

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Investigation of the Effects of Kahramanmaraş Earthquakes on Masonry Structures

Abdülkadir Güleç^a

Submitted: 10.05.2023 Revised: 04.12.2023 Accepted: 06.12.2023 doi:10.30855/gmbd.0705094

ABSTRACT

Keywords: Masonry structures, damage types, earthquake

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, Kahramanmaraş
Orcid: 0000-0002-1518-4362
e mail: abdulcadir.gulec@hotmail.com

^{*}Corresponding author:
abdulkadir.gulec@hotmail.com

On 6 February 2023, the Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş experienced the largest earthquakes in the history of the Republic of Turkey in terms of loss of life and damage. Tens of thousands of buildings were destroyed or damaged due to earthquakes. Damage assessment studies began immediately after the earthquake to determine the extent to which the existing building stock was affected by the earthquake. Kahramanmaraş has a rich cultural heritage due to its centuries-long history. The majority of these cultural assets are masonry structures. Although the number of masonry structures is less than the number of other structures, it is of great importance to examine the damage conditions of masonry structures and to determine the measures to be taken for their repair due to their cultural value. Present study, the types and causes of earthquake damage to masonry structures in Kahramanmaraş were investigated. As a result, it was observed that structural damages in masonry structures were generally caused by factors such as large span widths, high height/thickness and length/thickness ratios of the walls, use of weak lintels at the top of the spans, weak roof-flooring connections, weak wall corner joints, overlapping of vertical joints and workmanship errors.

Kahramanmaraş Depremlerinin Yığma Yapılar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

ÖZ

6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde can kaybı ve hasar bakımından Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en büyük depremleri meydana gelmiştir. Depremler nedeniyle on binlerce yapı yıkılmış veya hasar görmüştür. Deprem sonrası derhal hasar tespit çalışmaları başlatılmış ve mevcut yapı stokunun depremden ne ölçüde etkilendiği araştırılmıştır. Kahramanmaraş ili yüzlerce yıllık tarihi olan bir şehir olması sebebiyle kültür varlıklarına ev sahipliği yapan bir şehirdir. Bu kültür varlıklarının büyük çoğunluğunu ise yığma yapılar oluşturmaktadır. Yığma yapı sayısı diğer yapı sayısına göre az olmakla birlikte kültürel değerlerinden dolayı yığma yapıların hasar durumlarının incelenmesi ve onarım ile ilgili alınacak tedbirlerin tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada depremden dolayı Kahramanmaraş ilindeki yığma yapılarda oluşan hasar tipleri ve nedenleri araştırılmıştır. Çalışma neticesinde yığma yapılardaki yapısal hasarlara genel olarak; büyük açıklık genişlikleri, duvarların yükseklik/kalınlık ve uzunluk/kalınlık oranlarının fazla olması, açıklık üstlerinde zayıf lento kullanımı, çatı-döşeme bağlantılarının zayıf olması, duvar köşe birleşimindeki zayıflıklar, düşey derzlerin üst üste gelmesi ve işçilik hataları gibi etmenlerin sebep olduğu görülmüştür.

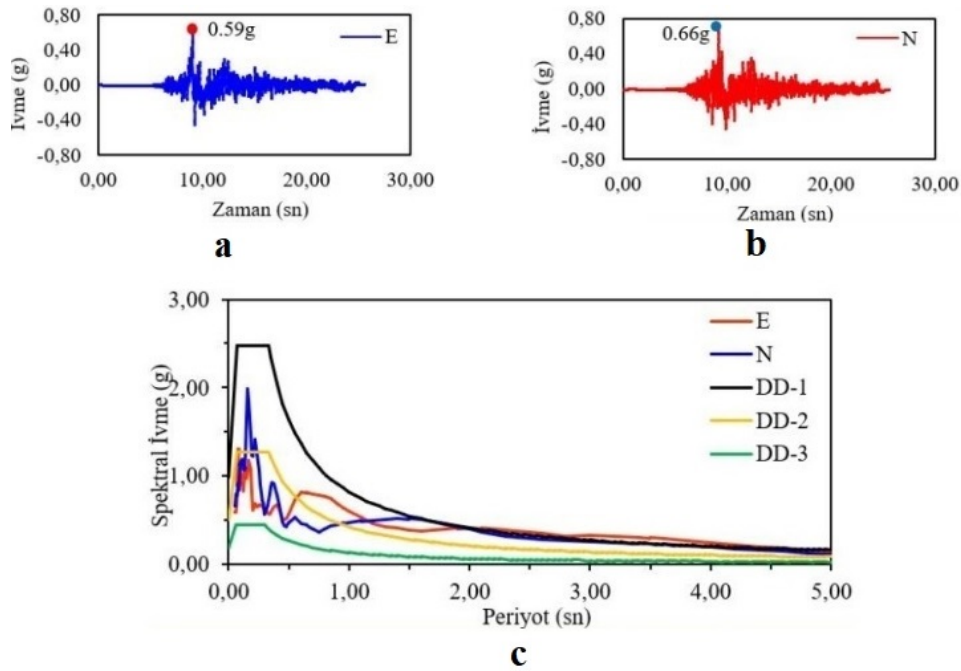
Anahtar Kelimeler: Yığma yapılar, hasar tipleri, deprem

1. Giriş (Introduction)

6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde Mw7.7 (odak derinliği 8.6 km) ve Mw7.6 (odak derinliği 7 km) büyüklüklerinde iki büyük sığ odaklı deprem meydana gelmiştir. Yaşanan depremler can kaybı ve hasar bakımından Türkiye Cumhuriyetinde görülmüş en büyük depremlerdir. Söz konusu depremlerden 11 şehir etkilenmiştir. Merkez üssü olması nedeniyle Kahramanmaraş ilinde de büyük yıkım söz konusudur. Deprem sonrası derhal bina hasar tespit incelemeleri başlamıştır. Bina hasar tespiti yapılırken öncelikli olarak binalar taşıyıcı sistemlerine göre ayrılmıştır. Deprem bölgesindeki yapıların taşıyıcı sistemleri açısından değerlendirildiğinde yığma yapılar tüm yapı stokunun %3.5'lik oranını kapsamaktadır [1]. Bu oran diğer yapı türlerine göre oldukça düşük kalmaktadır. Ancak deprem bölgesindeki kültür varlıklarının çok büyük bir kısmını yığma yapılar oluşturmaktadır. Bu nedenle anıtsal niteliği olan ve korunması gereken yığma yapılarda deprem sonrası oluşan hasarların tespit edilmesi ve buna göre gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır.

