
II. Gün

Korumacılıkta Teknik Müdahaleler

I. Oturum

Oturum Başkanı: **Prof. Dr. Can M. HERSEK** - *Gazi Üniv.*

Yapısal Güçlendirme

Eski Eserlerde, Yığma Duvarların, Kubbelerin, Tonozların ve Temellerin Enjeksiyon Reçineleri ve Ankraj Sistemleriyle Güçlendirilmesi

M. EMİN KASAPGİL

İNŞ.Y.MÜH.

TEKSTAR YALITIM VE YAPI KİMYASALLARI LTD. ŞTİ.

Sur, kule, minare, kale, kubbe, tonoz vb. yığma yapıların onarılması ve güçlendirilmesi, bu yapılardaki temel takviyesi ve zemin stabilizasyonu, temelin altını boşaltan su vb. sızıntıların ve kaçakların durdurulması, parçalanmış ve deforme olmuş taş, kaya vb. kütlelerin stabilizasyonu ve sağlamlaştırılması için en uygun ve doğru çözüm kimyasal enjeksiyon ve ankraj sistemleridir.

Bu sistemler; Vakıflar Genel Müdürlüğünün tarihi eser güçlendirme ve onarım çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır. Adana Ulucami Minaresi, Aksaray Ulucami Minaresi, Mevlevihane (Gelibolu) İzzetpaşa Camisi (Safranbolu) örnek çalışmalardır.

Tarihi yığma yapıların taş, tuğla vb. kubbe, tonoz, duvar ve temel elemanları arasında deprem yanal etkileri ve/veya hava şartları nedeniyle meydana gelen yarık, açıklık ve boşluklar taşların birbirine "yük" aktarmasını önlemektedir. Duvar ve temel elemanları birbirine yük aktarmayan yapılar yanal yüklere karşı tamamen "desteksiz" kalmaktadır. Ayrıca taşların arasına daha çok giren yağmur ve zemin suyu vb. özellikle kış aylarında donma ve çözülme süreçlerinde duvar ve temel elemanlarına daha çok tahribat yapmaktadır.

Diğer taraftan temele akan yağmur suları, yer altı veya zemin sularının temellerin altındaki zeminleri yıkarak boşaltmaları da yığma yapıların düşey stabilitelerini devam ettirmelerini önleyen en yaygın nedenlerden biridir.

Bu nedenle;

1. taş, tuğla vb. minare, kule, duvar, kolon, "fil ayağı", tonoz, kubbe ve temel elemanları arasındaki boşluklara, çatlaklara ve yarıklara uygun kimyasal reçinelerin enjeksiyonu yapılmakta,
2. taş ve tuğla elemanları birbirine titreşimleri alan esnek ankraj sistemleriyle ankre edilmekte ve;
3. temel taşları arasındaki boşluklar ve temel altındaki boşluklar ve zayıf bölgeler poliüretan ve silikat esaslı enjeksiyon reçineleri ile doldurulmaktadır.

Bu amaçla uygun olarak nitelendirilen enjeksiyon reçineleri CarboPur S ve CarboPur WF reçineleri; uygun ankraj sistemi ise SIS/LOKSET ankraj sistemleridir. Ankraj olarak, transmissiyon milleri, nervürlü donatı çubukları, paslanmaz veya galvanizlenmiş tijler kullanılmaktadır.

1. Enjeksiyon Reçinelerinin Genel Özellikleri ve Avantajları

• Basınç, Çekme ve Yapışma Dayanımları

CarboTech Minova enjeksiyon reçinelerinin basınç dayanımları 16-85 N/mm², çekme dayanımları ise 16-75 N/mm² arasında değişmektedir. CarboTech Minova enjeksiyon reçineleri ile yapışma bağ dayanımı 6 N/mm² (60 kg/cm²) ye çıkmaktadır. Reçinelerin ıslak betona yapışması betonun çekme mukavemetinden fazladır.

• Düşük viskozite ve Oto Enjeksiyon Etkisi

CarboTechMinova enjeksiyon reçineleri 0,1 mm genişlikteki dar çatlak ve yarıkların içine bile hiçbir güçlükle karşılaşmadan girer. CarboTech Minova enjeksiyon reçineleri, köpüklenme reaksiyonunun oluşturduğu basınç etkisi ile bütün komşu çatlaklara girmektedir.

• Plastik ve elastik özellik

CarboTechMinova enjeksiyon reçineleri kısmen plastik ve elastik özelliktedir. Malzemede aşırı yüklemelerde bile ani kırılma ve parçalanmalar oluşmaz.

• Duraylılık

CarboTechMinova enjeksiyon reçineleri sülfatlar, asitler, alkali çözeltiler ve mikro organizmaların olumsuz etkilerine karşı duraylıdır, etkilenmez ve çözülmez.

• Çevre Dostu

CarboTechMinova enjeksiyon reçineleri kloro-floro karbonlar içermez.

Carbotech Minova enjeksiyon reçineleri, sulu ortamda bile hızlı priz alan, basınç ve kesme mukavemetleri yüksek, taş, toprak vb. yapı malzemelerine yapışması mükemmel, priz aldıktan sonra da esnek olarak kalabildiği için deprem sarsıntıları vb. nedenlerle hasara uğramış yapıların onarılması ve takviyesi amacıyla kullanılmaktadır.

Söz konusu 2 komponentli poliüretan esaslı reçinelerin, uygulamadan kısa bir süre sonraki teknik performansları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Reçine	Basınç Dayanımı Kg/cm ²	Yapışma Dayanımı Kg/cm ²	Kesme-Bük. Dayanımı (Kg/cm ²)	Deformasyon %	Viskosite mPa.s	E Mod. N/mm ²
CarboPur WF	Ortalama 100	20 (ıslak yüzey)	Min. 113	2,1-5,6	380	5000
CarboPur S	Ortalama 100	30 (ıslak yüzey)	113-449	5,6-5,8	700	3000

Tabloya dikkat edildiğinde reçinelerin yapışma, basınç ve kesme-eğilme-bükülme dayanımlarının çok yüksek olduğu görülecektir. Söz konusu reçinelerin reaksiyona girme süresi 30-180 sn arasında değişmektedir. Carbopur WF susuz ortamda hacimsel olarak şişmez ve basınç dayanımları, birkaç dakika içinde 800 kg/cm² civarında olur. Carbopur S ise susuz ortamda da % 100-200 oranında şişer ve basınç dayanımı yine birkaç dakika içinde 100-300 kg/cm² civarında gerçekleşir. Yukarıdaki değerler en fazla 3 dakikalık priz sürelerine aittir.

Çift komponentli reçinelerin serbest ortamlarda (havayla direk temas gibi) şişme ve köpüklenme oranı 2-6 civarındadır. Ancak bunların beton ve zemin gibi ortamlardaki şişme oranları 1.0-2.5 arasındadır. Bu şişme oranları boşluğun yapısına, miktarına ve suya bağlıdır. Bu reçinelerin çekme, burulma ve basınç mukavemetleri tabloda görüldüğü üzere çok yüksektir. Enjeksiyon sistemlerinde yoğunlukları farklı olan reçineler değişik hacimlerde özel pompalarla otomatik olarak karıştırılır ve doğrudan taş, zemin, tuğla vb. yapı elemanları içine enjekte edilir. Enjeksiyon sisteminin başarısı sayesinde taş, tuğla vb. elemanlar ekstra basınç ve çekme gerilmelerine maruz bırakılmadan enjeksiyon işlemi başarılı olur. Bu sistemle en zayıf taş, tuğla vb. yapı elemanlarında bile çatlama meydana gelmemiştir.

2. Enjeksiyon Sistemleri

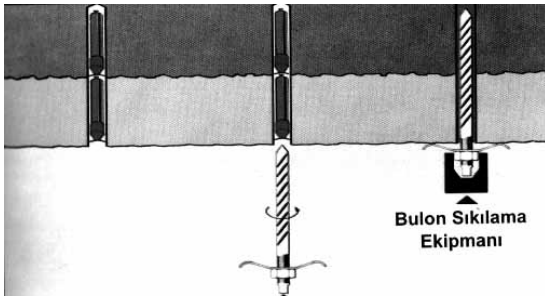
Enjeksiyonlar, taş, tuğla vb. elemanlarda veya zeminde ve betonda açılan enjeksiyon deliklerine monte edilen paker'ler yardımıyla yapılmaktadır. Enjeksiyon sisteminde 8-14 mm. çapında ve 15-120 cm. uzunluğunda delikler açılarak, bu deliklere monte edilen packer'ler yardımıyla, çatlak, boşluk veya suyun sızdığı bölgelere poliüretan reçinelerinin uygun basınçlarda enjekte edilmesidir.



Enjekte edilen reçine, sıcaklığa, suyun akışına bağlı olarak 30 ila 300 saniyede prizini alır ve katılaştır. Priz alan reçineler yığma duvarlardaki çatlak ve boşlukları, taş aralarını, ve temel altındaki zemin boşluklarını kalıcı olarak tamamen doldurur ve böylece yapılarda kesin bir stabilizasyon ve izolasyon sağlanmış olur.

3. Taşların Paslanmaz veya Galvanizli Tijler ile Ankrajı

Duvarı meydana getiren taşların birbirine yük aktaracak şekilde basması sağlandıktan sonra meydana gelen çekme ve çekme doğrultusundaki kesme gerilmelerini almak için taşlar galvanizli çelikten yapılmış nervürlü rodlar ile birbirine ankre edilir. Bunun için çatlak veya derz boyunca, taşlar projesine göre istenen yerlerde, çaplarda ve uzunluklarda delinir. Bu deliklere projeye göre gereken çaplarda ve uzunluklarda SIS-LOKSET kartuşları konularak blon ve saplamalar yavaş devirli matkaplarla şekildeki gibi sürülür. Bu şekilde taşların birbirine ankre edilmesi sağlanır.



SIS/LOKSET yapıştırma kartuşları blon vb. saplamaların ve dübellerin yapıştırılması için üretilmektedir. Reçine harcı ve sertleştirici, SIS yapıştırma tüpü içerisindeki iki ayrı bölmede yan yana bulunurlar. Saplamasının delik içine itilmesi sırasında iki bileşik birbirine karışmakta ve reçine harcı sertleşmektedir. SIS sistemi hızlı priz alarak kısa sürede yük taşıy hale gelir; örneğin 5 dakika içinde 60 N/mm^2 (600 kg/cm^2) basınç dayanımına ulaşır. Ankraj tijleri tamamen delik içinde kalır ve daha sonra delik yerleri onarılır ve imitasyon vb. yöntemle kapatılır.

Adana Ulucami Minaresi Güçlendirme Çalışması

[Yüklenici: Pekerler İnşaat Ltd. Şti. (İstanbul), 2003]

M. EMİN KASAPGİL

İNŞ.Y.MÜH.

TEKSTAR YALITIM VE YAPI KİMYASALLARI LTD. ŞTİ.

Sismik vb. nedenlerle hasara uğramış tarihi yapıların onarılması ve güçlendirilmesi amacıyla hızlı priz alan, basınç ve kesme mukavemetleri yüksek, taş vb. yapı malzemelerine yapışması mükemmel, priz aldıktan sonra da esnek olarak kalabilen kimyasal harçlar giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Deprem riskleri devam ettiği için onarım, takviye ve restorasyon çalışmalarında priz aldıktan sonra da elastik davranabilen, sismik yükleri alabilen malzemeler tercih edilmektedir.



