

رفتار ژئوتکنیکی پهنه آبرفتی تهران در برابر جنبش لرزه ای احتمالی

فریدون رضایی^۱، حمید نظری^۱، سحر رحمانیان^۲ و علیرضا شهیدی^۳

^۱ استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳ دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۳

چکیده

با توسعه روز افزون شهری و ساخت و گسترش سازه‌های سطحی و زیر سطحی چون خطوط بسیار مترو در سطح کشور، نیاز به انجام مطالعات ژئوتکنیک پیرامون این سازه‌ها بیش از پیش مورد تأکید قرار می‌گیرد. تهران بزرگ، که در دامنه جنوبی بلندی‌های البرز مرکزی روی مجموعه نهشته‌های آبرفتی کواترنری با گسل‌های جنبی لرزه‌زایی چون سامانه شمالی در سوی شمال و گسل‌های پارچین و پیشوا در سوی جنوب در بر گرفته شده است، نیاز انجام پژوهش‌هایی با هدف برآورد ارتباط دو سویه توان لرزه‌خیزی گسل‌های پیرامون و ویژگی‌های ژئوتکنیکی نهشته‌های گستره مورد مطالعه را آشکار می‌سازد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی نهشته‌های مسیر، جنس لایه‌های خاک و پارامترهای مختلف هر لایه به کمک نرم افزارهای تهیه شده، چون مقادیر ظرفیت باربری و نشست و پتانسیل روانگرایی در درازای ۲۷ کیلومتری از مسیر تونل خط ۷ مترو تهران پرداخته شده است. بر پایه این پژوهش، نهشته‌های آبرفتی واحدهای C و D مجموعه‌های آبرفتی تهران، از مقاومت به نسبت بالایی برخوردار و مقدار نشست سطح زمین در تمامی نقاط اندازه‌گیری شده، در حد مجاز ($>2.5\text{cm}$) است. بررسی ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر پایه داده‌های SPT، نشان از نبود احتمال رخداد روانگرایی در لایه‌های ماسه‌دار در گستره خاوری- مرکزی تهران، در هنگام یک جنبش لرزه‌ای احتمالی دارد.

کلیدواژه‌ها: ژئوتکنیک، ظرفیت باربری، روانگرایی، نهشته‌های آبرفتی تهران، گسل‌های جنبی لرزه‌زایی

*نویسنده مسئول: فریدون رضایی

Email: Rezaie8@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

در ۳۵ درجه تا ۳۶/۵ درجه شمال عرض جغرافیایی و ۵۰ تا ۵۳ درجه خاوری در دامنه البرز مرکزی قرار دارد. از نظر اقلیمی، تهران با قرارگیری در دامنه جنوبی بلندی‌های البرز مرکزی و لبه شمالی بخش‌های خشک و کویری ایران مرکزی، از نوسان آب‌وهوایی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. بیشترین رطوبت نسبی ثبت شده برای تهران در حدود ۶۰ درصد در دی ماه و کمترین مقدار آن حدود ۱۲ درصد در خرداد ماه است و میزان بارندگی سالانه آن بندرت بیش از ۲۱۸ میلی‌متر است. گستره تهران بر پایه داده‌های به نقشه درآمده (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ امینی، ۱۳۷۳).

روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر بنا شده که بخش جنوبی آن کم و بیش در کناره شمال باختری کویر بزرگ مرکزی قرار دارد. Rieben (1966) ستبرای رسوبات آبرفتی در گستره شهر تهران را میان ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر برآورد کرده است که پس از وی، بربریان و همکاران (۱۳۶۴) این نهشته‌های آبرفتی را به ۴ بخش A, B, C و آبرفت‌های تهران (D) به‌عنوان بخش بالایی و جوان‌تر قابل تقسیم‌بندی دانست. بر پایه داده‌های به‌دست آمده از گمانه‌های مشاهداتی و برش‌های قابل دسترس در محدوده شهری، گستره مورد مطالعه در بخش (C) از آبرفت‌های تهران قرار می‌گیرد، اگر چه در پاره‌ای از گزارش‌های ژئوتکنیکی به‌دست آمده از گمانه‌های مسیر تونل در قطعه خاوری- باختری خط ۷ مترو تهران (شکل‌های ۲-B و C) برگرفته از داده‌های مؤسسه حرا (۱۳۸۸)، این بخش از مسیر انتخابی خط ۷ مترو، بیشتر در سازند آبرفتی تهران واحد D معرفی شده توسط بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، با نهشته‌هایی از نوع رسوبات مخروط افکنه‌ای، سیلابی، جور نشده حاصل از هوازدگی و ته نشست دوباره آبرفت‌های قدیمی‌تر به‌ویژه سازند کهریزک (از واحدهای هم ارز بخش B) قرار می‌گیرد.

تهران با جمعیتی نزدیک ۱۰ میلیون نفر در شمال شهر باستانی ری گسترش یافته که بر خلاف تاریخچه کوتاه خود، از تجربه زمین‌لرزه‌هایی چند در نواحی پیرامونی خود بی‌بهره نبوده است. شهر ری، بارها دستخوش ویرانی‌هایی منسوب به زمین‌لرزه‌های کهن چون زمین‌لرزه‌های ۸۵۵، ۸۵۶، ۹۵۸ میلادی شده است،

افزایش جمعیت شهرها و تراکم بیش از پیش زیرساخت‌های شهری، تمامی برنامه‌های شهری چون سامانه حمل و نقل را با مشکلات گوناگون روبرو ساخته است. این مهم با برهم خوردن تعادل میان تقاضای سفر درون شهری و امکانات و سازوکار انجام سفرها، بیش از پیش رخ می‌نماید. راه‌اندازی شبکه قطارهای زیرزمینی (مترو) در شهر تهران از سال ۱۳۷۷ خورشیدی به‌طور رسمی آغاز شده و در یک دوره زمانی ۱۴ ساله منجر به راه‌اندازی مسیرهای یک، دو، پنج و بخشی از خط چهارم مترو شده است.

