

شناسایی فروریزش‌های محتمل با استفاده از رادار نفوذی به زمین؛ مطالعه موردی: معبّر خیابان کارگر بالاتر از میدان انقلاب شهر تهران

حمیدرضا قرهی*، صفورا روضه‌خوان آخونی^۲ و حبیب رحیمی^۳

^۱ سرپرست بخش ژئوفیزیک، مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری تهران، تهران، ایران
^۲ مسئول واحد عملیات میدانی، مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری تهران، تهران، ایران
^۳ استاد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵)

چکیده

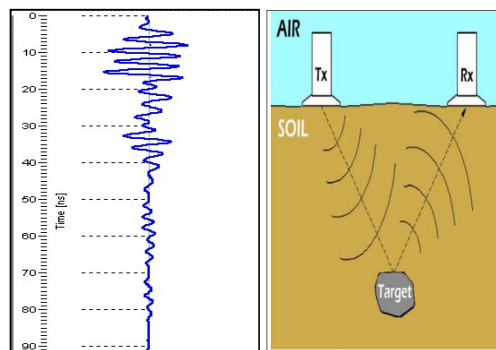
با توجه به قدرت تفکیک زیاد روش رادار نفوذی به زمین و همچنین، سرعت زیاد و سهولت برداشت، می‌توان گفت که این روش در بررسی و آشکارسازی اهداف زیرسطحی کم‌عمق مشابه حفره‌های زیرسطحی، قنات‌ها و اهداف دیگری که ثابت دی‌الکتریک متفاوتی با محیط اطراف خود دارند، روش قابل قبولی است. علاوه بر تأثیر بسامد امواج ارسالی از آنتن رادار نفوذی به زمین، عوامل دیگری همچون رطوبت خاک، میزان مواد رسی ریزدانه یا به طور کلی ریزدانه بودن رسوبات، عمق بررسی یا نفوذ امواج ژئورادار را کاهش می‌دهد. این مسئله به صورت عمده ناشی از بالاتر بودن میزان رسانندگی الکتریکی به واسطه حضور رطوبت و یا ذرات رسوبی ریزدانه نسبت به رسوبات درشت‌دانه است. در این مطالعه به منظور بررسی فروریزش معبر در خیابان کارگر شهر تهران، از دستگاه رادار نفوذی به زمین با آنتن ۸۰ مگاهرتز استفاده شده و هفت پروفیل با مجموع طول ۶۶۲ متر برداشت شده است. رادارگرام‌ها پردازش شده و بی‌هنجاری‌های مرتبط با فروریزش‌ها بروی آن‌ها مشخص شده است. این بی‌هنجاری‌ها در مرحله بعد بروی تصاویر ماهواره‌ای جانمایی و بروی نتایج به دست آمده بحث شده است. با توجه به نتایج برآورد شده، همخوانی خوبی مابین بی‌هنجاری‌های شناسایی شده در مقطع‌های موازی مشاهده می‌شود که می‌تواند دلیلی بر شناسایی قابل قبول بی‌هنجاری‌های محتمل به فروریزش در منطقه مورد مطالعه باشد.

واژه‌های کلیدی: رادار نفوذی به زمین (GPR)، ثابت دی‌الکتریک، رادارگرام، بی‌هنجاری احتمالی

۱ مقدمه

روش رادار نفوذی به زمین روش بازتاب پالس الکترومغناطیسی برای بررسی‌های کم عمق با قدرت تفکیک زیاد است. این روش مشابه با لرزه‌نگاری بازتابی است که بر مبنای انتشار و بازتاب موج عمل می‌کند (بیندو ۲۰۰۷). در حالت ساده یک دستگاه GPR از یک تولیدکننده سیگنال تشکیل شده است. سیگنال ایجاد شده با این تولیدکننده به وسیله آنتن فرستنده به درون زمین فرستاده می‌شود. امواج با سرعت زیادی در زمین منتقل می‌شوند و هنگامی که این امواج به یک شیء و یا سطح بازتاب برخورد می‌کنند، بر اثر تغییر امپدانس الکترومغناطیسی در این محل‌ها، قسمتی از امواج از سطح، بازتاب خواهد شد (پاراسنیس ۱۹۹۷). آنتن گیرنده مستقر در دستگاه، این بازتاب‌ها را به صورت یک پیک بالا نشان می‌دهد و زمان حرکت و دامنه‌های بازتاب را ضبط می‌کند (شکل ۱).

