mühendislikdergisi
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Cilt: 8, Sayı: 3, 453-461
Temmuz 2017

Kuşatılmış yığma yapıların deprem davranışı: 2011 Van depremi örneği

Eleni SMYROU [*,1]

[1] *Teknik Müdür, Senso Mühendislik Ltd., İTÜ Arı Teknokent, İstanbul*

Makale Gönderme Tarihi: 10.07.2016 Makale Kabul Tarihi: 29.12.2016

Öz

Yığma yapılar dünyada sıklıkla kullanılan, en eski yapım malzemesi ve yöntemlerini barındıran yapılardır. Donatısız olarak inşa edilen ve depremlere karşı özel önlemler barındırmayan yığma yapıların çeşitli depremlerde yerel veya toptan hasarlar aldığı bilinmekle birlikte, alınacak çeşitli önlemler ile yığma yapıların büyük depremleri başarı ile atlatması da mümkündür.

Yazarın da içerisinde bulunduğu bir çalışma grubu, 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin Yığma Yapılar Bölümü'nü yeniden düzenlemiş ve Eurocode 6 içeriğine benzer bir içeriğe getirmiştir. Bu köklü değişiklik sonunda 2016 Yönetmelik Taslağı'nda "Kuşatılmış Yığma" başlıklı bir yapı türü de Türkiye'deki literatüre kazandırılmıştır. Ancak kuşatılmış yığma zaten Türkiye'de sıkça rastlanan, yöresel yapım yöntemlerini içerisinde barındıran ve en son başarılı örnekleri 2011 Van Depremleri'nde görülen bir yapım yöntemidir.

Bu makalede, Van Merkez'de kuşatılmış yığma tarifine uygun olarak 4 kata kadar imal edilen iki yapının deprem davranışları incelenmiştir. Bu yapıların, Türkiye'de daha sık rastlanan dolgu duvarlı betonarme yapılardan (dolgu duvarlarının betonarme karkastan sonra imal edildiği yapılar) davranış anlamında farkları irdelenmiştir. Van Merkez'den toplanan saha verileri içerisinde bulunan 2 adet 4 katlı kuşatılmış yığma yapı Van Muradiye'de oluşan ve Van Merkez'de beklenen deprem kayıtları kullanılarak analiz edilmiş ve yapıların deprem davranışı irdelenmiştir. Aynı yapıların dolgu duvarlı imal edilmeleri durumunda davranışın ne şekilde olacağı konusunda da karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak bu makalede incelenen kuşatılmış yığma yapıların, aynı özelliklerde olan ancak dolgu duvarlı olarak imal edildiği varsayılan betonarme yapılara nazaran %33 civarında daha fazla dayanıma sahip olduğu, çevrimsel enerji sönüm kapasitesinin ise %46 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Yığma yapılar; Kuşatılmış yığma; Deprem davranışı*

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: Eleni SMYROU. esmyrou@*sensoltd.com.tr*; Tel: (212) 909 2095

Giriş

Yığma yapılar, pişmiş tuğla, briket veya taş gibi kagir birimlerin harç gibi bir bağlayıcı ile bağlanması sonucu oluşturulan yapılardır. Bu yapıların çoğu durumda yatay ve düşey hatılları da bulunur. Bu hatıllar geçmişte ahşap olabildikleri gibi, günümüzde betonarme olarak da imal edilmektedirler. Betonarme hatıllar, donatısız yığma yapılarda genelde birbirlerine bağlanmazlar. Yatay ve düşey betonarme hatılların birbirlerine bağlandığı örnekler kuşatılmış yığma yapılardır (örnekler için bkz. Şekil 1). İlk bakışta betonarme yapıları andıran bu yapıların betonarmeden en temel farkı, betonarme kesitlerin oldukça küçük olması, çoğu yerde yatay hatılların yığma duvar içerisinde kaybolacak kadar küçük imal edilmeleridir. Ayrıca betonarme yapılar için gerekli olan çoğu düktilite ve kapasite tasarım kuralları bu yapılarda uygulanmaz, yatay ve düşey hatıllar da betonarme hesaplarına göre boyutlandırılmazlar.

