

پهنه‌بندی استعداد روانگرایی خاک‌های مسیر خط ۲ متروی تبریز با استفاده از GIS

محمدحسین قبادی^{۱*}، ابراهیم اصغری کلجاهی^۲، غلامرضا خانلری^۱، رضا بابازاده^۳

پذیرش مقاله: ۸۹/۷/۲۵

دریافت مقاله: ۸۸/۱۰/۲

چکیده

شهر تبریز در یک منطقه فعال تکتونیکی و روی رسوبات ماسه‌ای و سیلتی واقع شده است. به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در برخی از مناطق شهر و دانه‌بندی خاص آبرفت‌ها، در صورت وقوع زلزله‌های قوی، پدیده روانگرایی محتمل خواهد بود. بنابراین به منظور احداث سازه‌های حیاتی ارزیابی استعداد پدیده مذکور ضروری است. در این مقاله با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)، روابط تجربی و نمودارهای پیشنهادی توسط کمیته^۴ NCEER پتانسیل روانگرایی خاک‌های مسیر خط ۲ متروی تبریز ارزیابی شده است. ابتدا ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی، با استفاده از اعداد نفوذ استاندارد تصحیح شده، عمق سطح آب زیرزمینی و درصد مواد ریزدانه خاک (FC^۵) محاسبه گردید. سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 نقشه‌های استعداد روانگرایی آبرفت‌های مسیر در عمق‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ متری تهیه شد. بر اساس ارزیابی انجام شده ضریب اطمینان مصالح آبرفتی در مقابل روانگرایی، در بخش شرقی و غربی مسیر برای بیشتر نقاط بزرگ‌تر از یک می‌باشد. ولی در بخش مرکزی مسیر، مناطقی با ضریب اطمینان کمتر از ۱ وجود دارد که وقوع روانگرایی در آنها محتمل است.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، روانگرایی، آبرفت، SPT آب زیرزمینی، تبریز، مترو،

۱. دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

* مسئول مکاتبات

مقدمه

جدول ۱ - استعداد واحدهای مختلف ژئومورفولوژیکی

نسبت به روانگرایی (Iwasaki et al, 1982)

عنوان	واحد ژئومورفولوژیکی	پتانسیل روانگرایی
A	بستر رودخانه های فعلی، بستر رودخانه های قدیمی، مناطق احیا شده	وقوع روانگرایی محتمل است
		مصلح سست
B	رسوبات بادبزی، خاکریزهای طبیعی، دشت های سیلابی و سایر دشت ها	وقوع روانگرایی محتمل است
C	تراس ها، تپه ها، کوه ها	وقوع روانگرایی محتمل نیست
		مصلح متراکم

به منظور کاهش اثرات ناشی از وقوع این پدیده، بایستی روش های مناسبی جهت ارزیابی استعداد روانگرایی خاک ارائه شود. در این مقاله استعداد روانگرایی آبرفت های مسیر خط ۲ متروی تبریز، بررسی و پس از تعیین ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی، با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 نقشه های نشان دهنده استعداد روانگرایی تهیه گردید. مطالعات انجام شده شامل سه مرحله بوده که بررسی های صحرائی، آزمون های آزمایشگاهی و تحلیل های نرم افزاری را شامل می شود. در نخستین مرحله، ابتدا نقشه توپوگرافی شهر تبریز تهیه شد و پس از رقوم کردن آن، موقعیت گمانه های حفاری شده بر روی نقشه مشخص گردید. در مرحله بعد پس از تعیین عمق سطح آب زیرزمینی و تغییرات آن در طول مسیر، آزمونهای نفوذ استاندارد (SPT) و دانه بندی انجام و اعداد نفوذ استاندارد، نوع دانه بندی و درصد ریزدانه خاکها (FC) مشخص شدند. سپس با استفاده از توصیه های NCEER⁶ استعداد روانگرایی خاکها ارزیابی و برای هر کدام از گمانه ها در اعماق مختلف، ضریب اطمینان در برابر روانگرایی محاسبه گردید. در مرحله نهایی، نقشه های نشان دهنده استعداد روانگرایی آبرفت های مسیر خط ۲ متروی تبریز با استفاده از نرم افزار GIS تهیه شد (ArcGIS9.3).

تنش های تناوبی ناشی از زلزله به ایجاد رفتارهای خاصی در خاکها منجر می شود. از میان این رفتارها، روانگرایی خاک در وارد کردن خسارت بر سازه ها نقش موثری دارد. این پدیده در خاک های دانه ای اشباع و سست هنگام وقوع زلزله های شدید در اثر افزایش فشار آب حفره ای، به وجود می آید. اگر در نتیجه افزایش فشار تجمعی آب حفره ای میزان تنش موثر به صفر برسد، آنگاه خاک مقاومت برشی و توان باربری خود را از دست داده که به نشست، کج شدگی و واژگونی سازه ها منجر می شود (عسگری، ۱۳۸۲). مطالعات نشان داده که ماسه ها، ماسه های سیلنتی (دارای سیلت های غیرپلاستیک) و سیلت های غیرچسبنده خاک های مستعد روانگرایی هستند. در سال های اخیر وقوع روانگرایی در این نوع خاکها در کشورهای ژاپن و تایوان گزارش گردیده که باعث وارد آمدن خسارات سنگین به تاسیسات حیاتی کشورهای مذکور شده است (Thevanayagam & Martin, 2002).

در محدوده دشت تبریز، آثار روانگرایی قدیمی به شکل جوشش ماسه (Sand boiling) گزارش شده است (بربریان، ۱۹۸۳). باید توجه داشت که وقوع مجدد روانگرایی در مناطقی که در طی زلزله های گذشته دچار روانگرایی شده اند، محتمل تر است. این شاهد تاریخی احتمال وقوع مجدد روانگرایی را در دشت مذکور تایید می کند.

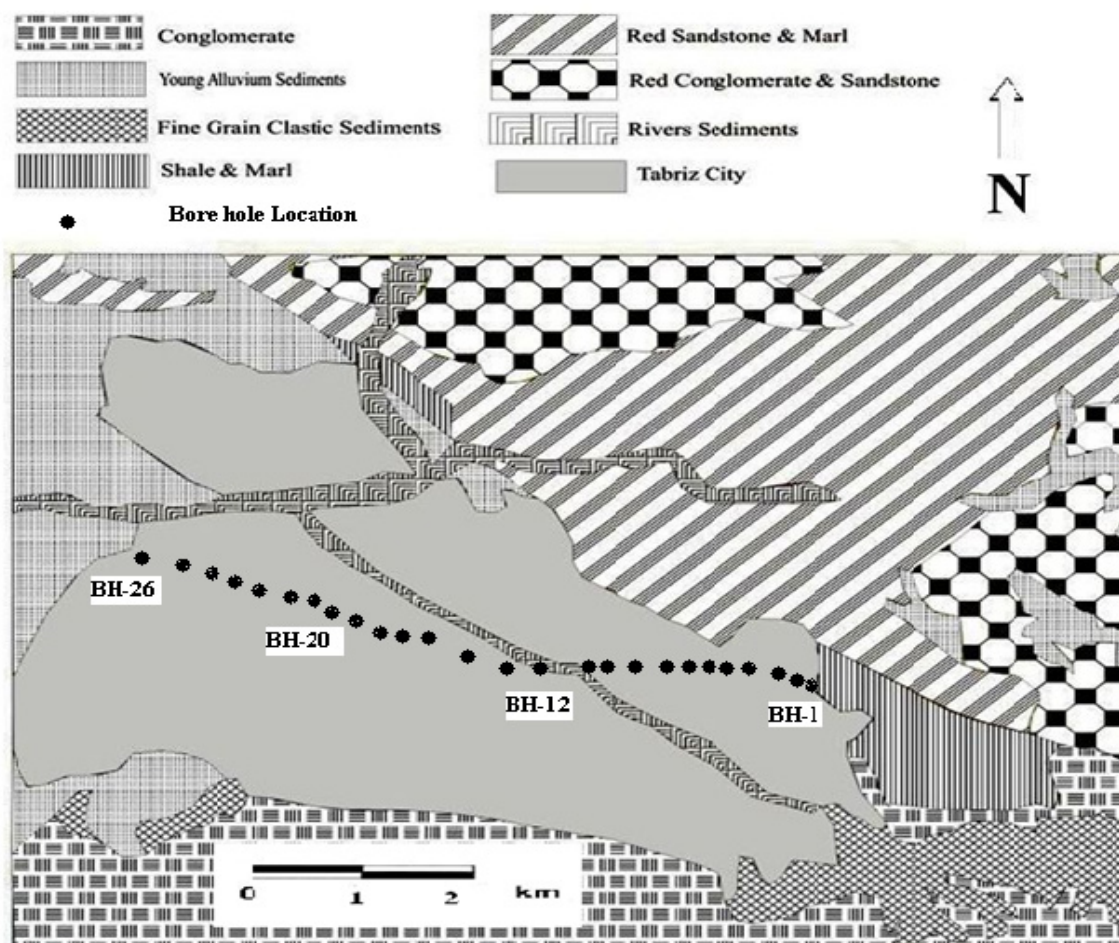
در سال ۱۹۸۲ ایواساکی و همکاران (Iwasaki et al) رابطه ای بین وقوع روانگرایی در زمان های گذشته با معیارهای زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی ارائه دادند که ممکن است با استفاده از آن مناطق مستعد روانگرایی شناسایی شود (جدول ۱). همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود بستر رودخانه های فعلی، بستر رودخانه های قدیمی و زمین های احیاء شده، وقوع روانگرایی محتمل است. بنابراین با توجه به این معیار و با در نظر گرفتن این موضوع که دشت تبریز عمدتاً بر روی رسوبات آبرفتی عهد حاضر قرار دارد و بخش هایی از مسیر مترو نیز از داخل رسوبات رودخانه های فعلی و قدیمی عبور می کند، احتمال روانگرایی وجود دارد.