توسعه روز افزون شهری و گسترش خطوط شبکه مترو در گستره شهر تهران، نیاز انجام مطالعات ژئوتکنیک پیرامون این سازه‌ها را بیش از پیش به‌ویژه با توجه به شرایط لرزه‌خیزی تهران و همچنین شرایط خاص بافت و ساخت نهشته‌های آبرفتی تهران در امتداد خط ۷ متروی تهران با راستای شمالی- جنوبی و خاوری- باختری و طول ۲۷ کیلومتر دو چندان می‌کند. در این نوشتار سعی شده است تا متناسب با اطلاعات از پیش موجود فراهم آمده از گزارش مطالعات ژئوتکنیک خط ۷ مترو تهران قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا (ص) (۱۳۸۸)، وضعیت زمین‌شناسی، ظرفیت باربری مجاز خاک و میزان نشست زمین گستره، مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین، مناسب‌ترین نوع پی با توجه به جنس خاک و نوع سازه، پیشنهاد شده و در پایان پتانسیل روانگرایی خاک با توجه به شتاب ماکزیمم زمین و بر پایه عدد نفوذ استاندارد، برای ارائه راهکارهای مناسب در جلوگیری از بروز خطرات احتمالی برآورد شده است. در این پژوهش برآورد و تحلیل پارامترهای ژئوتکنیکی با استفاده از نرم‌افزارهای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک بر پایه داده‌های SPT و CPT، ظرفیت باربری و نشست (رضایی، ۱۳۸۹) در محیط نرم‌افزاری EXCEL و SURFER صورت گرفته است.

۲- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت

تهران و مجموعه شهرهای پیرامون آن در گستره اثر گسل‌های جنبی و لرزه‌ای چون گسل‌های شمال تهران و مشا در سوی شمال- شمال خاوری، گسل طالقان در شمال باختری و گسل‌های پارچین و پیشوا در بخش جنوبی خود قرار می‌گیرند. تهران

به منظور شناخت ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی لایه‌های تحت‌الارضی ساختگاه پروژه، ۱۳ حلقه گمانه اکتشافی به متراژ کل ۴۵۱ متر به روش مغزه‌گیری پیوسته و تا ژرفای حداکثر ۵۵ متر با استفاده از دستگاه‌های حفاری ژئوسوندا و OKB و ۵ حلقه چاهک شناسایی دستی تا ژرفای حداکثر ۲۵ متر و به متراژ کل ۱۰۸ متر است. حفاری گمانه‌ها به صورت نمونه‌برداری پیوسته بوده است. نتایج به دست آمده از برداشت‌های صحرایی و داده‌های آزمایشگاهی لایه‌های زیر سطحی را از نظر بافت و جنس در سه بخش خاوری، میانی و باختری قابل تقسیم‌بندی می‌شود (داده‌های مؤسسه حرا، ۱۳۸۸).

بخش خاوری که حد واسط خیابان شهید فهمیده تا پس از میدان شهید محلاتی در نظر گرفته شده با توجه به نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و داده‌های صحرایی، خاک درشت دانه و به‌طور عمده از جنس شن و ماسه با تناوب بسیار کم سیلت و رس تشخیص داده شده و اندیس خمیری خاک این گمانه‌ها میان ۵ تا ۱۵ است. اعداد SPT و CPT در این گمانه‌ها بیانگر تراکم بالای خاک (Very dense) است. دانسیته طبیعی خاک به‌طور متوسط مساوی $1/8 \text{ gr/cm}^3$ است (داده‌های مؤسسه حرا، ۱۳۸۸). بخش میانی از خیابان ۱۷ شهریور تا خیابان مولوی در نظر گرفته شده است. جنس خاک در این گمانه‌ها به‌طور عمده از ماسه (SC-SM) با میان‌لایه‌هایی از خاک ریزدانه (CL-ML) و اندیس خمیری میان ۲ تا ۷ است. اعداد SPT و CPT در این گمانه‌ها بیانگر تراکم بودن خاک این گمانه‌ها است. بخش باختری که خیابان هلال احمر تا بزرگراه نواب را در بر گرفته است. جنس خاک در این گمانه‌ها، خاک ریزدانه (CL) با میان‌لایه‌هایی از ماسه (SC) است. اندیس خمیری خاک در این گمانه‌ها میان ۵ تا ۱۸ است. اعداد SPT و CPT در این گمانه‌ها بیانگر تراکم تا تراکم بالا (Dense to Very dense) است.

۵- برآورد ظرفیت باربری خاک

ظرفیت باربری مجاز پی‌ها با استفاده از پارامترهای مقاومت برشی برای پی‌های سطحی و با اعمال ضریب اطمینان بر ظرفیت باربری نهایی پی‌ها، از روابط ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف ارزیابی می‌شود. در ذیل روش Hansen (1970) که با نظر گرفتن حالات مختلف نظیر شکل شالوده، ژرفای پی، زاویه میل بار و شیب زمین، جهت، برای تعیین ظرفیت باربری خاک استفاده می‌شود، به صورت خلاصه، تشریح می‌شود.

