

بررسی وضعیت رانش زمین در مسیر خطوط انتقال لوله گاز محدوده امامزاده هاشم - رودهن، استان تهران

سعید قاضی نژاد^{۱*}، مهشید ابطحی نجف آبادی^۲، مهدی باجلان^۳ و امیررضا مصیر^۴

^۱ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
^۲ عضو هیات مدیره مهندسين مشاور صحراکاو، تهران، ایران
^۳ رئیس مهندسی و طراحی طرح خط لوله دهم سراسری، تهران، ایران
^۴ مهندسين مشاور صحراکاو، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱)

چکیده

در این مقاله با استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی و به‌کارگیری سه روش ژئوالکتریک یک‌بعدی، ژئوالکتریک دوبعدی IP&RS و ژئورادار نفوذی GPR، دلایل ریزش و لغزش زمین در مسیر پیشنهادی خط لوله گاز امامزاده هاشم - رودهن واقع در استان تهران بررسی می‌شود. برای این منظور تعداد بیست سونداژ الکتریکی به صورت نامنظم در محدوده رانش و در طول ده پروفیل برداشت شد و پس از شناسایی حدودی محدوده رانش، تعداد دو پروفیل با آرایش قطبی - دوقطبی به طول ۳۸۰ متر و فواصل ایستگاهی ۵ و ۱۰ متر با روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه داده‌برداری شد. همچنین داده‌های ژئورادار نفوذی در طول ۱۰۰۰ متر با ۲۷ پروفیل برداشت شد. با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی ذکر شده، محدوده‌های رانش مشخص شد. با توجه به وجود حفرات در زیر زمین، این محدوده‌ها به کمک روش رادار نفوذی تفکیک شدند. سپس با به‌کارگیری نرم‌افزارهای تحلیل پایداری، روش‌های تحکیم و تثبیت محدوده‌های بی‌هنجاری بررسی شد.

کلمه‌های کلیدی: ژئوالکتریک دوبعدی، قطبش القایی، ژئورادار نفوذی، زمین‌لغزش، تحلیل پایداری، امامزاده هاشم

۱ مقدمه

بررسی‌های مختلف، آزمایش‌ها و برداشت‌های ژئوفیزیکی در دستور کار قرار گرفت. در این مطالعه از دو روش ژئوالکتریک یک‌بعدی و دوبعدی جهت شناسایی محدوده رانش و از روش رادار نفوذی جهت شناسایی حفرات موجود در زیر زمین استفاده شد.

محدوده مورد مطالعه در حدود ۷۰ کیلومتری شرق تهران و نزدیکی شهرستان رودهن واقع شده است (شکل ۱). از آنجا که در محدوده عملیات، دو مخاطره ژئوتکنیکی رانش زمین و حفرات زیرزمینی وجود دارد، پس از



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان تهران و تصویر ماهواره‌ای.

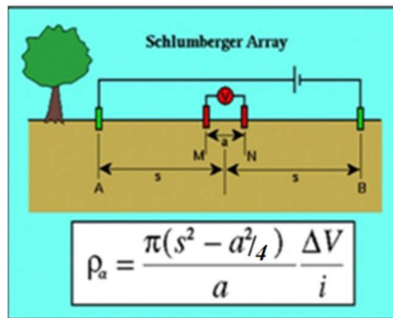
۲ روش اندازه‌گیری

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان روش‌های ژئوفیزیک را به دو بخش عمده تقسیم کرد: (۱) روش‌هایی که در آنها از چشمه انرژی طبیعی استفاده می‌شود؛ (۲) روش‌هایی که در آنها از چشمه انرژی مصنوعی استفاده می‌شود.

موقعیت الکترودها می‌توان مقاومت ظاهری را بر اساس فرمول $\rho = k \Delta V / I$ به دست آورد. در سامانه ایدنال GPR، مدار فرستنده یک سیگنال الکتریکی را به آنتن فرستنده می‌فرستد و آنتن آن را به صورت انرژی گسیل می‌کند. در ادامه مقاله، سامانه GPR بیشتر معرفی می‌شود.

روش‌های مقاومت ویژه و الکترومغناطیس در زمره روش‌های دسته دوم محسوب می‌شوند. روش مقاومت ویژه را که روشی اکتشافی است، ابتدا برادران شلومبرژه در دهه ۱۹۲۰ به کاربردند. اساس کار این روش، تزریق جریان الکتریکی مستقیم یا متناوب (با فرکانس کم در حد چند هرتز) به داخل زمین و اندازه‌گیری آن در فواصل منظم روی زمین یا درون چاه است. در این روش با اندازه‌گیری تغییرات پتانسیل الکتریکی، توزیع مقاومت ویژه در زیر سطح به دست می‌آید. در روش مقاومت ویژه، جریان الکتریکی معمولاً با دو الکتروده به زمین تزریق و اختلاف پتانسیل با استفاده از دو الکتروده دیگر اندازه‌گیری می‌شود. با دانستن اختلاف پتانسیل، مقدار جریان تزریق شده و

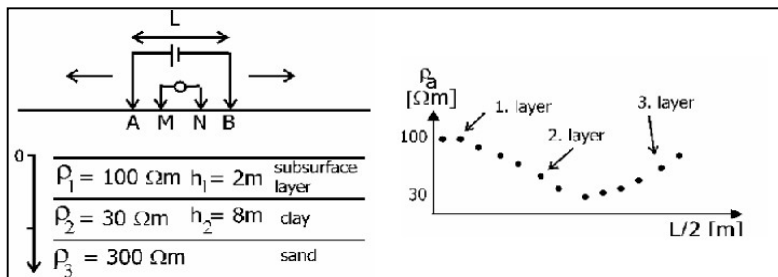
۲-۱ روش اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه یک‌بعدی
در این پروژه، آرایه مورد استفاده در ژئوالکتریک یک‌بعدی، آرایه شلومبرژه است (شکل ۲).



شکل ۲. نحوه قرارگیری الکترودها در آرایه شلومبرژه.

