



2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası Malatya ilinde yer alan yığma binaların hasar mekanizmasının incelenmesi

Investigation of damage mechanism of masonry buildings in Malatya province after 2023 Kahramanmaraş earthquakes

Alper Özmen^{1*}, Ömer Faruk Taş², Ozan İnce³, Muhammed Atar⁴, Erkut Sayın⁵

¹Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 44000, Malatya, Türkiye
^{2,3,4,5}Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 23000, Elazığ, Türkiye

Öz

6 Şubat 2023 tarihinde, yerel saatle 04:17 ve 13:24'te, sırasıyla Pazarcık ve Elbistan'da (Kahramanmaraş, Türkiye) iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. İlk deprem 8,6 kilometre derinlikte (Mw=7.7), ikinci deprem ise 7 kilometre derinlikte (Mw=7.7) meydana gelmiştir. Depremler, toplam nüfusu yaklaşık 15 milyon olan Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elâzığ'da hissedilmiştir. Ayrıca, 214577 bina yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür. Bu çalışmada, Malatya ilinde mevcut yığma binaların hasar mekanizmaları değerlendirilmiştir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de verilen depreme dayanıklı yığma yapı tasarım kuralları üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: 2023 Kahramanmaraş depremleri, Yığma yapılar, Deprem hasarları, Sismik performans

1 Giriş

Türkiye'nin tektonik konumundan dolayı ülkede en çok can ve mal kaybına neden olan doğal afet türü depremlerdir. İstatistiksel olarak her yıl ortalama olarak, 4.0 Mw ile 5.0 Mw arasında 200 deprem, 5.0 Mw ile 6.0 Mw arasında 25 deprem ve 6.0 Mw'nin üzerinde ise bir deprem meydana gelmektedir. [1].

Türkiye ve Suriye'de 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen iki büyük deprem, bölgede büyük yıkıma ve can kaybına neden olmuştur. Pazarcık ve Elbistan merkezli depremler, sırasıyla 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremler, Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elâzığ illerini etkilemiştir. Depremlerin ardından 20 Şubat 2023 tarihinde Hatay'da 6.4 büyüklüğünde bir artçı deprem yaşanmıştır. Türkiye'de depremlerden en çok etkilenen il Kahramanmaraş olmuş ve depremden etkilenen illerde 50783 kişi hayatını kaybetmiştir. Suriye'de ise en az 8476 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremler sonucunda toplam 122 binin üzerinde kişi yaralanmış ve 5 milyondan fazla kişi başka yerlere göç etmiştir. Tablo 1'de bölgede yaşanan 7.7 Mw, 7.6 Mw ve 6.4 Mw büyüklüklerindeki depremlerin merkez üslerine en yakın yerleşim yerlerini ve bu yerlere olan

Abstract

On February 6, 2023, at 04:17 and 13:24 local time, two devastating earthquakes occurred in Pazarcık and Elbistan (Kahramanmaraş, Turkey), respectively. The first earthquake was (Mw=7.7) at a depth of 8.6 kilometers, and the second earthquake was (Mw=7.6) at a depth of 7 kilometers. The earthquakes were felt in Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, and Elâzığ, with a total population of approximately 15 million. Also, 214577 buildings were destroyed or severely damaged. This study evaluates the damage mechanisms of existing masonry buildings in the province of Malatya. It also focuses on the earthquake-resistant masonry building design rules given in the Turkish Building Earthquake Code 2018.

Keywords: 2023 Kahramanmaraş earthquakes, Masonry structures, Earthquake damages, Seismic performance

mesafeleri verilmiştir. Depremin merkez üslerinin yerleşim yerlerine çok yakın olması depremin hasar düzeyini arttırdığı söylenebilir.

