

Yığma Yapılarda Kullanılan Kenetlerin Yapı Davranışına Etkilerinin İncelenmesi

Tülin ÇELİK¹, Şükran TANRIVERDİ^{1*}, Ali URAL¹, Fatih Kürşat FIRAT¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Sorumlu yazar e-posta: sukran_tugrulelci@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-5788>
tulinsandikci@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8638-9579>
uralali@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8674-6169>
fkfirat@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-0508-2845>

Geliş Tarihi: 04.02.2021

Kabul Tarihi: 26.06.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Kenet;
Tarihi yapılar;
LUSAS;
Çekme gerilmesi;
Kayma dayanımı

Kültürel mirasımızın önemli bir parçası olan tarihi yapılar, zaman içerisinde iklim şartları ve insan etkilerinden kaynaklanan yapısal bozulma, hasar ve yıkımlara maruz kalmıştır. Tarihi yapıların yapısal bütünlüklerini koruyarak gelecek nesillere güvenli bir şekilde aktarmak temel amaçlarımız arasında yer almalıdır. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde aslına uygun malzeme ve uygun onarım ve güçlendirme teknikleri kullanılması gerekmektedir. Tarihi yapılarda en yaygın kullanılan onarım ve güçlendirme yöntemi kenet ve zıvanalardır. Yapılan çalışmada, kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi dikkate alınmış ve kenetlerin taşın kayma dayanımı üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda deneysel çalışma laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup sayısal çalışmada 3 boyutlu modeli oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini (SEY) esas alan LUSAS yazılımı kullanılmıştır. Yapılan deney ve analiz sonuçlarına göre, taş kenarı ile batma noktası arasındaki mesafe incelenmiş ve bunların taşlar üzerindeki etkileri karşılaştırılarak incelenip, birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Investigation of the Effects of Clamps Used in Masonry Structures on Building Behavior

Abstract

Keywords
Clamp;
Historical structures;
LUSAS;
Tensile stress;
Shear strength

Historical structures, which are an important part of our cultural heritage, have been exposed to structural deterioration, damage and destruction caused by climatic conditions and human effects over time. Preserving the structural integrity of historical structures and transferring them to hand down the next generations safely should be among our main aims. In order to repair and strengthen historical buildings, it is necessary to use original materials and appropriate repair and strengthening techniques. The most widely used method of repair and strengthening in historical buildings is clamps and dowels. In this study, the distance between the edge of the stone and immersion point of clamps was taken into account as variant parameter and the influence of the clamps on the shear strength of the stone are investigated experimentally and numerically. In this context, the experimental study was carried out in the laboratory and the LUSAS software based on the finite element method (FEM) was used to create a 3D model. According to the results of the experiments and analysis, the optimum distance between the edge of the stone and the immersion points are examined and some suggestions were made by comparing their effects on the stones.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Eski dönemlerde yapılan ve günümüze kadar gelebilen tarihi yapılar toplumların hayatını, kültürünü, inancını ve bulunduğu dönemin

özelliklerini bizlere anlatan eserlerdir. Anadolu coğrafyasında insanlar ihtiyaçlarını karşılamak için cami, tekke, imaret, medrese, han, hamam, köprü, su kemeri, saray ve kale gibi birçok farklı yapı inşa etmiştir. Bu tarihi yapılar gerek doğal felaketlerden

gerekse insan kaynaklı etkenlerden dolayı hasar görmüşlerdir. Birçok tarihi yapı, çevresel ve insan kaynaklı olumsuz etkenlere ve zamanın etkilerine karşı koyarak ayakta kalabilmeyi başarmıştır. Anadolu'da bulunan birçok tarihi yapı taş ve tuğla gibi malzemelerden inşa edilmiştir. Bu tür malzemeler kullanılarak yapılan tarihi yapıların basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımları ise düşüktür.

Tarihi yapılar düşük çekme dayanımlarına sahip olması sebebiyle yapıya gelen deprem gibi yatay kuvvetleri karşılayamadıkları için bu yapılar hasar görmekte ya da yıkılmaktadır. Bu tür yapılarda sünekliliği artıracak herhangi bir malzeme kullanılmaması nedeniyle dinamik etkiler altında gevrek bir davranış sergileyerek hasar görmektedir. Bu sebeplerden dolayı birçok donatısız tarihi yapı, onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Deprem gibi yatay kuvvetler karşısında yapı sisteminin bütünlük içinde hareket etmesi oldukça önemlidir. Tarihi yapıya gelen yatay kuvvetlere karşı, yapı sisteminin kayma kuvvetine karşı dayanımı oldukça düşük olması nedeniyle yapının bütünlüğü korunamamaktadır.