Uygulamasını yaptığımız Minova CarboTech Enjeksiyon ve Ankraj Sistemleri ile, yukarıdaki amaçlara uygun olarak; Adana Ulucami Kulesindeki birbirinden ayrılmış ve kopmuş taşlar, birbirine tekrar bağlanmış; çatlaklar ve yarıklar, orijinal basınç mukavemetlerine yakın, priz aldıktan sonra da elastik kalabilen ve mevcut yapı malzemelerine (ıslak olsa bile) çok iyi yapışan reçinelerle doldurulmuştur.



Bu şekilde;

1. taşların genleşme nedeniyle daha fazla çatlaması,
2. çatlaklara su sızarak içindeki malzemeyi yıkaması ve çatlakları genişletmesi,
3. çatlaklardaki suyun donması halinde çatlakları daha çok açması,
4. taşın orijinal basınç mukavemetine yakın bir mukavemette takviye edilerek mukavemeti azaltacak kesit daralması ve
5. ana çatlak yakınındaki kılcal çatlakları baştan kapatarak bu çatlakların büyümesi

önlenmiştir. Tarihi eser uzmanlarınca, 2003 yılından bugüne kadar yapılan gözlemlerde uygulamaların başarılı sonuç verdiği ve uygulama hedeflerinin başarıyla yakalandığı rapor edilmektedir. Bu konuda öncelikle Vakıflar Genel Müdürlüğü ve Yüklenici, Pekerler İnşaat Ltd. Şirketindeki meslektaşlarımıza teşekkürü bir borç biliriz.

Kullanılan malzemelerin teknik özellikler özellikleri ve sistem 1. No'lu Bildiri'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu bildiriye amaçımız, uygulama ayrıntılarını örneklemektir.

1. Çatlak, Yarık ve Açılmış Derzlerin Doldurulması

1.1 Enjeksiyon Yöntemi

Enjeksiyonlarda çift komponentli enjeksiyon reçineleri kullanılmıştır.

Çift komponentli CarboPur WFA reçinesinin, hacimsel olarak 1:1 oranıyla pompa içinde karışan A ve B komponentleri vardır.

Çift komponentli reçine (CarboPur WFA), sağlamaştırma (konsolidasyon) ve durayllaştırma (stabilizasyon) işlerinde kullanılır.

1.2 Enjeksiyon Sistemi

Enjeksiyon sistemi; taş derzlerinde 14 mm. çapında ve 15-40 cm. uzunluğunda delikler açılarak, bu deliklere monte edilecek packer'lerden, çatlak, boşluk vb. bölgelere poliüretan reçinelerinin uygun basınçlarda enjekte edilmesidir. Enjekte edilen malzeme miktarı, çatlakların ve taşların içindeki boşlukların hacmine ve özelliğine göre değişmiştir.

Yapılan İşler:

1. Çatlakların temizlenmesi,
2. Çatlakların dağılmış siva vb. olan veya geniş yerlerinde geçici olarak kapatılması,
3. 10-20 cm. arayla ve 15-40 cm derinlikte 14 mm. çapında delik delinmesi,
4. Enjeksiyon packerlerinin çakılması,
5. Reçinelerin özel enjeksiyon pompaları ile enjekte edilmesi,
6. Packerlerin sökülmesi ve delik yerlerinin yüzeysel olarak onarılması



2. Kulenin Güçlendirilmesi

Kuledeki güçlendirme işleri, resimlerde görüldüğü üzere birbirinden ayrılmış taşların birbirine yük aktaracak şekilde yeniden uygun bir teknoloji ve detayla bağlanmasıdır.

2.1 Güçlendirme Yöntemi

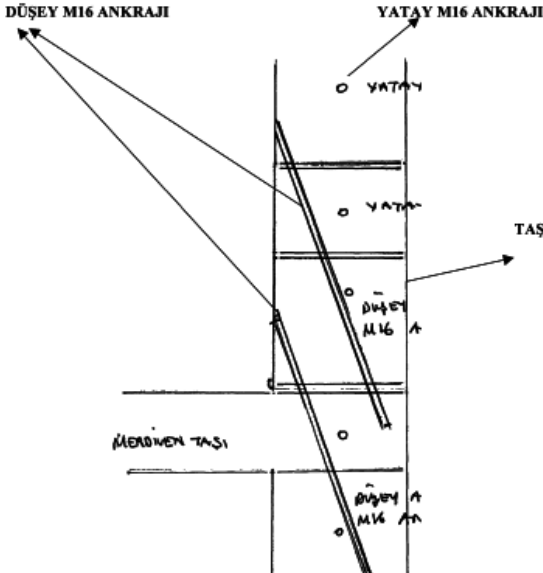
Güçlendirme işlemi,

- 1) taşlar arasında meydana gelen yarık, çatlak ve açılmış derz vb. boşlukların uygun malzeme ile doldurularak taşların birbirine yük aktaracak şekilde basmasının sağlanması,
- 2) çekme doğrultusundaki kesme gerilmelerini almak için aynı sıradaki taşların 16 mm çapındaki galvanizli tij demirleri ile birbirine ankre edilmesi

işlerinden oluşmuştur.



Taşların birbirine yük aktaracak şekilde basması sağlandıktan sonra meydana gelen çekme ve çekme doğrultusundaki kesme gerilmelerini almak için aynı sıradaki taşlar şekilde görüldüğü gibi 16-18 mm. çapında paslanmaz çelikten yapılmış nervürlü rodlar ile birbirine ankre edilmiştir. Bunun için taşların köşelerinden 70-100 cm derinlikte ve 20 mm. çapında delikler delinmiş ve bu deliklere Φ 16-18 mm. ankraj (tij) rodları 19x250 mm. SIS/LOKSET kartuşları ile monte edilmiştir.



2.2 Yapıştırma Kartuşları

SIS/LOKSET yapıştırma kartuşları blon vb. saplamların ve dübellerin yapıştırılması için üretilmektedir. Reçine harcı ve sertleştirici, SIS/LOKSET yapıştırma tüpü içerisinde iki ayrı bölmede yan yana bulunurlar. Saplamanın delik içine döndürülerek itilmesi sırasında iki bileşik birbirine karışmakta ve reçine harcı sertleşmektedir. SIS/LOKSET sistemi hızlı priz alarak kısa sürede yük taşıy hale gelir; örneğin 5 dakika içinde 60 N /mm² (600 kg/cm²) basınç dayanımına ulaşır.

SIS yapıştırma kartuşlarının;

basınç dayanımı > 80 N/mm²

eğilme dayanımı > 15 N/mm²

elastik modülü > 15 KN/mm²

Ankraj tijleri delikler içinde kalmıştır. Delik yerleri onarılmış ve imitasyon vb. yöntemle kapatılmıştır.



2.3. Ankraj Sistemi ve Yapılan İşler

Ankraj sistemi ve yerleri için röleve ve yerinde detay çalışması yapılarak ankraj yerleri ve adetleri belirlenmiş ve bu çalışma Vakıflar Genel Müdürlüğü kontrollerinca onaylandıktan sonra işe başlanmıştır.

- Çatlak, yarık ve açılmış ve/veya kaymış derzlerin mekanik olarak temizlenmesi,
- Çatlak, yarık ve açılmış ve/veya kaymış derzlere basınçlı hava tutulması,
- Çatlak, yarık ve açılmış ve/veya kaymış derzlerin grout ve reçine ile doldurulması,
- Gerekli çatlak ve derzlerde reçine enjeksiyonları,
- Taşların yanlardan onaylı detaylara göre Φ 20 mm. delinmesi,
- SIS kartuşlarının yerleştirilmesi,
- Φ 16-18 mm. galvaniz çelik tijlerin ankrajı,
- Delik yerlerinin onarımı ve imitasyonu.

FRP FIBRWRAP Kompozit Sistemleri İle Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi

M. EMİN KASAPGİL

İNŞ.Y.MÜH.

TEKSTAR YALITIM VE YAPI KİMYASALLARI LTD. ŞTİ.
FYFE FIBRWRAP TÜRKİYE TEMSİLCİSİ

FRP ve kompozit malzemelerin, bugüne kadar bütün dünyada 200 bin civarında yapısal elemanın güçlendirilmesinde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Tarihi eserlerin FRP malzemeleriyle güçlendirilmesi de giderek yaygınlaşmakta ve artmaktadır. Halen 150 kadar üniversite ve laboratuvarında bu konudaki projeler devam etmektedir. Üniversitelerimizdeki çalışmalar da yoğun bir şekilde devam etmektedir.

FRP Fibrwrap sistemleri; betonarme, yığma, çelik, ve ahşap yapıların ve yapı elemanlarının güçlendirilmesi amacıyla kullanılan hafif-fakat-çok yüksek dayanımlı, korozyona dayanıklı 40 civarında; cam, karbon ve aramid esaslı sargı (wrap), şerit (strip) ve ankraj sistemlerini ve özel yapıştırma epoksilerini içermektedir. Fibrwrap'ın en önemli avantajları; ASTM E-119'a göre yangına dayanıklı çözümler sunabilmesi ve su altında kullanılabilme özelliklerini içermesidir.

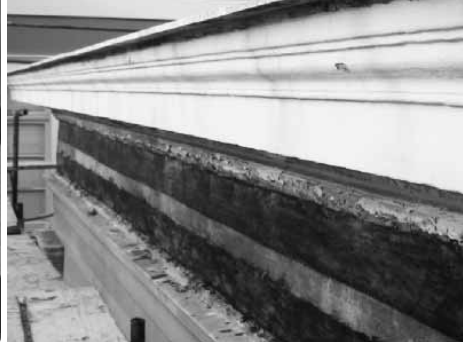
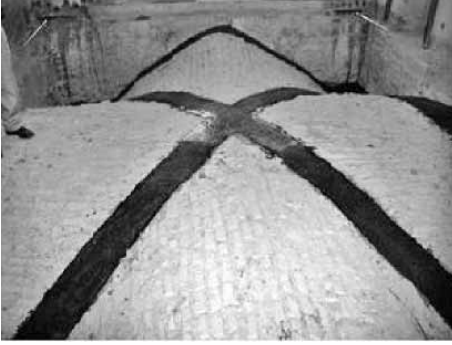
Ayrıca tarihi eserlerdeki dokuları kapatmadan şeffaf wrap uygulamaları ile taş vb. duvarların güçlendirilmesi mümkündür.

Fibrwrap sistemleri;

1. Betonarme, yığma, çelik, ve ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesi,
2. Betonarme, ve çelik siloların, bacaların ve tanların onarımı ve güçlendirilmesi,
3. Yapıların patlama ve darbelere karşı korunması, ve patlama etkilerinin azaltılması,
4. köprü, viyadük vb. yapıların kiriş, tabliye ve kolonlarının güçlendirilmesi,
5. köprü ve yapılarda mekanik ve dinamik darbelere karşı güçlendirme
6. Taş, tuğla vb. yığma tarihi yapıların, onarımı ve güçlendirilmesi
7. Deniz ve kıyı yapılarının, iskele ayaklarının onarımı ve güçlendirilmesi,
8. Tünel ve altgeçitlerin güçlendirilmesi,

9. Boru ve altyapı tesislerinin onarımı ve güçlendirilmesi uygulamalarında, zamanla artan şekilde ve etkinlikle kullanılmaktadır.

