

Etkin Güçlendirme Yöntemlerine Örnekler

Prof. Dr. Oğuz Cem Çelik

İTÜ Mimarlık Fakültesi

Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Taşıyıcı sistem malzemesinden bağımsız olarak, eğer bir yapının değişik nedenlerle güçlendirme gereksinimi varsa yapısal sistemde var olan düzensizliklerin giderilmesine öncelik verilmelidir.

Bir diğer konu da eğer zeminde bir sorun varsa, öncelikle zeminin iyileştirilmesi, sonrasında üstyapının güçlendirilmesi gerektiğidir. Zemin sorunu çözülmeksizin yapılan güçlendirme etkin olmayacak, bu durumda yine en zayıf halka olan zeminden kaynaklı göçmeler yaşanacaktır.

Giriş

Yapıların güçlendirilmesini gerektirecek pek çok etken bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yapının kullanımındaki değişikliklerden kaynaklanan etkenler (örneğin bina önem katsayısının değişmesi), tadilatlardan kaynaklanan etkenler (örneğin mevcut yapıya kat/katlar eklenmesi, taşıyıcı olan/olmayan duvarların kaldırılması), projelendirme ve yapım kusurları, yapı ve deprem yönetmeliklerinde zaman içinde yapılan revizyonlar (deprem tehlike haritalarının güncellenmesi, tasarım parametrelerinin değişmesi vb) akla ilk gelenlerdir [1]. Bunların sonucunda mevcut bir yapının güncel deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesinde beklenen deprem yüklerinde önemli düzeylere varan artışlar, daha yüksek güvenlik düzeyi gerektiren yeni işlevler, bir deprem sonrası hasarlı yapının yeniden güvenli kullanımı, sistemde değişiklik olmasa da özellikle mimari yenilemeler sonucu yapının kütledeki kontrolsüz artışlar ve önemli yapısal düzensizliklere neden olabilecek mimari değişiklikler güçlendirme gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Dahası, her şeyi ile yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılarda



da kullanıcının daha ileri performans beklentileri nedeniyle güçlendirme talepleri oluşmaktadır.

En sorunlu yapı stokunu betonarme yapıların oluşturduğu bilinmektedir. Gerçekte uzun yıllardır bu türden yapıların tasarım ve yapım kuralları ile yapısal çözümleme teknikleri üzerinde yazılmış çok sayıda kaynak ve ulusal yönetmelik bulunmaktadır [2-6]. Deprem dayanımını taşıyıcı malzeme dayanımına indirgemenin yanlışlığını akılda tutarak, beton dayanımındaki bilinen düşüklük ve çelik donatı kalitelerindeki sorunlar, diğer olumsuzlukların yanında, bu türden çok katlı yapılarda güçlendirmenin yenilemeye karşı önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Burada unutulmaması gereken bir konu yapısal güçlendirmenin tek başına yeterli olamayacağı, son 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde de görüldüğü üzere, zemin özelliklerinin yetersiz olması durumunda zemin iyileştirmesinin yapılmasından sonra güçlendirmenin verimli olabileceğidir.

Türkiye’de yapısal güçlendirmenin araştırma ve uygulama düzeyi uzun süredir var olmasına karşın, yoğun uygulamanın özellikle 13 Mart 1992 Erzincan Depremi (Ms=6.8) sonrası ortaya çıktığı söylenebilir. Sorunun büyüklüğünü kavramak bakımından son 31 yılda meydana gelen yıkıcı depremlerin aşağıda sıralanması uygun görülmüştür:

- 13 Mart 1992 Erzincan Depremi (Ms=6.8)
- 1 Kasım 1995 Dinar Depremi (ML=5.9)
- 27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi (Ms=6.3)
- 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi (Mw=7.4, Ms=7.8)
- 12 Kasım 1999 Düzce Depremi (Ms=7.3, Mw=7.1)
- 6 Haziran 2000 Çankırı Depremi (Mw=6.0)
- 3 Şubat 2002 Sultandağı Depremi (Md=6.0, Mw=6.2)
- 27 Ocak 2003 Pülümür Depremi (Ms=6.2, Mw=6.0)
- 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi (Ms=6.4)
- 23 Ekim 2011 Van Depremi (Mw=7.2)
- 20 Temmuz 2017 Bodrum-Kos Depremi (Mw=6.6)
- 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya)-Sivrice (Elazığ) Depremi (Mw=6.7)
- 30 Ekim 2020 Sisam (Samos)-Kuşadası Açıkları Depremi (Mw=7.0)
- 23 Kasım 2022 Gölyaka-Düzce Depremi (Mw=6.1)
- 6 Şubat 2023 Nurdağı-Pazarcık Depremi (Mw=7.87.9 8.0 ?)
- 6 Şubat 2023 Ekinözü Depremi (Mw=7.7)

Diğer üniversitelerle birlikte İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ekibi yukarıda listelenen depremler sonrasında pek çok güçlendirme projesinde öncülük yapmış, deprem dirençli kentlerin topluma kazandırılması için yoğun çalışmalarda bulunmuştur.

Bu yazıda konvansiyonel güçlendirme sistemlerinden yenilikçi (inovatif) sistemlere kadar sıkça kullanılanlar üzerinde tanıtıcı düzeyde bilgi verilecektir.