Yığma yapılar binaya etkileyen düşey veya yatay yüklerin genel olarak duvarlar tarafından karşılandığı yapılardır. Yığma yapılarda moment çerçeveleri veya perde gibi taşıyıcı elemanları bulunmaz. Bu nedenle genel olarak taşıyıcı sistem açısından bir süreklilik arz etmezler [2]. Yığma yapılar yapım şekline veya kullanılan malzemenin cinsine göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulabilirler. Yığma yapılar genel anlamda donatılı ve donatısız yığma yapılar olarak sınıflandırılabilirler. Kullanılan malzeme açısından ahşap, taş, kerpiç, tuğla vb malzemelerin kullanıldığı görülebilir. Kahramanmaraş ilindeki yığma yapı stokunun büyük bir kısmını donatısız yığma yapılar oluşturur. Bu yapılarda yakın çevreden temin edilen taş, toprak ve ağaç malzeme kullanılmıştır [3]. İldeki mevcut yığma yapılar karakteristik olarak ağır ve rijit yapılardır. Bu durum yığma yapıların deformasyon yapabilme kabiliyetlerini sınırlar [4]. Bundan dolayı ildeki mevcut yığma yapı stoku sismik yapı tasarımındaki en önemli parametrelerden biri olan yükler altında sünek davranış ilkesini karşılamaktan uzaktır. Deprem ivme kayıtları incelendiğinde Kahramanmaraş ilinde bulunan istasyondan alınan ölçüm değerlerine göre kuzey-güney istikametinde maksimum yer ivmesi (PGA) 0.664g olarak ölçülmüştür. Bu değer 1.derece deprem bölgeleri için 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde öngörülen maksimum yer ivmesi değerinin oldukça üstündedir. Dolayısıyla deprem bölgesindeki binalara etkileyen deprem kuvveti de yönetmelikte ön görülen tasarım depremlerini aşmıştır (Şekil 1). Bu nedenle zaten depreme karşı dayanıklılığı az olarak bilinen yığma yapılarda da büyük hasar ve yıkım gözlemlenmiştir. Kahramanmaraş depremleri ilgili literatür araştırması yapıldığında konunun oldukça güncel olmasından dolayı konu ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Öztürk ve ark. (2023) Kahramanmaraş depremlerinin betonarme yapılar üzerindeki etkilerini detaylı bir biçimde araştırmışlardır [5]. Depremin yığma yapılar üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada yığma yapılarda oluşan hasar tipleri ve hasara neden olan uygulama hataları ayrıntılı bir biçimde irdelenmiştir. Çalışma sonucunda zarar görmüş yığma yapılarda yönetmeliklerdeki sınır değerlere uyulmadığı, kullanılan malzemelerin çevre koşullarından etkilendiği ve defalarca restore edilmesine rağmen yapıların restorasyon hataları neticesinde depremde ağır hasar aldığı ifade edilmiştir [6]. Bir başka çalışmada Kahramanmaraş depremlerinin bölgedeki tarihi yığma camilere etkileri incelenmiştir. Nümerik analizlerle desteklenen çalışma sonucunda deprem sonrası tarihi camilerin minare ve kubbe gibi kritik elemanlarının hasar gördüğü bildirilmiştir. Çalışmada ülkemizde oldukça çok sayıda bulunan tarihi yığma camilerin kuvvet-deplasman kapasitelerinin belirlenerek göçme mekanizmalarının tespit edilmesinin önemine vurgu yapılmıştır [7]. Konu ile ilgili bir başka araştırmada Kahramanmaraş depremlerinin kerpiç yapılar üzerindeki etkileri irdelenmiş ve kerpiç yapılarda oluşan hasar tipleri ve nedenleri araştırılmıştır [8].

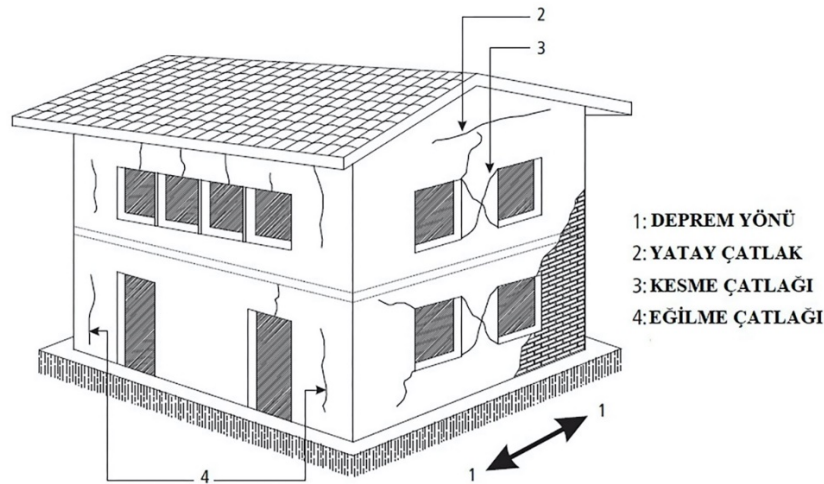
Bu çalışmada Kahramanmaraş depremleri sonrası Kahramanmaraş ilindeki yığma yapılarda oluşan hasar tipleri ve nedenleri incelenmiştir.



