
Araştırma Makalesi / Research Article

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Binasının Yer Radarı (GPR) Yöntemi ile Hasarsız İncelenmesi

Sinan KOŞAROĞLU *, Erkan TAŞTAN, Funda BİLİM

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, SİVAS

Özet

Yüksek frekanslı Yer radarı (GPR) yöntemi binaların hasarsız incelenmesinde çok kullanışlı olduğunu ortaya koymaktadır. GPR hızlı, sessiz ve binada bir bozulmaya sebep olmadığı için özellikle tarihsel binaların incelenmesi için kullanışlı bir yöntemdir. Bu makale, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B Binasının ana taşıyıcı unsurlarından bazı perde duvarların Yer Radarı (GPR) yöntemi ile incelenmesini sunmaktadır. GPR ölçümünde 1600 MHz anten kullanılmıştır. Çalışmada, seçilen perde duvarlardaki yatay ve dikey donatıların kalınlıkları, konumları ve aşınma zonları belirlenmiştir. Ayrıca makale yüksek frekanslı GPR yönteminin binaların hasarsız incelenmesinde etkisini vurgulamaktadır

Anahtar Kelimeler Yer Radarı Yöntemi (GPR); Perde Duvar; Donatı.

Non-destructive Investigation of Engineering Faculty Building of Cumhuriyet University using Ground Penetrating Radar (GPR) Method

Abstract

The high frequency Ground Penetrating Radar (GPR) method has proven to be very useful in non-destructive building investigations. GPR is particularly useful for historic buildings investigation because it is rapid, silent and does not harmful in occupied buildings. This paper presents the investigation of some curtain walls that are main carrier systems of "B" Building of Engineering Faculty of Cumhuriyet University by Ground Penetrating Radar (GPR) method. The 1600 MHz antenna was used for the GPR survey. In this study, the horizontal and vertical reinforcement, their thickness, locations and corrosion zones were determined at the selected curtain walls. In addition, this paper highlights the effectiveness of the high-frequency GPR at the non-destructive investigation of buildings

Keywords: Ground-Penetrating Radar (GPR) Method; Curtain walls; Reinforcement

1. Giriş

Yer radarı yöntemi (GPR; Ground Penetrating Radar) özellikle sayısal veri elde eden cihazların geliştirilmesi ile birlikte 1980'li yıllardan beri sığ yüzey araştırmalarında sıklıkla kullanılan jeofizik yöntemlerinden birisidir. Yöntemde 10MHz - 2.5GHz arasında değişen elektromanyetik sinyal kullanılmaktadır. Sinyal yer içinde yayılırken küresel yayılmadan dolayı sönmeye ve saçılmaya uğramaktadır. Sönümleme (absorption) yer içine doğru küresel olarak yayılan elektromanyetik dalgadaki enerji kaybından dolayı genlik azalması ile ilgilidir. Saçılma (dispersion) ise dalga parametrelerinin frekansa bağlı olması yüzünden elektromanyetik sinyaldeki deformasyonu tanımlamaktadır. Genellikle sinyalin yüksek frekanslı bileşimi, düşük frekanslı bileşimine göre daha fazla sönmeye uğramaktadır. Bu nedenle elektromanyetik dalgalar frekansa bağlı bir sönmeye uğrar. Sönümleme materyalin efektif iletkenliğine (effective conductivity) bağlıdır. Efektif iletkenlik ise gerçek elektrik iletkenliğinin (actual electric conductivity) gerçel bölümü ve dielektrik permitivitenin sanal bölümünün fonksiyonudur [1].

*Sorumlu yazar: skosaroglu@cumhuriyet.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.05.2016, Kabul Tarihi: 16.06.2016

Yöntemin kullanımının kolay olması, hızlı veri toplanabilmesi, ölçü alınan alana zarar vermemesi, santimetre hatta milimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki ve/veya üç boyutlu yeraltı görüntüsü oluşturabilmesi nedeni ile arkeoloji [2, 3, 4, 5,6], mühendislik jeofiziği [7, 8, 9,10], yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespiti [11, 12, 13,14] ve çevresel amaçlı çalışmalarda [15, 16,17] sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur.

