



دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

استفاده از روش رادار نفوذی زمین در تعیین محل آبستگي – میدان توحيد، تهران

بهرام يوسفی^۱، يوسف علاءدين^۲، حميدرضا قرهی^۳

^۱ دانش آموخته ارشد ژئوفيزيک، سازمان مشاور فني و مهندسي شهر تهران، bahram.yousefi82@gmail.com

^۲ دانش آموخته ارشد تکتونیک، سازمان مشاور فني و مهندسي شهر تهران، usef_aladin@yahoo.com

^۳ دانش آموخته ارشد زمین شناسی مهندسی، سازمان مشاور فني و مهندسي شهر تهران، h.gharahi@yahoo.com

چکیده

به دليل نشت شديد آب در چند نقطه از ديواره تونل عبوري از زير سطح خيابان در محدوده میدان توحيد، مطالعات رادار نفوذی زمین (GPR) به منظور شناسایی منبع و مسیر ورودی آب به محل یاد شده توسط مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهر تهران انجام شد. در این مطالعه، ۱۴ پروفیل GPR در محدوده‌ی مورد نظر با مجموع طول پیمایش ۱۰۷۰ متر، با دستگاه ۸۰ مگاهرتز MALA مدل GX-HDR برداشت گردید؛ ۹ پروفیل به صورت موازی هم و در امتداد خيابان و ۵ پروفیل دیگر، عمود بر امتداد خيابان برداشت شد. در مرحله پردازش داده‌های GPR، صافی‌های مختلفی از جمله حذف نوفه زمینه، مهاجرت، میان‌گذر و هموارسازی‌های افقی و قائم اعمال شد. پس از پردازش‌های انجام شده بر روی رادارگرام‌ها، نتایج به دست آمده نشان دهنده این است که عمده خرابی‌های ناشی از تراوش آب به درون دیواره تونل به دليل نشت از خط لوله آب مربوط به شرکت آب و فاضلاب بوده و حرکت و تجمع آن بر روی این لایه‌ها، باعث تخریب زیرسطح خيابان شده است.

واژه‌های کلیدی: رادار نفوذی زمین، آبستگي، هیلبرت، نشت آب

۱. مقدمه

خرابی‌های ناشی از نشت آب می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد که منجر به نتایج متعدد با خسارات بالای زیست محیطی می‌شود. نشت‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) نشت به صورت قطره قطره و تدریجی و یا اتلاف تدریجی در طول مسیر لوله‌ها و یا قنوات؛ (۲) نشت آب به صورت ثابت و با یک دبی نسبتاً یکنواخت. در بسیاری از سیستم‌های توزیع و انتقال آب، درصد قابل توجهی از آب در اثر نشت از لوله‌ها و کانال‌های انتقال دهنده هدر می‌رود (Graf, 1990). روش رادار نفوذی زمین (GPR)، یکی از ابزارهای اندازه‌گیری ژئوفيزيکی است که امروزه به طور گسترده جهت به نقشه درآوردن عوارض زیرسطحی در مقیاس‌های کیلومتر تا سانتی‌متر به کار گرفته می‌شود. روش GPR در مفاهیم، مشابه روش



دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

لرزه‌شناسی می‌باشد که در آن یک آنتن فرستنده، پالس‌های کوتاه از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا (MHz تا GHz) را ارسال کرده و از سوی دیگر آنتن گیرنده، سیگنال ارسالی از فرستنده را در تابعی از زمان دریافت می‌کند (Annan, 2005). وقتی که آنتن چشمه بر روی سطح قرار دارد، امواج کروی در دو جهت رو به بالا (هوا) و رو به پایین (درون خاک) انتشار می‌یابد (Van Overmeeren و همکاران، 1994).

با توجه به ساز و کاری که در مفاهیم بنیادی روش *GPR*، شرح داده شده است، می‌توان محل نشت را شناسایی نمود. عموماً شناسایی محل نشت، بر اساس تعیین حفرات ایجاد شده در اثر نشت آب و چرخش آن در اطراف لوله و یا دیگر تأسیسات انتقال آب می‌باشد. از سوی دیگر، محل‌های اشباعی که در اطراف لوله‌ها و کانال‌های انتقال دهنده آب ایجاد می‌شود، باعث کاهش سرعت سیر امواج رادار شده که باعث می‌شود محل نشت آب پایین‌تر از جایی که در واقعیت قرار گرفته است نمایان شود.

