarlanmış olup kesit boyutları ($b = b$) kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada kullanılan çerçevelerin analitik modellerinin oluşturulmasında kullanılan geometrik ve mekanik parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

2.4. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Çalışmada oluşturulan analitik modellerde dolgu duvarların etkisini dikkate alabilmek için FEMA-356 (2000)'de yer alan yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre dolgu duvarın düzlem için elastik rijitliği köşegen eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarlı yapıların analizinde genel olarak yaygın kabul gören bu yaklaşımda

Çizelge 1. Çerçevelere ait geometrik ve mekanik parametreler.

Beton basınç dayanımı, f_{ck}	25 MPa
Beton elastisite modülü, E_c	30000 MPa
Açıklık sayısı	2, 3 ve 4
Tipik açıklık uzunluğu	5 m
Kat sayısı, N	3, 4, 5, 6, 7 ve 8
Tipik kat yüksekliği, h_i	2.7 m
Kiriş boyutları, b_w/h	250/500 mm
Kolon kesit boyutları, $b=b$	350 mm (3 katlı), 400 mm (4 katlı), 450 mm (5 katlı), 500 mm (6 ve 7 katlı), 550 mm (8 katlı)
Dolgu duvar kalınlığı, t_{inf}	200 mm
Dolgu duvar basınç dayanımı, f_{me}	5.38 MPa
Dolgu duvar elastisite modülü, E_{me}	2959 MPa



Şekil 2. Çerçevelerin düşey kesiti.

köşegen eşdeğer basınç çubuğu iki ucu mafsalı olarak modellenmekte ve böylece köşegen elemanda aksel kuvvet dışında herhangi bir iç tesirin oluşması önlenmiştir. Bu modelleme tekniğinde basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü temsil ettiği dolgu duvarın ile aynı alındığından geriye basınç çubuğunun genişliğinin belirlenmesi kalmaktadır. FEMA-356 (2000) standartına göre köşegen eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (a) dolgu duvarı çevreleyen çerçeve elemanlarının ve dolgu duvarın mekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$a = 0.175(\lambda_1 h_c)^{-0.4} L_{inf} \quad (16)$$

Denklem (16)'da h_c kiriş eksenleri arasındaki kolon yüksekliği, L_{inf} dolgu duvarın köşegen uzunluğu, λ_1 ise dolgu duvar ve çerçevenin rölatif rijitliklerinin fonksiyonu olarak belirlenen bir katsayıdır:

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{E_{mc} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fc} I_c h_{inf}}} \quad (17)$$

Denklem (17)'de E_{mc} dolgu duvarın beklenen elastisite modülü, t_{inf} dolgu duvar kalınlığı, E_{fc} çerçeve malzemesinin beklenen elastisite modülü, I_c kolonun atalet momenti, h_{inf} dolgu duvarın yüksekliği, θ ise tanjantı dolgu duvarın yüksekliğinin uzunluğuna oranı olarak belirlenen açıdır.

Çerçevelerdeki dolgu duvarları temsil eden köşegen eşdeğer basınç çubuklarına ait genişlikler yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda FEMA-356'ya göre hesaplanmış ve hesaplarda kullanılan diğer geometrik parametrelerle birlikte Çizelge 2'de listelenmiştir.

Dolgu duvarların kalınlığı $t_{inf} = 200$ mm olarak kabul edilmiştir. Dolgu duvarların basınçta beklenen elastisite modülü beklenen basınç dayanımının fonksiyonu olarak FEMA-356'ya göre belirlenmiştir. Duvar imalatları için malzeme ve işçilik koşulları düşünüldüğünde genel bir yaklaşım olarak dolgu duvar durumu vasat (orta) olarak dikkate alınmış ve bu durum için FEMA-356'da verilen dolgu duvar alt sınır basınç dayanım değeri 1.3 ile çarpılarak dolgu duvarın beklenen basınç dayanımı $f_{me} = 5.38$ MPa, beklenen elastisite modülü ise $E_{mc} = 2959$ MPa olarak hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında dikkate alınan davranış büyüklüklerine (taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N)) karşı gelen mod katkı çarpanlarını hesaplayabilmek için öncelikle ÇSD sistemin doğal

Çizelge 2. Köşegen eşdeğer basınç çubuklarına ait geometrik parametreler.

