

BETONARME YAPI ELEMANLARINDA LİF TAKVİYELİ POLİMERLERİN KULLANIMI

THE USE OF FIBER REINFORCED POLYMERS AS THE REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Burak Özşahin¹, Ali Mülayim², Orhan Arkoç³

¹Kırklareli Üni., Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 39000, Kırklareli, Türkiye

²Kırklareli Üni., Teknik Bilimler MYO, İç Mekân Tasarımı Bölümü, 39100, Kırklareli, Türkiye

³Kırklareli Üni., Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, 39100, Kırklareli, Türkiye

¹burak.ozsahin@klu.edu.tr, ²ali.mulayim@klu.edu.tr, ³orhan.arkoc@klu.edu.tr

ÖZET

Donatı çeliğinin korozyonu inşaat sektörünün önemli problemlerinden birisi olup, korozyon sorununun ülke ekonomisine ciddi zararı bulunmaktadır. Su ve nem ile temas eden yapılarda beton içerisinde yer alan donatı korozyonuna bağlı olarak hem donatı çeliği hem de beton elemanlar önemli ölçüde zarar görmektedir. Bu nedenle beton içinde çelik donatı yerine yüksek korozyon dayanımına sahip lif takviyeli polimerlerin kullanılmasıyla betonarmede korozyon sebebiyle oluşan sınırlamaları ortadan kaldıracığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, lif takviyeli polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ve lif takviyeli polimerlerin betonarme elemanlarda donatı olarak kullanımı ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Donatı Çeliği, Lif Takviyeli Polimer

ABSTRACT

Corrosion of steel reinforcement is one of the important problems of the construction industry; there are serious problems of corrosion damage to the national economy. Due to the corrosion of reinforcement steel in concrete structures with water and moisture contact both steel reinforcement bars and concrete structures are significantly damaged. The usage of reinforced polymers having high corrosion resistance instead of steel reinforcement in concrete structures that contact with water is expected to eliminate the boundary due to corrosion. In this study, the physical and mechanical properties of fiber reinforced polymers and the information about the usage of these materials as a reinforcement of reinforced concrete members are presented.

Keywords: Corrosion, Reinforcement Steel, Fiber Reinforced Polymers

1. GİRİŞ

Korozyon, çevresel etkiler sebebiyle meydana gelen elektrokimyasal süreç sonucunda, metal malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimlerdir. Korozyonun başlıca oluşum sebebi metalin doğada bulunduğu mineral haline dönmek istemesidir. Atmosfere açık halde bulunan metallerin tedbir alınmazsa korozyona uğraması kaçınılmazdır. Yetersiz paspayı, kalitesiz malzeme ve yıpratıcı çevresel etkiler gibi nedenlerle donatı korozyonuna uğramış betonarme eleman kesitlerine sıkça rastlanmaktadır. Betona gömülü halde bulunan donatı çeliği etrafında bulunan oksit tabakası korumaktadır. Bu oksit tabakası, beton karışımında kullanılan Portland çimentosunun hidrate olması sonucu açığa çıkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in ortamın pH değerini ortalama 12.6 olarak sabitlemesiyle ortaya çıkmaktadır. Donatı pasivasyonunun kırılması; ya klorür iyonlarının difüzyonu ile ya da havadaki CO_2 'nin betona difüzyonu sonucunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girip betonun pH değerinin 9'un altına düşmesiyle (karbonasyon), ya da her iki olayın birlikte meydana gelmesiyle oluşur (Coşkan S. ve Yüksel İ., 2013). Korozyon sonucu donatıda çap azalması, aderans kaybı ve donatının mekanik özelliklerinde değişim ve hatta betonda çatlama meydana getirmektedir. Yapılardaki deprem hasarları incelendiğinde, boyutlandırma belirgin bir şekilde dikkate alınmayan korozyon yapıların deprem hareketinden hasar görmesini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir (Doğan M., 2009). Betonarme yapı elemanlarında donatı korozyonu sebebiyle oluşan hasarların giderilmesi ve onarılması ekonomik açıdan önemli bir sorundur. Yeni yapılacak binalarda donatı korozyonu sebebiyle oluşabilecek hasarları engellemek için katodik koruma, betonda korozyon