Tarihi yapıların yatay kuvvetlere karşı stabilitesini arttırmak amacıyla kenet ve zivana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Günümüzde literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kenetlerin yığma yapı sistemi üzerine olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

Baranaydın (2020), Ephesos St. Jean Kilisesi'nde 100 yıldır devam eden, geçmişte ve günümüzde yapılan restorasyon ve konservasyon tekniklerini, sonuçlarını, farklılıklarını ve benzerliklerini incelemiştir. Ephesos St. Jean Kilisesi'nde geniş boşluklu çatlakların onarımında demir kenet ile dikiş uygulamasının yapıldığı, kullanılan malzemelerin hatalı olması nedeniyle, uzun vadede yapısal sıkıntılara yol açtığına değinilmiştir. Yılmaz ve Tek (2018), Antalya Yivli minare ve camisinin mevcut durumunu inceleyerek cami ve minarede oluşan hasarları tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların ve verilerin değerlendirmesi yapılarak yapılardaki hasarları gidermek amacıyla restorasyon ve güçlendirme önerileri geliştirmişlerdir. Minare gövdesindeki yapısal çatlakların onarılması ve beden duvarlarının güçlendirilmesi amacıyla metal

kenetler ile dikiş uygulaması yapılmasını önermişlerdir. Tanrıverdi (2018), çalışmada metal bağlantı elemanı olan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisini deneysel yöntemler kullanarak incelemiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda değişken olarak kenet demirlerinin yığma taş blok üzerindeki batma derinliği dikkate alınarak optimum batma derinliği bulunmuştur. Kurugöl ve Küçük (2015), çalışmada tarih boyunca kullanılan demir malzemesinin, geleneksel mimarideki uygulama alanı ve uygulanma biçimleri ele alınarak, üretim teknikleri ve şekil verme yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada zaman içerisinde meydana gelen problemler ortaya konulmuştur. Ural vd. (2015) çalışmada, aynı boyuttaki yığma duvar numuneleri ile farklı kenet-zivana sistemlerinin uygulanması ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile uygulanan sistemlerin, yığma duvarların kayma kapasitesine olan etkisi incelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Smoljanovic vd. (2015), kenet ve zivanalar ile güçlendirilmiş taş yığma yapıların analizi sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapılan çalışmada çelik kenet ve çelik zivanalar ile güçlendirilen tarihi yığma yapının, sonlu elemanlar yöntemi ile sismik performansını tahmin etmişlerdir. Karabörk ve Koçak (2014), taş duvarlarının kesme mukavemetini artıran yeni metal bağlantı elemanları üzerinde kayma testleri yapmışlardır. Çeşitli bağlantı tasarımları ile üç farklı metal bağlantı elemanı, kayma dayanımı altında test edilmiştir. Yeni kenetlerin, duvar numuneleri üzerinde kesme mukavemetini ve sünekliliğini etkili bir şekilde arttırdığını öne sürmüşlerdir. Uslu, (2013), yaptığı çalışmada, metal bağlantı elemanları kullanılarak örülen yığma duvarlar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zivana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, yığma duvar numunelerini diyagonal basınç etkisine tabi tutarak duvarların kesme etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Numuneler kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirmeye alınmıştır. Kenet ve zivanalar ile yapılan yığma duvarların bağlantı elemanı kullanılmayan taş yığma duvara göre daha yüksek dayanım gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışma kapsamında genişliği ve batma derinliği aynı olan kenetlerin taşın kenarına olan mesafesinin yığma taşın kayma dayanımı üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Deney ve analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılarak minimum kenet batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi belirlenmiştir.



Şekil 1. Artemis Tapınağı'nda bulunan yığma taş bloklar üstündeki kenet uygulamaları.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada Aksaray İli'nde bulunan Sevinçli Kasabasında çıkarılan volkanik kökenli tuf taşı kullanılmıştır. Yığma yapılarda kullanılan taşların basınç dayanımları yüksek, çekme dayanımları düşüktür. Deneyde kullanılan taşların da bu özellikleri yansıtması gerekmektedir. Taşın ve kenetin malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında malzeme deneyleri yapılmıştır. Volkanik kökenli tuf taşı için basınç dayanım testi, eğilmede çekme dayanım testi; kenet için ise çekme testi yapılmıştır. Taşın basınç dayanım

testi, TS EN 772-1+A1 (2015) (Kagir birimlerin basınç dayanımının tayini) dikkate alınarak yapılmıştır. Standartta belirtildiği gibi 50x50x50 mm³ ebatında toplamda 6 adet tuf taşı üzerinde basınç dayanım testleri yapılmıştır. Çizelge 1'de volkanik kökenli tuf taşının basınç dayanım test sonuçları verilmiştir. Deney sonucunda taşın ortalama basınç dayanım sonucu 4,13 MPa ve standart sapması 0,66 MPa elde edilmiştir.

