







Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kenet Genişliğinin Yığma Taş Bloklarının Kayma Davranışı Üstündeki Etkisinin İncelenmesi

 Şükran TANRIVERDİ^a,  Tülin ÇELİK^{a,*},  Ali URAL^a,  Fatih Kürşat FIRAT^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tulinsandikci@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.1014685

ÖZ

Tarihi yapılarda geleneksel yapı malzemesi olarak taş, tuğla türü malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin harç ile birleştirilmesiyle yığma duvarlar inşa edilmiştir. Yığma yapı birimlerinin çekme dayanımı oldukça düşüktür. Yığma yapıların kayma gerilmelerine karşı dayanım sağlaması ve yapı sisteminin birlikte hareket etmesi istenmektedir. Tarihi yapı duvarlarının, birleşim ve keşişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gerekmektedir. Geçmişte tarihi yapıların bu bütünlüğünü koruyabilmek amacıyla çeşitli metal bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları olarak kenetler ve zıvanalar ön plana çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, genişlikleri farklı olan kenet elemanların yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı kenet genişliklerde 18 adet deney numunesi üretilerek kayma dayanım testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar ile karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır. Bu çalışma ile kenet genişlikleri farklı olan numunelerin, kırılma yüklerine ve kayma dayanımlarına göre değerlendirmeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, Yığma yapılar, Kenet genişliği

Investigation of the Effect of Clamp Width on the Sliding Behavior of Masonry Stone Blocks

ABSTRACT

Stone and brick type materials were used as traditional building materials in historical buildings. Masonry walls were built by combining these materials with mortar. The tensile strength of masonry building units is quite low. It is desired that masonry structures provide resistance against shear stresses and that the building system moves together. It is necessary to ensure the integration of the elements in the junction and intersection areas of the historical building walls by interlocking. In the past, various metal fasteners have been used to preserve the integrity of historical buildings. Clamps and dowels have come to the fore as these fasteners. In the experimental study, the effect of clamping elements with different widths on the shear strength of the masonry blocks was investigated. For this purpose, 18 test specimens with different clamp widths were produced and subjected to shear strength test. Obtained results are presented in comparison with graphs and tables. In this study, samples with different clamp widths were evaluated according to their breaking loads and shear strengths.

Keywords: Historical buildings, Masonry structures, Clamp width

I. GİRİŞ

Anadolu coğrafyası birçok devlete ve imparatorluğa ev sahipliği yapmıştır. Bu coğrafya yaklaşık 8000 yılda birçok medeniyeti içinde barındırmış ve bu medeniyetlerin kültürel mirasını günümüze kadar taşımıştır. Tarih boyunca bu bölgede yaşayan medeniyetlerce yapılan cami, han, hamam, kervansaray, köprü, külliye, saray ve su kemeri gibi tarihi yapılar; yapıldığı dönemin toplumsal yapısını, geleneksel yaşantısını ve şehrin kimliğini yansıtır. Anadolu'nun bazı bölgeleri mimari açıdan bütünlük sağlayarak birbirleri ile özdeşleşmiştir.

Tarihi yapılar deprem, sel, heyelan ve yangın gibi doğal felaketler nedeniyle birçok tarihi yapı, zaman içerisinde mimari ve yapısal özelliğini koruyamamıştır. Tarihi yapıya zarar veren nedenlerden bazıları yapıdaki bakımsızlık ve yapı üzerinde uygulanan yanlış restorasyon çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Yanlış restorasyon uygulamaları, tarihi yapının aslının bozulmasına ve yapının deprem davranışının olumsuz olarak değişmesine neden olabilmektedir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, kendine özgü kimliğinin bozulmaması son derece önemli bir konudur. Bu yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmıştır. Kenet ve zıvanalar; cami, köprü, mezar taşı, minare ve sütun gibi farklı yapılarda uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, tarihi yapılarda metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin genişlikleri, değişken olarak incelenmiştir. Kenet genişlikleri 1 cm'den 6 cm'e kadar 1'er cm arttırılarak yığma birimler üzerinde deneyler yapılmıştır.

