

# Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Onarım/Güçlendirme Teknikleri

Joseph Kubin  
İnşaat Yük. Mühendisi, ODTÜ

Türkiye bir deprem ülkesidir. Bu bilinç ile yaşamak, bu bilinç ile depreme dayanıklı yapılar inşa etmek ve bu bilinç ile yetersiz dayanıma sahip binalarımızı güçlendirmek zorundayız. Tipik bir konutun, şiddetli bir depremde hasar görmesi normal karşılanabilir. Önemli olan, yapıların göçmesinin önlenmesidir. Binaların şiddetli bir depremi tamamen hasarsız olarak atlmasını sağlayacak şekilde projelendirilmesi ekonomik değildir. Ancak, yönetmeliklerimiz en şiddetli depremlerde bile yapıların göçmesini engelleyecek önlemleri en detaylı şekilde içermektedir. Bu durumda, depremi hasarlı olarak atlattığı bir yapının taşıyıcı sisteminin onarımı gündeme gelmektedir. Bugüne kadar, çeşitli depremlerde hasar görmüş onbinlerce yapıya onarım ve güçlendirme uygulanmıştır. Bu uygulamaların ana hedefi, yapıdaki hasarı onarmanın ötesinde, yapıyı gelebilecek en kuvvetli yer hareketlerine dayanabilecek şekilde güçlendirmektir. Yapı güvenliğinin belirlenmesine ne zaman gereksinim duyulur? Deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların güçlendirilmesi için mutlaka bir depremden hasar görerek çıkmış olması gerekmektedir. Hasarsız bir binanın da yapısal sisteminin iyileştirilerek güçlendirilmesi gerekebilir. Yapı herhangi bir nedenle hasar görmüşse, yeterli güvenliğe sahip olmadığı açıktır. Aşağıdaki durumlarda, hasarsız olmasına rağmen mevcut bir yapının güvenliğinin belirlenmesi gerekir:

1. Malzeme dayanımının, yapının projesinde öngörülen değerlerden düşük olduğu saptanmışsa,
2. Betonarme binalarda donatıların detaylandırılmasında bazı kurallar vardır. Yapının yeterli oranda enerji tüketebilmesi ve deformasyon kabiliyetinin artması açısından büyük önem taşıyan bu kurallara uyulmamış olduğu belirlenmişse,
3. Binanın kullanım amacı değişmişse,
4. Halen yürürlükte olan yönetmeliklerden önceki yönetmelikler kullanılarak projelendirilmişse,
5. Binanın yanal rijitliğinin yetersiz olduğu belirlenmişse,
6. Binaya yeni bir kat çıkılması gerekiyorsa,

Mevcut bir yapının güvenliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar aşağıdaki safhalardan oluşur:

- Yapının mevcut projelerinin elde edilmesi oldukça yararlıdır. Projeler, yapının hangi varsayımlar ile projelendirilmiş olduğunu anlamak, dikkate alınan yüklemeleri incelemek ve mevcut donatılarının yeterliliğini kontrol etmek açısından önemlidir.
- Projeleri bulunmayan yapılarda, taşıyıcı sistemin belirlenmesi, projesi bulunan yapılarda ise inşaatın projeye uygunluğunun saptanması açısından detaylı bir röleve yapılması gereklidir. Hasarlı binalarda, hasarın rölevelerde gösterilmesi gereklidir.
- Mevcut malzeme dayanımlarının saptanması gereklidir. Bu amaçla, karot ve çekiç testleri yapılarak kullanılan malzemenin mekanik özellikleri saptanır.
- Elde edilen bulgular ışığında, binanın yapısal projesi yürürlükteki yönetmeliklere uygun olarak yeniden yapılır ve mevcut taşıyıcı sistemin yeterliliği kontrol edilir.

## Taşıyıcı Sistemin İyileştirilmesi

Bir yapının onarılması için hasarlı olması gereklidir. Ancak, onarıldıktan sonra, eski rijitliğine kavuşturulan bir yapı, büyük olasılıkla bir sonraki yer hareketinde aynı performansı gösteremeyecektir. Onarım ve güçlendirmenin hedefi, yapıyı yalnızca deprem öncesi sahip olduğu güvenliğe ulaştırmak değildir. Amaç, yapının şiddetli yer hareketlerine karşı koyabilecek rijitliğe ulaştırılmasıdır.

