

## KARBON ELYAF KUMAŞ İLE SARGILANMIŞ BETONLARIN DAYANIMININ İNCELENMESİ

Aylin AKYILDIZ<sup>1</sup>, Ahmet Özgür AĞIRGAN<sup>2</sup>

### ÖZET

Son yıllarda meydana gelen depremler sonrasında Türkiye’de bu bölgelerde bulunan betonarme yapıların büyük bir kısmının onarım ve güçlendirilmesinin gerektiği belirlenmiştir. Güçlendirme ile ilgili sorunların en önemlisi, bu binaların boşaltılarak güçlendirilmesinin uygulaması kolay bir çözüm olmamasıdır. Bu sorunun çözümü için güçlendirme aşamasında binanın kullanımına mani olmayacak yöntemler geliştirmek gerekmektedir. Karbon lifleri, beton güçlendirme ve onarım amaçlı yüksek dayanım ve performans özellikli takviye elemanları olarak, uzun yıllardan beri yapı sektöründe kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, karbon elyaf ile güçlendirilen sargılı numunelerin sargısız numunelere göre farklı dayanım sınıfına sahip beton numunelerin dayanım özelliklerinin araştırılmasıdır. Deneysel aşamada temin edilen numuneler laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Numunelerin üzerine yapıştırıcı yardımıyla karbon elyaf kumaş sarılarak hazırlanan numuneler ve sargısız numuneler üzerinde dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre genel olarak sargılanan numunelerde sargılanmayan numunelere göre dayanım değerlerinde %42 artış sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Dayanım, Güçlendirme, Karbon fiber, Kendiliğinden Yerleşen Beton

## CONCRETE STRENGTHENING WITH CARBON FIBER

### ABSTRACT

After the earthquakes occurred in Turkey in recent years, it has been determined that a large portion of the concrete structures in these regions need to be repaired and reinforced. The most important issue is that application of reinforcement along with discharging the buildings is not an easy solution. For the solution of this issue, it is necessary to develop methods which will not obstruct the use of building during the reinforcement stage.

The aim of this study is to investigate the strength properties of concrete samples being in different strength classes, such as wrapped and unwrapped. The samples obtained in the experimental phase were prepared in the laboratory. The strength tests were performed on samples which were prepared by wounding the carbon fiber on the sample by using an adhesive and unwrapped samples which does not contain any carbon fiber. According to the experimental results, the samples wrapped with carbon fiber showed 42% higher strength as compared to unwrapped samples.

**Keywords:** Concrete, Strength, Strengthening, Carbon Fiber, Self-Compacting Concrete

---

<sup>1</sup> Yrd. Doç. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, Civil Eng.Dept. aakyildiz@nku.edu.tr

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, Textile Eng Dept aoagirgan@nku.edu.tr

## Giriş

Türkiye'nin büyük bir bölümü, dünyanın önemli deprem bölgelerinden birinde bulunmasına rağmen, yapılaşmadaki yetersizlikler ve hatalar son yıllarda meydana gelen depremlerde büyük hasarlara yol açmakta ve aynı zamanda çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Türkiye'de olması beklenen depremlere karşı önlemlerin alınması ve yapı hasarlarının önlenmesi en önemli konuların başında gelmektedir. Ülkemizin depremselliği bilinmesine karşın depreme dayanıklı yapı tasarımına önem verilmemiş, depreme karşı dayanımı, dayanıklılığı ve davranışı belirsiz yapılar ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda meydana gelen depremler sonrasında Türkiye'de bu bölgelerde bulunan betonarme yapıların büyük bir kısmının onarım ve güçlendirilmesinin gerektiği belirlenmiştir. Güçlendirme ile ilgili sorunların en önemlisi, bu binaların boşaltılarak güçlendirilmesinin tatbiki kolay bir çözüm olmamasıdır. Bu sorunun çözümü için güçlendirme aşamasında binanın kullanımına mani olmayacak yöntemler geliştirmek gerekmektedir.

