

Deprem Sonrasında Hasar Görmüş veya Görmemesi Muhtemel Betonarme Köprü Rehabilitasyonu İçin Öneriler*

Özet

Dünyada yıkıcı deprem aktivitelerinin en çok görüldüğü bölgelerden biri olan Türkiye’de, son otuz yılda yeterli deprem güvenliği olmayan çok sayıda betonarme bina hasar görmüş veya yıkılmıştır. Bu depremlerde sadece betonarme yapılar değil kentsel altyapı ve ulaşım hatları da ağır hasar görmüştür. Yedek ulaşım hatlarının bazı önemli bölgeler için mevcut olmaması kentlerde deprem afeti sonrasında acil ulaşımın sağlanması engellemektedir. Özellikle afetten sonra yardım çalışmalarının bir an önce başlayabilmesi mevcut yolların kullanılabilirliği ile mümkündür. Yardım çalışmalarının zorunlu olduğu güzergâh üzerinde depremde hasar görmüş bir köprü’nün bulunması ulaşımın yanında acil yardımların iletilmesini de engelleyeceği için kaçınılması gereken önemli bir durumdur. Bu nedenle hasar görmüş veya görme olasılığı olan köprülerin rehabilitasyonu son derece önemlidir. Bu çalışmada depremde hasar görme olasılığı olan ya da hasar görmüş betonarme köprülerin rehabilitasyonu için önerilerde bulunmaktadır. Ayrıca betonarme köprü üst yapı elemanları için güçlendirme tekniklerinden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Rehabilitasyon, güçlendirme, betonarme köprü.

1. Giriş

Ulaşım, ülkeler arası ticarete ve ülkelerin ekonomisinde toplumsal ve kültürel anlamda çok geniş etki alanlarına sahiptir. Bir ülkenin ulaşım sistemi; karayolları, demiryolları, deniz ve havayollarının tümünü kapsar. Deniz ve havayolları için en kritik yapılar deniz ve hava limanları iken kara yolları ve demiryolları için ise köprüler ve viyadükler en kritik yapılardır.

Ülke ekonomisine malların taşınmasıyla yardımcı olan kara ve demir yolları, afetten sonrada deprem bölgesine yardım ulaşımında, yaralıların ve insanların hastanelere veya daha emin bölgelere taşınmasında son derece önemli yer tutmaktadır. Afet nedeniyle ulaşım sistemindeki meydana gelebilecek aksaklık bu bölgeye her türlü yardım ve kurtarma çalışmasının ulaşmasını engelleyecektir. İşte bu nedenle ulaşım sistemlerinin afet sonrasında işlerliğini sağlamak için deprem nedeniyle meydana gelebilecek hasarların deprem öncesinde belirlenmesi son derece önemlidir [1].

Ülkemizde cumhuriyet dönemiyle birlikte yoğun olarak yapımına başlanan karayolu ve demiryolu

* Bu yazı, İnşaat Mühendisleri Odası 6. Kentsel Altyapı Sempozyumu’nda sunulmuştur.

köprülerinin önemli bir kısmı üretim devirlerinin gereği konvansiyonel betonarme kirişlidirler. Bu köprülerin taşıma kapasiteleri de üretildiği yıllarda öngörülen trafik yük ve tekrarlarını güvenle taşıyabilecek şekildedir. Diğer yandan, zaman içerisinde dingil ağırlıklarının hızla artması (örnek olarak son on yılda H20-S16 katar yükünün H30-S24 olması) ve köprüler üzerinde oluşan trafik geçiş frekansının artması bu köprülerin servis ömürlerine güvenle devam edip edemeyecekleri sorusunu gündeme getirmektedir. Genelinde artan trafik yük ve tekrarlarının yanında hızla gelişen sanayinin ve yüksek kapasiteli çekicilerin, özellikle deniz yoluyla gelen ağır yükleri bu köprülerden geçirmesi de betonarme köprü kirişlerinin güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Mevcut köprü ve viyadüklerin deprem kuvvetlerini temel zeminine kadar sürekli ve emniyetli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmaları gerekmektedir [2]. Ancak betonarme köprü ve viyadüklerin mevcut durumları dikkate alındığında tasarım depremi oluşması halinde bile nihai durumlarının nasıl olacağı açıkça değerlendirilmemektedir. Bu nedenle deprem riski altındaki köprü ve viyadüklerin durum ve davranışlarının acil olarak iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada depremde hasar görme olasılığı olan ya da hasar görmüş betonarme köprülerin rehabilitasyonu için önerilerde bulunmaktadır. Ayrıca betonarme köprü üst yapı elemanları için güçlendirme tekniklerinden bahsedilecektir.

