DOI: 10.25092/baunfbed.348482 *J. BAUN Inst. Sci. Technol., 19(2), 296-315, (2017)*

2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar

Reşat Atalay OYGUÇ*

İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, Maslak, İstanbul.

Geliş Tarihi (Recived Date): 17.07.2017
Kabul Tarihi (Accepted Date): 01.11.2017

Özet

23 Ekim ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde, Van ilinde iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Etkilenen bölgede yapılan saha çalışmaları, özellikle yığma yapıların bu iki depremden ciddi hasarlar aldıklarını ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple, bu çalışmada 2011 Van depremlerine maruz kalmış yığma yapıların sismik davranışları incelenmek istenmiştir. Bu kapsamda, ilk önce yer hareketlerinin özellikleri tartışılmıştır. Takiben, depremden sonra yürütülen saha çalışmalarından elde edilen gözlemler paylaşılmış ve söz konusu yapıların hasar görme nedenleri incelenmiştir. Tespit edilen hasarlar, düzlem içi ve düzlem dışı davranışlar olmak üzere iki esas başlık altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yığma yapılar için bildirilen kuralların ne kadarının yerinde uygulandığı araştırılmıştır. Saha incelemelerinin neticesinde yapım kalitesinin ve denetim mekanizmasının yığma yapıların deprem performanslarını etkileyen en önemli etmenlerden oldukları sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Yığma yapı, düzlem dışı davranış, düzlem içi davranış, Van depremleri, saha çalışmaları.*

Observed damage on the masonry dwellings after 2011 Van earthquakes

Abstract

Two devastating earthquakes hit the province of Van on October 23 and November 9, 2011. The reconnaissance studies in the earthquake affected region revealed the fact that masonry structures were the ones that were subjected to heavy damage. For this reason, in this study it is aimed to consider the seismic behavior of masonry structures that were subjected to 2011 Van earthquakes. Within this concept, the properties of the

* Reşat Atalay OYGUÇ, oyguc@itu.edu.tr, http://orcid.org/0000-0002- 9874-3763

ground motions are discussed first. Following the preceding, observations of the reconnaissance studies are shared and the reasons of the structural damage are considered. Observed damages are categorized under two main titles; in-plane and out-of-plane. Furthermore, the applicability rate of the regulations of the 2007 Turkish earthquake code for masonry structures in the region are investigated. As a result of the reconnaissance studies, it is concluded that the construction quality and control issues are fundamental factors that affected the performance of masonry dwellings.

Keywords: *Masonry, out-of-plane, in-plane, Van earthquakes, reconnaissance study.*

1. Giriş

Yığma yapılar ve inşalarında kullanılan malzemeler, ülkemizde ve dünya genelinde eski tarihlere kadar uzanmaktadır. Genel itibari ile yığma yapı sistemleri yığma duvarları ile teşkil edilirler. Bu duvarlar, taşıyıcı olarak inşa edilebileceği gibi bölme amacı ile de yapılabilirler. Literatürde yapılmış olan birçok çalışma da göstermiştir ki, yığma yapıların deprem davranışları iyileştirilmediği takdirde, gelecekte kullanım alanları sınırlı olacaktır.

Türkiye'nin özellikle doğu bölgelerinde yığma yapılar donatısız yığma olarak inşa edilmiştir. Bu yapılarda en çok tuğla, kilden boşluklu bloklar, taş ve kerpiç kullanılmaktadır. Yapı, yatay ve düşey hatıllarla desteklendiğinde kuşatılmış yığma olarak adlandırılır. Yığma duvarların dayanım ve sünekliliklerini arttırmak için yatay ve düşey donatılar yerleştirildiğinde yapı donatılı yığma olarak adlandırılır. Yönetmeliklerde belirtilen kurallara göre imal edilmiş kuşatılmış ve donatılı yığma yapılar geçmiş depremlerde tatmin edici performans gösterseler de donatısız yığma yapılar aynı performansı gösterememiştir [1].

23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde, büyüklükleri sırası ile M_w = 7.2 ve M_w = 5.6 olan iki deprem Van ilini vurmuş ve bölgede hasara yol açmıştır. Söz konusu depremlerden sonra yapılarda oluşan hasarlar Oyguc [2], Akbaş ve Uçkan [3], Çelebi vd. [4], Oyguc ve Guley [5], Bayraktar vd. [6] ve Piroğlu ve Özakgül [7]'de detaylıca tartışılmıştır. Anılan makalelerde depremden sonra tahmin edilen hasar yaklaşık 1.25 milyar dolar olarak açıklanmıştır. Bu oran depremin etkilediği bölgenin yıllık gayri safi milli hasılasının %38'ine karşılık gelmektedir. Deprem sonrası yapılan saha çalışmalarında yapılardaki hasarın en büyük nedeni olarak kalitesiz işçilik, düşük dayanımlı malzeme kullanımı ve mevcut yönetmeliklere uygun olmayan inşaatlar gösterilmiştir.

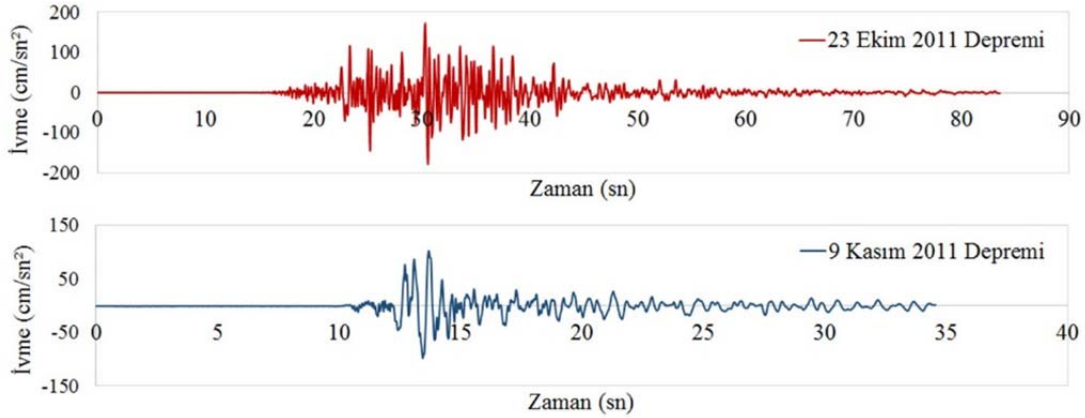
Söz konusu bölgede depremlerden sonra AFAD ekiplerince yapılan incelemeler neticesinde yapıların % 86.4'ünün yığma yapı olarak sınıflandırıldığı, bu oranın komşu şehirlerde %95.7'ye yükseldiği, geri kalan kısmının betonarme olduğu tespit edilmiştir. Köylerdeki yapıların büyük çoğunluğu kerpiç kullanılarak inşa edilmiş olup genellikle keresteden lento kirişlerle takviye edilmişlerdir. Şehrin merkezinde inşa edilen yapıların çatılarının büyük çoğunluğu genellikle çinko ile kaplanmış olup köylerdeki yapıların çatıları ağır toprak dam şeklinde yapılmıştır [2].