21. 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 (Coza, 2011). Karbon kumaş ile güçlendirme de bu yeni tekniklerden biri olup, uygulamanın kolaylığı ve yapı kullanım alanının olumsuz etkilenmemesinden dolayı büyük avantaja sahiptir. Bu sayede yapılar boşaltılmadan yapının taşıyıcı sisteminin depreme karşı güçlendirilmesi sağlanabilmektedir. FRP malzemeler betonarme elemanların onarım ve güçlendirmesinde uygun şekilde kullanıldığında, deprem etkisindeki bir yapının yatay rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesini, sistemin dayanımını, süneklik ve enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadırlar.

Karbon fiber kompozitlerin kullanımda sağladığı avantajlar, çok kolay ve güvenilir uygulama alanları, hızlı ve gerçekçi sonuçlar vermesi tercih sebebi olmuştur. Betonarme yapı elemanları, meydana gelen şiddetli depremler sonucu oluşan yapısal hasarın giderilmesi ve güçlendirilmesine ihtiyaç duyarlar. Bu elemanlar geliştirilen yeni tekniklerle güçlendirilerek eski durumuna göre daha güvenli hale getirilirler.

Karbon fiber takviyeli polimer (FRP) plakalar kullanarak betonarme elemanların güçlendirilmesi teknikleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar akademik ve uygulamalı araştırmalara konu olmuştur. Karbon lifleri yüksek mukavemet ve yüksek rijitlik özellikleri nedeniyle en çok kullanılan takviye malzemesidir (Hollaway, Leeming., 2000). Karbon kumaş ile güçlendirilmiş Betonlarda (CFRP), betonun eksenel yük taşıma kapasitesini, sünekliğini, mukavemetini ve şekil değiştirme özelliklerini artırdığı literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Tan, İlki, Chaallal, Koç, Peker ve ark. 2002, 2003, 2004, 2005).

Tekstil takviyeli çimentolu kompozitlerin kırılma davranışını multifilament iplik inceliği ve filamentlerin dağılımı, çimento matrisi içindeki tekstil kumaşının dağılımı, fiber-matris ara yüzünde gelişen bağ (adezyon, sürtünme nedenli veya mekanik bağ vb.) gibi birçok değişken etkilemektedir (Peled, Scheffler, Pakravan, Çelik ve diğ., 2003, 2009, 2010, 2011)

Farklı uzunluktaki karbon kumaşlarla güçlendirilmiş çeşitli boyuna donatı oranlarına sahip sürekli betonarme kirişler üzerine yapılan deneyler, yapıştırılmadan başka bir ek önlemle kirişe sabitlenmemiş kumaşların sıyrılmasının kirişlerin taşıma gücünü önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir (Ashour ve diğ. 2004,). Karbon kumaşlarla güçlendirilmiş yüksek donatı oranlı betonarme kirişlerde karbon kumaşın kabuk beton katmanıyla beraber sıyrıldığını belirlemiştir (Esfani ve diğ., 2007).

Depremsellik özelliklerine bakıldığında, karbon takviyeli betonların çelik takviyeli Betonlara göre daha düşük eksenel yüklemeye, yüksek performans özellikleri gösterdiği (Lacobucci ve ark., 2003), enerji tüketme kapasitesini artırdığı (Lee ve diğ. 2010), korozyonu ve artan yükü azalttığı, donatıda daha az kayma etkisi gösterdiği önceki çalışmalarda irdelenmiştir (Kharatmol ve ark, 2014).

Bu çalışmada karbon elyaf dokuma kumaş ile beton yüzeyine sarılarak güçlendirilmiş beton sınıfı 25 MPa ve 30 MPa (C25, C30) ve kendiliğinden yerleşen beton (CK) sınıfı beton numunelerin güçlendirme öncesi ve sonrası basınç dayanım özellikleri incelenmiş ve takviye edilen beton numunelerinin dayanımları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Bu çalışmada projenin materyallerini karbon elyaf kumaş, epoksi yapıştırıcı, temin edilen beton sınıfı 25 MPa ve 30 MPa olan beton ve kendiliğinden yerleşen beton oluşturmaktadır.

