

AYASULUK KALESİ SUR DUVARLARININ YAPISAL DAVRANIŞ ANALİZLERİ VE ONARIM/GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI

STRUCTURAL BEHAVIORAL ANALYSIS AND REPAIR/ STRENGTHENING STUDIES OF AYASULUK CASTLE FORTIFICATION WALLS

Makale Bilgisi | Article Info

Başvuru: 12 Mayıs 2020	Received: May 12, 2020
Hakem Değerlendirmesi: 14 Mayıs 2020	Peer Review: May 14, 2020
Kabul: 03 Ağustos 2021	Accepted: August 03, 2021

DOI : 10.22520/tubaked.2021.23.002

Ayhan NUHOĞLU* - Emre ERCAN - Fırat BARANAYDIN*****

ÖZET

İzmir İli Selçuk İlçesi Ayasuluk Kalesinde gerçekleşen restorasyon çalışmaları, doğu sur duvarlarında mevcut olan yapısal sorunların tespit edilmesi, uygun onarım ve güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesi ve uygulanmasını kapsamaktadır. Gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalar, tarihi yapılar ile ilgili tüzük, yasa ve ilkeleri de göz önünde bulundurarak onarım-güçlendirme yöntemlerini belirlemiştir. Sahadan alınan numuneler üzerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda yığma taşıyıcı birimlerin yapısal analizlerinde ihtiyaç duyulan mekanik parametreler günümüzde kabul gören yaklaşımlar ile elde edilmiştir. Teorik analizlerde ise sonlu elemanlar yöntemi makro model yaklaşımı ile idealize edilen hesap modeli kullanılmıştır. Tarihi yapılar için geliştirilmiş modern ve teknolojik imkanlar, kısmi özgün malzemeler ile sur ve kulelerde tespit edilen bölgelerde uygun karışıma sahip bağlayıcı harç enjekte edilmesi uygulaması belirlenmiştir. Güçlendirme uygulamalarının bir etabını oluşturacak olan yapı içerisine enjekte edilecek bağlayıcı harç ile doğu surlarının olası elverişsiz tesirler etkisindeki stabilitesinin sağlanması amaçlanmıştır. Antik İonia bölgesinin güneyinde bulunan Efes (Ephesos) kentinin bir bileşeni olan Ayasuluk Tepesi Tunç Çağlarından Bizans Çağına kadar, Anadolu'nun en önemli yerleşimine ev sahipliği yapmıştır. Bu yerleşimin ana odakları Apasas, Ephesos sonrasında Ayasuluk (Ayasuluk) olarak adlandırılmıştır. Ayasuluk Tepesi Efes'in (Ephesos) bir parçası ve bileşenidir. Ayasuluk Tepesinde Hellenistik Dönemden itibaren bir kalenin varlığı bilinmektedir. Günümüzde görünen kale Bizans ve Erken Osmanlı Çağına aittir. Çalışma konusu olan doğu sur duvarlarının büyük bölümü ise 1963 ve 2000 yılı onarımları ile tamamlanmış bölümleri içermektedir. 1963 yılında yapılan onarımlar dış ve iç cephelerde az miktarda bağlayıcı ile, dolgu kısımlarında ise bağlayıcı kullanılmadan yapılmıştır. Bu hatalı uygulamalar zamanla yağmur ve zemin sularının da etkisi ile yapının stabilitesini sağlayamamış,

* Doç. Dr. Ege Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir.
e-posta: ayhan.nuhoglu@ege.edu.tr ORCID: 0000-0001-5147-460X

** Doç. Dr. Ege Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir.
e-posta: emre.ercan@ege.edu.tr ORCID: 0000-0001-9325-8534

*** Arş. Gör. İstanbul Gelişim Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Restorasyon ve Konservasyon Bölümü, Avcılar-İstanbul.
e-posta: fbaranaydin@gelisim.edu.tr ORCID: 0000-0003-0514-5893



S06 numaralı sur duvarının 1999 yılında yıkılmasına neden olmuştur. S06 numaralı sur duvarı 2000 yılında tekrar onarılarak ayağa kaldırılmıştır. 2007 ve 2015 yılları arasında doğu sur duvarlarında herhangi bir onarım yapılmamıştır. 2016 yılında İzmir Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü ile Selçuk Belediyesi idaresinde gerçekleştirilen Ayasuluk Kalesi Restorasyonu ve Çevre Düzenlemesi I. Etap İşi kapsamında doğu sur duvarlarında esaslı onarım ve güçlendirme uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayasuluk Kalesi, Ephesos, Onarım, Yapısal Güçlendirme, Modelleme, Enjeksiyon.

ABSTRACT

The restoration studies conducted in İzmir Province Selçuklu District Ayasuluk Castle comprises the detection of the structural problems in the east fortification walls, determination and application of the suitable restoration and reinforcement methods. The experimental and theoretical works that are performed determined the restoration-reinforcement methods by considering the legislations, laws and principles concerning historical structures. The mechanical parameters required in the structural analyses of the masonry bearing systems were obtained through the approaches accepted currently in the experimental studies conducted in the laboratory environment on the samples taken from the field. In theoretical analyses, a calculation model idealized by finite elements method, macro model approach was used. The application of injecting binding mortar has the suitable mixture for the areas that were detected on walls and towers using modern and technological opportunities developed for historical structures and partially authentic materials. It is aimed to provide the stability of the east walls under possible unfavorable effects through the binding mortar to be injected in the structure, which will form a step of the reinforcement applications. Ayasuluk Hill, which is a component of the city of Ephesos located at the east of the Antique Ionia region, was home to the most significant settlement of Anatolia from the Bronze Age to the Byzantium Age. The principal focus areas of this settlement were named Apasas, Ephesos, then Ayasuluk. Ayasuluk Hill is a part and component of Ephesos. The presence of a castle has been known from the Hellenistic Era in Ayasuluk Hill. The castle that is seen today belongs to Byzantium and the Early Ottoman Era. The central part of the east fortification walls, which is the subject of this study, comprises parts of which restorations were completed in 1963 and 2000.

The restorations performed in 1963 were performed using a tiny amount of binder in the exterior and interior parts without using any binder in the filling parts. Those improper practices led to failure in providing the stability of the structure by the impact of the rain and groundwater in time and caused the falling of the fortification wall no. S06 in 1999. The fortification wall no. S06 was restored and re-erected in 2000. There was no restoration in the east fortification walls between 2007 and 2015. In 2016, The 1st Stage Work of Restoration and Landscaping of Ayasuluk Castle was performed under the administration of İzmir Directorate of Surveying and Monuments and Selçuk Municipality, the substantial restoration and reinforcement practices were performed.

Keywords: Ayasuluk Castle, Ephesos, Restoration, Constructional Reinforcement, Modeling, Injection.

GİRİŞ

Apasa yerleşimi Tunç Çağlarında Ayasuluk tepesinde bulunmaktadır (Hawkins 1998: 8; Büyükkolancı 2005: 65-77; Konakçı 2016: 157). Kentin büyüyüp gelişmesi ile güney ve batı yönüne doğru büyüyen yerleşim zamanla Artemision'la birleşmiştir (Pausanias VII.II, VIII; Llyod 2000: 183). Hellenistik Dönemde Pion ve Koresos dağları arasında taşınan kent, Bizans Çağında tekrar Ayasuluk Tepesine taşınmıştır (Büyükkolancı 2001: 31; Gates 2017: 514). Bizans Döneminde St. Jean'ın mezarına yapılan anıtsal kubbeli mezar ve tepenin çevresini saran surlar, kuleler ve kapılar bölgeye tekrar canlılık getirmiştir (Pülz 2011: 71-72; Büyükkolancı 2014: 8 -56) (Lev. 1).

Aydınoğlu Beyliğinin Efes'i (Ephesos) ele geçirmesi ile talan edilen kentte öncelikle var olan savunma yapılarının onarımı ve Kale içerisinde bulunan Cami inşa edilmiş olmalıdır (Telci 2010: 25 -26; Büyükkolancı 2011: 566-569). Arkeolojik veriler ışığında Ayasuluk Tepesi'nde bir kalenin varlığı Hellenistik Dönemden itibaren

Ayasuluk Kalesi onarımları 1963, 2000, 2007-2014 ve 2015-2017 yılları arasında farklı ekipler tarafından gerçekleştirilen büyük çaplı uygulamalardan oluşmaktadır (Baran 1963, Büyükkolancı 2009; Büyükkolancı 2011; Büyükkolancı vd. 2013). 1960'lı yıllarda ülke genelinde yükselen restorasyon çalışmaları Efes'te (Ephesos) de görülmektedir. Ayasuluk Tepesi St. Jean Kilisesi, Efes Meryem Ana Kilisesi ve Ayasuluk Kalesinde bu yıllarda büyük çaplı onarımlar yapılmıştır. St. Jean Kilisesi ve Meryem Ana Kilisesinde yapılan onarımlar Avusturya Arkeoloji Enstitüsü ve Efes Müzesi tarafından yapılırken Ayasuluk Kalesinin restorasyonu bir yükleniciye yaptırılmıştır (Baran 1958: 1- 2). Uygulayıcı firma doğu surlarını tamamlarken sur ve kulelerin dış hatlarını kum, kaymak kireç ve çimento harcı ile taş yığma olarak yükseltmiş, arada kalan dolgu kısmını ise eser miktarda bağlayıcı (çimento, kaymak kireç) kullanarak toprak ve taş ile doldurmuştur. Doğu sur duvarlarının güney doğusunda kalan S06 numaralı sur duvarı bu nedenle 1999 yılında yıkılmış, diğer alanlarda ise çatlamlar ve lokal alanlarda boşalmalar oluşmuştur. Ayasuluk Kalesinin en düşük kotunda yükselen S06 numaralı sur duvarının

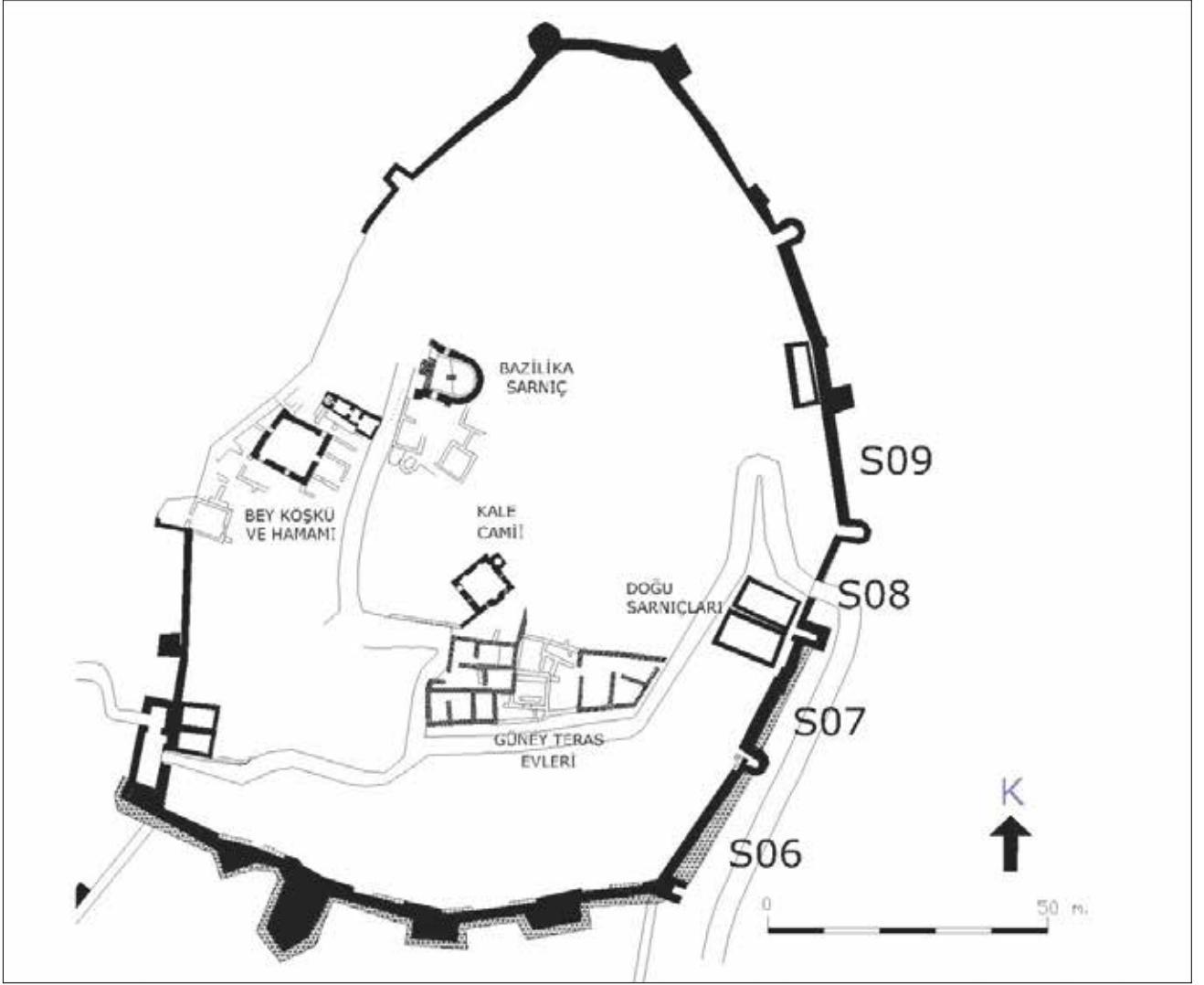


Fotoğraf 1: Ayasuluk Tepesi; önde St. Jean Kilisesi kalıntıları ve arkada Ayasuluk Kalesi. / *Ayasuluk Hill; The ruins of the St. John Church at front and the Ayasuluk Castle at back.*

bilinmektedir (Büyükkolancı 2008: 224). Ayasuluk Tepesi'nin en üst noktasında bulunan iç kalenin günümüzde görünen yapı elemanlarının büyük bölümü Erken Osmanlı Dönemi eklemeleri ve dönem restorasyonlarından ibarettir (Büyükkolancı 2004: 40). Ayasuluk Kalesi sur duvarlarının güneydoğusundaki en düşük kotlarında sur yüksekliği 13m ye kadar yükselmekle beraber, batısında yüksek kotlarda bu yükseklik 3m ye kadar düşmektedir. 17 kule arasında teşkil edilen sur duvarları ile çevrilen kalenin doğuda ve batıda olmak üzere 2 adet giriş kapısı bulunmaktadır (Büyükkolancı 2004: 40).

