

# TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI BİLEŞENLER, HASAR BİÇİMLERİ, ONARIM ve GÜÇLENDİRME

Öğr.Gör.Dr. Haluk Sesigür, Doç.Dr. Oğuz Cem Çelik, Prof.Dr. Feridun Çılı  
İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Statiği ve Betonarme Birimi

Prof. Müfit Yorulmaz'ın anısına...

## 1. GİRİŞ

Tarihi yapılarla ilgili olarak son zamanlarda hazırlanan restorasyon projeleri ile gerçekleştirilen onarım ve güçlendirme çalışmaları, inşaat mühendislerinin, bu özel konuya yaklaşımındaki yetersizliklerini ortaya çıkarmıştır. İnşaat Mühendisliği Lisans ve Lisansüstü eğitiminde “kargir yapı tasarımı ve koruma ilkeleri” kapsamlı bir konunun yer almaması ve eğitimin ötesinde bu bilincin gelişmemesi, mühendislerin anıt niteliğindeki bir yapıya, 50 yıllık sürede geliştirilen tasarım kriterlerini uygulamaya çalışması ile sonuçlanmaktadır. Tarihi yapılara ne şekilde yaklaşılması gerektiği, gerçekte çok disiplinli, kapsamlı bir çalışmayı gerektirmekte olup, tek ölçüt varolan deprem tehlikesi nedeniyle “ne olursa olsun yapı güvenliği” değildir. Bölge Kültür ve Tabiat Varlıkları Kurullarınca tescil edilmiş yapılara “eski eser”, “tescilli yapılar” ya da “tarihi yapılar” denilmektedir. Bu tür yapılarda bir restorasyon projesi kapsamında yapılacak olan her türlü onarım ve güçlendirme işlemi için ilgili Kültür ve Tabiat Varlıkları Kurulu'na bir proje ile başvurarak izin almak gerektiği açıktır. Bu yazı, özellikle ilgi alanı tarihi yapıların restorasyonu dışında kalan inşaat mühendisleri ve mimarlar için, ağırlıklı olarak [1]'den yararlanılarak, restorasyon projesi kapsamında tarihi yapılarda gerçekleştirilen yapısal iyileştirme çalışmalarını örneklerle özetlemek amacı ile hazırlanmıştır.

## 2. TARİHİ YAPILAR İÇİN ONARIM VE GÜÇLENDİRME İLKELERİ

Tarihi yapılarda yapılacak olan her türlü işlemin 1964 tarihli “Venedik Tüzüğü”ne uygun olması gerekmektedir. 1964 tarihli Venedik Tüzüğü'nün Restorasyon başlığı altında toplanan ilkeleri kısaca şu şekilde sıralanabilir:

1. Restorasyon ile ilgili tüm işlemler ayrıntılı bir arkeolojik ve tarih araştırmasını izlemelidir. Yapının tarihi ile ilgili çalışmalarda yapının hangi tarihlerde inşa edildiği, yapım sürecinde kesinti olup olmadığı, yapının ömründe uğradığı hasarların şeması ve mertebesi, yapıda gerçekleştirilen onarım ve güçlendirmelerin neler olduğu, yapının ve çevresinin kullanımında değişiklik olup olmadığı gibi sorulara yanıt aranmalıdır.
2. Yapının onarım ve güçlendirilmesinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kalması durumunda yeterliliği bilimsel bilgiler ve deneylerle gösterilmiş çağdaş yöntemler kullanılabilir. Restorasyonda uygunluğu tam olarak gösterilmemiş bir yöntemin kullanılması durumunda yapılacak işlemin geriye dönüştürülebilecek ya da gerektiğinde sökülüp düzeltililebilecek şekilde olması önerilmektedir. Restorasyonda her zaman özgün yapım yöntemlerinin ve malzeme özelliklerinin kullanılması tercih edilmelidir.
3. Yapıda değişik periyotlara ait katkılar korunmalıdır. Restorasyonun amacı, tarzının ilk yapıldığı andaki şekline dönüştürülmesi değildir.

4. Eksik parçalar ve bölümler, yapıya, yanlış anlamaya neden olmayacak ve özgün yapıdan farklı anlaşılacak şekilde birleştirilebilir.

5. Restorasyon işlemi sırasında yapılan tüm işlemler ve uygulanan teknikler ayrıntılı biçimde belgelenmelidir.

Tüm yapılarda ve özellikle tarihi yapıların onarım ve olası güçlendirilmesinde ana ilke yapılacak “müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır”. Bir eski esere yapılacak müdahalede yapının özgünlüğünü yitirmemesi esastır. Yapının olduğu gibi ya da daha çağdaş malzeme ile yerinde ya da başka bir yerde inşa edilmesi yapının korunması değil benzerinin yeniden inşa edilmesi olmaktadır. Bir yapıda koruma, yapının yerleşim özelliklerini, tüm plan ve kesit özelliklerini, malzemesini, yapım sistemini ve yapı taşıyıcı sistemini kapsmalıdır. Bunlardan herhangi birinde yapılacak ve geriye dönüşümü olmayacak bir müdahale “koruma” olarak adlandırılmaz. Tarihi eserlerin onarım ve güçlendirilmesi için yapılacak çalışmalarda hiç unutulmaması gereken nokta bu binaların tarihi, kültürel, anıtsal, estetik, sembolik, sosyal ve hatta psikolojik değerinin olduğudur.

## 3. YIĞMA KARGİR YAPILARDA TAŞIYICI BİLEŞENLER

### 3.1. Sütunlar

Tek parça ya da davul şekilli mermer, granit ya da başka bir taş ile oluşturulabilir, **Şekil 1.** Süreklilik,

\* Bu yazı Yapı Dergisi'nin Şubat 2007, 303. sayısında da yayınlanmıştır.

parçaların birbirlerine merkezi pimlerle bağlanması ile sağlanmaktadır.



(1a)



(1b)

**Şekil 1. (a) Tek Parça Sütunlar (Roma Forumu'nda Yapı) (b) Çok Parçalı Sütunlar (Propylaea, Atina)**

### 3.2. Duvarlar ve Payandalar

Tarihi yapılarda taşıyıcı duvarlar, kesme taş, kaba yonu taş, moloz taş, tuğla ya da almasıık malzeme (taş+tuğla) ile inşa edilen ve yapıdan gelen yükleri temele ileten sürekli elemanlardır. Duvarın enkesit boyutları, üzerine gelen eğik yüklerle, deprem yüklerinin dikkate alınmasıyla belirlenir. Tarihi yığma kargir yapılarda duvar kalınlıkları, düzlem dışı yükler duvarların öz ağırlığı ile karşılandığından, olabildiğince büyük seçilmiştir. Duvarların düşey ve yatay yükleri karşılayabilmesi için, bir bütün olarak davranması

gerekir. Yapı genelinde duvarların yatay kesitlerinde oluşan gerilmeler birbirlerine eşit ya da yakın değerlerde olmalı ve kesit içinde düzgün yayılı dağılımalıdır. Tarihi yığma kargir yapılarda duvarların bütünlüğünün sağlanması için taş ve tuğlalar birbirlerine harç, kenet ve değişik düzeylerde oluşturulan ahşap/dövme demir hatıllarla bağlanmışlardır. Bazı durumlarda duvarlar, çatıdan gelen eğik yüklerin karşılanabilmesi amacıyla payandalarla desteklenmiştir.

