

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

ESKİ ESERLERİN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİNDE YAPILMIŞ
UYGUN OLMAYAN YÖNTEMLER

Y. Hazel YILDIRIM

Mimarlık-Yapı Lisansüstü Eğitim Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
yasemin.hazel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3904-3716

Ali Osman KURUŞCU

Mimarlık-Yapı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
alosytu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4402-0711

GELİŞ TARİHİ/RECEIVED DATE: 30.05.2022 KABUL TARİHİ/ACCEPTED DATE: 13.10.2022

Özet

Asırlar boyunca doğal ve yapay etkenlere maruz kalan tarihi yapılarda bu etkilere bağlı olarak zamanla birçok hasar oluşmaktadır. Bu hasarlar; oluştuğu yere, biçimine ve yapının genel özelliğine göre değişmekte olup yapıların zarar görmesine, yıkılmasına ve yok olmasına yol açar. Özellikle koruma ve müdahale aşamasında bu hasar biçimlerinin doğru bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Bilinçsiz ve yanlış tadilat, onarım ve güçlendirme girişimleri, yapılarda ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Bu yüzden bu çalışma kapsamında tarihi yapılarda uygulanan onarım ve iyileştirme metotları incelenmiş olup bu bağlamda dünyadan örnek tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinde yapılan uygun olmayan müdahaleler anlatılmıştır. Bu çalışmada, hasarlara müdahale ederken hasar nedenlerinin belirlenmesi gerektiği, birçok disiplinin bir arada çalışarak tercih edilen yapısal güçlendirme ve onarım uygulamalarının birçok analiz, deney ve testlerden geçmesi gerektiği gösterilmek istenmiştir.

Anahtar kelimeler: Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri, Parthenon, Pisa Kulesi, Santa Maria Miracoli Kilisesi, San Marco Çan Kulesi

UNSUITABLE METHODS MADE IN REPAIR AND
STRENGTHENING OF HISTORICAL BUILDING

Abstract

Historical buildings, which have been exposed to natural and artificial factors for centuries, cause many damages over time due to these effects. These damages; it changes according to the place where it occurs, its form and the general characteristics of the building and causes damage, collapse and destruction of the structures. Especially in the protection and intervention phase, these damage forms need to be interpreted correctly. Unconscious and incorrect repair and strengthening methods can cause serious problems in buildings. Therefore, within the scope of this study, the repair and improvement methods applied in historical buildings were examined and in this context, the mistakes made in the repair and strengthening meth-

ods applied in exemplary historical buildings from the world were explained. In this research, it is aimed to show that the causes of damage should be determined while intervening damage, and that the decisions of structural reinforcement and repair methods should be taken after many analyzes, experiments and tests that the structural reinforcement and repair methods preferred by many disciplines working together.

Keywords: Repair and strengthening methods, Parthenon, Pisa Tower, Church of Santa Maria dei Miracoli, San Marco Bell Tower

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından bugüne kadar binlerce yıllık tarih içinde insanın doğrudan ya da doğa ile birlikte yarattığı değerler kültürel ve doğal miraslara tarihi yapı olarak adlandırılmaktadır (Özden & Görgülü, 2006). Binlerce yıllık tarihi geçmişi ile korunması gereken farklı yüz yıllara ait çok çeşitli yapı malzemesi ve yapım sistemi ile inşa edilen tarihi yapılar birçok olumsuz koşul, doğal afetler, sismik hareketler, hızlı kentleşme ve insanların müdahaleleri ile yüz yüzedir. Bu koşullara maruz kalan tarihi eserlerde hasarlar meydana gelmektedir. Tarihi yapıların olası hasar nedenlerinin bilinmesi ve güçlendirilmesi için yapılacak müdahaleden önce, yapının geçmişinin, çatlak ve deformasyonlarının, taşıyıcı elemanların yük taşıma mekanizmasının, malzeme karakteristiklerinin ve mukavemetlerinin, yük dağılımlarının, temel, zemin özelliklerinin, yapım tekniklerinin bağlayıcı elemanlarının strüktürel açıdan aksaklıkları, yapı malzemesindeki sorunlar gibi faktörlerin belirlenmesi gerekir. Bu durumun belirlenmesi, hasar nedenlerinin teşhis edilip araştırılması ve analizlerin yapılması için, farklı disiplinlerden uzmanlar arası bir çalışma olmalıdır (Döndüren, Şişik, & Demiröz, 2017). Restorasyon müdahaleleriyle iyileştirilmeler yapılmasına rağmen köklü mühendislik analizleri yapılmadığı için tekrarlayan deformasyonlar olmakta hatta bazen yeni hasarlar oluşmaktadır.

Tarihi yapıların güçlendirmesi veya onarımı yapılırken mimari özelliği ve tarihi doku özgünlüğünün korunması esastır. Koruma ve onarım uygulamaları, müdahale edilecek yapının korunmuşluk durumuna, bulunduğu çevreye ve yapıda kullanılan malzemenin nitelikleri ve özelliği, hasar türü ve nedenine göre çeşitlenmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme metotları anlatılmış ve sonrasında dünyadan örnek yapılarda uygulanan iyileştirme ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmiş ve bu aşamada yapılan uygun olmayan yöntemlerden bahsedilmiştir. Makale kapsamında incelenen yapılar hem dünya tarihinde önemli bir yer elde etmiş hem de zaman içerisinde yapılan müdahaleler ile modern koruma ve restorasyon çalışmalarında öncü olmuş yapılardır. Bu yapılarda deneme-yanılma yöntemi ile onarım ve müdahaleler yapılmıştır. Tarihi eserlerde uygun olmayan onarım tekniğinin doğurduğu sonuçları gösterdiği için koruma, onarım ve güçlendirme konularında birer ders niteliğinde yapılardır. Ayrıca araştırılan bu eserlerde uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerinden olan zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve yeniden yapım vb. kavramların gelişmesinde katkıda bulunmuş eserlerdir.

Bu değerlendirmeler ışığında güçlendirme ve onarım metodu seçiminde hangi konular dikkat edilmesi gerektiği gösterilmek istenmiştir.

2. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİNE UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME METOTLARI

Bu makale kapsamında tarihi yapılarda görülen hasar türlerine uygulanan onarım ve güçlendirme metotları basit onarım, esaslı onarım, yenileme, yeniden yapım ve taşıma başlıkları altında incelenmiştir.

2.1. Basit Müdahale

Tarihi yapılar sürekli bakım sağlanmaması sonucunda yapılar harap olmakta ve zarar görmektedir. Kültür varlıklarını korumak için yapılacak müdahaleler ve koşulları Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu tarafından alınan 660 sayılı ilke kararı ile basit onarım tanımı yapılmıştır. Bu yasaya göre "Basit onarım" geleneksel ve anıtsal yapıların bozulan, yok olan cephe öğelerinin, kaplama, sıva gibi ayrıntılarının özgün biçimlerine uyularak, aynı renk ve dokuda malzeme kullanılarak yenilenmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Esaslı Müdahale

Esaslı Onarım; basit onarımı aşan müdahalelerde uygulanan yöntemdir. Bu onarım türünde yapının rölövesi alınarak oluşturulan restitüsyon ve restorasyon projeleri ile ilgili diğer belgelerin içerikleri ve ölçekleri kapsayan detaylı onarım biçimidir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 1999). Esaslı Müdahale; Sağlamaştırma, Bütünleme ve Yenileme olarak üç aşamada incelenecektir.

2.2.1. Sağlamaştırma

Onarım sırasında yapılan müdahalelerin derecesi, sağlamaştırmadan yeniden yapıma doğru artar.

Tarihi Yapı Malzemesi ve Taşıyıcı Sisteminin Güçlendirilmesi

• Sıva, Derz ve Yapı Malzemesinin Sağlamaştırılması

Tarihi yapılar, inşa edildikleri coğrafyanın şartları ve geleneklere bağlı olarak çeşitli yapı malzemelerinden oluşmaktadır. Özellikle eski eserler kerpiç, tuğla, taş, ahşap gibi doğal kökenli malzemelerden yapılmaktadırlar. Zamanla doğal ve yapay etkiler sonucu bu malzemelerde bozulmalar meydana gelmektedir. Bu yapıların doğru olarak onarılması ve yaşayabilmesi için mevcut özgün malzemelere uygun olan onarım malzeme ve sistem tercih edilmelidir (Crocı, 1998).

Sıva ve derzlere müdahale: Zaman içerisinde, çeşitli etkilere maruz kalan duvar yüzeylerindeki sıvalar ve derzler yıpranmaya başlar. Eski eserlerde bu durum yapısal sorunlar yaratabilir. Yapıya ait harç ve sıvaların kimyasal içeriklerinin ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi üretilecek yeni malzemelerin özgün ve diğer yapı malzemeleri ile uyumlu olması için zorunludur. Bu malzemeler üzerinde yapılması gerekli olan malzeme ve numune testleri göz ardı edilmemesi elde edilen veriler ışığında sıva ve derz yenilemesi yapılmalıdır. Yeni oluşturulan harç özgün olanıyla benzer özellik ve niteliklerde değilse derz ve sıva yenileme işlemi yapı malzemelerinin bozulmasını neden olabilir.

Ahşap öğelerin sağlamaştırılması: Ahşabın yüzeyine yangın, mantarlaşma vb. etkilerinin azaltılması için koruyucu, nitelikte maddeler sürülerek, püskürtülerek ya da empenye edilerek sağlamaştırılması

sağlanmaktadır. Ayrıca yapı yüklerini karşılaması ve sistem stabilitesi arttırmak için ahşap elemanlara ek bağlantılar ve takviyeler yapılmaktadır.

Taş öğelerin sağlamlaştırılması: Taş yüzeylerinde ya da derin olmayan çatlaklarda koruyucu, yapıştırıcı, doldurucu nitelikte çeşitli kimyasallar ve harçlar sürülerek, püskürtülerek, empenye edilerek veya enjeksiyon yöntemi ile sağlamlaştırılması sağlanmaktadır. Bu onarım yöntemlerinde özgün taşın rengine ve yapısına uyum sağlayabilecek malzeme seçimi yapılmalıdır.