Şekil 1. a) Doğu- Batı Doğrultusu Yer İvmesi b) Kuzey-Güney Doğrultusu Yer İvmesi 1c)Spektral İvme kayıtları [9]
(Ground accelerations and spectral acceleration records)

2.Hasar Tipleri (Damage Types)

Yığma yapılarda hasar tespiti yapılabilmesi için hangi çatlağın hangi etkiden dolayı oluştuğunun bilinmesi gerekir. Aksi takdirde hasar tespiti doğru yapılamayabilir. Özellikle donatısız yığma yapılarda deprem yönüne ve şiddetine bağlı olarak tipik çatlak oluşumları görülebilir. Bu noktada betonarme yapılarda olduğu gibi oluşan hasarın veya çatlağın yapısal olup olmadığının tespiti büyük önem arz eder. Yapısal olmayan hasarlara, bacalarının devrilmesi, balkonlardaki (cumba) küçük çatlaklar, sıva dökülmeleri, taşıyıcı olmayan kalkan duvarda meydana gelen çatlaklar örnek verilebilir. Yapısal hasarlara başlıca; kesme etkisinden dolayı açıklıkların köşelerinde veya açıklıklar arasında oluşan çapraz çatlaklar, eğilme etkisinden dolayı çekme çatlakları ve buna bağlı düzlem dışı duvar hareketleri, çatı-duvar bağlantısının zayıf olmasından oluşan duvar hasarları, simetrik olmayan yığma yapılarda burulmadan ve eğilmeden kaynaklı kesme kuvvetine bağlı köşe noktalarındaki hasarlar ve düzlem içi hareketten dolayı kemerlerde oluşan hasarlar örnek olarak verilebilir. Şekil 2'de deprem yönüne bağlı olarak tipik yapısal hasarlar gösterilmiştir.



Şekil 2. Yığma yapıda deprem sonrası oluşabilecek çatlak türleri [7]
(Types of cracks that may occur in masonry structure after earthquake)

Yığma yapılarda, hasar derecesinin belirlenebilmesi için hasar tiplerinin belirli biçimlerde kategorize edildiği

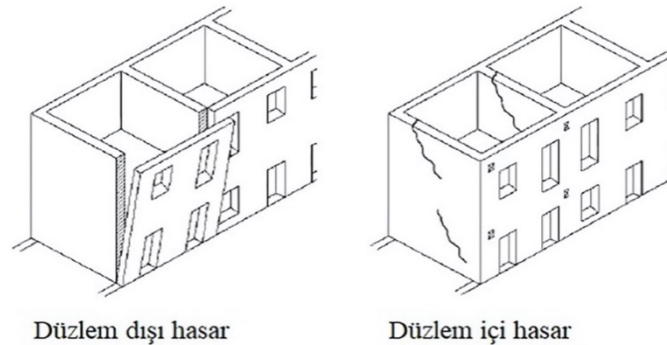
farklı hasar kriter şablonları mevcuttur. Şekil 3'te farklı hasar kriter tabloları [10-12] birlikte gösterilmiştir. Farklı şartnamelerdeki kriterler birlikte incelendiğinde küçük farklılıklar olmakla birlikte genel mantığın benzer olduğu görülebilmektedir. Ülkemizdeki yığma yapıların yapım standartları 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin (TBDY-2018) 11. Bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yukarıda bahsedilen hasar tipleri, depremden etkilenen Kahramanmaraş ilindeki yığma yapılarda oluşan hasarlar üzerinden somutlaştırılacaktır.

Tablo 1. Hasar kriterleri (Damage criterias)

JAPONYA ULUSLARARASI DEPREM MÜHENDİSLİĞİ KURUMU [10]			AVRUPA SİSMOLOJİ KOMİSYONU [11]			TÜRKİYE CUMHURİYETİ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI [12]		
HASAR KODU	HASAR ŞEKLİ	AÇIKLAMA	HASAR KODU	HASAR SINIFI	ÖLÇÜTLER	HASAR KODU	HASAR SINIFI	ÖLÇÜTLER
0 hasar yok	Hasar yok	Herhangi bir işlem gerekmez	1.derece	Hafif hasar	Bazı duvarlarda kılcak çatlaklar	O tipi hasar	Hasarsız	Duvarda çatlak ezilme yok, sıvada çatlak veya ezilme olabilir
I Yapısal olmayan hafif hasar	Sıvada ince çatlaklar, lokal olarak sıvada dökülmeler	Binanın boşaltılmasına gerek yoktur. mimari açıdan tamirat gerekli	2.derece	Orta hasar	Birçok duvarda çatlak ve büyük sıva parçalarının dökülmesi	A tipi hasar	Hafif hasar	Kılcak çatlak (≤ 1 mm)
II yapısal hafif hasar	Duvarlarda ince çatlaklar, sıvada dökülmeler, yapısal olmayan duvarlarda hasarlar	Binanın boşaltılmasına gerek yoktur. mimari açıdan tamirat gerekli	3.derece	Ağır hasar	Çoğu duvarda büyük ve geniş çatlak, taşıyıcı olmayan duvarlarda çökme	B tipi hasar	Orta hasar	Çatlak genişliği ≤ 5 mm, harçta dökülmeler
III yapısal orta hasar	Taşıyıcı duvarlarda büyük ve derin çatlaklar, payandalarda yaygın çatlaklar	Duvarların yük taşıma kapasitesi azaldığından bina boşaltılmalı, yapısal restorasyon ve sismik güçlendirme gerekli	4.derece	Çok ağır hasar	Taşıyıcı duvarların çökmesi	C tipi hasar	Ağır hasar	Çatlak genişliği ≤ 10 mm, bloklarda ezilme, harçta dökülmeler
IV yapısal büyük hasar	Taşıyıcı duvarlarda ayrılmalar veya çökmeler. yapıda %50 oranında çökme	Bina derhal boşaltılmalı, yapısal restorasyon mümkünse yapılmalı, aksi halde yıkılmalı	5.derece	Yıkım	Toptan yapının göçmesi	D tipi hasar	Çok ağır hasar	Taşıyıcı duvarların kısmen veya tamamen parçalanması, yıkılması ve/veya devrilmesi
V Yapının Çökmesi	Yapının büyük kısmında çökme	Bina tamamen yıkılmalı ve yeniden inşaa edilmeli						

