

Normal Dayanımlı Betonda Donatı Kenetlenme Özelliklerinin Karbon Elyaf Sargası İle İyileştirilmesi

Erkan AKPINAR ve Şevket ÖZDEN
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZ: Yapı üretiminde betonarme, günümüzde en çok kullanılan ve tercih edilen yapı teknolojisidir. Betonarme sistemlerin ve elemanların tasarımda ve üretimde, başlangıç noktasını oluşturan ve daha sonraki adımlara temel teşkil eden bazı varsayımlar yapılmaktadır. Betonarmenin, beton ve donatı çeliğinden oluştuğunu göz önüne alduğumuzda bu varsayımların belki de en başında, betonarmeyi oluşturan iki malzemenin, elemanın kullanım ömrü boyunca ayrılmayacak biçimde birbirine bağlandığı ve aynı deformasyonları yaptığı yani aderansın tam olduğu öngörüsü yer almaktadır. Bu varsayımin sağlanamadığı, ankraj boyunun yeterli olmaması gibi durumlarda donatı çubuğu, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak sıyrılabilir (özellikle düz yüzeyli donatılarda) veya etrafındaki beton katmanın yarılmamasına sebep olabilir. Aderans gerilmelerini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Ankraj kapasitesinin arttırılması, beton kalitesindeki artışın veya çekme kapasitesinin ötesinde gerilmelere maruz kalan betonun dağılmasını önlemek üzere kullanılan sargılıma donatısının, aderans gerilmelerini artırıcı yönde etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu çalışma, tasarım veya imalat aşamalarında yetersiz ankraj boyu uygulaması yapılmış betonarme elemanlarının elyaf takviyeli polimer sargası ile iyileştirilmesini hedef almaktadır. Söz konusu ankraj boyu eksikliği içeren bölgenin, dışarıdan sargılanması sonucu aderans özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Deneysel çalışmada, iki ayrı beton kalitesi ve bu beton elemanlara gerekenden az ve sabit beton örtü kalınlığı ile ankrallanmış üç farklı donatı çapı kullanılmıştır. Çekme-çekme türü yük çevrimlerine maruz bırakılan donatılarda, aderans gerilmelerindeki iyileştirme iki farklı malzeme (CFRP, GFRP) ve değişik sargılıma miktarları için incelenmiştir. Ankraj boyunun yetersiz olduğu durumlarda dışarıdan elyaf takviyeli polimerler ile sargılamanın, aderans gerilmeleri üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Elde edilen bu olumlu etki, üretilen bir model ile ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aderans, Betonarme, Sargılıma, Sıyrılma, Karbon Elyaf (CFRP), Cam Elyaf (GFRP).

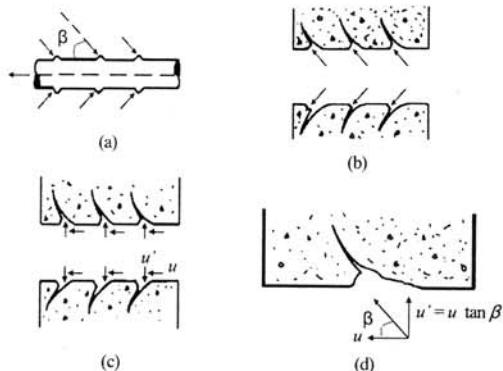
1 GİRİŞ

Betonarme imalat tekniği ile üretilmiş olan yapılarda gerek betonarme sistemin bütününde, gerekse betonarme eleman bazında, malzeme ve davranış Özelliklerinin net olarak bilmememesi sebebiyle, özellikle deneysel veriler ışığında bazı kabuller yapılmakta, tasarım ve imalat sürecindeki her bir adım, bu kabuller üzerine basılarak atılmaktadır. Betonarme yapı üretiminin tüm aşamalarının temel felsefesinde, beton ve içerisinde yerleştirilen donatı çeliğinin, ayrılmayacak biçimde birbirine bağlandığı ve yapı ömrü boyunca bunun geçerli olacağı düşüncesi ve kabulu yatkıntır. Donatı ve beton arasındaki gerilme aktarımına aderans adı verilmektedir. Tasarım aşamasında yapılabilecek yanlışlıklar, imalat hataları, yapı kullanım amacının önem alınmadan değiştirilmesi vb. sebeplere bağlı olarak donatı ile beton arasındaki aderansın azalması ve yetersiz duruma gelmesi, yapının bu sebepten ya

da bunun tetiklemesiyle diğer nedenlerle göçmesine yol açmaktadır.

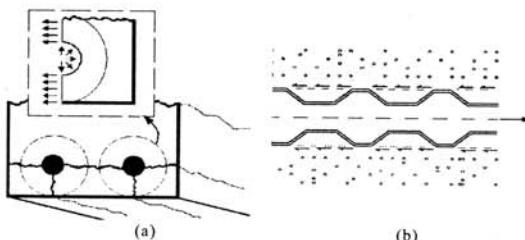
Aderans gerilmelerinin oluşumu ve aderansı etkileyen parametreler, günümüzde kadar çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiş ve bu çalışmalar literatüre girmiştir [1] [2] [3] [4] [5] [6]. Donatı ve beton ara yüzeyinde oluşan ve birlikte çalışmayı sağlayan, kayma gerilmesi formuna, aderans gerilmesi adı verilmektedir. Nervürlü donatıların kullanıldığı betonarme elemanlarında aderansı oluşturan en önemli etken, nervürlerin betona kenetlenmesi sonucu gerilme aktarımını sağlayan, mekanik dış etkisidir. Mekanik dış kenetlenmesinin beton üzerinde oluşturduğu toplam gerilme kuvvetleri, nervür açısı olan β eğimine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)). Donatı eksene paralel doğrultuda olan yatay bileşen, u , aderans gerilmesini oluşturmaktır (Şekil 1(c)).

Düşey bileşen ise radyal gerilme, u' , olarak da anılmakta ve utanç şeklinde matematiksel olarak ifade edilmektedir (Şekil 1(d)).



Şekil 1. Nervürlü donatı ile beton arasında oluşan etkileşim[4]

Donatı kesiti düşünüldüğünde, kesit çevresince ve donatı merkezinden dışarı doğru oluşan bu radyal gerilmeler, boru analojisi kullanılarak açıklanabilmektedir. Yapılan çalışmalarında, aderans kapasitesine yaklaşılıkça oluşan aderans gerilmelerinin, belirli bir uzunlukta yaklaşık düzgün yayılı bir dağılım gösterdiği saptanmıştır. Buna göre radyal gerilmeler, kalın çeperli beton bir boru içindeki su basıncına benzetilmişlerdir. Nervürlü donatı kullanımının söz konusu olduğu durumlarda, aderansı kontrol eden ve aderans göçme tipini belirleyen, bu silindir biçimindeki hayali beton borunun (PCC) kalınlığı, komşu iki donatı arasındaki mesafenin yarısı veya pas payı değeri tarafından belirlenmektedir (Şekil 2(a)). Nervür özelliklerine bağlı olarak radyal gerilmeler, PCC üzerinde donatı eksene dik düzlemede çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu çekme gerilmelerinin, beton çekme dayanımına ulaşması sonucunda PCC'nin yarılması ile göçme oluşmaktadır (Şekil 2(a)) [2] [3] [4] [6]. Radyal gerilmeler nedeni ile PCC'de olusabilecek yarılmmanın geciktirilmesi yada engellenmesi, daha büyük aderans gerilmelerinin taşınabilmesine olanak sağlamaktadır. İlerleyen paragraflarda de濂ilen uygulamalar sayesinde kesitin yarılarak göçmesi engellenemekte ve daha büyük aderans dayanımları elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, kesitin yarılmamasının ya da yarılarak dağılmamasının engellenmesi, betonarme elemanın tasarlandığı gibi, donatının akarak kapasiteye ulaşacağı anlamına gelmemektedir. Göçmenin beklenilen şekilde olabilmesi için aynı zamanda, donatıya paralel aderans gerilmelerinin, beton kesme dayanımını aşmaması, dolayısıyla nervürlar arasında kalan beton dişlerin, oluşacak kesme etkisi sonucu kopmayarak donatının sıyrılmmasına engel olması gerekmektedir (Şekil 2(b)).



