






Investigation of in-plane and out-of-plane wall behavior related to lateral loading depending on wall profiles and opening types in Hellenistic Towers

Funda Gençer^{1*} , Mine Hamamcıoğlu-Turan² , Engin Aktaş³ 

¹Department of Architecture, Manisa Celal Bayar University, Manisa, 45040, Turkey

²Department of Architectural Restoration, Izmir Institute of Technology, Izmir, 35430, Turkey

³Department of Civil Engineering, Izmir Institute of Technology, Izmir, 35430, Turkey

Highlights:

- Construction techniques of Hellenistic Towers
- Quasi-static tilt analysis of dry masonry towers
- Effect of wall profiles and opening organizations on wall behavior under lateral loading

Keywords:

- Hellenistic tower
- Dry masonry wall
- Quasi-static tilt analysis
- Construction system
- Simulation

Graphical/Tabular Abstract

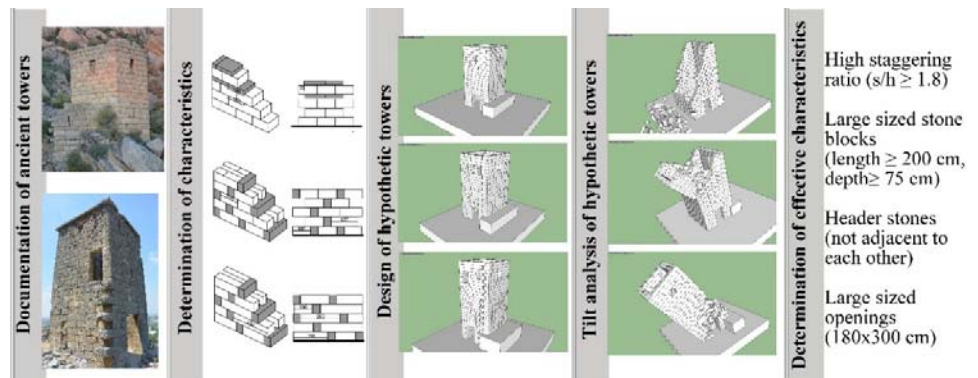


Figure A. Hypothetical process designed for the determination of the behavior of ancient dry masonry towers

Article Info:

Research Article

Received: 10.09.2018

Accepted: 12.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.458555

Acknowledgement:

This work was funded by Izmir Institute of Technology Research Fund with project number 2016G_IYTE83.

Correspondence:

Author: Funda Gençer

e-mail:

funda.gencer@cbu.edu.tr

phone: +90 236 201 8509

Purpose: The aim of the study is to determine the structural and morphological characteristics affecting the structural resistance of ancient dry masonry towers.

Theory and Methods:

The methodology is composed of three phases; data gathering about wall profile and opening organization of ancient dry masonry towers, design of hypothetical towers by using gathered data, determination of the behavior of the hypothetical towers. Six wall profile types and fifteen opening organizations were documented from the dry masonry towers in Caria, Pamphylia and Cilicia Regions, Turkey. 90 hypothetical towers, designed with combination of the characteristics types, were modelled as individual rigid blocks brought together without any connecting element in SketchUp 2013. MSPhysics 0.9.9 software was used for the simulation of quasi-static tilt analysis. Preliminary analyses have been carried out to test the validity of the MS Physics software.

Results:

Collapse angles of hypothetical towers varied between 8 and 18 degrees. Four different failure mechanisms were determined; out-of-plane, in-plane, hybrid and body failure. Each wall profile presented a typical failure mechanism. Double layered wall profile 6, supported with header stones and high staggering ratios, collapsed at the highest angles (18°) and presented total overturning, while the wall profile 1, that collapsed at the lowest angle (8-11°), presented hybrid mechanism composed of in-plane and out-of-plane failures. Wall profiles with less effective openings (small or medium sized) sustained their typical failure mechanisms, however large sized, or more than 2 openings or openings adjacent to corner caused in-plane and out-of-plane failure mechanisms when they were at in-plane and out-of-plane position respectively at weaker wall profiles (1-3, 5). The strongest wall profile 6 was only affected by large sized opening type (11).

Conclusion:

Usage of large sized stone blocks (length ≥ 200 cm, depth ≥ 75 cm), high staggering ratio ($s/h \geq 1.8$) and header stones not adjacent to each other increased resistance and provided body or in-plane behavior. The effect of openings changed depending on the characteristics of wall profile types. Double layered walls supported with header stones were not affected by asymmetrical openings or more than two upper openings, and sustained body behavior. Large sized openings ($\geq 180 \times 300$ cm) were effective for all wall profile types.



Helenistik kulelerde yanal yüke ilişkin düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışının duvar profilleri ve açıklık düzenlerine bağlı olarak incelenmesi

Funda Gençer^{1*}, Mine Hamamcıoğlu-Turan², Engin Aktaş³

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Manisa, 45040, Türkiye

²İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimari Restorasyon Bölümü, İzmir, 35430, Türkiye

³İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35430, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Helenistik kulelerin yapım sistemi özellikleri
- Kuru yığma kulelerin statik-benzeri (quasi-static) eğme analizi
- Kuru yığma kulelerde duvar profilleri ve açıklık düzenlerinin yanal yüke ilişkin duvar davranışlarına etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.09.2018

Kabul: 12.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.458555

Anahtar Kelimeler:

Helenistik kule,
kuru yığma duvar,
statik-benzeri eğme analizi,
yapım sistemi,
simülasyon

ÖZET

Taş bloklar arasında herhangi bir bağlayıcı malzeme kullanılmadan inşa edilmiş olan kuru yığma duvar örgülerine Yunan, Helenistik ve Roma dönemlerine ait farklı yapı tiplerinde rastlanmaktadır. Depreme ilişkin deneyimlerin olgunlaşması sonucunda; kuru yığma duvar profillerinin duvar kalınlığı, cidar sayısı, cidarların bağlantısı, taş blokların boyutu, formu, dizilişi ve ilişkileri açısından çeşitlilik gösterdiği bilinmektedir. Bu çalışmada Helenistik Dönem’de inşa edilmiş kuru yığma duvar örgüsüne sahip gözlem kulelerinin depreme karşı dayanımını arttıran detayların ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Çalışma; yanal yük altında düzlem içi ve düzlem dışı duvarlarda meydana gelen şekil değişimlerinin, farklı duvar profilleri ve açıklık düzenlerine sahip kuleler üzerinde incelenmesiyle sınırlandırılmıştır. Öncelikle; antik dönemde Karya, Pamfilya ve Kilikya Bölgeleri’nde bulunan, yapısal özgünlük ve bütünlüğünü kaybetmemiş ya da özgün bilgisi bulunan gözlem kulelerinin duvar profilleri ve açıklık tipleri belgelenmiştir. Elde edilen veriler ile farklı duvar profilleri ve açıklık tiplerine sahip hipotetik kuleler tasarlanmıştır. Rijit bloklardan oluşan 3 boyutlu hipotetik kulelerin yanal yüke ilişkin düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışlarının belirlenebilmesi için denge durumuna (equilibrium) dayanan statik-benzeri (quasi-static) eğme analizlerinin bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmış, kulelerin yıkılma açıları ve şekil değişimleri belirlenmiştir. Yanal yüke karşı dayanımını etkileyen duvar profili ve açıklık özellikleri saptanmıştır.

Investigation of in-plane and out-of-plane wall behavior related to lateral loading depending on wall profiles and opening arrangements in Hellenistic Towers

H I G H L I G H T S

- Properties of construction techniques of Hellenistic towers
- Quasi-static tilt analysis of dry masonry towers
- Effect of wall profiles and opening arrangements on wall behavior related lateral loading

Article Info

Research Article

Received: 10.09.2018

Accepted: 12.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.458555

Keywords:

Hellenistic tower,
dry masonry wall,
quasi-static tilt analysis,
construction system,
simulation

ABSTRACT

Dry masonry wall profiles constructed without using bonding material between blocks are encountered in different building types dated to Greek, Hellenistic and Roman periods. Depending on development of earthquake experiences, dry masonry wall profiles vary in terms of wall thickness, number of layers, relationship of layers and size, form, organization and relationship of blocks. In this study, the construction details increasing the structural strength in watch towers constructed in Hellenistic Period are aimed to be determined. This study is limited with investigation of effect of wall profiles and opening organizations on in-plane and out-of-plane wall behaviors under lateral loading. Primarily, wall profiles and opening types of dry masonry towers in ancient Caria, Pamphylia and Cilicia regions, that have not lost authenticity and integrity or had information about their authentic form, were documented. By using gathered data, hypothetic towers with different wall profiles and opening types are designed. To determine in-plane and out-of-plane wall behavior of hypothetic towers, simulation of quasi-static tilt analysis based on equilibrium were carried out, and form changes at walls and collapse angles of towers were identified. Wall profile and opening properties effecting on structural strength under lateral loading were determined.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: fundauyunguncer@gmail.com, mineturan@iyte.edu.tr, enginaktas@iyte.edu.tr