است. سنگ بستر شهر تبریز در اکثر قسمت‌های حفاری شده، مارن‌های خاکستری و سبز رنگ می‌باشد که در بخش‌های شرقی شهر برونزد دارد. بر اساس داده‌های به دست آمده از آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)، نهشته‌های زیرسطحی از ماسه و شن سست (Loose) تا متراکم (Dense)، سیلت، رس سیلتی و رس نرم (Soft) تا سخت (Hard) تشکیل شده است (گزارش مطالعات ژئوتکنیک خط ۲ قطار شهری تبریز، پژوهش عمران راهوار، ۱۳۸۷). در شکل ۲، مقطع زمین‌شناسی به موازات محور تونل خط ۲ متروی تبریز نشان داده شده است. به علت محدودیت نرم‌افزار در مقدار شیب زمین اغراق شده و میانگین شیب واقعی زمین حدود ۳٪ می‌باشد.

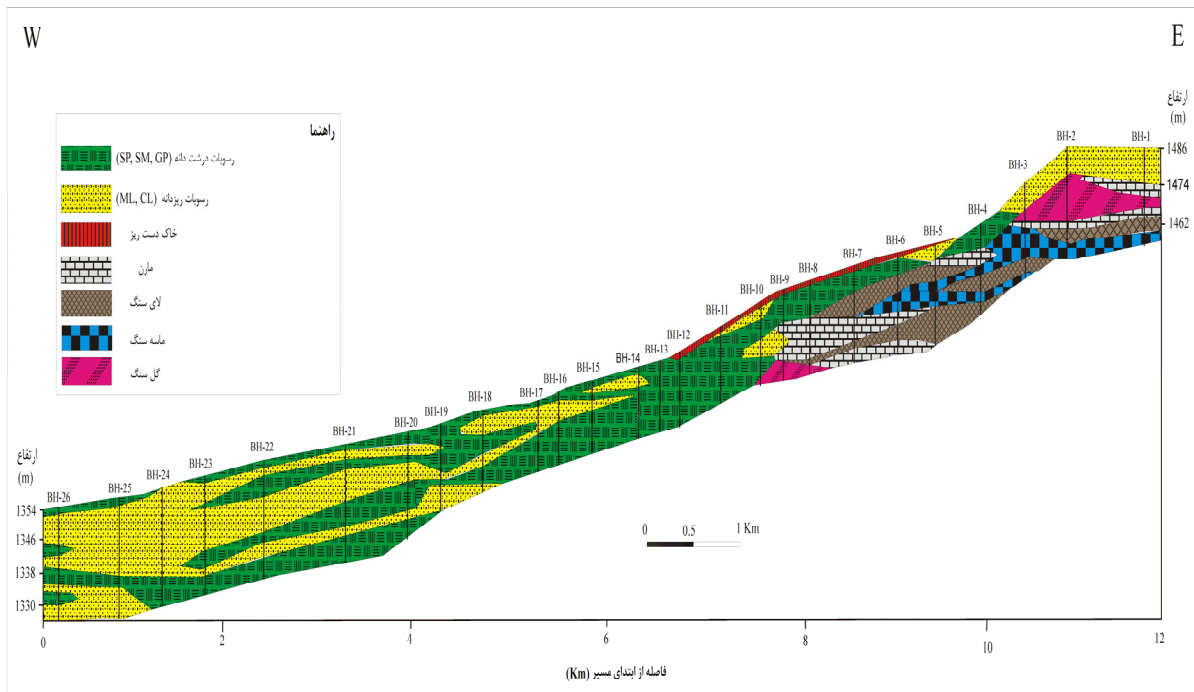
نقشه‌های تهیه شده در این مطالعه می‌توانند در طراحی مناسب و ایمن تونل‌های قطار شهری تبریز و همچنین به عنوان نقشه زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد استفاده قرار بگیرند.

زمین‌شناسی

شهر تبریز بخشی از دشت بزرگ تبریز است. دشت مذکور، متشکل از رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای می‌باشد و آثار نهشته‌های ولکانیکی آتشفشان سهند در بخش جنوبی دشت دیده می‌شود (شکل ۱). رسوبات آن شامل آبرفت‌های سست کواترنری تا رسوبات سخت ترشیاری می‌باشد (درویش زاده، ۱۳۷۰). بر اساس نتایج حاصل از حفاری گمانه‌های اکتشافی، ضخامت این رسوبات از ۱۰ متر تا بیش از ۶۰ متر متغیر



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت گمانه‌های حفاری شده



شکل ۲- مقطع زمین شناسی به موازات محور تونل خط ۲ متروی تبریز، مقدار شیب زمین اغراق آمیز است و میانگین شیب واقعی حدود ۳٪ می باشد.

تکتونیک و لرزه خیزی منطقه

منطقه تبریز از نظر تکتونیکی ناحیه ای فعال محسوب می شود. فعالیت گسل هایی مانند گسل شمال تبریز موجب وقوع زلزله های تاریخی متعددی شده است (جدول ۲). گسل مذکور به عنوان مهم ترین گسل ناحیه مورد مطالعه در مرز بین کوه (کوه های شمالی تبریز) و دشت (دشت تبریز) واقع و بیش از ۹۰ کیلومتر طول دارد. این گسل از کوه های میشو (غرب تبریز) تا بستان آباد (جنوب شرقی تبریز) به طور پیوسته قابل پیگیری است و پس از گذشتن از خوی به طرف ماکو و از آنجا به کوه آزارات در ترکیه می رسد (درویش زاده، ۱۳۷۰). بنابراین لازم است به هنگام انجام مطالعات لرزه خیزی جهت ارزیابی استعداد روانگرایی منطقه، گسل شمال تبریز به عنوان مهم ترین گسل لرزه زا در نظر گرفته شود. گسل های کوچک دیگری نیز مانند گسل های شبستر، تسوج، شرفخانه و بزقوش در منطقه وجود دارد که عمدتاً شاخه هایی از گسل شمال تبریز هستند و زلزله های زیادی در ارتباط با آنها به ثبت رسیده است (درویش زاده، ۱۳۷۰). در این پژوهش برای شهر

تبریز حداکثر بزرگای زلزله محتمل طرح، برابر با ۷/۴ ریشتر و حداکثر شتاب ناشی از زلزله (a_{max}) برابر با حداکثر شتاب بزرگای زلزله محتمل طرح یعنی $0.35g$ محاسبه شده است.

جدول ۲- زلزله های روی داده در اثر فعالیت گسل شمال

تبریز (بربریان، ۱۹۸۳)

بزرگی (M_s)	سال وقوع (میلادی)	ردیف
۶	۸۵۸	۱
۷/۶	۱۰۴۲	۲
۶/۵	۱۲۷۳	۳
۶/۵	۱۳۰۴	۴
۵/۹	۱۷۱۷	۵
۷/۷	۱۷۲۱	۶
۷/۷	۱۷۸۰	۷
۵/۱	۱۹۶۰	۸
۵/۴	۱۹۶۵	۹

بررسی استعداد روانگرایی

- دانه‌بندی خاک

با وقوع زمین لرزه به علت عدم زهکشی خاک و افزایش فشار آب حفره‌ای تجمعی، تنش موثر کاهش یافته و شرایط برای پدیده روانگرایی فراهم می‌گردد. استعداد روانگرایی می‌تواند با توجه به اندازه دانه‌ها و درصد مواد ریزدانه، مورد ارزیابی قرار بگیرد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در خاک‌های ماسه‌ای استعداد روانگرایی خیلی زیاد است. ماسه‌های ریزدانه اشباع نمی‌توانند فشار آب حفره‌ای اضافه شده را زایل کنند ولی در خاک‌های درشت‌دانه به دلیل انجام زهکشی و کاهش فشار آب حفره‌ای اضافی، وقوع روانگرایی متحمل نیست (Idriss & Boulanger, 2006). مشاهدات صحرایی نشان داده که روانگرایی می‌تواند در سیلت‌های غیر چسبنده، ماسه‌های سیلتی و سیلت‌های ماسه‌ای نیز روی دهد (Perlea & Prakash, 1999).

درشت‌دانه و همچنین شن‌های سست می‌باشد. در بخش‌های مرکزی شهر، تونل مترو از داخل رسوبات این رودخانه عبور می‌کند (گزارش مطالعات ژئوتکنیک خط ۲ قطار شهری تبریز، پژوهش عمران راهوار، ۱۳۸۷).