Kerpiç malzemenin sağlamlaştırılması: Kerpiç malzeme çamur harcı ile sıvanarak korunmaktadır. Bu yöntemle kerpiç hava koşullarına karşı korunmuş olmaktadır.

• Kısmi Değişirme ve Tamamlama

Ciddi hasar durumlarında (Derin çatlak, ayrılma, parça kayıpları, malzemenin bozulması vb. gibi) en etkili yöntem zarar görmüş malzeme, parça ve elemanın kademeli olarak kaldırılarak aynı ya da daha geniş alanda tekrardan yapılmasıdır. Bu yöntem, binanın tarihi değerine göre detaylı değerlendirilmelidir (Crocı, 1998).

• Takviye ve Güçlendirme

Enjeksiyon Yöntemi

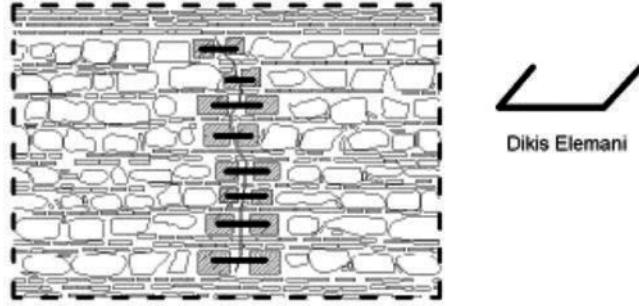
Enjeksiyon ile onarım; yapıya özgün mekanik özelliklerini kazandırabilmek için, yapı içine uygun fiziksel ve kimyasal özellikte sıvı malzemenin enjekte edilmesi uygulamasıdır. Enjeksiyon uygulaması ile yapı içerisinde bulunan boşlukların ve çatlakların doldurularak yapı kesitinin sürekliliğini sağlamak ve tekrar tek parça şeklinde bir yapı elde etmek amaçlanır. Böylece yapı üzerindeki yükler kesintisiz olarak temellere aktarılır ve olası göçmeler engellenmiş olur (Ünal, 2019).



Şekil 1: Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası'nda enjeksiyon yöntemi ile duvardaki çatlakların ve boşlukların doldurulması (Yazarın Fotoğraf Arşivi)

Dikiş Yöntemi

Tarihi yapıda oluşan çatlaklar 10 mm den büyükse ve yapıda kullanılan taş veya tuğlalarda parça kopması ya da düşme mevcut ise dikiş yöntemi başvurulur. Bu yöntem bir çeşit duvar güçlendirme metodudur. Düşey çatlaklarda, çatlığa yakın taş ya da tuğlalar çıkarılır ve dikiş elemanı olarak adlandırılan çelik elemanlar eklenir, taş yada tuğla duvarın boşlukları uygun görülen harç ya da enjeksiyon (grout) ile birlikte uygun olarak doldurulur (Gavrilovic, İgnatiev, Kremezis, & Laszlo, 1983).



Şekil 2: Tarihi yapılarda dikiş yöntemi (Gavrilovic, İgnatiev, Kremezis, & Laszlo, 1983).

Destekleme

Duvar, kemer, tonoz, kubbe gibi taşıyıcılar; zemindeki problemler, deprem gibi etkiler sonucunda eksenlerinden ayrıldığında, çatlaklar oluşabilir. Bu sorunu gidermek, hareketi durdurmak için bu bölgeler masif, ya da uçan payandalar ile desteklenerek sağlamlaştırma yoluna gidilir. Bu duruma örnek olarak Mimar Sinan'ın Ayasofya'nın kubbesini payandalar ekleyerek desteklemesi verilebilir (Mahrabel, 2006). Mimar Sinan olası depremlere karşı ana kubbeyi de bu şekilde sağlamlaştırma yoluna başvurmuştur.



Şekil 3: Ayasofya Camii 'sine eklenen payandalar (URL-1).

Kuşaklama

Bağlantı çubukları-gergi uygulaması (Tie-bars): Büyük açıklı yapıların stabilitesinin bozulmasına neden olan en büyük etken, mesnetlerin açıklık yönünde açılmasıdır. Tarihi yapılarda gergiler, taşıyıcı sistem ile birlikte çalışması sağlanarak açıklıkları geçen yapı elemanlarının yanal itme kuvvetlerinin azaltılmasına

katkıda bulunan genellikle metalden veya ahşaptan yapılan elemanlardır. Gergiler kemer, tonoz, kubbe ya da iki duvar arasında kullanılabilir. Bu uygulama sayesinde yapıların düşey ve yatay yükler altındaki davranışını iyileştirmektedir (Arslan, 2006) (Küçükdoğan, 2007).



Şekil 4: Kağıthane Tarihi Çamaşırhane Binası gergi uygulaması (Yazarın Fotoğraf Arşivi)

Çemberleme- Sıkıştırma (Confinement): Çemberleme; dağılma tehlikesi gösteren düşey taşıyıcı elemanların metal çemberlerle sarıp sıkıştırılmasıyla uygulanan bir yöntemdir (Mahrabel, 2006). Metal halkalarla uygulanan çemberleme, çok fazla basınç nedeniyle kolon ve ayaklarda çatlama, ezilme, parçalanma görüldüğü yerlerde uygulanabilir.



Şekil 5: Çemberlitaş çemberleme yöntemi (URL-2).

Kesit Genişletme

Kesit genişletme işlemlerinde yapının ya da yapı elemanının yüzeyine yeni bir kütle veya bir malzemelerle eklemeler yapılarak yükün daha geniş alanlara dağıtılması veya mukavemetinin artırılması sağlanır. Bu müdahale için geleneksel ve çağdaş yöntemler geliştirilmiştir.

Püskürtme yöntemi ve çelik hasır donatı kullanılarak güçlendirme: Bu yöntemde duvar, kubbe, tonoz vb. yapı elemanının iç ve dış yüzüne içinde donatı olan güçlendirme bantları eklenir ya da yapı elemanının tümü içinden ve dışından üzeri harçla örtülü bir donatı hasırı ile kaplanır (Küçükdoğan, 2007). Püskürtme yöntemi ile uygun olan harç ve donatı entegre olur. Bu yöntem, özellikle yapılara ek yük verdiği için ve depremlerden etkilenmesini arttırdığı için kullanılması önerilmektedir.



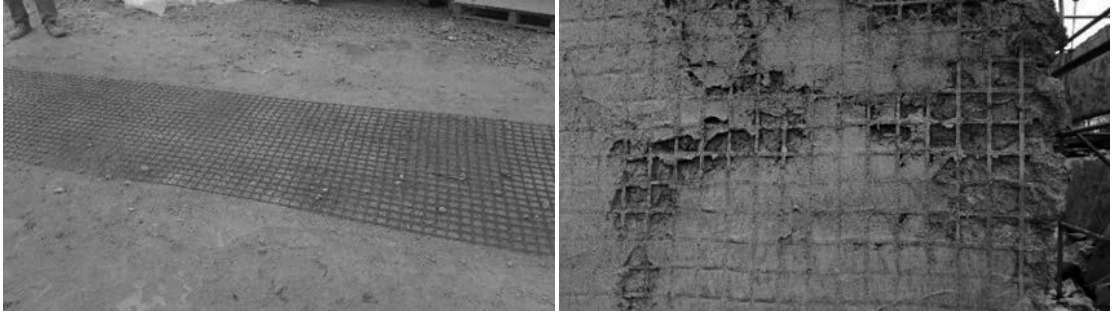
Şekil 6: Çelik hasır ile güçlendirme yöntemi (Küçükdoğan, 2007).

Ek kütle eklenmesi: Yapının veya yapı elemanının tabanına ek kütle yapılarak ağırlık merkezinin güvenlik sınırları içinde kalması sağlanır. Sivas Divriği Ulu Camii'nin minaresinde düşeyden başlayan ayrılmalara çözüm olarak kesit genişletilmiştir. Kaide çevresinde yapılan ek bir kütle ile taban alanı genişletilmiş; düşeyden ayrılan minarenin yıkılması önlenmiştir (Küçükdoğan, 2007).

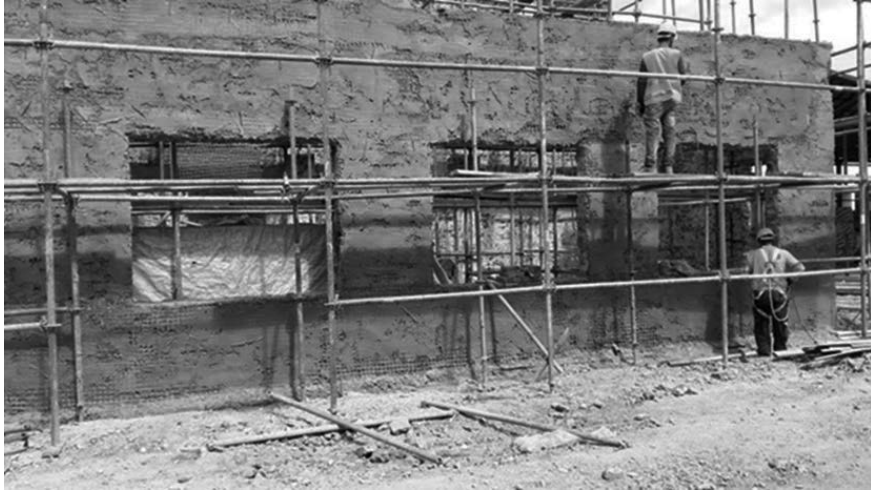


Şekil 7: Sivas Divriği Ulu Camii ek kütle eklenerek kesit genişletme (URL-3).

FRP (Lifli Polimer) kullanılarak güçlendirme: Tarihi yapılarda kullanılan malzeme özelliğinden dolayı süneklik oldukça düşük mertebededir. Tarihi yığma yapılarda çekme elemanları olmadığından çekme gerilmeleri bakımından da dayanıksızdır. Bu nedenle yapıyı güçlendirmek için yapıya süneklik katacak ve çekme gerilmelerini karşılayacak eleman seçilmelidir. Bu elemanlardan en önemlilerinden biri lifli polimer (FRP) elemanlardır. Üretiminde karbon, bazalt, cam elyaf, aramid elyaf gibi lif türleri kullanılır. FRP sistemi ızgara, şerit, kumaş, halat biçiminde üretilmektedir (Değirmenci & Sarıbiyık, 2015). ICOMOS, Mimari Miras Koruma Bildirgesi' nde de belirtildiği üzere tarihi yapılara uygulanan müdahaleler özgün yapıya olabildiğince zarar vermeden kaldırılabilir ya da yenilenebilir tekniklerle yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamda FRP sistemi ile güçlendirme yöntemi değerlendirildiğinde tarihi yapıların onarımı için tercih edilmemelidir.