Deprem bölgelerinde yapılan saha çalışmalarının depreme karşı dayanıklı yapı tasarımına katkı sağladığı tecrübe ile sabittir. 2011 Van depremlerinin ardından

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) bölgede bir saha çalışması düzenlemiş ve yazar da bu çalışmada aktif rol almıştır. Bu çalışmada, depremden etkilenen bölgedeki hasar gördükleri tespit edilen yığma yapıların davranışları incelenmiştir. Yapı stokları bakımından karşılaştırma yapıldığında, çalışmanın özellikle Akdeniz bölgesindeki ülkelere katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, ikinci bölümde anılan depremlerin özellikleri hakkında kısa bilgi verilecek olup, üçüncü bölümde depremden sonra yürütülmüş olan saha çalışmalarının yığma yapılar açısından değerlendirmelerine ve hasar türlerine yer verilip, yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliği'nde [8] yığma yapılar için verilen kurallar incelenecektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde sunulacaktır. Bu çalışmanın, gelecekte olası bir depremde yığma yapıların davranışlarının iyileştirilmesi açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. 2011 Van depremlerinin özelliklerinin incelenmesi

Birinci deprem sırasında Van ilinde sismometrelerin çalışmamasından ötürü, en yakın deprem kaydı 40 km uzaklıktaki Muradiye istasyonundan alınabilmiştir. Bu kaydın en büyük yer ivmesi değerleri kuzey-güney (KG) doğrultusunda 178.5 cm/s^2 ve doğu-batı (DB) doğrultusunda 169.5 cm/s^2 olarak elde edilmiştir. İkinci deprem, merkez üssüne yaklaşık 4 km uzaklıkta Edremit istasyonundan alınmış olup, yer ivmesi değerleri KG ve DB doğrultularında sırası ile 65.70 cm/s^2 ve 102.6 cm/s^2 olarak ölçülmüştür [9]. Söz konusu istasyonlara ait ivme-zaman grafikleri Şekil-1'de verilmiştir.



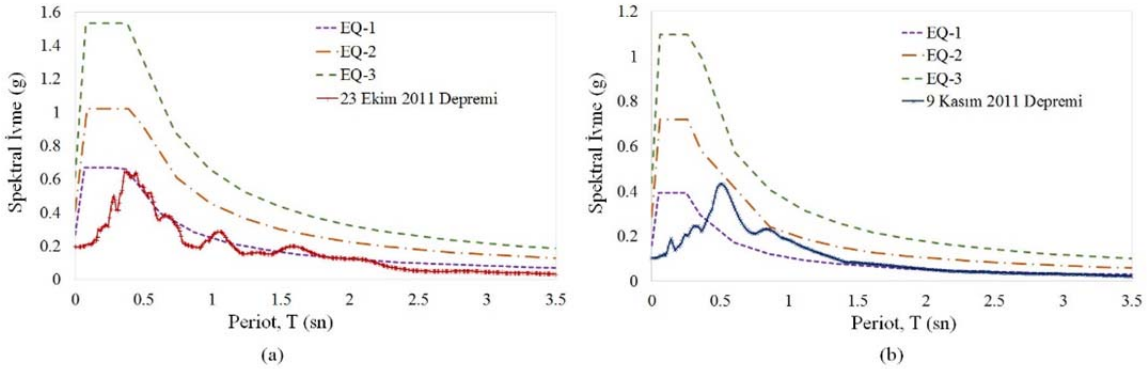
Şekil 1. 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 Van depremlerine ait ivme kayıtları.

23 Ekim ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinden etkilenen bölgenin sismik deprem riskini belirleyebilmek adına, yürürlükte olan Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava meydanları inşaatlarına ilişkin Türk Deprem Teknik Yönetmeliği'nde [10] ve taslak durumda bulunan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde [11] tanımlanan farklı deprem seviyeleri için hesaplanan deprem parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu değerler Tablo-1'de sunulmuştur. Burada, EQ-1, EQ-2 ve EQ-3 sırasıyla %50, %10 ve %2 olasılıklı depremlere karşı gelmektedir. S_s, kısa-periyot spektral ivme değerini, S_1, 1-sn'lik periyoda karşı gelen spektral ivmeyi, F_a, kısa periyotlar için risk katsayısını, F_v ise, 1-sn'lik periyot için risk katsayısını göstermektedir. PGA ise maksimum yer ivmesini ifade etmektedir.

Tablo 1. Depremden etkilenen bölgeler için sismik yer hareketi parametreleri.

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava meydanları inşaatlarına ilişkin Türk Deprem Teknik Yönetmeliği						
Tarih	23 Ekim 2011			9 Kasım 2011		
Deprem Seviyeleri	EQ-1	EQ-2	EQ-3	EQ-1	EQ-2	EQ-3
S_S (g)	0.57	1.02	1.53	0.49	0.9	1.37
S_1 (g)	0.15	0.3	0.5	0.13	0.26	0.44
F_a	1.17	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8
F_v	1.65	1.5	1.3	0.8	0.8	0.8
PGA (g)	0.27	0.41	0.61	0.16	0.29	0.44
2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Taslak)						
Tarih	23 Ekim 2011			9 Kasım 2011		
Deprem Seviyeleri	EQ-1	EQ-2	EQ-3	EQ-1	EQ-2	EQ-3
S_S (g)	0.57	1.02	1.53	0.49	0.9	1.37
S_1 (g)	0.15	0.3	0.5	0.13	0.26	0.44
F_a	1.27	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2
F_v	1.43	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4
PGA (g)	0.29	0.49	0.73	0.25	0.43	0.66

Bu deprem seviyeleri ile Muradiye ve Edremit istasyonlarından alınan kayıtlara ait spektral ivme-periyot değişim grafiği Şekil-2'de gösterilmiştir. Oluşturulan grafikten de görülebileceği üzere, 23 Ekim depremine ait tasarım spektrumu, EQ-1 deprem seviyesine erişmekte iken diğer deprem seviyelerinin altında kalmaktadır. Buna karşılık, 9 Kasım depremine ait tasarım spektrumu, EQ-1 deprem seviyesini aşmakta ve EQ-2 deprem seviyesine erişmektedir.

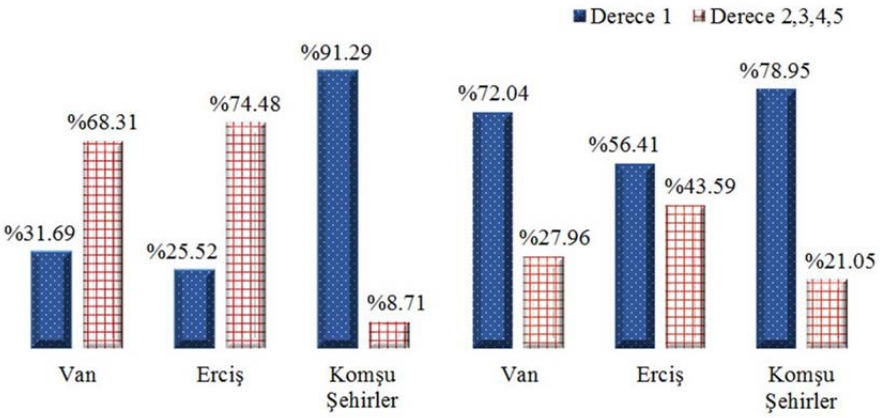


Şekil 2. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava meydanları inşaatlarına ilişkin Türk Deprem Teknik Yönetmeliği'nde belirtilen deprem seviyeleri için tasarım spektrumları: (a) 23 Ekim 2011 depremi ve (b) 9 Kasım 2011 depremi.

