

## Çelik Lif ile Güçlendirilmiş Betonlarda Lif Yönünü ve Dağılımını Belirlemede Yeni Bir Yaklaşım

Murat ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Umur Korkut SEVİM<sup>\*1</sup> Oğuzhan AKGÖL<sup>2</sup>,  
Muharrem KARAASLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun

<sup>2</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun

Geliş tarihi: 03.08.2016

Kabul tarihi: 30.09.2016

### Öz

Beton, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük, gevrek bir malzemedir. Beton içerisinde lifli malzemelerin kullanılması betonun eğilme dayanımını, çekme dayanımını, darbe dayanımını, yorulma direncini, yangın ve aşınmaya karşı direncini artırır. Bunun yanında çatlak oluşumunu geciktirir, çatlak ilerlemesini önler ve betonun enerji yutma kapasitesini artırır. Beton içerisine ilave edilen az miktarda lifli malzeme dahi betonun mühendislik karakteristiğini önemli ölçüde değiştirir. Lifli betonun performansında, beton içerisindeki liflerin dağılımı ve liflerin yönü önemli ölçüde etkilidir. Lifler beton içerisine beton yaş iken ilave edilir ve mikser tarafından rastgele dağıtılır. Bu dağılımın homojen olup olmadığı ve ne şekilde dağıldığı beton prizini aldıktan sonra göz ile tespit edilmesi olanaksızdır. Bu nedenle, betonun istenilen performansı verebileceğinden emin olunamamaktadır. Bu çalışma kapsamında mikrodalga tekniklerine dayanılarak hasarsız bir şekilde lifli beton içerisindeki liflerin dağılımı ve yönelimi hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Bu şekilde üretilen lifli betonların tasarlanan amaca hizmet edip etmeyeceği hakkında yapılara zarar vermeden yorum yapılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik lif, Lif yönelimi, Lif dağılımı, Elektromanyetik beton sensörler, Fiber takviyeli betonlar

## A Novel Approach to Determine Dispersion and Orientation of Steel Fiber Reinforced Concretes

### Abstract

Concrete is a brittle material with high compressive strength and low tensile strength. The usage of fiber materials in concretes increases flexural strength, tensile strength, impact strength, fatigue resistance and the resistance against fire and abrasion. In addition to this, it delays the crack formation, prevents crack propagation and increases the energy absorption capacity of the concrete. Even a small amount of fibrous material added into the concrete changes engineering characteristics of the concrete significantly. In the performance of the fibrous concrete, distribution and orientation of fibers inside the concrete is significantly effective. Fibers are added into the concrete when they are still wet and distributed randomly with the help of a mixer. It is impossible to determine if this distribution is homogeneous or not and how the fibers are distributed via eyes after the concrete is hardened. Therefore, it cannot be sure if the concrete can give the desired performance. In this study, it is aimed to have information about the

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Umur Korkut SEVİM, [ukorkut.sevim@iste.edu.tr](mailto:ukorkut.sevim@iste.edu.tr)

distribution and orientation of fibers placed in fiber reinforced concretes without damaging the structure based on microwave techniques. In this way, evaluation about whether the produced fiber reinforced concretes will serve the designed purpose without damaging the structures.

**Keywords:** Steel fiber, Fiber orientation, Fiber dispersion, Electromagnetic concrete sensors, Fiber reinforced concretes