inhibitörlerinin kullanılması, yüzeyi epoksi vb. ile kaplanmış donatı kullanılması ve geleneksel çelik donatıya alternatif olarak antikorozif donatı kullanılması gibi yöntemler uygulanmaktadır. Yeni yapılacak binalarda korozyon ve korozyon sebebiyle oluşacak hasarları engellemek için geleneksel çelik donatı yerine antikorozif donatı olarak lif takviyeli polimer (FRP) donatı kullanılabilir (Şekil 1). Lif takviyeli polimer (FRP) malzemeler genellikle betonarme yapı elemanlarının laminatlar veya şeritler halinde dıştan yapıştırılarak onarılması ve güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Lif takviyeli polimer (FRP) tendonları aynı zamanda eski öngerilmeli beton kirişlerin güçlendirilmesi için de kullanılabilir (Yavuz G., 2011, Rizakalla S. ve ark. 2003).



Şekil 1. Lif takviyeli polimer (FRP) donatı uygulama örnekleri (URL 1)

Lif takviyeli polimer (FRP) kompozitlerini betonarme yapı elemanlarında donatı olarak etkin kullanabilmek ve içten ve dıştan takviye edilmiş yapıların dizayn yöntemini standardize etmek için geniş ölçüde araştırmalar yapılmaktadır. (Yavuz G., 2011). Yurtdışında lif takviyeli polimer (FRP) donatıların kullanılması ile ilgili çeşitli yönetmelikler hazırlanmıştır (ACI 440.1R., 2006, CSA-S806., 2012, CSA-S807., 2010).

Bu çalışmada yüksek korozyon direnci ve yüksek çekme dayanımına sahip hafif bir malzeme olması sebebiyle geleneksel çelik donatıya alternatif olarak düşünülen lif takviyeli polimer (FRP) donatıların betonarme elemanlarda donatı olarak kullanılması ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, sonlu elemanlar metodunu kullanan bir bilgisayar yazılımı ile betonarme kiriş elemanlar modellenerek, geleneksel çelik donatılı ve lif takviyeli polimer (FRP) donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışları teorik olarak incelenmiştir.

2. LİF TAKVİYELİ POLİMERLER (FRP) ve LİF TAKVİYELİ POLİMER (FRP) DONATILAR

2.1. Lif Takviyeli Polimerler (FRP)

Lif takviyeli polimerler (FRP) genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etmenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin kullanımı, üstün mekanik dayanımlarının yanı sıra hafifliği, korozyona dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesi, elektrik yalıtımı gibi özelliklerinden dolayı giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymamaları bu malzemeleri diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde avantajlı konuma getirmektedir (Aydın F., 2011).

Lif takviyeli polimer (FRP) ürünleri, reçine matrisi içerisine gömülmüş, yüksek dayanımlı liflerden oluşan kompozit malzemelerdir. Bu lifler, oluşturulan kompozit malzemeye dayanım, rijitlik sağlamakta ve genellikle yükün büyük bir kısmını karşılamaktadırlar. Matris, liflerin kenetlenmesinde görev yapmakta ve kesme gerilmeleri boyunca liften life gerilme transferini sağlamaktadır. Matrisin diğer görevi liflerin korunması ve liflerin burkulmasının önlenmesidir. Yaygın olarak kullanılan lifler; cam, karbon, aramid lifleridir. Yaygın kullanıma sahip matrisler ise; epoksi, polyster, vinyl ester ve fenoliklerdir (ACI 440.1R., 2006). Lif katkı polimerin (FRP) verimine liflerin yönü, uzunluğu, şekli ve kompozisyonu etki etmektedir. Lifler, istenilen özellikleri elde etmek için farklı doğrultularda yerleştirilebilmektedir. Donatılar, hem doğal, hem de sentetik olabilmektedir. Bununla birlikte, ticari olarak en çok kullanılanlar sentetik olanlardır. İnşaat mühendisliği uygulamaları için en yaygın olarak kullanılan lif tipleri cam ve karbondur. Üretim alanı içerisindeki en geniş kullanım cam life aittir. Günümüzde uygulamada en yaygın kullanılan lif takviyeli kompozitler laminat olarak isimlendirilen ve yapı elemanlarına dıştan yapıştırılarak uygulanan güçlendirme malzemeleridir. Laminatlar birkaç ince katman ve matrisler topluluğunun istenilen kalınlıkta birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Her tabakadaki fiber doğrultusu, çeşitli katmanların yığın şeklinde sıralanmasıyla, yük etkisine göre fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilebileceği yönde yerleştirilebilmektedir. Termoset veya termoplastik reçineler, lif üretimi veya daha sonraki aşamada yüzey şeklinin verilmesini sağlamaktadır. Liflerle uygulanan diğer malzemeler, bu elemanları bir arada yığın şeklinde tutan reçine tutkalları ve işlem sırasındaki aşınma nedeniyle meydana gelen azalmadan fiberleri koruyan lubrikant adı verilen maddelerdir (ACI 440.1R., 2006 ve Yavuz G., 2011).