Saha gözlemleri, yapıların depreme dayanıklılığını değerlendirmek için önemli bir araçtır. Bu gözlemler sırasında, incelenen binaların yapım dönemine ait deprem yönetmelikleri, yapısal özellikleri, mühendislik kuralları ve imalat hataları incelenebilir. Bu inceleme sürecinde, konstrüktif detaylar mühendislik prensipleri de dikkate alınır. Böylece yapıların olası kusurları ve hataları tespit edilmeye çalışılır. Kırsal yerleşim yerlerinde bölgenin iklim koşullarına uygun olarak yöre halkı tarafından geleneksel yapı sistemleri ve bölgede bulunan malzemeler kullanılarak oluşturulduğu birçok yığma yapı gözlemlenmiştir. Önemli kültür miraslarının da korunduğu yığma yapılar ve bu yapılarda meydana gelen doğal afetler (deprem, heyelan, sel, çığ vd.) sonrası oluşan hasarlar birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Calayır vd. [2], 8 Mart 2010 Elazığ-Kovancılar depremi sonrasında, farklı türdeki yapı (kerpiç, yığma ve betonarme yapılar ve minareler) türlerinde meydana gelen hasarları incelemişlerdir. Sayın vd., [3], çalışmalarında 23 Haziran 2011 tarihinde meydana gelen Maden (Elazığ) depremi sonucunda yığma ve kerpiç yapıların hasarlarını araştırmışlardır. Eksik mühendislik hizmeti alan bu yapılarda

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: alper.ozmen@inonu.edu.tr (A. Özmen)

Geliş / Received: 04.12.2023 Kabul / Accepted: 11.03.2024 Yayınlanma / Published: 15.04.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1400134

meydana gelen hasarların sebeplerini detaylı olarak incelemişlerdir. Sayın vd., [4], bu çalışmalarında 2020 yılında meydana gelen Mw 6.8 Elazığ depremi sonrası bölgedeki mevcut yapıların deprem performansını incelemişlerdir. Ayrıca depremin yaşandığı bölgeyi geoteknik açıdan değerlendirmişlerdir. Nemutlu vd., [5] 2020 Elâzığ depremi sonucu hasar gören Elazığ'daki betonarme binaları değerlendirmişlerdir. Çoğunlukla hasar gören binaların, Türkiye'de modern deprem yönetmeliklerinin uygulanmasından önce, 1975-1998 yılları arasında inşa edildiği tespit etmişlerdir. Günaydin vd., [6] 2020 Elâzığ depreminin sismolojik karakteristiklerini sunmuşlardır. Ayrıca, deprem bölgesindeki yığma binalarda gözlenen hasar ve çökme mekanizmalarını araştırmışlardır. Temür vd., [7] Türkiye'de 2020 Elâzığ-Sivrice depremi sırasında meydana gelen jeoteknik ve yapısal hasarları değerlendirmişlerdir. Piroglu & Ozakgul [8] Türkiye'de 2011 Van depremlerinden sonra yığma binalarla ilgili bir saha araştırması gerçekleştirmişlerdir.

Dünyanın birçok yerinde meydana gelmiş depremler sonrası, farklı yapı türlerinin incelendiği, ulusal ve uluslararası birçok çalışma mevcuttur [9–11].

Bu çalışma kapsamında 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası Malatya ilinde yer alan yığma yapıların hasar mekanizması değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yığma yapılarda meydana gelen hasarların önlenmesi amacıyla öneriler sunulmuştur.

2 2023 Kahramanmaraş depremlerinin karakteristik özellikleri

Türkiye dünyanın sismik açıdan en aktif bölgelerinden biridir. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Malatya il sınırları içerisinde geçmektedir [12]. DAF Türkiye'nin doğusunda yer alan, Anadolu ile Arap Levhalarının çarpışmasına bağlı olarak oluşan doğrultu atımlı bir fay sistemidir [13]. DAF zonu yer yer genişliği 30 km uzunluğu ise 580 km'yi bulan, Karlıova (Bingöl) ile İskenderun körfezi arasında uzanan kuzeydoğu doğrultulu fay sistemidir [14,15]. Duman ve Emre [14] DAF'ı üç ana kola ayırmıştır. Ana (Güney) kol,

Karlıova ile Çelikhan ve güneydoğu devamında Erkenek, Pazarcık ve Türkoğluna doğru devam eder. Kuzey kol ise Çelikhan ile Güneydoğu Toros Dağlarının morfolojisini takip ederek kuzeye doğru dışbükey bir yay şekli oluşturur. Bu kuzey kol, Sürgü Fayı, Çardak Fayı ve Göksun'dan doğuya dönerek Savrun, Çokak ve Toprakkale faylarından oluşur. Karasu çukurluğu DAF ile Ölü Deniz Fayı (ÖDF) arasında genişlemeli bir bölük olarak ifade edilip, Narlı, Yesemek, Reyhanlı ve Antakya segmentlerine ayrılmıştır (Şekil 1).