"Güçlendirme ile ortaya çıkan enkesit artık kompozit bir enkesit olduğundan önemli olan, yeni malzeme ile eski malzemenin birlikte çalışmasına olanak sağlayan detayların oluşturulmasıdır."

Yapılarda Güçlendirme Gereksinimi

Yapılarda performans iyileştirmede/yükseltmede genelde 'güçlendirme' sözcüğü dayanımı temsil edecek şekilde yaygın bir biçimde kullanılmakla birlikte, 'sağlamlaştırma', 'kuvvetlendirme' vb terimlere de rastlanmaktadır. Gerçekte, mevcut yapıda var olan bir ya da birden çok davranış özelliğinin (dayanım, rijitlik, süneklik/düktilite) bir ya da birden fazla teknik ile iyileştirilmesi, gelecekte beklenen etkilere göre performansın artırılması hedeflenmektedir. Onarım, özgün tasarımda öngörülen düzeye ulaşmayı gözetirken güçlendirme, özgün tasarım üzerindeki bir performansa/kapasiteye odaklanmaktadır. Olağan dönemlerde güçlendirme uygulamalarının sayısı fazla değilken, özellikle yıkıcı bir deprem sonrasında bu gereksinim katlanarak artmaktadır. Çoğu zaman ise daha deprem etkilerine bile gerek kalmaksızın yapı elemanlarının zamana bağlı bozulması sonucu ortaya çıkan güç



"Çok düşük beton dayanımlarının bulunduğu durumlarda güçlendirme yerine yenileme daha anlamlı olabilmektedir. Ayrıca, düşük beton dayanımları durumunda daha çok betonarme mantolama seçilmesi, daha yüksek değerlerde çelik ya da FRP alternatiflerinin kullanılması daha etkin sonuçlar vermektedir. Buna karşın çok düşük beton dayanımlarında da FRP malzeme ile güçlendirme üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır."

kayıplarının giderilmesi amacıyla onarım ya da güçlendirme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. İstanbul gibi mega kentlerde, betonarme yapılarda gözlenen en büyük sorunun çelik donatı korozyonu olduğu bilinmekte, yalnızca bu nedenle bile yapıların güvenlik düzeylerinin özgün tasarımda öngörülen düzeylerin oldukça altına düştüğü görülmektedir. İleri düzeydeki korozyon oluşumu sonrasında düşey yüklerde bile göçmelere rastlanmaktadır.

Genel tabloyu görebilmek için Türkiye'de son 31 yılda meydana gelen depremlerde betonarme yapılarda ortaya çıkan hasarların bir bölümü aşağıda sıralanmıştır:

- Zayıf malzeme özellikleri (betonarme betonu ve çelik donatı)
- Düzensiz taşıyıcı sistemler (plan ve kesitte düzensizlikler, burulma)
- Bitişik düzendeki yapıların çarpışması (çekiçleme etkisi)
- Sünek olmayan donatı detaylandırması
- Yetersiz kesit boyutları
- Kısa kolonlar
- Kısa kirişler
- Yetersiz yatay rijitlik
- Yumuşak/zayıf katlar
- Kat döşemelerinde yeterli diyafram etkisinin sağlanamaması
- Yerel zemin koşulları vb.

Bütün bunlar içinde, çok sayıda sünek olmayan, perdesiz betonarme çerçeveli binaların önemli düzeyde hasar gördüğü ya da göçtüğü bilinmektedir. Mimari istemler sonucu ortaya çıkan ve güvenliği olumsuz düzeyde etkileyen yanlış çözümler de hasar ve göçmelerin önemli bir diğer nedenidir.

Yığma/kâgır ve ahşap yapılarda ise hasar nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Zayıf malzeme özellikleri (ahşap, tuğla, taş, demir, harç...)
- Düzensiz taşıyıcı sistemler (plan ve kesitte düzensizlikler, burulma)
- Bitişik düzendeki yapıların çarpışması (çekiçleme etkisi)
- Yetersiz duvar boyutları, aşırı narinlik (Düzlem içi ve dışı hasarlar/göçmeler)
- Yetersiz yatay rijitlik, dayanım, süneklik
- Yumuşak/zayıf katlar (sonradan yapılan müdahale sonucu)
- Aşırı duvar ve döşeme boşlukları
- Kat döşemelerinde yeterli diyafram etkisinin sağlanamaması!
- Kubbeler, kemerler, tonozlar, bunların mesnetleri
- Gergi eksiklikleri, hasarları
- Yerel zemin koşulları vb.

Mevcut yapı stokundaki oranı çok olmasa da çelik yapılar da niteliksiz kaynaklar, yerel, tümsel burkulmalar, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki sorunlar, temel ankraj elemanlarındaki sorunlar vb hasarlar yaygındır.

Taşıyıcı sistem malzemesinden bağımsız olarak, eğer bir yapının değişik nedenlerle güçlendirme gereksinimi varsa yapısal sistemde var olan düzensizliklerin giderilmesine öncelik verilmelidir. Bundan sonra, diğer ek önlemlerin alınması daha anlamlı olacaktır. Düzensizliğin korunarak herhangi bir güçlendirmenin yapılması binanın deprem sırasında davranışını beklenen düzeyde düzeltmeyecektir; yapı göçmese de hasar görülebilirliği artacaktır. Bir diğer konu da eğer zeminde bir sorun varsa, öncelikle zeminin iyileştirilmesi, sonrasında üstyapının güçlendirilmesi gerektiğidir. Zemin sorunu çözülmeksizin yapılan güçlendirme etkin olmayacak, bu durumda yine en zayıf halka olan zeminden kaynaklı göçmeler yaşanacaktır.

