

Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi

Ali Bayraktar

*SGM Sismik Güçlendirme Merkezi İnşaat Ticaret ve Sanayi Limitet Şirketi
İnönü Cad. Sümer Sok. Zitaş D1 Blok No:19/8 Kozyatağı Kadıköy 34742 İstanbul Türkiye*

ÖZET: Bu bildiri; tarihi yığma yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken uyulması gereken hesap ve yapım kurallarını detaylı bir şekilde sunmayı hedeflemektedir. Tarihte birçok değişik tipte taşıyıcı yığma duvar tipi kullanılmıştır. Yığma yapıların düşey yükleri taşımakta sorunu yoktur. Eksiklikleri; depremlerde açığa çıkan yatay yükler sonucu oluşan çekme gerilmelerini alacak çekme elemanlarına sahip olmamaları ve bu sebeple depremlerde çoğu zaman ağır yapısal hasara uğramalarıdır. Tarihi yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken tarihi dokunun ve yapıya has mimari özelliklerin korunması zorunludur. Bu bildiride; değişik tiplerdeki tarihi yığma yapıların her biri için kendisine uygun güçlendirme prensipleri ele alınmıştır. Esasen, tarihi yığma yapılarda en temel sismik güçlendirme prensibi; yapının tarihi dokusuna minimum zarar vererek, deprem anında oluşan çekme gerilmelerini alabilecek, yapının maddesel özellikleriyle uyum sorunu olmayan, uzun ömürlü ileri teknoloji ürünü çekme elemanlarını yapının bünyesine entegre etmektir.

Anahtar Kelimeler : Yığma Yapı, Güçlendirme, Çekme Elemanı, Deprem, Karbon Fiber.

ABSTRACT: This paper attempts to describe in detail the design and construction principles for seismic strengthening of historic un-reinforced masonry (URM) structures. The paper explains design and computation principles for foundations, load-bearing walls, arches, domes, and minarets. Historic un-reinforced masonry (URM) structures typically withstand all vertical loads, but fail under even small tensile stresses due to their inability to carry lateral loads that prevail during earthquakes. Seismic strengthening of un-reinforced historic structures requires careful preservation of precious and sometimes priceless architectural details that area associated with these structures. Specifically, the governing seismic strengthening principle for an historic un-reinforced masonry structure is to incorporate special high technology tension-absorbing materials at locations where tensile stresses occur during earthquakes. Admittedly, it is imperative that only materials compatible with the original components of the historic structures be used for seismic strengthening.

Keywords: Masonry Structure, Strengthening, Tensile Member, Earthquake, Carbon Fiber

Giriş

Bu bildiri; tarihi yığma yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken uyulması gereken genel hesap ve yapım kurallarını sunmayı hedeflemektedir. Tarih boyunca birçok değişik tipte taşıyıcı yığma duvar tipi kullanıldığını görüyoruz. Her tarihi yapı kendine has özelliklere sahiptir. Tarihi yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken tarihi dokunun ve yapıya has mimari özelliklerin korunması zorunludur. Bildiride; değişik tiplerdeki tarihi yığma yapıların her biri için kendisine uygun güçlendirme prensipleri ele alınmıştır. Yığma duvarlarla ilgili bilgilerin verildiği ve kritik dizayn ve yapım konularının işlendiği ilk bölümden sonra; tarihi yığma yapıların dizayn ve yapım kuralları ele alınmış, yapıların temel, kemer, kubbe ve minare gibi çeşitli bölümleri ayrı ayrı konu edilmiştir. Bu bildiride yer alan güçlendirme kuralları tarihi yapı kapsamına giren, taşıyıcı elemanlarında kullanılan malzemesi taş ve Horasan kagir olan yapıları kapsar.