Şekil 2. Yarıılma ve sıyrıılma ile oluşan aderans göçmesi tipleri

Beton sınıfının, dolayısı ile kullanılan betonun çekme dayanımının artırılması ile göçmede ulaşan aderans dayanımlarının da artırıldığı bilinmektedir [7] [8] [9]. Yüksek dayanımlı betonlar ile yapılan deneylerde gözü çarpan bir diğer önemli nokta ise aderans gerilmesi dağılımının, normal dayanımlı betonlarda olduğu gibi yaklaşık düzgün yayılı bir dağılım olmaktan çok uzak olduğunu [6] [9].

Çekme dayanımı normal betona oranla yüksek olan lifli beton kullanımı, elde edilen aderans gerilmelerini ve özellikle yarıılma tipi göçmeye ulaşan elemanlarda davranışını, olumlu yönde etkilemektedir [6] [10] [11] [12] [13]. Lifler, betonun çatlamasını etkileyememelerine rağmen, çatlakların genişlemesini ve yarılmayı geciktirdikleri için bu olumlu etki söz konusu olabilmektedir.

Göreceli olarak daha büyük pas payı değerlerinin seçilmesi ve/veya komşu donatılar arası mesafenin artırılması, aderansı kontrol eden, donatı etrafındaki hayali beton silindir boru, PCC'nin kalınlığını artırmakta, dolayısıyla da aderans dayanımını daha büyük değerlere taşımaktadır [14].

Betonarme elemanlara çevresel basınç uygulamanın ayrıca etriye kullanımının veya miktarının artırılmasının, aderans dayanımı ve süneklik açısından oldukça etkili olduğu literatür incelendiğinde görülmektedir [4] [6] [9] [15] [16] [17]. Etriye kullanımının aderans üzerindeki etkisinin, lifli beton kullanımında liflerin aderans davranışına etkisine benzettiğini düşünmek, genel anlamda doğru bir varsayımdır.

Literatür incelendiğinde, belirtilen bu uygulamaların cogunda, aderans dayanımının belirli bir noktaya kadar belirgin olarak arttığı, fakat ulaşan bu değerin ötesinde artışa azalma olduğu yada artışın tamamen sona erip, aderans dayanımının daha fazla artıramadığı görülmektedir. Bununla birlikte sözü edilen noktaya ulaşıldıktan sonra göçme davranışının yarılmadan, sıyrılp çıkmaya dönüştüğü görülmektedir.

Aderans davranışını olumlu yönde değiştiren bu uygulamaların hepsi, imalat sırasında göz önünde bulundurulabilmektedirler. Aderans açısından,

imalat sırasında oluşabilecek herhangi bir aksaklılıkta yada yapı kullanım amacında olabilecek bir değişiklikte ortaya çıkması muhtemel olumsuz durumda, uygulanmaları oldukça zor hatta söz konusu değildir. Bu gibi durumlarda elemenlerin, etriye kullanımına benzer bir mantıkla, dışarıdan elyaf takviyeli polimerler (FRP) ile sargılanması uygun bir çözüm yöntemi olarak düşünülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarla, bindirmeli ek içeren ve aderans problemi olan kırışının, FRP kullanılarak sargılanması ile, eğilme dayanımlarında ve sünekliklerinde, önemli artışlar elde edildiği görülmüştür [18].

2 DENYESEL ÇALIŞMA

2.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma için hazırlanan beton karışımında, Bolu Çimento Sanayi A.Ş ürünü olan, PÇ 42.5 portland çimentosu, ince malzeme olarak Sakarya dere kumu ve iri malzeme olarak Kocaeli, Suadiye Köyü kırmataş ocağından elde edilmiş olan kırmataş No I kullanılmıştır. Normal dayanımlı beton sınıfına dahil olan, $f_{ck}=20 \text{ MPa}$ ve $f_{ck}=40 \text{ MPa}$ kalitesinde iki tip beton karışımı ile çalışılmıştır. $f_{ck}=40 \text{ MPa}$ dayanımındaki betonun üretiminde, Sika Yapı Kimyasalları Şirketi'nden elde edilen, Sika-FFN Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinden faydalanyılmıştır.

Donatı çeliği olarak, $D_b=12 \text{ mm}$, $D_b=16 \text{ mm}$ ve $D_b=26 \text{ mm}$ çaplarında, CEB-FIP'nin yüksek aderanslı donatı kriterlerine uygun BÇ-IIIa kalitesinde nervürlü donatılar kullanılmıştır.

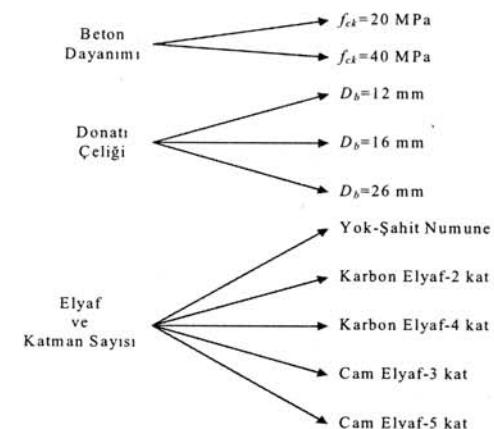
Numunelerin sargılanmasında kullanılan karbon elyaf (CFRP) ve cam elyaf (GFRP) ve epoksi bazlı yapıştırıcı EKON LTD. ŞTİ. tarafından temin edilmiştir.

2.2 Numunelerin Özellikleri ve Üretilimi

Numunelerde güç tükenmesinin aderans göçmesinden kaynaklanması amacıyla, pas payları ve ankrat boyları olabildiğince küçük seçilmiştir. Tüm numunelerde pas payı, her bir numunedede kullanılan donatı çapına eşit olarak seçilmiştir ($c = D_b$). $f_{ck}=20 \text{ MPa}$ beton ile dökülen $D_b=12 \text{ mm}$ ve $D_b=16 \text{ mm}$ donatılı çubuklarda aderans boyu $l_b=7.0 D_b$; diğer bütün numunelerde $l_b=3.5 D_b$ olarak uygulanmıştır.

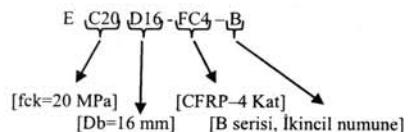
Aynı beton kalitesi, donatı çapı ve pas payına sahip beş numunededen oluşan setler halinde beton dökümü yapılmış olup, sargılanmadan dolayı ortaya çıkabilecek değişimi görebilmek için, her set içerisindeki bir adet numune, elyaf sarılmadan şahit numune olarak bırakılmıştır. Aynı sete ait diğer dört

numunenin ankrat boyları, bu bölge genişliğinde ve tek parçadan oluşan FRP malzemeler ile sargılanmışlardır. Bu dörtlü numune grupları için uygulanan katman sayıları, 2 ve 4 kat CFRP, 3 ve 5 kat GFRP şeklidir. Şekil 3'de deney değişkenleri, özet olarak bir şema ile gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney değişkenleri

Oluşabilecek veri sapmalarını en aza indirebilmek için her bir numunededen iki adet üretilmiş ve deney yapılmıştır. Numunelerin isimlendirilmesinde Şekil 4'de gösterilen yöntem kullanılmıştır.

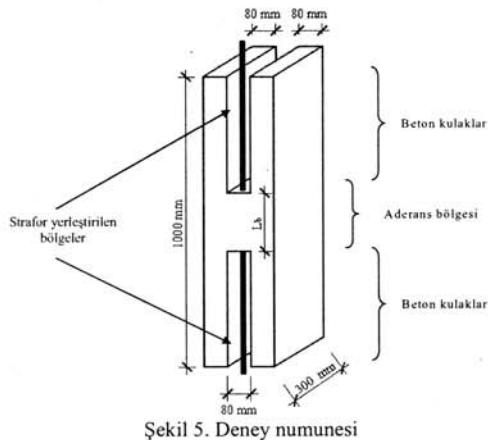


Şekil 4. Numunelerin isimlendirilme yöntemi

Deney numunelerine istenilen geometrik formu verebilmek için, üç kısımları hareketli ahşap bloklardan oluşan çelik kalıplar kullanılmıştır. Beton dayanımlarının takibi için 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindedeki çelik silindir kalıplar ile 100x100x500 mm boyutlarındaki çelik prizma kalıplar kullanılmıştır.