3. Depremlerden sonra yerinde yapılan inceleme sonuçları

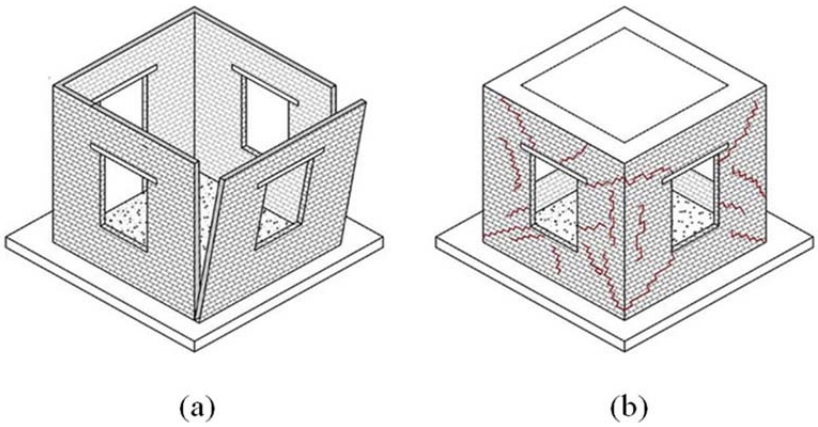
Söz konusu depremler en çok Van ilini ve Erciş ilçesini etkilemesine rağmen, Bitlis, Ağrı, Diyarbakır ve Hatay gibi komşu illerinde bulunan yapıların da hasar gördükleri rapor edilmiştir [12]. Depremlerden sonra bölgedeki yapılar AFAD ekipleri tarafından hızlı bir görsel incelemeye tabi tutulmuştur. Bu inceleme, uluslararası hızlı hasar belirleme yöntemi olan EMS-98 [13] yönteminden farklılıklar içermektedir. Bu hasar değerlendirilmeleri esasında tamamen incelemeyi yapan ekibin subjektif görüşlerine göre yürütülmüştür. Bilindiği üzere, EMS-98 [13] yöntemi hem yığma hem de betonarme yapılarla ilgili değerlendirme yapmak için kullanılabilmektedir. Bu yöntemde hasar 5 seviyede derecelendirilmekte olup, hasar seviyesinin belirlenmesinde yapısal ve yapısal olmayan hasarın niceliği dikkate alınmaktadır.

AFAD tarafından yürütülen hasar değerlendirmelerinin EMS-98 [13] hasar seviyelerine uyumlu hale getirilebilmesi amacı ile Erdik vd. [14] tarafından bir yaklaşım getirilmiştir. Buna göre, ihmal edilebilir hasar seviyesi ile az hasar seviyesi arası, EMS-98 [13] derecelendirmesine göre Derece 1'e, az yapısal hasar Derece 2'ye, orta hasar Derece 3'e ve tamir edilebilir hasarın ileri seviyesi Derece 4 ve 5'e karşılık gelmektedir. Yığma ve betonarme yapılarda gözlemlenen EMS-98 [13] ile uyumlu derecelendirmeler Şekil 3'de verilmiştir. Burada Derece 1 kullanılabilir yapıları gösterirken; 2, 3, 4 ve 5. Dereceler kullanılamaz durumdaki yapıları göstermektedir. Şunu da vurgulamak gerekir ki, Van ve Erciş bölgelerinde gözlemlenen kullanılamaz hasar oranı komşu bölgelere nazaran daha fazla bulunmuştur. Bunun esas sebebi olarak, söz konusu bölgelerde inşa edilen yapıların mühendislik kurallarına uygun olarak inşa edilmemiş olması gösterilebilir. Buna mukabil, komşu bölgelerde yaşanabilir yığma yapı oranı %91.29 olarak tespit edilmiştir. Bu bölümde, İTÜ araştırma ekibinin bir parçası olan yazarın depremlerden sonra sahadaki incelemelerine yer verilecektir.



Şekil 3. 2011 Van depremlerinden sonra bina türü yapılarda gözlemlenen hasar dağılımı: (a) Yığma; (b) Betonarme yapılar.

Bilindiği üzere, yığma yapılarda gözlemlenen deprem hasarlarının nedenlerini düzlem dışı davranış, düzlem içi davranış ve bu iki davranışın birlikte gözlendiği durumlar olarak üç ana grupta incelemek mümkündür. Düzlem dışı davranış yığma duvarlara dik etki eden sismik hareket sonucu oluşurken, düzlem içi davranış yığma duvar doğrultusunda etki eden düzlem kuvvetleri neticesinde gözlemlenir. Şekil 4'de düzlem dışı ve düzlem içi davranış temsili olarak gösterilmiştir [15].



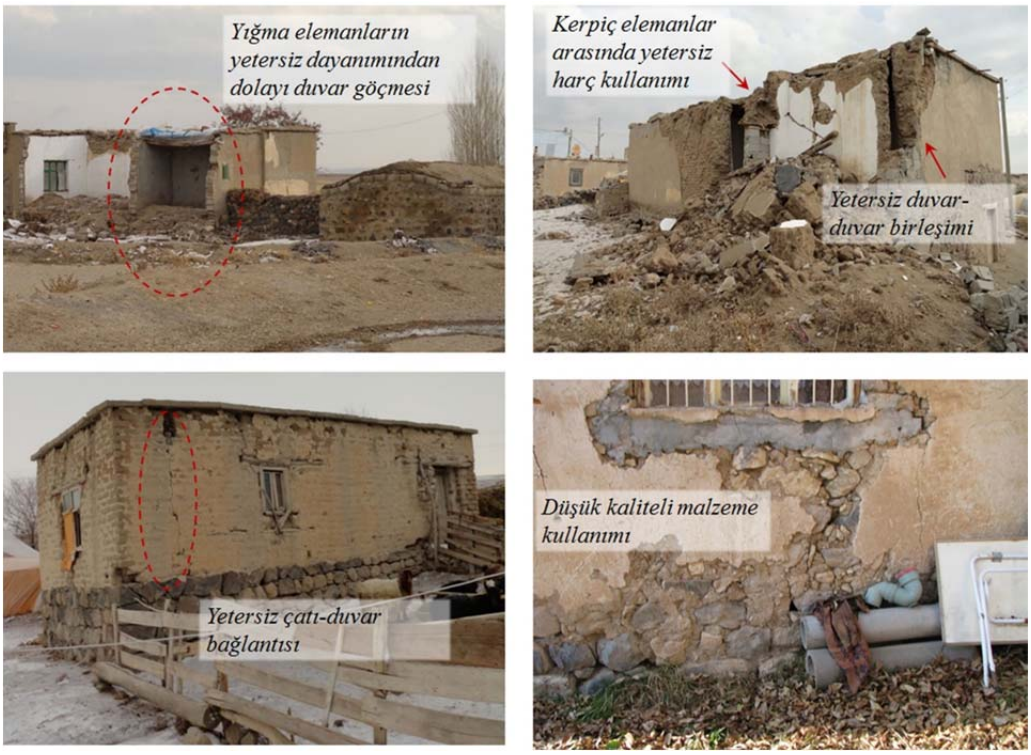
Şekil 4. (a) Düzlem dışı davranış: dik duvarların ayrılması ve (b) Düzlem içi davranış: X çatlakları.

3.1. Düzlem dışı davranıştan dolayı oluşan hasarlar

Deprem bölgesindeki yığma yapılarda en çok hasarın düzlem dışı, ya da bir başka deyişle birinci hasar modu sonucu oluştuğu tespit edilmiştir. Hasar gören yapıların büyük çoğunluğunda hatıl bağlantı elemanlarının eksik olduğu gözlemlenmiştir. Tomazevic [16], yığma duvarların düzlem dışı davranışları neticesinde gerilme yığılmalarının en yoğun olduğu bölgelerde çatlaklar ve netice olarak da sismik hareket yönüne dik doğrultuda göçmeler oluşabileceğine dikkat çekmiştir. Takiben, Ayala ve Speranza [17] duvarların düzlem dışı davranışlarının ve bu davranış sonucunda oluşan göçmelerin, birleşim ve duvar elemanlarının kalite ve dayanımları ile doğru orantılı olduğu sonucuna varmışlardır. Dolayısıyla, bu çalışmada gözlemlenen düzlem dışı davranış hasarları aşağıdaki alt başlıklar altında incelenecektir.