Türkiye’de ve çoğu diğer ülkelerde (örneğin Güney Avrupa’da) özellikle iskelet türü yapılarda depremler sırasında meydana gelen göçmelerin en önemli nedenlerinden biri yetersiz yatay rijitliktir. Yıllarca süneklığe güvenildiğinden yalnızca kolon ve kirişlerden oluşan betonarme çerçeve türü yapıların sayısı 1960-2000 yılları aralığında hızlıca artmış, gerek tasarım gerekse yapım kusurlarının bir araya gelmesi ile göçmeler ve bunlar sonucunda on binlerce can kaybı ortaya çıkmıştır. Bu süreçte denetimli hazır betonun ülkeye geç girmesi de bir başka etken olmuştur. Geçmişte inşaat sektöründeki denetim eksikliğinin farkına varılarak, bu denli esnek çerçeve sistemlerdense 5 kat ve üstü binalarda, minimum düzeyde de olsa (örneğin kat alanına bağlı bir oran/yüzde verilebilirdi) betonarme perde kullanımının zorunlu hale getirilmesi çoğu sorunu çözebilir ve can kayıplarının önüne geçebilirdi.

Özetle sorun, birikerek günümüze dek gelmiş, her yönetim bir çözüm arayışına girmiş ancak sorunun bü-

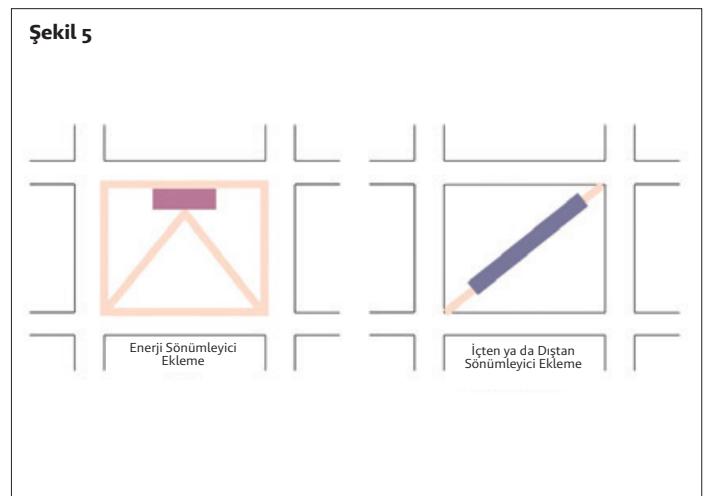
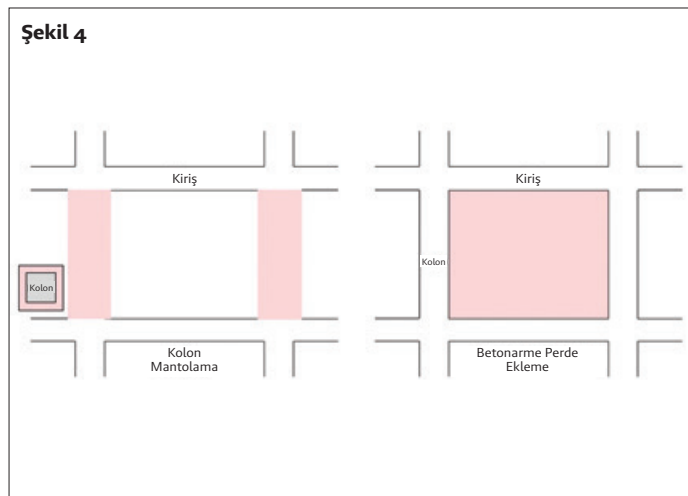
yüklüğü nedeniyle henüz bir sonuca ulaşamamıştır; yakın bir gelecekte de tam çözüme ulaşmak mümkün görünmemektedir. Şimdilerde ise “Zayıflıkları bulunan bu yapı stokunun güçlendirilmesi mi yoksa yenilenmesi mi daha uygundur” sorusuna hızlı ve maliyet etkin bir yanıt aranmaktadır. Farklı bir biçimde ifade ve Hamletimsi bir deyişle ‘güçlendirmek ya da güçlendirmemek’ (ama yenilemek!) sorunsalı ile tüm toplum ve karar vericiler karşı karşıya gelmiştir.