همچنین آباک دستی، مدل و مقاطع ژئوالکتریک رسم می‌شوند و در اختیار مفسر قرار می‌گیرند تا با توجه به اطلاعات، مقاطع را لایه‌بندی کند. شکل ۳ وضعیت واقعی لایه‌های زیر زمین و منحنی به‌دست‌آمده از داده‌برداری را نشان می‌دهد.

در عملیات صحرایی، تعدادی سونداژ الکتریکی با آرایش شلومبرژه ($AB \leq 1000m$) برداشت می‌شود. در هر اندازه‌گیری، AB و MN با فواصل مشخص و در یک آرایش خطی تغییر می‌کنند. پس از اتمام داده‌برداری، داده‌ها و مختصات نقاط در نرم‌افزار وارد می‌شود. سپس مقاطع هم‌مقاومت ویژه ظاهری رسم و سونداژها با رایانه و



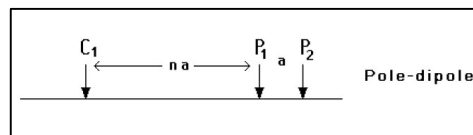
شکل ۳. نمونه‌ای از روش تفسیر منحنی صحرایی.

نزدیک‌ترین فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل برابر na است. معمولاً در این آرایش نقطه اندازه‌گیری بین C_1 و P_2 قرار دارد (شکل ۵).

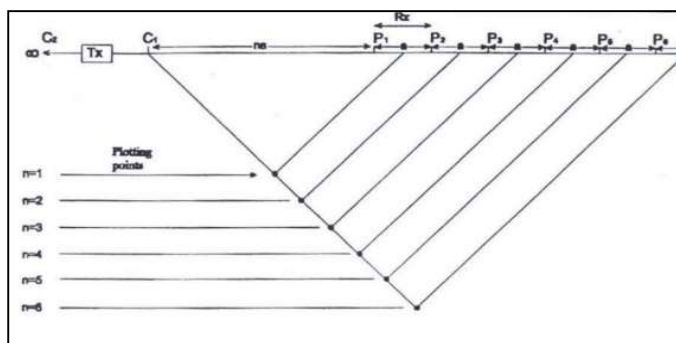
به این ترتیب از مجموع نقاط اندازه‌گیری شده با این روش، شبه‌مقطعی از بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری در امتداد یک پروفیل به‌دست خواهد آمد. این آرایه جهت شناسایی مرز ناهمگنی‌های جانبی در امتداد خط برداشت به‌کار می‌رود. داده‌ها در نرم‌افزارهای مخصوص وارد و مقاطع مقاومت ظاهری (pseudo section) و مقاومت حقیقی تهیه می‌شوند و در اختیار مفسر قرار می‌گیرند تا با توجه به اطلاعات، مقاطع لایه‌بندی شوند.

روش اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه دوبعدی

در این مطالعه، آرایه مورد استفاده در ژئوالکتریک دوبعدی، آرایه قطبی-دوقطبی است. در هر اندازه‌گیری، الکترودهای جریان ثابت هستند و الکترودهای پتانسیل در امتداد مقطع حرکت می‌کنند (شکل ۴).



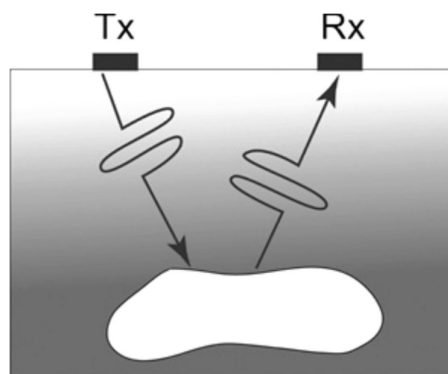
شکل ۴. نحوه قرارگیری الکترودها در آرایه قطبی-دوقطبی.



شکل ۵. آرایش الکترودها برای اندازه‌گیری دوبعدی قطبی-دوقطبی.

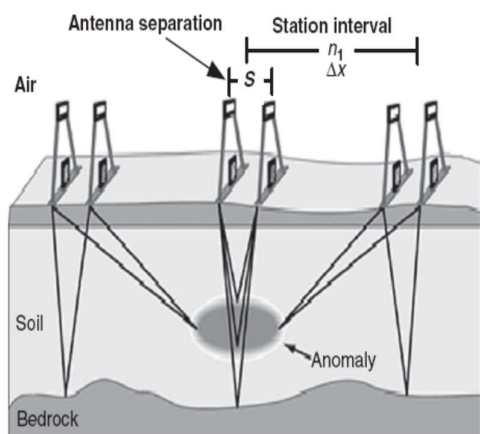
۲-۳ روش اندازه‌گیری داده‌های ژئورادار نفوذی (GPR)

در رایج‌ترین شکل اندازه‌گیری‌های GPR، از یک فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود که در نقطه‌ای ثابت قرار گرفته‌اند و برای دریافت امواج بازتابی ناشی از ساختارهای زیرسطحی، روی سطح حرکت داده می‌شوند (شکل ۶). به‌طور کلی عبور موج از حجم مورد بررسی کارایی بیشتری دارد.



شکل ۶. روش برداشت رادار نفوذی و نحوه ارسال و دریافت موج.

اندازه‌گیری‌ها در فواصل ایستگاهی مشخص (Δx) انجام می‌شود. اگر قرار به پردازش‌های پیشرفته و تصویرسازی باشد، معمولاً داده‌هایی با فواصل یکسان مطلوب است (الکادی و همکاران، ۲۰۰۴). در این پژوهش، دستگاه داده‌ها را با این روش برداشت کرده است. داده‌های برداشت‌شده با نرم‌افزار اصلی RADAN پردازش شده‌اند. ویرایش داده‌ها شامل مراحل همچون تصحیح جابه‌جایی صفر زمانی جهت تصحیح اثر فاصله آنتن با توجه به موج مستقیم دریافت‌شده از هوا، تصحیح اشباع سیگنال برای حذف اثر فرکانس‌های پایین ناشی از عمق کم اهداف مورد مطالعه و همچنین استفاده از فیلتر حذف نویز زمینه (background noise removal) است. به‌طور خلاصه، در این پروژه از فیلترهای تصحیح جابه‌جایی صفر زمانی، فیلتر حذف نویز زمینه و فیلتر میان‌گذر (band pass) با باند فرکانسی ۳۰ تا ۹۰ مگاهرتز استفاده شد و با تقویت (gain) مناسب دامنه سیگنال‌ها، مقاطع عمقی تحلیلی به‌دست آمدند.