2.2. Lif Takviyeli Polimer (FRP) Donatılar

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri geleneksel çelik donatı çubuklarından farklıdır. Lif takviyeli polimer (FRP) donatının fiziksel ve mekanik özellikleri kompoziti oluşturan matrisin, lifin türü ve özelliklerine, lif hacim oranına, lif matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyetine, lifin geometrisi ve matris içinde dağılımına bağlıdır. Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre üstün özellikleri; yüksek çekme dayanımı, yüksek korozyon direnci, manyetik olmaması, yüksek gerilme direnci, hafiflik, düşük ısı ve elektrik iletkenliğidir. Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre üstün olmayan özellikleri; çekme gerilmesi altında kopmadan önce akma yapmaması, düşük elastisite modülü, yüksek maliyet, dayanımın lif doğrultusuna bağlı olarak değişmesi, çeşitli çevre koşullarında düşük lif durabilitesi, düşük aderans ve kenetlenmedir. Yaygın kullanıma sahip, cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatı, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) donatı, aramid lif takviyeli polimer (AFRP) donatı ile geleneksel çelik donatının çekme etkisi altındaki özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde lif takviyeli polimer (FRP) donatıların çekme etkisinde lineer elastik malzeme özelliği gösterdiği, geleneksel çelik donatılarda görülen kopma öncesi akmanın lif takviyeli polimer (FRP) donatılarda oluşmadığı görülmektedir. Çelik donatı akma konumuna ulaşıp sünek davranırken, lif takviyeli polimer (FRP) donatılarda akma söz konusu olmadığı için kopma aniden gerçekleşir, malzeme gevrek davranır.

Tablo 1. Lif takviyeli polimer (FRP) donatı ve çelik donatının çekme etkisi altında özellikleri
(ACI 440.1R., 2006)

Parametre	Çelik	GFRP	CFRP	AFRP
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	276~517	Akma Yok	Akma Yok	Akma Yok
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	483~690	483~1600	600~3690	1720~2540
Elastisite Modülü (N/mm ²)	200000	35000~51000	120000~580000	41000~125000
Akma Şekil Değişirme (%)	0,14~0,25	Akma Yok	Akma Yok	Akma Yok
Kopma Şekil Değişirme (%)	6~12	1,2~3,1	0,5~1,7	1,9~4,4

(*Lif Hacim Oranları 0,5–0,7 için)

(** GFRP: Cam Lifi Takviyeli Polimer, CFRP: Karbon Lifi Takviyeli Polimer, AFRP: Aramid Lif Takviyeli Polimer)

Yaygın olarak kullanılan cam lifli takviyeli polimer (GFRP) donatıların elastisite modülü çelik donatının elastisite modülünden küçüktür. Bu durum aynı kesite sahip cam takviyeli polimer

(GFRP) donatı kullanılan betonarme elemanlarda çelik donatılı betonarme elemanlara göre daha büyük çatlak genişlikleri ve daha fazla sehim oluşmasına sebep olur. Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların yoğunlukları geleneksel çelik donatının yoğunluğundan oldukça küçüktür (Tablo 2).