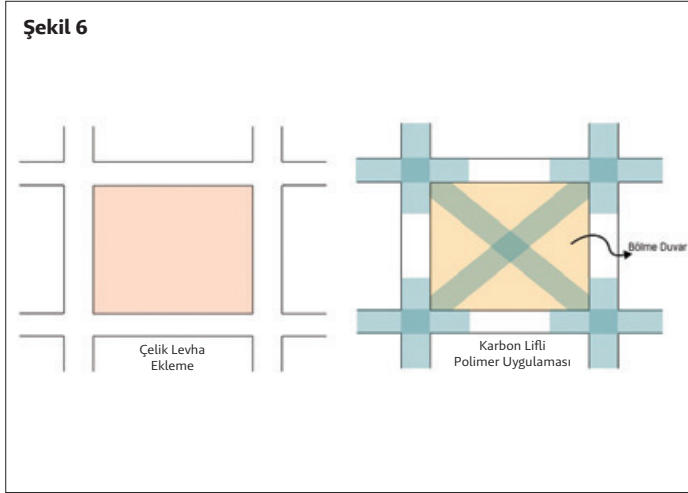
Yapısal Güçlendirme Yöntemleri

Güçlendirme yöntemleri konvansiyonel ve inovatif/yenilikçi olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunun yanında, eleman ve sistem güçlendirmesi de diğer bir ayırım şeklidir [7,8]. Türkiye’de betonarme yapılarda sıklıkla uygulanan konvansiyonel sistemlerdir. Bunlara ek olarak özellikle 2000’li yılların başından itibaren yenilikçi yöntemlere de sektörde şans verilmiştir. Güçlendirmede tasarım ilkelelerine Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kapsamında Bölüm 15’te yer verilmiş, gerekli kurallar açıklanmıştır [2].

Kirişler, Kolonlar, Döşemeler

Betonarme yapı elemanlarından kirişler ve kolonlarda en büyük sorunlardan biri düşük beton dayanımıdır. Örneğin, belirli bir dönemde İstanbul’da inşa edilen yapılardaki betonların bugünkü dayanımlarının ortalaması 9~10MPa’yı geçmemektedir. Bu da sistemle ilgili diğer her şey uygun olsa bile bu tür elemanlardaki iç kuvvet / kapasite oranlarının çok yüksek olması sonucunu doğurmaktadır, bazı durumlarda 1.00’a yaklaştığı (başka bir deyişle kapasiteye ulaşıldığı) görülmektedir. Özellikle yaşlı yapı stokunun betonarme kolonlarında düşük beton dayanımından kaynaklanan ve 0.7~0.8 mertebelerine ulaşan kesme kuvveti ve normal kuvvet oranları dikkati çekmektedir; süneklığı olumsuz yönde doğrudan etkileyen bu türden yapıların

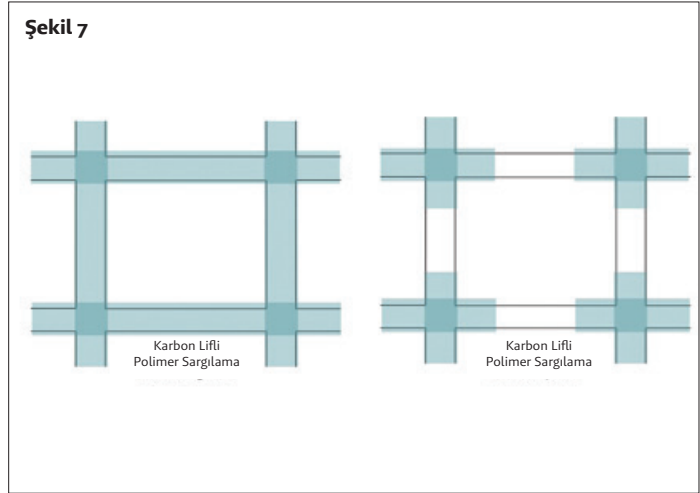




sayısının az olmadığı, deprem güvenliklerinin bulunmadığı açıktır.

Çerçeve türü yapılarda olası güçlendirme şekilleri şematik olarak Şekil 1~7’de verilmiştir. Eğer eleman düzeyinde bir güçlendirme yeterli olacaksa kirişlerin ve kolonların mantolama ile güçlendirilmesi en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Mantolamada kullanılan malzeme olarak betonarme, çelik ve lifli polimerlerden (FRP) yararlanılmaktadır; lifli polimerlerden en çok kullanılanlar karbon (CFRP), cam (GFRP), aramid (AFRP) vb verilebilir. Özellikle 1999 Marmara depremleri sonrasında lifli polimerler ile eleman bazında güçlendirme, getirdiği üstünlükler nedeniyle tercih edilmiştir. Bu türden değişik malzemelerle güçlendirmenin olanak varsa elemanı çepeçevre sarması etkinliğinin artması için gerekli olmakla birlikte tek, iki ve üç taraftan mantolamanın da uygulanmak zorunda olduğu durumlar vardır. Güçlendirme ile ortaya çıkan enkesit artık kompozit bir enkesit olduğundan önemli olan, yeni malzeme ile eski malzemenin birlikte çalışmasına olanak sağlayan detayların oluşturulmasıdır. Çok düşük beton dayanımlarının bulunduğu durumlarda (örneğin $f_c < 9.0 \text{MPa}$) güçlendirme yerine yenileme daha anlamlı olabilmektedir. Ayrıca, düşük beton dayanımları durumunda daha çok betonarme mantolama seçilmesi, daha yüksek değerlerde çelik ya da FRP (Fiber Takviyeli Plastikler veya Polimerler) alternatiflerinin kullanılması daha etkin sonuçlar vermektedir. Buna karşın çok düşük beton dayanımlarında da FRP malzeme ile güçlendirme üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır.

