



Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerindeki Etkisi

The Effects of Infill Walls Located in Plan on Buildings Performance

Osman AKYÜREK¹, Hamide TEKELİ^{2*}, Fuat DEMİR²

¹Florida Institute of Technology, Civil Engineering Department, Florida, UNITED STATES OF AMERICA

²Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/06/2017

Kabul/Accepted: 04/09/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Dolgu duvarlar konut türü betonarme binalarda genellikle mimari amaçla mekânları bölmek için kullanılırlar. Bu çalışmada, dolgu duvarların binanın davranışına ve deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip konut türü betonarme binalar model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dolgu duvar miktarı ve yerleşimi değişiminin binanın kapasite eğrisi, birinci doğal periyodu, hedef yer değiştirme istemi, birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımı, bina performans seviyesi üzerindeki etkileri seçilen binalar üzerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar dolgu duvar yerleşiminin, bina davranışını önemli derece etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle binaların deprem performansını tanımlamada daha doğru sonuçlar elde edebilmek için çözümlenmelerde dolgu duvarların dikkate alınması gerekmektedir. Burada dolgu duvarın özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının önemini de vurgulamak gerekir.

Anahtar Kelimeler

“Dolgu duvar, performans seviyesi, betonarme bina ”

Abstract

Masonry infill walls are generally used for the purpose of architectural design, which are placed for dividing the areas of residential reinforced concrete buildings. In this study, the effects of infill wall were investigated on structural behavior and seismic performance of reinforced concrete (RC) buildings. For this purpose, the residential RC buildings with different number of span in plan and story were selected as model. The seismic performances of buildings, which are with or without infill walls, were determined by using nonlinear static analysis method. The effects of changes in the amount and placement of the infill walls on capacity curve of building, the first fundamental period, target displacement, damage level of columns in the base floor, and building performance level were investigated in the selected buildings. The obtained results showed that placement of infill wall significantly affected building behavior. Therefore, replacement of infill wall should be taken into account in determining and evaluating the seismic performances of the buildings in order to obtain more accurate and realistic results. It is also important to note that the properties of infill walls should be accurately defined in structural analyses.

Key Words

“Infill wall, performance, reinforced concrete building”

1. GİRİŞ

Ülkemiz topraklarının büyük bir çoğunluğu birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu nedenle yeni yapılacak binaların depreme güvenli olarak inşa edilmesi, mevcut olanların ise deprem güvenliğinin incelenerek bir an önce gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bunun için bina davranışına etki eden faktörlerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Dolgu duvarlar betonarme binayı bölümlere ayırmak için kullanılsa da binanın yatay yük taşıma kapasitesini, yatay ötelenme rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini önemli bir miktarda artırmaktadır (Kaltakçı ve Arslan, 2005; Karshoğlu, 2005; Özdoğu, 2006; Sivri vd., 2006; Peynirci, 2007; Mulgund ve Kulkarni, 2011; Akyürek, 2014; Aydın, 2015). Literatürde, yatay yüke maruz dolgu duvarlı çerçevelerin yapısal davranışları üzerine yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin, Kaltakçı ve Arslan (2005) yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvarlar çapraz çubuk eleman kullanılarak modellenmiştir. Betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan çözümlenmeleri yapılarak, mafsallaşma mekanizması ve zarf eğrileri elde edilmiştir. Dolgu duvarların, yapı davranış katsayısı ve sistem sünekliği üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur.

Güney ve Boduroğlu (2006) tarafından yazılan programda “Durum Uzayı” yöntemiyle sayısal integrasyon yapılarak, yapı dinamik tepki karakteristikleri elde edilmiş, bulunan veriler karşılaştırılarak duvarların, yapıların dinamik ötelenme ve burulma tepkisine yaptığı katkılar gösterilmiştir.

Dolsek ve Fajfar (2008), dört katlı dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin deprem davranışını incelemiştir. Modeller dolgu duvarsız, boşluksuz dolgu duvarlı ve boşluklu dolgu duvarlı şeklinde oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan yöntem kullanarak yapılan çözümlenmelerin sonuçları karşılaştırıldığında dolgu duvarların yapıda oluşan hasar dağılımını tamamen değiştirdiği gözlenmiştir.

Sevil vd. (2010), tek açıklıklı iki katlı betonarme çerçeveler üreterek düşey ve yatay yükler altında sıvanmamış ve sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvara sahip betonarme çerçeve deneyleri yapmışlardır. Çalışma kapsamında seçilen parametrelerin deney elemanlarının dayanım ve davranışlarına olan etkileri irdelenmiştir. Yapılan kuramsal çalışmaların sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yakut vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların bina deprem davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak incelenmiştir. Ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan yaklaşık 28 adet betonarme bina üç boyutlu olarak SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Yapılan itme analizi sonucunda binaların kapasite eğrileri elde edilmiştir. Her iki ana doğrultuda yapılan analizlerde dolgu duvarlı ve duvarsız modeller kullanılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer çapraz çubuk elemanları ile literatürdeki öneriler dikkate alınarak modellenmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile bina taban kesme kuvveti, bina periyodu ve bina rijitliğindeki değişimler dolgu duvar alanına bağlı olarak irdelenmiştir.

Meral ve İnel (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı beton dayanımı, donatı sınıfı ve yönetmelik parametrelerinin düşük ve orta yükseklikteki binaların yerdeğiştirme talepleri, bina periyodu gibi farklı yapısal parametreleri üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Bunun yanında dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizlikleri de hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Furtado vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, deprem bölgelerinde bulunan betonarme binalardaki hasarların büyük bölümünün dolgu duvarlardan kaynaklandığı, dolgu duvarların binanın deprem davranışını önemli derecede etkilediği ve binada farklı göçme mekanizmalarına sebep olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle çalışmada düzlem içi ve düzlem dışı dolgu duvar hasarlarının gözlenebilmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Morfidis ve Kostinakis (2017) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların üç boyutlu betonarme binaların deprem davranışı ve hasar dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla farklı yükseklikte, farklı yapısal sistemde ve farklı dolgu duvar yerleşimine sahip 54 adet üç boyutlu yapısal model oluşturulmuştur. Bu binalar farklı açılarda uygulanan ivme kayıtları kullanılarak lineer olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, dolgu duvarlı binalardaki deprem hasarının boş çerçeveye göre daha az miktarda olduğunu göstermiştir.

Cavaleri vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, betonarme bir okul binasına ait dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada, kolonlarda meydana gelen ilave kesme kuvveti eksenel yükün bir oranı olarak ifade edilmiş, dolgu duvarların oluşturduğu kolon elemanlardaki ilave kesme kuvveti talebinin belirlenmesi için yeni bir modelleme ve işlem prosedürü önerilmiştir.