### 3.3. Tonozlar

Tonoz, bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesi sonucu meydana gelen yüzeysel bir yapı elemanıdır, **Şekil 2**; tarihi yapılarda dikdörtgen alanların kapalı bir hacim haline getirilmesinde kullanılmıştır. Tonozlar ilkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dört türdür. Beşik tonozun ve ilkel tonozun mesnetlerinin sürekli bir taşıyıcı eleman olma zorunluluğu bulunmaktadır. Çapraz ve haçvari tonoz, sütun ve ayaklar tarafından taşınabilmekte ve çok üniteli bir mekânın örtülmesinde kullanılmaktadır.

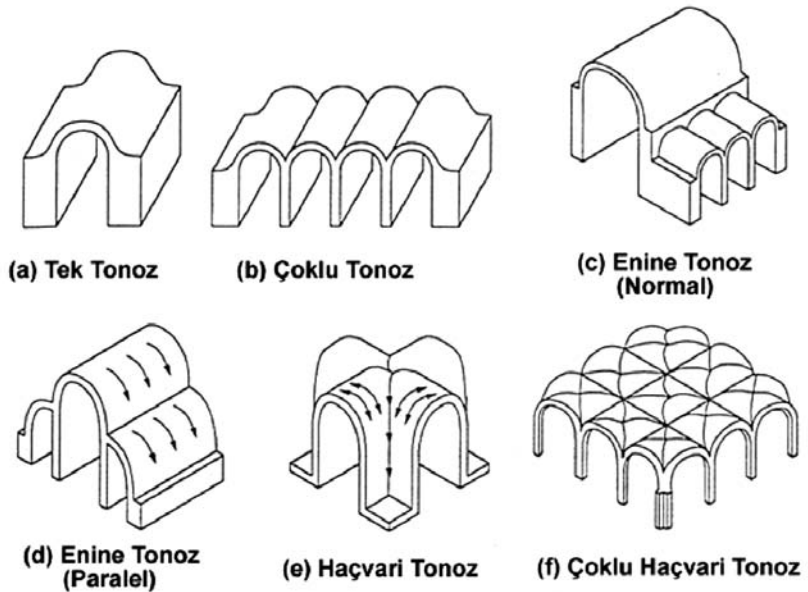
### 3.4. Kemerler

Ana kemerler çoğunlukla küfeki taşından ya da tuğladan, daha küçük açıklıklı olan dekoratif kemerler ise mermerden yapılmaktadır. Kemerlerin çoğu gergilli durumdadır. Görevleri esas olarak kubbeyi taşımak, yükü duvarlara ya da ana ayaklara güvenle aktarmaktır.

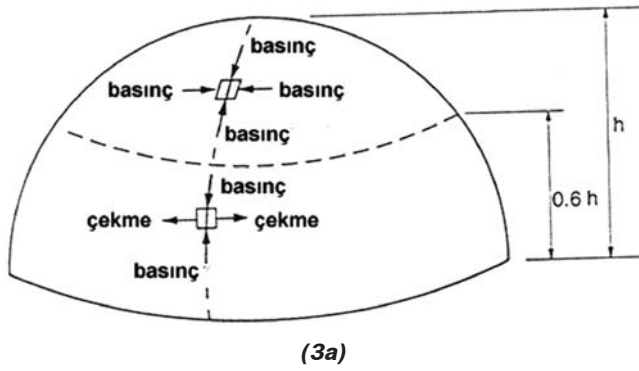
### 3.5. Kubbe

Kubbe bir kemerin düşey simetri eksenini etrafında dönmesiyle elde edilir, **Şekil 3**. Genellikle tuğla, daha az sıklıkla taş ve ahşap malzeme ile yapılmış örnekleri vardır. Genel olarak kemerin taşıyıcılık özelliklerine sahiptir. Kubbe, mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey elemana gereksinim duyar. Bu nedenle kubbenin, dairesel bir mesnete oturması gereklidir.

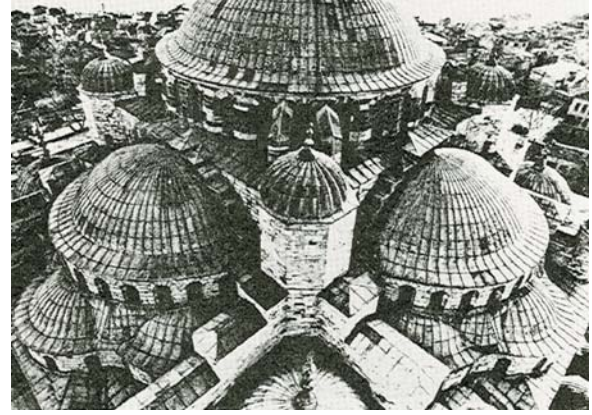
Dairesel planlı yapılarda, kubbeden yüklerin doğrudan duvarlara iletilmesi olanaklı iken kare planlı mekânlarda geçişin sürekli olması için geçiş elemanlarına gereksinim vardır. Tarihi kargir yapılarda geçiş öğeleri olarak en sık pandantifler, tromplar ve Türk üçgeni kullanılmaktadır, **Şekil 4**. Ana, merkezi kubbeyi destek-



**Şekil 2. Kargir Tonoz Biçimleri ve Düşey Yük Aktarımı [2]**



(3a)



(3b)

Şekil 3. (a) Kubbede Çekme ve Basınç Bölgeleri [2] (b) Kubbe, Yarım Kubbeler ve Ağırılık Kuleleri (Sultan Ahmet Camisi) [1]

lemek için yarım kubbelerin kullanıldığı durumlar da vardır, Şekil 4.

### 3.6. Gergiler

Gergiler kubbeler, kemerler ve tromplarda, kemer ya da kubbe davranışı nedeniyle oluşan itkinin karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Tarihi eski yapılarda ahşap ve dövme demir gergiler yoğun olarak kullanılmıştır. Genellikle üzenği seviyesinde, tek düzeyde tek ya da çift gergi yanında kilit ile üzenği arasında ikinci bir sıra gergi düzeni oluşturulan yapılar da vardır.

### 3.7. Ağırılık Kuleleri

İtkilerin etkisini azaltmada etkin olarak kullanılmıştır. Pek çok tarihi yapıda örnekleri bulunmaktadır.

## 4. ONARIM VE GÜÇLENDİRME ADIMLARI

### 4.1. Yapı Taşıyıcı Sisteminin Tanınması ve Yapısal Hasar Biçimlerinin Belirlenmesi

Yapı taşıyıcı sisteminin mevcut durumunu belirleyebilmek için yapılacak gözlemlerde aşağıda sıralanan oluşumlara dikkat edilmelidir.

### Yığma yapı elemanlarında çatlak oluşumu.

Yığma yapılarda oluşan çatlaklarda, öncelikle çatlağın yeni ya da eski olduğuna karar verilmelidir. Yeni çatlaklar daha net ve keskin kenarlı olup eski çatlaklar daha kirli ve yuvarlak kenarlıdır. Çatlak yerleri ve yapı üzerindeki dağılımı, yapıdaki gerilme dağılışı ile çatlak oluşumunun nedeni hakkında fikir verecektir. Yapıda çatlaklar izlenebiliyorsa çatlak rölövesinin çıkarılması önerilir.