Son yıllarda GPR yöntemi yapı incelemelerinde yapının taşıyıcı elemanlarından özellikle kolon ve perdelerdeki donatıların belirlenmesi ve görüntülenmesi, kolonlarda kırık ve çatlakların tespitinde kullanılan en popüler yöntemlerden birisi olmuştur [18, 19, 20,21].

Bu çalışmada; 1974 yılında inşa edilen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B Binasının taşıyıcı elemanlarından seçilen perde duvarlarındaki donatıların belirlenmesinde ilk kez yer radarı yöntemi kullanılmış ve sonuçları sunulmuştur

2. Yer Radarı Kuramı

Yer radarı yöntemi yakın yüzey sığ araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı (10 MHz- 2.5 GHz) elektromanyetik (EM) jeofizik yöntemidir. Elektromanyetik alan Maxwell denklemleri olarak bilinen dört temel bağıntı ile tanımlanır [22]:

$$\text{curl}\bar{E} = -\frac{\partial\bar{B}}{\partial t} \quad (\text{Faraday Kanunu}) \quad (1)$$

$$\text{curl}\bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial\bar{D}}{\partial t} \quad (\text{Amper Kanunu}) \quad (2)$$

$$\text{div}\bar{D} = q \quad (\text{Gauss Kanunu}) \quad (3)$$

$$\text{div}\bar{B} = 0 \quad (\text{Manyetik alan için Gauss Kanunu}) \quad (4)$$

Burada; E= Elektrik alan şiddeti (V/m); H= Manyetik alan şiddeti (A/m); D= Elektrik akı yoğunluğu (C/m^2); J= elektrik akım yoğunluğu (A/m^2); q= elektrik yük yoğunluğu (C/m^3); t= zaman (s)'dir [22].

Maxwell denklemleri elektrik ve manyetik alan çiftini tanımlar [22]. (1) nolu eşitlik zamanın bir fonksiyonu olan manyetik alanın ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesini ve bu yük hareketiyle kapalı döngüsel bir elektrik alan oluşumunu ifade etmektedir. (2) nolu eşitlik ise elektrik akımlarının manyetik alan oluşturduğunu ifade eder. (3) nolu eşitlik Gauss Kanunu olarak bilinir. Bir yüzeyden geçen elektrik akı elektrik alan şiddeti ile yüzey alanının çarpımına eşittir. Bu akı eğri yüzeyler için Gauss kanununu oluşturur. (4) nolu eşitlik manyetik alanın skaler kaynağının olmadığını ve herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısının sıfır olduğunu ifade eder.

Genel hatları ile bir yer radarı verici anten, alıcı anten ve kayıtçıdan oluşur (Şekil 1). Verici anten, birkaç nanosaniye süreli bir elektromanyetik sinyali yeraltına yarar. Alıcı anten ise yeraltında faklı elektrik özelliklere sahip ortamlara çarparak geri dönen sinyali kaydeder.



Şekil 1. GPR sisteminin üç ana bileşenin gösterimi; a) Verici ve alıcı anten (1600 MHz) b) Antenden gelen verileri sayısallaştıran kontrol ünitesi c) Ölçüm sırasında ham verinin görünümü

Yeraltında farklı dielektrik özelliğe sahip kayalardan oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma, kırılma, saçılma ve sönmeye uğrar. Elektromanyetik ve dolayısı ile yer radarı yönteminde görecel manyetik permeabilitenin etkisi çok küçük olduğundan ihmal edilir. Elektromanyetik dalga hızı (v) ortamın dielektrik permittivitesi (ϵ) cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanır [23]:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (5)$$

c = ışık hızı (3×10^8 m/s; vakumda). Dielektrik permittivite ile dielektrik katsayısı arasındaki ilişki ise

$$\epsilon = K\epsilon_0 \quad (6)$$

ile tanımlanır. Burada K = Maddenin bağıl permittivitesidir.