2.1. Düzlem dışı etkilerden dolayı oluşan hasarlar (Damages due to out-of-plane effects)

Deprem sonrası yığma yapılarda yapılan incelemede temel olarak iki temel hasar mekanizmasına rastlanmıştır. Bunlar düzlem dışı ve düzlem içi hasarlar olmak üzere 2 ana gruba ayrılabilir. Deprem kuvvetleri yapılarda düzlem içi ve/veya düzlem dışı gerilmelere neden olabilir. Yığma yapının doğası gereği düzlem içi gerilmelere karşı dayanımı, düzlem dışı gerilmelerine karşı dayanımından çok daha yüksektir. Bunun nedeni, genel olarak yığma yapılarda kullanılan malzemelerin basınç dayanımlarının yüksek olmasıdır. Bu nedenle yığma yapılar düzlem içi gerilmelere karşı daha dayanıklıdır. Ancak deprem yönüne bağlı olarak yapıya düzlem dışı bir kuvvetin gelmesi neticesinde, yığma yapıda eğilmeye bağlı düzlem dışı ötelenme hareketleri görülebilir. Şekil 4'de düzlem içi ve düzlem dışı hasar tipleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Düzlem içi ve düzlem dışı hasar tipleri [13] (In-plane and out-of-plane damage types)

Yapılan incelemeler sonucunda, Kahramanmaraş ilindeki yığma yapılarda oluşan ağır hasarların veya çökmelerin büyük çoğunluğunun deprem sonucu yapılarda oluşan düzlem dışı gerilmelerden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir. Deprem yüklerine maruz kalan elemanlarda genellikle alt katlarda düzlem içi gerilmeler oluşurken üst katlarda düzlem dışı gerilmeler oluşabilir. Düzlem dışı yüklenen duvarlara etkiyen ivme düzlem içi yüklenen duvarlara göre daha yüksektir. Bu nedenle üst katlarda düzlem dışı etkilerden dolayı büyük deplasmanlar ve dolayısıyla çökmeler görülmüştür. Yığma yapılarda kat yüksekliğinin 1/250'si oranında bir deplasman oluşması durumunda duvarda hasar oluşumu başlayabilir. Hasar alan yapılarda yapılan incelemelerde bazı yapılarda çatı duvar birleşiminin iyi yapılmadığı, bazı yapılarda ise alt katın çift sıra, üst katın ise tek sıra duvar olmasından dolayı düzlem dışı etkilerden üst katların daha çok etkilendikleri görülmüştür. Şekil 5'te de görülebileceği gibi çatı- duvar bağlantısının yetersiz olmasından dolayı hasar alan yapılarda çatı elemanlarının duvarlara düzgün bağlanmadığı görülmüştür. Özellikle dikmelerin ve kirişlerin duvarlara düzgün bir biçimde oturtulmadığı veya ahşap malzemenin zaman içinde çürümesi sonucu ahşap malzeme ile duvar bağlantısının zayıfladığı tespit edilmiştir. Bu noktada üst duvarların üzerinde yeteri kadar yük olmadığından deprem esnasında üst duvarlar adeta bir konsol gibi çalışmışlar ve düzlem dışı hareket yaparak zarar görmüşlerdir. Ayrıca çatı elemanlarının kendi içerisinde bağlantısının zayıf olması da deprem esnasında yapıda düzlem dışı etkiyi arttırmıştır. Göğüsleme ve payanda elemanları olmayan çatılar, deprem esnasında aşırı deplasman yaparak üst duvarlarda hasara neden olmuşlardır. Şekil 6'da alt katı çift sıra bir üst katı tek sıra duvarı olan yapıdaki hasar görülmektedir. Alt katın üst kata göre daha rijit olmasından dolayı deprem esnasında üst kat duvarı daha büyük bir deplasman yaparak yıkılmıştır. Yapıda daha önceden oluşan bir düzlem içi hasar yapının düzlem dışı kapasitesini olumsuz etkiler [14]. Yapılan incelemelerde düzlem dışı hareket etmiş bir etkiye maruz kalmış yapı elemanlarında daha önceden olduğu düşünülen düzlem içi hasarlar gözlemlenmiştir. İnceleme sırasında dikkati çeken bir diğer konu düzlem dışı hareket eden duvar elemanlarında duvar yüksekliği/kalınlık oranının düzlem dışı hareket yapmayan duvar elemanlarına göre daha yüksek olmasıdır. Narinlik oranı olarak adlandırılan bu parametrenin de düzlem dışı davranışta etkili olduğu düşünülmektedir Şekil 7'de yüksekliğinin kalınlığına göre oldukça fazla olduğu bir bahçe duvarının devrilmek suretiyle göçtüğü görülmüştür. Düzlem dışı davranış göstererek hasar alan yapılarda gözlemlenen bir diğer eksiklik duvar-döşeme bağlantısının zayıf olmasıdır. Şekil 8'de görülebileceği gibi döşeme sırkaları ile duvarın bağlantısının zayıf olmasından dolayı deprem yükleri altında rijit diyafram davranışı sağlanamamıştır. Literatürde de bu nedenden dolayı çöken birçok yapı rapor edilmiştir [15]. Yerinde yapılan incelemelerde döşeme sırk aralıkları ve kalınlıkları yeterli olan ayrıca döşeme sırkalarının duvara düzgün bir biçimde oturtulduğu yapılarda bu tür hasarla karşılaşılması görülmemiştir. Düzlem dışı davranışta zemin durumu da oldukça etkili olabilmektedir. Ülkemizdeki yığma yapıların kat sayısının en fazla 4 kat olduğu kabulüyle periyotlarının 0.05-0.20 saniye arasında olduğu değerlendirilebilir. Bu durum mevcut yapı stokunun rijit yapılar olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi kayalık sağlam zeminlerin de hakim titreşim periyotları göreceli olarak düşüktür. Bu nedenle sağlam zeminlerde yapılan az katlı rijit yığma yapılarda da deprem esnasında rezonans olayı gerçekleşebilir ve deprem yükü yapıda daha büyük bir ivmeye neden olabilir. Bu nedenle yapılan incelemede sağlam zeminler üzerine yapılan düşük katlı yığma yapılarda da düzlem dışı etkilerden dolayı hasarlara rastlanmıştır.