Ayasuluk Kalesi güneyden kuzeye doğru yükselen tepenin en yüksek alanında kurulmuştur. 17 kule ile desteklenen kalenin batı kesimi ile doğu ve güneydoğu kesimi arasında oldukça kot farkı vardır (Plan 1). Kelenin doğu surlarının bulunduğu alan düşük kotta kalmaktadır.

yıkılmasının nedeni, eksik malzeme kullanımının yanında tepe üzerindeki yağmur sularının büyük bir kısmının burada toplanarak iç surlara etkisidir. 2008 yılında hazırlanan restorasyon projesinde izlenen boşalmaların özgün malzeme ile tamamlanması önerilmiştir. Hazırlanan projelerin İzmir II Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulundan 13.05.2010 tarihinde onaylanması ile Pamukkale Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. Mustafa BÜYÜKKOLANCI başkanlığındaki ekip tarafından 2010 yılında başlayan çalışmalar 2015 yılına kadar doğu sur duvarlarına kadar ilerletilmiştir. 2016 yılında İzmir Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü ile Selçuk Belediyesinin idaresinde gerçekleştirilen Ayasuluk Kalesi Restorasyonu ve Çevre Düzenlemesi I. Etap İşi ile doğu surlarında kapsamlı güçlendirilme uygulamaları yapılmıştır (Foto. 1).



Şekil 1: Ayasuluk Kalesi Planı (Kazı Arşivi). / Plan of Ayasuluk Castle.

Bu yazıda yer alan çalışmalar Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalı Öğretim Elemanlarının danışmalığında, Ayasuluk Tepesi ve St. Jean Kazısı Bilim Heyeti Üyeleri teknik desteği ile yapılmıştır. Bu kapsamda yöntem olarak belirli aşamalar izlenmiştir. Öncelikle yapıda gözlenen mevcut bozulmalar tespit edilmiş ve nedenleri hususunda değerlendirmeler yapılmıştır. Devamında ise yığma yapıyı oluşturan yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel ve teorik analizler gerçekleştirilmiş ve bu analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda taşıyıcı sistem hesap modeli bilgisayar ortamında (SAP 2000, V.18) idealize edilmiştir. Sonrasında söz konusu matematik model üzerinde gerçekleştirilen statik ve dinamik analizler sonucunda doğu duvarlarının olası gayri müsait yüklemeler tesirindeki yapısal davranışları belirlenmiştir. Tüm bu deneysel ve teorik çalışmaların sonucunda ise yapının mevcut durumuna yapılabilecek minimum müdahaleler değerlendirilmiş ve bu kapsamdaki uygulama önerileri geliştirilmiştir.

Günümüzde tarihi yapıların duvar içi bağlayıcı malzeme boşalmalarını tamamlamak için kullanılan hidrolik kireç esaslı enjekte edilebilecek viskoziteye sahip hızlı priz alan malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeleri alanında uzman kişiler tarafından uygun oranlarda karıştırılarak hazırlanabilmekle beraber, piyasada toz torba halinde de temin edilebilmektedir. Belirlenen yöntemler Ayasuluk Kalesinin en düşük kotlarını ve en fazla malzeme kaybının olduğu doğu sur duvarlarını kapsamıştır. Tüm bu çalışmalar doğrultusunda belirlenen yöntemler ve kapsam üzerinden doğu sur duvarlarında mevcut yapısal bozulmalarını bir bölümünün giderilmesi ve geleceğe güvenle aktarılmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Yapı Malzemeleri

Efes bölgesindeki Geç Dönem yapılarının inşaa faaliyetlerini ve özellikle kullanılan malzemelerini anlamak için kentin tarihçesine ve taşınma evrelerine de hakim olmak gerekmektedir. Efes kenti dönem



Fotoğraf 2: Ayasuluk Kalesi doğu surlarının güneydoğudan görünümü. / *View of the east walls of Ayasuluk Castle from the southeast.*

koşulları gereği zaman içerisinde farklı alanlara kent merkezini taşıyarak, toplamda yaklaşık 10 bin m² lik bir yerleşim alanını kapsamıştır. Zaman içerisinde meydana gelen tüm bu taşınma ya da merkezi değişiklikler Efes yerleşiminde kullanılan malzemelerin tekrar kullanımını da beraberinde getirmiştir. Devşirme malzeme kullanımı geçmiş inanç ve kültürlere tepki üzerinden bilinçli de olmaktadır. Ayasuluk Kalesinin malzemeleri moloz taşlar haricinde tamamıyla devşirme malzemedir. Bu malzemeler St. Jean Kilisesi yapılırken Efes'ten taşınarak getirilen malzemelerdir. İçerisinde Nekropol alanından getirilen mezar taşları, özellikle zemin seviyesinde kullanılan ve Stadium oturma blokları bölümünden alındığı anlaşılan büyük boyutlu oturma blokları ve Artemision Kutsal Alanı kısmına ait mermer yoğunluklu malzemelerden oluşmaktadır. Ancak tuğla boyutları ve özelliklerine bakıldığında Bizans Döneminde kale için bu devşirme malzemelerin yanında özel tuğla döktürüldüğü de düşünülmektedir. Bu yapı malzemesi Ayasuluk Kalesi için hazırlanan tek malzeme örneğidir. Ayrıca Bizans Döneminden sonra Erken Osmanlı eklemelerinde Kilisenin orijinal malzemeleri 1. Kilisede devşirme olarak kullanılmış olanlar ise 2. evre devşirme malzeme olarak kullanılmıştır. Söz konusu duvar malzemeleri yapıya yakınlığına göre seçilmiş olmalıdır.

Ayasuluk Kalesinde kullanılan malzeme kaba yontulmuş mikaşist, mermer, diorit taşlardır. Kilise ve kale yapımı için özel dökülmüş tuğla ve devşirme malzeme olarak tedarik edildiği anlaşılan mermer malzemeler kullanılmıştır. Taşların ayrıtları temel ve alt kısımlarda 50 cm'ye kadar ulaşmaktadır, ortalama ayrıt uzunlukları

30cm seviyelerindedir. Bu kapsamda, geleneksel moloz taş duvar tipinde gelişigüzel yaklaşımla imal edilen duvarlarda kullanılmış olan birim elemanların boyutları geniş bir aralığa sahiptir. Kalenin günümüze kadar fazla müdahale görmeden gelen güney cephesi incelendiğinde, restorasyon ve dönem ekleri olmadan önce Kalenin erken döneminde devşirme malzeme kullanımının daha yoğun olduğu düşünülmektedir. Doğu sur duvar kalınlıkları 1.30m ile 2.50m aralığında, duvar yükseklikleri ise dış cepheden bakıldığında, 9-13m aralığında, iç cepheden bakıldığında 6-10m aralığında değişmektedir. Çalışmaların gerçekleştirildiği doğu sur duvarlarında, taş malzemesinin boyut ve tür olarak çeşitlilik gösterdiği, yer yer devşirme taşların kullanılmış olduğu ve tuğla malzemesinin de bölgesel olarak değişen yoğunluklarda duvar örgüsünde yer aldıkları görülmektedir.

Yapısal Hasarlar ve Malzeme Bozulmaları

Ayasuluk Tepesi konumu itibari ile modern Selçuk şehri ile iç içe bulunmaktadır. Bu durum yapısal tahribatın en yoğun faktörünü insan etkisi olarak öne çıkarmaktadır. Yapı malzemesinin halkın evlerinin inşasında kullanılması en büyük tahribatı oluşturmuş olmalıdır. Sonrasında yine insan faktörü olarak karşımıza çıkan, kullanılan fosil yakıtların hava kirliliği ve bunun yanında yağışlar vasıtasıyla asit yağmurlarına yol açması da taş ve tuğla yüzeylerinde bozulmalara yol açmaktadır. Gözlemlenilen malzeme bozulmaları bitkilenme (*Plant, Biological Colonization*, ICOMOS-ISCS 2008: 64-65, 74-75), derin ve kılcal çatlakların yanında doğu surları özneline 1963 yılında yapılan çimento bazlı

karişimlerin kullanıldığı hatalı restorasyonun bir neticesi olarak yüzeyde çiçeklenme (*Encrustation*, ICOMOS-ISCs 2008: 50-51) oluşumuna neden olmuştur. Özellikle sur yüzeyinde görülen bitki oluşumu ve atmosfer ortamının yarattığı bozulmalar zaman içerisinde olumsuz çevre koşullarının da etkisiyle taş, tuğla ve harç malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli kayıplara neden olmaktadır (Baranaydın 2019: 14). Yağmur, rüzgar, sıcak-soğuk gibi atmosferik koşullara açık olan duvarlarda, derz boşalmalarının oluşturduğu uygun ortam ile birlikte bitki oluşumu ortaya çıkarmaktadır (*Plant, Biological Colonization*, ICOMOS-ISCs 2008: 64-65, 74-75).

Yapısal Davranış ve Malzeme Özellikleri

Sur kulelerinin ve duvarlarının örülmesi esnasında duvar içlerinde ve dışlarında kullanılmış olan mevcut harç malzemesi hakkında teknik bilgi elde etmek amacıyla gözlemler yapılmıştır. Bu kapsamda özellikle doğu yönündeki duvarlardaki bir kısım noktalarda derinlemesine çürütmeler yapılmış ve böylece taşıyıcı duvarların iç kısımlarındaki duvar örgüsünün durumu tespit edilmiştir. Restorasyon projelerindeki lejanta göre S06, S07, S08 ve S09 numaralı duvarlarında açılan oyuklarda yapılan gözlemlerde duvar içlerinde genelde herhangi bir dolgu harcı malzemesinin mevcut olmadığı (Lev. 3), iç kısımlarında yer alan moloz taşların



Levha 2: Ayasuluk Kalesi Surlarında bitki oluşumlarından örnekler. / *Examples of plant formations on the walls of Ayasuluk Castle.*

Duvarlarda ortam bularak filizlenen bitkilerin kökleri duvar içlerine ilerledikçe çatlak ve parça kopması gibi önemli hasarlara neden olurlar ki bu durum doğrudan duvarın bütünlüğünü ve dayanımını azaltan olumsuz etkiyi de beraberinde getirir. Bu kapsamda Ayasuluk Kalesi duvarlarında kısa sürede oluşabildiği anlaşılan yoğun bitkilenme oluşumu söz konusudur (Lev. 2). Tarihi yapıların tahrip olmasındaki en önemli etkilerden biri de yapı taşıyıcı elemanlarının uzun süreli olarak suya maruz kalmasıdır. Özellikle yağış sularının ve kale içinde yer alan sarnıçlardaki suların duvarlara ulaşması halinde duvarların bütünlüğüne ve dayanımına olumsuz yönde tesir etmektedir (Bugani vd. 2008: 1343). Yerinde yapılan gözlemlerde, kale duvarlarının zemine oturduğu en düşük kotlara sahip doğu duvarlarında yoğun nemlenmelerin mevcut olduğu görülmüştür.

serbest dolgu tarzında teşkil edilmiş, S08 duvarının iç kısımlarının yalnızca kısmen doğal toprak malzemesi ile dolu ve kısmen boşlukların mevcut olduğu, S09 bölgesindeki duvarın iç kısımlarında ise genel olarak kireç esaslı harç kullanılmış ve taşlar arasındaki boşlukların kireç esaslı harç ile doldurulmuş olduğu, böylece duvarı oluşturan taşlar arasında makul düzeyde birleştirme sağladığı görülmüştür. Kalenin diğer bölümlerine göre yapısal açıdan daha riskli olduğu değerlendirilen ve doğu yönünde yer alan S06, S07, S08 ve S09 duvarlarını temsil edebilecek yapısal analizler ele alınmıştır.