Tarifler

Temel

Tarihi yapılarda temeller yapının en önemli kısmıdır. Temel gerekli derinliğe kadar kazılır, olması muhtemel basınç kadar, taşlarla doldurularak zemine gerilme tatbik edilir, zemin ıslahı yapılarak yapı temelleri inşa edilirdi. Temellerin korunması için en önemli konu zemin suyudur. Zemin suyunu; kapiler, cazibe suyu olarak ayırabiliriz. Kapiler su, yer altı su seviyesinden beslenmesi kopartılarak giderilebilir. Cazibe suyunun hareketi, yeraltı su seviyesi temel seviyesi altına düşürülerek önlenir. Tarihi yapıların tabanında galeriler yapılarak, temellerin havalandırılması kapiler suyun kurutulması için önemlidir. Cazibe suyun etkilerinden korunmak için temellerin çevresinde su tahliye boruları döşenmiştir.

Taşıyıcı Duvar

Temel seviyesinden itibaren yapılar genellikle taş duvarla devam eder. Doğal taşların yontulması ile oluşturulan bloklar yatayda düzgün sıralar halinde dizilmektedir. Taşların arasında kot farkı olmamasına dikkat edilir. Düşeyde derzler şaşırtılarak düzenlenmektedir. Duvar yüzeyine dik doğrultuda bağlantı blokları veya derzler şaşırtılarak duvar örülmektedir. Duvar taşları arasında bağlayıcı olarak Horasan harcı kullanılmıştır. Duvarların iç ve dış cepheleri boyuna taşla örülüp iç kısma dolgu duvar yapılmışsa, yer yer taştan veya bağlantı teşkil edecek başka elemanlarla duvarın her iki yüzlerinin irtibatları yapılır.

Kemerler

Düşey ve yatay yükleri belirli noktalara yönlendiren, taşıyan yapı elemanlarıdır. Mesnetlerinde gergi çekme çubukları (Özengi Çubuğu) olabildiği gibi; gergi elemanı olmadan da yapılabilir. Gergi çubuksuz yapılanların mutlaka güçlü duvarlara oturtulmuş olmaları şarttır. Açıklıklarda tıpkı kiriş gibi yük taşırlar.

Tonoz

Kemer genişliği açıklığına eşit veya daha büyükse buna tonoz denir. Yapısı ve yapımı aynen kemerler gibidir.

Kubbeler

Kubbeler tarihte büyük mekanları örten yapılar olarak inşa edilmişlerdir. Sinan mimarisinde kubbe, yapının ağırlık merkezini oluşturur. Tüm yapı taşıyıcı sistemi

kubbenin mesnetlenmesi ve desteklenmesi doğrultusunda biçimlenir. Yapım tekniği kubbe duvarının devamlı basınç altında kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Kubbenin oturduğu duvar kısmına kasnak denir. Kasnak duvarın basıncını devamlı kılan önemli bir topuk elemanıdır. Kubbe duvarında devamlı basınç varken, kasnak yatay ekseninde dışa doğru kayma, boyuna doğrultuda devamlı çekme mevcuttur.

Kapsam

Düşey ve yatay yükler için taşıyıcı sistemi yığma kagir duvar, tonoz, kemer, kubbe, vs.den oluşturulan tarihi yapılar konumuz olacaktır. Doğal veya yapay malzemeler taş, tuğla, vs.den oluşmaktadır. Amaç restorasyon kuralları dahilinde, yapıların deprem kuvvetlerine karşı nasıl güçlendirilebileceğinin esaslarını belirlemektir.

Malzeme

Tarihi yapılardaki mevcut yapı malzemesinin özelliklerinin tespiti için gerekli test ve ölçümler yapılmalıdır. Onarım ve güçlendirme yapımında kullanılacak malzemelerin ise aşağıdaki maddelerde açıklanan özellik ve standartlarda olması gerekir.

Doğal Taşlar

Kullanılacak taşlar ocak taşı olmalı ve bünyelerinde çatlak kısımlar olmamalıdır. Ocakta taş hazırlanmasında dinamit kullanılmamalıdır. Taşlarda; hava etkisi ile ayrılmış veya ayrılmaya başlamış kısımlar bulunmamalıdır. Ocağın yüzeyinden çıkarılan taşlarda bozulmuş veya rengi değişmiş kısımlar, taş ocağında temizlenmeli ve yapı yerine getirilmiş taşlarda; bozulmuş, ayrılmış veya renk değiştirmiş kısımlar olmamalıdır. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak taşların, minimumda, TS699'da öngörülen minimum basınç mukavemetlerini karşılaması gerekmektedir.