/ Tel: +90 236 201 8509

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

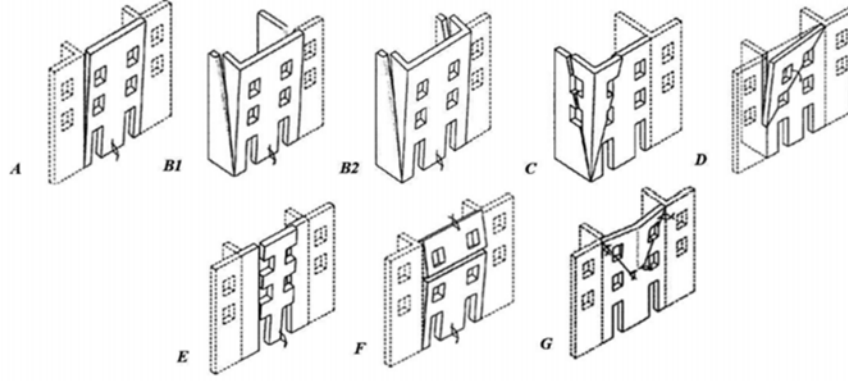
Antik dönemde inşa edilmiş kuru yığma taş yapıların, deprem zafiyetini en aza indirmek amacıyla, deneme yanılma ile geliştirilmiş yapısal önlemlerin alındığı bilinmektedir [1-3]. Bu önlemlerin belirlenmesi kuru yığma yapıların koruma çalışmaları için önemlidir. Kuru yığma yapıların yanal yüke karşı davranışını etkileyen geometri, yapım sistemi ve malzeme kullanımı gibi parametrelerin belirlenmesi amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Duvar kalınlığı, uzunluğu, yüksekliği arasındaki oransal ilişki, açıklıkların varlığı ve konumu; geometri parametresinin alt başlıklarını oluşturmaktadır. Taş blokların dizilişi, boyutları, bloklar arasındaki bağlantı özellikleri, blokların basamaklanma katsayısı (*staggering ratio*, s/h)¹, çatı v.b. düşey yükler ise yapım sistemi parametresini oluşturan alt başlıklardır. Sürtünme katsayısı ve yoğunluk ise malzeme ile ilgili kuru yığma yapıların yanal yüke karşı dayanımını etkileyen özelliklerdir [4, 5]. Çalışmalarda; genellikle tek tek ya da iki-üç özellik içeren konfigürasyonların analizleri ile bu özelliklerin duvar davranışı üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmaktadır. Tek ya da iki özellik inceleyen çalışma sayısı oldukça fazladır [5-11]. İki'den fazla özellik incelenen çalışmalarda ise, bir parametrenin tüm alt özelliklerinin incelenmesi yerine, sadece belirli özellikler ele alınmıştır. Shi [12] farklı geometrik özelliklerin, taş blokların dizilişinin ve köşe birleşim özelliklerinin, Vaculic [13] ise düşey yüklerin, taş blokların sürtünme katsayısının ve dizilişinin yapısal dayanıma etkisini statik-benzeri tekrarlı yükleme ile incelemiştir. Restrepo Velez vd. [14] ise çalışmada 6 farklı özelliği dikkate alarak farklı duvar uzunluklarının, boşlukların konumunun, taş blokları arasındaki bağlantı özelliklerinin ve derz konumlarının, düşey yüklerin ve yapı kat yüksekliği ve sayısının etkilerini deneysel *tilt* analizleri ile incelemiştir. Çalışmada farklı örgü tiplerinin yapı davranışına etkisi incelenmemiş, sadece taş boyutları ve derz konumları dikkate alınmıştır. Ancak, bu çalışmalarda yanal yüke ilişkin duvar davranışlarının tespitinde parametrelerin birbiri üzerine etkisini inceleyen konfigürasyonlar tasarlanmamıştır. Konfigürasyonlar genellikle bütün bir yapı olarak değil, tek duvar ya da yan duvarlardan oluşacak şekilde tasarlanmıştır.

Söz konusu parametreleri içeren konfigürasyonlar deneysel, analitik ve sayısal yöntemler ile incelenmiştir. Bu çerçevedeki statik-benzeri (*quasi-static*) analizler denge (*equilibrium*) ve dayanım (*strength*) yöntemleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir [8, 15]. Denge şartları gözetilerek gerçekleştirilen statik-benzeri eğme analizlerinde eğme tablası ile yapılar derece derece eğilmekte, yapıların duvar davranışları gözlemlenerek yıkılma açıları tespit edilmektedir. Yapının yıkıldığı açıda yerçekimi ivmesinin eğme tablasına yatay bileşeni, yıkılmaya sebebiyet veren yatay seviyenin bulunmasını sağlamaktadır [15]. Eğme tablasının açısı kullanılarak, yapının gerçekte ne kadarlık bir yanal kuvvete dayanabildiği tespit edilmiştir. Analizler

laboratuvar ortamında fiziksel modeller ile gerçekleştirilebileceği gibi [6, 8, 14, 15] 3 boyutlu modellerin bilgisayar ortamında simülasyonu ile de gerçekleştirilebilmektedir [17, 18]. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen analizlerin geçerliliği deneysel analiz sonuçları ile karşılaştırılmaktadır [5, 10, 19]. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel analiz sonuçlarının güvenilirlikleri yüksek olmasına karşın; deneyler zaman alıcı ve yüksek bütçeli olup, insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Sayıca fazla analiz gerçekleştirilmesi gereken durumlarda iş gücü ihtiyacı ve süre artmaktadır. Geçerliliği deneysel yöntemler ile kanıtlanmış yazılımlar ile gerçekleştirilen analizler yapının yanal yüke karşı davranışının incelenmesi konusunda hızlı ve pratik bir şekilde fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır [10].

Deneysel [14], analitik [20, 21] sayısal analizler [22] ya da bu analiz yöntemlerinin birlikte kullanılması [23] sonucu farklı konfigürasyonlardaki yığma duvarlarda kısmi yıkılma ya da yıkılmaya sebep olan düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışları incelenmiştir. Düzlem dışı duvarda düşey ayrılma (Şekil 1A) ya da çökme (Şekil 1F ve Şekil 1G) ve düzlem içi duvarlarda diyagonal çatlakların oluşması sonucu düzlem dışı duvarda yan duvarlar ile birlikte ayrılma (Şekil 1B₁, Şekil 1B₂, Şekil 1C) gibi duvar davranışları tespit edilmiştir. D'ayala ve Speranza [20] farklı konfigürasyonlarına sahip yığma yapılarda düzlem dışı duvarlarda tespit edilen mekanizmaları, depremler sonucu elde edilen verilerin sayısal analizler ile desteklenmesi sonucu belirlemiştir (Şekil 1). Duvar davranışları incelenirken düzlem içi ve düzlem dışı duvarda aynı anda gözlenen karma (*hybrid*) mekanizmaları da ele almıştır (Şekil 1B₁, Şekil 1B₂, Şekil 1C). Bu çalışmada Helenistik Dönemde inşa edilmiş kuru yığma duvar yapılarının depreme karşı dayanımını arttıran yapım sistemi ve geometri ile ilgili detayların ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Açıklık organizasyonu ve duvar profili özelliklerinin yanal yük altında hem düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışına hem de özelliklerin birbirine etkisini incelemek amacıyla konfigürasyonlar tasarlanmıştır. İncelenen duvar profili özellikleri; duvar kalınlığı, cidar sayısı, taş blokların formu, boyutu, bağlantısı ve dizilişi (basamaklanma katsayısı) açıklık özellikleri ise açıklıkların konum, boyut ve sayıları olarak çeşitlenmektedir. Bu özelliklerin duvar davranışı açısından birbirlerine etkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla 90 adet kule konfigürasyonu tasarlanmıştır. Sunulan çalışmada antik dönemde Karya, Pamfilya ve Kilikya Bölgeleri'nde bulunan, yapısal özgünlük ve bütünlüğünü kaybetmemiş ya da özgüne ait bilgisi bulunan kuru yığma kulelerden elde edilen verilerle yanal yüke karşı davranış etkilediği düşünülen özelliklerin sınanması için bir kurgu geliştirilmiştir. Düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışları literatürden gelen veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir [14, 15, 20]. Çalışma, duvar profilleri ve açıklık düzeni değişkenleri ile sınırlı tutulmuştur.

¹ Basamaklanma katsayısı (s/h), derzler arasındaki minimum uzunluğun (s), taş blok yüksekliğine (h) oranı [20]



Şekil 1. Düzlem dışı duvar mekanizmaları [20] (Out-of-plane wall behaviours [20])

2. YÖNTEM (METHOD)

Çalışmanın yöntemi, antik dönemde inşa edilmiş kulelerin duvar profilleri ve açıklık organizasyonları ile ilgili verilerin toplanması, elden edilen veriler dikkate alınarak hipotetik kulelerin tasarlanması, hipotetik kulelerin yanal yükü karşı davranışının belirlenmesi ve sonuçların karşılaştırılması olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada arazi çalışması yapılarak Karya, Pamfilya ve Kilikya Bölgeleri'nde bulunan Helenistik dönem gözlem kulelerinin duvar profilleri ve açıklık organizasyonları tespit edilmiştir. 6 farklı örgü tipi ve 15 farklı açıklık organizasyonu belgelenmiştir. Her bir duvar profilinin her bir açıklık organizasyonu için kombinasyonu yapılmıştır. 90 adet hipotetik kule tasarlanmıştır. Duvar profilleri ve açıklık organizasyonu dışındaki yapının dayanımını etkileyebilecek duvar kalınlığı, uzunluğu ve yüksekliği arasındaki oransal ilişki, malzeme kullanımı, zemin durumu ve çevresel faktörler tüm kulelerde sabit kabul edilmiştir. Duvar uzunluğu ve yükseklik arasındaki oran kulelerden gelen verilere dayanarak 2 kabul edilmiştir. Duvar uzunlukları 6 m, yükseklikleri ise 12 m olarak alınmıştır. Çatı örtüsü ve döşemelerin özgün durumu ve birleşim detayları ile ilgili yeterli bilgiye ulaşılamadığı için döşeme ve çatı elemanları bu etapta dikkate alınmamıştır.

