

Orijinal Makale/Research Article

Kenet batma mesafesinin kayma dayanıma etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi

Tülin Çelik¹, Şükran Tanrıverdi¹, Ali Ural¹, Fatih Kürşat Fırat¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapılar
LUSAS
Kenet elemanlar
Çekme gerilmesi
Yığma birim

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 14.11.2018
Kabul Tarihi: 19.12.2020

Özet: İlk çağlardan bu yana insanlar barınma alanları yapmak için taş, tuğla, briket ve kerpiç gibi yığma birimler kullanmışlardır. Depremler, yangınlar, zeminden kaynaklanan problemler, çeşitli çevresel faktörlerin oluşturduğu fiziksel ve kimyasal bozulmalar sonucu tarihi yapılarda büyük hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar yığma yapıların kayma ve çekme gerilmelerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yapı sisteminin birlikte hareket etmesi ve yapının bütününde sünek bir davranış görülmesi için genellikle bağlantı elemanları olarak kenetler ve zıvanalar kullanılmıştır.

Bu çalışmada, kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi dikkate alınmış ve kenetlerin duvarın kayma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 3 boyutlu sayısal modeli oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini (FEM) esas alan LUSAS yazılımından yararlanılmıştır. Analiz sonuçları doğrultusunda, taş kenarı ile batma noktası arasındaki mesafe incelenmiş ve bunların taş birimler üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Atıf için/To Cite:

Çelik T. Tanrıverdi Ş. Ural A. Fırat, F.K. Kenet Batma Mesafesinin Kayma Dayanıma Etkisinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Modellenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 63-68, 2020.

The examination of shear strength effect of the clamp immersion distance based on finite element modelling

Keywords

Historical structures
LUSAS
Clamp elements
Tensile stress
Masonry unit

Article history:

Received: 29.10.2018
Accepted: 21.09.2020

Abstract: Since the early ages, people have used masonry material units such as stone, brick and adobes to make areas for sheltering. The problems on historical structures caused by great damages arising from earthquake, fire, and soil problems, bring about physical and chemical deterioration. These damages are generally due to low shear and tensile stresses in masonry walls. In order to overcome this weakness, clamp and dowels are often used as connection units in many historical buildings. The moving of the structural system with these elements together raises the ductile behavior of the whole structure.

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 masonry walls are investigated. The LUSAS software based on the finite element method (FEM) are used to create a 3D numerical model. In the light of the results obtained by computer analyses, the optimum distance between the edge of the stone and the immersion points are examined and the effects of those on the stone units are comparatively illustrated.

1. Giriş

Tarihi yapılar, geçmişten günümüze kadar gelebilen eski uygarlıkların kültürünü, yaşantısını, inançlarını ve

bulunduğu dönemin dokusunu bizlere anlatan eserlerdir. Ülkemizdeki tarihi yapıları cami, tekke, imaret, medrese, han, hamam, köprü, su kemeri, kale vb. gibi yapılar oluşturmaktadır. Bu tarihi yapıların büyük

çoğunluğu taş, tuğla ve briket gibi malzemelerden yapılmıştır. Bu tür malzemeler kullanılarak yapılan yığma yapılar düşük çekme dayanımına sahiptir [1] ve bunlar birçoğu deprem, sel, yangın gibi doğal afetler karşısında zarar görür ya da yıkılır [2].

Donatısız yığma sistemler düşük çekme dayanımına sahiptir. Bu yapılara gelen deprem kuvvetiyle birlikte yapılar ağır hasar görür ya da yıkılır. Bu yapılarda sünekliliği artıracak herhangi bir malzeme kullanılmadığı için dinamik etkiler altında gevrek bir davranış sergileyerek hasar görürler [3]. Bu sebeplerden dolayı birçok donatısız yığma yapı onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Gelen yatay kuvvetler karşısında yığma yapı sisteminin bir bütün halinde hareket etmesi oldukça önemlidir. Fakat gelen yatay kuvvetlere karşı yığma yapı sisteminin kayma kuvvetine karşı dayanımı oldukça düşük olduğu için yapı bütünlüğü korunamamaktadır. Bu yapıların stabilitesini sağlamak için yığma yapılarda kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Günümüzde bu konuyla ilgili yapılmış literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kenetlerin yığma sistem üzerine olumlu sonuçlar doğurduğu görülmüştür.

