

## TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ REPAIR AND STRENGTHENING METHODS FOR THE HERITAGE STRUCTURES

MEYDANLI ATALAY H., AKPINAR E., ÖZDEN S.  
Mail Address: Kocaeli University, Department of Civil Engineering, Kocaeli-Türkiye  
E-mail: sevketozen@yahoo.com

**ÖZET** Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi, bu tür yapıların doğallıklarının korunabilmesi ve yük taşıma sistemlerinin karmaşık ve zor olmasından dolayı uzman bilirkişiliğe ihtiyaç gösterir. Tarihi yapılarda güçlendirme yöntemleri, aynı tip yapılar için bile farklılıklar gösterir. Örnek olarak büyük taşların üst üste konmasıyla oluşan Roma köprülerinde yatay yükler yapı taşlarının sürtünmesiyle aktarılırken, günümüze daha yakın dönemde inşa edilen köprülerde yatay yük taşıyabilme amaçlı olarak taşlar çelik ankrajlarla birleştirilmektedir.

Tarihi yapılar, köprüler, hanlar veya kervansaraylar, cami veya kilise gibi dini yapılar, hamamlar, konutlar ve saraylar olarak listelenebilir. Bu yapılar kullanılan yapı malzemelerine ve örgü şekillerine göre ahşap, kerpiç, taş ve tuğla yığma olarak da listelenebilir. Bazı durumlarda yukarıda verilen malzemeler tek bir duvarda farklı yapıım şekillerinde karşılaşılabılır. Bu nedenle onarım ve güçlendirme metotları kullanılan malzeme ve yapıım tekniğine bağlı olarak da değişiklik gösterir. Çağdaş yapıların taşıyıcı sistemleri günümüz mühendislik eğitiminde öğretilmektedir. Diğer taraftan, taşların üst üste konup serbestçe durduğu taş yığma kemerlerin yük taşıma sistemi betonarme kemerlerden tamamen farklıdır ve mühendis veya mimarın bu yapıların onarım-güçlendirebilmesi için yük aktarımını hayal etmesi ve kapasitesini hesaplaması gerekir. Aksi takdirde bu bilgi olmaksızın bu özel sisteme yapılan müdahale kısmen veya topyekun hasara neden olabilir. Onarım ve güçlendirme malzemeleri ilgili disiplinlerin çoğunlukla karşı oldukları betonarmeden çelik, cam veya karbon lifli polimer malzemeye dönmüştür. Yapıların taş, tuğla veya ahşap kısımlarının yenisiyle değiştirilmesi alternatif bir müdahale yöntemidir.

Onarım ve güçlendirme şekli ne olursa olsun orijinal tarihi yapıyı yük aktarma ve yük taşıma sistemine bağlı kalınması gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır. Uygun olmayan onarım ve güçlendirme tekniklerinin uygulanmasında tarihi eserlerin zarar görmesi sık karşılaşılan bir durumdur. Bu çalışmada yazarlar farklı yapılardaki uygulanabilir farklı onarım ve güçlendirme yöntemlerini incelemeyi amaçlamışlardır.

### GİRİŞ

Tarihi yapılar yapı malzemesi, yaşı, taşıyıcı sistemi, kullanım amacı bakımından çok geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Geçmişte kullanılan yapı malzemeleri daha çok yüksek teknoloji gerektirmeyen doğal malzemeler olduğundan tarihi yapılar çoğunlukla yığma yapı tekniği uygulanarak taş, tuğla ve kerpiç malzeme kullanılarak inşa edilmiş yapılar ve ahşap, demir ve çok az da olsa çelik yapılardan oluşmaktadır. Cami, kilise, medrese, türbe, saray, han, hamam, gibi değişik kullanım olanaklarına sahip olan yapı grubunun yapısal taşıyıcı sistemleri de birbirinden farklıdır.

Tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesi söz konusu olduğunda, yapının maruz kaldığı her türlü doğal ve kullanımdan kaynaklanan yapı tehlikeler göz önüne alınmalıdır. Yapının taşıyıcı sistemine zarar verebilecek çevresel etkiler yapının geometrik formu ve boyutlarına, yapı malzemesine göre değişmektedir. Ahşap yapılar için yangın ve şiddetli rüzgârlar en büyük tehlikeyi oluştururken, rijitliği ve ağırlığı fazla olan yığma taş ve tuğla yapılarda depremler ve malzemedeki bozulmalar nedeniyle oluşan hasarlar en büyük yıkılma veya hasar görme riskini oluşturmaktadırlar.