Bu amaçla öncelikle inceleme konusu yığma yapının taşıyıcı sistemini oluşturan moloz taş, tuğla ve harç malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Buradan elde edilen veriler esas alınarak teorik sayısal analizlerin



Levha 3: Duvarlarda mevcut olan boşluklardan çeşitli görünüşler. / Various views from the hollows with in the walls.

yapılacağı idealize edilmiş taşıyıcı sistem tasarlanmıştır. Böylece mevcut yapının yapısal analizlerinin daha gerçekçi yaklaşımlarla yapılabilmesi mümkün olmuştur. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen statik ve dinamik analizler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda sur duvarlarının yapısal performansları değerlendirilmiştir.

Duvarların Mekanik Parametreleri

Bu bölümde Selçuk Ayasuluk Kalesi çevre duvarlarında mevcut olan malzemelerin mekanik özelliklerinin (basınç-çekme dayanımı, Elastisite Modülü, Poisson Oranı, birim hacim ağırlığı) belirlenebilmesi amacıyla, mahallinden alınmış malzeme örnekleri (Lev. 4) üzerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olan bir dizi testler ve bu çalışmalardan elde edilmiş olan sayısal sonuçlar açıklanmıştır. Tarihi yapılarda mevcut olan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılacak olan deneysel çalışmalar çeşitlilik gösterirler (Vasconcelos G., 1996, Arıoğlu vd. 1999, Dabanlı, 2008, Vakıflar Genel Müdürlüğü, Callister ve Rethwisch 2015).

Gerek yerinde yapılan gözlemlerden ve gerekse halen devam etmekte olan restorasyon çalışmalarında görevli olan uzmanların ifadelerinden de anlaşılacağı gibi, inceleme konusu duvarlarda geçmişteki farklı dönemlerin izleri mevcuttur. Duvarlarda devşirme yöntemi ile kullanılmış olduğu görülen taş elemanlar ile sıklıkla karşılaşmaktadır.

Yığma taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarının mevcut yapısal özelliklerinin belirlenmesinde Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan “Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu” nda yer alan esaslar göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda öncelikle kalenin bulunduğu mahalden alınan moloz taş duvar tarzındaki yapıyı oluşturan elemanlarda Schmidt çekici (Proceq, 2007) uygulamaları yapılarak, test edilen elemana yapılan darbenin geri tepmesine bağlı olarak oluşan “R; Rebound” değerleri elde edilmiştir (Lev. 5). Schmidt Test Çekici uygulamaları sonucunda elde edilen ve Tablo 1.’de verilen R değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, yapıyı oluşturan taş elemanların belirli bir aralıktaki mukavemet değerlerine sahip oldukları,



Levha 4. Mekanik testler için mahallinde alınmış olan duvar elemanları. / Elements taken from the wall for mechanical tests.

bir kısım taş elemanlarda ise su tesirinde kalmalarından dolayı yapısal bozulmalara uğradıkları belirlenmiştir. Bu nedenle belirtilen elemanlarda beklenenden çok daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Bunun yanında söz konusu dayanım verilerinin standart sapma değerinin kabul edilebilir düzeyde küçük olduğu da görülmüştür.

Tarihi öneme sahip yapının koruma altında olması nedeniyle üzerinden karot alınacak ve ilgili testlere tabi tutulacak test numuneleri, duvarların civarında yer alan yıkıntılardan, geçerli prosedürler kapsamında tedarik edilerek, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına götürülmüştür. Laboratuvarında karot makinesi ile alınan 54 mm çapa sahip silindirik numuneler oluşturulmuştur (Lev. 5). Tek eksenli basınç testi için boyları 56 mm ile 110 mm arasında değişen karot numuneler, yarmada çekme testi için ise boyları 30 mm 54 mm arasında değişen silindirik karot numuneler

kesilerek hazırlanmıştır (Lev. 5). Silindir numunelerin başlıkları makine ile zımparalanarak düzgün bir yüzeye sahip olmaları sağlanmıştır. Son olarak Elastisite Modülü tayini için taşlara gerinim pulları yapıştırılmıştır (Lev. 5). Harç numuneler ise düzgünce kesilerek küp numuneler haline getirilip basınç makinesinde kırılmıştır. Harç numuneler gerinim pulları yapıştırılmayacak bir yüzeye sahip olduklarından basınç dayanımları esas alınarak Elastisite Modülleri tahmin edilmiştir.

Karot numunelerin alınmasından sonra geriye kalan taş parçaları ve harç numuneleri üzerinde yoğunluk ve porozite testleri TS 699'da belirtilen prosedüre göre yapılmıştır. Buna göre numunelerin hacimsel kütle (görünür yoğunluk) değerleri d_h su dışında (Gd) ve su içinde (Gd) ayrı ayrı ölçülen kütlelerine bağlı olarak elde edilmiştir (Lev. 5). Tespit sonuçları Tablo 2, 3 ve 4. 'de verilmiştir.

Numune Adı ►	1	2	3	4	5	6	6.1
Rebound (R) ▼							
1	22	48	40	38	38	38	38
2	20	44	45	36	39	40	42
3	18	50	46	40	48	48	40
4	21	52	48	42	42	42	33
5	18	50	48	36	44	42	34
6	22	50	50	42	36	48	32
7	22	54	48	40	40	42	35
8	18	40	50	38	42	42	34
9	22	44	48	44	36	48	36
10	16	44	46	38	39	45	40
Ortalama R	19.9	47.6	46.9	39.4	40.4	43.5	36.4

Tablo 1: Numunelerde Schmidt Çekici Testi sonuçları / Schmidt attractive test results on the samples



Levha 5: Numunelerin deneylere hazırlanması. / *Preparation of sample for the experiments.*

Taş Numunelerde Yoğunluk Testi			
Numune Adı	Gk(gr), (su dışında)	Gds(gr) (su içinde)	dh(gr/cm ³)
1	357	214	2.4965
2	265	166	2.6768
3	335	211	2.7016
4	336	211	2.6880
5	328	207	2.7107
6	280	176	2.6923
6.1	161	101	2.6833
Ortalama			2.6642

Tablo 2: Taş numuneler için görünür yoğunluk testi sonuçları / *Density test results for stone samples.*

Harç Numunelerde Yoğunluk Testi			
Numune Adı	Gk(gr) (su dışında)	Gds(gr) (su içinde)	dh(gr/cm ³)
H1	280	125	1.8654
H2	340	168	1.9779
H3	120	63	1.8395
Ortalama			1.9216

Tablo 3: Harç numuneler için yoğunluk testi sonuçları / *Density test results for mortar samples.*

Yarmada çekme testi prosedürü TS 699'a göre gerçekleştirilmiştir. Sıfırdan başlayan artan yük tesirinde numuneler 1-2 dakikalık süre içerisinde kırılmıştır (Lev. 7). Test sonuçları Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tek eksenli basınç testi ile taş numunelerin basınç mukavemetinin ve Elastisite Modüllerinin belirlenebilmesi için hazırlanmış olan karot numuneler yük kontrollü preste test edilmiştir (Lev. 8).

Numunelerdeki gerinim pulları yardımı ile numunelerin Elastisite Modülü tayini yapılmış ve aynı zamanda maksimum basınç dayanımları elde edilmiştir (Tablo 7). Elastisite Modülü tayininde Gerilme-Şekil Değiştirme grafikleri kullanılmıştır.

Tuğla elemanlardan alınmış olan silindirik numuneler için gerçekleştirilen eksenel basınç testi sonucu ortalama basınç dayanımı 7.9MPa (79kg/cm²) ve Elastisite

Tuğla Numunelerde Yoğunluk Testi			
Numune Adı	Gk(gr), (su dışında)	Gds(gr) (su içinde)	dh(gr/cm ³)
T1	100	42	1.7241
T2	135	58	1.7532
T3	188	75	1.6637
Ortalama			1.7387

Tablo 4: Tuğla numuneler için görünür yoğunluk testi sonuçları / *Density test results for brick samples.*

Taş Numunelerde Brezilya Yarma Deneyi (Yarmada Çekme)				
Numune Adı	L (mm)	D (mm)	Pk (N)	fyç (MPa)
1	38	54	17200.0	5.34
2	27.5	54	6700.0	2.87
3	51.5	54	33100.0	7.58
Ortalama				5.26

Tablo 5: Taş numuneler için yarmada çekme testi sonuçları / *Split tensile strength test results of stone samples.*



Levha 6: Numunelere yarmada çekme testi yapılması. / *Splitting tensile test on the samples.*

Modülü 670 MPa (6700 kg/cm²) değerlerinde elde edilmiştir. Harç numunelerine dair mekanik parametreler belirlenirken, gerek laboratuvar ortamında yapılan testlerden elde edilen sonuçlar gerekse bu konuda çeşitli yazarlar tarafından yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak yığma taşıyıcı sistemi oluşturan bileşenlerin teorik analizlerde esas alınan yapısal parametreleri Tablo 8'deki gibi belirlenmiştir.

Çalışma kapsamındaki yığma yapıyı oluşturan kompozit yığma sistemin teorik yapısal analizleri, homojenleştirme yaklaşımı (makro model) ile modellenmiş olan idealize edilmiş sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yığma kompoziti oluşturan taş/tuğla ve harç birimleri birleşik

bir bütün olarak düşünülmüştür. Yığma sistemin elastik parametreleri ve yığmayı oluşturan taş/tuğla (hesaba katılmayacak az miktarda tuğla) ve harcın mekanik özellikleri literatürde kabul görmüş çeşitli yaklaşımlar kullanılarak hesaplanmıştır (Lourenço, P. B. 2002, 2004). Bu kapsamda farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan kompozit yığma sistemlerin basınç dayanımı aşağıdaki denklemden elde edilmiştir (Eurocode 6, 1995).

$$F_{k=K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}} \quad (1)$$

Tuğla Numunelerde Brezilya Yarma Deneyi (Yarmada Çekme)				
NumuneAdı	L (mm)	D (mm)	Pk (N)	fyç (MPa)
1	39	54	19300.0	7.00
2	19.5	54	8900.0	6.46
3	51.5	54	25000.0	6.87
Ortalama				6.78

Tablo 6: Tuğla numuneler için yarmada çekme testi sonuçları/ *Splitting tensile test results for brick samples*

Numune Adı	L (mm)	D (mm)	Pk (N)	fck (MPa)	E (MPa)
1	97	45	17000.0	10.69	12480
2	64.5	45	76400.0	48.04	72520
3.1	71	45	23400.0	14.71	-
3.2	81.5	45	88500.0	55.65	75900
4	82.5	45	63500.0	39.93	36000
5	79	45	99500.0	62.56	
6	68	45	35800.0	22.51	
Ortalama				36.30	49225

Tablo 7: Taş numunelerde aksel basınç dayanımı ve elastisite modülü tayini test sonuçları / *Test results for determination of axial compressive strength and elasticity module for stone samples.*



Levha 7: Tek eksenli basınç testi uygulamaları. / Implementations of axial compression load test.

Yığma Taşıyıcı Sistemi Oluşturan Malzemeler	E, (kg/cm ²) (Elastisite Modülü)	Δ , (g/cm ³) (Birim Hacim Ağırlığı)	σ_b , (kg/cm ²) (Basınç Mukavemeti)	ν (Poisson Oranı)	σ_c , (kg/cm ²) (Çekme Mukavemeti)
Kesmetaş / Dolgutaş	492 250	2.66	363	0.17	52,60
Tuğla	6 700	1.74	79	0.18	6.78
Harç	1 500	1.92	45	0.18	4.50

Tablo 8: Numunelerin genel test sonuçları / General test results of the samples.

