

# **Betonarme Yapılarda Yapı Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması**

## **Investigation of Structure Quality In Reinforced Concrete Structures By Geophysical Methods**

**Emre Özçelik, Kenan Gelişli**

Yfa Yerbilimleri Mühendislik Hizmetleri, Bayraktarlar İş Merkezi, Trabzon

Tel: (0462) 326 09 30

E-Posta: emreozcelikk@gmail.com

### **Öz**

Betonarme yapıların yapı kalitesi araştırmalarında, beton kalite ve dayanım, kırık-çatlak, donatı, donatı korozyon ve nemlilik durum tespitleri yapılmaktadır. Bu amaçla, gerek tahribatlı gerekse de tahribatsız bir takım uygulamalar yapılmaktadır. Yapı kalitesi tespitlerinde kullanılan tahribatsız jeofizik yöntemlerden ultrasonik yöntem ile beton kalite ve dayanım tespitleri, kırık-çatlak tespitleri, yer radarı yöntemi ile donatı, etriye, paspayı ve kırık-çatlak tespitleri, elektrik özdirenç yöntemi ile korozyon ve nemlilik durum tespitleri yapılabilmektedir. Bu çalışmada, beton ve betonarme yapılarda gerçekleştirilmiş jeofizik yöntemlerin uygulama örnekleri verilmektedir. Enine ve boyuna donatılara sahip düşey betonarme numune üzerinde beton kalitesi, kırık, çatlak, donatı, korozyon ve nemlilik durumu araştırmaları yapılmıştır. Çalışmada, ultrasonik yöntem, 2.7 GHz yüksek frekanslı yer radarı yöntemi ve elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Yatay betonarme numunede ise numune içerisinde bulunan donatı, PVC boru ve çelik hasırların tespiti araştırmaları yapılmıştır. Çalışmada 2.7 GHz yüksek frekanslı yer radarı yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan küp beton numuneleri üzerinde ise önce ultrasonik yöntem daha sonra da basınç dayanım testi uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Burada beton dayanım tespiti amaçlanmıştır. Alınan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu, yapıya herhangi bir zarar vermeden uygulanan jeofizik yöntemlerle, hızlı ve ucuz bir şekilde, betonarme bir yapının beton kalite ve dayanım, kırık-çatlak, donatı, çelik hasır, korozyon ve nemlilik durumu tespitlerinin başarı ile yapılabildiği anlaşılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Yapı jeofiziği, Yer radarı, Elektrik özdirenç, Ultrasonik, Korozyon, Beton kalitesi ve dayanımı

### **ABSTRACT**

Concrete quality and strength, fracture-crack, reinforcement, corrosion and moisture condition are determined in the construction quality research of reinforced concrete structures. Destructive and non-destructive applications are being made for this purpose. Non-destructive geophysical methods can be used in building quality determinations. Quality, strength and fracture-crack of concrete can be determined by ultrasonic method. Reinforcement, concrete cover and fracture-crack can be determined by ground

penetrating radar (GPR) method. Corrosion and humidity can be determined by electrical resistivity method. In this study, application examples of geophysical methods in concrete and reinforced concrete structures are given. Concrete quality, fracture-crack, reinforcement, corrosion and humidity conditions were investigated in vertical reinforced concrete sample. Ultrasonic, GPR and electrical resistivity methods were used. In the horizontal reinforced concrete sample the reinforcement, pvc pipe and steel mesh were investigated using GPR method. Concrete strength determination was aimed on the concrete samples ultrasonic method and compressive strength test were applied and the results were compared. When the measurements are evaluated, it is understood without any damage to the structure, determination of steelbars and pipes, concrete quality and strength, detection of fractures and degree of corrosion and humidity in construction can be determined fast and cheap by geophysical methods.

**Keywords:** Geophysical methods in structure, Ground penetrating radar, Electrical resistivity, Ultrasonic, Corrosion, Concrete quality and strength

## Giriş

Türkiye aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Geçmişte Türkiye'nin coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir ve bu depremler gelecekte de gerçekleşecektir. Bu yüzden yapıların sağlamlığı oldukça önemlidir. Taşıyıcı elemanların içerisindeki donatı sayısı, çap ve konumlarının tespiti, yapı elemanları içerisinde kırık ve çatlakların belirlenmesi, yapı elemanlarında korozyon tespiti gibi birçok faktör de yapının sağlamlığında önemli parametrelerdir.