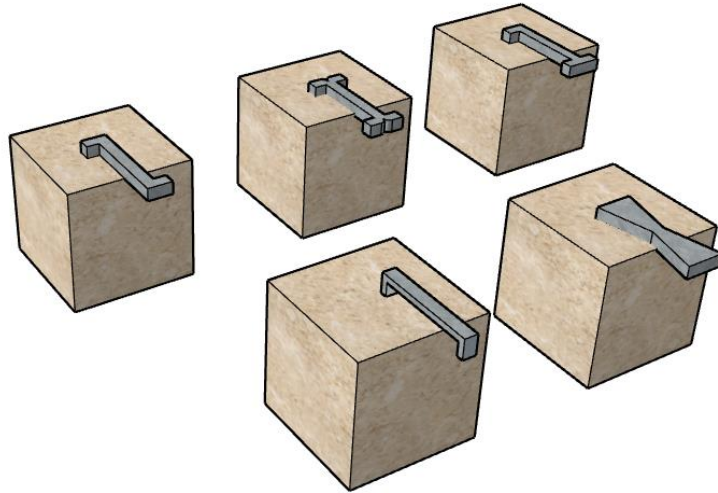
Literatür araştırmasında tarihi yapıların davranışını inceleyen farklı çalışmalar bulunmuştur. Sözen ve Çavuş [1] çalışmalarında, Yılanlı (Leylekli) tarihi köprüsünün deprem performansını incelemiştir. Köprü'nün orijinal geometrisi ile değişikliğe uğramış geometrisinin deprem performansları karşılaştırılmıştır. Yapının geometrik formunun değiştirilmesi ile deprem performansının olumlu etkilendiği görülmüştür. Türker ve Yanık [2], tarihi İlyasbey Camii'nin yapısal davranışlarını belirlemek amacıyla çevresel titreşim testleri yapmışlardır ve caminin sonlu elemanlar modelinde sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisi altında analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında, metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenet ve zıvanaların davranışlarını inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda bu bağlantı elemanlarının yığma sistemlerin sünekliğini ve dayanımını önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. Çelik vd. [3], değişken olarak kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi dikkate alınmış olup, kenetin taşın kayma dayanımına etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesine oranı 0,2 değerinden küçük olmaması gerektiği söylenmiştir. Kurugöl ve Küçük [4] çalışmasında, geleneksel mimarideki demir malzemesinin uygulandığı yer ve kullanım biçimlerini ele alınarak, üretim teknikleri ve şekil verme yöntemlerini belirlemişlerdir. Aynı zamanda demir malzemede zaman içerisinde ortaya çıkan çeşitli problemleri anlatmışlardır. Ural vd. [5] farklı kenet-zıvana sistemlerine sahip, aynı ebattaki yığma duvar numuneleri üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, sistemlerin yığma duvarların kesme (kayma) kapasitesine ne tür bir etkisi olduğu incelenmiştir. Uslu [6] yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarını araştırmıştır. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zıvana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, yığma taş duvar numunelerini diyagonal basınç etkisine tabi tutarak, duvarlar üzerindeki kesme davranışının etkisi incelemiştir. Numuneler kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirilmiştir. Kenet ve zıvanalar ile güçlendirilen yığma taş duvarların, bağlantı elemanı kullanılmayan yığma taş duvarlara göre daha yüksek dayanım gösterdiği sonucuna varılmıştır. Koçak [7] çalışmasında, düşük kayma dayanımına sahip yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak amacıyla birçok teknik geliştirmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak için metal bağlantı elemanları kullanmıştır. Deneysel çalışmasında metal bağlantı elemanı olarak 3 farklı kenet çeşidi geliştirilmiştir. 10 farklı deney numunesi üretilerek bunların kayma dayanımları araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliğini etkili bir şekilde arttırdığını ortaya

koymuştur. Demirtaş [8] yaptığı çalışmada, çok tabakalı tarihi duvarlarda kullanılan kenet ve zıvanaların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak, eksenel gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu kullanmıştır. Deneysel çalışma, yer değiştirme kontrollü olarak etkiyen tekrarlı kesme kuvvetlerine maruz bırakılmış duvar numunelerinden meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada kenetlerin kullanılmasının çatlak dağılımını etkilediği, kullanılan küfeki taşının sınırlı çekme dayanımına sahip olması nedeniyle, taşların çatlayarak kenetlerin etkinliklerini sınırladığı sonucuna varılmıştır. Toumbakari [9], Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerinde bir araştırma yapmıştır. Söz konusu tapınak duvarlarında, taşları birbirine bağlamak amacıyla kenet uygulamalar kullanılmıştır. Bu kenet uygulamalarının duvarın davranışına etkileri araştırılmıştır. Papadopoulos [10] yaptığı çalışmada, Apollo Epikourios Tapınağında taş bloklar arasında bulunan metal bağlantı elemanlarını incelenmiştir. Kenet alanlarının taş blokların taşıma kapasitelerine etkisini, üç boyutlu analizler yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak yığma yapının maksimum dayanım sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları araştırmıştır. Baranaydın [11] geçmişte Ephesos St. Jean Kilisesi'nde yapılmış restorasyon çalışmalarını inceleyerek geniş çaptaki boşlukların onarımında kenetlerin kullanıldığını belirlemiştir. Demir kenet ile uygulanan dikiş yönteminde hatalı malzemelerin kullanılması sebebiyle yapı üzerinde sıkıntıların ortaya çıktığına değinmiştir. Tanrıverdi vd. [12] çalışmalarında tarihi yapılarda metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin batma derinliklerinin taş bloklar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda kenetlerin taş bloklar üzerindeki optimum batma derinliğini bulmuşlardır. Yetkin vd. [13] 24 Ocak 2020 Sivrice depremi sonrasında Elazığ İli'nde bulunan minareleri inceleyip, minareler üzerinde meydana gelen hasarları değerlendirmişlerdir. Minarelerin onarım ve güçlendirilmelerinde ve yeni yapılacak minarelerde çekme dayanımlarını karşılayabilmeleri için kenetlerin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Nikoliç vd. [14] çalışmalarında taş duvar yapısının davranışı üzerinde deneysel bir araştırma yapmıştır. Deneysel çalışmada modelin kemerleri ve üst kısımlarında kenet ve zıvana kullanmışlardır. Deney sonuçları, yığma birimler arasındaki kenet ve zıvanaların yapının sismik enerji kaybını artırmada özel bir rol oynadığını ve yapıyı çökmeden koruduğunu göstermiştir.

A. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMANLARI

Günümüze kadar ulaşılmış tarihi yapıların birçoğu doğal taş ve kesme taş malzeme kullanılarak yapılmıştır. Bu yapılardaki kesme taş blokların birbirine bağlanması amacıyla kenet ve zıvana kullanılmıştır. Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri Şekil 1'de görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, tarihin farklı devirlerinde kullanılmış olan bu bağlantı elemanlarını camilerde, minarelerde, kemer köprülerde, sütunlarda, sütun kaidelerinde, hatta bazı mezar taşlarında görmek mümkündür (Şekil 2).



Şekil 1. Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri



Şekil 2. Bağlantı elemanı olan kenetin farklı alanlarda kullanımı

II. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan taşlar, Aksaray İli'nde bulunan Sevinçli kasabasından çıkarılan “tüf taşı” isimli volkanik kökenli bir taştır. Bu taşlar Aksaray ili ve çevresinde yapılan yığma yapı inşalarında kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan taşların boyutu 10x10x20 cm³ ebadındadır. Seçilen taşın fiziksel ve jeokimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarında yapılmıştır. Taşın fiziksel ve jeokimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 1. Tüf taşının fiziksel deney sonuçları

Test Türü / Birimi	Sonuç
Mohs Sertlik	3
Dijital Schmidt Çekici Sertliği	35 (33-37)
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,97
Doygun Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (µs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (µS -25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (%-25 mL suda)	0,58
Darbe Direnci (kgcm/cm ³)	23

Tablo 2. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler

Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)	Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)	
Co	Kobalt	11	Sn Kalay	1,5
Cu	Bakır	3,9	Te Tellür	1,3
Zn	Çinko	14	I İyot	2,3
Ga	Galyum	11,3	Cs Seryum	12
Ge	Germanyum	1	Ba Baryum	656,7
As	Arsenik	9,8	La Lantan	37,8
Se	Selenyum	0,4	Ce Seryum	46,4
Br	Brom	2,9	Hf Hafniyum	7,5
Rb	Rubidyum	163,9	Ta Tantal	2,8
Sr	Stronsiyum	124	W Tungsten	4
Nb	Niyobyum	16,7	Pb Kurşun	22
In	İndiyum	0,8	U Uranyum	7,4

Tablo 3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler

Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)	Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)		
Na ₂ O	Sodyum oksit	2,32	CaO	Kalsiyum oksit	1,21
MgO	Magnezyum oksit	0,544	TiO ₂	Titanyum dioksit	0,163
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit	10,05	V ₂ O ₅	Vanadyum pentoksit	0,002
SiO ₂	Silisyum dioksit	69,30	Cr ₂ O ₃	Krom III oksit	0,002
P ₂ O ₅	Fosfor pentaoksit	0,038	MnO	Mangan oksit	0,043
SO ₃	Kükürt trioksit	0,001	Fe ₂ O ₃	Demir III oksit	1,15
Cl	Klorür	0,036	LOI*		10,34
K ₂ O	Potasyum oksit	4,29	Toplam		99,49

(*) LOI: Loss on Ignition / Fırında 950°C’de Kızdırma Kaybı (Karbonat)

Kullanılan taşın basınç dayanımı tayini için, TS EN 771-6’ya [15] göre 50x50x50 mm³ boyutlarında kesilen taşların oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. TS EN 772-1’de [16] belirtildiği şekilde 6 adet taş üzerinde basınç dayanımı testleri Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3).



a) Yığma birimlerin basınç dayanımı



b) Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı

Şekil 3. Yığma birimlerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı testleri

Numunelerin basınç dayanımları, TS EN 772-1’de [16] belirtildiği gibi maksimum yükün, yükün uygulandığı alana bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yığma birimlerin ortalama basınç dayanımı, 4,13 MPa olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 4’de taşın basınç dayanım test sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Tablo 4. Duvar deneylerinde kullanılan yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları

Numune No	En kesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
1	50	50	12650	5,06
2	50	50	10850	4,34
3	50	50	8570	3,43
4	50	50	9970	3,98
5	50	50	11450	4,58
6	50	50	8450	3,38
Ortalama				4,13
Standart Sapma				0,66

Yığma taş birimlerin eğilmede çekme testleri TS EN 772-6 [17] (Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini) standartı dikkate alınarak yapılmıştır. Standartta belirttiği gibi taşın ebatı 40x40x160 mm³ kesilerek toplam 6 adet numune üzerinde eğilmede çekme testleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3). Taş numunelerinin eğilmede çekme dayanımları Eş. 1 ile hesaplanmıştır.

$$R_{tf} = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

Denklemdaki R_{tf} ; eğilmede çekme dayanımını (N/mm²), P; maksimum yüğü (N), b; taşın genişliğini (mm), L; taşın boyunu ve d; taşın yüksekliğini (mm) ifade etmektedir. Tablo 5’de tuf taşının eğilmede çekme dayanım sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda taşın eğilmede çekme dayanımı ortalama 0,71MPa olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. Yığma taş birimler için eğilmede çekme dayanım test sonuçları

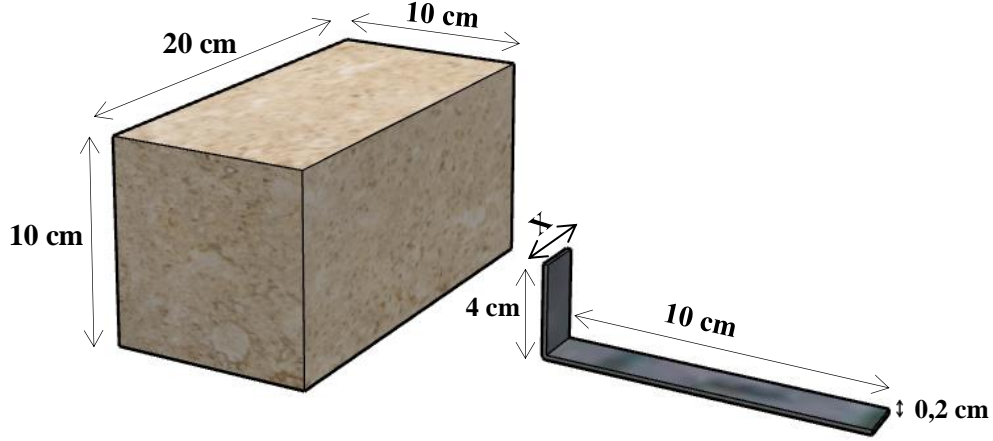
Numune No	Kırılma Yüğü (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
1	490	0,77
2	490	0,62
3	560	0,88
4	500	0,68
5	450	0,59
6	570	0,72
Ortalama		0,71
Standart Sapma		0,11

Deneylerde metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetin kalınlığı 0,2 cm olarak seçilmiştir. Kenet ile ilgili çekme testleri TS EN ISO 6892-1 [18] (Metalik malzemeler çekme deneyi) standardında belirtilen şekilde Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

