

FİBER TAKVİYELİ POLİMERLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME KİRİŞLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

NONLINEAR ANALYSIS OF RC BEAM STRENGTHENED WITH FIBER REINFORCED POLYMERS

MERT N., ELMAS M.

Posta Adresi: Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

E-posta: mert@sakarya.edu.tr, elmas@sakarya.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli Polimer, doğrusal olmayan analiz, betonarme kiriş, güçlendirme

ÖZ Son yıllarda Fiber Takviyeli Polimer (FRP) plakalar, mühendislik uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. FRP plakalarının düşük yoğunluğundan dolayı hafif malzeme oluşu, korozyona ve kimyasal etkilere karşı yüksek dayanım özelliklerine sahip oluşu ve kolay uygulanabilir oluşu nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bunlardan en önemlilerinden birisi depremde hasar görmüş veya kullanım alanı değişikliğinden dolayı ilave gerilme artımlarının ihtiyaç duyulduğu betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi çalışmalarıdır.

Bu çalışmada, seçilen 4 tip kiriş modeli kullanılarak kiriş kesiti, kiriş açıklığı, FRP plaka kalınlığı ve farklı donatı miktarlarının etkileri araştırılmak üzere 16 farklı kiriş modeli oluşturulmuş ve doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. FRP ile güçlendirilen 16 farklı kiriş modelinin çatlak mekanizmaları, kiriş orta bölgesi ve plaka yüzeyi boyunca oluşan gerilme değişimleri incelenerek grafikler halinde sunulmuştur.

ABSTRACT In the recent years, strengthening of RC beams using CFRP plates are coming more popular depends on development of civil engineer material technology. Due to lightweight, high strength, corrosion properties and good fatigue, CFRP become an alternative strength material. The models prepared by using experimental and numerical studies proved that bending and shearing strength of RC elements increased in case of using strengthened method. The various developed analyses models with CFRP for strengthened RC elements produced stress distribution, load-displacement curves and failure modes in details

In this study, LUSAS package program using finite element method techniques was used for four type models having different cross-sections, spans and amount of reinforcement. Nonlinear analysis graphically produced some results which are load-displacements curves, normal and shear stress on the section, crack mechanism and failure mode

GİRİŞ

Son yüzyılda, malzeme teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ileri teknoloji ürünü malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle yapı kimyasalları ve fiber teknolojisindeki yenilikler yapı onarım ve güçlendirmeleri üzerine yeni metotlar geliştirilmesini kolaylaştırmıştır. Karbon fiber takviyeli polimer (FRP) plakalar kullanarak betonarme elemanların güçlendirilmesi teknikleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar

akademik ve uygulamalı araştırmalara konu olmuştur. Karbon fiber kompozitlerin kullanımda sağladığı avantajlar, çok kolay ve güvenilir uygulama alanları oluşması, hızlı ve gerçekçi sonuçlar vermesi tercih sebebi olmuştur.

Betonarme yapı elemanlarında, meydana gelen şiddetli depremler sonucu yapısal hasar oluşması yada kullanım amaçlarının değişimi gibi nedenlerle güçlendirilmeye ihtiyaç duyarlar. Bu elemanlar geliştirilen yeni tekniklerle güçlendirilerek eski durumuna göre daha güvenli hale getirilirler.

Karbon fiber polimerlerle (CFRP) betonarme kirişlerin güçlendirilmesine üzerine bir çok araştırmacı çalışmıştır[1-4]. Genel olarak gerçekleştirilen bu çalışmalar, laboratuvar ortamında çeşitli boyutlarda farklı donatı miktar ve düzeneklerine sahip betonarme kirişler üzerine yapılmıştır. Bu modeller farklı malzeme özelliklerine sahip FRP'lerle eğilme ve/veya kesme gerilmelerini arttırmak üzere uygulanmış, oluşan gerilme değişimleri, deplasmanlar ve çatlak durumları grafik ve resim olarak sunulmuştur. Ancak bu tür çalışmalar hazırlanan modeller ile kısıtlı kalmış ve genellemeye gidilememiştir.