Kat Sayısı	h = b (mm)	L_{inf} (m)	θ (°)	a (mm)
3	350	5.256	27.78	605
4	400	5.212	28.04	632
5	450	5.167	28.30	657
6	500	5.124	28.57	679
7	500	5.124	28.57	679
8	550	5.080	28.84	699

frekans ve titreşim modları hesaplanmıştır. Bu doğrultuda gereksinim duyulan kütle ve rijitlik özelliklerinin belirlenmesi için literatürde yaygın kabul gören idealleştirme kulanılmıştır. Buna göre gerçekte bina üzerinde yayılı bulunan kütlelerin kat seviyesinde toplandığı varsayılmıştır. Ayrıca, sistemin rijitlik özelliklerinin belirlenmesinde kiriş ve kolonların aksel şekil değişimleri ile aksel kuvvetin kolon rijitliğine etkisi ihmal edilmiş; kirişlerin eğilmesi ve düğüm noktalarının dönmesi ise dikkate alınmıştır. Bu varsayımla tutarlı olacak şekilde dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin analitik modelleri SAP2000 (2013) yapısal analiz programında oluşturulmuş ve matris özdeğer problemi yine bu program aracılığıyla çözülmüştür. Bilinen kütle ve rijitlik özellikleri için özdeğer probleminin çözümü olarak N adet ω_n^2 değişkeninden tüm modlara ait doğal açısal frekans (ω_n) değerleri ve onlara karşılık gelen ϕ_n mod vektörleri elde edilmiştir.

Çizelge 3'te çalışmada kullanılan tüm çerçeveler için ilk üç titreşim moduna ($n = 1, 2, 3$) ait doğal açısal frekans değerleri verilmiştir. İki ucu mafsalı köşegen eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliği yatay doğrultuya transfer edildiğinde yatay rijitlik matrisinde rijitlik etki çarpanı olarak yer almakta ve çerçevenin yatay rijitliğini arttırmaktadır. Bunun bir getirisi olarak dolgu duvarlar analitik modele dahil edildiğinde doğal açısal frekanslar artmıştır. Bu bulgu dolgu duvarlar dikkate alındığında binaların doğal titreşim periyotlarının kısaldığı sonucu ile tutarlıdır (Furtado vd. 2015, Perrone vd. 2016, Panto vd. 2017, Alwashali vd. 2019). Temel moda ait doğal açısal frekanslardaki büyüme en fazla iken, modların artan sayıları için büyüme oranının azaldığı görülmüştür. Genel olarak kat sayısının artmasıyla birlikte dolgu duvarlı çerçevelerin doğal açısal frekanslarındaki büyüme oranı da azalmaktadır.

Dolgu duvarlı çerçevelerin doğal açısal frekanslarındaki artış açıklık sayısına bağlı olarak önemli bir değişim gösterme-

Çizelge 3. İlk üç moda ait doğal açılmal frekans değerleri (rad/s).

	N	İki açıklıklı			Üç açıklıklı			Dört açıklıklı		
		n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3
Dolgu duvarsız	3	18.041	57.082	98.893	17.657	55.444	94.748	17.479	54.672	92.791
	4	15.402	49.600	91.393	15.176	48.546	88.433	15.087	48.091	87.095
	5	13.413	43.466	81.717	13.277	42.758	79.592	13.235	42.484	78.680
	6	11.876	38.594	73.137	11.790	38.084	71.509	11.774	37.910	70.842
	7	10.072	32.246	59.848	10.065	32.068	59.072	10.003	31.775	58.270
	8	9.235	29.663	55.367	9.193	29.374	54.396	9.197	29.302	54.036
Dolgu duvarlı	3	30.651	88.860	137.00	30.567	88.189	134.56	30.577	88.014	133.66
	4	24.891	74.644	123.79	24.846	74.211	122.05	24.876	74.148	121.46
	5	21.078	64.173	109.78	21.062	63.894	108.54	21.104	63.900	108.17
	6	18.334	56.277	97.804	18.336	56.087	96.858	18.383	56.130	96.618
	7	15.686	47.937	82.684	15.756	48.022	82.423	15.745	47.914	82.012
	8	14.186	43.554	75.760	14.204	43.482	75.252	14.252	43.564	75.194

mektedir. Açıklık sayısına bağlı olarak 3 ve 4 katlı dolgu duvarsız çerçevelerde temel mod ve yüksek modlara ait doğal açılmal frekans değerlerindeki küçülme daha belirgin iken 5, 6, 7 ve 8 katlı çerçevelerde bu düşme miktarı çerçevelerin doğal titreşim periyotlarına etki etmeyecek düzeydedir. Buna karşılık dolgu duvarlı çerçevelerde ise açıklık sayısına bağlı olarak doğal açılmal frekans değerlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Elde edilen bu bulgu, hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçevelerde açıklık sayısının temel titreşim periyoduna etkisinin olmadığı sonucu ile uyumludur (Asteris vd. 2015a, 2015b, Asteris vd. 2017).