۶- برآورد ظرفیت باربری خاک با توجه به روش هانسن

برای برآورد مقاومت مجاز خاک طبیعی در محل، عوامل گسیختگی برشی و نشست شالوده‌ها همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند (اطیایی، ۱۳۸۵). در این محاسبات، گسیختگی برشی خاک، بر پایه رابطه زیر محاسبه شده است:

$$q_u = C N_c S_c d_c i_c g_c b_c + q N_q S_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

که در این رابطه: C = چسبندگی خاک، γ = وزن مخصوص خاک، q = تنش مؤثر قائم در تراز سطح زیرین شالوده، B = عرض شالوده (قطر برای شالوده دایره)، N_c و N_q و N_γ = ضرایب ظرفیت باربری که تابعی از زاویه اصطکاک درونی خاک هستند، S_c ، S_q ، S_γ = ضرایب شکل، d_c ، d_q ، d_γ = ضرایب ژرف، i_c ، i_q ، i_γ = ضرایب میل بار، g_c ، g_q ، g_γ = ضرایب زمین (پی روی شیب)، b_c ، b_q ، b_γ = ضرایب پی (پی کج شده)، در برآورد ظرفیت باربری مجاز، ضریب اطمینان، برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

چنانچه از نمای سه بعدی حاصل از تلفیق داده‌های به‌دست آمده برای محاسبه ظرفیت باربری با استفاده از روش Hansen (1970) با سطح مقطع مستطیلی در گمانه‌های ۷، ۹، و ۱۱ روی خاک SM در مسیر خاوری- باختری خط ۷ مترو دیده می‌شود (شکل ۳)، کمترین ظرفیت باربری طبق محاسبات انجام شده 10 Kg/cm^2 مربوط به گمانه ۹ در ژرفای ۱۹ متری و بیشترین ظرفیت باربری

(بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). داده‌های به‌دست آمده از شبکه GPS نشان از کوتاه‌شدگی میان $5 \pm 2 \text{ mm/y}$ و $4.5 \pm 1.5 \text{ mm/y}$ البرز مرکزی در راستای تقریبی شمالی- جنوبی دارد و در دو لبه شمالی و جنوبی خود با سامانه‌های فشاری گسل خزر و گسل شمال تهران در بر گرفته شده است.

از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساخت، گستره اثر یک زمین‌لرزه با بزرگای میان تا بزرگ مقیاس می‌تواند سرچشمه‌های لرزه‌ای پیرامون را تا شعاعی نزدیک به ۱۵۰ کیلومتر در برداشته باشد. از این‌رو گستره تهران بزرگ نیز در زمان رخداد یک زمین‌لرزه بزرگ ($M > 6.5$)، متأثر از مجموعه گسل‌های جنوبی پیرامون خواهد بود که از این دست می‌توان به زمین‌لرزه فیروزآباد در سال ۲۰۰۴ اشاره کرد. از این نگاه، بخش درونی البرز مرکزی که از خاور به باختر دربردارنده گسل‌های فیروزکوه، مشای خاوری، مشای مرکزی و طالقان است در قالب سازوکار چپ برشی، پتانسیل لرزه‌ای ایجاد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای تا $M: 7.5$ را دارا است، (Ritz et al., 2003 & 2006; Nazari et al., 2009 & 2011)، (شکل ۱).

لبه جنوبی بلندای البرز مرکزی که بخشی از آن مرز شمالی شهر تهران را شکل می‌دهد نیز با گسل‌های شمال تهران آشکار می‌شود (شکل ۱)، که پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی سال‌های اخیر نیز نشان از پتانسیل جنبش دوباره این گسل با بزرگای نزدیک به ۷،۲ را دارد، (Nazari & Ritz, 2008). در پهنه جنوبی تهران بزرگ نیز پیش از این از پاره‌ای از افزازها با نام گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک یاد شده بود که امروزه گروهی از پژوهشگران تشکیل این افزازها را منسوب به پادگانه‌های ساحلی دانسته‌اند (Nazari et al., 2010) (شکل ۱). در بخش جنوبی خاوری تهران از گسل‌های پارچین، ایوانکی و پیشوا همچنان به عنوان سرچشمه‌های احتمالی زمین‌لرزه‌های آتی یاد می‌شود که پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی روی گسل پیشوا نشان از جنبش‌های لرزه‌ای چند باره این گسل در گذشته با توان لرزه‌ای نزدیک به ۷ دارد، (مجیدی‌نیری و همکاران، ۱۳۹۰). در نقشه‌های فراهم آمده بر پایه داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی، هندسه و سازوکار چشمه‌های لرزه‌ای، تصحیح و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره البرز مرکزی با هدف برآورد خطر نسبی زمین‌لرزه احتمالی در آینده برای کلان شهر تهران بروزرسانی شد که این منطقه را با خطر نسبی بسیار بالا و شتاب مبنای طرح برابر $g/0.35$ معرفی می‌نماید (<http://iranhazard.mporg.ir>).

۳- آب‌شناسی و زمین‌آب‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

گستره مورد پژوهش، بخش بزرگی از سفره آب زیرزمینی دشت‌های گسترده تهران- کرج را تشکیل می‌دهد. در دشت تهران- کرج تعداد ۱۲۹۰ حلقه چاه با آبدهی سالانه $1/5676$ میلیارد متر مکعب مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. مسیر جریان آب‌های زیرزمینی، امتداد شمال باختر به جنوب خاور است. سطح آب زیرزمینی (سطح ایستایی) به جز دو استثنا در میدان محمدیه و بزرگراه بعثت، در دیگر نواحی خطی است و از ژرفای ۱۸۰ متری در شمال تهران شروع و به ژرفای ۱۲ متری در بهشت زهرا می‌رسد.

۴- موقعیت ژئوتکنیکی مسیر خط ۷ مترو تهران

تونل خط ۷ مترو تهران به طول ۲۷ کیلومتر و با ۲۵ ایستگاه جنوب خاور تهران را به شمال باختر پیوند می‌زند و طولانی‌ترین تونل خط مترو به شمار می‌رود که با میانه ژرفای ۲۶ متر، ژرف‌ترین خط نسبت به دیگر خطوط متروی تهران است. این تونل از شهرک امیرالمومنین (ع) واقع در منطقه جنوب خاور تهران در امتداد خاوری- باختری آغاز می‌شود و پس از عبور از تقاطع اتوبان محلاتی، خیابان مولوی و خیابان هلال احمر در تقاطع نواب- قزوین تغییر جهت می‌دهد و در امتداد جنوبی- شمالی در راستای بزرگراه نواب مسیر آن ادامه می‌یابد و در میدان بوستان در منطقه سعادت‌آباد واقع در شمال باختر تهران پایان می‌یابد. شکل ۲، موقعیت گمانه‌ها و مسیر خط ۷ مترو تهران را نشان می‌دهد.