۲. زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

گستره‌ی تهران بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان بنا شده است. این نهشته‌ها از کوهپایه‌های البرز تا کناره کویر جنوبی تهران گسترش داشته و حاصل فعالیت رودخانه‌ها و سیلاب‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های البرز می‌باشند و با توجه به ویژگی‌های ظاهری، تغییرات فیزیکی و مکانیکی از جمله لایه‌بندی، دانه‌بندی، جورشدگی، تخلخل، نفوذپذیری، هوازدگی، درجه سیمانی شدن، مقاومت مکانیکی و تکتونیک از قدیم به جدید به پنج سازند زیر تقسیم شده‌اند (Rieben et al., 1955, 1996).

الف) سازند آبرفتی هزاردره (آبرفت‌های A)، ب) سازند آبرفتی ناهمگن شمال تهران (آبرفت‌های B_n) و سیلت‌های رسی کهریزک (آبرفت‌های B_k)، پ) سازند آبرفتی تهران (آبرفت‌های C)، ت) سازند آبرفتی خرم آباد در غرب ایوانکی و ج) سازند آبرفتی کنونی (آبرفت‌های D). با توجه به اینکه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه در سازند آبرفتی کنونی (آبرفت‌های D) قرار گرفته است، به توضیح این سازند بسنده می‌شود.

۲-۱ سازند آبرفتی کنونی (آبرفت‌های D)

این بخش متشکل از جوانترین نهشته‌های رودخانه‌ای یا سیلابی است که در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌های جوان بر جای گذاشته شده است. دشت جنوب تهران از این آبرفت پوشیده شده است. بطور کلی رسوبات D در شمال تهران از رسوبات دانه درشت و منفصل (قلوه سنگ و شن گردشده بدون سیمان) و در جنوب تهران از رسوبات



دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

دانه ریز (سیلت و رس) تشکیل شده است. در نقشه زمین‌شناسی، نهشته‌های این سازند به دو بخش D_1 و D_2 تقسیم شده است. نهشته‌های D_1 ریزدانه بوده و عمدتاً در جنوب تهران رخنمون دارند. نهشته‌های D_2 مخروط افکنه‌های جوان سازند D را تشکیل داده‌اند. بطور کلی می‌توان گفت که نهشته‌های آبرفتی تهران، عمدتاً نهشته‌هایی با سیمان سست و یا بدون سیمان است که در برخی از نقاط دارای نفوذپذیری بالا بوده و در اثر وقوع احتمالی زلزله‌ای با بزرگی زیاد، امکان نشست زیاد زمین در برخی از مناطق آن وجود دارد. جهت مطالعه دقیق میزان نشست زمین در مناطق مختلف تهران باید میزان تخلخل، بزرگی و همچنین شتاب و شدت احتمالی زلزله در مناطق مختلف بررسی گردد. سه عامل آخر بستگی به نوع گسلی دارد که فعال خواهد شد. علاوه بر نشست خاکها، در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا باشد و جنس نهشته‌ها از خاکهای ریزدانه و سست باشد، احتمال روانگرایی خاکی در هنگام وقوع زلزله وجود دارد. در اطراف سازندهای آبرفتی تهران، سنگ بستر با سن قدیمی‌تر از آبرفتها قرار گرفته است. جنس این سنگها در شمال، آذرآواری، آواری آتشفشانی در جنوب، آتشفشانی در شرق، کنگلومرای آتشفشانی و آذرین نفوذی است.

با توجه به گزارش حفاری انجام گرفته، انطباق نقشه تهران و موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه با نقشه‌های ناحیه‌بندی $JICA$ (شکل ۱)، از لحاظ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در سازند آبرفتی کنونی (D)، نهشته‌های D_2 قرار گرفته است.