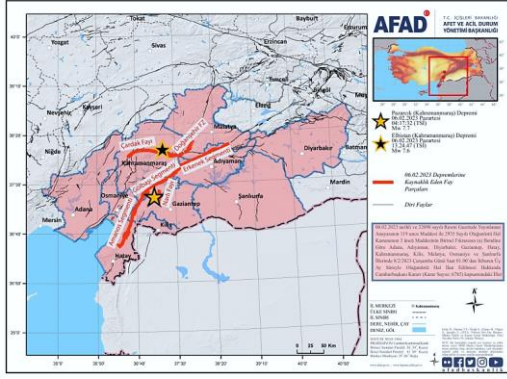
DAF, tarih boyunca pek çok yıkıcı depreme kaynaklık etmiştir [15]. DAF üzerinde gerçekleşen son yıkıcı depremler, 06.02.2023 günü, Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'de sırası ile merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir [1].

Bu depremlerin merkez üsleri, sırasıyla DAF'ın güney ve kuzey kolları üzerine düşmektedir [1]. Bu depremlere ait büyüklük ve derinlik de dâhil olmak üzere deprem detayları, çeşitli ulusal ve uluslararası kurumların raporlarına dayanarak Tablo 2' de verilmiştir. Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre deprem bölgesindeki yıkık/acil yıkılacak bina sayısı 58039, ağır hasarlı bina sayısı ise 205534 olarak verilmektedir [1]. Kahramanmaraş depremlerinden en çok etkilenen iller arasında yer alan Malatya'da binaların yaklaşık %50'si hasar görmüş veya yıkılmıştır. Malatya'da, yaklaşık 45000 bina yıkık, acil yıkılacak veya ağır hasar durumundadır [16].

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin güneydoğusunda meydana gelen Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğündeki depremler, bölgedeki deprem aktivitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu depremler sonrasında, 6 Şubat- 6 Mayıs tarihleri arasındaki periyotta, bölgede büyüklükleri Mw 0.2 - 6.6 arasında olan toplam 33591 deprem kaydedilmiştir. Bu depremlerden 4.0 ile 5.0 arasında büyüklüğe sahip 550 deprem kaydedilirken, 5.0 ile 6.0 arasında 48 adet ve 6.0 ile 7.0 arasında 2 adet deprem kaydedilmiştir. Artçı şok aktivitesinin görsel olarak temsili Şekil 2' de sunulmuştur.

Tablo 1. Kahramanmaraş ve Hatay'da meydana gelen depremlerin merkez üssüne olan mesafeleri [1]

Büyüklik	Merkez üssü	İlçe	Yerleşim Merkezi	Mesafe (km)
7.7 M _w	Pazarcık (Kahramanmaraş)	Pazarcık	Akdemir	2.72
		Pazarcık	Karahüyük	2.84
		Türkoğlu	Cennetpınarı	3.75
		Pazarcık	Evri	4.48
		Pazarcık	Emiroğlu	4.94
7.6 M _w	Elbistan (Kahramanmaraş)	Elbistan	Gümüşdöven	1.70
		Ekinözü	Akpınar	2.09
		Elbistan	Özcanlı	4.90
		Ekinözü	Maarif	5.47
		Ekinözü	Ekinözü	5.72
6.4 M _w	Yayladağı (Hatay)	Yayladağı	Sevenoba	1.02
		Yayladağı	Çakıköy	1.17
		Yayladağı	Karaköse	1.20
		Samandağ	Meydan	3.23
		Samandağ	Gözene	3.26



Şekil 1. Doğu Anadolu Fayına ait fay parçaları [17]

Tablo 2. Pazarcık ve Elbistan depremlerinin özellikleri

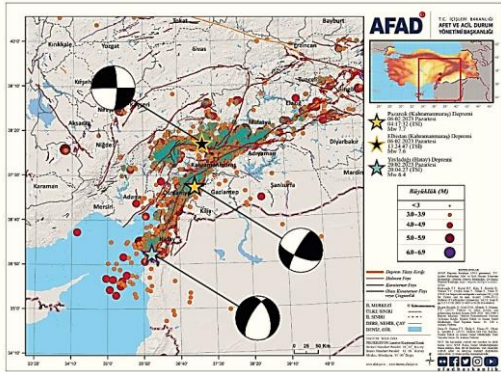
Mw= 7.7 Pazarcık depremi			Mw= 7.6 Elbistan depremi		
Ensititi	Derinlik (km)	Mw	Ensititi	Derinlik (km)	Mw
AFAD ¹	8.6	7.7	AFAD ¹	8.6	7.7
KOERİ ²	10	7.7	KOERİ ²	10	7.7
USGS ³	17.9	7.8	USGS ³	17.9	7.8
EMSC ⁴	10	7.7	EMSC ⁴	10	7.7