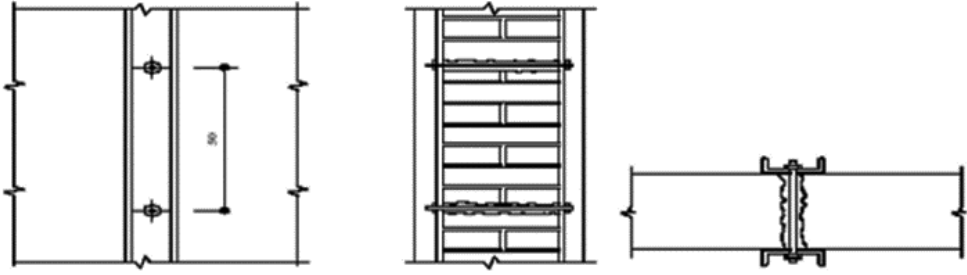
Şekil 8: Frp ızgara sistemi (Yazarın Fotoğraf Arşivi)



Şekil 9: Hasanpaşa Gazhane Binası'nda uygulanan frp ızgara sistemi (Yazarın Fotoğraf Arşivi)

Çelik levhalarla güçlendirilmesi

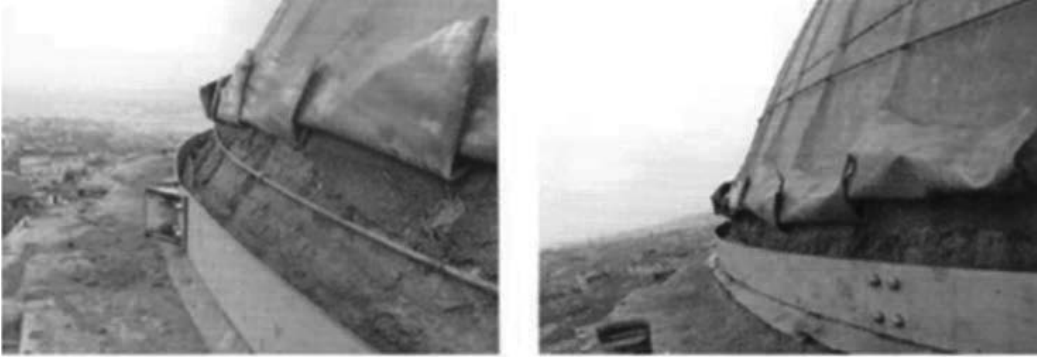
Bu yöntem özellikle duvar güçlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Duvarlar çelik levhalarla kuşaklanır ya da duvarın çatıya veya döşeme diyaframlarına monte edilerek kullanılan çelik levhalarla güçlendirilir. Bu yöntem duvarı dikey kuvvetlere karşı güçlendirmesine karşın yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesinde yardımcı olmaz (Crocı, 1998) (Mahrabel, 2006).



Şekil 10: Çelik levha ile güçlendirilmesi (Crocı, 1998)

Ön germe ile güçlendirme

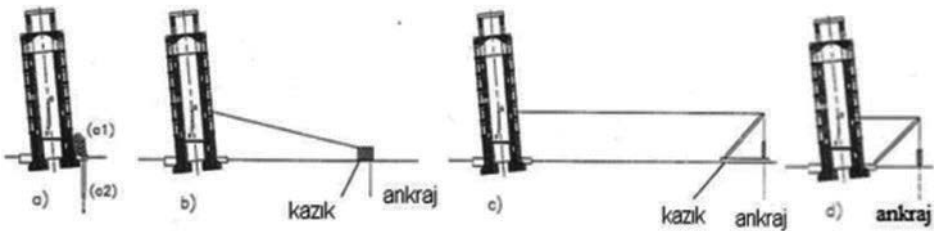
Tarihi yapılarda oluşan hasarlar ve ekstra deprem ve toprak hareketleri meydana geldiğinde gerilme mukavemeti gerekir. Söz konusu gerilme mukavemeti, harici bağlantılar ile elde edilebilir. Özel paslanmaz çelikler, reçine çubuklar, karbon elyaf lifler, polimerik lifler veya diğer sentetik ipler kullanılır (Crocı, 1998) (Mahrabel, 2006).



Şekil 11: Mihrimah Sultan Camii ana kubbe eteğinde uygulanan çekme çemberi
(İstanbul Vakıflar Müdürlüğü, 2011)

Sabitleme-Ankrajlama

Ankraj, bir elemanın veya tüm strüktürün sabit bir strüktüre veya zemine sabitlenmesidir (Crocı, 1998).



Şekil 12: Pisa Kulesi zemin sabitleme yöntemi (Crocı, 1998)

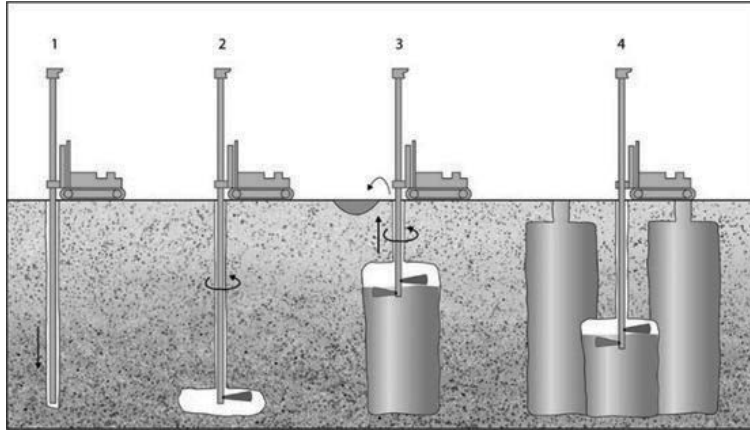
Zemin Sağlama İşlemi

• Temel Altı Zeminin Islahı

Yer altı suyunun seviyesindeki değişiklikler, sıkışabilir tabakaların varlığı ve bunların farklı kalınlık veya özellikte olması, zemindeki mukavemet kaybı gibi olumsuzlukların giderilmesi için temel zeminin ıslah edilmesi gerekir (Saraç, 2003).

Jet Grout Uygulanması

Meydana gelen oturma ve deformasyonların kontrol altına alınabilmesi, deniz kenarındaki yapılar için dalga etkisi ile zemin oyulmalarının önlenmesi için kullanılır. Bu tekniğin esası, delici bir takımın, istenilen derinliğe kadar 4 çapında delik delmesi ve daha sonra otomatik tesislerde hazırlanan harcın, özel aletlerle alttan yukarıya doğru istenilen seviyeye kadar zemini kesip çakıl ve kumu bünyesine alarak yüksek basınçla (yaklaşık 320 – 440 atmosfer basınçla) zemine enjekte edilmesi ve bu suretle kolon oluşturulması ilkesine dayanır (Saraç, 2003) (Toğrol, 1994).



Şekil 13: Jet Grout Uygulanması (URL-4)

Zemine Enjeksiyon Uygulanması

Zeminlerin geçirirliliğinin azaltılması ve kayma mukavemeti parametrelerinin artırılması amacıyla kullanılan temel zemin iyileştirilme yöntemlerinden biridir. Zemine ve kayaya enjeksiyon yapılarak boşluklar tamamen ve ya kısmen doldurulur (Saraç, 2003).

Yer Altı Suyunun Düzenlenmesi

Tarihi yapıları olumsuz yönde etkileyen bir etken de yer altı sularıdır. Uzun süre su etkisinde kalan eski ederlerin temellerinde bozulmalar meydana gelebilir. Özellikle asit yağmuru veya sülfat etkisine maruz kalan yerlerde temeller daha erken bozulmaktadır. Temelde oluşan bozulmalar farklı gerilmeler ortaya çıkarak taşıyıcı sistemde hasarlar meydana getirir. Bunun için yapının etrafına suların ortamdan hemen uzaklaştırabilecek düzgün drenaj sisteminin yapılmalıdır. Drenaj kanallarının taşıdığı suları sızdırmaması bağlantılarının düzgün yapılması gereklidir. Ayrıca düzgün bir drenajla taban bölgesindeki kapiler su yükselmesinin ve çiçeklenmenin önüne geçilmiş olunur.

Temelin Güçlendirilmesi

Temel güçlendirmesi, bir binanın temel yüklerinin daha derin ve sağlam seviyelere dağıtılmasıdır. Bu yapılan işlemden, mevcut yüklerin tamamen veya kısmen zararsız bir şekilde taşınacağı yeni temeller yaratılır (Karakuş, 2012).

• Geleneksel Yöntemler

Geleneksel temel takviye yöntemleri ile temelin genişletilmesi ve/veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesine çalışılır. Bu yöntemin esası, kazı yapılarak mevcut temel altına ilave beton kütle oluşturmaktır. Temel altındaki zemin tamamen boşaltılarak temel alt kısmının derinleştirilmesi veya genişletilmesi ile oluşturulan boşluk hacminin sağlam ve stabil bir malzemeyle yeniden doldurulması sağlanır.

• Temel Yüklerinin Derinlerdeki Sağlam Zemine Aktarılması

Ayaklar

Çevredeki inşaat nedeni ile veya yüklerin artması yüzünden meydana gelebilecek oturmaları önlemek için yapılan geleneksel temel takviyesi, bazen temeli derinleştirilerek bir ayak oluşturulmasına dönüştürebilir. Kuyu yöntemi buna örnektir (Saraç, 2003).

Altan Destekleme ve Takviye Kazıklar

Temel takviyesinde kazıklar, duvarın iki yanında olmak üzere çift imal edilir. Eğer binanın içinde kazık yapılamıyorsa bu kez dışarıda yapılan kazıklara duvar konsol olarak taşıtılır.