Piyasada kullanılan mevcut paket programlar, dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisini genellikle ihmal ederek sadece düşey yük olarak dikkate almaktadır. Dolgu duvarın sağladığı rijitlik artışının hesaplarda dikkate alınmaması, güvenli tarafta kalındığını düşündürse de bazı durumlarda olumsuzluklara da neden olabilmektedir. Örneğin, alt katı dükkan üst katları konut olarak tasarlanan çoğu binada dolgu duvarların ortadan kaldırılması, katın kesme kuvveti kapasitesini azaltarak zayıf kat oluşumuna sebep olmaktadır. Aynı zamanda taşıyıcı sistemi simetrik olan binalarda, dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olmaması durumu yapı üzerindeki rijitlik dağılımını değiştirerek ilave burulma etkilerinin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yapısal çözümlenelerde dolgu duvarların yapı sistemine olan olumlu ya da olumsuz etkilerinin dikkate

alınması, gerçek davranışın model üzerine yansıtılabilmesi için oldukça önemlidir. Bu konuda Kaymak ve Tuna (2011) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların yatay yük altındaki çelik çerçevenin davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İki katlı iki açıklıklı düzlem çelik çerçevenin, dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereci olmak üzere çözümlenmeleri yapılmıştır. Dolgu duvarlar sistemde simetrik ve asimetrik olarak yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan dolgu duvarların çerçeve sistem üzerindeki göçme yükü, enerji tüketimi, süneklik, yatay yerdeğiştirme ve göçme yükündeki taban kesme kuvvetleri gibi parametreler üzerindeki etkinliği incelenmiştir.

Karasu vd. (2011) yaptıkları çalışmada, yumuşak kat düzensizliğinin bina performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla betonarme binalar, dolgu duvarsız, ikinci ve üçüncü katları dolgu duvarlı ve tüm katları dolgu duvarlı olarak tasarlanmıştır. Yapıların, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de yer alan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak performans analizleri yapılmış ve elde edilen performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, dolgu duvarların bina performansını önemli ölçüde arttırdığı ortaya konulmuştur.

Akyürek vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, bina planındaki dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olması ve olmaması durumunun ve dolgu duvar miktarı değişiminin binanın davranışına ve deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda özellikle taşıyıcı sistemi düzenli ancak dolgu duvar yerleşimi düzensiz olan binalarda kritik çözümü elde edebilmek için dolgu duvarların hesaplara dahil edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Aksoy ve Avşar (2015) yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin bir katsayı ile dikkate alınması için basitleştirilmiş bir yöntem önermiş ve yöntemin uygulanma kriterlerini irdelenmişlerdir. Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında uygulanan Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RBTEİE) kısmında bu etkinin göz önüne alınması için verilen benzer bir önerinin kullanımının uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Dolgu duvarın planda simetrik olmayan yerleşimi nedeni ile yapıda burulmaya neden olması durumunda bazı kolonlarda daha büyük kesme kuvveti talepleri oluşturduğu görülmüştür.

Literatürde, dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisinin incelenmesi konusunda yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Yıllardır yapılan yoğun çalışmalara rağmen dolgu duvarlar hala, yapısal davranışın çözümlenmesinde, tasarımının karışıklığı ve uygun bir teorisinin geliştirilememesinden dolayı ayrı elemanlar olarak göz önüne alınmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların bina davranışına olan etkilerinin genellikle doğrusal elastik çözümlenmelerle ortaya konulduğu görülmektedir. Son yıllarda bu davranışın doğrusal olmayan çözümlenmelerle de ortaya konulmasına odaklanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle düzenli ve/veya dolgu duvar nedeniyle düşeyde düzensizliği bulunan binaların deprem güvenliği incelenmiştir. Plandaki dolgu duvar düzensizliğinin bina deprem performansı üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan çalışma sayısı ise oldukça az sayıdadır. Bu nedenle çalışma kapsamında, bina planındaki dolgu duvar miktarı ve yerleşiminin simetrik olması/ olmaması durumlarının binanın davranışına ve güvenliğine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla planda farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip taşıyıcı sistemi simetrik olan konut türü betonarme binalar seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm oluşturulan model binalara ait performans seviyesi belirlenmiş ve dolgu duvar miktar ve yerleşimi parametrelerinin bina deprem performansı üzerindeki etkinliği tartışılmıştır.

2. BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİ

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilmiş tüm binaların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanması gereken hesap kuralları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olarak tanımlanmıştır. Doğrusal elastik yöntem kuvvet esaslı iken, doğrusal elastik olmayan yöntem şekil değiştirme esaslıdır. Çalışma kapsamında yapılan çözümlenmelerde doğrusal elastik olmayan yöntem (Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle İtme Analizi) kullanılmıştır. Yapılan tüm çözümlenmelerde binaya ait bilgi düzeyi kapsamlı olarak dikkate alınmıştır. Taşıyıcı elemanlara ait çatlamış kesit rijitliği hesabında giriş elemanlar için Denklem (1), kolon elemanlar için ise Denklem (2) kullanılmıştır. Burada N_D , çatlamamış kesit kullanılarak $(g+nq)$ yüklemesinden elde edilen eksenel yüke; $(EI)_e$, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine; $(EI)_o$, çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine; A_c , kolon kesit alanına; f_{cm} , mevcut beton basınç dayanımına karşılık gelmektedir.

$$(EI)_e = 0.40 (EI)_o$$

(1)

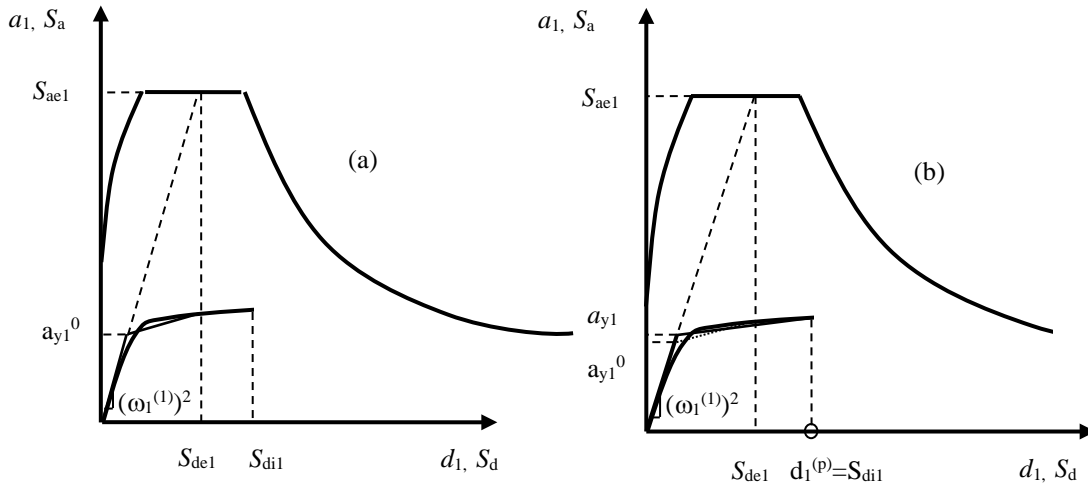
$$(EI)_e = 0.40 (EI)_o \quad (N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda}) \quad (2)$$

$$(EI)_e = 0.80 (EI)_o \quad (N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda})$$

Bina için doğrusal olmayan çözümlenmelerin yapılabilmesi için öncelikle kesite ait plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Plastik mafsallık tanımlamalarında Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme (BESAM, 2013; Demir vd., 2013) programından yararlanılmıştır. Yığılı plastik davranış modelinde, çubuk eleman olarak idealleştirilen giriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Yapılan çözümlenmelerde plastik mafsallık boyu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmıştır ($L_p = 0.5 h$). Kesite ait

plastik mafsalların tanımlanmasında kesitin moment-dönme ilişkisinden, moment-dönme ilişkisinin elde edilmesinde ise moment-eğrilik ilişkisinden yararlanılmıştır. Eleman kesitlerine ait plastik mafsal özellikleri belirlenen binaların, önce düşey yükler altında sonrada yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır.