### Yığma yapı elemanlarında ezilme.

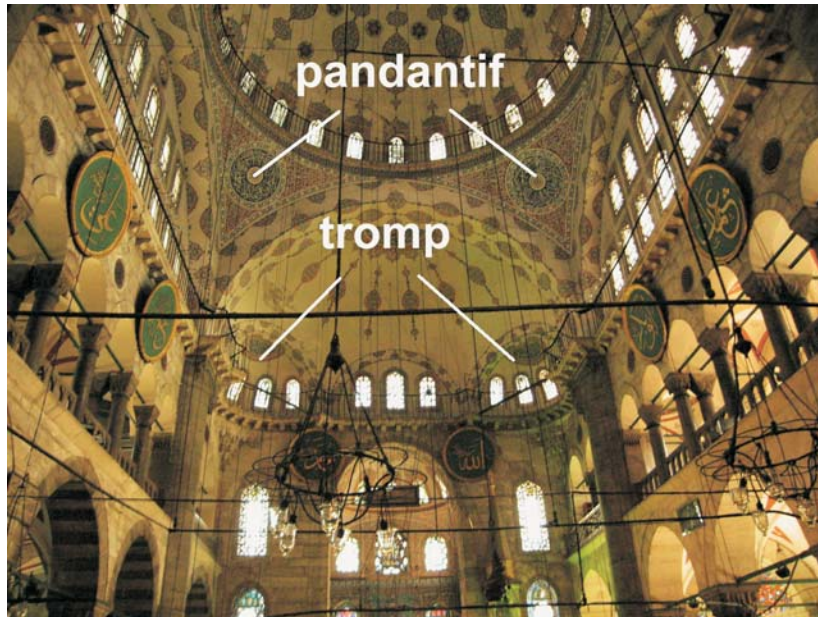
Yığma yapı elemanlarında ezilme, basınç türü gerilme yığılması ya da yapı elemanlarının aşırı zayıflığından oluşur.

### Kemer ve tonozlarda deformasyonlar.

Tarihi yapıların kemer ve tonozlarında kemer/tonoz eksenine ya da buna dik doğrultuda az ya da çok derz açılması görülebilir. Bu durum kemer/tonoz üzenğilerindeki itkinin zaman içinde azalmasından kaynaklanmaktadır, Şekil 5.

### Yığma duvarlarda oluşan dönmeler.

Çatlaklar gibi yığma duvarlardaki dönmeler de yapı taşıyıcı sisteminin hareketi yönünde açık ipuçları verir. Bunlar gerekiyorsa fotogrametrik yöntemlerle belirlenmelidir. Bu konuda unutulmaması gereken bir



Şekil 4. Pandantif ve Tromplar (Kılıç Ali Paşa Camisi).



(5a)



(5b)

**Şekil 5. (a) Tonozda Derz Ayrılmaları (Anavarza) (b) İtki Eksikliği Nedeniyle Tonozlarda Hasar (Antalya Kesik Minare)**

nokta da dönmenin bazen yapım hatasından kaynaklandığıdır.

#### Farklı oturmalar.

Genelde duvar düzlemi içinde oluşan eğik çatlaklarla kendini gösterir. Oturmanın hangi tarafa olduğu bu çatlağın doğrultusunun belirlenmesi ile saptanır.

#### Gergilerdeki hasarlar.

Demir gergilerdeki en yoğun bozulma biçimi gergide oluşan aşırı korozyondur. Gergiler dövme demirden yapıldığından bozulmanın yoğun olduğu bölgede katmanlar arasında açılmalar/çözülmeler gözlenmektedir. Yapıdaki hareketler sonucu gergilerde burkulma, **Şekil 6a,c**, ve kopma, **Şekil 6b,d**, sıkça izlenen

hasar biçimleridir. Ahşap gergilerde ise çoğunlukla çürüme, mantarlaşma gibi bozulmalar vardır.

#### Kubbe hasarları.

Kargir kubbelerde hasar genellikle çekme bölgesinde oluşmaktadır. Kubbe eteği bölgesindeki çekme kuvvetleri bu bölgede düşey çatlaklara neden olabilmektedir.

#### Ahşap çerçevelerin düğüm noktalarındaki bozulmalar.

Ahşap iskeletli yapılarda sıkça gözlenen bir hasar türüdür. Malzeme bozulması (çürüme, mantarlaşma) ya da birleşim elemanının bağlayıcı özelliğini yitirmesi sonucu düğüm noktası taşıyıcı özelliğini kaybedebilir.

#### Yapı taşıyıcı sistemi üzerinde yapılan çalışmalar.

Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan duvarların yapım sistemi ve mevcut durumu ile yapı taşıyıcı sistemi içindeki tüm metal ve ahşap elemanların durumu ayrıntılı olarak incelen-

melidir. Ulaşılmadığı için özellikleri belirlenemeyen bileşenler varsa tipik noktalarda yapıya zarar vermeden sondajlar yapılabilir. Volta döşeme kargir yapılardaki çelik döşeme kirişlerinin durumu, kesit kayıpları ve birleşim noktalarındaki bozulmalar belirlenmelidir.

Yapının rölövesine ek olarak hazırlanacak çizimlerde yapı taşıyıcı sistemi üzerinde belirlenen tüm bozulmalar ayrıntılı biçimde gösterilmelidir. Rölövede belirtilen tüm bilgilere ek olarak çatlak genişlikleri ve derinlikleri, düşeyden ve yataydan sapsular, görünür/gömülü metal/ahşap elemanlar ve yapı taşıyıcı sisteminin özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olacak her türlü bilgi verilmelidir.

Yapılacak gözlemlerin ana amacı, zaman içinde yapı taşıyıcı sisteminin ne şekilde çalıştığı ve ne şekilde zorlandığının olabildiğince doğru olarak anlaşılmasıdır.



(6a)



(6b)



(6c)



(6d)

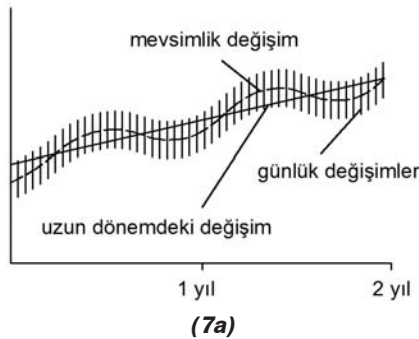
**Şekil 6. Demir Gergilerde Hasar Biçimleri (a) Burkulma (Edirne Sarayı Mutfakları) (b) Kopma (Edirne Sarayı Mutfakları) (c) Burkulma (Vasat Atik Ali Paşa Camisi) (d) Kopma (Hatice Turhan Valide Sultan Türbesi)**

## 4.2. Bozulmaların İzlenmesi, Malzeme ve Temel Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapının mevcut güvenlik düzeyinin yeterli olup olmadığına karar verebilmek amacıyla yapılacak hesaplamalar ile birlikte yapıda belirlenen bozulmaların izlenmesi, yapıda kullanılmış olan her tür malzemenin mekanik özellikleri ile temel zemini ve temel sisteminin tüm özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

### 4.2.1. Yapıdaki Önemli Hareketlerin Sürekli Kaydı

Yapıda çatlak oluşumu, o bölgedeki dayanımın sona ermesi ve yapıda serbest hareketin başlaması anlamına gelir. Çatlak oluşumundan sonra o bölgenin taşıdığı iç kuvvetler başka elemanlara aktarılmaktadır. Çatlaklar her zaman yapıda göçmeye neden olmaz. Önemli olan çatlağın zaman içinde gelişip yapının stabilitesini tehdit etmesidir. Böyle bir durumdan kuşkulanırsa çatlağın sürekli olarak izlenmesi gerekir. Çatlağın genişliği, yapıda hareketli yük ve sıcaklık değişimine bağlı olarak artıp eksilebilir. Burada önemli olan çatlak gelişiminin uzun zaman içindeki eğilimidir. Bu nedenle çatlak genişlikleri olanak varsa en az bir yıl boyunca belli aralıklarla ve günün belli saatlerinde ölçülmelidir. Çatlak genişliğinin uzun zaman içindeki değişiminden çatlağın sabit ya da gelişen çatlak olduğuna karar verilebilir, **Şekil 7**.