## 1. GİRİŞ

Beton temel olarak çimento, agrega ve suyun karışımı ile elde edilen kompozit bir malzemedir. Beton yapımı için gerekli malzemelerin çok olması ve ucuz olması betonu yapı sektöründe en önemli malzeme konumuna getiren faktörlerdendir. Betonun basınç altındaki dayanımının yüksek olmasının yanı sıra çekme dayanımı da düşüktür. En yaygın yöntem olarak betonun çekme dayanımını artırmak için çelik donatılar ile güçlendirme yapılır ve ayrıca lifli malzemeler kullanılarak da betonun çekme direnci artırılabilir [1]. Yapı malzemelerinin mühendislik karakteristiklerinin değiştirilmesi yeni bir yöntem değildir. Yüzyıllar önce Mezopotamya ve antik Mısır'da kil ile samanın karıştırılarak çekme dayanımı nispeten artırılan toprak yapıların kullanımı bilinen en eski lif kullanım tekniğidir. Günümüz modern teknolojisi ile birlikte daha dayanıklı lifler üretilmiş ve beton teknolojisinde yerini almıştır. Betonun lifli malzeme ile güçlendirilmesinde temel olarak dört çeşit lif kullanılır: çelik lif, cam lif, doğal lif ve sentetik lif.

Lif kullanılmamış bir betonda oluşan bir çatlakın ilerlemesi için gerekli enerji, çatlakın başlaması için gerekli enerjinin yaklaşık yarısı kadardır. Lif kullanılması durumunda ise lifler gerilmeleri aktararak çatlakın yayılması için daha çok enerji gerektirirler [2]. Lif ile güçlendirilmiş betonların tasarlanan amaca yönelik en iyi performansı vermesi lif dağılımının homojen olmasına ve mümkün mertebe istenilen oryantasyona sahip olması ile ilişkilidir. Örneğin, basınç yüklemesinde yük eksenine dik olarak konumlanan lifler, yanıl deformasyonları azaltarak basınç yüklemesinde de betonun tokluğunu artırır [3].

Sivil yapıların bakımının ve onarımının güvenilir bir şekilde yapılması insan sağlığı açısından

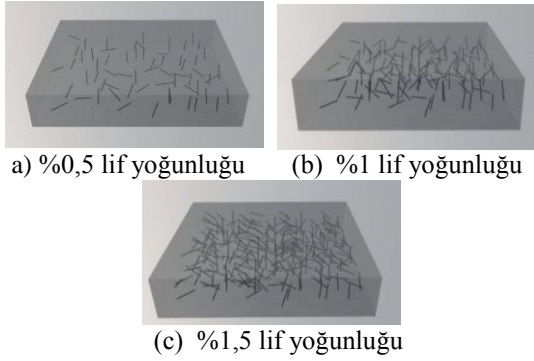
önemlidir. Yapı miktarının artmasıyla yapı kalite kontrolü giderek karmaşık bir hal almıştır. Bir yapıda hasar doğasının değerlendirilmesi ve yapısal bütünlüğünün izlenmesi süreci yapının kalıcılığı için çok önemli bir yer teşkil etmektedir.

Betonarme yapılarda lifli betonun içerisindeki lif dağılımının homojen olup olmaması ve lif oryantasyonu, lifli betonların performansını önemli derecede etkilemektedir. Beton içerisinde lif dağılımının iyi olması durumunda lifler çimento matrisinde oluşan çatlakın yol açtığı gerilmeleri üzerlerine alarak matrisin çatlamamış bölgelerine aktarırlar. Lifsiz durumda ya da lif dağılımının düzenli olmaması sebebi ile beton içerisinde lif olmayan bölgeler olması durumunda, herhangi bir sebeple oluşan mikro çatlaklar gerilmelerin artması ile birlikte her yöne yayılarak betonun parçalanmasına sebep olurlar [4]. Bu nedenle lifli betonun kalitesine gerekli özen gösterilmezse, yapının bütünlüğü ve hizmet kabiliyeti zamanla bozulacaktır. Bu nedenle, durum tespitinin yapılması gerekir. Yapıda, liflerin kullanıldığı yapı elemanlarında genel ve bölgesel incelemeler yapılır. Bölgesel incelemelerde liflerin bir yere toplanıp toplanmadığına, genel incelemede ise lif oryantasyonuna bakılır. Bu tespit teknikleri yapıların güvenliği için gerekli ve önemlidir.