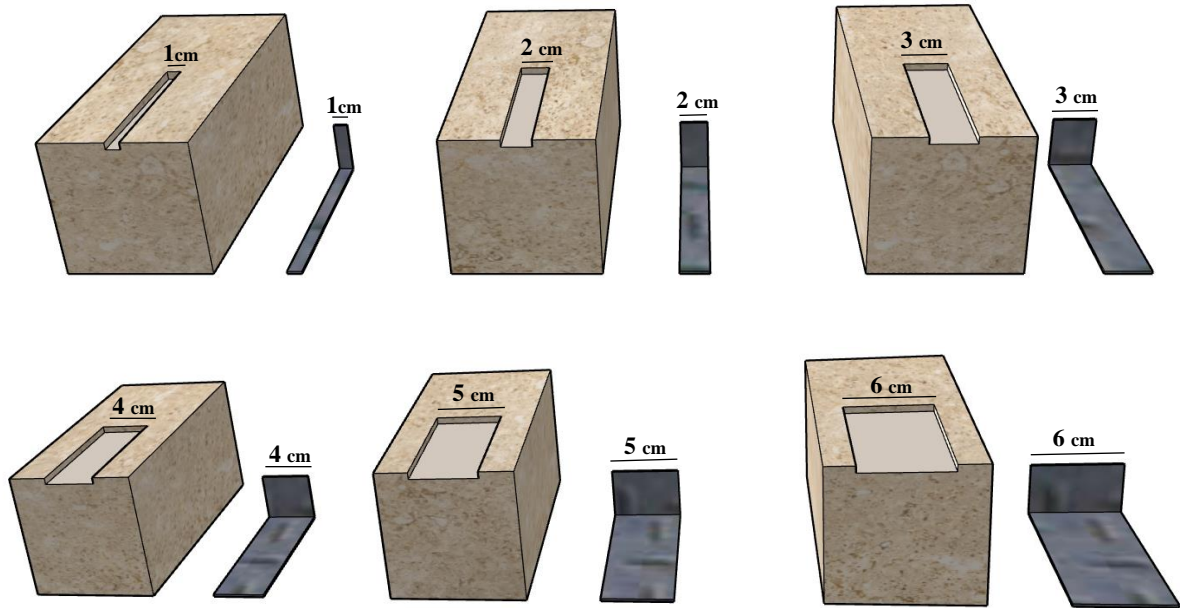
$$R_m = F_m \quad (2)$$

Burada; R_m çekme dayanımı (MPa), F_m deney sırasında akma noktası geçildikten sonra deney numunesinin dayandığı en büyük yüğüdür. Yapılan deney sonucunda kenetlerin çekme dayanımı 290 MPa civarında bulunmuştur.

Deneyde kullanılan tuf taşı Şekil 4’de gösterildiği gibi 10x10x20 cm³ ebadında olup, kenetlerin uzunluğu 10 cm, batma derinliği 4 cm ve kalınlığı 0,2 cm’dir. Kenet genişlikleri değişken olarak belirlenip X ile gösterilmiştir. Kenet genişliği 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm ve 6 cm olan her bir numuneden 3’er adet olmak üzere toplamda 18 numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyde incelenen kesme taş numuneleri ve kenet genişliği boyutları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kesme taş ve kenet numunelerinin boyutları



Şekil 5. Kesme taş numuneleri ve kenet genişliği boyutları

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan, TS EN 1052-3'e [19] uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. 15 mm kalınlığında 30x40 cm ebadındaki üç adet çelik plaka, Şekil 6'da gösterildiği gibi köşelerinden 5 cm 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 [19] göre üç ayrı eksenel basınç yükünün her birisi için en az üç adet numunenin deneye tabi tutulması istenmektedir. Standart 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 çekme yükü verilmektedir.



Şekil 6. Deney düzeneği



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Deney numuneleri, (b) kenetler

Yapılan deneysel çalışmada, metal bağlantı elemanı olan kenetlerin genişliklerinin taş bloklar üstündeki kayma dayanımına etkileri incelenmiştir. 10x10x20 cm³ ebadındaki yığılma taşlar, tam orta noktasından 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm ve 6 cm genişliğinde (kenet genişlikleri değişken olarak alınmıştır), 4 cm batma derinliğinde matkap yardımı ile açılmıştır. Her bir numune için 0,2 cm kalınlığında, 4 cm batma derinliğinde, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm genişliğinde kenetler hazırlanmıştır. Kenet elemanları matkap yardımı ile açılan deliğe yerleştirilmiştir. Diğer yığılma taş orta noktasından 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm genişliğinde, 0,2 cm kenet kalınlığı kadar oyulmuştur. Herbir kenet genişliğinden 3'er tane olmak üzere, toplamda 18 adet deney numunesi üzerinde kayma testleri yapılmıştır (Şekil 7). Yapılan deneyler sonucunda elde edilen deformasyonlar ve sayısal değerler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Deney sonuçları grafik ve resimler ile karşılaştırmalı olarak sunulup, açıklanmıştır. Numunelerin deney sonrası resimleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



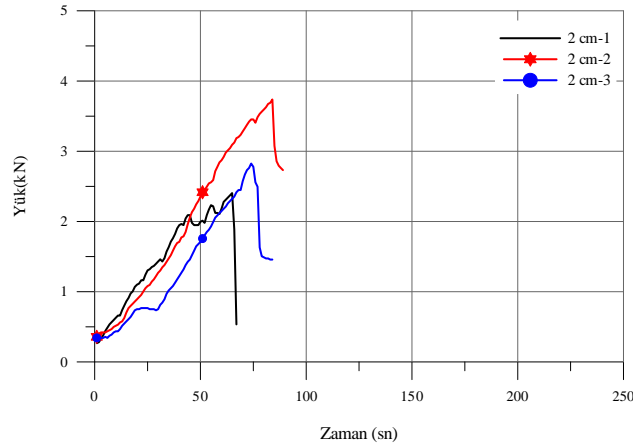
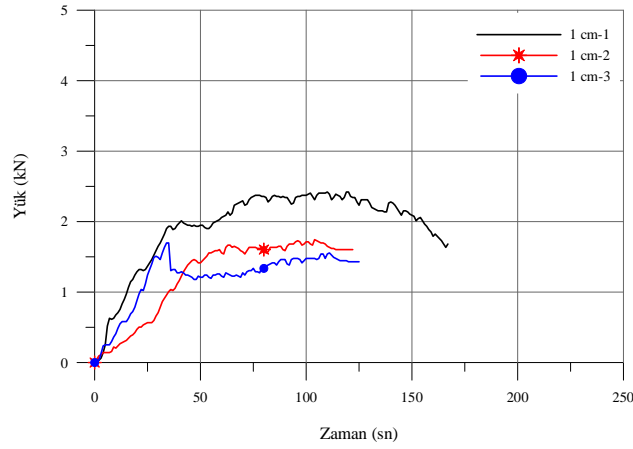
Şekil 8. Numunelerin deney sonrası hali