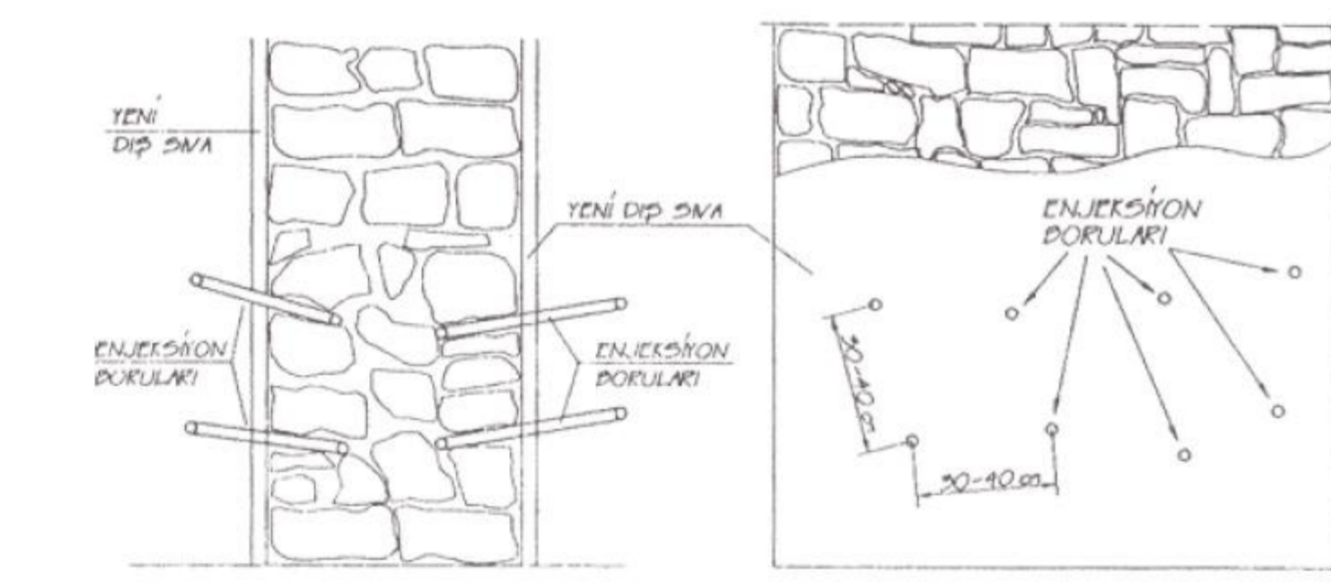
### TARİHİ YAPILARDA GÖZLENEN HASAR TÜRLERİ

Yapıların onarım ve güçlendirilmesine başlanmadan önce, yapının hasar görmesine neden olan etmenler ortaya konmalıdır. Bunun için gerekli gözlem, teknik inceleme ve gerekli hesaplar yapılmalıdır.

Taşıyıcı sistem, yapının kullanım amacına uygun ve maruz kalacağı yük etkilerine karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kesiti yetersiz duvar zamanla bel verir, düşey taşıyıcılarının yetersiz olduğu kemer, tonoz ve kubbede açılmalar ve sistemde yıkılmalar oluşabilir. Sadece düşey yük düşünülerek tasarlanmış bir tarihi yapının maruz kalacağı şiddetli bir depremde dayanımı yetersiz kalacaktır. Tarihi yapılar, sezgisel ve ampirik yaklaşımlarla boyutlandırıldığından, genelde bugünkü mühendislik bilgisine göre gerekenden daha iri ve dolu kesitli elemanlara sahiptir. Genel dayanım yönünden deformasyonlar ve çatlaklar küçük kalıp, yapının davranışını bozmayacak olsa da zamanla yorulan malzemeye gelen etkiler çatlamlara yol açtığına taşıyıcı sistem statik ve dinamik yük aktarım mekanizmasını karmaşıklaştırır. Zemin hareketleri, zayıf malzeme özellikleri, çekme kuvveti veya ısı değişimleri sonucu oluşan hasarlar, duvarlarda çatlak, şişme, düşeyden sapma, malzemedeki bozulmalar, kısmi yıkılmalar olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 1).

Yapının üzerinde bulunduğu zeminin farklı özelliklerde olması durumunda maruz kaldıkları yükler etkisiyle farklı davranışlar sergilemekte dolayısıyla taşıyıcı sistemlerin mesnetlerinde farklı oturmalar ya da dönmeler gerçekleşebilmektedir. Bu oturmalar nedeniyle de yapıda çatlaklar oluşmaktadır.