روش رادار نفوذی به زمین روش بازتاب پالس الکترومغناطیسی برای بررسی‌های کم عمق با قدرت تفکیک زیاد است. این روش مشابه با لرزه‌نگاری بازتابی است که بر مبنای انتشار و بازتاب موج عمل می‌کند (بیندو ۲۰۰۷). در حالت ساده یک دستگاه GPR از یک تولیدکننده سیگنال تشکیل شده است. سیگنال ایجاد شده با این تولیدکننده به وسیله آنتن فرستنده به درون زمین فرستاده می‌شود. امواج با سرعت زیادی در زمین منتقل می‌شوند و هنگامی که این امواج به یک شیء و یا سطح بازتاب برخورد می‌کنند، بر اثر تغییر امپدانس الکترومغناطیسی در این محل‌ها، قسمتی از امواج از سطح، بازتاب خواهد شد (پاراسنیس ۱۹۹۷). آنتن گیرنده مستقر در دستگاه، این بازتاب‌ها را به صورت یک پیک بالا نشان می‌دهد و زمان حرکت و دامنه‌های بازتاب را ضبط می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱. شمایی از مسیر بازتاب موج از بازتابنده‌ی عمقی.

برای تعیین سرعت سیر موج می‌توان از روش هدلولی‌های پراش که در رادارگرام‌ها دیده می‌شوند و یا از اهداف مدفون در عمق معین استفاده کرد. در روش هدلولی پراش، باید به این نکته توجه کرد که به هنگام نیمرخ زنی، در صورت عبور دستگاه رادار نفوذی به زمین از روی یک جسم بازتاب کننده قوی نظیر لوله فلزی، بازتاب‌های حاصل از این جسم روی مقاطع زمانی رادار به شکل هدلولی خواهد بود. اهداف مدفون در اعماق معین نیز می‌تواند یکی از روش‌های تعیین سرعت سیر موج در زمین باشد. اگر عمق یک هدف که روی مقطع رادار نفوذی به زمین دیده می‌شود، مشخص باشد، می‌توان با استفاده از مقادیر متفاوت سرعت و مقایسه بین مقطع عمقی به دست آمده و عمق هدف، سرعت دقیق را تعیین کرد.

مهمترین پارامترهایی که رفتار امواج الکترومغناطیس در یک محیط را تعیین می‌کنند عبارت‌اند از (نیل ۲۰۰۴):

۱- گذردهی دی‌الکتریک (Dielectric permittivity) ϵ که با ϵ نمایش داده می‌شود.

۲- رسانندگی الکتریکی (Electric conductivity) که با σ نشان داده می‌شود.

۳- تراوایی مغناطیس (Magnetic permeability) که با μ نمایش داده می‌شود.

موج الکترومغناطیس درون زمین به صورت یک مخروط سه بعدی به سمت پایین حرکت می‌کند و در این حین عواملی بر سرعت و اتلاف دامنه این امواج تأثیر

زمان رفت و برگشت موج از آنتن فرستنده و بازتاب از اهداف زیرسطحی و دریافت در گیرنده، از چند ده تا چندین هزار نانو ثانیه متغیر است. دستگاه‌های رادار نفوذی به زمین در واقع زمان رسید امواج را اندازه‌گیری می‌کنند. در نتیجه مقطع اولیه نمایش داده‌های برداشت شده یک مقطع زمانی است که در آن محور قائم، فاصله زمانی

می‌گذارند. در واقع مشخصه‌های الکترومغناطیس مواد که به مواد تشکیل دهنده و همچنین میزان آب موجود در آن‌ها بستگی دارد، تأثیر بسزایی روی سرعت و اتلاف دامنه امواج رادار نفوذی به زمین خواهد داشت. برخی از مواد مانند یخ‌های قطبی نسبت به امواج رادار نفوذی به زمین شفاف بوده و این امواج بدون اتلاف زیاد می‌توانند از آن عبور کنند. برخی دیگر از مواد مانند رس‌های اشباع از آب و همچنین آب دریا نسبت به این امواج کدر هستند و این امواج را بازتاب و یا جذب می‌کنند. از این رو امواج رادار نفوذی به زمین در فواصل کوتاهی میرا می‌شوند و نمی‌توانند در این گونه محیط‌ها انتشار یابند.

نکته مهم دیگر در بررسی روش رادار نفوذی به زمین عمق نفوذ این روش است. عمق نفوذ پالس با بسامد مرکزی، رسانایی الکتریکی و گذردهی مواد زیرسطحی کنترل می‌شود. به طور کلی بسامد مرکزی زیاد آنتن و رسانندگی مواد زیر سطح زمین موجب کاهش عمق نفوذ پالس‌های رادار نفوذی به زمین می‌شود (رینولد ۱۹۹۷). عوامل متعددی روی خواص الکتریکی محیط و بالطبع بر عمق نفوذ موج الکترومغناطیسی ارسالی تأثیر می‌گذارند که از جمله مهمترین عوامل مؤثر آن‌ها می‌توان به مواردی چون رسانندگی لایه‌ها، میزان آب، دانه‌بندی رسوبات زیرسطحی و میزان رس اشاره کرد.