### 4.2.2. Malzeme Deneyleri

Yapı taşıyıcı sisteminin yapı mühendisliği bakımından değerlendirilmesinde birim ağırlık, basınç ve çekme dayanımları ile elastisite modülü gibi mekanik özelliklerin belirli olması gerekir. Duvarların dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesinde büyük numunelere gerek duyulabilir. Bu durumda benzer zamanda yapılmış ve tahrip olmuş elemanlar kullanılabilir ya da yerinde yıkıntısız deneylere başvurulabilir. Yıkıntısız deneyler, çekiç geri tepme endisi ölçümleri ya da ultrases ölçümleri şeklinde olabilir. Duvarlarda kayma dayanımının alt sınırı yapı üzerinde yapılacak deneylerle bulunabilir. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemenin belirlenmesi için mevcut duvarları oluşturan bileşenler üzerinde kimyasal deneylerin yapılması zorunludur. Bu amaç için alınacak olan numuneler oldukça küçük olup yapı güvenliği açısından sorun yaratmaz.

### 4.2.3. Temel Zemini ile İlgili Çalışmalar

Temel zemini ile ilgili yeterli bilgi bulunmaması durumunda temel zemininin yeterli sayıda gözlem çukurları ve sondajlar ile incelenmesi gerekir. Sondaj sayısı yapı alanı, derinliği ise temel genişliği ile orantılıdır. Kabaca 100 m<sup>2</sup> için bir sondaj yapılması, sondaj derinliğinin temel altında en az 5m olacak şekilde seçilmesi uygundur.

Temel zeminini oluşturan her tabaka için yapılacak laboratuvar deneylerinde dane büyüklükleri, birim hacim ağırlıkları, su muhtevası ve boşluk oranı gibi büyüklüklerin belirlenmesi gerekir. Belirsizlik durumunda standart penetrasyon, taşıma gücü ve gerekli diğer ölçümlerin yapılması yararlı olacaktır. Tarihi yapılarda zemin sorunları genelde yapının inşa edilmesinden hemen ya da bir süre sonra ortaya çıkmaktadır. Yapıda ve çevrede önemli ve ani bir değişiklik olmaksızın yıllarca yerinde durmuş bir yapının temel zemininde son yıllarda bir sorun çıkması olasılığı yoktur. Bu tür yapılarda olası oturmalar yıllar önce tamamlanmış durumdadır.

### 4.2.4. Yapının Dinamik Özellikleri

Yapının deprem yükleri altındaki davranışını belirlemek amacıyla elastik titreşim periyotlarının, sönüm oranının ve mod şekillerinin belirli olması gerekir. Bu büyüklüklerin yapıya zarar vermeden, mikro titreşim yöntemi ile belirlenmesi olanaklı olduğu gibi deneysel olarak elde edilen mekanik özellikler yardımıyla sayısal olarak da belirlenebilir.

## 5. YAPI GÜVENLİĞİNİN İRDELENMESİ

Bu aşamada yapılacak iş önce yapının mevcut güvenlik düzeyini yapının mevcut şekliyle modelleyip belirlemek ve onarım/güçlendirme gerek-



**Şekil 7. (a) Çatlak Genişliği Değişimi (b) Kapı Üstü Lentosunda Çatlak Genişliği Ölçümü (Efes Tiyatrosu) (c) Çatlak Genişliği Ölçüm Cetveli**

sinimi olup olmadığını saptamaktır. Daha sonra yapılacak hesaplamada yapıyı onarıldığı/güçlendirildiği şekilde modellemek gerekir, [2,3,4,5]. Her iki değerlendirmede de kullanılacak yöntem aynı olabilir.

## 6. TARİHİ YAPILARDA ONARIM ve GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

### 6.1. Acil Müdahale Yöntemleri

Herhangi bir tarihi yapıda aşırı yüklenme, deprem vb nedenlerle bir bozulma var ve yapıda tümsel ya da yerel stabilite bozukluğu ya da göçme riski varsa geçici acil müdahale yapılması kaçınılmazdır. Burada dikkat edilecek nokta, geçici müdahalenin sürekli müdahaleye dönüşme riskinin yüksek olması nedeniyle müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Geçici acil müdahale yöntemleri yapının askıya alınması, **Şekil 8**, bezemelerin korunması ve kısmi yıkım şeklinde sıralanabilir. Kısmi yıkım, yapıda önemli hasar oluşturan bir yükmeden yapının stabilitesini korumak için alınması gereken başka hiç bir yöntem bulunmaması durumunda uygulanmalıdır.

### 6.2. Yapının Onarımı ve Yeniden Yapımı için Kısmi Söküm

Yapının bir bölümü gerekli numarama yapılarak sökülüp yeniden inşa edilebilir. Genellikle anıt türü yapılarda uygulanan bu yöntemin yukarıda açıklanan “Kısmi Yıkım” ile karıştırılmaması gerekir.

### 6.3. Onarım/Güçlendirme Malzemeleri

Tarihi yapıların onarımında/güçlendirilmesinde yapının özgün malzemesine ek olarak, yüksek dayanımlı çelik, paslanmaz çelik, epoksi reçinesi, değişik özellikte çimentolar, GFRP, CFRP gibi kullanılacak pek çok malzeme bulunmaktadır. Venedik Tüzüğü’ne göre yapımda bu tür malzemenin kullanılabilmesi için geleneksel malzemenin yeterli/uygunsuz olduğunun gösterilmesi şarttır. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak her tür malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yapıda mevcut olan malzeme ile uzun zaman içinde uyum sorunu yaratmayacak ve geri dönüşümü olabilecek özellikte olması gerekir.

### 6.4. Bölgesel Onarım

Bölgesel onarım bölgesel/yerel çatlakların ya da bozulmaların onarımı olup yapının toplam güçlendirilmesinde olumlu katkısı olduğu açıktır. Yığma duvarlardaki çatlakların onarımı ile tonozlarda ve kubbe eteğindeki radyal çatlakların onarımında gerek duyulur. Çatlakların onarım yöntemi çatlak genişliğine ve çatlakların yerine bağlı olarak değişir. Çatlak yanakları arasında çekme gerilmesi taşınması isteniyorsa arada çelik ya da FRP donatı kullanılması gerekebilir. Tarihi yapılarda çatlağın iki yanağı arasına tuğla ya da taş bloklar yerleştirildikten sonra boşluğun uygun bir harç enjeksiyonu ile doldurulması yeterlidir. İnce çatlakların ve kalın duvarlardaki çatlak ve boşlukların onarımında en uygun yöntem boşluğa duvarda kullanılan özgün malzemeye benzer özellikteki bir harcın enjekte edilmesidir, **Şekil 9**. Bazı elemanların yenilenmesi yerine mevcutlarının onarılması isteniyorsa birleşim yerine paslanmaz çelik ya da titanyum filizler ekilir, filizlerin diğer kısımları diğer parçadaki deliklere



(8a)

