

KARBON LİF KATKILI BETONUN BASINÇ BİRİM EKİLDE İTİRMESİ – ELEKTRİKSEL DİRENÇ İLİKİSİ

Egemen TEOMETE^{1*}, Özkan Ayberk KOLATAR², Erman DEMİRCİOĞLU², Serap
KAHRAMAN³

¹ Doç. Dr. İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca - İzmir

³ Prof. Dr. İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

*Email: egemen.teomete@deu.edu.tr

ÖZET:

Depremler ve diğer çevresel etkiler yapıların sismik performansını olumsuz etkilemektedir. Yapısal sistemin izlenmesi can ve mal güvenliği açısından önemlidir. Yapısal sistemin izlemek için kullanılan gerinim pulları düşük dayanıklılık, düşük duyarlılık ve yüksek maliyete sahiptir. Gerinim pulları kısa süreli olarak kullanılabilir; yüzeyden ve noktasal ölçüm alabilmektedir. Bu çalışmada; farklı hacimsel oranlarda karbon lifli betonun basınç birim ekilde itirme – elektriksel direnç ilişkisi deneysel olarak incelenmiştir. Karbon lifli betonun basınç birim ekilde itirme ve elektriksel direnç ilişkisi arasında güçlü bir deneysel ilişki elde edilmiştir. Kendi hasarını ve birim ekilde itirmesini ölçen Akıllı Betonun geliştirilmesi yolunda önemli sonuçlar sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER : akıllı beton, birim ekilde itirme, elektriksel direnç, akıllı malzemeler ve yapılar

1. GİRİŞ

Amerika Birleşik Devletlerinde köprülerin %30'u yapısal olarak güvensizken, betondan yapılmış alt yapılar, tasarım ömürleri dolmadan yıpranmıştır (Reza ve diğ., 2003). Depremler, malzeme bozulmaları ve diğer çevresel etkiler yapıların performansını olumsuz etkiler. Can ve mal güvenliği açısından yapısal sistemin izlenmesi önemlidir. Bakım onarım bütçesinin oluşturulması için de yapısal sistemin izlemek önemlidir. Metal gerinim pulları, noktasal ölçüm alır, düşük dayanıklılık ve düşük hassasiyete sahiptirler. Metal gerinim pulları kısa süreler için kullanılabilir (Chung, 2001).

Karbon lif, çimento harcının elektriksel iletkenliğini artırır. Karbon lif içeren çimento harcına mekanik yük uygulanması, elektriksel direnci düşürür, bu duruma piezoresistiv etki denir (Chung, 1998; Fu and Chung, 1997; Fu ve diğ., 1997).

iki ve dört elektrot metodu ile çimentolu malzemelerin elektriksel direnci ölçülmüştür. Akım verilmesi ve voltaj ölçümü, iki elektrot metodunda aynı elektrot çifti ile yapılırken, dört elektrot metodunda farklı elektrot çiftleri ile yapılır (Han ve diğ., 2007; Chiarello ve Zinno, 2005). Batırılması ve çevresel elektrot metodları kullanılmıştır. Çevresel elektrot metodunda, iletken bant veya boya, malzemenin etrafına sarılır. Batırılması elektrot metodunda, iletken ağı, tel veya çubuk, malzemeye batırılır (Chen ve Liu, 2008; Teomete ve Erdem, 2011; Li ve diğ., 2008; Li ve diğ., 2006).

Çimentolu kompozitlerin yarmada çekme testi ile birim uzamaya duyarlılığı test edilmiştir, yüksek duyarlılık elde edilmiştir (Teomete ve Koçyiğit, 2013). Çimentolu kompozitlerin çatlak boyu – elektriksel direnç ilişkisi

ili kisi güçlü do rusal niteliktedir (Teomete , 2013). Elektrik akımının, birim ekil de i tirmeye dik oldu u “çapraz etki mekanizması” basınç ve yarmada çekme testleri ile Teomete (2014) tarafından aydınlatılmış tır.