Günümüzde yapı denetiminde, beton dayanım tespiti için en sık kullanılan test yöntemi tek eksenli basınç deneyidir. Bu yöntemde beton dökümü sırasında oluşturulan ya da mevcut yapıdan karot makinaları ile alınan beton numunelerine 7 veya 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra test uygulanır. Özellikle mevcut yapılardan alınan karot numuneleri yapıya hasar verir. Ayrıca sonuçları bölgesel bilgi verir. Yapı denetiminde kullanılan bir diğer alet Schmidt Çekici'dir. Schmidt Çekici yöntemi, yüzey sertlik değerini ölçerek betonun basınç dayanımına yaklaşım yapmakta kullanılır.

Betonarme yapı içerisindeki donatı çubukları tespit etmek için en sık sıyırma tekniği ve donatı tespit cihazı (Micro covermeter) kullanılmaktadır. Sıyırma tekniği yapıda tahribata yol açar. Donatı tespit cihazı kullanılarak beton içerisindeki donatı çubuklarının yerleri, sayıları, donatı çubuklarını saran etriye sayıları, aralıkları ya da etriyenin olup olmadığı ve donatı çubukları ile etriyenin projeye uygunluğu araştırılır. Donatı tespit cihazı sadece demir donatıyı bulur ve malzemenin bozulma durumu ve deformasyonları hakkında herhangi bir bilgi sağlamaz. Eğer birden fazla donatı varsa bu durumda sinyalin şiddeti yanlış yorumlanabilir. Ayrıca araştırma derinliği düşüktür.

İnşaat yapılarının sağlamlık testleri veya projeye uygunluk durumları, yapılara zarar vermeden, hızlı bir şekilde jeofizik yöntemlerle araştırılabilmektedir. Yapı jeofiziği başlığı altında yapılarda yapılan çalışmalarda ultrasonik yöntem ile beton kalitesinin belirlenmesinde sismik hızlar kullanılmaktadır. Bu hızlar yapı üzerinde veya yapıdan alınan numune üzerinde belirlenebilir. Ultrasonik yöntemden elde edilen hızlardan beton dayanımı da tespit edilebilir. Ayrıca betonarme yapılarda mevcut kırık ve

çatlaklar yine ultrasonik yöntem ile tespit edilebilir. Diğer bir jeofizik yöntem yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) yöntemi ile elektromanyetik dalgalar yardımıyla yapıların donatıları, paspayları, kırık-çatlakları tespit edilebilmektedir. Bir başka jeofizik yöntem olan elektrik özdirenç yöntemi ile ise betonarme yapıların özdirençleri ölçülerek korozyon ve nemlilik durum tespitleri yapılabilmektedir. Yapı Jeofiziği uygulamalarının en önemli avantajları çok hızlı olması ve sonuçları hemen vermesidir. İncelenen betonarme yapıdan bir örnek almaya gerek yoktur. Dolayısıyla yapıya zarar vermeden sağlamlığı incelenebilir. Yapı Jeofiziği çalışmalarında yapının tamamı “cm” hassasiyetinde incelenebilir. Yani yapının bir tomografik görüntüsü elde edilmiş olur. Yapının hangi bölümleri sorunlu, hangi bölümleri sorunlu değil belirlenebilir (Candansayar, 2012).

Bu çalışmada, düşey betonarme kolon yapısı oluşturulup içerisine enine ve boyuna donatılar konulmuştur. Ultrasonik yöntem uygulanarak beton kalite tespitine, yer radarı yöntemi uygulanarak donatı ve etriyelerin tespitine, özdirenç yöntemi uygulanarak korozyon ve nemlilik tespitine çalışılmıştır. Küp beton numuneleri oluşturulup kür havuzunda 28 gün bekletilip önce ultrasonik yöntem uygulanarak ölçümler alınıp daha sonra numunelere basınç dayanım testi uygulanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burada  $V_p$  hızından basınç dayanımı tespiti amaçlanmıştır. Yatay betonarme yapı oluşturulup içerisine farklı boyutlarda donatılar, borular ve çelik hasırlar konulmuştur. Burada yer radarı yöntemi uygulanarak malzemelerin tespiti amaçlanmıştır.

