

Geleneksel Yapı Sisteminin Deprem Performansına İlişkin Özgün Bir Örnek: Antakya Lisesi

Caner GÖÇER ^{1*} 

ORCID 1: 0000-0001-6767-4235

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34367, İstanbul, Türkiye.

* e-mail: gocercan@itu.edu.tr

Öz

06.02.2023 tarihinde, Kahramanmaraş merkezli Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde meydana gelen depremlerin etkisiyle onbir ilde binlerce bina yıkılmış ve ağır hasarlar meydana gelmiştir. Bu çalışmada, Antakya Lisesi'nde depremlerin etkisine bağlı oluşan strüktürel hasarlar ve nedenleri değerlendirilmiştir. Mimari ve yapısal özelliklerin tanımlanması, hasar türleri ve görülme sıklığının belirlenmesi, hasar nedenlerini değerlendirilmesi ve hasar nedenlerinin hasar türlerine göre etkinlik derecesinin ortaya koyulması çalışma sürecinin temel adımlarını oluşturmaktadır. Değerlendirme yöntemi olarak literatür, deprem yönetmeliği ve karşılaştırmalı analiz verileri dikkate alınmıştır. Cephe düzeninde yüksek saydamlık oranına rağmen betonarme düşey hatlı sayesinde yapının toptan göçmediği görülmüştür. Bununla birlikte benzer mimari ve yapısal özelliklere sahip birimin toptan göçme nedeni taşıyıcı duvar örgü sistemindeki düzensizlik ve zayıf harç olabilir.

Anahtar Kelimeler: Kahramanmaraş depremleri, yığma yapı, yapısal hasarlar, hasar değerlendirme.

Antakya High School: A Unique Example of How a Traditional Building System Performs in an Earthquake

Abstract

Thousands of buildings in 11 provinces were demolished or sustained heavy damage due to the earthquakes of Mw 7.7 and Mw 7.6 in Kahramanmaraş center that struck on 06.02.2023. The structural damage sustained by the Antakya High School from the two earthquakes as well as the cause of said damage was evaluated in this study. Defining architectural and structural features, determining the types of damage and their frequency of occurrence, evaluating the causes of damage, and revealing the degree of effectiveness of the causes of damage according to the types of damage constitute the basic steps of the study process. As an evaluation method, literature, earthquake regulations and comparative analysis data were taken into consideration. Despite the high transparency rate in the facade layout, it was observed that the building did not collapse completely, thanks to the reinforced concrete vertical beams. However, the reason for the wholesale collapse of the unit with similar architectural and structural features may be the irregularity in the load-bearing wall system and weak mortar.

Keywords: Kahramanmaraş earthquakes, masonry buildings, structural damages, damage assessment.

Citation: Göçer, C. (2024). Antakya high school: A unique example of how a traditional building system performs in an earthquake. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9 (Special Issue), 293-312.

DOI: <https://doi.org/10.30785/mbud.1334645>



1. Giriş

Türkiye Kuzey Anadolu, Güney Doğu Anadolu ve Batı Anadolu olmak üzere üç ana aktif deprem kuşağının etkisi altındadır. Geçmişten günümüze meydana gelen orta büyüklükteki depremlerde şehir merkezlerindeki betonarme iskelet sistemli binalarda az hasar oluşurken, kırsal bölgelerdeki yığma yapılarda ağır hasarlar ve can kayıpları meydana gelmiştir. Bu depremlerle ilgili olarak bugüne kadar yapılmış araştırmalarda taş, kerpiç ve pişmiş toprak tuğla gibi yerel malzemelerle bina yapımının çoğunlukla mühendislik hizmeti olmadan gerçekleştirildiği tespit edilmiştir (Bayraktar ve diğerleri 2007; Bayülke, 1992; Doğan, 2013; Çalayır ve diğerleri, 2012; Sayın ve diğerleri, 2013; Bayraktar ve diğerleri, 2016; Aras ve Düzci, 2018).

Türkiye'nin diğer bölgelerinde meydana gelebilecek olası depremler dikkate alındığında, benzer özellikteki mevcut yapılarda da yıkıcı etkilerin oluşacağı aşikardır. Büyük depremlerde betonarme yapıların önemli bir bölümünün yıkıcı bir etkiye maruz kaldığı düşünüldüğünde, daha kırılğan ve zayıf özellikteki geleneksel malzeme ile inşa edilen yapılarda daha yıkıcı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Gülkan ve Sucuoglu, 1989; Celep ve diğerleri, 2011; Damcı ve diğerleri, 2015; Şengel ve Dogan, 2013; Tapan ve diğerleri, 2013; İnel ve diğerleri, 2013).

06.02.2023 günü, Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'de, merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olarak kayıtlara geçen, Mw 7,7 ve Mw 7,6 büyüklüğündeki iki büyük deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2023). Bu depremler şiddet ve kapsadığı alan açısından yakın tarihte ender görülen doğal felaketlerdir. 11 ilde büyük yıkıma neden olan depremler özellikle geleneksel yapı sistemi ve yerel malzeme ile inşa edilen büyük miktarda yapı sotuğuna sahip Antakya'da daha trajik sonuçlara neden olmuştur. Bölgede taş malzemeli, yığma yapı sistemine sahip binalarda ahşap malzemeye oranla daha yıkıcı hasarlar meydana gelmiştir. Ağırlıklı olarak taş malzeme ile inşa edilen ve geleneksel yapı sisteminin karakteristik özelliklerini barındıran Antakya Lisesi'nde de çeşitli derecelerde yıkıcı hasarlar meydana gelmiştir.

Bu çalışmada, Antakya Lisesi'nde deprem sonrası yerinde gözlem ve inceleme verilerine bağlı olarak çeşitli hasar mekanizmaları ve nedenlerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Gelecekte oluşacak büyük depremlerin benzer özellikteki taş yapılar üzerinde yaratacağı etkilerin önceden görülebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi bakımından değerlendirme sonuçlarının katkı sağlaması hedeflenmiştir.

1.1. Türkiye Depremleri

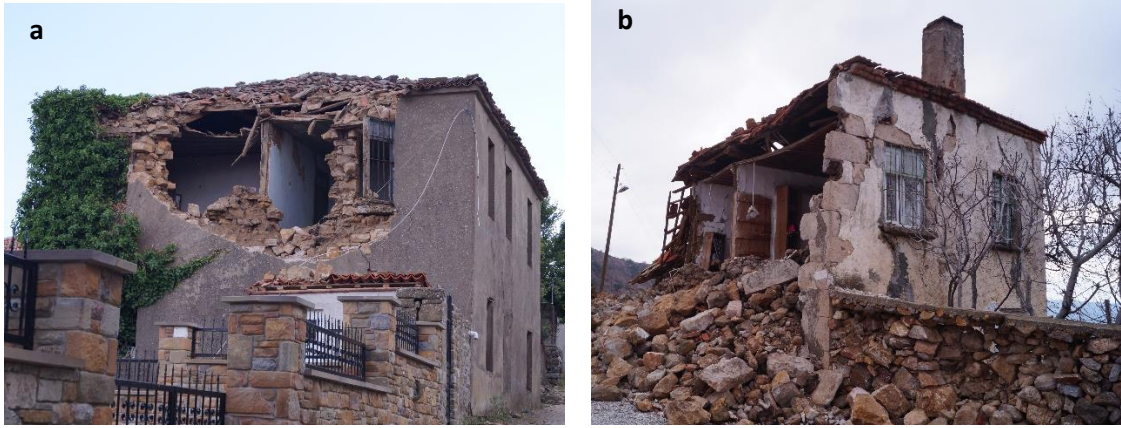
Türkiye'de nüfusun önemli bir bölümü aktif fay zonlarının bulunduğu bölgelerde ikamet etmektedir. Tarih boyunca büyük depremlerin meydana geldiği, aktif Anadolu plakası üzerinde 1900'den günümüze 7'nin üzerinde 20 adet büyük deprem meydana gelmiştir. Bu durum Türkiye'yi depremlerden dolayı zarar gören ülkeler sıralamasında en üst sıralarda yer almasına neden olmaktadır. Dünya ölçeğinde Türkiye depremlerden etkilenen insan sayısı bakımından sekizinci sıradadır. Ülkemizde her yıl büyüklüğü ortalama 5,0 ile 6,0 arasında değişen en az bir deprem meydana gelmektedir. Son 58 yıllık veriler incelendiğinde; deprem nedeniyle 100.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Türkiye'de 1900 yılından günümüze kadar can kaybına veya hasara neden olan 269 deprem meydana gelmiştir. Yıkıcı etki ve can kaybı bakımından en büyük depremler sırasıyla 2023 Kahramanmaraş, 1939 Erzincan ve 1999 Gölcük merkezli Marmara Depremleridir (AFAD, 2023).