### Epoksi

Çalışmada Bostik firmasından temin edilen epoksi malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan epoksi yapıştırıcının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.


**Tablo 1:** Epoksi'nin teknik verileri

Üretim verileri	
Yoğunluk	1.05 g/cm <sup>3</sup>
Isı dayanımı	-40°C +80°C
Çalışma sıcaklığı	+5°C +40°C
Kopmada uzama	250%
Kürleme zamanı (23°C, 50% RH)	24 saat/mm

### Karbon Elyaf Kumaş

Bu çalışmada, Toho Tenax Europe Gmbh (TEIJIN) firmasının Tenax-E HTA 40 1k F15 ticari isimli karbon liflerinden yine aynı firmada bezayağı dokuma kumaşı olarak üretilmiş takviye malzemesi kullanılmıştır. Kumaş 245g/m<sup>2</sup> gramajda 3 katlı F15 67 tex iplikle atkı ve çözgüde 6 adet/cm olarak dokunmuştur. Kumaşın mekanik özellikleri ve resmi Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2:** Karbon lif kumaşın özellikleri

KUMAŞ	Özellik	Değer
	Filament diameter [µm]	7
	Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	1.76
	Germe dayanımı [MPa]	3950
	Germe modulu [GPa]	2382
	Kopma uzaması [%]	1.7
	Isıl iletkenliği [W/mK]	17
	Elektriksel uzama katsayısı [10 <sup>-6</sup> /K]	-0.1
	Elektriksel özdirenç [W cm]	1.6 x 10 <sup>-3</sup>

Malzeme	Açı	Hacim Oranı (%)	Yoğunluk (g/m <sup>2</sup> )
Dokuma Karbon Kumaş	(0/90)	35	176

### Beton

Deneylerde kullanılacak olan beton numuneler Betonsa hazır beton santralinden temin edilen beton sınıfı 25 ve 30 MPa (C25, C30) ve kendiliğinden yerleşen beton (CK) numuneleridir. Sarılanmış ve sargılanmamış beton numuneler Tablo 3'teki gibi isimlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan betonların mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 3:** Beton numuneleri isimlendirilmesi

Sargılanmamış Numuneler		Sargılanmış Numuneler	
C25	Beton sınıfı 25 MPa beton	CS25	Sargılanmış beton sınıfı 25 MPa beton
C30	Beton sınıfı 30 MPa beton	CS30	Sargılanmış beton sınıfı 30 MPa beton
CK	Kendiliğinden yerleşen beton	CSK	Sargılanmış kendiliğinden yerleşen beton

**Tablo 4:** Deneylerde Kullanılan Betonların Mekanik Özellikleri

Beton sınıfı	Karakteristik dayanım, MPa		Eşdeğer küp basınç dayanımı, MPa	28 günlük elastisite modülü, MPa
	Basınç	Çekme		
C25	25	1.8	31	30000
C30	30	1.9	35	32000
CK	25	1.9	31	21000

### Yöntem

Deneye başlamadan önce numunelerin sarma yüzeyleri, tel fırça ile fırçalanarak yapışmaya engel teşkil edecek bozukluklardan toz ve benzeri maddelerden arındırılmıştır. Beton yüzeyi ve karbon elyaf kumaşın arasındaki kenetlenmeyi sağlamak için, aderansı yüksek olan epoksi yapıştırıcı ile rulo ve fırça yardımıyla kısa sürede reaksiyona geçtiğinden zaman kaybetmeden beton yan yüzeylerini tamamen kaplayacak şekilde bir kat sürülmüştür. Karbon elyaf kumaşlar gerekli miktarda ölçülüp kesilerek hazırlanmış ve test sırasında sıyrılma olmaması için ürün şartnamesine uygun olarak 130 mm bindirme boyu olacak şekilde beton yüzeylerine enine sarılmıştır (Şekil 1).