Bu çalışmada ise yapılan uygulamalar, bilgisayar ortamında sayısal analiz modelleri hazırlandıktan sonra mevcut ve glendirilmış kirişin doğrusal olmayan davranışı araştırılmıştır. Öncelikle deneysel çalışma sonuçları ile sonlu eleman modeli sonuçları karşılaştırılarak sonlu eleman modelinin doğruluğu gösterilmiştir. Hazırlanan sayısal analiz modellerinin değişen yüklemeler altında oluşan çatlak biçimi (crack pattern), CFRP plakası bitim noktasında oluşan gerilme değişimi ve yenilme (göçme) biçimleri, orta bölgesinde yk değişime bağlı olarak oluşan gerilme ve deformasyon durumları araştırılmıştır.

FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER İLE KİRİŞLERİN GÜÇLENDİRİLMESİ

Kirişler, yapılar için kolonlardan sonra en önemli taşıyıcı elemanlardır. Dşemelerden aldıkları düşey yükleri kolonlara aktarırlar. Deprem esnasında kolonların beraber hareket etmesini sağlar ve deprem yüklerini kolonların birinden diğerine aktarır. Süneklik düzeyi yüksek ereve sistemlerde kirişlerin kolonlara göre daha zayıf olması istenir. Gerekirse mafsallaşmasına bile izin verilir, önemli olan kolonların stabilizesini kaybetmemesidir.

Bu sebeple, genelde kirişlerin açıklık bölgesinde eğilme, mesnet bölgelerinde ise kesme kuvvetine karşı güçlendirme yapılır. Eğilme (orta açıklık) bölgesinde yapılacak gereğinden fazla güçlendirme, eğilme donatısı kopmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesine yol açar. Bu kırılma ani , gevrek ve istenmeyen bir kırılma şeklidir. Eğilme bölgesinde meydana gelebilecek bir hasarda önce kullanımları FRP malzemenin kopması, ondan sonra elik donatırların akması, daha sonra betonun ezilmesi istenir.

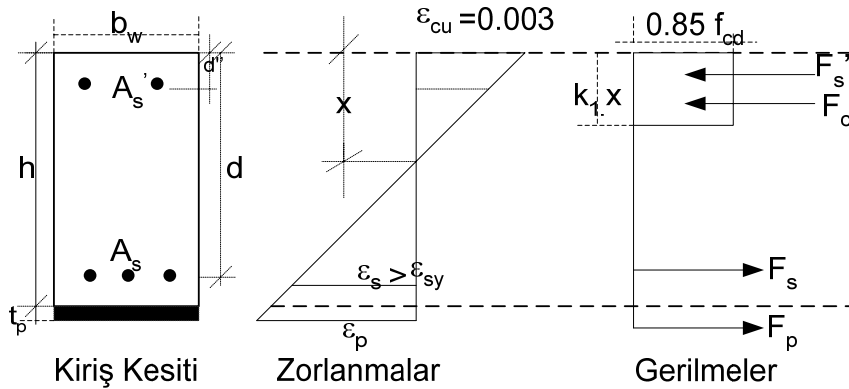


Şekil-1. Kirişlerde Kesmeye Karşı U Şeklinde Dilimler Halinde FRP Uygulaması

CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KİRİŞLERİN NÜMERİK HESAP ADIMLARI

Karbon fiber takviyeli polimerlerin(CFRP) betonarme yapı elemanlarında kullanılması düşüncesi beraberinde bu çalışmaya ait bir standart veya uygulama hesap esaslarını içeren dizayn rehberlerinin hazırlanması gerekliliğini doğurmuştur. Bu amaçla birçok ülkede birbirinden bağımsız ancak birbirleriyle ilintili birçok araştırma, teknik raporlar halinde düzenlenerek dizayn rehberi haline getirilmiştir.