Sönümsüz serbest titreşim analizine ait titreşim özellikleri (ω_n ve ϕ_n) kullanılarak çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri için sistemlerin serbest titreşim tepkileri belirlenmiştir. İlgili davranış büyüklükleri için her bir titreşim moduna ait statik mod tepkiler hesaplanmış ve bunlar tüm modların katkılarını içeren statik tepkiye oranlanarak n 'inci modun katkı çarpanı hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N) tepki nicelikleri için hesaplanan mod katkı çarpanları 3 ve 4 katlı çerçeveler için Çizelge 4'te, 5 ve 6 katlı çerçeveler için Çizelge 5'te, 7 ve 8 katlı çerçeveler için ise Çizelge 6'da listelenmiştir.

Dikkate alınan tüm davranış büyüklüklerinde temel modun katkı çarpanı hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçevelerde en büyüktür; dolayısıyla tüm davranış büyüklüklerine en fazla katkıyı temel titreşim modu yapacaktır.

Dolgu duvarlar dikkate alındığında dikkate alınan davranış büyüklükleri için temel modun katkı çarpanı büyümektedir. Bu büyüme taban kesme kuvveti için en belirgindir; en az %1.45 ve en fazla %2.81 oranında artış hesaplanmıştır. Bu artış oranları devirme momenti için daha küçüktür. Dolgu duvarlı çerçevelerde tepe noktası yanal ötelenmesi için hesaplanan artış ise çok azdır; 8 katlı çerçevelerde ise artış gözlenmemiştir. Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için iki ve daha yüksek sayılı modların katkı çarpanları küçülmektedir; dolayısıyla dolgu duvarlı çerçevelerde temel titreşim modunun katkısı daha çok önem kazanmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada dolgu duvarlar dikkate alındığında temel mod için etkin kütle arttığı, ikinci ve üçüncü mod için ise azaldığı belirlenmiştir (Lucchini vd. 2014). Taban kesme kuvveti için mod katkı çarpanı etkin mod kütlelerine özdeş olduğundan sonuçlar Lucchini vd. (2014) ile uyumludur.

Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için yüksek modların katkı çarpanları küçüldüğünden katkısı %3'ten büyük olan modların sayısı azalabilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre modal hesap yöntemlerinde katkısı %3'ten büyük olan bütün modların dikkate alınması zorunluğudur (TBDY, 2019). Dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle ikinci modun devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için hesaplanan katkı çarpanları büyümektedir; ikiden yüksek sayılı modlardaki değişim ise genel olarak düzensizdir. Buna göre dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle

Çizelge 4. 3 ve 4 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.892	1.019	1.028	0.896	1.021	1.026	0.898	1.022	1.026
	2	0.090	-0.025	-0.029	0.087	-0.026	-0.029	0.086	-0.027	-0.029
	3	0.018	0.006	0.001	0.017	0.005	0.003	0.016	0.005	0.003
Dolgu duvarlı	1	0.908	1.026	1.029	0.910	1.027	1.029	0.911	1.027	1.029
	2	0.078	-0.031	-0.033	0.077	-0.031	-0.033	0.076	-0.032	-0.033
	3	0.014	0.005	0.004	0.013	0.005	0.004	0.013	0.005	0.004
Dolgu duvarsız	1	0.857	1.022	1.029	0.861	1.014	1.029	0.863	1.015	1.029
	2	0.101	-0.032	-0.033	0.099	-0.024	-0.033	0.098	-0.024	-0.033
	3	0.033	0.010	0.004	0.032	0.009	0.004	0.031	0.009	0.004
	4	0.009	0.000	-0.000	0.008	-0.000	-0.001	0.008	-0.000	-0.001
Dolgu duvarlı	1	0.878	1.022	1.031	0.880	1.024	1.031	0.882	1.024	1.031
	2	0.089	-0.031	-0.036	0.088	-0.031	-0.036	0.088	-0.031	-0.036
	3	0.026	0.008	0.006	0.025	0.008	0.006	0.024	0.008	0.006
	4	0.007	-0.001	-0.001	0.006	-0.001	-0.001	0.006	-0.001	-0.001