۳. برداشت و تحلیل داده‌های GPR در محدوده مورد مطالعه

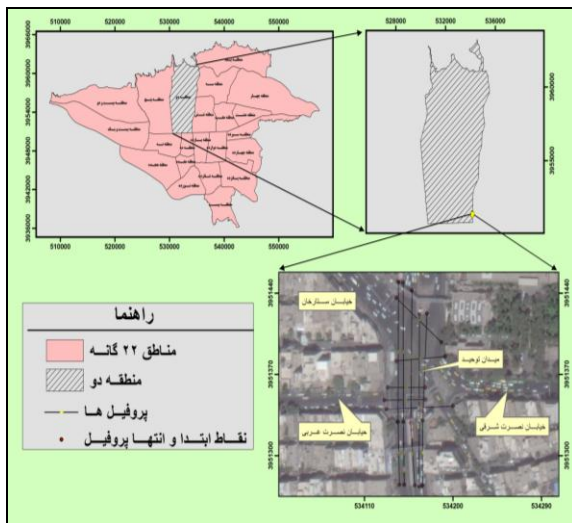
۳-۱. برداشت داده‌ها

در این بررسی، مجموعاً تعداد ۱۴ پروفیل برداشت گردید. در شکل ۲، موقعیت پروفیل‌های مورد مطالعه آورده شده است. مجموع طول پروفیل‌های مورد مطالعه، برابر ۱۰۷۰ متر می‌باشد. جنس زمین برای تمام برداشت‌ها، مصالح مربوط به آبرفت D_2 در نظر گرفته شده و گام‌های برداشت شده برای دستگاه GPR مدل $GX-HDR$ با فرکانس مرکزی ۸۰ مگاهرتز، برابر ۵۰ سیگنال بر متر می‌باشد.

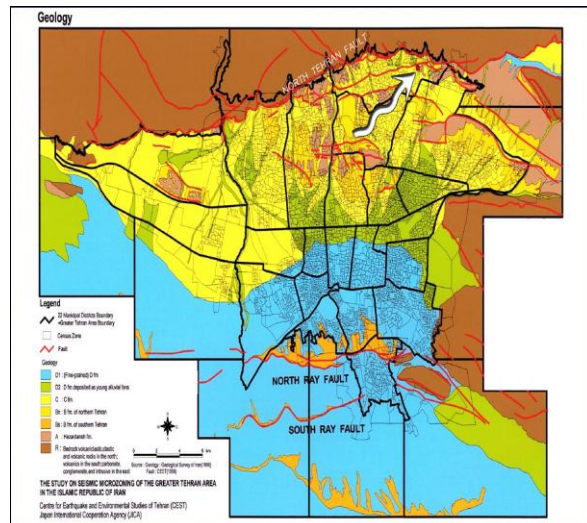


دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵



شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه و پروفیل‌های برداشت شده (میدان توحید).



شکل ۱. نمایش نهشته‌های مختلف آبرفتی در گستره تهران (JICA, 2000)

۳-۲. پردازش و تفسیر داده‌ها

جهت انجام پردازش مطلوب، نیاز به بررسی و آزمایش روش‌های مختلف پردازش با پارامترهای متفاوت است، در نتیجه برای انتخاب روش‌های پردازشی مناسب و تنظیم پارامترهای مربوطه در شرایط زمین‌شناسی منطقه و تأمین اهداف مورد نظر، بررسی‌های متعددی روی داده‌ها انجام گرفت. در نهایت پس از این بررسی‌ها و آزمایش‌ها، مراحل پردازش نهایی انتخاب و با پارامترهای مناسب روی داده‌ها اعمال گردید. رادارگرام‌های پردازش شده‌ی مربوط به پروفیل‌ها، در ادامه ارائه شده است. در پردازش داده‌های GPR، صافی‌های مختلفی از جمله حذف نوفه زمینه، مهاجرت، میانگذر و هموارسازی‌های افقی و قائم بر روی داده‌ها اعمال شده است.

تفسیر داده‌های GPR بر حسب هدف مورد نظر، به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. هنگامی که هدف تعیین محل و ژرفای عوارض نقطه‌ای نظیر حفرات و مجاری زیر زمین است، از روش تحلیل و مدلسازی منحنی‌های تفرق استفاده می‌شود (Wait, 1960 & Wright, 1994). در ادامه برخی از پروفیل‌ها که عارضه‌های خاصی مشاهده نشده کنار گذاشته شد و پروفیل‌های کلیدی که منجر به رفع مشکل این منطقه شده است، ارائه می‌گردد.