Parametre / Duvar Birimi	Yığma Duvar	Dolgu Harcı
Basınç Dayanımı (MPa)	7.51	6.48
Çekme Dayanımı (MPa)	0.75	0.65
Elastisite Modülü (MPa)	723	550
Kayma Modülü (MPa)	289	220
Görünür Yoğunluk (kg/m ³)	2100	1950
Poisson Oranı	0.17	0.05

Tablo 9: Homojenleştirilmiş yığma model için malzeme parametreleri / Material parameters for homogenized masonry model.

Burada, K , α ve β birer sabittir, f_b (MPa); taş veya tuğlanın basınç mukavemetini, f_m (MPa); harcın basınç mukavemetini ifade eder. K sabitinin değeri, yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında 0.05'lik farklarla değişen değerler alır. α ve β sabitleri için ise düzgün şekilli yığmalarda sırasıyla 0.7 ve 0.3, kaba örülmüş yığmalarda ise 0.65 ve 0.25 değerleri önerilmiştir. f_m için alınabilecek en büyük değer 20 MPa veya f_b değerinin iki katıdır (Eurocode 6, 1995). Koçak (1999) çalışmasında yığma sistemin çekme mukavemeti olarak basınç mukavemetinin %10'nun alınabileceğini önermiştir. Yığma sistemlerin elastisite modülleri için Lourenço (2001, 2004) ve Eurocode 6 (1995) aşağıdaki ifadeyi kullanmıştır.

$$E = \rho \cdot (t_m + t_u) / [(t_m / E_m) + (t_u / E_u)] \quad (2)$$

Bu eşitlikte, ρ bir sabittir ve harç ile taş veya tuğla arasındaki aderansa göre değişmektedir (Lourenço 2001, 2002). Diğer parametreler t_m , t_u , E_m ve E_u ise sırasıyla harcın ortalama kalınlığını, taş veya tuğlanın ortalama yüksekliğini, harcın Elastisite Modülünü ve taş veya tuğlanın Elastisite Modülünü ifade eder. Eurocode 6 ise Elastisite Modülü için aşağıdaki denklemi sunmuştur (Eurocode 6, 1995).

$$E_k = 1000 \cdot f \quad (3)$$

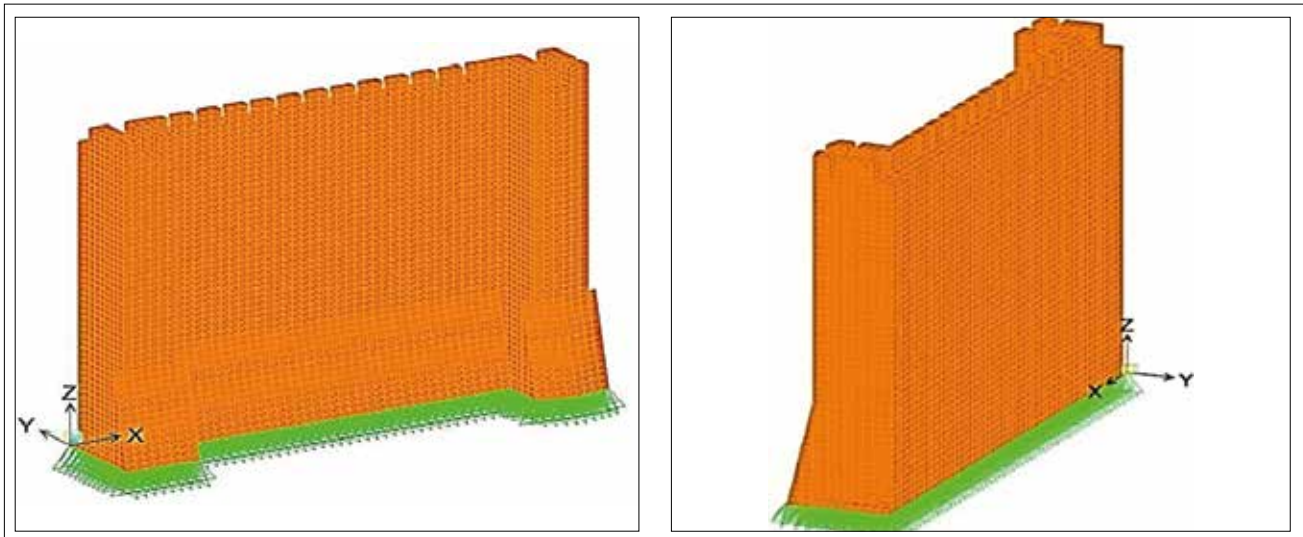
Kimyasal Yapısı	Doğal Hidrolik Kireç esaslı özel karışım
Renk	Doğal haliyle "Kırık Beyaz" dan "Sütlü Kahve" ye değişen renk yelpazesi
Dane Boyutu	0-150 mikron
Eğilme Dayanımı (N/Mm ²)	2.5 N/mm ²
Basınç Dayanımı (Ts En 196)*28 Gün	10 N/mm ²
Uygulama Zemin Sıcaklığı	+5o C ila +35o C
Uygulama Süresi	+20o C 'de 30 dakika
Akışkanlık (Dın Cup 6)	3 dk. sonra, < 33 sn. 20 dk. sonra, < 45 sn
Kuru Toz Yoğunluğu (Kg/Lt)	1.00 ± 0.1
Islak Harç Yoğunluğu (Kg/Lt)	1.85 ± 0.1
Karışım Suyu Oranı	1 kg kuru harca karşılık 450 gr su

Tablo 10: Kullanılan hidrolik kireç bazlı enjeksiyon harcının teknik özellikleri. (TeknoREP530 Ürün Föyü 2014, s.3) / *Technical characteristics of the hydraulic lime-based injection mortar that is used.*

Eurocode G Kayma Modülü ise, Elastisite Modülü değerinin %40'nın alınabileceğini önermiştir (Eurocode 1995). Yığma yapılar için Poisson Oranı Koçak (1999) tarafından 0,17 olarak önerilmiştir. Yığma yapıya ait makro parametreler: Yığma taş ve harçtan oluşan duvarları için denklem (1) kullanılarak basınç mukavemeti 7.51MPa (75.1 kg/cm²) mertebelerinde elde edilmiştir. Yığma sistemin çekme mukavemeti değeri ise Koçak'ın önerisine göre, basınç dayanımı %10'u olarak dikkate alındığında 0.75MPa değerine sahip olmaktadır. Yığma sistemin Elastisite Modülü değeri denklem (2) kullanılarak 0.723GPa, Kayma Modülü ise, Eurocode 6'ya göre Elastisite Modülününün 0.4 katı olarak 289MPa değerlerinde elde edilmiştir. Yığma yapıyı oluşturan taşın ortalama görünür yoğunluğu 2660 kg/m³ ve harcın yoğunluğu 1920 kg/m³ olarak dikkate alındığında yığma sistemin ortalama görünür yoğunluğu 2100 kg/m³, dolgu taşın yoğunluğu ise 1950 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

Yapının taş ve harçtan oluşan dolgu malzemesi için denklem (1) kullanılarak Elastisite Modülü $E = 550\text{MPa}$ olarak hesaplanmıştır. Frunzio, çalışmalarında dolgu malzemesine ait Poisson Oranı için ise 0.05 önermiştir (Frunzio vd. 1998). Tablo 9'da homojenleştirilmiş yığma model için yapısal teorik analizlere esas malzeme parametreleri (basınç-çekme dayanımları, Elastisite Modülü, Kayma Modülü, Poisson Oranı, yoğunluk) verilmiştir.

Bu aşamada vurgulanmalıdır ki; bu tabloda yer alan değerler, inceleme konusu duvarların orijinaline uygun bir harç malzemesi ile imal edilmiş olması durumunda geçerli olacaktır. Buna karşılık çalışmada ise, halihazırda mevcut olan bir kısım duvarlarda bağlayıcı harç malzemesinin kullanılmamış olduğu, yetersiz olduğu veya harç malzemesi yerine doğal toprak malzemesinin kullanılmış olduğu hususlarının yapısal davranışa olan etkileri incelenmektedir. Dolayısıyla, ileride yapılacak olan teorik sayısal analizler bu hususlar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.



Levha 8: Solid sonlu elemanlar ile idealize edilmiş 3D teorik analiz modeli. / *3D theoretical analysis model idealized by solid finite elements.*

Teorik Analizler

Bu bölümde, mevcut yapısal özellikleri belirlenmiş olan Selçuk Ayasuluk Kalesi sur duvarlarının statik ve dinamik analizleri bilgisayar ortamında yapılmıştır (Frunzio 1998, Juhasova 2008, Koçak, 1999, Lourenço, 2002, 2009). Bu amaçla Sonlu Elemanlar Deplasman Metodu direkt rijitlik ilkelerine göre analiz yapabilen bilgisayar programı (SAP 2000 V.17) ortamında oluşturulmuş olan teorik hesap modeli Levha 8.'de verilmiştir. Üç boyutlu "solid" sonlu elemanlar ile idealize edilen taşıyıcı sistemde 17645 düğüm 12725 solid sonlu eleman kullanılmıştır. Sonlu Elemanlar Metodu ile yapılan teorik analizlerde, üç boyutlu orijinal yapısal sistem yine üç boyutlu sonlu elemanlar (solid) modellemesi ile daha gerçekçi idealize edilebilmektedir. Buna karşılık modelleme ve sayısal analiz için harcanan zaman artmakta, daha yüksek kapasiteli matematik işlemciler ihtiyacı duyulmaktadır. Bahsedilen olumsuzluk bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak en aza indirgenilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, taşıyıcı duvarları oluşturan taş ve/veya tuğla elemanları birbirine bağlayan harç malzemesinin yeterli düzeyde dayanıma sahip olmamasının yapısal davranışa etkisi incelenmiştir. Bu açıdan riskli olabileceği değerlendirilen S06, S07, S08 ve S09 numaralı doğu sur duvarları ile ilgilenilmiş, birinci derece riskli deprem bölgesinde yer alan duvarların harçlı ve harçsız olmalarını temsil eden iki farklı durum için teorik analiz yapılmıştır. Böylece moloz taşları arasındaki bağları olan, zayıf olan ve hiç olmayan duvarların yapısal davranışları hakkında sayısal açıdan genel bir kanaat elde edilmiştir.

İnceleme konusu S06, S07, S08 ve S09 numaralı sur duvarları ve bu duvarların birleşimlerinde yer alan kuleler farklı geometrik boyutsal özelliklere sahiptir. Levha 9'da söz konusu duvarların restorasyon projelerinde mevcut olan cephe (iç ve dış) görünüşleri yer almaktadır. Duvar kalınlıkları, iç ve dış cephelerin yükseklikleri ve kuleler arasındaki boyları değişiklikler göstermektedir. Bu durum Çizim 1'de görülen tipik bir kesit üzerinde tarif edilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen sur duvarlarını en iyi eşdeğerlikte temsil edebilecek idealize edilmiş taşıyıcı sistem modeli oluşturulurken yapısal güvenlik açısından da emniyetli tarafta kalınmasına özen gösterilmiştir. Diğer bir değişle uygulama yapılacak sur duvarlarında maksimum-minimum sonuçların alınabileceği teorik analiz modeli göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre dizayn edilen tipik taşıyıcı sistemin kuleler dahil toplam boyu 32m, duvar kalınlığı 180cm, zeminden yüksekliği dış cephede 24m, iç cephede ise 10m mertebelerindedir.

Yük Analizi

Duvarlara tesir eden yükler düşey ve yatay olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Düşey yükler duvar sistemini oluşturan duvarın ve kulelerin zati ağırlıklarıdır. Yapıdan alınmış olan duvar numuneleri üzerinde yapılmış olan testler sonucunda, tüm duvar ve kule elemanlarında dikkate alınabilecek birim hacim ağırlığı 2100kg/m³ değerindedir.