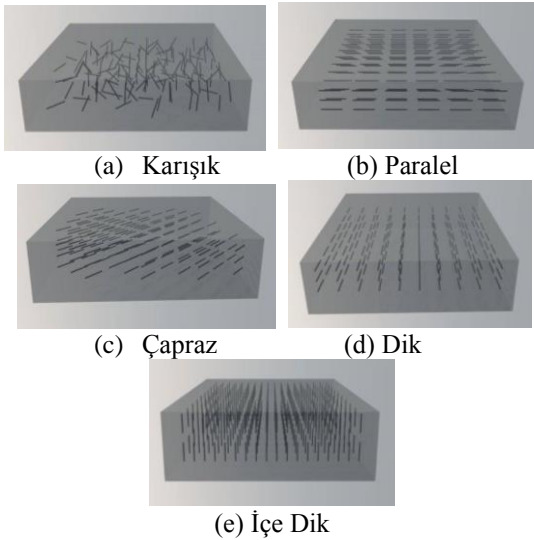
Beton içerisine ilave edilen ve rastgele dağılmış olan lifli malzemenin beton prizini aldıktan sonra nasıl dağıldığı hakkında profesyonel müdahaleler olmadıkça ya da hasarlı deneyler yapılmadıkça yorum yapmak olanaksızdır. Bu sorunun giderilmesi için lineer olarak kutuplandırılmış elektromanyetik dalgalar kullanılarak hem yoğunluk sensörü hem de sinyal emilim özelliklerine bakılarak literatürden farklı olarak mikrodalga teknikleri ve ölçüm yöntemleri kullanılarak özgün bir yöntem ile beton içerisindeki lif dağılımı ve oryantasyonu belirlenecektir.

## 2. MATERYAL METOD

Bu çalışmada beton karışımları hesaplanırken çimento olarak Portland çimentosu kullanılmış, su-çimento oranı 0,5 olup kullanılan ince ve iri agreganın en büyük çapı sırasıyla 4 ve 16 mm'dir. Çalışmada çelik lifli betonlarda, liflerin betonun içerisindeki dağılımını ve oryantasyonunu elektromanyetik teknikler ile belirlemek amacı ile çeşitli beton karışımları üretilecektir. Karışımlarda karbon çelik lif mutlak hacmin %0,5, %1 ve %1,5'i oranlarında kullanılacaktır (Şekil 1). Beton içerisinde Şekil 2'de gösterilen beş farklı lif oryantasyonuna sahip (paralel, dik, çapraz, içe dik, karışık) numuneler üretilecektir.



Şekil 1. Lif yoğunlukları

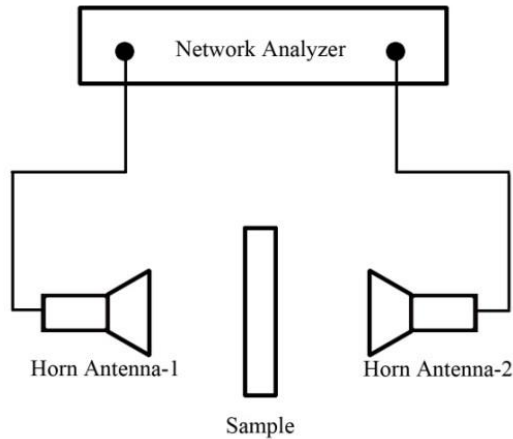


Şekil 2. Lif oryantasyonları

Hazırlanacak numuneler kademeli olarak hızlanan hız kontrollü mikser kullanılarak üretilmiştir. Beton içerisine kontrollü bir şekilde istenilen oryantasyonda lifler, beton kalıplara döküldüğü esnada yerleştirilmiştir (lif oryantasyonun ve dağılımının sisteme tanıtılması için elle lif yerleşimi yapılacaktır). Lifli beton numuneleri 20x20x5 cm<sup>3</sup> boyutlarında üretilerek, 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün su içerisinde kür edilmiştir.