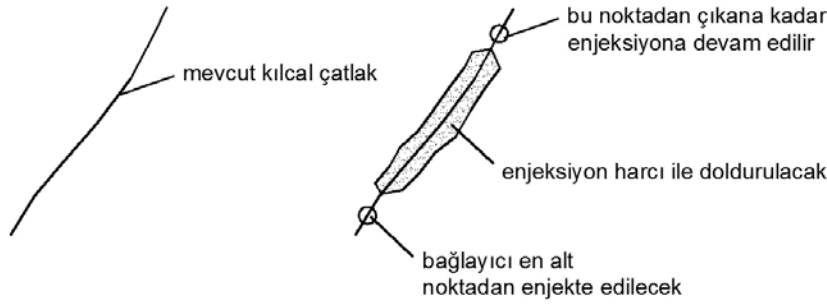


(8b)



(8c)

**Şekil 8. (a), (b), (c) Geçici Acil Müdahale (Mihrimah Sultan Camisi)**



**Şekil 9. Çatlakların Enjeksiyon Yöntemi ile Onarımı**

epoksi reçinesi türü bir malzeme ile yapıştırılabilir, **Şekil 10.**

Ahşap elemanların onarımı en kolay işlemlerden biridir. Yeni ve eski ahşap, ahşap yapı elemanlarının birleştirilmesi yöntemleri ile birleştirilebilir. İstenirse birleşim yerlerinde metal elemanlar da kullanılabilir, **Şekil 11a,b,c.**

### 6.5. Bölgesel Güçlendirme

#### Duvarlar/Sütunlar

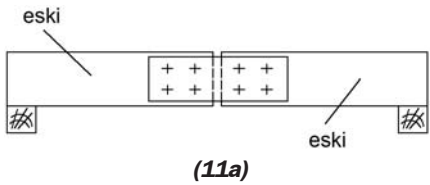
Bölgesel ve toplam güçlendirme arasındaki fark, bölgesel güçlendirmede güçlendirilenin yalnızca bir bileşen oluşudur. Elemanın güçlendirilmesinin yapının toplam güçlendirilmesi üzerinde de olumlu katkısı

vardır. Çatlak genişliğinin 10mm'den büyük olduğu ya da duvarı oluşturan taş ya da tuğlaların düşmüş olması durumunda, çatlakların onarımında uygulanan enjeksiyon yöntemi çekme gerilmelerini alacak elemanlarla birlikte yapılır. Bu amaçla çatlakla bitişik taş ya da tuğlalar çıkarılır ve dikiş elemanları ya da çelik bağlantı elemanları yerleştirilir, taş ya da tuğla duvarın boşlukları, uygun bir karışımla düşük basınç altında doldurulur, **Şekil 12.** Bu yöntem duvarın diğer yüzünde de uygulanmalıdır. Enjeksiyon bitince yapılan işin ne düzeyde gerçekleştiği değişik kotlardan alınan numuneler üzerinde yapılacak gözlemlerle kontrol edilmelidir. Yapılan yetersiz ise enjeksiyon tekrarlanmalıdır.



**Şekil 10. Sütun Eki (Side Apollon Tapınağı)**

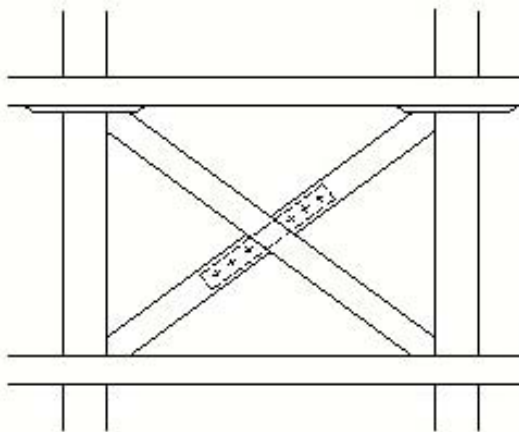
Bazı durumlarda çatlakta enjeksiyon uygulaması yapılsa bile duvarlar güvenli gerilme iletimine izin veremeyebilir. Bu durumda mevcut çatlak boyunca düşey hatlı oluşturulması yararlı olabilir. Önemli şekilde hasar görmüş duvarların bir ya da iki yüzüne hasır donatı yerleştirildikten sonra yapılacak püskürtme beton uygulaması ile istenilen dayanım elde edilebilir, **Şekil 13.** Genellikle yeni yığma yapılarda uygulanan bu yöntem çok seyrek olsa da eski yapılarda bezeme olmayan duvarlarda uygulanabilir. Burada dikkat edilecek nokta bir eski yapıda tüm yığma



(11a)



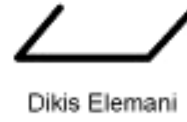
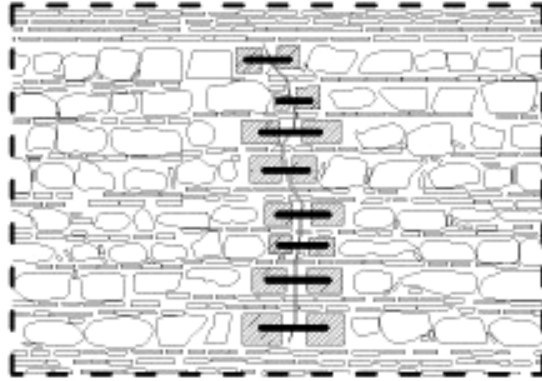
(11b)



(11c)



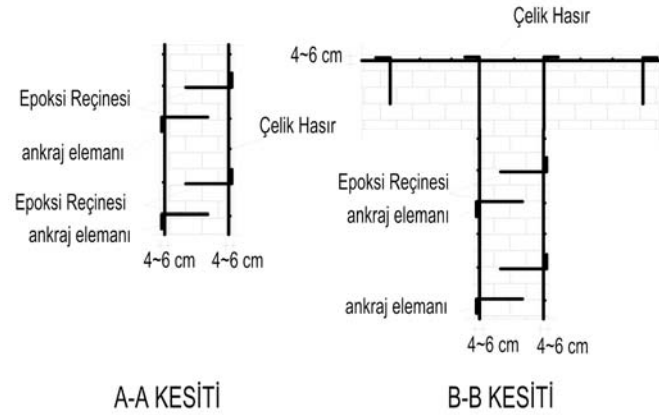
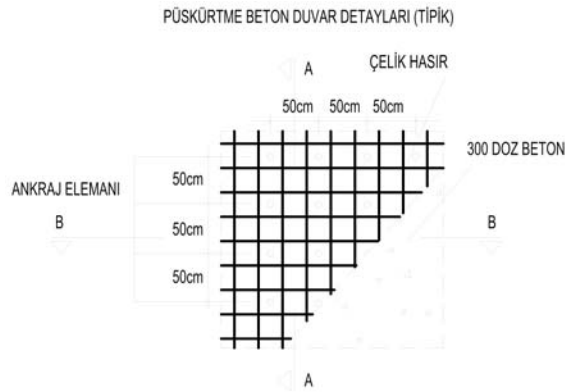
**Şekil 11. (a), (b) Ahşap Kiriş Eki (Şişli Birkökler Vakfı Konağı) (c) Stabilité Çaprazı (Şişli Birkökler Vakfı Konağı)**