شکل ۷. نمایش برداشت فاصله مشترک در طول یک خط.

همان‌طور که پیشتر گفته شد، در سامانه ایدئال GPR، مدار فرستنده سیگنال الکتریکی را به آنتن فرستنده می‌فرستد و آن سیگنال به صورت انرژی گسیل می‌شود. آنتن گیرنده، میدان گسیل‌شده را دریافت و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. در این سامانه، سیگنال خروجی از مدار فرستنده، $P(t)$ ، آنتن فرستنده را تغذیه می‌کند و سیگنال بازگشتی از آنتن گیرنده، $\alpha(t)$ ، با استفاده از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال که گستره دینامیکی وسیعی دارد، به‌سرعت به صورت دیجیتال ثبت و نمایش داده می‌شود (آنان، ۲۰۰۵).

۳ برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه یک‌بعدی

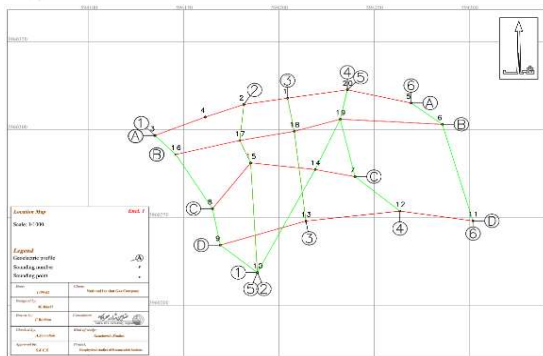
۳-۱ برداشت داده‌های مقاومت ویژه یک‌بعدی جهت اندازه‌گیری تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در محل تعیین‌شده، بررسی شرایط زمین برای خط لوله گاز در

در برداشت‌های فاصله مشترک، از یک فرستنده معمولی استفاده می‌شود که در فاصله معینی از گیرنده قرار دارد. آنتن‌های فرستنده و گیرنده برای میدان ایجادشده و ثبت‌شده ویژگی‌های القایی معینی دارند. مختصات آنتن‌ها ثابت است (برای مثال، فاصله s) و

جریان $AB=200$ متر روی چهار خط برداشت اصلی به نام‌های A تا D و شش خط برداشت فرعی به نام‌های ۱ تا ۶ در محدوده برداشت شد (شکل ۸).

پروژه امامزاده هاشم، تفکیک لایه‌های زیرزمینی بر اساس مقاومت ویژه الکتریکی آنها و تشخیص شکستگی‌های احتمالی، تعداد بیست سونداژ الکتریک با طول فرستنده

تعداد خطهای برداشت	۴
تعداد سونداژها	۲۰
طول فرستنده جریان (AB)	۲۰۰ متر
مقادیر مقاومت ویژه ظاهری	
• حداقل	۲ اهم متر
• حداکثر	۳۰۰۰ اهم متر
ارتفاع سونداژها	
• حداقل	۲۷۲۲/۵۶ متر
• حداکثر	۲۷۹۱/۳۷ متر



شکل ۸. موقعیت خطوط برداشت یک‌بعدی و دوبعدی به همراه سونداژهای برداشت شده روی تصویر ماهواره‌ای.

گسترش آنها را به‌طور کیفی ارزیابی کرد. در این مقطع‌ها همچنین می‌توان روند همبندی‌ها و شکستگی‌های احتمالی را از روی شیب به‌نسبت تند پربندها تشخیص داد. منحنی‌های هم‌مقاومت ویژه ظاهری در این مقاطع، بیشتر برای مقادیر ۵ تا ۳۰۰۰ اهم‌متر رسم شده‌اند (شکل ۹).

• مقاطع ژئوالکتریک

در مقاطع ژئوالکتریک می‌توان تغییرات مقاومت حقیقی را بعد از تصحیحات و تفسیر اولیه مشاهده کرد. در این مقاطع با افزایش عمق، روند افزایش مقاومت مشاهده می‌شود. وجود مقاومت‌های زیر ۱۰۰ اهم‌متر در سطح می‌تواند ناشی از عوامل مربوط به هوازدگی باشد. با کمی فاصله از سطح،

۳-۲ پردازش و تفسیر داده‌های ژئوالکتریک یک‌بعدی

به منظور بررسی کیفی و کمی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی زمین در منطقه مورد مطالعه، مقاطعی بر اساس مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری و حقیقی تهیه شد که از داده‌های خام صحرائی محاسبه شده بودند.

• مقاطع هم‌مقاومت ویژه ظاهری

مقاطع هم‌مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری نشان‌دهنده نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در صفحات قائمی است که از امتداد خطوط برداشت می‌گذرند. براساس روند پربندها در این مقاطع می‌توان گسترش لایه‌ها و تغییرات روند

باشد که ناشی از مقاومت کم آن است. این موضوع سبب تشدید لغزش می شود. در طول مقاطع معرفی شده، دو سطح لغزش با رنگ های قرمز و آبی مشخص شده است. زیر سطح لغزش ثانویه در برخی قسمت ها یک ناحیه کم مقاومت جداسازی شده است که بیانگر سست بودن این محدوده و احتمال ریزش مجدد آن است (شکل ۹).

۴ برداشت، پردازش و تفسیر داده های مقاومت ویژه دوبعدی

۴-۱ برداشت داده های مقاومت ویژه دوبعدی در مطالعه محدوده امامزاده هاشم، از آرایه قطبی - دو قطبی با فواصل الکترودی ۵ و ۱۰ متر استفاده شده است. برای دستیابی هم زمان به اطلاعات بیشتر در نزدیک سطح و همچنین بررسی گسترش به عمق، از فواصل الکترودی ۵ متر با حداکثر ۸ پرش و فواصل ۱۰ متری با پرش ۴ تا ۱۳ برای الکترو پتانسیل استفاده شده است (شکل ۱۰). عمق بررسی حدود ۵۰ متر خواهد بود.