Taşın eğilmede çekme dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 772-6 (2004) (Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini) dikkate alınarak 40x40x160 mm³ ebatında toplamda 6 adet tuf taşı üzerinde testler yapılmıştır. Eğilmede çekme dayanım test sonucunda taşın ortalama çekme dayanımı Çizelge 2'de verildiği gibi 0,71 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1. Volkanik kökenli tuf taşının basınç dayanım test sonuçları.

Numune No	En kesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	5,06
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	3,98
A5	52	50	11450	4,58
A6	51	53	8450	3,38
Ortalama				4,13
Standart Sapma				0,66

Çizelge 2. Volkanik kökenli tuf taşının eğilmede çekme dayanım test sonuçları.

Numune No	Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
A1	490	0,77
A2	490	0,62
A3	560	0,88
A4	500	0,68
A5	450	0,59
A6	570	0,72
Ortalama		0,71

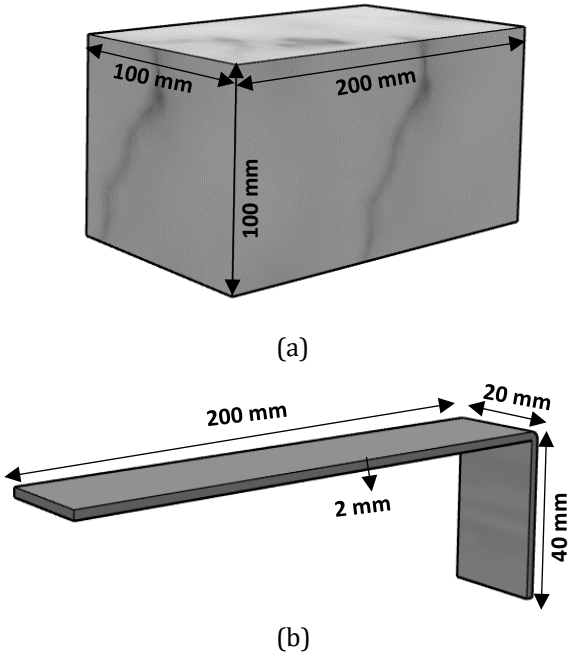
TS EN ISO 6892-1 (2020) (Metalik Malzemeler Çekme Deneyi) standardı dikkate alınarak, deneyde kullanılan kenetin çekme dayanım testi yapılmıştır. Çekme dayanımları standartta belirtildiği gibi Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$R_m = F_m \quad (1)$$

R_m : Çekme dayanımı, F_m ise deney sırasında akmanın gerçekleşmesi öncesinde numunenin dayandığı en büyük yükür. Kenet numunelerin çekme dayanımları deney sonucunda yaklaşık olarak 290 MPa bulunmuştur.

3. Deneysel Çalışma

Yapılan çalışmada kenetin batma noktasının tuf taşının kenarına olan mesafesi dikkate alınarak kenetin yığma taşın kayma dayanımı üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneyde ve analizde kullanılan tuf taşının ve kenet modelinin boyutları Şekil 2’de verilmiştir. Şekilde de belirtildiği gibi tuf taşının boyutları 100x100x200 mm³tür.

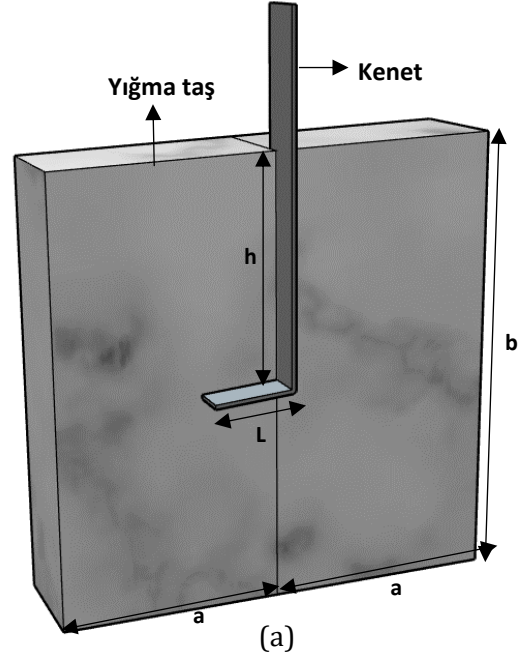


Şekil 2. a) Yığma taş boyutları, (b) Kenet modelinin boyutları.