Çizelge 5. 5 ve 6 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.834	1.007	1.030	0.837	1.009	1.030	0.839	1.010	1.030
	2	0.104	-0.020	-0.034	0.102	-0.022	-0.035	0.102	-0.022	-0.035
	3	0.040	0.012	0.005	0.038	0.011	0.005	0.038	0.011	0.005
	4	0.018	0.000	-0.001	0.017	0.000	-0.001	0.016	-0.000	-0.001
	5	0.005	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000
Dolgu duvarlı	1	0.856	1.019	1.031	0.859	1.021	1.031	0.860	1.021	1.031
	2	0.094	-0.029	-0.037	0.093	-0.030	-0.037	0.092	-0.030	-0.037
	3	0.032	0.010	0.007	0.031	0.009	0.007	0.031	0.009	0.007
	4	0.014	-0.001	-0.001	0.013	-0.001	-0.002	0.013	-0.001	-0.002
	5	0.004	0.001	0.000	0.004	0.001	0.000	0.004	0.001	0.000
Dolgu duvarsız	1	0.818	1.004	1.031	0.821	1.006	1.031	0.823	1.007	1.031
	2	0.104	-0.019	-0.035	0.103	-0.0201	-0.036	0.103	-0.021	-0.036
	3	0.042	0.013	0.006	0.041	0.012	0.006	0.041	0.0122	0.006
	4	0.022	0.000	-0.001	0.021	0.000	-0.001	0.021	0.000	-0.001
	5	0.011	0.002	0.000	0.010	0.001	0.000	0.010	0.002	0.000
	6	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000
Dolgu duvarlı	1	0.841	1.016	1.032	0.843	1.018	1.032	0.845	1.018	1.032
	2	0.096	-0.028	-0.037	0.095	-0.028	-0.038	0.094	-0.029	-0.037
	3	0.035	0.011	0.007	0.034	0.010	0.007	0.034	0.010	0.007
	4	0.018	-0.001	-0.002	0.017	-0.001	-0.002	0.017	-0.001	-0.002
	5	0.009	0.001	0.001	0.008	0.001	0.000	0.008	0.001	0.000
	6	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000

ikinci titreşim modunun katkısının taban kesme kuvvetine kıyasla devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için daha önemli olması beklenmektedir.

Çizelge 4,5 ve 6'dan kolayca görülebileceği gibi tüm modların katkı çarpanlarının toplamı 1 olmakla birlikte, toplamın 1'e

yakınsaması monotonik bir biçimde olmak zorunda değildir. Çalışmada dikkate alınan davranış büyüklüklerinden taban kesme kuvveti monotonik biçimde 1'e yakınsar, ancak devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi inişli çıkışlı ilerlemektedir. Mod katkı çarpanlarının birikimli

Çizelge 6. 7 ve 8 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.815	1.006	1.031	0.814	1.006	1.031	0.820	1.009	1.031
	2	0.101	-0.021	-0.036	0.101	-0.021	-0.037	0.100	-0.023	-0.037
	3	0.041	0.012	0.007	0.041	0.013	0.007	0.040	0.012	0.007
	4	0.022	-0.000	-0.002	0.022	-0.000	-0.002	0.021	-0.000	-0.002
	5	0.013	0.002	0.000	0.013	0.002	0.000	0.012	0.002	0.000
	6	0.006	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000	0.006	0.000	-0.000
	7	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Dolgu duvarlı	1	0.836	1.018	1.032	0.836	1.018	1.032	0.840	1.020	1.032
	2	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.030	-0.038
	3	0.035	0.010	0.008	0.035	0.011	0.008	0.034	0.010	0.008
	4	0.018	-0.001	-0.002	0.018	-0.001	-0.002	0.017	-0.002	-0.002
	5	0.010	0.002	0.001	0.010	0.002	0.001	0.010	0.002	0.001
	6	0.005	0.000	-0.000	0.006	0.000	-0.000	0.005	-0.000	-0.000
	7	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Dolgu duvarsız	1	0.805	1.004	1.032	0.808	1.006	1.032	0.809	1.007	1.032
	2	0.101	-0.020	-0.037	0.101	-0.021	-0.037	0.100	-0.022	-0.037
	3	0.042	0.013	0.007	0.042	0.013	0.007	0.041	0.012	0.007
	4	0.023	0.000	-0.002	0.023	-0.000	-0.002	0.022	-0.000	-0.002
	5	0.014	0.002	0.001	0.014	0.002	0.001	0.014	0.002	0.001
	6	0.009	0.000	-0.000	0.008	0.000	-0.000	0.008	0.000	-0.000
	7	0.005	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
	8	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	-0.000
Dolgu duvarlı	1	0.826	1.016	1.032	0.828	1.017	1.032	0.830	1.018	1.032
	2	0.095	-0.028	-0.038	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.029	-0.038
	3	0.036	0.011	0.008	0.035	0.011	0.008	0.035	0.011	0.008
	4	0.019	-0.001	-0.002	0.019	-0.001	-0.002	0.018	-0.001	-0.002
	5	0.012	0.002	0.001	0.011	0.002	0.001	0.011	0.002	0.001
	6	0.007	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000
	7	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
	8	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	-0.000