Van'da rastlanılan ve bu makalenin konusu olan yapılar, temeli yerden 1m kadar yükseltilen ve taş olarak imal edilen (bkz. Şekil 2), bunun içerisine inşa edilen düşey hatıllarla üst yapının bu temele bağlandığı sistemlerdir. Van, Bitlis ve çevresinde bu yapılardan oldukça fazla sayıda bulunmaktadır. Eski örnekleri iki katlı müstakil evler olarak inşa edilmişse de, yeni örnekleri 4 kata kadar çıkan apartmanlar şeklindedir. Benzer yapılar ile ilgili deneysel çalışmalar sonucu (Tomazevic ve Klemenc, 1997), donatısız yığmaya nazaran iyi deprem davranışlarını da dikkate alacak şekilde kuşatılmış yığma yapılar Avrupa yönetmeliklerine girmiştir.



Şekil 1.2011 Van Depremleri'ni hasarsız atlatan 3 katlı kuşatılmış yığma bir yapı, Van Merkez



Şekil 2.Van Merkez'de inşaat halindeki kuşatılmış yığma yapı temeli

Materyal ve Yöntem

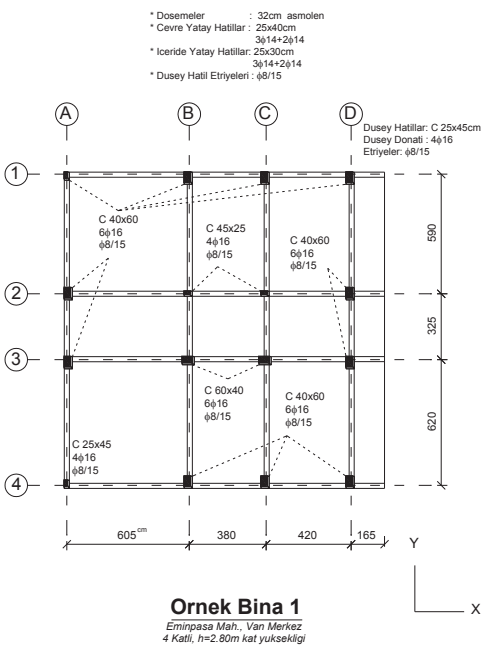
Veri Toplama

Van Merkez'de hasarlı yapılar üzerinde yapılan incelemeler sırasında, sahada rastlanılan 2 adet 4 katlı kuşatılmış yığma yapının sahada röleveleri alınmış, düşey hatıllarında beton kabuğu sıyrılarak donatı adetleri ve çapları tespit edilmiş, paşometre ile de etriye aralıkları saptanmıştır. Betonarme hatılların beton dayanımı konusunda elde bir veri olmamakla birlikte, Van'da deprem sonrası yaptırılan çalışmalarda elde edilen ortalama beton dayanımları modellerde kullanılmış, 10MPa değeri esas alınmıştır. Bu konuda detaylı bilgi Bedirhanoğlu ve Önal (2011) raporunda bulunabilir.

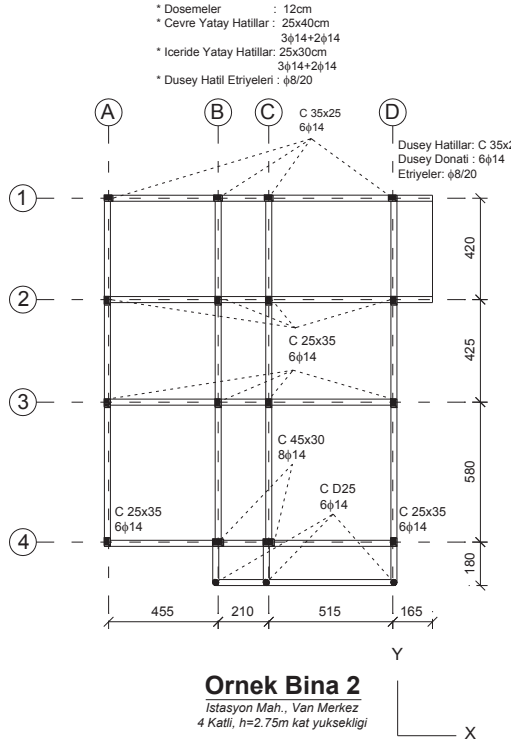
Örnek Yapı 1 Van Merkez Eminpaşa Mahallesi'ndedir. Depremden 1 yıl önce inşa edilmiştir ve inceleme anında meskun durumdadır. Döşemeleri briket asmolen ile inşa edilmiştir (Şekil 3 ve 4).