مطالعات و تحقیقات به وسیله رادار نفوذی به زمین در دهه‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا گسترش یافته است. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات دیویس و همکاران، ۱۹۸۹ در زمینه چینه‌شناسی اشاره کرد. همچنین اولین مطالعات در زمینه پردازش داده‌های رادار نفوذی به زمین می‌توان به مقاله فیشر و همکاران ۱۹۹۲ در زمینه مهاجرت داده‌های رادار نفوذی به زمین اشاره نمود. مطالعات آزمایشگاهی کافمن و همکارانش با استفاده از مشخصه‌های امواج رادار نفوذی به زمین در حفره‌های زیرسطحی (کافمن و همکاران، ۲۰۰۶) یکی از

مطالعات برجسته در آشکارسازی حفره‌های زیرسطحی است. از مطالعات انجام شده در ایران می‌توان به آشکارسازی شکستگی‌ها و طاق‌دیس‌های نزدیک سطح در منطقه سراب قنبر در جنوب کرمانشاه (اویسی مؤخر، ۱۳۸۶)، مطالعات رادار نفوذی به زمین در کنار روش مغناطیس‌سنجی برای آشکارسازی طاق‌های بستانی مدفون در خاک‌های نزدیک سطح در قصر شیرین (اویسی مؤخر و همکاران، ۱۳۸۶)، آشکارسازی قنات و لوله‌های مدفون زیرسطحی (محمدی ویژه، ۱۳۸۷؛ حسینی، ۱۳۸۸) و همچنین مطالعات تعیین ضخامت آسفالت (مزینانی، ۱۳۸۹) اشاره کرد. قابل ذکر است که مطالعات مذکور بیشتر بر مبنای آشکارسازی اهدافی خاص با استفاده از روش رادار نفوذی به زمین استوار بوده‌اند، حال آن که هدف ما در این مطالعه شناسایی فروریزش‌های محتمل در محیط شهری تهران و بررسی کارکرد روندهای پردازشی بر روی داده‌ها بوده است. در این مطالعه با استفاده از برداشت‌های رادار نفوذی به زمین در طول مقطع‌های موازی و عمود بر ساختارها امکان شناسایی فروریزش‌ها بیشتر شده و عدم قطعیت‌ها کاهش پیدا کرده است. در این مطالعه به منظور شناسایی فروریزش‌های احتمالی در خیابان کارگر جنوبی شهر تهران، مقطع‌هایی با مجموع طول ۶۶۲ متر برداشت و نتایج آن پردازش و گزارش شده است.

۱ برداشت داده‌ها

در این مطالعه به منظور شناسایی فروریزش‌ها، هفت مقطع با مجموع طول ۶۶۲ متر برداشت شد. این داده‌ها در طول شب و با استفاده از دستگاه (MALA GX HDR) با آنتن ۸۰ مگاهرتز برداشت شده و با نرم افزار Radan 7 پردازش گردید. در شکل ۲، تصویر دستگاه ژئورادار مورد استفاده نمایش داده شده است. محدوده مورد مطالعه در منطقه ۶ تهران واقع شده است.



شکل ۲. دستگاه رادار نفوذی به زمین Mala GX HDR 80MHz.



شکل ۳. پروفیل های جنوب به شمال، L_1 تا L_3 برداشت شده به همراه بی هنجاری های احتمالی (شکل بالا)؛ ادامه پروفیل های جنوب به شمال، K_1 تا K_4 برداشت شده به همراه بی هنجاری های احتمالی (شکل پایین).

از پردازش بهره، تقویت سیگنال‌های ضعیفی است که از اعماق بیشتر می‌آیند. بهره‌ها انواع گوناگونی دارند. هدف استفاده از هموارسازی افقی، هموارسازی مقطع برداشت می‌باشد، این صافی نوفه‌های تصادفی در طول برداشت را با استفاده از میانگین‌گیری بین سیگنال‌ها حذف می‌کند. در این مطالعه، برداشت‌های مطالعات ژئوفیزیکی در محدوده‌ی مورد مطالعه با هدف بررسی فروریزش در معبر انجام گرفت. لازم به ذکر است که برای رسیدن به این منظور، بایستی دستگاه رادار نفوذی از روی محل‌های احتمالی (اهداف مورد نظر) عبور کند تا در رادارگرام، ثبت شود. عمق قرارگیری عارضه، فاصله‌ی قسمت فوقانی آن از سطح زمین می‌باشد و در این روش، ابعاد عارضه مشخص نمی‌شوند. عمق عوارض شناسایی شده، با توجه به بردار قائم سمت چپ هر رادارگرام (عمق بر حسب متر) تعیین می‌شود. در ادامه مقاطع هفت رادارگرام پردازش شده به همراه بی‌هنجاری‌های مشخص شده آورده شده است.