Tarihi yapılar çok uzun yıllar önce inşa edildiğinden kullanıldıkları sürece bulunduğu bölgenin iklim özelliklerine bağlı olarak yağış sularına maruz kalabilmektedir. Uzun süre su içinde kalması durumunda malzeme karakteristiğinde bozulmalar olmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarındaki çatlaklara bu suların sızması durumunda malzeme dayanımında kayıplar dolayısıyla taşıyıcı sistem dayanımında kayıplar gerçekleşecektir. Kenet ve mil gibi kesme taş yapılarda blokları birleştirmek için kullanılan elemanların yalıtımlarının iyi sağlanmaması durumunda, derzlerden içeri giren su, demirden yapılmış bu malzemelerin paslanmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. Düşey çatlakların dikışı  
Şekil 4. Yığma duvarlarda çimento enjeksiyonu

### TARİHİ YAPILARDA GÜÇLENDİRME İLKELERİ

Yapının onarım ve güçlendirme işlemini karar verebilmek için önce yapı temelden çatıya kadar zemin durumu, çevresel etkiler, zamana bağlı bozulmalar ve maruz kaldığı depremler göz önüne alınarak yapısal analizleri yapılarak incelenmelidir. Bu incelemeler ışığında, yapıların tarihi ve estetik görünümünü koruyacak şekilde binaların yapısal güçlendirmesinin nasıl yapılacağına karar verilmektedir. Yapının tarihi ve estetik görüntüsü ile mimarlar, arkeolojistler, sanat tarihçileri, onarım ve güçlendirme ile mühendislik disiplinlerinin birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Bu ortak çalışmada amaç yöntemin belirlenmesi olsa da esasında bu tarihi yapıların güvenliği ile kültürel değerleri arasındaki dengenin korunmasını sağlamaktır. Farklı disiplinlerin bir araya gelmesiyle oluşturulan çalışma grubu güçlendirme projesinin başlangıcından sonuna kadar birlikte çalışmalıdır. Yapıda kullanılan malzeme türü, kullanılan yapıım tekniği ve yapının orijinal durumuna eklenen bölümler varsa tespit edilmelidir. Kullanılan malzemede zamana bağlı bozulma ve hasarlar tespit edilerek gerektiğinde mukavemet deneyleri yapılarak malzeme özellikleri belirlenmelidir. Yapıda oluşan hasarların sebebi ve statik ve dinamik yükler için taşıyıcı sistem güvenliği yapısal analizler yapılarak tespit edilmelidir. Yapılan bu çalışmaları ve tespitleri içeren, yapının mevcut durumunu gösteren bir rapor hazırlanmalıdır.

### TARİHİ YAPILARDA UYGULANAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Mevcut durumu tespit edilen yapının hangi yöntemler kullanılarak güçlendirileceği yapının maruz kalabileceği deprem yükü, yapının dinamik özellikleri dikkate alınarak sahip olduğu kültürel değerleri koruyarak, kullanım amacına ve taşıyıcı sistem güvenliğine göre onarım veya güçlendirme yöntemi belirlenmelidir. Hasar görmüş bir tarihi yapıda hasarlı veya tamamen yok olan yapı elemanları uygun malzeme kullanılarak tamamlanır ve yapının bütünlüğü sağlanarak kullanılabilir duruma getirilir. Yapının kullanım amacı değişmesi söz konusu olduğunda dış görünümü bozmadan yeni bir iç düzenleme yapılarak yapı yenilenir. Yapının onarım ve güçlendirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda yapıım tekniğini sürdürülebilmek amacıyla yapı yeniden inşa edilebilmektedir.