Campbell ve Ulrichs [24] tarafından kuru mineral ve kayaç örnekleri üzerinde 450 MHz ve 35 GHz frekansı kullanarak yapmış oldukları ölçümlerde mikrodalga frekanslarında kuru materyallerin ölçülebilir bir dispersiyon göstermediğini söylemişlerdir. Ayrıca düşük yoğunluklu kayaçlarda görecel dielektrik permittivitenin yaklaşık 2.5, yüksek yoğunluklu bazaltik kayaçlarda ise 9.5'a kadar çıktığını göstermişlerdir. Beton gibi insan yapımı materyallerin dielektrik özellikleri içerdikleri karışıma (su, çimento, çakıllı kum v.b.) bağlıdır. Bu tür materyallerin incelenmesinde yüksek frekanslı sinyal (>1GHz) kullanılır. En az 6 ay bekletilen bir betonda yapılan ölçümler (1GHz) görecel dielektrik permittivitenin 4 ile 10 arasında değiştiğini ve sinyal sönmemesinin ise 5 ile 25 dBm^{-1} arasında olduğunu göstermiştir [25].

Yere gönderilen elektromanyetik sinyalin frekansın değeri nüfuz derinliğini, soğrulma miktarını ve saçılma derecesini belirler. Frekans 10 MHz den küçük olduğunda, nüfuz derinliği artar fakat düşey çözünürlük azalır. 300 MHz den yüksek frekanslarda ise madde içerisindeki polarlanabilir unsurlar orijinal yerlerini terk etmeye fırsat bulamayacaklarından elektrik iletkenliğin neden olduğu soğrulmadan etkilenmez. Düşey çözünürlük artar fakat nüfuz derinliği azalır [26]. Örneğin sinyalin 500 MHz ve 1600 MHz'lik frekanslar için düşey ayrımlılık yaklaşık sırası ile 0.05 m ve 0.0125 m; maksimum penetrasyon ise 6 m ve 1 m'dir [27].

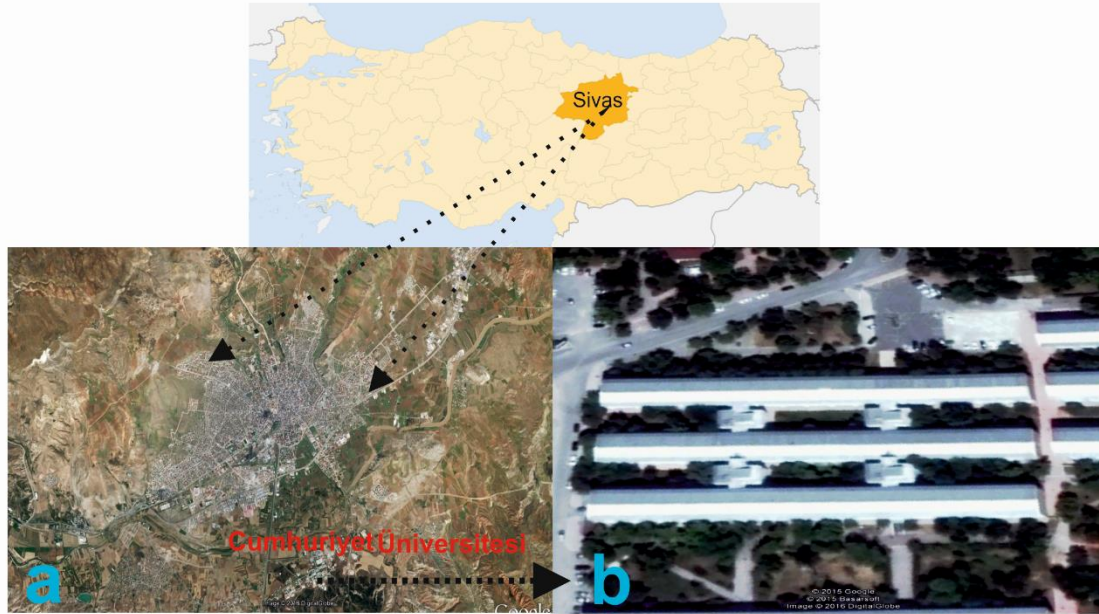
3. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B Binası Uygulaması

Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi Sivas-Kayseri karayolu üzerinde ve Sivas ili merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktadır (Şekil 2). Mühendislik Fakültesi B Binasının statik planlarına ulaşılammıştır. Bina Z+4 katlı olup 9 bloktan oluşmaktadır. Binanın tasarımında 9 adet bloğun birbirlerine kat merdivenleri aracılığı ile bağlantıları sağlanmıştır (Şekil 3).

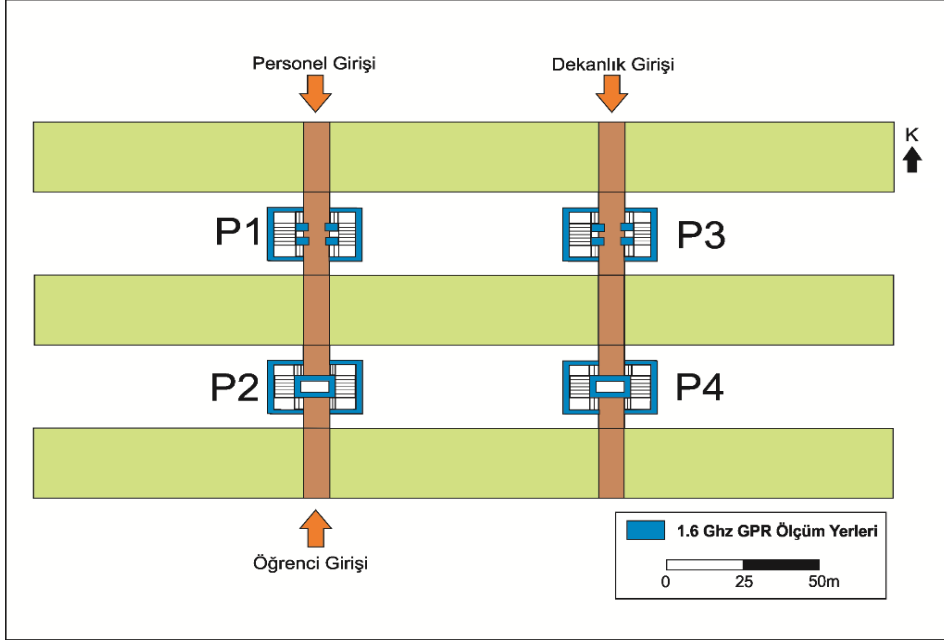
Çalışmada Şekil 3'de verilen P1, P2, P3 ve P4 perde beton donatılar üzerinde $1 \times 1 \text{ m}^2$ 'lik alanlarda x ve y doğrultularında ölçümler 1600 MHz anten kullanılarak alınmıştır. Ölçümlerde x ve y

yönündeki örnekleme aralığı 10 cm'dir (Şekil 4). Tablo 1 de donatıların incelenmesinde kullanılan anten parametreleri verilmiştir. Yapılan ölçümlerde P1 olarak tanımlanan bölgede donatının kafes yapısında olması gerekirken ölçümlerde kaydedilen yansımaların bu bölgede sorunlu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5).

Alınan ölçümlerin 2 boyutlu ve 3 boyutlu değerlendirmesinde 6 ile 8 cm aralığında donatı izlerinin yansımalarının oldukça zayıf oldukları görülmektedir. Bu durumun sebebi araştırıldığında mevcut alan da yer altı su seviyesinin çok yüksek olduğu ve beton üzerinde de suya bağlı olarak hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir. P2 olarak tanımlanan kısım ise kısmen su ile temas etmektedir. Perde duvar üzerinde de duvarın neme maruz kalan bölgesinde donatıdan gelen radar yansımalarının genliklerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı bölgede ki sorunlu kısım 3 boyutlu görüntü üzerine işaretlenmiştir (Şekil 6). Mevcut binanın diğer kısmında bulunan ve P3 ile P4 olarak tanımlanan bölgelerde yapılmış olan radar kesitleri incelendiğinde mevcut donatıyı oluşturan kafes sisteminin korozyona uğramadığı görülmüştür. Mevcut radar yansımaları incelendiğinde binada 6-8 cm derinliğindeki radar yansımalarından donatının durumları ve kalınlıkları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Mevcut bölümler incelendiğinde yer altı suyunun neden olduğu bozunmalar da gözlemlenmemiştir (Şekil 7 ve Şekil 8).