Yapılan itme analizi ile koordinatları “taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi” olan kapasite eğrisi çizilir. Kapasite eğrisinin koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” koordinatlarına dönüştürülerek modal kapasite eğrisi elde edilir. Binaya ait modal kapasite eğrisi ile S_a - S_d formatına dönüştürülmüş spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilir. Öncelikle Şekil 1’de tanımlandığı gibi doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme (S_{de1}), bu değerden yararlanarak ise doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme (S_{dp1}) değerleri belirlenir. Elde edilen S_{dp1} değeri ve DBYBHY’te tanımlanan bağıntılar kullanılarak binaya ait hedef yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Bina, yatay kuvvet etkisi altında hedef yerdeğiştirme istem seviyesine kadar itilir. Binanın bu ötelenme seviyesindeki taşıyıcı elemanlarına ait beton ve donatı şekil değiştirme değeri hesaplanır.



Şekil 1. Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme

Elemanın hasar seviyesine, hesaplanan beton ve donatı şekildeğiştirme değeri, DBYBHY (2007)’de tanımlanan ve Denklem (3), (4) ve (5) ile verilen sınır şekildeğiştirme değeriyle karşılaştırılması ile karar verilir. Bu denklemlerde verilen değeri sırasıyla, beton ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin (ϵ_c , ϵ_s) üst sınırlarını temsil etmektedir. Burada ρ_s kesitte mevcut olan, ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

Minimum Hasar Sınırı (MN)

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3)$$

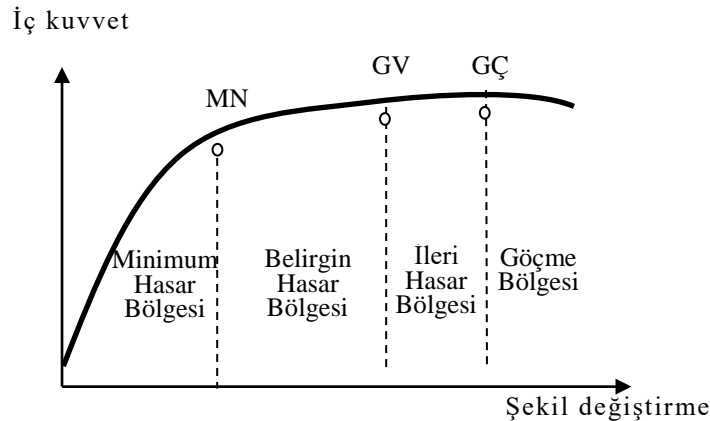
Güvenlik Hasar Sınırı (GV)

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (4)$$

Göçme Hasar Sınırı (GÇ)

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (5)$$

Kritik kesitlerin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar için Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar için Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar için İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’yi aşan elemanlar için ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (Şekil 2).



Şekil 2. Eleman hasarının belirlenmesi

Bina performans seviyesi DBYBHY (2007)'de, Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG), Göçme Öncesi (GÖ) ve Göçme Durumu (GD) olmak üzere dört farklı seviyede tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında konut türü binalar incelendiği için çözümlenelerde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi için "Can Güvenliği" performans seviyesi hedef performans olarak dikkate alınmıştır. DBYBHY 2007'ye göre, bu performans seviyesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir.

“... ”

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) girişler hariç olmak üzere, girişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadari İleri Hasar Bölgesine geçebilir.

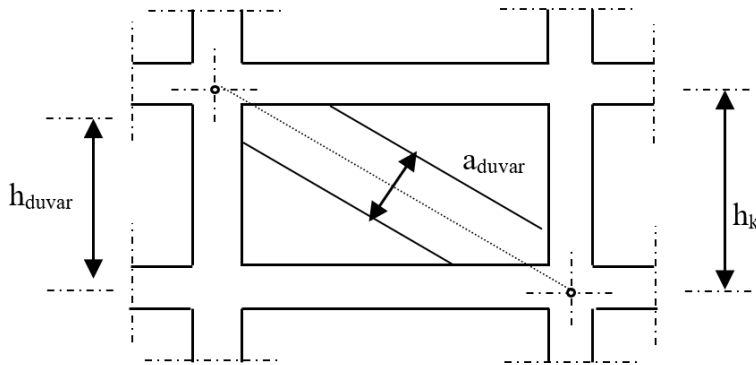
(b) İleri Hasar Bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler)...

Bu performans seviyesinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü Doğrusal **E**lastik **O**lmayan Değerlendirme **P**rogramı (DELOP) yardımıyla yapılmıştır.

3. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

Dolgu duvarların, DBYBHY (2007)'de diyagonal basınç çubuklarıyla modellenmesi önerilmektedir (Şekil 3). Bu yöntem dolgu duvarların tam dolu olması durumunu yansıtmaktadır.



Şekil 3. Dolgu duvarın sanal basınç çubuğu olarak modellenmesi

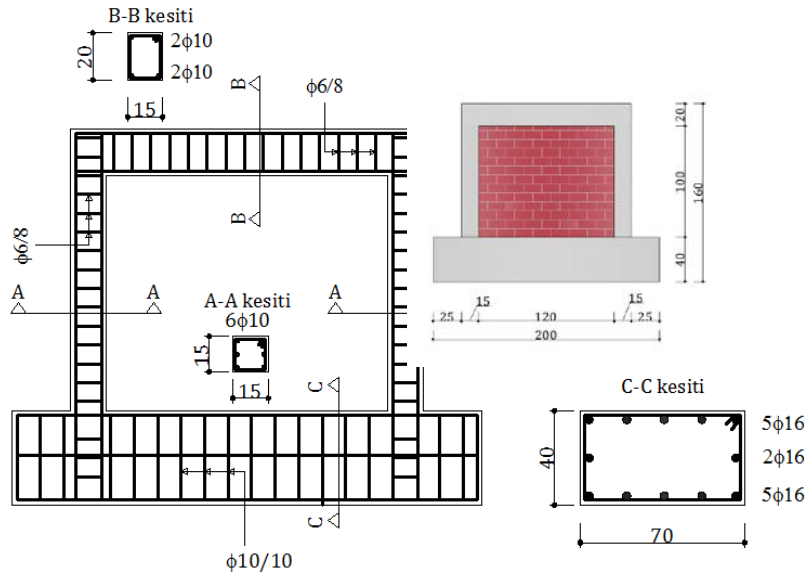
Dolgu duvarların modellemesinde kullanılacak eşdeğer sanal basınç çubuğunun kalınlığı (a_{duvar}), DBYBHY (2007)'de ve FEMA 306 (1998)'de tanımlandığı şekilde Denklem (6)'daki gibi hesaplanır.