Hipotetik kuleler aralarında bağlantı olmayan rijit bloklardan oluşacak şekilde SketchUp 8'de [24] üç boyutlu modellenmiştir. Hipotetik kulelerin deprem davranışlarının belirlenebilmesi için, denge durumunu esas alan statik-benzeri eğme analizi simülasyonu için MSPPhysics 0.9.9 [25] yazılımı tercih edilmiştir. MSPPhysics yazılımı rijit blok, grup ve bileşenlerin yoğunluklarını, bağlantı durumlarını esas alarak fizik simülasyonunun yapılmasını sağlamaktadır [26]. Simülasyonlarda kireç taşıın özellikleri esas alınarak sürtünme katsayısı 0.75, yoğunluk 2700 kg/m³ kabul edilmiş, elastisite katsayısı ise göz ardı edilmiştir [27, 28]. Küçük değerlerdeki güncelleştirme zaman dilimi, daha doğru simülasyon sonuçları sağlayacağı için güncelleştirme zaman dilimi 1/1200 kabul edilmiştir. Kuleler çok sayıda hareketli bloklardan oluştuğu için iteratif değeri ise 16 alınmıştır. Tasarlanan her kule; açıklıkların hem düzlem içi hem de düzlem dışı konumda olacağı şekilde iki yönde ayrı

ayrı eğilmiş, analizler sonucunda yıkılma açısı en küçük olan durum değerlendirmeye alınmıştır. MsPhysics yazılımında gerçekleştirilecek *tilt* analizlerinin geçerliliğinin sınanması amacıyla ön analizler yapılmıştır. Restrepo Velez, vd. [14] kuru yığma duvarların yanal yük altındaki davranışlarını, deneysel bir çalışma ile incelemiştir. Duvarları laboratuvar ortamında imal etmiş, altlarına bir tabla yerleştirerek eğmiş, farklı duvar biçimleri için farklı yıkılma açıları saptamıştır. Restrepo Velez, vd. [14] 'in imal ettiği duvar ebat ve malzemesi esas alınarak, SketchUp yazılımında 3 boyutlu duvar modelleri oluşturulmuş, bu modeller MsPhysics'te sanal bir tabla ile derece eğilerek duvar davranışları incelenmiştir. Simülasyonun sonuçları ile deneysel analiz sonuçları [14] karşılaştırılmıştır: Kuru yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışları benzer çıkmıştır (Şekil 2). Yıkılma açıları grafiksel olarak aynı eğriye sahiptir ve simülasyon sonuçları deneysel analiz sonuçlarına benzerdir (Tablo 1). Dolayısı ile MsPhysics yazılımının; değişkenlerin yanal yük altında birbirine göre durumunun ortaya konulmasına katkıda bulunacağı düşünülmüştür. Bu ön değerlendirmeye dayanılarak MsPhysics, hipotetik kulelerin artan yanal yükler altındaki davranışlarının belirlenmesi için kullanılmıştır.

3. HİPOTETİK KULELERİN TASARLANMASI (DESIGN OF HYPOTHETIC TOWERS)

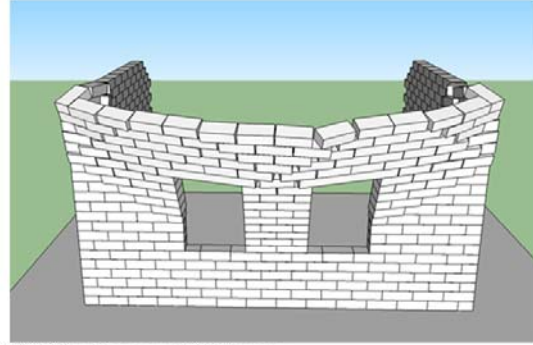
İlk aşamada arazi çalışması yapılarak Karya, Pamfilya ve Kilikya Bölgeleri'nde bulunan Helenistik dönem kuleler tespit edilerek bu kulelerin duvar profilleri ve açıklık organizasyonları belgelenmiştir. 6 farklı örgü tipi ve 15 farklı açıklık organizasyonu belirlenmiştir. İncelenen kuleler Karya Bölgesi'nde Alinda ve Latmos, Pamfilya Bölgesi'nde Perge ve Sillyon, Kilikya Bölgesi'nde ise Gömeç Kuleleri'dir.

Duvar profilleri; cidar sayısı, duvar kalınlığı, bağlantı elemanları, örgü tipi, taş blokların boyutu ve formu açısından farklılıklar göstermektedir (Şekil 3).

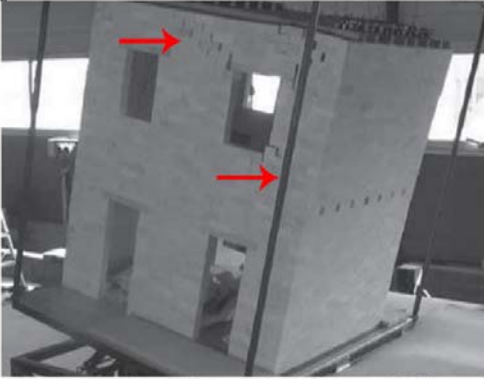
- Duvar profili 1; Gömeç 1 Kulesi'nin duvar profilini temsil etmektedir. 60 cm kalınlığında tek cidarlı bir örgü sistemidir. Örgü sisteminde dikdörtgen blokların arasına yer yer düzensiz olarak yamuk formu bloklar



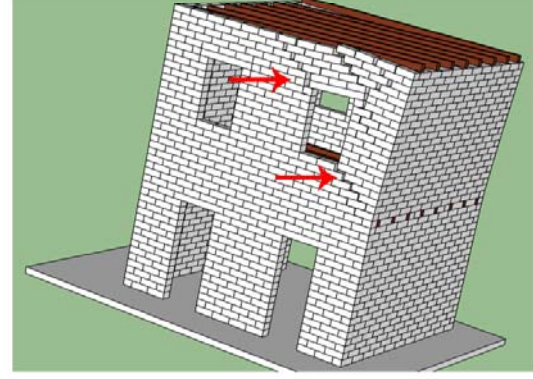
S24 Experimental analysis; Restrepo Vélez, vd. [14]



S24 Simülasyon; MsPhysics



S42 DExperimental analysis; Restrepo Vélez, vd. [14]



S42 Simülasyon; MsPhysics

Şekil 2. Deneysel analiz ve simülasyon sonucu gözlemlenen düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışı
(In-plane and out-of-plane wall behavior observed from experimental analysis and simulation)

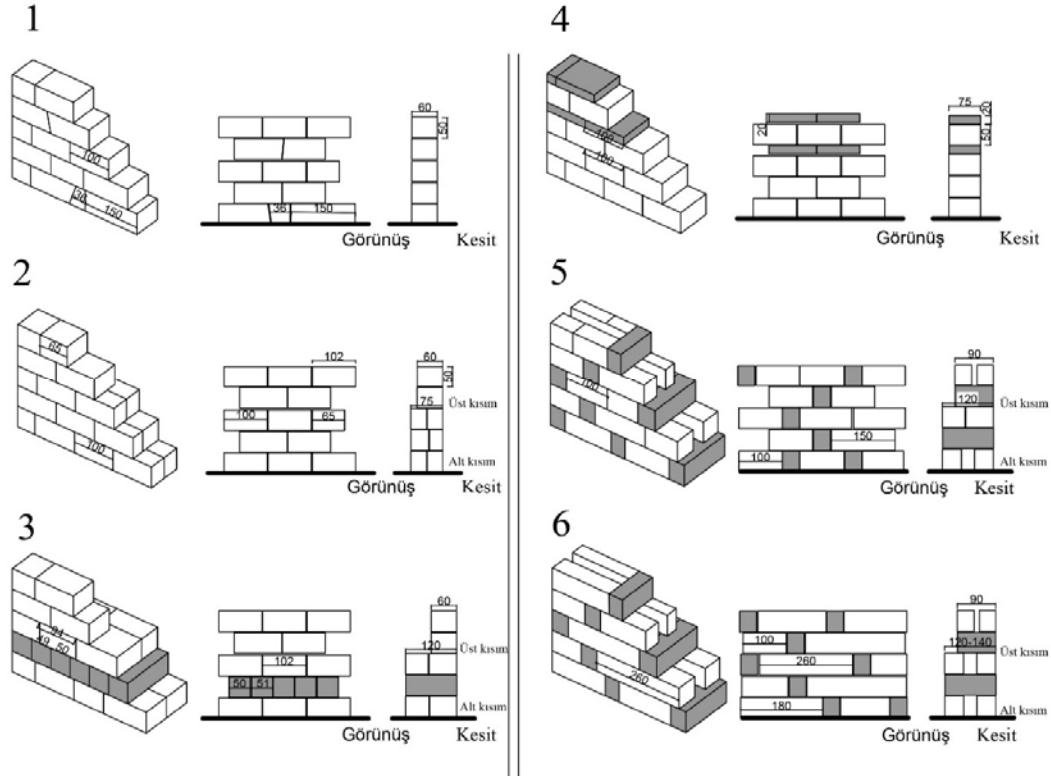
Tablo 1. Deneysel ve Sanal Eğme Analizlerin Mukayesesi
(Comparison of experimental virtual tilt analysis)