1.2. Yığma Yapılar ve Deprem

Taş malzeme bulunduğu yöreden kolaylıkla temin edilmesi, düşük nakliye masrafı, yöresel mimarinin sürdürülebilirliği bakımından olumlu özellikleri nedeniyle 1970'li yıllara kadar Türkiye genelinde bina yapımında yığma yapı sistemin ana bileşeni olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Özellikle Anadolu'da yığma yapı sistemi ile inşa edilen yapılarda taş malzemenin kullanımı çok yaygındır. 1970'li yıllardan sonra artan nüfus ve buna paralel olarak artan arsa maliyetleri çok katlı bina yapımı ve daha hızlı yapım sistemleri daha etkin bir çözüm olarak gündeme getirmiştir. Buna bağlı olarak betonarme iskelet yapı sistemine sahip binaların yapımı ağırlık kazanmıştır. Söz konusu yıllara kadar taş ve tuğla malzeme ile inşa edilen yığma yapılar geçmişten günümüze kadar hizmet veren mimari mirasın

önemli unsurlarından birisi olmuştur. Birçoğu tescilli bir özelliğe sahip olan taş yığma yapılar farklı kullanım fonksiyonlarına sahiptir.

Türkiye’de gerçekleşen depremlerde betonarme, çelik ve ahşap malzeme ile inşa edilen iskelet yapı sisteminin yığma sistem ile inşa edilen yapılara göre daha yüksek bir performans sergilediği görülmektedir. Ağır olması nedeniyle taş malzeme ile inşa edilen yapılarda deprem kaynaklı yıkıcı etki daha yüksektir. Taş yapıların deprem performansı birçok kritere göre değişkenlik göstermekle birlikte, moloz taş formundaki bileşenlerin toprak harç ile örüldüğü uygulamalar Mw 5.0 büyüklüğündeki depremlerde bile ağır hasara uğramış veya göçmüştür (Göçer, 2020a). Şekil 1.a’da 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada yakınlarında meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki depremin, Şekil 1.b’de 6-12 Şubat 2017 tarihleri arasında Ayvıcık’da meydana gelen ortalama 5.0 büyüklüğündeki depremlerin taş malzeme ile inşa edilen konut yapılarındaki yıkıcı etkisi görülmektedir. Gerek kırsal bölgelerde gerekse şehir merkezlerindeki yığma yapı stoğu dikkate alındığında, farklı kullanım fonksiyonuna sahip binaların deprem performansının değerlendirilmesi önemlidir.

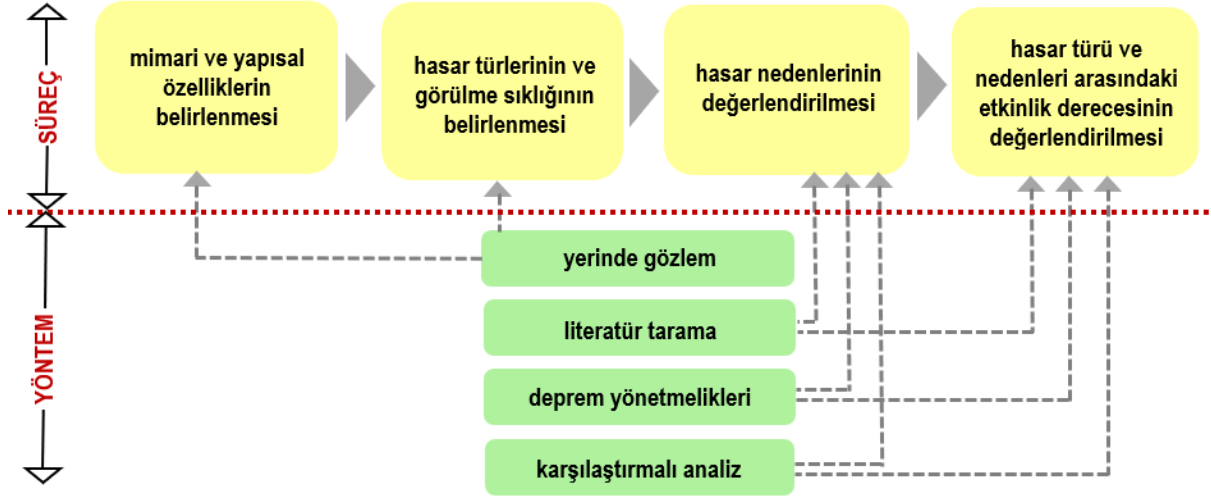


Şekil 1. a) 24 Mayıs 2014 tarihli Gökçeada depremi, b) 6-12 Şubat 2017 tarihli Ayvıcık depremi etkisine bağlı taş konutlarda meydana gelen hasarlar

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında bir eğitim binası olan Antakya Lisesi’nin Kahramanmaraş depremlerinin etkisine bağlı olarak yapısal davranışı yerinde gözlem yoluyla elde edilen veriler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde öncelikle hasar türleri ve mekanizmaları belirlenmiş; buna bağlı olarak olası hasar nedenleri ele alınmış ve tartışılmıştır.

Antakya Lisesi’nde meydana gelen hasar türleri geçmiş depremlerde yığma yapı sistemi ile inşa edilen taş binalarda hasar türleri ile benzer durumdadır. Ancak, binanın simetrik mimari düzeni, betonarme taşıyıcı açık koridor mekanları, taş ve yatay delikli pişmiş toprak tuğla bileşenlerinin taşıyıcı yığma duvarlarda bir arada kullanıldığı strüktürel kuruluşu, düşey hatılın sıkça uygulandığı yüksek saydamlık oranına sahip cephe düzeni geleneksel mimarinin özgün bir örneğini teşkil etmektedir. Çalışmada öncelikle mimari ve yapısal özellikler belirlenmiş, daha sonra hasar türleri ve görülme sıklığı yerinde gözlem yoluyla tespit edilmiştir. Hasar türlerine bağlı olası hasar nedenleri literatür verileri, deprem yönetmeliği ve karşılaştırmalı analiz esaslarına göre belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı analiz, hem yapının kendi bünyesindeki farklı strüktürel malzemelerin deprem davranış, hem de geçmiş depremlerde benzer yapısal ve malzeme özelliklerine sahip yapıların gösterdiği davranış esastır. Sonuç olarak, her hasar türüne bağlı hasar nedenlerinin etkinlik derecesi aynı esaslara göre belirlenmiştir. Şekil 2’de çalışma sürecine ve yöntemine ilişkin akış şeması görülmektedir.