Numunelerdeki ankrat boyları, deney elemanlarının taşıma kapasitelerine ulaşır, donatı çeliğinin akmaması ve deneylerin aderans göçmesi ile sonuçlanması için kısa tutulmuşlardır. Bu durumda, deney numuneleri üzerindeki kesme ve eğilme etkileri, istenmeyen biçimde kırılmalara neden olacak kadar artmaktadır. Deney sonuçlarını anlamsız kılacak bu tür istenmeyen kırılmaları engellemek için numune boyutları, aderans bölgeleri ortada kalacak şekilde, ankrat boylarından uzun tasarlanmıştır. Bununla birlikte ankrat boylarının değişimemesi ve bu bölgenin dışında kalan betonun aderans göçmesini etkilememesi için ankrat boyu

doğrultusunca ve iki yönde olacak biçimde strafor yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Deney numunesi

Deney numunelerinde kullanılan betonun üretimi, 200 dm³ kapasiteli eğik eksenli betoniyerde, 100 dm³'luk partiler halinde yapılmıştır. Deney elemanları, düşük bir kür rejiminden sonra deney gününe kadar laboratuar ortamında bekletilmişlerdir. FRP uygulamalarında, kare ve dikdörtgen geometriye sahip elemanların sarılması, köşelerin varlığının uygulama sonuçlarına olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu sebeple CFRP ve GFRP uygulamalardan önce köşeler, 2.5 cm'lik yarıçapla pahlanmıştır. Köşeleri pahlanmış numunelerin üzerinde gerekli olan mekanik temizleme işlemleri yapılmış, epoksi yardımı ile CFRP ve GFRP sargılılama işlemleri tamamlanmıştır.

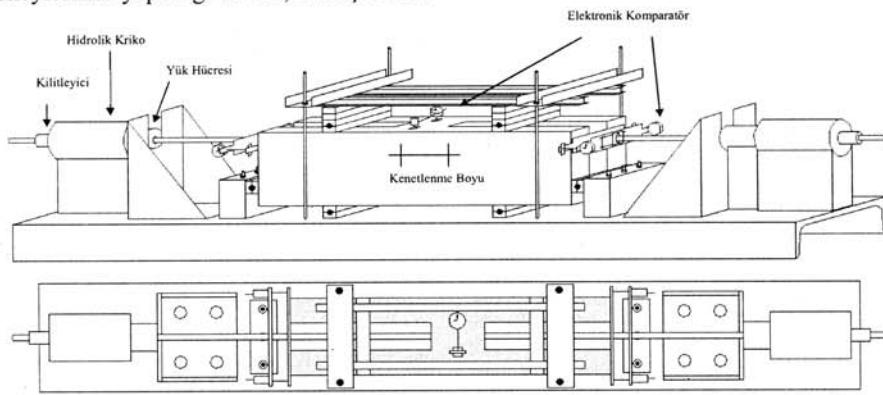
2.3 Deney Düzeneği ve Yükleme Tipi

Beton dayanımları, her setten alınan silindir numunelerin belirli aralıklarla 3000 kN kapasiteli beton basınç deney aletinde kırılması ile takip edilmiş ve beton basınç mukavemetleri, istenilen seviyeye ulaştığında aderans deneyleri yapılmıştır. Aderans deneylerinin yapıldığı sırada, sonuç beton

basınç dayanımlarına ulaşmak için kalan silindir numunelerin bir bölümü basınç testine tabi tutulmuş ve ortalaması alınarak nihai beton basınç dayanımları elde edilmiştir. Bununla birlikte aynı sete ait diğer silindir numuneler üzerinde Brezilya Yarma Deneyleri gerçekleştirilmiş ve çekme dayanımları elde edilmiştir. Numunelere ait donatılardan alınan parçalar ile 600 kN kapasiteli universal deney aletinde çekme deneyleri yapılmıştır.

Üretilen numunelerin, eksantrik çekip-çıkarma tür aderans deneylerinin yapıldığı deney düzeneğine ait görünümler Şekil 6'da yer almaktadır. Tersinir tekrarlanır yüklemeyi benzeştirmek ve bu durumda sargılamanın etkisini araştırmak amacıyla numuneler, çekme-çekme tür yüklemeye maruz bırakılmıştır. Her iki yönde de CEB-FIP'deki ifadeye göre hesaplanan ve sargılanmamış numune için geçerli sıyrılmış yükünün, yüzde 10'u, 20'si, 30'u ve 40'i seviyelerinde, üçer defa yük çevrimi yapılmış ve bu çevrimin sonunda, tek taraftan yükleme yapılarak göçmeye ulaşılmıştır. Yük tekrar seviyesi, yaklaşık olarak servis yükü limitleri dahilindedir. Üretim sırasında numuneler, donatılar beton bloğun altında kalacak şekilde konumlandırılmış olup, deney sırasında ise donatı yukarıda kalacak biçimde deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

Yükler, 300 kN kapasiteli hidrolik silindir-pompa setleri ile uygulanmış ve 300 kN kapasiteye sahip elektronik yük hücreleri yardımıyla yükün şiddeti ölçülmüşür. Uç sıyrılmazı değerleri ise 30 mm kapasiteli, 0.01 mm hassasiyetli elektronik komparatörler yardımı ile takip edilmiştir. Donatının yer aldığı tarafta, yüzeyin ortasına yerleştirilen 50 mm kapasiteli komparatör yardımı ile FRP'de oluşan deformasyonlar takip edilmiştir. Veriler elektronik veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir.



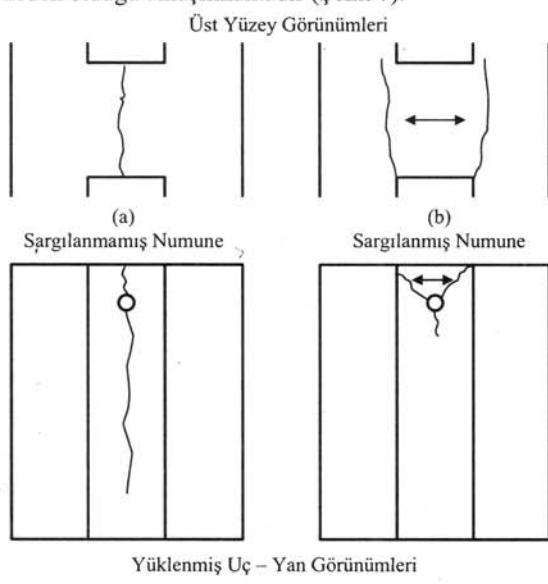
Şekil 6. Aderans Deneylerinde Kullanılan Deney Düzeneği

3 DENEYSEL BULGULAR

FRP ile sargılamadan, aderans üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmaya ait deneyler, Kocaeli Üniversitesi Yapı Laboratuvarında yürütülmüştür.