¹Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

²Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

³Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu

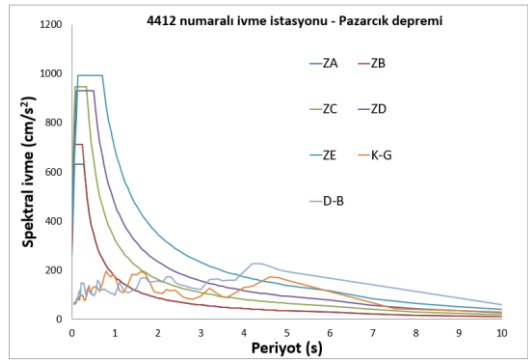
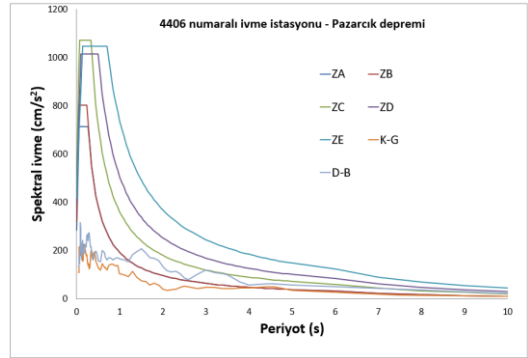
⁴Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi



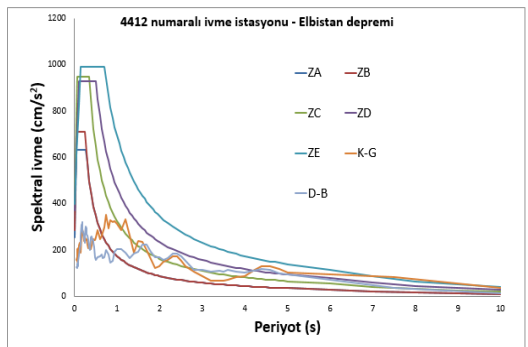
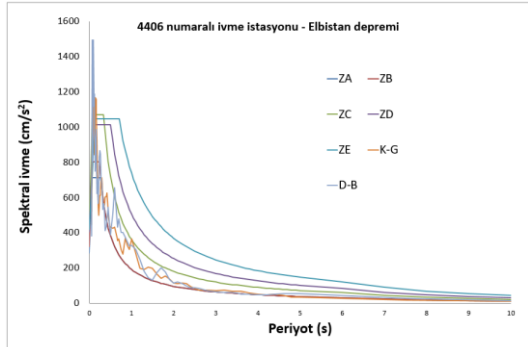
Şekil 2. 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası kaydedilen artçı şoklar (6 Şubat – 6 Mayıs arası) [1]

Şekil 3 ve Şekil 4'te Pazarcık ve Elbistan depremlerine ait deprem spektrumları ile 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) verilen tasarım depremi Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD2) spektrumları karşılaştırılarak Malatya ili üzerindeki depremlerin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Spektrum grafikleri incelendiğinde Elbistan depreminin, Pazarcık depremine kıyasla Malatya ili için daha etkili olduğu görülmektedir. Elbistan depremi spektrumu, DD2 spektrumunu daha geniş bir aralıkta aşmıştır. Bu durum, Elbistan depreminin

Malatya'da daha fazla yapısal hasara yol açtığını göstermektedir.



Şekil 3. Pazarcık depremine ait deprem spektrum grafikleri (Malatya ili 4406 ve 4412 numaralı istasyonları)



Şekil 4. Elbistan depremine ait deprem spektrum grafikleri (Malatya ili 4406 ve 4412 numaralı istasyonları)

