

ULTRASONİK KAYMA DALGALARI TOMOGRAFİSİ İLE BETONDA KUSUR TESPİTİ*

Bekir Yılmaz Pekmezci¹, Dursun Zafer Şeker², Emre Tavlı³
Burak Yorulmaz⁴, Egemen Arabacı⁵, Fatih Güler⁶, Mehmet Gökpınar⁷

Özet

Ultrasonik Kayma Dalgaları Tomografisi (UKDT) beton içindeki boşlukların, tabakalanmaların, çatlakların veya diğer kusurların elde edilmesi için gelecek vadetmektedir. Dünyada kullanımı yaygınlaşmaya başlayan bu yöntem ile, betonarme elemanlara hasar vermeksizin, elemanı kayma dalgaları ile taramak ve ultrasonik geçiş özelliklerini üç boyutlu olarak bina etmek mümkün olmaktadır. Bu deneysel çalışmada laboratuvarında yapılan UKDT'den elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan cihazda 24 transducer mevcuttur. Üretilen numuneler 10x60x60 cm boyutlarında beton numunelerdir. Beton numunelerin içine çeşitli kusurları temsil etmesi bakımından yerleşmiş boşluklu bir beton parçası ve çeşitli ebatlarda kesilmiş düzenli ve düzensiz doğal taş parçaları ile çatlağı temsil edecek yarıklar koyulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen tomografik kesitler ile numune içerisine bilinçli olarak koyulan kusurlar eşleştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda, beton numune içine koyulan kusurların tarama sonucunda eksiksiz olarak elde edilebildiği görülmüştür. Kusurların boyutları da ölçülen gerçek ölçülerine çok yakın mertebede elde edilmiştir. Kusurların konumu, cm doğrulukla elde edilebilmiştir.

Defect Detection in Concrete With Ultrasonic Shear Waves Tomography

Ultrasonic shear wave tomography is a promising method to determine, voids, delaminations, cracks and other defects in concrete. Non-destructive 3-D inspection of a reinforced concrete element became easier by this method. In this experimental study, results obtained from the laboratory work of ultrasonic shear wave tomography are presented. The equipment used in experimental study includes 24 probes. Concrete test samples have 10x60x60 cm dimensions. Concrete block having segregation, regular and irregular natural stone blocks and pre-formed cracks to represent defects were embedded in concrete samples. It is tried to couple the deliberately embedded defects with ultrasonic shear wave tomography cross sections. As conclusion of the experimental work; all the defects embedded in concrete samples can be obtained from ultrasonic shear wave tomography. The dimensions of defects measured with ultrasonic shear wave tomography were more or less the same with the original dimensions measured with caliper. Locations of the defects were obtained with the accuracy of cm.

1. GİRİŞ

Ultrasonik Kayma Dalgaları Tomografisi (UKDT) beton içindeki boşlukların, tabakalanmaların, çatlakların veya diğer kusurların elde edilmesi için gelecek vadetmektedir. Bununla birlikte donatıların yerleşimi ve miktarı ile tabaka kalınlığı tespitinde de UKDT çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Ultrasonik Kayma Dalgası Tomografisi, ticari olarak bulunan farklı ebatlardaki kayma dalgası üreten cihazlarla uygulanmaktadır [1-4]. Cihaz, çok sayıda probundan kayma dalgası göndermekte ve yine çok sayıdaki probundan bu dalgaları toplamaktadır. Prob sayısı cihaz modeline göre değişmektedir. Problardan gönderilen ultrasonik dalgalar, toplayıcı problardan toplanarak beton içindeki çok sayıda noktadaki geçiş özellikleri elde edilmektedir. Tek yüzeyden yapılan ölçümlerde, çok sayıda probu sayesinde beton kütle içindeki tüm

noktaların özelliklerini içeren bir matris oluşturulabilmekte ve birbirine yakın çok sayıdaki noktadaki beton özellikleri elde edilmektedir. Elde edilen veriler bir yazılım yardımıyla üç boyutlu olarak bina edilmekte ve üretilen model üzerinden istenen kesitler alınarak bu kesitlerdeki betonun kusurlar bakımından analizi yapılabilmektedir [1].