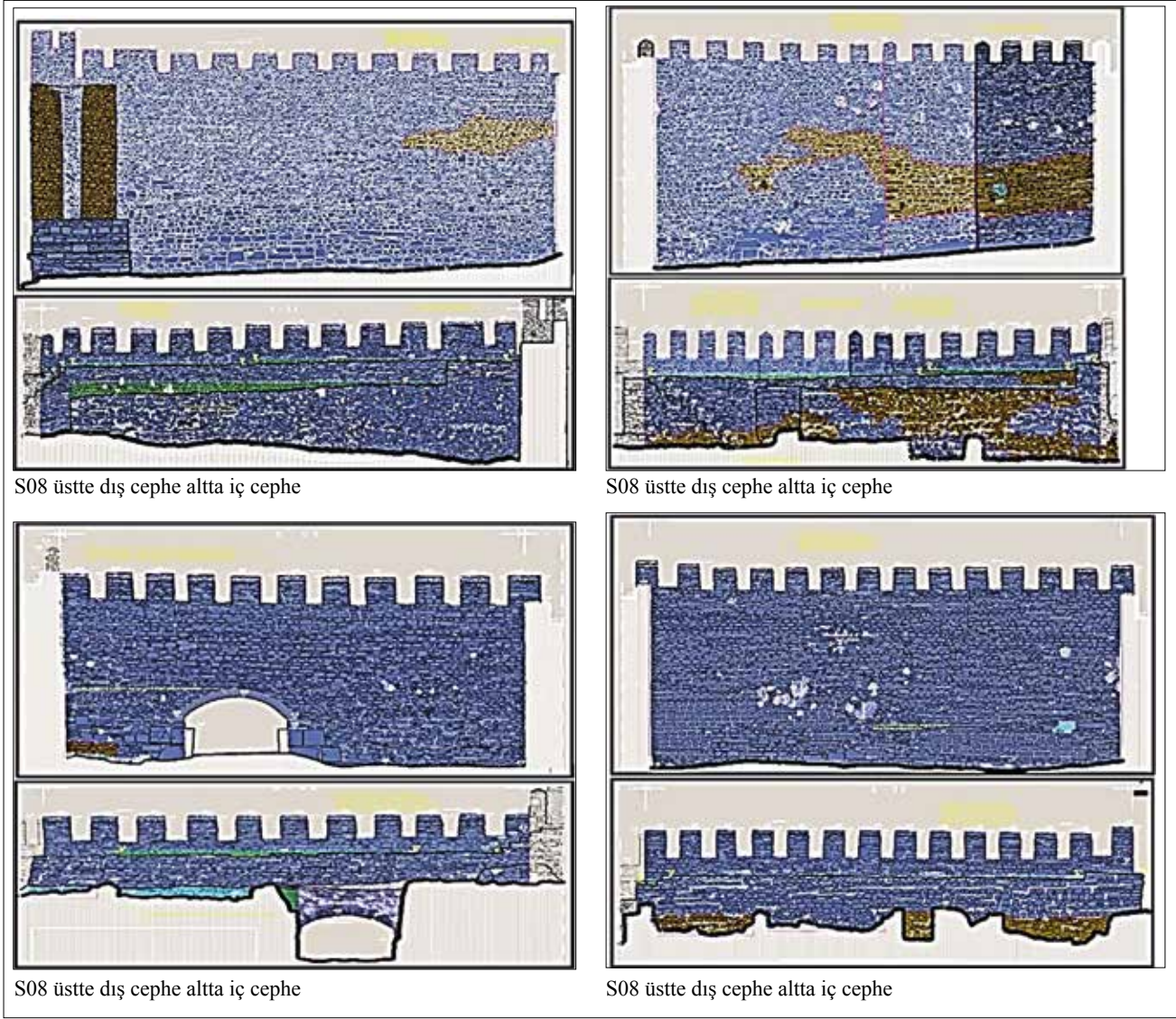
Yatay yük olarak deprem ve zemin etkisi dikkate alınmıştır. Deprem Yönetmeliği (2007) kapsamında, dinamik deprem etkisinde, 1. derece riskli deprem bölgesi, etkin yer ivmesi katsayısı 0.4, yapı önem katsayısı 1.4, davranış katsayısı 2.0, spektrum katsayısı 2.5, zemin sınıfı emniyetli tarafta kalınması amacıyla Z3 verisi esas alınmıştır. Duvara etki edecek aktif ve pasif zemin yüklerinin hesaplanmasında ise, $K_p=2$, $\gamma_{dolu}=2.0t/m^3$, kale içinde dolgu yüksekliği; $H=12m$ değerlerinde dikkate alınmıştır.

Statik ve Dinamik analizler

İnceleme konusu duvarlarda, zati yüklerin ve zemin basıncının olduğu anda duvar yüzeyine dik doğrultudaki deprem etkisinin de mevcut olması halinde en elverişsiz yüklenme söz konusu olmaktadır. Bu durumda iki kule arasında dizayn edilen idealize edilmiş taşıyıcı sistemine ait analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. İki farklı sistem için analiz yapılmıştır. Birinci durumda duvarların tüm noktalarında herhangi bir boşluk oluşturmadan normal olarak bağlayıcı harç kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu hal "normal durum" olarak adlandırılmıştır. İkinci durumda ise duvarların, kesit olarak bakıldığında, 1/3 iç ve dış kısımlarında harcın mevcut olduğu, geri kalan 1/3 iç bölümünde ise bağlayıcı harç kullanılmadığı dikkate alınmıştır. Bu hal ise "boşluklu durum" olarak adlandırılmıştır.

Birinci duruma (normal durum) ait deplasmanlar, Levha 10'da, maksimum düşey gerilme diyagramları ise, Levha 11'de mevcuttur. Maksimum yatay deplasmanlar iki kule arasındaki açıklığın orta bölgesinde duvar tepesinde meydana gelmektedir. Kule- duvar hesap modelinde elverişsiz yüklenme etkisinde oluşacak maksimum düşey normal gerilmelere (çekme ve basınç) ait dağılımlara bakıldığında (Lev. 12), maksimum normal gerilmelerin sur duvarlarının özellikle kale içi dolgu zemini ile birleştiği hat boyunca meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda duvarlarda oluşabilecek maksimum çekme gerilmeleri 5.4kg/cm² mertebelerine ulaşmaktadır.

İkinci duruma (boşluklu durum) ait deplasman davranışı Levha 11'de, maksimum normal gerilme dağılımları ise Levha 12'de verilmiştir. Gerek maksimum deplasmanlar ve gerekse duvarlarda oluşabilecek maksimum çekme gerilmeleri "normal durum"a kıyasla yaklaşık %40



Levha 19: S06, S07, S08 ve S09 duvarlarının (sırasıyla / L=29m, 25m, 25m, 25m -Hmaks=25m-26m, 25m, 25m) dıştan ve içten görünüşleri. / External and internal views of S06, S07, S08 and S09 walls (Kazı Arşivi).

oranında artış göstermiştir. Levha 12’de görüleceği gibi, çekme gerilmeleri 10kg/cm² mertebelerine ulaşmıştır. Oysaki inceleme konusu duvar sistemini oluşturan taşıyıcı sistemin normal durumda karşılayabileceği maksimum çekme gerilme değeri ise 7.5kg/cm² mertebelerindedir. Tüm bu sayısal analiz sonuçları, sur duvarların özellikle olası şiddetli bir deprem etkisinde, öncelikle çekme gerilmelerinin karşılanamayacak olması sonrasında ise taş duvarların yapısal bütünlüğünün sürdürülemeyeceği anlamına gelmektedir.

Uygulamalar

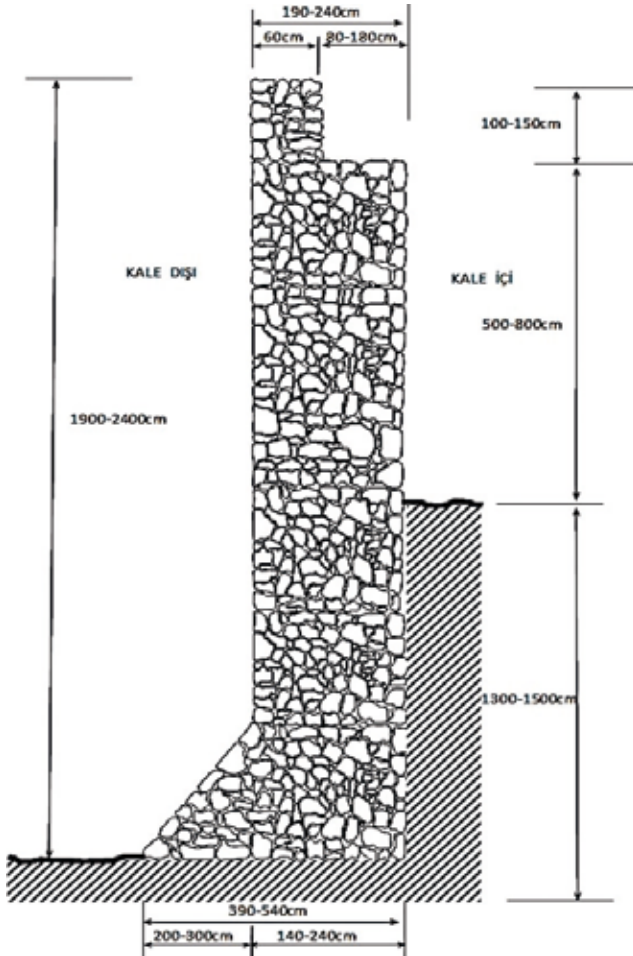
Tarihi yapılarda yapılacak olan öncelikli işler yapıyı daha uzun süre ayakta tutacak olan onarım ve güçlendirme uygulamalarıdır (ICOMOS 2003, I.I; III). Yapılarda yapılan onarım ve güçlendirme uygulamaları dönemin özgün teknikleri kullanılarak yapılmalıdır. Yığma taşıyıcı sistemli tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde uygulanabilecek çeşitli geleneksel

yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu teknikler yetersiz kaldığında son yıllarda geliştirilen teknolojik yöntemler kullanılabilir (Venedik Tüzüğü 1964: X; ICOMOS 2013: IV.III.I). Ayasuluk Kalesi üzerinde yapılan teşhis, analiz ve testler üzerinden çıkarılan sonuçlar neticesinde Kalenin diğer bölümlerine göre dayanımının daha düşük düzeyde olduğu anlaşılan doğu surlarına acil güçlendirme uygulamaları önerilmiştir. Bunlar öncelikle yapı içerisinde izlenen dolgu ve derz bağlayıcı eksikliğini mümkün olduğunca en iyi duruma getirme çalışmalarından oluşacaktır. Sonrasında ise yapıya etki eden suyun en az seviyeye getirilmesi ile tamamlanacak çalışmaları kapsamaktadır. 2015 yılında başlanan çalışmalar üç etaptan oluşmuş ve tümüyle 2017 yılında tamamlanmıştır. Birinci etap çalışmalar sur ve kule yüzeylerinde görülen bitkilerin temizlenip tekrar oluşmalarını engelleyecek önlemlerin alınmasının ardından işlevini yitirmiş çimento bazlı derzlerin boşaltılıp yerlerine önerilen hidrolik kireç bazlı derz dolgularının yapılmasından oluşmuştur. İkinci etap çalışmalar ise sur ve kulelerin içerisindeki

dolgu malzemenin hidrolik kireç ve Primal AC33 (harca akışkanlık verecek ve içerisindeki farklı malzemeleri birbirine bağlayacak katkı) bazlı karışım ile mümkün olduğunca doldurulmasından oluşmuştur. Üçüncü ve son etap çalışmalar ise zemin, yağmur sularını yapıdan uzaklaştırmak amacı ile seyirdim ve dendanlarda özgün malzeme, örgü ile harpušta yapmak ve arkeolojik kazılar sonucunda tespit edilen mevcut barbakanlarını işlevsel hale getirmektir.

Bitki Temizliği ve Derz Dolgu

Tarihi yapıları tahrip eden en büyük sorunlardan biri de boşalan alanlarda/yüzeylerde büyüyen bitkilerdir. Bitkilerin gelişmesi ile zaten yapısal bütünlüğü tehlikede olan yapının yıkımı kaçınılmaz olmaktadır. Bitki temizliği yapılırken bitkinin köklerinin nereye kadar ulaştığı belirlenmiştir. Yapılan temizlik öncesi, yerinde Uzman Ziraat Mühendislerinden danışmanlık hizmeti alınmış ve bitkilerin cinsleri belirlenmiştir. Çimento esaslı işlevini yitirmiş derz dolgular sökülmüş, tüm yüzeyler uygun barda ayarlanan basınçlı su ile yıkanmış, sonrasında ise belirlenen bitkilere özel bitki ilacı temin edilip özellikle sökülen bitkilerin oldukları yerler ve tüm yüzeyler bu ilaçlar ile ilaçlanmıştır (Lev. 14). Tüm bu



Çizim 1: Tipik sur duvarı kesiti ve boyutları. / Typical wall section and dimensions.

işlemlerin ardından önerilen hidrolik kireç bazlı karışım hazırlanmıştır. Bu karışım ile boşaltılan ve ilaçlanan alanlar doldurulmuştur. Prizini bir miktar alan karışım derz içine doğru sıkıştırılıp boşalan alanlar tekrar karışım ile doldurulmuştur. Bu uygulama derz dolgu alanları tamamıyla dolana kadar yapılmıştır.