Örnek Yapı 2, Van Merkez İstasyon Mahallesi'ndedir ve deprem anında inşaatı henüz tamamlanmamıştır (Şekil 5). Yapıda döşemeler 12cm kalınlıkta plak döşeme olarak imal edilmiştir. Yapının genelinde taşıyıcı yığma duvarlarda kesme çatlakları tespit edilmiş, bu çatlakların betonarme hatıllara

ilerlediği ve sistemin betonarme ve yığma beraber çalıştığı gözlenmiştir (Şekil 6-8).



Şekil 3.Örnek Yapı 1'e ait normal kat kalıp planı, Eminpaşa Mahallesi, Van Merkez, 4 katlı bina, kat yüksekliği 2.8m



Şekil 5.Örnek Yapı 2'ye ait normal kat kalıp planı, İstasyon Mahallesi, Van Merkez, 4 katlı bina, kat yüksekliği 2.75m



Şekil 4.Örnek Yapı 1 giriş katı, 23 Ekim 2011 Tabanlı, Van Depremi'nden hemen sonra



Şekil 6.Örnek Yapı 2 genel görünüşü, 23 Ekim 2011 Tabanlı, Van Depremi'nden hemen sonra



Şekil 7.Örnek Yapı 2'de düşey hatıllardan yığma duvara sirayet eden kesme çatlakları

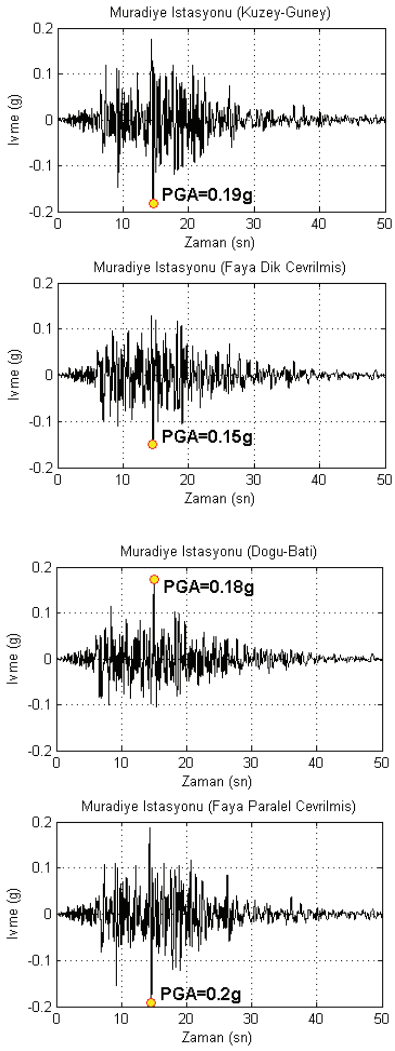


Şekil 8.Örnek Yapı 2'de taşıyıcı yığma duvar çatlakları

Sahada diğer benzer yapılardaki gözlemlerde, özellikle daha eski ve 2 katlı müstakil tip yapılarda etriye aralıklarının 30-35 cm'e çıktığı, ancak daha yeni yapılarda bu aralığın 15 cm'ye kadar düştüğü, buna mukabil etriyelerin 90º kapatıldığı tespit edilmiştir. Yapıların ekseriyetinde düşey hatıl düşey donatısı olarak ϕ14 çap seçilmekle birlikte, bazı yapılarda ϕ12 de görülmüştür. Yapı düşey hatıllarında çoğunlukla 4, bazen de 6 adet düşey donatı standart olarak kullanılmıştır.