Çalışmada kenetin genişliği 20 mm, batma derinliği 40 mm alınırken, değişken olarak ele alınan kenetin batma noktasının taşın kenarına olan uzaklığı Çizelge 3’de belirtildiği gibi 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm olarak ele alınmıştır. Kenet modelinin tuf taşı üzerine yerleştirilmiş şekli ve deney düzeneği Şekil 3’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3. Hazırlanan modellerin geometrik özellikleri.

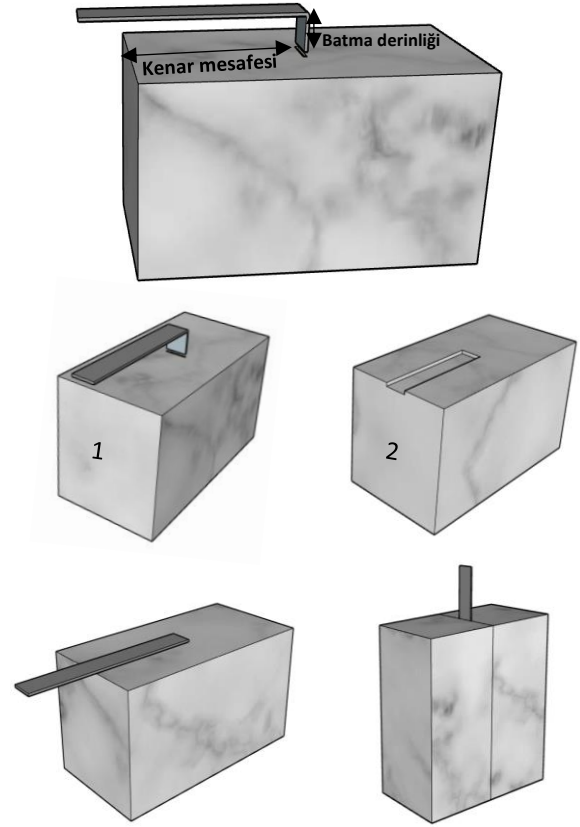
Model No	L (mm)	a (mm)	b (mm)	h (mm)
1				20
2				40
3	40	100	200	60
4				80
5				100



Şekil 3. (a) Kenet uygulamasının yerleştirilmesi, (b) Deney düzeneği.

Yapılan deneysel çalışma TS EN 1052-3 (2004) (Kâgir deney metotları) standartına uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’de de belirtildiği gibi 300x400 mm²

boyutlarında 15 mm kalınlığındaki üç adet çelik plakalar, 50 mm uzaklıkta boşluklar açılarak köşelerinden çapı 16 mm olan tij demirleri ile birbirlerine bağlanmıştır. 10 tonluk yük hücresi eksenel yükü okuyabilmek amacıyla iki çelik plaka arasına yerleştirilmiştir. Standartta belirtildiği gibi yığma birimlerin basınç dayanımı 10 MPa'dan küçük olması durumunda eksenel basınç yükleri 0,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa olacak şekilde numunelere uygulanmalıdır. Eksenel basınç yükleri numuneye, tij demirlerine bağlı olan bulonların sıkılmasıyla çelik plakaların hareket etmesi sağlanarak verilmektedir. Deneyde kullanılan tuf taşının basınç dayanımı 4,13 MPa olması sebebiyle 0,5 MPa'lık eksenel basınç yükü verilmiştir. Numuneler üzerinde istenilen eksenel basınç yükü sağlandığı zaman, deney düzeneği üzerine hidrolik pompa ve 50 ton kapasiteye sahip yük hücresi ile kayma yükü verilmiştir. Deney düzeneğine yer değiştirmeleri ölçmek amacıyla LVDT (Linear Variable Differential Transformer) bağlanmıştır. Her bir numuneden en az üç tane yapılarak toplamda 15 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Şekil 4'de gösterildiği gibi 100x100x200 mm³ boyutlarındaki tuf taşına, 20 mm genişliğinde, 40 mm batma derinliği olan kenetin batma derinliğinin kenara olan mesafeleri 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm olacak şekilde matkap yardımı ile boşluklar açılmıştır. 20 mm genişliğinde 2 mm kalınlığında kenetler bu boşluklara yerleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi diğer tuf taşı üzerine de 20 mm genişliğinde 2 mm kalınlığında ve kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm olacak şekilde oyuklar açılmıştır. Hazırlanan yığma taşlar deney düzeneğine yerleştirilerek, kayma yüklerini elde etmek amacıyla kenet elemanları hidrolik pompa yardımıyla yukarı doğru çekilmiştir. Deney sonucunda numunelerin maksimum kayma yükleri ve yapmış oldukları yer değiştirmeler tespit edilmiştir.