Betonarme döşemelerin güçlendirilmesinde de benzer malzemelerden yararlanılması mümkündür. Yine son zamanlarda döşeme altında (ya da üstünde) gridler şeklinde uygulanan çelik levha ya da FRP şeritlerden yararlanıldığı bilinmektedir. Böylece, eğilme momenti taşıma güçleri etkin bir biçimde arttırılmaktadır. Özellikle köprü tabliyele-



rindeki güçlendirmelerde getirdikleri hız nedeniyle tercih edilmektedir. Bazen FRP lamine elemanlar öngerilme verilerek de kullanılmaktadır.

Yığma / Kâgir Duvarlar

Tuğla, taş gibi birimlerden oluşan yığma / kâgir duvarlarda rijitlikten çok, dayanım sorunları bulunmaktadır. Özellikle derzlerde kullanılan düşük dayanımlı harçlar nedeniyle kayma/kesme dayanımlarındaki düşüklükler çokça karşılaşılan sorunlardandır. Duvar birimlerinde de zaman zaman görülen basınç dayanımı düşüklükleri olabilmektedir. Bu türden duvarlarda kayma dayanımını arttıracak önlemleri almak önceliklidir. Bu amaçla, tercihen duvarın iki yüzünde yapılacak ince bir püskürtme beton (shotcrete) tabakası uygulaması (hasır donatılı) çok yararlıdır. Bunun yapılamadığı durumda lifli polimer malzemeler de X şeklinde ya da tüm duvar yüzeyinde kullanılmaktadır; karbon çubukların derz boşluklarına yerleştirilmesi uygulaması da vardır. Bir diğer yöntem ise duvarda aksenal yük düzeyinin düşeyde uygulanacak bir art germe sistemi ile artırılması, böylece kayma dayanımının iyileştirilmesidir. Bu türden uygulamaların yapının tesilli tarihi yapı olması durumunda sınırlamaları olabilir. Geçmişte mimarlık tarihçilerinin ve restoratör mimarların çok eleştirdiği betonarme çerçeve eklenmesi çözümü de kullanılmış olmasına karşın günümüzde çoğunlukla çelik çerçevelerden yararlanılmaktadır. Mayıs 1964’te kabul edilen ‘Venedik Tüzüğü’, tarihi yapıların korunması ve restorasyonu hakkında uluslararası bir çerçeve belirleyen önemli bir anlaşmadır. Bu tüzükte, yapılacak müdahalenin minimum olması ve geri dönüştürülebilmesi üzerinde durulmuştur. 10. maddesinde ise “Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşaa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamlaştırılabilir” denilmektedir (<http://www.icomos.org.tr/>).

Betonarme Perdeler

Az da olsa orta yükseklikteki eski betonarme yapıların bir bölümünde minimum düzeyde de olsa betonarme perdeler yer almaktadır. Hatta bir dönem 20cm/100cm enkesit ölçülerinde perde olarak kabul edilen elemanların olduğu bina sayısı oldukça fazladır. Kolonlar için verilen mantolama teknikleri perdeler için de geçerli olup güncel yönetmeliklerdeki ölçüler minimum olmak üzere gerekli ölçülere uzatarak getirilebilir. Özellikle başlık bölgelerinde ve gövdede var olan donatı miktarlarının yetersizliği söz konusu ise FRP malzeme kullanımı üstünlük sağlamaktadır. Çelik levhalarla/profillerle güçlendirme de önemli bir alternatiftir; dıştan yapııştırma epoksi ile sağlanmaktadır.

Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri

Tüm sistemin her iki asal doğrultuda yeterli rijitlikte olması durumunda, iç kuvvetler bakımından en çok etkilenen bölümler olan kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi çoğu zaman yeterli olmaktadır. Bu türden güçlendirmeler Türkiye’de çelik levhaların dıştan epoksi yardımıyla yapıştırılması ile başlamış, daha sonra getirdiği üstünlükler nedeniyle FRP elemanların uygulanması ile devam edilmiştir. Günümüzde FRP uygulaması ile zayıflığı bulunan bu bölgelerin davranışları iyileştirilmekte, süneklik de yeterli düzeylere çıkarılmaktadır.