پروفیل K_1 در جهت جنوب به شمال خیابان کارگر (شکل ۴) و در منتهی‌الیه شرقی خیابان برداشت شده است که طول آن ۸۶ متر بوده است. در شکل ۴ رادارگرام‌های مرتبط با این مقطع آورده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود بی‌هنجاری‌های متعددی در اعماق سطحی‌تر رادارگرام‌ها مشاهده می‌شود که محتمل به فروریزش بوده و با مستطیل قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

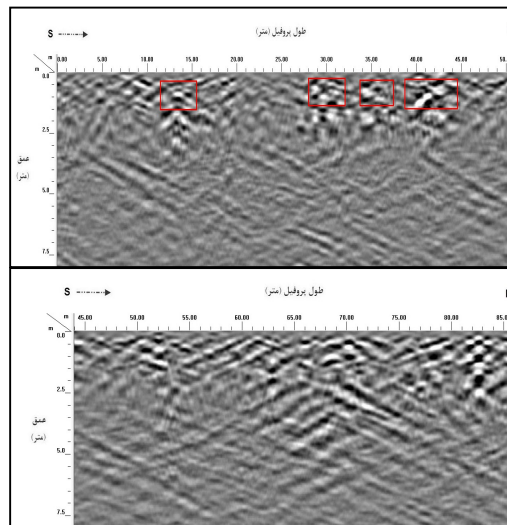
پروفیل K_2 در جهت جنوب به شمال خیابان کارگر (شکل ۵) و در سمت غربی مقطع K_1 برداشت شده است که طول آن ۸۶ متر بوده است. در شکل ۵ رادارگرام‌های مرتبط با این مقطع آورده شده است. در طول این مقطع دو بی‌هنجاری در فواصل ۱۵ و ۴۰ متری دیده می‌شوند که محتمل به فروریزش بوده و با مستطیل قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

پروفیل K_3 در جهت جنوب به شمال خیابان کارگر

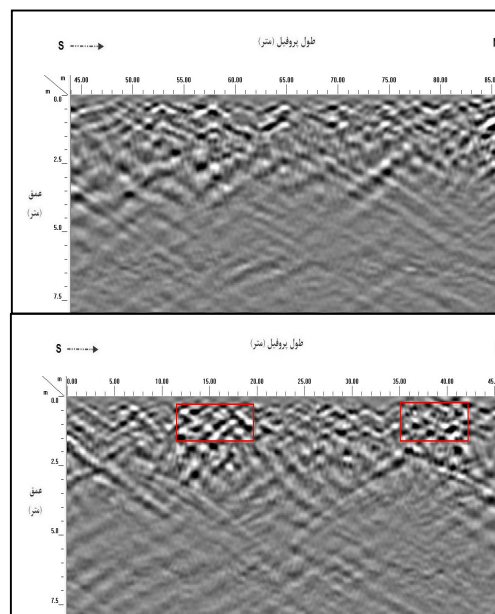
در این مطالعه هفت پروفیل با مجموع طول ۶۶۲ متر به منظور به دست آوردن داده‌های مناسب برداشت شد. برداشت پروفیل‌ها در محدوده خیابان کارگر بالاتر از میدان انقلاب، شامل ۷ پروفیل طولی در راستای جنوب به شمال ($K_1 - K_4$ و $L_1 - L_3$) می‌باشد. در شکل ۳ جانمایی مربوط به پروفیل‌های برداشت شده به همراه بی‌هنجاری‌های شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲ پردازش و تفسیر داده‌ها

مسئله مهم در بررسی روش رادار نفوذی به زمین اعمال پردازش‌های مناسب روی داده‌ها به منظور تفسیر قابل قبول است. هدف مورد بررسی، نوع و میزان پردازش‌های اعمالی را تعیین می‌کند. برخی از اهداف مورد بررسی فقط به پردازش‌های اولیه نیاز دارند درحالی‌که در برخی تحقیقات باید پردازش‌های پیشرفته‌ای روی داده‌ها اعمال شود. از پردازش‌های استفاده شده در این مطالعه می‌توان به حذف زمینه، فیلتر میان‌گذر، تقویت دامنه و هموارسازی افقی و ... اشاره کرد. پردازش صافی میان‌گذر به منظور شناسایی و حذف نوفه‌های اضافی استفاده شد. هنگام استفاده از روش رادار نفوذی در محیط‌های شهری، یکسری نوفه‌های پیوسته که شبیه بازتابنده‌های افقی هستند در سرتاسر برداشت‌ها مشاهده می‌شود که سبب پنهان شدن برخی از بی‌هنجاری‌ها می‌گردند، بنابراین در پردازش دیگر اعمال شده بر روی داده‌ها، حذف پس‌زمینه برای از بین بردن این مشکل انجام گرفت. نکته قابل توجه در پردازش، اعمال بهره‌های متفاوت روی داده‌ها، کاهش قدرت سیگنال با افزایش عمق نفوذ روش رادار نفوذی است که در نهایت باعث می‌شود تا توان پردازش در عمق به طور تصاعدی کاهش یابد. برای رفع این مشکل، اعمال بهره روی داده‌ها ضروری به نظر می‌رسد. بهره‌ها تابعی متغیر با زمان هستند که روی داده‌ها اعمال می‌شود. هدف