Şekil 2. Sivas ilinin yer bulduru haritası; a) Google Earth uydu görüntüsü (Ekim – 2015)
b) Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B Binasının kuşbakışı görünümü.



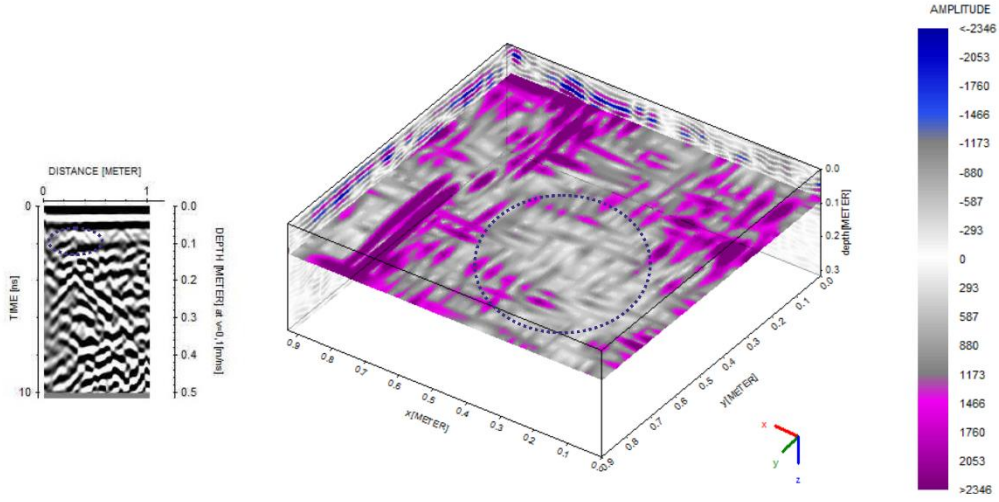
Şekil 3. Mühendislik Fakültesi B binasının Zemin kat planı



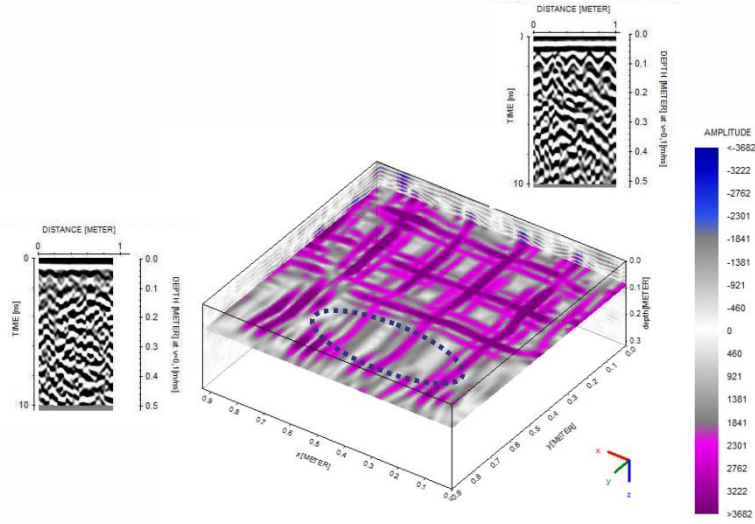
Şekil 4. Mühendislik Fakültesi B binası Perde duvar üzerinde ölçü alımı gösterimi