$$a_{duvar} = 0.175(\lambda_{duvar}h_k)^{-0.4}r_{duvar} \quad (6)$$

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar}t_{duvar}\sin 2\theta}{4E_cI_kh_{duvar}} \right]^{1/4} \quad (7)$$

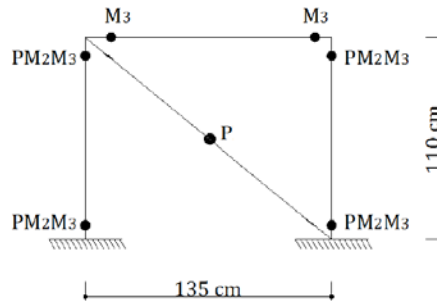
Burada h_k , çerçevenin yüksekliğini; E_{duvar} , duvarın elastisite modülünü; t_{duvar} , dolgu duvarın kalınlığını; θ , diyagonal çubuğunun açısını; r_{duvar} , dolgu duvarın köşegen uzunluğu; h_{duvar} , dolgu duvarın yüksekliğini; I_k , kolonun atalet momentini ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan çözümlenelerde kullanılmak üzere dolgu duvar diyagonalı üzerinde tanımlanacak eksenel yük mafsallik özelliklerinin geçerliliğini incelemek üzere literatürde bulunan (Koca vd., 2013) tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli hem dolgu duvarsız hem de tam dolu dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Betonarme çerçeve boyut ve kesit özelliklerine ait görünüm Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üretilen numuneye ait donatı şeması (Koca vd., 2013)

Deney çerçevesi SAP 2000 (SAP 2000, 2011) çözümleme programı yardımıyla modellenmiştir. Çerçeve modelinde kolon elemanlara PM₂M₃, kiriş elemanlara ise M₃ mafsali atanmıştır. Dolgu duvar ise basınç çubuğu olarak modellenmiş ve üzerine P aksenal yük mafsali atanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Deney çerçevesinin SAP 2000 (SAP 2000, 2011) modeli

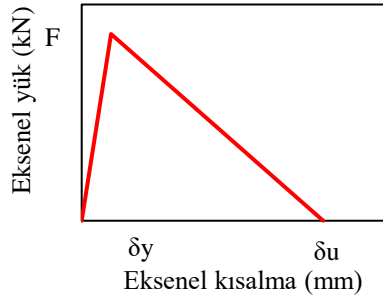
Dolgu duvara atanacak aksenal yük mafsali özelliklerinin tanımlanmasında dolgu duvarın basınç etkisindeki değerleri kullanılmıştır. Diyagonal çubuğun üstündeki yükün, akma sınırına kadar lineer olarak arttığı, akma sınırından sonra da lineer olarak azaldığı kabul edilmiştir (Şekil 6). Yapılan çalışmada deney numuneleri sıvanmış olduğu için mafsali modelinin tanımlanmasında sıvanmış dolgu duvar özellikleri üzerinden işlem yapılmıştır. Dolguyu temsil eden eşdeğer basınç çubuğunun aksenal yük taşıma kapasitesi (F), Denklem (8); eşdeğer basınç çubuğunun rijitliği (k_d), Denklem (9); eşdeğer basınç çubuğunun akma birim kısalması (δ_y), Denklem (10); sınır birim kısalması (δ_u), ise sıvanmış dolgu duvar için Denklem (11) ile hesaplanmıştır (Sevil vd., 2010). Çözümlenelerde sıvalı dolgu duvarın kalınlığı (t_{duvar}) deney numunesine uygun olarak 120 mm, dolgu duvara ait basınç dayanımı (f_{duvar}) 5 MPa, dolgu duvara ait elastisite modülü (E_{duvar}) ise DBYBHY (2007)'ye göre 1000 MPa olarak alınmıştır.

$$F = F_{cc} = f_{duvar} \times t_{duvar} \times a_{duvar} \quad (8)$$

$$k_d = \frac{a_{duvar} \times E_{duvar} \times t_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (9)$$

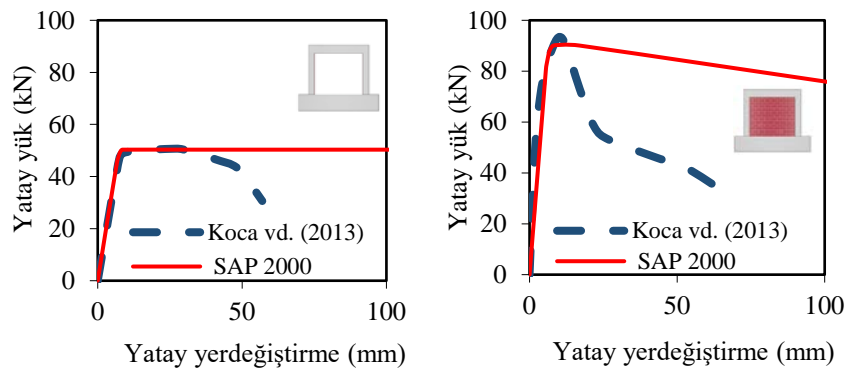
$$\delta_y = \frac{F}{k_d} \quad (10)$$

$$\delta_u = 0.020 \times r_{duvar} \text{ (sıvanmış tuğla dolgu duvar)} \quad (11)$$



Şekil 6. Deneysel çerçevesinde tanımlanan dolgu duvar aksel yük mafsalsının özellikleri (Sevil vd. 2010)

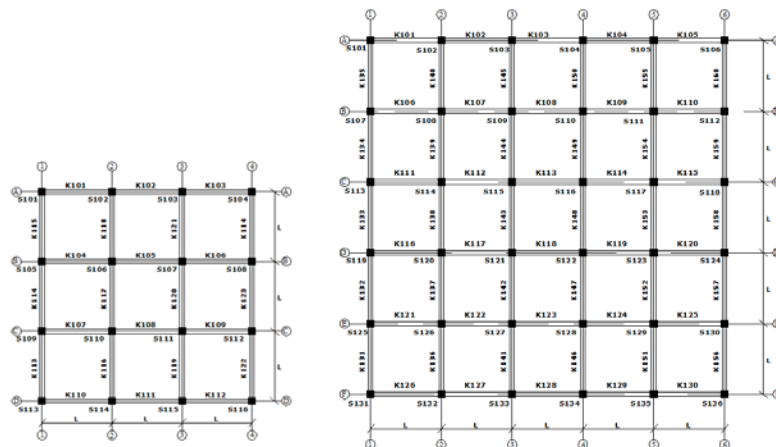
SAP 2000 (SAP 2000, 2011) programında dolgu duvarsız ve tam dolu dolgu duvarlı olarak modellenen deneysel çerçevelerinin doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır. Çözümlenmelerden elde edilen kapasite eğrileri, deneysel sonuçlarından elde edilen zarf eğrileri ile kıyaslanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Dolgu duvarsız ve duvarlı modellerin SAP 2000 (SAP 2000, 2011) sonuçlarının deneysel sonuçları ile kıyaslanması