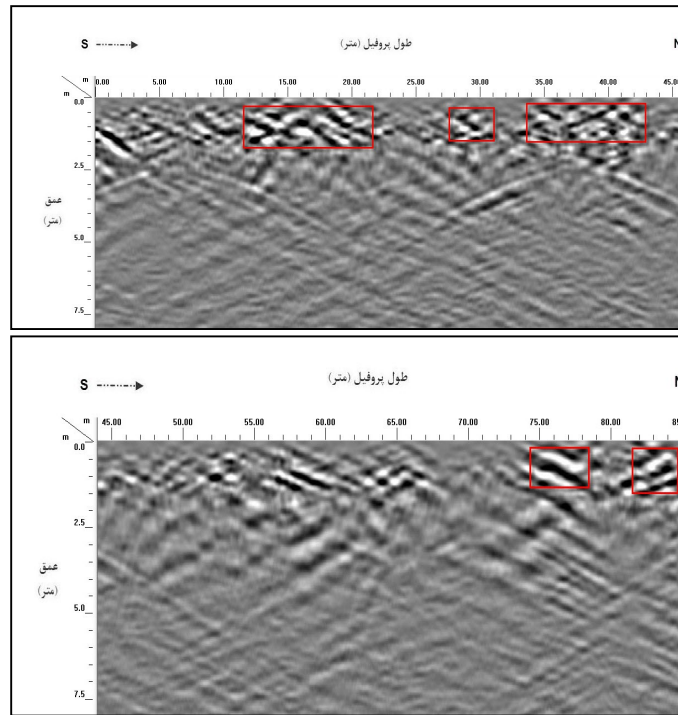
شکل ۴- رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع K₁ - مستطیل های قرمز بی هنجاری های مشاهده ای را نمایش می دهند.



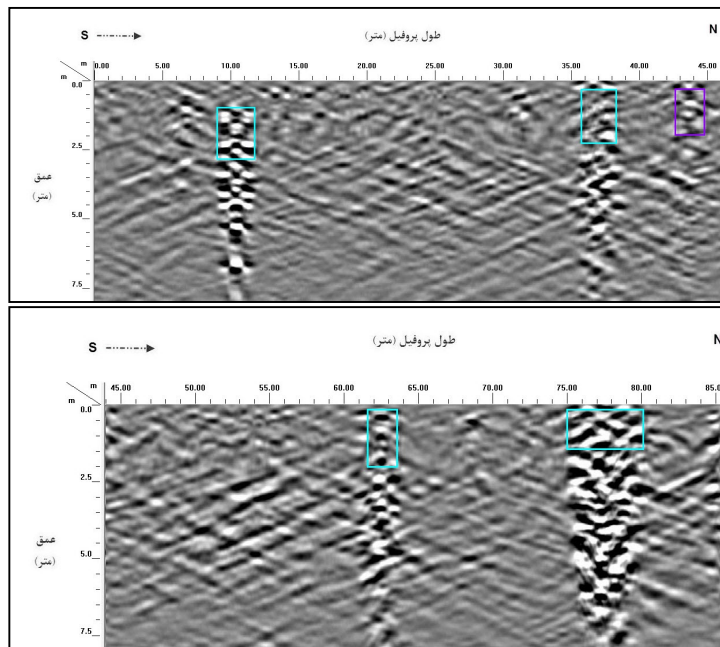
شکل ۵. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع K₂ - مستطیل های قرمز بی هنجاری های مشاهده ای را نمایش می دهند.

پروفیل K₄ با متراژ طولی ۸۶ در جهت جنوب به شمال برداشت شد. در این مقطع بی هنجاری خاصی مشاهده نشد و مواردی که به صورت محدوده آبی نشان داده شده است به ترتیب اثر تأسیسات احتمالی و عبور دستگاه از مانع بتنی می باشد (شکل ۷).