3 Yığma yapılarda meydana gelen hasar mekanizmaları

Çalışmanın bu bölümünde Malatya ilinde yer alan yığma yapılar ve bu yapıların deprem sonrası hasar modları incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen yapılara ait yaklaşık konumlar Şekil 5'te görülmektedir. Malatya'da yapılan incelemeler, kent merkezinin genellikle betonarme, kırsal kesimin ise çoğunlukla yığma binalardan oluştuğunu göstermiştir. Yapılan saha gözlemlerinde hem şehir merkezindeki betonarme binalarda hem de Doğanşehir, Akçadağ ve Darendede gibi kırsal bölgelerdeki yığma binalarda yapısal ve yapısal olmayan hasarlar gözlemlenmiştir. Malatya'nın kırsal kesimlerinde bulunan yığma binaların büyük bir kısmı mühendislik hizmeti almamıştır. Bu binalar, genellikle kerpiç veya taştan inşa edilmiştir. Depremden sonra yapılan incelemelerde, kırsal kesimdeki birçok yığma binanın yıkıldığı veya ağır hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Malatya'nın merkez ilçelerinden olan Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde de taş ve kerpiçten inşa edilen yığma yapıların sayısı fazladır. Bu ilçelerde yer alan yığma yapıların önemli bir kısmı hasar görmüştür.

Gözlemlenen hasar mekanizmaları; köşe hasarları, düzlem dışı davranış hasarları, düzlem içi davranış hasarları, yanlış konumlandırılmış boşluklar, kalkan duvar hasarları ve düşük dayanımlı yığma birimlerin kullanımı olarak gruplandırılmıştır. Çalışma kapsamında, Malatya şehir merkezi, Battalgazi, Yeşilyurt, Doğanşehir ve Doğanlıoğlu ilçelerinde olmak üzere yaklaşık 150 yığma yapı incelenmiştir. İncelenen binaların büyük çoğunluğu harman tuğlası ile inşa edilmiştir.



Şekil 5. Çalışma kapsamında incelenen bölgeler

3.1 Köşe hasarları

Yığma binalarda bölgesel hasarların ve göçmenin önlenmesinde, birbirine dik olarak bağlanan duvarlar arasındaki bağlantı oldukça önemlidir. Yapılan saha çalışmalarında Malatya bölgesinde yapılan yığma yapılarda, köşe bağlantı detaylarına gerekli özenin gösterilmediği gözlemlenmiştir. Köşe hasarları, taşıyıcı duvarlar arasında yeterli bağlantı olmaması, kötü malzeme kalitesi ve kötü işçilik nedeniyle meydana gelir [18]. İncelenen yapılarda, duvarlar arasındaki zayıf bağlantılar, düşey ve yatay

hatılların eksikliği önemli köşe hasarlarına neden olmuştur. Yığma binalarda gözlemlenen köşe hasarları Şekil 6' da verilmiştir.

3.2 Düzlem dışı davranış hasarları

Yığma duvarlar deprem hareketine dik doğrultuda zayıf bir davranışa sahiptir. Bu nedenle kesme kuvvetleri duvar düzleminde etkili olur ve düzlem içi bir mekanizma oluşur. Buna ek olarak duvar düzlemine dik doğrultuda eğilme davranışı gelişir. Bu durum düzlem dışı mekanizmaya neden olur. Mesnetlenmemiş uzun duvarlar, zayıf duvar- döşeme bağlantısı ya da zayıf duvar-duvar bağlantısı düzlem dışı davranış hasarlarının oluşmasının başlıca sebeplerindendir. Buna ek olarak, döşemelerin ahşap kirişlerle taşındığı durumlarda kirişlerin tek doğrultuda yerleştirilmesi durumunda, kirişlere paralel yönde olan duvarlarda düzlem dışı davranış hasarları ortaya çıkabilmektedir.

Bu hasarların önlenmesi amacıyla mesnetlenmemiş uzun duvarlardan kaçınılmalı, betonarme yatay ve düşey hatıllar inşa edilmeli ve döşeme bağlantılarında rijit diyafram sağlanmalıdır.

Düzlem dışı davranış hasarı meydana gelen yapılarda birbirine dik duvarların bağlantıları doğru bir şekilde sağlanmalıdır. Bu amaçla çeşitli güçlendirme teknikleri önerilmiştir. Duvar köşeleri çelik levha ile birbirine bağlanmalı ve ankrajlanmalıdır. Daha sonra, duvarlardaki çivi delikleri hazır harç enjeksiyonu kullanılarak kaplanmalıdır. Ayrıca duvarla beraber çalışacak düşey hatılları sisteme eklenmelidir. Başka bir yöntem olarak ise mevcut duvarların etrafına betonarme veya çelik bir çerçeve yerleştirilerek duvarların devrilmesi ve yatay kayması engellenebilir.