Harç

Toprak, saman ve kendir parçalarının su ile yoğrulmasından elde edilen karışım en basit harçtır. Tarihi yapılarda bu tür harca sıkça rastlanmaktadır. Harç malzemesinin iyileştirilmesi için uğraşmış birçok katkı maddeleri uygulanmıştır. Katkı malzemesi olarak kireç, pişirilip öğütülmüş kil, yumurta akı gibi malzemeler kullanılmıştır.

Horasan Harcı

Horasan, pişirildikten sonra öğütülmüş kildir. Horasan harcı, Horasan ve kireçle yapılan harca denir. Su ile hidrate olan kireç $Ca(OH)_2$ zamanla suyunu atar, kristalleşir ve katılaşır. Kirecin bu katılaşması kristalize olayından ileri geldiği için, su ile temasında tekrar yumuşar. Harç mutlaka duvar örüldükten sonra kuruda muhafaza edilmelidir. Kireç kalsiyum karbonata dönüştükten sonra sertleşme süreci devam eder. Pişmiş kil tozu kimyasal etkinlik kazanmış silistir (SiO_2). Silis zayıf bir asittir. Kuvvetli baz olan kireç, pişmiş kil tozları ile asit-baz reaksiyona girince kalsiyum silikat oluşur. Bu oluşum için rutubetli ortam yeterlidir. Kalsiyum karbonat ve kalsiyum silikat dış etkilere dayanıklı malzemelerdir.

Proje ve Hesap Esasları

Genel

Korunması düşünülen yapılarda mutlak korunması gereken elemanlarla, bozulduğu, çürüdüğü kırıldığı için değiştirilebilecek elemanların tespiti yapılırken, korunacak yapı elemanları tespiti de yapılmalıdır. Değiştirilecek veya yenilenecek parçaların değişim şeklinin mutlaka projelendirilmesi şarttır. Projelendirilme restorasyon kural ve

standartlarına uyularak yapılmalıdır. Güçlendirme amacıyla bozulan taşlar, aynı bünye ve yapıdaki taşlarla değiştirilmelidir. Yenileme, taşıyıcı tuğlada yapılacaksa, tuğlanın ebatları eskisiyle aynı olmalıdır. Güçlendirme çalışması derz bölgelerinde yapılacaksa, yapıdaki maksimum derz kalınlığının tespit edilmesi şarttır. Tespit edilen derz kalınlığı ortalama derz çalışma genişliği tespit edilmesine esastır. Çalışma ortalama derz genişliği maksimum derz genişliğinden küçük seçilmelidir. Çalışmasına izin verilen derz genişliği oyularak, güçlendirme çalışması yapılabilir. Derz bölgelerindeki yenilenen harç eskisiyle aynı yapıda olmasına özen gösterilmelidir. Tarihi yapıların analitik incelemesinin yapılması şarttır. Yeterli kesit zorlarının bulunup irdelenmesi güçlendirme projelerinin esasını teşkil eder. Yapıların tüm elemanlarının bilgisayar ortamında modellenerek, deprem etkilerindeki davranışlarının görülmesi gerekmektedir.

Temeller

Temeller çevre sularına karşı mutlaka korunmalıdır. Koruma temellerin yapay malzemelerle izolasyonu şeklinde düşünülmemelidir. Çevre sularını temel tabanından uzak tutulmalıdır. Eski yapı tekniğinde var olan temellerin galerilerle havalandırılması en uygun su izolasyon sistemidir. Tarihi yapılarda temellerin tabii yollardan havalandırılması yapılmıştır.