¹ pekmezci1@itu.edu.tr ² seker@itu.edu.tr, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul

³ etavli@gelisim.edu.tr, İstanbul Gelişim Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, İstanbul

⁴ burak@ticem.com.tr ⁵ egemen@ticem.com.tr ⁶ fatih@ticem.com.tr ⁷ mehmet@ticem.com.tr, Ticem İleri Yapı Teknolojileri, İstanbul

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

Ultrasonik tomografi kullanılarak betonarme elemanlarda hasar tespiti konusunda birçok araştırma ve deneysel çalışma yapılmıştır[1-6]. Yapılan çalışmalardan elde edilen ortak sonuçlardan en önemlisi Ultrasonik Kayma Dalgaları Tomografisi yöntemi ile betonarme elemanlar içinde, çatlak, ayrışma, delaminasyon vb. kusurların ve etrafındaki beton özelliklerinden farklı özellikler taşıyan kısımların kolaylıkla elde edilebilmiş olmasıdır [4-6].

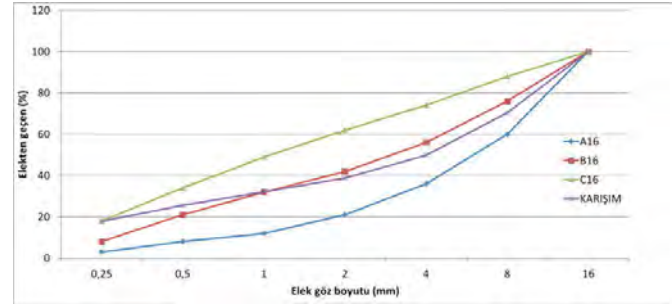
Düşük frekanslı ultrasonik kayma dalgaları tomografisi yönteminin, köprü döşemeleri, kolonlar, yol betonları, kolonlar, perdeler gibi yapıların betonarme elemanlarında istem dışı olarak üretim sırasında kalmış veya oluşmuş kusurların tespitinde 2.500 mm'ye kadar derinlikte verimli olarak kullanılabilir bir yöntem olduğu vurgulanmaktadır.

2. Malzemeler ve Deneysel Çalışma

2.1. Malzemeler

Üretilen betonlarda en büyük boyutu 16 mm olan kırmataş 1 kum ve CEM 1 PÇ 42,5 çimento kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları, Kırmataş 1, kum ve çimento için sırasıyla 2,72-2,70 ve 2,61 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Karışım granülometrisi Şekil 1'de verilmektedir. Betonlarda çimento dozajı 350 kg/m³ olarak seçilmiştir. Su/çimento oranı 0,60 olarak seçilmiş, kimyasal katkı olarak %1 oranında naftalin sülfonat bazlı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton ka-

rışımlarında herhangi bir mineral katkı kullanılmamıştır. Betonlar üretilirken çökme değerinin 13-15 cm arasında olması hedeflenmiştir.



Şekil 1: Karışım Granülometrisi

Kusur olarak doğal taş bloklar ve yerleşmemiş beton parçası ile çelik donatılar kullanılmıştır. Numunelerin içine kusur olarak yerleştirilmesi planlanan malzemeler hazırlanarak döküm öncesi kalıp içine konumları kaydedilerek yerleştirilmiştir. Üretilen betonlar 10x60x60 cm ebatlarındaki kalıplara vibrasyon masası kullanılarak yerleştirilmiştir. Toplam iki adet beton blok üretilmiştir. Yerleştirme sırasında, beton numune içerisine önceden yerleştirilmiş olan kusurların konumunun değişip değişmediği kontrol edilmiştir. Kusurların kalıp içine yerleştirilmesi ve beton numunelerin hazırlanma aşamaları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Numunelerin hazırlanması

Bu deneysel çalışmada laboratuvarında ve sahada yapılan UKDT ölçümlerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan cihazda 48 transduser mevcut olup bunların bir kısmı gönderici bir kısmı alıcı niteliğindedir. Her transduser, ekipmana yay kullanılarak monte edilmiş olup, beton yüzeyindeki bozuklukların ölçümlere engel olmaması için 8 mm'ye kadar hareket edebilmektedir. Üretilen numuneler 10x60x60 cm boyutlarında beton numunelerdir. Beton numunelerin içine çeşitli kusurları temsil etmesi bakımından yerleşmemiş boşluklu bir be-

ton parçası ve çeşitli ebatlarda kesilmiş düzenli ve düzensiz doğal taş parçaları ile çatlağı temsil edecek yarıklar koyulmuştur. Üretilen numuneler, laboratuvar ortamında 28 gün süresince bekletilmiş, bu sürenin sonunda UKDT ile taramalar yapılmıştır. Beton eleman yüzeyine her bir probun temas edeceği noktalar işaretlenmiş ve tarama işlemi bölgelerin birbiri üzerine bindirilmesi ile yapılmıştır. UKDT prob noktalarının işaretlenmesi ve taramaların yapılması işlem aşamalarını gösteren resimler Şekil 3'te gösterilmektedir.