2. Köprü ve Viyadüklerin İncelemesi

Köprülerde dış tesirler nedeniyle oluşan hasarların onarılarak en az eski performansına erişmesi durumunda güçlendirme gereksinimi duyulmaz. Köprünün eski performansına ulaşması onarım ile sağlanamayabilir. Böyle bir durumda köprü veya viyadüğün güçlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirme kararı verilirken köprü ve viyadükler için ön değerlendirme gerçekleştirilmelidir. Ön değerlendirmede köprü ve viyadüğün yapısal yeterlilik ve güvenliği, servis ve fonksiyonel eskimesi ve kamu kullanımı için gerekliliği değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme kriterleri içerisinde köprü ve viyadüğün yapısal yeterlilik ve güvenliği en önemlisi olup, güçlendirme gereksinimine bu kriter dikkate alınarak karar verilmektedir.

Köprünün mevcut durumuna köprü tabliyesi, üst yapı elemanları ve altyapı bileşenlerinin fiziksel durumunun değerlendirilmesiyle başlanır. Bu değerlendirme sırasında akustik ses dalgası ile kontrol, elektriksel metotlar, elektromanyetik metotlar, kızılötesi ışınlar metodu, dalga hızı metodu ve ultrasonik testler gibi yapısal bozucu olmayan kontrol yöntemleri kullanılabilir. Elde edilen veriler deneysel ve analitik yaklaşımlarla eş zamanlı olarak incelenerek, değerlendirilmelidir. Böylece lokal veya nominal olarak bozulma veya yıpranmış tüm yapı bileşenlerinin genel durumu hakkında detaylı değerlendirme sağlanmış olacaktır. En uygun güçlendirme yöntemi, yöntemin uygulanabilirliği ve maliyeti değerlendirildikten sonra teknik ve ekonomik optimizasyon sonucu seçilmelidir. Buna göre ülkemizdeki betonarme köprülerde güçlendirme gereksinimi duyulacak elemanlar,

- a) Üst yapı elemanları (ana kirişler, enleme kirişleri, tabliye)
- b) Mesnet bantları, oturma boyları, mesnetler, deprem takozları
- c) Kolonlar ve başlık kirişleri
- d) Temellerdir.

Ayrıca heyelan veya zemin sıvılaşma riski olan bölgede bulunan köprüler için özel tedbirler alınmalıdır. Gerçekleştirilen inceleme sonucunda elde edilen veriler dikkate alınarak güçlendirme projeleri hazırlanmalıdır.

3. Güçlendirme Yöntemleri

Gerçekleştirilecek güçlendirme yöntemine karar verilirken betonarme köprüde bulunan mevcut çatlakların cinsi ve boyutu öncelikle incelenmelidir. Köprü kirişi çekme bölgesinde gözlenen 2 mm'den daha geniş çatlaklar, boyuna donatının akma dayanımına ulaşmakta olduğunu veya aktığını belirtmektedir. Basınç bölgesinde gözlenen kırılma ve ezilmeler ise betonun güvenli bir şekilde taşıyabileceği basınç dayanımından daha büyük gerilmelere maruz kaldığını göstermektedir.