Kurugöl ve Küçük (2015), çalışmasında tarihi süreç içerisinde demir malzemenin geleneksel mimarideki genel uygulama yer ve biçimleri ele alınarak, üretim teknikleri ve şekil verme yöntemleri açıklamışlar ve aynı zamanda demir malzemede zaman içerisinde ortaya çıkan çeşitli problemler ortaya koymuşlardır [4]. Ural ve ark., (2015), deneysel çalışmasında farklı kenet-zıvana sistemlerine sahip aynı ebattaki yığma duvar numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda sistemlerin yığma duvarların kesme (kayma) kapasitesine ne tür bir etkisi olduğu incelenmiş ve çeşitli yorumlarda bulunulmuştur [5]. Uslu, (2013), yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları irdelemiştir. Metal bağlantı elemanları kullanılarak örülen taş yığma duvarlar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zıvana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, taş yığma duvar numunelerinin diyagonal basınç etkisine tabi tutarak duvarların kesme etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Numunelerin kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Kenet ve zıvanalar ile yapılan taş yığma duvarların bağlantı elemanı kullanılmayan taş yığma duvara göre daha yüksek dayanım gösterdiği sonucuna varılmıştır [6]. Koçak, (2013), çalışmasında düşük kayma dayanımına sahip yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak amacıyla birçok teknik geliştirmiştir. Yaptığı deneysel çalışmada taş yığma duvarların kayma dayanımını arttırma için metal bağlantı elemanları kullanmıştır.

Deneysel çalışmasında 3 farklı metal bağlantı elemanı (kenet) geliştirilmiştir. 10 farklı deney numunesi üretilerek kayma dayanımları araştırılmıştır ve bunların kayma dayanımları birtakım denklemlerle desteklenmiştir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliliğini etkili bir şekilde arttırdığı ortaya koymuştur [7]. Demir, (2012) yaptığı çalışmada ana değişkenin çok tabakalı tarihi duvarların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak, aksel gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu kullanmıştır. Deneysel çalışma, yer değiştirme kontrollü olarak etkiletilen tekrarlı kesme kuvvetlerine maruz bırakılmış duvar numunelerinden meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemekle birlikte, kullanılan küfeki taşının çekme dayanımının nispeten düşük olması nedeniyle kenetlerin etkinliklerinin bir seviyede sınırlandırıldığı sonucuna varılmıştır [8]. Toumbakari (2008), Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerine bir araştırma yapmıştır. Söz konusu tapınak duvarlarında taşları birbirine bağlamak amacıyla kenet uygulamalar yapılmıştır. Bu kenet uygulamalarının duvar davranışına etkileri araştırılmıştır [9]. Papadopoulos (2006), yaptığı çalışmada Apollo Epikourius Tapınağında taş bloklar arasında bulunan metal bağlantı elemanlarını incelenmiştir. Kenet alanlarının taş blokların taşıma kapasitelerine etkisini üç boyutlu analizler yardımıyla hesaplanmıştır. Yığma yapının maksimum dayanımı sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları araştırmıştır [10].



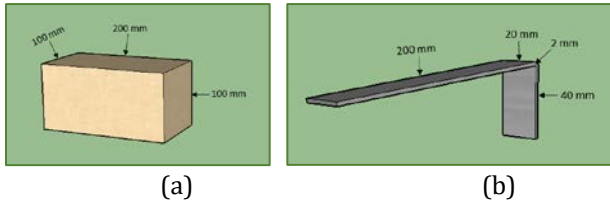
Şekil 1. Mevlâna Müzesinde bulunan yığma taş bloklar üstündeki kenet uygulamaları

2. Materyal ve Yöntem

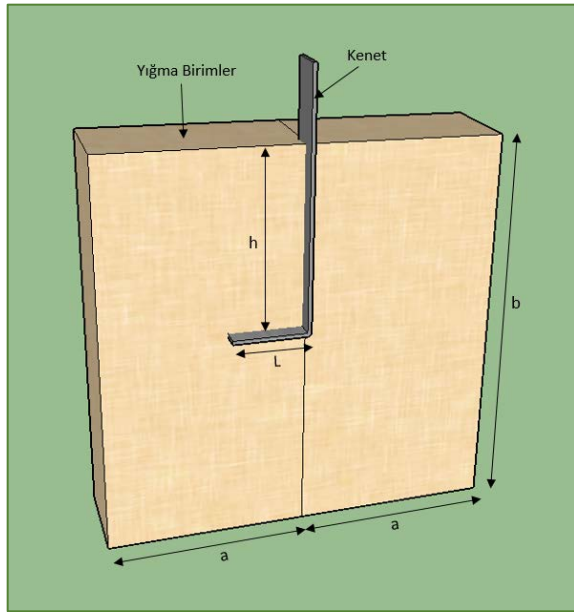
Bu çalışmada, kenetin batma noktası ile taşın kenarı arasındaki mesafenin yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi incelenmiştir. Değişken olarak kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi ele alınmıştır. Modellerde, kenetin taş kenarına olan mesafesi (h) 20, 40, 60, 80 ve 100 mm 'dir. Bütün modellerde kenet elemanlarının genişliği 20 mm ve batma derinliği (L) 40 mm olarak alınmıştır. Akçaözgü ve Akçaözgü'nün (2017) yaptığı