Tablo 1. Donatıların incelenmesinde kullanılan anten parametreleri

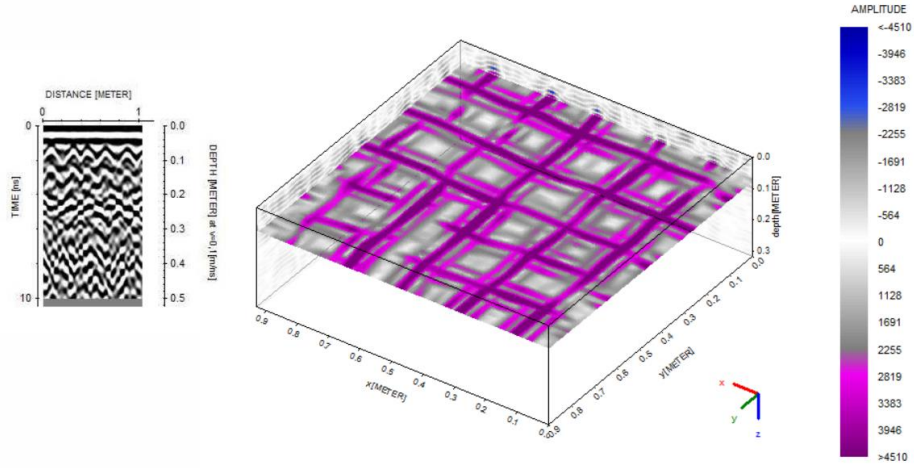
Kullanılan Anten Frekansı	1600 MHz
İz aralığı	0.01 m
Örnekleme aralığı	267
Örnekleme Frekansı	17372 MHz
Zaman Penceresi	12 ns
İz Sayısı	101



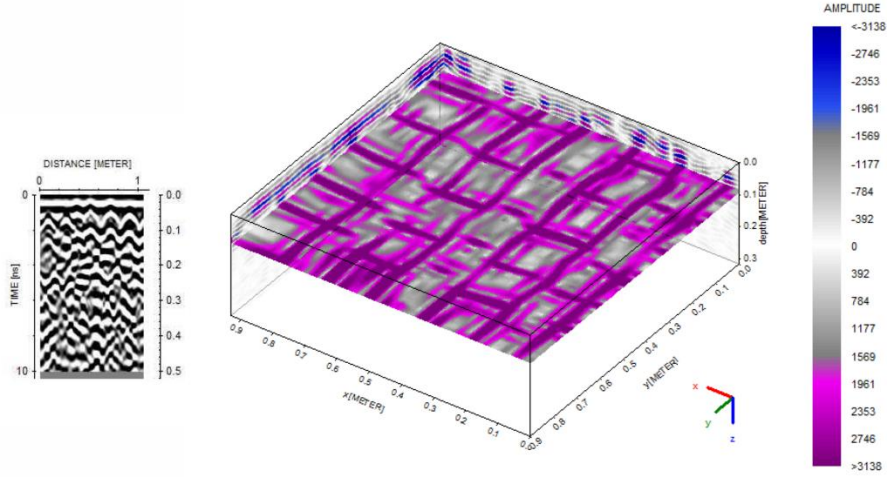
Şekil 5. Şekil 3'te P1 ile gösterilen perde duvar üzerinde seçilen alanda uygulanan 3 boyutlu (3B) GPR görüntüsü ve aynı alanda yapılmış olan 2 boyutlu (2B) GPR görüntüsü. x ve y yönündeki örnekleme aralığı 10 cm ve anten frekansı 1600 MHz dir. Taralı bölge korozyona uğramış alanı göstermektedir



Şekil 6. Şekil 3'te P2 ile gösterilen perde duvar üzerinde seçilen alanda uygulanan 3 boyutlu (3B) GPR görüntüsü ve aynı alanda yapılmış olan 2 boyutlu (2B) GPR görüntüsü. x ve y yönündeki örnekleme aralığı 10 cm ve anten frekansı 1600 MHz dir. Taralı bölge korozyona uğramış alanı göstermektedir



Şekil 7. Şekil 3'te P3 ile gösterilen perde duvar üzerinde seçilen alanda uygulanan 3 boyutlu (3B) GPR görüntüsü ve aynı alanda yapılmış olan 2 boyutlu (2B) GPR görüntüsü. x ve y yönündeki örnekleme aralığı 10 cm ve anten frekansı 1600 MHz dir.



