

Araştırma Makalesi

**BETONARME YAPILARDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BETON KALİTESİ VE
YAPI DONATI DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI**

**Investigation of Concrete Quality and Structure Reinforcement Conditions in Reinforced
Concrete Structures by Geophysical Methods**

Emre ÖZÇELİK¹ ve Kenan GELİŞLİ²

ÖZET

Yapı kalitesi araştırmalarında; beton kalitesi, donatı ve korozyon durumu belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla, gerek tahribatlı gerekse de tahribatsız bir takım uygulamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, bir köprü yapısının elemanı olarak üretilen düşey bir betonarme yapıda gerçekleştirilmiş jeofizik yöntemlerin uygulama örnekleri verilmektedir. Enine ve boyuna donatılara sahip bu yapı üzerinde beton kalitesi, kırık, çatlak, donatı, çelik hasır ve korozyon durumu araştırmaları yapılmıştır. Çalışmada, ultrasonik yöntem, 2.7 GHz yüksek frekanslı yer radarı yöntemi ve Wenner dizilimi ile elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Alınan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu, yapıya herhangi bir zarar vermeden uygulanan jeofizik yöntemlerle, hızlı ve ucuz bir şekilde, betonarme bir yapının beton kalitesi, kırık-çatlak, donatı, çelik hasır ve korozyon durumu tespitinin başarı ile yapılabildiği anlaşılmıştır.

ABSTRACT

Concrete quality, reinforcement and corrosion degree are being tried to be determined at investigation of structure quality. Some destructive and non-destructive applications are being made for this purpose. Application examples of geophysical methods performed in a vertical reinforced concrete structure produced as part of a bridge structure are given in this work. Concrete quality, fracture, crack, reinforcement, steel bar and corrosion conditions were investigated on this structure which has vertical and horizontal reinforcement. In this work, ultrasonic method, 2.7 GHz high frequency ground penetrating radar method and Wenner electrode array electrical resistivity methods were used. When the measurements are evaluated, it can understand without any damage to the structure, determination of steel bars and pvc pipes, concrete quality, detection of fractures and degree of corrosion in construction can be determined fast and cheap by geophysical methods.

GİRİŞ

Türkiye aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle geçmişte ülkemizde birçok yıkıcı deprem olmuş ve gelecekte de yıkıcı depremler meydana gelecektir. Oluşan depremlerde birçok tarihi ve betonarme yapı hasar görmüş ve yıpranmıştır. Ülkemizde öncelikli olarak deprem riski yüksek bölgelerde olmak üzere deprem dayanımı düşük yapılar için kentsel dönüşüm çalışmaları yürütülmektedir. Tarihi binaların korunması ve yapı yenileme çalışmaları, yapı kalite araştırmalarının sonuçlarına dayanarak yürütülmektedir. Betonun kalitesi, taşıyıcı elemanların içerisindeki donatı sayısı ve durumu, yapı elemanları içerisinde kırık ve

¹ YFA Yerbilimleri, Bayraktarlar İş Merkezi, TRABZON e-mail: emreozcelikk@gmail.com

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON, e-mail: gelisli@ktu.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: emreozcelikk@gmail.com

Gönderim Tarihi: 13.06.2018

Kabul Tarihi: 27.06.2018

çatlakların belirlenmesi, yapı elemanlarında korozyon tespiti gibi birçok faktör yapının kalitesini ortaya koyan parametrelerdir.

Betonarme; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesi olan betonun, çelik kullanılarak güçlendirilmesi ile ortaya çıkan yapı malzemesidir. Bina, yol, tünel, baraj, köprü, liman, havalimanı ve daha birçok yapıda kullanılmaktadır. İnşaat halindeki bir yapıda, beton dayanımı, yapının donatı çapı, sayısı, yeri ve paspayı tespitleri yapılmakta, yapının projeye uygunluğu denetlenmektedir. Ayrıca mevcut yapılarda beton dayanımı, donatı, korozyon ve kırık-çatlak tespiti yapılarak yapının sağlamlığı araştırılmakta ve yapının durumuna göre desteklemeler yapılmaktadır.

Günümüzde yapı denetiminde beton dayanımının belirlenmesinde tek eksenli basınç deneyi en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde beton dökümü sırasında oluşturulan ve 7-28 gün kür havuzunda bekletilen ya da mevcut yapıdan karot makinaları ile alınan beton numunelerine test uygulanır. Ancak, kalite araştırmak amacıyla mevcut yapılardan karot numuneleri alınması yapıya hasar verir. Ayrıca, deney sonuçları bölgesel bilgi verir. Mühendislik yapılarının durumu veya projeye uygun imal edilip edilmediği, yapı iskeletini oluşturan elemanların (beton ve donatı) kalitesi, bu yapılara zarar vermeden jeofizik yöntemlerle araştırılabilir. Bu araştırmalarda en etkili sonuçlar veren jeofizik yöntemler; ultrasonik, yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemleridir. Bu uygulamalar, yapıdan bir örnek almaya ihtiyaç duymaz, yapının tamamının incelenmesini sağlar, iç yapısının görüntüsünü verir, çok hızlı ve ekonomiktirler.

Son yıllarda yapı araştırmalarında tahribatsız olarak uygulanan jeofizik yöntemlerin kullanımı giderek artmaktadır (Lemoni E ve Christaras B, 1999; Cecire, 2003; Barroso ve diğ., 2006; Gosa' lbez ve diğ., 2006; Nuzzo ve diğ., 2010; Diana ve Fais, 2010; Akevren, 2010; Siegesmund ve Durrast, 2011; Martı' nez-Martı' neza ve diğ., 2011; Siedel ve Siegesmund, 2011; Siegesmund ve Du' rrast, 2011; Uyanık ve diğ., 2011; Uyanık ve diğ., 2012; Hannachi ve Guetteche, 2012; Babacan ve Gelişli, 2012; Babacan ve diğ., 2012; Cheilakou ve diğ., 2013; Babacan ve Gelişli, 2015; Solla ve diğ., 2016; Mechbal ve diğ., 2017; Özçelik, 2017).