Konfigürasyonlar [15]	Deneysel analiz sonuçları [14]		Simülasyon sonuçları	
	Yıkılma açısı	Yanal ivme	Yıkılma açısı	Yanal ivme
S1	15	0,254 g	12	0,207 g
S4	9	0,161 g	8	0,139 g
S5	20	0,349 g	16	0,275 g
S6	12	0,208 g	9	0,15 g
S7	17	0,291 g	14	0,241 g
S8	21	0,362 g	18	0,309 g
S10	12	0,213 g	10	0,17 g
S11	5,5	0,097 g	6	0,104 g
S12	7	0,129 g	7	0,121 g
S13	10	0,181 g	9	0,15 g
S14	14,5	0,251 g	14	0,24 g
S15	11,5	0,199 g	11	0,19 g
S16	8	0,139 g	7	0,12 g
S23	8,5	0,144 g	6	0,10 g
S24	9,1	0,156 g	7	0,12 g
S42	13,7	0,236 g	12	0,207 g

konumlanmıştır. Taş blokların uzunlukları 36 ve 150 cm arasında değişmektedir ancak 75-100 cm uzunluğundaki taş bloklar çoğunluktadır. Her bir cephede 1 ya da 2 tane yaklaşık 150 cm uzunluğunda taş blok bulunmaktadır. Blokların yükseklikleri 50 cm, kalınlıkları ise duvar kalınlığı kadardır (60 cm). Taş blokların basamaklanma

katsayısı (s/h) genellikle küçük olup; 0,2 ve 0,6 arasında değişmektedir. Derzlerin üst üste çakıştığı, basamaklanma katsayısının sıfır olduğu taş düzenleri de görülmektedir.

- Duvar profili 2; Gömeç 2 Kulesi'nin duvar profilini temsil etmektedir. Duvarlarda zeminden 3 metre sonra cidar sayısı ve kalınlık değişmektedir. Duvar kalınlığı alt



Şekil 3. Duvar profil tipleri (Wall profile types)

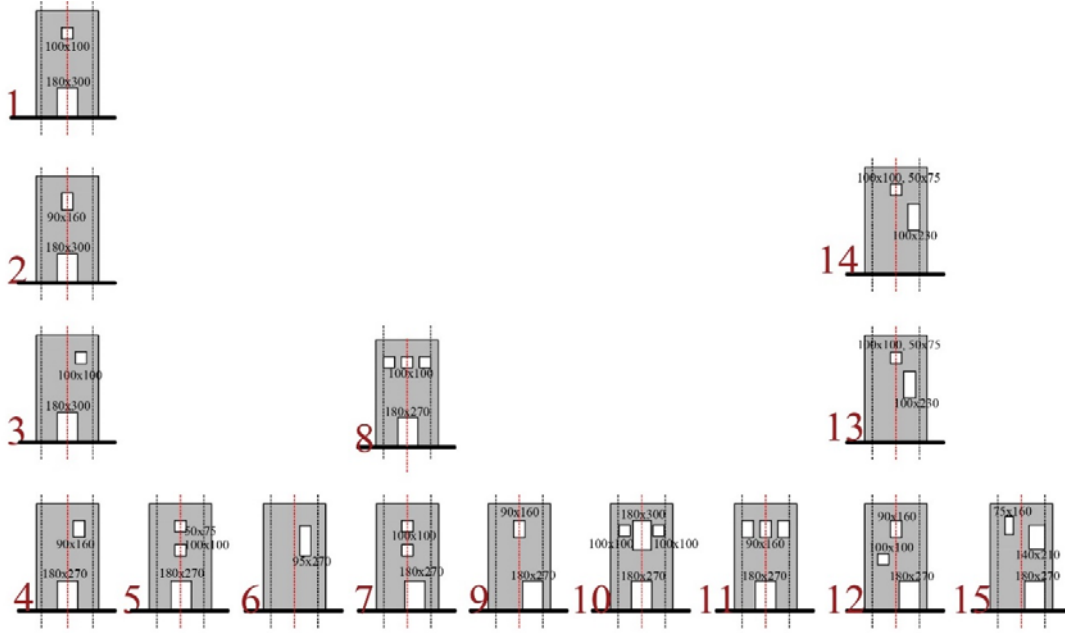
kotlarda 75 cm, üst kotlarda 60 cm'dir. Alt kısım çift cidarlı, üst kısım tek cidarlıdır. Cidarlar arasında herhangi bir bağlantı elemanı bulunmamaktadır. Taş blokların uzunlukları 65 ve 100 cm arasında değişmektedir. Blokların yükseklikleri 50 cm, kalınlıkları ise 35-60 cm arasında değişiklik göstermektedir. Taş blokların basamaklanma katsayısı (s/h) 0,5 ve 0,8 arasında değişmektedir.

- Duvar profil 3; Perge Kulesi'nin duvar profilini temsil etmektedir. Duvarlarda zeminden 7 metre sonra cidar sayısı, kalınlık ve blok organizasyonu değişmektedir. Duvar kalınlığı alt kotlarda 120 cm, üst kotlarda 60 cm'dir. Alt kısımda çift cidarlı ve iki sırada bir bitişik konumlanan atkı taşları dizilmektedir. Üst kısım tek cidarlıdır ve atkı taşı bulunmamaktadır. Taş blokların uzunlukları 100-120 cm arasında değişirken, alt kısımda kullanılan atkı taşlarının uzunluğu 60 cm'dir. Blokların yükseklikleri 50 cm, kalınlıkları ise 60 cm'dir. Taş blokların basamaklanma katsayısı (s/h) alt kısımda atkı taşları nedeniyle yaklaşık 0,3, üst kısımda ise 0,6 ve 1 arasında değişmektedir.
- Duvar profili 4; Sillyon Kulesi'nin duvar profilini temsil etmektedir. Profil, 75 cm kalınlığında tek cidarlı bir örgü sistemidir. Eğime göre zeminden yaklaşık 5-6 m sonra taş blokların organizasyonu değişmektedir. Alt kotlar 50 cm yüksekliğinde taş bloklardan oluşurken, üst kotlar bir sıra 50 cm, bir sıra 25-30 cm yüksekliğinde kesme taş bloklardan oluşmaktadır. Taş blokların uzunlukları yaklaşık 100-120 cm arasında değişmektedir. Taş blokların kalınlıkları duvar kalınlığı kadardır (75 cm). Sıra taş bloklara göre hesaplanan basamaklanma (s/h) katsayısı

1,5 ve 2 arasında değişirken, 50 cm'lik taş blokların yüksekliğine göre hesaplanan basamaklanma katsayısı 0,6 ve 1 arasındadır.

- Duvar profili 5 ve 6'da alt kotlar 120-140, üst kotlar 90 cm'dir. Eğime göre cephelerde; duvar profili 5'de zeminden 3,5 ve 6,5 metre sonra, duvar profili 6 da ise 3,5 ve 4,5 m sonra cidar sayısı ve duvar kalınlığı değişmektedir. Duvar profili, dış cidar ve cidarlar arasında boşluktan oluşmaktadır. Cidarlar birbirine temas etmeyen atkı taşları ile bağlanmıştır. İki duvar profilini birbirinden ayıran fark ise taş blokların uzunluklarıdır. Alında duvar özelliklerini temsil eden duvar profili 6'da taş blokların uzunlukları 100 ve 260 cm, Latmos'u temsil eden duvar profili 5'in ise 100 ve 150 cm arasında değişmektedir. Derzlerin konumuna bağlı olarak; duvar profili 5'in basamaklanma katsayısı 0,6 ve 1 arasında değişirken, profil 6'nın basamaklanma katsayısı yaklaşık 0,75 ve 2 arasında değişmektedir.

Açıklık düzenlerinin çeşitlenmesini açıklıkların konumu, boyutu ve sayıları sağlamaktadır. Konum olarak, simetrik, asimetrik, asimetrik köşeye bitişik üst, orta ve alt açıklıklar olarak ayrılmaktadır. Açıklıklar 100x100, 75x160, 90x160, 95x270, 100x230, 140x210, 180x270 ve 180x300 cm boyutlarındadır. Sayılarına bakıldığında, tek üst açıklık; tek alt ve tek üst açıklık, bir üst, bir orta bir alt açıklık; üç üst açıklık, üç üst ve bir alt açıklık; bir üst, bir orta açıklık olarak 6 grupta incelenmektedir (Şekil 4). Her bir duvar profili ve her bir açıklık organizasyonunun kombinasyonunun yapıldığı 90 adet hipotetik kule tasarlanmıştır. Duvar profilleri ve



Şekil 4. Açıklık düzenleri (Opening arrangements)

açıklık organizasyonu dışındaki yapının dayanımı etkileyebilecek duvar kalınlığı, uzunluğu ve yüksekliği arasındaki oran, malzeme kullanımı ve zemin durumu tüm kulelerde sabit kabul edilmiştir.