Şekil 5. Yetersiz Çatı- Duvar Bağlantısı (Duraklı Camii) (Weak Roof-Wall Connection (Duraklı Mosque))



Şekil 6. Duvar süreksizliği (Kayabaşı mahallesinde bir konak) (Wall discontinuity (a mansion in Kayabaşı neighborhood))



Şekil 7. Narinlik oranı yüksek duvarda çökme (Kayabaşı mahallesinde bir konak) (Wall collapse with high fragility (a mansion in Kayabaşı neighborhood))



Şekil 8. Zayıf döşeme-duvar bağlantısı (Turan mahallesindeki bir konak) (Weak floor-wall connection (a mansion in Turan neighborhood))

2.2. Düzlem içi etkilerden dolayı oluşan hasarlar (Damages due to in-plane effects)

Yığma yapılar deprem sonucu oluşan düzlem içi gerilmelere karşı daha dayanıklıdır. Donatısız yığma yapılar basınç gerilmelerine karşı iyi bir dayanım gösterirken bünyelerinde çekme gerilmelerini karşılayacak başka bir malzeme kullanılmadığından dolayı çekme gerilmelerine karşı oldukça zayıf bir performans gösterirler. Deprem sonrası düzlem içinde oluşacak gerilmelerin karşılanması noktasında kullanılan taşıyıcı malzeme (doğal taş, moloz taş vb), harç, yapı geometrisi ve işçilik önemli bir rol oynar. Deprem sırasında yapının ağırlığından dolayı oluşan atalet kuvvetleri ile deprem kuvvetleri birbirine zıt yönde yapıyı zorlar. Bu zorlamalar sonucu, yığma yapı elemanlarında kesme ve eğilme etkileri çoğunlukla birlikte meydana gelir. Bu etkilerden dolayı yığma yapı elemanında çatlaklar veya ayrılmalar görülebilir ve bu hasar tipleri genellikle düzlem içi hasar olarak adlandırılır. Çatlaklar özellikle gerilme yoğunluğunun yüksek olduğu kapı ve pencere kenarlarında meydana gelir [16]. Özellikle açıklık genişliklerinin standartlara uymaması ve üzerinde yeterli rijitlikte lento veya hatıl olmaması bu tip hasara neden olabilir. Geleneksel Maraş evlerinde kapı ve pencere açıklıkları üzerinde genellikle ahşap malzeme kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan incelemelerde özellikle yeterli kalınlıkta ve elastikiyeti yüksek ahşap malzemeden (dut ağacı gibi) imal edilmiş lentolara sahip yığma yapı elemanlarında hasar daha az gözlemlenmiştir. Bahsi geçen lentolar deprem kuvvetini sönmülemde de önemli rol oynamışlardır. Şekil 9'da da görülebileceği üzere oldukça geniş açıklığa sahip olmasına rağmen açıklık üzerinde yeterli kalınlık ve uzunluğa sahip lento bulunan yapıda herhangi bir hasara rastlanmamıştır. Ayrıca lentonun duvara bindiği kısmında yeterli uzunlukta olduğu da görülmektedir.



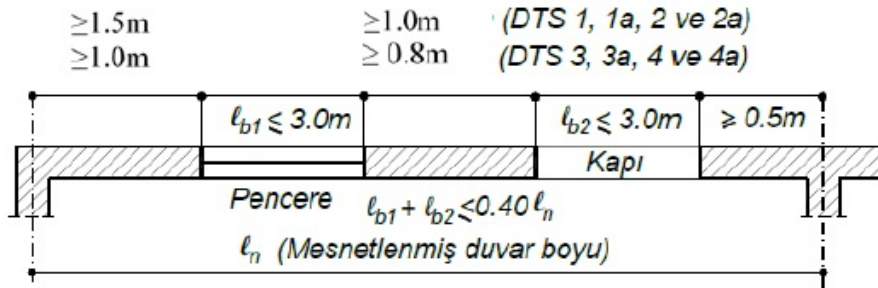
Şekil 9. Açıklık boyutu fazla olmasına rağmen hasar görmemiş bir duvar (An undamaged wall despite the large opening size)

