

Orijinal Makale/Research Article

## Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması

Şükran Tanrıverdi<sup>1</sup>, Tülin Çelik<sup>1</sup>, Ali Ural<sup>1</sup>, Fatih Kürşat Fırat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Tarihi yapılar  
Yığma yapılar  
Kenet  
Bağlantı elemanı  
Çekme gerilmesi

### Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 29.10.2018  
Kabul Tarihi: 21.09.2020

**Özet:** Tarih boyunca insanlar barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla birçok yığma yapı inşa etmiştir. Yığma yapılar deprem, sel, rüzgâr gibi doğal afetler nedeniyle ağır hasar almıştır. Bunun temel nedeni taş yığma yapıların düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. Tarihte yığma yapıların çekme dayanımını arttırmak için çeşitli bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları ilk olarak ahşap malzemeden üretilmesine rağmen daha sonra teknolojinin gelişmesiyle birlikte metal malzemelerden yapılmaya devam edilmiştir.

Bu çalışmada metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisi deneysel metotlarla incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada değişken olarak kenet demirlerinin yığma taş blok üzerindeki batma derinliği dikkate alınmıştır. Bu konu hakkında literatür de yapılmış çalışma yok denecek kadar azdır ve bu çalışmayla literatürdeki bu eksiklerin giderilmesi amaçlanmaktadır.

### Atıf için/To Cite:

Tanrıverdi Ş. Çelik T. Ural A. Fırat F.K. Batma Derinliği Farklı Olan Kenetlerin Yığma Duvarların Davranışa Etkisinin Araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 56-62, 2020.

## Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behavior

### Keywords

Historical structures  
Masonry constructions  
Clamp  
Connection element  
Tensile stress

### Article history:

Received: 29.10.2018  
Accepted: 21.09.2020

**Abstract:** Throughout history, people have built many masonry structures to meet the need for shelter. Masonry structures has taken heavy damage due to natural disasters such as earthquakes, floods, wind. The main reason is that it has low tensile strength of stone masonry structures. Various connectors have been used to increase tensile strength of the masonry structure in the history. Although these connectors were manufactured from the first wood material and then they continued to be made from metal materials with the development of technology.

In this study, the effects of the clamps used as metal connection elements on the behavior of the masonry stone blocks were investigated by experimental methods. In the experimental study, immersion depth of clamps on the masonry stone block are taken into consideration as a variable. It is almost no studies in the literature on this topic and the study is aimed to overcome these short comings of the literature.

### 1. Giriş

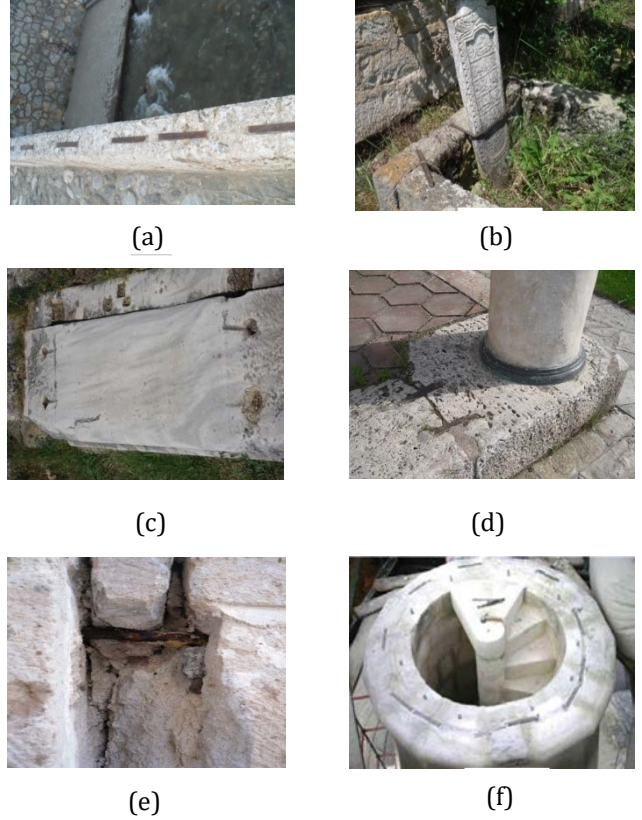
Yığma yapılar briket, taş, kerpiç, tuğla gibi birimlerin harçlar ile oluşturdukları taşıyıcı sistemlerdir. İlk çağlardan günümüze kadar insanoğlu barınma amacıyla çeşitli yığma yapılar yapmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde yığma yapıların ilk örnekleri M.Ö. 1500 yıllarında Mısırlılara ait yer altı mezarlarında görülmüştür.