3.1 Numunelerin Göçme Davranışları

Bu çalışmada yürütülen tüm aderans deneyleri, ankray boyunun yetersiz olmasından kaynaklanan yarıılma göçmesi ile sonuçlanmıştır. Sargılanmamış numunelerin tümünde, donatıya yakın olan üst yüzeylerde, donatı hizasında olacak biçimde, göçmeye neden olan boydan boyaya çatlama ve sonrasında yarıılma açıkça takip edilmiştir. Donatı etrafında yer alan ve kalınlığı burada pas payı kalınlığı ile belirlenen, hayali silindir borunun, PCC, aderansi ve aderans sorunundan kaynaklı göçme tipini kontrol ettiği, giriş kısmında belirtilmiştir. Buna göre PCC üzerinde, betonu yarmaya çalışan çekme gerilmelerinin, olası en zayıf bölge olan donatı ile üst yüzey arasında, beton çekme gerilmesini aşarak çatlama ve ardından yarılmaya neden olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Sargılamanın göçme davranışına etkisi

Sargılanmamış numunelerde genelde tek ve oldukça belirgin olan bu yarılmayı, FRP ile sargılanmış numunelerin hemen hepsinde, kullanılan elyafın elastisite modülü ve toplam uygulama kalınlığına bağlı olarak, ikiye ayrılarak, yanlara kaydıgi gözlenmiştir (Şekil 7). Bununla birlikte aynı etkinin, Şekil 7'de alta yer alan, numunelerin yüklenmiş uç yan görünümlerine ait çizimlerde de görüldüğü gibi, donatı ile üst yüzey arasında oluşan çatlakta da ortaya çıktıgı izlenmiştir. Lifleri olası yarıılma çatlaşmasına dik olacak şekilde uygulanmış CFRP ve GFRP malzemeler üzerinde oluşan sargılama

kuvvetlerinin, tek ve belirgin olan yarıılma çatlaşının açılmasını engellediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte sargılama gerilmeleri ile sadece çatlaşın gelişiminin engellenmediği, aynı zamanda çatlaşın yer değiştirerek, iki ayrı çatlaşa dönüşmesine neden olduğu görülmektedir. Benzer durumda etriyenin sadece yarıılma çatlaşının genişlemesini ve gelişimini yavaşlatlığı düşünüldüğünde, FRP ile sargılama söz konusu olduğunda göçme davranışının da değiştiği anlaşılmaktadır. PCC üzerinde çekme gerilmelerinin en büyük değerine ulaştığı ve yarılmayı oluşturan, donatı ile üst yüzey arasında kalan bölgedeki çekme gerilmeleri, FRP'nin sağladığı sargılama gerilmeleri ile karşılanması, buna göre göçmeye neden olan çatlaklar FRP sargılama etkisinin dörtüğü, kesit olarak daha güçlü olan yan bölgelere kaymaktadır.

Göçme sonrasında sargılanmamış numunelerin tümünün, göçmeye neden olan yarılmayı aşağıya doğru takip edecek biçimde, kol kuvveti ile iki ana parçaya ayrılabildiği görülmüştür. Sargılanmış numunelerde ise göçme sonrasında, elyafın tamamen çıkartılmasına karşılık, kol kuvveti ile numunenin tümüyle ikiye ayrılmadığı fark edilmiştir. Sargılanmamış numunelerde deney sırasında takip edilebilen, donatı etrafından başlayarak, yine donatı hizasında kesitin altına inen çatlaklar, bu farklılığı sebep olmuştur (Şekil 7). FRP ile sargılanmış numunelerde ise bu çatlamanın oluşumu, sağlanan sargılama kuvveti ile büyük ölçüde sınırlanmıştır.

Deneyle uygulanan yük çevrimlerinin etkisini görebilmek için yük-yüklenmiş uç sıyrılmış grafikleri incelenmiş ve göçme yüklemesi ile öncesindeki yük çevrimleri çıkış eğimleri arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır. Buna göre servis yükleri limitlerinde kalan yük çevrimlerinin, aderans üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye sahip olmadığı düşünülmektedir. Buradaki yük çevrimlerinin, yorulma deneylerindeki tekrar sayılarından çok az olduğu da unutulmamalıdır.

3.2 Sargılamanın Aderans Dayanımına Etkisi

Deneysel sonuçlarından elde edilen göçme yükleri kullanılarak aderans gerilmeleri hesaplanmıştır (Denklem 1).

$$u = \frac{P}{\pi D_b l_b} \quad (1)$$

Burada u hesaplanan aderans gerilmesi, P göçme yükü, D_b donatı çapı ve l_b aderans boyunu simgeliyor. Elde edilen deneysel aderans dayanımları (u_e), numunelere ait beton basınç ve yarmada çekme dayanımları (f_c , f_{cs}), kullanılan donatı çapları (D_b), ankray boyları (l_b), uygulanan

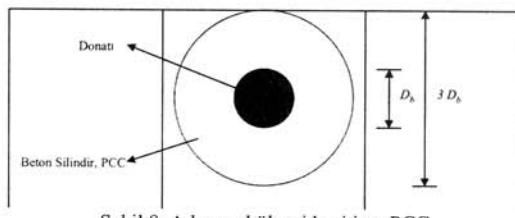
FRP tipi ve katman sayıları (n), kaynaklar bölümünün arasında yer alan çizelge 2'de verilmiştir. Sargılanmış numunelerin tümünde, göçmede elde edilen ortalama aderans dayanımlarında, aynı özelliklerdeki sargılanmamış numunelere oranla artış elde edilmiştir. Hedeflenen beton kalitesinde, donatı çapında, FRP tipinde ve katman sayısında olan değişiklikler, aderans dayanımlarında elde edilen artışların çeşitlenmesine sebep olmuştur.

FRP sargılama sonucunda, $f_{ck}=20$ MPa hedef dayanımındaki numunelerde elde edilen aderans dayanımlarında, diğer değişkenlere de bağlı olmak üzere %16 ile %42 değerleri arasında artışlar elde edilmiştir. $f_{ck}=40$ MPa hedef dayanımındaki numunelerde ise artış miktarları, %18 ile %40 olarak elde edilmiştir. Diğer özellikleri aynı, donatı çapları farklı olan numunelerdeki aderans artışları incelendiğinde, donatı çapı arttıkça elde edilen aderans dayanımı artışının da büyüdüğü görülmüştür. Bununla birlikte artıştaki bu değişim, çap değişimindeki oran ile aynı olmadığı, daha yavaş bir artış değişimini olduğu anlaşılmıştır.

3.3 Sargılama ve Aderans Gerilmeleri Arasındaki İlişki

FRP malzemelerin, betonarme elemanlar üzerindeki uygulamalarında, elastik davranış sergilediği göz önüne alınarak, genelleştirilmiş Hooke yasası yardımıyla FRP üzerinde oluşan gerilmeler elde edilebilir (Denklem 2). Aderans çatlığının oluşacağı yüzeyde, FRP üzerinde alınan deformasyon okumaları kullanılarak, FRP üzerinde oluşan sargılama gerilmeleri, σ_{FRPe} , elde edilmiştir. Uygulanan kompozit malzemenin elastisite modülü, uygulamada hacimsel olarak yaklaşık eşit biçimde birleştirilen, FRP'nin ve epoxisinin elastisite modüllerinin, hacimsel ağırlıklı ortalamasından elde edilmiştir.

$$\sigma_{FRPe} = \epsilon_{FRPe} E_{FRP-komp} \quad (2)$$



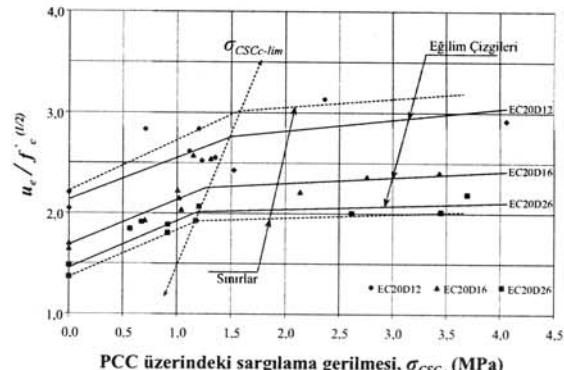
Şekil 8. Aderans bölgesi kesiti ve PCC

FRP üzerinde oluşan bu gerilmenin aderans üzerindeki etkisinin incelenmesi için, donatı etrafındaki hayali beton silindir, PCC, üzerinde oluşturduğu sargılama etkisinin ortaya konulması gereklidir. Bunun için, Şekil 8'de görüldüğü gibi, PCC'nin çapının $3 D_b$ olduğu ve sargılama gerilmesinin bu uzunlukta yaklaşık düzgün dağıldığı