Taşıyıcı Duvarlar

Taşıyıcı duvarlar, düşey ve yatay yüklerin temele taşınmasında kullanılan yapı elemanlarıdır. Basınç ve kayma gerilmeleri etkisinde olan duvarlar düşey düzlemsel yapı kısımlarıdır. Taşıyıcı duvarlarda güçlendirme veya yenileme amacıyla kullanılacak doğal ve yapay taş malzemeleri mevcuda uygun nitelik ve evsafa olmalıdır. Bağlayıcı harç seçimi yapıda kullanılan harcın laboratuvar analizleri ile tespit edilen birleşimine uygun olmalıdır. Basınç güvenlik dayanım değerini kurtarmıyorsa, eski duvar yapısında, eski duvarla iyi kenetlenmiş ek duvarla kesiti artırılmalıdır. Duvarların basınç güvenlik gerilmeleri duvarların narinlik oranlarına göre azaltılmalıdır. Kayma gerilme emniyet değerleri aşan yapı kısımlarında duvarın bünyesine yerleştirilecek elemanlarla kayma gerilmeleri karşılanmalıdır. Duvarlarda oluşacak çekme gerilme bölgeleri mutlaka hesapla bulunmalıdır. Duvarlar çekme gerilmesi taşımamaktadır. Çekme gerilmesinin olduğu bölgelerdeki çekme kuvvetlerinin çekme elemanları ile karşılanması şarttır. Tarihi yapılarda çekme gerilme elemanları olarak demir kenet veya ahşap kalas kullanılmıştır. Doğal ahşap ve demirin dayanımını kaybetmiş olacağı ve güçlendirme yapılırken ahşap ve demir çekme elemanlarının var olduğu düşünülmemelidir. Duvar bünyelerindeki yapı elemanları rijitlik bakımından uniform olmalıdır. Bu sağlanamıyorsa, boyut ve rijitlikleri aynı olan yapı elemanlarının duvarda aynı kotta bulunması sağlanmalıdır. Yapılarda bu kurala uymayan kısımlardaki taşlar, yenileri ile değiştirilmelidir. Duvar içine yerleştirilecek yapı parçalarının boyut olarak duvarı oluşturan yapı taşları boyutunda olmasına önem verilmelidir. Çekme elemanları, yapısı dış tesirlerden etkilenmeyen malzemelerden seçilmelidir. Zira; duvar ve sıva harcı yapı çekme elemanlarını, dış etkilerden koruma özelliği zayıftır. Taşıyıcı duvarlarda sıfır derz uygulamaları ıslah edilmelidir. Sıfır derz taş duvar dış cephelerindeki yatay derz bölgeleri, yapıda tespit edilen minimum derz genişliğinde, duvar taş yüksekliğinin yarısı derinliğinde boşaltılmalı, duvardaki harç malzemesi ile boşaltılan derzler dolgu yapılmalıdır. Harç duvardaki yük aktarılmasının uniform olmasını sağlayacaktır. Duvar bitimleri taş veya tuğla ile sonlanıyorsa, bu kotta yapı elemanlarını taş duvarlarda iki sıra, tuğla duvarlarda üç sıra olarak yatay ve düşey ekseninde irtibatlandırılmalıdır. Kullanılacak kenetlerin dış tesirlerden etkilenmeyen malzemeden seçilmesine dikkat edilmelidir. Demir kenet asla kullanılmamalıdır.

Kemerler

Düsey ve yatay yükleri belli noktalara yönlendiren, taşıyan yapı elemanlarıdır. Mesnetlerinde gergi çekme çubukları olabildiği gibi gergi elemansızda yapılabilmektedir. Gergi çubuksuz yapılanların mutlaka güçlü duvarlara oturtulmuş olmaları şarttır veya ayak kısımlarında ağırlık kuleleri gerekmektedir. Kemerlerin şekli, düsey kuvvet tesirleriyle hesap edilen eğilme momenti grafiğinin, her bir kesitinde momentleri sıfır olan çizgi denkleminin eğrisi, taşıyıcı sistemin geometrisini belirler. Moment sıfır eğrisi kemer oluşturan duvar kesitinin içinde kalırsa, kemer alt ve üst kesitlerde çekme gerilmesi oluşmaz. Tarihi yapılarda hep uygulanan dış yüzeyi taş kaplamalı tuğla duvar kemerler, deprem bölgelerinde mutlaka takviye edilmelidir.