2. MALZEME ve METOT

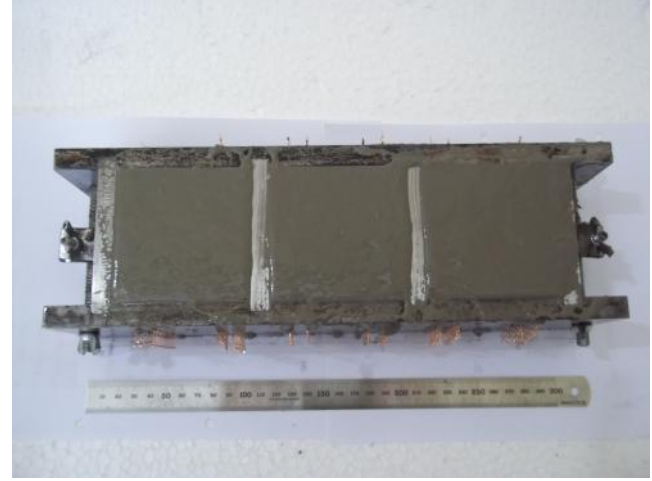
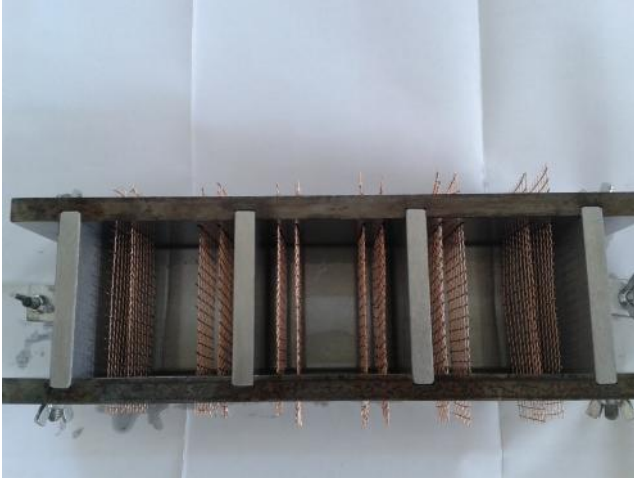
Bu çalı mada altı farklı beton karı mı tasarlanmı tır. Karı mlarda CEM II B-M (L-W) 42,5R çimento kullanıldı. TS 802 "Beton Karı m Tasarımı Hesapları" kullanılarak, su /ba layıcı oranı 0.37; silika dumanı /ba layıcı oranı %10; akı kanla tırıcı/ba layıcı oranı %1; 0-5 mm ve 5-15 mm Batı betondan alınan agrega kullanıldı. Akı kanla tırıcı olarak ViscoCrete HighTech 30 kullanıldı. M0 karı mı lifsiz, kalan be karı m 6 mm uzunlu unda karbon liflidir. Karı mlar C0.35-C0.5-C0.8-C1-C1.5 da karbon lifin toplam hacime oranı sırasıyla %0.35, %0.5, %0.8, %1, %1.5 dur. Kullanılan karbon lifler, çapı 7µm kalınlı nda karbon liflerin epoksi ile yapı tırılıp, daha kalın bir lif elde edilmesi ile üretilir. Bundan sonra pellete kabon lif, 7µm kalınlı nda karbon life de ince lif denecektir. Karbon lif, kalınlı ı 7µm olan daha ince liflerin epoksi ile birle tirilmesi ile olu mu tur. Kalınlı ı 7µm olan ince karbon lifler polyacrylonitrile (PAN) bazlıdır. nce karbon lifin özellikleri Tablo 1 de sunulmu tur.

Tablo 1.4 nce karbon lifin fiziksel ve mekanik özellikleri (bilgiler üretici DowAKSA A. . den alınmı tır)

Çap (µm)	Yo unluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Kopma Birim ekil De i tirmesi (%)
7	1,76	4200	240	1,8

Elektrot olarak örgü açıklı ı 5 mm, çapı 0.6 mm olan saf bakır telden yapılmı bakır a kullanıldı. 7.5 cm ebatında küp örnek kalıplarının her iki tarafında, dört adet elektrot kanalı bulunmaktadır (ekil 1a). Bakır a elektrotlar kalıplara ekil 1a daki gibi yerle tirildi. Standartlara göre hazırlanan karı m, kalıba iki a amada döküldü, her a amada beton 15 er kez i lendi ve sarsma tablasında sarsıldı (ekil 1b). dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkartılan örnekler 28 gün kür edildi.