## Yöntemler

Çalışmada jeofizik yöntemlerden ultrasonik, yer radarı ve özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Yer radarı yöntemi, yüzeyin sığ derinliklerini araştırmak için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir. Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması, santimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) görüntülemenin yapılabilmesi bu yöntemin, en önemli avantajlarıdır. Bir yer radarı sistemi verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Verici anten aracılığıyla malzeme içerisine çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar gönderilir. Yeraltında malzemede ilerleyen dalgaların bir kısmı karşılaştıkları cisimlerden veya malzemenin dielektrik özelliklerindeki değişimler nedeniyle saçılarak alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımıyla zamanın fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Dalgaların diğer kısmı ise daha derinlere iner. Bir noktadaki ölçüm zamana göre alıcı antene ulaşan elektromanyetik dalgaya ait genlik değerleridir. Verici antenden çıkan elektromanyetik dalgaların yer içinde ilerleme hızı, ortamın dielektrik sabitine ve manyetik geçirgenliğine bağlıdır. Dalganın nüfuz derinliği dalganın frekansına ve ilerlediği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır (Annan, 2000).

Ultrason, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı ses dalgalarına verilen addır. Ultrasonik yöntem, numuneden ultrason dalgaları geçirerek kaydedilen yayılma sürelerinden dalga hızlarının elde edilmesi prensibine dayanır. Jeofizik mühendisliğinde yapılarda sismik ultrasonik yöntem ile P boyuna dalga hızı (m/s) ve S enine dalga hızı (m/s) elde edilir. Elde edilen hız değerleri ile beton çatlaklığı, gözenekliliği, nemliliği, homojenliği, elastik parametreleri ve Poisson oranı belirlenerek betonun kalitesi ortaya konulur. Ultrasonik hız ölçüm ekipmanları; ultrasonik hız ölçüm cihazı, verici (Tx) ve alıcı (Rx) probaları ile yüksek voltaj puls üreticinden oluşur. Vericiden çıkan dalgalar

numune içerisinde hareket edip alıcıya ulaşır. Sismik dalga hızı Tx ve Rx arasındaki uzaklığın geçiş zamanı oranıdır (Uyanık ve diğ., 2013).

Özdirenç yönteminde, malzeme üzerinde tutulan elektrotlar ile malzemeye akım uygulanır ve diğer noktadaki elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Ölçülen gerilim farkı, tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Yapı jeofiziği uygulamalarında daha çok Wenner elektrod dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimde dışta akım elektrotları, içte gerilim elektrotları bir doğru boyunca dizilir ve ardışık elektrotlar arasındaki mesafe eşittir (Özçelik, 2017).

Bu çalışmada oluşturulan 60x100x30 cm'lik betonarme yapıda yatayda 15 cm aralıklarla 3 nokta, düşeyde 10 cm aralıklarla 9 nokta olmak üzere toplam 27 noktada ultrasonik ölçüm yapıp ultrasonik hız haritası oluşturulmuştur. Ultrasonik hız haritasına bakıldığında hız değerlerinin her yerde aynı olmadığı, numunenin orta kısımlarında hızda bir azalma olduğu görülmüştür (Şekil 1).