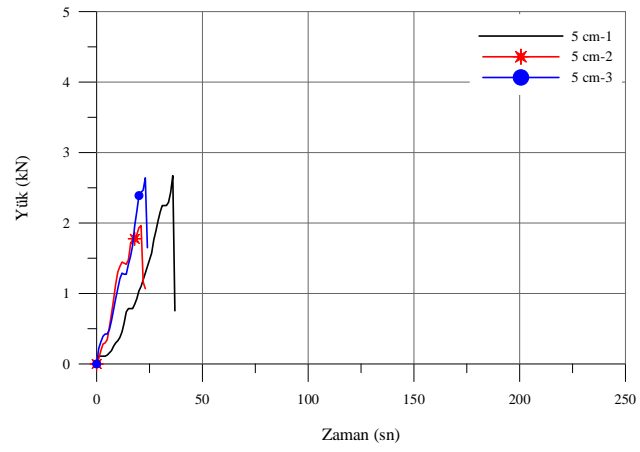
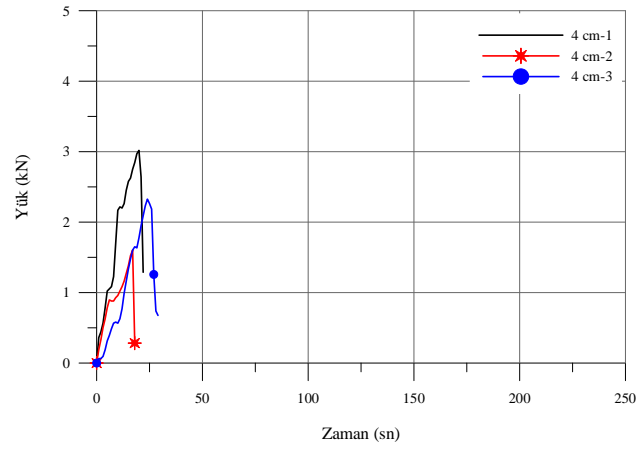
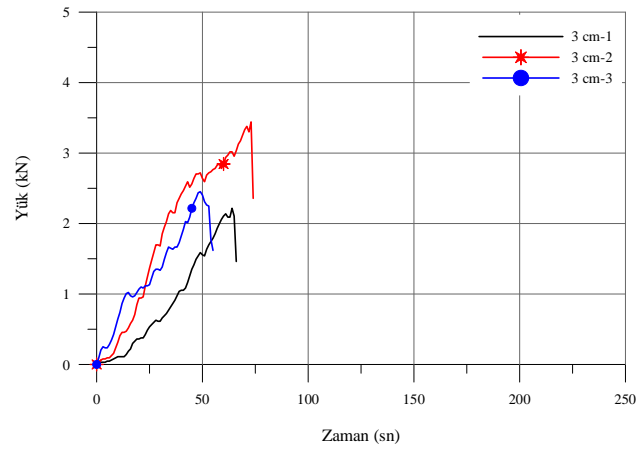
D1 1 cm genişliğinde, D2 2 cm genişliğinde olmak üzere 6 farklı genişlikte kenetler kullanılmıştır. Her genişlikten 3 adet olmak üzere toplam 18 tane kayma testi deneyi yapılmıştır. D1-D6 arasındaki numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları sayısal değerleri Tablo 6'da ve numunelerin deney sonrası fotoğrafları Şekil 9'da verilmiştir.