Şekil 4. Kenetin yığma taşların arasına yerleştirilmesi.

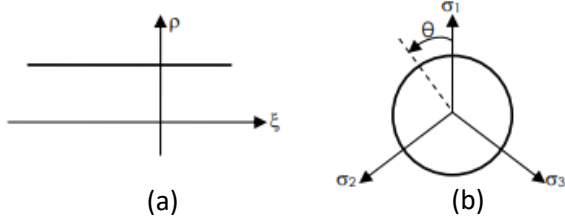
4. Kenet Modellerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

Çalışmada kenet batma mesafesinin, taşın kayma dayanımına etkisi incelenmiştir. Deneysel olarak test edilen kenet modellerin LUSAS analiz programı kullanılarak sayısal analizi yapılmıştır. Çizelge 4'de belirtildiği gibi sayısal analizde taşın elastisite modülü 4000 MPa, Poisson oranı 0,2; kenetin elastisite modülü 203704 MPa, poisson oranı 0,3 olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmalara göre deney numunelerinin nonlinear (doğrusal olmayan) davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Makro modelleme ele alınarak elasto-plastik davranışını temsil eden Drucker-Prager kriteri uygulanmıştır. Drucker-Prager kriterinde önemli olan, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) parametreleridir (Tanrıverdi, 2020).

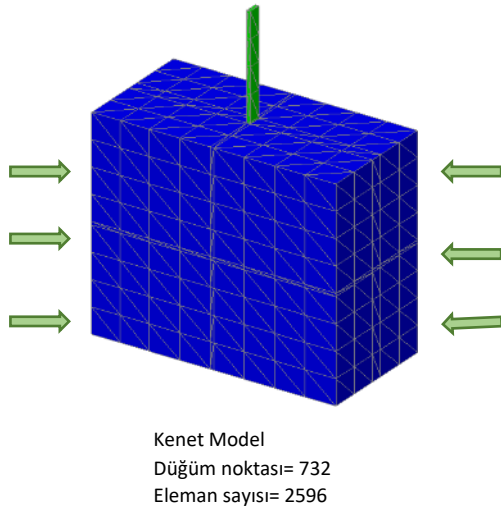
Sayısal analizde kenetlerde, genellikle metal elemanlar için uygulanan von Mises kriteri kullanılmıştır. Kriterin gerilme etkisi Denklem 2 ile ifade edilmektedir. von Mises kriterinin gerilme meridyenleri ve deviatorik düzlemdeki akma yüzeyleri Şekil 5'de verilmiştir.

$$f = \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (2)$$

Burada k pozitif malzeme sabiti, J_2 ; deviatorik gerilme tansörünün ikinci invariantsını göstermektedir.



Şekil 5. von Mises kriterinin a) gerilme meridyeni, b) deviatorik düzlemdeki akma yüzeyleri (Dede, 2009).



Şekil 6. Kenetli modelin analizde kullanılan düğüm noktası ve eleman sayısı.

Şekil 6'da kenetli modelin sonlu elemanlar analizinde kullanılan düğüm noktası ve eleman sayısı verilmiştir. Kenet modelin düğüm noktası sayısı 732, eleman sayısı ise 2596'dır. Modelin x doğrultusunda ötelenmeleri sabitlenmiştir. Sayısal modelde her düğüm noktasında 3 adet serbestliği bulunan 10 düğüm noktalı 3 boyutlu dörtyüzlü (tetrahedral) sonlu elemanlar kullanılmıştır.