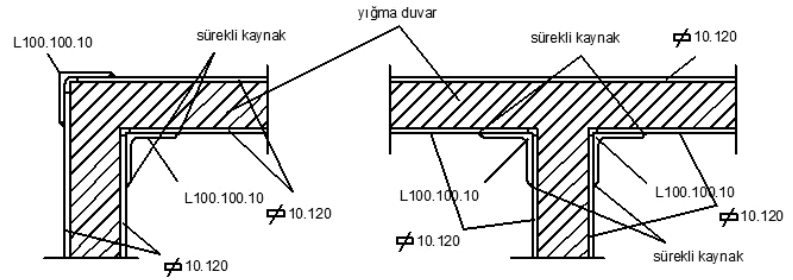
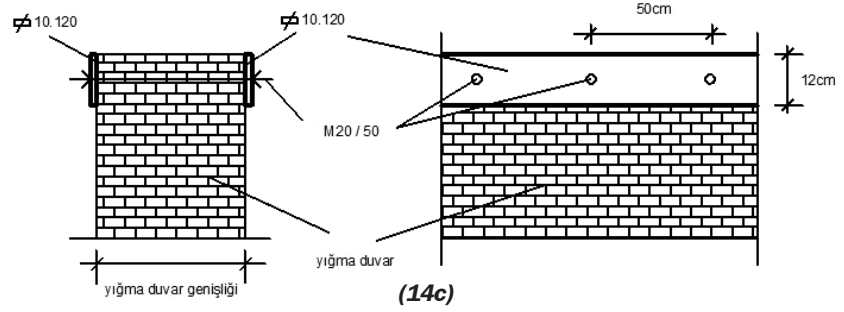
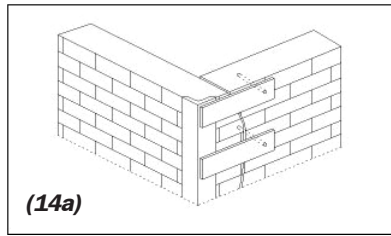
Şekil 12. Geniş Duvar Çatlaklarında Dikiş ile Onarım

duvar yüzlerinin bu şekilde güçlendirilmesi durumunda elde edilen yapının artık eski eser sınıfına girmeyeceğinin bilinmesidir. Yapılabilecek olan, bu uygulamanın yeterli/minimum duvar alanında yapılmasıdır.

Köşelerinden ayrılmış duvarlar, üst kotlarında düzenlenecek betonarme/çelik hatıl ile ya da metal elemanlarla birleştirilebilir, Şekil 14a, b,c,d. Hatıl çekme elemanı oldu-



Şekil 13. Püskürtme Beton Duvar Detayları (Sultan Abdülaziz Av Köşkü, İzmit)



(14d)

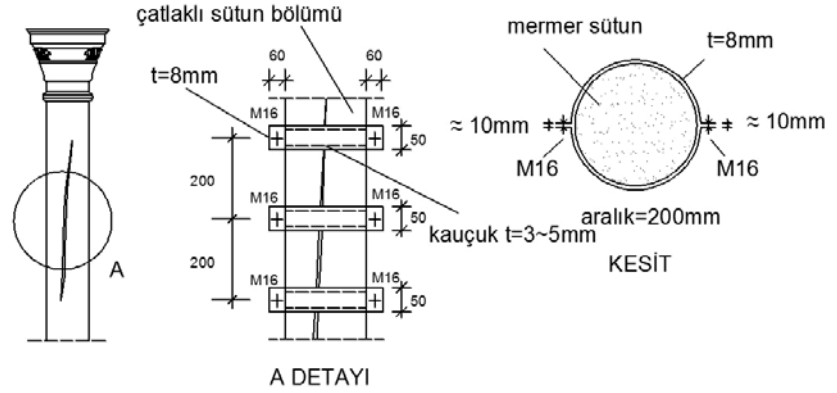
Şekil 14. (a), (b) Duvarların Köşelerinde Güçlendirme, Gergi Düzenlemesi (Su Kemer, Roma) (c) Çelik Hatıl Düzenlemesi (d) Hatılların Köşe Birleşimleri



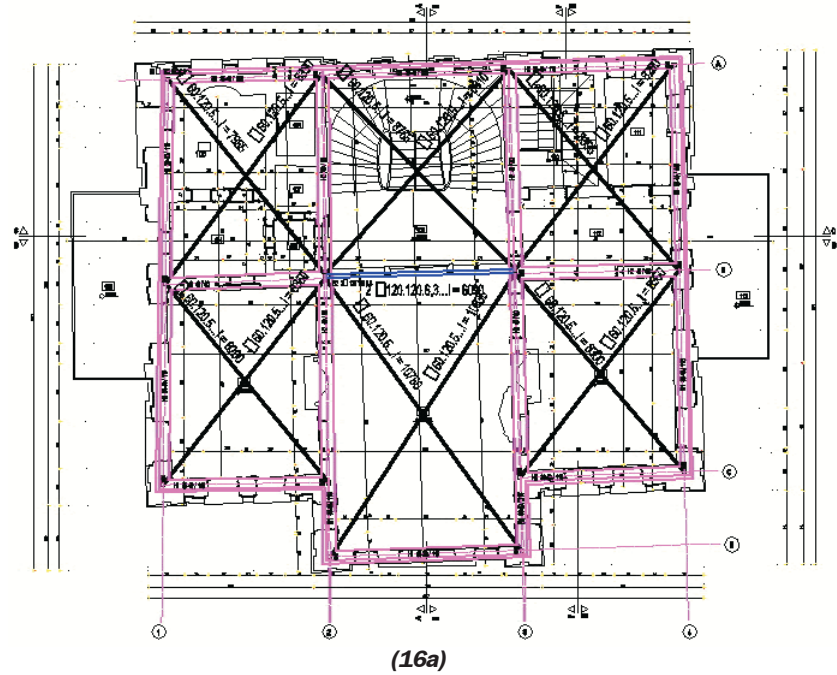
ğundan gerektiğinde FRP şeritler kullanılması da düşünülebilir.

Güçlendirilen duvarın rijitliği diğer bölümlerden daha fazla, permeabilitesi daha az olacağı için özellikle dış duvar yüzlerinde her zaman ince çatlak oluşumu ile karşılaşılır. Duvarın rijitliğinin bilinçsizce artırılması ileride oluşacak büyük yatay yüklerin bu elemanlar tarafından karşılanması sonucu bu elemanlarda hasar yığılmasına neden olabilir. Bu tür güçlendirmenin tarihi değeri göreceli olarak daha az yeni yapıların iç duvarlarında ve ölçülü biçimde uygulanması önerilir. Bu uygulamada önce duvar yüzü/yüzleri toz ve diğer gevşek/niteliksiz parçalardan temizlenmeli, hasır donatı uygun elemanlar ile duvara ya da diğer yüzdeki donatıya bağlanmalı, daha sonra yüzey püskürtme beton ile kaplanmalıdır. Beton tabakasının kalınlığı duvarın durumuna göre 30mm ile 80mm arasında seçilebilir.