Bu çalışmada oluşturulan düşey bir betonarme yapı üzerinde jeofizik yöntemlerle bazı araştırmalar yapılmıştır. Düşey yapının içerisine yatay ve düşey donatılar koyulup bir kolon yapısı oluşturulmuştur. Kolon yapısı üzerinde ultrasonik yöntem ile boyuna dalga hızları ölçülerek kolonun beton kalitesinin tespiti hedeflenmiştir. Donatı çapı, aralığı ve paspayı bilinen yapı üzerinde yer radarı yöntemi ile de ölçümler yapılarak donatıların tespiti hedeflenmiştir. Ayrıca, betonarme yapının elektrik özdirenç haritası oluşturularak korozyon durumu ve nem içeriği araştırılmıştır.

ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Ultrasonik Yöntem

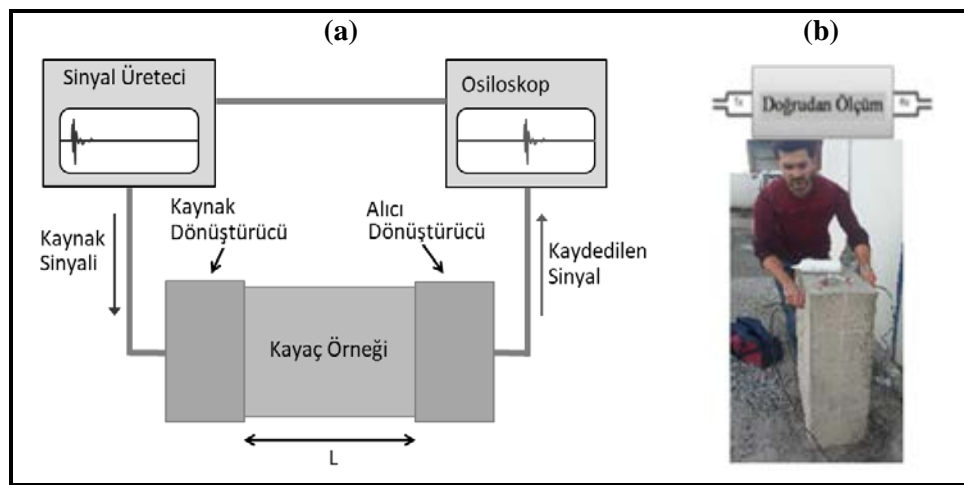
Son yıllarda, tarihi ve diğer yapılarda kalite araştırmalarında yapıya hasar vermeksizin uygulanabilen ultrasonik hız ölçümleri önem kazanmıştır (Popovics, 2003). Yüksek frekanslı (>20 Khz) ses dalgalarına verilen ad olan «ultrasonik» ilk olarak İngiltere' de 1945-1949 yılları arasında yol araştırma laboratuvarında Jones ve Gatfield (1955) tarafından geliştirilmiştir. Ultrasonik dalgaların iletilebilmesi için bir ortam (madde) gereklidir ve yayılımı bir yerden başka bir yere enerji taşınımı şeklindedir. Katı bir malzemenin içinden geçen dalgaların hızı, içinden geçtiği malzemenin elastik özellikleri ve yoğunluğu ile ilgilidir. Taşıyıcı sistemlerin P ve S dalga hızları bulunarak elastisite modülü hesaplanabilir ve bu değere göre betonun basınç dayanımı belirlenebilir. Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Sismik hızlar arttıkça betonun basınç dayanımı artar. Kullanımı açısından basit olması, yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Sismik dalga yayılmasını etkilediği için betonun iç yapısı hakkında bilgiler sağlar. Betonun içerisindeki çatlak ve boşluk miktarı arttıkça ses dalgasının hızı azalmaktadır. Bu nedenle, boyuna

dalga hızları (V_p) sıklıkla kayaçların ve betonun kalite değerlendirmesi için bir araç olarak kullanılmaktadır.

Ultrasonik hız ölçüm ekipmanları; ultrasonik hız ölçüm cihazı, verici (T_x) ve alıcı (R_x) probları ile yüksek voltaj puls üreticiden oluşur (Şekil 1). Vericiden gönderilen akustik dalgalar numune içerisinde seyahat ederek alıcıya ulaşır. Sismik dalga hızı T_x ve R_x arasındaki uzaklığın geçiş zamanına oranıdır:

$$V = L / t \quad (1)$$

Burada, V dalga hızı (m/s), L dalga yolu (m) ve t dalganın geçiş zamanını (sn) göstermektedir. Direk, yarı direk ve indirek olmak üzere farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Ultrasonik ölçümün şematik görünümü ve direk ölçüm yöntemi Şekil 1’de görülmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen ultrasonik ölçülerden elde edilen boyuna dalga hızları ile beton kalite ilişkisi Çizelge 1’de verilmektedir.