çalışmada numunelerinin basınç dayanımını bulmak için kullandığı yükleme hızı 0.5 MPa/s olan tek eksenli basınç dayanım deney düzeneğinin aynıysa bu çalışmada da kullanılmıştır [11]. Yığma taş blokların ortalama basınç dayanımı 4 MPa olarak belirlenirken Elastisite Modülü 4000 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olarak bulunmuştur.

Yığma taş bloklar 200x100x100 mm³ ebadında, metal bağlantı elemanları olarak kullanılan kenet elemanları ise 200x20x2 mm³ boyutundadır (Şekil 2). Aşağıdaki Şekil 3'de sayısal modeldeki kenet uygulamasının yerleştirilmesi gösterilmiştir. Kenetin kenara olan mesafesi (h), kenetin batma derinliği (L) olarak gösterilmiştir. Yığma birimlerin genişliği a, yüksekliği ise b olarak ifade edilmiştir. Tablo 1'de modellerin geometrik özellikleri verilmiştir.



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

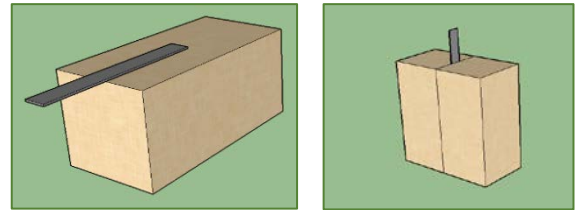
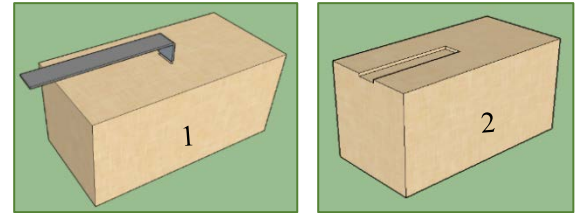
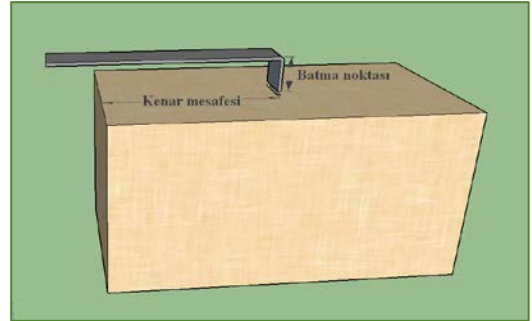


Şekil 3. Sayısal modeldeki kenet uygulamasının yerleştirilmesi

Tablo 1. Hazırlanan modellerin geometrik özellikleri.

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

Yığma birimler ve kenetler LUSAS programında sonlu elemanlar analizi yapılarak modellenmiştir [12]. Analizlerde malzemenin doğrusal olmayan özelliklerinden faydalanılmış, geometrik olarak ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır. Şekil 4'de yapılan modelin aşamaları sırası ile gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere birinci taş blok üzerinde kenetin içine girebilmesi için h (100, 80, 60, 40, 20)x20x2 mm³ ebatlarında dikdörtgen delikler oluşturulmuştur. Kenet taş blok üzerinde bu deliğe yerleştirilerek modellenmiştir. İkinci taş blok üstünde kenetin üstünü kapatacak şekilde h (100, 80, 60, 40, 20)x20x2 mm³ boyutlarında dikdörtgen oyuklar oluşturulmuştur. Kenet iki tane taş blok arasında gelecek şekilde modellenmiştir.