3.1.1. Düşük kaliteli kerpiç malzeme kullanımı

Farklı boyutlarda ve şekillerde malzeme kullanılarak inşa edilen yığma duvarlarda devrilme riski fazla olmaktadır. Saha çalışmalarımızda, bölgedeki yığma yapıların çoğunun düzensiz yerleştirilmiş kerpiç tuğla elemanlar kullanılarak inşa edildiği, çamur harcı, kireç ve çimento kullanılarak söz konusu duvarların sıvandığını gözlenmiştir. Ural vd. [18] kerpiç elemanlarının dayanımlarının az olduğunu ve yatay bir deprem etkisi altında artacak gerilme değerlerinin çatlaklara ve daha ileri hasara yol açabileceğini bildirmişlerdir. Geçmiş depremlerde gözlenen hasarlar bu gerçeği bir kez daha doğrulamış olup, yığma yapı elemanları içerisinde depreme karşı en dayanıksız malzemenin kerpiç elemanlar olduğu gözlenmiştir. İnceleme konusu bölgede yapılan çalışmalarda, kerpiç blokların Türk Deprem Yönetmeliği'nde [8] verilen 5 MPa sınır değerinden düşük basınç değerlerine sahip oldukları bulunmuştur. Deprem sırasında kötü performans göstermiş kerpiç yapılara örnek Şekil-5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Düşük kaliteli yığma malzeme kullanımından kaynaklanan düzlem dışı davranış.

3.1.2. Kötü işçilik ve gelişigüzel yerleştirilmiş taş kullanımı

Özellikle kırsal kesimlerde yapılan incelemelerde, yığma yapıların gelişigüzel yerleştirilmiş düzensiz şekillere sahip taşlar kullanılarak inşa edildikleri tespit edilmiştir. Taşlar arasında yeteri kadar bağlantı olmaması bu tarz yapıların deprem performanslarının kötü olarak sonuçlanmasına yol açmıştır. Her ne kadar TDY'de [8] taşların basınç dayanımları en az 10 MPa olarak bildirilmiş olsa da, bölgede yapılan çalışmalarda taş elemanların bu dayanımın çok altında basınç dayanıma sahip oldukları ve taş ile harç arasında yeterli aderansın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Tüm bunlara ilaveten kalitesiz işçilik yığma yapılarda gözlemlenen hasarı arttırmıştır. Özellikle, duvarların düşey birleşimlerinde gözlemlenen yetersiz harç kullanımı neticesinde oluşan boşluklar, duvarların düzlem dışı eğilme rijitliklerini azaltarak hasarın artmasına yol açmıştır. Şekil-6'da söz konusu hasar örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 6. Taş yağma yapılarda düzlem dışı davranış.

3.1.3. Delikli kil tuğla kullanımı

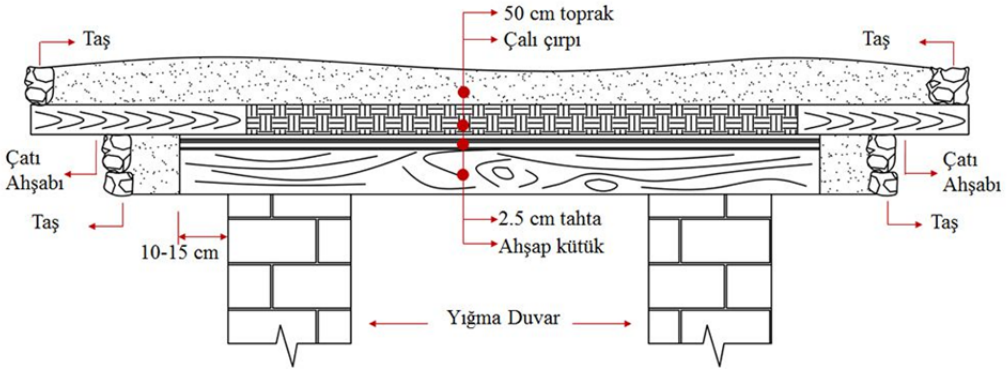
Bölgede yürütülen saha çalışmaları neticesinde yığma yapıların birçoğunun doğal taş ve delikli kil tuğla karışımı kullanılarak inşa edildiklerini gözlemlenmiştir. Delikli kil tuğla malzemenin zayıflığından ve kırılgan olmasından dolayı, bu tarz malzeme kullanılarak inşa edilen yığma yapıların deprem davranışlarının zayıf olduğu sonucuna varılmıştır. Birçok durumda, deprem etkisi altında kil elemanların harçtan evvel dayanımlarını yitirdikleri tespit edilmiştir. Genellikle, yığma duvarlar kesmeden ötürü dayanımlarını yitirmeye başladıkları anda kil tuğlaların ezildikleri saptanmıştır. Yığma malzemeler arasındaki birleşimdeki bu kayıp, çatlakların başlamasını takiben göçmeye yol açabilmektedir [19]. Şekil-7'de delikli kil tuğla elemanlar kullanılmış ve eksik harç ile imal edilmiş duvarlarda oluşan deprem hasarları gösterilmiştir.



Şekil 7. Delikli kil tuğla kullanımından kaynaklı hasarlar.

3.1.4. Ağır toprak çatı kullanımı

Yapılan saha çalışmaları sırasında, hasar gören yığma binaların birçoğunun çatısının genellikle ahşap kütüklerin üzerine yerleştirilmiş kalın tabaka halinde kurumuş çamurdan imal edildiği gözlenmiştir. Kırsal yöreye uygun olarak yapılan bu uygulamada, ahşap kütükler ilk önce kavak ağaçlarından elde edilen tahtalar ile kaplanır. Takiben, tahtaların üzerine çalı çırpı serilerek ikinci katman oluşturulur. Üçüncü ve son katman ise yalıtım sağlamak amacıyla kullanılan en az 50 cm kalınlığında toprak tabaka ile elde edilir. Bu şekilde yapılan bir çatının toplam ağırlığı kimi zamanlar 0.01 MPa'a kadar ulaşabilmektedir. Mukayese etmek gerekirse, söz konusu ağırlık 12 cm kalınlığındaki betonarme bir döşemeden yaklaşık üç kat daha fazladır [20]. Şekil-8'de ağır toprak kullanılarak oluşturulan çatının katmanları gösterilmiştir.



Şekil 8. Ağır toprak çatının şematik gösterimi.

Her ne kadar bu toprak çatılar yalıtım amacı ile kullanılmak için yapılsalar da, bölgedeki sert hava koşulları neticesinde etkinliklerini kaybederler. Ahşap kütükler deforme olduktan sonra bel verirler. Bunu takiben kütüklerin bel verdikleri bölgelerde su toplanmaya başlar. Yerel halk genellikle tamir amacı ile mevcut çatının üzerine tekrardan toprak katmanı oluşturarak çatının ağırlığını daha da arttırmaktadır. TDY' de [8] birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yapılacak kerpiç yapılarda toprak çatı kullanımına izin verilmemektedir. Lakin saha çalışmalarımızda bölgede birçok yapıda ağır toprak çatı kullanıldığı gözlemlenmiştir. Şekil-9'da bu olgudan ötürü görülen deprem hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 9: Ağır toprak çatı kullanımından kaynaklı hasarlar.