Tarihi Eserlerde FRP uygulama örnekleri:



Şaibata Hanegahı Kubbesi/Konya

Sütun güçlendirme:

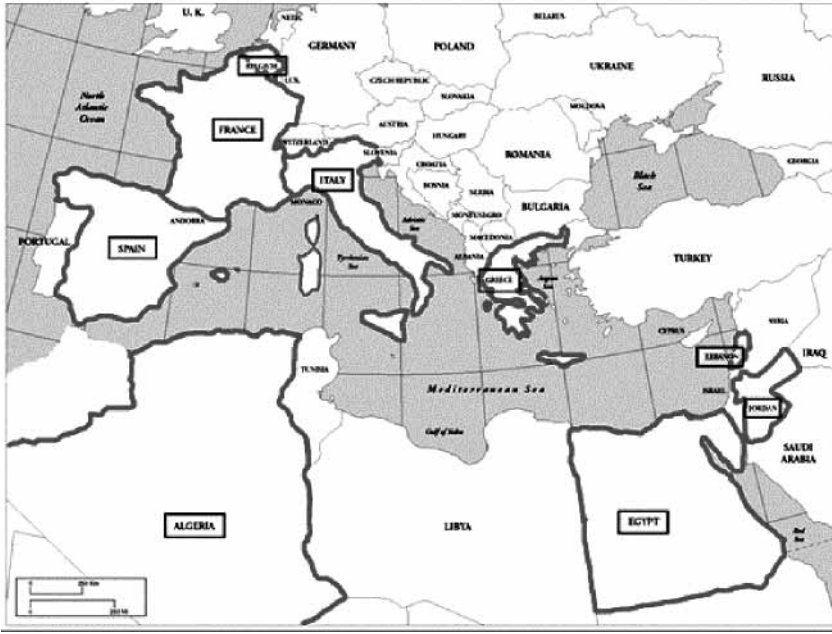


Opera Projesi:

Avrupa Komisyonunun 6. Avrupa programında Opera diye bir proje var. Sixth European Programme of the European Commission, FP6-2003-SSP3-513718. January 2006 – December 2008.

Kültürel Mirasın Korunması ve Saklanması (PROTECTION AND CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE) başlığıyla devam eden bir proje. Projenin amacının, Avrupa'da ve Akdeniz Alanındaki tarihi yapıların, gelişmiş kompozit malzemelerle yapısal güçlendirilmesi için bir sistem oluşturulması olduğu belirtilmektedir.

Şimdi aşağıdaki proje haritasına bakınız:



Biz bu projede niye yokuz? Öyle de olsa bu projenin sonuçlarından yararlanmalıyız.

FRP SARGI SİSTEMLERİ VE KARBON ŞERİT LEVHALARIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ AŞAĞIDA SUNULMUŞTUR.

TYFO FRP SARGI SİSTEMİ

MEKANİK ÖZELLİKLER	TYFO SCH-7UP-N + TYFO S EPOXY	TYFO SCH-11UP-N + TYFO S EPOXY	TYFO SEH-25A + TYFO S EPOXY	TYFO SEH-51A + TYFO S EPOXY
	TYFO UC-0.17 MM + TYFO S EPOXY	TYFO UC-0.25 MM + TYFO S EPOXY	TYFO UG-0,66 MM + TYFO S EPOXY	TYFO UG-1.3 MM + TYFO S EPOXY
	Unidirectional Carbon Fiber Fabric	Unidirectional Carbon Fiber Fabric	Unidirectional Glass 0° + 90° Yellow Glass Cross Fibers	Unidirectional Glass 0° + 90° Yellow Glass Cross Fibers

TİPİK KURU FİBER ÖZELLİKLERİ

Çekme dayanımı (Gpa)	3,8	3,79	3,24	3,24
Çekme Modulus (Gpa)	242	230	72,4	72,4
Son Uzama (%)	1,57	1,7	4,5	4,5
Yoğunluk (g/cm ³)	1,81	1,74	2,55	2,55
Ağırlık (g/m ²)	224	332	505	915
Fiber Kalınlığı (mm)	0,11	0,127	0,19	0,36

KOMPOZİT ÖZELLİKLERİ

Tek yönde on Çekme Dayanımı (Mpa)	1062	1062	575	575
Kopmada uzama (%)	1,05	1,05	2,2	2,2
Çekme Modulus (Gpa)	102	102	26,1	26,1
Diğer yönde (90 Son Çekme Dayanımı (Mpa)	0	0	25,8	25,8
Laminat Kalınlığı mm	0,17	0,25	0,66	1,3

Boyutlar m	100x0,60 m= 60 m ²	100x0,60 m= 60 m ²	91x1,37 m =124,7m ²	45,7x1,37 m= 62,6 m ²
TYFO S Epoksi Sarfiyatı	0,7-0,8 kg/m ²	0,8-0,9kg/m ²	0,7-0,8 kg/m ²	0,8-1,10 kg/m ²

EPOKSİ YAPIŞTIRICI: TYFO S (12,23+4,22=16,45 kg)

Çekme Dayanımı (Mpa)	72,4
Çekme Modulus (Gpa)	3,18
Uzama (%)	5
Eğ.-Bükülme Dayanımı (Mpa)	123,4

MEKANİK ÖZELLİKLER	UC KARBON ŞERİT VE LEVHA			
	ALÇAK ELASTİK MODULUS KARBON ŞERİT "L"	"L ₁ "	"L ₂ "	ORTA ELASTİK MODULUS KARBON ŞERİT "M"
Yoğunluk (g/cm ³)	1,54	1,61	1,61	1,56
Minimum Çekme Dayanımı (Mpa)	1800	2200	2800	2900
Ortalama Çekme Dayanımı (Mpa)	2000	2500	3100	3300
Minimum Çekme Modulusu (Gpa)	150	158	163	190
Ortalama Çekme Modulusu (Gpa)	155	165	170	200
Kopmada Uzama (%)	1,5	1,3	1,6	1,4

STANDART BOYUTLAR (MM) VE TYFO TC SARFİYATLARI (GRAM)

50/14	250 Gr
80/14	350 Gr
100/14	500 Gr
120/14	600 Gr
150/14	750 Gr

EPOKSİ YAPIŞTIRICI TYFO TC (A+B 12,2 kg

Çekme Dayanımı (Mpa)	26,7
Çekme Modulusu (Gpa)	1,59
Uzama (%)	2,6
Betona Yapışma (Mpa)	>4,0

Ahi Çelebi Camisinin Onarımı ve Güçlendirilmesi

Haluk Sesigür

Oğuz Cem Çelik

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Statiği ve Betonarme Birimi, Taşkışla, Taksim
Tel: (212) 293 13 00/2285 (212) 293 13 00/2293
E-Posta: haluk@itu.edu.t celikoguz@itu.edu.tr

Feridun Çılı

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Statiği ve Betonarme Birimi, Taşkışla, Taksim
Tel: (212) 293 13 00/2283
E-Posta: cilif@itu.edu.tr

Öz

Son yıllarda tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu tür yapıların güçlendirilmesinde çağdaş yöntemlerin yanında geleneksel yöntemler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada düşey yükler, mesnet çökmeleri, deprem v.b. etkiler nedeniyle hasar görmüş yığma kargir kubbelerin onarım ve güçlendirme yöntemleri, mesnet bölgesinde oluşturulan çekme çemberinin güçlendirmedeki etkinliği Ahi Çelebi Camisi uygulama örneği ile verilmiştir. Yapı düşey ve deprem yükleri etkisi altında SAP2000 yazılımı kullanılarak sonlu elemanlarla modellenmiştir. Dıştan çekme çemberi uygulaması kubbede oluşan çekme gerilmelerinin önemli miktarda azalmasına ve kubbe yüzeyinde daha uygun bir gerilme dağılımına götürmüştür.

Anahtar sözcükler: Tarihi Yapılar, Onarım ve Güçlendirme, Kubbe, Çekme Çemberi.

Giriş

Tarihi değeri olan camilerle ilgili olarak yapılan incelemeler sonucunda belirlenen hasarların genellikle cami beden duvarlarındaki boşlukların fazlalığı, zeminin zayıf olmasından kaynaklanan farklı oturmalar, duvarların birleşimindeki yetersiz detaylandırmalar, kullanılan yapı malzemesinin mekanik özelliklerindeki yetersizlikler nedenleriyle oluştuğu gözlenmiştir. Tarihi camiler içerdikleri bazı zayıf bölgeler nedeniyle yatay yükler etkisi altında zayıflıklar gösterebilmektedirler. Bu tür yapıların kullanım ömürlerinin arttırılabilmesi için zaman zaman restorasyon ilkeleri çerçevesinde geleneksel ve/veya çağdaş

güçlendirme yöntemleri ile onarımı ve güçlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır (Sesigür ve diğ., 2007). Restorasyon sırasında dikkate alınması gerekli bazı noktalar aşağıda özetlenmiştir.

- Restorasyon ile ilgili tüm işlemler ayrıntılı bir arkeolojik ve tarih araştırmasını izlemelidir.
- Yapının onarım ve güçlendirilmesinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kalması durumunda yapının restorasyonu için yeterliliği bilimsel bilgiler ve deneylerle gösterilmiş, çağdaş yöntemler kullanılabilir. Başka bir deyişle, geleneksel yöntemlerin "yetersiz" kaldığı durumlarda çağdaş yöntemlere izin verilmektedir. Restorasyonda uygunluğu tam olarak gösterilmemiş bir yöntemin kullanılması durumunda yapılacak işlemin geriye dönebilecek ya da gerektiğinde sökülebilecek/düzeltililebilecek şekilde olması gerekmektedir. Restorasyonda her zaman özgün yapım yöntemlerinin ve malzeme özelliklerinin kullanılması tercih edilmelidir.
- Tüm yapılarda ve özellikle eski eserlerin onarım ve güçlendirilmesinde ana ilke yapılacak müdahalenin "minimum" düzeyde tutulmasıdır. Bir eski esere yapılacak müdahalede yapının özgünlüğünü yitirmemesi esastır.

Bu çalışmada, Ahi Çelebi camisi özelinde tarihi yığma kargir kubbelerin çekme çemberi yardımıyla güçlendirilmesi üzerinde durulmuş, yapılan bu uygulamanın kubbenin yapısal davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Ahi Çelebi Camisi

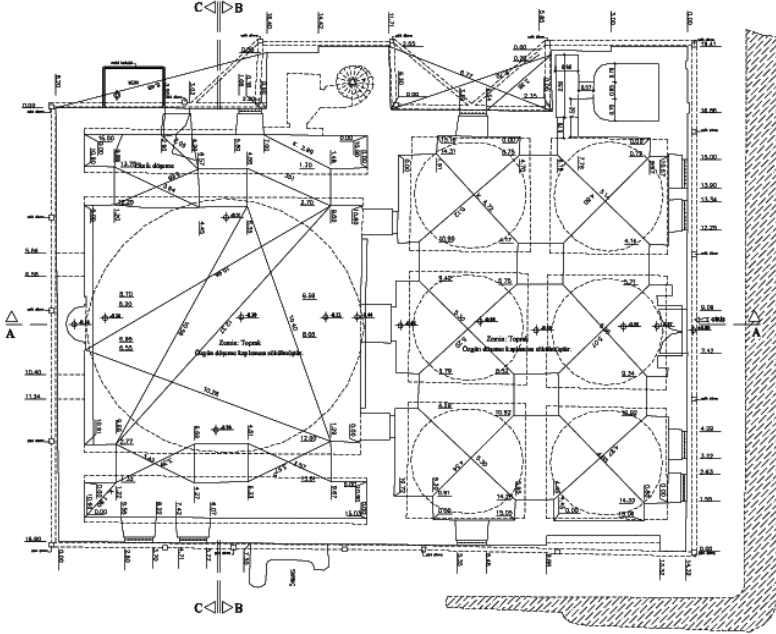
Kısa Tarihçe

Osmanlıların ikinci darüşşifası olan Fatih Darüşşifası'nın hekimbaşısı ve Fatih Sultan Mehmed'in diyetisyeni Ahi Çelebi tarafından Eminönü Yemişiskelesi'nde yaptırılan Ahi Çelebi Camisi, 15. yüzyıl sonlarında Haliç deniz suru dışına kurulan öncü mahallelerden Ahi Çelebi Mahallesi'nin çekirdeğini oluşturmaktadır. Çeşmesi, şadırvanı, mahkemesi, hapishanesi, türbeleri, kapalıçarşısı, deniz suru ve kapısı, iskelesi, çınar ağaçlarının gölgelediği iskele meydanı ve Haliç üzerine uzanan Çardak Kahvesi ile zaman içinde özel bir külliye oluşturan Ahi Çelebi Camisi, Haliç kıyısındaki olumsuz zemin koşulları, sayısız deprem ve yangından ağır hasarlar almış ve ilk yıllardan başlayarak gördüğü çok sayıdaki 'farklı dönem onarımı' ile çeşitli dönemlere ilişkin Osmanlı yapım tekniklerinin birarada sergilendiği özel bir Osmanlı mimarlık bilimi ve yapı teknolojisi tarihi müzesine dönüşmüştür (Topkaç (Çelik), 1992, Çelik, 1997, Topkaç (Çelik), 2000).