**Şekil 1.** Düşey betonarme numunesinin görüntüsü, ultrasonik hız ölçüm görüntüsü ve ultrasonik hız haritası.

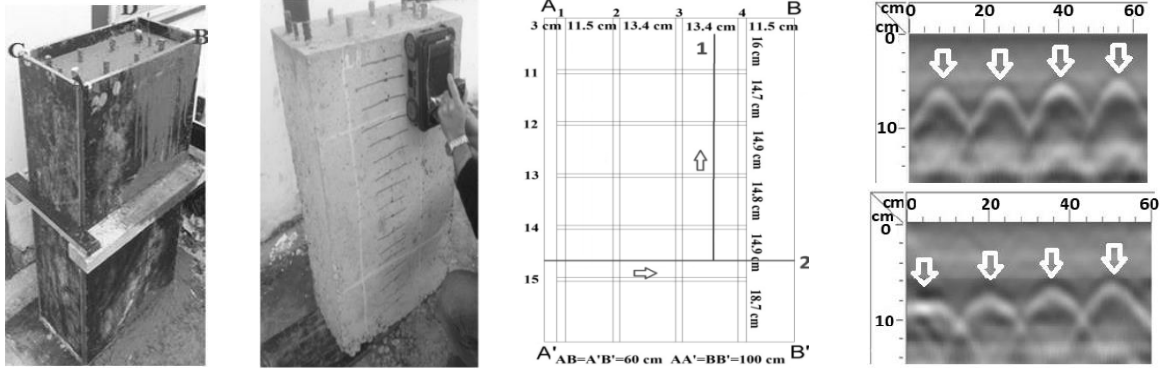
Çalışma kapsamında 27 adet 15x15x15 cm küp beton numunesi oluşturulup ve 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra ilk olarak numunelerde ultrasonik ölçümler yapılmış daha sonra aynı numunelere basınç dayanım testi uygulanmıştır (Şekil 2). Ultrasonik hız değerlerinden (Vp) ampirik olarak geliştirilmiş (1) bağıntısı kullanılarak basınç dayanım değerleri (fc) elde edilmiştir. Bu yolla hesaplanan basınç dayanım değerleri ve basınç dayanım testi sonuçları karşılaştırılmış, değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

$$f_c = 2.6 V_p^{(1.8)} \quad V_p: \text{km/sn} \quad f_c: \text{MPa} \quad (\text{Uyanık ve diğ., 2011}) \quad (1)$$

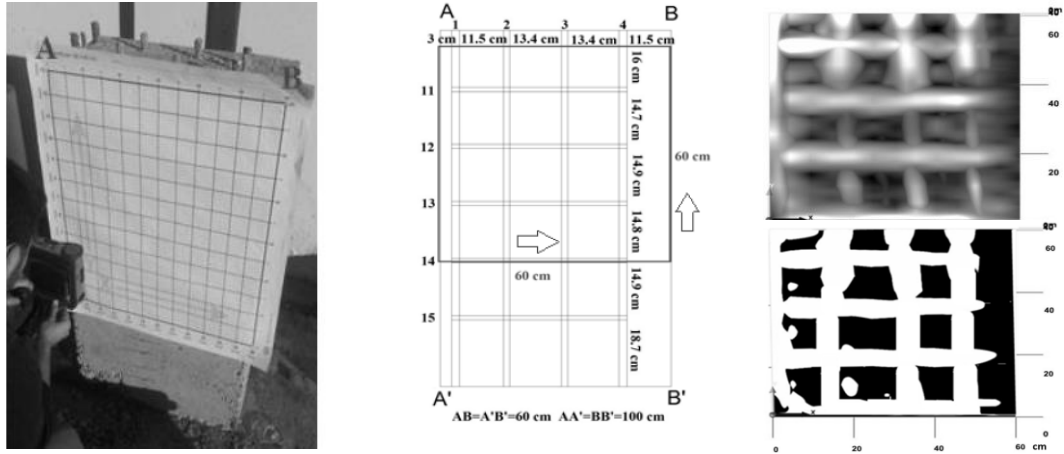


**Şekil 2.** Küp beton numunelerinin havuzda görüntüsü, ultrasonik ölçümden ve basınç dayanım testinden bir görüntü.

Çalışma kapsamında oluşturulan düşey betonarme yapıda yer radarı yöntemi ile numune içerisindeki donatıların tespiti için 1 adet yatay 1 adet düşey ölçüm alınmış, işlenen verilerden oluşturulan 2 boyutlu kesitlerden donatılar ve paspayları tespit edilmiştir. 2 boyutlu kesitlerde, düşey profil hattı içerisindeki 4 adet enine donatı ve yatay profil hattı içerisindeki 4 adet boyuna donatı ile donatıların buldukları derinlik yani paspayları net bir şekilde görülmüştür (Şekil 3). Düşey numune üzerinde 5 cm aralıklı 60x60 cm'lik yatay ve düşey 13'er, toplamda 26 adet ölçüm ile donatıların 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiştir. Donatıların bulunduğu derinlikteki 3 boyutlu gösterimde 4 adet enine ve 4 adet boyuna donatı net bir şekilde görülmüştür (Şekil 4).