toplamlarının 1'e yakınsama biçimi dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerde aynıdır.

Çizelge 7'de ilk iki mod kullanıldığında statik mod tepkilerinde ortaya çıkan e_2 hatasının mutlak değerleri verilmiştir. Çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri arasında en büyük mutlak hata taban kesme kuvveti için hesaplanmıştır. Dolgu duvarların dikkate alınması durumunda taban kesme kuvvetinde e_2 hatası için hesaplanan mutlak hatalar azalmaktadır. İki açıklıklı 4 ve 6 katlı dolgu duvarlı çerçevelerde taban kesme kuvveti için hesaplanan e_2 hatası sırasıyla %3.3 ve %6.3 iken benzer geometrik ve yapısal özelliklere sahip çerçeveler için Lucchini vd. (2014) %4 ve %8 değerlerini elde etmiştir. İlk iki mod kullanıldığında devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar oldukça küçük olup dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeveler için kayda değer bir değişim göstermemektedir. Statik mod tepkilerinde ortaya çıkan hata değerleriyle ilgili olarak özellikle taban kesme kuvveti ile ilgili olanların

üzerinde durulması faydalı olacaktır. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilgili olarak her tekil modda hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütleler için %95 kuralı önem kazanmaktadır (TBDY, 2019). Taban kesme kuvveti modal etkin kütle, taban kesme kuvveti için hesaplanan statik mod tepkisine eşit olduğundan sözü edilen kural taban kesme kuvveti için e_2 hatasının %5'ten az olmasını sağlayacak sayıda titreşim modunun dikkate alınması anlamına gelmektedir. Bu durumda dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için daha az sayıda titreşim modunun katkısının hesaba katılması söz konusu olabilir. Örneğin, 5 katlı çerçevelerde dolgu duvarlı durumda ilk iki mod dikkate alındığında bu kural sağlanmakta iken dolgu duvarsız çerçevelerde ikiden fazla sayıda modun hesaba katılması gereklidir.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre dolgu duvarlar analitik modele dahil edildiğinde çalışmada dikkate alınan

Çizelge 7. İlk iki mod için statik tepkilerde ortaya çıkan mutlak hatalar.

Kat Sayısı	Statik Tepki	İki Açıklıklı		Üç Açıklıklı		Dört Açıklıklı	
		Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı	Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı	Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı
3	V_b	0.018	0.014	0.017	0.013	0.016	0.013
	M_b	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005
	u_N	0.001	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004
4	V_b	0.042	0.033	0.040	0.032	0.039	0.030
	M_b	0.010	0.009	0.010	0.007	0.009	0.007
	u_N	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005
5	V_b	0.062	0.050	0.061	0.048	0.059	0.048
	M_b	0.013	0.010	0.013	0.009	0.012	0.009
	u_N	0.004	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006
6	V_b	0.078	0.063	0.076	0.062	0.074	0.061
	M_b	0.015	0.012	0.014	0.010	0.014	0.011
	u_N	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005
7	V_b	0.084	0.070	0.085	0.070	0.080	0.066
	M_b	0.015	0.011	0.015	0.011	0.014	0.010
	u_N	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
8	V_b	0.094	0.079	0.091	0.078	0.091	0.076
	M_b	0.016	0.012	0.015	0.012	0.015	0.011
	u_N	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006