بخشی از زمین مقاومت بیشتری نشان می دهد که می تواند نشانه ای از بی هنجاری مرتبط باشد. روند افزایش مقاومت را با زیاد شدن رنگ آبی در مقاطع از شمال به جنوب می توان مشاهده کرد. در این مقاطع در سطح، دو لایه آهک و شیل کم مقاومت و همچنین واریزه هایی از شیل و آهک وجود دارد. محل اتصال بین این دو لایه به دلیل اختلاف مقاومت، جزء خطوط لغزشی محسوب می شود. لایه TRe^1 ، با توجه به کم مقاومت بودن، احتمال ایجاد ریزش مجدد و لغزش را به وجود می آورد. ممکن است در اثر بارندگی ها این محدوده حاوی آب باشد. در این مقطع دو سطح لغزش با رنگ های قرمز و آبی مشخص شده است (شکل ۹).

به طور کلی مقدار منحنی های مقاومت ویژه در این مقاطع، نشان دهنده افزایش مقاومت به سمت جنوب و همچنین افزایش مقاومت در عمق است. سه لایه آهک و شیل به صورت شیب دار و با اختلاف مقاومت ویژه روی یکدیگر قرار گرفتند و خط لغزش دوباره از بین آنها عبور کرده است. احتمال می رود در لایه TRe^1 آب وجود داشته

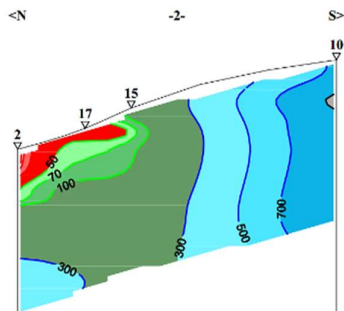
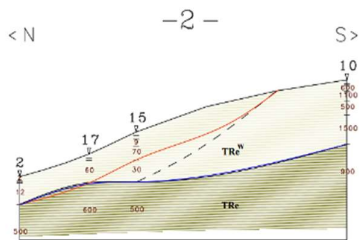
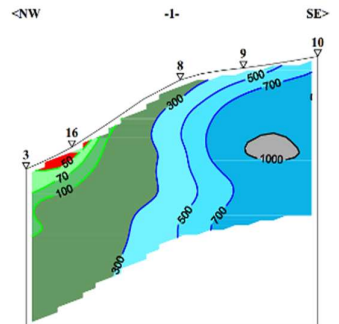
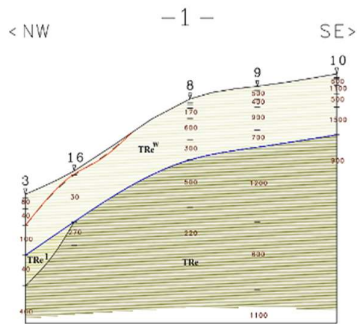
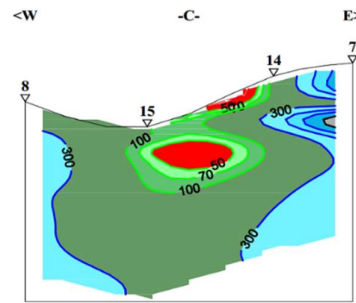
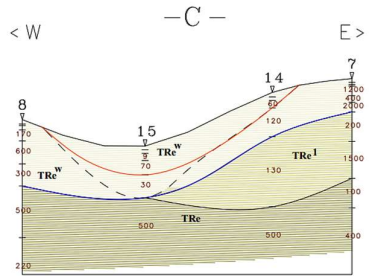
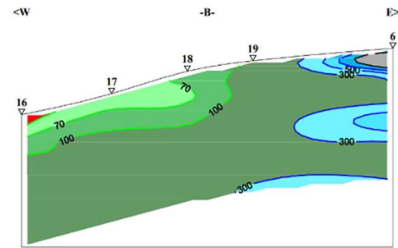
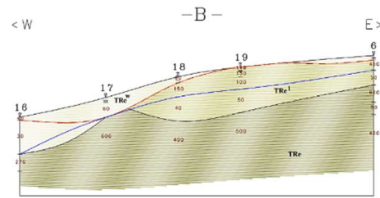
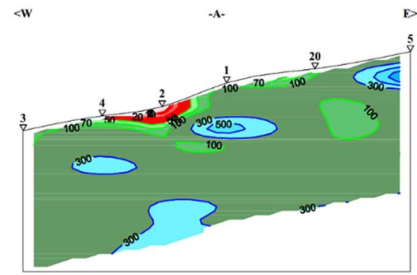
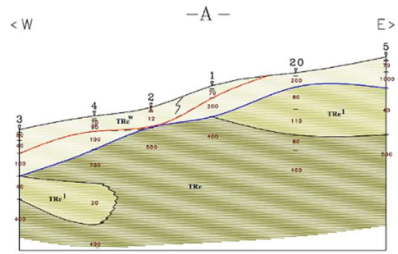
جدول ۱. نقاط برداشت شده به تفکیک پروفیل ها.

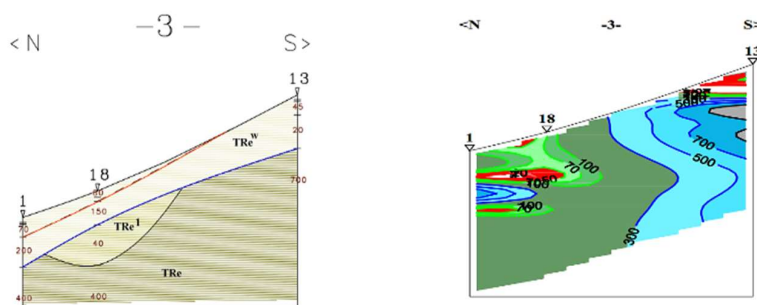
پروفیل	A	B	C	D
شماره سونداژ	۶	۵	۴	۴
ایستگاه	۲۰-۵-۴-۳-۲-۱	۶-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶	۱۵-۱۴-۸-۷	۱۳-۱۲-۱۱-۹
جهت	W-E	W-E	W-E	W-E

پروفیل	۱	۲	۳	۴	۵	۶
شماره سونداژ	۵	۴	۳	۴	۴	۳
ایستگاه	۳-۱۶-۸-۹-۱۰	۲-۱۰-۱۵-۱۷	۱-۱۸-۱۳	۱۹-۲۰-۷-۱۲	۱۰-۱۴-۱۹-۲۰	۵-۶-۱۶
جهت	NW-SE	N-S	N-S	NW-SE	SW-NE	NW-SE

جدول ۲. نقاط برداشت شده به تفکیک پروفیل ها.