Duvarlarda bir diğer zayıf nokta yapıda üst üste veya yan yana iki açıklık arasında bulunan bölgedir. Bu bölgenin düzlem içi etkiler altında performansı zayıftır. Bölgenin genişliği arttıkça risk artar ve çapraz (X) kesme çatlakları gözlemlenebilir. Şekil 10'da da görülebileceği gibi geniş açıklıklara sahip yığma yapıda kesme çatlağı açıkça görülmektedir. Deprem bölgesinde bu tip çatlaklar sadece yığma yapılarda değil betonarme yapılarda da görülmüştür. Açıklık olmayan duvarlarda ise duvar uzunluğu/kalınlık oranı kesme gerilmeleri açısından önemlidir. Bu oran arttıkça kesme kuvvetinden dolayı yapıda yatay çatlaklarla beraber diyagonal çatlaklar da görülebilir. Bu oranı azaltmak için kesişen duvarlar veya düşey hatıllar kullanılabilir. 2018 Deprem Yönetmeliğinde yeni yapılacak donatısız yığma yapılar için düşey hatıllar arasındaki mesafenin 4 m'yi geçmemesi öngörülmüştür. Duvar uzunluğu/kalınlık oranının da 10'nun altında olduğu duvarların deprem performansının iyi olduğu görülmüştür [16].

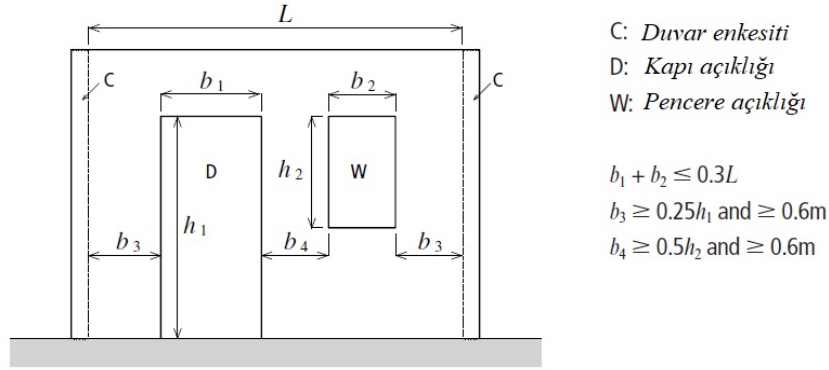


Şekil 10. Açıklıklar arası X çatlağı oluşumu (Kayabaşı mahallesinde bir konak) (X crack formation between openings (a mansion in Kayabaşı neighborhood))

Anlaşılabileceği üzere yığma yapıda düzlem içi hasarların büyük kısmı açıklıklarla (boşluklarla) ilgili problemlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle şartnameler, bu açıklıklara belirli sınırlar getirmişlerdir. 2018 deprem yönetmeliğinde bu standartlar şekilde gösterildiği gibidir [17] (Şekil 11). Bir başka şartnamede ise moloz taş duvarlarda yapılacak açıklıklar için önerilen şartlar şekildeki gibidir (Şekil 12).



Şekil 11. 2018 Deprem yönetmeliğinde belirtilen açıklık sınırları [18] (Span limits specified in 2018 Earthquake code)



Şekil 12. Moloz taş duvarlarda için açıklık sınırları [7] (Span limits for rubble masonry walls)

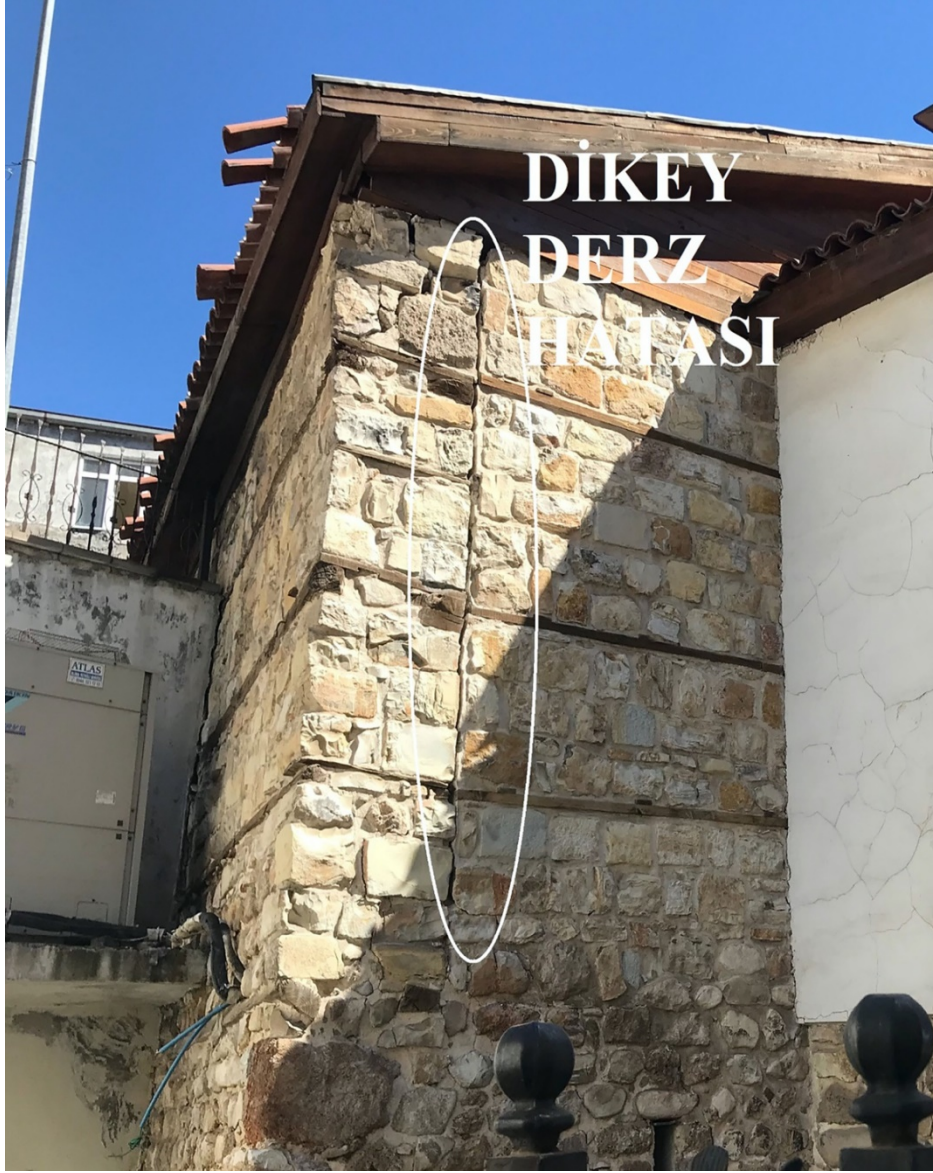
Yığma yapıların düzlem içi dayanımına etki eden faktörlerden biri de harç ve duvar malzemesinin özellikleridir. Genellikle harcın dayanımının duvar malzemesine (taş veya tuğla) göre düşük olması ve çatlamların derz yerlerinde görülmesi istenir (Şekil 13). Böylece yapı elemanında oluşabilecek çekme ve kayma gerilmelerinin harç boyunca yayılması sağlanır ve ana birimi oluşturan taş veya tuğlanın kırılması önlenir. Bu şekilde yapı rijitliği azalır ve deprem yükleri sönmülenebilir. Harç dayanımının yüksek olduğu durumlarda çatlaklar düşey yönde duvar malzemesinde görülebilir ki bu istenmeyen bir durumdur. Bu durumda duvar stabilitesi tehlikeye girebilir.