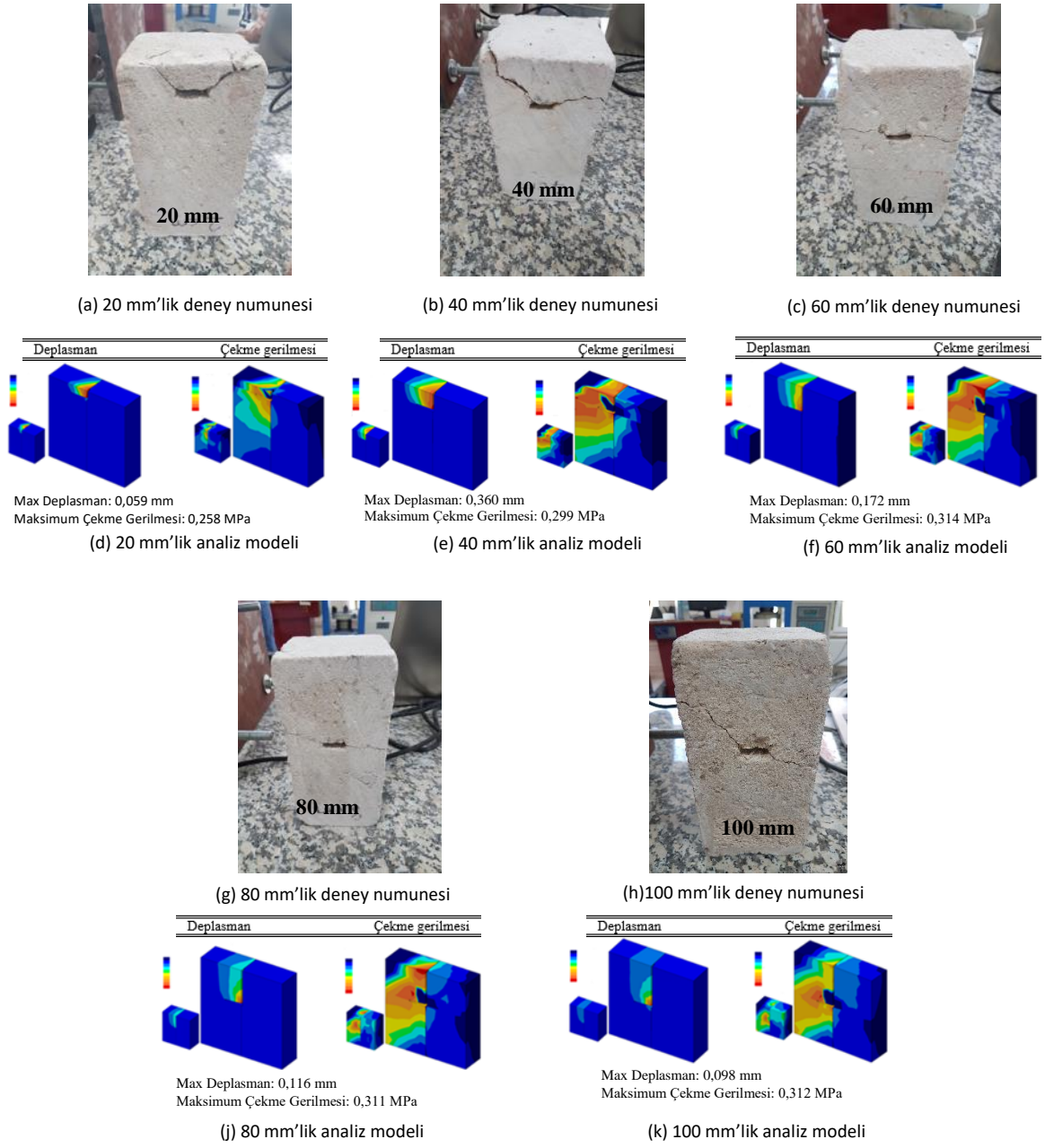
Analiz çalışmasında taşın θ (içsel sürtünme açısı) ve c (kohezyon) parametreleri için $\theta=25^\circ-35^\circ$ ve $c=2,80-3,70$ MPa değerleri dikkate alınmıştır (Doran,2003). Kenetin elastisite modülü 203704 MPa, poisson oranı 0,3 olarak ele alınmıştır (Çelik, 2020).