Şekil 8. Şekil 3'te P4 ile gösterilen perde duvar üzerinde seçilen alanda uygulanan 3 boyutlu (3B) GPR görüntüsü ve aynı alanda yapılmış olan 2 boyutlu (2B) GPR görüntüsü. x ve y yönündeki örnekleme aralığı 10 cm ve anten frekansı 1600 MHz dir.

4. Sonuçlar

Yer Rararı (GPR) yöntemi ile binadaki perde kolonlardaki demir donatıları, elemanları ve varsa içindeki kırıntı ve çatlakları başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B binasında yapılmış olan GPR yapı radarı çalışmaları sonucunda tüm binanın donatılarının 2 boyutlu ve 3 boyutlu radar kesitleri elde edilmiştir. Ölçümler sonucunda ayrıca yeraltı suyuna bağlı olarak nemliliğin donatıya zaman içerisinde verdiği hasarda açıkça gözlemlenmiştir. Korozyona maruz kalmış olan demir donatıların radar genlikleri oldukça düşük olduğu hesaplanmıştır. Hasarlı bölümlerde donatının korozyonunun donatının taşıma gücünde kayıplara neden olabileceği olması en büyük tehlikedir. Bu sebeple geçmiş yıllar da yapılmış olan yapının yeraltı su seviyesi yüksek olan kısmında binaya vermiş olduğu hasar ortadadır. Aynı bina da yeraltı su seviyesinin derin olduğu bölümde ise donatının sağlıklı olduğu radar görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu sebeple daha önceki yıllarda yapılmış olan bir bina da binaya hiçbir hasar vermeden taşıyıcı elemanların durumları Yer Radarı (GPR) yöntemiyle hızlı bir şekilde belirlenmiştir. Bu durum yöntemin en büyük üstünlüklerinden birisidir. Ayrıca bundan sonra yapılacak binalarda yalıtım koşullarının ne kadar önemli olduğu da bir kez daha bilimsel veriler ışığında ortaya çıkarılmıştır. Bu binaya ait durum incelendiğinde olası bir

deprem durumunda P1 ve P2 bölgelerindeki donatıların zayıflaması nedeniyle binanın ilk hasarı buradan alacağı unutulmamalıdır

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde ölçü alımına izin veren Cumhuriyet Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Yapı İşleri Daire Başkanlığı'na ve Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma Prof.Dr. Funda BİLİM'in danışmanlığında Yüksek Lisans'ını yürüten Erkan TAŞTAN'ın tez konusunu kapsamaktadır

Kaynaklar

1. Balanis C.A. 1997. Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd Editon. Newyork, Wiley; 959 pp.
2. Cott P.J. 2002. Archaeological geophysics in east Anglia, UK, Archaeological Prospection, 9: 157-161.
3. Rizzo E., Chianese D., Lapenna V. 2005. Magnetic, GPR and geoelectrical measurements for studying the archaeological site of Masseria Nigro (Viggiano, southern Italy), Near Surface Geophysics, 3 (1): 13-19.
4. Yalçiner C.Ç., Bano, M., Kadioglu, M., Karabacak, V., Meghraoui, M., Altunel E. 2009. New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western Turkey) using GPR method, Journal of Archaeological Science, 36 : 1680-1689.
5. Trinks I., Neubauer W., Hinterleitner A. 2014. First High-resolution GPR and magnetic archaeological prospection at the Viking Age settlement of Birka in Sweden, Archaeological Prospection, 21 : 185-199.
6. Verdonck L., Taelman D., Vermeulen F., Docter R. 2015. The impact of spatial sampling and migration on the interpretation of complex archaeological ground-penetrating radar data, Archaeological Prospection, 22 : 91-103.
7. Goodman D. 1994. Ground penetrating radar simularion in engineering and archaeology, Geophysics, 59 (2): 224-232.
8. Saarenketo T., Scullion T. 2000. Road evaluation with ground penetrating radar, Journal of Applied Geophysics, 43: 119-138.
9. Lubowiecka I., Armesto J., Arias P., Lorenzo H. 2009. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics, Enginnering Structures, 31: 2667-2676.
10. Solla M., Caamano J.C., Riveiro B., Arias P. 2012. A novel methodology fort he structural assessment of Stone arches based on geometric data by integration of photogrammetry and ground-penetrating radar, Engineering Structures, 35():296-306.
11. Orlando L. 2002. Ground penetrating radar in massive rock: A case history, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 7 : 265-279.
12. Green A., Gross R., Holliger K., Horstmeyer H., Baldwin J. 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit, Tectonophysics, 368 : 7-23.
13. Slater L., Niemi T.M. 2003. Ground penetrating radar investigation of active faults along the Dead Sea transform and implications for seismic hazards within the city of Aqaba, Jordan, Tectonophysics, 368: 33-50.