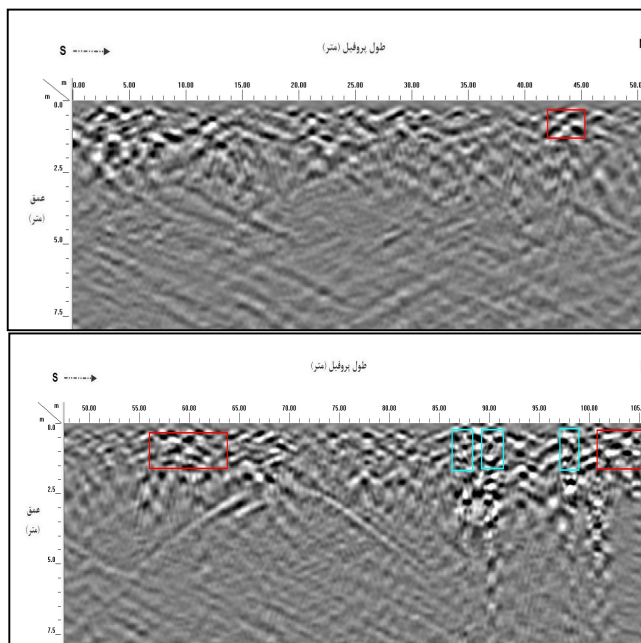
(شکل ۶) و در سمت غربی مقطع K₂ برداشت شده است که طول آن ۸۶ متر بوده است. در شکل ۶ رادارگرام های مرتبط با این مقطع آورده شده است. در طول این مقطع پنج بی هنجاری دیده می شوند که محتمل به فروریزش بوده و با مستطیل قرمز رنگ مشخص شده اند.



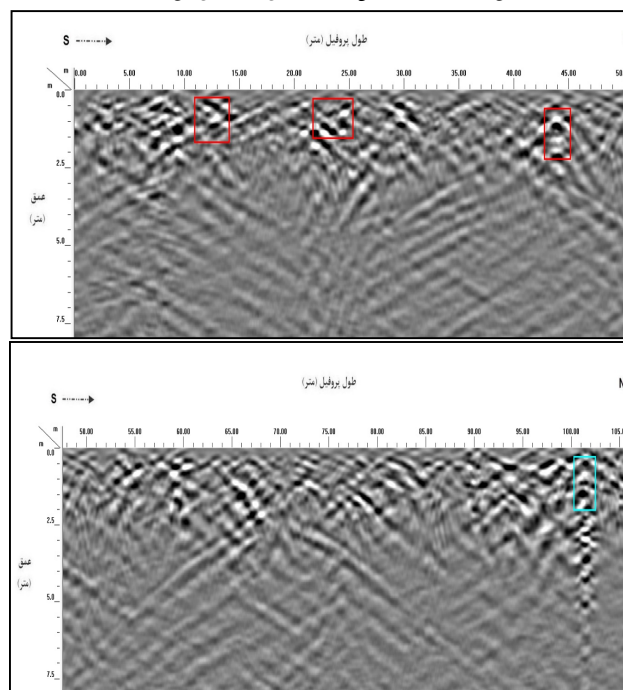
شکل ۶. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع K3 - مستطیل‌های قرمز بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای را نمایش می‌دهند.



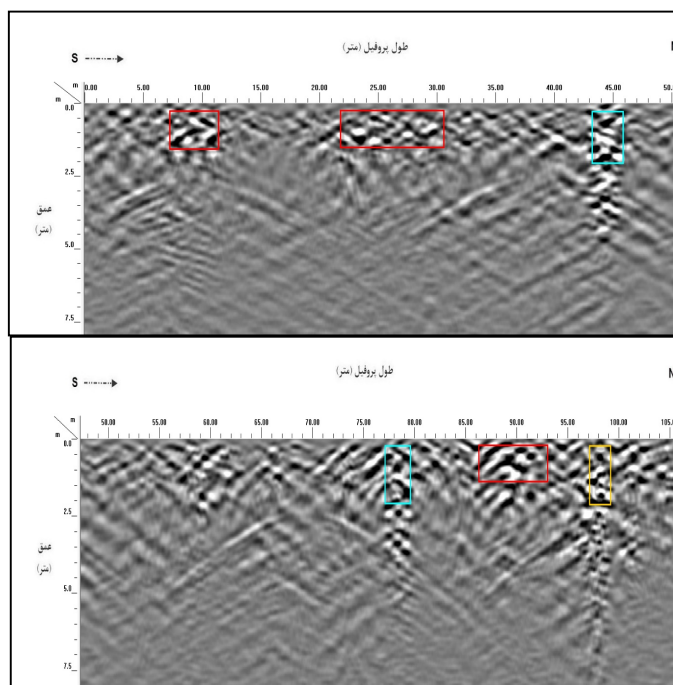
شکل ۷. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع K4 - مستطیل‌های آبی بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای مرتبط با تأسیسات احتمالی را نمایش می‌دهند.



شکل ۸. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع L_1 - مستطیل‌های آبی بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای مرتبط با تأسیسات احتمالی و مستطیل‌های قرمز بی‌هنجاری‌های محتمل به فروریزش را نمایش می‌دهند.



شکل ۹. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع L_2 - مستطیل‌های آبی بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای مرتبط با تأسیسات احتمالی و مستطیل‌های قرمز بی‌هنجاری‌های محتمل به فروریزش را نمایش می‌دهند.