Temeller

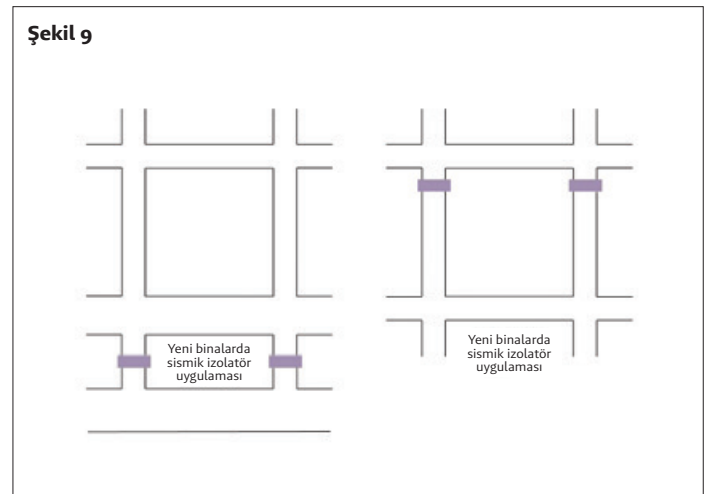
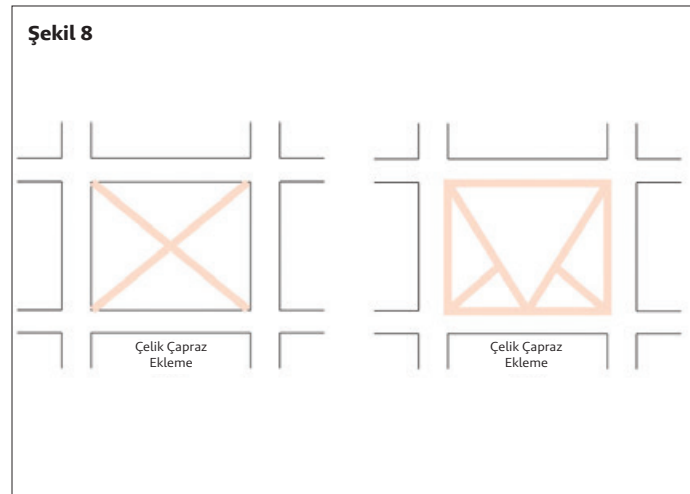
Çok önemli sorunlar dışında eleman bazında yapılan güçlendirmelerde temel güçlendirmesi gereksinimi ortaya çıkmamaktadır. Buna karşın, sistem esaslı güçlendirmede iç kuvvetler sonradan eklenen rijit elemanların (örneğin betonarme perdelerin, çelik çaprazların) olduğu bölgeye yığıldığından temelde de ek önlemler gerekmektedir. Çoğu zaman izlenen yol sürekli ya da tekil temel şeklinde olan temelin, etkilerin yığıldığı bu bölgelerde ya da bazen

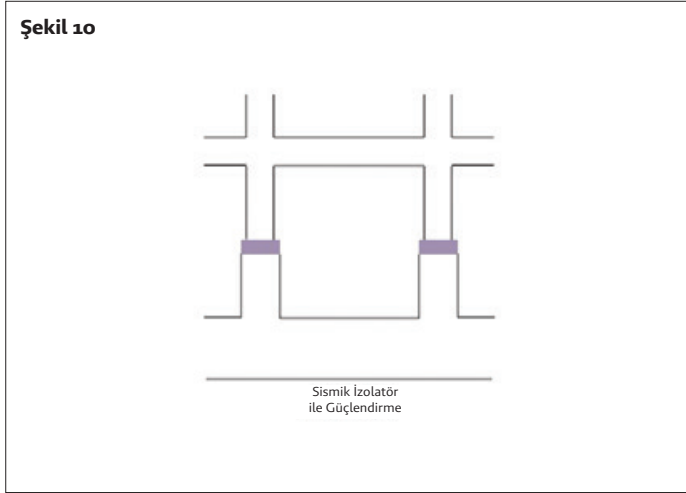
de gerekli olması durumunda tüm bina altında radye temele dönüştürülmesidir. Böylece pek çok sorun (yalıtım vs) birlikte çözülmektedir.

Sistem Güçlendirme Teknikleri

Türkiye’deki yapı stokunda (özellikle büyük şehirlerde) en büyük sorunlardan biri sistem yetersizlikleridir. Yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik düzeyinde olmayan 20 yaş ve üstü betonarme çerçeve türü yapılar bu konuda en üst sırada yer almaktadır. Rakamlar değişmekle birlikte örneğin İstanbul’da 9 kat üzeri bina oranı %2.34, 5~8 katlar arası bina oranı %31.89, 1~4 katlar arası bina oranı ise %65.77’dir. Yapım yıllarına göre bir değerlendirme yapıldığında ise 2000 sonrası binaların %30.86, 1980 öncesi binaların %22.15 ve 1980-2000 yılları arasındaki binaların ise %46.99’a ulaştığı görülmektedir. Bu yapıların %82.52’sinin betonarme iskeletli olduğu ortaya çıkmıştır. Yine, tam bir rakam vermek mümkün olmamakla birlikte betonarme iskeletli yapıların yukarıda açıklanan değişik türden olumsuzlukları barındırdığı ve mutlaka güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tüm sistemin iyileştirilmesine yönelik olası güçlendirme teknikleri aşağıda kısaca özetlenecektir:

"Türkiye’deki yapı stokunda (özellikle büyük şehirlerde) en büyük sorunlardan biri sistem yetersizlikleridir. Yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik düzeyinde olmayan 20 yaş ve üstü betonarme çerçeve türü yapılar bu konuda en üst sırada yer almaktadır."





Betonarme Perde Eklenmesi:

Uzun yıllardır, özellikle 13 Mart 1992 Erzincan depreminde başlayarak çok sayıda betonarme yapı (çoğunlukla konut) sisteme her iki asal doğrultuda eklenen betonarme perdelerle güçlendirilmiştir. Özellikle köşe kolonlarda gerekmesi durumunda betonarme mantolama da bu sistemle birlikte kullanılmıştır. Kat döşemelerinde ve kirişlerde çoğunlukla ek bir önlem düşünülmemiştir. Deprem etkisiyle ortaya çıkan devrilme momentlerinin önemli bir yüzdesi eklenen bu yeni betonarme perdelerle karşılanmaktadır. Sistemin diğer çerçeve elemanları, geriye kalan düşük orandaki etkileri mevcut kapasiteleri ile karşılamaktadırlar. Perdeler yerleştirilirken olabildiğince dışmerkezlik oluşturulmama ya dikkat edilmiştir. Betonarme sisteme perde eklenmesi çoğu zaman binanın boşaltılmasını gerektirmektedir.