Yığma yapılar aynı ekseninde birbirine ters yönde yüklemelere maruz kaldığı zaman kayma (kesme) etkisiyle, yığma yapılarda büyük deformasyonlar oluşmaktadır. Bu deformasyonu önlemek ve kesme kuvvetine karşı dayanımı arttırmak amacıyla bu yapıları oluşturan tuğla, taş, briket, kerpiç gibi malzemelerin yanında düşey doğrultudaki yığma birimleri birbirine bağlayan eleman olarak bilinen

zıvana ve yatayda iki yığma birimi bağlayan kenet elemanları kullanılmaktadır. Selçuklu ve Osmanlı döneminde yapılan cami, han, hamam, minare gibi yapılarda bunun örnekleri görülmektedir. Metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetler U, Z, T, I, ve kırlangıç kuyruğu şeklinde olup, yapıda bir bütünlük sağlayarak taş blokların hareket etmesine ve kaymasına engel olmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiği zaman bağlantı elemanı olarak kullanılan kenet ve zıvana demirlerinin sistemin sünekliğini ve dayanımını önemli derecede artırdığı ortaya çıkmaktadır.

Ural 2017, yaptığı çalışmada değişken olarak ele aldığı zıvana demirlerinin çapının yığma duvarın kayma davranışına etkisini deneysel metotlarla incelemiştir. Deneysel sonuçta zıvanalı numunelerin kayma dayanımlarının, zıvanasız referans numunenin kayma dayanımından daha büyük olduğu ve en uygun zıvana oranının %0,49 civarında olduğu ortaya koymuştur [1]. Uslu 2013, yüksek lisans tez çalışmasında, kenet ve zıvanaların yığma duvarın kayma mukavemetini yaklaşık olarak 4 kat artırdığını yapmış olduğu deneyler sonucunda ortaya çıkarmıştır [2]. Koçak 2013, yaptığı çalışmada çeşitli metal bağlantı elemanları kullanarak taş yığma duvarlarını güçlendirmiş ve bu numunelerin kayma dayanımlarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliğini etkili bir şekilde artırdığını ortaya koymuştur [3]. Demir 2012, yaptığı doktora tezi çalışmasında çok tabakalı tarihi duvarın kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak aksel gerilme yüzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasındaki iç moloz dolguyu kullanmıştır. Bu deneysel çalışma ile kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemek ile birlikte, kullanılan taşın çekme dayanımının sınırlı olması nedeniyle taşlar çatlamış ve kenetlerin etkinlikleri sınırladığı sonucuna varılmıştır [4]. Kourkolis ve Pasiou 2009, çalışmasında yığma yapı elemanı olan mermer bloklar ile bu blokları birbirine bağlayan metal bağlantı elemanların ve harcın etkisini araştırmıştır. Yığma yapıya etki edecek yüklere karşın malzemelerin uygun davranışı için kenet sistemlerinin mermer bloklara doğru yerleştirilmesinin önemini vurgulamıştır [5]. Toumbakari 2008, çalışmasında Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerine bir araştırma yapmıştır. Yaptığı çalışmada tapınak duvarlarında taşları birbirine bağlayan kenetlerin, duvarın davranışına etkisini incelemiştir [6]. Papadopoulos 2006, çalışmasında, Apollo Epikourios Tapınağında taş bloklar arasındaki kenet bağlantı elemanları araştırılmıştır. Taş blokların kapasiteleri 3 boyutlu

analizleri ile kenet alanları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda yığma yapının maksimum direnci sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları incelenmiştir [7]. Şekil 1'de gösterildiği gibi kenet elemanlarını, yığma yapılarda sütunlarda, duvarlarda, mezar taşlarında, köprü korkuluklarında, anıtlarda birçok yerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Kenet uygulama örnekleri, a) Köprü korkuluklarında kenet uygulaması [2], (b) Mezar taşlarında görülen kenetler [2], (c) Truva antik kentindeki anıtlarda görülen kenetler, (d) Sütun ayaklarında, (e) Duvarlarda görülen kenet uygulamaları [2], (f) Cami minarelerinde kenet uygulamaları [8]