شماره پروفیل	آرایه برداشت	فاصله الکترودی	تعداد داده های برداشت شده
۱	قطبی - دو قطبی	۵-۱۰	۴۶۸
۲	قطبی - دو قطبی	۵-۱۰	۴۶۸
جمع کل			۹۳۶





شکل ۹. مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک.



شکل ۱۰. موقعیت خطوط برداشت یک‌بعدی و دوبعدی به همراه محل سونداژهای برداشت‌شده در تصویر ماهواره‌ای.

جانبی و عمقی این پارامترهای فیزیکی را نشان می‌دهند. استفاده از این تغییرات به‌تنهایی، سبب شناسایی نوع لیتولوژی نمی‌شود؛ بنابراین جهت کاهش عدم قطعیت در شناسایی نوع لیتولوژی در زمان تفسیر مقاطع ژئوالکتریک، باید از داده‌های زمین‌شناسی منطقه و اطلاعات گمانه‌های حفاری موجود استفاده شود.

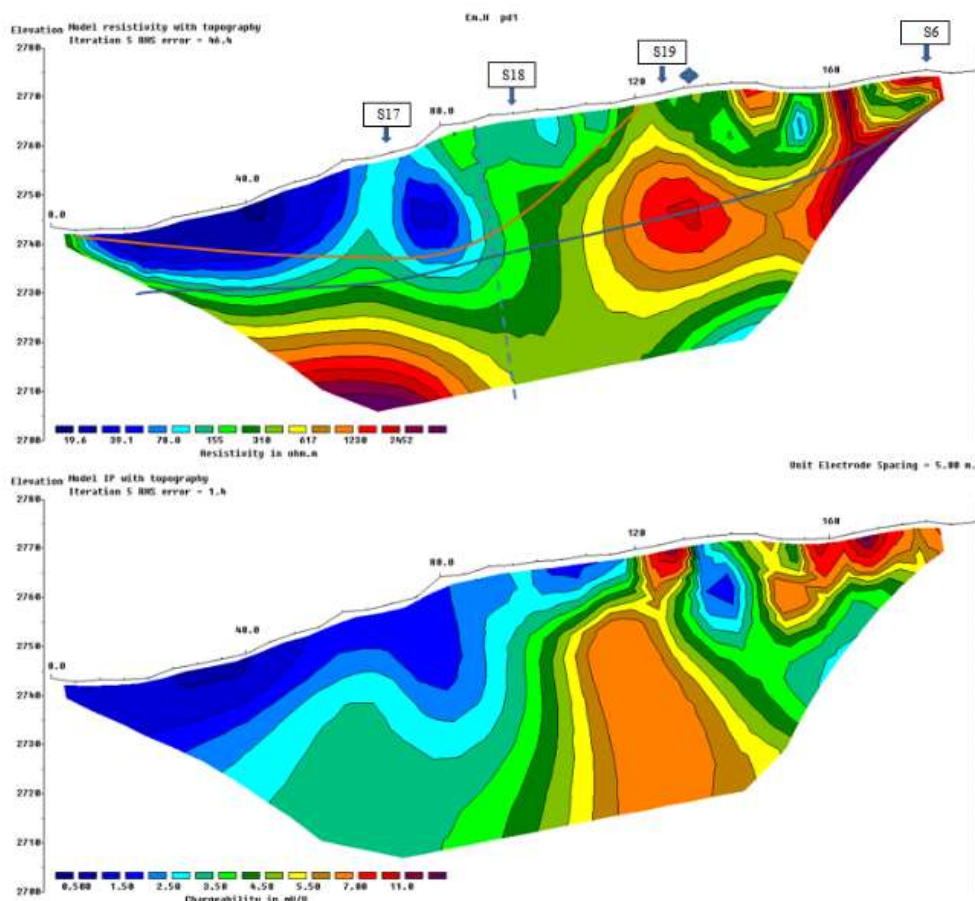
به‌طور کلی با توجه به داده‌های خام برداشت‌شده، مقدار بارپذیری کم است و حداکثر به ۵/۵ میلی‌ولت بر ولت رسیده است که این افزایش کم ناشی از وجود گل‌ولای در نواحی خاک‌های سطحی یا افزایش نسبی شیب‌توزیته در بعضی نواحی است. بیشینه مقاومت ویژه داده‌های خام پروفیل‌ها به ترتیب ۲۹۰۹ و ۳۶۰۹ اهم‌متر با میانگینی در حدود ۲۸۹ تا ۷۳۴ اهم‌متر است. مقاومت زیاد احتمالاً به دلیل وجود حفره و سنگ‌های آهکی یکپارچه در بعضی نواحی است.

۴-۲ پردازش و تفسیر داده‌های ژئوالکتریک دوبعدی

برای بررسی زمین‌لغزش در محدوده امامزاده هاشم، عملیات ژئوفیزیک به روش IP&RS اجرا شد. دو پروفیل متقاطع برای این عملیات تعیین شده است (جدول ۲).

داده‌های صحرائی برداشت‌شده IP/RS، با استفاده از نرم‌افزارهای پردازشی اصلاح و مدل‌سازی شدند. پس از آن، مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شدند که شامل دو مقطع دوبعدی مقاومت ویژه و قطبش القایی بود. هنگام مدل‌سازی باید از ارتفاع نقاط خط برداشت برای تصحیحات توپوگرافی استفاده شود تا تأثیر توپوگرافی بر موقعیت و مقدار پارامترهای اندازه‌گیری‌شده محاسبه و اعمال شود. در شکل ۱۱ دامنه تغییرات مقادیر مقاومت ویژه و قطبش القایی از کوچک به بزرگ با طیف رنگی آبی تا بنفش نمایش داده شده است.