Kullanılan Yer Hareketi Kayıtları

Örnek yapıların analizi için 23 Ekim 2011'de Van'ın Tabanlı Köyü'nde meydana gelen ve



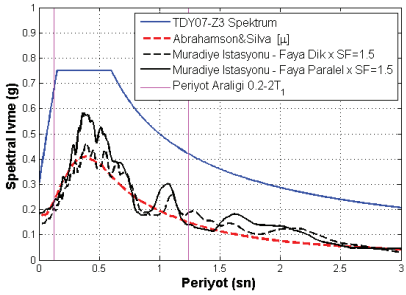
Şekil 9. 23 Ekim 2011 Tabanlı, Van Depremi, Muradiye istasyonu kayıtları

Van'a 17 km uzaklıkta gerçekleşen depremin moment büyüklüğü Mw=7.2'dir. Bu deprem sırasında Van Merkez'de bulunan ivme kayıtçısı çalışmadığından, Van şehir merkezinde gerçekleşen ivme seviyeleri hakkında bir fikrimiz yoktur. Bu yokluğu gidermek için bu

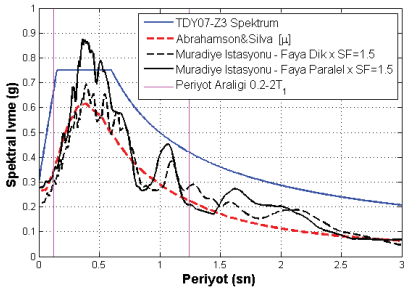
çalışmada izlenen yöntem i) en yakın kayıt olan Muradiye kaydının temini (Şekil 9), ii) bu kaydın faya paralel ve faya dik iki bileşene dönüştürülmesi, iii) AS08 (Abrahamson ve Silva, 2008) yer hareketi tahmin bağıntısı kullanılarak Van Merkez'de tahmin edilen medyan spektrurmun bulunması, iv) Muradiye kayıt bileşenlerinin bu tahminden elde edilen spektruma oturtulacak şekilde uyarlanması, buna uygun katsayıların tespiti.

Kayıtların Muradiye'den Van Merkez'e taşınması işlemlerinde izlenen yöntemler, yapı 1nci mod periyotlarına bakarak ilgili periyot aralığında kontrol kriterlerinin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizlerde örnek iki yapının periyotları 0.61 ve 0.64sn çıktığından, 0.1 ve $2T_1$ aralığında kaydın spektrumunun AS08 modeli spektrumuna uygunluğu kontrol edilmiştir. Gerek orijinal Muradiye kaydı ve gerekse örnek yapılar için Z3 tipi zemin kabul edilmiştir.

Taşıma işlemi için AS08 denkleminde önce Muradiye İstasyonu'nun deprem merkez üstüne mesafesi olan 37 km kullanılarak Şekil 10'da verilen spektrumlar elde edilmiştir. Burada AS08 modelinin medyan tahminlerinin Muradiye istasyonu için yeter derecede uyumlu olduğu görülebilmektedir. Buradan hareketle Van Merkez için, bu sefer 17 km mesafe kullanılarak AS08 modeli yeniden çalıştırılmış ve 23 Ekim 2011 Depremi'nde Van Merkez'de gerçekleşmiş olması muhtemel ivme spektrumu elde edilmiştir. Muradiye kayıtlarının bu tahmin spektrumuna oturması için gerekli olan katsayı, özellikle PGA değerlerinin benzeşmesi de dikkate alınarak 1.50 olarak saptanmıştır (Şekil 11). Sonuç olarak Muradiye faya paralel ve faya dik kayıt bileşenleri 1.50 katsayısı ile çarpılarak Van Merkez'de bulunan iki örnek binaya uygulanmıştır. Şekil 10 ile Şekil 11 arasındaki fark, Şekil 10'daki medyan tahmin değerlerinin, sahada ölçülen kuvvetli yer hareketi belirsizliğini de dikkate alacak şekilde 1.5 ile çarpılması ve Şekil 11'in oluşturulmasıdır. Gedikbulak sahasında deprem kaydı yoktur ancak Şekil 10 ve Şekil 11'deki hesaplamalar, eldeki veriler ışığında Gedikbulak'ta olmuş olması en muhtemel kayıt setini vermektedir.