Şekil 2. Çalışma sürecine ve yöntemine ilişkin akış şeması

3. Bulgular ve Tartışma

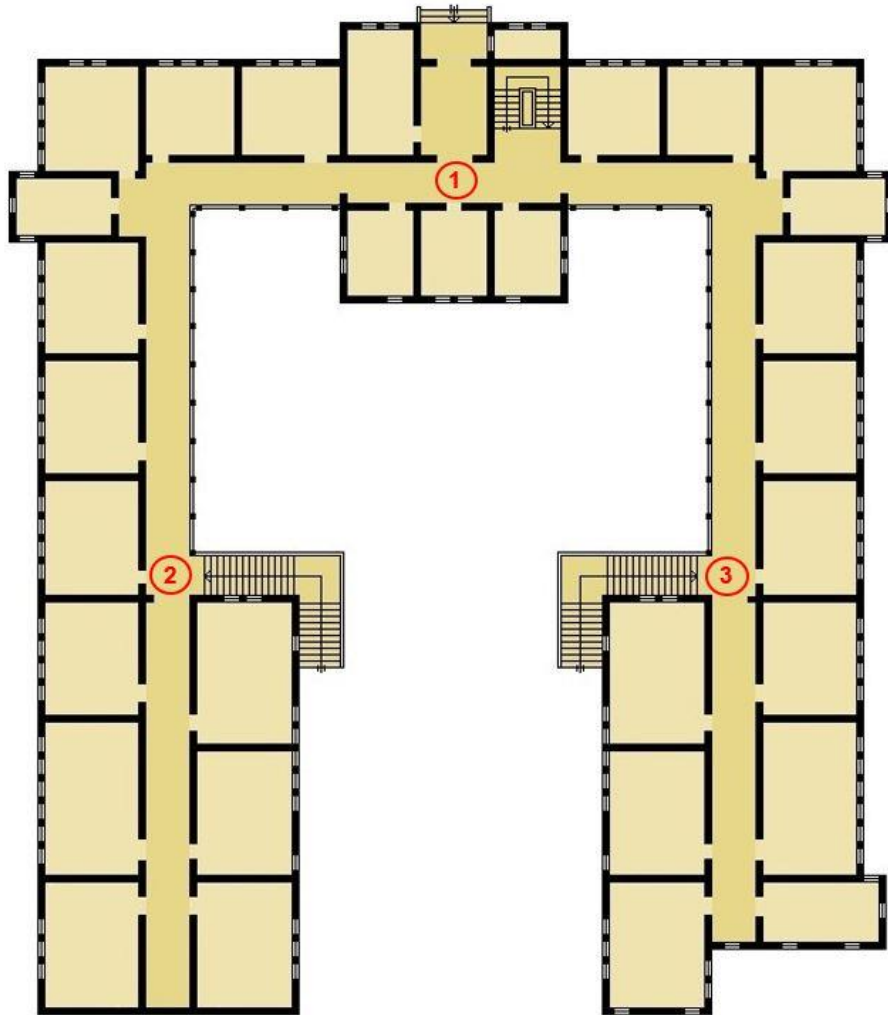
3.1. Mimari ve Yapısal Özellikler

1913 yılında “Antakya İdadisi” adıyla Asi Nehri’nin batı yakasında bugünkü müzenin yerinde kurulan Antakya Lisesi, 1931-1932 öğretim döneminde bugünkü yerine taşınmıştır (Şekil 3). Antakya Lisesi Antakya’daki ilk Ortaöğretim Kurumu olma özelliğine sahiptir (MEB, 2023). Antakya’da, 1938 yılına kadar, yirmi yıl boyunca Fransız Mandası hüküm sürmüştür. Bu dönemde bölgede yeni eğitim yapıları inşa edilmiştir. İnşa edilen eğitim yapılarının çoğu işlev değiştirmiş eski yapıların yıkılarak yerine yapılmasıyla oluşturulmuştur. Bu yapılardan en önemlisi “*Ecole des Soeurs-Fevzi Çakmak İlkokulu*” dur. Özgün mimarisi ile günümüze kadar ulaşmış ender yapılardan biri olma özelliği sebebiyle dönem yapılarına yönelik bilgi ve belge değeri bulunmaktadır. Antakya Lisesindeki U şeklindeki açık avlu kurgusu Fevzi Çakmak İlkokulunda da görülmektedir. Aynı plan özellikleri Halep’te bulunan Terre Saint Koleji (College de Terre Saint) ve Suriye Lazkiye’de 1933 yılında inşa edilen Fransız Karmelit Kız Kardeşler Okulunda da (*École des Soeurs Carmélites Françaises*) görülür (Rifaioğlu, 2020).

İki katlı yapının alt katındaki strüktürel duvarları moloz taş, üst katında ise yatay delikli tuğladır. U biçiminde açık avlulu bir plan şemasına sahiptir. Şekil 4’de görülen plan şemasında 1 nolu kolda ana giriş ve idari birimler, 2 ve 3 nolu kollarda derslikler bulunmaktadır. Avluya bakan cephelerin bazı kısımlarında betonarme sütunlu açık koridorlar bulunur. 2 ve 3 nolu kolların alt uç kısımlarında plan düzleminde simetriyi bozan bazı farklılıklar olmakla birlikte, bunun dışındaki kısımlarda iç-dış duvarların ve modüler büyüklükteki pencerelerin konumunun aynı olması yapıya simetrik bir özellik kazandırmaktadır. Taşıyıcı duvarların düşeyde sürekli olması ve her iki katta da pencere büyüklükleri ile konumunun aynı olması nedeniyle yapının her iki katının planı aynı kurgudur. Yapı kompleksinin sınır boyutları 1 nolu kol doğrultusunda 55.00 m, 2 ve 3 nolu kol doğrultusunda 60.00 m civarındadır. Yapının yüksekliği döşeme üst kotundan döşeme üst kotuna 3.50 metredir. Yapının temel birimi niteliğindeki dersliklerin plandaki boyutları 5.50-6.50 ve 5.50-8.00 m boyutundadır. İdari birimlerde bulunan mekanlar 3.50-5.00 ve 3.50-6.00 metre seviyesinde iken, koridor genişlikleri 3,00 metredir. Yapının cephe kurgusunda sıkça konumlandırılmış dikdörtgen pencereler mevcuttur. Eğitim yapılarında sıkça uygulanan yatay pencere boşluğu burada düşey bir orana sahiptir. Yığma yapılarda nadiren rastlanan betonarme düşey hatılar her pencere boşluğunun iki kenarında uygulanmıştır. Döşeme sistemi betonarme plaktır ve taşıyıcı iç ve dış duvar kısımlarında betonarme hatıllarla desteklenmektedir. Dersliklerde betonarme döşemeler kısa doğrultuda kirişlerle 2 metre aralıklarla desteklenmektedir.



Şekil 3. Antakya Lisesi genel görünümü



Şekil 4. Mimari plan (Üst Kat)

3.2. Hasar Türleri

Söz konusu depremlerin etkisiyle Antakya Lisesinin bazı kısımlarında kısmen ve tamamen göçme görülürken, bazı kısımlarda ağır hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 5). Yapıda görülen tüm hasar türleri ile görülme sıklığının yapının farklı kollarına ve katlarına göre dağılımı Çizelge 1’de görülmektedir.



Şekil 5. a) Depremin genel etkisi b) Kısmi göçme c) Tamamen göçme d) Ağır hasar

Yıkıcı hasar türleri bakımından yapı incelendiğinde 2 No.lu kolda tamamen göçme meydana geldiği görülmektedir. Daha az etkilenen 1 No.lu kolun giriş cephesinin üst katı tamamen göçmüş, alt kat ayakta kalabilmiştir. Aynı kolun orta avluya bakan kısmının iki katında da göçme meydana gelmemiştir. 3 No.lu kolda yıkıcı etkinin en az seviyede olduğu söylenebilir. Hemen hemen simetrik bir plan biçimine ve eşit seviyedeki saydamlık oranına rağmen, yapının bir kolu tamamen yıkılırken, diğer kolunda diyagonal kalın çatlakların ve duvarların düzlem dışı devrilme hasarlarının meydana gelmesi değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Çizelge 1’de 2 No.lu kolun tamamen göçme hasarına ek olarak aynı zamanda duvarların düzlem dışı devrilme hasarının yoğun bir şekilde etkili olduğu varsayımının nedeni düzlem dışı devrilmenin göçme mekanizmasının başlangıcını oluşturmasıdır. Dış duvarlarda düzlem dışı devrilme 3 No.lu kola ait dış duvarların köşe kısımlarında ve iç-dış duvar birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.

Çizelge 1. Hasar türleri ve görülme sıklığının farklı kollara ve katlara göre dağılımı

Hasar türleri	1. kol		2. kol		3. kol	
	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat
Dış duvarda diyagonal çatlak	2	3	-	-	2	3
İç duvarda diyagonal çatlak	2	-	-	-	2	3
Dış duvarda düşey düzlemde ayrılma	0	1	-	-	0	1
İç duvarda düşey düzlemde ayrılma	0	0	-	-	0	0
Kapı ve penc. köşelerinde diyagonal çatlak	2	3	-	-	3	3
Köşelerde kısmi göçme	0	0	-	-	0	3
Dış duvarda düzlem dışı devrilme	0	2	3	3	0	1
İç duvarda düzlem dışı devrilme	1	2	-	-	2	3
Dış ve iç duvarda tamamen göçme	0	2	3	3	0	2