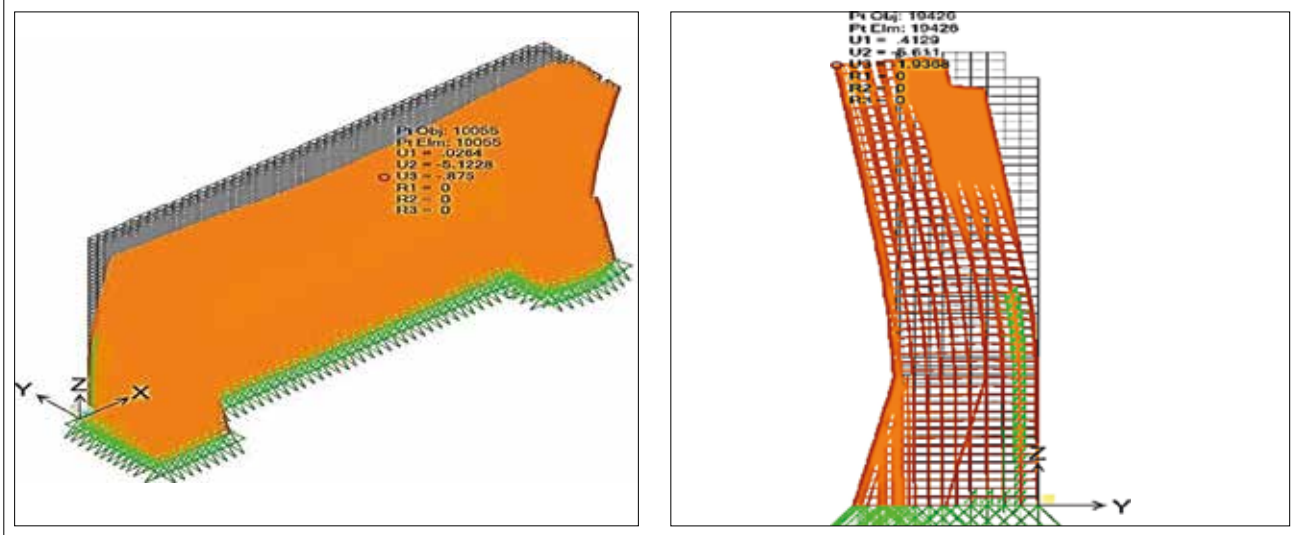
Enjeksiyon

1960'lı yıllardan beri gelişen tarihi yapıları koruma düşüncesi ile çok sayıda farklı uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar içerisinde en yoğun olarak yapılanı derz dolgu uygulamalarıdır. Yapının işlevini yitirmiş bağlayıcılarının güçlendirme amacı ile yapılan bu uygulama, belirli bir derinliğe kadar ulaşabilen sağlıklı bir güçlendirme uygulaması değildir. Mevcut zemin güçlendirme için kullanılan enjeksiyon uygulaması inşaat mühendisliğinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde çimento zemine oldukça yüksek barlar ile enjekte edilmektedir. Bu uygulamanın mevcut yöntemleri ve malzemesi değiştirmeden tarihi yapılar ile ilişkili bir alanda uygulamak yapıya ve çevresindeki arkeolojik tabakalara geri dönüşü olmayan sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle tarihi yapılarda modern ve teknolojik uygulamalar yapılmadan önce ilgili yasa, tüzük, ilke ve kararlar detaylı bir şekilde incelenmeli, varsa ilgili komite veya kurullarca bu uygulamalar hakkında detaylı bilgiler verilmeli ve izin alınmalıdır (Carta del Restauro 1931: IX; Venedik Tüzüğü 1964: X; Amsterdam 1975; Nara 1994: EK II; ICOMOS 2013: VI.III.III).

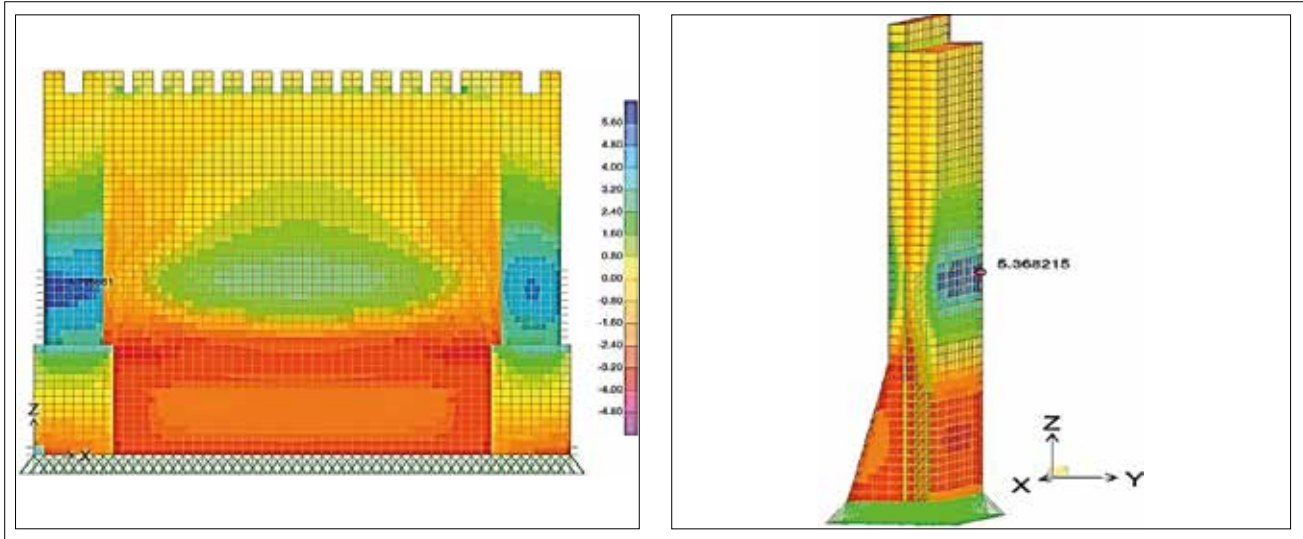
Tarihi yapılar için yapılan enjeksiyon uygulaması ise prensip olarak aynı olsa da minimal düzeyde, özgün malzeme ve minimum tahrip prensibi ile yapılmaktadır. Bu uygulama için öncelikle derz dolgularının yapılmış olması ve karışımların prizlerini almış olması lazımdır. Ayasuluk Kalesi doğu surlarının yapılan araştırma çürütmeleri sonucu ulaşılan iç dolguda gözlemlenen boşalmalar bu alanda acil dolgu yapılmasını beraberinde getirmiştir. Öncelikle enjeksiyon yapılacak alanlar belirlenmiştir. İçerden ve dışardan yapılacak uygulamalar için yatayda 1m. olarak 0.50m. şaşırtmalı, dikeyde yine 1.0m ye 0.50m şaşırtmalı olarak derz araları delinmiştir. Sonrasında bu deliklerden hava kompresörleri ile toz ve taş parçacıkları uzaklaştırılmıştır. Ardından su ile delikler nemlendirilmiştir.

Piyasada satılan torba hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harçları belirlenen oranda su ile 500 devirli karıştırıcılar ile yaklaşık 5dk. karıştırılmış ve enjeksiyon işlemine uygun hale getirilmiştir. 12kg ağırlığındaki torbalarda üretilen harcın teknik özellikleri Tablo 10' da ki gibi verilmiştir. 1.85±0.1kg/Lt yoğunluktaki kıvama getirilen harç enjeksiyon tanklarına boşaltılmıştır.

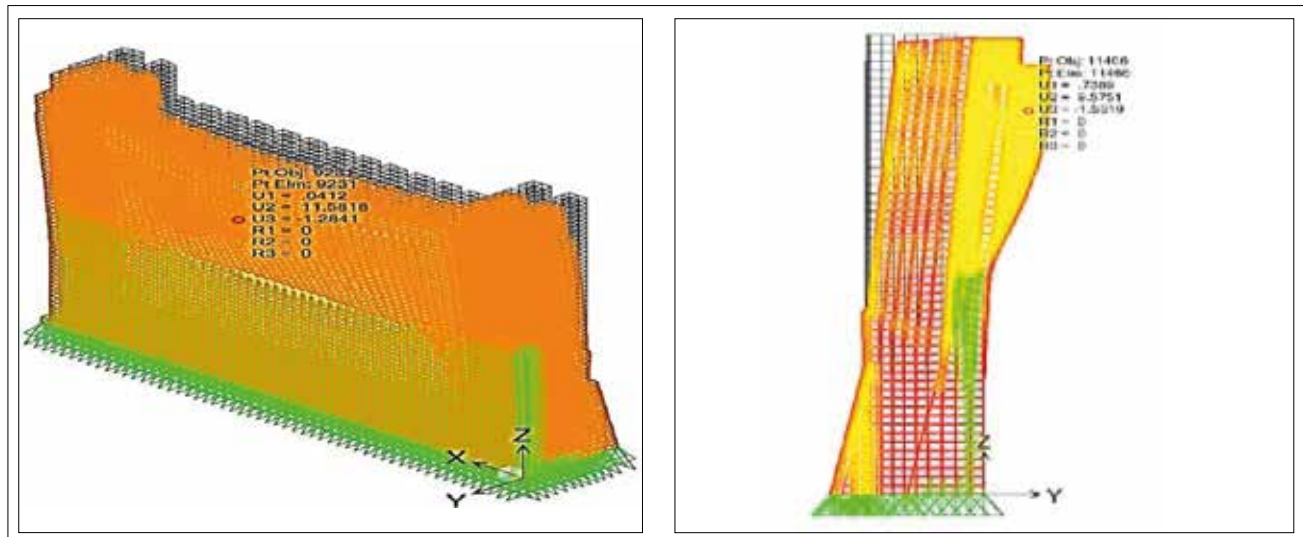
Zemin seviyesinde kontrollü bir şekilde 3 Bar değerini geçmeyecek basınç ile yapılan enjeksiyon uygulamaları S09 numaralı surdan başlatılmış iç ve dış cephelerde



Levha 10: “Normal durumda” elverişsiz düşey ve yatay yükler tesirindeki duvar sisteminin şekil değiştirmiş geometrisi. / *The deformed geometry of the wall system under the effect of the unfavorable vertical and horizontal loads under normal date.*



Levha 11: Tipik sur modülünde “normal durum” da oluşan maksimum düşey gerilmelerin (çekme ve basınç) iç ve dış duvar yüzeylerinde ve kesitlerindeki dağılımı. / *Distribution of the maximum vertical stresses (tensile and compression) occurring in the inner and outer surfaces and sections of a typical fortification wall module under “normal state”*



Levha 12: “Boşluklu durum” da tipik sur sisteminde şekil değiştirmeler. / *Deformation in the typical wall system under the effect of “hollow state”.*

olmak üzere S06 numaralı sura kadar ilerletilmiştir (Levha 16). Zemin seviyesinde aynı hizadaki tüm enjeksiyon hortumları dolduğunda kademeli bir şekilde yukarı doğru çıkmıştır. Tüm yüzeyler dolduğunda ise bir sonraki sur ya da kuleye geçilmiştir. Çalışmaların tamamlanmasının ardından bir diğer koruma çalışmasına geçilmiştir.