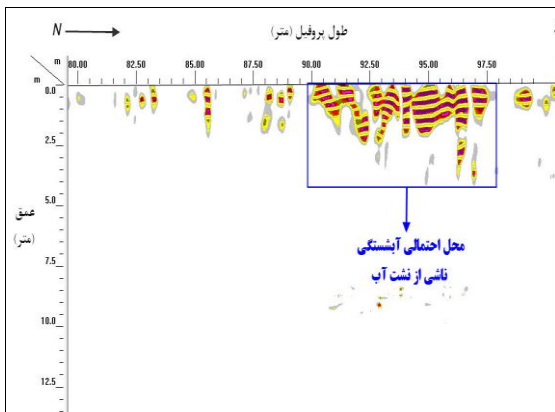


دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

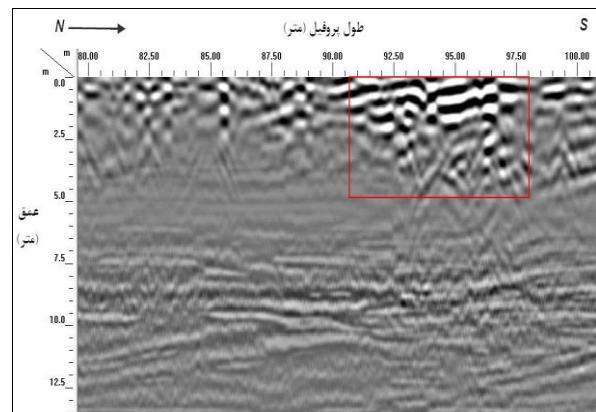
۳-۳. پروفیل TL_5 :

طول پروفیل حدود ۱۱۴ متر و روند آن شمالی- جنوبی می‌باشد (شکل ۲) این پروفیل از ضلع شمالی میدان توحید آغاز و پس از عبور از میدان در ابتدای وروی جنوبی میدان توحید به پایان می‌رسد؛ همانطور که در مقطع پردازش شده و نهایی این پروفیل (شکل ۳) مشاهده می‌شود، در محدوده متر ۹۱ تا ۹۸ متری و عمق تقریبی ۰/۵ تا ۳ متری آن، عارضه‌ها و آشفتگی‌هایی در لایه‌بندی مشاهده می‌شود که می‌تواند به دلیل ترواش آب و تخریب ساختار زیرسطح آسفالت در این محل باشد. مقطع ارائه شده در شکل ۴، مربوط به پروفیل TL_5 پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت- بزرگای لحظه‌ای می‌باشد که به خوبی محدوده احتمالی آبستگي را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقطع پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت - بزرگای

لحظه‌ای از پروفیل TL_5



شکل ۳. مقطع به دست آمده از پروفیل TL_5

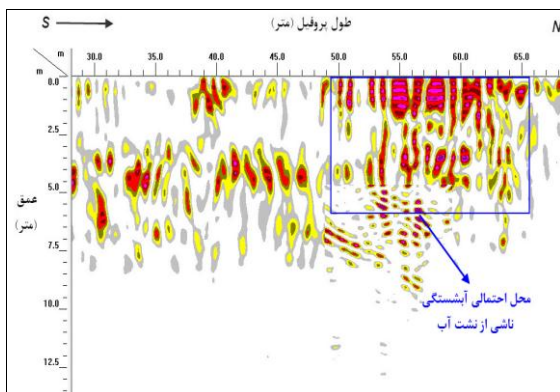
۳-۴. پروفیل TL_7 :

طول پروفیل حدود ۱۴۸ متر و روند آن جنوبی- شمالی می‌باشد (شکل ۲). همانطور که در مقطع پردازش شده و نهایی این پروفیل (شکل ۵) مشاهده می‌شود، در محدوده متر ۵۲ تا ۶۵ متری و در عمق تقریبی ۰/۵ تا ۴/۵ متری آن، آشفتگی‌هایی در لایه‌بندی مشاهده می‌شود که می‌تواند به دلیل ترواش آب و تخریب ساختار زیرسطح آسفالت در این محل باشد. مقطع ارائه شده در شکل ۶، مربوط به پروفیل TL_7 پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت- بزرگای لحظه‌ای می‌باشد که محدوده احتمالی آبستگي را نشان می‌دهد.