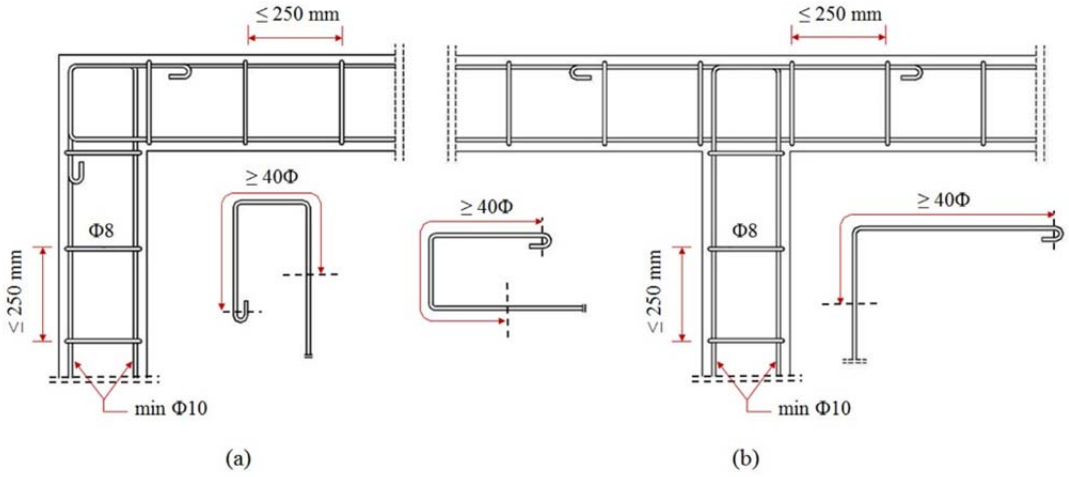
3.1.5. Hatıl kullanılmamasından kaynaklı hasarlar

TDY' de [8] yığma yapıların depreme karşı yanal dayanımlarını arttırabilmek adına, hem yatay ve hem de düşey hatıl olarak adlandırılan donatılı kiriş sistemlerinin kullanılması zorunlu tutulmuştur. Kerpiç yığma duvarların kullanılması durumunda kat döşemeleri ile birlikte dökülen kereste bağlantı kirişleri kullanılmasını zorunlu tutulur. Söz konusu yönetmelikte, hatıl elemanların silindirik basınç mukavemetleri en az 16 MPa olarak ve kalınlıklarının yığma duvar kalınlığına eşit olacak şekilde imal edilmeleri gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, bu elemanların yükseklikleri 20 cm'den az olmamalıdır. TDY' de [8] hatıl ile ilgili olarak verilen detaylar Şekil-10'da gösterilmiştir.

Homan ve Eastwood [21] hatılı, yığma duvarların aralarına fasılalı olarak yerleştirilmiş halka kirişler olarak tanımlamışlardır. Esasında hatıl, yığma yapılarda deprem etkilerini azaltmak amacı ile kullanılan geleneksel bir inşaat tekniğidir. Aynı referansta, hatıl sistemlerin potansiyel fonksiyonları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

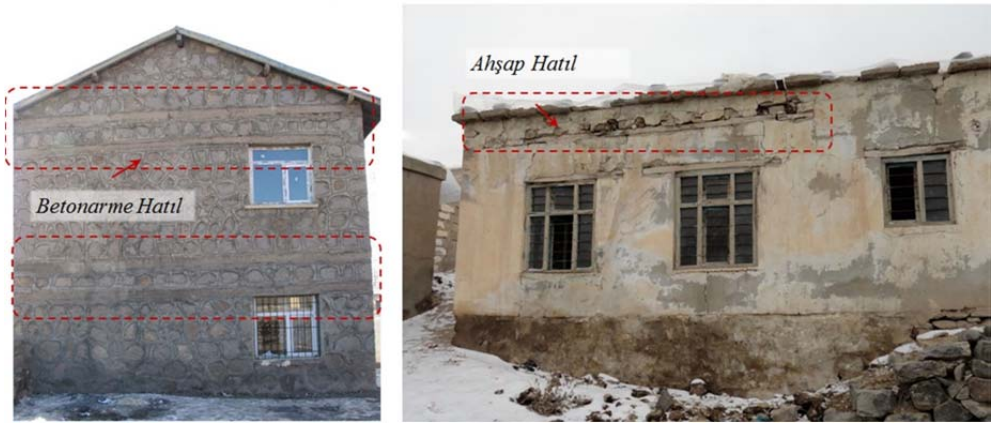
a) Hatıl sisteminin keresteden yapıldığı durumda, hatıl, etrafındaki yığma duvarlardan daha elastik ve sıkışabilir olduğu için hem yatay ve hem de düşey şok sönümleyiciler gibi çalışır.
b) Duvarlarda yanal hareketten ötürü oluşan çekme ve basınç kuvvetlerini en aza indirecek kayma düzlemi gibi çalışırlar.

c) Tüm yapı boyunca çekme kuvvetine karşı koyan, yatay bağlantı elemanı olarak görev yaparlar.
d) Yapının duvarlarında oluşabilecek en küçük derecedeki ötelenmeyi dahi engellemeye çalışan yatay kiriş elemanları gibi çalışırlar.



Şekil 10. Yatay ve düşey hatıllar: (a) Köşelerde ve (b) Duvarların birleşim bölgelerinde.

Şekil-11'de betonarme ve ahşap hatıl sistemlere birer örnek verilmiştir. İnceleme konusu bölgede, birçok yığma yapının hatıl kullanılmadan inşa edildiği tespit edilmiştir. Hatıl kullanılmamasından ötürü oluşan deprem hasarları Şekil-12'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Hatıl sistemler.



Şekil 12. Hatıl kullanılmamasından kaynaklı hasarlar.

3.1.6. Çatı ve duvarlar arasında yetersiz bağlantı

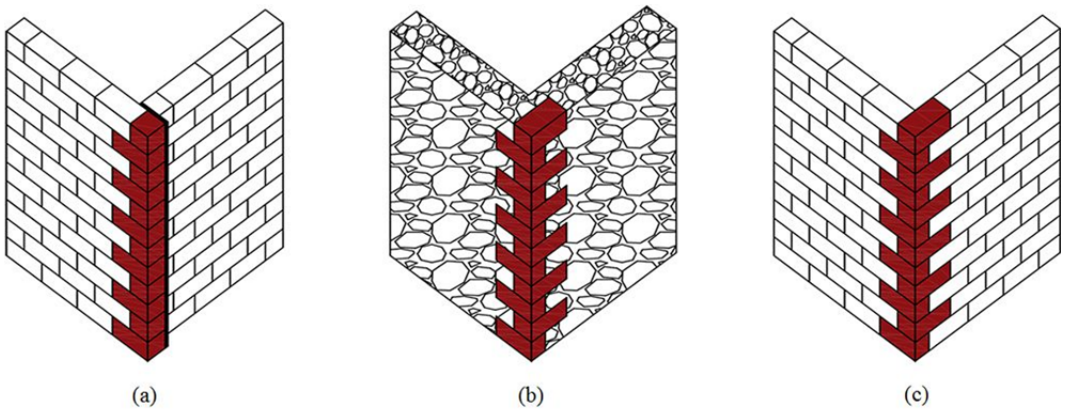
İnceleme konusu bölgede çatı ve duvarlar arasındaki bağlantı eksikliğinin deprem hasarını arttırdığı gözlenmiştir. Bölgedeki yapıların büyük çoğunluğunda, çatılar ahşap kirişlerden imal edilmiş olup direkt olarak yük taşıyıcı duvarların üzerine mesnetlenmişlerdir. Çatı seviyesinde hatıl sistemlerinin yapılmaması, yığma yapının kutu davranışını bozarak yığma duvarların düzlem dışı doğrultularında göçmelerine yol açmaktadır. Şekil-13'de çatı sisteminin duvarlara doğru mesnetlenmemesi sonucu gözlemlenen deprem hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 13. Çatının doğrudan taşıyıcı duvara oturması.