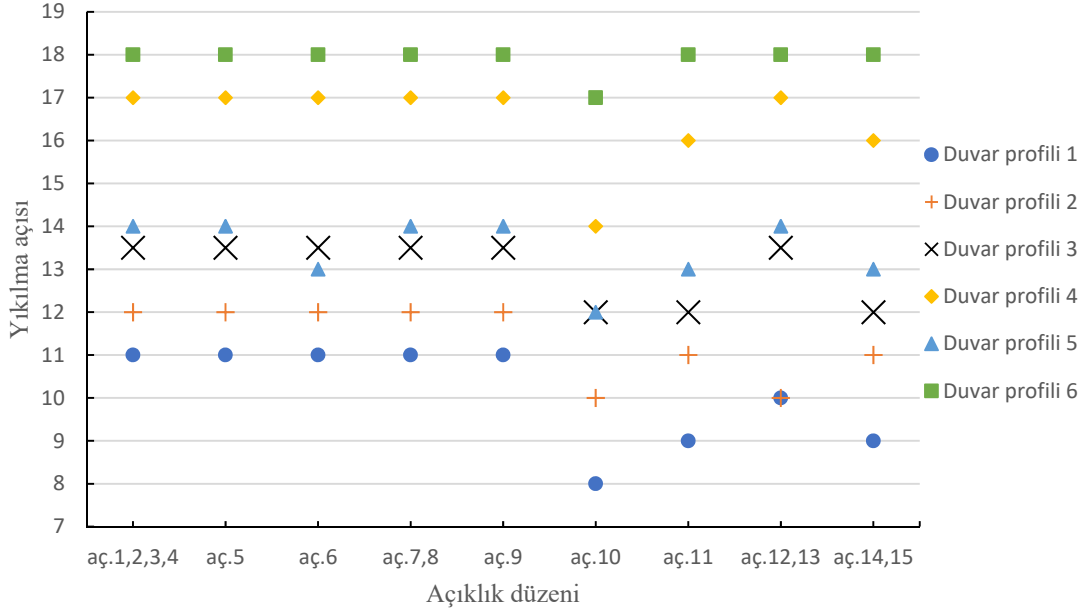
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Farklı açıklık düzenlerine sahip her bir duvar profilinin yanal yüke ilişkin duvar davranışları incelendiğinde, duvar profili 6'nın tüm açıklık düzenlerinde yıkılma açısı en yüksek iken, duvar profili 1 tüm açıklık düzenlerinde yıkılma açısı en düşük durumdadır. Örgü tiplerinin yanal yüke karşı dayanımı, yıkılma açılarına göre değerlendirildiğinde dayanıklıdan dayanıksıza doğru duvar profili 6, 4, 5, 3, 2 ve 1 olarak sıralanmaktadır (Şekil 5). Çift cidarlı, cidarları arasında boşluk bulunan atkı taşlı duvar profili 6 ve 5'i birbirinden ayıran özellik taş blokların uzunlukları ve uzunluklar nedeniyle değişen basamaklanma katsayısıdır. Profil 5'de taş blokların uzunlukları yaklaşık 260 cm'ye ulaşırken, profil 5'in ise bloklarının uzunlukları ortalama 120 cm'dir. Dolayısıyla 6'nın basamaklanma katsayısı 1,75 ve 2, profil 5'in ise 0,6 ve 1 arasındadır. Tek cidarlı ve duvar kalınlığı 75 cm olan duvar profili 4 de iki sırada bir kullanılan 20 cm yüksekliğindeki taş bloklar basamaklanma katsayısının 2'ye kadar çıkmasını sağlamıştır. Üst kotları 60 cm tek cidarlı olan duvar profili 2 ve 1'i birbirinden ayıran özellik ise duvar profili 1 de yer yer yamuk formulu taş blokların kullanılması, derzlerin üst üste gelmesi ve duvar profil 2'nin alt kotlarının çift cidarlı boşluksuz (75 cm) olmasıdır. Açıklık düzenleri değerlendirilirse; yıkılma derecesi en yüksek olan 1, 2, 3 ve 4 açıklıkları; küçük boyutlu (100x100, 90x160 cm), simetrik ya da asimetrik köşeye bitişik olmayan üst açıklıklılardır. Yıkılma derecesi en düşük olan 10, 11, 14 ve 15 açıklıkları değerlendirilirse; açıklık 10 simetrik konumlu; ikisi küçük (100x100 cm) biri

geniş boyutlu (180x300cm) üç açıklıktan oluşmaktadır. Açıklık 11 ise; simetrik üç adet orta boyutlu (90x160 cm) simetrik üst açıklıktan oluşmaktadır. Açıklık 14 ve 15 ise (sırasıyla 140x210, 100x230 cm) köşeye bitişik şekilde konumlanan asimetrik cephe organizasyonuna sahiptir.

Yıkılma açısı en yüksek olan duvar profili 6'da yanal yüke karşı dayanımı en fazla etkileyen açıklık 10, yıkılma açısını sadece 1 derece düşürürken, yıkılma açısı en düşük olan duvar profili 1 de ise aynı açıklık yıkılma açısını 4 derece düşürmektedir. Duvar profili 6 'da diğer açıklıklar yıkılma açısını değiştirmezken, duvar profili 1'de açıklık 11, 12, 13, 14 ve 15 yıkılma açısını düşürmektedir. Açıklıkların yıkılma açısına negatif etkisinin; dayanımı az duvar örgülerinde daha fazla, güçlü duvar örgülerinde daha az olduğu görülmektedir (Şekil 5). Kulelerde kısmi ya da tamamıyla yıkılma gözlenmiştir. Düzlem içi ve düzlem dışı duvarlarda veya yapı bütününde gözlenen mekanizmalar tespit edilmiştir. Düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışları [20, 21] dikkate alınarak her bir duvar profili incelenirse; eğme yönüne göre alt kısımda konumlanan düzlem içi duvarda düşey ayrılma, üst ya da alt kısımda konumlanan düzlem dışı duvarda çökme, düzlem içi duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar nedeniyle düzlem içi ve düzlem dışı duvarlarda birlikte ayrılma gözlenmektedir.

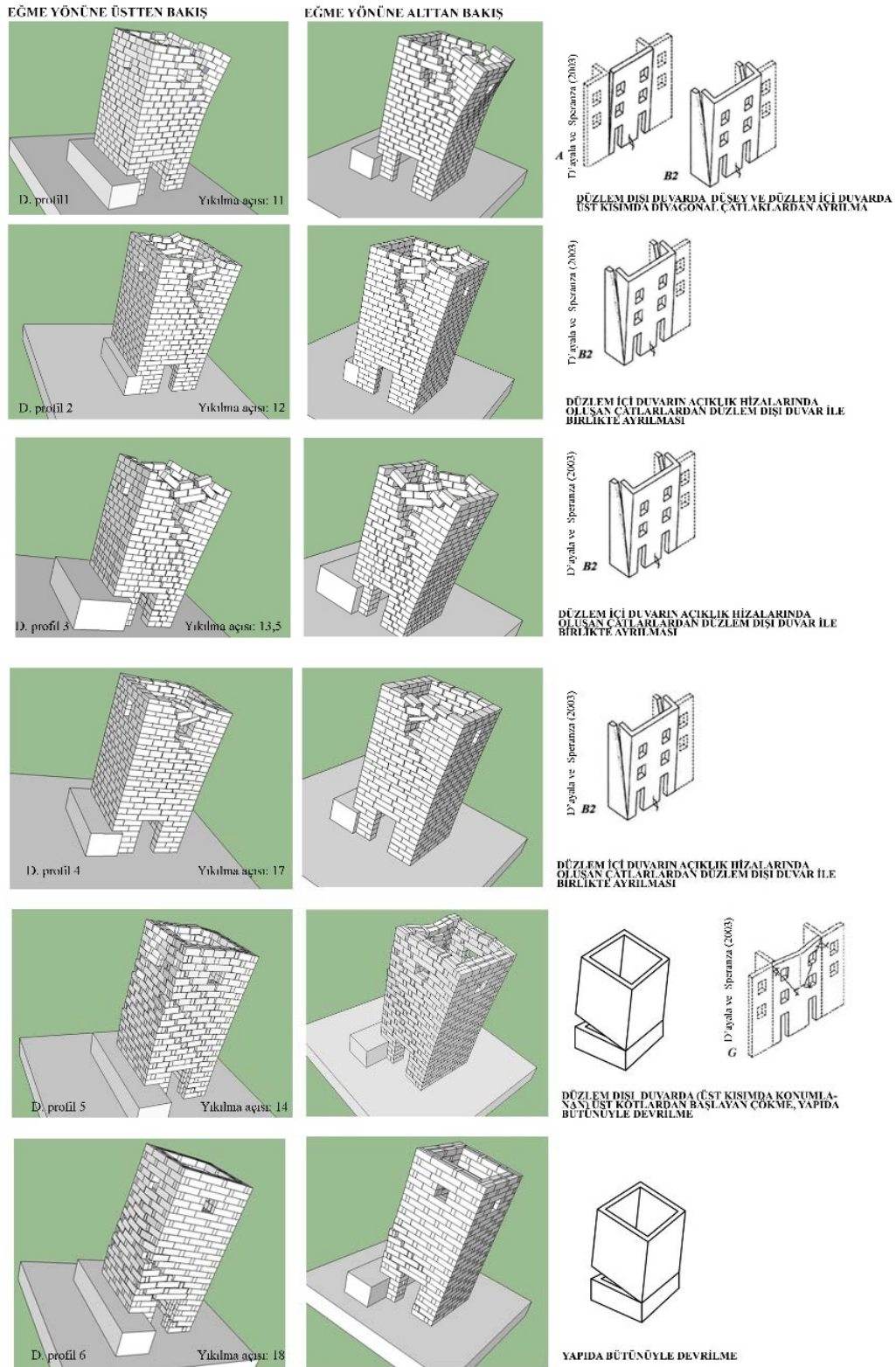
Mekanizmalar, D'ayala ve Speranza [20]'nın çalışmasındaki duvar davranışları esas alınarak sınıflandırılmıştır. Ancak çalışmada kuleler bütün bir yapı olarak ele alındığı için, yapı olarak davranışları da incelenmiştir. Duvar profili 1'de; eğme yönünde alt kısımda konumlanan düzlem dışı duvar yapıdan düşeyde ayrılırken, aynı zamanda düzlem içi duvarlarda üst sıralarda (yaklaşık 4 sıra) diyagonal çatlakların sebep olduğu ayrılma gözlenmiştir (Mekanizma A-B₂). Duvar profili 2, 3 ve 4 ise düzlem içi duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar nedeniyle eğme yönünde alt