Doğadaki her malzemede kendine özgü birçok parametre mevcuttur. Bunların en önemlilerinden biri ve bu çalışmamızın temelini oluşturan parametre dielektrik katsayısıdır. Bir malzemenin dielektrik özelliği kompleks bağlı elektriksel ve manyetik geçirgenliklerini bize sunar. Kompleks olan bu parametrelerin hem gerçel hem de sanal kısımları ayrı bir özelliği ifade etmektedir. Bu parametreler kullanılarak beton içerisindeki lif dağılımını ve oryantasyonunu belirlemek için laboratuvarımızda bulunan 10 MHz ile 43,5 GHz bant aralığına sahip Agilent marka 2-Port PNA-L Network Analyzer kullanılmıştır. Bu gelişmiş ölçü aleti iki port arasında aktarılan ve geri yansıyan gücü frekansa veya zamana bağlı olarak bize sunmaktadır. Bu parametreler saçılım parametreleri olarak adlandırılıp elektromanyetik ve özellikle anten ve mikrodalga çalışmalarında hayati öneme sahiptirler. Beton içerisindeki liflerin tane boyutunun küçük olması ve dağılımı görebilmemiz için geniş yüzeye ihtiyaç duyulduğu için düşük frekanslar dolayısıyla yüksek dalga boylarında çalışmak projenin hedeflerine ulaşması için gerekli verileri elde etmemize yardımcı olmayacaktır. Bu sebepten daha hassas sonuçlar almak için bu çalışmamızda yüksek frekanslarda çalışma yapılacaktır. Yüksek frekanslarda çalışmak çok düşük elektriksel boyutları bize sunduğu için, liflerin dağılımı ve oryantasyonunu algılamada çok faydalı olacaktır. Ultra geniş bant'a sahip iki tane doğrusal kutuplaşmaya sahip horn anten kullanılmış ve bunların arasına numune yerleştirilmiştir. Ölçümlerin hassaslığı ve doğruluğunu sağlamak için hava ve anten boyutlarına uygun metal plaka ile kalibre edilmiş ve sisteme entegre gelen yazılım ile kompleks elektrik geçirgenliğine ve manyetik geçirgenliğine bakılmış ve kaydedilmiştir. Sonuçlar

değerlendirilirken farklı oryantasyona ve lif yoğunluğuna sahip numunelerin saçılım yani S parametreleri, elektriksel geçirgenlik ve yansım, cole cole değerleri karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanacaktır. Deney düzeneği Şekil 3'te şematize edilmiştir.



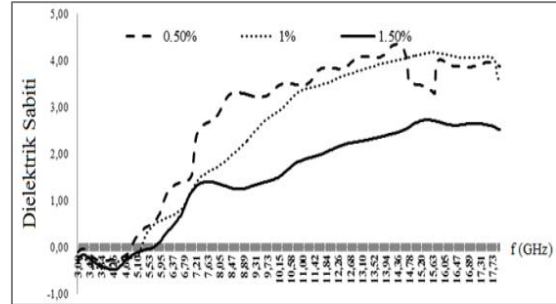
Şekil 3. Elektromanyetik özelliklerin ölçümünde kullanılacak laboratuvar kurulumu

### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

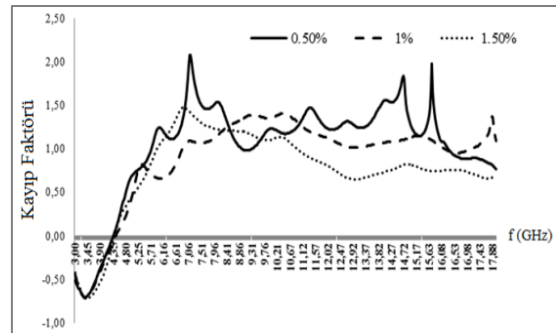
#### 3.1. Çelik Lif Yoğunluğu Tespiti

Sertleşmiş beton içerisindeki lif yoğunluğunu tespit edebilmek için 5 cm kalınlıkta, 20x20 cm<sup>2</sup> ölçülerine sahip kalıplara mutlak hacmin sırasıyla %0,5, 1 ve 1,5'i kadar çelik lif taze beton içerisinde rastgele dağıtılarak lifli beton numuneler üretilmiştir. Farklı yoğunlukta çelik lif içeren betonların dielektrik sabitleri ve kayıp tanjant değerleri saçılım parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4 a ve b'den anlaşılacağı üzere beton içerisindeki çelik lif yoğunluğunun artmasıyla birlikte betonun dielektrik sabiti azalmaktadır. Bunun sebebi çelik lifin artmasıyla betonun birim yoğunluğunun artması ile açıklanabilir. Beton dielektrik katsayıları arasındaki fark en açık şekilde 9.13 GHz frekans değeri yakınlarında görülmüştür. Tek bir frekans değerinde bile beton içerisindeki çelik lif yoğunluğunun hasarsız bir şekilde tahmin edilebileceği bu yöntem ile mümkün kılınmıştır. Ayrıca karbon çelik lif yoğunluğu frekansın 14.78

olduğu civarlarda kayıp faktörü ile de belirlemenin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 4.a. Karbon çelik lif yoğunluğunun farklı olduğu betonlardaki dielektrik sabit değerleri

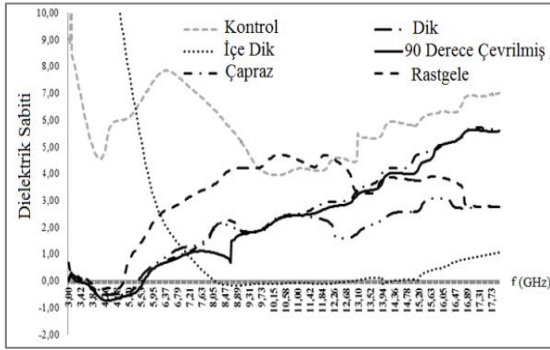


Şekil 4.b. Karbon çelik lif yoğunluğunun farklı olduğu betonlardaki kayıp faktörü değerleri

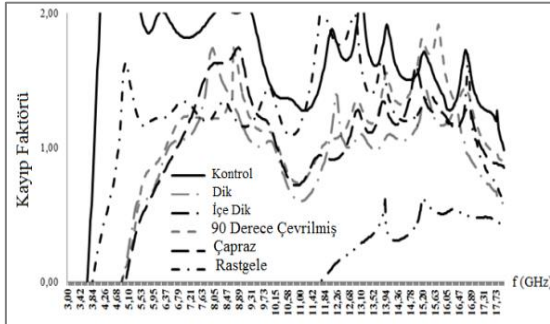
#### 3.2. Çelik Lif Oryantasyon Tespiti

Bu bölümde sertleşmiş beton içerisindeki liflerin oryantasyonu mikrodalga test yöntemleri kullanılarak hasarsız bir şekilde tespit edilmiştir. Liflerin beton içerisindeki oryantasyonu betonun mekanik özellikleri için önem arz etmektedir. Bu sebepten lifli betonların dielektrik sabitleri ve kayıp faktörleri mikrodalga ölçüm teknikleri kullanılarak tespit edilecektir. Lif oryantasyonunu tespit etmek için ilk olarak 0,5 su çimento oranına ve mutlak hacmin %1 kadar çelik lif içeren beton özel olarak hazırlanmış 5 cm kalınlığında 20x20 cm<sup>2</sup> ölçülerine sahip kalıplara dökülmüştür. Daha sonra Şekil 2'de gösterildiği üzere istenilen oryantasyonda lifler el ile kontrollü bir şekilde beton içerisine yerleştirilmiştir ve bir gün sonra

kalıptan çıkarıldıktan sonra lifli beton numuneler 28 gün boyunca su dolu bir tankta kür edilmişlerdir. Son olarak da elektromanyetik testler yapılarak Şekil 5 a-b sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5.a. Polarize edilmiş elektrik alana dik, içe dik, çapraz, 90 derece çevrilmiş ve rastgele dağılmış yönelime sahip karbon çelik lif içeren betonların dielektrik sabiti değerleri