Şekil 13. Harç dökülmesi (Çukuroba Camii) (Damage to the mortar (Cukuroba Mosque))

Düzlem içi etkilerden oluşan hasarların en önemli nedenlerinden biri de dikey derz düzenidir. Bunun nedeni genellikle işçilik hatalarıdır. Dikey derzlerin düşeyde üst üste veya yakın bir biçimde olması durumunda yük altında o bölgede ayrılma kaçınılmaz olur. Deprem bölgesinde bu tür hatalar, genellikle sonradan kapatılan kapı veya pencere boşluklarında görülmüştür. Ayrıca harç ile taşın aderanslarının yeterli olmadığı durumlarda kaymaya bağlı deformasyonlar gözlenebilmektedir. Şekil 14'te görülebileceği gibi duvara

sonradan yapılan eklentinin birleştiği noktadan ayrılma gözlemlenmiştir. Özellikle yanlış yapılan restorasyon işlerinde dikey derzlerin üst üste gelmesinden dolayı bu tip hasarlarla oldukça sık karşılaşmıştır. Şekil 15'te ise yine bir restorasyon hatası olarak değerlendirilebilecek bir hata görülmektedir. Taş malzemenin birbiri üzerine yeterli bindirme boyu olmadan imal edilmesi sonucu dikey derz problemi ile karşılaşmıştır. Deprem bölgesinde yığma yapılarda gözlemlenen bir diğer hata duvarların birleşim köşe noktalarında gözlemlenmiştir. Rijit köşe bağlantısı olmayan duvarlarda ayrılmalar veya çatlaklar görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 14. Duvarda derz ayrılması (Deli gönüllüler konağı) (Joint separation on the wall (Deli gönüllüler mansion))



Şekil 15. Yetersiz bindirmeden dolayı oluşan çatlak (Mutfak Müzesi Konağı) (Crack caused by insufficient overlap) (Kitchen Museum Mansion)



Şekil 16. Rijit Köşe bağlantısı olmayan duvarda çatlak (Şih Müslüm Camii) (Crack in wall without rigid corner connection (Şih Müslüm Mosque))

3. Sonuçlar (Conclusion)

6 Şubat 2023 depremleri sonrası Kahramanmaraş ilinde büyük can kaybı ve yıkım yaşanmıştır. Depremde oluşan yer ivmesinin güncel yönetmeliklerde öngörülen yer ivmesinden büyük olması depremde hasar gören veya yıkılan bina sayısının oldukça yüksek olmasına neden olmuştur. Özellikle mühendislik hizmeti almamış ve deprem performansının düşük olduğu bilinen yığma yapılarda da hasar oldukça büyük çaptadır. Yüzlerce yıllık geçmişi olan Kahramanmaraş'ta kültürel yapı varlıklarının çoğunun yığma yapı olduğu düşünüldüğünde, bu yapıların hasar tespitlerinin doğru bir biçimde yapılması ve bu yapıların tekrar ayağa kaldırılması ile ilgili yapılacak planlama büyük önem arz etmektedir. Mevcut çalışmada deprem sonrası yığma yapıların aldığı hasarlar ve nedenleri araştırılmıştır. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

-Bir bölümü veya tamamı yıkılmış yığma yapılarda yıkıma düzlem dışı hareketten dolayı duvarlarda oluşan hasarların neden olduğu tespit edilmiştir. Buna göre özellikle yükseklik/kalınlık oranının fazla olduğu, lento veya hatıl bulunmayan ve alt katı çift sıra üst katı tek sıra örülmüş duvarlara sahip yığma yapılar düzlem dışı etkiden oldukça fazla etkilenmiş ve ağır hasar almışlardır. Düzlem dışı hareketin daha çok yapının üst katındaki duvarlarda olduğu görülmektedir. Özellikle çatı-duvar bağlantısının zayıf olduğu yapılarda, üst kattaki duvarların konsol gibi çalışarak düzlem dışı hareket yaptıkları tespit edilmiştir.