-: göçme kaynaklı veri yok 0: hasar yok 1: nadiren 2: orta 3: yüksek

3.3. Hasar Nedenleri

Antakya Lisesi farklı taşıyıcı duvar malzemelerinin nadiren aynı yapıda kullanıldığı sıra dışı bir örnektir. Buna bağlı olarak, yapının deprem davranışında hangi malzemenin nasıl bir performans gösterdiği de türüne az rastlanan bir vaka çalışması niteliğindedir. Çalışma kapsamında mimari, yapısal kuruluş ve malzeme özelliklerine bağlı olarak deprem performansı değerlendirilmiştir. Öncelikle yüksek saydamlık oranına rağmen yapının büyük bir bölümünün ayakta kalmasının temel nedeninin rijit diyafram davranışı gösteren betonarme döşeme sistemi olduğu söylenebilir. Elazığ şehir merkezindeki iki katlı, yığma taşıyıcı sistemli Atatürk İlköğretim Okulunun cephe düzenindeki yüksek saydamlık oranına rağmen 2020 yılında meydana gelen Sivrice merkezli depremi hasarsız atlattığının önemli nedenlerinden birisi rijit diyafram davranışı gösteren betonarme döşeme sistemidir (Çelik ve diğerleri, 2020). Türkiye’de geçmiş depremlerde kırsal bölgelerdeki yığma yapıların hasar mekanizmaları incelendiğinde, taşıyıcı dış duvar bileşenlerinin malzemesi, formu ve örgü sistemi kadar döşeme ve hatıl sisteminin önemi görülmektedir. Ahşap döşeme ve hatıl sistemine sahip yapılarda döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterememesine bağlı olarak yıkıcı etkinin arttığı görülmektedir (Çalayır ve diğerleri, 2012; Sayın ve diğerleri, 2013; Bayraktar ve diğerleri, 2016; Aras ve Düzci, 2018; Göçer, 2020a). Son yirmi yılda Türkiye ve çevresinde meydana gelen depremlerde yığma yapılarda dış duvarların köşe birleşimlerinde ayrılma hasarının veya dış duvarın düzlem dışı devrilme hasarının temel nedenlerinden birisi ahşap hatıl sistemidir (Adanur, 2010; Göçer, 2020b; Göçer, 2020c; Dogan ve diğerleri, 2021; Günaydın ve diğerleri, 2021). Betonarme hatıl destekli döşeme ağır oluşunun getirdiği dezavantajlı duruma rağmen, deprem etkisi altında yapının stabilitesini artırması nedeniyle dış duvarın düzlem dışı devrilme riskini azaltmaktadır. Buna bağlı olarak düşeydeki taşıyıcı duvardaki yatay ötelenme de sınırlı kalmıştır. Pencere kenarlarında bulunan düşey hatıllar da yıkıcı etkinin azalmasında önemli bir rol oynamıştır.

Yapının iç avlu kısmına bakan betonarme kolonlu açık koridor kısımları strüktürel bakımdan kendi içinde bir iskelet yapı kurgusuna sahip olmakla birlikte, yığma strüktürlü kapalı mekanlara sahip kütle ile koridor kısmının döşeme ve hatılları bütünleşik bir yapıdadır. Bu nedenle çerçeveli kısım ile yığma strüktürlü kısım deprem etkisi karşısında paralel bir davranış sergilemiştir (Şekil 6). Bununla birlikte ayakta kalan 1 ve 3 No.lu kolların bir tarafı betonarme sütunlarla taşınan açık koridorlu kısımlarında ağır hasar olarak tanımlanan kısmi göçme ve diyagonal kalın çatlaklar iki tarafı kapalı koridora sahip kısımlara göre daha yoğun bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 6. Betonarme iskelet taşıyıcılı açık koridor kısımlarının deprem davranışı. a)3 No.lu yıkılmamış kol, b)1 No.lu yıkılmış kol, c) 2 No.lu kısmen yıkılmış kol

Benzer mimari ve yapısal özelliklere sahip iki koldan birisinin tamamen yıkılırken, diğerinin ağır hasarlı bir şekilde ayakta kalmasının temel nedeni bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harcın homojen olmayan karışımı, farklı büyüklükteki moloz taş formundaki duvar bileşeni kullanımı ve duvar örgü sistemindeki işçilik farklılıkları olabilir. Pencere kenarlarındaki betonarme düşey hatıllar duvara paralel olarak etki eden yatay deprem yüklerine karşı bir miktar dayanım sağlasa da, yüksek saydamlık oranı ve pencere altındaki tuğladan oluşan parapet kısımları düşey hatıllarda “kısa kolon” etkisi meydana getirmiştir. Bunun sonucu olarak düşey hatıllar pencere ile parapet birleşimlerinde kırılarak işlevini yitirmiştir. Şekil 7’de söz konusu kırılma noktaları görülmektedir. Şekil 8’de ise 3 No.lu birimin cephesindeki hasarlar görülmektedir. Burada da bazı düşey hatılların döşeme seviyesindeki yatay hatıllarla birleşiminde kısa kolon etkisine bağlı kopma, mafsallaşma hasarı meydana gelmiştir. Pencere boşluklarının ara kısımlarında opak dış duvarlarda X şeklinde kesme çatlakları oluşmuştur. Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre (TDY, 2018), 1,5 m² den büyük pencere alanlarının iki kenarında

düşey hatıl uygulama zorunluluğu vardır. Bu yapıda bu kurala uyulmuştur. TDY 2018 esaslarına göre planda iki mesnet tarafından mesnetlenmiş duvar boyunca tüm pencerelerin toplam alanı toplam duvar alanının %40'ını geçmemelidir. Bu yapıda pencere toplam alanı toplam duvar alanının %60'ı düzeyindedir. Gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmayı amaçlayan bu yaklaşım eğitim binalarında sıkça uygulanmaktadır. Yapını 3 No.lu kolunda % 60'lık saydamlık oranına rağmen toptan göçme meydana gelmemekle birlikte, dış-iç duvar birleşim bölgelerinde dış duvar kısmen düzlem dışı devrilmiştir. 1 No.lu kolun tamamen yıkılmasının nedenlerinden birisi de yüksek saydamlık oranı olabilir.



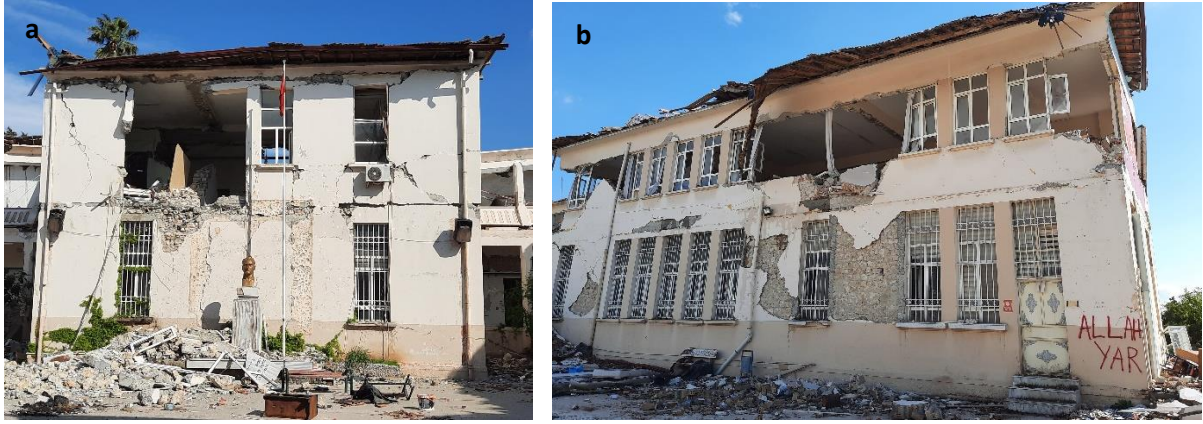
Şekil 7. Yıkılan birimdeki kısa kolon durumundaki düşey hatıllardaki kırılma



Şekil 8. Yıkılmayan birimdeki kısa kolon durumundaki düşey hatıllardaki hasarlar

Taşıyıcı dış duvarlarda düzlem dışı devrilme hasarları tek ve iki doğrultuda meydana gelmiştir. Şekil 9'da dış duvarın iç duvar ile birleşiminde iç duvarın göçmesine bağlı olarak oluşan tek doğrultuda düzlem dışı devrilme görülmektedir. Normal koşullarda, iç duvarın göçmediği durumlarda dış duvar ile birleştiği T birleşimler dış duvarda düzlem dışı devrilmeyi önleyici bir rol oynamaktadır. 2014 yılında Gökçeada açıklarında meydana gelen Mw 6,9 büyüklüğündeki depremin etkisiyle Gökçeada'daki yığma yapıların üst katlarda meydana gelen düzlem dışı devrilme hasarında iç duvarların ahşap iskelet sistemli taş dolgulu olduğu gözlenmiştir. Dış duvarın 50 cm kalınlığındaki taş malzemenen, iç duvarın ahşap iskelet sistemli taş dolgulu T birleşimlerinde iki duvar yeterince kenetlenmediği için, orta kısımlarda desteklenmeyen dış duvarlar düzlem dışı devrilmiştir. Antakya Lisesinde dış ve iç duvarlar dolu gövdeli rijit bir özelliğe sahip olduğu ve düzenli bir örgü sistemiyle birbirine bağlandığı için dış duvarda düzlem dışı devrilme hasarı daha düşük boyutta olmuştur. Düzlem dışı devrilen duvarların birleşimindeki iç duvarların da devrilmesi bu tür hasar mekanizmalarını tetiklemiştir (Göçer, 2020b). İki doğrultudaki dış duvarın düzlem dışı devrilme hasarı köşe birleşimlerinde meydana gelmiştir. Köşe noktalarındaki düzlem dışı devrilmenin başlangıç noktası köşeye yakın pencere boşluğunun alt kısımlarındaki diyagonal kesme çatlaklarıdır. Yatay yük etkisiyle bu çatlaklar derinleşerek köşedeki duvar parçasının yapıdan kopup devrilmesine neden

olmuştur (Şekil 10). Tamamen göçen veya sadece üst katı göçen birimlerde göçmenin başlangıcının dış duvarlardaki düzlem dışı devrilme olduğu söylenebilir. Her iki doğrultuda düzlem dışı devrilme hasarına rağmen ayakta kalan blokta bazı bölgelerde düşey ve yatay hatlarla desteklenen betonarme döşeme konsol bir pozisyonda kalarak yapıyı ayakta tutabilmiştir. Betonarme döşemenin rijit diyafram davranışı dış duvarlardaki burulma etkisini önemli ölçüde azaltmıştır.