Malatya da yapılan incelemelerde gözlemlenen düzlem dışı davranış hasarları Şekil 7' de görülmektedir.



Şekil 6. Köşe hasarları

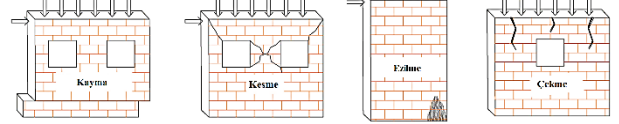


Şekil 7. Düzlem dışı davranış hasarları

3.3 Düzlem içi davranış hasarları

Yığma yapıların deprem performansları, düzlem içi rijitliği ile yakından ilişkilidir. Düzlem içi mekanizma, deprem kuvvetinin, duvar düzlemi doğrultusunda etkimesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Düzlem içi mekanizma, kayma, kesme, eğilme, çekme ve ezilme gibi farklı hasarlara sebep olabilmektedir. Zaman zaman ise bu hasarlar birlikte görülmektedir. Tipik düzlem içi hasar mekanizmaları Şekil 8’ de verilmiştir. Özellikle betonarme düşey hatlıların olmaması, duvar üzerimde, birbirine yakın ve büyük açıklıklar bulunması durumunda düzlem içi davranış mekanizması ortaya çıkabilmektedir. Malatya da gözlemlenen düzlem içi davranış hasarları Şekil 9’da paylaşılmıştır.

Düzlem içi davranış hasarlarının önlenmesinde geçmişte yapılmış çalışmalarda önerilen farklı güçlendirme teknikleri mevcuttur. Bunlardan en sık tercih edileni, yığma duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesidir. Bu yöntemde mevcut duvara ankrajlanan çelik hasır donatı üzerine püskürtme beton uygulanarak duvarın düzlem içi dayanımının artırılması amaçlanmıştır. Bu uygulama duvarın bir veya iki yüzeyine uygulanabilmektedir. Ayrıca duvarın çekme dayanımının artırılması için lifli polimerlerde, duvara sarılabilmektedir. Literatürde farklı sargılama teknikleri önerilmektedir. Sargı malzemesi, FRP, cam, aramid ve karbon gibi yüksek mukavemetli liflere sahip kompozit malzeme içerir. Mevcut yığma binaları güçlendirmek için FRP, mukavemet ve süneklik açısından mevcut malzemelerden daha iyi olan önemli özellikler sağlar.



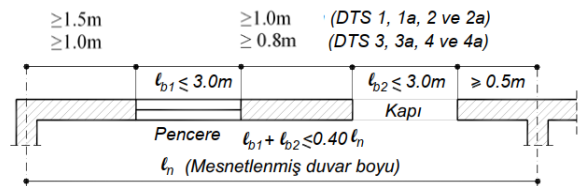
Şekil 8. Tipik düzlem içi davranış mekanizmaları [19].



Şekil 9. Düzlem içi davranış hasarları

3.4 Uygun olmayan duvar boşlukları (kapı ve pencereler)

Duvarlardaki açıklıkların yanlış yerleştirilmesi ve boyutlandırılması, depremler sırasında yığma binalarda önemli hasara yol açabilir [20]. TBDY-2018’de iki açıklık arasındaki mesafe, pencere ve kapıların uzunluğu ve bir açıklık ile duvar köşesi arasındaki açıklık için belirli sınırlar bulunmaktadır. Deprem bölgesinde incelenen yapıların birçoğunda açıklıkların yönetmelikte belirtilen sınırlara uymadığı ve yapıların bu nedenle hasar gördüğü görülmüştür. TBDY-2018’de yığma yapılarda uygulanabilecek açıklık sınırları Şekil 10’da verilmiştir. Buna ek olarak, kapı ve pencerelerin üst bölümlerinde mutlaka lentolar inşa edilmelidir. Lentoların yüksekliği 15 cm’ den duvara oturan genişliği ise 20 cm’ den az olmamalıdır. Malatya ilinde uygun olmayan açıklık uygulamaları sonucu gözlemlenen yığma yapı hasarları Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Duvar boşlukları için TBDY-2018’ de belirtilen sınırlar [21].