خاک و آزمون نفوذ استاندارد ۴۵ درصد، ضریب تصحیح بر پایه دانسیته نسبی خاک ۰/۵۷ و حداکثر شتاب سطح زمین (a_{max}) ۰/۵۷ در نظر گرفته شده است (شکل‌های ۵ تا ۷). (نرم‌افزار ارزیابی روانگرایی خاک بر پایه SPT، رضایی، ۱۳۸۹-ب) روانگرایی معمولاً در خاک‌های بدون چسبندگی یکنواخت که ۱۰ درصد اندازه آن میان ۰/۰۱ تا ۰/۲۵ میلی‌متر و ضریب یکنواختی آن میان ۲ تا ۱۰ است، ایجاد می‌شود. در برآورد میزان روانگرایی در پروژه خط ۷ مترو، در گمانه‌های ۱ تا ۶ به دلیل اینکه سطح سفره آب زیرزمینی دیده نشده، روانگرایی محاسبه نشده است و به دلیل اینکه خاک‌های ماسه‌ای اشباع بودن و بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی در پدیده روانگرایی حائز اهمیت است، از این رو در گمانه‌های ۷، ۹ و ۱۱ نیز به دلیل اشباع نبودن خاک و پایین بودن سطح سفره آب زیرزمینی پدیده روانگرایی محتمل نخواهد بود (رحمانیان، ۱۳۸۹).

۹- نتیجه‌گیری

از مطالعه داده‌های ژئوتکنیکی به‌دست آمده از ۳ گمانه BH11 و BH9، BH7 درازای ۲۷ کیلومتری از مسیر خاوری-باختری شبکه متروی تهران در نیمه جنوبی گستره شهری و پردازش آنها با توجه به پتانسیل جنبشی برای زمین‌لرزه احتمالی حاصل از جنبش دوباره هر یک از گسل‌های پیرامون پایتخت می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

بیشترین میزان ظرفیت باربری زمین ۱۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای پی با سطح مقطع مستطیلی است.

بیشترین میزان نشست سطح زمین ۱/۹۸ سانتی‌متر در مرکز شالوده انعطاف‌پذیر و برای پی با سطح مقطع مستطیلی است.

کمترین مقدار نشست در خاک SM، مربوط به ظرفیت باربری بیشینه و بیشترین مقدار نشست آن مربوط به ظرفیت باربری کمینه است.

حال آن که سطح آب زیرزمینی در گستره مورد پژوهش برای گمانه‌های ۷ و ۹ حدود ۱۳ متر و برای گمانه ۱۱ حدود ۲۳ متر است، احتمال روانگرایی حاصل از لرزش زمین‌لرزه احتمالی از جنبش یکی از گسل‌های پیرامون در گستره تهران، ضعیف است.

با توجه به نوع خاک محل پروژه که به‌طور عمده شن ماسه‌دار و رسوبات قلوه سنگی ماسه‌دار همراه سیلت و رس است و همچنین پایین بودن سطح سفره آب زیرزمینی، بروز پدیده روانگرایی خاک در هنگام زمین‌لرزه محتمل نخواهد بود.

در مورد ارائه مناسب‌ترین نوع پی باید به این نکته توجه داشت که انتخاب پی مناسب افزون‌بر ویژگی‌های مکانیکی خاک از نقطه نظر مقاومت برشی و تراکم پذیری (نشست)، به حدود بارهای وارده از ستون به پی و یا بارکلی سازه بستگی دارد. با توجه به نوع سازه به نظر می‌رسد، می‌توان پی گسترده را به عنوان پی مناسب پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

از مؤسسه حرا، وابسته به قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء (ص)، برای در اختیار گزاردن نتایج مطالعات ژئوتکنیک خط ۷ مترو تهران، از پژوهشکده علوم‌زمین و از جناب آقای مجتبی بصیری، سپاسگزاری می‌شود.

۱۷ Kg/cm² مربوط به گمانه ۷ در ژرفای ۲۶ متر است. وزن حجمی، ژرفا و سطح بارگذاری از عوامل تفاوت نتایج ظرفیت باربری است (رحمانیان، ۱۳۸۹).

۷- نشست خاک

با توجه به نوع خاک محل پروژه که به‌طور عمده شن ماسه‌دار و رسوبات قلوه سنگی ماسه‌دار همراه سیلت و رس است، نشست شالوده‌ها به‌طور عمده ناشی از تغییر شکل‌های ارتجاعی لایه‌های خاک است و معمولاً در حین اجرا و یا در مدت زمان به نسبت کوتاهی پس از تکمیل عملیات اجرایی به وقوع خواهد پیوست. نشست آبی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد، (Das, 1990):

$$\Delta H = qB \frac{I - \mu^2}{E_s} \text{IP}$$

در این رابطه:

ΔH = نشست الاستیک یا آبی، q = فشار مؤثر، B = عرض شالوده (در شالوده‌های دایره‌ای قطر دایره در نظر گرفته می‌شود)، μ = ضریب پواسون، E_s = ضریب ارتجاعی خاک، I_p = ضریب تأثیر بدون بعد که بستگی به طول و عرض شالوده دارد، در نظر گرفته شده است.