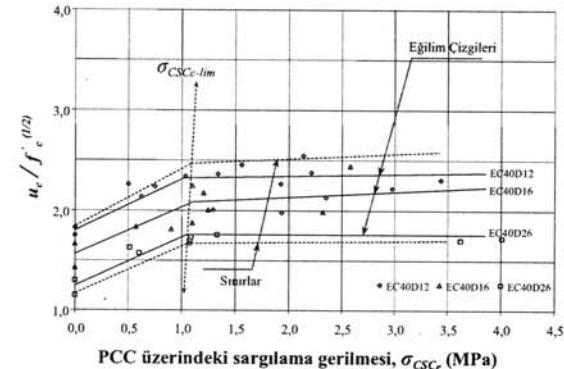
varsayımları yapılmıştır. PCC üzerinde, FRP uygulaması sonucunda oluşan sargılama gerilmesi, σ_{CSce} , denklem 3'e göre hesaplanmıştır. Denklem 3'de, n katman sayısını, t_{FRP} bir katmanın kalınlığını temsil etmektedir.

$$\sigma_{CSce} = \frac{\sigma_{FRPe} n t_{FRP}}{3D_b} \quad (3)$$

Numunelere ait normalize edilmiş aderans dayanımları ($u_e/f_c^{(1/2)}$) ile denklem 3'e göre elde edilmiş PCC üzerindeki sargılama gerilmeleri arasındaki ilişki, beton dayanımlarına göre Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Aderans gerilmesi ile sargılama gerilmesi arasındaki ilişki ($f_{ck}=20$ MPa)



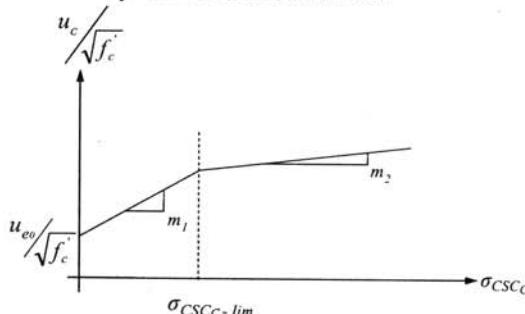
Şekil 10. Aderans gerilmesi ile sargılama gerilmesi arasındaki ilişki ($f_{ck}=40$ MPa)

Şekil 9 ve Şekil 10'dan da görüldüğü gibi, PCC üzerindeki sargılama gerilmeleri arttıkça, elde edilen normalize edilmiş aderans gerilmelerinde de yükselme olmaktadır. Şekillerden açıkça takip edilebildiği gibi, belirli bir noktadan sonra sargılama gerilmesindeki artışlar, aderans gerilmeleri üzerinde başlangıçta sağladıkları etkinliği yitirmekte ve sağlanan artış miktarı azalmaktadır. Artış eğiliminin azalmaya başladığı bu nokta, PCC üzerindeki sargılama gerilmesi limit değeri ($\sigma_{CSce-lim}$) olarak adlandırılmıştır. Bu limit değerin, aynı zamanda

aderans probleminden doğan göçme durumu için dönüm noktasını oluşturduğu düşünülmektedir. Giriş bölümünde belirtildiği gibi, aderans problemi ile oluşan göçme durumunda iki ana tip bulunmaktadır. İki uç olarak adlandırılabilceğimiz bu göçme modları yarıılma ve sıyrılmış çıkmadır. Deneyler sırasında göçme davranışları ile elde edilen yukarıdaki bilgi tekrar değerlendirildiğinde, $\sigma_{CSCc-lim}$ değerinin, yarıılma ve sıyrılmış göçme tipleri arasındaki sınırın başlangıcını oluşturduğunu ve bu değerin ilerisindeki sığdırma gerilmesinin sağlandığı durumlarda, gözlenen göçme tipinin, yarıılma ve sıyrılmmanın birleştiği bir biçimde ortaya çıktığını söylemek mümkündür.

3.4 Önerilen Model

Yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığında, FRP uygulaması sonucu PCC üzerinde oluşturulan sığdırma gerilmeleri ile aderans gerilmelerinde sağlanan artışlar, Şekil 11'de görüldüğü biçimde idealize edilebilir. Grafikte yer alan u_{e0} değeri, aynı özelliklerde, sığlanmamış durumda elde edilecek aderans dayanımını ifade etmektedir.

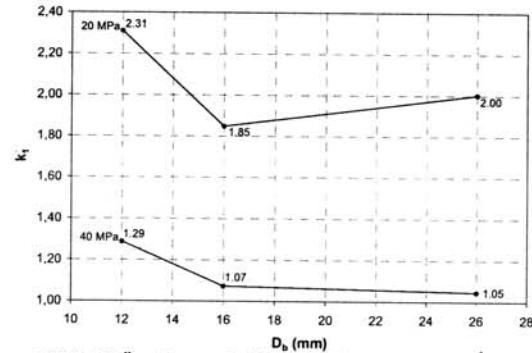


Şekil 11. Sığdırma gerilmesinin, aderans gerilmesi üzerindeki etkisinin grafiksel olarak idealize edilmiş hali (önerilen model)

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi, aderans dayanımındaki artışın etkinliği, $\sigma_{CSCc-lim}$ olarak tanımlanabilecek bir sınır değerde değişim göstermektedir. Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde, bu değerin temel olarak beton dayanımı ve donatı çapına bağlı olarak değiştiğini söylemek mümkündür. $\sigma_{CSCc-lim}$ değerinin hesaplanması amacıyla ampırik olarak üretilmiş, denklem 4'de yer alan ifade kullanılabilir. Denklemde yer alan k_1 değişkeni donatı çapına bağlı ve boyut etkisini içeren bir parametredir.

$$\sigma_{CSCc-lim} = 1 + \left[\left(7.07 - \sqrt{f_c'} \right) \frac{k_1}{D_b} \right] \quad (4)$$

Bu değişken alabileceğinin değerler grafiksel olarak Şekil 12'de verilmiştir. Arada kalan diğer değerler için interpolasyon yapılması gerekmektedir.



Şekil 12. Önerilen model için tanımlanan k_1 değişkeni

FRP sığdırma sonucu aderans gerilmelerinde elde edilen artışlar, $\sigma_{CSCc-lim}$ öncesi ve sonrası olmak üzere, denklem 5a ve denklem 5b'deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\frac{u_c}{\sqrt{f_c'}} = \frac{u_{e0}}{\sqrt{f_c'}} + 0.47 \sigma_{CSCc} \quad (5a)$$

$$\frac{u_c}{\sqrt{f_c'}} = \frac{u_{e0}}{\sqrt{f_c'}} + 0.47 \sigma_{CSCc-lim} + \left(\frac{1 + 0.1 \sqrt{f_c'}}{100} \right) \times (\sigma_{CSCc} - \sigma_{CSCc-lim}) \quad (5b)$$

$$(\sigma_{CSCc} > \sigma_{CSCc-lim}) \quad (5b)$$

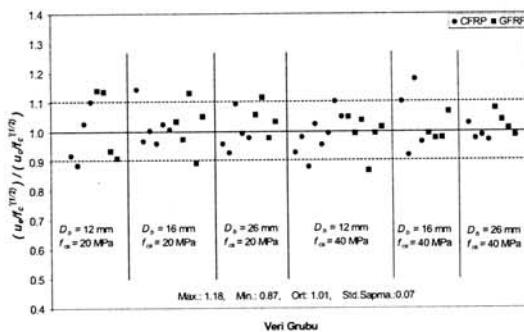
σ_{CSCc} denklem 3'de verilen ifade ile hesaplanabilmektedir. Bunun için σ_{FRPc} değerinin bulunması gereklidir. Deneylerden elde edilen verilerin incelenmesi sonucunda, göçme anında FRP üzerinde oluşan birim deformasyonların, ε_{FRPc} , donatı çapı ve kompozit FRP malzemenin elastisite modülü ile orantılı olduğu görülmüştür. Bu değerin bulunabilmesi için denklem 6'daki ifade türetilmiştir. ε_{e0} olarak tanımlanmış değer, sığlanmamış durumda ve göçme anında, beton yüzeyde oluşan birim deformasyonu göstermektedir.