Şekil 1. a) Ultrasonik hız ölçümünün şematik görünümü, b) Betonarme yapı üzerinde direk ölçüm yöntemi ile ultrasonik hız ölçümlerinin alınması

Figure 1. a) Schematic view of the ultrasonic velocity measurement, b) Direct ultrasonic velocity measurement on the reinforced concrete structure

Çizelge 1. Basınç dalga hızına bağlı beton kalite sınıflaması

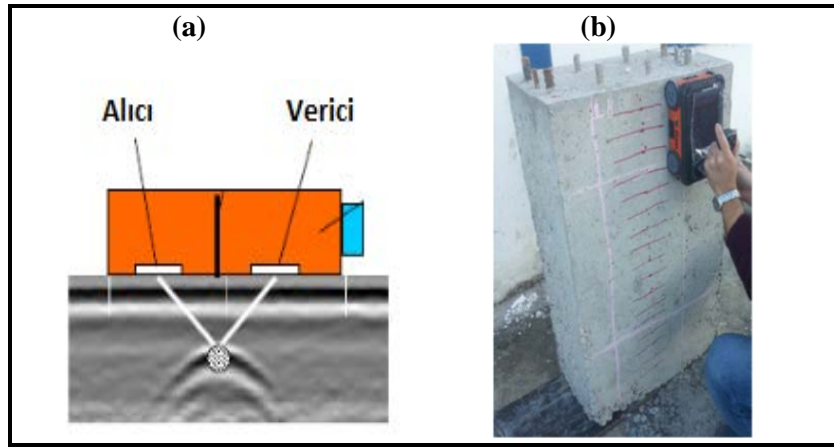
Table 1. Classification of concrete quality based on pressure wave velocity

Beton Kalitesi	Whitehurst, 1951	Uyanık Vd. 2011
	V_p (m/s)	V_p (m/s)
Çok İyi	> 4500	> 4565
İyi	3650-4500	3515-4565
Orta	3050-3650	2930-3515
Zayıf	2000-3050	2110-2930
Çok Zayıf	< 2000	<2110

Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı yöntemi (Ground Penetrating Radar, GPR), yer altının sığ derinliklerini araştırmak için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik bir yöntemdir. Yüksek frekanslı yer radarı cihazlarının gelişmesine bağlı olarak yöntemin yapı denetim araştırmalarında kullanımı artış göstermektedir (Tareco ve diğ. 2009). Bu çalışmalarda yer radarı yöntemi ile donatı özellikleri ve yapı içerisindeki

bozuk zonlar tespit edilmektedir. Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması, alınan ölçülerin işlenmesiyle santimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki ve üç boyutlu yapı görüntülerinin üretilebilmesi yöntemin en önemli avantajlarıdır. Bir yer radarı sistemi verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Yapı araştırmalarında verici antenle yapıya yüksek frekanslı elektromanyetik dalga gönderilip, yapı içerisindeki herhangi bir süreksizlikten yansıyan dalga ölçülerek incelemeler yapılmaktadır (Şekil 2). Yapı içerisine gönderilen elektromanyetik dalga; yapının farklı dielektrik özellikleri (ϵ ; permitivite, σ ; iletkenlik, μ ; manyetik geçirgenlik) ile değişmekte ve yapı içindeki donatının, kırık, çatlak ve boşlukların gözlenmesine izin vermektedir. Alınan sinyaller kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift yol seyahat zamanı nanosaniye (nsn) cinsinden kaydedilmektedir (Davis ve Annan 1986; Annan 2001). Ölçülen GPR verilerinin işlenmesinden sonra elde edilen iki ve üç boyutlu kesitler betonun iç yapısını göstermektedir (Şekil 2). Beton içerisindeki çelik donatıdan olan hiperbolik yansımalar x-t ortamında gözlenir. Şekil 2'de hiperbolün merkezi beton donatısının merkezini göstermektedir. Yapı araştırmalarında GPR yöntemi ile beton içerisindeki boşluk, çatlak ve kırıklar, donatı sayısı, çelik donatılarda hasar görmüş yerleri, paspayı, boru ve elektrik hattı tespitlerinde donatı kesilmeden belirlenebilmektedir.



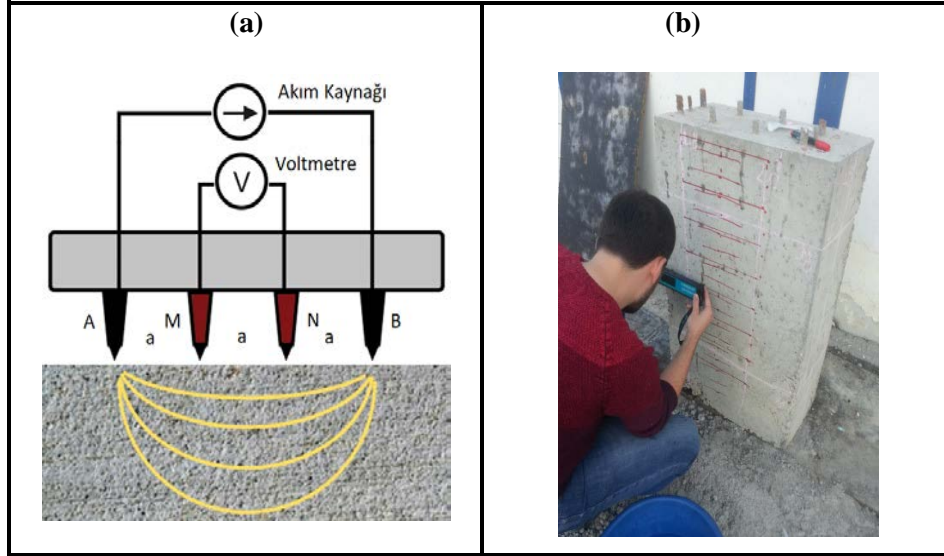
Şekil 2. a) Yer radarı yönteminin çalışma prensibi ve içerisinde gömülü bir çelik donatı bulunan betonun radar kesitindeki görünümü, b) betonarme yapısı üzerinde yer radarı ölçümlerinin alınması

Figure 2. a) The principle of the GPR method and the radar section of the concrete with an embedded steel reinforcement in it, b) The view of the ground radar measurement on the reinforced concrete structure

Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

Yapı denetim araştırmalarında kullanılan diğer bir jeofizik yöntem ise özdirenç yöntemidir. Özdirenç yönteminde, yere çakılan iki elektrot ile akım uygulanır ve diğer iki noktadaki elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (Şekil 3). Akım ve gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri uygulanmaktadır (Telford ve diğ. 1990). Yapı jeofiziği uygulamalarında en çok Wenner elektrot dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimde dışta akım elektrotları (A ve B) ve içte gerilim elektrotları (M ve N) bir doğru boyunca dizilir ve ardışık elektrotlar arasındaki mesafe eşittir (Şekil 3). Elektrik özdirenç yöntemi yapı araştırmalarında, beton nemlilik ve korozyonunun belirlenmesi, bölgesel katodik koruma yerlerinin belirlenmesi, beton kalitesinin incelenmesi ve beton ıslah çalışmalarının başarısının araştırılmasında kullanılmaktadır. Betonun elektrik özdirenç dağılımı, betonun nemliliğini ve içinde bulunan çelik çubukların korozyonunu belirlemek için ana parametredir. Beton özdirenç başlıca boşluk, çatlak, kırık yapısına, çimento tipine, sıcaklık ve neme bağlıdır. Yüksek elektrik özdirenç sahip beton içindeki korozyon işlemi, içinde anot ve katot arasında elektrik akımı hızla geçen düşük özdirençli betona göre daha yavaş olacaktır. Dolayısıyla, beton özdirençinin

azalması durumunda, betondaki korozyon oranı artmaktadır. Beton özdirençinin artması ise, betonun kuru ve karbonlaşmış olmasını, dolayısıyla korozyon riskinin azalmasını gösterir. Görünür özdirenç değerlerine göre korozyon riski ilişkisi Çizelge 2’de verilmektedir.



Şekil 3. a) Resipod Proceq özdirenç aleti ile elektrik özdirenç ölçüm düzeneği a=50 mm, b) Özdirenç ölçü alınımının görünümü

Figure 3. a) Electrical resistivity measurement with Resipod Proceq resistivity meter a=50 mm, b) View of resistivity measurement

Çizelge 2. Korozyon riski ile elektrik özdirenç ilişkisi (Proceq Resipod Family, 2013).

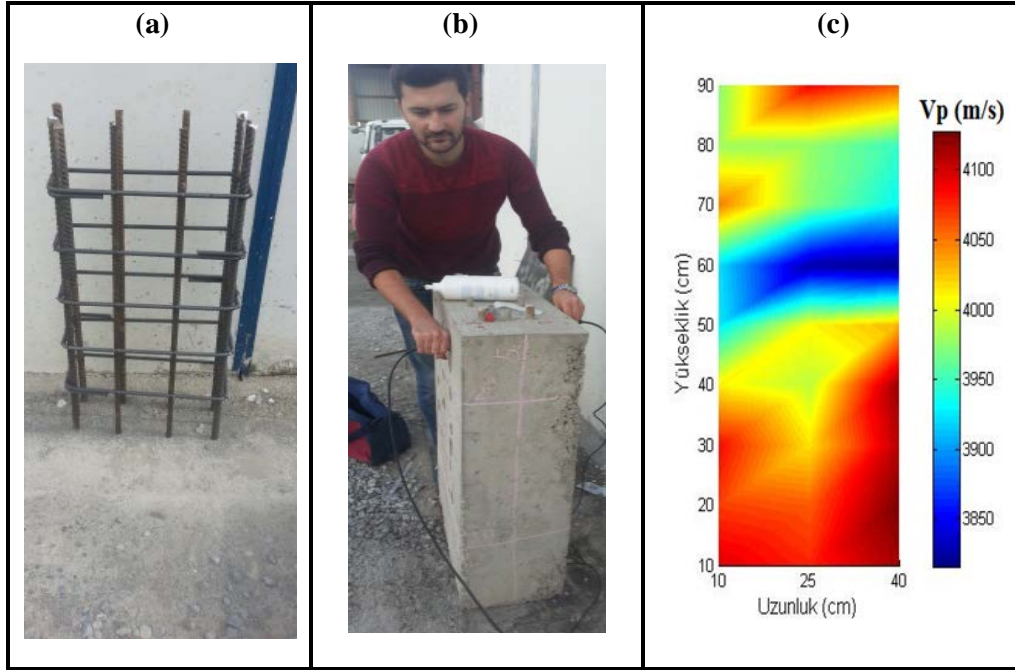
Table 2. Corrosion risk and electric resistivity relation (Proceq Resipod Family, 2013).

Görünür Özdirenç (kOhm.cm)	Korozyon Riski
≥100	İhmal edilebilir korozyon riski
= 50 - 100	Düşük korozyon riski
= 10 - 50	Orta dereceli korozyon riski
≤10	Yüksek korozyon riski

KÖPRÜ YAPISININ BETON KALİTESİ VE YAPI DONATI DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI

Jeofizik yöntemlerin yapı kalite çalışmalarında kullanımını araştırmak için, yeni yapılmakta olan bir köprünün yapı elemanı olarak üretilen bir betonarme kolon yapısında birtakım araştırmalar yapılmıştır. Kolon yapısı 100x60x30 cm boyutlarında olup, içerisine aralıklarla 10 adet boyuna donatı ve 5 sıra etriye yerleştirilmiştir (Şekil 4a). Önce bu donatılı kolon yapısının beton kalitesini belirlemek amacıyla yapıda ultrasonik V_p hızı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde Pundit Plus Model PC1006 cihazı kullanılmıştır. Ultrasonik dalga vericisi kolonun ön yüzünde, alıcı ise arka yüzünde olmak üzere, direk ölçüm tekniğiyle, kolonun ön yüzünde yatayda 15’er cm aralıklarla 3, düşeyde 10 cm aralıklarla 9 olmak üzere toplam 27 noktada hız değerleri ölçülmüştür (Şekil 4b). Daha sonra ölçülen ultrasonik hız değerleri haritalanarak kolon yapısına ait ultrasonik hız haritası oluşturulmuştur (Şekil 4c). Elde edilen ultrasonik hız değerleri incelendiğinde, hızların 3816 m/s ile 4128 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre kolon yapısının “iyi” kalitede bir betona sahip olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 1). Çizilen kontur haritası incelendiğinde; kolonun homojen bir hız dağılımına sahip olmadığı ve düşey doğrultuda yaklaşık 50-

60 cm arasında ölçülen ultrasonik Vp hızı değerlerinin diğer kısımlara göre daha düşük olduğu görülmektedir.