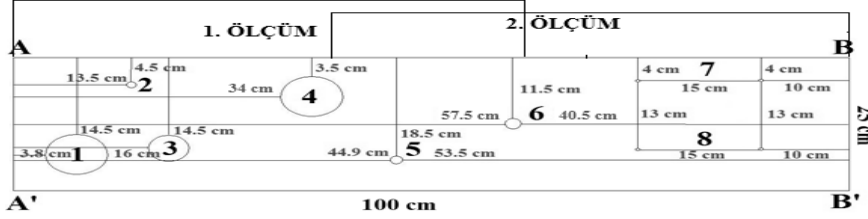
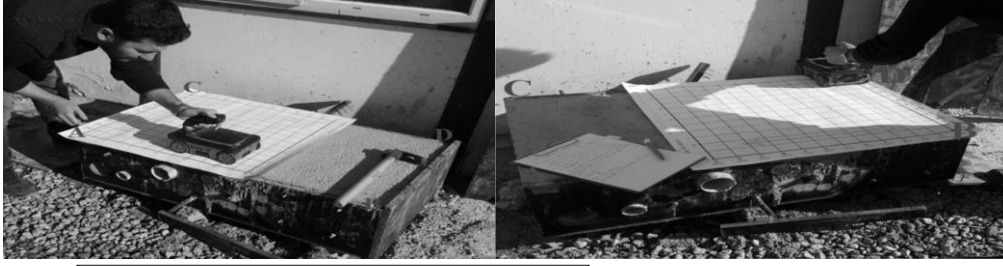


**Şekil 3.** Düşey numune görüntüsü, yer radarı ölçüm anından bir görüntü, ölçüm profil hatları, düşey ve yatay ölçüm sonuçlarının 2 boyutlu gösterimi.



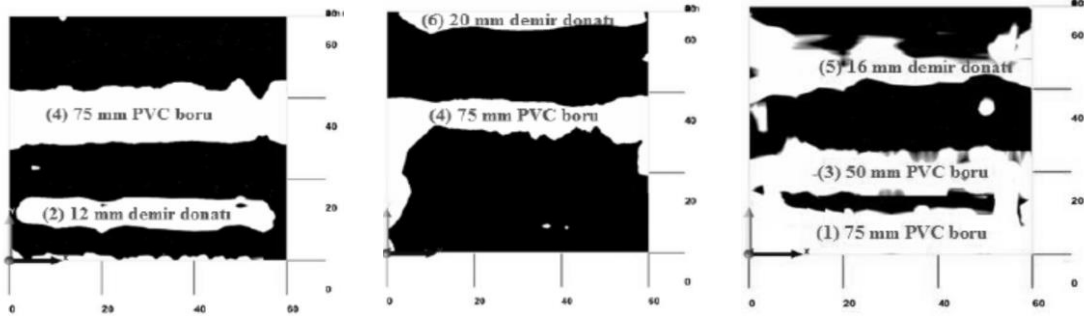
**Şekil 4.** Düşey betonarme yapıda yer radarı yöntemi ölçüm anı, numune üzerinde ölçüm alanı ve ölçüm sonuçlarının 2 farklı gain (kazanç) değerinde z=6.66 cm derinlikte 3B gösterimi.