شکل ۱۰. رادارگرام پردازش شده مرتبط با مقطع L_3 - مستطیل‌های آبی بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای مرتبط با تأسیسات احتمالی و مستطیل‌های قرمز بی‌هنجاری‌های محتمل به فروریزش را نمایش می‌دهند. در شکل بالا مقطع پردازش شده از ابتدای مقطع تا فاصله حدود ۵۲ متری و در مقطع پایینی از حدود ۵۲ متری تا انتهای مقطع آورده شده است.

است (شکل ۹).

پروفیل L_3 با مترآژ طولی ۱۰۶ در جهت جنوب به شمال برداشت شد. در شکل ۱۰ اثر بی‌هنجاری احتمالی در مترآژهای طولی ۷ تا ۱۱، ۲۲ تا ۳۰ و ۸۶ تا ۹۳ و در عمق تقریبی ۰/۵ تا ۱/۵ متری قابل مشاهده است. محدوده آبی که اثر احتمالی تأسیسات عبوری را نشان می‌دهد در مترآژهای طولی ۴۳ تا ۴۵ و ۷۷ تا ۸۰ قابل مشاهده است. همچنین محدوده زرد رنگ اثر عبور دستگانه از روی نهر عرضی می‌باشد.

۴ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به قدرت تفکیک زیاد روش رادار نفوذی به زمین و همچنین، سرعت زیاد و سهولت برداشت، می‌توان گفت که روش رادار نفوذی به زمین در بررسی و آشکارسازی اهداف زیرسطحی کم‌عمق مشابه حفره‌های

در ادامه و قسمت شمالی خیابان کارگر شمالی سه مقطع L_1 تا L_3 برداشت شده است که در شکل ۳ جانمایی این مقطع‌ها به همراه بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای آورده شده است.

پروفیل L_1 با مترآژ طولی ۱۰۶ در جهت جنوب به شمال برداشت شد. اثر بی‌هنجاری احتمالی در مترآژهای طولی ۴۲ تا ۴۵، ۵۶ تا ۶۴ و ۱۰۱ تا ۱۰۵ و در عمق تقریبی ۰/۵ تا ۱/۵ متری قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که اثر تأسیسات احتمالی در مترآژهای طولی ۸۶ تا ۸۹، ۸۷ تا ۹۷، ۹۱ تا ۹۹ قابل مشاهده است (شکل ۸).

پروفیل L_2 در جهت جنوب به شمال با مترآژ طولی ۱۰۶ برداشت شد. اثر بی‌هنجاری احتمالی در مترآژهای طولی ۱۱ تا ۱۴، ۲۲ تا ۲۵ و ۴۳ تا ۴۵ و در عمق تقریبی ۰/۵ تا ۱ متری قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که اثر تأسیسات احتمالی در مترآژ طولی ۱۰۰ تا ۱۰۲ قابل مشاهده

منابع

- اویسی موخر، محسن. (۱۳۹۵). بررسی ساختار شکستگی سراب قنبر در جنوب شهر کرمانشاه با استفاده از روش رادار. مجله ژئوفیزیک ایران، (۱۱)، ۸۱-۸۹.
- مزینانی، احمد، کامکار روحانی، ابوالقاسم، & محمدی ویژه، مهدی. (۱۳۹۴). تعیین پارامترهای کیفی روسازی راه با استفاده از روش زمین نفوذ GPR. مجله ژئوفیزیک ایران، (۲)۹.
- Blindow, N., Eisenburger, D., Illich, B., Petzold, H. and Richter, T., 2007, Ground penetrating radar, In Environmental Geology (Eds K.Knödel, G.Lange and H.-J.Voigt), Springer, 283-335.
- Davis, J. L. & Annan, A. p., (1989). Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophys. Prospect. 37, 531-551
- Kofman, R., Ronen, A. and Fredman, S., (2006). Detection of model voids by identifying reverberation phenomena in GPR records, Journal of Applied Geophysics, 59, 284-299.
- Neal, A., (2004). Ground penetrating radar and its use in sedimentology, principles, problems and progress. Earth-science Reviews, 66, 261-330.
- Parasnis, D. S., (1997). Principles of applied geophysics, 5th edition, Chapman and Hall.
- Reynolds, J. M., (1997). an introduction to applied end environmental geophysics, John Wiley & Sons Ltd.
- Fisher, E., McMechan, G.A., Annan, A.P., Cosway, S.W., (1992). Examples of reverse-time migration of single-channel, ground penetrating radar profiles: Geophysics, 57, 577-586.
- Shafri, H. Z. M., Abdollah, R. S. A., Roslee, M. and Numiandy, R., (2008). Optimization for ground penetrating radar (GPR) mixture model in road pavement density data analysis, IGARSS, USA.
- Van Dam, R. L. and Schlager, W., (2000). Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analyses, Sedimentology, 47, 435-449.
- Van Overmeeren, R. A., (1994). Georadar for hydrogeology, First break, 8: 401-408.
- زیرسطحی، قنات‌ها و اهداف دیگری که ثابت دی‌الکتریک متفاوتی با محیط اطراف خود دارند، روشی مناسب است. علاوه بر تأثیر بسامد امواج ارسالی از دستگاه رادار نفوذی به زمین، عوامل دیگری همچون رطوبت خاک، وجود و میزان مواد رسی ریزدانه یا به طور کلی ریزدانه بودن رسوبات، عمق بررسی یا نفوذ امواج GPR را کاهش می‌دهد، که این امر عمدتاً ناشی از بالاتر بودن میزان رسانندگی الکتریکی به واسطه حضور رطوبت و یا ذرات رسوبی ریزدانه نسبت به رسوبات درشت دانه است. در این مطالعه به منظور بررسی فروریزش معبر در خیابان کارگر بالاتر از میدان انقلاب، از دستگاه رادار نفوذی به زمین با آنتن ۸۰ مگاهرتز دستگاه MALA GX HDR استفاده و ۷ پروفیل با مجموع طول ۶۶۲ متر برداشت شد. داده‌ها مورد پردازش قرار گرفته و رادارگرام‌های آن تهیه و سپس همه عوارض بر روی این رادارگرام‌ها جانمایی گردید. در مقطع‌های موازی همخوانی خوبی مابین مقطع‌ها مشاهده شد که نشان دهنده قطعیت به نسبت بالای بی‌هنجاری‌های شناسایی شده می‌تواند باشد. بی‌هنجاری‌های احتمالی لزوماً محدوده‌های سست و مستعد فروریزش نیست و می‌تواند مواردی چون تجمع آب، تغییر در لایه‌بندی و خاک دستی ... باشد.