Çizelge 4. Analizde kullanılan malzemelerin özellikleri ve değerleri

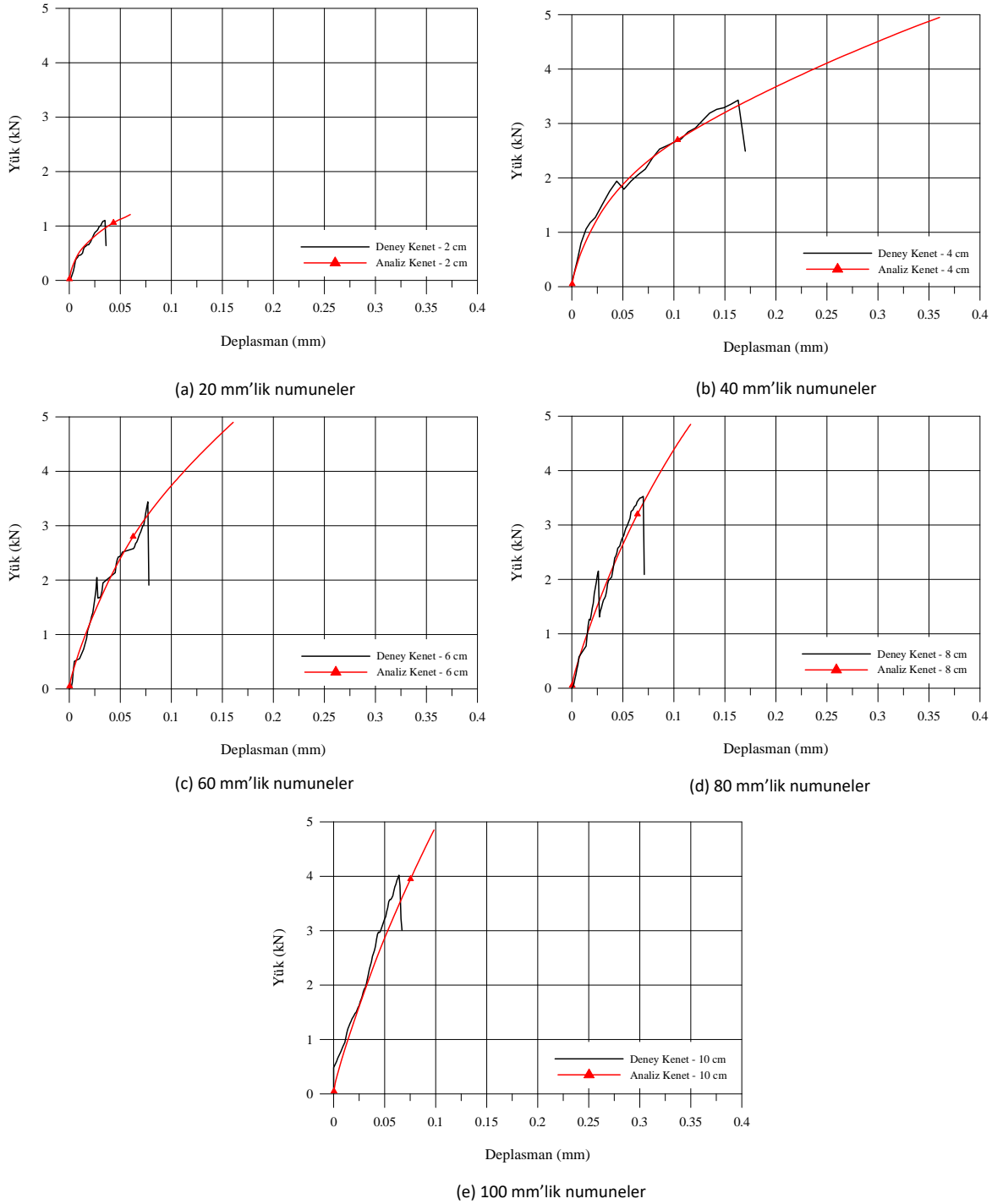
Malzemeler	Özellikler	Değer
Taş	Elastisite Modülü (MPa)	4000
	Poisson Oranı	0.2
	Kohezyon (MPa)	2.5
	İçsel Sürtünme Açısı	25
	Çekmede Kohezyon Eğimi	0.0
	Sürtünme Geriliminin Eğimi	0.0
Kenet	Plastik Şekil Değiştirme	0.001
	Elastisite Modülü (MPa)	203704
	Poisson Oranı	0.3
	Tek Eksenli Akma Gerilmesi (MPa)	275
	Çekmede Pekleşme Eğimi	212.1
	Plastik Şekil Değiştirme	1.0

5. Bulgular ve Tartışma

Şekil 7'de deney sonucunda kenetli modellerin görünümü ve sayısal modellerin maksimum yük altında yapmış oldukları deplasman ve çekme gerilmesi dağılımı verilmiştir. Deney ve analiz sonuçlarından elde edilen yük-deplasman grafikleri ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Deney ve analiz sonuçları doğrultusunda 20 mm'lik model diğer modellere göre daha az yük taşımıştır. Analiz sonucunda batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi 20 mm ve 40 mm olan modellerde çekme gerilmeleri birbirine yakın çıkmıştır. Aynı şekilde kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan modellerin çekme dayanımları da birbirlerine oldukça yakındır. Deney ve analiz sonuçlarında elde edilen yük-deplasman grafikleri incelendiği zaman kenetin taşın kenarına olan mesafesi 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan modeller birbirine yakın davranış sergilerken 40 mm olan model ise farklı davranış sergilemiştir. Şekil 7'den de görüldüğü gibi kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi azaldıkça, kenetin taş üzerine verdiği hasar artarak daha büyük deformasyonlara neden olmuştur.



Şekil 7. Deney ve sonlu eleman analiz sonuçları.