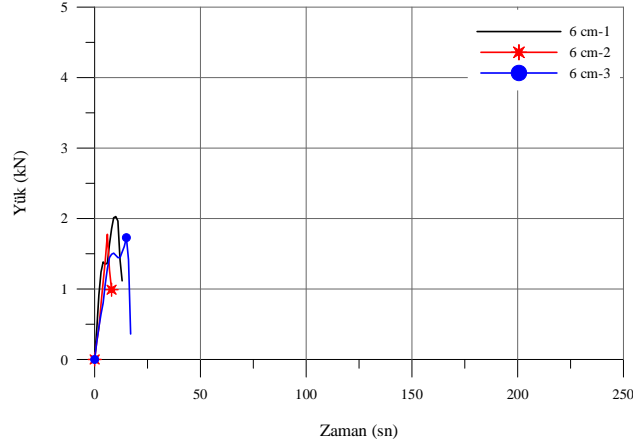


Şekil 9. Deney sonrası numunelerin görüntüleri

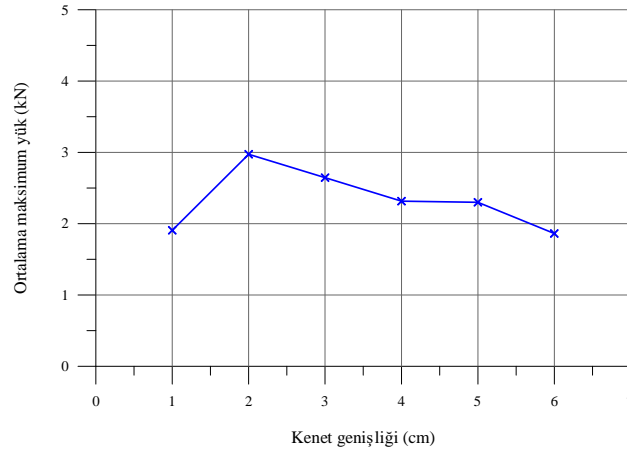
Farklı genişliğe sahip kenet numuneleri üzerinde yapılan deney sonucunda çizilen yük-zaman grafikleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü üzere, 1 cm kenet genişliğine sahip deney numunelerinde, kenet elemanlarında sıyrılmalar gözlemlenmiş olup sıyrılmalardan dolayı numuneler çok fazla yük taşıyamamıştır. Her bir numune için yapılan üçer adet deneyin sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ortalama maksimum yük-kenet genişliği grafiği Şekil 11'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre ortalama en düşük yük, 1 cm ve 6 cm kenet genişliğine sahip deney numunelerine ait olup sırasıyla 1,907 ve 1,862 kN'dur. 4 cm ve 5 cm kenet genişliğine sahip kenetlerle yapılan deney elemanlarının taşıdığı ortalama maksimum yük birbirlerine çok yakın çıkmıştır. 4 cm kenet genişliğine sahip deney elemanı ortalama maksimum 2,316 kN yük taşırken, 5 cm'lik kenet genişliğine sahip deney elemanı 2,300 kN yük taşımıştır. Grafiklerden de görüldüğü üzere maksimum yük taşıyan deney numunesi 2 cm kenet genişliğine sahip deney elemanında gözlemlenmiştir. 2 cm genişliğe sahip kenet numunesinin ortalama taşıdığı maksimum yük değeri 2,973 kN değerinde iken, 3 cm genişliğe sahip kenet numunesinin ortalama taşıdığı maksimum yük 2,646 kN olmuştur.







Şekil 10. Yük-zaman grafikleri

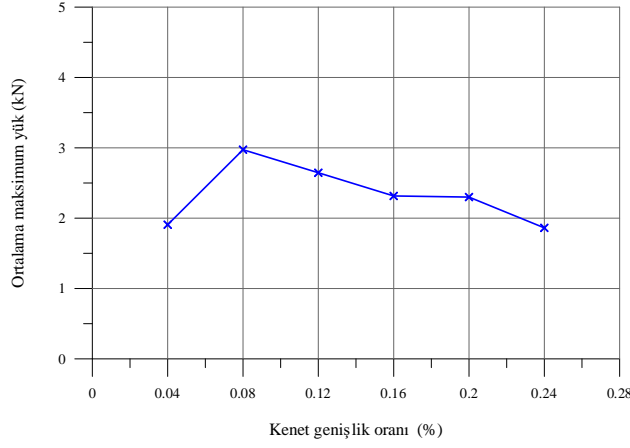


Şekil 11. Ortalama maksimum yük- kenet genişliği grafiği

Tablo 6. D1-D6 numunelerinden elde edilen ortalama maksimum yükler

Deney No	Kenet Genişliği (cm)	Ortalama Maksimum Yük (kN)	Kenet Genişlik Oranı
D1	1	1,907	0,04
D2	2	2,973	0,08
D3	3	2,646	0,12
D4	4	2,316	0,16
D5	5	2,300	0,20
D6	6	1,862	0,24

Tablo 6'da kayma yüzeylerine yerleştirilen kenetlerin alanları hesaplanmış ve kayma alanıyla olan orantısı da çıkartılmıştır. Buna göre kayma yükü en yüksek çıkan D2 (kenet genişliği 2 cm) numunesinde, kenet genişlik oranı 0,08 olarak belirlenmiştir. Deney numunelerinin kenet genişlik oranı ile ortalama maksimum yük arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için Şekil 12'deki grafik çizilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi maksimum ortalama yüke sahip olan D2 numunesinde kenet genişlik oranı 0,08 olmuştur. D2 numunesinden sonra kenet genişlik oranı arttıkça maksimum ortalama yük değeri azalmaktadır.