Deprem, yangın gibi nedenlerle çatılayan sütunlar, duvarlar; metal çemberler ile sarıp sıkıştırma yöntemi ile sağlamaştırılmaktadır (Şekil 2). Taş duvarların iki yüzünde de sürekli olan düşey çatlaklar varsa, çatlakın iki tarafından da bazı taşlar çıkartılarak buralara özel hazırlanmış bağ plakaları konur, duvarda boşalan bölümler özel bağlayıcı harçlar ile doldurulur (Şekil 3). Tuğla duvarda ise, her iki taraftan en az bir tuğla boyundaki bölüm sökülür ve aynı yöntemle çatlak dikilir. Eski duvar yanına yeni duvar yapılacak ise ikisi arasındaki bağlantı yine çelik bağlantı levhaları ile sağlanmaktadır. Ayrıca kağır duvarların tasıma gücünü arttırmak, çatlak ve boşlukları doldurmak, donatı çubuğunu ve öngermeli donatı çubuğunu kağır duvar malzemesine bağlamak için enjeksiyon kullanılır. Dolgu malzemesi olarak epoksi bazlı suni reçineler, basınçlı pompalar ile uygulanır. (Şekil 4). Duvardaki çatlakların onarımı ve güçlendirilmesinde bir başka yöntem ise yapının duvarlarının donatı veya FRP ile bağlanmasıdır. Yapılan deneylerde gergi elemanlarının duvarın direncini arttırdığı ve dağılmasını önlediği gözlenmiştir (Şekil 5 ve 6).



Şekil 7. Tonzolada gergi düzenlemesi



Şekil 8. Kubbe eteğinde çekme çemberi



Şekil 9. FRP uygulaması şablon modeli



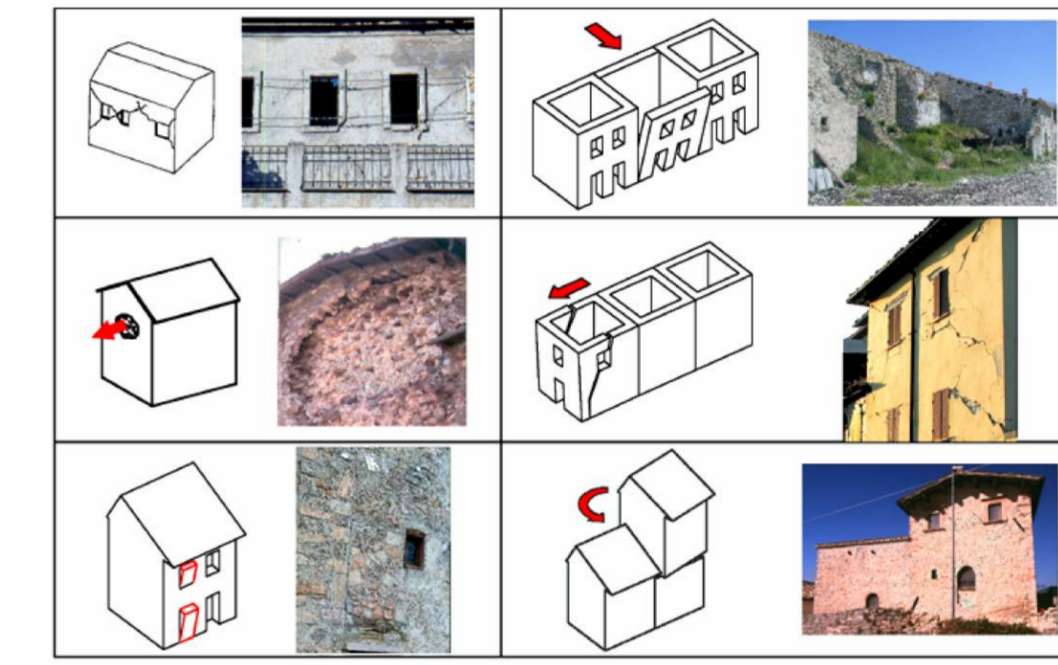
Şekil 10. Duvarların çelik çaprazlaeula güçlendirilmesi

Kemer, tonoz, kubbe gibi taşıyıcılar zemindeki aksaklıklar, deprem gibi etkiler sonucunda eksenlerinden ayrılırlar ve çatlaklar oluşur. Bu olumsuzluğu gidermek için köşelere, kemer mesnet hizalarına payandalar ilave edilerek sağlamaştırma yapılmaktadır. Eğer yapısal elemanlarda bozulmalar var ise, kemer ve tonozlar askıya alınarak, eski malzemeler çıkartılır ve yeni malzeme ile tamamlanır. Yükler yapı elemanı bileşenleri tarafından birbirine iletilerek mesnetlere verilir. Üzerine gelen yüklerin artması veya yanal yüklerin etkisi ile kemer ve tonozların mesnet noktalarında açılmaları meydana gelebilmektedir. Mesnetlerindeki ayrılmanın önlenmesi bunun için gergi konulması yaygın bir onarım ve güçlendirme yöntemidir (Şekil 7). Kubbelerde de mesnette çember kirişi konulması, buna öngerilme verilmesi, kubbenin toplanmasını sağlar (Şekil 8). Duvarların, kemerlerin, tonozların ve kubbeğin dış yüzeylerinde, uygun doğrultularda FRP ile sarılarak mevcut yükler altında taşıma kapasitelerinin ve sünekliklerinin artırılması amaçlanır. Ancak bu güçlendirme tekniğinde uygulama detayları çok önemlidir. Yığma duvar derzlerindeki geleneksel harçlar yaklaşık 7-10 cm. boşaltılarak, boşalan alana fiber çubuklar yerleştirilmektedir. Boş kalan derzler yapıda kullanılan özgün harç özelliklerinde veya özgün harçla uyumlu harçla yeniden doldurularak uygulama tamamlanmaktadır. Özellikle yapıyı taşıyıcı yapılacak alt yüzeylerin doğru hazırlanması önemlidir. FRP çubuklar ile duvar yüzeyinde oluşan çekme gerilmeleri karşılanırken duvarın sünekliği de artırılmış olmaktadır (Şekil 9).