Yerinde dökme kazıklar: Yapımı sırasında fazla sarsıntıya yol açmadıkları için temel takviyesi işlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Yer altı su seviyesini altındaki kumlu zeminlerde yılanma olmaması için delik delme işleminin dikkatle yapılması gerekir (Saraç, 2003).

İtme (burgulu) kazıklar: 20~60 cm çapında ve 0.50~1.50 m parçalar halinde zemine itilerek sokulur. Zeminde boşluk oranını azaltılmasında kullanılır. Kazık zemine itilerek sokulduktan sonra ucu mevcut yapıya bir başlıkla bağlanmaktadır. Zeminde örselenme azdır. Taşıma kapasitesinin belirlenebilmesinden, sismik hareketlerin olduğu ve zor zemin şartlarında da uygulanabilmesinden dolayı tercih edilir. Burgu sayısı arttıkça yüksek taşıma kapasitesine ulaşır (Saraç, 2003).

Mini kazıklar: Temel güçlendirmelerinde çeşitli çaplarda kazıklar kullanılmaktadır. Çapı 300 mm ile 600 mm arasında olan kazıklara küçük çaplı kazıklar, çapı 300mm ile 75 mm arası olan kazıklara da mini kazıklar denilmektedir. Mini kazıklar küçük çaplı kazıklar olup kazık gereksinimi olan ve tasarım yükleri 3 tondan 500 tona kadar her türlü zeminde kullanılabilir. Günümüzde küçük çaplı özellikle mini kazık yöntemi uygulama kolaylığından dolayı yaygındır. Uygulama zemin delinerek enjeksiyon ile doldurularak oluşturulan kazık sistemidir. Bu yöntem oturma ve zemin kabarması nedeniyle hasar görmüş yapılarda temelin güçlendirilmesi ve oturmaların durdurulması amacıyla tercih edilip uygulanan kazıklar Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Saraç, 2003).

Tip 1: Mini Kazık: Genelde bu tipte yükü daha kararlı veya sağlam bir tabakaya aktaracak şekilde tasarlanırlar. Özellikle şevim kayması muhtemel en kritik kayma yüzeyinde kazık kayma yüzeyinde kazık-zemin teması söz konusu olmaktadır (Saraç, 2003).

Tip 2: Kök Kazık: Ağacın köklerine benzeyen üç boyutlu bir kazık ağı örgüsü zeminde kilitleme sayesinde stabilizasyon sağlamaktadır (Saraç, 2003).

Sismik Yalıtım

Sismik yalıtımın temel ilkesi yapıların kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak yapı rijitliklerini bir noktada azaltarak periyotların uzatılması sönüm oranlarının artırılması ve böylece yapılara depremde daha az yük etkimesinin sağlanması şeklinde özetlenebilir.



Şekil 14: San Francisco Sanat Müzesi Sismik Yalıtım Uygulaması (URL-5).

Sistemin Stabilizesini Artırıcı Ek Müdahaleler

• Bölgesel Müdahaleler

Bölgesel müdahaleler çoğu zaman yapının bütününde uygulanan güçlendirme yöntemiyle benzerlik gösterir. Bölgesel uygulama doğrudan yapı elemanın taşıma gücünü artırıcı bir çalışmadır.

Yapılarda pencere ve kapı boşlukların kapatılması: Eski eserlerde pencere ve kapı boşluklarının tuğla ya da taş ile örülerek kapatılması sistem stabilitesini ve rijitliğini artıran müdahalelerden biridir. Bazen çelik çerçeve kullanılarak da uygulama yapılabilir (Mahrabel, 2006).

Yapılardaki ayrılmalar için yapılan müdahaleler: Yapı elemanlarında sismik etkiler (deprem) yetersiz bağlantı ya da bağlantıların yeterli dayanımda olmaması sonucunda, geniş düşey kırıklar veya ayrılmalar oluşabilir. Bu ayrılmalarda o bölgeye taş veya tuğla ekleyerek ya da çelik sistem ile müdahale edilebilir (Mahrabel, 2006).

• Acil Müdahaleler

Geçici Takviyeler ve Yapının Desteklenmesi: Ağır hasar almış ve kısmi göçmeler yaşamış tarihi yapılarda yıkımların ilerlememesi ve yapının kalan kısımlarının da hasar görmemesi ve tehlikeyi minimuma indirmek için uygulanmaktadır. Devrilme, düşme eğiliminde ya da yana yatma durumu yaşayan elemanlar için geçici destek, payandalar, ara bağlantılar vb. takviye elemanları kullanılmaktadır. Ahşap ve çelikten yapılmış takviyeler en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Bazı acil durumlarda yapının devrilmesini engellemek ve desteklenmesini sağlamak için iş makineleri de kullanılabilir.

Yapının Askıya Alınması: Bazı hallerde kubbe, tonoz, kemer ve yığma yapılarda duvaralar gibi elemanlar bir kalıp-iskele sistemi yöntemi ile askıya alınır. Bu şekilde yüklerin temellere iletilmesi önlenir. Kalıplar, taşıyıcı elemanın formuna uygun olacak şekilde tasarlanır. İskelede mesnet noktalarında verilecek ters yüklerle taşıyıcı sisteme ters sehim verilerek yapı yükleri iskeleye iletilmiş olur.

2.2.2. Bütünleme

Bütünleme; bir bölümü hasar görmüş ya da yıkılmış olan yapı öğelerinin sağlıklı ve güvenilir veriler ışığında (resim, belge vb.) ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde geleneksel veya çağdaş malzeme kullanarak tamamlama işlemine denmektedir. Bu uygulama yöntemi yıkılan kısımlar tamamlanarak yapı kullanılı hale gelir ve daha fazla hasar alması engellenmiş olur.

Uluslararası komitelerinin de söylediği gibi yeni yapılan kısımlar özgün olandan ayrılabilmesi için farklı bir dokuya sahip malzemelerden yapılması daha uygun bir uygulama olacaktır (ICOMOS, 1999).

2.2.3. Yenileme

Doğal afetler, bakımsızlık, zamanla değişen yaşam biçimi ve ona bağlı istekler nedeniyle birçok tarihi yapı özgün işlevinden uzak ilk yapılış amacından farklı durumlarda olabilmektedir. Ülkemizde ilk tasarıma ait yeterli veri bulunamayan 2. grup yapılarda, yeni bir iç düzenleme yapılmasına izin verilebilir. Dış cephesi aynı kalacak şekilde iç mekanda değişiklikler yapılabilir fakat tarihi anıya saygı duyularak yapılacak çalışmalar daha uygun çalışmalar olacaktır (Kültür ve Turizm Bakanlığı; 1999) (ICOMOS, 1999).

2.3. Yeniden Yapım

Zamanın yıpratıcı etkilerine karşı yok olan tarihi bir kimliğe sahip olan yapıların birebir replikasının yapılması durumudur. Tarihi açıdan bir değer taşımaz, bir yapım tekniğini sürdürme, geleneği yaşatma bakımından bu yöntem kullanılabilir. Yeniden yapımda teknik verilerin, fotoğraf, rölöve, restitüsyon ve belgelerin var olması gerekmektedir (ICOMOS, 1999).

3. TARİHİ YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNDE YAPILAN HATALARIN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ

3.1. Parthenon

Parthenon Tapınağı dünya mimarlık tarihinin ve Yunan kültürünün en önemli simge yapılarından biridir. Parthenon, Atina'da bulunmaktadır. MÖ 447-432 yılları arasında yapılmıştır. Yapı ilk olarak Roma döneminde (MS 267) büyük bir yangında istila sonucu zarar görmüştür. Cellanın tüm iç yüzleri, çatısı

ve revakları yok olmuştur. 6. yy 'da Hristiyan kilisesi haline getirilmiş ve doğu köşesine bir altar ilavesi yapılmıştır. Osmanlı Devleti döneminde yapının aslı olduğu gibi korunarak bağımsız bir minare eklenerek camii olarak kullanılmış daha sonra mühimmat deposu olarak kullanılmıştır. 1687 yılında Venedik-Türk savaşı sırasında barut mühimmat deposu olarak kullanılan yapı, Venedik saldırıları sırasında yapının içindeki barutun ateşlenmesi sonucu ikiye ayrılmıştır. Cellanın kuzey ve güney tarafındaki 14 sütun çökmüştür (Toganidis, 2007).

1835 yılında ilk restorasyon girişimi Alman Mimar Leo von Klenze tarafından yapılmıştır. Klenze'nin planlamalarıyla Akropol'de Osmanlı hakimiyeti sırasında oluşmuş dini ve sivil mimari öğeler tamamen ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda Parthenon'un yan duvarların kısmi restorasyonunu gerçekleştirilmiş ve kuzey cephesinde 2 sütun dikilmiştir. Cella duvarlarında bulunan yıkılmış kısımlar tuğla kullanılarak destek amaçlı doldurulmuş, tapınak sütunlardaki zayıf bölümler, demir kasnak ve kenetler kullanılarak güçlendirilmiş ve bazı sütunlar ayağa kaldırılmıştır (Toganidis, 2007) (Jokilehto, 2002).



Şekil 15: Parthenon Tapınağı'nın 1890 yılındaki durumu ve 1922-1930 yılları arasında geçirdiği onarımlar sonrası görünümü (Balanos, Massin, & Lévy, 1938)

Parthenon'da ikinci kapsamlı restorasyon çalışması 1898-1902'de başlamış ve 1922-1933'te Nikolaos Balanos tarafından gerçekleştirilmiştir. Balanos'un özellikle Parthenon, Erectum ve Nike Tapınak'ında gerçekleştirdiği restorasyonlar, rekonstrüksiyon anlayışıyla ele alması ve bunu yaparken pratikte seçtiği yöntemlerin yanlış olması uluslararası çevrelerden ciddi eleştiriler almasına neden olmuştur. Parthenon'da, sütun sıralarını ayağa kaldırırken parçaları doğru yerlerinde ve gerçek pozisyonlarında birleştirmemiş hatta akropoliste var olan iki farklı antik bloğun malzemelerini farklı tapınaklarda kullanmıştır. Tüm bunları uygularken parçaları kesmiş, delmiş ve birleştirme aşamasında da demir kenetli bağlar kurşun içine yerleştirmeden kullanmıştır. Bu demir giriş bağlantıları mermerlerin içine gömmüştür. Ayrıca Parthenon'da kuzeydeki sütun sıralarının onarımında arşitravları tümüyle mermerle tamamlarken sütunlardaki eksik bölümler için çimentodan yeni tamburlar oluşturmuştur. Balanos'un savunarak kullandığı bu yöntemlerin zararları ileriki yıllarda ortaya çıkmış olup birleşimlerde kullanılan demir donatılar ve çimentodan yapılmış tamamlamalar özgün malzemenin bozulmasına neden olmuştur. Zamanla, özgün malzemede çatlaklara neden olmuştur. Açık derzlerin oluşması ve atmosferik nemin nüfuz etmesiyle iç demir takviyeleri aşınmıştır. Aşınmış demir elemanların genişlemesi mermer dokuda çatlamaya neden olarak blokların parçalanmasına sebep olmuştur (Toganidis, 2007) (Jokilehto, 2002) (Lambrinou, 2016).