Bu çalışmalardan bazıları 1989 yılında Japon İnşaat Mühendisleri topluluğu(JSCE) tarafından başlatılan ve 2001 yılında son şekli verilen "FRP-EBR" başlığı altındaki çalışmadır[1].Kanada İnşaat Mühendisleri Topluluğu tarafından oluşturulan teknik komite tarafından "Köprü ve Binalarda ileri kompozit malzeme kullanımı" üzerine gerçekleştirilen çalışmalar 1996 yılında "Kanada otoyol köprüleri dizayn kodu(CHBDC)" olarak standartlaştırılmıştır[2].ABD' de 1991 yılında Amerikan Beton Enstitüsü(ACI) tarafından oluşturulan komitenin Fiber Takviyeli Polimer Güçlendirici Elemanlar üzerine çalışmaları 2001 yılında son hali verilerek rapor halinde sunulmuştur(ACI 440.2R-02)[3]. Avrupa'da ise 1991 yılında Avrupa Topluluğu tarafından maddi destek sağlanan ve 1991 yılında 5 yıllık BRITE/EURAM projesi kapsamında " Metal olmayan beton donatısı olarak fiber kompozit elemanlar ve teknikleri" başlıklı çalışma ile başlanmıştır[4]. 1993'te başlayıp 1997'de son bulan EUROCRETE projesi ile çalışma daha da genişletilmiştir. Sonuç olarak 1996 yılında fib Task Group 9.3 tarafından hazırlanan "FRP takviyeli Beton Yapılar" adlı çalışma ile dizayn prosedürü haline getirilmiştir[5].



Şekil 2. Betonarme kiriş kesiti ve Zorlanma ve Gerilme değerleri

Yukarıdaki şekilde CFRP ile güçlendirilmiş kiriş kesiti ve buna etkileyen gerilme ve zorlanma ifadeleri verilmiştir.

$$F_c = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times a \quad (1)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} \quad (2)$$

$$F'_s = A'_s \times f_{yd} \quad (3)$$

$$F_p = E_f \times \varepsilon_f \times A_f \quad (4)$$

Burada A_s ve A'_s sırasıyla çekme ve basınç donatısı alanları, f_{cd} , ve f_{yd} , Beton ve donatı akma dayanımını göstermektedir.

Basınç donatısının akma mukavemetine ulaştığı ana göre minimum plaka alanı A_{fmin}

$$A_{f,min} = \frac{0.85 \times f_{cd} \times b_w \times a + f'_y \cdot A'_s - f_y \cdot A_s}{E_f \cdot \epsilon_{fu}} \quad \epsilon'_s = 0.003 \cdot \frac{x - d'}{x} \geq \epsilon_{sy} \quad (5)$$

Denklemler ile hesaplanır.

Betonarme kirişlerin moment kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan en genel denklem;

$$M_u = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times a (h - 0.5 \beta_1 x) - f_y \cdot A_s (h - d) + f'_y \cdot A'_s (h - d') \quad (6)$$

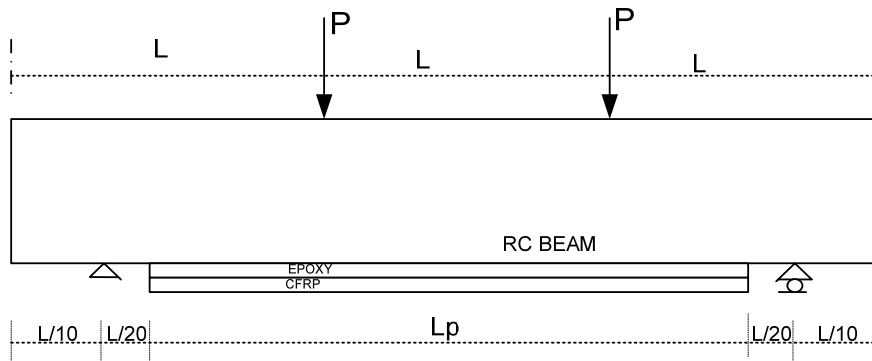
olarak hesaplanır. Burada h kiriş yüksekliği, d faydalı yükseklik, d' ise paspayı ve b_w ise kiriş genişliğidir.