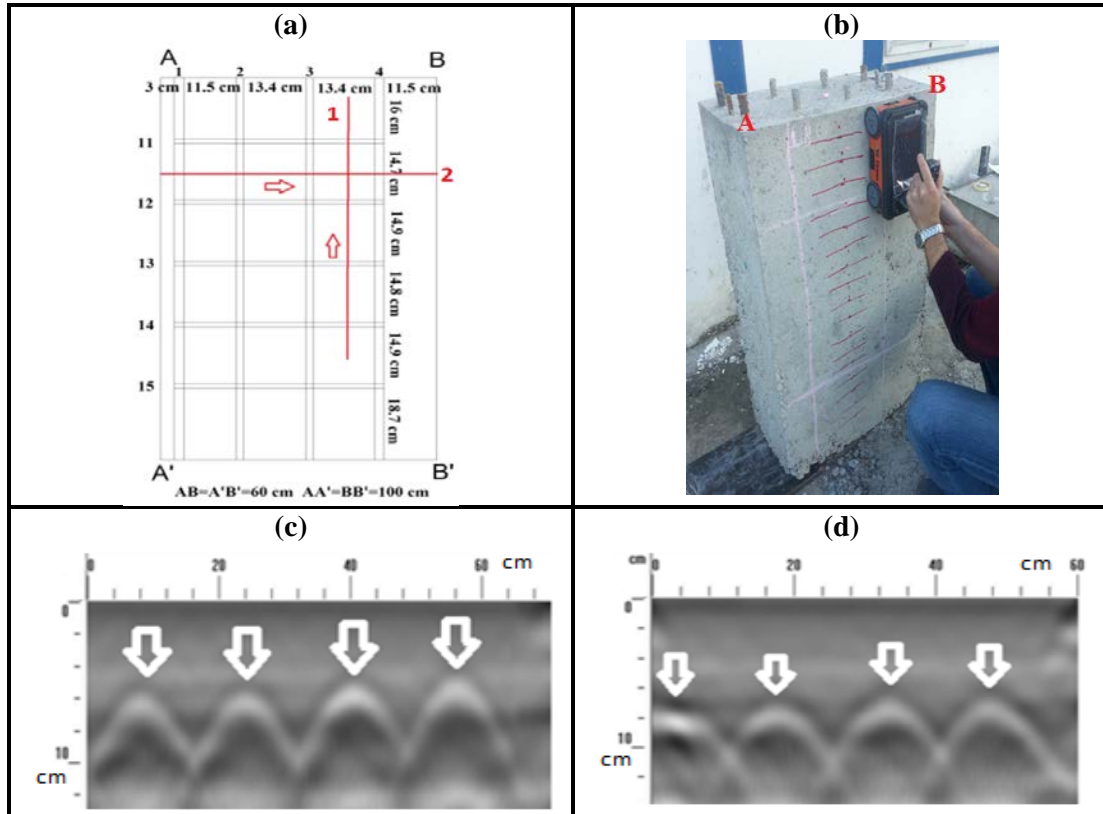
Şekil 4. a) Kolon yapısı içerisine yerleştirilen donatı ve etriyelerin görünümü, b) Kolon numunesi üzerinde ultrasonik hız ölçümünün görünümü, c) Kolona ait ultrasonik Vp hız haritası.

Figure 4. a) The appearance of the reinforcement and of the irons placed in the column structure, b) View of the ultrasonic velocity measurement on the column structure, c) The ultrasonic Vp velocity map of the colum formed from the measurement taken along the front face of the column

Oluşturulan köprü kolon yapısı içindeki donatı ve etriyelerin tespiti amacıyla kolon yapısı üzerinde GPR ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada merkez frekansı 2.7 GHz olan StructureScan Mini XT GPR cihazı kullanılmıştır. Kolon yapısı üzerinde ölçü alınan 1. ve 2. hatlar ile yapı içerisindeki donatı ve etriyelerin yerleri Şekil 5a'da, ölçümün görünümü Şekil 5b'de, alınan 2-boyutlu enine ve boyuna GPR ölçümlerinden oluşturulan kesitler (radargram) ise Şekil 5c ve 5d'de görülmektedir. Alınan verilere standart veri işlemler uygulanmıştır. Sıfır kayma zamanı düzeltmesi (Time Zero Correction) ile kayma zamanı giderilmiş, bant geçişli filtreleme ve saçılmaları odaklamak için göç (Migration) işlemleri uygulanmış daha sonra GPR kesitleri oluşturulmuştur. Bu işlemlere ilaveten verilerde kazanç (gain) ve dielektrik değerleri (buna bağlı hız değerleri) değiştirilerek net görüntüler elde edilmeye çalışılmıştır. Radar sinyali yer içerisinde ilerlerken enerjisini derinlikle birlikte kaybetmektedir. Uygun genlik kazanımı ardından en derinlerdeki yansımalar da radargram üzerinde görülebilmektedir. Genellikle kazanç değerleri için; 20, 40 ve 60 kullanılmıştır.