Basınç testinde 300 kN kapasiteli Shimadzu mekanik test cihazı kullanıldı. Yükleme hızı 0.5 mm/dak dır. Cam lif epoksi kompozit plakalar örne i elektriksel olarak çelik yükleme plakalarından izole etmek için örnek ile çelik plakalar arasına ekil 2a da görüldü ü gibi yerle tirildi. Deneyde e zamanlı olarak örnek elektriksel direncini ölçmek için örne e dı iki elektrottan do ru akım verilir, iç iki elektrottan örnek potansiyel farkı (Vs) ölçüldü (ekil 2b). E zamanlı olarak devreden geçen akım ölçüldü. Örnek birim ekil de i tirmesi gerinim pulu ile ölçüldü. Deney sırasında mekanik yük, ba lık yer de i tirmesi, potansiyel farklar (Vs, Vr) , akım, birim ekil de i tirme saniyede 10 defa bilgisayara kaydedilmi tir.



ekil 1. a) Kalıp ve elektrotlar. b) Karışım döküldükten sonra.

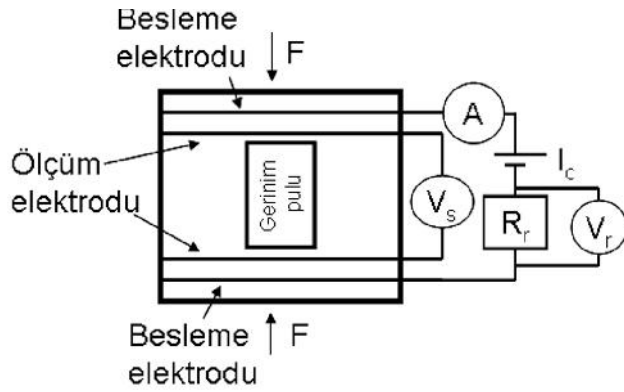
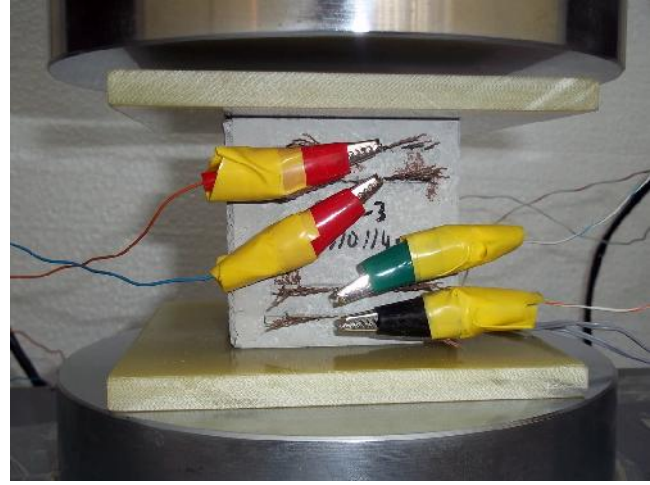
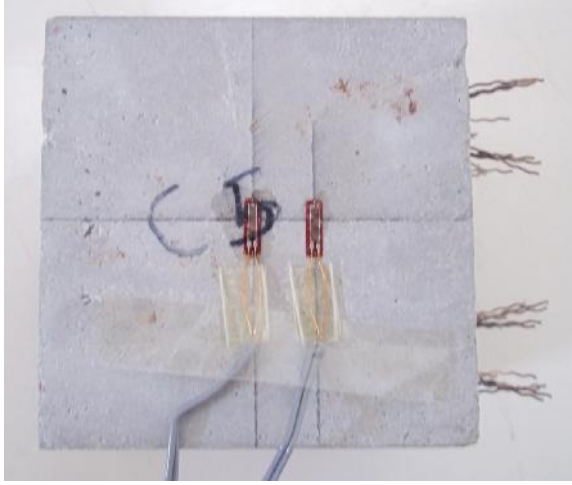
Örneğin direnci (R_s), devreden geçen akım (I_c) ve örneğin gerilimi (V_s) kullanılarak E itlik 1'den hesaplandı. Örnek direncindeki yüzde değişim ($\%R$) E itlik 2'den bulundu. E itlik 3'de R_{so} , örneğin yük uygulanmadan önceki elektriksel direncidir.