**Şekil 1:** Karbon kumaşın beton üzerine uygulanması

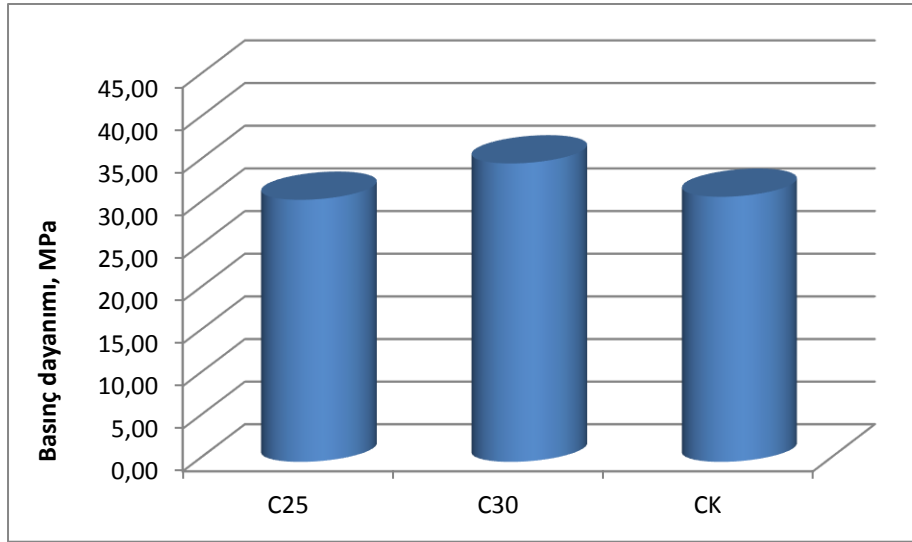
Yapıştırma işlemi biten numuneler, sertleşme sürecini tamamlanıncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sargılı numuneler beton sınıfı 25 ve 30 MPa (CS25, CS30) ve kendiliğinden yerleşen beton (CSK) sembolleriyle sırayla isimlendirilmiştir. Daha sonra sargılı ve sargısız numuneler üzerinde eksenel yük altında basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Basınç deneyi, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında TS EN 12390-4 standardına göre 1000 kN kapasiteli ALŞA marka Beton test presinde 0,9 N/s hız ile yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: Basınç Dayanımı (Beton Presi) Test Cihazı ve Numuneler

### Bulgular

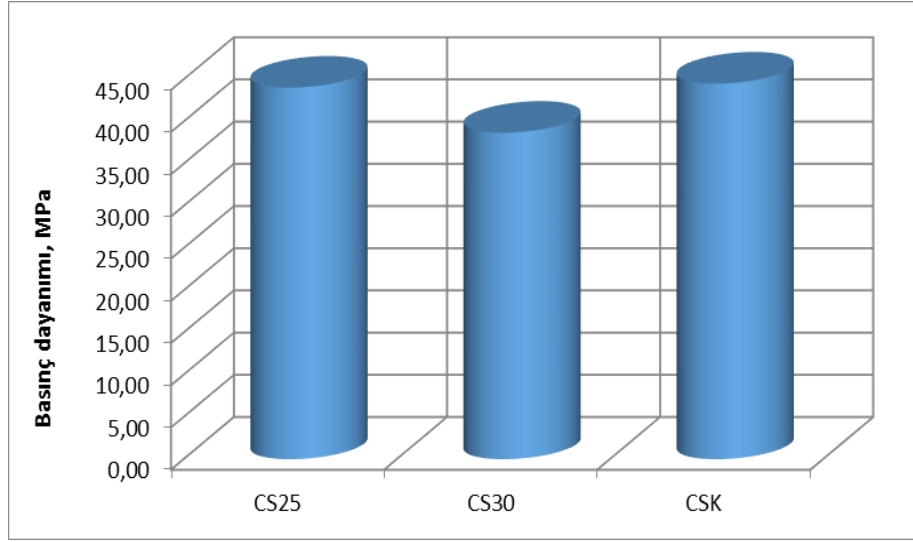
Basınç dayanım değerleri sargısız ve sargılı betonlara göre basınç dayanımları Şekil 3, Şekil 4’de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi numunelerin dayanım değerleri incelendiğinde salgılanarak güçlendirilen numuneler salgılanmayan numunelere göre daha yüksek dayanım sağlamışlardır. Salgılanmamış beton numunelerde preste eksenel yükleme altında kırılmış en yüksek basınç dayanımı değeri 32.50 MPa dır.