Çalışma kapsamında oluşturulan 100x60x25 cm'lik yatay betonarme yapıya PVC boru, çelik donatılar ve çelik hasırlar yerleştirilmiştir. Numunenin üzerinde 2 farklı ölçüm yapılmıştır. 3B görüntü elde edebilmek için 60x60cm grid kağıdı kullanılarak yatay 13 ve düşey 13 profilde ölçümler yapılmıştır. 1. ölçümde profiller CA kesiti üzerinden, 2. ölçümde BD kesti üzerinden başlamıştır. Numune içerisindeki 1,3 ve 4 numaralı malzemeler sırasıyla 75, 50 ve 75 mm çapında PVC boru, 2, 5 ve 6 numaralı malzemeler sırasıyla 12, 16 ve 20 mm çapında çelik donatılardır. 7 ve 8 numaralı malzemeler ise 5 mm çapında çelik hasır malzemesidir. Numune üzerindeki ölçüm alanları ve kapsadığı malzemeler Şekil 5'te görülmektedir.

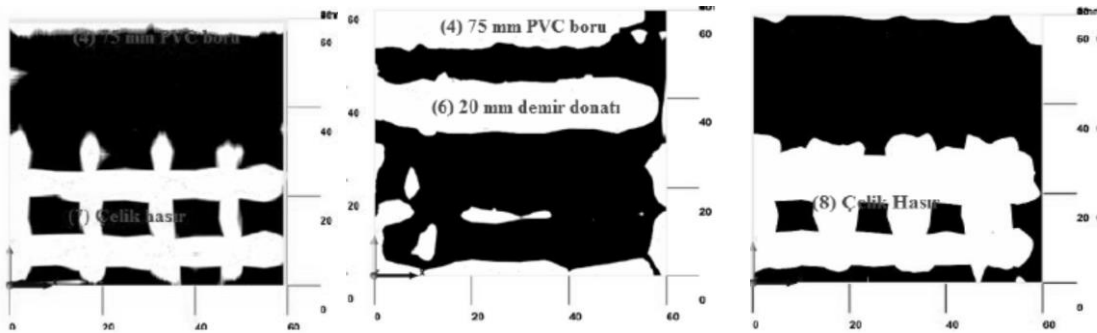


Şekil 5. Yatay betonarme yapıda 1. ve 2. ölçüm hatlarından yer radarı yöntemi ölçüm anı ile numunedeki malzemelerin konumları.

1. ve 2. ölçüm sonucu elde edilen farklı derinlikteki görüntüler incelenip numune içerisindeki tüm malzemeler tespit edilmiştir. 1. ölçüm hattındaki 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı malzemelerin görüntüleri Şekil 6'da, 2. ölçüm hattındaki 4, 6, 7 ve 8 numaraları malzemelerin görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



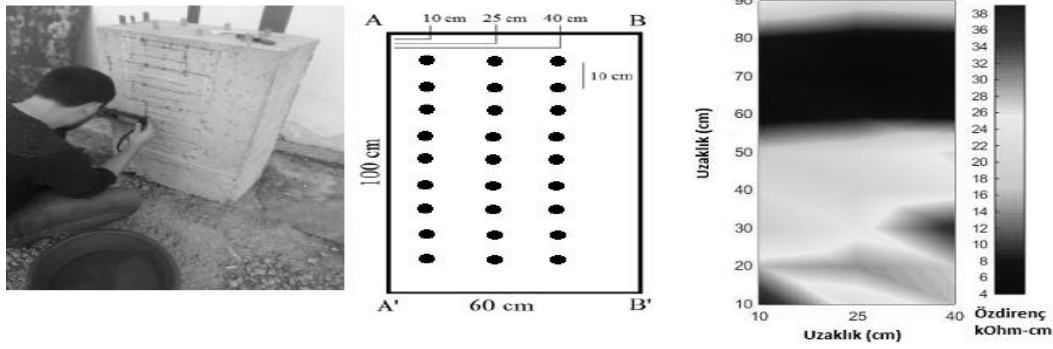
Şekil 6. 1. ölçüm sonucu elde edilen  $z=5.54$  cm,  $z=12.79$  cm ve  $z=19.48$  cm derinliklerindeki 3B gösterimler.



Şekil 7. 2. ölçüm sonucu elde edilen  $z=4.43$  cm,  $z=13.36$  cm ve  $z=17.82$  cm derinliklerindeki 3B gösterimler.