Şekil 10.Muradiye kaydı spektrumları ile Abrahamson-Silva (2008) tahmin bağıntısı spektrumu ve TDY 2007 spektrumu karşılaştırmaları



Şekil 11.Muradiye kaydı bileşenlerinin 1.5 katsayısı ile çarpılarak Van Merkez'e taşınması ile Van Merkez'de olmuş olması muhtemel yer hareketinin temini

Matematik Modeller ve Analizler

İki örnek yapı bir kez çıplak çerçeve olarak (yığma duvarların olmadığı durum), bir kez yığma duvarların dolgu duvarı olarak inşa edildiği halde ve bir kez de yığma duvarların kuşatılmış yığma prensiplerine göre modellenmesi ile analiz edilmiştir. Her iki yapı da iki dik doğrultuda ve bir önceki bölümde bahsi geçen Van Merkez'e taşınmış deprem kayıtlarını kullanarak irdelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmış, analizlerde tüm modellerde Rayleigh elastik sönümü, %3 sönüm oranı dikkate alınarak uygulanmıştır. Genelde kabul edilen

%5 elastik sönüm burada kullanılmamıştır zira fiber modellerde elastik bölgede de hem betonarme ve hem de dolgu duvarı elemanları bir miktar çevrimsel sönüm yaptıklarından, yığılı plastisite modellerine nispeten %5'den daha düşük elastik sönüm kabulü yapılması daha gerçekçi olmaktadır (Seismosoft, 2016).

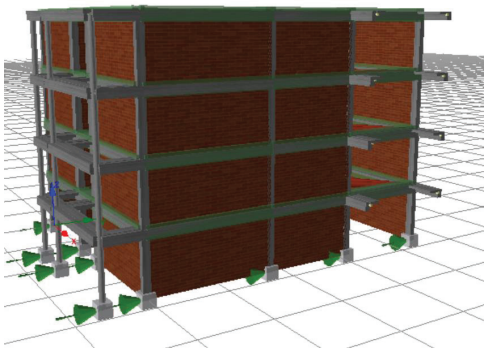
İki yapının matematik modeli, SeismoStruct yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yazılımda betonarme elemanlar şekil değiştirmelerin tüm eleman boyunca yayılı olduğu kabulüne göre ve fiber kesitler kullanılarak (Seismosoft, 2016), kuvvete dayalı (force-based) elemanlar ile modellenmiştir (Spacone v.d., 1996; Neuenhofer ve Flippou, 1997). Betonarme elemanların arasında kalan yığma duvarlar ise, yazılımdaki yerleşik dolgu duvarı modeli kullanılarak modellenmiştir (Smyrou v.d., 2011). Dolgu duvarları çift basınç çubuğu elemanı kullanılarak modellenmiştir. Bu basınç çubuklarının çevrimsel yük altındaki davranışları, formülasyonları ve bileşenleri Smyrou v.d. (2011) yayınında görülebilir.

Seismostruct yazılımında bulunan dolgu duvarı modeli, dolgu duvarlarının betonarme karkasın inşa edilmesinden sonra örüldüğü durumu temsil eden bir modeldir. Bu modelin kuşatılmış yığmaya uyarlanması için iki temel parametrenin değiştirilmesi gereklidir. Bunlardan ilki, kuşatılmış yığmada önce yığma sonra betonarme imal edildiğinden, yığma ile betonarme arasında boşluk kalmaması durumudur. Kullanılan modelde yığma duvar ile betonarmenin deprem yükleri altında temasının ne kadarının kaybolduğuna dair bir parametre bulunmaktadır. Kuşatılmış yığma için bu temasın kaybolmadığı, ancak malzemenin kırılması durumunda betonarmenin yığmadan ayrıldığı durumunu temsil eden tam temas tarif edilmiştir. Dolgu duvarlarında bu literatüre göre %30-40 civarı temasa denk gelmektedir. Bu temas parametresinin artması, betonarmeden dolgu duvarına aktarılan yüklerin artmasına sebep olmaktadır.

Kuşatılmış yığmayı dolgu duvarından ayıran en temel farklardan biri de, kuşatılmış yığmada yığma duvarların imalat tekniğinden ötürü yapının mevcut düşey yüklerini taşımasıdır. Bu düşey yük artımı, yığma duvarın kesme kapasitesini de arttırmaktadır.

Gerek dolgu duvarı ve gerekse yığma duvar modellerinde duvar basınç dayanımı 1MPa, duvar kesme dayanımı (normal kuvvetin olmadığı durumda) 0.3MPa olarak kabul edilmiştir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) bu değer, örneğin çimento harçlı dolu briket duvarlarda 0.8MPa olarak verilmiştir. Bu tasarım değeridir ve bir miktar azaltılmış bir değer olarak tasarımda kullanılması öngörülmektedir.