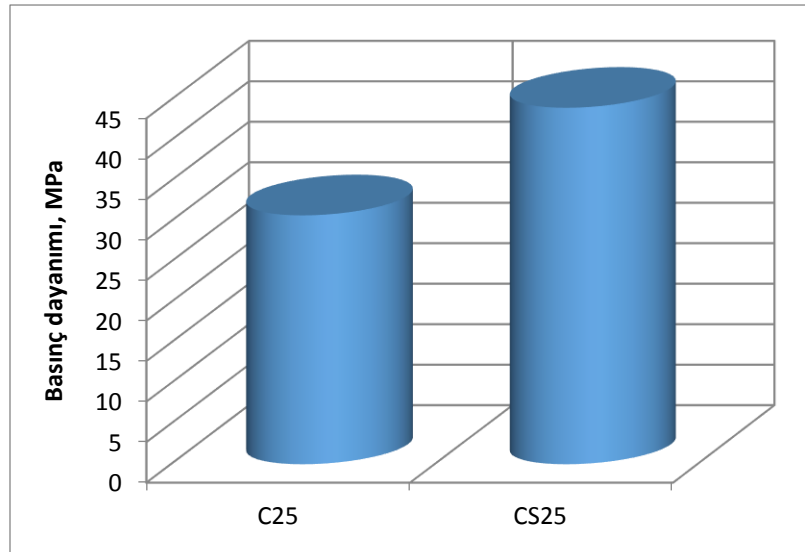
Şekil 3: Sargısız betonların basınç dayanımı

Sargılanmış beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri ise 44.00 MPa dır. En düşük basınç dayanımı ise 32.50 MPa dır.

Farklı beton sınıflara göre değerlendirdiğimiz de C25 beton sınıfında sargılı betonlar sargısıza göre %43 oranında dayanım artışı Şekil 5'te görülmektedir.