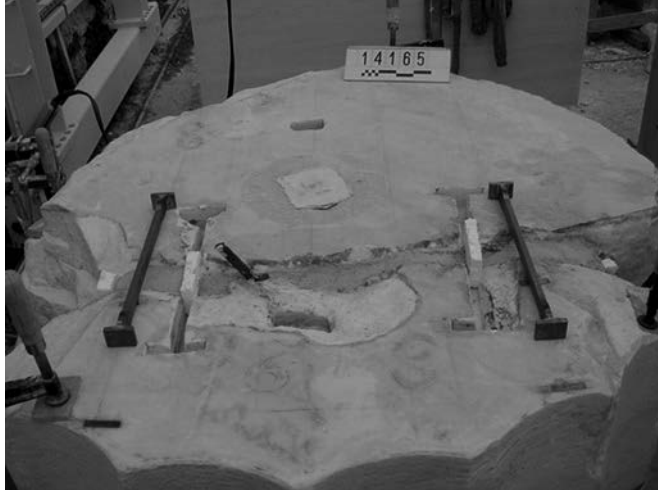
Şekil 16: Nikolaos Balanos'un akropolis restorasyonunda kullandığı demir kenet uygulaması ve atmosferik etkenlerden dolayı genişlemesi ve mermer dokuda çatlaklar oluşturması (URL-6)

Balanos'un Parthenon'da uyguladığı, çimento ve demir kullanarak rekonstrüksiyon girişimine birçok uluslararası komite karşı çıkmış. Özellikle 1931'de Uluslararası Müzeler Örgütü tarafından Atina'da düzenlenen, "1. Uluslararası Tarihi Anıtlar Mimar ve Teknisyenleri Kongresi, arkasından yayınlanan Atina Kartası ve Giovannoni katkılarıyla modern koruma ilkeleri anlatılmış. Bu koruma ilkelerinin Parthenon'da da uygulanması gerektiği söylenmiştir (Tarhan, 2019).

Parthenon'da 1984 yılında üçüncü kapsamlı restorasyon çalışmasına başlamıştır. 1981 yılında meydana gelen şiddetli deprem doğu yakasının köşelerini etkilemiş ve yetkilileri önlem almaya mecbur bırakmıştır. 1986-1991 yıllarında 1981 depreminde ağır hasar gören doğu cephesinde ilk çalışmalar başlamıştır. Bu çalışma kapsamında eski restorasyonlarla birleştirilen bazı parçaların çatladığı, bazılarının ise birleşim yerlerinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu sorunlar ve Balanos'un yapmış olduğu yanlış müdahelerden dolayı yapı kapsamlı bir restorasyon çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Restorasyon çalışması Mimar Manolis Korres tarafından yürütülmüştür. Çalışmalar Akropolis Anıtlarını Koruma Kurulu'nun bilimsel gözetimi altında olmuştur (Toganidis, 2007) (Lambrinou, 2012).

Yapıda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri yanlış sütunların yönünü değiştirmek için özel aletler tasarlanarak güney cephesinde uygulanmalar yapılmıştır. Yürütülen restorasyon projesinin ihtiyaçlarından biri de eksik parçalarını tamamlaması aşamasıdır. Yapıda pentelik mermeri kullanılmış fakat yapılan testler ve analizler sonucu günümüzde özgün malzemeye benzer özelliklere sahip dionysos mermerinin kullanılmasının en iyi seçim olacağından restorasyon çalışmasında bu malzeme kullanılmıştır. (Toganidis, 2007) (Lambrinou, 2012).

Bu süreçte yanlış mermerin çatlaklarından geçebilen özel derzler geliştirilmiştir. Bu harç ile kolonların stabilitesi arttırdıktan sonra diğer elemanlar sökülmüş ve konservasyona devam edilmiştir (Toganidis, 2007) (Lambrinou, 2012). Paslı demir çıkarılarak yerine titanyum takviyeler kullanılmıştır. Bu malzeme korozyona demirden 500 yüz kat daha dayanıklıdır. Yapıda titanyum takviyesi daha önce restore edilmiş veya yerinde korunmuş olan sundurmanın tüm bölümlerinde, sıra sütunlar, sütun başlıkları, kuzeybatı antanın taç başlığı, taç blokları ve batı frizinin destekleri vb. bölümlerde kullanılmıştır (Toganidis, 2007) (Kourkoulis, Papageorgiou, & Mentzini, 2010).



Şekil 17: Parthenon'da titanyum takviyesi kullanılması (Mentzini, 2017)

Kuzey cephesi ve sütunlar bölgesi programı en kapsamlı ve zor olan restorasyon çalışmasıdır çünkü 1930'larda Balanos tarafından restore edilen saçak ve sekiz sütunun sökülerek restorasyonunu içermektedir. Yaklaşık 185 parçayı içeren bir çalışmadır. Paslanmış metal kelepçeler dübelleri kaldırılmış, önceki müdahalenin çimento dolguları yerine yeni mermerler yapılmış ve mimari elemanlar, özellikle sütunlar belirlenen metodolojiye göre doğru konumlarına getirilmiştir (Lambrinou, 2012).

3.2. Pisa Kulesi

Pisa Kulesi, İtalya'nın Arno Nehri kenarında bulunan Pisa şehrinde bulunmaktadır. Bu şehre ait Pisa katedralinin çan kulesidir. Pisa Kulesi üst üste bindirilmiş yuvarlak 6 sütun dizisinden meydana gelen 56 metre yüksekliğinde bir kuledir. En üstteki çanların bulunduğu 8. kat silindirik biçimindedir (Encyclopaedia Britannica |, 2020).

1173 yılında inşasına başlanan kulenin birbirini takip eden savaşlar nedeniyle yapımı pek çok kez kesintiye uğramış yaklaşık 200 yıl sürmüştür. Daha dördüncü katı yapılırken güneye doğru eğilmeye başlamıştır. İnşaat devam ettiği sırada kulenin güney tarafına daha uzun sütunlar ve kemerler eklenmiştir. Fakat dördüncü kata ulaşıldığında güney tarafındaki kemerler kuzeydeki kemerlerden iki santim daha uzun olmuştur. Pisa Kulesi'nin inşaatı savaşlardan dolayı durmuş yaklaşık 100 sene sonra kuleye dört kat daha eklemeye başlanmıştır. Üst katların bir tarafını diğerinden daha uzun inşa edilerek denge sağlanmaya çalışıldıysa da bu durum kulenin daha da eğilmesine sebep olmuştur. 1319 yılında kulenin yapımına yeniden başlanarak yedinci kat, çanın yer aldığı sekizinci kat ise 1372 yılında yapılmıştır (Barsali, 1999) (Puzrin, Alonso, & Pinyol, 2010). İnşaatın sonunda, kulenin düşeyden 3° saptığı düşünülmektedir. Pisa Kulesi'nin eğimine çözüm getirmek uzmanlar yıllar içinde çeşitli girişimlerde bulunmuşlardır.

1838 yılında Mimar Alessandro Della Gherardesca, kulenin çevresine gömülü temel basamaklarını ve sütun kaidelerini ortaya çıkarmak için 3 m genişliğinde bir hendek kazılarak yürüme yolu uygulamasını yapmıştır. Bu yürüme yoluna catino denmektedir. Catino güney tarafında su seviyesinin altında

kaldığından, kazı suyun içeriye dolmasına neden olmuştur. Buna takiben kule, yarım derece daha eğilmiştir (Jamiolkowski, 2001) (Puzrin, Alonso, & Pinyol, 2010) (Melis & Gatley, 2018).

1934 yılında The Department of Civil Works of the Town of Pisa (Pisa Kasabası İnşaat İşleri Dairesi) tarafından kulenin temeline ulaşmak ve Pisa Kulesi'ni dik hale getirmek için kulenin çevresinde 300'den fazla delik açarak enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Temel kaidesinin çimento enjeksiyonu ile sağlamlaştırılması düşünülmüş ve bu çalışma sırasında su yalıtımı da yapılmıştır. Ayrıca, catinonun zemini ve duvarlarına 80 cm kalınlığında mermer kaplı bir beton levha konulmuştur. Fakat bu uygulama kulenin ağırlığının artmasına ve daha fazla eğilmesine neden olmuştur. İşlemlerin tamamlanmasından sonra da eğilme devam etmiş olup eğilme hızının 1945 yılındaki eğiminin 1990'da iki katına çıktığı hesaplanmıştır (Barsali, 1999) (Puzrin, Alonso, & Pinyol, 2010).

Yapının eğilmesinin nedenleri araştırılmış bu araştırmalar sonucu eğilmenin ana sebebi temeldeki yumuşak ve kumlu zeminde oluşan çökmeler olduğu ortaya çıkmıştır. Kule temelleri zeminin 3 m altında, deniz seviyesinde ve kuzey yöndeki yeraltı su seviyesi güney yönündekinden daha yüksektir. Kulenin temeli sadece üç metre derinlikte olması, yoğun bir kil karışımı üzerine inşa ediliyor olması ve yumuşak zeminin kuleyi dik tutacak kadar güçlü olmamasından dolayı kulenin ağırlığı en zayıf noktaya doğru eğilmesine neden olmuştur (Jamiolkowski, 2001).