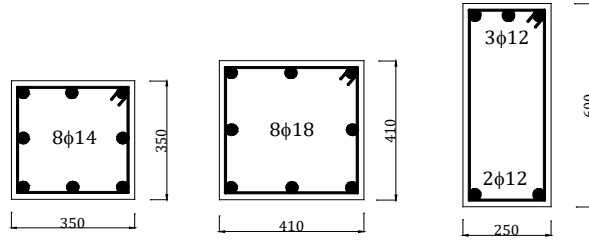
4. MODEL BİNALARIN TANITILMASI

Çalışma kapsamında yapılan çözümlenmelerde kullanılan model binaların açıklık sayıları 3×3 ve 5×5, kat adetleri ise 3 ve 5 olarak seçilmiştir. Çözümlenmeler için toplamda dört farklı bina grubu oluşturulmuştur. Modellere ait kalıp planları Şekil 8’de verilmiştir. Model binaların açıklık mesafeleri 4 m, kat yükseklikleri ise 3 m olarak seçilmiştir. Her bir kat seviyesinde rijit diyafram etkisi dikkate alınmıştır.



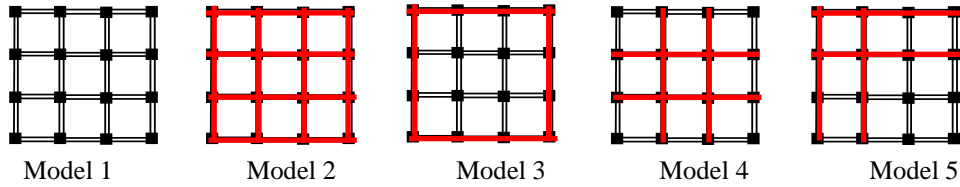
Şekil 8. Seçilen model binalara ait kalıp planı (Demir vd., 2013; Akyürek, 2014)

Model binaların beton sınıfı C20, donatı sınıfı S420, sargı donatısı Ø8/100 mm olarak dikkate alınmıştır. Üç katlı bina modeline ait kolon boyutları 350mm×350mm, beş katlı bina modeline ait kolon boyutları 410mm×410mm, tüm bina modellerine ait kiriş boyutları ise 250mm×600mm olarak seçilmiştir. Eleman boyutları tüm katlarda aynı olacak şekilde dikkate alınmıştır. Kolon elemanlara ait donatı oranı %1-1.2 arasında seçilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlara ait donatı yerleşimlerinin detayları Şekil 9’da verilmiştir.

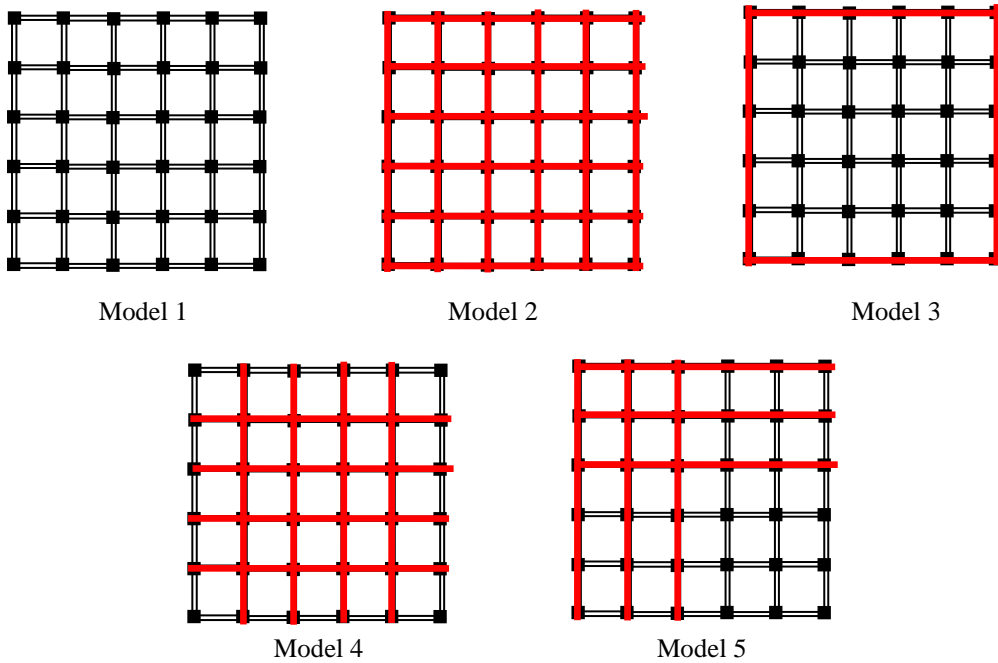


Şekil 9. Kolon ve kiriş elemanlara ait kesit özellikleri ve donatı yerleşimi

Her bir bina grubuna ait modeller dolgu duvarsız ve planda dört farklı dolgu duvar yerleşimine göre çözümlenmiştir. Farklı dolgu duvar yerleşimlerine ait görünüm 3×3 açıklık sayısına ait model binalar için Şekil 10'da, 5×5 açıklık sayısına ait model binalar için Şekil 11'de verilmiştir. Model 1 dolgu duvarsız, Model 2 tüm açıklıklarda, Model 3 sadece dış akslarda, Model 4 sadece iç akslarda dolgu duvarın tanımlandığı modellere karşılık gelmektedir. Model 2, Model 3 ve Model 4'te verilen dolgu duvar yerleşimleri simetrik. Model 5'te ise simetrik olmayan düzensiz bir dolgu duvar yerleşimi öngörülmüştür. Model binalardan elde edilen sonuçlar ile hem dolgu duvar yerleşiminin hem de dolgu duvar miktarının davranışa ve incelenen parametrelere etkisinin yorumlanması amaçlanmıştır. Çözümlenmelerde dolgu duvarın kalınlığı (t_{duvar}) 210 mm, dolgu duvara ait basınç dayanımı (f_{duvar}) 5 MPa, duvara ait elastisite modülü (E_{duvar}) ise DBYBHY (2007)'ye uygun olarak 1000 MPa alınmıştır.