3.1.7. Köşe birleşimlerindeki hasarlar

Deprem bölgesinde yürütülen çalışmalarda köşe birleşimi hasarlarına sıklıkla rastlanmıştır. Literatürde, çatıdan kaynaklı yanal zorlamaların hasarı arttırdığı gösterilmiştir. Duvar-duvar ve duvar-döşeme bağlantılarının usulüne uygun olarak yapılmaması köşelerin deprem etkisi altında dayanımlarını azaltmaktadır. Özellikle, köşe birleşimlerinin doğru mesnetlenmemeleri stabil olmamalarına yol açmaktadır. Çatı hasarı durumunda, genellikle deforme olmamış duvarlar devrilerek büyük hasarlara yol açmaktadırlar. Geleneksel yığma yapılarda köşeler, Şekil-14'de gösterildiği gibi kilit taşları kullanılarak oluştururlar. Duvarın kalitesi kullanılan kilit taşlarının etkinliğine göre belirlenir. Şekil-15'de bölgede gözlemlenen köşe birleşim hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 14. Köşe detayları: (a) Kilit taşı eksikliği, (b) Yetersiz mesnetlendirme, (c) Yeterli bir birleşim [17].



Şekil 15. Köşe birleşimindeki hasarlar.

3.1.8. Birbirine dik duvarlarda görülen hasarlar

Bir diğer düzlem dışı davranış türü olarak birbirine dik duvarların ayrışmaları gösterilebilir. Birbirine dik duvarların ayrışmaları göçme ile neticelenmektedir. Bu tarz hasarın esas nedeni genel olarak, duvarların çekme dayanımı aşıldığı durumlarda oluşan kesme gerilmesinden kaynaklıdır. İlaveten birleşimlerin düzgün yapılmaması dik duvarların farklı davranmalarına yol açmaktadır. Şekil-16'da bu tarz hasara yer verilmiştir. Bölgede, duvarlar arasında 1-5 cm büyüklüğünde boşluklar gözlemlenmiştir.



Şekil 16. Duvarların ayrılmasından kaynaklanan hasarlar.

3.1.9. Dış sıvanın düşmesi

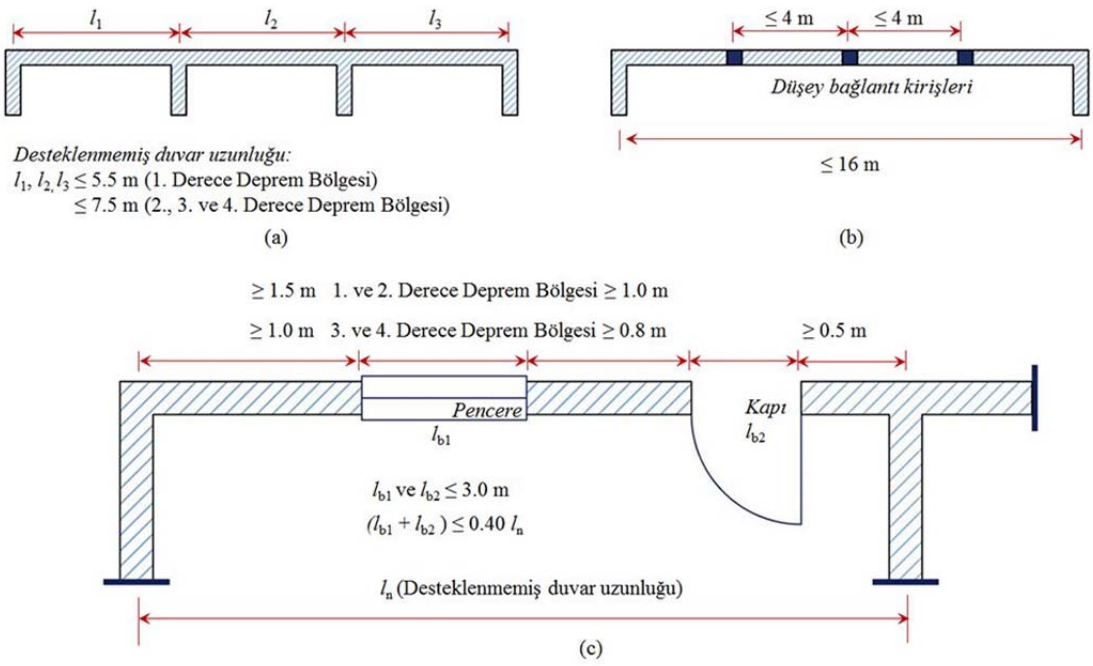
Yukarıda açıklanan hasar nedenlerine ilaveten, bölgedeki taş yığma yapıların dış kaplamalarının düşmesi sıklıkla gözlemlenmiştir. Zayıf harç kullanılması bu tarz davranışı tetiklemektedir. Zayıf harç kullanılarak yapılan dış kaplamaların genellikle düzlem dışı davranışa maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Bu tarz hasar genellikle kaplama yapılmamış taş duvarlarda yığma elemanların yeteri kadar bağlanmadıkları durumlarda görülür. Geçmiş depremlerde dış kaplaması yapılmış yığma yapıların yapılmayanlara göre daha iyi performans sergiledikleri anlaşılmıştır. Şekil-17'de gözlemlenen bu tarz hasarlar gösterilmiştir.



Şekil 17. Dış sıvası düşmüş yığma yapılar.

3.1.10. Boşluklar ve taşıyıcı duvarların desteklenmeyen uzunluklarına bağlı hasarlar

Sherafati ve Sohrabi [23] tarafından yapılan çalışmada, yığma yapılarda, pencere ve kapı boşluklarının taşıyıcı duvarların kesme ve eğilme gerilmelerini düzgün olarak aktarmasına engel oldukları gösterilmiştir. TDY' de [8] birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde plan uzunlukları 1.0 m'den az olan pencere ve kapı boşlukları arasına duvar segmentleri inşa edilmesi yasaklanmıştır. Ayrıca, taşıyıcı duvarların desteklenmeyen uzunlukları birinci derece deprem bölgelerinde 5.5 m ile ikinci derece deprem bölgelerinde ise 7.5 m ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamalara uyulmadığı durumlarda düşey bağlantı kirişleri yapılması zorunludur. Buna rağmen deprem bölgesinde yapılan çalışmalarda bu maddenin uygulanmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil-18'de TDY' de [8] bahsedilen özellik gösterilirken, Şekil-19'da bu maddeyle ilgili olan deprem hasarları gösterilmiştir.



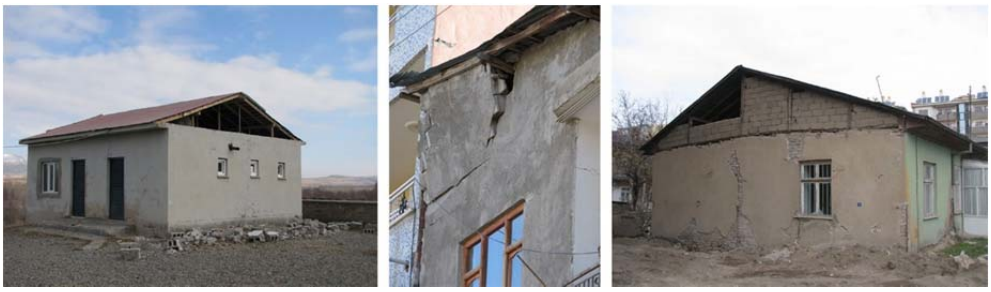
Şekil 18. Taşıyıcı duvarların desteklenmemiş uzunlukları ve duvarlardaki boşluklarla ilgili TDY koşulları: (a) Desteklenmemiş duvar uzunluğu, (b) Düşey bağlantı kirişleri arasındaki mesafe ve (c) Kapı ve pencere boşlukları [8].



Şekil 19. Boşluklar ve taşıyıcı duvarların desteklenmeyen uzunluklarına bağlı hasarlar.