Şekil 9. Dış duvarın ara bölgelerinde tek doğrultulu düzlem dışı devrilme a) 2 No.lu kol, b) 3 No.lu kol



Şekil 10. Dış duvarın köşe bölgelerinde iki doğrultudaki düzlem dışı devrilme a) 3 No.lu kolun doğu cephesi b) 3 No.lu kolun batı (avlu) cephesi

Yapının zemin kat dış duvarlarında moloz taş, üst katlarında yığma duvarlar için üretilmiş yatay delikli pişmiş toprak tuğla kullanılmıştır (Şekil 11). Derslikleri birbirinden ayıran taşıyıcı iç duvarlarda ise aynı katta her iki malzemenin de uygulandığı görülmektedir (Şekil 12). Şekil 11a ve Şekil 11b örneklerinde zemin katta moloz taş ile inşa edilen dış duvarlarda sıva kopması gibi hafif hasarlar oluşurken, yatay delikli pişmiş toprak tuğla ile inşa edilen üst katlarda ağır hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 11c ve Şekil 11d örneklerindeki bloğun taş duvarlı zemin katında ciddi bir hasar meydana gelmezken, pişmiş toprak tuğlalı üst katı tamamen çökmüştür. Bu davranış biçiminin temel nedeni moloz taş duvar sisteminin daha rijit olması nedeniyle yatay yükleri karşılaması; pişmiş toprak tuğlanın ise boşluklu ve daha kırılğan olması nedeniyle yatay yüklere karşı rijitliğini koruyamamasıdır. Buna bağlı olarak tuğla duvar parçalanıp taşıyıcılığını kaybetmiştir. Benzer şekilde Şekil 12a'daki taşıyıcı iç duvarlarda da moloz taş duvarlarda yıkıcı bir hasar oluşmazken, Şekil 12b'de boşluklu tuğlanın üst kısımlarında daha yüksek atalet momenti etkisiyle düzlem dışı devrilme meydana gelmiştir. 2021 yılında Sivrice'de meydana gelen Mw 6,8 büyüklüğündeki depremde yığma yapılarda düşey doğrultuda yatay hatlarla desteklenen taş yığma duvarlarda yıkıcı hasarların meydana gelmediği gözlenmiştir (Dogan, 2021).

Şekil 12b'deki kısmen yıkılmış iç duvar düzgün formlu tuğla bileşenlere ve düzenli bir örgü sistemine sahip olmasına rağmen, düşey doğrultuda bir metre aralıklarla yatay hatıllarla desteklenseydi bu tür hasar meydana gelmezdi.



Şekil 11. Taşıyıcı dış duvarlarda alt kattaki moloz taş ve üst kattaki yatay delikli pişmiş toprak tuğla uygulamasına bağlı hasar düzeyleri a) 3 No.lu kolun avlu cephesi, b) 3 No.lu kolun güney cephesi, c) 2 No.lu kolun doğu cephesi, d) 2 No.lu kolun kuzey (giriş) cephesi



Şekil 12. Taşıyıcı iç duvarlarda farklı malzeme uygulamalarına bağlı hasar düzeyleri a) moloz taş b) yatay delikli pişmiş toprak tuğla

Dış duvar örgü sistemi bakımından taşıyıcı duvarlar incelendiğinde taş bileşenin moloz taş formunda olması yatay ve düşey yüklerin taşınması bakımından olumsuz bir özelliktir. Bu tür duvarlarda duvar düzlemine paralel deprem yükleri karşısında diyagonal kesme çatlaklarının oluşma riski dikdörtgen formlu kesme taş uygulamalarına oranla daha yüksektir. Duvar düzlemine dik gelen yatay yükler karşısında moloz taşların bu doğrultuda düzenli örgü sistemi her zaman sağlanamadığı için yüzeyde kopma ve düzlem dışı devrilme hasarları meydana gelebilmektedir. Ortalama 30 cm kalınlığındaki taş

duvarlarda duvara dik doğrultuda birbirinden farklı büyüklükte taş bileşenlerle şaşırtmalı bir örgü sistemi oluşturmak da zor bir uygulamadır. Bazı bölgelerde duvar kesiti boyunca şaşırtmalı bir örgü yapılabile bile, homojen bir şekilde tüm bölgelerde şaşırtmalı uygulamanın yapılamaması duvarın düzensiz bir özellikte örgü sistemine sahip olduğunu göstermektedir. Bu kalınlıktaki duvarlarda birbirine yeterli derecede bağlanamamış, “sandık duvar” olarak da adlandırılan çift duvar kurgusu oluşabilmektedir. Bu durum genellikle yüzeyde kopma hasarına neden olmakta ve duvarın taşıyıcılık performansını zayıflatmaktadır. Bununla birlikte bu tür taş duvarların düşey ve yatay doğrultuda betonarme hatıllarla desteklenmesi duvarın deprem performansını arttırmaktadır. Bunlara ek olarak bağlayıcı harcın toprak esaslı olmayıp, çimento esaslı olması depreme karşı dayanım bakımından diğer olumlu bir özelliktir. Bununla birlikte, yapımda kullanılan harcın geleneksel yöntemlerle hazırlanması karışımdaki çimento oranının değişken olduğu şüphesini de beraberinde getirmektedir. Şekil 13a’da Antakya Lisesinin bu özelliklere sahip taş duvarları ile çimento esaslı bağlayıcı harcı ve betonarme hatılları görülmektedir.

Üst kat dış duvarlarında ve iç duvarlarda 30 cm kalınlığındaki taşıyıcı iç duvarlarda yatay delikli pişmiş toprak tuğla iki doğrultuda da düzenli bir örgü sistemine sahiptir (Şekil 13b). Bu tür bileşenin de örülmesinde çimento esaslı harç kullanılmıştır. Buna rağmen boşluklu ve kırılğan yapısı nedeniyle üst katlardaki tuğla duvarlar taş duvarlar kadar deprem yüklerine karşı dayanım sağlayamayıp parçalanmıştır. Bazı iç bölme duvarlarında da kullanılan tuğla duvar duvara paralel bir şekilde tek sıra, ince bir şekilde örülmüştür. Üst kattaki tamamen göçmenin diğer nedeni de alt kata göre duvarlarda oluşan daha yüksek atalet momentidir.



Şekil 13. Taşıyıcı dış duvarlarda örgü sistemi a) taş b) pişmiş toprak tuğla

3.4. Genel Değerlendirme

Önceki bölümde hasar türlerinin nedenlerine ilişkin yapılan değerlendirmelere ek olarak her hasar türünün olası tüm nedenlerini ve etkinlik derecelerini değerlendirmek yararlı olacaktır. Çünkü yapısal kuruluş ve malzeme özelliklerine ait her olumsuzluğun oluşan birçok hasar mekanizmasında çeşitli derecelerde etkinliği söz konusudur. Hasar türlerine göre hasar nedenlerinin etkinlik derecesinin katlara göre dağılımı Çizelge 2 'de görülmektedir. Tamamen göçen 2 No.lu kolda yıkıcı etkiyi tetikleyen öncü hasar mekanizmalarını belirlemek mümkün olmadığı için bu bölümdeki derecelendirmede kısmen göçen ve ağır hasarlı 1 ve 3 No.lu koldaki hasar mekanizmaları dikkate alınmıştır. “Etkisiz (hasarsız), az etkili, orta etkili ve çok etkili” olarak belirlenen etkinlik derecesi sırasıyla 0, 1, 2 ve 3 olarak puanlanmıştır. Kuşkusuz her olumsuz parametrenin tüm hasar türlerinin oluşmasında bir etkinliği söz konusudur. Ancak bu çalışmada hasar görülmeyen katlarda hasar nedenlerinin etki derecesi 0 olarak tanımlanmıştır. Etki derecesi 1 olan durumlar dolaylı etkiyi ifade etmektedir. Örneğin zayıf köşe birleşimlerinin pencere kapı boşluklarının köşelerinde oluşan çatlaklara etkisi birincil bir neden değildir. Ancak dış duvardaki düzlem dışı devrilmelere bağlı olarak yatay ötelenme arttığı için yapı daha fazla deforme olmakta; buna bağlı olarak pencere ve kapı boşluklarının köşelerinde diyagonal çatlak oluşumu hızlanmaktadır. Bu dolaylı etki 1 olarak derecelendirilmiştir. Etki derecesi 2 olan durumlar doğrudan etkiyi tanımlamakla birlikte, hasarın

oluşumundaki diğer etkenleri ifade etmektedir. Örneğin köşelerde dış duvarın birbirinden düşey düzlemde ayrılmasında saydamlık oranı önemli bir etken olmakla birlikte, pencere boşluğu olmayan duvarlarda da bu tür hasarların oluşumu söz konusudur. Etki derecesi 3 olan durumlarda oluşan hasarın nedeni olarak ilgili parametrenin tek başına etkin bir rol oynaması söz konusudur.