Şekil 5. Farklı duvar profillerinde farklı açıklık düzenlerine sahip hipotetik kulelerin sanal *tilt* analizi sonuçları
(Results of tilt analysis of hypothetic towers with different opening arrangements on different wall profiles)

kısımda bulunan düzlem dışı duvar ile birlikte düzlem içi duvarlarda devrilme olduğu gözlenmiş, ancak düzlem dışı duvarlarda herhangi bir düşey ayrılma gözlenmemiştir (Mekanizma B₂). Duvar profili 4’de diyagonal çatlaklar diğer profillere kıyasla daha büyük eğme açısında (17°) gerçekleşmiştir. Duvar profili 2 ve 3’de, alt kısımdaki taş bloklarda kaymalar gözlenmiştir. Duvar profili 5’de, eğme yönünde üst kısımda konumlanan düzlem dışı duvara etki eden itme yükü (*arch effect*) duvarda çökmeye sebep olurken (Mekanizma G), aynı zamanda yapı bütünüyle eğme yönünde devrilmektedir. Duvar profili 6’da ise kulenin alt kısmında başlayan çatlaklar nedeniyle bütün olarak devrildiği gözlenmektedir (Şekil 6). Açıklık düzenlerinin farklı duvar profillerine göre duvar davranışları; açıklıkların düzlem içi ve düzlem dışı durumda olduğu durumlarda ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Genel olarak açıklıkların düzlem içi duvarda bulunduğu durumlarda yıkılma açısı daha küçük olmuştur. Duvar davranışları dayanımı en yüksek ve en düşük duvar profilleri üzerinden değerlendirilirse; dayanımı en yüksek olan duvar profili 6’da açıklıklar düzlem içi duvarda iken, simetrik orta boyutlu (90x160 cm) üst ve alt açıklık (2); 18 derecede yapıda bütünüyle devrilmeye sebep olmuştur. Ancak, simetrik 1 büyük (180 x300 cm) ve 2 küçük boyutlu üst açıklık (100x100 cm) ve alt açıklık (10) daha küçük açıda (17°) düzlem içi duvarlarda çatlaklara ve bu çatlaklardan başlayarak düzlem içi ve düzlem dışı duvarda ayrılmaya sebep olmuştur (Mekanizma B₂). 3 adet orta boyutlu (90x160 cm) üst açıklık (tip 11) ve asimetrik köşeye bitişik orta boyutlu (75x 160 cm) üst açıklık (tip 15) bulunan kulelerde, açıklık düzeni 1’e benzer olarak yapıda bütünüyle devrilme gözlenmiştir. Duvar profilinin dayanımı

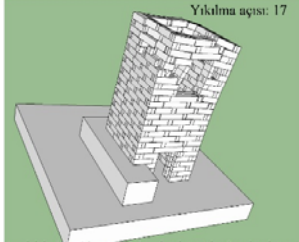
yüksek olduğu için açıklıklar duvar davranışını etkilememiştir (Şekil 7). Duvar profili 6’da açıklıklar düzlem dışı duvarda konumlandığında ise; simetrik küçük boyutlu (100x100 cm) açıklık (1) yapının davranışını değiştirmezken, açıklık 10, 11 ve 15’de ise eğme yönüne göre üst kısımda konumlanan düzlem dışı duvarda küçük yıkılma açıklarında (18°) göçme meydana gelmiş, (Mekanizma G) ve yapı bütünüyle devrilmiştir (Şekil 7). Dayanımı düşük olan duvar profili 1’in duvar davranışları incelendiğinde, açıklıklar düzlem içi duvarda bulunursa, açıklık 2; 11 derecede düzlem dışı duvarda düşey ayrılımla birlikte düzlem içi duvarlarda diyagonal çatlak ve ayrılmaya sebep olurken, açıklık 10, daha küçük açıda (8°) düzlem içi duvarlarda çatlaklara ve bu çatlaklardan başlayarak düzlem içi ve düzlem dışı duvarda ayrılmaya sebep olmaktadır (Mekanizma B₂). 3 adet orta boyutlu üst açıklık (11) ve asimetrik köşeye bitişik orta boyutlu (140x210 cm) üst açıklık (15) ise, 9 derecede yalnızca açıklığın bulunduğu düzlem içi duvarda diyagonal çatlakla ve düzlem içi duvarın düzlem dışı duvar ile ayrılmasına sebep olmaktadır (Mekanizma B₁) (Şekil 8). Açıklıkların düzlem dışı duvarda olduğu durum değerlendirildiğinde ise; açıklık 10’da 8 derecede ve 15’de 9 derecede düzlem dışı duvarda göçme gözlenirken, düzlem içi duvarlardaki üst bloklar düzlem dışı duvar ile birlikte yapıdan ayrılmaktadır (Mekanizma G). Açıklık 11, düzlem dışı duvarda 9 derecede sadece göçmeye sebep olmuştur (Mekanizma G) (Şekil 8). Diğer duvar profillerinde de açıklık organizasyonlarına bağlı olarak duvar profili 1’e benzer duvar davranışları gözlenmiştir. Sadece duvar profili 5 ve 6 yanal yüke karşı yapı bütünü olarak bir davranış göstermiştir.



Şekil 6. Farklı profillerin düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışı (In-plane and out-of-plane wall behaviour of different wall profiles)

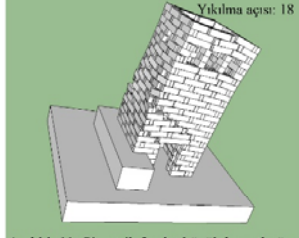
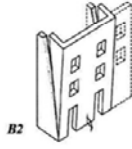
AÇIKLIK DÜZLEM İÇİ DUVARDA

Açıklık 2: Simetrik orta boyutlu üst açıklık ve alt açıklık



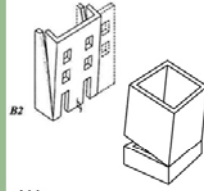
Açıklık 10: Simetrik 1 adet büyük, 2 adet küçük boyutlu üst açıklık ve alt açıklık

D'ayala ve Speranza (2003)

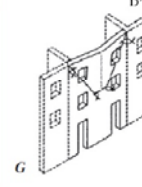
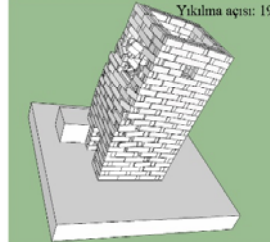


Açıklık 11: Simetrik 3 adet küçük boyutlu üst açıklık ve alt açıklık

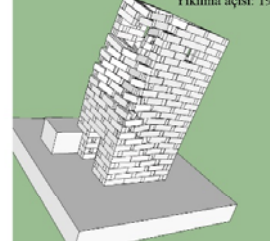
D'ayala ve Speranza (2003)



Açıklık 15: Asimetrik köşeye bitişik orta boyutlu ve asimetrik küçük boyutlu üst, asimetrik köşeye bitişik alt açıklık

**AÇIKLIK DÜZLEM DIŞI DUVARDA**

D'ayala ve Speranza (2003)



D'ayala ve Speranza (2003)



D'ayala ve Speranza (2003)