Tablo 2. Lif takviyeli polimer (FRP) donatı ve çelik donatının yoğunlukları
(ACI 440.1R., 2006)

Parametre	Çelik	GFRP	CFRP	AFRP
Yoğunluk (g/cm ³)	7,90	1,25~2,10	1,50~1,60	1,25~1,40

Lif takviyeli polimer (FRP) kompozitler anizotropik yapıya sahiptir. Bu sebeple geleneksel çelik donatıdan farklı olarak lif takviyeli polimer (FRP) donatıların boyuna ve enine ısıl genleşme katsayıları birbirinden farklıdır. Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların boyuna ısıl genleşme katsayısını lif tipleri, enine ısıl genleşme katsayısını ise reçine belirlemektedir (Yavuz G., 2011). Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların ve çelik donatının boyuna ısıl genleşme katsayısı (α_L) ile enine ısıl genleşme katsayısı (α_T) değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Lif takviyeli polimer (FRP) donatı ve çelik donatının ısıl genleşme katsayıları
(ACI 440.1R., 2006)

Parametre	Çelik x(10 ⁻⁶ 1/°C)	GFRP x(10 ⁻⁶ 1/°C)	CFRP x(10 ⁻⁶ 1/°C)	AFRP x(10 ⁻⁶ 1/°C)
α_L (Boyuna Isıl Gen. Kat.)	11,7	6,0~10,0	-9,0~0,0	-6,0~-2,0
α_T (Enine Isıl Gen. Kat.)	11,7	21,0~23,0	74,0~104,0	60,0~80,0

(*Lif Hacim Oranları 0,5–0,7 için)

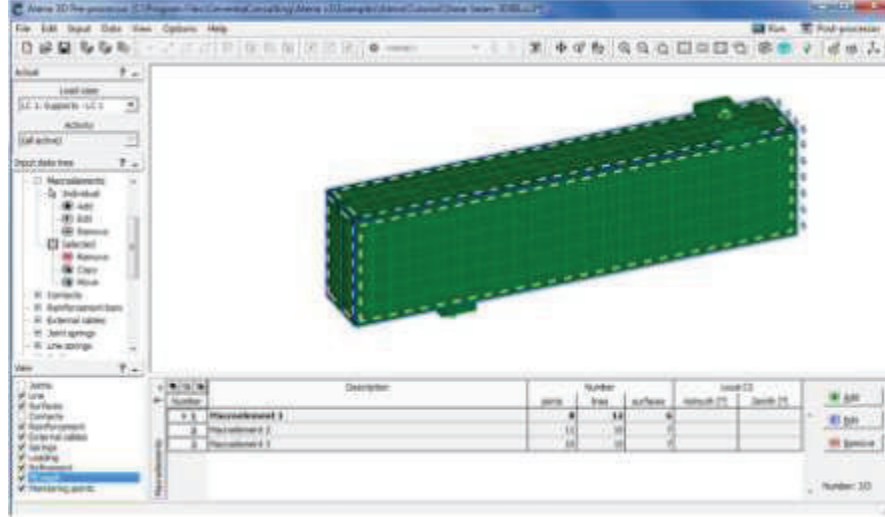
3. BETONARME ELEMANLARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLENMESİ

3.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem ilk olarak mühendisler tarafından gerilme analizi probleminde uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir alan probleminin çözümü söz konusudur. Gerilme analizinde bu alan ağırlıklı olarak deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük, alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir önem içerir. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilir. Bu şekilde cebirsel bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde çok sayıda denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır (Pençe E., 2007). Bir başka ifadeyle, sonlu elemanlar metodu, yapıların sonlu sayıda elemanlara ayrılması ve bu elemanların birbirlerine bağlandığı düğüm noktalarında kuvvetler dengesi ve deplasman sürekliliğinin sağlanması ilkelerine dayanan bir yöntemdir (Dede F.T., 2006).

Betonarme bir elemanın gerçeğe yakın davranışı genelde laboratuvar ortamında deney yapılarak gözlenebilmektedir. Fakat bu işlem oldukça zaman almaktadır. Deneylerin yapılması için uygun koşulların sağlanması ve malzeme temininde yaşanan sıkıntılar, belli boyut ve sayıdaki elemana göre oluşturulan malzemelerin kullanımının sınırlı olması nedeniyle çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Ancak yeterli sayıda deneyim (deprem ve benzeri durumlar) ve deney sonucundan malzeme, yapı elemanı ve yapının davranışı hakkında bilgi bilgisayar ortamında modellenerek daha çok sayıda çözümlenmeler yapılabilmektedir. Bilgisayar modelinde kullanılan malzeme özellikleri, kesit, eleman, yapı davranışı ve sınır şartları doğru ve eksiksiz olarak tanımlanması gerekir. Bilgisayar yazılımları kullanılarak külfetli deneysel çalışmaların sayısı azaltılabilmekte, deney ve yapı tasarımları optimize edilebilmektedir (Büyükkaragöz A. ve Koprman Y., 2008). Bu çalışmada betonarme kiriş elemanların geleneksel çelik donatılı ve lif takviyeli polimer (FRP) donatılı olarak modellenerek, eğilme etkisi altındaki davranışlarının teorik olarak incelenmesinde ATENA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. ATENA sonlu elemanlar programı, özellikle beton ve betonarme yapıların sonlu eleman analizleri için tasarlanmış bir yazılımdır. ATENA