1990'lı yıllarda kule eğiminin 5,5° olduğu saptanınca ilk olarak kule kapatıldı, çanlar kaldırıldı ve restorasyon çalışmalarına başlandı. 1992 yılında binanın geçici olarak stabilize edilmesi amacıyla kulenin etrafına ikinci kata kadar plastik kaplı çelik kablolar inşa edildi. Mayıs 1993 ile Şubat 1994 arasında kule tabanının kuzey kenarına yaklaşık 600 ton kurşun külçe ağırlıklar yerleştirildi. Bu ağırlıkların kullanılması, eğimi neredeyse bir inç (2.56cm) azaltmıştır (Burland, Jamiolkowski, Squegla, & Viggiani, 2013).



Şekil 18: Pisa kulesi çelik kablo ve kurşun külçe ağırlık uygulaması
(Burland, Jamiolkowski, Squegla, & Viggiani, 2013)

1995 yılların başlarında restorasyonu denetleyen komisyon, göze hoş görünmeyen denge ağırlıklarını yer altı kablolarıyla değiştirmeye çalışmıştır. Bu çalışma esnasında kulenin eğiminde önemli bir artışa neden olduğu için proje iptal edilmiştir (Burland, Jamiolkowski, Squeglia, & Viggiani, 2013) (Burland, Jamiolkowski,, Squeglia, & Viggiani, 2003). Bu uygulama kısaca temel güçlendirme ve zeminin sıvı nitrojen dondurulmasını içermektedir. Kulenin temeli etrafına betondan bir halka yerleştirmiş ve betonu delerek yaklaşık 12,2 m aşağıdaki sıkı kum katmanına bu halkayı ankrajlarla bağlamışlardır. Ankrajların yerleştirilmesi sırasında zemin örselenmiş ve kulenin eğiminde ani bir artışa neden olmuştur. Eğimin tam tersi yönden daha çok kurşun külçe yerleştirilip operasyon terk edilmiştir (Jamiolkowski, 2001).

Bir süre herhangi bir işlem yapılmamış fakat 1999 yılında zemin boşaltma yöntemi uygulanması kararı alınmıştır. Kulenin kuzey kısmının altına dikkatli bir şekilde zemine eğik sondaj kuyuları açılmış ve bu deliklerden azar azar toprak çıkarma işlemi yapılmıştır. Bu şekilde kulenin altı boşaltılmış kulenin kuzey tarafının oturması sağlanarak ve eğim de azaltılmıştır. İşlemler 2001 yılında bitmiştir. Kulenin bugünkü eğimi 3,97 derecedir (Jamiolkowski, 2001) (Burland, Jamiolkowski, Squeglia, & Viggiani, 2013).

3.3. Santa Maria dei Miracoli Kilisesi-Venedik

S. Maria dei Miracoli kilisesi, Venedik'te 1481 -1489 yılları arasında inşa edilmiştir. Kilise olarak tasarlanan yapı daha sonra yapım aşamasında 1485 yılında manastıra dönüştürülmüştür (Howard, 1989). Cephelerin kendine özgü yarım daire biçimli bir alınlığı bulunmaktadır. Cephede renkli mermer uygulaması vardır. Bu kilisenin benzersiz bir özelliği binanın mermer kaplamasıdır. Yapıda çeşitli türde ve renkte mermer kullanılmıştır Bu yüzden yapı mermer kilise olarak da bilinmektedir (Fasinna, 1992).

XIX yüzyılda yapıda iki önemli restorasyon projesi gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada kilisenin hem içindeki hem de dışındaki bozulmuş mermerlerden birkaçı onarılmış ya da değiştirilmiştir. Yeni mermerler Portland çimentosu ile sabitlenmiştir. İkinci aşamada kilisenin çatı ve kubbesinde büyük bir restorasyon gerçekleştirilmiştir. Özellikle nem sorunu olduğu için yatay bir nem geçirmezlik uygulaması yapılmıştır (Fasinna, 1992) (Fasinna & Stevan, 1990).

Geçen yüzyıllar sonrasında . S. Maria dei Miracoli Kilisesi'nin mermer cephelerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Yapının mermer cephelerinde meydana gelen çürüme mekanizmalarını anlamak için 1980-1990 yılları arasında detaylı bir araştırma yapılmıştır. Bilgisayar ortamında mikroklimatik araştırma çalışmasının yanı sıra mermer levhaları destekleyen tuğla duvarlar da incelemeye alınmıştır. Binanın yapısıyla ilgili nem ve tuz içeriği araştırmalarına özellikle önem verilmiştir. Öncelikli olarak kanala bakan cephe olan sol cephe en çok hasarlı cephe olmasından dolayı ilk araştırmalar bu cephede yapılmıştır. İkinci aşamada daha iyi durumda olan sağ cephe incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda kilise ve zemini arasındaki mesafenin arttığı tespit edilmiş ve bunun nedenin de yüksek nem olduğu saptanmıştır. 5 m derinliğinde sondaj yapılmıştır. Bu sondajlarda yüksek su miktarı bulunmuştur. Mermer levhaların bozulmasının nedenleri ise;

- Yapılan ilk restorasyon çalışmasında döşeme kaldırılmadan müdahale edildiği için, tuğla bölümlerde nemin buharlaşması engellendiğinden eski yüksek nemin olması ortadan kalkmaması,
- Oluklardan ve çevreden dış mermer plakalara sürekli su sızması,

- Özellikle mermer levhaları tuğla duvarlara sabitlemek için 1880'lerde (19.yy yapılan) yapılan müdahalede kullanılan Portland çimento uygulanmasının yapıya oldukça büyük zarar verdiği tespit edilmiştir. Portland çimentosu kullanımında görülen en büyük sorun tuzlanma olayıdır. Bu yapıda da mermerlerin bozulması, tuzun varlığına bağlanmaktadır. Tuzun oluşması, malzeme bünyesine giren suyun kuruyarak buharlaşması ile yüzeyde çiçeklenme denilen yüzey erozyonu oluşmasına sebep olmuştur. Mermerlein bozulmasındaki en büyük etkenin bu olayın olduğu saplanmıştır (Fasinna, 1992) (Fasinna & Stevan, 1990).



Şekil 19: Koruma işleminden önce Miracoli'nin tuz birikintileri ve yüzey kirliliği içeren dış görünümü (Fasinna, 1992).

1990'lı yıllarda başlayan çalışmalar ile hasar kaynaklarını belirlemek ve en iyi düzeltici önlemleri belirlemek için Venedik sanat eserleri müfettişliği laboratuvarı tarafından taşın korunması üzerine bir araştırma programı başlatılmıştır. 1990'dan 1997'ye kadar kilise binasının hem iç hem de dış cephesinin mermer kaplaması ve taşlarını tuzdan arındırılmış ve temizlenmiştir. İlk olarak mekanik temizleme yapılmıştır. Sonra tüm mermer kaplama çıkarılmış ve paslanmaz çelik tanklarda damıtılmış su çözeltisi içinde temizlenmiştir. Sıvalardan temizlenmiştir ve sağlamlaştırılmıştır (URL-7).



Şekil 10: Miracoli'nin mermerlerinin tuz birikintileri arındırma işlemi (URL-7)

Restorasyonun diğer bir aşaması da yapının iç kısmında yapılmıştır. Sunak kısmı ve eski ahşap şapelde detaylı onarım çalışmasına yapılmıştır. Demir destekler, çelik desteklerle değiştirilmiştir. Tavan temizleme çalışması yapılmıştır. Cepheye su geçirmez bir gül pencere yerleştirilmiş ve kilise sıralarında kapsamlı onarımlar yapılmıştır. Çanlarda yapılan işlemlerden sonra restorasyon çalışması sona ermiştir (URL-7).

3.4. San Marco Çan Kulesi

San Marco Çan kulesi İtalya, Venedik'te San Marco meydanında yer almaktadır ve San Marco Bazilikası'nın çan kulesidir. Aziz Mark'ın Çan Kulesi olarak da bilinmektedir. Kule 98,6 metre yüksekliğindedir ve Venedik'teki en yüksek yapıdır. Yıllar içinde bir çok hasar alan ve restorasyon geçiren çan kulesi 1902 yılında oluşan çatlaklar sonucu çökmüştür. 1902-1912 yılları arası tekrar yapılmıştır (Garozzo, 2017).

Kulenin inşaatı onuncu yüzyıl başlarında başlamış ve kulenin yüksekliği yavaş yavaş yükseltildiği için zaman içinde düzensiz bir şekilde devam etmiştir (Garozzo, 2017) (Fradeletto, 1912). Tarih boyunca, çan kulesi devamlı doğal afetlerden özellikle fırtına ve yıldırımlardan zarar görmüştür. 1388, 1489, 1548, 1562, 1565, 1567, 1582 yıllarında yıldırımlar düşmüş ve her seferinde yapı tekrar onarılmıştır. 18 Mart 1776'da, Padua Üniversitesi'nde astronomi profesörü olan fizikçi Giuseppe Toaldo, Venedik'te ilk olan bir paratoneri yapıya kurmuştur (Gattinoni, 1912).

1885 yılında San Marco Meydanı'nda yapılan kazılar, temelin durumu ve yapının sağlamlığı konusunda endişeleri artırmıştır. 1892 ve 1898'de mühendisler ve mimarlar tarafından yapılan inceleme raporları, kulenin tehlikede olmadığı konusunda rapor verilmiştir. Bu raporda sadece restorasyon çalışması öncelikle yıpranmış tuğlaların değiştirilmesini içermektedir (Donghi, 1913) (Fradeletto, 1912) (Gattinoni, 1912).