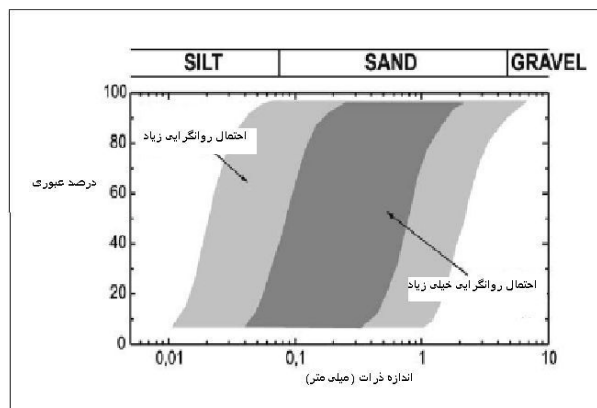
ارزیابی استعداد روانگرایی مسیر

- دانه‌بندی

با حفاری گمانه‌های اکتشافی، نمونه‌گیری از اعماق مختلف صورت گرفت. آزمایش‌های دانه‌بندی بر روی نمونه‌ها انجام شد و منحنی‌های دانه‌بندی ترسیم گردید. همان‌طور که قبلاً مطرح شد خاک‌های دارای دانه‌بندی مشخص، مستعد روانگرایی هستند (شکل ۳). با توجه به نوع منحنی‌های دانه‌بندی خاک‌های مسیر مترو، همه آنها در محدوده خاک‌های مستعد روانگرایی قرار ندارند. تنها در قسمت مرکزی و غربی مسیر، بخشی از خاک‌ها استعداد روانگرایی خیلی زیاد و زیاد دارند (شکل ۴).

- عمق سطح آب زیرزمینی

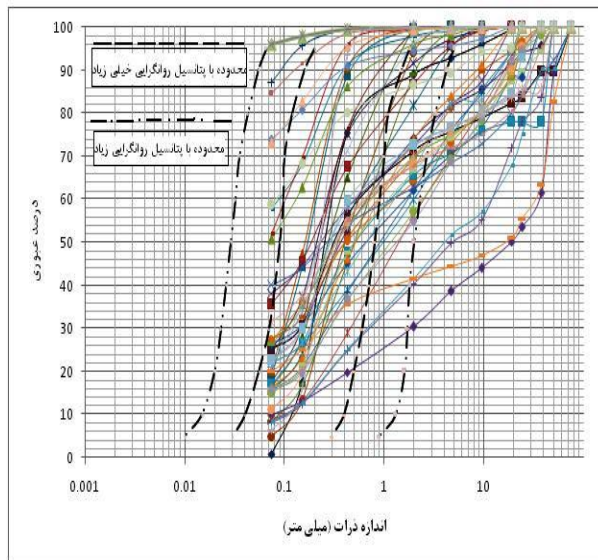
عمق سطح ایستابی یکی از عوامل اساسی در ارزیابی‌های استعداد روانگرایی محسوب می‌شود. رسوباتی مستعد روانگرایی هستند که در زیر سطح ایستابی قرار گرفته و اشباع یا تقریباً اشباع باشند و نتوانند به طور آزاد زهکشی شوند (Seed & Schnable, 1972). با توجه به این که جهت شیب عمومی دشت، از شرق به سمت غرب است آب زیرزمینی نیز از شرق به سمت غرب دشت جریان دارد. مطابق با شکل ۵ در طول مسیر مورد مطالعه تغییرات عمق آب زیرزمینی بین حداقل ۲/۵ و حداکثر ۲۶ متر بوده است. افت ناگهانی تراز آب زیرزمینی در این شکل (بین گمانه‌های شماره ۸ و ۱۲) ممکن است به دلیل عبور گسلی فرعی و منشعب شده از گسل شمال تبریز باشد که به عنوان زهکش عمل کرده است.



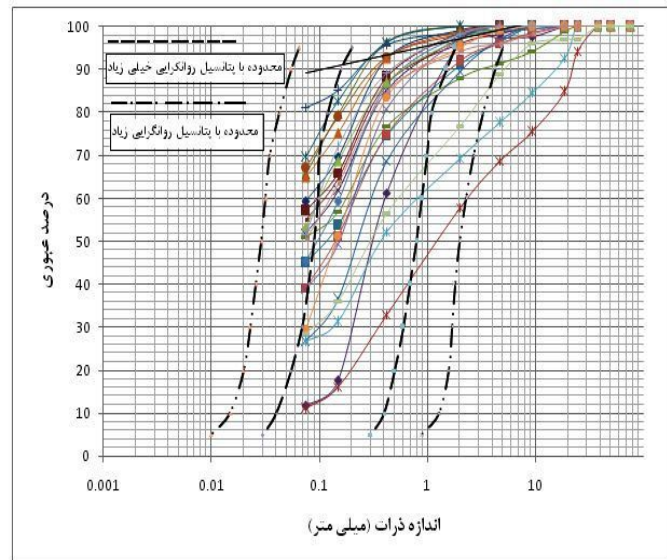
شکل ۳- محدوده دانه‌بندی خاک‌هایی که مستعد روانگرایی هستند (Mollamahmutoglu & Kayabali, 2003)

- هیدرولوژی

رودخانه مهرنرود یکی از مهمترین رودخانه‌هایی است که در داخل شهر تبریز جریان دارد. این رودخانه از جنوب شرقی شهر سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری از جنوب شرق به شمال‌غرب، در غرب شهر به رودخانه آجی‌چای می‌پیوندد. عمده رسوبات در طول این رودخانه ماسه‌های ریزدانه و

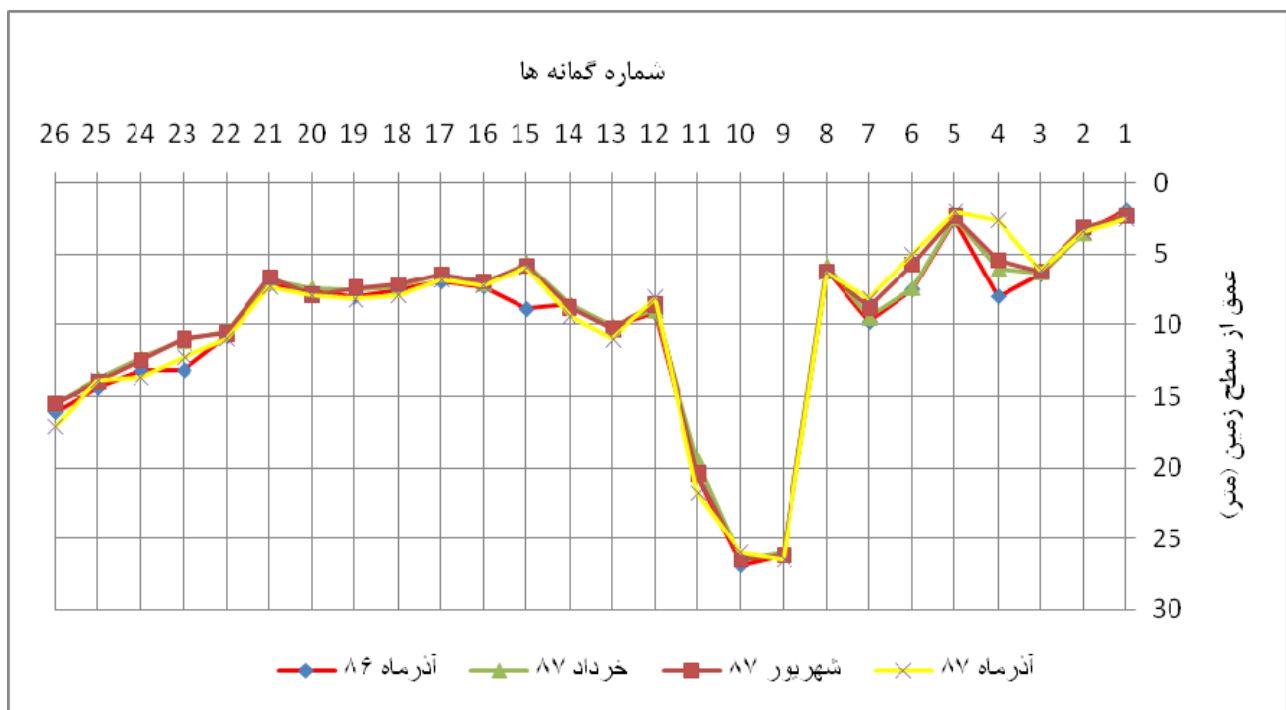


(ب)



(الف)