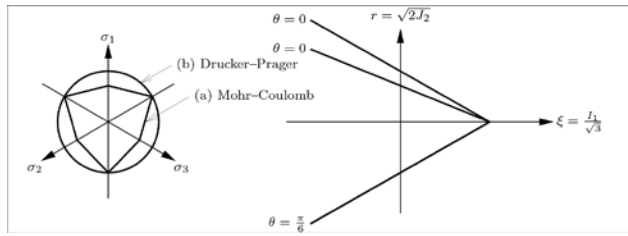


Şekil 4. Kenetin yığma taş bloklar arasına yerleştirilmesi

3. Kenetlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

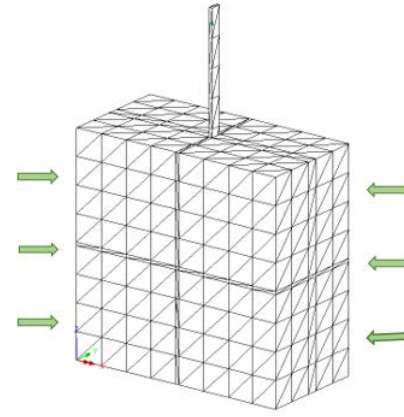
Üç boyutlu sayısal kenet modelini oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini esas alan LUSAS (2013) yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada kenetin taş blokların kenara olan mesafesi (h) incelenmiştir. Sayısal modellemelerde kenetin, Elastisite Modülü 210000 MPa, Poisson Oranı 0,3 olduğu kabul edilmiştir. Bunun yanında taş blokların, Elastisite Modülü 4000 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmada taş blokların doğrusal olmayan davranışını temsilen Drucker- Prager kriteri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde yığma birimler Drucker-Prager kriteri ile lineer ötesi davranışı dikkate alınmıştır. Kriterdeki tam plastik kısım sünekliliği temsil etmemektedir. Aşağıda Şekil 5 'de görüleceği üzere; sonlu elemanlar analizindeki her adımda her düğüm noktasında meydana gelen gerilmeler kriterin elastiklik sınırıyla karşılaştırılmaktadır. Eğer elastik sınır herhangi bir düğüm noktasında aşılsa gerilme elastiklik sınırın içerisine alınması amacıyla yakınsama yapılmaktadır. Yakınsama ise modifiye edilmiş Newton-Raphson ile yapılmaktadır. Yakınsayamadığı sürece plastik aşamada enerji tüketmemektedir. Yığma birimlerin plastik kriteri olarak Drucker-Prager, metal kenetin ise süneklilik özelliği göstereceğinden dolayı Von-Mises gerilme potansiyel kriteri kullanılmıştır. Bu kriterin kullanılmasındaki amaç kullanılan malzemenin metal özellikte olması, dolayısıyla süneklilik gösterebileceğidir.



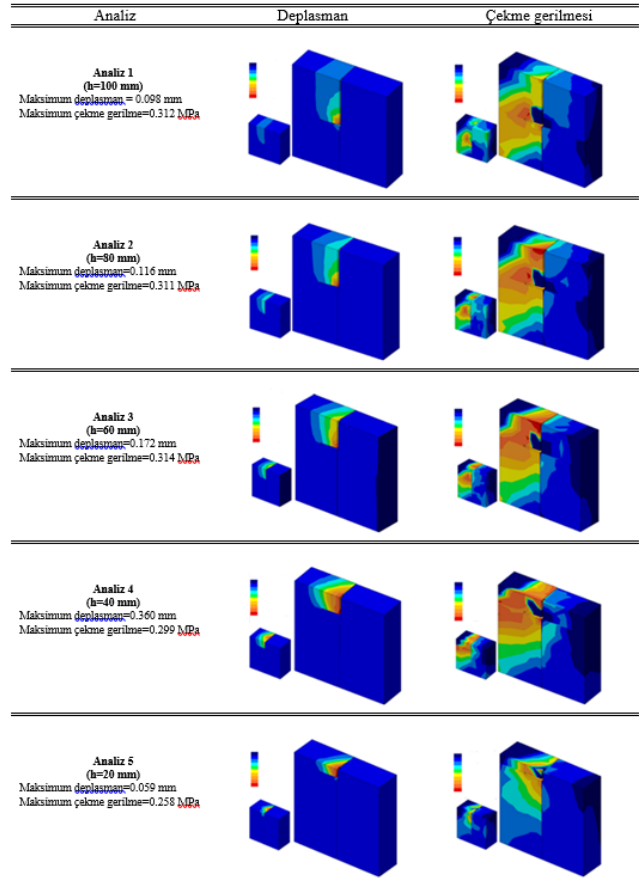
Şekil 5. Mohr-Coulomb and Drucker-Prager akma şartları [13]