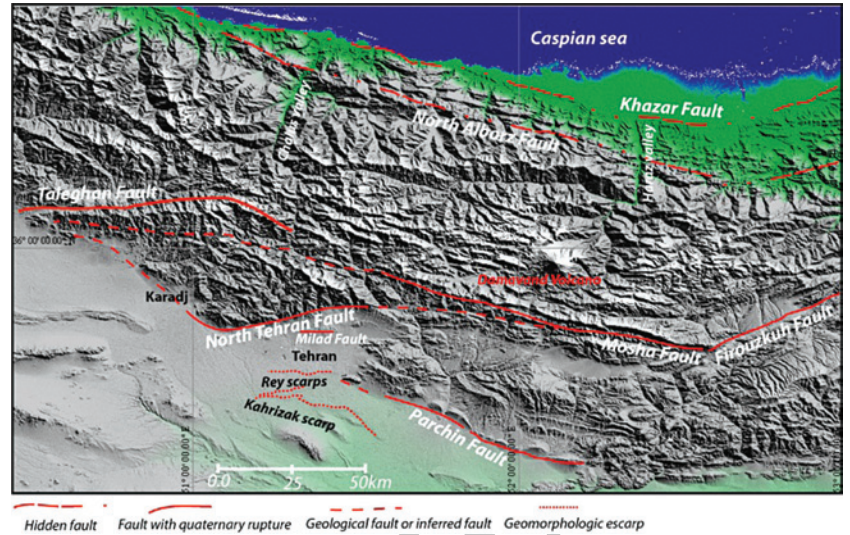
همان‌گونه که از شکل ۴، نمای سه بعدی حاصل از تلفیق داده‌های به‌دست آمده برای محاسبه نشست آبی (بر حسب رابطه اشاره شده) در مرکز شالوده مستطیلی شکل انعطاف‌پذیر در گمانه‌های ۷، ۹ و ۱۱ روی خاک SM در مسیر خاوری-باختری خط ۷ مترو دیده می‌شود، کمترین مقدار نشست طبق محاسبات انجام شده ۱/۳۷ متر و مربوط به گمانه ۷ در ژرفای ۲۶ متری و بیشترین مقدار ۱/۹۸ cm مربوط به گمانه ۹ در ژرفای ۱۹ متری است. وزن سربار و سطح بارگذاری از عوامل تفاوت نتایج نشست است.

۸- بررسی پدیده روانگرایی خاک در مسیر خط ۷ متروی تهران، با استفاده از عدد نفوذ استاندارد

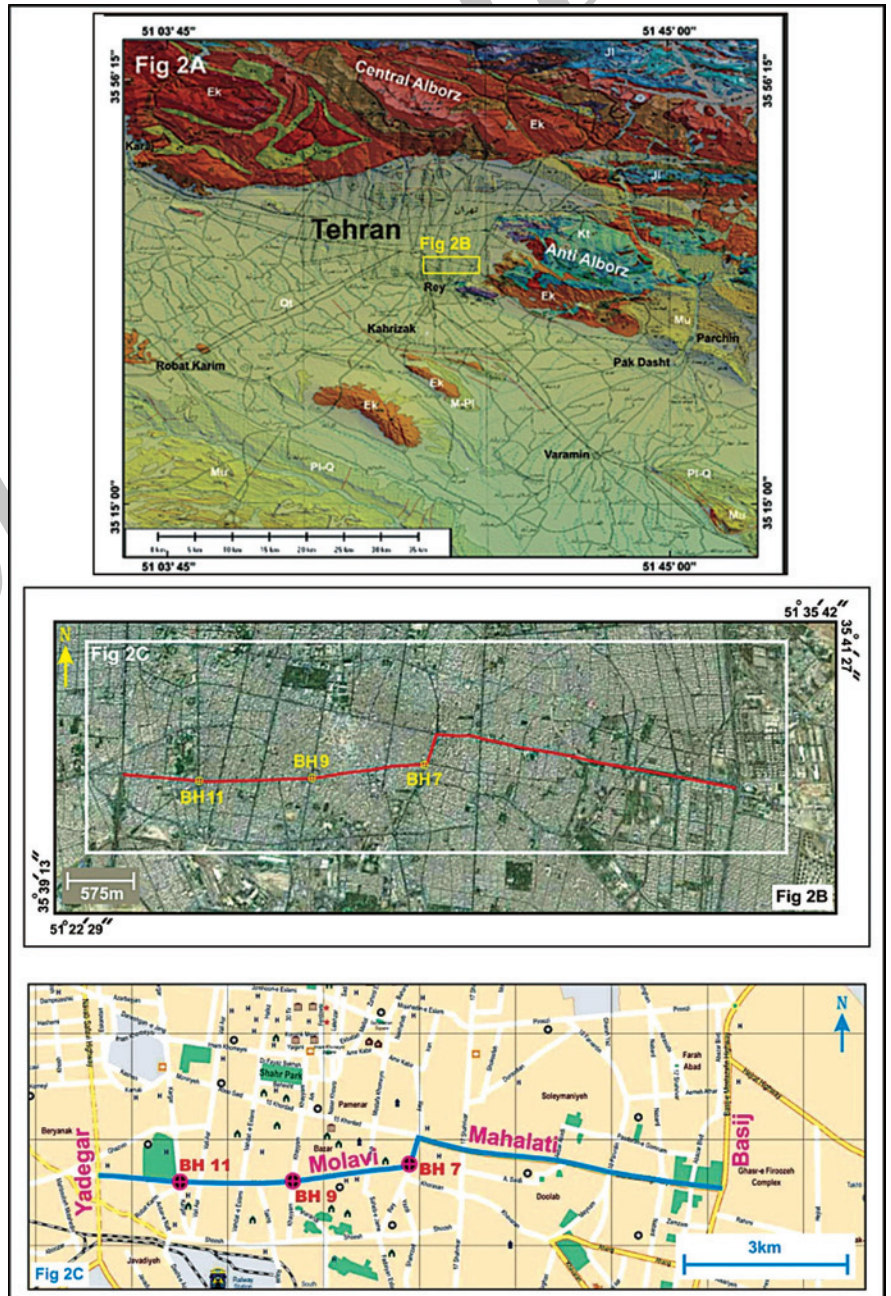
مطالعات پژوهشگران مختلف در رابطه با روان شدن ماسه‌ها نشانگر این امر است که سیلان خاک‌ها تابعی از عوامل بسیاری، به‌ویژه تنش‌های برشی است. با توجه به اینکه تنش‌های برشی ایجاد شده در هر نقطه از نهشته‌های خاکی در هنگام زمین‌لرزه، به‌طور عمده به‌دلیل انتشار امواج برشی در نهشته هستند، (Seed et al. (1975) روش ساده شده‌ای را برای تعیین تنش‌های برشی ایجاد شده، تدوین کردند. به‌منظور رابطه میان مقادیر صحرائی نسبت تنش‌ها، آنها از نسبت τ/σ'_0 (که در آن τ تنش برشی افقی میانگین ایجاد شده توسط زمین‌لرزه و σ'_0 فشار مؤثر اولیه سربار لایه ماسه است)، دانسیته نسبی ماسه و مقاومت نفوذ میانگین اصلاح شده توده ماسه استفاده کرده‌اند. در ارزیابی قابلیت روانگرایی یا تحرک دوره‌ای نهشته‌های ماسه‌ای اشباع، تحت زمین‌لرزه مورد نظر، چنین مرسوم است که نتایج محاسبات به‌صورت ضریب اطمینان در برابر روانگرایی بیان شود. برای محاسبه ضریب اطمینان، باید تنش‌های ایجاد شده توسط زمین‌لرزه و تنش‌های مورد نیاز برای ایجاد روانگرایی محاسبه شوند. به عبارت دیگر خاک‌هایی که ضریب اطمینان آنها کمتر از ۱ است، روانگرا، خاک‌هایی که ضریب اطمینان آنها ۱ است، در آستانه روانگرایی و خاک‌هایی که ضریب اطمینان آنها بیشتر از ۱ است، فاقد روانگرایی هستند (میرحسینی، ۱۳۷۲).