$$\varepsilon_{FRPc} = \varepsilon_{e0} + 0.0004 \left[\frac{D_b^2 n t_{FRP} E_{FRP-komp}}{4 * 10^6} \right] \quad (6)$$

Deney sonuçları incelendiğinde bu değerin yaklaşık 0.0012 olarak alınabileceğine karar verilmiştir. Buna göre PCC üzerinde oluşturulan σ_{CSCc} değeri denklem 7 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{CSCc} = \frac{(\varepsilon_{FRPc} E_{FRP-komp}) n t_{FRP}}{3 D_b} \quad (7)$$

Tüm numuneler için, modelde kullanılan parametreler ve ilgili deney verileri, kaynaklar bölümünün altında yer alan çizelge 3'de verilmiştir. Modele ait sonuçlar ve bu değerlerle ilgili deney verileri karşılaştırılmış, sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Önerilen modelin sonuçları ve deneySEL verilerin karşılaştırılması

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada yer alan tüm numuneler, tek donatı içermekte olup, aderans göçmesi elde edilebilmesi amacıyla, tümünde yetersiz ankraj boyu uygulaması yapılmıştır. Aşağıda yer alan sonuçlara, bu çalışmada elde edilen veriler ışığında ulaşılmış olup, önerilen modelin kullanımı ve doğrulanması amacıyla, çalışmanın dışında kalan parametrelerin de incelendiği, yeni araştırmalara gereksinim duyulmaktadır.

FRP ile sorgılanan tüm numunelerde, göçmedeki aderans gerilmesi değerlerinde artış görülmüştür. Sorgulama sonucunda, yarıılma çatlağının gelişimi geciktirilmiş ve bu çatlağın iki ayrı çatlağa dönüşerek yarıılma olasılığı daha güç olan bölgeye transferi sağlanmıştır.

FRP sorgulama ile aderans dayanımlarında elde edilen artışların, FRP tipiyle ve katman sayısıyla doğrudan bağıntılı olduğu görülmüştür. Bununla beraber artış değerinin, PCC üzerinde oluşturulan sorgulama gerilmesinin bir fonksiyonu olduğu düşünülmektedir. Aderans dayanımındaki değişim oranının, belirli bir sorgulama gerilmesi değerinde farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Bu değer öncesinde ve sonrasında elde edilen artış miktarları, önerilen modelle hesaplanabilmektedir. Model ve deney sonuçları incelendiğinde, birbirlerine oldukça yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

5 TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından (İÇTAG-I670) desteklenmiştir.

6 KAYNAKLAR

- [1] Abrams D.A. 1913. *Tests of Bond Between Concrete and Steel*, Bulletin No 71, University of Illinois, Urbana.
- [2] Lutz L.A., Gergely P. 1967. Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete, *ACI J., Proceedings*, Title No 64-62, November; 711-721.
- [3] Goto Y. 1971. Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars, *ACI J., Proceedings*, Title No 68-26, April, 244-251.
- [4] Orangun C.O., Jirsa J.O., Breen J.E. 1977. A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, *ACI J., Proceedings*, Title No 74-11, March, 114-122.
- [5] Thompson M.A., Jirsa J.O., Breen J.E., Meinheit D.F. 1979. Behavior of Multiple Lap Splices in Wide Sections, *ACI J., Proceedings*, Title No 76-12, February, 227-248.
- [6] CEB-Task Group Bond Models. 2000. *Bond of Reinforcement in Concrete - State of Art Report*, International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland,.
- [7] Azizinamini A., Stark M., Roller J.J., Ghosh S.K., 1993. Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete, *ACI Structural J.*, Title No 90-S57, September/October, 555-561.
- [8] Esfahani M.R., Rangan B.V., 1998. Local Bond Strength of Reinforcing Bars in Normal Strength and High - Strength Concrete (HSC), *ACI Structural J.*, Title No 95-S10, March/April, 96 - 106.
- [9] Yerlici V., Özтурan T., 2000. Factors Affecting Anchorage Bond Strength in High - Performance Concrete, *ACI Structural J.*, Title No 97-S54, May/June; 499 - 507.
- [10] Harajli M.H., Hout M., Jalkh W., 1995. Local Bond Stress - Slip Behavior of Reinforcing Bars Embedded in Plain and Fiber Concrete, *ACI Materials J.*, Title No 92-M37, July/August, 343-354.
- [11] Harajli M.H., Salloukh K.A., 1997. Effect of Fibers on Development/Splice Strength of Reinforcing Bars in Tension, *ACI Materials J.*, Title No 94-M38, July/August, 317-324.
- [12] Hota S., Naaman A.E., 1997. Bond Stress - Slip Response of Reinforcing Bars Embedded in FRC Matrices under Monotonic and Cyclic Loading, *ACI Structural J.*, Title No 94-S48, September/October, 525-537.
- [13] Hamad B.S., Harajli M.H., Jumaa G., 2001. Effect of Fiber Reinforcement on Bond Strength of Tension Lap Splices in High-Strength Concrete, *ACI Structural J.*, Title No 98-S61, September/October, 638-647.
- [14] Untrauer R.E., Warren G.E., 1977. Stress Development of Tension Steel in Beams, *ACI J., Proceedings*, Title No 74-36, p. 368-372, August, 368-372.
- [15] Walker P.R., Batayneh M.K., Regan P.E., 1999. Measured and Design Bond Strengths of Deformed Bars, Including the Effect of Lateral Compression, *Magazine of Concrete Research*, V.51, N.1, February, 13-26.
- [16] Einea A., Yehia S., Tadros M.K., 1999. Lap Splices in Confined Concrete, *ACI Structural J.*, Title No 96-S104, November/December, 947-955.
- [17] Esfahani M.R., Rangan B.V., 2000. Influence of Transverse Reinforcement on Bond Strength of Tensile Splices, *Cement and Concrete Composites*, V.22, 159-163.
- [18] Hamad B.S., Rteil A.A., Soudki K.A., 2004. Bond Strength of Tension Lap Splices in High-Strength Concrete Beams Strengthening with Glass Fiber Reinforced Polymer Wraps, *ASCE, J. of Composites for Construction*, V.8, N.1, February, 14-21.