Sayısal Uygulama

Bu çalışmada, karbon takviyeli polimer plaka kullanılarak güçlendirilen betonarme kirişlerin doğrusal olmayan davranışlarının analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu amaçla A, B, C ve D tipleri (Tablo 1) olmak üzere dört farklı kiriş modeli belirlenmiş ve bu kiriş modellerinin farklı kesit, açıklık ve donatı oranlarına sahip olarak hazırlanan 16 farklı kiriş modelinin doğrusal olmayan analizleri LUSAS paket programının kullanılarak yapılmıştır.

Tablo-1. Tablo 1. Kiriş modellerinin genel konfigürasyonu

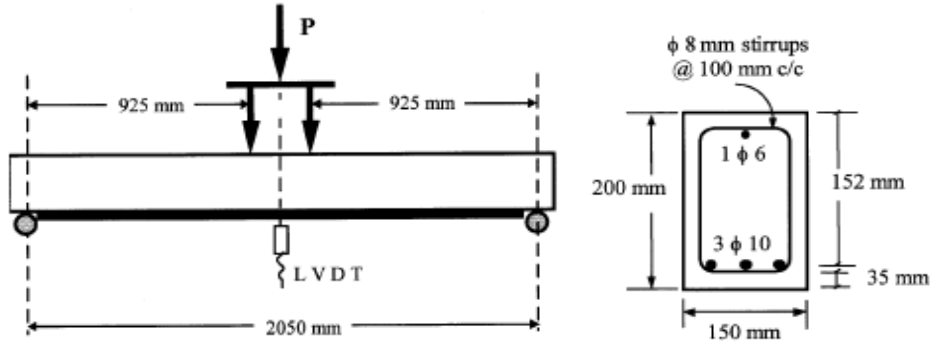
	L (mm)	L_p (mm)	b (mm)	h) (mm)	A_s	A'_s
A tipi	500	1350	120	200	2 ϕ 12	2 ϕ 8
B tipi	1000	2700	200	300	3 ϕ 16	2 ϕ 10
C tipi	1500	4050	250	400	4 ϕ 18	2 ϕ 10
D tipi	2000	5400	300	500	5 ϕ 20	2 ϕ 12



Şekil-3. Genel kiriş modeli

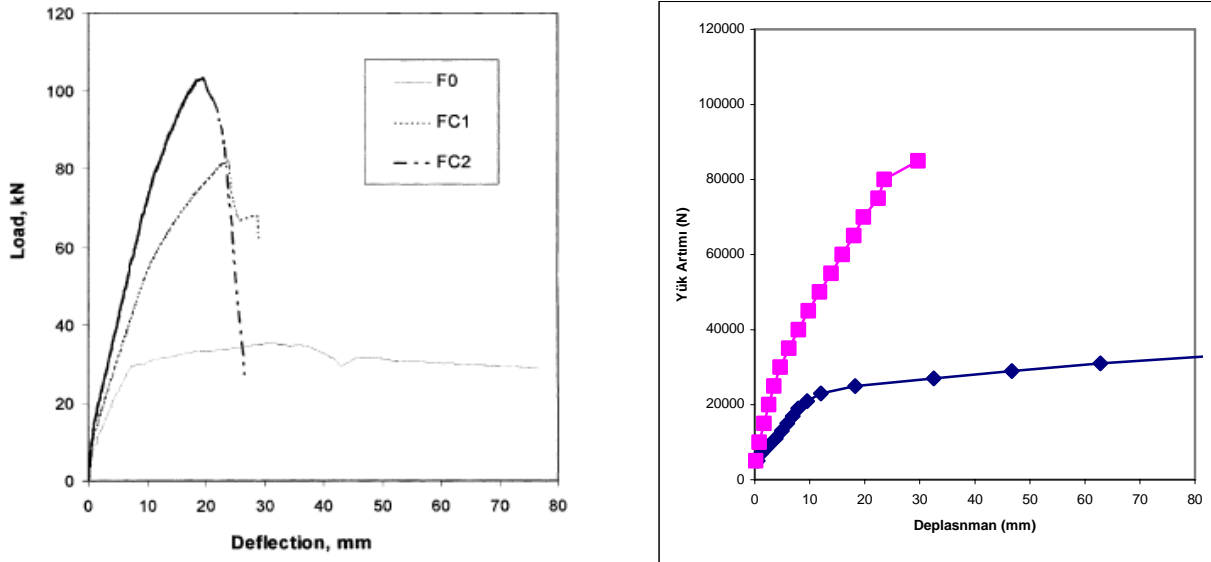
DENEYSEL ÇALIŞMALAR İLE SAYISAL ANALİZ MODELİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Sonlu eleman modelinin gerçek problemi ne kadar yansıtabildiğini görebilme amacıyla iki deneysel çalışma seçilmiş ve sonlu eleman sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Tarek H. ALMUSSALEM ve arkadaşları [5] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada kiriş modelinin özellikleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 8).