Ahi Çelebi Camisinin Onarım ve Güçlendirmeden Önceki Durumu

Cami simetrik bir plana şekline sahip olup 24.54m x 16.90m ölçülerindedir, Şekil 1. Çatı sistemi 6 adet 4.00m çapında dairesel kubbeler ile 11.00m çapında ana kubbeden oluşmaktadır (Sesigür ve diğ. 2006). Ana kubbenin kalınlığı kubbe

eteğinde 60cm, en üst kotta 30cm'dir. Taşıyıcı duvarların kalınlıkları 100-150cm arasında değişmektedir. Caminin bulunduğu zeminle ilgili problemler nedeniyle duvarlarda farklı oturmalar meydana gelmiş, kubbelerin mesnetlendiği kemerleri taşıyan sütunlarda / ayaklarda farklı oturmalar oluşmuş bu nedenle kemerlerin mesnetlerini birbirine bağlayan gergilerde eğilmeler / burkulmalar meydana gelmiştir.



Şekil 1 Ahi Çelebi Camisi planı

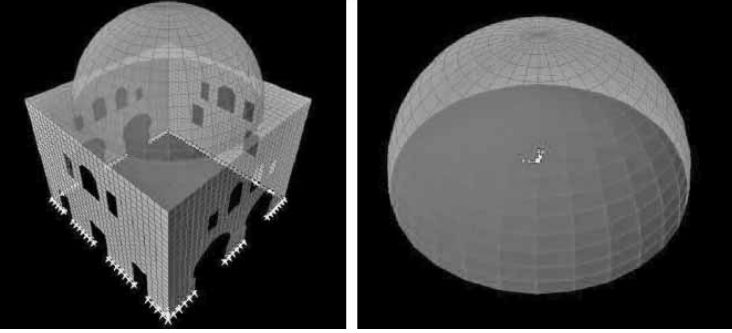
Ana kubbeye mesnetlerin farklı oturmaları ile birlikte depremlerden kaynaklandığı düşünülen, kubbe genelinde yaygın bir şekilde, kubbenin çekme bölgesinde radyal doğrultuda çatlaklar belirlenmiştir. Caminin restorasyondan önceki durumu ve çatlak rölövesi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 Restorasyondan önceki durum ve çatlak rölövesi

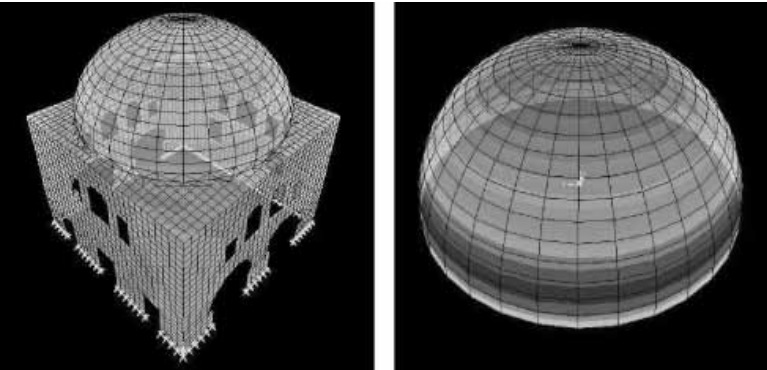
Yapının Modellenmesi

Ahi Çelebi Camisi SAP2000 yazılımı ile malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal elastik ve 3 boyutlu kabuk elemanlar ile modellenmiştir, Şekil 3. Model, 3153 kabuk elemandan meydana gelmekte olup toplam 18855 rijitlik ve 9294 kütle serbestlik derecesine sahiptir. Kabuk eleman olarak dörtgen/üçgen eğrisel elemanlar kullanılmıştır. Yapının bütünü ile kubbenin davranışını karşılaştırmak amacıyla ana kubbe ayrı olarak da modellenmiş, böylece çevre mesnet koşullarının etkisini incelemek de mümkün olmuştur. Malzemenin mekanik parametreleri için elastisite modülü 20GPa, poisson oranı 0.20 olarak seçilmiştir. Temel zemini ile ilgili güçlendirme çalışmaları sonucunda zeminle ilgili herhangi bir oturma problemi ile karşılaşmayacağı için yapının zemine rijit olarak mesnetlendiği varsayılmıştır. Hesaplarda doğrusal olmayan davranış gözönüne alınmadığı için çatlakların yapının rijitliğini azaltan etkisi ihmal edilmiştir.



Şekil 3 Ahi Çelebi Camisi ve ana kubbe sonlu eleman modeli.

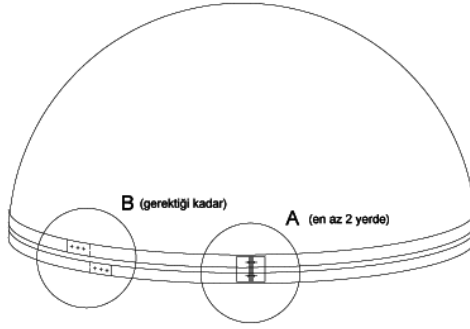
Yapılan varsayımlar altında yapı ağırlığı 5200 kN, ana kubbenin ağırlığı 1290kN olarak hesaplanmıştır. Mevcut durumda, düşey yükler etkisi altında temel seviyesindeki ve ana kubbenin eteğindeki en büyük basınç gerilmeleri sırasıyla 0.20MPa ve 0.06MPa'dır. Kubbenin enlemleri doğrultusunda oluşan en elverişsiz çekme gerilmeleri ise 0.04~0.09MPa aralığında değişmektedir. Gerilme dağılımları Şekil 4'de verilmiştir.



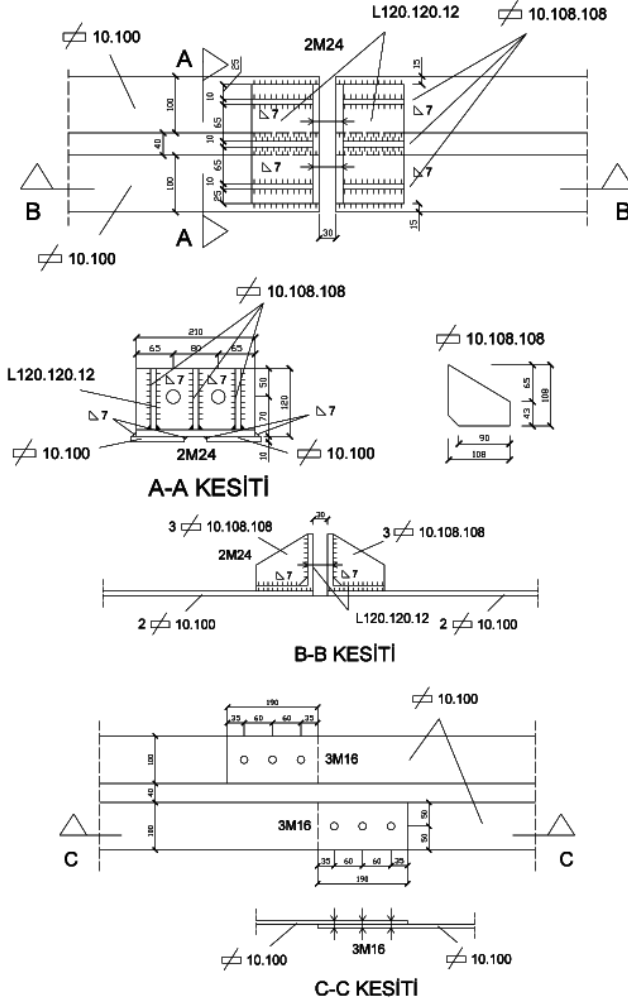
Şekil 4 Ahi Çelebi Camisi ve ana kubbedeki normal gerilme dağılışı.

Ana Kubbenin Onarım ve Güçlendirme Yöntemi

Kubbede iki tip çatlak gelişimi belirlenmiştir. Birincisi kubbenin dış yüzeyinde ve meridyen doğrultusunda çekme bölgesinde, ikincisi ise kubbenin çeşitli bölgelerinde sınırlı ve yerel olarak belirlenen çatlaklardır. İkinci tür çatlaklara yapının harç kalitesine benzer fiziksel özelliklerdeki bir malzemenin enjeksiyonu yoluyla müdahale edilmiştir. Birinci tür çatlaklara ise enjeksiyon ya da çatlak genişlikleri fazla olan bölgelerde çatlağın her iki yanının çürütülerek yeni tuğla ile örülmesi şeklinde müdahale edilmiştir. Kubbenin genel stabilitesini sağlamak amacıyla kubbe eteği kotunda enkesit ölçüleri 10mm x 100mm olan 2 adet galvanizli çelik çekme çemberi düzenlenmiştir, Şekil 5. Çekme çemberi en az 2 noktada ek yapılacak şekilde öngörülmüştür. Birleşimlerde M24 yüksek mukavemetli (8.8) bulonlar kullanılmış, bulonların sıkılması yoluyla çekme çemberinin boşluğu alınarak bir miktar öngerilme verilmiştir. Çekme çemberine ilişkin bazı imalat detayları Şekil 6 ve 7de verilmiştir.



Şekil 5 Çekme çemberleri düzenlemesi.



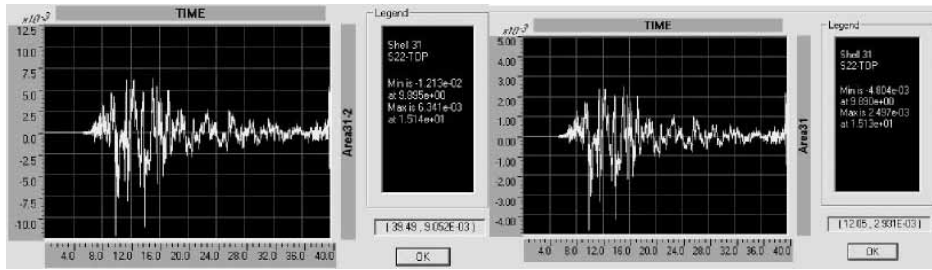
Şekil 6 A ve B detayları.