Tek başına duran sütunların ya da yığma yapıların öngerilme verilerek güçlendirilmesi de mümkün olmakla birlikte uygulama her zaman pek kolay olamamaktadır. Sütunlara çember donatı ile dıştan öngerilme verilmesi de elemanın güvenliğini arttıran bir önlemdir. Üzerinde kes-



Şekil 15. Sütunlarda Çatlak Onarımı



(16b)



(16c)

Şekil 16. (a) Çelik Çaprazlar ile Döşemenin Rijitleştirilmesi (Sultan Abdülaziz Av Köşkü, İzmit) (b) (c) Çapraz Eleman Detayları (Sultan Abdülaziz Av Köşkü, İzmit)

me çatlakları bulunan sütunlar çoğu zaman geçmişte bu şekilde onarılmış olup, günümüzde de onarılmaktadır, **Şekil 15.**

### Döşemeler

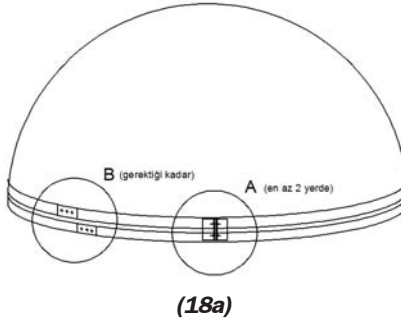
Diyafram etkisi ile yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlara rijitliği ile orantılı olarak dağıtan döşemeler, rijitliğin yetersiz kaldığı durumlarda güçlendirilebilir. Tarihi yapılarda çatı düzeyinde yapılacak uygun donatılı betonarme/çelik hatıllar yapının davranışını olumlu yönde etkiler. Betonarme hatıllar arasında düzenlenecek yatay çelik kafes sistemler, betonarme döşemelerin sağladığı rijitliği yapıya ek deprem yükleri getirecek şekilde sağlayabilir, [4,6], **Şekil 16a,b,c.**

### Kemerler, Tonozlar

Bu tür elemanlarda farklı yüklemelerden çeşitli kesitlerde çatlayarak mafsallı oluşumu, mesnetlerde ezilme/parçalanma şeklinde görülen hasarların ana nedeni mesnet itkilerinde azalma ve bileşik eğilme (M+N) etkisidir. Güçlendirmede yapılacak iş ezilen, düşen, yerdeğiştiren elemanların yenileri ile değiştirilmesi, çatlakların nispeten daha zayıf bir harçla basınç altında doldurulması, gergilerin gerilme alacak biçimde düzenlenmesi ve mesnet noktalarının sabitlenmesi şeklinde özetlenebilir, **Şekil 17.**



**Şekil 17. Kemerlerde Gergi Düzenlemesi ve Mesnetlerin Sabitlenmesi (Roma Forumu'nda Yapı)**



(18a)



(18b)



(18c)

**Şekil 18. (a) Kubbe Eteğinde Çekme Çemberi Düzenlemesi (b) (c) Çekme Çemberi Detayları (Ahi Çelebi Camisi)**

### Kubbeler

Bu tür elemanlarda görülen tipik hasar kubbe eteğinde oluşan çekme gerilmelerinin taşınamaması sonucu oluşan radyal çatlaklardır. Bu tür çatlakların daha da açılmasını önlemek için alınacak en iyi önlem etek civarında bir çekme

çemberi oluşturmaktır, [7], **Şekil 18.** Çekme çemberinde kullanılacak olan çeliğin paslanmaz çelik olması, aksi hallerde zaman içinde korozyon bakımı yapılması ya da çemberin bir beton kesit içine alınması uygun olacaktır. Henüz hasar oluşmamış kubbe eteklerinde çekme çemberinde FRP'de kullanılabilir.

## 6.6. Üst Yapının Toptan Güçlendirilmesi

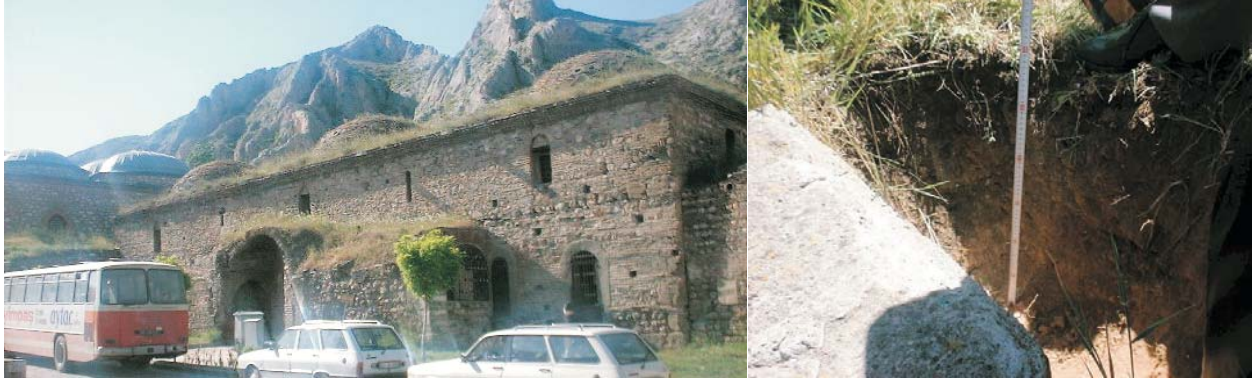
Yapıda eleman bazında yapılan güçlendirmelerin tümü yapı taşıyıcı sisteminin toplam dayanımının artmasına neden olacaktır. Yapıların toptan güçlendirilmesinde yapılan en basit hata, yağma yapılarda sistemin içine betonarme ya da çelik bir iskelet sistem sokmak, böylece yapının dolgu duvarlı iskelet sistem ya da kompozit bir yapı olarak çalıştığını varsaymaktır. Bu, yapıda yoğun estetik kaybına neden olmaktan öteye geriye dönüşü olmayan bir müdahale türü olması nedeniyle kesinlikle istenilmeyen bir durumdur. Dahası, elde edilen kompozit sistemin ne şekilde davranacağını kestirmek de genellikle güçtür. Yapıların toptan güçlendirilmesinde uygulanabilecek yöntemler şu şekilde sıralanabilir.

### 6.6.1. Yapı Üzerinden Fazla Ağırlığın Kaldırılması

Özellikle üst kottarda tonozların ya da toprak damlar üzerindeki fazla ağırlığın kaldırılması ve gerekiyorsa hafif malzeme konulması yapı taşıyıcı sisteminin deprem yükleri altındaki davranışını olumlu yönde etkileyecektir, **Şekil 19a,b.**

### 6.6.2. Kütle ve Rijitliğin Yapı İçindeki Dağılımının Dengelenmesi

Tarihi yapılarda rijitlik ve kütle dağılımı genelde oldukça düzgündür. Zaman içinde yapılan düzenlemeler ve eklemelerle yapının bu özelliği bozulabilir. Bu durumda yapıyı eski formuna sokarak ya da gerekli yer-



(19a)

(19b)

**Şekil 19. (a) Ağır Çatı (Arastalı Bedesten, Tokat) (b) Çatıda Toprak Dolgu (Arastalı Bedesten, Tokat)**

lerde derz oluşturarak burulma düzensizliği azaltılabilir.

### 6.6.3. Yapı ve Eklentileri Arasındaki Etkileşimin İyileştirilmesi

Cami, kilise türü masif kütleli yapıların çevresinde yapı ile etkileşimi zayıf, bir cephesi ana yapı diğer cephesi kolon sırasından oluşan eklentiler olabilir. Bu durumda iki farklı kütleli davranışı farklı olacağından hasar yığılması beklenebilir. Yapımı genellikle mümkün olmakla birlikte arada derz oluşturmak en sağlıklı yol olarak görülmektedir.