(a) Ölçüm noktalarının hazırlanması

(b) Ölçümlerin yapılması

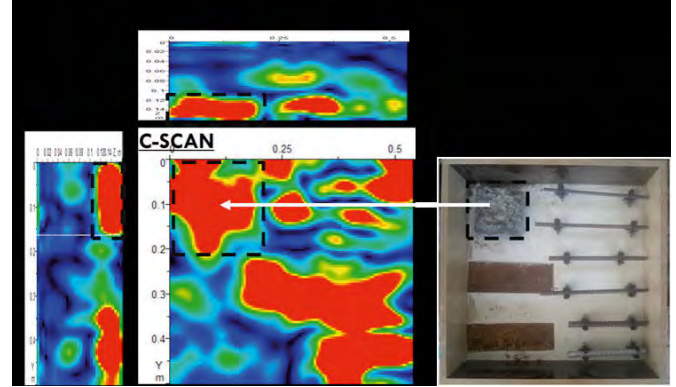
Şekil 3: UKDT ile ölçümlerin yapılması

Beton üzerinde 10cmx10 cm'lik klavuzlar oluşturulmuş ve tüm beton yüzeyi taranarak elde edilen veriler işlenmiştir. İşlenen veriler sonucunda farklı koordinatlardan kesitler alınmış, elde edilen tomografik kesitler ile numune içerisine bilinçli olarak koyulan kusurlar eşleştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında dry contact kayma dalgaları ultrasonik tomografi (UKDT) yöntemi kullanılmıştır. UKDT ile elde edilen sonuçlar B-scan (elemanın enine kesitler) alınarak değerlendirilmiştir.

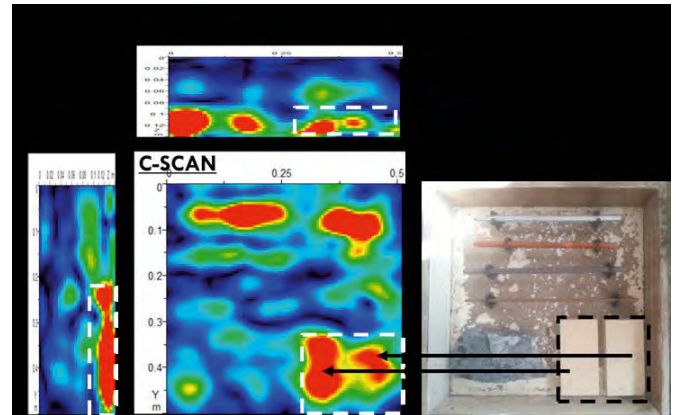
3. Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 4'te gösterilen numune hazırlanırken, 15x5x5 cm boyutlarındaki boşluklu beton, beton içindeki yerleşmemiş kısımların tespit edilebilirliğinin analizi için yerleştirilmiştir. Şekilde B-Scan, D-Scan ve C-Scan görüntüleri sunulmaktadır. Şeklin sağ tarafında ise kalıba beton dökümünden önce yerleştirilen boşluklu beton blok işaretlenmiş olarak görülmektedir. Yapılan taramalarda, beton içerisine daha önceden yerleştirilen, iyi yerleşmemiş beton kısmın boyutları 16,7x16x7 cm olarak elde edilmektedir.