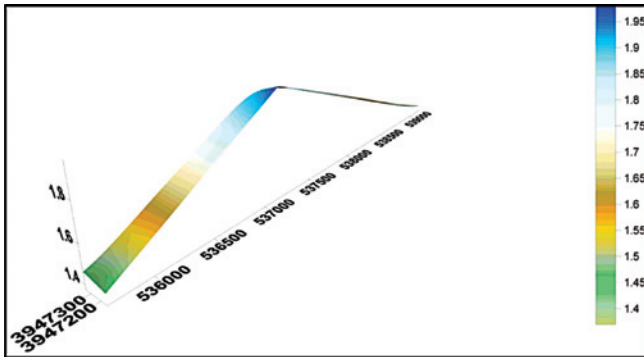
در محاسبه روانگرایی برای سه گمانه ۷، ۹ و ۱۱، بر پایه لوگ حفاری و منحنی‌های دانه‌بندی میزان رسوبات دانه ریز ۱۵ درصد، دانسیته نسبی بر پایه جنس

شکل ۱- نقشه گسل‌های جنبای پیرامون تهران در گستره البرز مرکزی، برگرفته از (Nazari & Ritz, 2008).

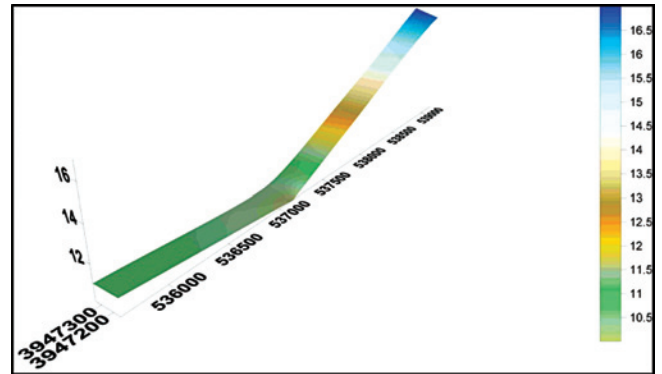


شکل ۲- (A) نقشه برجسته زمین‌شناسی گستره تهران و بلندی‌های پیرامون (برگرفته از Nazari et al., 2010)، چهار گوشه زرد نشانه گستره ارائه شده در شکل‌های 2B و 2C است؛ (B) گستره شهری تهران در مسیر خط شماره ۷ مترو (خط پیوسته با رنگ سرخ) و موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیکی (دوایر به خط زرد) روی تصویر ماهواره‌ای، Google Earth؛ (C) گستره شهری تهران در مسیر خط شماره ۷ مترو (خط پیوسته با رنگ آبی) و موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیکی (دوایر به خط سرخ) روی نقشه شهری تهران.