3.1.11. Kalkan duvar hasarı

Yığma yapılarda gözlenen parapet hasarları da düzlem dışı davranış sonucunda oluşan hasarlar grubuna girmektedir. Parapetler en fazla zemin büyütme etkisine maruz kalan yapısal olmayan elemanlar olup eğilme hasarlarına yatkındırlar. İlaveten, yapıların kalkan duvarları da tıpkı parapetler gibi davranırlar [1]. İncelenen bölgede, birçok yığma yapıda kalkan duvar hasarları tespit edilmiştir. Kalkan duvar hasarları bir nevi çatı ve taşıyıcı duvarlar arasında yeterli bağlantının olmadığı durumlardaki hasarlara benzemektedir. Şekil-20'de kalkan duvar hasarı gözlenmiş yığma yapılar gösterilmiştir.



Şekil 20. Kalkan duvar hasarı.

3.1.12. Birden çok malzeme kullanılarak yapılan yapılar

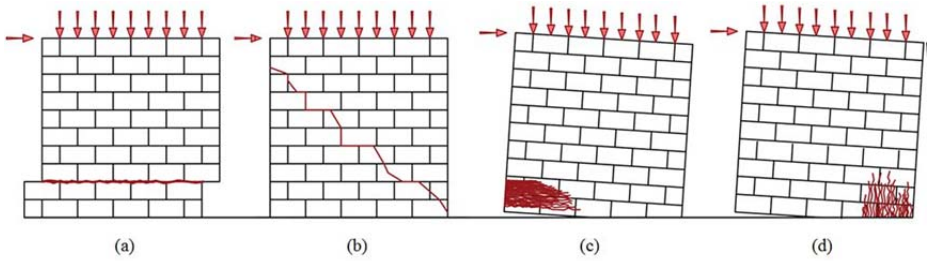
Deprem bölgesinde yürütülen deprem sonrası hasar belirleme çalışmalarında, bazı yığma yapıların taşıyıcı duvarlarının taş, tuğla ve boşluklu kil tuğla gibi üç farklı malzeme kullanılarak inşa edildikleri belirlenmiştir. Esasında TDY' de [8] farklı malzeme kullanılarak taşıyıcı duvarların imal edilemeyeceğine dair bir madde bulunmamaktadır. Ancak, özellikle yanal deprem etkileri altında, bu tarz binaların istenmeyen davranış gösterdikleri bilinmektedir. Öyle ki, bu tarz binalar yukarıda açıklanan düzlem dışı davranışlardan birkaçına birden maruz kalabilmektedirler. Şekil-21'de farklı malzeme kullanımı sonucu gözlenen deprem hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 21. Birden çok malzeme kullanılmasından kaynaklı hasarlar.

3.2. Düzlem İçi Davranışlar

Şekil-7'de gösterildiği gibi, yığma yapılarda gözlenen ikinci tarz deprem hasarı düzlem içi davranış sonucu oluşmaktadır. Aşırı eğilme ya da kesme kuvveti söz konusu hasara yol açmaktadır. Düzlem içi davranışa etki eden yük kombinasyonu, duvar geometrisine, malzeme bileşenine ve yüklemenin doğasına (monotonik veya çevrimsel) bağlıdır [24]. Tomazevic [16] düzlem içi davranışı üç ana gruba ayırmıştır: kayma kesmesi, diyagonal kesme ve eğilme hasarları. Eğilme hasarları ise mafsallaşma ve duvar tabanının ezilmesi olarak iki alt gruba ayrılırlar. Bunlara ilaveten, söz konusu mekanizmalar yükseklik/genişlik oranına ve yığma yapı malzemesinin kalitesine bağlıdır. Şekil-22'de düzlem içi sismik yüklemeler altında yığma yapılarda gözlemlenebilecek tipik hasarlar gösterilmiştir.



Şekil 22. Düzlem içi sismik yüke maruz kalan bir yığma duvardaki tipik göçme modları: (a) Kayma kesme hasarı, (b) Diyagonal çekme hasarı, (c) Devrilme ve (d) Tabanda ezilme.

Düşük dayanımlı harç kullanılmış taşıyıcı yığma duvarlar yüksek sismik ivmelenmeye ve düşük düşey yüklemeye maruz kaldıklarında, sismik yükler genellikle kesme kuvvetleri oluşmasına yol açarlar. Bu kesme kuvvetleri duvarı iki ayrı parçaya böler ve yukarıdaki parçanın yatayda derz boşlukları doğrultusunda hareketine yol açar. Bu mekanizma kayma kesme hasarı olarak isimlendirilir ve Şekil-22 (a)'da gösterildiği gibi genellikle yapıların üst katlarında gözlemlenir. Düşey yükleme ve eksenel basınç gerilmelerinin normal limitlerde olduğu durumlarda, bir duvar ya kesmeden ya da eğilmeden ötürü göçer. Kesme göçmesi, duvarın asal çekme gerilme değeri çekme dayanım değerini aştığı durumlarda, düşey ve yatay yüklerin kombinasyonları neticesinde ortaya çıkar. Yanal dayanım azalmasından önce, duvarda karakteristik diyagonal çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar diyagonal çekme hasarı olarak da adlandırılırlar ve Şekil-22 (b)'de gösterildiği gibidir. Bu diyagonal çatlaklar derzler boyunca devam edebileceği gibi direkt olarak yığma birimlerine etki edebilir, ya da her ikisini takip edebilir. Yanal kuvvet yada deplasman talebi arttıkça, yığma panel alt bölgelerinde çekme çatlaklarına maruz kalır (Şekil-22 (c)) ve tabandaki basınç bölgesinde ezilme oluşana kadar mafsallaşmadan ötürü devrilme tespit edilir (Şekil-22 (d)) [25]. Donatısız yığma duvarlarda, kesme-düzlem içi hasarı daha yaygın olup, bu hasar tipi (X) şeklinde çift diyagonal kesme çatlağı olarak ifade edilebilir. Şekil-23'de 2011 Van depremlerinden sonra gözlemlenen diyagonal kesme hasarı gören yığma duvarlara örnekler verilmiştir.



Şekil 23. Düzlem içi davranış hasarları.

3.3. Düzlem Dışı ve Düzlem İçi Davranışın Birlikte Gözlendiği Durumlar

Bazı donatısız yığma binalarda, duvarlardaki boşluklardan dolayı hem düzlem dışı ve hem de düzlem içi davranışları birlikte tespit edilmiştir. İlk önce, düzlem içi kesme çatlakları duvarların düzlem dışı doğrultudaki dayanımlarını azaltırlar. Bunu duvarların düzlem dışı kayma hasarları takip ettiği durumlarda gözlemlenen hasarlar ölümcül olabilirler. Bir başka deyişle, yığma panel düzlem içi titreşimden hasar görüp düzlem dışı bileşenler tarafından tahrip edilir. Bu tarz göçmeler genellikle artçı depremler ile artış gösterirler. Şekil-24'de bu tarz hasarlara ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 24. Düzlem dışı ve düzlem içi davranışın birlikte gözlenmesi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmanın esas hedefi 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinden sonra bölgedeki yığma yapıların sismik performanslarının incelenmesidir. Bu kapsamda öncelikle, 2011 Van depremlerinin özellikleri tartışılmış olup daha sonra, deprem sonrası yazarın da yer aldığı saha çalışmalarının sonuçları paylaşılmıştır. Sonrasında, depremden sonra tespit edilen hasarların nedenleri ve bölgedeki mevcut yığma yapıların TDY [8]'de belirtilen şartlara ne oranda haiz oldukları tartışılmıştır.