Mevcut çatlakların eğilme veya kesme çatlakları olması güçlendirme yönteminin belirlenmesi açısından önemlidir. Eğilme çatlaklarına, köprü kiriş açıklıklarının ortası veya mütemadi köprü kirişlerinin mesnet üstü bölgesinde ve kirişin üst kısımlarında rastlanılır. Kesme çatlaklarına ise mesnet

bölgesine yakın açıklıklarda rastlanılır. Bu çatlaklar kirişin mesnede yakın alt bölgesinden kiriş ortasına yaklaşık 45° açı ile uzanırlar. Çatlakların cinsi kadar boyutları da son derece önemlidir. Betonarme köprülerde kılcal, dar, orta ve geniş olarak adlandırılan çatlaklardan kılcal çatlaklar betonarme köprüler için normal sayılırken, öngermeli elemanlarda çatlak genişliği ne olursa olsun çatlağın bulunması yapısal bir hasarın habercisidir. Bu nedenle çatlakların genişliklerinin, yerlerinin, boylarının ve açılarının tam kaydı tutulmalı ve belirlenecek güçlendirme yöntemine belli bir süre gözlem yapıldıktan sonra karar verilmelidir.

Köprü güçlendirilmesinde başlıca tercih edilen yöntemler betonarme mantolama, çelik plakalarla mantolama, karbon fiber donatılı polimerlerle (CFRP) ile mantolama, öngörme verme yöntemi ve sismik izolasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Buna göre öngörme verme yöntemi uygulama için özel aparat üretimine ihtiyaç duyar ve bazı köprü cinsleri için uygulama güçlüğü vardır. Ayrıca dikdörtgen kesitli kolon uygulamasında geometriden kaynaklanan problemler uygulamanın etkisini azaltır. Çelik plakalarla mantolama yöntemi, başlangıç maliyetinin yanında çeliğin ağırlığı nedeniyle uygulama zorluğu ve uygulamadan sonra yüksek bakım maliyeti ile karşı karşıyadır. Sismik izolasyon yöntemi pahalı bir yöntem olmasının yanında yapıda uygulama sırasında köprünün trafiğe uzun süreli kapatılması gerektirmektedir. Betonarme mantolama yöntemi ise köprü güçlendirilmesinde çok fazla tercih edilmemektedir. Bu teknikler arasında CFRP kompozitlerle güçlendirme, tekniğin uygulama kolaylığı, malzemenin korozyona karşı dayanıklılığı, düşük ağırlığı, kimyasal etkilere dayanıklılığı ve düşük bakım maliyeti nedeni ile son yıllarda betonarme köprü güçlendirilmesinde de tercih edilmektedir [3].

4. CFRP Kompozitler ile Güçlendirme

CFRP kompozitlerle güçlendirme tekniği kirişlerde, a) eğilme dayanımının artırılması, b) kesme dayanımının artırılmasına yöneliktir. Ayrıca CFRP kompozitler betonarme köprü kolonlarının kesme ve eğilme dayanımlarının artırılması ve köprü döşemelerin güçlendirilmesinde detaylı bir şekilde deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca yöntemin öngermeli betonarme köprülerin eğilme ve kesme yetersizliklerini gidermedeki başarısı da değerlendirilmiştir.

4.1. Kirişlerde Kesme Dayanımının Artırılması

Betonarme köprülerin kullanım amacının değişmesi ve trafiğin artması ile köprü kirişlerinde kesme çatlakları gözlemlenir. Çatlak genişliklerinin artarak köprünün güvenli ulaşım sağlayamaz hale gelmesini, ayrıca deprem kuvvetleri nedeniyle göçmesini engellemek için köprü kirişlerinin kesme dayanımı artırılmalıdır. Bunun için CFRP kompozitler şerit veya levha şeklinde kirişin yan yüzlerine veya U şerit şeklinde betonarme köprü kirişlerine uygulanır (Şekil 1).

Kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin kesme dayanımı artırılmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda CFRP kompozit uygulamasının başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. CFRP

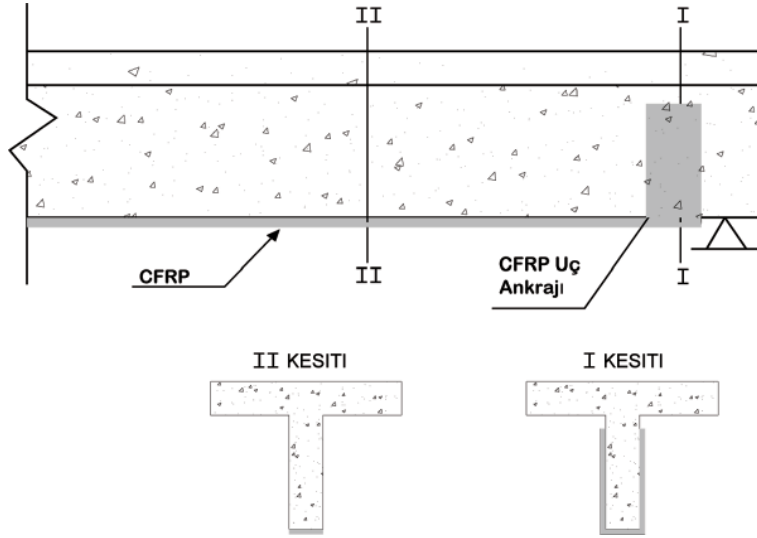


Şekil 1 - CFRP kompozit kullanılarak kesme dayanımının artırılması uygulamaları

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f E_f \epsilon_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{\beta_1 c}{2} - d' \right) \quad (2)$$

A_s , çekme gerilmesine maruz çeliğin enkesit alanı; f_s , nihai durumdaki çekme çubuğundaki gerilme; d , faydalı yükseklik; $\beta_1 c$, dikdörtgen gerilme blok derinliğinin tarafsız eksen derinliğine oranı; ψ_f , FRP'nin indirgeme faktörü; A_f , CFRP'nin enkesit alanı; A'_s , basınç gerilmesine maruz çeliğin enkesit alanı; f'_s , nihai durumdaki basınç çubuğundaki gerilme; E_f , CFRP'nin elastisite modülü; ϵ_{fe} , CFRP levhanın etkili tasarım şekil değiştirmesi; h , giriş yüksekliği; d' , CFRP'den çekme ve basınç çubuk merkezlerine olan derinliği göstermektedir.

Denklemden bulunan A_f parametresi yardımıyla eğilme kapasite artışını sağlamak için gerekli olan CFRP katman sayısına karar verilir. Karar verilen CFRP katman sayısına göre CFRP kompozitler eğilme bölgesine uygulanır (Şekil 3). CFRP kumaşın yüzeyden soyulmasını engellemek için CFRP kumaşın uç bölgelerine ankraj uygulanmalıdır. CFRP kompozitlerin uç bölgesinden soyulmayı engellemek için çeşitli ankraj uygulamaları önerilmektedir. CFRP kompozitlerin uç bölgesine U şeklinde uygulanan konvansiyonel CFRP şerit uygulamasının özellikle betonarme köprü girişlerinde başarılı sonuçlar verdiği gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda görülmektedir (Şekil 3).