Yığma duvar pencere ve kapı boşluklarının toplam duvar yüzey alanının yarısından fazla olduğu duvarlar ihmal edilmiş, diğerlerinde de eşdeğer basınç çubuğu alanı hesaplarında bir azaltmaya gidilmiştir. Gerek duvar boşluklarının dikkate alınması ve gerekse model için gerekli diğer parametreler, Smyrou v.d. (2011) yayınında tavsiye edildiği gibi hesaplanmıştır.

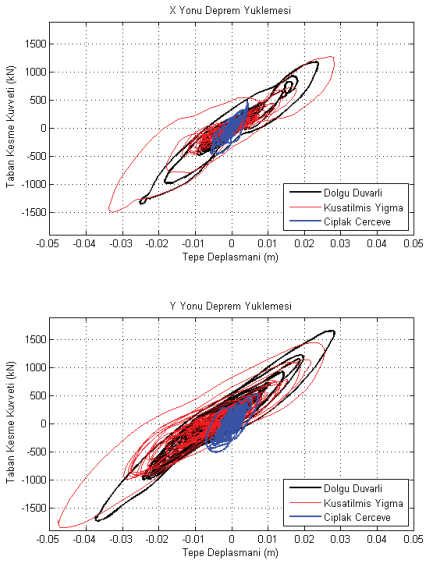


Şekil 12.Örnek Yapı 2'ye ait 3 boyutlu model görüntüsü (yığma duvarlar dolu gözükmekle birlikte, pencere-kapı boşluk oranları basınç çubuğu hesabında dikkate alınmıştır)

Analiz Sonuçları ve Bulgular

Analiz sonuçları, her iki yapının X ve Y doğrultularında irdelenmiş ve çevrimsel tepe deplasmanı – taban kesme kuvveti grafikleri Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir. Bu

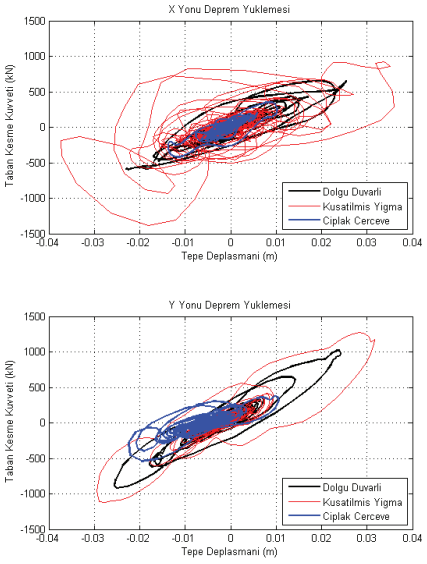
grafiklerde kuşatılmış yığma yapıların en göze çarpan özelliği, çevrimsel döngü altında kalan alanın, yani yapının enerji yutma kapasitesinin, dolgu duvarlı yapı örneğine nazaran çok daha yüksek olmasıdır. Kuşatılmış yığma yapıların çevrimsel döngüleri dolgu duvarlı yapılara göre belirgin derecede daha geniştir.



Şekil 13.Örnek Yapı 1'e ait çıplak çerçeve, dolgu duvarlı ve kuşatılmış yığma durumları için çevrimsel tepe deplasmanı –taban kesme kuvveti grafikleri

Şekil 13 ve 14'te gözlemlenen bir diğer belirgin özellik, gerek dolgu duvarlı ve gerekse kuşatılmış yığma yapıların, aynı yapının çıplak çerçeve olarak ve aynı kesit özellikleri ile imal edilmesi durumundaki dayanıma nazaran, yaklaşık 3 kat daha fazla dayanım sergilemeleridir. Kuşatılmış yığma yapı örneklerinin dayanımları, ayrıca dolgu duvarlı örneklere nazaran bir miktar daha fazladır.