Şekil 8. Deneysel sonuçları ve sonlu eleman analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

6. Sonuçlar

Zamanla tarihi yapılar, zemin özelliklerinin yetersiz oluşu, doğal afetler, insanlardan kaynaklı sebepler, hatalı malzeme kullanımı, doğal etkenler gibi çeşitli sebeplerden dolayı hasarlara uğramaktadır. Bu hasarların giderilmesi için tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme gibi restorasyon çalışmaları yapılmaktadır. Tarihi yapılarda restorasyon

çalışmalarında yapıların özellikle dayanımını artırabilmek amacıyla kenet zıvana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Onarım ve güçlendirme çalışmalarında kenet, zıvana gibi elemanların tasarımını, nasıl uygulanacağını bilmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada da kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesinin taşın kayma dayanımını nasıl etkilediği deneysel ve numerik olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışma değişken olarak alınan kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesini incelemek amacıyla her bir modelden 3 adet toplamda 15 adet model üretilerek yapılmıştır. Her bir deneysel modelin sayısal modellemesi de yapılarak deney ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetin taşın üzerine etki ettiği yüzey alanı azaldığı için, kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi 20 mm olan modelde kayma yükü diğer modellere göre daha az olmuştur.
- Kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesi 60 mm, 80 mm ve 100 mm olduğu zaman modellerin göstermiş oldukları davranışlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 40 mm'lik model diğer modellere göre daha sünek bir davranış sergilemiştir.
- Yapılan çalışma sonucunda kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesinin 100x100x200 mm³ boyutundaki taşlar için minimum 40 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Farklı boyutlardaki taşlar içinde bu çalışmadan elde ettiğimiz davranışlara benzer sonuçların ortaya çıkacağı düşünülmektedir.
- Deneysel ve numerik çalışmalar sonucunda kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesinin (h) taşın uzunluğuna (b) oranının (h/b) 0,2 değerinden küçük olmaması sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışma, ileride yeni yapılabilecek han, hamam, cami gibi yapıların ya da onarım ve güçlendirilmesi gereken tarihi yapılarda kenetlerin nasıl uygulanması konusunda iyi bir referans olacaktır. Kenet gibi dayanımı arttıran bir diğer metal bağlantı elemanı olan zivana çaplarının taş bloklar veya yığma duvarlar üzerine etkileri araştırılması gereken bir başka konu olarak önerilecektir.

7. Kaynaklar

- Akçaözöğlü, K. ve Akçaözöğlü, S., 2017. 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.
- Baranaydın, F., 2020. Ephesos St. Jean kilisesi kiborion sütunu 1963 yılı restorasyonuna güncel bir yaklaşım. *AMİSOS*, **5**, **8**, 31-50.
- Çelik, T., 2020. Tarihi cami kubbelerinde güçlendirme yöntemlerinin deneysel metotlarla incelenmesi. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 246.
- Dede, T. ve Ayyaz, Y., 2009. Betonun Doğrusal Olmayan Analizinde Kullanılan Kriterler. *Firat University Journal of Engineering*, **21**, **2**, 151-159.
- Doran, B., 2003. Elastic-plastic analysis of R/C coupled shear walls: Theequivalent stiffness satio of the tie elements. *Journal of the Indian Institute of Science*, **83**, 87-94.
- Karabork, T. ve Kocak, Y., 2014. New metal connectors developed to improve the shear strength of stone masonry walls. *Struct. Eng. Mech*, **50**, **1**, 121-135.
- Kurugöl, S. ve Küçük, S.G., 2015. Tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, 521-536.
- Lusas, Finite element analysis software products, Finite Element System FEA Ltd, 2020.
- Smoljanovic, H., Nikolic, A. ve Zivaljic, N., 2015. A finite-discrete element model for dry stone masonry structures strengthened with steel clamps and bolts. *Eng. Struct*, **90**, 117-129.
- Tanriverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A. ve Firat F.F., 2018. Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behaviour. International Conference on Science and Technology – ICONST, 186-193.
- Tanriverdi, Ş., 2020. Taş kubbelerde pencere boşluğunun ve kasnak yüksekliğinin davranış ve dayanım üzerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 157.
- TS EN 772-6, 2004. Kâgir birimler-deney metodları-bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

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

TS EN 772-1+A1, 2015. Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 6892-1, (2020). Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ural, A. Ve Kara, M.E., 2015. Kenet ve zıvanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, 537-548.

Uslu, S. 2013. Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 101.

Vermeer, P.A. ve Borst De, R., 1984. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. *Heron*, **29**, **3**, 3-64.

Yılmaz, M., ve Tek, S. 2018. Antalya Yivli Minare ve Camisinin restorasyon, güçlendirme ve zemin etüt çalışmaları. *MASROP E-Dergi*, **12**, **1**, 49-72.