Şekil 7 Çekme çemberi detayları.

Hesap Yöntemi

Yapının deprem etkisi altındaki davranışını ve uygulanan çekme çemberinin bu davranışına olan etkisini gözlemek amacıyla yapı zaman tanım alanında elastik hesap yöntemi ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Yarımca ivme kaydı kullanılarak çözümlenmiştir. Şekil 8’de güçlendirmeden önce, Şekil 9’da güçlendirmeden sonra kubbenin mesnetlendiği noktalardan 31 numaralı kabuk elemanındaki normal gerilme geçmişi verilmiştir. Hesaplar sonucunda kubbedeki normal gerilme dağılımının güçlendirmeden sonra önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen verilerden çekme gerilmelerinde %60’a varan azalmalar gözlenmiştir.



Şekil 8 Güçlendirmeden önce ve sonra normal gerilme geçmişi.

Sonuçlar

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi ülkemizde son yıllarda artan bir uygulama alanı olmuştur. Bu tür yapılara güçlendirme yaklaşımı güncel yapıdakinden çok farklı olmaktadır / olmalıdır. Güçlendirme işleminin yapının tarihi kimliğini bozmaması ve mümkün olduğunca geri dönüşümü olabilen bir sistemin seçilmesi esas olmalıdır. Bu esasların dikkate alındığı bir güçlendirme örneği olarak bu çalışmada İstanbul’un en eski camilerinden Ahi Çelebi Camisi’ndeki güçlendirme çalışmaları özetlenmiştir. Cami ve ana kubbesi SAP2000 yazılımıyla doğrusal elastik kabuk elemanlarla modellenerek güçlendirme öncesi ve sonrası durumları için elastik olarak çözümlenmiştir. Cami ana kubbesindeki çatlakların onarımı ile birlikte kubbenin genel stabilitesini sağlamak amacıyla dışta kubbe eteği kotunda çekme çemberleri düzenlenmiştir. Zaman tanım alanında yapılan elastik hesap sonucunda kubbedeki normal gerilmelerin %60’a varan oranlarda azaldığı belirlenmiştir.

Kaynaklar

Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F. (2007) Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme. İstanbul Bülten, 89, Mart-Nisan, s.10-21.

Topkaç (Çelik), S. (1992) Ahi Çelebi Camisi’nin Restorasyonu ve Çevre Düzenlemesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çelik, S. (1997) Ahi Çelebi Mahkemesi, Yapı, 182, Ocak, s.108-111.

Topkaç (Çelik), S. (2000) Ahi Çelebi Camisi'nin Özgün Tasarım ve Onarım Evreleri, Celal Esad Arseven Anısına Sanat Tarihi Semineri Bildirileri , 7-10 Mart 1994, İstanbul, s.327-337.

Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F. (2006) Repair and Strengthening of Ancient Structures, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneve, Switzerland, Paper No. 1387.

Repair and Strengthening of Ahi Celebi Mosque

SUMMARY

In recent years, significant developments have been achieved on repair, strengthening and seismic retrofit of ancient cultural heritage structures. There are also some traditional retrofitting techniques that could be carried out to improve the seismic behaviour of historic buildings. As many unreinforced masonry domed structures have damages on their domes (even under gravity loads), this study mainly focuses on an investigation of effectiveness of placing a steel ring at the dome's support level to improve the structural behaviour. In the present study, the problem is considered through an example of a real conservation case study of the Ahi Celebi Mosque in Istanbul. The structure is subjected to gravity and seismically originated forces and FEM analysis is conducted using SAP2000. The behaviour of the system before and after retrofitting process is compared. Also, the site observations are explained in detail. Numerical results showed that external confinement or tightening using steel rings reduced the principal stresses and displacements of the structure significantly and a more distributed stress condition was obtained.

Uluslararası Deprem Mühendisliği Açısından Önemli Bir Olg u ve Kayıp: “Güçlendirilmiş Adapazarı Vilayet Binası”

Ersin Arıoğlu
Dr. Müh., Onursal Başkan
Yapı Merkezi Holding A.Ş.

Köksal Anadol
Y. Mim., Yönetim Kurulu
Bşk. Vekili
Yapı Merkezi Holding A.Ş.

A. Ülkü Arıoğlu
İnş. Y. Müh., Murahhas Aza
Yapı Merkezi Holding A.Ş.

ÖZET

22 Temmuz 1967 Akyazı depremini ($M_s = 7,1$) ve 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depremini ($M_w = 7,6$) farklı yapı sistemleriyle karşılayan Sakarya Valilik – Adapazarı Vilayet – Binası'nın, bu depremlerde sergilediği performanslar, deprem mühendisliği açısından fevkalade öğreticidir. Yapı, 1967 depreminin merkezüssünden yaklaşık 36 km uzakta olmasına karşın, statik projesinin taşıdığı zafiyetlerin sonucunda ağır yapısal hasarlara maruz kalmıştır. Kimi teknik ekiplerce yapılan değerlendirmeler sonucunda, yapının yıkılıp yeniden inşa edilmesi önerilmişti. Bu bildirin in yazarları tarafından anılan yapının güçlendirme ve onarım projesi yapılmış ve bina depremden sekiz ay sonra hizmete açılmıştır. Yapı, 1999 Doğu Marmara Depremi' nde ($M_w = 7,6$) yırtılan Arifiye fay zonuna sadece yaklaşık 7,5 km uzaklıkta bulunmasına rağmen (Bkz Şekil - 1), güçlendirilmiş sistemiyle çağdaş deprem mühendisliğinin “**hemen kullanılabilirlik**” isteğini başarıyla yerine getirmiştir. Diğer kelimelerle, yapının (taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirme) davranış eğrisi “**hemen kullanım**” düzeyinde kalmıştır. Bilindiđi üzere yapı, 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi sonrasında “kriz merkezi” olarak hizmet vermiştir. Yapının “**deprem müzesi**” olarak değerlendirilmesi konusu teknik kamuoyu tarafından yoğun bir şekilde dile getirilmesine rağmen, Adapazarı Büyükşehir Belediyesi tarafından alınan aymaz bir kararla yapı, Nisan 2005 tarihinde yıkılmıştır.

1. GİRİŞ

22 Temmuz 1967 Akyazı Depremi, Kuzey Anadolu Fay Hattı 1939 Erzincan depreminden sonra oluşturduğu bir depremdir. Sismik büyüklüğü $M_s = 7,1$ [1, 2] ve $M_w = 7,0$ [3] olarak rapor edilen depremin odak derinliği 10 km [2] olarak belirlenmiştir. 22 Temmuz 1967 Akyazı Depremi merkezüssüne 36 km ve yırtılan faya ise 11 km uzaklıkta bulunan Adapazarı Vilayet Binası depremd e ağır hasar görmüştür. Yapı Merkezi tarafından geleneksel metotla güçlendirme projesi tamamlanan yapı, sekiz ay gibi kısa bir sürede ve ekonomik olarak yeniden kullanıma açılmıştır [4].

Adapazarı Vilayet Binası, 1967 Akyazı Depremi'nden 32 yıl sonra, 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi ile tekrar sarsılmıştır. Son 60 yılda Türkiye'de meydana gelen hasar ve etki alanı en geniş deprem olan Doğu Marmara Depremi, Kuzey Anadolu Fay hattında Hersek Deltasından Eften Gölü' ne kadar uzanan 150 km uzunluğundaki kırıktan kaynaklanmıştır.

Sakarya'nın merkez ilçesi olan Adapazarı'nda MSK ölçeğine göre deprem şiddeti X olarak ölçülmüş olup[5], bir çok bina çökmüş veya ağır hasar görmüştür [4]. Adapazarı Vilayet Binası ise şehir merkezinde bulunan az hasarlı veya hasarsız [6,7] bir kaç binadan biri olmuş ve depremden sonra yapı uzunca bir süre, kriz merkezi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada Adapazarı'nın jeolojik yapısı, 1967 Akyazı ve 1999 Doğu Marmara depremlerinin sismik karakteristikleri, binanın yapısal detayları ve uygulanan güçlendirme projesinin ana felsefesi ile 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi sırasında yapının gösterdiği performans ve depremden yıkım süresine kadar geçen süreçteki olaylar belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir.

2. ADAPAZARI'NIN JEOLJİK ve SİSMOTEKTONİK YAPISI

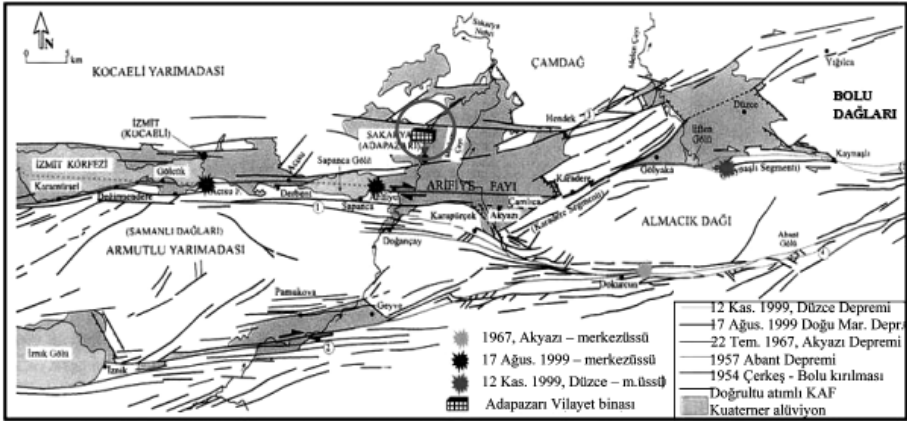
2.1 Adapazarı'nın Jeolojisi

Adapazarı ve çevresinin büyük bir kısmı Sakarya ve Mudurnu nehirleri ile taşınan çakıllı ve siltli kumları içeren kuvarterner alüvyon çökeltileri ile kaplıdır. Çökellerin büyük bölümünde merceksi veya bant şeklinde düşük plastisiteli kil ve silt serileri bulunur. Kil, kum, çakıl ve silt bazen tek başlarına belli düzeylerde, bazen de bunların değişik görünümleri biçiminde ardalanmalı olarak gözlenmektedir. Alüvyon tabakası kalınlığı oldukça değişken olup, kuzeye doğru gidildikçe 200 m derinliğe kadar ulaşmaktadır. Gevşek bir zemin yapısına sahip bölgede yapılan sondaj sonuçlarından, yeraltı su seviyesinin en kurak mevsimde bile yüzeyden 0,2 m – 0,3 m derinlikte olup, genelde 1 m' den az olduğu anlaşılmaktadır [8, 9]. Yeraltı su seviyesi, mevsimsel yağışlara bağlı olmakla birlikte, genellikle zeminin yaklaşık 1 m altında bulunmaktadır. 17 Ağustos Depremi'nde ivme kayıtları, ayrıışmış kireçtaşı üzerinde yer alan Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü istasyonundan alınmıştır [10].