1. profilde ölçüm düşey olarak yapılmıştır. Ölçüme BB' kesitinin 20 cm solundan ve A'B' kesitinin 25 cm üstünden başlanmıştır. 2. profilde ölçüm yatay olarak ve AB kesitinin 25 cm altından yapılmıştır (Şekil 5a). Kesit üzerinde 4 adet etriye bulunmaktadır. Boyuna donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte olduğu (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir), donatılardan önce etriyelerin olduğu ve çaplarının 1,2 cm olduğu düşünülürse, etriyeler 4.8-5.3 cm derinlikte bulunmaktadır. Bu mesafe aynı zamanda etriyeli kısımdaki paspayıdır. Ayrıca etriyelerin profil hattında (düşey yönde) başlama mesafeleri 9.8, 25.8, 41.9 ve 57.8 cm'dir. Kesit üzerinde 4 adet boyuna donatı bulunmaktadır. Donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte bulunmaktadır (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir). Bu mesafe aynı zamanda boyuna

donatılı kısımdaki paspayıdır. Ayrıca donatıların profil hattında başlama (yatay yönde) mesafeleri 3, 16.5, 31.5 ve 46.5 cm'dir. 1. profilde 4 adet etriye kesildiği için 4 hiperbol, 2. profilde de 4 adet boyuna donatı kesildiği için yine 4 hiperbol oluşmuştur. Kesitlerde oklarla işaretlenen hiperbollerin tepe noktaları yapı içerisindeki çelik donatıların konumunu gösterir. Düşey yönde yapılan 1. ölçümden elde edilen kesitlerde; 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 4-6 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 9, 26, 41 ve 57 cm'de olduğu görülmektedir. 2. Profilden elde edilen kesitlerde; 4 adet boyuna donatı bulunduğu ve boyuna donatıların 6-7 cm derinlikte olduğu görülmektedir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Ayrıca donatıların profil hattında başlama (yatay yönde) mesafeleri 3, 18, 34 ve 48 cm'dir.

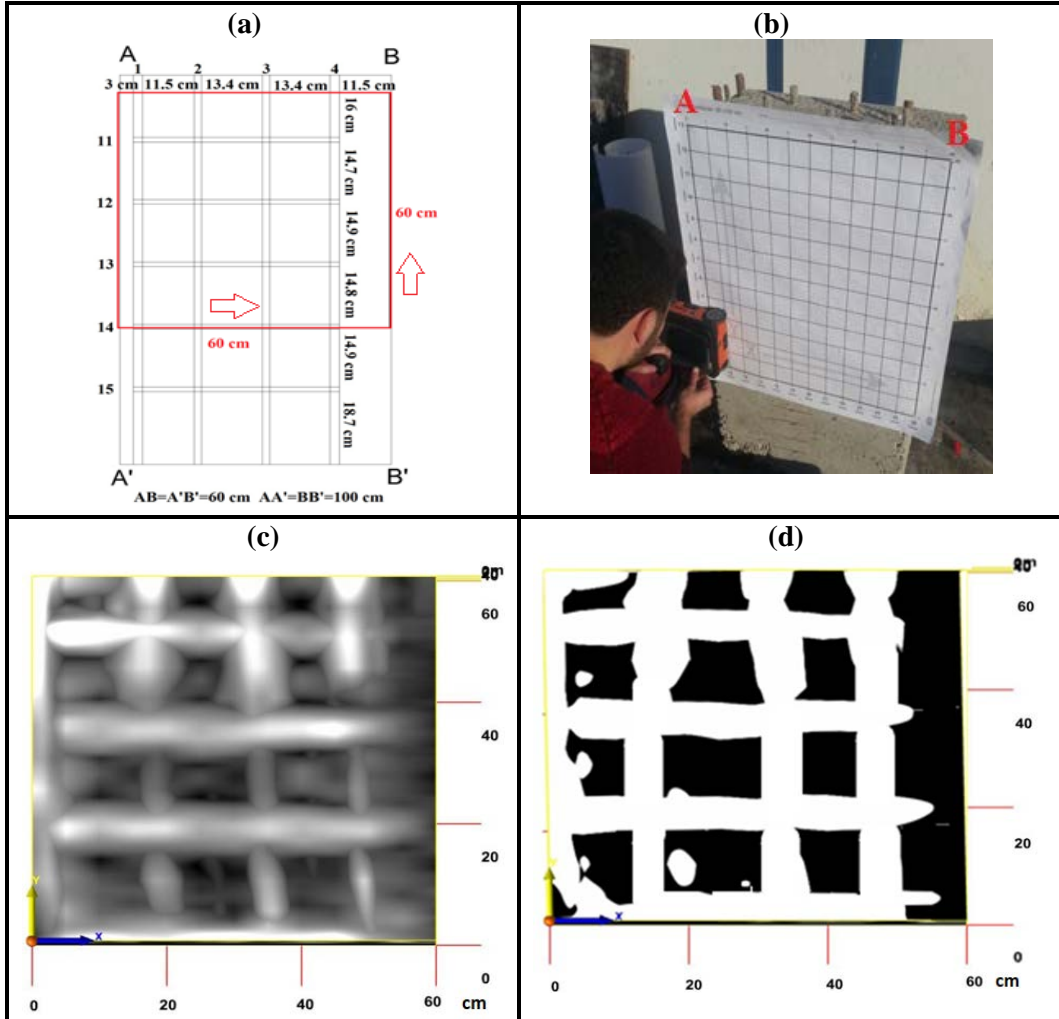


Şekil 5. a) İçerisindeki donatı ve etriyelerle oluşturulmuş kolon yapısının görünümü ve yapı üzerinde 2-boyutlu GPR ölçülerinin alındığı profillerin yerleri, b) Bir profilde yapılan GPR ölçüsünün görünümü c) 1. profile ait radar kesiti (radargram) d) 2. profile ait radar kesiti. 1. Profile ait kesitte etriyelerin, 2. Profile ait kesitte de boyuna donatıların yerleri belirgin olarak görülmektedir.