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan taş, Aksaray iline bağlı Sevinçli kasabasında çıkarılan ve yaygın olarak kullanılan volkanik kökenli tüf taşıdır. Deneysel olarak yapılan bu çalışma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile farklı batma derinliğine sahip 2 mm kalınlığındaki kenet demirlerinin 100x100x200 mm<sup>3</sup> ebadındaki yığma taş blokların davranışlarına etkisi incelenmiştir.

Toplam 21 adet deney numunesi üzerinde kayma (kesme) testleri yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen sayısal veriler birbirileri ile karşılaştırılarak tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Deneysel çalışma için eksenel basınç yükünü belirlemek amacıyla 100x100x200 mm<sup>3</sup> ebadındaki tuf taşının basınç dayanımını belirlemek amacıyla basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Taşın basınç dayanımını test edebilmek için (TS EN 771-6, 2007)' ye uygun olarak hazırlanan taşın ebadı 50x50x50 mm<sup>3</sup> kesilerek oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. (TS EN 772-1, 2012) (Kagir birimlerin basınç dayanımının tayini)'de belirtildiği gibi 6 adet taş basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur [9]. Deneyler 3000 kN kapasiteli, yükleme hızı 0.5 MPa/s olan tek eksenli basınç dayanım cihazı ile gerçekleştirilmiştir [10]. Elde edilen basınç dayanım değerleri, maksimum yükün uygulanan alana oranı ile elde edilmiştir. Tek numune dayanımlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak yığma birimlerin basınç dayanımı elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan tuf taşının basınç dayanım sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yığma taş birimler için basınç dayanım test sonuçları

Numune No	En kesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	4,77
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	4,15
A5	52	50	11450	4,40
A6	51	53	8450	3,13
Ortalama				4,04
Standart Sapma				0,63

## 2. Deneysel Çalışma

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı laboratuvarında bulunan, (TS EN 1052-3, 2004)'e uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir [11]. 15 mm kalınlığında 300x400 mm<sup>2</sup> ebadındaki üç adet çelik plaka Şekil 2'de gösterildiği gibi köşelerinden 50 mm uzaklıkta delikler delinerek 16 mm'lik tij demirleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu tij demirlerine yerleştirilen bulonlar sayesinde çelik levhalar hareket edebilmektedir.

Eksenel yükü okuyabilmek için 10 tonluk bir yük hücresi iki çelik plaka arasına sabitlenmiştir. (TS EN 1052-3)'e göre üç ayrı eksenel basınç yükünün her birisi için en az üç adet numunenin deneye tabi tutulması zorunludur. Standard da belirtildiği gibi basınç dayanımı 10 MPa'dan küçük olan yığma birimlerde eksenel basınç yükleri 0,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa dayanım sağlayacak şekilde uygulanmalıdır. Yaptığımız deneysel çalışmada basınç dayanımı yaklaşık 4 MPa civarında olduğu için eksenel basınç yükü 0,3 MPa alınmıştır. Tijlere bağlı bulonlar sıkılarak çelik plakaların hareketiyle eksenel basınç yükü verilmektedir. Yük hücresinde okunan eksenel yük seviyesi istenen noktaya geldiğinde bulonlar sabitleştirilip, deney düzeneğinin üst kısmına bir adet hidrolik pompa ve üzerine 50 ton kapasiteli bir yük hücresi konularak kayma yükü verilmektedir. Deney hazırlığı ve deney düzeneği ile ilgili resim Şekil 2'de verilmiştir.