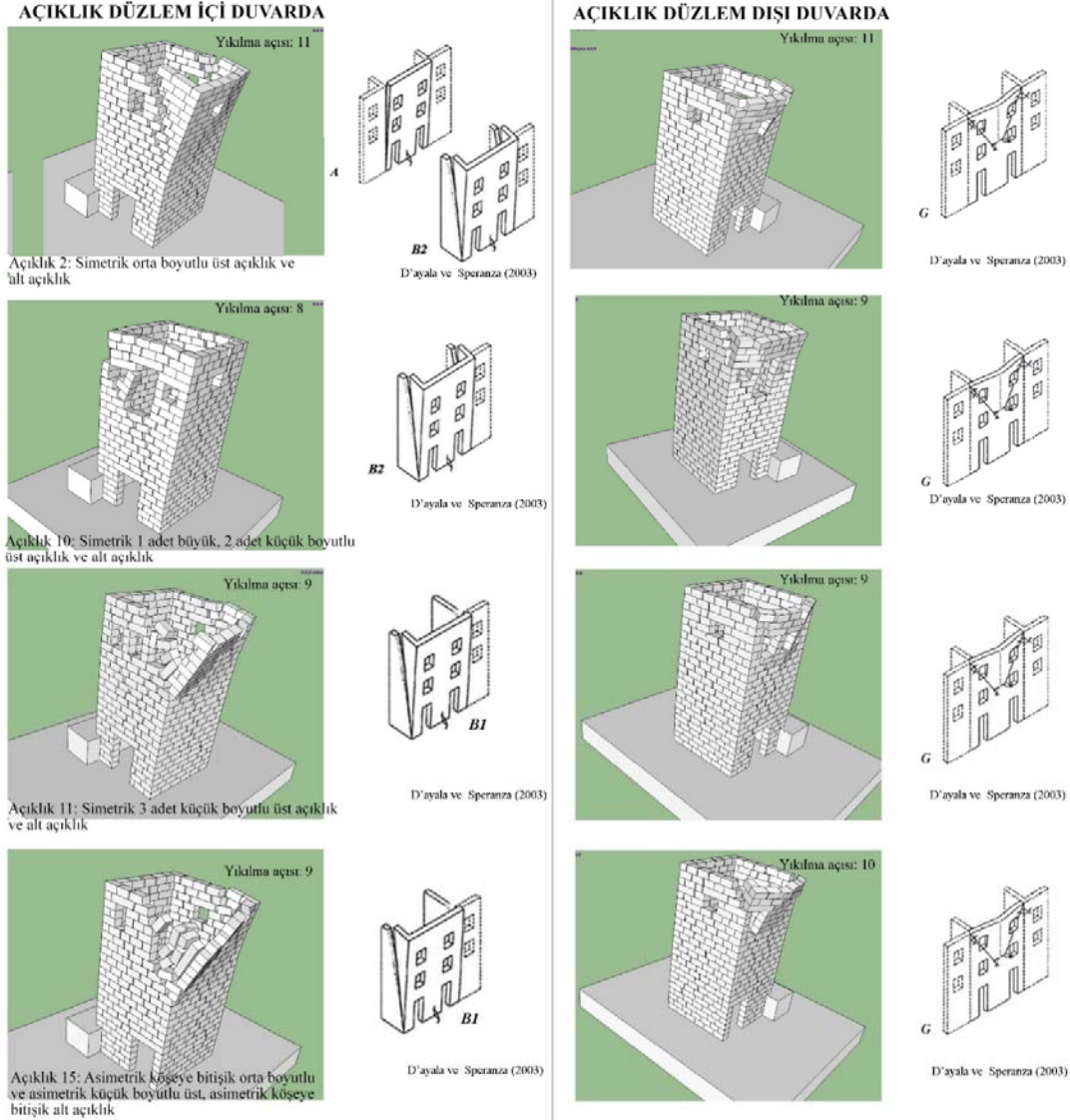
Şekil 7. Duvar profili 6'nın farklı açıklık düzenlerinde duvar davranışları
(Wall behavior of wall profile 6 in different opening arrangements)

5. DEĞERLENDİRME (DISCUSSION)

Duvar profili özellikleri dikkate alınarak, eğme analizi sonuçları değerlendirilirse, taş blokların boyutlarının, formlarının ve organizasyonlarının kuru yığma kulelerin dayanımında önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Büyük boyutlu taş blokların kullanılması (uzunluk ≥ 200 cm, kalınlık ≥ 75 cm), taş blokların basamaklanma katsayısının büyük olması ($s/h \geq 1,8$) ve birbirine bitişik olmayan atkı taşlarının cidarları bağlaması kulelerin yanall yükü karşı dayanımında en fazla avantaj sağlayan özellikler olmuştur. Tüm bu özellikleri içeren örgü düzenleri kulelerin dayanımının artmasını sağlamıştır. Tek cidarlı üst kısımlarda; iki sırada bir sıra taş blokların (yükseklik=20 cm) kullanıldığı duvar profillerinde, bloklar basamaklanma

katsayısının büyük olmasını sağlamış ($s/h \geq 1,5$) ve yanall yükü karşı dayanımı arttırmıştır. Basamaklanma katsayısı oldukça küçük olan ($0,2 \geq s/h \geq 0,6$) duvar profilleri ile inşa edilmiş kulelerde taş bloklar köşe ve cephe bağlantısının zayıflamasına sebep olarak, kule köşelerini yanall yükü karşı dayanıksız hale getirmektedir. Bu durum, basamaklanma katsayısının özellikle köşe ve cephe bağlantısını güçlendirdiği için yapısal dayanım açısından önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Birbirine bitişik konumlanmayan (kenarlarda %3, ortada %8) atkı taşı kullanımı düzlem içi duvarlarda diyagonal çatlakların oluşmasını geciktirerek, yanall yükü karşı dayanımını arttırmıştır. Ancak, basamaklanma katsayısı küçük olan ($0,6 \geq s/h \geq 1$) ve taş uzunlukları maksimum 100



Şekil 8. Duvar profili 1'in farklı açıklık düzenlerinde duvar davranışları
(Wall behavior of wall profile 1 in different opening arrangements)

cm olan atkı taşlı çift cidarlı kulelerin yanal yüke karşı dayanımı basamaklanma katsayısı büyük olan ($s/h=2$) ve 260 cm'ye kadar taş uzunluklarına sahip olan atkı taşlı duvar profiline kıyasla oldukça küçüktür. Bu da taş blokların boyutlarının ve basamaklanmasının yapı dayanımında daha öncelikli özellikler olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, atkı taşlarının dağılımı ve konumu da yapısal dayanımı etkilemektedir. Kulelerin sadece alt kısmında kullanılan atkı taşları yapının dayanımına katkı sağlayamazken, bitişik olarak iki sırada bir kullanılan atkı taşları, basamaklanma katsayısının küçülmesine sebep olduğu için kulelerin dayanımını oldukça düşürmektedir.

Duvar kalınlığının taş blokların kalınlığına eşit olduğu tek cidarlı örgülerde, duvar kalınlığı azaldıkça yanal yüke karşı dayanımın azaldığı; duvar kalınlığı (60 cm) az olan duvar profillerinin küçük açıklarda yıkılması (yıkılma açısı= 11°) sonucu tespit edilmiştir. Tek cidarlı duvar kalınlığı (75 cm)

fazla olan duvar profiline sahip kuleler yanal yüke karşı dayanım açısından avantaj sağlamıştır.

Sonuç olarak; büyük boyutlu taş blokların kullanılmasının, blokların basamaklanma katsayısının büyük olmasının, cidarlı örgülerde atkı taşının üst kotlarda bulunmasının ve atkı taşlarının birbirine temas etmeden, derzlere maksimum uzaklıkta olacak şekilde yerleşiminin ve duvar kalınlığı fazla tek cidarlı sistemlerin kullanılmasının yapının yanal yüke karşı dayanımını arttırdığı görülmüştür. Ancak özellikle duvarların üst bölümünün yer yer yamuk formlu taş bloklarla ve duvar kalınlığının 60 cm olarak imal edilmesinin dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir.

Duvar profillerine bağlı olarak yapı ve duvar davranışları incelenirse; blokların basamaklanma katsayısının küçük olduğu ($0,2 \geq s/h \geq 0,6$) duvar profillerinde köşe birleşimleri zayıf olduğu için, düzlem dışı duvarda düşeyde ayrılma

gerçekleşmektedir. Atkı taşı bulunmayan profillerde düzlem içi duvarlarda diyagonal çatlakların oluştuğu ve düzlem içi duvarların çatlaklar nedeniyle düzlem dışı duvar ile birlikte devrildiği gözlenmiştir. Üst kotlarda atkı taşı bulunan kulelerde, düzlem içi duvarlarda çatlak oluşmazken, eğme yönünün üst kısmında konumlanan düzlem dışı duvarda çökme gerçekleşmektedir. Eğer atkı taşlarından oluşan duvar örgüsü, büyük basamaklanma katsayısı ve uzun taş blokları ile desteklenirse, düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışı gözlenmezken, büyük yıkılma açılarında kule bütün olarak bir davranış sergilemektedir. Özetlenirse, dayanımı düşük olan duvar profillerinde genellikle düzlem dışı duvarda düşey ayrılma, dayanımı daha yüksek olan duvar profillerinde ise; kulenin alt kısımlardan başlayan çatlaklar nedeniyle yapıda bütün olarak bir devrilme gözlenmektedir.