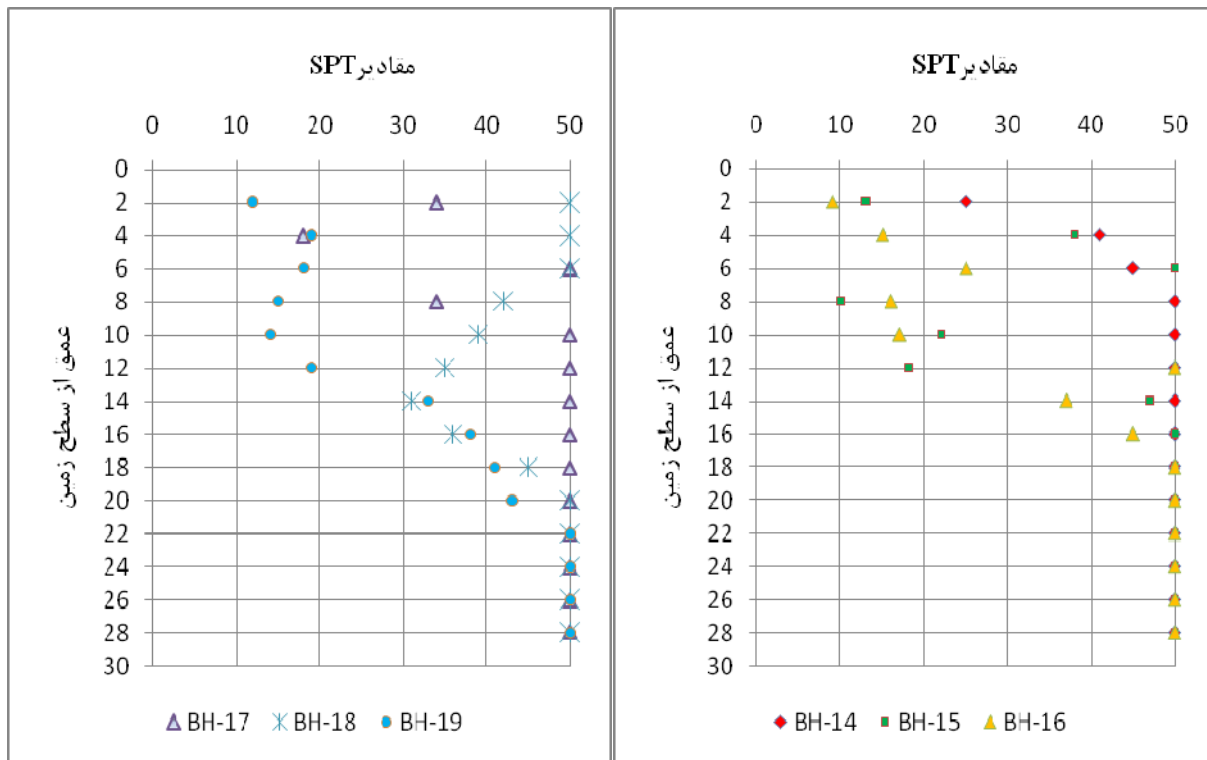
شکل ۴- مقایسه منحنی‌های دانه بندی خاک‌های مسیر مترو، با محدوده‌های دارای استعداد روانگرایی زیاد و خیلی زیاد (الف) نمونه‌های گرفته شده از گمانه‌های BH-10 - BH-20، (ب) نمونه‌های گرفته شده از گمانه‌های BH-20 - BH-21



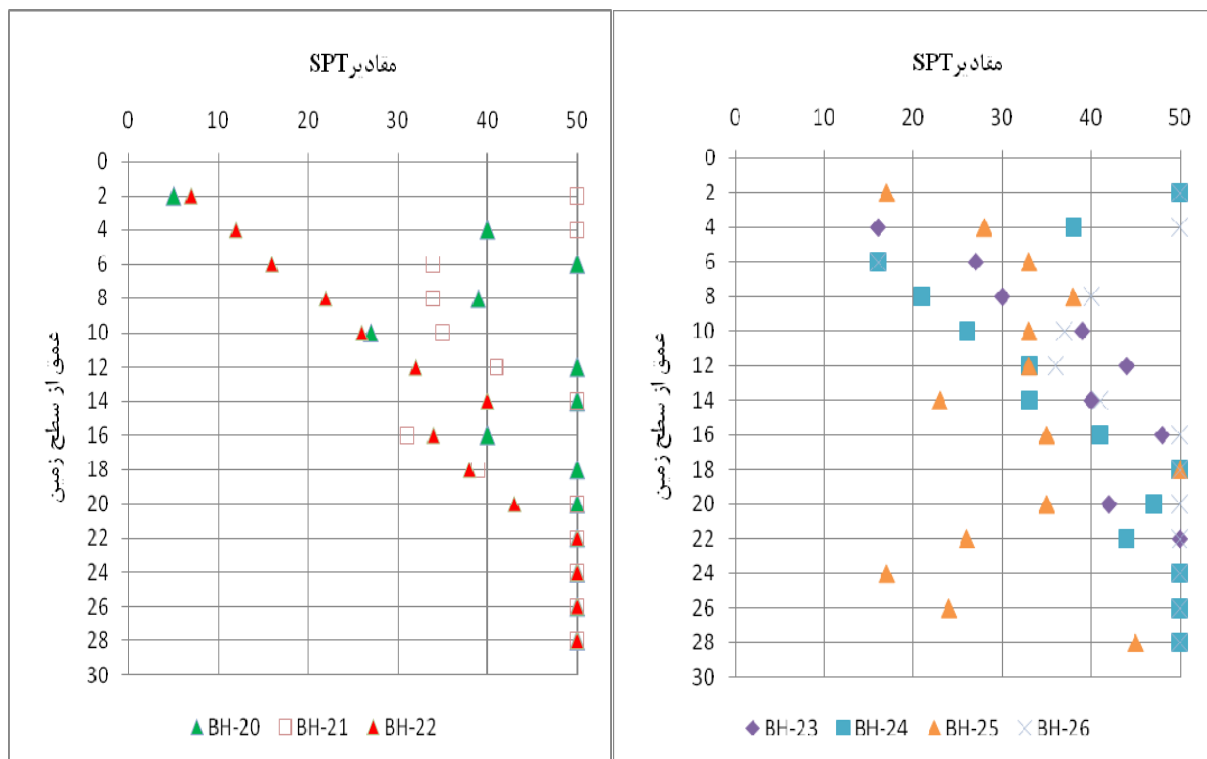
شکل ۵- نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در گمانه‌های اکتشافی

و (۷) تغییرات اعداد نفوذ استاندارد نسبت به عمق در گمانه‌های دارای خاک‌های مستعد روانگرایی یعنی BH-14 تا BH-26 نشان داده شده است.

- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) آزمایش‌های نفوذ استاندارد در گمانه‌های حفاری شده در طول مسیر در هر دو متر عمق انجام شده است. در شکل (۶)



شکل ۶ - نمودار تغییرات اعداد SPT نسبت به افزایش عمق در گمانه‌های BH-14 تا BH-16 (سمت راست) و در گمانه‌های BH-17 تا BH-19 (سمت چپ)



شکل ۷ - نمودار تغییرات اعداد SPT نسبت به افزایش عمق در گمانه‌های BH-20 تا BH-22 (سمت چپ) و در گمانه‌های BH-23 تا BH-26 (سمت راست)

- زلزله

۱- نسبت تنش تناوبی ایجاد شده در اثر زلزله^۷ (CSR)

مقدار CSR با استفاده از رابطه ۱ که توسط سید و ادریس (Seed & Idriss) در سال ۱۹۷۱ ارائه شده و به وسیله یود و همکاران (Youd et al) در سال ۲۰۰۱ مورد تجدید نظر قرار گرفته قابل محاسبه است:

$$CSR_{M=7.5} = 0.65 \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (1)$$

تنش عمودی کل (کیلوپاسکال) σ_v

تنش عمودی موثر (کیلوپاسکال) σ'_v

ضریب کاهش تنش r_d

ماکزیم شتاب افقی سطح زمین a_{\max}

در این مطالعه برای مقادیر ضریب کاهش تنش، از روابط ۲ و ۳ استفاده شده است.

$$r_d = 1 - 0.00765 Z \quad (2)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 Z \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳، Z عبارتست از عمق نقطه مورد نظر از سطح زمین و بر حسب متر می باشد. رابطه ۲ زمانی صادق است که $Z \leq 9.15 m$ و رابطه ۳ نیز برای حالاتی که $9.15 < Z \leq 23 m$ باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. در رابطه ۱، $CSR_{M=7.5}$ نسبت تنش تناوبی ایجاد شده در اثر زلزله ای با بزرگای ۷/۵ ریشتر است. برای بزرگای کوچکتر از ۷/۵، ضریب تصحیحی به صورت رابطه ۴ پیشنهاد شده است (Lee & Yuan, 2003).

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

در این مطالعه ضریب بزرگی زلزله (MSF^A) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شده است که با در نظر گرفتن بزرگای بیشینه

محتمل برابر با ۷/۴ برای شهر تبریز، این مقدار برابر با ۱/۰۳۴ خواهد بود. با داشتن ضریب بزرگی زلزله، نسبت تنش تناوبی CSR با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$CSR = CSR_{M=7.5} \times MSF \quad (5)$$

۲- نسبت مقاومت تناوبی در برابر روانگرایی^۹ (CRR)

مقادیر نسبت مقاومت تناوبی توده خاک براساس نتایج آزمایش SPT و با استفاده از نمودار شکل ۸ قابل محاسبه است. به منظور استفاده از این نمودار، ابتدا اعداد SPT اندازه گیری شده در حین حفاری، به $N_{1,60}$ تبدیل شدند و سپس برای هر کدام از این مقادیر تصحیح شده، $CRR_{M=7.5}$ متناظر از روی نمودار قرائت شد که با استفاده از رابطه ۶، نسبت تنش لازم برای ایجاد روانگرایی برای زلزله ای با بزرگای ۷/۴ به دست آمده است.

$$CRR = CRR_{M=7.5} \times MSF \quad (6)$$

۳- محاسبه ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی در روش ساده سید و ادریس (۱۹۷۱)، پس از تعیین نسبت تنش تناوبی و نسبت مقاومت تناوبی، ضریب اطمینان در برابر وقوع روانگرایی با استفاده از نسبت $F_L = \frac{CRR}{CSR}$ محاسبه می شود. به این ترتیب مناطق مستعد روانگرایی، به مناطقی اطلاق می گردد که ضریب اطمینان کمتر از ۱ داشته باشند و برای مناطقی با ضریب اطمینان بزرگتر از ۱ مشکل روانگرایی وجود نخواهد داشت (Hsein, 2007). نمونه ای از محاسبات برای تعیین ضریب اطمینان در برابر روانگرایی در جدول ۳ نشان داده شده است. در شکل ۹ تغییرات ضریب اطمینان در برابر روانگرایی، نسبت به عمق برای گمانه های مسیر متروی تبریز مشاهده می شود.