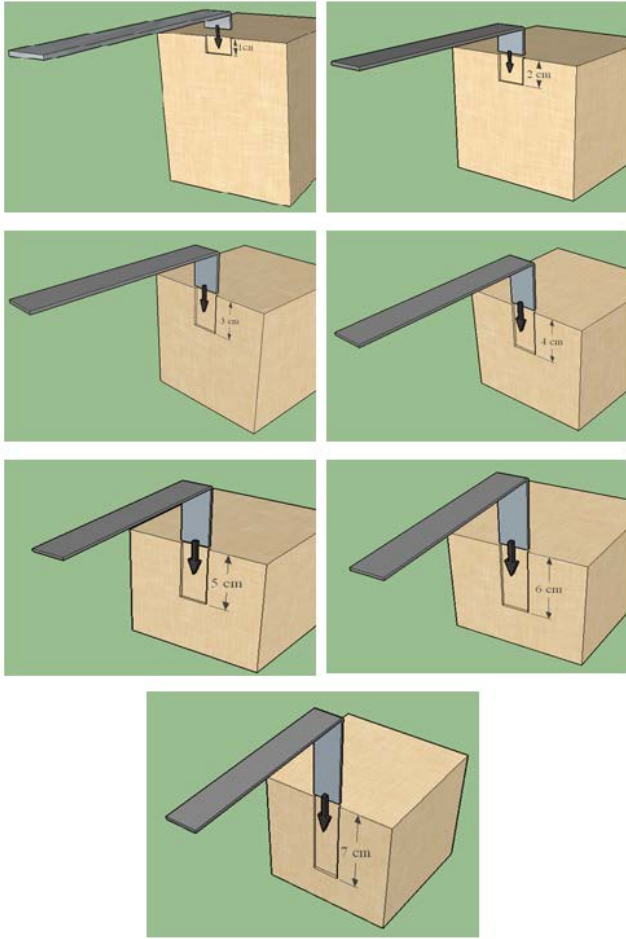


Şekil 2. Deney hazırlığı ve düzeneği

Bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışına etkisini incelemek amacıyla batma derinlikleri değişken olarak alınmıştır. Şekil 2'de gösterildiği gibi 100x100x200 mm<sup>3</sup> ebadındaki yığma taşlar tam orta noktasından 20 mm genişliğinde, 1,2,3,4,5,6 ve 7 cm batma derinliğinde matkap yardımı ile açılmıştır. Her bir numune için 20 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında 1,2,3,4,5,6 ve 7 cm batma derinliğine sahip kenetler hazırlanmıştır. Matkap yardımı ile açılan deliğe kenet elemanı yerleştirilmiştir. Diğer yığma taş blok orta noktasından 20 mm genişliğinde kenet kalınlığı kadar oyulmuştur.



Hazırlanan deney numuneleri deney elemanına yerleştirilmiştir. 20 mm genişliğinde, 2 mm kalınlığındaki kenetin batma derinliği,  $100 \times 100 \times 200 \text{ mm}^3$  ebadındaki taşın ortasından 1,2,3,4,5,6,7 cm alınarak her bir numuneden 3'er adet olmak üzere toplamda 21 adet numune teste tabii tutulmuştur. Her bir deney elemanı için yapılan numuneler Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 olarak adlandırılmıştır. Deney numunesine yerleştirilen kenet elemanları, hidrolik pompa yardımı ile yukarıya doğru çekilerek maksimum kayma yükü elde edilmiştir. Şekil 3'de numunelerin batma derinliğini gösteren çizimler verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin batma derinliğini (L) gösteren çizimler

### 3. Bulgular

Deney sonuçları grafik ve resimler ile karşılaştırmalı olarak sunulup, açıklanmıştır. Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası resimleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



(a)

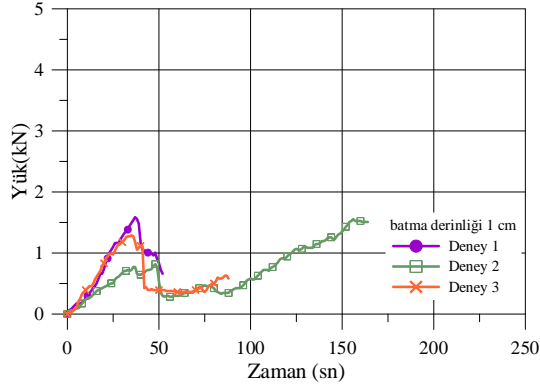


(b)