Kubbeler

Kubbe, bir kemerin ekseni çevresinde dönmesi ile elde edilen küre parçasından ibaret taşıyıcı sistemdir. Kubbeler mesnetlerinde, sürekli taşıyıcı elemana gerek duyar. Bu nedenle, dairesel bir mesnede oturması gerekir. Dairesel mesneden dış çemberi boyunca çekme kuvveti mevcuttur. Radyal doğrultuda yatayla muayyen açıda yatay kuvvet mevcuttur. Yatay kuvvetin düşeyle yaptığı açı kubbenin basıklığı ile artmaktadır. Kubbenin basıklığı kubbe yüksekliğinin kubbe çapına oranıdır. Basıklık arttıkça yatay yük vektörü düzlenmekte, yük değeri artmaktadır. Kubbenin bu yapısal özelliğini bilip, oluşturduğu kuvvetleri iyi mesnetlendirmek gerekmektedir. Sürekli taşıyıcı eleman çemberdir. Kubbe, geometrik biçiminin oluşturduğu statik özellikleri nedeni ile taşıyıcı sisteme her yönde eşit etki yaparak, merkezi yapı şemasını zorlar. Kubbe yapıların en ağır kütleleridir. Oturdukları yapı sisteminin her iki yönde simetrik oluşması gerekmektedir. Sistemin tam simetrik olmadığı kubbeli yapılarda, büyük burulmalar oluşur. Kagir yapılar burulma momentleri tesirlerine karşı hassastırlar. Bu nedenle yapılara simetri özelliği kazandırılmalıdır. Kubbelerin yatay yük taşıma kapasitesini artırmak için payandalar yapılmıştır.

Sonuç

Çelik çubuklarla tasarlanmış beton perde veya kolon şeklindeki betonarme elemanlar genel olarak güçlendirmelerde yığma duvarlara dışardan bir kaplama veya ilave şeklinde uygulanmaktadır. Fakat bu ilave edilen güçlendirme elemanları ile mevcut duvarın birleşim bölgelerinde büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır. Mevcut yığma duvarlara göre çok daha rijit olan betonarme elemanlar deprem esnasında çok daha büyük dış kuvvetleri üzerlerine çekmektedir. Beton kadar rijit olmayan yığma duvarlar, birleşim bölgelerindeki oluşan bu büyük kuvvetlere karşı dayanıksız olduğundan sistem bu bölgelerde dağılmakta ve mukavemetini kaybetmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı yığma binalarda betonarme elemanlarla yapılan güçlendirmeler uygun olmamaktadır. Çelik profil elemanları da güçlendirme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu profillerde de çelik çubuklardaki dezavantajlar mevcuttur. Ayrıca bu elemanların mevcut yığma duvarların bünyesine dahil ederek uyumlu bir şekilde çalışmalarını sağlamak imkansızdır.

Bugüne kadar tarihi yapıların güçlendirmesinde kullanılan tekniklerin yerine SGM çok farklı bir yöntem önermektedir. Bu yöntem halen Türkiye, ABD'de patent koruması altındadır. SGM 365 adı verilen metodun ana prensiplerini özet olarak şöyle açıklayabiliriz: Yığma yapıların güçlendirilmesinde esas olan, yapıda oluşan ve emniyet sınır değerlerini aşan düşey basınç gerilmelerinin olduğu bölgelerdeki duvar kesitlerinin yine aynı özellikteki malzemeler kullanılarak büyütülmesidir. Bundan