Mevcut kolonlar arasındaki bölme duvarlarının kaldırılarak betonarme perde eklenmesi en yoğun kullanım alanı bulmuştur. Bu türden yapılarda uçtaki kolonların da mantolanarak perdenin başlıkları durumuna getirilmesi perdenin stabilitesi bakımından çok yararlı olmaktadır. Mevcut mimari duvarların kalitesi uygunsa betonarme sistemin duvarları da kullanarak FRP kumaşlarla güçlendirilmesi bina kat sayısı sınırlaması ile TBDY-2018 tarafından önerilmektedir.

Betonarme yapıların betonarme elemanlarla güçlendirilmesine pek çok örnek vermek mümkün olmakla birlikte akıllarda kalan en önemli örnek 1964 yılında inşa edilen Adapazarı Vilayet Binası'dır. Bu bina inşa edildikten hemen sonra 22 Temmuz 1967 Mudurnu-Akyazı depremi ($M_w=7.4 - M_s=7.1$) sırasında önemli düzeyde hasar görmüş, 1968'de güçlendirilmiş, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde etrafındaki binalar dışında göçmeyen tek bina olarak ayakta kalmış ve kriz merkezi olarak kullanılmıştır. Bu deneyimi ile bir 'deprem müzesi' olarak kullanılması akılcı iken, nedendir bilinmez, depremin yıkamadığı bu bina insan eliyle yıkılmıştır [9].

"1964 yılında inşa edilen Adapazarı Vilayet Binası inşa edildikten sonra 22 Temmuz 1967 Mudurnu-Akyazı depremi ($M_w=7.4 - M_s=7.1$) sırasında önemli düzeyde hasar görmüş, 1968'de güçlendirilmiş, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde etrafındaki binalar dışında göçmeyen tek bina olarak ayakta kalmış ve kriz merkezi olarak kullanılmıştır. Bu deneyimi ile bir 'deprem müzesi' olarak kullanılması akılcı iken, depremin yıkamadığı bu bina insan eliyle yıkılmıştır."

Çelik Çaprazlar Eklenmesi:

Çelik çaprazlar ile gerçekleştirilen güçlendirme örnekleri pek çok üstünlükleri nedeniyle tercih edilir duruma gelmiştir. Betonarme yapılarda yeterli beton kalitesinin olması durumunda iç akslarda, dış akslarda ya da iç ve dış akslarda karma olarak çelik çapraz eklenmesi rijitlik ve dayanımla ilgili sorunları rahatlıkla giderebilmektedir. Süneklik ile ilgili sorunlar bulunması durumunda yerel iyileştirmeler (örneğin betonarme elemanlarda FRP ile sargı) etkin olmaktadır. Klasik burkulan çaprazların kullanılmasının yanında burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ) ve diğer türden enerji sönümleyiciler (viskoz, viskoelastik, sürtünmeli sönümleyiciler vb) de benzer amaçlarla kullanılmaktadır. Çaprazlar dışında duvar sönümleyicilerden de yararlanılmaktadır.

Çaprazlı sistemler uygun tasarlanması ve yapıya dıştan uygulanması durumunda yapının boşaltılmasına gerek duyulmamaktadır.

Sisteme betonarme perde ya da çelik çapraz yerine ince çelik levhalar eklenmesi, yaygın olmasa da bir alternatiftir. Sismik İzolasyon:

Sismik izolasyon mevcut yapıların güçlendirilmesinde ve yeni yapı tasarımlarında etkin bir biçimde kullanılmaktadır; özellikle sağlık yapıları başta olmak üzere Türkiye'de de kullanımı artmaktadır. Taban izolasyonu, sismik yalıtım, taban yalıtımı, deprem yalıtımı gibi isimlerle kullanılmaktadır. Tasarım ilkeleri TBDY-2018 Bölüm 14'te verilmiştir.

Ana hedef yapının temel düzeyinden (ya da üst katlardan) yalıtılarak etkilerin üst yapıya en az düzeyde aktarılmasıdır. Böylece herhangi bir düzeyde sistem zayıflatılarak yatay deplasmanlar bilinçli olarak arttırılmakta, yapının periyodu uzatılmaktadır. Sistem bu esasa göre çalıştığından bitişik düzendeki mevcut yapılarda kullanımını mümkün değildir. Farklı türlerden izolatör birimleri bulunmaktadır. Bunlardan en etkini (ya da en etkin izolatör kombinasyonları) seçilerek tasarım sonuçlandırılır. Bu alandaki en önemli konulardan biri maliyet etkin izolatör sistemlerinin geliştirilmesidir; bu amaçla yapılan pek çok çalışma vardır. Örneğin, Japonya’da U şekilli çelik (ya da diğer metaller) sönümleyiciler tek başlarına ya da kauçuk türden izolatör birimleriyle birlikte kullanılmaktadır.