2.2. 22 Temmuz 1967 Akyazı ve 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara (Kocaeli) Depremleri

1967 Akyazı ve 1999 Doğu Marmara Depremleri, 1939 yılından beri Kuzey Anadolu Fay Hattının neden olduğu depremlerdir. Bölgenin deprenselliği Kuzey Anadolu Fay Kuşağı tarafından denetlenmektedir. 1999 Doğu Marmara Depremi, 1963 ve 1967 depremleri arasındaki boşluğu doldurmuştur. 22 Temmuz 1967, saat 19:20' de Akyazı' da meydana gelen depremin büyüklüğü ($M_s=7.2$, $M_w=7.0$) olarak ölçülmüştür. Depremin merkezüssünün Adapazarı şehir merkezine uzaklığı 35 km olup, merkezüssü civarında deprem şiddeti

maksimum $I_0=X$ olarak kestirilirken, merkezdeki şiddet $I_0= VII - VIII$ olarak belirlenmiştir. 1967 depremi sonrasında doğu – batı doğrultusunda yaklaşık 80 km uzunluğunda doğrultu atımlı ve sağ yönlü bir fay oluşmuştur. Maksimum ve ortalama atımlar sırası ile 260 cm ve 90 cm değerlerini almıştır. Yüze kırığı 1 – 3 km arasında geniş bir kayma zonunu etkilemiştir. 17 Ağustos 1999’da meydana gelen depremde ilk kırılma Gölcük civarında başlamıştır. Bu kırık daha sonra Sapanca-Arifiye-Sakarya kırığını, o da daha doğuda yer alan Karadere Fay Zonunu harekete geçirerek, Çamlıca-Gölyaka yüze kırığını oluşturmuştur [11]. Deprem sonucunda oluşan fay kırıkları sağ atımlı olup, maksimum 477 cm’lik yanal yönde yer değiştirme meydana gelmiştir. Şekil – 1 ile fay kuşağının Gerede ile İznik – İzmit körfezleri arasında kalan kesiminin neotektonik haritası gösterilmektedir.



Şekil – 1 Adapazarı ve civarının tektonik haritası ve bölgede 1944 – 1999 dönemlerinde meydana gelen depremlerin merkez üsleri [11].

1967 Akyazı depreminden ağır hasar gören, daha sonra Yapı Merkezi tarafından onarım ve güçlendirme projesi yapılan Adapazarı Vilayet Binası, 17 Ağustos 1999 depreminin Arifiye kırığına yaklaşık 7,5 km uzaklıkta olması nedeniyle çok şiddetli sismik yüklemeye maruz kalmıştır. Sismik enerji boşalmasının çok yakınında yer almansa rağmen binada, 17 Ağustos 1999 depreminde herhangi bir yapısal hasar oluşmamıştır. Farklı yaklaşımlardan kestirilen deprem şiddeti analizlerine göre binanın $I_0=X$ şiddetinde etkilendiği belirlenmiştir [10]. Söz konusu yapının oturduğu zemin “sıvılaşmamıştır”. Diğer kelimelerle, % 5 gibi bir sönümlenme ile ~ 0,4 sn seviyesindeki bina hakim periyodunda, ~ 1g düzeyinde spektral ivme meydana gelmiştir (Bkz Çizelge – 1). 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminin ağır hasar verdiği Kocaeli, Sakarya, Bolu ve Yalova’da yaklaşık 18.000 kişi can vermiş, 45 bin kişi yaralanmış ve yaralıların beşte ikisinde kalıcı sakatlık kalmıştır. Depremde tahrip olan illerin, Türkiye’nin gayri safi hasılasının %7’sini, endüstriyel katma değerini ise yaklaşık %14’ünü oluşturmasından dolayı, ekonomik kayıpların 13 milyar dolara ulaştığı tahmin edilmektedir [12].

Çizelge – 1 1967 - 1999 yılları arasında meydana gelen önemli depremlerin Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'nde (SKR) ölçülen hareket kayıtları

Deprem	Zaman (GMT)	Merkezüssü		h (km)	R _e (km)	R _d (km)	M _s	M _w	M ₀ x 10 ²⁶ dyn.cm	PGA (gal)		
		Yanal	Boyuna							K-G	D-B	Y-A
22.07.1967	16:56:58	40,70	30,8	10	36	11	7,2	7,0	2,7	400*		
17.08.1999	00:01:37	40,75	29,86	17	34,9	3,1	7,8	7,4	29	- **	407,0	259,0
11.11.1999	14:41:25	40,74	30,27	22	17,5	-	5,5	5,7	0,03	206,5	345,3	133,3
12.11.1999	16:57:21	40,74	31,21	10	69,5	48	7,5	7,2	6,7	17,3	24,7	11,5

Açıklamalar: h= Odaksal derinlik, R_e= Deprem merkezüssüne olan uzaklık, R_d= Faya en yakın uzaklık, M_w= Deprem moment büyüklüğü, M_s= Yüzeysel dalgası büyüklüğü, M₀= Sismik moment büyüklüğü, PGA= Maksimum yatay (Kuzey - Güney , Doğu - Batı) ve dikey (Yukarı -Aşağı) ivme değerleri

* Türkiye'de 1976 yılına kadar ivme kayıt sisteminin bulunmamasından dolayı ivme azalım bağıntılarından kestirilen değerler.

** Sadece yatay ivme kayıtları alınmıştır.

3. Adapazarı Vilayet Binası Teknik Karakteristiği

3.1. Zemin Koşulları

17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi'nde Adapazarı'nın Tığcılar, Cumhuriyet, Orta ve Kurtuluş ilçelerinde gömülme, tilt ve yanal hareket şeklinde geniş çaplı temel yer değiştirmeler gözlenmiş, İstiklal ve Karaosman mahallelerinde ağır yapısal hasar oluşmuştur [8, 9]. İstiklal mahallesindeki evlerin % 40.8'i, Karaosman mahallesindeki evlerin ise % 30.0'u yıkılmış yada ağır hasar görmüştür. Yıkıcı tahribata uğrayan bu mahalleleri, Pabuççular, Yenicami, Semerciler ve Yenidoğan mahalleleri sırasıyla %28,8; %25.4; % 24.2 ve % 24.6 hasar oranları ile takip etmektedir. Yapısal hasarın fazla olduğu, Adapazarı Vilayet Binası' nın da bulunduğu Semerciler Mahallesi ile Karaosman ve İstiklal mahalleri "sıvılaştıran bölgenin" dışında kalmıştır [8]. Tığcılar, Cumhuriyet, Orta, Yeni Cami ve Kurtuluş mahalleleri sıvılaşmanın en belirgin ölçüde gözlemlendiği kesimlerdir [13,14]. Sıvılaşma olgusu etkin bir "sönümleyici" olarak işlev gördüğünden adı geçen bölgelerde bulunan binalarda önemli "yapısal hasar" ve "can kaybı/yaralı" gözlenmemiştir [15].

Semerciler ilçesinde bulunan Adapazarı Vilayet Binası' nın çevresinde 20 metre derinlikte yapılan sondaj sonuçlarına göre üst kısımlarda düşük plastisiteli silt (SPT-N₃₀=12), bunun altında orta (SPT-N₃₀=20) ve yüksek plastisiteli kilden (SPT-N₃₀=30) bulunmaktadır. Yaklaşık 14 metre derinliğe inildiğinde ise ayrılmış kiltası tabakasına (SPT - N₃₀>40) rastlanmıştır. Zeminin üst katmanlarındaki düşük plastisiteli kil katmanı sıkı yapısı nedeni ile sıvılaşma olgusunu önleyerek, bölgedeki yapısal hasarı arttırmıştır. Yapılan sondaj sonuçlarından elde edilen zemin profiline göre, 10 m derinlikte SPT - N₃₀ değeri yaklaşık 26 olarak belirlenmiştir. Buradan, altı farklı bağıntıdan kestirilen ortalama kayma dalga

hızı $V_s=270\pm 20$ m/sn mertebesindedir. Kayma dalga hızı $V_s>150$ m/sn olan zeminler, NEHRP sınıflandırmasına göre "D – sıkı/kohezif zemin" olarak temsil edilmektedirler. Bu tip birimlerde ise kayada ölçülen ivme değerini büyütme etkisi vardır [16].

3.2. Adapazarı Vilayet Binası' nın Yapısal ve Teknik Özellikleri

1959 yılında inşasına başlanan Adapazarı Vilayet Binası, 1964 yılında tamamlanmıştır. Beş kattan oluşan yapıda, yeraltı su seviyesinin zeminden 1 ~ 2 m gibi yakın mesafede bulunması nedeni ile bodrum katı bulunmamaktadır. Yatayda 40x14,2 m' lik oturma alanına sahip olan yapı, enine (x yönünde) 3, boyuna (y yönünde) 13 çerçeveden oluşmaktadır. Düşey yükler 35 adet kolon ve 2 adet betonarme perde ile taşınmaktadır. 5 ve 6 numaralı akslarda yer alan ve simetrik olarak yerleştirilmeyen betonarme perdeler, deprem sırasında yapının burulmasına neden olmuştur. Binanın her katında bulunan betonarme perdeler 23/550 cm boyutundadır. Adapazarı Vilayet Binası' nın güçlendirilmeden önceki ve sonraki dönemlerine ait kimi karakteristik büyüklükleri Çizelge – 2' de verilmiştir. Yapının kolon boyutları farklı değerlerde alıp, genişliği 230 mm ile 400 mm arasında, yüksekliği ise 300 mm ile 700 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Döşeme kalınlığı her katta 37 cm yüksekliğinde olup, araları briket asmolen doldurulmuş nervürlüdür. Kirişler 37 cm kalınlığındaki asmolen döşeme içerisinde gömülüdür. Kullanılan betonun basınç dayanımı 16 MPa (küp), düz donatının akma sınırının ise 220 MPa olduğu rapor edilmiştir [4]. Yapıdaki duvarların tümü taşıyıcı özelliği olmayan dolgu duvarlar olup, dolgu malzemesi olarak iki tip malzeme kullanılmıştır. Asansör boşluğunda 100x150 mm kalınlığında boşluklu hafif tuğla kullanılırken, diğer duvarlarda iki tarafı sunta kaplı, içi talaşla doldurulmuş 5 cm kalınlığında dolgu malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge – 2 Temel tasarım ve Adapazarı Vilayet Binası güçlendirme önce ve sonraki yapısal karakteristikleri

Ana Karakteristikler	Orjinal Yapı	Güçlendirilmiş Yapı
Tasarım Girdileri		
Ortalama güvenli zemin kapasitesi, kN/m ²	72	79,2
Zeminin temel periyodu, sn	~1	~1
Yanal kuvvet katsayısı, C	0,04	0,07
Küp basınç dayanımı, MPa	16	16
Zemin Kattaki Yapısal Karakteristikler		
Toplam ağırlık (kN)	43700	47320
Hesaplanmış ana periot, x-yönü, sn	1,38	0,33 (0,35 ^{***})
Hesaplanmış ana periot, y-yönü, sn	1,08	0,19
Dışmerkezlilik	$e_x = \%17,7$; $e_y = \%14,2$	$e_x = \%0$; $e_y = \%1,1$
Toplam kolon sayısı	35	17
1. kattaki toplam kolon alanı, m ²	6,24	6,5
1. kattaki toplam perde duvar alanı m ²	2,53	22,4
x- yönündeki perde duvar toplam rijitliği, kNm ^{2*}	$0,07 \times 10^7$ ($I_x = 0,07$ m ⁴)	$17,5 \times 10^7$ ($I_x = 8,73$ m ⁴)
y-yönündeki perde duvar toplam rijitliği, kNm ^{2*}	$6,55 \times 10^7$ ($I_x = 6,55$ m ⁴)	278×10^7 ($I_x = 138,96$ m ⁴)
x-yönündeki yapısal dolgu duvar alanı, m ²	0	5,73
y-yönündeki yapısal dolgu duvar alanı, m ²	0	7,96
Tahmin Edilen Yapısal Performans		
Enerji sönmüleme kapasitesi	–	lyi
Tahmini sönmüm oranı	0,02 – 0,03	=0,08
Süneklik	1,5 – 2,0	4
Duvar indisi ** (I_w)	0 (D - B); 0,23 (K - G)	0,33 (D - B); 0,65 (K - G)
Potansiyel hasar tespiti	Ağır hasarlı veya çökmüş	Yok veya az miktarda hasar

* Elastik modül büyüklüğü binanın orjinalinde 10 GPa (beton elementlerdeki gözlemlenmiş kusurlara bağlı olarak azaltılmıştır) ve güçlendirilmiş binada ise 20 GPa olarak kabul edilmiştir.