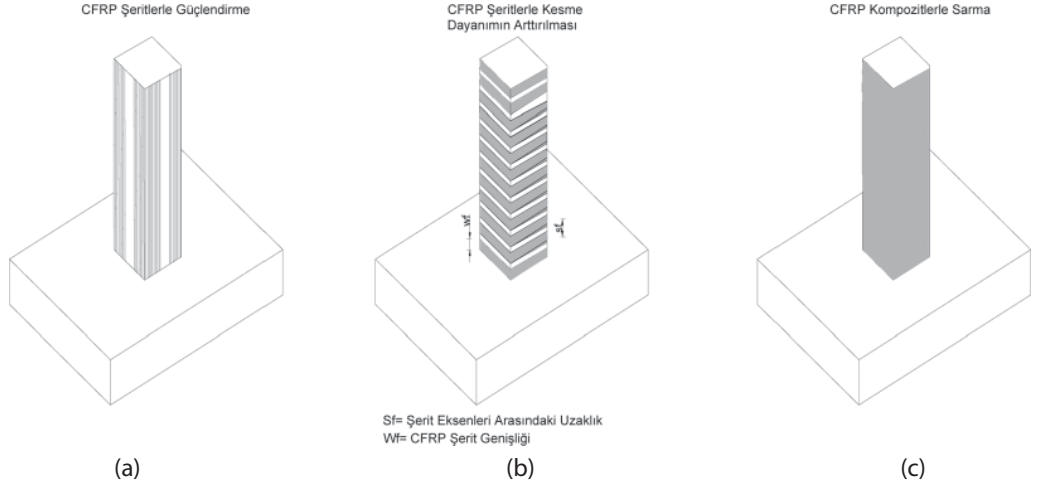


Şekil 3 - Eğilme bölgesinde CFRP uygulaması

Ard-germeli CFRP kompozit uygulaması eğilme dayanımı yetersiz bütün betonarme kirişler için alternatif bir güçlendirme yöntemidir. Yük ve frekans artışı ile karşılaşılan betonarme köprü girişlerinin güçlendirilmesi ve servis ömürlerinin uzatılmasında ard-germeli lifli polimer uygulamasının bahis konusu her iki durumda da etkin olduğu gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda görülmüştür. Şöyle ki: ard-germe kuvveti ile oluşan yeni kuvvet çifti sayesinde hem daha fazla moment taşınabilecek, hem de aynı yük seviyesinde kesit momentinin lifli polimer ve çelik eğilme donatısı arasındaki paylaşımı çelik eğilme donatısı lehine değişeceğinden trafik frekans artışı kaynaklı donatı yorulmalarının da önüne geçilebilecektir. Ayrıca CFRP kompozitlerin aktif olarak yük taşıyabilmeleri için belirli bir gerilme düzeyine ulaşmalarını sağlayacak deformasyonlara maruz kalmaları gerekmektedir. Bu gerçekleşinceye kadar üst yapıda çeşitli hasarların gerçekleşmesi gerekmektedir. Ard-germeli CFRP kompozit uygulamasında ise belli bir gerilme düzeyine ulaşmış olarak yapıştırılan CFRP kompozit kendisine aktarılan her türlü gerilmeyi aktif olarak taşımakta, meydana gelebilecek hasarları oluşmaya başladığı anda önleyebilmektedir.

4.3. Diğer Üst Yapı Elemanlarında CFRP Uygulamaları

Betonarme köprü kolonu ve viyadük ayakları korozyon nedeniyle en çok bozulmaya maruz kalan köprü elemanlarıdır. Kabuk betonun dağılmasından sonra boyuna donatı, enine donatı ve beton-



Şekil 4 - Betonarme köprü kolonu ve viyadük ayakları

da deformasyonlar meydana gelmektedir. Betonarme köprü kolonu ve viyadük ayaklarının eski dayanımına veya artan bir dayanıma ulaştırmada CFRP kompozit uygulaması son derece başarılıdır. Boyuna donatı yetersizliğine sahip elemanlarda, boyuna donatı doğrultusunda uygulanan CFRP ile betonarme köprü kolonu ve viyadük ayaklarında istenilen dayanım artışı sağlanabilir (Şekil 4-a). Kesme dayanımı yetersiz betonarme köprü kolonu ve viyadük ayaklarında CFRP kompozitler kesme donatısı yönünde uygulanmalıdır (Şekil 4-b). CFRP uygulaması ayrıca betonu tamamen sararak dağılmasını engellemekte böylece beton basınç dayanımı artmasa bile beton kabuk betonu daha büyük yükler değerlerinde dağılmaktadır. Böylece kolonların aksel yük taşıma kapasitelerinde de artış sağlanabilmektedir (Şekil 4-c). Betonarme köprü kolonu ve viyadük ayakları uygulamalarında iki önemli noktaya dikkat edilmelidir. Öncelikle CFRP kompozitlerin uç bölgelerinde mekanik veya konvansiyonel ankraj uygulanmalı, böylece beton yüzeyinden CFRP'nin soyulması engellenmelidir. Ayrıca kolon köşeleri yuvarlatılarak CFRP kompozitler uygulanmalıdır. Aksi bir durumda köşelerde CFRP kompozitlerin artan yükler altında yırtılacağı unutulmamalıdır.