مقاطع مقاومت ویژه الکتریک و قطبش القایی، تغییرات



شکل ۱۱. مقطع مدل‌سازی شده مقاومت ویژه و قطبش القایی.

سقف حفره‌ها و همچنین سستی ناحیه گسله و واحد شیست- آهکی روی آن، باعث ایجاد زمین لغزش شده است (شکل ۱۱).

۵

برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های ژئورادار نفوذی

۵-۱ برداشت داده‌های ژئورادار نفوذی

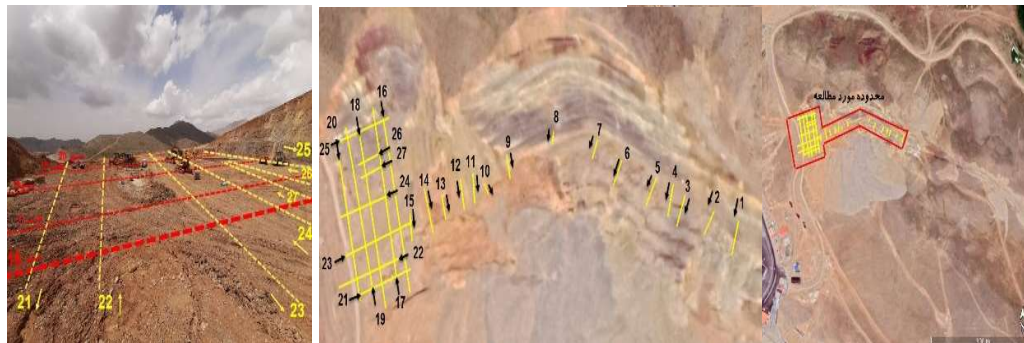
مطالعات ژئورادار نفوذی با هدف بررسی و تعیین محل مناطق سست شده و حفرات احتمالی در محدوده انجام شده است. عملیات برداشت داده‌ها با استفاده از آنتن ۸۰ مگاهرتز اجرا شد. نتایج برداشت به متر از کلی ۱۰۰۰ متر، با نرم‌افزار حرفه‌ای پردازش و با لحاظ کردن شرایط محیطی

با توجه به نتایج دو پروفیل برداشت شده، دو فرضیه را می‌توان درباره زمین لغزش در محدوده عبوری خط لوله گاز امامزاده هاشم مطرح کرد:

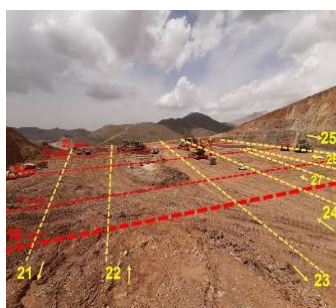
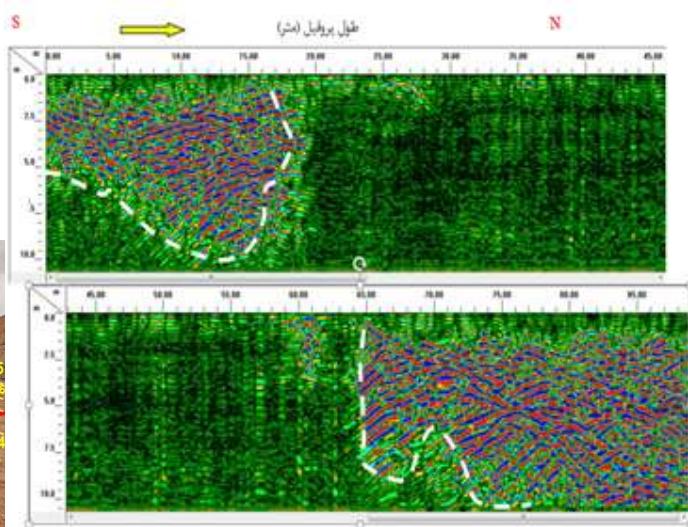
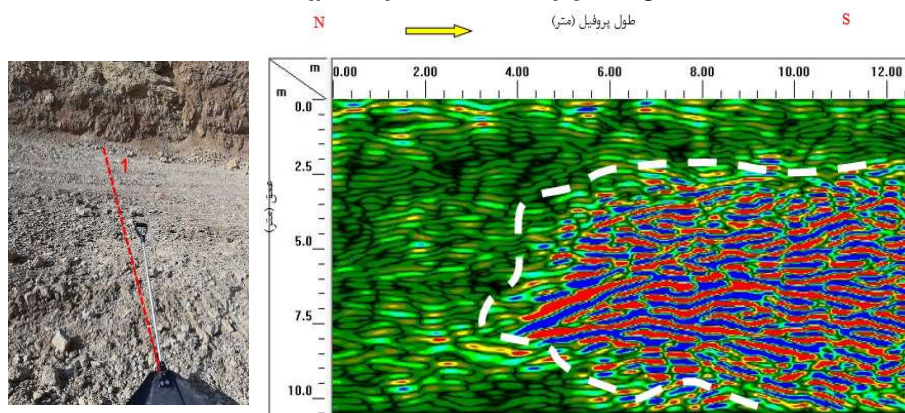
الف) به دلیل وجود گسل یا شکستگی احتمالی در هر دو مقطع و وسیع بودن خردشدگی که همراه با شکستگی‌های فراوان است و همچنین افزایش شیب‌توزیته در زیر مقاطع در عمق حدود ۲۰ متری و افزایش بارندگی که باعث جریان زیاد آب در این محدوده شده است، گسستگی و لغزش زمین در این ناحیه رخ داده است؛

ب) حفره‌های متعددی در سطح و در طول نواحی برداشت شده دیده می‌شود و همچنین حفره‌هایی احتمالی در مقطع شماره ۱ تشخیص داده شده است. احتمالاً نشست

و در نظر گرفتن تمامی عوارض موجود در مسیر پیمایش‌ها تفسیر شد. برداشت‌ها در قالب ۲۷ پروفیل انجام شده است. پروفیل‌های ۱ تا ۱۵ داخل ترانشه و عمود بر امتداد آن و پروفیل‌های ۱۶ تا ۲۷ در ساختگاه محل احداث ایستگاه در قالب شبکه برداشت شده‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. محل برداشت داده‌های GPR در منطقه مورد مطالعه.