Şekil-4. Deneysel analiz modeli yükleme durumu ve en kesiti

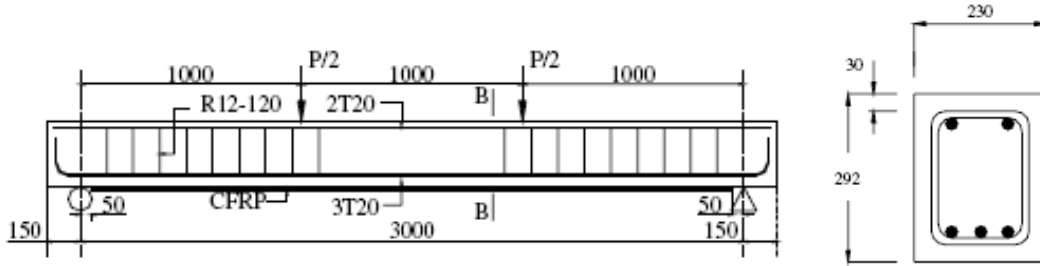
Deneysel çalışmada hazırlanan betonun ortalama basınç gerilmesi 37,5 MPa, poisson oranı $\nu=0.2$ olarak alınmıştır. Basınç ve çekme bölgesinde kullanılan donatı için akma gerilmesi 500 MPa, Elastisite modülü 200 GPa verilmiştir. CFRP ise 1 mm kalınlığında kullanılmış olup elastisite modülü 68948 MPa seçilmiştir.