Şekil 11. Uygun olmayan duvar boşlukları nedeniyle meydana gelen hasarlar

3.5 Düşük dayanımlı yığma birimler

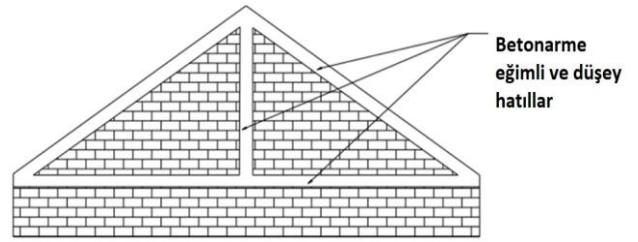
Taşıyıcı duvarlar, yapının ağırlığını ve diğer yükleri taşımakla sorumludur. Bu nedenle, taşıyıcı duvarlar için kullanılan malzemelerin yüksek mukavemete sahip olması ve depreme dayanıklı olması önemlidir. TBDY-2018'e göre, taşıyıcı duvarlar için, içi boş beton briketler, dolgu tuğlaları, kerpiç tuğlalar, moloz taşlar, benzer şekilli birimler kullanılmamalıdır. TBDY-2018'e göre, duvar birimlerinin minimum basınç dayanımı 5 MPa olmalıdır. Basınç gerilmesi duvar birimlerinin basınç dayanımını aşarsa, duvar birimlerinde küçük dikey çatlaklar oluşabilir. Şekil 12'de düşük dayanımlı yığma birimlerin kullanılması sonucu hasar görmüş yapılar paylaşılmıştır.



Şekil 12. Düşük dayanımlı yığma birimler nedeniyle meydana gelen hasarlar

3.6 Kalkan duvar hasarları

Kalkan duvarlar, iki dik duvar ve bunları birbirine bağlayan bir eğimli duvardan oluşan duvarlardır. Bu duvarlar, genellikle balkonlar, teraslar ve merdivenler gibi dış mekân yapılarını desteklemek için kullanılır. Kalkan duvarlar genellikle, yatay ve düşey hatıllar olmadan inşa edilirler ve bu nedenle deprem karşısında hasar görebilmektedirler. Hatıllar kalkan duvarın stabilitesini arttırarak bir bütün olarak hareket etmesine katkı sağlar. TBDY- 2018' de kalkan duvarların 0.8 m'yi aşması durumunda, düşey ve eğimli hatıllar inşa edilmesi gerekmektedir. Kalkan duvarlarda, hatılların kullanımı ile ilgili tipik bir görsel Şekil 13' de gösterilmiştir. 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası Malatya ilinde gözlemlenen kalkan duvar hasarları Şekil 14' de verilmiştir.



Şekil 13. Kalkan duvarlarda uygun hatıl yerleşimi



Şekil 14. Yığma binalarda kalkan duvarlar hasarları

4 Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışma kapsamında, 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında mevcut yığma yapılarda meydana gelen hasar modlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya ilinde bulunan yığma yapılar incelenmiştir. Bu yapılarda meydana gelen hasar modları ve hasarların önlenmesi için gerekli teknikler değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- Binaların köşeleri, duvarlar arasındaki yetersiz bağlantılar ile düşey ve yatay hatılların eksikliği nedeniyle hasar görmüştür. Bu tür hasarları önlemek için düşey ve yatay hatılların kullanılması önemlidir.

- Yığma binalar, bölgede önemli bir yapısal hasar olan düzlem dışı mekanizmaya karşı savunmasızdır. Bu hasar, birbirine dik duvarlar arasındaki zayıf bağlantılar, dikey ve yatay hatılların olmaması ve uzun desteksiz duvarların inşa edilmesi gibi çeşitli hatalardan kaynaklanmaktadır.

- Taşıyıcı duvarların yapısal performansı, hatılların olmaması ve yanal rijitliği azaltan büyük boşlukların varlığı nedeniyle zayıflayabilir. Bu durum, yer hareketi sırasında

artan kesme kuvveti nedeniyle düzlem içi hasarlara yol açabilir. Düzlem içi hasarları önlemek için, büyük boşluklar inşa etmekten kaçınmak ve boşlukların yanında düşey hatlılar inşa etmek önemlidir.