Duvar profillerinin yanı sıra açıklık düzenleri de yanal yüke karşı dayanımı etkilemektedir. Açıklık sayısının ve alanının artmasının ve açıklıkların köşeye olan mesafesinin azalmasının yanal yüke karşı dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Simetrik olan açıklıkların boyutlarının küçük olması durumunda yapı yanal yükten çok etkilenmezken, köşeye bitişik konumlanan asimetric açıklıklar yapının dayanımını daha çok düşürmektedir. Açıklık özellikleri, yanal yüke karşı dayanımı etkileme açısından dayanıklıdan dayanıksıza şöyle sıralanabilir: simetrik üst küçük (100x100 cm), asimetric üst küçük, simetrik birden fazla üst küçük ya da orta (90x160 cm), asimetric üst köşeye bitişik orta (140x210 cm), simetrik üst geniş (180x300 cm) ve birden fazla küçük boyutlu açıklık. Geniş açıklıklar simetrik konumlandığı halde yapı dayanımını asimetric açıklıklara kıyasla daha fazla düşürmektedir.

Açıklıklar, düzlem içi ve düzlem dışı duvarda bulunma durumuna göre yapı davranışını farklı etkilemiştir. Örgü sistemleri fark etmeksizin geniş boyutlu açıklıklar (180x300 cm) düzlem içi duvarda konumlandığında düzlem içi duvarda oluşan çatlaklar nedeniyle düzlem dışı ve düzlem içi duvarlar yapıdan ayrılmaktadır. Ancak geniş boyutlu açıklıkların düzlem dışı duvarda bulunması durumunda, açıklığın bulunduğu duvarda göçme gerçekleşmektedir. Köşeye bitişik konumlanan asimetric açıklıklar, taş blok uzunlukları (uzunluk ≤ 100 cm) nedeniyle köşe birleşimlerinin zayıf olduğu kulelerde, açıklığın bulunduğu düzlem içi duvarın yapıdan ayrılmasına sebep olmaktadır. Taş blokların uzun ve basamaklanma katsayısının büyük olduğu dayanımı yüksek örgülerde ise asimetric açıklıklar yapı davranışını etkileyememiştir.

5. SONUÇLAR (DISCUSSION)

Yapıların yanal yüke karşı dayanımını etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada bu parametreler sınırlandırılarak, duvar profilleri ve açıklık organizasyonları incelenmiş ve parametrelerin alt özelliklerinin kulelerin yanal yüke karşı dayanımına ve davranışına etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Açıklık organizasyonu ve duvar profilleri beraber değerlendirildiğinde ise, açıklık düzenlerinin dayanıma etkisinin örgü tipine göre farklılık

gösterdiği görülmüştür. Yanal yüke karşı dayanımı yüksek örgü tiplerinde; geniş veya asimetric açıklıkların etkisi daha az iken, zayıf örgülerde bu açıklık düzenleri yanal yüke karşı dayanımı oldukça düşürmektedir. Açıklıkların sayısının ve alanının artması, asimetric konumlu ve geniş olması, dayanımı düşük duvar profillerinde duvar davranışlarını etkileyerek yıkılma açısını oldukça düşürmektedir. Dayanımı yüksek olan duvar profillerinde ise açıklıklar duvar davranışlarını çok etkileyemediği için yıkılma açısı da değişmemektedir. Bu sonuçlar gösteriyor ki, yapım sistemi özellikleri, yapının boşluk doluluk özelliklerine kıyasla yapısal dayanıma etki açısından birincil parametredir. Ancak, çalışmada, kuru yığma bir yapının dayanımı değerlendirilirken, yapım sistemi yanında diğer parametrelerin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmaya çalışılmıştır. Kuru yığma yapıların onarımlarında, dayanımı etkileyen tüm özelliklerin tespiti ve değerlendirilmesi, yapısal hasarların önceden önlenmesi, acil müdahale kararlarının alınması ve yapının bütünlüğünün korunması açısından önemlidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından 2016G_IYTE83 no.lu, proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Krikov, B., Earthquake Resistance of Structures: from antiquity to our times. MIR Publishers, Moscow, 1992.
2. Stiros, S., Archaeological evidence of antiseismic constructions in antiquity. *Anali Di Geofisica*, Vol. XXXVIII, N.5-6, 1995.
3. Yavuz, A., Geleneksel Kagir Yapılarda Depreme Karşı Geliştirilen Önlemler, TAÇ Vakfı'nın 25 Yılı, 263-277, 2001.
4. Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries, *Constr. Build. Mater.*, 14 (4), 199-233, 2000.
5. Giuffre, A., Pagnoni, T., Tocci, C., In-Plane Seismic Behavior of Historical Masonry Walls, 10th IB²MAC, Calgary, Canada, 263-272, 5-7 Temmuz, 1994.
6. Vaculik, J., Griffith, M., Hogarth, B., Todd, J., Out-Of-Plane Flexural Response Tests Using Dry-Stack Masonry, Australian Earthquake Engineering Society Conference, Mt. Gambier, South Australia, 2004.
7. Gianmarco, F., Out-of-Plane Seismic Capacity of Masonry Depending on Wall Section Morphology, *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 5 (4-5), 466-482, 2011. DOI: 10.1080/15583058.2010.530339
8. Jimenez, D.D., Empirical Analysis of Masonry Walls: Structural Design and Seismic Reinforcement through Tilting Experiments, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, United States, 2011.
9. Shi, Y., D'ayala, D., Prateek, J., Analysis of Out-of-Plane Damage Behaviour of Unreinforced Masonry Walls. Group HMS- Universidade do Minho.

- http://www.hms.civil.uminho.pt/ibmac/2008/14IBMA_C_37.pdf. Yayın Tarihi 2008. Erişim tarihi Mayıs 5, 2018.
10. Foti, D., Vacca, V., Facchini, I., DEM modeling and experimental analysis of the static behavior of a dry-joints masonry cross vaults, *Constr. Build. Mater.*, 170, 111-120, 2018.
 11. Michele, G., Stefanou, I., Sab, K., Effects of the dilatancy of joints and of the size of the building blocks on the mechanical behavior of masonry structures, *Meccanica*, 53 (7), 1629-1643, 2018.
 12. Shi, Y., *Dynamic Behaviour of Masonry Structures*, Doctor of Philosophy, University of Bath, United Kingdom, 2016.
 13. Vaculik, J., *Unreinforced Masonry Walls Subjected to Out of Plane Seismic Actions*, Doctor of Philosophy, The University of Adelaide, School of Civil, Environmental and Mining Engineering, South Australia, 2012.
 14. Restrepo Velez, L.F., Magenes, G., Griffith, M.C., *Dry Stone Masonry Walls in Bending—Part I: Static Tests*, *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 8 (1), 1-28, 2014.
 15. Shi, Y., D'ayala, D., and Jain, P. *Analysis of Out-of-plane Damage Behaviour of Unreinforced Masonry Walls*, 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sydney, Australia, 2008.
 16. DeJong, M. J., *Seismic Assessment Strategies for Masonry Structures*, Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute Of Technology, United States, 2009.
 17. Azevedo, J., Sincaian, G., Lemos, J. V., *Seismic behaviour of blocky masonry structures*, *Earthquake Spectra*, 16 (2), 337–365, 2000.
 18. Lemos, J. V., *Discrete element modeling of masonry structures*. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 1 (2), 190–213, 2007.
 19. De Felice, G., Giannini, R., *Out-of-Plane Seismic Resistance of Masonry Walls*, *J. Earthquake Eng.*, 5 (2), 253-271, 2001.
 20. D'ayala, D., Speranza, E., *Definition of Collapse Mechanisms and Seismic Vulnerability of Historic Masonry Buildings*, *Earthquake Spectra*, 19 (3), 479-509, 2003.
 21. Giuffre, A., *Leggendo il libro delle antiche architetture: Aspetti statici del restauro*, Cesare Tocci, Caterina F. Carocci, Gangemi Editore spa, Italy, 2010.
 22. Kazaz, İ., Kocaman, İ., *Taş yığma camilerin sismik yük kapasitelerinin değerlendirilmesi*, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2), 557-573, 2018.
 23. Kanit, R., *Düzlem dışı yüklere maruz yığma duvarların deprem davranışlarının analitik ve deneysel değerlendirilmesi*, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(2), 441-449, 2007.
 24. Trimble SketchUp, www.sketchup.com. Erişim tarihi Eylül 9, 2018.
 25. Extension Warehouse. MSPhysics. [https:// extensions .sketchup .com/ en/content/msphysics](https://extensions.sketchup.com/en/content/msphysics). Yayın tarihi Ekim 16, 2017. Erişim tarihi Eylül 9, 2018.
 26. Anton, S. MSPhysics. [https:// sketchucation .com/ forums/ viewtopic.php?f=323&t=56852#p516427](https://sketchucation.com/forums/viewtopic.php?f=323&t=56852#p516427). Yayın tarihi Kasım 16, 2017. Erişim tarihi Mayıs 5, 2018.
 27. Zhu, T.Y., *Some Useful Numbers on the Engineering Properties of Materials (Geologic and Otherwise)*, GEOL 615, Department of Geophysics, Stanford University, 2012.
 28. Imre, B., Rabsamen, S., Springman, S.M., *A coefficient of restitution of rock materials*, *Comput. Geosci.*, 34, 339–350, 2008.