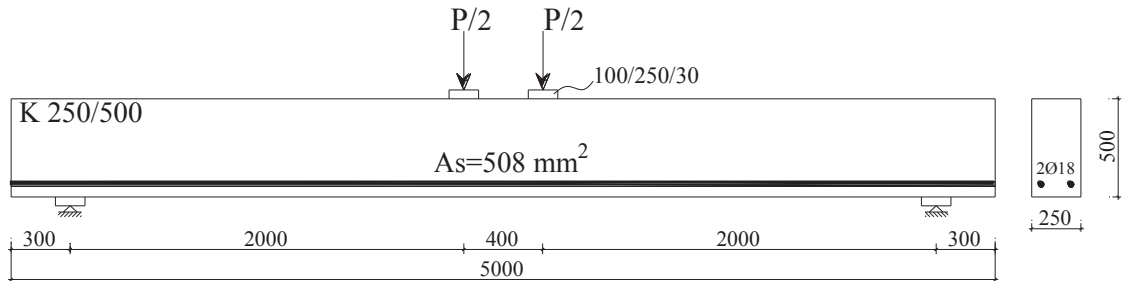
sonlu elemanlar programında karmaşık betonarme elemanların geometrik modellerinin oluşturulabilmesi ve analizi için birçok ara yüz ve çözüm yöntemi mevcuttur. ATENA sonlu elemanlar programı ile betonarme elemanların gerilme, ısı iletim, genleşme, sünme, rötre analizleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca ATENA sonlu elemanlar programında 2 boyutlu ve 3 boyutlu sonlu eleman modellerinin oluşturulabilmesi için çeşitli eleman kütüphanesi, malzeme modelleri ve çözüm yöntemi seçenekleri vardır (Şekil 2). ATENA sonlu elemanlar programı yapıların sonlu eleman modellerinin oluşturulması için tasarlanmış olsa da program ile zemin, metal vb. betonarme dışındaki elemanların da sonlu eleman modelleri oluşturulabilir (Özşahin B., 2011).



Şekil 2. ATENA sonlu elemanlar programı penceresi (Özşahin B., 2011)

3.2. Geleneksel Çelik Donatılı ve Lif Takviyeli Polimer (FRP) Donatılı Betonarme Kiriş Modelleri

Lif takviyeli polimer (FRP) donatılı ve geleneksel çelik donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışlarının teorik olarak incelenmesi için oluşturulan sonlu elemanlar modellerinde Şekil 3'de boyut ve donatıları verilen kiriş kullanılmıştır. Kiriş, 3 boyutlu olarak geleneksel çelik donatılı, cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatılı, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) donatılı ve aramid lif takviyeli polimer (AFRP) donatılı olmak üzere dört farklı donatı türü için ayrı ayrı modellenmiştir. Kirişler C30/37 beton sınıfında, 2Ø18 çekme donatısına sahip, beton ile donatı arasındaki bağın mükemmel olduğu kabulü ile modellenmiş ve tekil yük etkisi altında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modellerinde kullanılan donatı çubuklarının mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

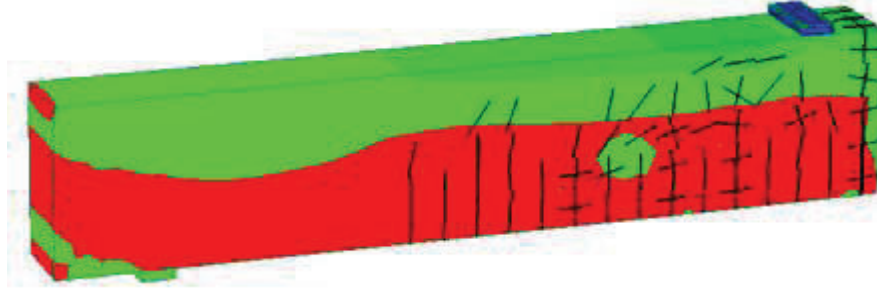


Şekil 3. Sonlu eleman analizinde kullanılan kiriş boyutları

Tablo 4. Sonlu Eleman Modellerinde Kullanılan Donatı Çubuklarının Mekanik Özellikleri