Şekil 12. Ortalama maksimum yük-Kenet genişlik oranı grafiği

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişken olarak ele alınan kenet genişliğinin, yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında her bir numuneden 3'er adet olmak üzere toplamda 18 adet deney numunesi ele alınarak kayma testi uygulanmıştır. Buradaki amaç, farklı genişlikteki kenet modellerinin, kayma davranışına etkisini göstererek, optimum kenet genişliğini elde etmektir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ D2 numunesinin taşıdığı ortalama maksimum yükün, D1, D3, D4, D5 ve D6 numunelerine göre sırası ile % 55,90, %12,36, %28,37, %29,26 ve % 59,67 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. Bu sebeple deney sonucunda, optimum kenet genişliği 2 cm olarak belirlenmiştir.
- ✓ Maksimum ortalama yüke sahip olan D2 numunesinde meydana gelen kenet genişlik oranı 0,08'dir. Kenet genişlik oranı D2 numunesinden sonra artmıştır. Kenet genişlik oranı ile ortalama maksimum yük karşılaştırıldığı zaman, D2 numunesinden sonraki numunelerde kenet genişlik oranı arttıkça maksimum ortalama yük değeri azalmıştır.
- ✓ Kenet genişliği 1 cm olan deney numunelerinde sıyrılmalar gözlemlenmiştir. Farklı taş numuneleri için de aynı şekilde sıyrılmaların olabileceği öngörülmektedir.
- ✓ Ortalama maksimum yük ile kenet genişliği grafiği incelendiğinde 2 cm kenet genişliğine sahip kenet ile yapılan deney elemanından sonra, kenet genişliği arttıkça deneyden elde edilen ortalama maksimum yük miktarının, doğrusal olarak azaldığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu çalışma, tarihi yapılarda özellikle restorasyon ve güçlendirme uygulamalarında kenet genişliklerinin nasıl yapılması konusunda iyi bir referans olacak ve bu konu üzerine yapılacak olan diğer bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlayacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] Ş. Sözen ve M. Çavuş, "Tek açıklıklı tarihi taş köprülerde form değişikliğinin köprünün sismik davranışına etkisinin değerlendirilmesi: Niksar Yılanlı (Leylekli) Köprü Örneği," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 48-59, 2020.

- [2] T. Türker ve Y. Yanık, “İlyasbey Camisi’nin yapısal davranışının çevresel titreşim testi ve sonlu eleman yöntemleriyle incelenmesi, ” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 1431-1453, 2020.
- [3] T. Çelik, Ş. Tanrıverdi, A. Ural ve F.K. Fırat, “yığma yapılarda kullanılan kenetlerin yapı davranışına etkilerinin incelenmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 650-659, 2021.
- [4] S. Kurugöl ve S.G. Küçük, “tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri,” *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiri Kitabı*, ss. 521–536, 2015.
- [5] A. Ural, M.E. Kara ve S.Uslu, “Kenet ve zıvanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi,” *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiri Kitabı*, ss. 537–548, 2015.
- [6] S. Uslu, “Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray*, 2013.
- [7] Y. Koçak, “Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları,” *Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray*, 2013.
- [8] B. Demirtaş, “Magnesia Artemis Tapınağı’nın teknik ve işçilik özellikleri,” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [9] E.E. Toumbakari, “The Athens Parthenon: Analysis and Interpretation of the Structural Failures in the Orthostate of the Northern Wall,” *Structural Analysis of Historic Construction–D’Ayala & Fodde (eds), Taylor and Francis Group, London*, ss. 673-681, 2008.
- [10] K.A. Papadopoulos, “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, New Delhi, 2006.
- [11] F. Baranaydın, “Ephesos St. Jean Kilisesi Kiborion Sütünü 1963 yılı restorasyonuna güncel bir yaklaşım,” *AMİSOS*, c. 5, s. 8, ss. 31-50, 2020.
- [12] Ş. Tanrıverdi, T. Çelik, A. Ural ve F.K. Fırat, “Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması,” *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 56-62, 2020.
- [13] M. Yetkin, İ.Ö. Dedeoğlu ve Y. Calayır, “24 Ocak 2020 Sivrice depremi sonrasında Elazığ ilinde bulunan minarelerde meydana gelen hasarların araştırılması ve değerlendirilmesi,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 33 s.2, ss. 379-389, 2021.
- [14] Z. Nikolic, L. Krstevska, P. Marovic ve H. Smoljanovic, “Shaking table test of scaled model of Protiron dry stone masonry structure,” *Proc. Eng*, vol. 199, pp. 3386–3391, 2017.
- [15] *Kâgir birimler-özellikleri-bölüm 6: Doğal taş kâgir birimler*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 771-6, 2007.
- [16] *Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 772-1, 2012.
- [17] *Kâgir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 772-6, 2004.

[18] *Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 6892-1, 2004.

[19] *Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1052-3, 2004.