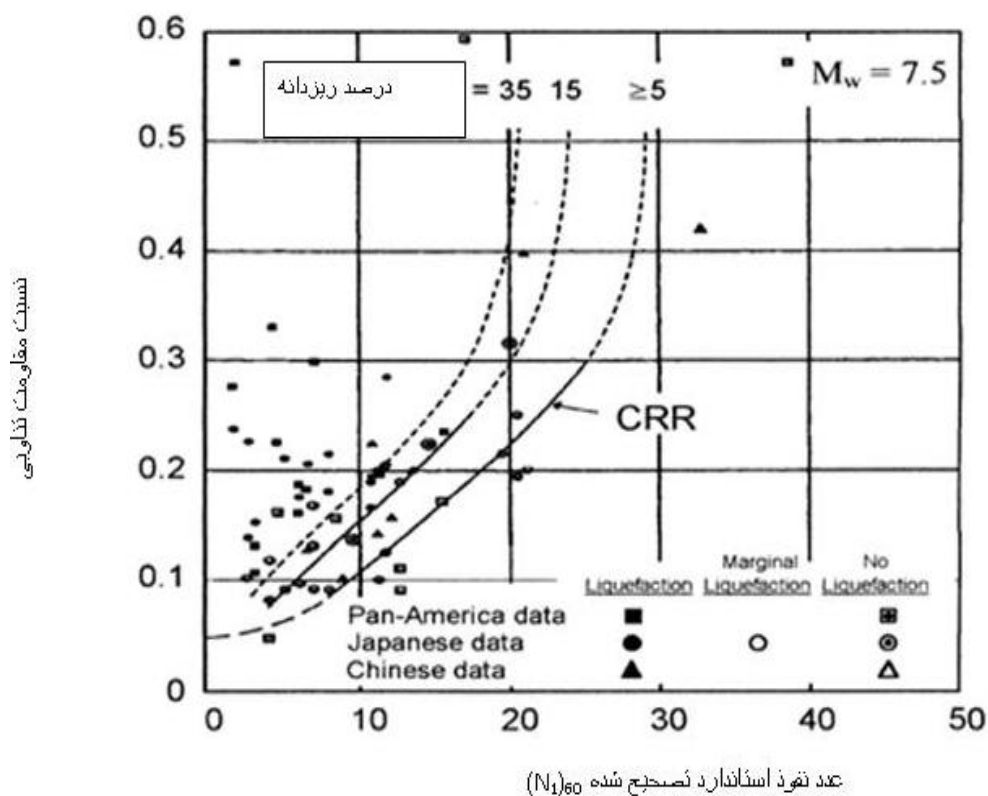
9. Cyclic Resistance Ratio

۱۰. مقادیر عدد نفوذ استاندارد تصحیح شده برای ۶۰٪ انرژی سقوط آزاد

و فشار سربار موثر 1 kg/cm^2

7. Cyclic Stress Ratio

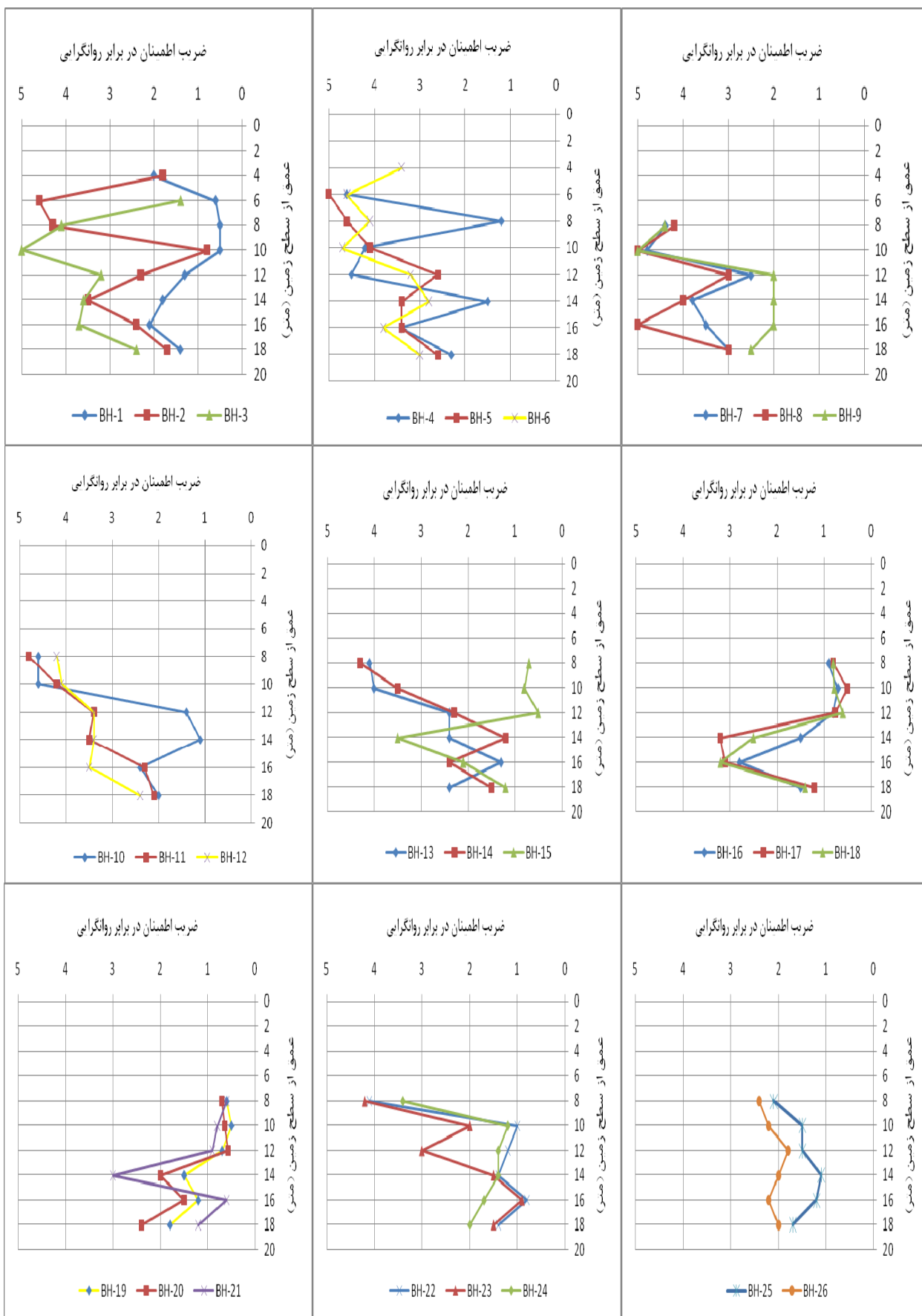
8. Magnitude Scaling Factor



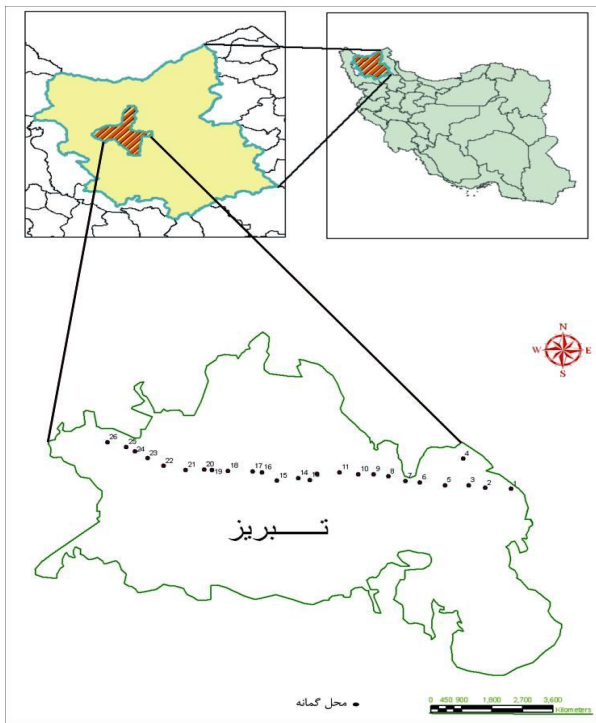
شکل ۸ - نمودار ارزیابی مقاومت روانگرایی با استفاده از SPT تصحیح شده (Finn , 2002)

جدول ۳- نمونه‌ای از محاسبات انجام شده برای تعیین ضریب اطمینان در برابر روانگرایی با شتاب 0.35g