Şekil 6'da kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modeli görülmektedir. Kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modelini oluşturmak için 2596 eleman ve 732 düğüm noktası kullanılmış. Şekil 6 'da görüldüğü gibi modelin her iki taraftan ötelenmeleri tutulmuştur. Modellemelerde her düğüm noktasında 3 serbestliği bulunan 10 düğüm noktalı üç boyutlu dörtyüzlü (tetrahedral) sonlu elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 6. Kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modeli

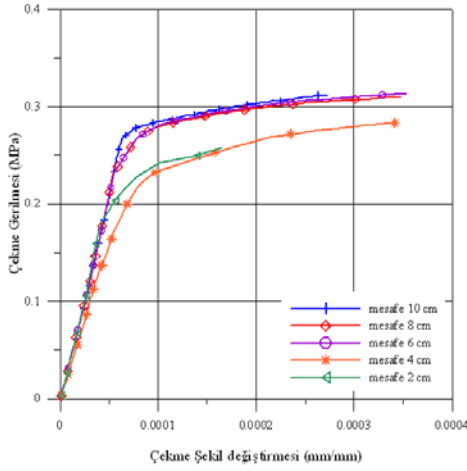
Şekil 7'de sayısal modellerin analiz sonucunda deplasman ve çekme gerilmesi renklendirmeleri görülmektedir. Renklendirmeler 4 kN' luk yük altındaki görüntülerdir. Bu aşamada taş bloklarda doğrusal ötesi davranış başlamıştır.



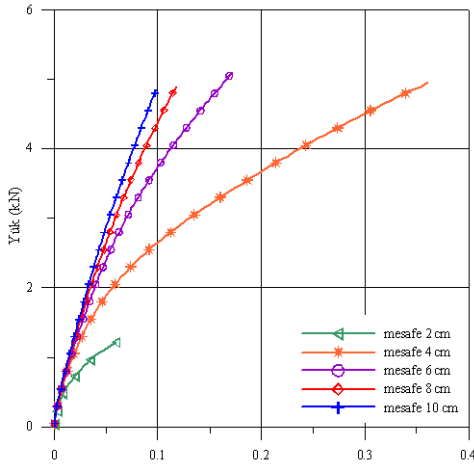
Şekil 7. Sonlu eleman analiz sonuçları

Sonlu elemanlar modelleriyle yapılan analizler neticesinde, modellerin maksimum noktadaki çekme gerilme-çekme şekil değiştirme, yük-deplasman ve

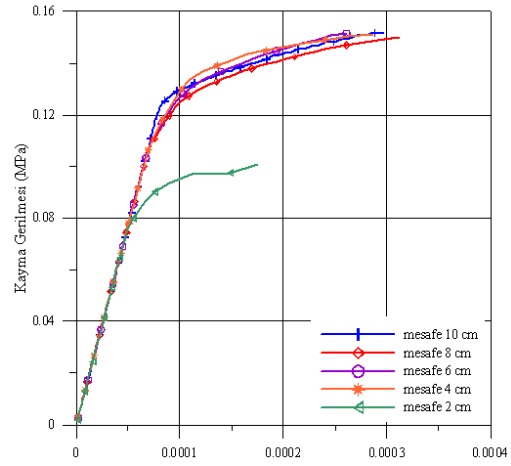
kayma gerilme-kayma şekil değiştirme grafikleri Şekil 8'da verilmiştir. Şekil 8 (a) ya bakıldığında batma mesafesi 20 mm ve 40 mm olan modellerin çekme gerilme değerleri birbirine yakınlık gösterirken diğer modellere oranla çekme gerilme değerleri düşüktür. Batma mesafesi 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan modellerin çekme gerilme-çekme şekil değiştirme eğrileri birbirine çok yakın çıkmıştır. Yine aynı şekilde Şekil 8 (b) incelendiğinde 20 mm'lik model çok fazla yük taşıyamamıştır. Yük-deplasman eğrilerinde de 60 mm, 80 mm ve 100 mm'lik modeller benzer davranış gösterirken 40 mm'lik model farklı bir davranış sergilemiştir. Şekil 8 (c)'de batma mesafesi 20 mm olan model diğer modellere göre çok düşük kayma gerilmesi değerine sahiptir. Diğer modellerin kayma gerilme-kayma şekil değiştirme eğrileri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.



a) Çekme gerilmesi - çekme şekil değiştirme eğrileri



b) Yük - deplasman eğrileri



c) Kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirme eğrileri

Şekil 8. Sonlu elemanlar modelleriyle yapılan analizler neticesinde elde edilen a) çekme gerilmesi- çekme şekil değiştirme eğrileri b) yük- deplasman eğrileri ve c) kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirme eğri modelleri.