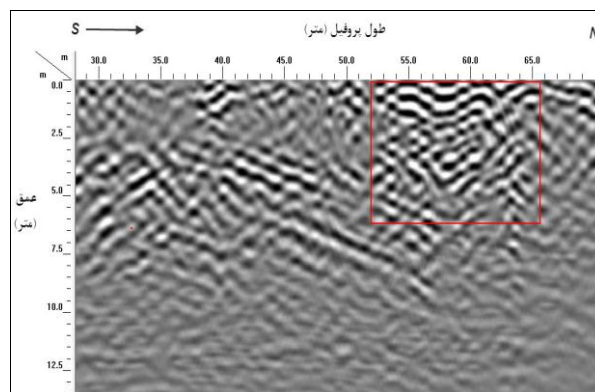
دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵



شکل ۶. مقطع پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت - بزرگای

لحظه‌ای از پروفیل TL_7



شکل ۵. مقطع به دست آمده از پروفیل TL_7

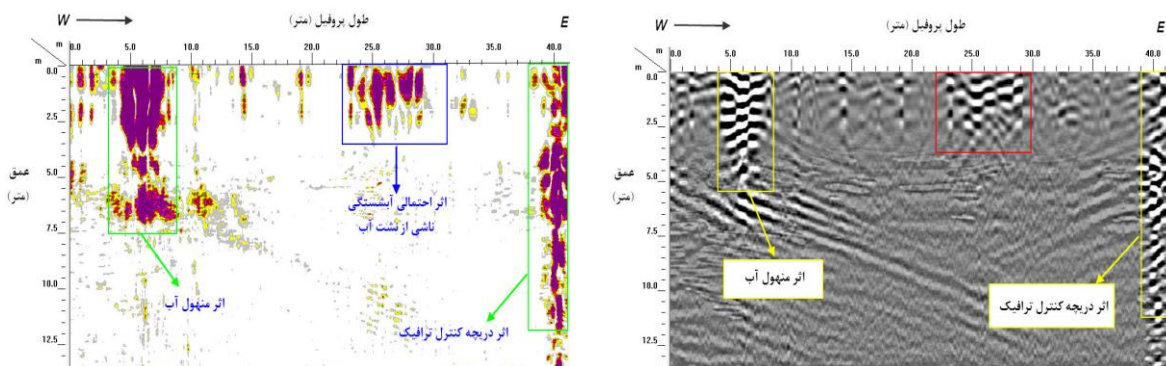
۳-۵. پروفیل TV_2 :

طول پروفیل حدود ۴۲ متر و روند آن غربی- شرقی می‌باشد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود و با رنگ قرمز مشخص شده است، ناهنجاری آشکار در محدوده متر ۲۳ الی ۲۹ و عمق ۰/۵ تا ۳ متر مشاهده می‌شود. با مراجعه به پروفیل TL_5 مشخص می‌شود که این ناهنجاری در تقاطع با ناهنجاری مشاهده شده در این پروفیل باشد. مقطع ارائه شده در شکل ۸، مربوط به پروفیل TV_2 پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت- بزرگای لحظه‌ای می‌باشد که محدوده احتمالی آبستگي را به خوبی نشان می‌دهد. پس از مشخص شدن محدوده‌های احتمالی وجود آبستگي، محل تقاطع بی‌هنجاری‌های شناسایی شده در پروفیل‌های TL_5 و TV_2 جهت حفاری پیشنهاد شد (شکل ۹). پس از کمی حفاری، به طور بسیار آشکار محل آبستگي و تخریب زیرسطح خیابان که به دلیل نشت آب از خط لوله آب در محل حفر مشخص گردید (شکل ۱۰) که کاملاً با نتایج GPR انطباق داشت.



دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵



شکل ۸. مقطع پس از اعمال صافی تبدیل هیلبرت - بزرگای

لحظه‌ای از پروفیل TV_2

شکل ۷. مقطع به دست آمده از پروفیل TV_2

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، از دستگاه GPR با آنتن ۸۰ مگاهرتز استفاده گردید و در مجموع، ۱۴ پروفیل با طول ۱۰۷۰ متر برداشت شد. داده‌ها، مورد پردازش قرار گرفته و رادارگرام‌های آن تهیه گردید و سپس، همه عوارض بر روی این رادارگرام‌ها مشخص شد. با توجه به پردازش‌های انجام شده، چنین به نظر می‌رسد که عمده خرابی‌های ناشی از تراوش آب به درون تونل عبوری از زیر سطح خیابان، به خاطر نشت ایجاد شده در خط لوله آب عبوری از زیر میدان است که پس از تراوش آب از لوله و تجمع آب بر روی لایه‌های زیرسطحی، باعث تخریب لایه‌ها و همچنین نفوذ به دیواره تونل شده است.