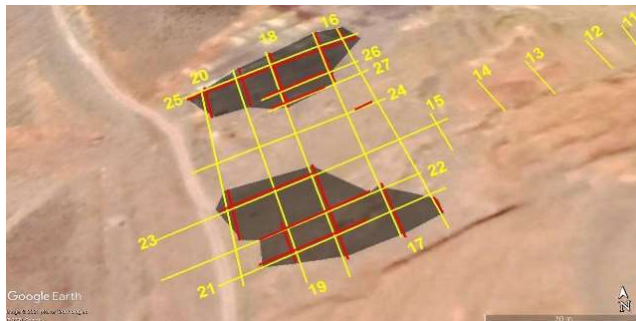


شکل ۱۳. مقاطع رادار نفوذی و نمایی از محل پروفیل‌ها.

۲-۵ پردازش و تفسیر داده‌های ژئورادار نفوذی

در طول مسیرهای برداشت شده، مناطق سست شده احتمالی با رنگ‌های آبی و قرمز که نشان‌دهنده انعکاس بیشتر امواج است، در اعماق مربوطه روی مقاطع دیده می‌شود (شکل ۱۳). مناطق سست شده احتمالی در مقاطع با خط‌چین سفید مشخص شده‌اند. در طول پروفیل‌ها محدوده‌هایی مشخص

شده است که احتمالاً حفره‌هایی در آنها وجود دارد (شکل ۱۴). مناطق تیره‌رنگ در محدوده ساختگاه در شکل ۱۴، مساحت دربرگیرنده حفره‌ها را نشان می‌دهند. این مناطق از به هم وصل کردن نواحی سست شده احتمالی در هر پروفیل حاصل شده‌اند.

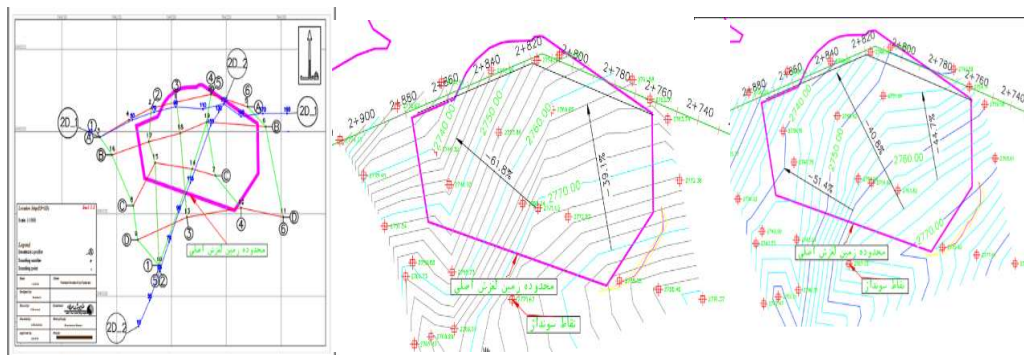


شکل ۱۴. نمایی از پروفیل پیمایش شده در ساختگاه ایستگاه و محل بی‌هنجاری‌های مشخص شده

۶ بررسی رانش زمین مجاور خط لوله و تحلیل پایداری

در گام اول، بر اساس عمق سطح مستعد لغزش حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، توپوگرافی سطح مستعد لغزش تعیین و دو سطح مستعد لغزش فوقانی و تحتانی طی مطالعات ژئوالکتریک یک‌بعدی و دوبعدی شناسایی شد (شکل‌های ۹ و ۱۱). سطح مستعد لغزش فوقانی حالت صفحه‌ای (planar) دارد و شیب آن بین ۳۹ تا ۶۲ درصد (زاویه با افق ۲۱ تا ۳۲ درجه) است. سطح مستعد لغزش تحتانی نیز بیشتر

حالت صفحه‌ای دارد و شیب آن بین ۴۱ تا ۵۱ درصد (زاویه با افق ۲۲ تا ۲۷ درجه) است. سطوح مستعد لغزش روی شیب لایه‌بندی زمین تشکیل شده‌اند و سازوکار لغزش‌ها حرکت صفحه‌ای است که یکی از انواع لغزش‌های انتقالی (translational) محسوب می‌شود (شکل ۱۵). از آنجا که عمده مشکل ایجادشده مربوط به قطع کردن پنجه سطح مستعد لغزش فوقانی به دلیل حفاری باند لوله بوده است؛ از این رو هر توده خاکی و سنگی روی این سطح، مستعد حرکت‌های ثانویه خواهد بود.



شکل ۱۵. موقعیت پروفیل‌های ژئوالکتریک نسبت به محدوده لغزش (چپ)، توپوگرافی سطح مستعد لغزش فوقانی (وسط) و تحتانی (سمت راست).

۷ نتیجه گیری

(۱) با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک یک بعدی، نوع و ضخامت لایه هوازده و لایه های زیرین و لایه های فرعی داخل آن مشخص و روند سنگ کف و سطح لغزش نیز تعیین شد. در طول مقاطع ارائه شده، دو سطح لغزش مشخص شد. در زیر سطح لغزش ثانویه، در برخی قسمت ها یک ناحیه کم مقاومت جداسازی شده که بیانگر سست بودن این محدوده و احتمال ریزش مجدد آن است؛