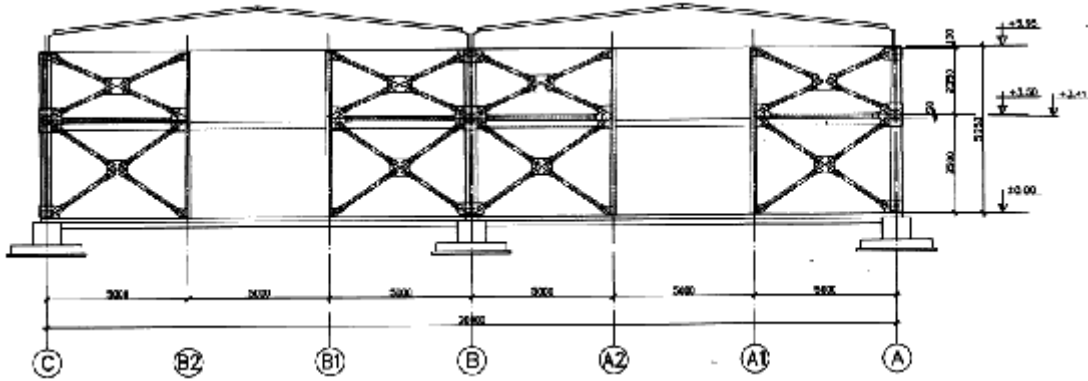
Eğer, hasarlı bir yapı onarılacaksa, hasar nedeni saptanmadan önce hiçbir onarım yapılmamalıdır. Yapı güvenliğinin belirlenmesi işlemi sonucunda yetersiz dayanıma sahip olduğu belirlenen (hasarlı veya hasarsız) bir yapının güçlendirilmesi gereklidir. Yapı güvenliğinin belirlenmesi aşamasında mevcut sisteminin tüm hesapları eldeki malzeme bilgileri kullanılarak yeniden yapıldığından dolayı, taşıyıcı sistemin zayıflıkları bilinmektedir.

Bundan sonraki aşamada, onarım/güçlendirme projelerinin hazırlanması gündeme gelmektedir. Bu amaçla mevcut taşıyıcı sistemin iyileştirilmesi gereklidir. Geçtiğimiz 30 yıl içerisinde, deprem sonrası onarım ve güçlendirme amacıyla çeşitli sistem iyileştirme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin seçimi yapının taşıyıcı sistemine, kullanım amacına, işin tamamlanma sürecine, yapının konumuna ve ekonomik kısıtlamalara bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Sistem iyileştirilmesi yapının yanal rijitliğinin artırılması ile özdeştir. Yapıda, çok sayıda elemanın güçlendirilmesi gerekiyorsa, yeterli yanal rijitlik yoksa, gevrek kırılmaya neden olacak detay hataları varsa, yumuşak kat, kısa kolon durumları varsa sistem iyileştirilmesi gereklidir.

Bu amaçla, betonarme dolgu perdelerin veya çelik çaprazların kullanılması gündeme gelmektedir.

- **Betonarme Dolgu Perdeler:** Bu yöntemle, kolonlar arasındaki bir çerçeve açıklığının betonarme perde ile doldurularak ek yanal rijitlik elde edilmesi sağlanır. Perde donatılarının bağlandığı kolonlara aderansı yüksek dayanımlı kimyasal dübellere kullanılarak yerleştirilen filizler ile gerçekleştirilir.
- **Çelik Çaprazlar:** Bu yöntemle, kolonlar arasındaki bir çerçeve açıklığının içerisine çelik çaprazlar yerleştirilerek ek yanal rijitlik elde edilmesi sağlanır. Çelik çaprazların kolon-kiriş birleşimlerinde oluşturduğu gerilme birikimleri ise çelik çerçeveler kullanılarak dağıtılır. (Resim 1)



Resim 1. Çelik Çapraz Sistem İyileştirme Örneği

Her iki yöntemin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar, kat burulmasını en aza indirecek biçimde rijit elemanların planda yerleşiminin sağlanması ve katlar arasında rijitlik farkının en aza indirilmesinin sağlanmasıdır.