گمانه	عمق	تنش کل (کیلوپاسکال)	تنش موثر (کیلوپاسکال)	ضریب کاهش تنش (r_d)	ضریب بزرگی زلزله (MSF)	CSR	CRR	ضریب اطمینان (FS)
BH-15	8	144	114.5	0.94	1.034	0.23	0.13	0.56
BH-15	12	224	155.33	0.85	1.034	0.25	0.2	0.8
BH-16	8	136	131.1	0.94	1.034	0.19	0.18	0.94
BH-16	10	176	151.5	0.91	1.034	0.22	0.18	0.81
BH-19	10	178.22	153.7	0.91	1.034	0.22	0.14	0.63
BH-19	12	217	172	0.85	1.034	0.23	0.19	0.82
BH-20	8	133.2	123.4	0.94	1.034	0.23	0.14	0.6
BH-20	10	178.2	148.5	0.91	1.034	0.26	0.14	0.53
BH-20	12	223.2	174.15	0.85	1.034	0.27	0.17	0.63
BH-24	16	297.5	258.3	0.75	1.034	0.23	0.26	1.13
BH-26	14	258	258	0.8	1.034	0.21	0.26	1.23



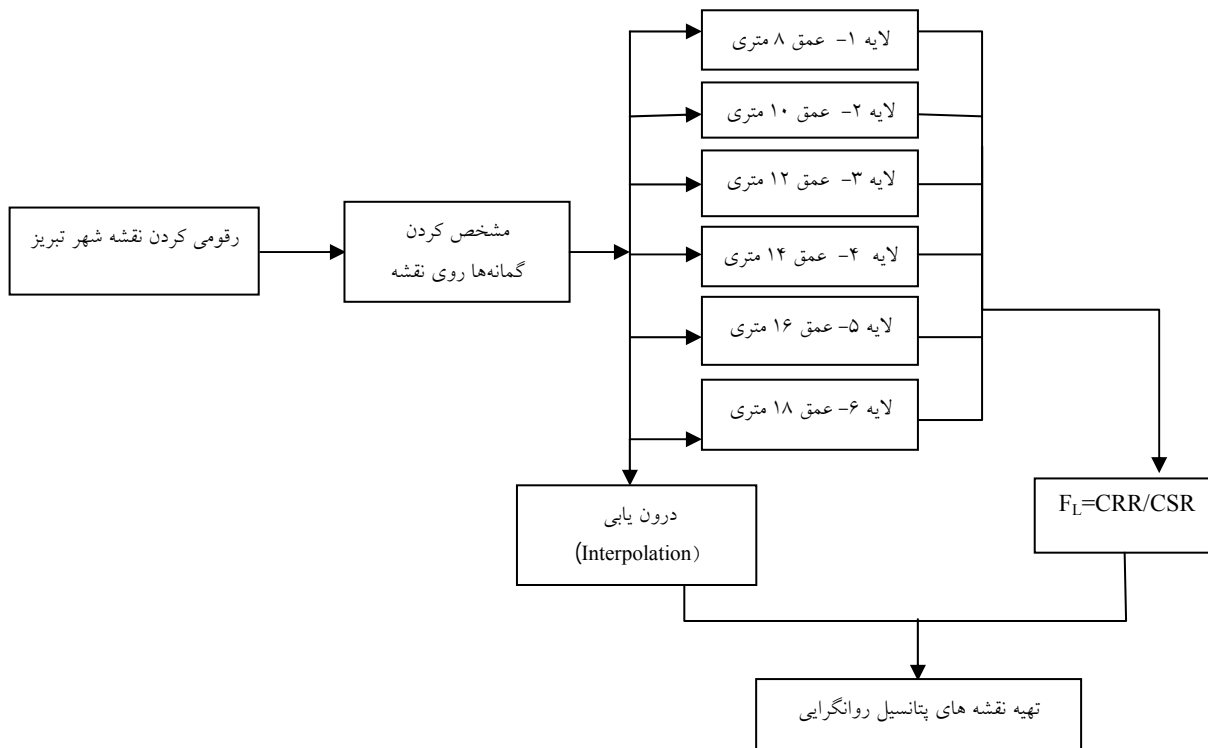
شکل ۹- تغییرات ضریب اطمینان در برابر روانگرایی نسبت به عمق، برای گمانه‌های BH-1 تا BH-26



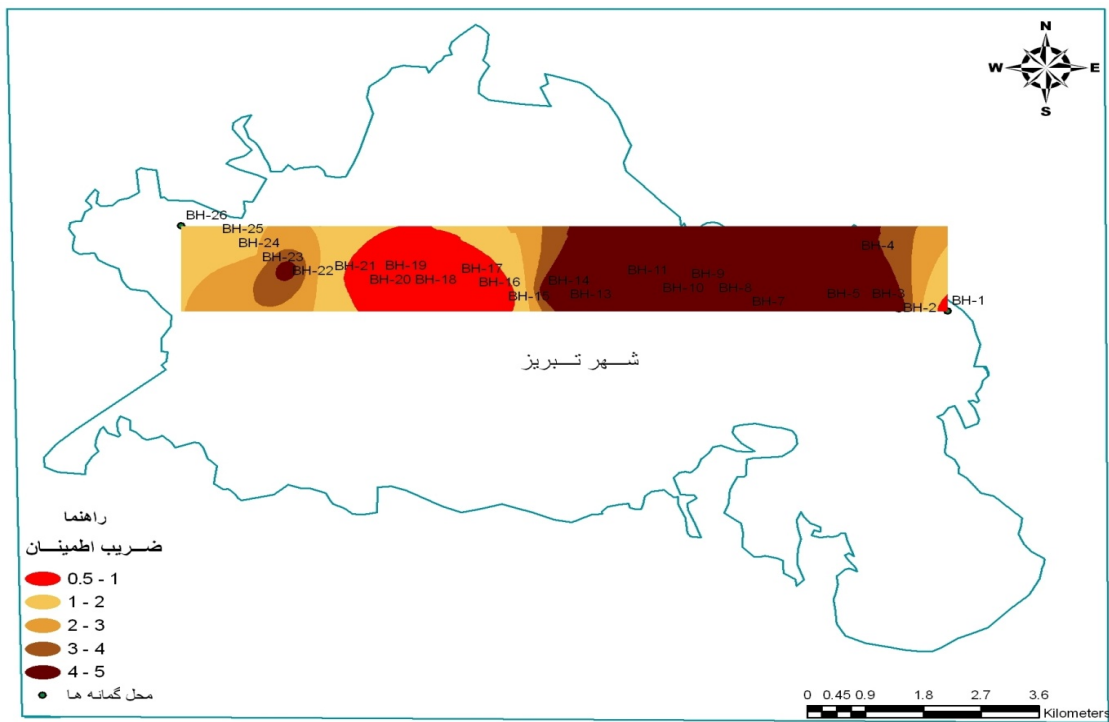
شکل ۱۰- موقعیت منطقه مورد مطالعه

تهیه نقشه‌های استعداد روانگرایی

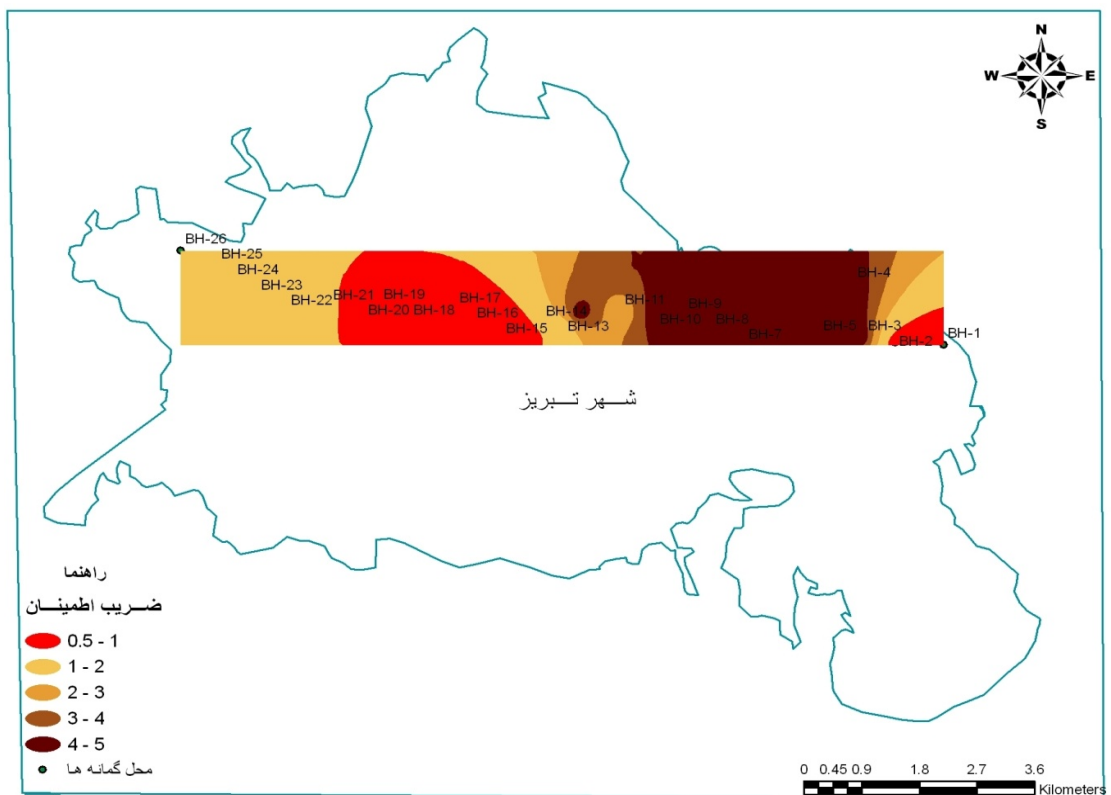
در این مطالعه به منظور تهیه نقشه‌های استعداد روانگرایی آبرفت‌های مسیر، ابتدا نقشه شهر تبریز رقومی شد و سپس موقعیت گمانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGis 9.3 به صورت نقاط بر روی این نقشه مشخص گردید (شکل ۱۰). در مرحله بعد داده‌های بانک اطلاعاتی (مختصات ۲۶ گمانه حفاری شده و ضریب اطمینان محاسبه شده برای اعماق مختلف گمانه‌ها) در Excel جمع‌آوری شدند. از طریق این داده‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی استعداد روانگرایی به دست آمد. پهنه‌بندی‌های صورت گرفته از طریق تعمیم مشخصات نقطه به سطح به دست آمده است. برای رسم نقشه‌ها از برخی روش‌های مدل‌سازی آماری استفاده شد و پس از مقایسه این مدل‌ها، مدلی که با منطقه و پراکنش داده‌ها بیشترین سازگاری را داشت (Kriging) برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در اعماق ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۲۰ متری مورد استفاده قرار گرفت (شکل‌های ۱ تا ۱۴). فلوچارت مربوط به مدل کامپیوتری استفاده شده برای تحلیل در شکل ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۱- مدل مورد استفاده برای تهیه نقشه‌های استعداد روانگرایی