۵ سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان بر خود می‌دانند از آقایان مهندس آرش گوهری و مهندس فرهنگ (ریاست محترم و مدیر محترم گروه ژئوتکنیک و ژئوفیزیک مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری تهران) به دلیل راهنمایی‌های ارزنده‌شان صمیمانه تشکر نمایم.

Identification of possible settlements using ground penetrating radar; case study: the intersection of Kargar St. above the Engelab square in Tehran

Hamidreza Gharahi ^{1*}, Safoora Rozehkhan Akhooni ² and Habib Rahimi ³

¹ Head of Geophysics Department, Geotechnical & Strength of material study center of Tehran, Tehran Municipality, Tehran, Iran

² Head of Field Operation, Geotechnical & Strength of material study center of Tehran, Tehran Municipality, Tehran, Iran

³ Professor, Institute of Geophysics University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 13 September 2022, Accepted: 06 November 2022)

Summary

The Ground Penetrating Radar (GPR) method is high-resolution surveys with an electromagnetic pulse reflection method for shallow earth layers. This method is similar to reflection seismography, which operates on the basis of wave propagation and reflection. In a simple case, a GPR device consists of a signal generator. The signal generated by this generator is sent into the earth by the transmitter antenna. Waves travel through the earth at a high speed and when these waves hit an object or reflection surface, due to the change of electromagnetic impedance in these places, part of the waves will be reflected from the surface. The receiving antenna located in the device shows these reflections as a high peak and records the movement time and amplitudes of the reflections. The electromagnetic wave inside the earth moves downwards in the form of a three-dimensional cone, and at the same time, factors affect the speed and loss of the amplitude of these waves. In fact, the electromagnetic characteristics of the materials, which depend on the constituent materials and the amount of water in them, will have a great effect on the speed and loss of the range of the radar waves penetrating the ground. Some materials, such as polar ice, are transparent to ground-penetrating radar waves, and these waves can pass through it without much loss. Some other materials such as clays saturated with water and also sea water is cloudy to these waves and reflect or absorb these waves. Therefore, radar waves penetrating the ground are attenuated in short distances and cannot propagate in such environments.

Considering the high-resolution power of the ground penetrating radar method, as well as the high speed and ease of acquisition, it can be said that this method is useful in investigating and detecting shallow subsurface targets similar to subsurface holes, canals and other targets that have a different dielectric constant from the surrounding environment. It is an acceptable method. In addition to the effect of the frequency of the waves sent from the GPR antenna, other factors such as soil moisture, the amount of fine-grained clay materials, or the fineness of the sediments in general, reduce the depth of investigation or penetration of GPR waves. This problem is mainly caused by the higher electrical conductivity due to the presence of moisture or fine-grained sediment particles compared to coarse-grained sediments. In this study, a ground penetrating radar device with 80 MHz antenna was used and seven profiles with a total length of 662 meters were taken to investigate the intersection of Kargar Street in Tehran. The radargrams have been processed and the anomalies related to the meetings have been identified on them. These anomalies are discussed in the next step on the positioning satellite images and on the obtained results. According to the estimated results, there is a good agreement between the anomalies detected in the parallel profiles, which can be proof of the acceptable identification of possible anomalies in the study area.

Keywords: Ground penetrating radar (GPR), dielectric constant, radargram, possible anomaly