Yerinde yapılan saha gözlemlerinden, yatay ve düşey yük kombinasyonlarına maruz kalan donatısız yığma yapıların sismik davranışlarının birçok parametreye bağlı oldukları sonucuna varılmıştır. Kötü işçilik ve düşük dayanımlı malzeme kullanımı gözlemlenen hasarların öncelikli nedenlerindendir. Ayrıca, yapısal geometri, mekanik özellikler, yükleme şartları, düğüm noktalarının teşkil ediliş şekilleri, yapım teknolojisi ve saha koşullarının yapının sismik performansına doğrudan etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Her ne kadar, yığma yapılarda taşıyıcı duvarların hem düzlem dışı hem de düzlem içi davranışlarına göre tasarlanmaları gerekmekte ise de, bölgede yapılan saha çalışmalarında hasar gören yığma yapıların bu kurala uygun tasarlanmadıkları tespit edilmiştir. Günümüzde birçok deprem yönetmeliği, yeni yığma yapıların deprem anında düzlem dışı davranışlarını bertaraf edebilmek için taşıyıcı duvar boyutları ile ilgili yaptırımlar getirmişlerdir. Geçmişte olan depremlerde özellikle de ilgili

yönetmeliklere uygun imal edilmeyen donatısız yığma yapıların en çok taşıyıcı duvarların düzlem dışı davranışları neticesinde hasar gördükleri belirtilmiştir. Özellikle de yetersiz yapısal detaylandırmanın, taşıyıcı duvarların hatıllar kullanılmadan inşa edilmesinin ve çatıların direkt olarak duvarlara oturtulmasının bölgedeki yapıları düzlem dışı davranışa meyilli hale getirdiği gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere, düzlem dışı göçmeler genellikle, düzlem içi göçmelere nazaran daha düşük şiddetlerde meydana gelebilmektedir. Bu yüzden tasarıma son şekli verilmeden evvel yapının tüm yönlerdeki yüklemeleri taşıyabilecek şekilde detaylandırılması gerekmektedir. Ayrıca, bölgeye özgü olan ağır toprak çatı kullanımından kaynaklanan büyük oranda düzlem dışı hasarlar tespit edilmiştir.

2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılar üzerinde yapılan bu incelemelerin gelecekteki depremlerde söz konusu yapıların davranışlarının iyileştirilmesine yol açacağı aşikârdır. Her ne kadar, mevcut yönetmeliklerin güncellenmesi tasarım ve yapım aşamasında mühendislik camiasına yenilikler getirse de, esas olarak yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi için bu yönetmeliklerin yapım aşamasında tam olarak uygulanmasının sağlanması gerekmektedir. Bölgede yapı denetim kanunun 2011 yılında uygulanmaya başlandığı ve mevcut yapıların birçoğunun mevcut yönetmeliklere uymadıkları düşünülürse, denetimden yoksun olarak yapılmış bu uygunsuz yapıların sismik davranışlarının yetersizliği ve oluşan hasarın neticesini anlamak daha kolay olacaktır. Şunu da belirtmek gerekir ki, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki yapı stoğunun deprem sonrasında hızlıca incelenerek gerekli ve uygun iyileştirme tekniklerinin uygulanması da önemli bir noktadır.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmada desteklerinden dolayı İTÜ Rektörlüğü'ne ve saha çalışmalarına katılan bütün akademisyenlere teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

[1] Bruneau, M., Seismic evaluation of unreinforced masonry buildings-a state of the art report, **Canadian Journal of Civil Engineering**, 21, 512–539, (1994).

[2] Oyguc, R., Seismic performance of RC school buildings after 2011 Van earthquakes, **Bulletin of Earthquake Engineering**, 14, 3, 821–847, (2016).

[3] Akbaş, B. ve Uckan, E., Seismic and structural observations from Van earthquakes of October 23 and November 9, 2011, Gebze Teknoloji Enstitüsü, Yapı ve Deprem Mühendisliği Bölümü, Rapor No. 2012/01-1, (2012).

[4] Çelebi, E., Aktas, M., Çağlar, N., Özocak, A., Kutanis, M., Mert, N. ve Özcan, Z., October 23, 2011 Turkey/Van–Ercis earthquake: structural damages in the residential buildings, **Natural Hazards**, 65, 2287-2310, (2013).

[5] Oyguc, R. ve Guley, E., Performance assessment of aseismically designed RC school buildings after October 23, 2011 Van earthquake, **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000938, (2016).

[6] Bayraktar, A., Altunisik, A.C. ve Pehlivan M., Performance and damages of reinforced concretebuildings during the October 23 and November 9, 2011 Van,

Turkey, Earthquakes, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 53,1, 49−72, (2013).

[7] Piroglu, F. ve Ozakgul, K., Site Investigation of Masonry Buildings Damaged during the 23 October and 9 November 2011 Van Earthquakes in Turkey, **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 13, 3, 689-708, (2013).

[8] TDY, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, (2007).

[9] AFAD, Müdahale, iyileştirme ve sosyoekonomik açıdan 2011 Van depremi, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başbakanlığı, Ankara, Türkiye, (2011).

[10] Kıyı ve Liman yapıları, demiryolları, hava meydanları inşaatlarına ilişkin deprem teknik yönetmeliği, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Ankara, Türkiye, (2007).

[11] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Taslak), T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, (2016).

[12] Erkan, B.B., Karanci, N., Kalaycıoğlu, S., Özden, A.T., Çalışkan, I. ve Özakşehir G., From emergency response to recovery: multiple impacts and lessons learned from the 2011 Van earthquakes, **Earthquake Spectra**, 31, 1, 527-540, (2015).

[13] EMS (European Macroseismic Scale), EMS-98. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Lüksemburg, (1998).

[14] Erdik, M., Kamer, Y., Demircioglu, M. ve Sesetyan K., 23 October 2011 Van (Turkey) earthquake, **Natural Hazards**, 10.1007/s11069-012-0263-9, (2012).

[15] Oyguc, R. ve Oyguc E., 2011 Van earthquakes: Lessons from damaged masonry structures, **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001057, (2017).

[16] Tomazevic, M., Shaking table tests of small-scale models of masonry buildings: advantages and disadvantages, Massivbau 2000: Forschung, Entwicklungen, Anwendungen, (2000).

[17] Ayala, D.D. ve Speranza E., Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings, **Earthquake Spectra**, 19, 3, 479-509, (2003).

[18] Ural, A., Doğangün, A., Sezen, H. ve Angın, Z., Seismic performance of masonry buildings during the 2007 Bala, Turkey earthquakes, **Natural Hazards**, 60, 1013-1026, (2012).

[19] Decanini, L., Sortis, A.D., Goretti, A., Langenbach, R., Mollaioli, F. ve Rasulo, A., Performance of masonry buildings during the 2002 Molise, Italy, earthquake, **Earthquake Spectra**, 20, S1, 191-220, (2004).

[20] Bayülke, N., Depremde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisliği Odası, İzmir Şubesi, (1995).

[21] Homan, J. ve Eastwood, J.W., The 17 August 1999 Kocaeli (Izmit) earthquakes: historical records and seismic culture, **Earthquake Spectra**, 17, 4, 617-634, (2001).

[22] Ferrini, M., Melozzi, A., Pagliazzi, A. ve Scarparo, S., Rilevamento della vulnerabilità sismicadegli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello, Regione Toscana, İtalya, (2003).

[23] Sherafati, M.A. ve Sohrabi, M.R., Performance of masonry walls during Kaki, Iran, earthquake of April 9, 2013, **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000788, (2016).

[24] Zhuge, Y., Thambiratnam, D. ve Corderoy, J., Nonlinear dynamic analysis of unreinforced masonry, **Journal of Structural Engineering**, 124, 3, 270-277, (1998).

[25] Parisi, F. ve Augent, N., Earthquake damages to cultural heritage construction and simplified assessment of artworks, **Engineering Failure Analysis**, 34, 735-760, (2013).