Şekil 10. 3×3 açıklık sayısına ait model binalar için dolgu duvar yerleşimi

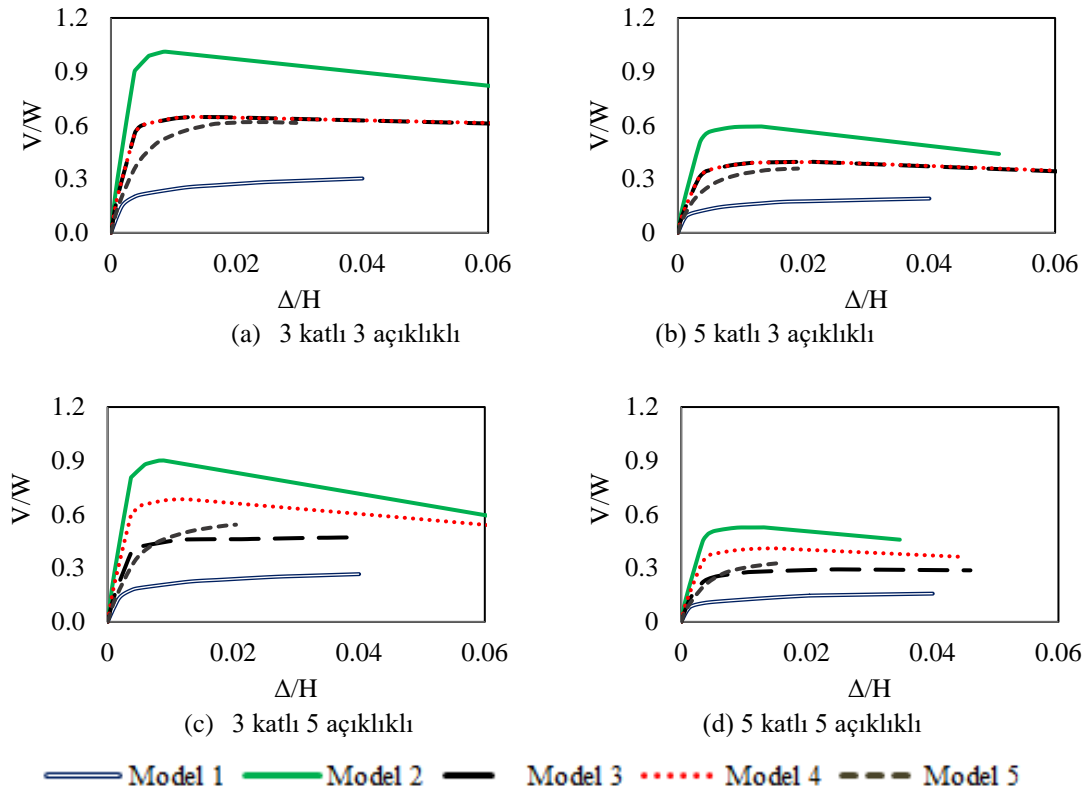


Şekil 11. 5×5 açıklık sayısına ait model binalar için dolgu duvar yerleşimi

Oluşturulan model binaların doğrusal elastik olmayan yöntem kullanılarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Binaların bilgi düzeyi, kapsamlı olarak dikkate alınmıştır. Kiriş elemanlara M_3 , kolon elemanlara PM_2M_3 , dolgu duvara ise P eksenel yük plastik mafsalı atanmıştır. Deney çerçevesinin çözümlenmesinde takip edilen hesap adımları model binalarda aynen uygulanmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Model binaların performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle plastik mafsallar kesitlere tanımlanmış ve binanın yatay yük altında itme analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda model binalara ait elde edilen boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Model binalara ait boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrilerinin kıyaslanması

Şekil 12’de dolgu duvarlı binaların kesme kuvveti kapasitelerinin dolgu duvarsız binaya göre önemli derecede artış gösterdiği görülmektedir. Binaların birinci moda ait periyodları (T_1), hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin bina yüksekliğine oranı ($\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$), duvar alanının kat alanına oranı ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$), hedef yerdeğiştirme istem seviyesinde binanın taşıyabildiği kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranı ($V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$) Çizelge 1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan üç açıklığa sahip Model 3 ve Model 4 binalarının çözümlene sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni her iki binanın, planda simetrik ve aynı miktarda dolgu duvar alanına ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$) sahip olmalarıdır. Aynı miktarda dolgu duvar alanına sahip olan fakat plandaki dolgu duvar yerleşimi simetrik olmayan model binada ise (Model 5), dolgu duvarın yapısal davranışa katkısının bir miktar azaldığı dikkati çekmektedir.

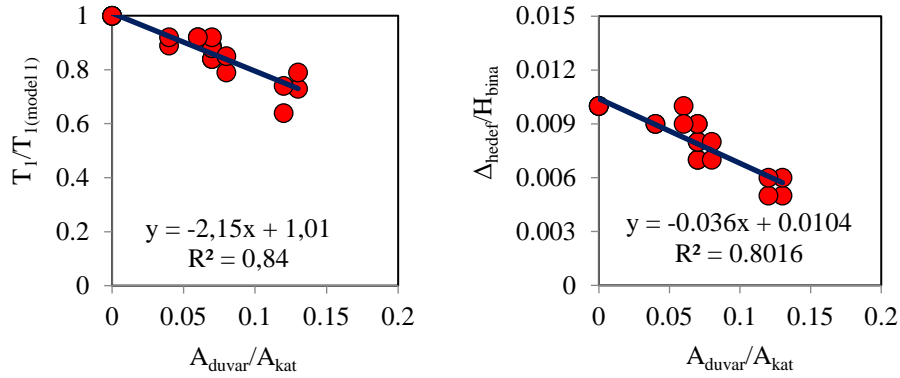
Çizelge 1. Model binaların yapısal özellikleri

	Kat adedi	Açıklık adedi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
T_1 (sn)			0.37	0.27	0.31	0.31	0.33
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.73	0.84	0.84	0.89
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	3	3×3	0.010	0.005	0.007	0.007	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.13	0.07	0.07	0.07
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.25	0.99	0.63	0.64	0.60
T_1 (sn)			0.38	0.28	0.34	0.30	0.35
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.74	0.89	0.79	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	3	5×5	0.010	0.005	0.009	0.007	0.010
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.12	0.04	0.08	0.06
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.23	0.90	0.46	0.67	0.50

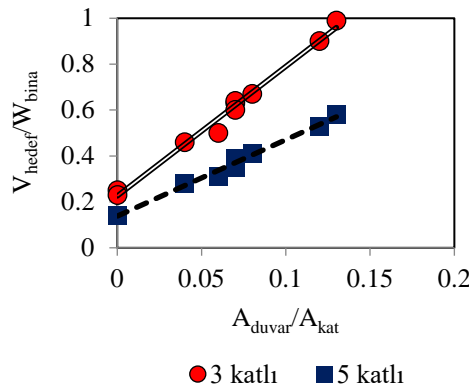
Çizelge 1(devam). Model binaların yapısal özellikleri

	Kat adedi	Açıklık adedi	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
T_1 (sn)			0.52	0.41	0.46	0.46	0.48
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.79	0.88	0.88	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	5	3×3	0.010	0.006	0.008	0.008	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.13	0.07	0.07	0.07
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.14	0.58	0.38	0.39	0.35
T_1 (sn)			0.53	0.34	0.49	0.45	0.49
$T_1/T_{1(\text{Model1})}$			1.00	0.64	0.92	0.85	0.92
$\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$	5	5×5	0.010	0.006	0.009	0.008	0.009
$A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$			0.00	0.12	0.04	0.08	0.06
$V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$			0.14	0.53	0.28	0.41	0.31

Dolgu duvarlı model binaların (Model 2-5) doğal periyod değerleri, dolgu duvarsız model binanın (Model 1) değerlerine oranlanarak Şekil 13'te grafik olarak verilmiştir. Hedef yerdeğiştirme isteminin bina yüksekliğine oranı ($\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$) ile dolgu duvar alanının kat alanına oranı ($A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$) arasındaki ilişki grafiği de aynı şekilde tanımlanmıştır.