Çizelge 2. Hasar türlerine göre hasar nedenlerinin etkinlik derecesi

Hasar türleri	Hasar nedenleri											
	düzensiz örgü sistemi		zayıf harç		duvar bileşeni biçimsel ve boyutsal özelliği		zayıf köşe birleşimi		saydamlık oranı		zayıf duvar birleşimleri	
	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat	alt kat	üst kat
Dış duvarda diyagonal çatlak	3	1	3	3	3	3	1	1	1	3	2	2
İç duvarda diyagonal çatlak	1	1	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2
Dış duvarda düşey düzlemde ayrılma	2	2	3	3	3	3	1	3	0	2	0	3
İç duvarda düşey düzlemde ayrılma	3	2	3	3	2	2	1	1	1	1	3	3
Kapı ve pencere köşelerinde diyagonal çatlak	2	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Köşelerde kısmi göçme	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3
Dış duvarda düzlem dışı devrilme	0	2	0	3	0	3	0	2	0	3	0	3
İç duvarda düzlem dışı devrilme	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2
Dış ve iç duvarda tamamen göçme	3	2	3	3	0	3	3	3	2	3	0	3

0: etkisiz (hasarsız) 1: az etkili 2: orta etkili 3: çok etkili

4. Sonuç ve Öneriler

06.02.2023 tarihinde, Kahramanmaraş merkezli Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde meydana gelen depremlerin etkisiyle Antakya Lisesi'nde oluşan hasarların gözlemsel verilere dayalı olarak değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Antakya Lisesi binasının simetrik mimari düzeni, betonarme taşıyıcı açık koridor mekanları, taş ve yatay delikli pişmiş toprak tuğlanın taşıyıcı yağma duvarlarda bir arada kullanıldığı strüktürel kuruluşu, düşey hatılın sıkça uygulandığı yüksek saydamlık oranına sahip cephe düzeni ile geleneksel mimarinin kendine özgü, özgün bir örneğini teşkil etmektedir.
- Deprem etkisiyle aynı mimari ve yapısal özellikteki birimlerin birisi yıkılırken, diğeri ağır hasarlı bir şekilde ayakta kalabilmiştir. Bunun nedenleri bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harcın homojen olmayan karışımı, farklı büyüklükteki moloz taş formundaki duvar bileşeni kullanımı ve duvar örgü sistemindeki düzensizliklerdir.
- Pencere kenarlarındaki betonarme düşey hatıllar duvara paralel olarak etki eden yatay deprem yüklerine karşı önemli ölçüde performans sağlasa da, düşey hatıl aralarındaki dolu gövdeli parapet duvarları nedeniyle betonarme iskelet strüktürlerde görülen "kısa kolon" etkisi meydana gelmiştir. Bazı parapet üst köşelerinde düşey hatıllar kırılarak taşıyıcılığını kaybetmiştir.
- Taşıyıcı dış duvarlarda düzlem dışı devrilme hasarları ara kısımlardaki tek doğrultuda, duvar köşe birleşimlerindeki iki doğrultuda meydana gelmiştir. Tek doğrultuda düzlem dışı devrilme dış duvarın iç duvar ile birleşiminde iç duvarın göçmesine bağlı olarak meydana gelmiştir. İki

doğrultudaki düzlem dışı devrilme dış duvar köşe birleşimlerinde pencere köşelerinde başlayan diyagonal kesme çatlakları nedeniyle oluşmuştur.

- Aynı bloğun avlu cephesinde her iki köşesinde ve orta bölgelerinde dış duvarın düzlem dışı devrilme hasarına rağmen yapının göçmemesinin nedeni bazı bölgelerde yatay ve düşey hatıllarla desteklenen betonarme döşemedir. Betonarme döşeme özellikle köşe bölgelerinde düzlem dışı devrilme nedeniyle desteksiz kalan yapının ayakta kalmasını sağlamıştır. Ayrıca, betonarme döşemenin rijit diyafram davranışı dış duvarlardaki burulma etkisini önemli ölçüde azaltmıştır.
- Yapının zemin katında moloz taş ile inşa edilen dış duvarlarda sıva kopması gibi hafif hasarlar oluşurken, üst katta yatay delikli pişmiş toprak tuğla ile inşa edilen dış duvarlarda tamamen göçme ile sonuçlanan hasarlar meydana gelmesinin temel nedeni moloz taş duvar sisteminin daha rijit olması nedeniyle yatay yükleri karşılaması; pişmiş toprak tuğlanın ise boşluklu ve daha kırılğan olması nedeniyle yatay yüklere karşı rijitliğini koruyamaması şeklinde açıklanabilir.
- Taş bileşenlerin farklı büyüklükte ve moloz taş formunda olması düzensiz bir duvar örgü sistemi anlamına gelmekle birlikte, bağlayıcı harcın çimento esaslı olması taş duvarlarda yüzeyde kopma ve dağılma şeklinde görülen hasarların oluşumunu önlemiştir. Üst katlarda kullanılan yatay delikli pişmiş toprak tuğla dikdörtgen formu ve standart bir özellikte olmasına rağmen boşluklu ve kırılğan yapısı nedeniyle deprem yükleri karşısında parçalanıp yıkılmıştır. Üst kısımlarda artan atalet momenti de yıkıcı etkiyi hızlandırmıştır.

Antakya Lisesinde deprem etkisiyle meydana gelen hasar türleri ve nedenlerine ilişkin değerlendirme sonuçları, benzer özellikteki geleneksel yapı ve yapım sistemleri ile inşa edilmiş mevcut binaların büyük depremler karşısındaki davranışının önceden değerlendirilebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi bakımından önemlidir. Özellikle duvar kalınlığı, duvar bileşeninin fiziksel özellikleri bakımından yetersizliklerin ve duvar örgü sistemindeki düzensizliklerin, zayıf bağlayıcı harcın söz konusu olduğu benzer mimari ve yapısal özelliklere sahip yapılarda güçlendirmeye yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi ve uygulanması yararlı olacaktır. Ayrıca, bu özelliklere sahip yapılarda dış duvar köşe birleşimlerinde ve iç-dış duvar birleşimlerinde güçlendirmeye yönelik gerekli önlemler de alınmalıdır.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makalede tüm yazarlar aynı oranda katkıda bulunmuştur. Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Adanur, S. 2010. Performance of masonry buildings during the 20 and 27 December 2007 Bala (Ankara) earthquakes in Turkey. *Nat. Haz.*, 10 (12): 2547–2556. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2547-2010>.
- AFAD, (2023). 06 Şubat 2023 Pazarlık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, T. C. İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Aras, F. ve Düzci, E. (2018). Seismic Performance of Traditional Stone Masonry Dwellings under Çanakkale Seismic Sequences. *J. Perform. Constr. Facil.* 32(4): 04018029.
- Bayraktar, A., Coşkun, N. & Yalcın, A. (2007). Damages of Masonry Buildings During the July 2, 2004 Doğubayazıt (Ağrı) Earthquake in Turkey, *Eng. Fail. Anal.*, 14(1):147-57.