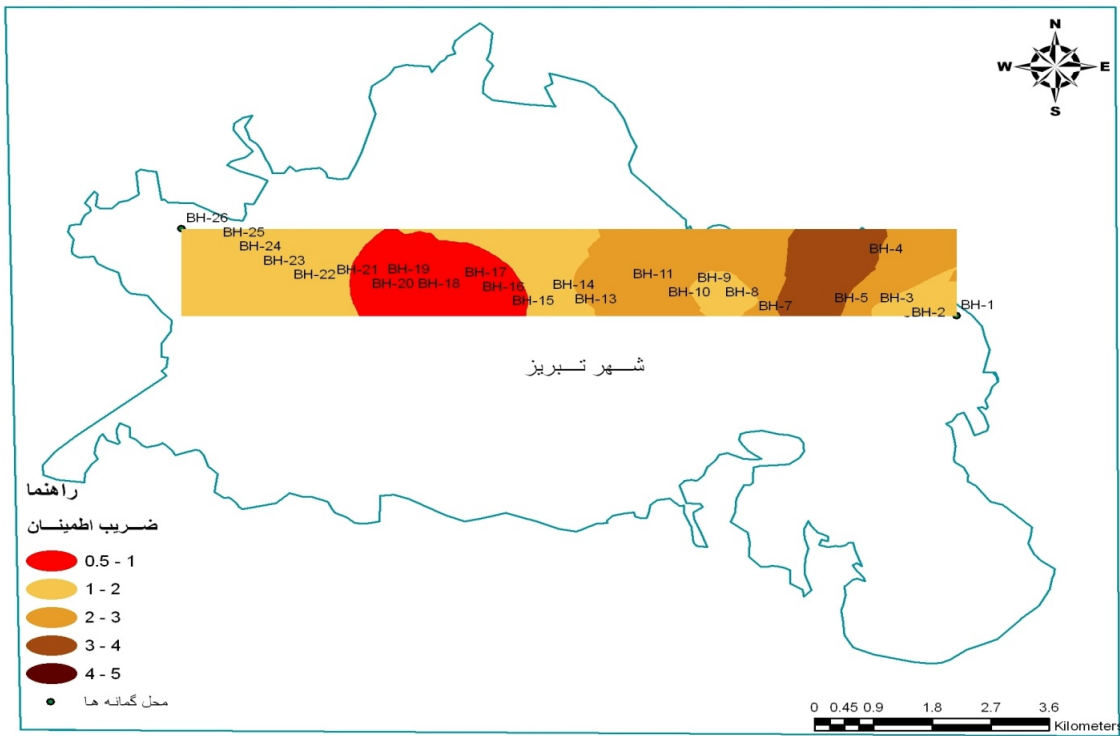


(الف)

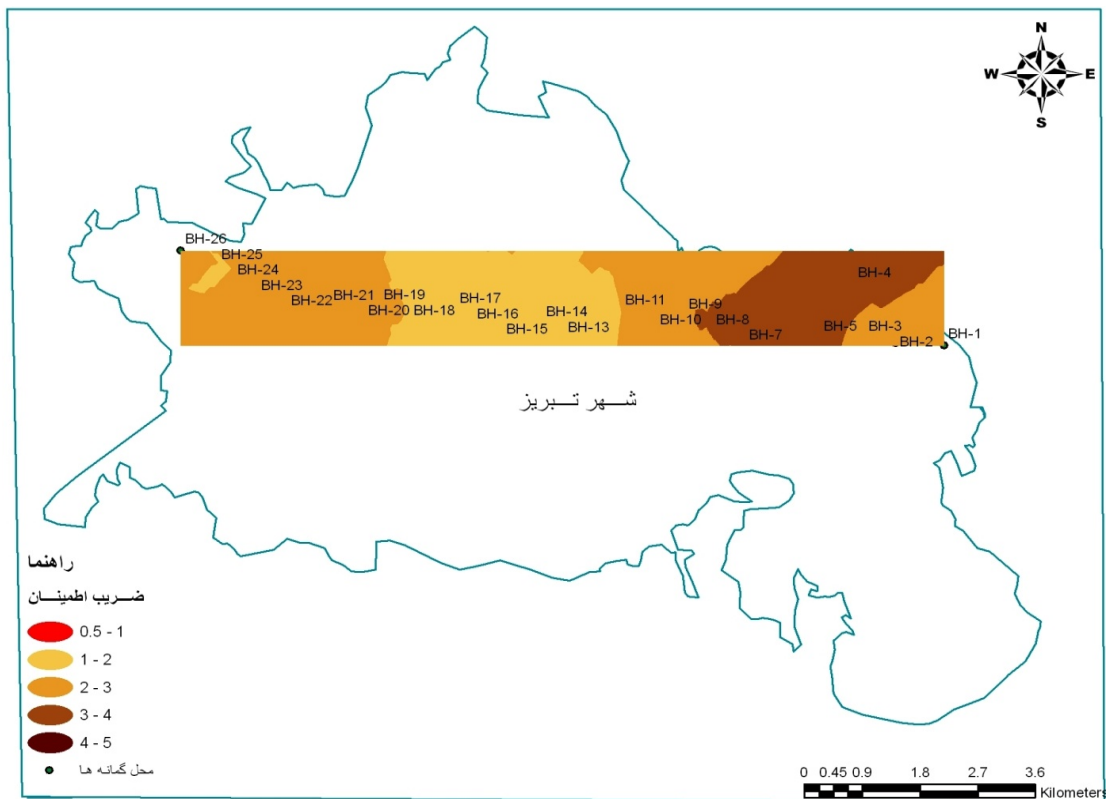


(ب)

شکل ۱۲- نقشه استعداد روانگرایی
الف- عمق ۸ متری، ب- عمق ۱۰ متری

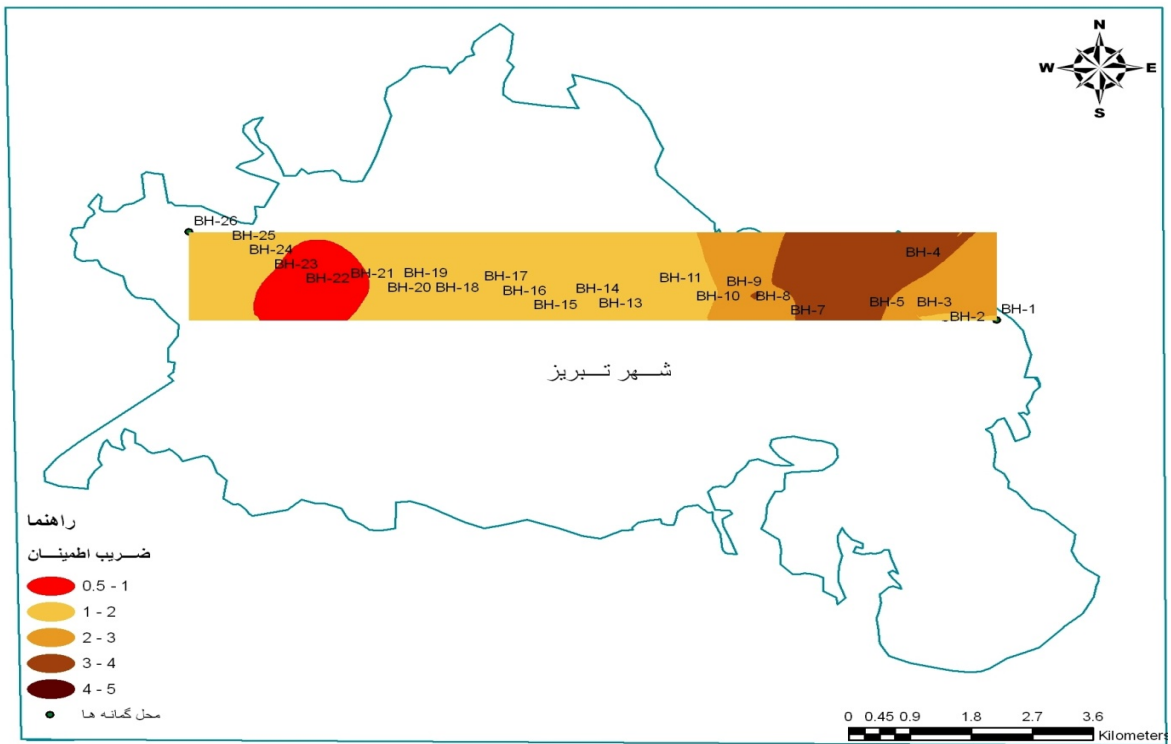


(الف)