Temmuz 1902'de, Loggettanın (çan kulasi altındaki yapı) çatısını onarmak için çalışmalara başlanmıştır. Logetta 15yy'da inşa edilen, Saint Mark meydanının daki çan kulesine bağlı kapalı bir dış galeridir. Logetta çatısının kuleye dayandığı yerdeki kiriş değiştirilerek yerine yenisinin konulması sırasında kule şaftının titrediği gözlemlenmiştir. Kulenin kaymasını gözlemlmek için çatlaklara cam yerleştirilmiştir. Bunların birçoğu ertesi gün kırık bulunmuştur. Daha sonra kulenin kuzey tarafında, tuğla şaftında büyük bir çatlak oluşmuştur. Çatlaklara alçı ile müdahalede bulunulmaya çalışılmıştır. Teknik bir komisyon kurulmasına rağmen yapıya yönelik herhangi bir tehdit bulunmadığı söylendiyse de 14 Temmuz 1902 yılında San Marco çan kulesi çökmüştür (Donghi, 1913) (Fradeletto, 1912) (Gattinoni, 1912) (Marchesini, 2002).



Şekil 21: San Marco çan kulesinin çökmesi ve tekrar inşa edilmesi (Fradeletto, 1912)

Kulenin çöküş nedenleri sıralandığında; ilk neden olarak kule temelini yetersiz olması olduğudur. Kulenin temeli, karşılıklı iki kat meşe kirişten oluşan bir platform üzerine inşa edilmiştir ve bu platform üzerindedir (Marchesini, 2002) Kulenin temeli, yapının ağırlığını desteklemek için yeterli değildi. Yapılan çalışmalarda San Marco meydanının sık sık sular altında kalması yapıyı olumsuz etkilenmiş olabileceği ve bunun temeli doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Kulenin çökmesinin diğer nedeni, yıllar boyu yapının yıldırım, fırtına, yangın, deprem vb. gibi afetlerden kaynaklı uzun hasar geçmişinin olmasıdır. Tüm bu felaketler, kule temelini yapısal bütünlüğünü, iç yapısı ve dış duvarlarına büyük zarar vermiştir. Yapının uzun tarihi boyunca sürekli restorasyon ve yenileme çalışmaları geçirmiş olması yapıyı zayıflatmıştır. Kuleyi onarmak için yapılan her girişimde farklı malzemeler ve yapım yöntemleri kullanılmıştır (Donghi, 1913) (Fradeletto, 1912) (Gattinoni, 1912).

Kulenin yeniden yapılması için çalışmalara 1902 yılında başlanmıştır. Ama yeniden yapılmasına karşı çıkan bir grup da vardır. Çökmenin ardından, Çan Kulesi'ni yeniden inşa etmek için çok disiplinli bir danışma komitesi kurulmuştur. 25 Nisan 1903'te yapım işine başlanarak dokuz yıl sonra kule 1912 yılında tamamlanmıştır (Marchesini, 2002) (Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013).

Yeni kule sadece yapısal destek açısından farklılık gösterilmesine karar verilerek tasarlanmıştır. Yeni tasarım, temeli çimento, demirden ve duvara demir kelepçelerle tutturulması ile oluşturulmuştur. Çan kulesinin temeli, yapıyı daha geniş bir alanda (yaklaşık 22 m ile 41 m arasında) dağıtmaya hizmet edecek bir şekilde temellerin genişletilmiştir. Bu yeni temelle 9 kg/cm'den 4 kg/cm'ye kadar yüklerin azaltılması hedeflenmiştir. Ancak yapılan çalışmalarda yapılan yapısal ara bağlantılara rağmen, yeni ve eski temelleri tamamen bütün hale getirmek ve yüklerin zeminde üniform bir dağılımı için gerekli monolitikliği elde etmek mümkün olmamıştır. Zamanla, bu çan kulesinin tabanındaki trakit basamakları üzerindeki çökmeler nedeniyle çatlaklar olmuştur (Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013) (Daniele , Siepi, Macchi, & Pastore, 2012).



Şekil 22: San Marco Çan Kulesi'ndeki basamaklarda oluşan çatlaklar
(Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013)

1950 yılında, temelin kaide seviyesinde birkaç kesme çatlaklı gözlemlenmiş ve bu da kulenin yapısal bütünlüğü ile ilgili ciddi endişeleri yeniden gündeme getirmiştir. Ekstansometre ile yapılan ölçümler sonucu çatlakların doğrusal hareketinin zamanla arttığını göstermiştir. Komisyon kesme çatlaklarının yayılmasının arkasındaki ana nedenin, taş temelin üzerindeki taş blok konstrüksiyonun yetersiz kalınlığı olduğunu belirtmiştir. Taş bloklara; dış betonarme zincir ve çelik bağlantılar kurmayı önermişlerdir. Çatlaklar küçük görüldüğünden çalışma durdurulmuştur. 1975 yılında gözlemler yeniden başladığında çatlakların zamanla stabilize olmadığı, çatlaklar genişliklerinde doğrusal bir artış olduğu tespit edilmiştir. Çatlak genişliği, 1975'te yaklaşık 2 mm'ye ulaşmıştır, 1955'te tahmin edilen boyutun iki katıdır (Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013) (Daniele , Siepi, Macchi, & Pastore, 2012).

Tüm bilgiler ışığında yığma temel bloğunun farklı oturmasının devam ettiği doğrulanmıştır. Farklı oturmanın nedeni, eski taş blok ile 1903'te inşa edilen yeni taş blok arasındaki bağlantının iyi yapılamamasındandır. 1993'ten 2006 yılına kadar San Marco Çan Kulesi çevresinden CPTU testleri alınmıştır. (Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013) (Daniele , Siepi, Macchi, & Pastore, 2012).

2007'de, Çan kulesinin temelinin yeniden inşası başlamıştır. Yeni iyileştirme çalışmaları, genişletilmiş temeli çiftler halinde iki kat gerilmiş 6 cm çapında titanyum çubuklarla çevreleyerek güçlendirmeyi içermektedir. Temel taş bloğunun çevresi boyunca iki seviyede ön gerilmeli titanyum çubukları döşenmiştir. Döşemenin yaklaşık 40 cm altında ve ikincisi yaklaşık 2,3 m aşağıda tasarlanmıştır. Çubuklar 2 ila 3 m uzunluklarda birbirine cıvatalanmıştır. Köşelerinde titanyum plakalarla sabitlenerek ve her biri 250 kilonewton'a kadar gerdirilmiştir. Ardından, temelin yapısal tepkilerine bağlı olarak, gerilimler birkaç yıl içinde kademeli olarak artırılmıştır Titanyum çubuklar, temelin genel eğilme sertliğini arttırmak ve çatlakların daha fazla yayılmasını durdurmak için yerleştirilmiştir. Bu nedenle, eğer çatlakların boyutunda bir artış olursa, çatlakların büyümesini önlemek için gereken minimum kuvvetlerin titanyum çubuklar tarafından karşılanacaktır (Macchi, Macchi, Jamiolkowski, & Pastore , 2013) (Daniele , Siepi, Macchi, & Pastore, 2012).

4. SONUÇ

Tarihi yapılar buldukları coğrafyanın sosyolojik, ekonomik, kültürel öğelerini yansıtmaktadır. Bu yapıların korunması bir takım eğitim, bilgi süreci sonucu ve sürekli yapılacak bakımla mümkün olmaktadır. Doğal afetler, olumsuz çevre koşulları ve fiziksel-kimyasal bozulmaların yanında, insanoğlunun bu yapılara karşı aldığı tavır da tarihi eserlerin zarar görmesine neden olmaktadır.

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme uzmanlık gerektiren bir ekip çalışmasıdır. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçilirken en az müdahale, yapılan müdahalenin yapıya zarar vermeden sonradan da kaldırılabilmesi ve iyi analizler yapılarak seçilen yöntemin oluşan hasara en doğru çözüm olması gerekmektedir. Tarihi eserlerin korunması müdahale edilme aşamasında birçok disiplinin bir arada çalışarak yapılacak yapısal güçlendirme ve onarım projelerinde kullanılan yaklaşım gözlem, deney ve testlerden geçirildikten sonra uygulaması yapılmalıdır. Çoğu zaman tercih edilen yöntemin kendisi değil yapıya uygun olmayan yöntemin seçimi hatalı sonuçlar doğurmaktadır. Doğru tercih edilmeyen müdahale yöntemi yapıyı korumak yerine daha fazla zarar verebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. İkinci aşamada ele alınan eski eserlerde yapılan müdahale aşamaları ve uygun olmayan onarım ve güçlendirme yönteminin seçiminin doğurduğu hatalı sonuçlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Farklı zamanlarda incelenen yapılara koruma amacıyla müdahaleler yapılmış ancak bir koruma politikası çerçevesinde yapılmayan bilinçsiz uygulamalar, yapılara daha fazla zarar vermiş ya da özgünlüğünden uzaklaştırmıştır. Uygun olmayan uygulamalar sonucu yapılarda hasarların tekrar ortaya çıkması, yeni hasarların oluşumuna hatta yapıların göçmesine neden olduğu anlatılmıştır.

Makalede ele alınan yapılar, bugün koruma, onarım ve güçlendirme alanında detaylı çalışılan ve bu kavramların gelişmesinde önemli rol oynayan yapılardır. Özellikle bu yapılarda uygulanan zemin sağlamlaştırma, temel sağlamlaştırma, yenileme ve yeniden yapım vb. onarım ve güçlendirme metodların uygulanmasında yaşanan sorunlar bu alanda çalışanlar için literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Yeni yöntemler araştırılmış, geliştirilmiş ve denenmiş ancak bu yöntemlerin uygulanması sonucunda bazen olumlu bazen olumsuz sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar bundan sonra yapılacak olan restorasyon onarım ve güçlendirme çalışmalarında değerli bilgi alt yapısı oluşmasında önemli katkı sağlamaktadır. Aşağıda tablo şeklinde makale kapsamında anlatılan yapılarda uygun olmayan onarım ve güçlendirme yöntemi ve bu yöntem sonucu yaşanan sorun özet şeklinde verilmiştir.