sonraki aşama; duvarlarda oluşabilecek çekme gerilmelerinin çekme elemanları ile alınmasıdır. Esas olan çekme bölgelerine çekme bantlarının yerleştirilmesi ve yerleştirilecek çekme bantlarının yapısı ve özelliklerdir. Bu amaçla; yığma yapılarda güçlendirme elemanı olarak karbon, kevlar ve polipropilen elyaf esaslı iplerle örülmüş özel bantlar, çekme elemanı olarak önermekteyiz. SGM'nin tasarladığı özel üretilmiş bantların çelik çubuklara kıyasla avantajları oldukça fazladır. Korozyona karşı çelik gibi hassas ve duyarlı değildir. Nem ve rutubet etkisinde özelliğini kaybetmeden yıllarca yapının bünyesinde görevini icra eder. Örneğin karbon esaslı çekme elemanlarının çeliğin kopma dayanımının minimum 5 katı kadar bir mukavemete sahiptir. Bu özel çekme bantları yığma yapıya diğer metotlarda olduğu gibi dışarıdan bir yapıştırma veya kaplama şeklinde uygulanmamaktadır. Özel çekme elemanları yığma duvar derz bölgelerinin yeterli miktarda oyulması ve açılan bu oyuklara yerleştirilmesi vasıtasıyla yığma duvarın bünyesine dahil edilmektedir. Bu oyuklar yine özel üretilmiş olan bir harçla doldurulmaktadır. Bu şekilde yığma yapının orijinal haldeki durumuna uygun bir malzeme kullanıldığı için herhangi bir uyum problemi yaşanmaz. Duvarların bu bant bölgeleri çekme esaslı elemanlarla liflenmiş, lifli bünye oluşmuş olur. Lifli bu hatıl bölgeleri çekme kuvvetlerini almak için duvarlara en uyumlu yapı elemanlarıdır. Eski ve yeni harç malzemesi ve duvarın bünyesine dahil edilen özel çekme bantları, beraber uyumlu çalışan bir sistem oluşturur. Yapının homojenliğinde veya rijitliğinde değişiklikler olmadığından oluşabilecek ek tesirlerin önüne geçilmiş olur.

Tüm bu anlattıklarımızı, ülkemizin ve dünyamızın milli serveti olan eski eser yapılarının kurtarılması ve yaşatılması ve gelecek kuşaklara aktarılması içindir.

Metodun Uygulandığı Projeler

- 1-İstanbul Üniversitesi Rektörlük Ana Binası Deprem Sonrası Güçlendirme Projesi
- 2-İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Tarihi A Blok Güçlendirme Projesi
- 3-Laleli 2. Beyazıt Hamamı Güçlendirme Projesi, İstanbul
- 4-Abide Hatun Cami Güçlendirme Projesi, Merzifon
- 5-Kuleli Askeri Lisesi Tarihi Ana Binası Güçlendirme Projesi, İstanbul

Referanslar

İnan, M., *Cisimlerin Mukavemeti*.

Berkaman, A. F., *Yapı Elemanları*.

Çamlıbel, N., *Geleneksel Yapıların Stabilitésinin İyileştirilmesi*

Çamlıbel, N., *Tarihi Yapı Dep. Karşı Day. Artı. İlişkin Sistem Araştırması*.

Karayolları Fenni Şartnamesi.

Dönmezer, H., *Zemin Mekaniği*.

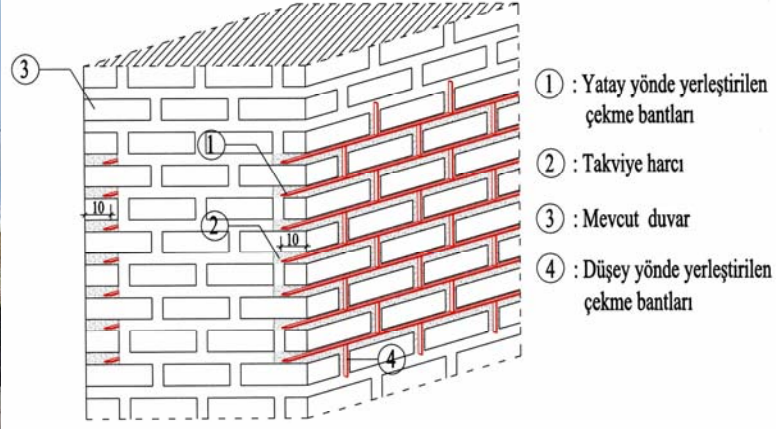
Terzaghi, K., Peck. R. B., *Mühendislik Tatbikatında Zemin Mekaniği*.

Çelebi, M.R., *Yapı Elemanları*.