Betonarme köprü ve viyadük kolon ve kiriş birleşim noktalarındaki yetersizlikleri gidermeye yönelik CFRP kompozit uygulaması ile yeterli dayanım artışı sağlanmakta, düğüm noktasında meydana gelen kırılma engellenmektedir. Ayrıca düğüm noktasına uygulanan CFRP kompozit ile düğüm noktasında gelişen çatlakların boy uzaması durdurulmakta, yeni çatlak gelişimleri de engellenmektedir. Bu nedenle bu CFRP kompozit uygulamaları düğüm noktası yetersizliklerinde son derece başarılı sonuçlar vermektedir (Şekil 5).

Ülkemizde yeni üretilmeyen karayolu ve demiryolu köprülerinin taşıma kapasiteleri üretildiği yıllarda öngörülen trafik yük ve tekrarlarını güvenle taşıyabilecek şekildedir. Artan trafik geçiş frekansları ve yükler nedeniyle bu köprülerde çatlaklar genellikle köprü döşemelerinde gözlenmektedir. Kalan servis ömürlerini güvenle devam etmeleri için köprü döşemelerinde meydana gelen



Şekil 5 - Kolon kiriş birleşim bölgesinde CFRP uygulaması [9]



Şekil 6 - Köprü Döşemesinde CFRP uygulaması [10]

eğilme çatlaklarının genişliğinin artmasını engellemek ve yeni çatlakların oluşmasını engellemek için CFRP kompozitler kullanılmalıdır (Şekil 6). Böylece artan yükler altında donatı yetersizlikleri nedeniyle meydana gelen çatlakları ve çatlakların büyümesiyle oluşacak kırılmayı önlemek mümkün olacaktır. Gerçekleştirilen deneylerde CFRP kompozitlerin köprü döşemelerine katkısı değerlendirilmiştir. Bu uygulamaya ile mevcut çatlak genişliklerinin korunduğu, ilerlemenin durdurulduğu ve yeni çatlak oluşumlarının da engellendiği görülmüştür. Kolay uygulanan ve önemli dayanım artışı sağlanan bu yöntemin eğilme dayanımı yetersiz köprü döşemelerinde uygulanması önerilmektedir.

Betonarme köprü kirişleri ve betonarme köprü döşemeleri CFRP kompozit yerine CFRP çubuk kullanılarak da güçlendirilebilir. CFRP kompozit uygulamasının en önemli dezavantajı CFRP kompozitlerin beton yüzeyinden soyulmasıyla gerçekleşen göçmedir. Bu göçme nedeniyle CFRP kompozitlerden beklenen katkı sağlanamamaktadır. Çubuk haline getirilmiş CFRP'nin beton yüzeyinde açılan yivlere gömülmesi ile yüzeyden soyulma ile gerçekleşen göçmenin engellendiği gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda görülmektedir [10]. Bu yöntem eğilme ve kesme dayanımı yetersiz elemanların dayanımlarının artırılmasında başarılı sonuçlar vermektedir (Şekil 7). CFRP çubukların katkısını değerlendirmek için gerçekleştirilen kiriş deneylerinde CFRP çubuklarla güçlendirilmiş deney elemanlarının kesme dayanımı, referans elemanına göre 1,57-2,12 kat aralığında değişen oranlarda artmıştır [11]. Ayrıca güçlendirilen elemanların sünekliğinde de 1,13-1,53 kat aralığında değişen oranlarda artış sağlandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar CFRP çubukların betonarme köprü kirişlerin dayanımlarını arttırmak için etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir.