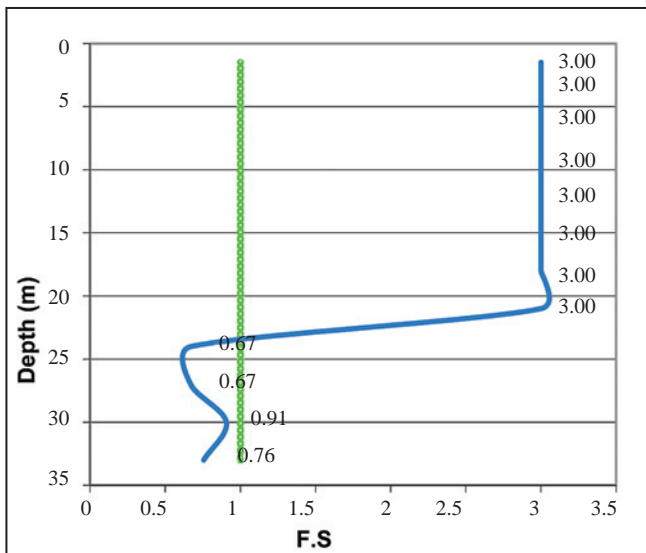




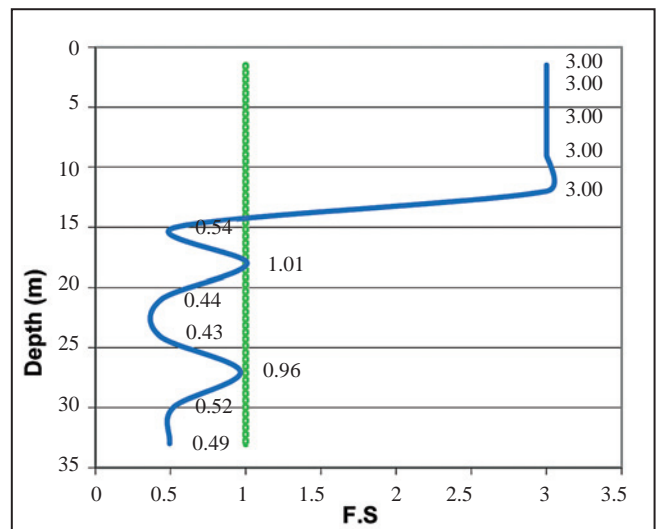
شکل ۴- نمای سه بعدی از تلفیق داده‌های به دست آمده برای نشست آنی (الاستیک) در مرکز شالوده مستطیلی شکل انعطاف پذیر (نرم افزار محاسبه نشست، رضایی، ۱۳۸۹) در گمانه‌های ۷، ۹ و ۱۱ روی خاک در مسیر خاوری- باختری خط ۷ متر و در نرم افزار (WWW.Golden Software Surfer8.com) که محور افقی (x,y) نشانگر مختصات گمانه‌ها بر حسب (cm) و محور قائم (z) نشانگر نشست آنی بر حسب (cm) و در سامانه مختصات UTM است.



شکل ۳- نمای سه بعدی حاصل از تلفیق داده‌های به دست آمده برای ظرفیت باربری با استفاده از روش ارایه شده (نرم افزار محاسبه ظرفیت باربری، رضایی ۱۳۸۹)، در گمانه‌های ۷، ۹ و ۱۱ روی خاک SM در مسیر خاوری- باختری خط ۷ متر و در نرم افزار (WWW.Golden Software Surfer8.com) که محور افقی (x,y) نشانگر مختصات گمانه‌ها بر حسب (cm) و محور قائم (z) نشانگر ظرفیت باربری بر حسب (Kg/cm²) و در سامانه مختصات UTM است. ستون عمودی نشانگر مقیاس ظرفیت باربری محاسبه شده به روش Hansen (1970) با سطح مقطع مستطیلی است.

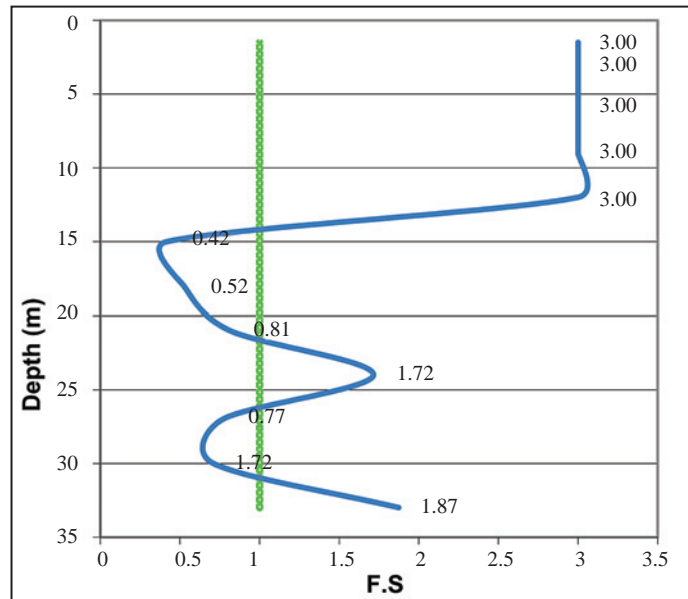


شکل ۶- روانگرایی گمانه ۹ بر اساس عدد نفوذ استاندارد با شتاب حداکثر ۰/۵۷ g و بزرگای ۶ ریشتر (نرم افزار ارزیابی روانگرایی خاک بر اساس SPT، رضایی، ۱۳۸۹). همان گونه که در نمودار دیده می‌شود، از ژرفای ۱۵ متر تا ژرفای ۲۰ متر روانگرایی روی داده است، ولی به دلیل نوع خاک که بیشتر رس و سیلت است، پدیده روانگرایی در هنگام زمین لرزه محتمل نخواهد بود.



شکل ۵- روانگرایی گمانه ۷ بر اساس عدد نفوذ استاندارد با شتاب حداکثر ۰/۵۷ g و بزرگای ۷/۴ ریشتر (نرم افزار ارزیابی روانگرایی خاک بر اساس SPT، رضایی، ۱۳۸۹). همان گونه که در نمودار دیده می‌شود، از ژرفای ۱۵ متر تا ژرفای ۳۲ متر در برخی بخش‌ها روانگرایی روی داده است، ولی به دلیل نوع خاک که بیشتر ماسه سیلتی است، پدیده روانگرایی در هنگام زمین لرزه محتمل نخواهد بود.

شکل ۷- روانگرایی گمانه ۱۱ بر اساس عدد نفوذ استاندارد با شتاب حداکثر $g/0.57$ و بزرگای ۶ ریشتر (نرم افزار ارزیابی روانگرایی خاک بر اساس SPT، رضائی، ۱۳۸۹). همان گونه که در نمودار دیده می شود، از ژرفای ۲۲ متر تا ژرفای ۳۳ متر در برخی بخش ها روانگرایی روی داده است، ولی به دلیل نوع خاک که بیشتر رس و سیلت است و به دلیل پایین بودن سطح سفره آب زیرزمینی، پدیده روانگرایی در هنگام زمین لرزه محتمل نخواهد بود.