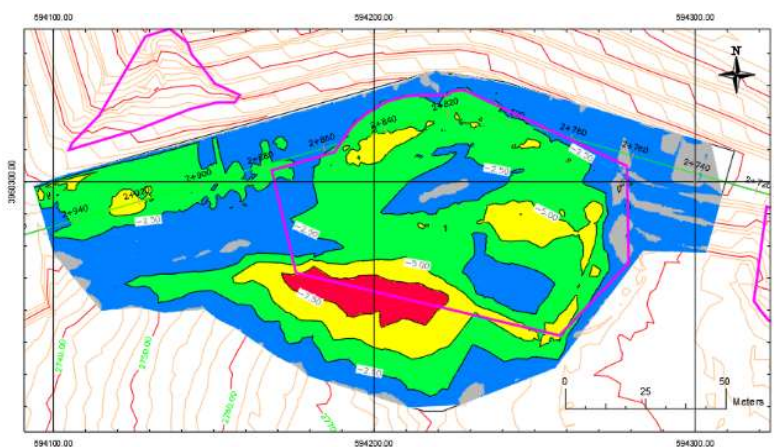
(۲) با بهره گیری از مطالعات ژئوالکتریک دوبعدی مشخص شد در منطقه، گسل یا شکستگی احتمالی همراه با شکستگی های فراوان و افزایش شیبستیزیته در برخی نقاط وجود دارد؛ لذا افزایش بارندگی در این محدوده که به جریان زیاد آب منجر شده است، احتمالاً باعث گسستگی و لغزش زمین در این ناحیه شده است؛

(۳) با کمک مطالعات GPR، حفره های متعددی در سطح و در طول نواحی برداشت شده مشاهده شد که احتمال نشست سقف حفره ها و همچنین سستی منطقه گسله را نشان می دهد. این موضوع می تواند باعث ایجاد زمین لغزش شده باشد؛

(۴) با کمک مجموعه مطالعات انجام شده، محدوده زمین لغزش اصلی حاصل از مطالعات ژئوفیزیک مشخص می شود؛

(۵) سطوح مستعد لغزش، روی شیب لایه بندی زمین تشکیل می شوند و سازوکار لغزش ها حرکت صفحه ای است؛

(۶) عمده مشکل ایجاد شده مربوط به سطح مستعد لغزش فوقانی است؛ لذا راهکار عملیاتی مناسب، برداشت کامل توده هوازده با توجه به شیب تقریبی صفحه لغزش و هندسه مورد نیاز باند لوله گذاری خواهد بود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. خطوط هم تراز برداشت زمین.

منابع

- مهندسین مشاور صحراکاو، ۱۴۰۰، گزارش ژئوفیزیک بر روی خط لوله گاز امامزاده هاشم- رودهن استان تهران.
- مهندسین مشاور صحراکاو، ۱۴۰۰، گزارش تحلیل پایداری و بررسی رانش زمین مجاور امامزاده هاشم (ع).
- Borecka, A., Herzig, J., and Durjasz-Rybacka, M., 2015, Ground penetrating radar investigations of landslides: a case study in a landslide in Radziszów: *Studia Geotechnica et Mechanica*, **37**(3), 11-18.
- Gosar, A., and Čeru, T., 2016, Search for an artificially buried karst cave entrance using ground penetrating radar: a successful case of locating the S-19 cave in the Mt. Kanin massif (NW Slovenia): *International Journal of Speleology*, **45**(2), 135-147.
- Jongmans, D., and Garambois, S., 2007,

Revil, A., Soueid Ahmed, A., Coperey, A., Ravanel, L., Sharma, R., and Panwar, N., 2020, Induced polarization as a tool to characterize shallow landslides: *Journal of Hydrology*, **589**, 125369.

Geophysical investigation of landslides: a review: *Bulletin de la Société Géologique de France*, Société géologique de France, **178**(2), 101-112.

Investigation of landslide situation along the path of gas pipelines in Imamzadeh Hashem-Rudehen area of Tehran province, Iran

Saeed Ghazinezhad^{1*}, Mahshid Abtahi², Mehdi Bajelan³ and Amirreza Masir⁴

¹ International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

² Manager of engineering Dep. in Sahrakav consulting engineers Co., Tehran, Iran

³ Head of engineering and planning of the 10th national pipeline project, Tehran, Iran

⁴ Sahrakav consulting engineers Co., Tehran, Iran

(Received: 03 February 2023, Accepted: 03 October 2023)

Summary

This article deals with the study of land slide situation on the proposed path of the gas pipe line from Imam zadeh Hashem to Rudehen in Tehran province, using geophysical studies with 3 geophysical methods of one dimensional geoelectrical method, 2 dimensional Geo electrical Induced Polarization and Resistivity (IP & RS) method, and Ground Penetration Radar (GPR) method. For this purpose, geophysical studies were carried out in the study area (in 70 kilometers east of Tehran and near Rodhan) as follows.

In order to measure the changes of Geoelectrical resistivity in the designated place, to check the ground conditions for the gas pipeline in the Imam zadeh Hashem project, to separate the underground layers based on their Geoelectrical resistivity and to diagnose possible fractures, the number of 20 electrical soundings in an irregular network were recorded in the land slide area along ten profiles. After the approximate identification of the land slide area, 2D study was done in two profiles with a pole - dipole arrangement of 380 meters with induction polarization and resistivity (IP-RS) method. In order to obtain more information near the surface at the same time and also to investigate the extension to the depth, 5-meter electrode intervals with a maximum of 8 jumps and 10-meter intervals from 4 to 13 jumps have been used. The depth of investigation will be about 50 meters.

Moreover, Ground Penetration Radar (GPR) method was performed with the length of 1000 meters in 27 profiles. GPR studies have been conducted with the aim of investigating and determining the location of loosened areas and possible holes in the range. Data acquisition was done using 80 MHz antenna. The results of data acquisition for a total area of 1000 meters have been processed by professional software and interpreted by taking into account the environmental conditions and taking into account all the complications in the route of the conducted surveys.

Based on conducted studies, the land slide areas were determined and using Ground Penetration Radar (GPR), underground cavities were located.

With the help of the conducted studies, the range of the main land slide resulting from geophysical studies is determined and land slide prone surfaces are actually formed on the slope of land stratification and the mechanism of slides is planar movement.

The main problem is related to the surface prone to upper slippage. Therefore, consolidation and stabilization of anomalous areas were investigated using stability analysis software.

Keywords: 2D geoelectrics, induced polarization, GPR, landslide, stability analysis, Imam zadeh Hashem