- Bayraktar, A., A. C. Altunışık, & M. Muvafık. (2016). Field investigation of the performance of masonry buildings during the October 23 and November 9, 2011, Van Earthquakes in Turkey. *J. Perform. Constr. Facil.* 30 (2): 04014209.
- Bayülke, N. (1992). *Masonry Structures*, Ministry of Public Works and Settlement General Directorate of Disaster Affairs Earthquake Research Department, Ankara, Turkey: Disaster and Emergency Management Presidency.
- Celep, Z., Erken, A., Taskin, B. & Ilki, A. (2011). Failures of Masonry and Concrete Buildings During the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) Earthquakes in Turkey, *Eng. Fail. Anal.*, 18(3):868-89.
- Celik, O., C., Bal, A., Atasever, K., Emanet, S., & Koca, S. (2020). 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya)-Sivrice (Elazığ) Depremi'nden Gözlemler (Mw 6.7-Doğu Anadolu Fay Zonu), *Beton Prefabrikasyon*, 134:5-28.
- Çalayır, Y., Sayın, E. ve Yön. B. (2012). Performance of structures in the rural area during the March 8, 2010 Elazığ-Kovancılar earthquake. *Nat. Hazards* 61:703–717. <http://doi.10.1007/s11069-011-0056-6>.
- Damcı, E., Temur, R. Bekdaş, G. ve Sayın. B. (2015). Damages and causes on the structures during the October 23, 2011 Van earthquake in Turkey. *Case Stud. Constr. Mat.* 3:112-131.
- Doğan, M. (2013). Failure of Structural (RC, Masonry, Bridge) to Van Earthquake, *Engineering Failure Analysis*, 35(6):489-98.
- Dogan, G., Ecemis, A.S., Korkmaz, S.Z., Arslan, M.H., & Korkmaz, H.H., (2021). Buildings Damages after Elazığ, Turkey Earthquake on January 24, 2020. *Nat. Haz.* 109: 161–200. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04831-5>
- Göçer, C.(2020a). Structural evaluation of traditional masonry buildings during the February 6 - 12, 2017 Ayvacık (Çanakkale) earthquakes in Turkey. *ITU A/Z*, 17(3) (2017):1-12.
- Göçer, C. (2020b). Structural evaluation of masonry building damages during the April 24, 2014 Gökçeada earthquake in the Aegean Sea. *Bull. Earthquake Eng.*, 18: 3459–3483 <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00833-z>
- Göçer, C., (2020c). Field Investigation of the Performance of Unreinforced Masonry Building Structures during the June 12, 2017, Lesvos Earthquake in the Aegean Sea, *J. Perform. Const. Facil.*, 34(5): 1-15, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001497](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001497)
- Gülkan, P. ve Sucuoglu, H. (1989). Assessment of earthquake damage in rural buildings. Report no. 89-02. Earthquake Engineering Research Center, METU Ankara
- Günaydın, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunışık, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., Ateş Ş.,& Angın, Z., (2021). Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bull. Earthquake Eng.*, 19:2421–2456. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01073-5>
- İnel, M., Özmen, H., B. ve Akyol, E. (2013). Observations on the building damages after 19 May 2011 Simav (Turkey) earthquake. *Bull Earthq Eng* 11(1):255-283
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). (2023). Antakya Lisesi, Antakya. Erişim adresi (10.07.2023): https://antakyaanadolulisesi.meb.k12.tr/tema/okulumuz_hakkinda.html
- Rifaioğlu, M, N. (2020). Antakya'da Fransız Mandası dönemi eğitim yapısının oluşum ve dönüşüm sürecinin mimari analizi, *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 21(1):73-89. DOI: 10.22520/tubaked.2020.21.004, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubaked/issue/56829>
- Sayın, E., Yon, B., Calayır, Y., Karaton, M. (2013). Failures of masonry and adobe buildings during the June 23, 2011 Maden-(Elazığ) earthquake in Turkey. *Eng Fail Anal* 34(6):779-791

- Şengel, HS, Dogan, M. (2013) Failure of buildings during Sultandağı Earthquake. *Eng. Fail. Anal.* 35(6):1-15. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.09.011>
- Tapan M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., İlki, A. (2013) Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Eng. Fail. Anal.* 34(6):606-628. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.02.013>
- TDY (Türkiye Deprem Yönetmeliği). (2018). Deprem bölgelerinde yapılacak binaların özellikleri, Türkiye: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

Antakya High School: A Unique Example of How A Traditional Building System Performs in An Earthquake

Summary

1. Introduction

As a country where great earthquakes have occurred throughout history, Turkey is located on active fault zones. While reinforced concrete skeleton system buildings situated in city centers have sustained little to moderate damage as a result of medium-sized earthquakes occurring in Turkey from the past to the present, the same cannot be said for masonry structures found in rural areas. The destruction sustained in earthquakes is greater, particularly with masonry structures erected with stone materials. Due to its easy availability in the region, low transportation costs, and positive features in terms of sustainability of local architecture, stone materials have been widely used as the main component of the masonry system in building construction throughout Turkey until the 1970s. Two powerful earthquakes with magnitudes of Mw 7.7 and Mw 7.6, with epicenters of Pazarcık (Kahramanmaraş) and Elbistan (Kahramanmaraş), struck 11 hours apart on 06.02.2023, at 04:17 and 13:24 Turkish time (GMT +3 hrs). In terms of intensity and surface area covered, these were unprecedented natural disasters. Having wreaked great destruction in 11 provinces, these quakes dealt heavier casualties, particularly in Antakya, home to a large number of buildings that were erected with traditional building systems and local materials.

In this study, assessments regarding various damage mechanisms and causes based on post-earthquake *in situ* observation and investigative data were carried out at Antakya High School. Assessment results of this study will contribute towards foreseeing the impact of future major earthquakes will have on stone structures with similar characteristics, as well as in taking the necessary precautions.

2. Materials and Methods

This study covered the structural behavior of Antakya High School in regards to the impact of the Kahramanmaraş earthquakes evaluated within the framework of data that was obtained through *in situ* observation. While the primary objective of these assessments was to determine the damage types and mechanisms, the probable causes of damage were also evaluated and discussed.

The type of damage sustained at Antakya High School is similar to that found in stone buildings built with the masonry building system in past earthquakes. However, the symmetrical architectural layout of the building, open corridor spaces with reinforced concrete supports, a structural setup in which stone and horizontally perforated *terracotta* brick materials are used together in load-bearing masonry walls, as well as a facade layout with a high transparency ratio where vertical beams are frequently applied, all constitute a uniquely original example of traditional architecture. This study was limited to the determination of the assessment data in which damage mechanisms were discussed together with the possible causes as per the structure's unique characteristics. Defining architectural and structural features, determining the types of damage and their frequency of occurrence, evaluating the causes of damage, and revealing the degree of effectiveness of the causes of damage according to the types of damage constitute the basic steps of the study process. As an evaluation method, literature, earthquake regulations and comparative analysis data were taken into consideration.

3. Findings and Discussion

3.1. Architectural and Structural Features

The structural walls of the two-storey building are made of rubble stone on the lower floor and horizontally perforated brick on the upper floor. It has a U-shaped plan with an open courtyard. In the plan diagram shown in Figure 4, there are main entrance and administrative units in arm 1, and classrooms in arms 2 and 3. Some parts of the facades facing the courtyard have open corridors with reinforced concrete columns. Although there are some differences that disrupt the symmetry in the

plan plane at the lower end parts of arms 2 and 3, the fact that the location of the interior and exterior walls and modular sized windows are the same in the other parts gives the building a symmetrical feature. Since the load-bearing walls are vertically continuous and the window sizes and positions are the same on both floors, the plan of both floors of the building is the same. The boundary dimensions of the building complex are around 55.00 m in the direction of branch no. 1 and 60.00 m. in the direction of branch no. 2 and 3. The height of the building is 3.50 meters from the top floor level to the top floor level. The planned dimensions of the classrooms, which are the basic units of the building, are 5.50-6.50 and 5.50-8.00 m. While the spaces in the administrative units are at the level of 3.50-5.00 and 3.50-6.00 meters, the corridor widths are 3.00 meters. There are frequently placed rectangular windows on the façade of the building. The horizontal window space, which is frequently applied in educational buildings, has a vertical ratio here. Reinforced concrete vertical beams, which are rarely seen in masonry buildings, were applied on both sides of each window opening. The floor system is a reinforced concrete slab and is supported by reinforced concrete beams on the load-bearing inner and outer wall sections. Reinforced concrete floors in the classrooms are supported by beams in the short direction at 2 meter intervals.