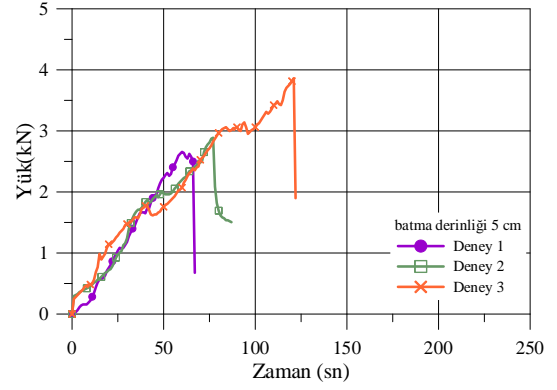


(c)

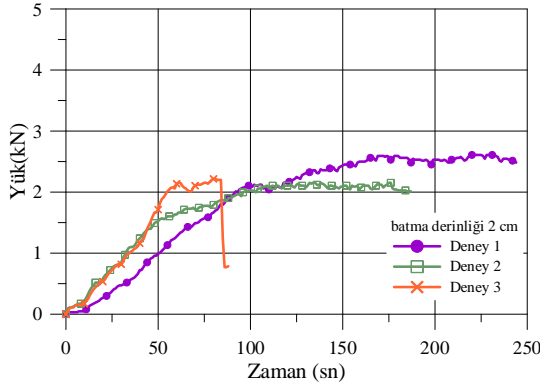
Şekil 4. Numunelerin (a) Deney öncesi ve (b), (c) Deney sonrası halini.