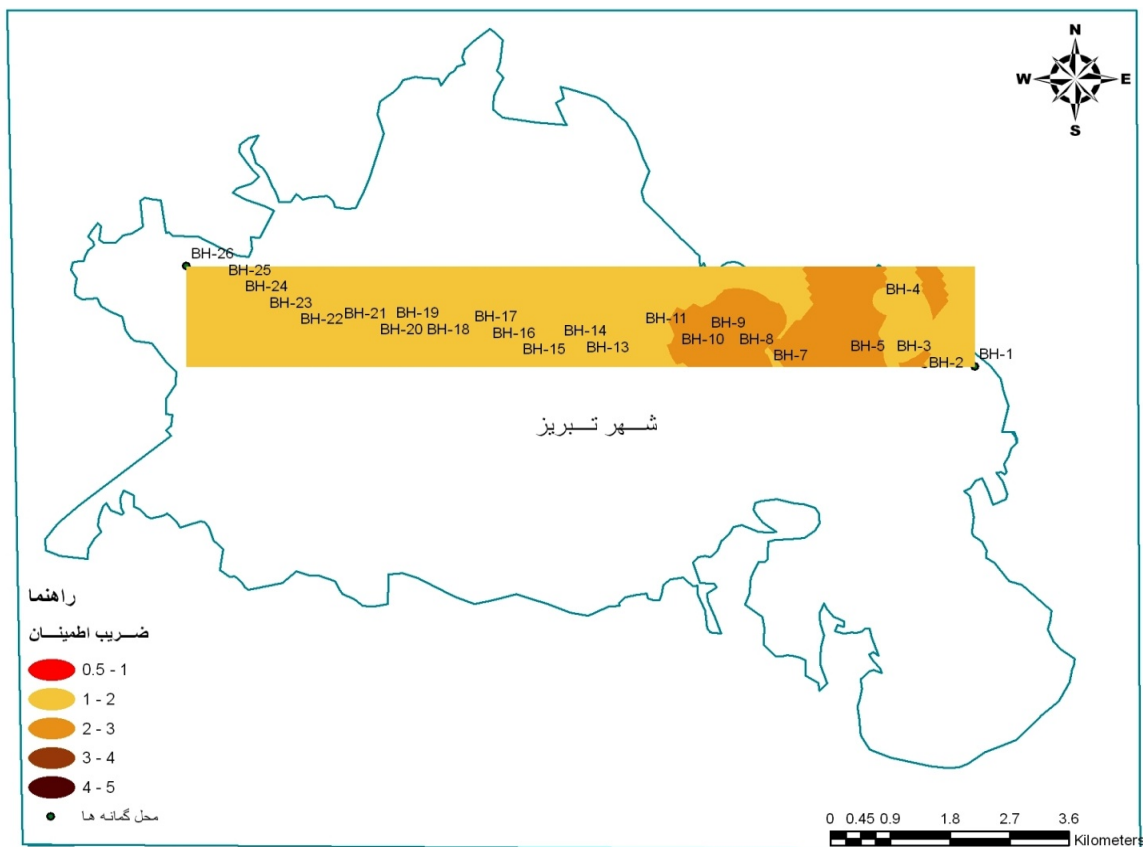


(ب)

شکل ۱۳- نقشه استعداد روانگرایی
الف- عمق ۱۲ متری، ب- عمق ۱۴ متری



(الف)



(ب)

شکل ۱۴- نقشه استعداد روانگرایی
الف- عمق ۱۶ متری، ب- عمق ۱۸ متری

نتیجه گیری

در این مقاله ضمن ارزیابی استعداد روانگرایی آبرفت‌های مسیر خط ۲ متروی تبریز، نقشه‌های استعداد روانگرایی نیز با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شد. ضریب اطمینان محاسبه شده در برابر روانگرایی، برای آبرفت‌های مسیر از ۰/۵ تا ۵ تغییر نشان می‌دهد. به منظور سهولت در انجام مطالعات، مسیر خط ۲ با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناختی مهندسی به ۳ بخش تقسیم شد. بخش شرقی به طول ۴/۵ کیلومتر شامل گمانه‌های BH-1 تا BH-10 می‌باشد. رسوبات آبرفتی این بخش ترکیبی از خاک‌های رس سیلتی، ماسه‌ای و شنی می‌باشد که به صورت دو گروه درشت‌دانه و ریزدانه تفکیک گردید. رسوبات آبرفتی این بخش که دارای ضخامتی در حدود ۱۰ متر می‌باشند روی بسترهای ماسه سنگی و مارنی قرار گرفته‌اند و بر اساس نتایج حاصل از آزمایش SPT، تراکم متوسط تا زیاد دارند. نقشه‌های استعداد روانگرایی تهیه شده نشان می‌دهد که در این بخش از مسیر، تنها در عمق ۱۰ متری (در کیلومتر ۱۲) لایه‌هایی از ماسه وجود دارد که ضریب اطمینان آن در مقابل روانگرایی کمتر از ۱ است، ولی با افزایش عمق ضریب اطمینان آن افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱۲). بخش مرکزی به طول ۴/۵ کیلومتر، گمانه‌های BH-11

منابع

- عسکری، فرج اله. (۱۳۸۲) ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۷، شماره ۲، صفحات ۲۵۷ تا ۲۶۸.
- درویش زاده، علی. (۱۳۷۰) زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر.
- شرکت مهندسی مشاور پژوهش عمران راهوار (۱۳۸۷) گزارش زمین شناسی و ژئوتکنیک خط ۲ متروی تبریز.
- Berberian M. (1983) Generalized tectonic map of Iran, in continental Deformation in the Iranian Plateau: Contribution to the Seismo tectonic of Iran part IV, Geol.Surv.Iran, Vol.52.
- Mollamahmutoglu M., Kayabali K. (2003) Liquefaction –related building damage in Adapazari during the Turkey earthquake of August 17, 1999, Engineering geology, Vol. 67, 297-307.
- Hsein C., Li D.K. (2007) Assessment of liquefaction hazards in Charleston quadrangle, South Carolina. Engineering geology, Vol. 92, 59-72.
- Lee D.H., Yuan H. (2003) A study of liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan. Engineering geology, Vol. 71, 97-117.
- Finn W.D. (2002) State of the art for the evaluation of seismic liquefaction potential, Computer and Geotechnics, Vol. 29, 329-341.

تا BH-21 را شامل می‌شود که خاک‌های این بخش عمدتاً از نوع SP و ML می‌باشند. در این بخش از مسیر و در حد واسط گمانه‌های BH-15 تا BH-21 لایه مستعد روانگرایی به ضخامت ۴ متر (اعماق ۸ تا ۱۲ متر) وجود دارد که با افزایش عمق به علت تراکم رسوبات ضریب اطمینان افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱۲ و ۱۳). بخش غربی مسیر با طول حدود ۳ کیلومتر، از گمانه BH-21 شروع شده تا گمانه BH-26 ادامه می‌یابد. خاک‌های این بخش از نوع SP، SW و ML هستند. مقادیر عدد SPT در این بخش نسبت به بخش مرکزی افزایش می‌یابد و در نتیجه استعداد روانگرایی کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که نقشه‌های استعداد روانگرایی (شکل ۱۴، الف) نیز نشان می‌دهند تنها در عمق ۱۶ متری و در حد فاصل گمانه‌های BH-21 تا BH-23 استعداد روانگرایی وجود دارد. به منظور کاهش اثرات ناشی از وقوع پدیده روانگرایی در بخش‌های مستعد مذکور، توصیه می‌شود سطح آب زیرزمینی تا تراز کف تونل مترو پایین برده شود. همچنین در این بخش‌ها استفاده از ستون‌های سنگی (stone column) به منظور افزایش نفوذپذیری مصالح و نیز تزریق بتن به منظور تثبیت مصالح، می‌تواند در کاهش خطرات مؤثر باشد.

- Seed, H.B., Schnable, P.B. (1972) Soil and Geologic effects on site response During Earthquake, Intl. conf. on Microzonation.
- Idriss I.M., Boulanger R.W. (2006) Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes, Soil dynamic and Earthquake Engineering, Vol. 26, 115-130.
- Thevanayagam S., Martin G.R. (2002) Liquefaction in silty soils-screening and remediation issues, Soil dynamic and Earthquake Engineering, Vol.22, 1035-1042.
- Perlea V.G., Prakash S. (1999) How liquefiable are cohesive soils?, Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Portugal, vol2.
- Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. (1982) Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proc. 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle, vol.3, pp.1319-1330.
- Seed H.B, Idriss I.M. (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, Journal of Soil Mech Found Div ASCE, Vol.97(SM9), 1249-73.
- Youd et al. (2001) Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of Geoenvironmental Engineering, Vol.127, No.10, 817-3