3.2. Damage Types

As a result of the earthquakes in question, some parts of Antakya High School partially and completely collapsed, while some parts suffered severe damage. When the structure is examined in terms of destructive damage types, it is seen that a complete collapse occurred in unit number 2. The upper floor of the entrance façade of unit no. 1, which was less affected, completely collapsed, but the lower floor survived. No collapse occurred on the two floors of the part of the same branch overlooking the central courtyard. It can be said that the destructive effect is at the lowest level in unit no. 3. Despite an almost symmetrical plan form and equal level of transparency, one arm of the building collapsed completely while the other arm experienced diagonal thick cracks and out-of-plane toppling damage of the walls, which is an important issue to be evaluated. Out-of-plane toppling of the exterior walls occurred in the corner parts of the exterior walls of unit no. 3 and in the interior-exterior wall junction areas.

3.3. Evaluation of the Causes of Damage

The earthquake performance in regards to architectural, structural, system and material properties was taken up holistically within the scope of this study. The primary reason the structure was not subjected to a higher level of collapse despite its high transparency rate was due to the reinforced concrete slab system which exhibited rigid diaphragm behavior. As a consequence, this limited the horizontal displacement on the vertical load-bearing wall. The vertical beams on the windowsills were another crucial factor in reducing the destructive impact.

Although the open corridor sections with reinforced concrete columns facing the inner courtyard of the building feature a skeletal structure within themselves, the floor and beams of the corridor part and the mass with masonry structured enclosed spaces are inside an integrated structure. Thus, both the framed and masonry structured sections exhibited parallel behavior against the earthquake effect.

Despite its symmetrical plan, one wing of the building collapsed entirely, only the upper floor was completely destroyed in one wing, while out-of-plane tipping damage occurred at various points on the other wing. The main reason one of the two wings with similar architectural characteristics collapsed completely while the other remained heavily damaged probably has to do with the non-homogeneous mixture of the mortar used as the binding agent, use of masonry components in the form of rubble stones of different sizes, and various applications in the masonry system. Although the reinforced concrete vertical beams on the windowsills provide some resistance against the horizontal earthquake loads swaying parallel to the wall, the fact that surfaces other than the vertical bond beam forming the window space created an effect akin to the 'short column' effect upon the vertical beams. As a result of this, the vertical beams broke off from the parapet parts under the window, causing them to lose their function.

Out-of-plane tipping damage on the load-bearing external walls occurred uni-direction in the intermediate portions and bi-directional in the wall corner joints. Out-of-plane tipping occurred uni-direction at the external wall / internal wall junction, due to the collapse of the internal wall. Out-of-plane tipping damage of the external wall occurred bi-directional at the corner joints. The starting point of out-of-plane tipping at corner points is diagonal shear cracks near the corner of the lower parts of the window opening. These cracks turned into breakage and caused the wall piece in the corner to break from the structure and topple over with the effect of horizontal load. It can be said that the beginning of the movement in the units that collapsed completely or whose upper floors collapsed was the out-of-plane tipping of the external walls. Despite the bi-directional out-of-plane tipping damage, the reinforced concrete flooring supported by vertical and horizontal beams in some portions of the block aided in maintaining the building standing in a cantilever position. The rigid diaphragm behavior of the reinforced concrete slab was also responsible for significantly reducing the torsion effect on the external walls.

While rubble stone was utilized on the ground floor exterior walls of the building, horizontally perforated terracotta bricks produced for masonry walls were used on the upper floors. It is observed that both materials are applied on the same floor in load-bearing interior walls separating classrooms from each other.

While slight damage such as plaster rupture occurred on external walls erected with rubble stone on the ground floor, heavier damage was sustained on the upper floors built with horizontally perforated *terracotta* bricks. While no serious damage to the ground floor with stone walls was sustained in one block, the upper floor of the same block with *terracotta* bricks completely collapsed. The main reason for this behavior was due to the rubble masonry system being more rigid which could meet horizontal loads.

On the other hand, due to its hollowness and brittle nature, *terracotta* brick is unable to maintain rigidity against horizontal loads, which can be explained as breaking down and losing its support capacity. Similarly, while no destructive damage to the rubble stone walls on the load-bearing interior walls was sustained, out-of-plane tipping occurred in the upper sections of the hollow brick with the impact of higher moment of inertia.

When the external wall mesh system of the bearing walls is examined, the rubble stone component, has a negative effect on supporting horizontal and vertical loads. With such walls, the risk of diagonal shear cracks posed by earthquake loads parallel to the wall plane is higher than in rectangular cut stone applications. As the regular mesh system of the rubble stones cannot always be provided in this direction, the risk of surface breaking and falling out of the plane is high in relation to horizontal loads perpendicular to the wall plane.

It is a difficult practice to create a staggered mesh system with stone components of different sizes perpendicular to the wall on stone walls with an average thickness of 30-cm. Even if a staggered mesh can be accomplished along the wall section in some regions, the inability to perform a homogeneous staggered mesh in all regions indicates the wall features an irregular mesh system. In walls of this thickness, double-wall solutions of the interior and exterior can occur. This situation can generally cause breakage on the surface and weaken the supporting performance of the wall.

Nonetheless, supporting such stone walls with reinforced concrete beams in vertical and horizontal directions increases the seismic performance of the wall. Moreover, the fact the binding mortar is not soil-based, but rather cement-based is another positive feature in terms of earthquake resistance.

Terracotta bricks with horizontal holes on the external walls of the upper floor and 30-cm thick on the internal support walls of the internal walls feature a bi-directional regular mesh system. Cement-based mortar was also used in laying the brick layers. Despite this, due to their hollow and fragile structure, the brick walls on the upper floors were unable to withstand earthquake loads as much as the stone walls, and broke apart.

4. Conclusions and Recommendations

Conclusions and recommendations regarding the observational assessment of the damage sustained at Antakya High School during the earthquakes which occurred in Kahramanmaraş-centered Mw 7.7 and Mw 7.6 on 06.02.2023 are summarized below.

- The symmetrical architectural layout of the Antakya High School building with its open corridor spaces with reinforced concrete supports, the structural establishment where stone and horizontally perforated *terracotta* brick materials were used concurrently in the load-bearing masonry walls, its facade layout with a high transparency ratio where vertical beams were frequently applied, constitutes a unique and original example of traditional architecture.
- While one of the wings with the same architectural and structural features collapsed due to the earthquake, the other remained standing, albeit with severe damage. The reasons for this are; the non-homogeneous mixture of the mortar used as the binding material, the use of irregularly-sized rubble stone masonry components and the irregularities in the masonry system.
- Although the reinforced concrete vertical bond beams on the windowsills provided a modicum of resistance against horizontal earthquake loads swaying parallel to the wall, the fact that surfaces other than the vertical bond beam form the window space created a sort of 'short column' effect in the vertical beams.
- Out-of-plane tipping damage on the load-bearing external walls occurred uni-directional in the intermediate parts and bi-directional in the wall corner joints. Uni-directional, out of plane tipping occurred due to the collapse of the internal wall at the junction of the external and internal walls. The bi-directional out-of-plane tipping was caused by diagonal shear cracks that commenced at the window corners at the external wall corner joints.
- The reason the structure did not collapse despite out-of-plane tipping damage sustained at the external wall in both corners and middle sections of the courtyard facade of the same block was due to the reinforced concrete slab supported by horizontal and vertical beams in some areas. The reinforced concrete flooring managed to sustain the structure without support, especially in the corner areas. The rigid diaphragm behavior of the reinforced concrete slab greatly reduced the torsional impact on the external walls.
- While slight damage, such as ruptured plaster on the exterior walls erected with rubble stone on the building's ground floor was sustained, the main reason for damage resulting in the complete collapse on the exterior walls erected with horizontally perforated *terracotta* bricks on the upper floor was due to the fact that the rubble stone wall system is more rigid to meet the horizontal loads. This can be explained as the fact that the *terracotta* brick is unable to maintain its rigidity against horizontal loads due to its hollowness and brittle nature.
- While the fact that the stone components are in the form of rubble stone of irregular size implies an irregular masonry system, the cement-based binding mortar prevented the formation of damage in the form of rupturing and shattering of the stone wall surfaces. Although the horizontally perforated *terracotta* bricks used on the upper floors are rectangular in shape and have a regular feature, they crumbled and collapsed in the face of earthquake loads due to their hollow, fragile structure. The increasing moment of inertia in the upper portions also accelerated the destructive effect.

Regarding the types and causes of damage sustained at the Antakya High School building during the earthquakes, these assessment conclusions are important from the standpoint of evaluating the behavior of existing buildings constructed using traditional construction and building systems prior to another such major earthquake and implementing the necessary precautions. It will be useful to develop and implement solution suggestions for strengthening in buildings with similar architectural

and structural features, especially where there are deficiencies in wall thickness, physical properties of the wall component, irregularities in the masonry system, and weak binding mortar. In addition, in buildings with these features, necessary precautions should be taken to strengthen external wall corner joints and interior-exterior wall joints.