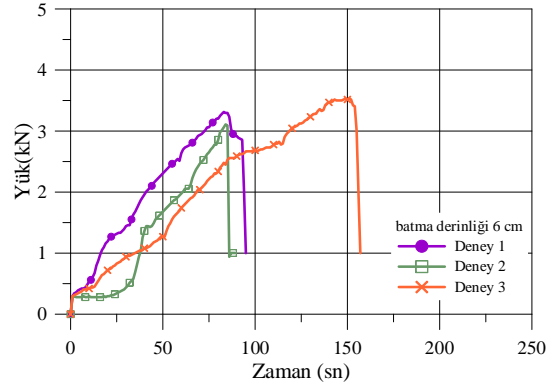
(a) 1 cm'lik numuneler



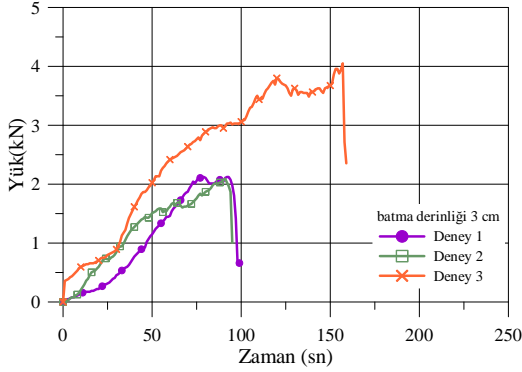
(e) 5 cm'lik numuneler



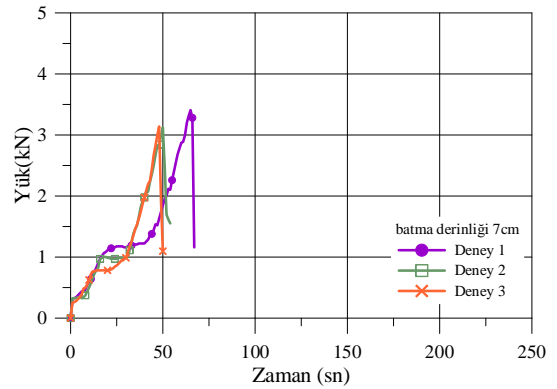
(b) 2 cm'lik numuneler



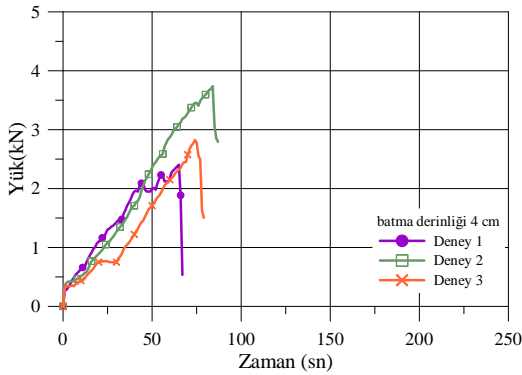
(f) 6 cm'lik numuneler



(c) 3 cm'lik numuneler



(g) 7 cm'lik numuneler



(d) 4 cm'lik numuneler

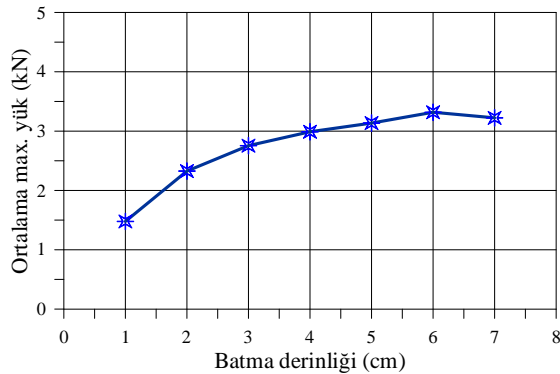
Şekil 5. Yük-Zaman Grafiği (a) 1 cm, (b) 2 cm, (c) 3 cm, (d) 4 cm, (e) 5 cm, (f) 6 cm, (g) 7 cm 'lik numuneler

Farklı batma derinliğine sahip kenetlerden 21 adet yapılarak her biri için ayrı ayrı Şekil 5'de gösterildiği gibi yük- zaman grafikleri çizilmiştir. Deney sırasında 1 cm ve 2 cm batma derinliği ile yapılan kenet elemanlarında sıyrılmalar gözlemlenmiştir ve bundan dolayı fazla yük taşıyamamışlardır. Batma derinliği 1 cm olan 3 adet deney numunesi teste tabi tutulmuştur. Bu deney numunelerinin taşıdığı maksimum kayma yükleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Deney 1,

Deney 2 ve Deney 3 olarak adlandırılan numuneler sırası ile maksimum 1,58 kN, 1,56 kN ve 1,29 kN kayma yükü taşımıştır. Batma derinliği 2 cm olarak deneye tabi tutulan numunelerde ise maksimum kayma yükü 2,61 kN, 2,15 kN ve 2,22 kN'dur. Şekil 5 ve Şekil 6 da görüldüğü gibi batma derinliği 1 cm ve 2 cm olan kenet elemanlarının taşıdığı yük diğer deney numunelerine göre düşük olup, sırası ile yaklaşık olarak ortalama 1,48 kN ve 2,33 kN değerindedir.

Maksimum yük taşıyan, batma derinliği 6 cm olan deney numunesi için yapılan Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 numunelerinden sırası ile maksimum 3,31 kN, 3,11 kN ve 3,53 kN kayma yükü elde edilmiştir. 6 cm'lik batma derinliği olan deney numunesinin ortalama taşıdığı maksimum kayma yükü 3,31 kN'dur. 3 cm batma derinliği ele alınarak yapılan deney numunelerinde maksimum kayma yükleri sırası ile 2,12 kN, 2,09 kN ve 4,05 kN'dur. 3 cm batma derinliğine sahip kenet ile yapılan testler sonucunda ortalama taşınan maksimum yük 2,75 kN olarak bulunmuştur.

4 cm batma derinliğe sahip deney numunelerinden Deney 1 2,40 kN, Deney 2 3,74kN ve Deney 3 2,83 kN maksimum kayma yükü taşımıştır. Batma derinliği 5 cm olan deney numunelerinin taşıdıkları maksimum kayma yükleri sırası ile 2,66 kN, 2,89 kN ve 3,86 kN'dur. Şekil 5 'de görüldüğü gibi 7 cm batma derinliğine sahip deney numuneleri 3,41 kN, 3,12 kN ve 3,14 kN'luk maksimum kayma yüklerine sahiptir. Batma derinliği 4 cm, 5cm ve 7 cm olan kenet elemanları ile yapılan deneyler sonucunda ortalama taşıdıkları yük sırası ile 2,98 kN, 3,13 kN ve 3,22 kN olarak tespit edilmiştir. Batma derinlikleri 6 cm ve 7 cm olan kenetlerin ortalama taşıdığı yükler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Benzer şekilde 4 cm ve 5 cm batma derinliğine sahip olan kenet uygulamaları ile yapılan deney elemanları, birbirine oldukça yakın değerde yük taşımışlardır.