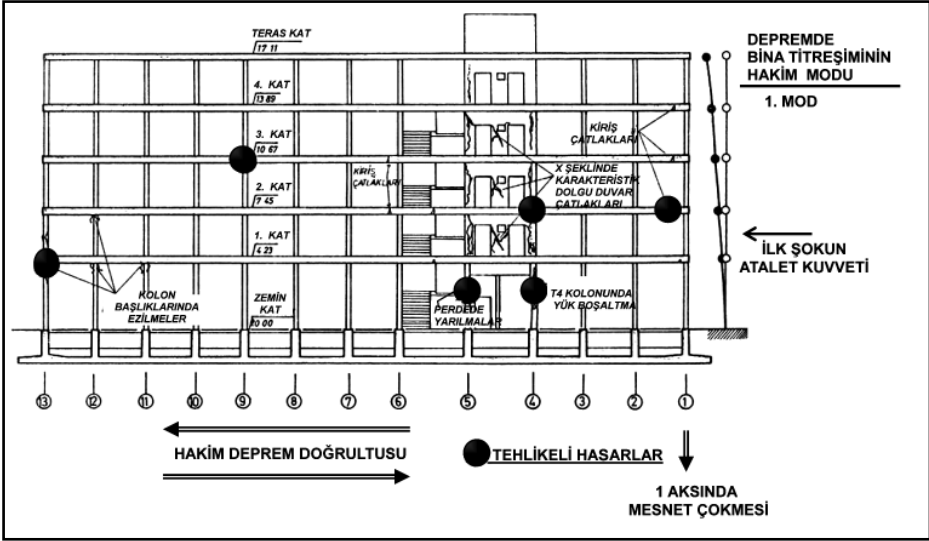
** [17]'daki potansiyel hasar tespiti metoduna göre alınmıştır.

*** [18] deneysel metoduna göre belirlenmiştir.

3.3. Adapazarı Vilayet Binası'nın 1967 Akyazı Depreminde Gösterdiği Performans

22 Temmuz 1967 Akyazı Depremi ve 30 Temmuz 1967 artçı şok sonrasında Adapazarı Vilayet Binası'nda ağır hasarlar oluşmuştur. Bazı teknik ekiplerin yapının yıkılıp, yeniden yapılmasını önerisine rağmen, sözkonusu bina geleneksel metotlar ile depremden sonraki sekiz aylık süre içerisinde güçlendirilmiştir.

Deprem ve artçı şoklar yapıda plastik yer değiştirmelere neden olurken, hasarların büyük kısmı merdiven ve asansör boşluğu gibi yapının rijitlik merkezine yakın bölgelerde meydana gelmiştir. Kolonların büyük kısmında plastikleşmeye varan hasarlar oluşmuştur. Zemin kattaki T4 kolonu, yükünü tamamen boşaltacak şekilde kırılmıştır. Şekil – 4’ te boyuna tipik hasar kesiti gösterilmektedir. En büyük hasar birinci kat kolonlarında oluşmuş ve kolonlarda ezilme, kamalama ve burulmadan kaynaklanan çatlaklar oluşmuştur. Merdiven boşluğu civarındaki kirişler ile birinci, ikinci, üçüncü kattaki kirişlerde ağır hasar görmüştür. Merdiven ve asansör boşluğu çevresindeki dolgu duvarlar ağır hasar alırken, duvarlarda kayma çatlakları oluşmuştur. Ayrıca yapının sıvaları dökülmüş, cephedeki profil elemanlar eğilmiş ve yer yer bağlantıları kopmuştur. Hasara ilişkin daha ayrıntılı değerlendirmeler [4] kaynağından temin edilebilir.



Şekil – 4 1967 Akyazı Depremi sonrası Adapazarı Vilayet Binası'nda oluşan hasarların genel açıkları

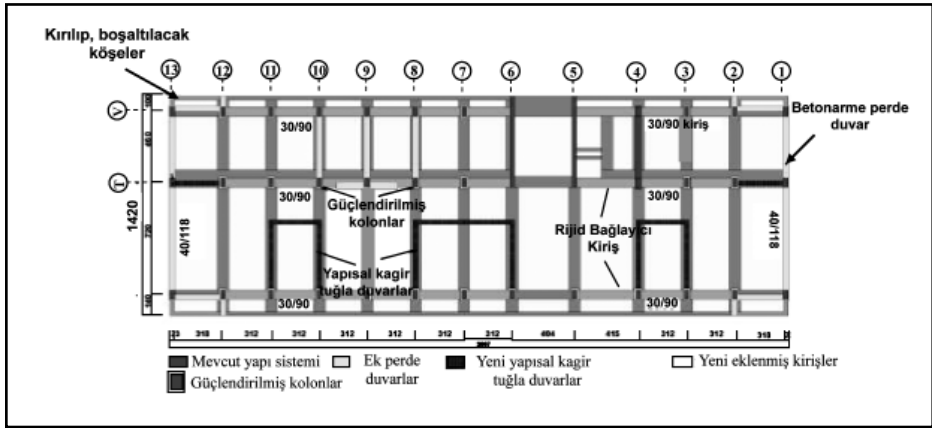
3.4. Adapazarı Vilayet Binası Güçlendirme Projesinin Ana Felsefesi ve Yapılan Güçlendirmenin Kısa Değerlendirmesi

Depreme dayanıklı yapı tasarımında binanın ekonomik ömrü içerisinde meydana gelebilecek yıkıcı bir deprem sırasında, binada yapısal çökme yada göçmenin olmaması temel felsefe olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda gelişen yeni bir kavram ise yapının depremden hemen sonra kullanılabilir olmasını öngören "kullanılabilirlik" kavramıdır. Şekil – 5'te ise Akyazı Depremi'nden sonra Adapazarı Vilayet Binası'nda meydana gelen yapısal ve yapısal olmayan hasar örnekleri görülmektedir. 1967 Akyazı Depremi sonrasında güçlendirilmesine karar verilen yapının mimarisine ve fonksiyonelliğine uygun, ekonomik ve kolay uygulanabilir nitelikte geleneksel takviye ve onarım yöntemi seçilmiştir. Yapının periyotları küçültülerek, kolon çatlakları takviye edilerek tüm kolonlar

mantolanmış, düşey perde ilavesi ile yapıda simetriklik sağlanmıştır. Yapı, güçlendirme projesi kapsamında hafifletilmiş; ağırlık ve rijitlik merkezlerinin üst üste gelmesi sağlanmıştır. Binanın zemin katına sönümlenme özelliğine sahip duvarlar yapılmıştır. Mantolaması yapılan kolonlar, takviye edilen kiriş ve perdeler ve yeni ilave edilen elemanlar, binaya “süneklik” kazandırmıştır (Şekil-6). Bina ile ilgili hasarlara ve yapılan güçlendirme ile ilgili detaylı açılımlara [4] kaynağından ulaşabilirler.



Şekil – 5 22 Temmuz 1967 depreminden sonra binada olan yapısal ve yapısal olmayan ağır hasarlara tipik örnekler



Şekil – 6 Adapazarı Belediye Binasına uygulanan ana güçlendirme ve onarım çalışmalarından tipik bir örnek: Zemin kat çerçeve planı.

3.5. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi'nde Binanın Davranışı ve Deprem Sonrasında Binanın Kullanım Şekli

17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi'nde yaklaşık 150 km uzunluğundaki fayın kırılması ile birlikte $M_w=7,6$ büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Arifiye yakınında maksimum yanal atım $5,10 \pm 0,25$ m'ye ulaşmıştır. Arifiye fay parçasına ~7,5 km dik uzaklıkta bulunan Adapazarı Vilayet Binası ve Bayındırlık İl Müdürlüğü'nde alınan ivme kayıtlarına göre ivme büyüklüğü 407 gal (doğu – batı) olarak ölçülmüştür [19]. 17 Ağustos 1999 depreminde

Adapazarı civarında MSK ölçeğine göre X olarak belirlenen deprem şiddeti ile ivme arasındaki bağıntı (1) ile verilmektedir [10]:

$$I = 1.748 \ln PGA - 1.078 \quad (r=0.921)$$

Bu bağıntıda r = korelasyon katsayısıdır. Yanal hareket ise yaklaşık 185 cm dir. 1999 Doğu Marmara Depremi Adapazarı Vilayet Binası'nın da bulunduğu şehir merkezinde bir çok binanın tamamen göçmesine yada ağır hasar görmesine neden olmuştur. 1967 Depremi sonrası güçlendirilen Adapazarı Vilayet Binası, depremi yapısal olmayan elemanlarında oluşan hafif hasarla atlattır [6, 7]. Doğu Marmara Depremi'nde sözü edilen binanın bazı bölme duvarlarda çatlaklar oluşmuştur. Depremden sonra hemen "kullanılabilir" durumda olan bina, şehir kriz merkezi olarak kullanılmıştır.



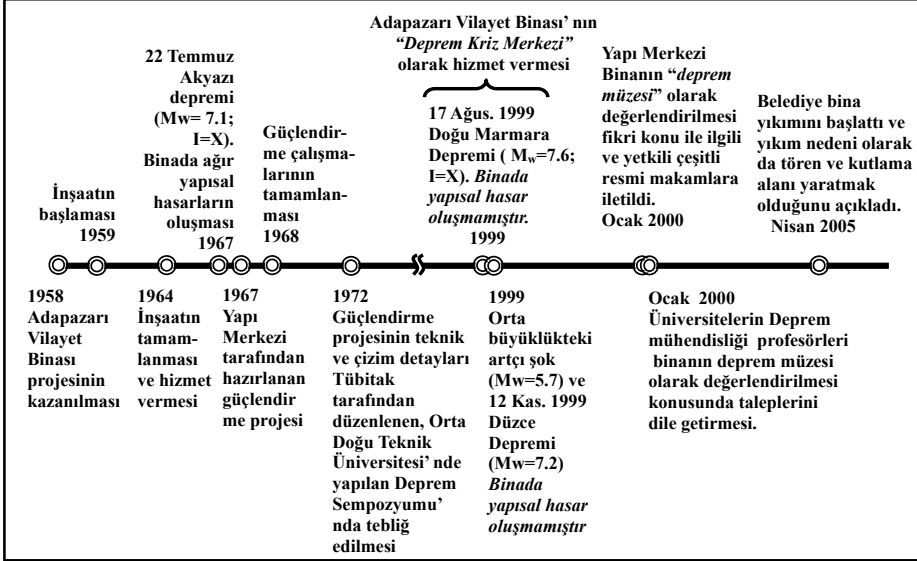
Şekil – 7 17 Ağustos 1999 depremi sonrası, Adapazarı Vilayet Binası'nın havadan görünüşü (Kaynak: Yapı Merkezi Arşivi, Eylül, 1999)

Adapazarı Vilayet Binası'na 1967 depremi sonrasında yapılan takviye ve onarım ile binanın burkulma düzensizlikleri minimize edilerek, ağırlık ve rijitlik merkezi eksenlerinin çakıştırılmış ve mantolama yöntemi ile kolonların güçlendirilmiştir. Yapılan takviyeler sonucunda bina 1999 Doğu Marmara Depremi'ni yapısal bir hasar almadan atlattır.