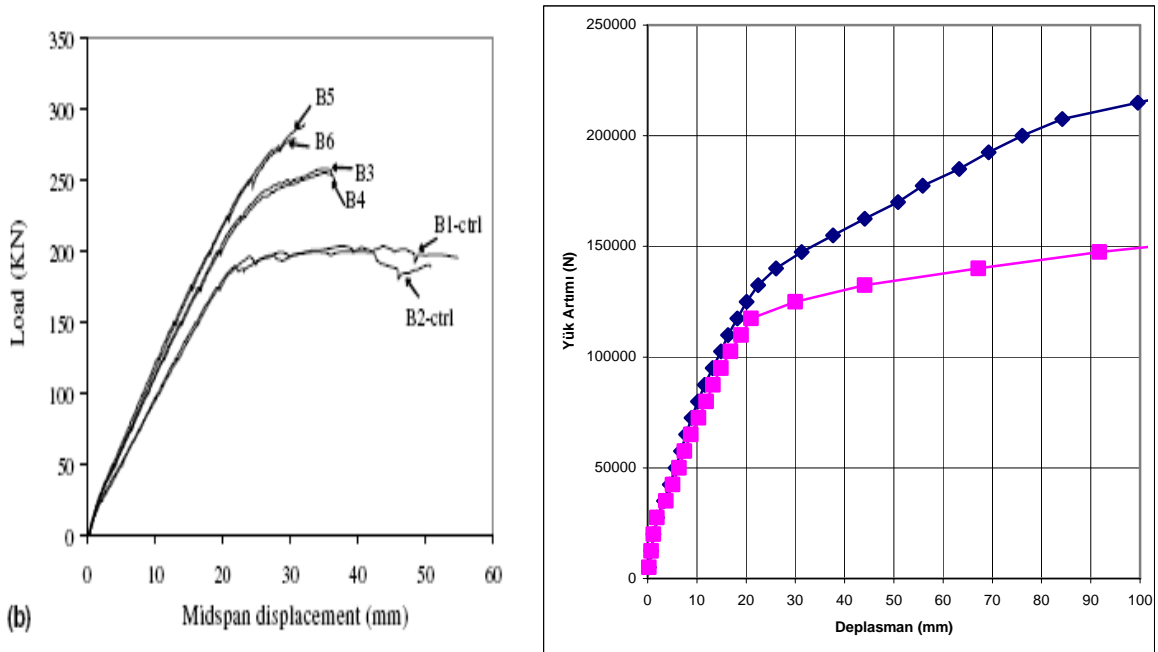
Şekil-5. Deneysel çalışmada F0 ve FC1 modellerinin sonlu elemanlar ile karşılaştırılması

Burada F0 ve FC1 modellerinin tekil yükleme altında orta noktasında meydana gelen deplasman miktarları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneysel çalışmada etriye katkısı da göz önüne alınarak belirlenen Yük-Deplasman grafiği ile sayısal analiz sonucunda elde edilen değerler birbirine çok yakındır.

Seçilen deneysel çalışmalardan ikincisi de M. Maalej ve K.S.Leong [5] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kiriş modelinin özellikleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6).



Şekil-6. Deneysel analiz modeli yükleme durumu ve en kesiti



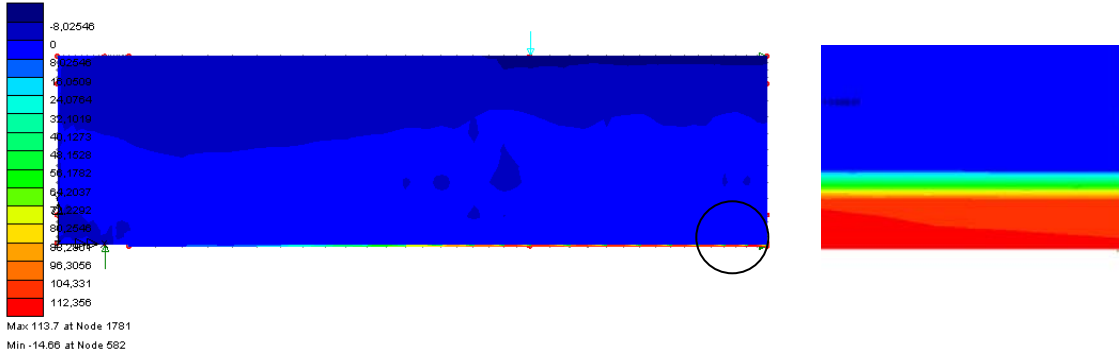
Şekil-7. Deneysel çalışmada B1 ve B3 modellerinin sonlu elemanlar ile karşılaştırılması

Deneysel çalışmada etriyenin eğilme ve kesme dayanımına katkısı bulunmaktadır. Sayısal analiz modelinde bu değerler göz ardı edilmiştir. Doğrusal olmayan analiz iterasyonlarındaki yakınsaklık, deneysel çalışmada oluşabilecek hata ve davranış hassasiyeti de göz önüne alındığında gerçek davranışı temsil edebilecek sonuçlar elde edildiği görülecektir.