Şekil 6. Ortalama maksimum yük- batma derinliği grafiği

Tablo 2. Deney numunelerinin sonuçları

Numune No	Pr (kN)	Artış <sup>a</sup> (%)
1 cm'lik Numune	1,48	0
2 cm'lik Numune	2,33	57,4
3 cm'lik Numune	2,75	85,8
4 cm'lik Numune	2,98	101,4
5 cm'lik Numune	3,13	111,5
6 cm'lik Numune	3,31	123,6
7 cm'lik Numune	3,22	117,6

<sup>a</sup> Modellerin 1 cm'lik numuneye göre ortalama maksimum yüklerindeki yüzdelik artış miktarı

Tablo 2' den de görüldüğü gibi 1cm'lik batma derinliğine sahip deney numunesi ortalama maksimum 1,48 kN kayma yükü taşımıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre 2 cm'lik batma derinliğine sahip deney numunesinin ortalama maksimum kayma yükü, 1 cm'lik numuneye göre %57,4 ile en az artan numune olmuştur. Batma derinliği arttıkça numunelerin taşıdıkları kayma yükleri de artmaktadır. En fazla artış %123,6 değeriyle 6 cm'lik batma derinliğine sahip numunede gerçekleşmiştir.

Batma derinliği 7 cm olan deney numunesinde kayma yükünde bir miktar azalma meydana gelmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisi deneysel metotlarla incelenmiştir. Batma derinliği değişken olarak alınan deneysel çalışmada her bir numuneden 3'er adet, toplamda 21 adet deney numunesi kayma testine tabi tutulmuştur. Aşağıda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

Batma derinliği uygulanan yük ile orantılı olarak değişmektedir. Maksimum taşınan yük batma derinliği 6 cm olan deney elemanında görülürken, 7cm'lik kenet uygulaması yapılan numunelerde taşınan ortalama yükte azalmalar gözlenmiştir. Bunun nedeni, kenetin taşın üzerindeki etkidiği yüzey alanının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Kenetin batma derinliğinin 3 cm'den daha düşük olduğu numunelerde sıyrılmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple minimum batma derinliğinin 3 cm olması sonucuna varılmıştır. Farklı taş numuneleri içinde benzer sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışmada batma derinliğinin (L), taşın yüksekliğine (a) oranı minimum 0,03 olarak belirlenmiştir.

İleride bu çalışma daha da kapsamlı hale getirilebilir. Örneğin genişliği farklı metal bağlantı elemanlarının yığma duvarın kayma dayanımına etkisi araştırılabilir.

Bu çalışma tarihi yapılarda özellikle restorasyon ve güçlendirme uygulamalarında iyi bir referans olarak bu konu üzerine yapılacak olan diğer bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma Kosova'nın Prizren şehrinde 5 – 9 Eylül 2018 tarihinde düzenlenen Uluslararası Bilim ve Teknoloji Konferansı'nda tam metin olarak yayınlanmıştır.

### Kaynaklar

[1] Ural A. Zivana demirlerinin yığma duvarların kayma davranışına etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 2-4 Kasım 2017.

[2] Uslu S. *Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[3] Koçak Y. *Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[4] Demir C. *Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls*. Phd thesis, Istanbul Technical University, Istanbul 2012.

[5] Kourkoulis SK, Pasiou ED. Epistyles connected with "I" connectors under pure shear. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 2, 2, 81- 99, 2009.

[6] Toumbakari EE. The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the ortho state of the northern wall. *Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D'Ayala & Fodde*, 673-681, 2008.

[7] Papadopoulos KA. The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the

temple of Apollo Epikourios. *Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D'Ayala & Fodde*, 1389-1396, 2006.

[8] Kuşüzümü KH. İstanbul minareleri, restorasyon konservasyon arkeoloji ve sanat yıllığı. *Vakıflar Genel Müdürlüğü*, 1, 57-66, 2010.

[9] TS EN 772-1. Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.

[10] Akçaözoğlu K, Akçaözoğlu, S. The Effect of Elevated Temperature on the Lightweight Concrete Produced by Expanded Clay Aggregate and Calcium Aluminate Cement, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1,2, 59-70, 2017.

[11] TS EN 1052-3. Kâgir-deney metodları-bölüm 3: Başlangıç kayma dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.