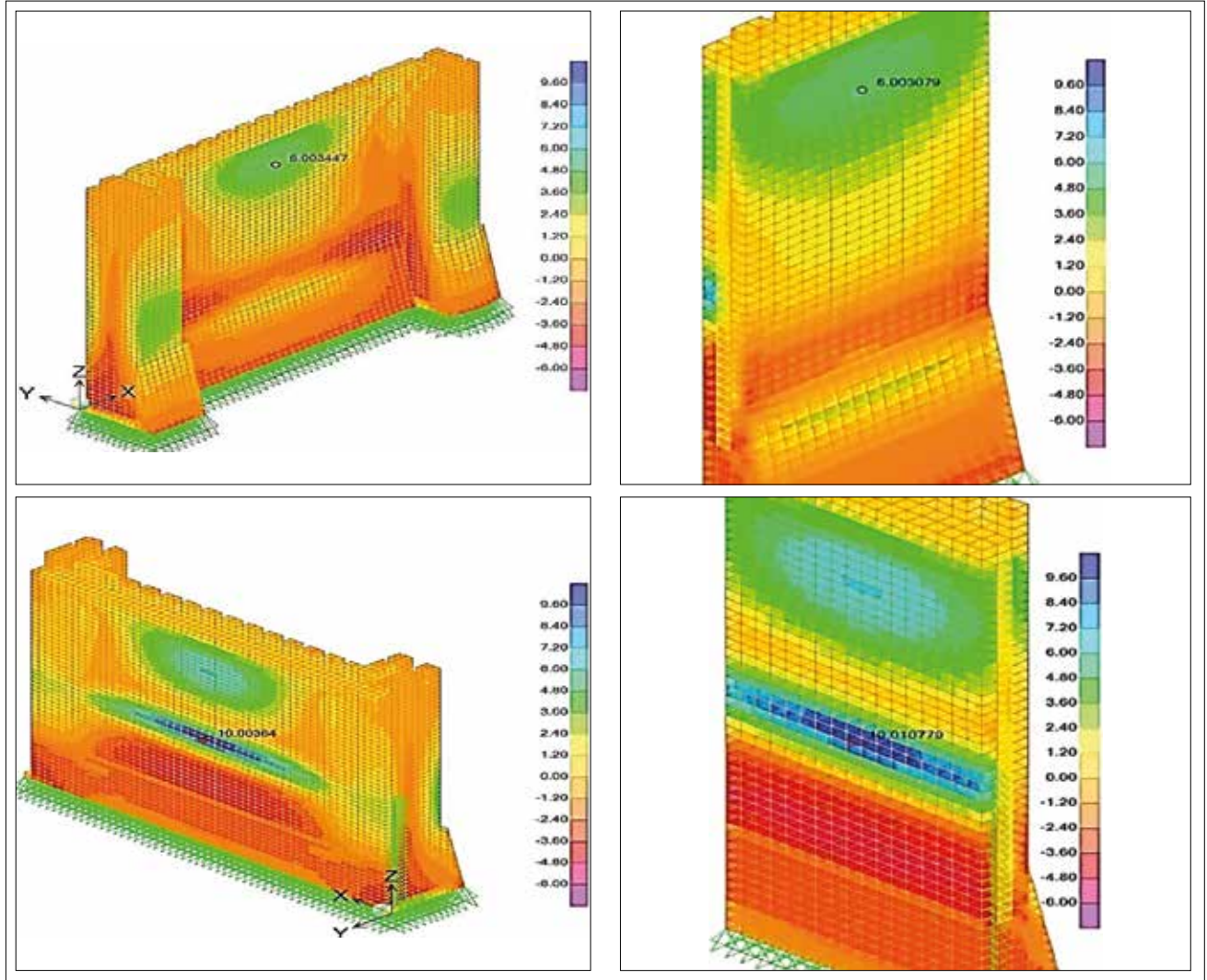
Su Etkisinin Azaltılması¹

Taş, tuğla ya da ahşap yapıya tarihi yapıların en büyük zararı veren etkenlerden biri de suyun taşıyıcı sistem elemanlarına etkisidir. Bu yüzden öncelikli koruma çalışmalarında, yapıya da eserin su ile teması kesilmelidir (Price ve Brimblecombe 1994; Doehne ve Clifford 2010: 28). Ayasuluk Kalesinin en düşük kotunda bulunan doğu surlarına etki eden yağmur ve zemin suyunu engellemek için 2013 yılında başlayan, 2017 yılına kadar süren

Ayasuluk İç Kalesinde yapılan bir diğer güçlendirme çalışması ise; 5 adet barbakanın açılması, tahrip olmuş durumdaki seyirdim ve dendanların yapılması ile tamamlanmıştır. Bu çalışmalarda yapıyı uzun vadede tekrar tahrip edecek yağmur sularının taşıyıcı sistemden uzaklaştırılması amaçlanmıştır (Büyükkolancı ve Baranaydın 2020).

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Ayasuluk Kalesi doğu surları üzerinde yapılan teşhis, analiz ve testler sonucu oluşturulan güçlendirme programı 2013 yılında yapılan çalışmaları genişletmiş ve farklı uygulama önerileri sunmuştur. Bu öneriler üzerinden yapılan çalışmalar yapı üzerinde gözle görünür sonuçlar vermiştir. Öncelikle kale yapısında gerçekleştirilen inceleme ve gözlemlerde yoğun bitki oluşumunun, yaygın derz dolgu ve bağlayıcı eksiklerinin



Levha 13: “Boşluklu durumda” elverişsiz yüklemelerde oluşabilecek normal gerilmeler. / Normal stresses that may occur under unfavorable loads in the “hollow state”.

¹ Bu uygulamaların detaylı bilgisi için bkz; Büyükkolancı ve Baranaydın 2020.

AYASULUK KALESİ SUR DUVARLARININ YAPISAL DAVRANIŞ ANALİZLERİ VE ONARIM/GÜÇLENDİRME ÇALIŞMALARI

mevcut olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda yapılan çürütmeler sonucu sur duvarlarının içerisindeki dolgunun serbest durumda olduğu, bölgesel noktalarda harç yerine toprak dolgu kullanıldığı, bağlayıcının kullanıldığı yerlerde ise bağlayıcı ham maddesinin yetersiz oranlarda ve tekniğine aykırı olarak kullanıldığı

anlaşılmış, bu bağlayıcıların da zamanla işlevini yitirdiği görülmüştür. Yığma taşıyıcı sisteme sahip moloz taş duvar surların yapısal davranışlarına olası deprem etkilerinin incelenmesi amacıyla bir dizi deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Mahallinde ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile



Levha 14: Bitki temizliği, ilaçlama ve derz dolgu çalışmaları öncesi ve sonrası görünüm. / *Before and after views of plant cleaning, spraying and grouting works.*



Levha 15: Enjeksiyon çalışmaları; ön hazırlık, harcın hazırlanması ve enjeksiyon uygulaması. / Grouting works; preliminary preparation, preparation of grout and application of injection

yığma taşıyıcı sistemi oluşturan taş, tuğla ve harç malzemelerinin statik, mekanik özellikleri ve devamında ise bu elemanların oluşturduğu tüm sistemi temsil edebilecek analiz modelinin genel yapısal parametreleri çeşitli yaklaşımlarla elde edilmiştir. Ölçümler sonucunda laboratuvar ortamında yapılan deneyler ve mevcut dokümanlardan elde edilen verilerinde katkısıyla, doğu sur duvarlarında yer alan inceleme konusu S06 ile S09 sur duvarlarının yapı bütünlüğünün kaybedilebileceği en gayri müsait durumları temsil edebilecek sayısal analiz modeli oluşturulmuştur.

Söz konusu idealize edilmiş taşıyıcı sistem modeli üzerinde zati yük, zemin basıncı ve deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilen statik ve dinamik analizler sonucunda; bağlayıcı harç bakımından eksikleri olan duvarların özellikle çekme yönündeki normal gerilmeleri güvenle karşılayamadıkları, bu nedenle birinci derece riskli deprem bölgesinde yer alan yapının olası şiddetli bir deprem esnasında sistem bütünlüğünü sürdüremeyeceği, ayrışmaya

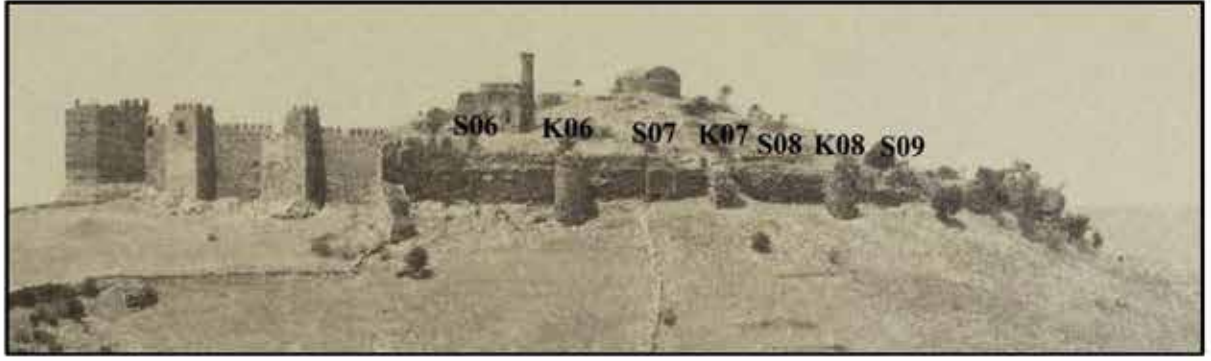
uğrayıp dağılacağı, dolayısıyla önemli boyutlarda yıkıma ve/veya hasara uğrayabileceği kanaatine varılmıştır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen teorik sayısal analizlerde iki farklı durum için gerilme tahkikleri yapılmıştır. Öncelikle kuleler ve duvardan oluşan sur yapısının tekniğine uygun olarak yeterli düzeyde bağlayıcı harç kullanılarak imal edildiği kabulü ile idealize edilmiş analiz modeli oluşturulmuştur. Yukarıda “normal durum” olarak adlandırılan bu modelde, Deprem Yönetmeliğinde (2007) yer alan kriterlere göre yapılan statik ve dinamik analizlerden elde edilen maksimum çekme ve basınç gerilmelerinin yığma taşıyıcı sistem tarafından genel olarak karşılanabildiği sonucuna varılmıştır. Buna karşılık özellikle duvar kesitinin iç kısımlarındaki moloz taşların bağlayıcı harç olmadan serbest halde bulunmalarını temsilen oluşturulan ikinci bir sonlu elemanlar analiz modeli (bu model yukarıda “boşluklu durum” olarak adlandırılmıştır) üzerinde gerçekleştirilen statik ve dinamik analizler sonucunda ise, özellikle iki

kule arasında teşkil edilmiş sur duvarının açıklık ortasında ve iç zemin duvar birleşim noktalarında, duvarların deneylerle tespit edilen mevcut emniyetli çekme dayanım değerinin önemli oranda aşıldığı ve sistemin büyük boyutlarda deformasyona uğrayıp stabilitesini yitirdiği bulgusuna varılmıştır. Diğer bir deyişle, yeterli ve uygun bağlayıcı harç kullanılmadan imal edilmiş olan çalışma konusu sur duvarlarının ve kulelerinin olası şiddetli deprem etkisiyle aşırı deformasyona uğrayıp sistem bütünlüklerini kaybedecekleri değerlendirilmiştir.

Esas itibarı ile yığma moloz taş taşıyıcı sisteminden oluşan Ayasuluk Kalesi sur duvarları, uzun zaman içerisindeki gerek meteorolojik tesirler ve gerekse çeşitli büyüklüklerdeki yer sarsıntıları ile hırpalanmış ve yapısal açıdan örselenmiş hale gelmiştir. Bununla birlikte orijinal hali ile bile olası şiddetli depremlere karşı yeterli dayanım sergileyemeyeceği hususu da değerlendirilmiştir. Yüksek derecede riskli deprem kuşağında yer alan sur yapısının mevcut olduğu böyle bir durumda, yapı stabilitesinin özellikle deprem güvenliği açısından yeterli düzeylere çıkarılması gerektiği anlaşılmıştır. Özellikle duvarların dış çeperlerine yakın kesitlerde maksimum değerlere ulaşmak ve yapının stabil yapısının iyileşmesi bu bölgelerde yapılacak olan enjeksiyon uygulamaları ile giderilebileceği değerlendirilmiştir. Bitki temizliği ilaçlama ve derz dolgu çalışmalarının ardından, enjeksiyon çalışmalarının yapılmasına başlanmıştır. 0.50 m. aralıklar ile hazırlanan deliklerden yapılan enjeksiyon zemin seviyesinden her sıranın dolması ile yükselerek tamamlanmıştır. Yaklaşık 120 tonu bulan miktarda hidrolik kireç bazlı enjeksiyon karışımının dolguya aktarılması ile çekme gerilmelerini emniyetle karşılayabilecek düzeyde artırılmıştır. Devamında yapıya olumsuz yönde etki eden zemin ve yağmur sularının tesirlerinin bertaraf edilmesi için çalışmalar başlatılmıştır. Söz konusu çalışmalar zemin suyunu %40 oranında drene edecek barbakanların işlevsel hale getirilmesi ve nihayetinde yapı yüzeyine nüfus eden yağmur suyu etkisini derz dolgularının yapılması, seyirdim ve dendan aralarının harpuştalanması ile etkiyi %75 oranında azaltarak tamamlanmıştır. Enjeksiyon uygulamaları ve sonuçları hakkında her yapının kendi içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Enjeksiyon uygulaması hakkında uygulama sonrası değerlendirmeleri de kapsayacak bilimsel çalışmalar yetersizdir (Akbulut vd. 2018: 167). Bununla beraber yapılan enjeksiyon ve diğer güçlendirme uygulamalarının sonucunda yapının güncel depremlerde zarar görmeyeceği ve deprem direncinin iki katına çıkardığı sonuçlarına da ulaşılmıştır (Dönmez ve Erberik, 2015: 10). Enjeksiyon uygulamalarının yapıya fazladan yük bindireceği ve bu durumun yapının sistem bütünlüğüne olumsuz sonuçlar doğurabileceği söylenmekle beraber

günümüzde sadece bu sonuç kaynaklı bir yapı kaybı kaydedilmemiştir.