Şekil 4: Beton içindeki yerleşmemiş kısmın UKDT ile tespit edilmesi

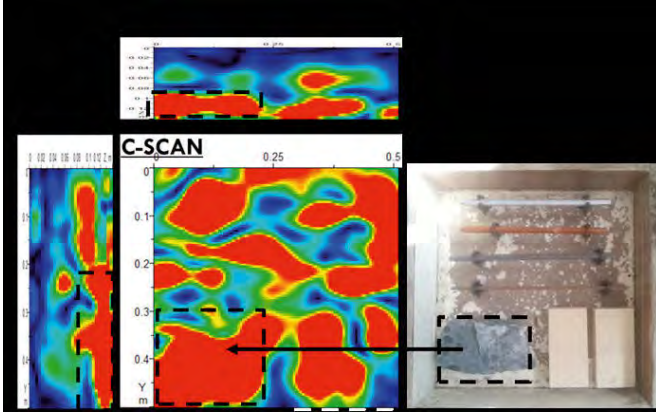
Şekil 5'te gösterilen numune hazırlanırken, 21,5x10,5x6,0 cm boyutlarındaki iki doğal taş numunesi, beton içindeki yabancı maddelerin tespit edilebilirliğinin analizi için yerleştirilmiştir. Şekilde B-Scan, D-Scan ve C-Scan görüntüleri sunulmaktadır. Şeklin sağ tarafında ise kalıba beton dökümünden önce yerleştirilen doğal taş numuneleri işaretlenmiş olarak görülmektedir. Yapılan taramalarda, beton içerisine daha önceden yerleştirilen, iki adet düzgün şekilli doğal taş parçalarının boyutları 22x10x6 cm olarak elde edilmektedir. Bununla birlikte kesitlerde, önceden betona yerleştirilmiş olan çelik donatılar da ayırt edilmektedir. Donatıların çapı hakkında bir yorum yapmak gerçekçi olmayacaktır.



Şekil 5: Beton içine kusur olarak yerleştirilen düzenli yapıdaki doğal taş blokların UKDT ile tespit edilmesi

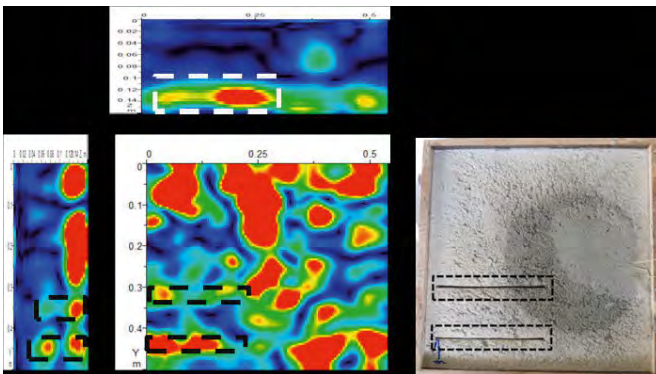
Şekil 6'da gösterilen numune hazırlanırken, her bir yöndeki en büyük boyutu yaklaşık 27x15x6,5 cm olan şekilsiz doğal taş numunesi, beton içindeki yabancı maddelerin tespit edilebilirliğinin analizi için yerleştirilmiştir. Şekilde B-Scan, D-Scan

ve C-Scan görüntüleri sunulmaktadır. Şeklin sağ tarafında ise kalıba beton dökümünden önce yerleştirilen doğal taş numuneleri işaretlenmiş olarak görülmektedir. Yapılan taramalarda, beton içerisine daha önceden yerleştirilen, iki adet düzgün şekilli doğal taş parçalarının boyutları 27x17x6,5 cm olarak elde edilmektedir. Bununla birlikte kesitlerde, önceden beton içine yerleştirilmiş olan çelik donatılar da ayırt edilmektedir. Donatıların çapı hakkında bir yorum yapmak gerçekçi olmayacaktır.



Şekil 6: Beton içine kusur olarak yerleştirilen düzensiz doğal taş parçasının UKDT ile tespiti

Şekil 7'de gösterilen numune hazırlanırken, beton numune içinde, olası çatlakların yerleri ve derinliklerinin tespiti amacıyla iki adet çatlak bırakılmıştır. Üretim sırasında uzunlukları 25 cm olarak bırakılan çatlakların boyları, tarama sonrasında, birinci ve ikinci çatlak için sırasıyla 26 ve 27 cm olarak elde edilmiştir. Çatlakların derinliği üretim sırasında 10 cm olarak bırakılmıştır. UKDT kesitleri incelendiğinde çatlakların derinlikleri sırasıyla 9 ve 10 cm olarak elde edilmiştir. Çatlak genişliklerini ise tespit etmek mümkün olmamıştır. Bununla birlikte kesitlerde, önceden beton içine yerleştirilmiş olan çelik donatılar da ayırt edilmektedir. Donatıların çapı hakkında bir yorum yapmak gerçekçi olmayacaktır.