- Kalkan duvarlar genellikle hatlılar olmadan inşa edilir ve bu da onları deprem kuvvetlerine karşı savunmasız hale getirir. Bu tür bir hasar ana yapısal sorun olmasa da kalkan duvarların düşen parçaları öngörülemeyen zararlara ve can kaybına neden olabilir. Düşey ve eğimli betonarme hatlıların kullanılması kalkan duvar hasarlarını en aza indirir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %17

Kaynaklar

- [1] AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Turkey, Ankara, 2020.
- [2] Y. Calayır, E. Sayın, B. Yön, Performance of structures in the rural area during the March 8, 2010 Elazığ-Kovancılar earthquake. *Natural Hazards*, 61, 703–717, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0056-6>.
- [3] E. Sayın, B. Yön, Y. Calayır, M. Karaton, Failures of masonry and adobe buildings during the June 23, 2011 Maden-(Elazığ) earthquake in Turkey, *Eng Fail Anal.* 34 (2013) 779–791. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.10.016>.
- [4] E. Sayın, B. Yön, O. Onat, M. Gör, M.E. Öncü, E. Tuğrul Tunç, D. Bakır, M. Karaton, Y. Calayır, 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 657–684, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-01018-4>.
- [5] O.F. Nemutlu, B. Balun, A. Sari, Damage assessment of buildings after 24 January 2020 Elazığ-Sivrice earthquake. *Earthquakes and Structures*, 20, 325–335, 2021. <https://doi.org/10.12989/eas.2021.20.3.325>.
- [6] M. Günaydın, B. Atmaca, S. Demir, A.C. Altunişik, M. Hüsem, S. Adanur, Ş. Ateş, Z. Angin, Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 2421–2456, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01073-5>.
- [7] R. Temür, E. Damcı, S. Öncü-Davas, C. Öser, S. Sargın, Ç. Şekerci, Structural and geotechnical investigations on Sivrice earthquake (Mw= 6.8), January 24, 2020. *Natural Hazards*, 106, 401–434, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04468-w>.
- [8] F. Piroglu, K. Ozakgul, 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, 689–708, 2013. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-689-2013>.
- [9] O. İnce, M. Atar, Ö.F. Taş, A. Özmen, E. Sayın, Betonarme Prefabrik Endüstri Yapılarının 6 Şubat 2023 Depremleri Sonrası Hasarlarının İncelenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi* 5, 291–300, 2023. <https://doi.org/10.46464/tdad.1337277>.
- [10] E.A. Godínez-Domínguez, A. Tena-Colunga, L.E. Pérez-Rocha, H.I. Archundia-Aranda, A. Gómez-Bernal, R.P. Ruiz-Torres, J.L. Escamilla-Cruz, The September 7, 2017 Tehuantepec, Mexico, earthquake: Damage assessment in masonry structures for housing. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 56, 102123, 2021.
- [11] M. Indirli, L.A. S. Kouris, A. Formisano, R.P. Borg, F.M. Mazzolani, Seismic damage assessment of unreinforced masonry structures after the Abruzzo 2009 earthquake: The case study of the historical centers of L'Aquila and Castelvechio Subequo. *International Journal of Architectural Heritage* 7, 536–578, 2013. <https://doi.org/10.1080/15583058.2011.654050>.
- [12] Ö. Emre, T.Y. Duman, S. Özalp, H. Elmacı, Ş. Olgun, F. Şaroğlu, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1: 1.250. 000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi 30, 89, 2013.
- [13] M. Köküm, Landsat TM görüntüleri üzerinden doğu anadolu fay sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellik analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 9 (2019) 119–127.
- [14] T.Y. Duman, Ö. Emre, The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications* 372, 495–529, 2013.
- [15] M. Köküm, F. Özçelik, An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 161, 157–170, 2020. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.603929>.
- [16] T.C. Malatya Valiliği, 08.05.2023 Deprem Durum Çizelgesi, 2023.
- [17] Ö. Emre, T.Y. Duman, S. Özalp, F. Şaroğlu, Ş. Olgun, H. Elmacı, T. Çan, Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 16, 3229–3275, 2018.
- [18] B. Yön, Identification of failure mechanisms in existing unreinforced masonry buildings in rural areas after April 4, 2019 earthquake in Turkey. *Journal of Building Engineering*. 43, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102586>.
- [19] M. Tomazevic, Earthquake-resistant design of masonry buildings, World Scientific, 1999.
- [20] A. Özmen, M.M. Maraş, Y. Ayaz, E. Sayın, Assessments of Masonry Buildings and Historical Structures during the 2020 Sivrice-Elazığ Earthquake. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2023.
- [21] TBDY- 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmî Gazete, Sayı: 30364 (Mükerrer), 2018.