Ayasuluk Kalesi doğu surlarında yapı içerisindeki boşluk ve toprakların suyu tutmasından kaynaklı nemlenme uzun yıllardır görülmektedir. 1898 yılında tamamına yakın bir kısmı yıkılmış durumda olarak görülen Ayasuluk Kalesi doğu surları, 1963 yılında restore edilmiş ancak kullanılan yanlış malzeme ve yanlış uygulamalar sonucu bir kısım bölümleri yıkılmıştır. 2013 yılından itibaren başlanan iyileştirme çalışmaları 2017 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışmalar derz dolgu, enjeksiyon ve su etkisinin en az seviyeye indirilmesi uygulamalarını içermektedir. Tüm bu uygulamaların sonucunda doğu surlarında taşıyıcı sisteme dair yapısal özelliklerinin stabil hale geldiği ve nemlenme sorununun gözle görülür bir şekilde iyileşme gösterdiği izlenmektedir. Böylece 1. derece riskli deprem bölgesinde bulunan yapının su etkisine açık ve boşluklu durum modellemelerinde görülen gerilmeleri en az seviyeye indirmek ve normal modelleme duruma yaklaştırmak için yapılan uygulamalar (tarihi yapılar için müdahale sınırları düşünüldüğünde olabilecek en iyi durumuna getirildiği), amaçlanan iyileşmenin yapı genelinde olumlu yönde ivme kazandığını göstermektedir (Lev. 16). Ayrıca 30 Ekim 2020 tarihinde Kuşadası açıklarındaki Sisam fay hattında meydana gelen 7.0 büyüklüğündeki depreme yaklaşık 28 km. uzaklıkta bulunan Ayasuluk Kalesi doğu surlarında enjeksiyon yapılmayan alanlarda çatlaklar oluşmuştur. Ancak daha önce 2 defa yıkılmış olan ve enjeksiyon ile güçlendirilen doğu surlarında herhangi bir hasar tespit edilmemiştir.



1898

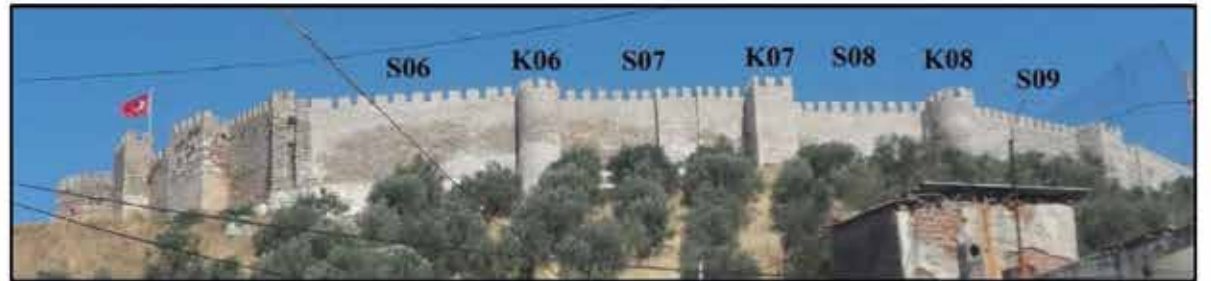
(Wiplinger 2011: 103, Fig. 8)



2007



2016



2017



2020

Levha 16: Ayasuluk Kalesi doğu surlarının çeşitli yıllardaki fotoğrafları. / Photographs of the eastern walls of Ayasuluk Castle in different years.

KAYNAKÇA

- AKBULUT, D. E., GÖKYİĞİT ARPACI, E. Y., OKTAY, D., YÜZER, N. 2018,
“Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) ve Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesinin Zaman İçerisinde Gelişimi”, **Megaron** 13/1: 156-168.
- ARIOĞLU, E. ARIOĞLU B. 1999
“Mimar Sinan’ın Taşıyıcı Olarak Kullandığı Küfeki Taşının Mühendislik Gizemi”, **Hazır Beton Dergisi**: 37-47.
- BARAN, M. 1958,
“Selçuk-St. Jean Kilisesi Restorasyonu Beş Yıllık Çalışma Programı”, İzmir, **Ayasuluk Tepesi ve St. Jean Anıtı Kazı Arşivi**.
- BARANAYDIN, F. 2019,
“Ayasuluk Tepesi ve St. Jean Anıtı 2017 Yılı Çalışmaları Işığında Taş Eser Restorasyon ve Konservasyon Uygulamaları”, **Yedi** 21: 11-20.
- BUGANI, S., CAMAITI, M., MORSELLI, L., Van De CASTEELE, E., JANSSENS, K. 2008,
“Investigating Morphological Changes in Treated vs. Untreated Stone Building Materials by X-Ray Micro-CT”, **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 391: 1343-1350.
- BÜYÜKKOLANCI, M., 2001,
St. Jean Hayatı ve Anıtı, İzmir, Efes Vakfı.
- BÜYÜKKOLANCI, M., 2005,
“Eski Efes Ayasuluk Tepesi” Ed. Mustafa Şahin ve İ. Hakan Mert **Ramazan Özdoğan’a Armağan**: 65-77. İstanbul, Ege Yayınları.
- BÜYÜKKOLANCI, M., 2009,
“Ayasuluk Tepesi ve St. Jean Anıtı 2008 Yılı Kazıları”, **Kazı Sonuçları Toplantısı**: 31.3, 131-144.
- BÜYÜKKOLANCI, M., 2011,
“2010 Yılı Ayasuluk Kalesi ve St. Jean Kilisesi Kazı ve Onarım Çalışmaları”, **Kazı Sonuçları Toplantısı**: 33/2, 565-585.
- BÜYÜKKOLANCI, M., YILMAZ, G., YILMAZ, F., ULUSOY, P., 2013,
“2012 Yılı Ayasuluk Kalesi ve St. Jean Kilisesi Kazı ve Onarım Çalışmaları”, **Kazı Sonuçları Toplantısı**: 35/1, 486-504.
- BÜYÜKKOLANCI, M. 2014,
Aziz Yuhanna, St. Jean (Aziz Yuhanna) Hac Kilisesi ve Ayasuluk Kalesi. Hitit Color, İzmir.
- BÜYÜKKOLANCI, M., BARANAYDIN, F. 2020,
“Ayasuluk Kalesi Doğu Sur Duvarlarını Etkileyen Yağmur Suyunun Optimizasyonu”, **Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi** 23: 26 – 35.
- CALLISTER W. D., RETHWISCH D. D., 2015
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- CASOLO, S., SANJUST, C. A., 2009,
“Seismic analysis and strengthening design of a masonry monument by a rigid body spring model: The “Maniace Castle” of Syracuse”, **Engineering Structures**, Vol.31(7), 1447-1459.
- DABANLI Ö., 2008,
“Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi”, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi
- DOEHNE, E and CLIFFORD, A. P., 2010,
Stone Conservation, an overview of current research, The Getty Conservation Institute.
- DÖNMEZ, C. ve ERBERİK, M. A., 2015,
“Tarihi Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesi Üzerine Bir İrdeleme”, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı: 3, 1-10.
- ERSEN, A. 2011,
“Taş Korumada Son 20 Yıldaki Gelişmeler ve Yenilikler”, **Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi** 10: 3-19.
- EUROCODE 6, 1996,
European Committee for Standardisation (CEN), Brussels.
- FRUNZIO, G., MONACO, M., 1998,
“An approach to the structural model for masonry arch bridges; Pont Saint Martin as a case study”, **Proceedings of the Second International Arch Bridge Conference**.
- GATES, C. 2017,
Antik Kentler, Antik Yakınoğu, Mısır, Yunan ve Roma’da Kentsel Yaşamın Arkeolojisi. İstanbul, Koç Üniversitesi Yayınları.
- HAWKINS, J.D. 1998,
“Tarkasnawa King of Mira, ‘Tarkondemos’, Boğazköy Sealing sand Karabel”, **Anatolian Studies** 48: 1-31.
- JUHASOVA E, SOFRONIE R, BAİRRAO R., 2008,
“Stone masonry in historical buildings—Ways to increase their resistance and durability”, **Engineering Structures** 30 (2008) 2194–2205
- KOÇAK A., 1999,
Tarihi Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal olmayan Statik ve Dinamik Analizi: Küçük Aya Sofya Camisi, (Yayınlanmamış Doktora tezi) **Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**.
- KONAKÇI, E. 2016,
“Geç Tunç Çağı’nda Ayasuluk Tepesi”, **Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (Ek1)**: 135-165.

- LOURENÇO P. B., 2001,
“Assessment of the Stability Conditions of a Cistercian Cloister” **2nd International Congress on Studies in Ancient Structures**.
- LOURENÇO, P. B. 2002,
“Computations on historic masonry structures”, **Progress in Structural Engineering and Materials** 4: 301-331, 2002
- LOURENÇO, P. B., 2009,
“Finite element modelling of deformation characteristics of historical stone masonry shear walls”, **Engineering Structures** 31 (2009) 1930_1943
- LLYOD, S. 2000,
Türkiye'nin Tarihi, İstanbul, TÜBİTAK.
- MALLORDO V., MALVEZZI R., MİLANI E., MİLANI G., 2008,
“Seismic vulnerability of historical masonry buildings: A case study in Ferrara”, **Engineering Structures** 30 (2008) 2223–2241
- MORISSON, C. 2004,
Bizans Dünyası, İstanbul, Alfa Yayınları.
- MONACO, M. 1998,
“Structural modelling of a stone masonry arch bridge”, **Proceedings of the 8th Canadian Masonry Symposium**, Jasper.
- PAUSANIAS
Pausanias's Description of Greece, Cambridge, Cambridge University Press.
- PRICE, C., BRIMBLECOMBE, P. 1994,
Preventing salt damage in porous materials In Preventive Conservation Practice, Theory and Research: Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 90–93.
- PROCEQ 2007,
DIGI-Schmidt, Model ND/LD.
- PÜLZ A. 2011,
“Bizans Dönemi Ephesos'un Görünümü” Daim, F. ve Ladstatter S. (Edt.). **Bizans Döneminde Ephesos**. İstanbul, Arkeoloji Sanat Yayınları: 47-76
- SAP2000 V.18 2015,
Structural and Earthquake Engineering Software, Computers and Structures Inc.
- SENTHIVEL R, LOURENÇO P. B., 2006,
“Assessment, diagnosis and strengthening of Outeiro Church, Portugal”, **Construction and Building Materials** 19: 634–645
- TELCİ C. 2010,
Ayasuluğ, Selçuk Belediyesi Selçuk Efes Kent Belleği Yayınları 1.
- ULUSAY, R., GÖKÇEOĞLU, C., BİNAL, A., 2001,
“Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri”, **TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları**: 58.
- TS699 2009,
Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Türk Standartlar Enstitüsü.
- VASCONCELOS G. ,1996,
Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behaviour of ancient masonry shear walls. Ph.D. dissertation. Portugal: University of Minho; 2005
Design of masonry structures, UNE - ENV 1996-11.
- WIPLINGER, G. 2011,
“Ephesos Bizans Dönemi Su Yolları” Daim, F. ve Ladstatter S. (Edt.). **Bizans Döneminde Ephesos**. Arkeoloji Sanat Yayınları: 95-114.
- İNTERNET KAYNAKLARI**
- AFAD 2007,
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar.
<https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=389>
Erişim Tarihi:11.04.2020
- AMSTERDAM BİLDİRGESİ 1975,
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/23832/mod_resource/content/2/AMSTERDAM%20B%20C4%B0LD%20C4%B0RGES%20C4%B0%20%281975%29.pdf
Erişim Tarihi: 11.04.2020
- CARTA DEL RESTAURO 1931,
http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0660878001536681682.pdf Erişim Tarihi: 12.04.2019
- ICOMOS 2003,
Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu İçin İlkeler.
http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0033791001536913477.pdf
Erişim tarihi: 11.04.2020
- ICOMOS-ISCS 2008,
Illustrated glossary on stone deterioration patterns.
https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf Erişim tarihi: 11.04.2020
- ICOMOS 2013,
Icomos Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi.
http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0784192001542192602.pdf Erişim tarihi: 11.04.2020
- TEKNOREP530 ÜRÜN FÖYÜ 2014,
<http://www.optimumyalitim.com.tr/imagesbuyuk/Teknorep-530-TDS-rev01.pdf>
Erişim Tarihi: 11.04.2020

VAKIFLAR GENEL MÜDÜRLÜĞÜ 2018,
Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu.
https://www.ipkb.gov.tr/e-kutuphane/tarihi-yapilar-icin-deprem-risklerinin-yonetimi-kilavuzu_111/
Erişim Tarihi: 11.04.2020

VENEDİK TÜZÜĞÜ 1964,
[http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf)
[tr0243603001536681730.pdf](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf) Erişim Tarihi: 12.04.2020