4. Sonuçlar

Kenetlerin batma noktasının taşın kenarı arasındaki mesafe dikkate alınarak yapılan analizlere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Yapılan analiz sonuçları kenet batma noktasının taş kenarına olan mesafesine göre değişiklik göstermektedir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak, restorasyon çalışmaları için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Tablo 2. Kenet uygulamalarının analiz sonuçları

| Analiz Durumu | Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa) | Maksimum Çekme Şekil Değiştirmesi (mm/mm) | Maksimum Kayma Gerilmesi (MPa) | Maksimum Kayma Şekil Değiştirmesi (mm/mm) | Maksimum Yük (kN) | Maksimum Deplasman (mm) |
|-------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Analiz 1 (100 mm) | 0.312 | 0.000272 | 0.152 | 0.000297 | 4.85 | 0.098 |
| Analiz 2 (80 mm) | 0.311 | 0.000347 | 0.150 | 0.000312 | 4.90 | 0.116 |
| Analiz 3 (60 mm) | 0.314 | 0.000353 | 0.151 | 0.000261 | 5.10 | 0.172 |
| Analiz 4 (40 mm) | 0.299 | 0.000342 | 0.151 | 0.000287 | 4.95 | 0.360 |
| Analiz 5 (20 mm) | 0.258 | 0.000165 | 0.101 | 0.000174 | 1.21 | 0.059 |

Tarihi yapılarda zaman içerisinde bozulmalar meydana gelmekte ve yapı elemanları dayanımlarını kaybetmektedir. Bu yapıları gelecek nesillere daha sağlam ve güvenilir bir şekilde ulaştırmak için güçlendirmek gerekmektedir. Güçlendirme çalışmalarında metal bağlantı elemanı olarak kenetler kullanılmaktadır. Bu metal bağlantı elemanlarının nasıl tasarlanacağı ve ne şekilde uygulanacağı önemli bir çalışma konusudur.

- Kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesiyle ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma sonucunda, 20 mm batma mesafesine sahip modelin diğer modellere göre daha az yük taşıyabildiği belirlenmiştir. 40 mm'lik modelin taşıdığı yük fazla olmasına rağmen yük- deplasman ve çekme gerilmesi-çekme şekil değiştirmesi grafiklerindeki batma mesafesi, diğer modellere göre farklı bir davranış sergilediği tespit edilmiştir.
- Analiz sonucunda batma mesafesi 20 mm olan modelde çekme ve kayma gerilmeleri diğer modellere göre oldukça azdır. 60 mm, 80 mm ve 100 mm batma mesafesine sahip modellerin çekme gerilme değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Bunun yanında maksimum yüke karşılık gelen şekil değiştirme miktarları en fazla sırası ile 60 mm, 80 mm ve 100 mm batma mesafesine sahip modellerde görülmektedir.
- Yapılan analiz sonucunda 200x100x100 mm³ ebadındaki taşlar için kenet batma noktasının taşın kenarı arasındaki mesafenin 40 mm'den küçük olmaması gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışma ile kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesinin, taşın uzunluğuna oranı (h/b) 0.2 değerinden küçük olmaması gerektiği önerilmektedir. Yapılan bu çalışmanın onarım ve güçlendirme amacıyla yapılacak olan restorasyon uygulamalarına iyi bir referans olacağı düşünülmektedir.

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] Tanrıverdi Ş, Çelik T, Ural A, Fırat FK. Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behaviour. *International Conference on Science and Technology*, Kosova, 5-9 Eylül 2018.

[2] Karabörk T, Çelik T, Ural A. Finite element analyses of historical bicakci arch bridge. *8 th International Conference on Arch Bridge*, Poland, 5-7 Ekim 2016.

[3] Ural A. *Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2009.

[4] Kurugöl S, Küçük SG. Tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 1-3 Ekim 2015.

[5] Ural vd. Kenet ve zıvanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 1-3 Ekim 2015.

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

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

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

[9] 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.

[10] 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.

[11] Akçaözöğlü K, Akçaözöğlü, 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.

[12] Lusas, *Finite element analysis software products*, Finite Element System FEA Ltd, 2013.

[13] Vermeer PA, Borst De R. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. *HERON*, 29, 3, 1984.