Şekil 13. Model binalardaki $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile $T_1/T_{1(\text{Model1})}$ ve $\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}}$ oranları arasındaki ilişki

Elde edilen sonuçlardan dolgu duvar alanı arttıkça bina doğal periyodunun ve hedef yerdeğiştirme isteminin azaldığı görülmektedir. Bu değerler $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile orantılı olarak değişmektedir. Kat adedine bağlı olarak tanımlanan $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ değerleri ile $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ arasındaki ilişki Şekil 14'te grafik olarak verilmiştir. Dolgu duvar alanının artması ile binaya ait $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ oranında doğrusala yakın artış gözlenmiştir.

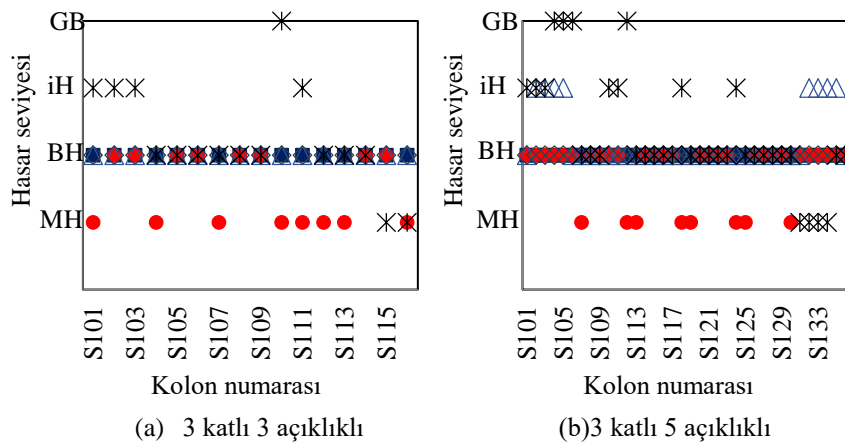
Şekil 14. Model binalardaki $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ ile $V_{\text{hedef}}/W_{\text{bina}}$ arasındaki ilişki

Model binaların birinci kat kolonlarının hasar dağılımları ve bina performans seviyeleri Çizelge 2'de verilmiştir.

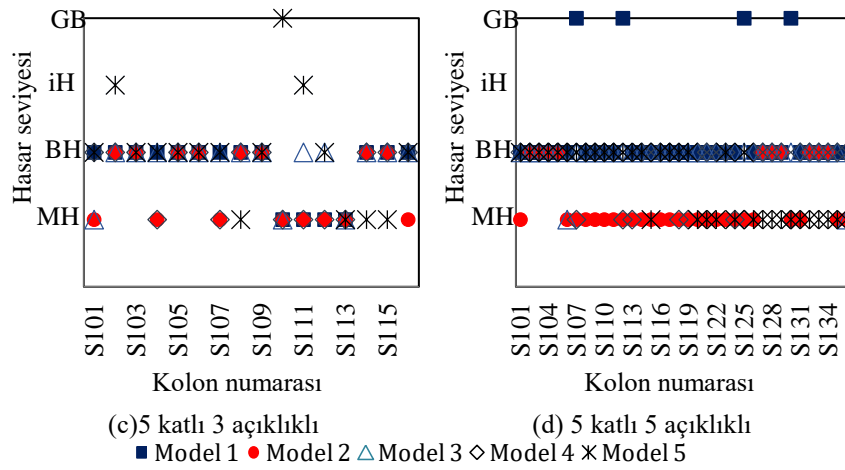
Çizelge2. Birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımları ve bina performans seviyesi

Kat adedi	Açıklık sayısı	Model no	MH	BH	İH	GB	Preformans seviyesi
3	3×3	Model 1	0	100	0	0	CG
		Model 2	50	50	0	0	CG
		Model 3	0	100	0	0	CG
		Model 4	0	100	0	0	CG
		Model 5	13	56	25	6	GD
3	5×5	Model 1	0	100	0	0	CG
		Model 2	19	81	0	0	CG
		Model 3	0	75	25	0	GÖ
		Model 4	0	100	0	0	CG
		Model 5	0	44	31	25	GD
5	3×3	Model 1	25	75	0	0	CG
		Model 2	50	50	0	0	CG
		Model 3	19	81	0	0	CG
		Model 4	38	62	0	0	CG
		Model 5	25	56	13	6	GD
5	3×3	Model 1	0	88	0	13	GD
		Model 2	75	25	0	0	CG
		Model 3	6	94	0	0	CG
		Model 4	19	81	0	0	CG
		Model 5	6	94	0	0	CG

Elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde sisteme dolgu duvar ilave edilmesi ile elemanlarda meydana gelen hasar seviyesinin azaldığı görülmüştür. Ancak simetrik olmayan yerleşime sahip Model 5 binasında kolon elemanlarda rijitlik değişimine bağlı olarak ortaya çıkan hasar seviyeleri bazı kolonlarda artarken bazı kolonlarda azalmaktadır. Birinci kat kolonlarının tamamının üst ucunda MH seviyesi elde edilmiştir. Bu nedenle kolonun kritik hasarını kolon alt ucu belirlemiştir. Alt uçlarına ait elde edilen hasar seviyeleri ise farklı bina grupları için Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Model binaların birinci kat kolonlarının alt ucuna ait hasar seviyeleri



Şekil 15(devam). Model binaların birinci kat kolonlarının alt ucuna ait hasar seviyeleri

Model binaların performans seviyesi sonuçları genel olarak incelendiğinde dolgu duvarsız çerçevenin CG performans seviyesini sağladığı gözlenmiştir. Planda simetrik yerleşimli dolgu duvarlara sahip binalarda performans seviyesi yine CG olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolgu duvarların dikkate alınmasının kolon elemanlarda ortaya çıkan hasar seviyesini azaltmasına rağmen, performans seviyesinde herhangi bir değişim görülmemiştir. Ancak, düzensiz şekilde dolgu duvar yerleşimine sahip Model 5 binasının performans seviyesi genelde GD olarak karşımıza çıkmaktadır. Planda düzensiz olarak yerleştirilen dolgu duvarların bulunduğu model binalarda rijitlik dağılımının değişmesiyle elemanlardaki kesme kuvveti dağılımı da değişmektedir. Bir taraftaki elemanlarda hasar seviyesi azalırken diğer tarafta artmaktadır. Performans seviyesinin GD çıkmasının nedeni bir ile dört adet arasında değişen elemanda GB hasar seviyesinin görülmesidir.

6. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, bina planındaki dolgu duvar miktarı ve yerleşiminin simetrik olması/ olmaması durumlarının binanın davranışına ve güvenliğine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla planda farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip taşıyıcı sistemi simetrik olan konut türü betonarme binalar seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi (Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi) kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Betonarme binada mimari amaçla yerleştirilen dolgu duvarlar, içerisinde bulunduğu betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırmaktadır. Bu artış, planda simetrik dolgu duvar yerleşimine sahip betonarme binalarda simetrik olmayan binalara göre daha fazla olarak ortaya çıkmaktadır.
2. Simetrik ve aynı miktarda dolgu duvar alanına sahip binaların boyutsuzlaştırılmış kapasite eğrileri üst üste elde edilmiştir. Bunun yanında, planda aynı miktarda dolgu duvara sahip ancak dolgu duvar yerleşimi simetrik olmayan binada ise kararlı bir kapasite eğrisi elde edilememiştir. Elde edilen sonuçlardan, plandaki dolgu duvar yerleşiminin simetrik olup olmamasının bina kapasite eğrisini önemli şekilde etkilediği görülmektedir.
3. Dolgu duvarın düzgün ve simetrik yerleştirilmesi durumunda dolgu duvar alanının artması ile yapı periyodu genel olarak azalmaktadır.
4. Model binalar üzerinde yapılan çözümlerden, " A_{duvar}/A_{kat} oranı" ile "dolgu duvarlı binanın birinci moda ait doğal titreşim periyodunun sadece çerçeveli binanın periyoduna bölünmesi ile elde edilen oranı ($T_1/T_{1(Model1)}$)" arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.
5. Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan betonarme binaların planına yerleştirilen dolgu duvar alanı arttıkça binanın tepe yerdeğiştirme istem değeri azalmaktadır. Yapılan çözümlerde " A_{duvar}/A_{kat} oranı" ile "tepe yerdeğiştirme isteminin bina yüksekliğine oranı (Δ_{hedef}/H_{bina})" arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir.
6. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemine göre belirlenen birinci kat kolon üst uç hasarı tüm modeller için "MH" seviyesinde elde edilmiştir. Kolon alt ucu hasarı ise dolgu duvarın durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sisteme simetrik olarak dolgu duvar ilave edilmesi ile taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar seviyesi azalmaktadır. Ancak simetrik olmayan dolgu duvar yerleşimine sahip binalardaki kolon elemanlarının hasar seviyelerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Dolgu duvar etkisi ile meydana gelen rijitlik değişimine bağlı olarak bazı kolonlarda hasar seviyesi artarken, bazı kolonlarda azalmaktadır.

7. Yapılan çözümlerinde, dolgu duvarsız model binaların performans seviyesi “CG” olarak elde edilmiştir. Planda simetrik yerleşimli dolgu duvarlara sahip binalarda performans seviyesi yine “CG” olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolgu duvarların dikkate alınması ile kolon elemanlarda ortaya çıkan hasar seviyesi azalmasına rağmen, binanın performans seviyesinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. Ancak, planda düzensiz dolgu duvar yerleşimine sahip binaların performans seviyesi genelde “GD” olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni bu binalarda rijitlik dağılımının değişmesiyle elemanlardaki kesme kuvveti dağılımının da değişmesidir. Bazı düşey taşıyıcı elemanlarda hasar seviyesi azalırken bazı elemanlarda artmaktadır. Performans seviyesinin GD çıkmasının nedeni bir ile dört adet arasında değişen sayıdaki elemanda GB hasar seviyesinin görülmesidir.
8. Model binaların çözümlerinden elde edilen sonuçlar, dolgu duvar yerleşiminin, yapı davranışını önemli derece etkilediğini göstermiştir. Taşıyıcı sistemi simetrik olan binalarda, dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olmaması bazı düzensizliklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, taşıyıcı sistem davranışının daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi için yapılan çözümlerinde binada bulunan dolgu duvar özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının ve dolgu duvarların modellemelerde dikkate alınmasının oldukça önem taşıdığını vurgulamak gerekir.

BİLGİLENDİRME

Çalışmanın gerçekleşmesinde 111M119 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- Aksoy, H.B., Avşar, Ö., (2015) Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 115-122.
- Akyürek, O., (2014). Betonarme bina performansına dolgu duvarların etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.86, Isparta.
- Akyürek, O., Tekeli, H., Demir, F., (2015). Betonarme bina performansına dolgu duvarların etkisi. Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11 -14 Mayıs, İstanbul.
- André Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. (2017). Modal identification of infill masonry walls with different characteristics. Engineering Structures, 145, 118-134.
- Aydın, A., (2015). Boşluklu dolgu duvara sahip betonarme binaların deprem davranışının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.58, Isparta.
- BESAM, (2013). **B**etonarme **E**lemanlarda **S**Argı ve **M**odelleme Programı. Tübitak 111M119 no’lu proje, Isparta.
- Cavaleri, L., Trapani, F.D., Asteris, P. G., Sarhosis, V. (2017). Influence of column shear failure on pushover based assessment of masonry infilled reinforced concrete framed structures: A case study. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 98-112.
- Demir, F., Tekeli, H., Güler, K., Celep, Z., (2013). Binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılacak yeni bir yaklaşım. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, 135s. Proje No, 111M119.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- DELOP, (2013). **D**oğrusal **E**lastik **O**lmayan **P**rogram. Tübitak 111M119 no’lu proje, Isparta.
- Dolsek, M., Fajfar, P., (2008). The Effect of Masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame deterministic assessment. Engineering Structures, 30, 1991–2001.
- FEMA 306, Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, Applied Technology Council (ATC-43 Project), 1998.
- Güney, D., Boduroğlu, M.H., (2006). Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetrik yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı. İTÜ Mühendislik Dergisi/d, 5(3), 165-174.
- Kaltakçı, M.Y., Arslan, M.H., (2005). Taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapı davranış katsayısına olan etkisinin incelenmesi. Kocaeli Deprem Sempozyumu, 598-605.
- Karasu, T.O., Erdem, R.T., Demir, A., Bağcı, M., (2011). Yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir binanın performansının incelenmesi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 7(2), 61 – 69.

- Karlıoğlu, Ö., (2005). Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s., Kahramanmaraş.
- Kaymak, F., Tuna, E.T., (2011). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. 26(2), 435-445.
- Koca, N., (2013). Betonarme çerçevelerin deprem davranışına dolgu duvarların etkisi. Tübitak 2209 - Üniversite Öğrencileri Yurt İçi / Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı, Sonuç Raporu, 11s. Isparta.
- Meral, E., İnel, M., (2016). Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 22(6), 468-477.
- Morfidis,K., Kostinakis, K. (2017). The role of masonry infills on the damage response of R/C buildings subjected to seismic sequences. Engineering Structures, 131, 459-476.
- Mulgund, G.V.,Kulkarni, A.B., (2011). Seismic assesement of RC frame buildings with brick masonry infills. International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, 2(2), 140-147.
- Özdoğu, O.Z.,(2006). Deprem etkisi altındaki binaların davranışına dolgu duvarların etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s., Sakarya.
- Peynirci, R., (2007). Betonarme çerçeve sistemlerde dolgu duvarların deprem davranışına katkısı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s., Afyon.
- SAP 2000, (2011). Computers and Structures, Inc., v.15.0.0, Structural Analysis Program, Berkeley, CA, USA.
- Sevil, T., Baran, M., Canbay, E., (2010). Tuğla dolgu duvarların BA çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi: Deneysel ve kuramsal çalışmalar. International Journal of Engineering Research and Development, 2(2), 35-42.
- Sivri, M., Demir, F., Kuyucular, A., (2006). Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 109-115.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, O.İ., Özcebe, G., (2013). Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.