Van Merkez'de gerçekleşmiş olması muhtemel ivme spektrumuna dayanarak elde edilen deprem kaydı ile yapılan analizlerde, 2 nolu örnek yapının yük-deplasman grafikleri, yapının doğrusal olmayan bölgeye daha fazla geçtiğini göstermektedir. 2 nolu örnek yapıda gerek X ve gerekse de Y yönünde, deprem anındaki son çevrimlerin yapının nispeten elastikiyetini koruduğu yük-deplasman aksından çok daha dışarıda ve büyük bir çevrimsel döngü oluşturduğu görülmektedir. Örnek Yapı 1 ve 2'nin saha gözlemlerinde de, Örnek Yapı 2'nin gerek düşey ve gerekse de yatay hatıllarında, ayrıca taşıyıcı yığma duvarlarında, Örnek Yapı 1'e nazaran daha fazla hasar tespit edilmiş, Örnek Yapı 2'nin onarılabilir orta hasar mertebesine geldiği görülmüştür. Analizlerden elde edilen bulgular da saha bulguları ile uyumludur.



Şekil 14.Örnek Yapı 2'ye ait çıplak çerçeve, dolgu duvarlı ve kuşatılmış yığma durumları için çevrimsel tepe deplasmanı –taban kesme kuvveti grafikleri

Her iki yapının iki doğrultuda yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesapları neticesinde, yapıların en büyük taban kesme kuvvetleri ile çevrimsel döngü altında kalan toplam alanları Tablo 1'de özet halinde verilmiştir. Buna göre, kuşatılmış yığma

yapıların en büyük taban kesme kuvvetleri, aynı yapının dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak imal edilmesi halindeki duruma göre ortalama olarak %33 oranında daha fazladır. Yine kuşatılmış yığma yapıların çevrimsel enerji sönüm kapasiteleri, aynı yapının dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak imaline nazaran %46 oranında daha fazladır.

Tablo 1. Analiz sonuçlarının toplu karşılaştırması

Yapı	Doğrultu	Tip	Mak. Taban Kesme Kuvveti (kN)	Çevrimsel Döngü Altındaki Alan (kNm)
1	X	Çıplak Çerçeve	502	12
1	X	Dolgu Duvar	1380	62
1	X	Kuşat. Yığma	1508	83
1	Y	Çıplak Çerçeve	490	18
1	Y	Dolgu Duvar	1550	81
1	Y	Kuşat. Yığma	1820	101
2	X	Çıplak Çerçeve	472	22
2	X	Dolgu Duvar	612	128
2	X	Kuşat. Yığma	1436	221
2	Y	Çıplak Çerçeve	511	48
2	Y	Dolgu Duvar	1008	142
2	Y	Kuşat. Yığma	1280	196

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada Van Merkez'de 23 Ekim 2011 Tabanlı, Van Depremi'ni görmüş ve bu depremden hemen sonra ziyaret edilmiş 2 gerçek yapı analiz edilmiştir. Bu yapılar esasen Türkiye'de henüz yönetmeliklerde olmayan, ancak dünya literatüründe kuşatılmış yığma olarak anılan yapılardır. Bu yapıların deprem davranışı, aynı yapıların aynı yükler ve betonarme kesitler kullanılarak ve farazi olarak dolgu duvarlı betonarme veya çıplak çerçeve olarak inşa edilmeleri durumları ile karşılaştırılmıştır.

Kuşatılmış yığma yapıların dolgu duvarlı betonarme yapılardan en temel farkı, dolgu duvarlı betonarme yapılarda betonarme kesitlerin daha büyük ve detaylandırmanın daha düzgün olmasının yanı sıra, kuşatılmış yığma yapılarda yığma duvarların betonarmeden önce imal edilmesi suretiyle i) yığma duvarların yapının toplam normal yük taşıma kapasitesine katkı vermesi, ii) duvarların betonarme elemanlara tam yapışık şekilde inşa edilmesidir.

Bu çalışmada, aynı yapının kuşatılmış yığma olarak inşa edilmesi durumunda en büyük taban kesme kuvvetinin ortalama %33 oranında, çevrimsel enerji sönüm kapasitesinin de (tepe deplasmanı – taban kesme kuvveti eğrisi altında kalan toplam alan) %46 oranında daha fazla olduğu bulunmuştur. Elbette bu bulgular incelenen yapılar ve kullanılan deprem kayıtları ile sınırlıdır.