Figure 5. a) The appearance of the reinforced concrete column structure and the locations of the profiles where the 2-dimensional GPR measurements are taken on the structure, b) View of the GPR measurement made on profile 1, c) Radar cross section of profile 1 (radargram), d) Radar cross section of profile 2. Section 1 shows the location of the longitudinal equipment, while Section 2 shows the location of the vertical equipment

Kolon yapısını 3-boyutlu olarak incelemek için, üzerinde 5 er cm aralıklarla, yatay ve düşey olarak 60 cm'lik profillerde GPR ölçümleri alınmıştır. Yapı üzerinde ölçü alınan alan Şekil 6a'da, 3-boyutlu ölçü alınımının görünümü Şekil 6b'de, alınan ölçümlere standart veri işlemler uygulandıktan sonra, her iki yönde alınan veriler birleştirilerek oluşturulan 6.66 cm derinlikteki 3-boyutlu radar kesitleri ise Şekil 6c ve d'de görülmektedir. Radar verilerine donatı ve etriyeleri belirginleştirmek için farklı kazanç değerleri uygulanarak kesitler oluşturulmuştur. Şekil 6c ve 6d de verilen 3-boyutlu kesitler incelendiğinde, 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriyenin belirgin bir şekilde görüldüğü

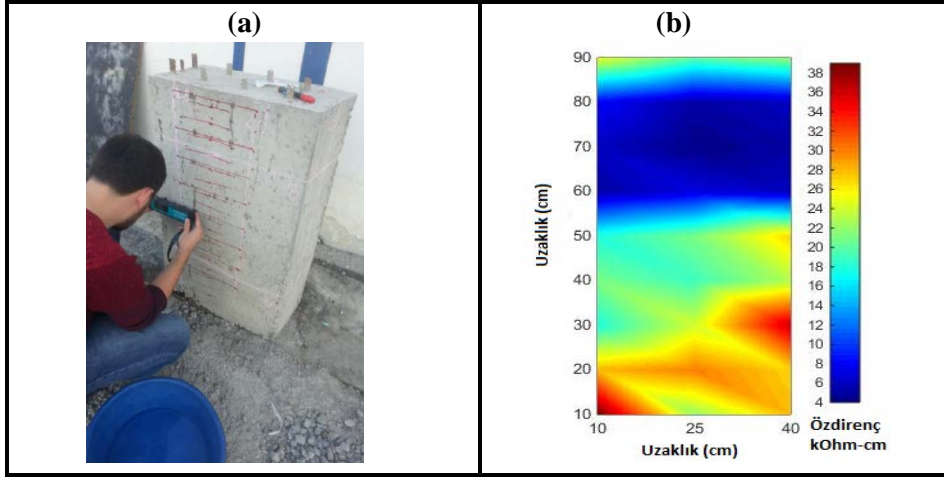
anlaşılmaktadır. Donatı ve etriyelerin konum ve derinlik bilgileri de 2-boyutlu kesit ve gerçek yapının durumu ile örtüşmektedir.



Şekil 6. a) Yapı üzerinde 3-boyutlu ölçülerin alındığı bölgenin görünümü. Kırmızı renkle çerçeveyle alınmış alan ölçülerin alındığı bölümü göstermektedir, b) 3-boyutlu ölçüm alınmasının görünümü, c) Kazanç (Gain)=20 için z=6.66 cm derinliğinde 3-boyutlu radar kesiti, d) Kazanç (Gain)=30 alındığında aynı derinlik için 3-boyutlu radar kesiti.

Figure 6. View of the area where 3-dimensional measurements are taken on the structure. The area framed with red color indicates the part where the measurements are taken, b) the appearance of the 3-dimensional measurement, c) 3-dimensional radar cross section at a depth of z=6.66 cm for gain=20, d) 3-dimensional radar cross section for the same depth when gain=30.

Betonarme yapılarda demirin oksitlenmesi ile korozyon (paslanma) oluşur. Oksijen ve rutubet donatıda korozyon oluşturarak donatının zarar görmesine sebep olur. Oluşturduğumuz kolon yapısının nemlilik durumunu ortaya koymak amacıyla yapı üzerinde yatayda 15 cm aralıklarla 3, düşeyde ise 10 cm aralıklarda 9 olmak üzere toplam 27 noktada elektrik özdirenç ölçüleri alınmıştır. Ölçüler; elektrotlar arası 50 mm olan Resipod Proceq mini özdirenç aleti kullanılarak Wenner dizilimi ile alınmıştır (Proceq Resipod 2013). Alınan ölçülerden yapıya ait özdirenç haritası oluşturulmuştur (Şekil 7). Şekil incelendiğinde özdirenç değerlerinin 5 ve 39 k Ω .cm arasında değiştiği görülmektedir. Oluşturulan betonarme yapının 45 günlük olduğu düşünülürse, elde edilen sonuçların betonun nemli olması nedeniyle düşük olduğu ve yapının korozyon durumu hakkında yorum yapılmasına uygun olmadığı söylenebilir.