tüm davranış büyüklükleri için temel modun katkı çarpanı büyüme oranı en belirgin büyüme oranı taban kesme kuvveti için hesaplanmıştır. Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için yüksek modların katkı çarpanları ise küçülmektedir. Dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle ikinci serbest titreşim modunun katkısı taban kesme kuvvetine kıyasla devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için önem kazanmaktadır. İlk iki mod için taban kesme kuvveti statik tepkisinde ortaya çıkan mutlak hata dolgu duvarlar dikkate alındığında küçülmekte, diğer davranış büyüklükleri için ise önemli bir değişim sergilememektedir. Dolgu duvarlar sadece periyodu değiştirerek taşıyıcı sistemlerin dinamik çözümleme sonuçlarını değil statik mod tepkilerini de etkilemektedir. Ayrıca, binaların deprem tasarımı ile ilintili olarak dolgu duvarların modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısını da değiştirebileceği belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binaların deprem tepkisinin belirlenmesinde çalışmada incelenen durumların da göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

4. Kaynaklar

- Aksoy, H. B., Avcı, Ö. 2015.** Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 21(3): 115-122. <http://dx.doi.org/10.5505/pajes.2014.52297>
- Alwashali, H., Sen, D., Jin, K., Maeda, M. 2019.** Experimental investigation of influences of several parameters on seismic capacity of masonry infilled reinforced concrete frame. *Eng. Struct.*, 189: 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.020>
- Amanat, K. M., Hoque, E. 2006.** A rationale for determining the natural period of RC building frames having infill. *Eng. Struct.*, 28(4): 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.09.004>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Cavaleri, L., Sarhosis, V., Athanasopoulou, A. 2015a.** On the fundamental period of infilled RC frame buildings. *Struct. Eng. Mech.*, 54(6): 1175-1200. <http://dx.doi.org/10.12989/sem.2015.54.6.1175>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Tsaris, A. K., Di Trapani, F., Cavaleri, L. 2015b.** Parameters affecting the fundamental period of infilled RC frame structures. *Earthq. Struct.*, 9(5): 999-1028. <http://dx.doi.org/10.12989/eas.2015.9.5.999>
- Asteris, P. G., Tsaris, A. K., Cavaleri, L., Repapis, C. C., Papalou, A., Di Trapani, F., Karypidis, D. F. 2016.** Prediction of the fundamental period of infilled RC frame structures using artificial neural networks. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2016: 1-12. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5104907>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Repapi, E. V., Cavaleri, L. 2017.** Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures. *Struct. Infrastruct. Eng.*, 13(7): 929-941. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1227341>
- Braga, F., Manfredi, V., Masi, A., Salvatori, A., Vona, M. 2011.** Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 9(1): 307-324. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9205-7>
- Basha, S. H., Kaushik, H. B. 2016.** Behavior and failure mechanisms of masonry-infilled RC frames (in low-rise buildings) subject to lateral loading. *Eng. Struct.*, 111: 233-245. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.034>
- Chopra, A. K. 1995.** Dynamics of structures-Theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Computers and Structures Inc. 2013.** SAP2000 Ultimate-Integrated solution for structural analysis and design. Structural Analysis Program, Version 16.0.0, Berkeley, CA.
- Çankaya, M. A., Dönmez, C. 2011.** Tersinir yükler altında dolgu duvarların betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım, ötelenme profili ve doğal frekanslarına etkisi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 11-14 Ekim.
- Davis, R., Krishnan, P., Menon, D., Prasad, A. M. 2004.** Effect of infill stiffness on seismic performance of multi-storey RC framed buildings in India. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- FEMA-356 2000.** Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Fiore, A., Netti, A., Monaco, P. 2012.** The influence of masonry infill on the seismic behaviour of RC frame buildings. *Eng. Struct.*, 44: 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.023>
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A. 2015.** Modelling of masonry infill walls participation in the seismic behaviour of RC buildings using OpenSees. *Int. J. Adv. Struct. Eng.*, 7(2): 117-127. <https://doi.org/10.1007/s40091-015-0086-5>
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. 2018.** Out-of-plane behavior of masonry infilled RC frames based on the experimental tests available: A systematic review. *Constr. Build. Mater.*, 168: 831-848. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.129>
- Hatzigeorgiou, G. D., Kanapitsas, G. 2013.** Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 42(11): 1599-1616. <https://doi.org/10.1002/eqe.2289>