Çalışma kapsamında oluşturulan düşey betonarme yapıda korozyon ve nemlilik durumu tespiti için elektrik özdirenç ölçümleri yapıp özdirenç haritası oluşturulmuş, nemlilik

hakkında yorum yapılmıştır. Özdirenç haritasında numunenin üst kısımlarındaki nemlilik sebebiyle özdirenç değerlerinin düştüğü görülmüştür (Şekil 8).



**Şekil 8.** Betonarme yapı üzerinde elektrik özdirenç ölçü alınımının görüntüsü, ölçüm noktaları ve özdirenç haritası.

## Bulgular ve Sonuç

Bu çalışmada 3 farklı jeofizik yöntem ile ölçümler alınmıştır. Düşey betonarme numunede ultrasonik hız değerleri 3816 m/sn ile 4128 m/sn arasında ölçülmüştür. Ultrasonik hız değerlerine göre beton kalite sınıflamasına bakıldığında beton kalitesi “iyi” olarak tespit edilmiştir. Hız haritasına bakıldığında düşeyde 50-60 cm aralığında hızda bir azalış görülmüştür. Buradaki azalışın yapının o kısımlarındaki çatlaklardan kaynaklandığı söylenebilir. Küp beton numunelerinde yapılan ultrasonik ölçümleri sonucu elde edilen hız değerlerinden beton basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Bu değerler beton basınç dayanım testi sonucu elde edilen dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür. Yer radarı yöntemi ile düşey betonarme yapıda bir profil düşey ölçüm alınarak profil içerisinde yer alan 4 adet yatay donatı ve bir profil yatay ölçüm alınarak profil içerisinde yer alan 4 adet düşey donatı 2 boyutlu kesitlerde net bir şekilde görülmüştür. Yer radarı yöntemiyle yatay betonarme yapıda iki farklı bölgede yatay ve düşey profiller birleştirilerek elde edilen 3 boyutlu görüntülerden, farklı derinliklerde bulunan farklı çaptaki donatılar, pvc borular ve çelik hasırlar net bir şekilde tespit edilmiştir. Elektrik özdirenç yöntemi ile düşey betonarme yapı üzerinde yapılan ölçümlerde özdirenç değerleri 5-40 kOhm.cm arasında ölçülmüştür. Bu değerler korozyon riski haritasında “orta dereceli korozyon riski” olarak belirlense de numunenin yeni olması sebebiyle özdirenç değerlerinin düşük olma nedeninin daha çok nemlilik ile ilişkili olduğu söylenebilir. Haritada düşey uzaklıklarda bakıldığında 50-90 cm aralığında özdirenç değerlerindeki azalmanın bu kısımdaki nemliliğinin daha yüksek olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan numunelere uygulanan yer radarı yöntemi ile boyuna donatı, etriye, paspayı, boru ve hasır tespitlerinin yapılabileceği, ultrasonik yöntem ile beton kalitesi, basınç dayanımı ve kırık-çatlak tespitlerinin yapılabileceği, elektrik yöntem ile korozyon ve nemlilik durum tespitlerinin yapılabileceği sonuçlarına varılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kullanılan yöntemlerin hızlı ve yapıya bir hasar vermeden uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

## **Teşekkür**

Çalışmada kapsamında kullanılan numuneler Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi (Trabzon) Yapı Denetim Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Firmanın imkanlarını kullanmamıza izin veren Mapa İnşaat Proje Müdür Yardımcısı Sayın Alaeddin AYDOĞDU 'ya ve çalışmalarda yardımları olan laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

Annan, A.P. (2000) Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors and Software Inc., Canada.

Candansayar M.E. (2012) Yapı Jeofiziği. TMMOB JFMO Jeofizik Bülteni, 6 S.

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

Uyanık O., Kaptan, K., Gülay, F.G. ve Tezcan, S. (2011) Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. Yapı Dünyası 184, s. 55-58.

Uyanık, O., Şenli, G. ve Çatlıoğlu, B. (2013) Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi. SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi s. 5(2):156-165.