$$R_s = \frac{V_s}{I_c} \quad (1)$$

$$\%R = \left(\frac{R_s}{R_{so}} - 1 \right) \times 100 \quad (2)$$

Birim ekildeki tırme ölçerlerin (gerinim pullarının) performansı duyarlılık (K) ve dorusallık (LE) ile ölçülür. Duyarlılık (K), Elektriksel direncin bir birim ekildeki tırme ile değişimidir ve E itlik 3 ile hesaplanır. Metal gerinim pullarının duyarlılığı genelde 2'dir. Duyarlılık yükseldikçe, sensör daha duyarlı olur. Dorusallık (LE), $\%R$ - birim ekildeki tırme grafiğinin, kendisine en uygun dorudan maksimum sapma miktarının, gösterir. Dorusallık azaldıkça, algılayıcı ile belirlenen birim ekildeki tırme hatası azalır.

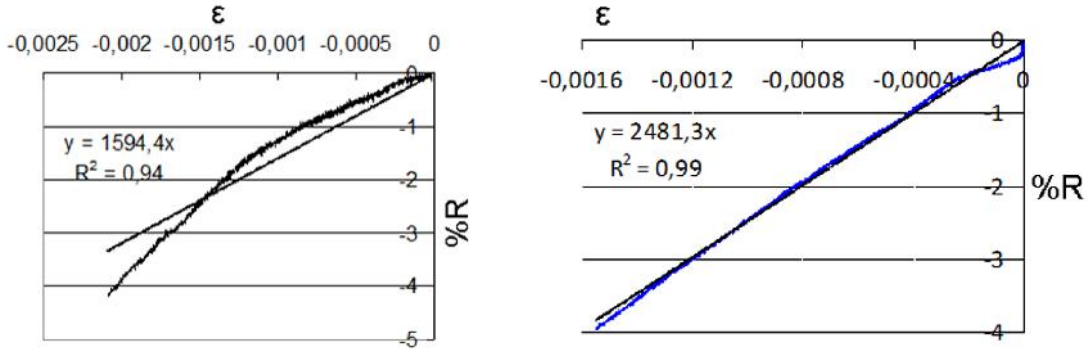
$$K = \frac{(R_s - R_{so}) / R_{so}}{\Delta V} \quad (3)$$



Şekil 2. Basınç testi a) Örnek teste hazır b) Örnek testte c) Devre teması d) Ekipman (soldan sağa, doğru akım kaynağı, veri toplama cihazı, PC, DMM).

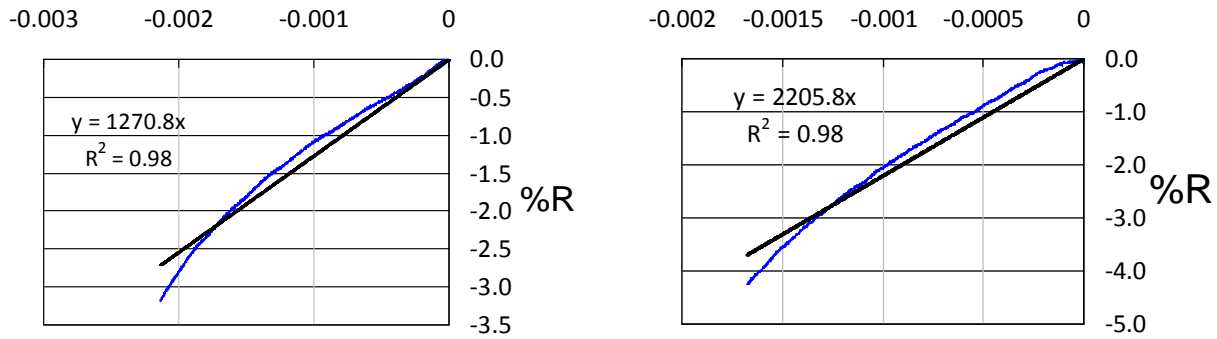
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Lif oranı değiştirilerek alınarak, betonun birim kütledeki tırme- elektriksel direnç değişimi grafiği, duyarlılık, dolusallık parametreleri sunulmuştur. M0 lifsiz karımanın duyarlılığı 20, dolusallığı %21, korelasyon katsayısı 0.94'dür. Lifsiz karımanın %R- birim uzama grafiği Şekil 3a'da sunulmuştur. %0.35 oranında karbon lif içeren karıım C0.35'in duyarlılığı 26, dolusallığı %5, korelasyon katsayısı 0.99'dür. Elektriksel direnç değişimi (%R) – birim kütledeki tırme arasında güçlü bir dolusal ilişki vardır (Şekil 3b). Metal gerinim pullarından 13 kat daha fazla duyarlıdır.