-Yıkılmamış ancak ağır hasarlı veya orta hasarlı yığma yapılarda düzlem içi hasar etkileri görülmektedir. Düzlem içi hasarda en çok karşılaşılan problem taşıyıcı duvarlarda geniş kapı ve pencere boşlukları oluşturulmasıdır. Bu şekildeki yapılarda açıklıklar arasında veya üst kısımlarında kesme etkisinden dolayı çapraz çatlaklar görülmüştür. Ayrıca açıklık üzerlerine lento veya hatıl uygulaması yapılmamış duvarlarda da aynı tip hasarlar görülmüştür. Sık karşılaşılan bir diğer düzlem içi hasar tipi sonradan örüldüğü anlaşılan veya işçilik hatası nedeniyle derzlerin üst üste gelmesi veya yığma yapı elemanlarının birbirleri üzerine yetersiz bindirilmelerinden dolayı oluşan hasar türüdür. Bu şekilde olan duvar elemanlarında düşey derz çizgisi boyunca ayrılmalar görülmüştür. Hatta bazı düzlem dışı duvar hareketlerine de bu hatanın sebep olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte rijit olmayan köşe bağlantıları, harç dayanımının zayıf olması ve yapı elemanlarının çevresel etkilerden dolayı dayanımlarının zayıflaması gibi zafiyetler hasarlara neden olmuşlardır.

-Yapılan inceleme neticesinde yığma yapıların restorasyon uygulamalarında mimari ve görsel gereksinimlere verilen önem kadar statik gereksinimlere de önem verilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda tarihi dokuya zarar vermeden çekme dayanımı yüksek fiber takviyeli harç kullanımı veya çelik sistemlerle güçlendirme uygulamaları yığma yapıların deprem performansları artırılabilir. Sadece dökülmüş derzlerdeki harçların yenilenmesinden ziyade yapıların ağırlığını arttıran sonradan yapılmış eklentilerin kaldırılması, duvar yükseklik/kalınlık ve uzunluk/kalınlık oranının düşürülmesine yönelik güçlendirme önerilerinin düşünülmesi yapının yatay ve düşey yükler altındaki performansının gelişmesine daha çok katkı sağlayabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, "2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu," *sbb.gov.tr*, Mar. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.sbb.gov.tr/2023-kahramanmaras-ve-hatay-depremleri-raporu>. [Accessed: May. 10, 2023].
- [2] H. Tokgöz and Ö. Can, "Dıştan perde duvarla güçlendirmede perde-hatıl birleşim yerlerinde kullanılan blon sayısının araştırılması", *GUMMFD*, vol. 26, no. 3, pp. 649-656, 2013.
- [3] A.E. Paköz, "Geleneksel Maraş evlerinin mimari özellikleri", *Artium*, vol.1, no. 1, pp. 65-81, 2013.
- [4] Z. Celep and N. Kumbasar, *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul, Türkiye: Beta Dağıtım, 2019.
- [5] M. Öztürk, M. H. Arslan, and H. H. Korkmaz, "Effect on RC buildings of 6 February 2023 Turkey earthquake doublets and new doctrines for seismic design," *Engineering Failure Analysis*, vol. 153, p. 107521, Nov. 2023. doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107521
- [6] Ö. Mercimek, "Seismic failure modes of masonry structures exposed to Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.7 and 7.6) on February 6, 2023," *Engineering Failure Analysis*, vol. 151, p. 107422, Sep. 2023. doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107422
- [7] İ. Kocaman, "The effect of the Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) on historical masonry mosques and minarets," *Engineering Failure Analysis*, vol. 149, p. 107225, Jul. 2023. doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107225

- [8] E. Işık, "Structural Failures of Adobe Buildings during the February 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 15, p. 8937, Aug. 2023. doi: 10.3390/app13158937
- [9] K.T.Ü, "06.02.2023 Kahramanmaraş Depremleri ve Karadenizin Depremselliği," *ktu.edu.tr*, Feb. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.ktu.edu.tr/huam/haber/06022023-kahramanmaras-depremleri-ve-karadenizin-depremselligi-bilgi-notu-yayinlandi-eOo>. [Accessed: May. 10, 2023].
- [10] A.S Arya, T. Boen, Y. Ishiyama, *Guidelines For Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. Paris, France: UNESCO, 2014.
- [11] G. Grünthal, *European Macroseismic Scale*. Vol. 15. Luxembourg: European Seismological Commission, 1998.
- [12] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Betonarme ve Yığma Binalarda Deprem Kaynaklı Hasarlar ve Hasar Tespiti," *istanbul.csb.gov.tr*, Oct. 15-16, 2019. [Online]. <https://istanbul.csb.gov.tr/hasar-tespit-egitim-dokumanlari-i-95359>. [Accessed: May. 10, 2023].
- [13] L. D. Decanini, A. De Sortis, A. Goretti, R. Langenbach, F. Mollaioli, and A. Rasulo, "Performance of Masonry Buildings during the 2002 Molise, Italy, Earthquake," *Earthquake Spectra*, vol. 20, no. 1_suppl, pp. 191–220, Jul. 2004. doi: 10.1193/1.1765106
- [14] P. Agnihotri, V. Singhal, and C. Durgesh, "Effect of in-plane damage on out-of-plane strength of unreinforced masonry walls," *Engineering Structures*, vol. 57, pp. 1–11, Dec. 2013. doi: 10.1016/j.engstruct.2013.09.004
- [15] D. Dizhur *et al.*, "Performance of masonry buildings and churches in the 22 February 2011 Christchurch earthquake," *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, vol. 44, no. 4, pp. 279–296, Dec. 2011. doi: 10.5459/bnzsee.44.4.279-296
- [16] G.Arun, "Yığma kagir yapı davranışı," in *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat 2005, Ankara, Türkiye* [Online]. Available: <https://www.clouds.com.tr/web/uploads/dosya/273723.pdf>. [Accessed: May. 10, 2023].
- [17] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, "Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği," *resmigazete.gov.tr*, Mar. 18, 2018. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>. [Accessed: May. 10, 2023].

This is an open access article under the CC-BY license