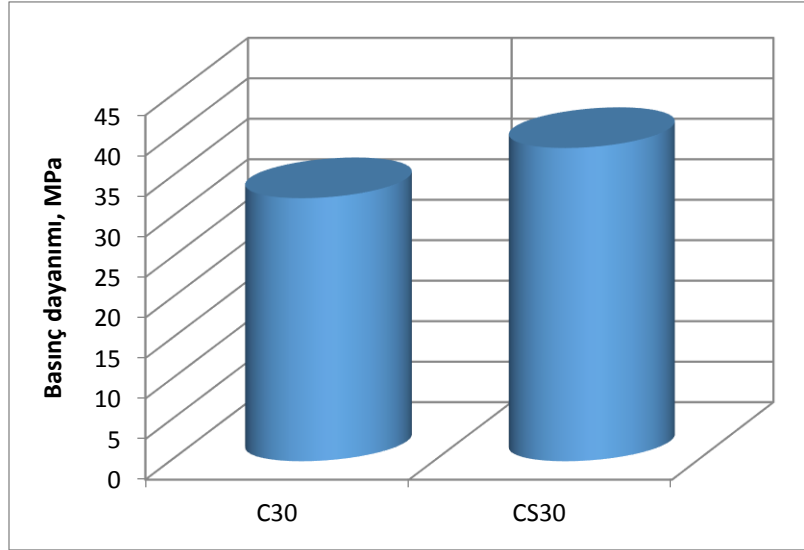


Şekil 4: Sargılı betonların basiñ dayanımı



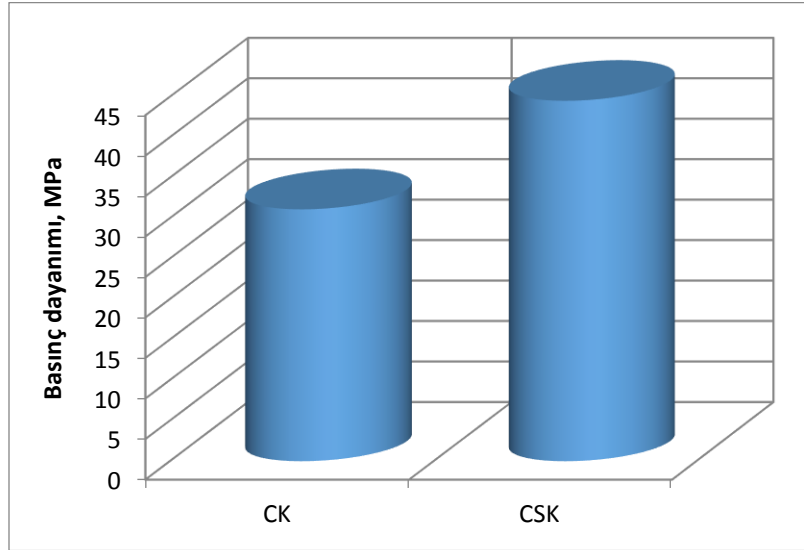
Şekil 5: C25 sınıfı betonun sargılı ve sargısız basiñ dayanımı

Farklı beton sınıflara göre değerlendirdiğimiz de C30 beton sınıfında sargılı betonlar sargısıza göre %19 oranında dayanım artışı Şekil 6'te görülmektedir.



**Şekil 6:** C30 sınıfı betonun sargılı ve sargısız basınç dayanımı

Farklı beton sınıflara göre değerlendirdiğimiz de kendiliğinden beton sınıfında sargılı betonlar sargısız göre %42 oranında dayanım artışı Şekil 7'de görülmektedir.



**Şekil 7:** Kendiliğinden yerleşen betonun sargılı ve sargısız basınç dayanımı

### Sonuçlar

Bu çalışmada numunelerin bir kısmı sargısız bir kısmı karbon elyaf malzemeyle sarılarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre numunelerin dayanım değerleri incelendiğinde sarılarak güçlendirilen numuneler sargılanmamış numunelere göre iyi bir dayanım artışı göstermişlerdir. Sargılanmamış beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri 32.50 MPa'dır. Sargılanmış beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı 44.50 MPa'dır. Sargılanmış numunelerde sargılanmamış numunelere göre C25 betonunda %43 dayanım artışı, C30 betonunda %19 dayanım artışı ve kendiliğinden yerleşen betonda %42 oranında dayanım artışı olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlarda karbon elyaf ile sargılanmış olan numunelerin yük altında deforme olarak genişlemek isteyen numuneyi engellediği ancak elyafın yırtılması sonucunda numunelerin aniden maruz kaldığı yük altında deformasyona uğradığı görülmüştür. Karbon elyaf ile sargılanmış numunelerin sargılanmamış numunelere göre önemli bir dayanım artışı gösterdiği ortaya konmuştur hatta karbon elyaf kumaş ile sargılanmanın düşük dayanımlı

betonlarda bile dayanım değerlerinin oldukça olumlu yönde etkilendiği belirlenmiştir. Bu değerler incelendiğinde karbon elyaf ile sargılanarak güçlendirilen düşük beton sınıfına sahip numuneler, beton sınıfı yüksek olan numunelere oranla daha sünek ve oransal olarak dayanım bakımından daha iyi performans göstermiştir. Sonuç olarak bu yöntem, uygulama kriterlerine bağlı kalındığında, taşıyıcı sistem güçlendirme uygulamaları için etkili bir seçenektir.