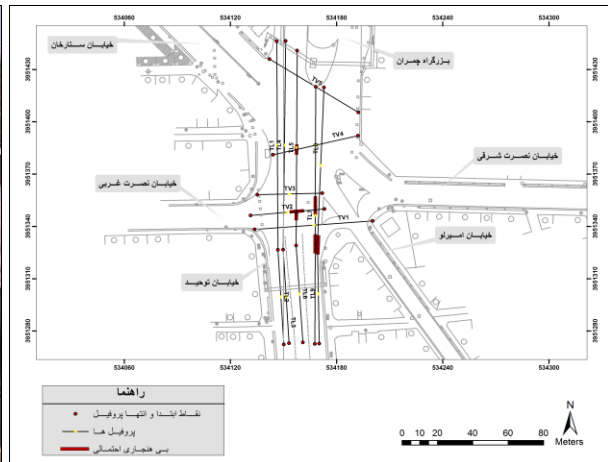
۷. مراجع

- Graf, F.L. 1990, *Using ground-penetrating radar to pinpoint pipeline leaks*, *Materials Performance*, 29: No. 4, 27-29.
- Annan, A.P., 2005, *Ground Penetrating Radar in Near-Surface Geophysics*, in *Investigations in Geophysics*, No. 13, *Society of Exploration Geophysicists*, Dwain K. Butler (ed.), ISBN 1-56080-130-1, pp. 357-438.
- Riebel, E.H., 1966: *Geological observation on alluvial deposits in northern Iran*. *Geol. Surv. Iran*. 9: 39p.
- Van Overmeeren, R. A., 1994- *Georadar for hydrogeology*, *First break*, 8: 401-408.
- Wait, J.R., 1960, *Propagation of electromagnetic pulses in a homogeneous conducting earth*. *Applied Science Research B*, Vol. 8, p. 213-253.
- Wright, D.L., Bradley, J.A., and Grover, T.P., 1994, *Data acquisition systems for ground penetrating radar with example applications from the air, the surface and boreholes*. *Fifth International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR 94)*, Kitchener, Ontario, Canada, pp.



دومین همایش ملی رادار نفوذی به زمین (GPR)

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵



شکل ۱۰. شناسایی محل آبخستگی پس از عملیات حفاری

در محدوده مورد مطالعه

شکل ۹. جانمایی پروفیل‌ها و بی‌هنجاری‌ها (محتمل آبخستگی) در

محدوده مورد مطالعه

Detection of Scouring Area Using Ground Penetrating Radar-Towhid Square, Tehran

, Bahram Yousefi¹, Usef Alaadin² Hamid Reza Gharahi³

¹Tehran Engineering and Technical Consulting Organization, bahram.yousefi82@gmail.com

²Tehran Engineering and Technical Consulting Organization, usef_aladin@yahoo.com

³Tehran Engineering and Technical Consulting Organization, h.gharahi@yahoo.com

Abstract

In this study, Ground Penetrating Radar (GPR) method has been used to identify the source of water leakage in different parts of Towhid Square located at district 2 of Tehran Municipality.

The GPR data acquisition had been performed by an 80 MHz GPR antenna. GPR data was collected in 14 longitudinal profiles on both parallel and cross on the street. At the next step, the collected data has been processed by the GPR experts of Geophysics Department at Geotechnical & Strength of material study center of Tehran. In the processing of the data, different filters such as background removal, Migration, Band pass, and horizontal and vertical smoothing are applied to the data.

After the processing, the results indicate that the major reason of water seepage into the wall of a tunnel under the square is from an water pipeline which is passed through the Towhid square; so the seepage from the water pipe and penetration into underneath non-cemented layers (due to the nature of the geological formations existed in the area) damaged both the street and the roof of the tunnel.

Key words: Geophysics, Ground Penetrating Radar, Migration, Water leakage