کتابنگاری

- امینی، م.، ۱۳۷۳- ویژگی های ژئوتکنیک رسوبات کواترنر تهران، مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین المللی کواترنر، دانشگاه تهران، صفحه ۱۷۱-۱۸۰.
- اطیابی، ا.، ۱۳۸۵- تحلیل و طراحی پی (جلد اول)، انتشارات جویبار، ۷۱۵ صفحه.
- بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۶۴- پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در گستره تهران و پیرامون. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور- گزارش شماره ۵۶.
- رحمانیان، س.، ۱۳۸۹- بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی پروژه خط ۷ مترو تهران با نگرشی بر بزرگای لرزه ای احتمالی- پایان نامه کارشناسی ارشد.
- رضایی، ف.، ۱۳۸۹ الف- تحلیل پدیده ژئوتکنیکی آبرفت کرج- محاسبه مقاومت باربری، گزارش پژوهشی، پژوهشکده علوم زمین.
- رضایی، ف.، ۱۳۸۹ ب- نرم افزار ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک با استفاده از داده های SPT و CPT.
- مؤسسه حرا، ۱۳۸۸- گزارش شماره ۵، مطالعات ژئوتکنیک خط ۷ مترو تهران، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء ص.
- مجیدی نیری، ط.، نظری، ح.، قرشی، م.، طالبیان، م.، کاوه فیروز، آ.، ۱۳۹۰- اولین نشانه های زمین لرزه تاریخی AD ۱۳۸۴ شهر ری، بر روی گسل پیشوا بر پایه پژوهش های پارینه لرزه شناسی، جنوب خاوری تهران- فصلنامه علوم زمین، پاییز ۹۰ شماره ۸۱، ص. ۱۶۹ تا ۱۷۸.
- میرحسینی، س. م.، ۱۳۷۲- دینامیک خاک - انتشارات مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

References

- Das, B. M., 1990- Principals of Foundation Engineering- 2nd. Ed. PWS-Kent, Boston, Mass.
- Hansen, J. B., 1970- A revised and extended formula for bearing capacity- Danish Geotechnical Institute- Bulletin No. 28- Copenhagen.
- Nazari, H. & Ritz, J.-F., 2008- Neotectonics in Central Alborz, special issue, Vol 17 N. 1, GSI. Geoscienc.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Salamati, R., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, J.-L., Massault, M. & Ghorashi, M., 2009- Morphological and Paleo-seismological analysis along the Taleghan Fault (Central Alborz, Iran), GJI, Volume 178 Issue 2, Pages 1028 -1041, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04173.x.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Walker, R., Salamati, R., Ghasemi, A. & Shafei, A., 2011- "Chronology of last earthquake on Firouzkuh Fault using by C14", Vol. 19, N. 76, pp. 95-98, Geosciences, GSI.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Salamati, R., Shahidi, A., Habibi, H., Ghorashi, M. & Talebian, M. 2010- Distinguishing between fault scarps and shore-lines: the question of the nature of the Kahrizak, North Rey and South Rey features in Tehran plain (Iran) Terra Nova (doi: 10.1111/j.1365-3121.2010.00938.x).
- Rieben, E. H., 1966- Geological observation on alluvial deposits in northern Iran, Geological Survey of Iran, Report No. 9.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006- «Active transtention inside Central Alborz: A new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics.» Geology 34(6): 477-480.
- Ritz, J. F., Balescu, S., Soleymani, S., Abbassi, M., Nazari, H., Feghhi, K., Shabaniyan, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J. L., Massault, M., Chery, J. & Vernant, P., 2003- Determining the long-term slip rate along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran. 4th. International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, (See 4), Tehran, Iran. Terra Nova (doi: 10.1111/j.1365-3121.2010.00938.x).
- Seed, H. B., Mori, K. & Chan, C. K., 1975- Influence of seismic history on the liquefaction characteristics of sands- Report EERC 75-25, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkley, 21 pp.

Geotechnical Behavior of Tehran Alluvial Deposits Against Possible Seismic Events

F. Rezaei ^{1*}, H. Nazari ¹, S. Rahmanian ² & A. R. Shahidi ³

¹ Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

² M.Sc. Student, Islamic Azad University, Research and Science Branch, Tehran, Iran

³ Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2011 May 28

Accepted: 2013 August 14

Abstract

Due to the fast urban developing and construction of surface and sub-surface structures such as several subway lines, requiring the geotechnical studies on these structures is increasingly emphasized. The metropolitan Tehran, in south of the Central Alborz, lying on the set of Quaternary alluvial deposits and surrounded by the active seismic faults such as the Northern Tehran fault in the north and the Parchin and Pishva faults in the south requires investigations to determine the bilateral relationship between seismic potential of the peripheral active faults and the geotechnical characteristics of the alluvial deposits. In this study, using field and laboratory data, geotechnical characteristics of the deposits, material of soil horizons, and different parameters of them along the 27 km length of Tehran 7th subway line have been studied by provided software to calculate: bearing capacity, settlement and liquefaction potential. Based on this study, the members C and D of the Tehran alluvial deposits has relatively high resistance value and measured settlement in all areas is limited to 2.5 cm. The data of SPT indicate any likely occurrence of liquefaction of sand layers in the east - central Tehran during a seismic event.

Keywords: Geotechnics, Bearing capacity, Liquefaction, Quaternary alluvial deposits, Active seismic faults.

For Persian Version see pages 35 to 40

*Corresponding author: F. Rezaie; Email:Rezaie8@yahoo.com

Archive of SID