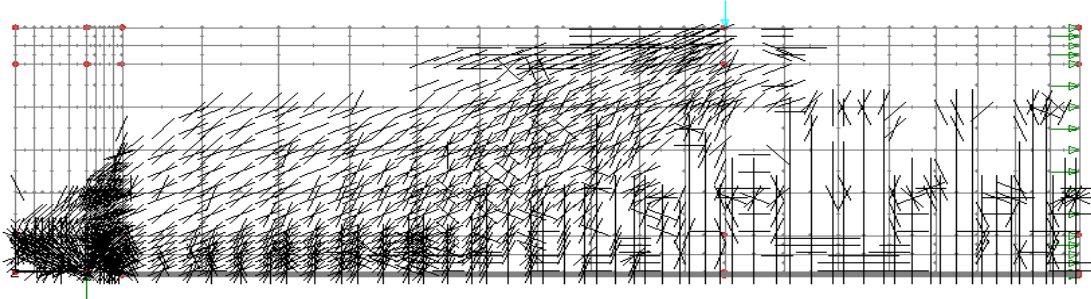
SONUÇ

Seçilen 4 tip kiriş modelinin her biri için 4 farklı sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve bu modellerin doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen yük-deplasman değişimleri grafikler halinde Şekil 4-7 de ve çatlak dağılımı da Şekil 3 de sunularak değerlendirilmiştir.

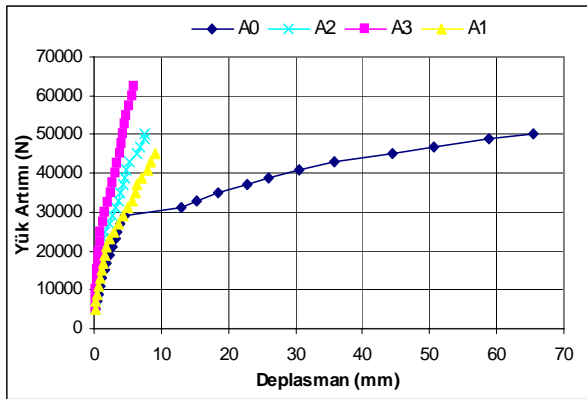
LOAD CASE = 15
Increment 15 Load Factor = 0.938E-01
RESULTS FILE = 1
STRESS
CONTOURS OF Sx
-8,02546
0
8,02546
16,0509
24,0764
32,1019
40,1273
48,1528
56,1782
64,2037
72,2292
80,2546
88,2801
96,3056
104,331
112,356
Max: 113.7 at Node 1781
Min: -14.66 at Node 582



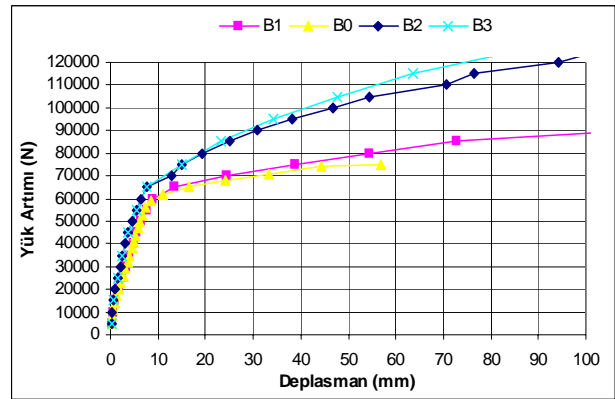
Şekil 8- A1 tipi sayısal kiriş modelinde doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan normal gerilme (σ_x) gerilmesi dağılımı ve güçlendirme bölgesi detayı