Şekil 7. a) Betonarme yapı üzerinde elektrik özdirenç ölçü alınımının görünümü, b) Betonarme kolon yapısı üzerinde alınan ölçülerden oluşturulmuş özdirenç haritası

Figure 7. a) The appearance of electrical resistivity measurement on reinforced concrete structure, b) The resistivity map constructed from the measurements taken on the reinforced concrete column structure

SONUÇLAR

Bu çalışmada bir köprü yapısına ait betonarme yapının beton kalitesi, donatı durumu ve nemlilik durumu araştırılmıştır. Ultrasonik ölçülerden betonun kalite haritası elde edilmiştir. Haritadan yapının içinde kırık çatlak olmadığı, ancak betonun özenle dökülmesine rağmen homojen bir yapıda olmadığı, bazı yerlerinin daha sağlam, bazı yerlerinin ise nispeten düşük kalitede olduğu anlaşılmıştır. Yer radarı ölçülerinden yapı içerisindeki boyuna donatıların, etriyelerin ve paspaylarının tespiti yapılmıştır. Köprü yapısına ait donatı ve etriyelerin derinlik ve konum bilgileri ile alınan ölçümlerle elde edilen veriler karşılaştırılarak radar kesitlerinin yapının görüntüsünü doğru olarak ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapı üzerinde yapılan elektrik özdirenç ölçülerinden yapıya ait nemlilik haritası oluşturulmuştur. Harita incelendiğinde, nemlilik oranının daha yüksek olduğu gözlemlenen kolonun üst kısımlarında, özdirenç değerlerinde düştüğü belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, kullanılan yöntemlerin hızlı ve yapıya bir hasar vermeden uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kapsamında oluşturulan numuneler Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Bu kapsamda Mapa İnşaat Proje Müdür Yardımcısı Sayın Alaeddin AYDOĞDU'ya ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Bu çalışma FAY-2016-5555 nolu KTÜ Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Akevren S., 2010. Non-destructive examination of stone masonry historic structures quantitative IR thermography and ultrasonic testing. MSc Dissertation, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Babacan, A.E., Ersoy, H. and Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. 36 (1).
- Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2012. The Investigation of Building Structure Quality with the Method of Ultrasonic Velocity and Schmidt Hammer. 4th EAGE St.Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences - New Discoveries through Integration of Geosciences. St.Petersburg, Russia. DOI: 10.3997/2214-4609.20145581.
- Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2015. Ultrasonic Investigations of Marble Columns of Historical Structures Built in Two Different Periods. Carbonates and Evaporites. 30: 357. <https://doi.org/10.1007/S13146-015-0233-X>
- Barroso E, Silva L, Polivanov H., 2006. Weathering and deterioration evaluation of a Brazilian cultural heritage building, IAEG
- Cecire A.S., 2003. Nondestructive evaluation of historic structures. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology
- Cheilakou E, Theodorakeas P, Kouli M, Moustakidis S ve Zeris C., 2013. Determination of Reinforcement and Tendon Ducts Positions on Pre-Stressed Concrete Bridges by Means of Ground
- Davis J.L. ve Annan A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208
- Diana G, Fais S., 2010. IR thermography and ultrasonic investigations in the cultural heritage field. In: 15th international conference on "cultural heritage and new technologies", Vienna
- Gosa lbez J, Salazar A, Bosch I, Miralles R, Vergara L 2006. Application of ultrasonic nondestructive testing to the diagnosis of consolidation of a restored dome. Mater Eval 64(5):492-497
- Hannachi S ve Guetteche MN 2012. Application of the Combined Method for Evaluating the Compressive Strength of Concrete on Site, Open Journal of Civil Engineering, 16-21
- Tareco H, Grangeia C, Varum H, and Senos Matias M 2009. A high resolution GPR experiment to characterize the internal structure of a damaged adobe Wall, first break 27, 79-84.
- Jones R and Gatfield EN, 1955. Testing concrete by an ultrasonic pulse tech. Paper No.34, London
- Lemoni E, Christaras B 1999. Classification of soils for urban planning, using in situ ultrasonic velocity techniques, geotechnical engineering for transportation in infrastructure. Balkema, Rotterdam, pp 393-399.

Martí'nez-Martí'neza J, Benevento D, Garcí'a-del-Curaa MA 2011. Spatial attenuation: the most sensitive ultrasonic parameter for detecting petrographic feature sand decay processes in carbonate rocks, *Eng Geol* 9:84–95

Mechbal Z, Khamlichi A 2017. Determination of concrete rebars characteristics by enhanced post-processing of GPR scan raw data, *NDT E Int.*, 89, 30–39

Nuzzo L, Calia A, Liberatore D, Masini N, Rizzo E, 2010. Integration of ground-penetrating radar, ultrasonic test and infrared thermography for the analysis of a precious medieval rose window. *Adv Geosci* 24:69–82

Özçelik E, 2017. Beton ve Betonarme Yapıların Yapı Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Penetrating Radar (GPR), 5th International Conference on NDT of HSNT- IC MINDT 2013, Athens, Greece, art. no P.10.5, CD ROM.

Popovics JS 2003. NDE Techniques for concrete and masonry structures, *Prog Struct Eng Mater* 5:49–59

Proceq Resipod Family, 2013. Operating Instructions Concrete Durability Testing

Siedel H, Siegesmund S 2011. Characterization of stone deterioration on buildings. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 347–410

Siegesmund S, Du'rrast H 2011. Physical and mechanical properties of rocks. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 97–225

Solla M; Asorey-Cacheda R; Núñez-Nieto X; Conde-Carnero B 2016. Evaluation of historical bridges through recreation of GPR models with the FDTD algorithm. *NDT E Int.* 77, 19–27

Telford WM, Geldart LP ve Sheriff RE 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. 770 p

Uyanık O, Kaptan K, Gülay FG ve Tezcan S 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Yapı Dünyası* 184, 55-58

Uyanık O, Gülay FG ve Tezcan S 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Hazır Beton CV* 436f, 82-85

Whitehurst EA 1951. Soniscope Test Concrete Structures, *Journal of American Concrete Institute, Proceeding*, 47, pp, 443-444.