3.6. Yapının Deprem Müzesi Olarak Değerlendirilmesi Önerisi

1964 yılında inşası tamamlanan Adapazarı Vilayet Binası 1967 Akyazı Depremi'nde ağır hasar gördükten sonra, onarım ve güçlendirme projesi 8 ay gibi kısa bir sürede tamamlanarak yeniden kullanıma açılmıştır. Bina, 1999 Doğu Marmara Depremi'nde hiçbir yapısal hasar almadan, çok başarılı bir sismik performans göstermiştir. Çevresinde bulunan binaların yerle bir olması veya ağır hasar görmesine rağmen bina, yapısal elemanları hasar görmeden ayakta kalmıştır. Bu nedenle de depremden sonraki 3 – 4 aylık dönemde, dönemin valisinin aldığı

kararla kriz yönetim merkezi olarak kullanılmıştır. Yapının inşasından, yıkımına kadar geçirdiği evreler Şekil – 8 ile kronolojik olarak gösterilmektedir.



Şekil – 8 Adapazarı Valilik Binası'nın yapımından, yıkım sürecine kadarki belli başlı olayların kronolojisi.

(M_w = Deprem büyüklüğü – moment bazında, I= Deprem şiddeti)

Adapazarı Vilayet Binası'nın göstermiş olduğu performans uluslararası deprem mühendisliği literatüründe otorite sayılan Kalifornia Berkley Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü akademisyenleri tarafından hazırlanan rapor ile değerlendirilmiş, ayrıca "Earthquake Spectra" bilim dergisinde de (Aralık 2000, Cilt:16, s.268-270) yayımlanmıştır. Yapının göstermiş olduğu performans üzerine, 2000 yılından itibaren; önce Sakarya Valiliği, 2005 yılından itibaren de Adapazarı Büyükşehir Belediyesi nezdinde Yapı Merkezi tarafından başlatılan bir kampanya ile, ülkemizdeki deprem otoritesi onlarca akademisyen ve bürokrat tarafından anılan yapının "Deprem Müzesi" olarak gelecek kuşaklara intikal ettirmek üzere korunması ve asla yıktırılmaması, yazılı olarak defalarca rica edilmiş ve önerilmiştir. Fakat ne yazık ki, Belediye başlattığını ileri sürdüğü imar atılımı kapsamında Atatürk Heykel i ve Vilayet Binası' nı yıkıp, arsaya yeraltı otoparkı ve yeşil alan yapma kararı almıştır. Bu arada, yapılan eylemlerin gerekçelerini haklı göstermek için yapıya "hasarlı" raporu düzenlettirilmiştir [22]. Oysa, Yapı Merkezi arşivinde bulunan performans raporları böyle bir durumun olmadığını göstermektedir. Adapazarı yerel basını ve duyarlı insanların tüm itirazlarına rağmen yapı Nisan 2005' te açılan ihale ile Belediyece yıktırılmıştır (*).

(*) Adapazarı Vilayet Binası Nisan 2005'te gerçekleşen yıkımında, yıkım şantiyesinden alınan 38 yıllık beton bloklar ve donatılar üzerinde mühendislik büyüklüklerini belirlemek amacı ile çeşitli deneyler yapılmış ve mühendislik açısından taşıdığı önem açısından sonuçlar ekte verilen çizelge ile özetlenmiştir.

4. Sonuç

1967 Akyazı Depremi' nde ağır hasar gören Adapazarı Vilayet Binası' nın deprem sonrası onarım ve takviyesi projesi bu makalenin yazarları tarafından geliştirilen geleneksel metotla yapılmıştır. Yapının güçlendirilmesinden 32 yıl sonra meydana gelen 1999 Doğu Marmara Depremi ($M_w=7,6$) tüm Marmara Bölgesi' ni etkilemiştir. Yırtılan Arifiye fayından yaklaşık 7,5 km (PGA 0,4g) uzaklıkta bulunan Vilayet Binası "taşıyıcılık görevi"'ni başarı ile yerine getirmiştir. Yapının çeşitli depremlerde (Bkz Çizelge -1) göstermiş olduğu bu performansa rağmen, Nisan 2005 tarihinde Adapazarı Büyükşehir Belediyesi tarafından yıkımı gerçekleştirilmiştir. Belediyenin almış olduğu karar ve göstermiş olduğu bu davranışla bilim ve teknik kamuoyumuz hiçe sayılmış, bilimsel ve tarihi bir belge ortadan kaldırılmıştır. Geleceğin Türk teknik ve bilim insanları, deprem otoritelerinin ısrarlı uyarı ve ricalarına karşın, böylesine değerli bir belgeden mahrum bırakılmış, depremlerin yıkamadığı önemli yapı (Şekil - 7), siyasi kapisler uğruna yıktırılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Ambraseys, N. N., Zatopek, A. 1969. The Mudurnu Valley, West Anatolia, Turkey, Earthquake of 22 July 1967. BSSA, Bulletin of the Seismological Society of America, 59. pp.521-589.
- [2] Pınar, A., Honkura, Y., and Kikuchi, M. A. 1996. Rupture Model for the 1967 Mudurnu Valley, Turkey Earthquake and its Implications for Seismotectonics in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone. Geophysical Research Letters, 23. pp.29-32.
- [3] Stein, R.S., Barka, A.A., and Dieterich, J.H. 1997. Progressive Failure on the North Anatolian Fault since 1939 by Earthquake Stress Triggering. Geophysical Journal International, 128. pp.594-604.
- [4] Anadol, K., Arıoğlu, Ü., and Arıoğlu, Ersin. 1972. 1967 Akyazı Depreminden Ağır Hasar Gören Sakarya Valilik Binası Onarım ve Takviye Projesi. Türkiye'de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 83 s.
- [5] Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Bölümü, Depremlerin Eşdeğer Şiddet Haritası. <http://www.deprem.gov.tr/raporlar.html>
- [6] Yapı Merkezi, 2005. The Adapazarı City Hall Reconnaissance Report After 17 August and 12 November 1999 Earthquakes. 25 p (in Turkish).
- [7] Sezen, H., Elwood, K.J., Whittaker, A.S., Mosalam, K.M., Wallece, J.W., and Stanton, J.F. 2000. Structural Engineering Reconnaissance of the August 17, 1999 Earthquake: Kocaeli (Izmit), Turkey - Appendix: Performance of Adapazarı City Hall-. Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER

- Report 2000/09. California, Berkeley, (<http://nisee.berkeley.edu/turkey/FturkappA.pdf>).
- [8] Bakır S., Sucuoğlu H., and Yılmaz T. 2002. An Overview of Local Effects and the Associated Building Damage in Adapazari During the 17 August 1999 Izmit Earthquake. BSSA, Bulletin of the Seismological Society of America, 92, No 1. pp.509-526.
- [9] Yılmaz, M.T., Pekcan, O., and Bakır, B.S.2004. Undrained Cyclic Shear and Deformation Behaviour of Silt- Clay Mixtures of Adapazari, Turkey. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24. pp. 497-507.
- [10] Anderson, J.G., Sucuoğlu, H., Erberik, A., Yılmaz, T., Inan, E., Durukal, E., Erdik, M., anooshehpour, R., Brune, J., and NI, S. 2000. Ground Motions: Implication for Seismic Hazard Analysis. Earthquake Spectra, 16 (Suppl A).
- [11] Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Cihan, M., Özacar, A., and Teksöz, B. 1999. 12 November 1999 Dağdibi (Düzce-Bolu) Depremi Jeolojik Raporu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- [12] Arıoğlu, Ersin, and Arıoğlu, Ergin. 2002. Türkiye'nin Sismoteknik Yapısı ve Depremlerin Manevi/Ekonomik Boyutunun Değerlendirilmesi Araştırma Raporu, Yapı Merkezi Holding, İstanbul.
- [13] General Direction Directorate of Disaster Affairs. 2004. Microzonation for Earthquake Risk Mitigation. DRM – MERM Project., Ministry of Public Works and Settlement http://www.drmonline.net/drmlibrary/pdfs/MERM_Executive_Summary_2004_03_E.pdf
- [14] Köksal M.D., Gökçe, O., Ansal A., Laue, J., Buchheister, J., Erdik, M., Springman, S., Stduer, J., Laue, J., and Fäh, D.2004.Setting out sustainable earthquake risk mitigation principles through project MERM and first testing of applicability in Adapazari and Gölcük, Turkey. 32th International Geological Congress, August 20-28 2004, Floransa, Italy.
- [15] Yapı Merkezi Holding A.Ş., Ar –Ge Bölümü, 2003. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi'nde Adapazari' nda gözlenen bina hareketlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi. Yayın No: YM / AR-GE / 2003-13, s. 32.
- [16] Bozorgnia, Y., Campbel, K.W.2004. Engineering Characterization of Ground Motion, Chapter 5, Earthquake Engineering.(Editors: Y. Bozorgnia and V.V. Bertero), CRC Pres Boca Raton. pp 5.1 – 6.9.
- [17] Hassan A.F., Sözen, M.A.1997. Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes. ACI Structural Journal, Jan.-Feb.1997. pp. 31-39.

- [18] Aytun, A, 1972. Experimental Determination of Natural Vibration Periods of Structures. Symposium on Earthquake Engineering and Earthquake Related Problems in Turkey. Scientific and Technical Research Council of Turkey. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara. pp.2 – 5.
- [19] Arıoğlu, Ergin, Arıoğlu, B., and Girgin, C. 2001. Doğu Marmara Depreminin Yer İvmeye Değerleri Açısından Değerlendirilmesi. Beton Prefabrikasyon Dergisi. Sayı 57-58, s.5-15.
- [20] Yapı Merkezi İnş. ve Sanayi A.Ş. Sakarya Vilayet Binası Yıkıntı Numunelerine ait Teknik Rapor, 2005. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı, İstanbul.10 s.
- [21] Yapı Merkezi Holding A.Ş., Ar-Ge Bölümü, 2005. Sakarya Vilayet Konağı yıkıntı numuneleri deney sonuçlarına ilişkin AR-GE Bölümü değerlendirmeleri. İstanbul.
- [22] Anadol, K.2006. Adapazarı Vilayet Konağı neden ve nasıl yıkıldı? Yapı Dergisi, No: 292, s. 11., İstanbul.

Ek – I:

Adapazarı Vilayet Binası betonlarına ait mühendislik büyüklükleri [20,21]

Mühendislik Büyüklüğü	Orjinal Yapıya ait Beton	Güçlendirilmiş Yapıya ait Beton
Birim Ağırlık, kg/m ³	1920	2230
Ağırlıkça Su Emme, %	9,0	5,6
Karbonatlaşma Derinliği, mm	19	– *
Beton Basınç Dayanımı, MPa – küp –	16	19**
Çelik Akma Dayanımı, MPa	-	2630
Ultrases Geçiş Hızı, mm/μs	4,8	6,2
Ortalama Schmidt Okumaları	26	36

* Sıva – beton arayüzü tespit edilemediği için karbonatlaşma derinliği belirlenmemiştir.

** Su emme değeri kullanılarak kestirilmiş basınç dayanım değeridir.