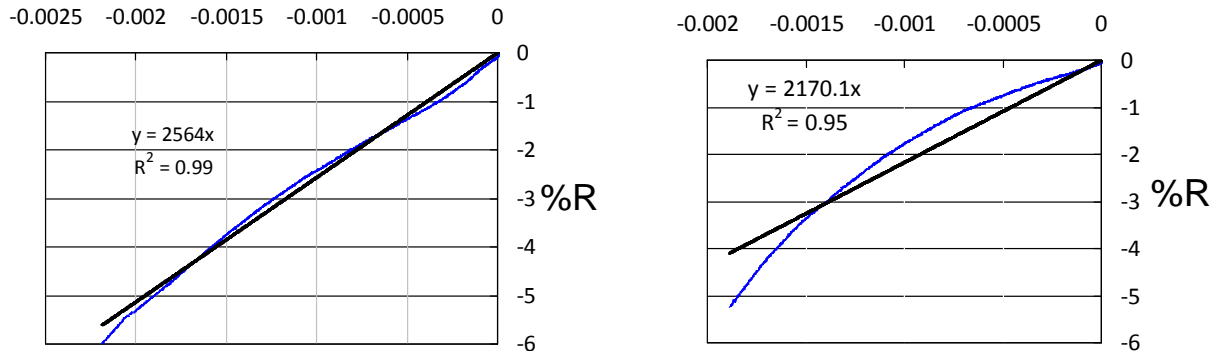
ekil 3. %R- birim ekil de i tirme grafi i a) Lifsiz karı ım K=20, LE=%21 b) C0.35 karı ımı, duyarlılı ı K=26 , do rusallı ı LE=%5 dir.

C0.5 karı ımının duyarlılı ı 15, do rusallı ı %15 dir (ekil 4a). Korelasyon katsayısı 0.98 dir. C0.8 karı ımının duyarlılı ı 25, do rusallı ı %13 dur (ekil 4b).



ekil 4. %R- birim ekil de i tirme grafi i a) C0.5 karı ımı, duyarlılı ı K=15 , do rusallı ı LE=%15 dir. b) C0.8 karı ımı, K=25, LE=%13.

C1 karı ımının duyarlılı ı 27, do rusallı ı % 6 dir (ekil 5a). C1, metal gerinim pullarından 13 kat daha fazla duyarlıdır. C1.5 karı ımının duyarlılı ı 28, do rusallı ı %22 dir. C1.5 metal gerinim pullarına gore 14 kat daha fazla duyarlıdır (ekil 5b).



ekil 5. %R- birim ekil de i tirme grafi i a) C1 karı ımı, duyarlılı ı K=27 , do rusallı ı LE=%6 dir b) C1.5 karı ımı K=28, LE=%22.

Basınç birim ekil de i tirmesi altında, mikro bo luklar kapanır, lifler kısılır ve elektriksel direnç dü er. Karbon lifli karı ımlarda birim ekil de i tirme ile elektriksel direnç arasında güçlü bir do rusal ili ki vardır. Birim ekil de i tirme duyarlılı 1, metal gerinim pullarından 14 kat daha fazladır. Elde edilen sonuçlar kendi birim ekil de i tirmesini ölçen Akıllı Beton üretmek için ümit vericidir.