Şekil 7: Betonda çatlakların UKDT ile tespiti

3.1 Kusurların Tipi Açısından Değerlendirme

Yapılan incelemelerde, B,C ve D scan kesitlerinde, her üç düzlemde de donatılar, boşluklu beton, düzenli ve düzensiz doğal taşlar ile çatlaklardan oluşan tüm kusurların ayırt edilebilir nitelikte olduğu anlaşılmaktadır. Ancak kesit görüntülerinden, kusurların tipi hakkında yorum yapma imkânı şu anda bulunmamaktadır.

3.2 Kusurların Boyutları Açısından Değerlendirme

Boşluklu beton, düzenli ve düzensiz doğal taş kusurlarının kesitlerden elde edilen boyutları, numune içerisine yerleştirilen kusurların gerçek boyutlarına oldukça yakın mertebede tespit edilmiştir. Ancak donatıların çapları ve çatlakların genişlikleri doğruya yakın şekilde belirlenememiştir.

3.3 Kusurların Yerleri Açısından Değerlendirme

Boşluklu beton, düzenli ve düzensiz doğal taş, donatı ve çatlakların yerleşimleri kalıp içine üretimden önce yerleştirildiği koordinatlarda tam doğru şekilde tespit edilmiştir. Çatlaklar da gerçek konumlarına çok yakın mertebede elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarına göre; UKDT yöntemi ile yapılan kusur tespiti, yapılaraya direkt olarak uygulanabilecek olan bir metottur. Daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda, sahada ve laboratuvarında betonların içindeki kusurları, geçekte mevcut olan birebir boyutlara çok yakın ölçülerde ortaya çıkardığı belirtilmektedir. Üzerinde hasar mevcut olan, köprü, viyadük gibi özellikle ömrünü doldurduğu ve müdahale edilmesi beklenen yapılarda kullanılarak hasarın derinliği ve boyutu yıkıntısız olarak tespit edilebilir. Yeni yapılan yapılarda, uygulama eksikliğinden kaynaklanan yerleşme ve boşluk problemleri ile beton içine karışmış yabancı cisimler UKDT yöntemi ile tespit edilerek gerekli önlemler alınabilir.

Yapılan deneysel çalışmada, beton içine gömülmüş düzenli ve düzensiz yapıdaki doğal taş, boşluklu beton, çelik donatı ve çatlakların UKDT kesitleri yardımıyla ortaya çıkarılması için çalışılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre;

- Numune içerisine yerleştirilen tüm kusurlar UKDT kesitlerinin tümünde tespit edilmiştir.
- Kusurların tipleri ile ilgili ayırt edici bir veri alınamamıştır.
- Kusurların boyutları, numune içine gömülen gerçek kusurun boyutlarına çok yakın mertebede elde edilmiştir.
- Kusurların yerleşimi, numune içine gömülen kusurların yerleriyle birebir örtüşecek şekilde elde edilebilmiştir.

Kaynaklar

1. Clayton, D., Smith, C., Nelson, J., Khazanovich, L., Hoegh, K., Chintakunta, S., Popovics, J., Choi, H., Ham, S., "Evaluation of Ultrasonic Techniques on Concrete Structures", OAK Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2014-430, 2013.
2. Chai, H.K., Momoki, S., Kobayashi, Y., Aggelis, D.G., Shiotani, T., "Tomographic Reconstruction for Concrete Using Attenuation of Ultrasound", *NDT&E International*, No: 44 pp. 206-215, 2011.
3. Chai, H.K., Aggelis, D.G., Momoki, S., Kobayashi, Y., Shiotani, T., "Single-side Access Tomography for Evaluating Interior Defect of Concrete", *Construction and Building Materials* No: 24, pp. 2411-2418, 2010.
4. Hoła, J., Schabowicz, K., "State-of-the-art Non Destructive Methods for Diagnostic Testing of Building Structures Anticipated Development Trends", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol.3, No.3, pp.5-18, 2010
5. Schabowicz K., Hoła J., "Nondestructive elastic-wave tests of foundation slab in office building", 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing, Yokohama, Japan, 2009.
6. Schabowicz K., Hoła J., Styś D., "Nondestructive Elastic-wave Tests of Concrete in Foundation Slab, 10th European Conference on Nondestructive Testing, Moscow, Russia, 2010.