Resim 2'de 1998 Adana-Ceyhan depreminde hasar görmüş olan bir binanın tipik kat planı görülmektedir. Binadaki mevcut kolon ve perdeler koyu renkte taranarak gösterilmektedir. Kat planında ayrıca bu katta tesbit edilen hasar durumu da özel bir notasyon kullanılarak plan üzerinde işaretlenmiştir. Resim 3'de ise aynı kat planında güçlendirme projesi aşamasında eklenmiş olan betonarme dolgu perdeler yeşil renkte görülmüştür. Perdelerin, planda olabildiğince simetrik yerleştirilmiş olması son derece önemlidir.

Unutulmaması gereken en önemli konu, bilinçsizce yapılan bir onarım/güçlendirmenin yarar yerine zarar getirebileceğidir. Resim 4'de görülen bina 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde orta hasarlı olarak sınıflandırılmıştı. Daha sonra, bina onarılarak Ekim ayında yeniden yerleşime açıldı. Ancak, 12 Kasım 1999 Düzce Depreminde sonra 4 katı göçen binanın durumu, yapılan işlemin (yüklenicinin "güçlendirme" yaptığı iddiasına karşın) sistem iyileştirilmesi içermediğinin açık olarak kanıtını

gözlerimizin önüne seriyor. Ne yazık ki, Düzce'de aynı akibeti paylaşan "onarılmış (!)" başka binalar da var.



Resim 4 : 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde orta hasarlı olarak sınıflandırılan bina, onararak Ekim ayında yeniden yerleşime açılmıştı. Ancak, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nden sonra 4 katı göçen binanın durumu, yapılan işlemin (yüklenicinin "güçlendirme" yaptığı iddiasına karşın) sistem iyileştirmesi içermediğinin açık olarak kanıtını gözler önüne seriyor.

## Eleman Onarımı

Yapım hataları, detaylandırma hataları, eksik malzeme ve deprem gibi zorlamalar sonucunda hasar gören betonarme kolon, perde ve kirişlerin onarımı amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklere, genellikle kalıcı deformasyon yapmamış olan elemanların rijitliğinin ve sünekliğinin artırılması amacıyla başvurulmaktadır.

Hasarlı elemanların onarımı çeşitli yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler içerisinde en sıkça kullanılanlar:

- **Çelik Manto:** Bu yöntem ile kolon ve kiriş içinde olması gereken sargı donatısı, bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanıyor. Bu şekilde kolonun hem aksenal yük kapasitesi artırılıyor hem de daha yüksek süneklik elde ediliyor. Çelik manto, katlar arası süreklilik sağlanamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır.
- **Betonarme Manto:** Bu yöntem genellikle kolonlarda uygulanır. Bu yöntem ile kolonun hem aksenal yük kapasitesi hem de sünekliği artırılabilir. Manto içerisine yerleştirilen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanırsa, kolonun eğilme kapasitesi de artıyor. Resim 5'te donatı demirleri yerleştirilmiş tipik bir kolon mantosu görülmektedir. Mevcut kolon ile yeni dökülecek manto betonunun aderansının yüksek olabilmesi için mevcut kolonun donatıları ortaya çıkıncaya kadar kabuk betonu kırılmaktadır.



Resim 5 : Tipik Bir Betonarme Kolon Mantosu Donatı Yerleşimi

- **Epoksi Enjeksiyonu:** Kolon, perde ve kiriş elemanlarında oluşmuş olan çatlakların belli bir genişliği aşmadığı yapılarda betonun aderansının artırılması amacıyla epoksi enjeksiyonu kullanılabilir. Ayrıca, sargı etkisini arttırabilmek amacıyla çelik veya karbon fiberli levhalar yapıştırılabilir.

Ekonomik sınırlar içerisinde kalması kaydıyla her yapının onarılması ve güçlendirilmesi mümkündür. Bilinçli yapılan onarım ve güçlendirme, binaların gerçek anlamda depreme dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır ve güvenle kullanılabilirler. Hiçbir binanın şiddetli bir depremi hasarsız atlaması garanti edilemez, ancak en önemli mühendislik hedefi göçmenin önlenmesidir.