Çizelge 2. Numune özellikleri ve deney sonuçları

Numune Adı	(1) f'_c (MPa)	(2) f'_c (MPa)	(3) D_b (mm)	(4) b (mm)	(5) FRP Tipi	(6) n	(7) u_e (MPa)	(8) σ_{FRPc} (MPa)	(9) σ_{CSC} (MPa)
1 EC20D12-F00-A	21.3	2.18	12	84	-	-	9.46	-	-
2 EC20D12-F00-B	21.6	2.24	12	84	-	-	10.26	-	-
3 EC20D12-FC2-A	21.3	2.18	12	84	CFRP	2	11.64	189.34	1.23
4 EC20D12-FC2-B	21.6	2.24	12	84	CFRP	2	11.28	234.97	1.53
5 EC20D12-FC4-A	21.3	2.18	12	84	CFRP	4	13.46	312.43	4.06
6 EC20D12-FC4-B	21.6	2.24	12	84	CFRP	4	14.55	181.92	2.36
7 EC20D12-FG3-A	21.3	2.18	12	84	GFRP	3	13.10	92.01	1.20
8 EC20D12-FG3-B	21.6	2.24	12	84	GFRP	3	13.17	54.31	0.71
9 EC20D12-FG5-A	21.3	2.18	12	84	GFRP	5	12.08	51.18	1.12
10 EC20D12-FG5-B	21.6	2.24	12	84	GFRP	5	11.86	62.07	1.35
11 EC20D16-F00-A	21.4	2.17	16	112	-	-	7.61	-	-
12 EC20D16-F00-B	21.6	1.93	16	112	-	-	7.90	-	-
13 EC20D16-FC2-A	21.4	2.17	16	112	CFRP	2	11.75	269.10	1.31
14 EC20D16-FC2-B	21.6	1.93	16	112	CFRP	2	9.99	209.23	1.02
15 EC20D16-FC2-r	19.3	1.99	16	112	CFRP	2	9.78	206.83	1.01
16 EC20D16-FC4-A	21.4	2.17	16	112	CFRP	4	10.23	219.33	2.14
17 EC20D16-FC4-B	21.6	1.93	16	112	CFRP	4	10.97	283.03	2.76
18 EC20D16-FC4-r	19.3	1.99	16	112	CFRP	4	10.23	573.17	5.59
19 EC20D16-FG3-A	21.4	2.17	16	112	GFRP	3	9.50	-	-
20 EC20D16-FG3-B	21.6	1.93	16	112	GFRP	3	8.96	72.02	0.71
21 EC20D16-FG5-A	21.4	2.17	16	112	GFRP	5	11.91	70.46	1.15
22 EC20D16-FG5-B	21.6	1.93	16	112	GFRP	5	9.46	63.72	1.04
23 EC20D16-FG5-r	19.3	1.99	16	112	GFRP	5	10.56	210.04	3.43
24 EC20D26-F00-A	24.6	2.33	26	91	-	-	6.79	-	-
25 EC20D26-F00-B	21.2	2.08	26	91	-	-	6.82	-	-
26 EC20D26-FC2-A	24.6	2.33	26	91	CFRP	2	9.36	306.07	0.92
27 EC20D26-FC2-B	21.2	2.08	26	91	CFRP	2	8.49	188.79	0.57
28 EC20D26-FC4-A	24.6	2.33	26	91	CFRP	4	10.85	615.72	3.69
29 EC20D26-FC4-B	21.2	2.08	26	91	CFRP	4	9.27	574.97	3.45
30 EC20D26-FC4-r	19.3	1.99	26	91	CFRP	4	8.80	436.02	2.62
31 EC20D26-FG3-A	24.6	2.33	26	91	GFRP	3	8.96	151.55	0.92
32 EC20D26-FG3-B	21.2	2.08	26	91	GFRP	3	8.80	111.82	0.68
33 EC20D26-FG5-A	24.6	2.33	26	91	GFRP	5	9.55	116.72	1.17
34 EC20D26-FG5-r	19.3	1.99	26	91	GFRP	5	9.08	119.71	1.20
35 EC40D12-F00-A-r	44.8	3.48	12	42	-	-	12.23	-	-
36 EC40D12-F00-B-r	41.0	3.35	12	42	-	-	11.21	-	-
37 EC40D12-FC2-A	42.1	3.06	12	42	CFRP	2	13.83	361.68	2.35
38 EC40D12-FC2-A-r	44.8	3.48	12	42	CFRP	2	14.99	115.60	0.75
39 EC40D12-FC2-B	45.5	3.29	12	42	CFRP	2	13.54	199.21	1.29
40 EC40D12-FC2-B-r	41.0	3.35	12	42	CFRP	2	15.14	206.17	1.34
41 EC40D12-FC4-A	42.1	3.06	12	42	CFRP	4	14.41	228.98	2.98
42 EC40D12-FC4-A-r	44.8	3.48	12	42	CFRP	4	15.43	264.25	3.44
43 EC40D12-FC4-B	45.5	3.29	12	42	CFRP	4	17.17	164.48	2.14
44 EC40D12-FC4-B-r	41.0	3.35	12	42	CFRP	4	15.72	120.07	1.56
45 EC40D12-FG3-A-r	44.8	3.48	12	42	GFRP	3	15.14	38.22	0.50
46 EC40D12-FG3-B-r	41.0	3.35	12	42	GFRP	3	13.68	47.80	0.63
47 EC40D12-FG5-A	42.1	3.06	12	42	GFRP	5	15.43	101.54	2.21
48 EC40D12-FG5-A-r	44.8	3.48	12	42	GFRP	5	13.24	88.81	1.94
49 EC40D12-FG5-B	45.5	3.29	12	42	GFRP	5	15.28	88.37	1.93
50 EC40D12-FG5-B-r	41.0	3.35	12	42	GFRP	5	14.99	47.54	1.04
51 EC40D16-F00-A	40.6	3.75	16	56	-	-	9.09	-	-
52 EC40D16-F00-B	42.9	3.57	16	56	-	-	10.89	-	-
53 EC40D16-FC2-A	40.6	3.75	16	56	CFRP	2	14.33	225.50	1.10
54 EC40D16-FC2-B	42.9	3.57	16	56	CFRP	2	12.28	225.50	1.10
55 EC40D16-FC4-A	40.6	3.75	16	56	CFRP	4	15.55	264.72	2.58
56 EC40D16-FC4-B	42.9	3.57	16	56	CFRP	4	13.02	238.11	2.32
57 EC40D16-FG3-A	40.6	3.75	16	56	GFRP	3	11.71	58.42	0.57
58 EC40D16-FG3-B	42.9	3.57	16	56	GFRP	3	11.87	92.13	0.90
59 EC40D16-FG5-A	40.6	3.75	16	56	GFRP	5	12.77	76.23	1.25
60 EC40D16-FG5-B	42.9	3.57	16	56	GFRP	5	14.24	73.64	1.20
61 EC40D26-F00-A	43.5	3.32	26	91	-	-	7.60	-	-
62 EC40D26-F00-B	45.2	3.52	26	91	-	-	8.74	-	-
63 EC40D26-FC2-A	43.5	3.32	26	91	CFRP	2	11.59	443.79	1.33
64 EC40D26-FC2-B	45.2	3.52	26	91	CFRP	2	11.22	357.42	1.07
65 EC40D26-FC4-A	43.5	3.32	26	91	CFRP	4	11.38	668.04	4.01
66 EC40D26-FC4-B	45.2	3.52	26	91	CFRP	4	11.44	603.29	3.62
67 EC40D26-FG3-A	43.5	3.32	26	91	GFRP	3	10.73	85.37	0.52
68 EC40D26-FG3-B	45.2	3.52	26	91	GFRP	3	10.57	99.74	0.60
69 EC40D26-FG5-A	43.5	3.32	26	91	GFRP	5	11.44	108.03	1.09
70 EC40D26-FG5-B	45.2	3.52	26	91	GFRP	5	11.38	107.20	1.08

Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu

Çizelge 3. Deney verileri ile önerilen model sonuçlarının karşılaştırılması

Numune Adı	(1) $u_e/f_c^{x/2}$	(2) k_I	(3) $\sigma_{CSCr-\text{lin}}$ (MPa)	(4) σ_{CSCr} (MPa)	(5) $\Delta (u_e/f_c^{x/2})$	(6) $u_e/f_c^{x/2}$	(1 / 6) $(u_e/f_c^{x/2}) / (u_e/f_c^{x/2})$
1 EC20D12-F00-A	2.13	-	-	-	-	-	-
2 EC20D12-F00-B	-	-	-	-	-	-	-
3 EC20D12-FC2-A	2.52	2.24	1.46	1.29	0.61	2.74	0.92
4 EC20D12-FC2-B	2.43	2.23	1.45	1.29	0.61	2.74	0.89
5 EC20D12-FC4-A	2.92	2.24	1.46	3.24	0.71	2.84	1.03
6 EC20D12-FC4-B	3.13	2.23	1.45	3.24	0.71	2.84	1.10
7 EC20D12-FG3-A	2.84	2.24	1.46	0.76	0.36	2.49	1.14
8 EC20D12-FG3-B	2.83	2.23	1.45	0.76	0.36	2.49	1.14
9 EC20D12-FG5-A	2.62	2.24	1.46	1.42	0.67	2.80	0.94
10 EC20D12-FG5-B	2.55	2.23	1.45	1.42	0.67	2.80	0.91
11 EC20D16-F00-A	1.67	-	-	-	-	-	-
12 EC20D16-F00-B	-	-	-	-	-	-	-
13 EC20D16-FC2-A	2.54	1.80	1.27	1.16	0.55	2.22	1.14
14 EC20D16-FC2-B	2.15	1.79	1.27	1.16	0.55	2.22	0.97
15 EC20D16-FC2-r	2.23	1.88	1.31	1.16	0.55	2.22	1.00
16 EC20D16-FC4-A	2.21	1.80	1.27	3.21	0.63	2.30	0.96
17 EC20D16-FC4-B	2.36	1.79	1.27	3.21	0.63	2.30	1.03
18 EC20D16-FC4-r	2.33	1.88	1.31	3.21	0.64	2.31	1.01
19 EC20D16-FG3-A	2.05	1.80	1.27	0.65	0.31	1.98	1.04
20 EC20D16-FG3-B	1.93	1.79	1.27	0.65	0.31	1.98	0.97
21 EC20D16-FG5-A	2.57	1.80	1.27	1.29	0.60	2.27	1.13
22 EC20D16-FG5-B	2.03	1.79	1.27	1.29	0.60	2.27	0.89
23 EC20D16-FG5-r	2.40	1.88	1.31	1.29	0.61	2.28	1.05
24 EC20D26-F00-A	1.43	-	-	-	-	-	-
25 EC20D26-F00-B	-	-	-	-	-	-	-
26 EC20D26-FC2-A	1.89	1.78	1.14	1.16	0.54	1.97	0.96
27 EC20D26-FC2-B	1.84	1.94	1.18	1.16	0.55	1.98	0.93
28 EC20D26-FC4-A	2.19	1.78	1.14	3.76	0.57	2.00	1.10
29 EC20D26-FC4-B	2.01	1.94	1.18	3.76	0.59	2.02	1.00
30 EC20D26-FC4-r	2.00	2.03	1.21	3.76	0.61	2.04	0.98
31 EC20D26-FG3-A	1.81	1.78	1.14	0.59	0.28	1.71	1.06
32 EC20D26-FG3-B	1.91	1.94	1.18	0.59	0.28	1.71	1.12
33 EC20D26-FG5-A	1.93	1.78	1.14	1.31	0.54	1.97	0.98
34 EC20D26-FG5-r	2.07	2.03	1.21	1.31	0.57	2.00	1.04
35 EC40D12-F00-A-r	1.79	-	-	-	-	-	-
36 EC40D12-F00-B-r	-	-	-	-	-	-	-
37 EC40D12-FC2-A	2.13	1.18	1.06	1.29	0.50	2.29	0.93
38 EC40D12-FC2-A-r	2.24	1.05	1.03	1.29	0.49	2.28	0.98
39 EC40D12-FC2-B	2.01	1.01	1.03	1.29	0.49	2.28	0.88
40 EC40D12-FC2-B-r	2.36	1.24	1.07	1.29	0.51	2.30	1.03
41 EC40D12-FC4-A	2.22	1.18	1.06	3.24	0.53	2.32	0.96
42 EC40D12-FC4-A-r	2.30	1.05	1.03	3.24	0.52	2.31	1.00
43 EC40D12-FC4-B	2.55	1.01	1.03	3.24	0.52	2.31	1.10
44 EC40D12-FC4-B-r	2.45	1.24	1.07	3.24	0.54	2.33	1.05
45 EC40D12-FG3-A-r	2.26	1.05	1.03	0.76	0.36	2.15	1.05
46 EC40D12-FG3-B-r	2.14	1.24	1.07	0.76	0.36	2.15	1.00
47 EC40D12-FG5-A	2.38	1.18	1.06	1.42	0.50	2.29	1.04
48 EC40D12-FG5-A-r	1.98	1.05	1.03	1.42	0.49	2.28	0.87
49 EC40D12-FG5-B	2.27	1.01	1.03	1.42	0.49	2.28	1.00
50 EC40D12-FG5-B-r	2.34	1.24	1.07	1.42	0.51	2.30	1.02
51 EC40D16-F00-A	1.54	-	-	-	-	-	-
52 EC40D16-F00-B	-	-	-	-	-	-	-
53 EC40D16-FC2-A	2.25	1.05	1.05	1.16	0.50	2.04	1.10
54 EC40D16-FC2-B	1.87	0.96	1.03	1.16	0.49	2.03	0.92
55 EC40D16-FC4-A	2.44	1.05	1.05	3.21	0.53	2.07	1.18
56 EC40D16-FC4-B	1.99	0.96	1.03	3.21	0.52	2.06	0.97
57 EC40D16-FG3-A	1.84	1.05	1.05	0.65	0.31	1.85	0.99
58 EC40D16-FG3-B	1.81	0.96	1.03	0.65	0.31	1.85	0.98
59 EC40D16-FG5-A	2.00	1.05	1.05	1.29	0.50	2.04	0.98
60 EC40D16-FG5-B	2.17	0.96	1.03	1.29	0.49	2.03	1.07
61 EC40D26-F00-A	1.23	-	-	-	-	-	-
62 EC40D26-F00-B	-	-	-	-	-	-	-
63 EC40D26-FC2-A	1.76	0.88	1.02	1.16	0.48	1.71	1.03
64 EC40D26-FC2-B	1.67	0.80	1.01	1.16	0.48	1.71	0.98
65 EC40D26-FC4-A	1.73	0.88	1.02	3.76	0.52	1.75	0.99
66 EC40D26-FC4-B	1.70	0.80	1.01	3.76	0.52	1.75	0.97
67 EC40D26-FG3-A	1.63	0.88	1.02	0.59	0.28	1.51	1.08
68 EC40D26-FG3-B	1.57	0.80	1.01	0.59	0.28	1.51	1.04
69 EC40D26-FG5-A	1.73	0.88	1.02	1.31	0.48	1.71	1.01
70 EC40D26-FG5-B	1.69	0.80	1.01	1.31	0.48	1.71	0.99

İÇİNDEKİLER

Çelik Lif İle Güçlendirmemiş Betonarme Kirişlerin Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellemenmesi <i>D. M. Özcan, A. Şahin, A. Bayraktar, T. Türker, T. Haktanır</i>	1
Betonarme Kirişlerin ve Kolonların Prefabrik Levhalarla Güçlendirmesi <i>M. Tekin, E. Alsancak</i>	7
Çelik Plakalar İle Güçlendirmemiş Betonarme Kirişlerin Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi <i>Y. Çağlar, O. Doğan, A. Koçak</i>	11
Onarım Sonrası Aşırı Donatılı Olan Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisi <i>S. Şener, Ç. M. Belgin</i>	17
Betonarme Güçlendirme Perdelerinin Ön Boyutlandırılması İçin Bir Yaklaşım <i>T. Öztürk</i>	21
Normal Dayanımlı Betonda Donatı Kenetlenme Özelliklerinin Karbon Elyaf Sargısı İle İyileştirilmesi <i>E. Akpinar, Ş. Özden</i>	31
Çelik Bağ Kirişleri Kullanım Alanları ve Çözümsel Modellemeleri <i>A. Sarıtaş, F. C. Filippou</i>	41
Betonarme Kolon - Kirişlerin Fiber Takviyeli Polimer Sistemi İle Onarım ve Güçlendirmesi <i>Z. Karaca, A. A. Kasırmızade, M. Sipahioğlu</i>	50
Depremde Hasar Görmüş Yapıların Fiber Takviyeli Polimerlerle Onarılması <i>M. Sümer, M. Uysal</i>	26
Betonarme Kirişlerde CFRP Sarılarak Güçlendirme Yapılması ve Taşıma Gücünün Arttırılması <i>M. Önal, H. Tokgöz, Ö. Can, N. Dumanlar</i>	64
Fay Hatlarına Yakın Bölgelerde Yapı Tasarımı <i>O. Doğan, A. Koçak, Y. Çağlar</i>	71
Deprem Etkisinin Binalarda Azaltılması <i>G. Turan</i>	75
Bir Masaüstü Deprem Simülörünün İmalatı ve Kontrolü <i>G. Kinay, G. Turan</i>	80
Dinamik Yüklü Betonarme Temellerin Güçlendirmesi <i>T. Öztürk</i>	86
Kıyı Yanaşma Yapılarının Tasarımı ve Güçlendirmesi <i>T. Öztürk, M. A. Gülder</i>	97



<http://yogs.pamukkale.edu.tr>

YAPISAL ONARIM ve GÜÇLENDİRME

SEMOZYUM BİLDİRİLERİ KİTABI

7 - 8 Aralık 2006, Denizli



Editörler
H. KAPLAN, S. YILMAZ