Şekil 7 - Dıştan CFRP çubuk uygulaması

5. Sonuç

Afetten sonra deprem bölgesine yardım ulaşmasında, yaralıların ve insanların hastanelere veya daha emin bölgelere taşınması için karayolları son derece önemlidir. Bu nedenle afetten sonra ulaşım sisteminde meydana gelebilecek aksaklığı önlemek ulaşım sistemlerinin afet sonrasında işlevini sağlamak için deprem sonrasında meydana gelebilecek hasarların deprem öncesinde belirlenmesi, gerekli görülen iyileştirmelerin deprem öncesinde gerçekleştirilmesi, deprem zararlarını en aza indirmek açısından son derece önemlidir. Köprü güçlendirilmesinde betonarme mantolama, çelik plakalarla mantolama, karbon fiber donatılı polimerlerle (CFRP) ile mantolama, öngerme verme yöntemi ve sismik izolasyon yöntemleridir. Bu teknikler arasında dıştan CFRP yapıştırılarak güçlendirme, tekniğin uygulama kolaylığı, uygulandığı elemanın geometrik boyutlarını değiştirmemesi, malzemenin korozyona karşı dayanıklılığı, hafif olması, kimyasal etkilere dayanıklılığı ve düşük bakım maliyeti nedeni ile son yıllarda betonarme köprü güçlendirilmesinde de tercih edilmektedir. Bu yöntem düzgün uygulandığında hasarlı köprülerin istenilen dayanıma ulaştırılması ve deprem sırasında hasarların engellenmesine katkı sağlayacağından son derece önemlidir. Bu nedenle güçlendirme kararı ve uygulama prosedürü detaylı bir şekilde yetkin kişiler tarafından değerlendirilmeli, uygulama düzgün ve doğru yapılmalıdır. Aksi bir durumda elde edilmek istenilen katkının sağlanamama olasılığı yüksektir.

Kaynaklar

1. Hollaway, L, C, Leeming, M,B,. Structural Design - Strengthening of Reinforced Concrete Structures, Woodhead Publishing Ltd, 1999, ISBN: 1855733781
2. H, M,. Tanarslan, CFRP Şeritlerle Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Tekrarlı Yükler Altında Davranışı, D.E.U Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2008).
3. H, M,. Tanarslan, S. Altin. Behavior of RC T-Section Beams Strengthened with CFRP Strips, Subjected to Cyclic Load, Materials And Structures,2010, 43: 529–542
4. ACI Committee 440 (1996). State-of-The-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 68 .
5. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
6. Tanarslan, H, M,. Comparison of Shear Design Methods for RC Beams Strengthened with CFRP Strips, ACE 2008 International Conference, Famagusta, N. Cyprus, September 15-17, 2008
7. Tanarslan, H, M,. Altin, S,. Ertutar, Y,. The Effects of CFRP Strips for Improving Shear Capacity of RC Beams, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2008, Vol. 27, No. 12, 1287-1308
8. Altin, S,. Anil, O, Koprman, Y, Mertoglu, C, Kara, M,E,. Improving Shear Capacity and Ductility of Shear-deficient RC Beams Using CFRP Strips, Journal of Reinforced Plastics and Composites, DOI: 10.1177/0731684410363182
9. Tyfo Fibrwrap Systems for Transportation Infrastructure Bridges, Airports, Product Manual, <http://www.fyfeco.com/brochures/TransportationInfrastructureBrochure041609.pdf>
10. Nanni, A, Fiber Reinforced Polymer Composites for Infrastructure Strengthening - from Research to Practice, <http://utc.mst.edu/documents/P-22.pdf>
11. Tanarslan, H,M,. The Effects of NSM CFRP Reinforcements for Improving the Shear Capacity of RC Beams, Construction and Building Materials, 2011, Volume 25, Issue 5, 2663-2673