İzolatörlü yapılar önem katsayısı yüksek kamu yapılarında sıklıkla kullanılmakta olup konutlarda da kullanım gündeme gelmektedir. Güçlendirme tasarımlarında ise daha az yoğunlukta kullanım söz konusudur. İyi mühendislik hizmeti görmüş mevcut yapılarda yapıyı boşaltmadan izolatörlü sistemle güçlendirmek mümkündür.

Sonuçlar ve Öneriler:

Mevcut sorunlu yapıların etkin olarak güçlendirilmesinde izlenebilecek olası yollar kısaca tanıtılmıştır. Doğal olarak her yapı özgündür ve kendine özgü özellikleri ile burada önerilen yöntemlerden biri ya da birkaçı ile güçlendirilebilir. Güçlendirme yöntemlerinin etkinliği gerek laboratuvar deneyleriyle (örneğin İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı) gerekse depremler sonrası yalnızca Türkiye’de değil, deprem sorunu olan tüm ülkelerde doğa tarafından test edilmiştir; tasarımda hedeflenen performans düzeyleri sağlanabilmektedir. Doğru tasarım ve uygulama mevcut yapı stokunun sorununu düşük maliyetlerle çözebilecektir. Buna karşın, yanlış güçlendirme tasarımı ve uygulamasının yapıyı daha güvensiz duruma getirebileceği unutulmamalıdır.

Yüksek oranlara varan sorunlu yapıların güçlendirilmesinin uygun olup olmadığı, hangi türden yapıların güçlendirmeye daha yatkın ve anlamlı olduğu hep tartışılmaktadır. Gerçekte güçlendirilemeyecek yapı olmamakla birlikte, yeniden yapım maliyetlerine göre bir üst oran (örneğin %30~50) gündeme gelmektedir. Konunun sosyal boyutu ise çok başkadır.

Güçlendirmede seçilecek performans düzeyleri yönetmelikler tarafından tanımlanmıştır. Sorunlu yapı stoku bu performans düzeylerine göre rahatlıkla güçlendirilebilir. Türkiye’deki araştırmacıların, mühendislerin ve yüklenicilerin deneyimi uluslararası düzeydedir; bu deneyimden yararlanılması önerilir.

Güçlendirmede en önemli sorunlardan biri yapının güçlendirmede boşaltılıp boşaltılmayacağıdır. Boşaltma

“Doğru tasarım ve uygulama mevcut yapı stokunun sorununu düşük maliyetlerle çözebilecektir. Buna karşın, yanlış güçlendirme tasarımı ve uygulamasının yapıyı daha güvensiz duruma getirebileceği unutulmamalıdır.”

durumunda ek konut gereksinimi doğmaktadır; mevcut konjektürde bu, aşılması güç bir sorundur. Uygun yapılarda dıştan güçlendirmenin bu anlamda daha da önem kazandığı ortaya çıkmaktadır.

Sünek tasarımda göçme önlenese bile yıkıcı depremler sonrasında yapı, kullanıcılarına ciddi boyutlara varan yapısal olan ve olmayan hasarlar bırakmaktadır. Hasar gören yapılar güçlendirilse de aynı kullanıcılar tarafından yeniden kullanımı psikolojik bakımdan güçlükler içermektedir. Bu durum yenilikçi yöntemlerle ‘hasar kontrollü tasarım’ ya da ‘düşük hasarlı tasarım’ ilkelerinin Türkiye’de hızla uygulanma aşamasına geçilmesi için bir işaret niteliğindedir. Bu türden güçlendirmelere Japonya’dan örnekler verilmiştir (Şekil 8, 9, 10).

Teşekkür:

Yazar, şekillerin çizimindeki yardımlarından dolayı Dr. Kurtuluş Atasever’e teşekkür eder.

KAYNAKLAR:

1. Çılı, F., Çelik, O.C., Sesigür, H. (2002) Mevcut yapılarda olası hasar nedenleri ve güçlendirme gereksinimi, *Yapı* 247, s.96-102.
2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-TBDY (2018) *Resmî Gazete*.
3. Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, O.C. (2001) *Betonarme*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
4. Karadoğan, F., Pala, S., Yüksel, E., Durgun, Y. (2011) *Yapı Mühendisliğine Giriş-Yapısal Çözümleme 1*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
5. Celep, Z. (2022) *Betonarme Yapılar*, Beta Yayınları, İstanbul.
6. Ersoy, U., Canbay, E., Özcebe, G. (2021) *Betonarme-Davranış ve Hesap İlkeleri*, Evrim Yayınları, Ankara.
7. İlki, A., Karadoğan, F., Pala, S., Yüksel, E. (Editors) (2009) *Seismic Risk Assessment and Retrofitting-with Special Emphasis on Existing Low Rise Structures*, Springer, London.
8. Building Construction under Seismic Conditions in the Balkan Region - UNDP / UNIDO Project RER / 79 / 015 - (1983) *Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings-Vol.5*, Vienna.
9. Arioğlu, E., Anadol, K., Arioğlu, Ü. (2007) Uluslararası deprem mühendisliği açısından önemli bir olgu ve kayıp: Güçlendirilmiş Adapazarı Vilayet Binası, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1 Bildiriler Kitabı*, s.241-254, 27-29 Eylül, Ankara.