#### Kaynakça

- Coza, H., Özgen, K. ve Yalçın, C., (2011) "Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi. *itüdergisi/a mimarlık, planlama, tasarım* Cilt: 10, Sayı: 1, 137-150
- Hollaway, LC., Leeming M.B., (2000) "Strengthening of reinforced concrete structures, Wodhead Pub.Ltd England
- Tan, K.H., (2002) "Strength Enhancement of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Fiber-Reinforced Polymer", *ASCE Journal of Composites for Construction*, Vol. 6, No. 3, 175-183,2002.
- Chaallal, O., M. ASCE, Shahawy, M., and Hassan, M., (2003) "Performance of axially loaded short rectangular columns strengthened with carbon fiber-reinforced polymer wrapping", *ASCE Journal of Composites for Construction*, Vol. 7, No. 3, 200-208,2003.
- Ilki, A. and Kumbasar, N., (2002) "Behaviour of Damaged and Undamaged Concrete Strengthened by Carbon Fiber Composite Sheets", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 13, No. 1, 75-90, 2002.
- Ilki, A. and Kumbasar, N., (2003) "Compressive Behavior of Carbon Fibre Composite Jacketed Concrete with Circular and Non-Circular Cross Sections", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 7, No. 3, 381-406, 2003.
- Ilki, A., Kumbasar, N. and Koc, V.,(2003) "Low and Medium Strength Concrete Members Confined by Fiber Reinforced Polymer Jackets", *ARI,The Bulletin of the Istanbul Technical University*, Vol. 53, No. 1, 118-123, 2003.
- Ilki, A., Koc, V., Ergun, B., Altan, M.O., and Kumbasar, N., (2003) "Photogrammetrically measured deformation of FPR wrapped low strength concrete", *6th International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-6*, July, Singapore.
- Ilki, A., Kumbasar, N., and Koc, V., (2004) "Low strength concrete members externally confined with FRP sheets", *Struct. Eng. And Mech.*
- KOÇ, V., ( 2004). Karbon Lif Takviyeli Polimer Malzemeler İle Güçlendirilmiş Düşük ve Normal Dayanımlı Beton Elemanların Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Peker, Ö., (2005). Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Peled, A., Bentur, A., (2003) "Fabric Structure and Its Reinforcing Efficiency in Textile Reinforced Cement Composites", *Composites: Part A*, s. 34, 107-118.
- Pakravan, H. R., Jamshidi, M., Latifi, M., (2010) "Performance of Fibers Embedded in a Cementitious Matrix", *Journal of Applied Polymer Science*, s. 116, 1247-1253.
- Scheffler, C., Gao, S.L., Plonka, R., Mäder, E., Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V., (2009) "Interphase Modification of Alkali-Resistant Glass Fibres and Carbon Fibres for Textile Reinforced Concrete I: Fibre Properties and Durability", *Composites Science and Technology*, s. 69,531- 538 .
- Çelik, R., (2011), "FARKLI TÜRDE KUMAŞ DONATILI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN EĞİLME PERFORMANSLARININ KARIILAŞTIRILMASI"İTÜ Fen Bilimleri Enst. Y.Lisans Tezi, İstanbul
- Ashour, A.F., El-Refaie, S.A., ve Garrity, S.W., (2004) "Flexural Strengthening of RC Continuous Beams Using CFRP Laminates", *Cement and Concrete Composites*, Cilt 26, 765-775, 2004.
- Esfahani, M.R., Kianoush, M.R., ve Tajari, A.R., (2007), "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by CFRP Sheets",*Engineering Structures*, Cilt 29, 2428-2444,Iacobucci, R. D., and Sheikh, S. A.,



Bayrak O., (2003), " Retrofit of Square Concrete Columns with CarbonFiber-Reinforced Polymer for Seismic Resistance", ACI Structural Journal/November-December

Lee W.T., Chiou Y.J., Shih M.H (2010) "Reinforced concrete beam–column joint strengthened with carbon fiber reinforced polymer", Composite Structures Volume 92, Issue 1, January 2010, Pages 48–60

Kharatmol R., Sananse P., Tambe R., Khare R.J., (2014) "Strengthening of Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer" International Journal of Emerging Engineering Research and Technology Volume 2, Issue 3, June 2014, PP 119-125