4. SONUÇLAR

Lifsiz bir beton karı ımı , 6 mm uzunlu unda karbon lifli be beton karı ımı tasarlanmı tır. Toplamda altı karı ım tasarlanmı tır. Her karı ımdan 3 er adet 75 mm boyutunda küp beton numune dökülmü ve kür edilmi tir. Basınç testi uygularken e zamanlı elektriksel direnç ve birim ekil de i tirme ölçülmü tür. Basınç birim ekil de i tirmesi nedeniyle, mikro bo luklar kapanır, lifler kısılır ve elektriksel direnç dü er. Bu etkiye piezoresistive etki denir.

Karbon lifli beton elektriksel direnç de i imi- birim uzama ili kisi güçlü do rusal ili kidir. Metal gerinim pullarının duyarlılı ı 2 iken, karbon lifli betonda minimum 15 maksimum 28 elde edilmi tir. Karbon lifli beton metal gerinim pullarına göre çok daha duyarlıdır. Elde edilen sonuçlar, kendi hasarını ve birim ekil de i tirmesini ölçen Akıllı Betonun üretilmesi için ümit vericidir.

Te ekkürler

Bu çalı maya verdikleri destekten ötürü TÜB TAK (proje no: 213M452), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A. ., Sika Yapı Kimyasalları A. ., DowAKSA A. ., BASF Türk Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Sti. ye te ekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Chen, B. ve Liu, J. (2008). Damage in carbon fiber –reinforced concrete, monitored by both electrical resistance measurement and acoustic emission analysis. *Constr. and Build. Mater.*, **22**, 2196-2201.

Chiarello, M., Zinno, R. (2005). Electrical conductivity of self-monitoring CFRC. *Cem. and Concr. Comp.* **27**, 463-469.

Chung, D.D.L. (1998) Self-monitoring structural materials. *Mater. Sci. Eng.* pp. 57-78.

Chung, D.D.L. (2001). Review functional properties of cement –matrix composites. *J. Mater. Sci.*, **36**, 1315-1324.

Fu, X., Chung, D.D.L. (1997). Effect of curing age on the self-monitoring behavior of carbon fiber reinforced mortar. *Cem. and Concr. Res.* **27:9**, 1313-1318.

Fu, X., Ma, E., Chung, D.D.L., Anderson, W.A. (1997). Self-monitoring in carbon fiber reinforced mortar by reactance measurement. *Cem. and Concr. Res.* **27:6**, 845-852.

Han, B., Guan, X., Ou, J. (2007). Electrode design, measuring method and data acquisition system of carbon fiber cement paste piezoresistive sensors. *Sens. and Actuators A* **135**, 360-369.

Li, H., Xiao, H., Ou, J. (2006). Effect of compressive strain on electrical resistivity of carbon blackfilled cement –based composites. *Cem. and Concr. Comp.* **28**, 824-828.

Li, H., Xiao, H., Ou, J. (2008). Electrical property of cement-based composites filled with carbon black under long-term wet and loading condition. *Comp. Sci. and Tech.*, **68**, 2114-2119.

Reza, F., Batson, G.B., Yamamuro, J.A., Lee, J.S. (2003). Resistance changes during compression of carbon fiber cement composites. *J. Mater. Civil. Eng.* **15:5**, 476-483.

Teomete, E. (2013). Relations of Crack Length and Electrical Resistance for Smart Cement Based Composites. *Cement Wapno Beton*, **6**, 329-334.

Teomete, E. (2014). Transverse Strain Sensitivity of Steel Fiber Reinforced Cement Composites Tested by Compression and Split Tensile Tests. *Construction and Building Materials*, **55:31**, 136-145.

Teomete, E. ve Erdem, T.K. (2011). Cement Based Strain Sensor: A Step to Smart Concrete, *Cement Wapno Beton* **2**, 78-92.

Teomete, E., Kocyigit, O.I. (2013). Tensile strain sensitivity of steel fiber reinforced cement matrix composites tested by split tensile test. *Construction and Building Materials* **47**, 962-968.