### 6.6.4. Hal Tipi Yiğma Yapıların Güçlendirilmesi

Genellikle dört cephe duvarı ve ahşap ya da perçinli çelik çatı makaslarından oluşan bu tip yapıların güçlendirilmesinde izlenecek yol, enine doğrultudaki kısa cephe duvarlarının güçlendirilmesi, boyuna doğrultudaki cephe duvarlarının stabilitesinin artırılması ve boyuna duvarların kafes çatı makaslarının alt elemanları ile birbirine bağlanması şeklinde özetlenebilir.

### 6.6.5. Çok Katlı Yapılarda Yapısal Etkileşimin Artırılması

Şehir merkezindeki tarihi çok katlı yiğma yapıların deprem yükleri altındaki davranışını iyileştirmek için ilk yapılacak iş taşıyıcı duvarların daya-

nım ve süneklik düzeyini arttırmak, daha sonra deprem yüklerini taşıyıcı duvarlara rijitlikleri ile orantılı şekilde dağıtabilecek döşeme düzenlemelerini gerçekleştirmektir. Döşemelerin güçlendirilmesi daha önceki bölümde açıklanmıştı. Buna ek ya da paralel olarak duvarları birbirine döşeme düzeyinde bağlayan gergiler düzenlemek de yapının davranışını olumlu yönde etkileyecektir.

### 6.6.6. Kemer/Tonoz ve Kubbe Arasındaki Etkileşimin Artırılması

Tonoz ve kubbelerin alt yapı ile bağlantısı çoğunlukla yeterli değildir. Bu elemanlar arasında etkileşimi arttırmanın en uygun yolu üzengi/mesnet/etek kotunda gergiler düzenlenmesi, mevcut ve yeterliliğini yitirmiş olanların yenilenmesi ve gereken yerlerde payandalar düzenlenmesidir.

### 6.6.7. Diğer Güçlendirme Yöntemleri, Sismik Yalıtım

Sismik yalıtımın temel ilkesi, yapıların ve kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak, yapı rijitliklerini bir noktada azaltarak periyotlarının uzatılması, sönüm oranlarının artırılması ve böylece yapılara depremde daha az yük etkimesinin sağlanması şeklinde özetlenebilir. Sismik yalıtım, depreme karşı yeterli dayanımı olmayan anıtsal değeri olan tarihi yapılarda ve kullanımında hiçbir aksamanın

olmaması gereken yapılarda kullanılmaktadır.

### 6.6.8. Temel Sisteminin Güçlendirilmesi

Bu amaçla yapılacak iş, gerekiyorsa temel zeminin ve temel sisteminin güçlendirilmesidir. Tarihi yapılarda temel zemini uzun zamandır aynı yapının altında bulunduğundan kohezyonlu zeminlerde oturumların sona ermiş olması beklenir. Sıvılaşma riski olan zeminlerde bunun önlenmesi gerekir. Yeraltı su seviyesi drenaj ile mümkünse temel altı kotunun bir kaç metre altına indirilmelidir. Bunun yapılması sırasında yapıda farklı oturmalar oluşmaması konusunda aşırı titizlik gösterilmelidir. Temel sisteminin güçlendirilmesinde temel genişliğinin arttırılması, yapının yüklerinin uygun bir sistemle daha derindeki sağlam tabakalara iletilmesi düşünülebilir.

## 7. SONUÇ

Tarihi yapılara yapılacak yapısal müdahalenin özenle hazırlanmış bir restorasyon projesi kapsamında olması gerekmektedir. Bu yazı kapsamında taşıyıcı bileşenler, hasar türleri ve değişik onarım ve güçlendirme önerileri gerçek yapı örnekleri yardımıyla incelenmiştir. Yapısal müdahalenin minimum düzeyde tutulması üzerinde durulmuş, onarım ve güçlendirmede kullanılan yön-

temlerin etkinliği tartışılmıştır. Bu tür yapılar için verilen mühendislik hizmetinin, tasarım ömrü daha az olan günümüz yapılarının tasarım ölçütleri ile sınırlandırılmayacağı, düşey ve yatay yükler altında beklenen performans düzeylerinin daha farklı olacağı belirtilmiştir. Kültür varlığı değerlerine saygılı, doğru / etkin bir sonuca ulaşmak için çok disiplinli bir çalışmanın gereği açıktır.

#### KAYNAKLAR

[1] **Penelis, G., Venkov, V., Zambas, C., Csak, B., Popp, T., and Kuban, D.**, Repair and Strengthening of Historical Monuments and Buildings in Urban

Nuclei, *Building Construction under Seismic Conditions in the Balkan Region*, Vienna, 1984.

[2] **Drysdale, G.R., Hamid, A.A., Baker, L.R.**, *Masonry Structures*, Prentice Hall, 1994.

[3] **Çılı, F.**, Yığma Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 1978, No: 22, 7-25

[4] **Çılı, F.**, Restoration of Royal Hunting Mansion Damaged in 1999 Kocaeli Earthquake, Seminar-Earthquake Protection in Historical Buildings, Kotor, 16-18.09.2005.

[5] **Yorulmaz, M., Dabija, F., Dabija, E., Dulacska, E., and Vintzeleou, E.**, Design and Construction of Stone and Brick –

Masonry Buildings, *Building Construction under Seismic Conditions in the Balkan Region*, Vienna, 1984.

[6] **Çelik, O.C., Sesigür, H. Çılı, F.**, Turkish Experience on Seismic Retrofit of Buildings Using Steel Members, National Symposium on Steel, Timber and Composite Structures, 18-19 May, Sofia, 2006. (CD-ROM, *davetli*).

[7] **Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F.**, Repair and Strengthening of Ancient Structures in Seismic Areas, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 03-08.09.2006. (CD-ROM, Paper No: 1387)

#### RESMİ GAZETEDEN...

|  |            | Tarih      | Sayı  |
|--|------------|------------|-------|
| Yapı Ruhsatı ve Yapı Kullanma İzin Belgesi Kullanılmasına İlişkin Mecburi Standard Tebliği   | Tebliğ     | 30.01.2007 | 26419 |
| Asansör Yönetmeliği (95/16AT)  | Yönetmelik | 31.01.2007 | 26420 |
| Alt Yapılar İçin Afet Yönetmeliği  | Yönetmelik | 15.02.2007 | 26435 |
| Konut Finansmanı Sistemine İlişkin Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun  | Kanun      | 06.03.2007 | 26454 |
| Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2007 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ   | Tebliğ     | 10.03.2007 | 26458 |
| Yapı, Tesis ve Onarım İşleri İhalelerinde Kullanılan Müteahhitlik Karneleri ve İş Bitirme Belgelerinin 2007 Yılına Ait Değerlendirme Katsayıları Hakkında Tebliğ   | Tebliğ     | 10.03.2007 | 26458 |
| Gecekondu Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun No: 5609 Kabul Tarihi: 22 Mart 2007)  | Kanun      | 28.03.2007 | 26476 |
| Mecburi Standardın Yürürlükten Kaldırılmasına Dair Tebliğ ( <i>Değişik tarihlerde mecburi yürürlüğe konulmuş bulunan yapılarla ilgili bazı standartlar 19/1/2007 tarihi itibarıyla mecburi yürürlükten kaldırılmıştır.</i> ) | Tebliğ     | 15.03.2007 | 26463 |
| İskan Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun No: 5608 Kabul Tarihi: 21 Mart 2007)  | Kanun      | 28.03.2007 | 26476 |
| Toplu Konut Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun No: 5610 Kabul Tarihi: 22 Mart 2007)  | Kanun      | 06.04.2007 | 26485 |

Ayrıntılı Bilgi: [www.imoistanbul.org.tr](http://www.imoistanbul.org.tr)