Tablo 1: Örnek yapılarda uygun olmayan onarım ve güçlendirme yöntemi

YAPININ ADI	UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ	YAŞANAN SORUNLAR
Parthenon	<ul style="list-style-type: none"> 1922-1933 tarihleri arasında Nikolaos Balanos tarafından demir kenet ve çimento enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Nikolaos Balanos tarafından yapılan bütünlendirme yöntemi 	<ul style="list-style-type: none"> Uygulama sonucu yapıdaki mermerin çatlamasına ve bazı parçaların birleşim yerlerinden ayrılmasına neden olmuştur. Modern bütünlendirme anlayışına aykırı yöntem uygulanmış olup parçalar yanlış yerlerde ve konumlarda yerleştirilmiştir.
Pisa Kulesi	<ul style="list-style-type: none"> 1838 yılında yapı çevresinde zemin ve temel ıslah çalışması ve yürüme yolunun yapılması 1934 yılında zemini sağlamlaştırmak amacıyla temel altı çimento enjeksiyonu ve yürüme yolu duvarlarına beton levhaların yerleştirilmesi 1995 yılında yapılan çalışmalarda denge ağırlıklarını yer altı kablolarıyla değiştirilmiştir. 	<ul style="list-style-type: none"> 1838 yılında yapılan bu uygulamalar yapının eğimini yarım derece artmasına neden olmuştur. 1934 yılında yapılan bu uygulamalar kulenin ağırlığının artmasına ve daha fazla eğilmesine neden olmuştur. 1995 yılında yapılan yer altı kablolarıyla ankajlama yöntemi kulenin eğiminin artmasına neden olmuştur.
Santa Maria dei Miracoli Kilisesi	<ul style="list-style-type: none"> 19.yy'da yapılan restorasyon çalışmasında mermerlerin sabitlenmesi için harcın yenilenme işleminde Portland çimentosu kullanılması 	<ul style="list-style-type: none"> Yapıda uygulanan Portland çimentosu uygulaması mermerlerin bozulmasına ve yapının zarar görmesine neden olmuştur.
San Marco Çan Kulesi	<ul style="list-style-type: none"> 1902 yılına kadar yapıda zarar gören parçalar değiştirilmiş ve yenilenmiştir. 1902-1912 yılları arası yapının çökmesi ile yapının rekonstrüksiyonu yapılmıştır. Bu çalışmada temel sağlamlaştırma yöntemi uygulanmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> Yapının temel boyutlarının yetersiz olması ve bundan dolayı yapının afetlerden zarar görmesine neden olmuştur. 1912 yılında yapılan temel sağlamlaştırma çalışmasında eski ve yeni temel birleşimi iyi yapılmadığından hasarlar oluşmuştur.

KAYNAKLAR

Encyclopaedia Britannica. 2020. Leaning Tower of Pisa. <https://www.britannica.com/topic/Leaning-Tower-of-Pisa>.

Arslan, F. 2006. Depremden Zarar Görmüş Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Balanos, N., C. Massin, & A. Lévy 1938. Le Monuments de L'Acropole: Relèvement et Conservation. Michigan Üniversitesi, Michigan.

Barsali, G. 1999. History & Masterpieces of Pisa (History and Masterpieces). Bonechi Edizioni, Dallas

Burland, J. B., M. Jamiolkowski, N. Squeglia, & C. Viggiani, 2013. The Leaning Tower of Pisa. Taylor&Francis Group, London

Burland, J. B., Jamiolkowski,, M. B., Squeglia, N., & Viggiani, C. 2003. The Tower of Pisa: History, Construction and Geotechnical Stabilization (Built Heritage and Geotechnics). CRC Press; 1st edition, London

Croci, G. 1998. The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Computational Mechanics Inc, Boston

Daniele , V., Siepi, M., Macchi, S., & Pastore, S. 2012. Deep Soil Mixing Helps Venice San Marco Bell Tower. The Magazine of the Deep Foundations Insitute (July), 71-73.

Değirmenci , İ., & M. Sarıbiyık, 2015. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı. 3rd International Syposium on Innotive Technologies in Engineering and Science, Valencia.

Donghi, D. 1913. La Ricostruzione Del Campanile di S. Marco a Venezia. Stab Tip. Del Genio Civile, Venazia

Döndüren, M. S., Ö. Şişik, & A. Demiröz. 2017. Tarihi yapılarda görülen hasar türleri. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi (13), 45-88.

Fasinna, V. 1992. Microclimatic Survey in S. Maria dei Miracoli Church in Venice in Relation to Marble Decay. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, (s. 355-365). Lisbon.

Fasinna, V., & A.G. Stevan 1990. The Moisture Behaviour in Venetian Buildings Structure. Proc. of thè 4th Expert Meeting of Conservation of Historic Brick Structures, Amsterdam.

Fassina, V. 1978. A Survey on Air Pollution and Deterioration of Stonework in Venice. Atmospheric Environment (12), 2205-2211.

Fradeletto, A. 1912. L Campanile di San Marco Riedificato: Studi, Ricerche, Relazioni, A Cura del Comune di Venezia. Commune di Venezia. Venedik.

Garozzo, A. 2017. Il Rinnovamento dei Campanili nel Cinquecento: I Casi di Venezia. Archivio Istituzionale Della Ricerca dell'Università Degli Studi di Palermo Prodotti della, Sevilya

Gattinoni, G. 1912. Il Campanile di San Marco in Venezia. Pranava Books, Venedik.

Gavrilovic, P., N. Ignatiev, P. Kremezis, & N. Laszlo 1983. Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick Masonry Buildings, Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region, Viyana.

Howard, D. 1989. The Church of the Miracoli in Venice and Pittoni's St Jerome Altar-Piece. The Burlington Magazine, 131(1039), 684-692.

ICOMOS. 1999. Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü. [http://www.icomos.org.tr /Dosyalar/ ICOMOSTR_0901543001353670596. pdf](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_0901543001353670596.pdf) (ICOMOS Türkiye resmi web sitesi).

Ilki, A., M. Ispir, F. As, C. Demir & N. Kumbasar 2008. FRP Retrofit of Walls Constructed with Historical Bricks. Challenges for Civil Construction Torres Marques et al.(Eds), Porto.

Jamiolkowski, M. B. 2001. The Leaning Tower of Pisa: End of an Odyssey. 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, İstanbul, Türkiye.

Jokilehto, J. 2002. A History of Architectural Conservation. Butterwort Heinemann: Oxford.

Karakuş, F. 2012. Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Sorunlar. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kourkoulis, S., E.G. Papageorgiou & M. Mentzini 2010. Dionysos Marble Beams Under Bending: A Contribution Towards Understanding the Fracture of the Parthenon Architraves. Engineering Geology(115(3-4)), 246-256.

Küçükdoğan, B. 2007. A Study on Strengthening and Repair Methods for Historical Costruction. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2,,Diyarbakır,Türkiye.

Kültür ve Turizm Bakanlığı. 1999. Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu Taşınmaz Kültür Varlıklarının Gruplandırılması, Bakım ve Onarımları. 660 nolu İlke Kararı. Ankara, Türkiye: <https://teftis.ktb.gov.tr/TR-13918/660-nolu-ilke-karari-tasinmaz-kultur-varliklarinin-grup-.html>.

La Mendola, L., M. Accardi, C. Cucchiara & V. Licata. 2014. Nonlinear FE Analysis of Out-Of-Plane Behaviour of Masonry Walls with and without CFRP Reinforcement. *Construction and Building Materials* (54), 190-196.

Lambrinou, L. 2012. *Acropolis Restored. Parthenon North Side.* British Museum Editions, London.

Lambrinou, L. 2016. *Ancient Ruins and Their Preservation: The Case Study of the Parthenon's East Porch. A Companion to Greek Architecture,* London, 526-545.

Macchi, G., S. Macchi, M. Jamiolkowski, & D. Pastore. 2013. *Geotechnics and Heritage. Strengthening of the San Marco bell tower foundation in Venice.* CRC Press, Florida

Mahrabel, H. A. 2006. *Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Marchesini, M. (2002). *Un Secolo All'ombra - Crollo e Ricostruzione Del Campanile di San Marco [1902-2002].* Momenti AICS, Venedik.

Melis, A., & J. Gatley. 2018. *A Romantic in Tuscany: Alessandro Gherardesca and the Transformation of Pisa's Piazza del Duomo.* *Cogent Social Sciences*, 4(1), 1-21.

Mentzini, M. 2017. *Structural Interventions on the Drums of the Parthenon's North Colonnade.* *Frattura ed Integrità Strutturale* (40), 95-106.

Monni, F., E. Quagliarini, S. Lenci & F. Clementi. 2015. *Dry Masonry Strengthening Through Basalt Fibre Ropes: Experimental Results Versus Out-Of-Plane Actions.* *Key Engineering Materials*, (624), 584-594.

İstanbul Vakıflar Müdürlüğü. 2011. *2008-2010 Restorasyon Arşivi.*

Özden, E. Ö & Z. Görgülü. 2006. *Planlama- Koruma İlişkisi Üzerine Yeni Bir Sistem Önerisi.* *Megaron*, 1(4), 234-255.

Puzrin, A. M., E. E. Alonso, & N. Pinyol. 2010. *Geomechanics of Failures-Leaning Instability: The Tower of Pisa,* Springer, London.

Saraç, M. M. 2003. *Tarihi Yiğma Kagir Yapıların Güçlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tarhan, Ç. M. 2019. *Beycesultan ve Laodikeia Örneklerinden Hareketle Kazı Alanlarındaki Arkeolojik Koruma Olgusunun Değerlendirilmesi.* Doktora Tezi. Ege Üniversitesi.Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir

Toganidis, N. 2007. Parthenon Restoration Project. XXI International CIPA Symposium, Atina.

Toğrol, E. 1994. Temel Takviyesi Yöntemlerine yeni bir bakış. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi, Ankara.

Ünal, Z. G. 2019. Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu. İstanbul: T.C Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul.

URL-1: <https://www.sanalsantiye.com/bir-muhendis-gozuyle-ayasofya-2/> (Erişim: 12.05.2022)

URL-2: <https://www.tarihlisanat.com/constantinus-sutunu-cemberlitas/> (Erişim: 12.05.2022)

URL-3: <http://www.sehirler.net/resim-sivas-resimleri> (Erişim: 12.05.2022)

URL-4: http://www.arinzemin.com.tr/zemin_ iyilestirme.php (Erişim:12.05.2022)

URL-5: http://www.sfcityguides.org/public_guidelines.html (Erişim:12.05.2022)

URL-6: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/parthenon/rest-01.html> (Erişim:12.05.2022)

URL 7: <https://www.savevenice.org/project/church-of-santa-maria-dei-miracoli> (Erişim:12.05.2022)