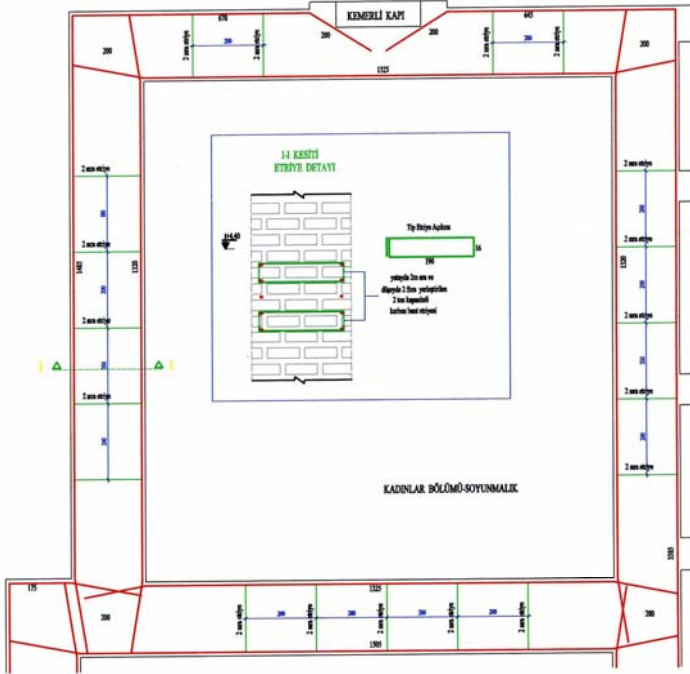
İSTANBUL II. BEYAZIT HAMAMI GÜÇLENDİRME PROJESİ



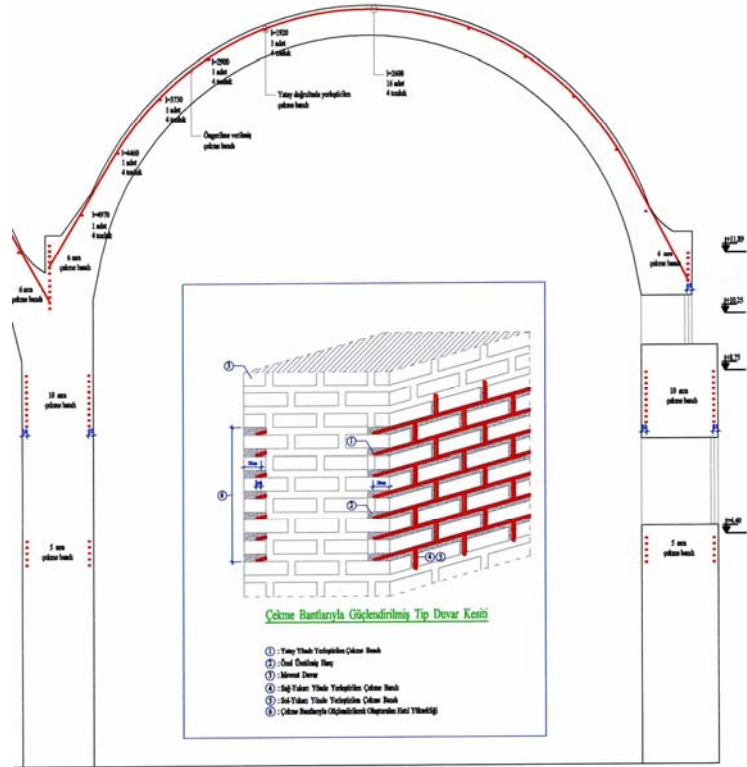
Resim-1: Güçlendirme Modeli Şematik Resmi



Resim-2: Şematik Uygulama Detayı



Resim-3: Duvar Hatıl Projesi Kalıp Planı



Resim-4: Kubbe Takviye Detayı

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜK ANA BİNASI GÜÇLENDİRME PROJESİ



Resim-1: Duvar Hasarı



RESİM-2: Hatıl Uygulaması



RESİM-3: Duvar Hatıl Bölgesi



RESİM-4: SGM Özel Karbon Bantları