Kaynaklar

Abrahamson, N. A. ve W. J. Silva, (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, *Earthquake Spectra,* 24(1), 67-97.

Bedirhanoğlu İ. ve Önal T., (2011). 23 Ekim 2011 Van Depremi Ön Değerlendirme Raporu. URL:http://www.dicle.edu.tr/a/idrisb/webtr/Van_Depremi_On_Degerlendirme_Raporu_1.pdf.

Neuenhofer A. ve Filippou F.C., (1997). Evaluation of nonlinear frame finite-element models. *Journal of Structural Engineering*, (123) 7, 958-966.

Seismosft, Seismostruct v7 yapısal analiz programı, 2016 (www.seismosoft.com).

Smyrou E., Blandon C.A., Antoniou S., Pinho R., Crisafulli F., (2011). Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames. *Bullettin of Earthquake Engineering*, 9(5), 1519-1534.

Spacone E., Ciampi V. ve Filippou F.C., (1996). Mixed formulation of nonlinear beam finite element. *Computers & Structures*, 58(1), 71-83.

Seismic response of confined masonry structures: Example of 2011 Van Earthquake

Extended abstract

Masonry structures exist in most earthquake prone countries, despite the non-ductile behavior of most unreinforced masonry (URM) types. Several earthquakes around the world proved, however, that if necessary precautions are taken, masonry structure can also behave well during strong seismic events.

One of the ways of improving the seismic resistance of the masonry buildings is to construct confined masonry structures including properly detailed vertical and horizontal lintels. Confined masonry does not exist in the Turkish seismic codes as a building type, as of 2016, thus the design issues are not addressed. Nevertheless, there are several confined masonry structures built throughout the country and, as observed during the 2011 Van earthquakes, they did behave well in overall.

In this paper, two real structures taken from the city center of Van, eastern Turkey, have been examined. These structures were built by using the local techniques, i.e. constructing a stone foundation approximately one-meter-high, embedding vertical RC elements into that, and then building the rest of the structure as an amalgamation of reinforced concrete and masonry. The main difference of the construction from the widely seen RC buildings with masonry infills comes from the fact that in the confined masonry the walls are constructed before the RC frame, thus the RC members are fully attached to the masonry. This certainly alters the loading paths, and allows masonry walls participating in the vertical load bearing capacity, leading thus to higher shear load capacities of the walls as well as to increased contact between the masonry walls and the RC frame.

Nonlinear time history analyses have been conducted on the two case-study structures found on the site visit after the 2011 Tabanlı, Van Earthquake. Geometrical dimensions, reinforcement amounts as well as the damages have been recorded on site and the structures have been modelled by using the site data as well as assumed data regarding the masonry strength. Analyses have been conducted once on a bare frame where RC members have the same dimensions and reinforcement with that of the confined masonry structures. Another set of analyses has been conducted assuming that the very same masonry walls were constructed as infill walls, meaning that they are not fully attached to the structure and do not take any portion of the total vertical load. Finally, the structures have been modelled as they are by using the confined masonry properties. The same material properties have been used in infilled and confined masonry models so that the comparison is decoupled from the masonry material properties.

In the modelling, distributed plasticity force-based elements are used, while the masonry walls have been modelled by using the double-strut modelling approach implemented into the software used.

Unfortunately, there are no acceleration records available from the site, because of malfunction of the recorder in the Van city center. In order to simulate what might had happened in the center, the closest record of Muradiye Station has been processed and it was found that the median prediction of the Abrahamson and Silva (2008) model matches quite fairly with the fault-parallel and fault-normal components of the Muradiye station. Taking advantage of that, the Muradiye record has been scaled up to match this time the predicted spectrum in the Van city center. These new scaled records have been used in the analyses.

The results have been examined in terms of maximum base shear attained during the analyses, and the total area under the hysteresis loops. It was found that the confined masonry structures have 33% higher strength and 46% higher hysteretic energy consumption in average as compared to their infilled counterparts. Additionally, the confined masonry structures exhibited approximately 3 times higher base shear capacities than the bare structures. Finally, the damage state observed in the Case Study 2 was found in agreement with the site observations, meaning a reparable level of moderate damage.

Keywords: *Masonry structures, confined masonry, earthquake response*

mühendislikdergi