- Hermanns, L., Fraile, A., Alarcón, E., Álvarez, R. 2014.** Performance of buildings with masonry infill walls during the 2011 Lorca earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 12(5): 1977-1997. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9499-3>
- Kam, W. Y., Pampanin, S., Elwood, K. 2011.** Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) Earthquake. *Bull. N. Z. Soc. Earthq. Eng.*, 44(4): 239-278.
- Kaya, F., Tekeli, H., Anil, Ö. 2018.** Experimental behavior of strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames by adding rebar-reinforced stucco. *Struct. Concr.*, 19(6): 1792-1805. <https://doi.org/10.1002/suco.201700210>
- Kose, M. M. 2009.** Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Eng. Struct.*, 31(1): 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.017>
- Kose, M. M., Karslioglu, O. 2011.** Effects of infill walls on base responses and roof drift of reinforced concrete buildings under time-history loading. *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, 20(3): 402-417. <https://doi.org/10.1002/tal.535>
- Li, S., Kose, M. M., Shan, S., Sezen, H. 2019.** Modeling methods for collapse analysis of reinforced concrete frames with infill walls. *J. Struct. Eng.*, 145(4): 04019011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002285](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002285)
- Lucchini, A., Mollaioli, F., Bazzurro, P. 2014.** Floor response spectra for bare and infilled reinforced concrete frames. *J. Earthq. Eng.*, 18(7): 1060-1082. <https://doi.org/10.1080/13632469.2014.916633>
- Noh, N. M., Liberatore, L., Mollaioli, F., Tesfamariam, S. 2017.** Modelling of masonry infilled RC frames subjected to cyclic loads: State of the art review and modelling with OpenSees. *Eng. Struct.*, 150: 599-621. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.002>
- Panto, B., Calio, I., Lourenço, P. B. 2017.** Seismic safety evaluation of reinforced concrete masonry infilled frames using macro modelling approach. *Bull. Earthq. Eng.*, 15(9): 3871-3895. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0120-z>
- Perrone, D., Leone, M., Aiello, M. A. 2016.** Evaluation of the infill influence on the elastic period of existing RC frames. *Eng. Struct.*, 123: 419-433. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.05.050>
- Pujol, S., Benavent-Climent, A., Rodriguez, M. E., Smith-Pardo, J. P. 2008.** Masonry infill walls: An effective alternative for seismic strengthening of low-rise reinforced concrete building structures. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, October 12-17.
- Qian, K., Li, B. 2017.** Effects of masonry infill wall on the performance of RC frames to resist progressive collapse. *J. Struct. Eng.*, 143(9): 04017118. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001860](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001860)
- Ricci, P., Verderame, G. M., Manfredi, G. 2011.** Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings. *Eng. Struct.*, 33(2): 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.10.009>
- Sivri, M., Demir, F., Kuyucular, A. 2006.** Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. *Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilim. Enst. Derg.*, 10(1): 109-115.
- Sönmez, E., Dönmez, C. 2015.** Betonarme çerçevelerde dolgu duvarlar vasıtasıyla rijitlik dağılımının değiştirilmesinin deprem talepleri altındaki ötelenme dağılımına etkisi. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, 14-16 Ekim.
- TBDY 2019.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, Türkiye.
- Varum, H., Furtado, A., Rodrigues, H., Dias-Oliveira, J., Vila-Pouca, N., Arêde, A. 2017.** Seismic performance of the infill masonry walls and ambient vibration tests after the Ghorka 2015, Nepal earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 15(3): 1185-1212. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9999-z>
- Vicente, R., Rodrigues, H., Costa, A., Varum, H., Mendes da Silva, J. A. R. 2010.** Masonry enclosure walls: Lessons learnt from the recent Abruzzo Earthquake. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Makedonya, 30 August-3 September.
- Vicente, R. S., Rodrigues, H., Varum, H., Costa, A., Mendes da Silva, J. A. R. 2012.** Performance of masonry enclosure walls: lessons learned from recent earthquakes. *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, 11(1): 23-34. <https://doi.org/10.1007/s11803-012-0095-3>
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ. O., Özcebe, G. 2013.** Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 25-27 Eylül.