14. Neal A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress, *Earth Science Reviews*, 66 : 261-330.
15. Beres M., Haneni F.P. 1991. Application of ground penetrating radar methods in hydrogeologic studies, *Ground Water*, 29 : 375-386.
16. Brewster M.L., Annan A.P. 1994. Ground penetrating radar monitoring of a controlled DNAPL release: 200 MHz radar, *Geophysics*, 59 (8): 1211-1221.
17. Gertisser R., Cassidy N.J., Sylvain J.C., Nuzzo L., Preece K. 2012. Overbank block-and-ash flow deposits and the impact of valley-derived, unconfined flows on populated areas at Merapi volcano, Java, Indonesia, *Natural Hazards*, 60 : 623-648.
18. Nuzzo L., Leucci G., Negri S. 2009. GPR, ERT and magnetic investigations inside the Martyrium of St Philip, Hierapolis, Turkey, *Archaeological Prospection*, 16 : 177-192.
19. Nuzzo L., Quarto T. 2010. Near-surface geophysical investigations inside the cloister of the historical palace 'Palazzo dei Celestini' in Lecce, Italy, *Journal of Geophysical Engineering*, 7 : 200-210.
20. Böniger U. Tronicke J. 2010. Improving the interpretability of 3D GPR data using target-specific attributes: application to tomb detection. *Journal of Archaeological Science*, 37 : 360-367.
21. Szymczyk P., Szymczyk M. 2015. Non-destructive building investigation through analysis of GPR signal by S-transform. *Automation in Construction*, 55 : 35-46.
22. Zhdanov M.S., Keller G.V. 1994. *The geoelectrical methods in geophysical exploration*. Elsevier, Netherlands (ISBN 0-444-89678-3), 873 pp.
23. Sharma P.V., 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press. Pp 320-28.
24. Campbell M.J., Ulrichs J. 1969. Electrical properties of rocks and their significance for lunar radar observations, *Journal of Geophysical Research* 74: 5867-5881.
25. Daniels D.J. 2004. *Ground Penetrating Radar-2nd Edition*. London 984 pp.
26. Rial F.I., Pereira, M., Lorenzo, H., Arias P., Novo A. 2007. Vertical and horizontal resolution of GPR bow-tie antennas. *Proceedings of the 4th International Workshop on Ground Penetrating Radar*, Naples, Italy, pp 187-191.
27. Kadioğlu Y.K., Kadioğlu S. 2004. Determination of fracture and cavities and mapping of depth slices in a marble area by ground penetrating radar method. *The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey*. December 7-10. pp 359-362.
28. Sandmeier, K. J., 2003. *Reflexw 4.2 Manuel Book*. Sandmeier Software, Zipser Strabe 1, D-76227 Karlsruhe, Germany. Kar Yüğü Haritasının Oluşturulması ve Çatı Kar Yüklerinin Belirlenmesi. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 149s, Trabzon.