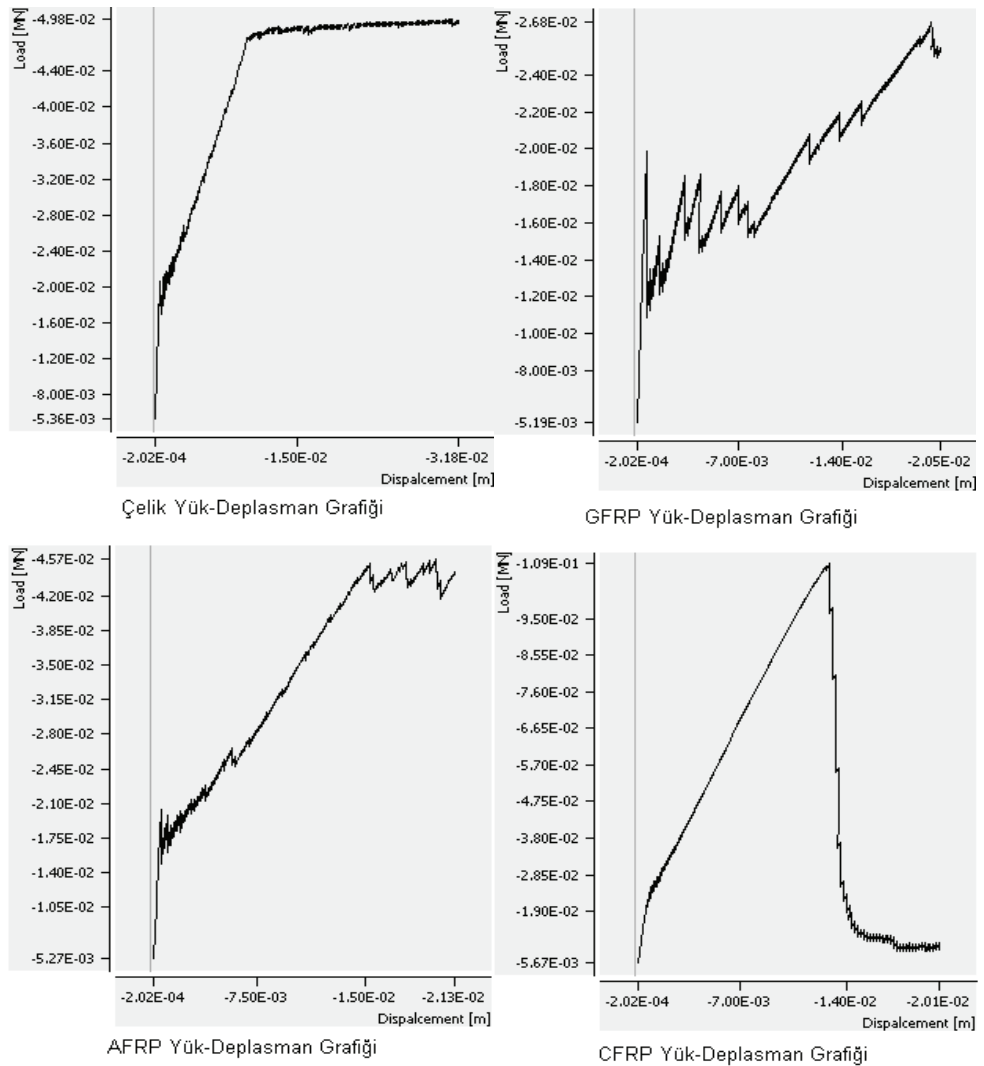
Donatı Türü	Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Kopma Birim Uzaması (%)
Çelik	420	500	200000	12,0
GFRP	-	1500	50000	3,0
CFRP	-	3500	500000	1,5
AFRP	-	2500	125000	4,0

Sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılan kiriş X eksenine göre simetrik olduğu için kirişin yarısı modellenerek analiz edilmiştir. Kiriş modellerinde artan noktasal yük etkisinde kirişte oluşan deplasman, gerilme dağılımları, betonda çatlak değişimi ve dağılımı izlenerek kaydedilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kiriş modelinde yük etkisinde oluşan gerilme ve çatlak dağılımı

Kiriş modellerinde gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen yük-deplasman grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. En yüksek yük taşıma kapasitesi karbon lif takviyeli polimer (CFRP) donatılı kirişte olurken, onu sırasıyla geleneksel çelik donatılı kiriş, aramid lif takviyeli polimer (AFRP) donatılı kiriş ve cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatılı kiriş izlemiştir. En sünek davranış geleneksel çelik donatılı kiriş modelinde gözlenirken, lif takviyeli polimer (FRP) donatılı kirişlerde betonun kırılması sonrasında ani göçme gerçekleşmiş, gevrek davranış gözlenmiştir.



Şekil 5. Kiriş modellerinin analiz sonucu bulunan yük-deplasman grafikleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada korozyon riskinin olduğu bölgelerde dış ortam koşullarına maruz yeni inşa edilecek yapılarda donatı korozyonunu önlemek amacıyla geleneksel çelik donatı yerine lif takviyeli polimer (FRP) donatının kullanılmasının uygunluğu incelenmiş ve aşağıda sonuçlara varılmıştır.

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların çekme dayanımı geleneksel çelik donatıdan yüksek olmasına rağmen eğilme etkisinde betonarme kiriş modellerinde lif takviyeli polimer (FRP) donatıların çekme kapasitelerinin çok altında gerilme değerlerinde basınç bölgesindeki betonda ezilme ile birlikte göçme gerçekleşmiştir. Lif takviyeli polimer (FRP) donatılar çekme etkisinde kopmadan önce herhangi plastik davranış göstermemektedir. Lif takviyeli polimer (FRP) donatılı kirişler de benzer şekilde gevrek davranmaktadır. Betonarme yapı elemanlarında gevrek davranış sonucu ani göçme istenmeyen bir durumdur.

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların düşük elastisite modüllerinden dolayı lif takviyeli polimer (FRP) donatılı modellerde geleneksel çelik donatılı modellere göre daha hızlı çatlak oluşumu ve daha büyük çatlak genişlikleri gözlenmiştir. Bu durum kirişin yük taşıma kapasitesini düşürmektedir.

Lif takviyeli polimer (FRP) donatıların geleneksel çelik donatılara göre en önemli üstünlüğü korozyon direnci olup, lif takviyeli polimer (FRP) donatıların çok yüksek korozyon riskine maruz ortamda inşa edilecek betonarme yapı elemanlarında yukarıdaki kısıtlar dikkate alınarak kullanılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aydın F. (2011) Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Büyükkaragöz A., Koprman Y. (2008) Eksenel Yük Etkisi Altındaki Kare Kesitli Mantolanmış Kolonun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 23, No:2, 309-315
- Coşkan S. ve Yüksel İ. (2013) Çerçevelerde Donatı Korozyonunun Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri, SDU International Technologic Science, Volume: 5, Number: 3, 77–88
- Dede F.T. (2007) Tersinir-Tekrarlanırlı Yükleme Altındaki Betonarme Çerçevelerin Ansys Programı ile Nonlineer Sonlu Eleman Analizi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Doğan M. (2009) Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: 22, Sayı:1, 147–168
- Özşahin B. (2011) Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapısal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- Pençe E. (2007) Eğitim Amaçlı Ansys Paket Programının Tanıtılması, Ansys Öğretimi ve Uygulama Örnekleri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Rizkalla S., Hassan T. and Hassan N. (2003) Design Recommendations for the use of FRP for Reinforcement and Strengthening of Concrete Structures, Prog. Struct. Engineering Concrete Construction Mater, Volume:1, Number:5, 16-28
- Yavuz G. (2011) Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume:6, Number:4, 1A0212, 1001–1015
- ACI 440.1R (2006) Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute
- CSA-806 (2012) Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers, Canadian Standards Association
- CSA-807 (2010) Specification for Fibre-Reinforced Polymers, Canadian Standards Association
- URL 1: www.aslanfrp.com, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) rebar-Aslan 100 series Fiber Glass Rebar (Son Erişim Tarihi: 29/01/2015)