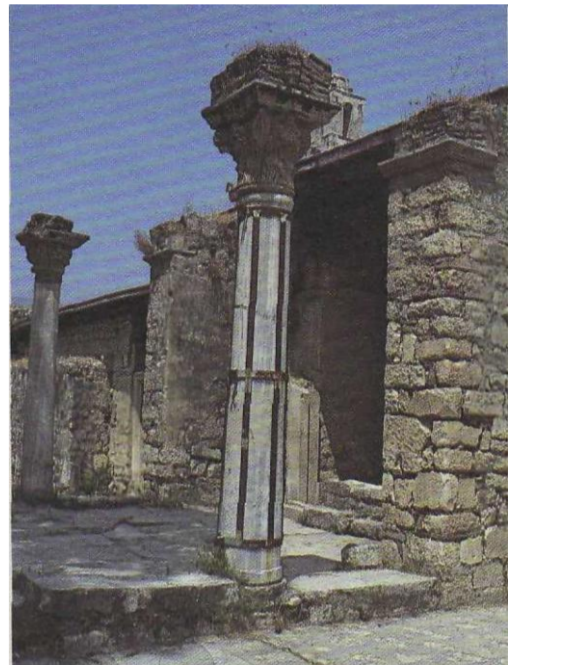
Tarihi yapılarda sistem güçlendirmesi amacıyla yapılacak takviye yada onarımlarla, elemanların deprem etkisi altında yanıl ötelenmeler sınırlandırılarak bireysel davranışlarının iyileştirilmesi ve deprem kuvvetleri sonucunda meydana gelen kesit tesirlerinin elemanlara uygun dağılımı sağlanmaktadır. Bunun için mevcut yığma yapının içinde yatay çelik bağlantıların kullanılarak düşük olan çekme gerilmesi dayanımı da artırılmış olmaktadır. Bu çelik bağlantılar özellikle kubbeğin duvarla birleştiği, çekme gerilmelerinin yoğun olduğu bölgeye uygulanmaktadır. Ayrıca duvarların uygun olan tarafına çelik çaprazlar yerleştirilerek veya FRP şeritler yapılandırılarak sistem güçlendirmesi yapılmaktadır (Şekil 10). Tarihi yığma-kargir binalarda püskürtme beton ile kesit genişletme yapılarak duvar güçlendirilmesi çok yaygın uygulanan bir başka yöntemdir. Basınçlı hava ile yüzeye uygulanan püskürtme beton, kuru ve ıslak karışım olarak iki çeşittir.

### REFERANSLAR

1. Durukal, E., Erdik, M., Kaya, Y., "Tarihi Yapıların Deprem Riskinin Belirlenmesi ve Azaltılması", TMMOB İnşaat Müh. Odası İstanbul şubesi, İstanbul, 53: 8-22, (2005).
2. Karaesmen, E., "Yapılarda Depremsel Davranış ve Hasar Olusma Mekanizmaları", Öncesiyle sonrasıyla Deprem, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 89-99, (2001).
3. Sesigür, H. Ve diğ. "Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, Hasar biçimleri, onarım ve güçlendirme", DMO Teknik Dergi, Yazı 303, İstanbul, (2007).
4. Yurdakul Peker, İ., "Yığma ve Tarihi Yapılarda FRP Malzemeler Kullanılarak Yapılan Güçlendirme Uygulamaları", Kocaeli Deprem Sempozyumu, (2005)



Şekil 1. Yığma Yapılarda göçme mekanizması örnekleri



Şekil 2. Çember ile kolonun desteklenmesi