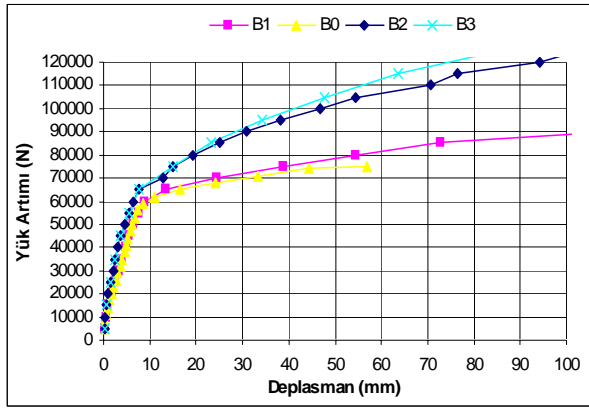
Şekil 9 A1 tipi sayısal kiriş modelinde doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan çatlak mekanizması



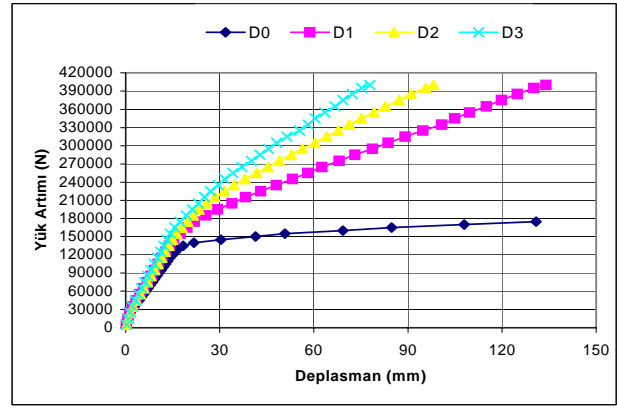
Şekil-10. A tipi modellerin yük-deplasman değişimi



Şekil-11. B tipi modellerin yük-deplasman değişimi



Şekil-12. C tipi modellerin yük-deplasman değişimi



Şekil-13. D tipi modellerin yük-deplasman değişimi

Elde edilen tüm deneysel ve sayısal analiz sonuçları ele alındığında CFRP kullanılarak betonarme kirişlerin güçlendirilmesi etkin bir yöntemdir. Betonarme kirişlerin her bölgesindeki gerilme dağılımlarını, çatlak mekanizmalarını ve kiriş yenilme biçimlerinin belirlenmesinde doktora tezinde kullanılan sayısal analiz modeli metodu yeterli ve gerçekçi sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

Smith, S.T., Teng ,J.G., (2005), FRP-Strengthened RC Beams. I: Review of Debonding Strength Models, **Engineering Structures**, Vol:24, 385-395.

Smith, S.T., Teng ,J.G., (2005), FRP-Strengthened RC Beams. I: Review of Debonding Strength Models, **Engineering Structures**, Vol:24, 397-417.

Xiao, J., Li , J., Zha Q, (2004), Experimental Study On Bond Behavior Between FRP And Concrete, **Construction And Building Materials**,Vol: 18, 745-752.

Anania, L., Badala, A.,Failla,G., (2005), Increasing The Flexural Performance of RC Beams Strengthened With CFRP Materials, **Construction and Building Materials**, Vol: 19, 55-61.

Maalej, M., Leong, K.S., (2005), Effect of Beam Size And FRP Thickness On Interfacial Shear Stress Concentration End Failure Mode Of FRP-Strengthened Beams, **Composite Science And Technology**.

Almussalam, T., Al-Salloum Y., (2001), Ultimate Strength Prediction For RC Beams Externally Strengthened by Composite Materials, **Composites Part B: Engineering**, Vol: 32, 609-619.

CHBDC, "Section16: Fibre Reinforced Structures", Canadian Highway Bridge Design Code, Final Draft, Canada, July 1996

JCI TC952 on Continuous Fiber Reinforced Concrete: "Technical Reports on Continuous Fiber Reinforced Concrete", Japan Concrete Institute,1998

ACI-Committee 440, "Guide for The design and construction of externally bonded FRP Systems for Strengthening of Concrete Structures, ACI, Farmington Hills,US, (2001a)