Şekil 5.b. Polarize edilmiş elektrik alana dik, içe dik, çapraz, 90 derece çevrilmiş ve rastgele dağılmış yönelime sahip karbon çelik lif içeren betonların kayıp faktörü değerleri

Test sonuçlarında görünen dielektrik sabiti ve kayıp faktörü Nicolson Ross Weir (NRW) metodu [5] kullanılarak yansıma ve iletim parametreleri ile bulunmuştur. Şekil 9 a'da görüldüğü üzere frekansın 15,17 GHz olduğu noktada farklı oryantasyona sahip lifli betonların dielektrik sabitleri açıkça birbirinden farklıdır. Dielektrik sabitleri içe dik, dik, rastgele, çapraz 90 derece çevrilmiş, çapraz ve içerisinde lif olmayan kontrol numunesinin sırasıyla 0, 2,8, 3,8, 4, 4,2 ve 5,8'dir.

Bunun yanında kayıp faktörleri frekansın 12,20 olduğu civarda içe dik, çapraz, çapraz 90 derece çevrilmiş, dik, kontrol ve rastgele dağıtılmış lif oryantasyonunda sırasıyla 0,18, 0,88, 1,12, 1,43, 1,67 ve 2,00'dir. Test sonuçlarından da anlaşılacağı gibi lif oryantasyonu betonun elektriksel özelliklerinden faydalanarak sabit bir frekansta hasarsız bir şekilde tespiti mümkündür. Bu sistemin çalışması için belirli bir frekans seçilir ve güvenilir sonuçlar maliyeti çok ucuz olan bir yöntem ile hasarsız bir şekilde sanayeler içinde tespit edilir.

#### 4. SONUÇ

Lifli betonlarda beton içerisindeki lif yoğunluğu (liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılıp dağılmadığını tespit etmek için) ve lif oryantasyonu lifli betonun performansını etkileyen önemli parametreler olmasına rağmen sertleşmiş beton içerisindeki lif dağılımını ve yönelimini tespit etmek için standart bir yöntem yoktur. Mevcut yöntemler ya karmaşık prosedürler içeren ya da pahalı olan sistemlerdir. Bu çalışmadaki yenilikçi bir yöntem ile birlikte beton içerisindeki liflerin homojen dağılıp dağılmadığı ve istenilen yönde olup olmadığı hasarsız bir şekilde yapılabileceği mümkün kılınmıştır. Yapılan deney sonuçları göstermiştir ki; sertleşmiş beton içerisindeki lifler hakkında betona hasar vermeden yorum yapılabilir. Böylelikle üretimi yapılmış lifli betonların kalite kontrolü daha güvenilir, hassas ve hasarsız bir şekilde tespiti yapılabilecektir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Beglarigale, A., Yazıcı, H., 2015. Pull-out Behavior of Steel Fiber Embedded in Flowable RPC and Ordinary Mortar, Construction and Building Materials, vol. 75, pp. 255–265.
2. Octávio, C., Dias-da-Costa, D., Alfaiate, J., Júlio, E., 2016. Modelling the behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete using a Discrete Strong Discontinuity Approach, Engineering Fracture Mechanics, vol. 154, pp. 12–23.
3. Barnett, S.J., Lataste, J.F., Parry, T., Millard, S., G., Soutsos, M.N., 2010. Assessment of

- Fibre Orientation in Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete and its Effect on Flexural Strength, *Materials and Structures*, vol. 43(7), pp. 1009–1023.
4. Kang, S.T., Lee, B.Y., Kim, J.K., Kim, Y.Y., 2011. The Effect of Fibre Distribution Characteristics on the Flexural Strength of Steel Fibre-reinforced Ultra High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 25(5), pp. 2450–2457.
  5. Luukkonen, O., Maslovski, S.I., Tretyakov, S.A., 2011. A Stepwise Nicolson-Ross-Weir-Based Material Parameter Extraction Method, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 1295–1298.