چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علـوم زمیـــن
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

بررسی وضعیت زمین شناسی و ژئوتکنیکی خط 3 مترو تبریز

سمیه بیوک زاده [*1]، ابراهیم اصغری کلجاهی[2] و رحیم جمیری[3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تبریز biuokzadehsomayyeh@gmail.com
[2] دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز e-asghari@tabrizu.ac.ir
[3] عضو هیات علمی گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز jomeiri@tabrizu.ac.ir

چکیده

امروزه ترافیک سنگین و مشکلات حمل و نقل شهری و افزایش سفرهای درون شهری و مسائل زیست محیطی یکی از مهم‌ترین معضلات شهرهای پرجمعیت و کلان‌شهرها می‌باشد. یکی از بهترین و ایمن‌ترین روش‌ها در جهت کاهش مشکلات مذکور و همچنین افزایش راندمان ترافیکی، استفاده از حمل و نقل زیرزمینی یا مترو می‌باشد. احداث سیستم مترو در شرایط توسعه شهری موجود، به ویژه در شرایط دشوار زمین شناسی، مشکلات علمی، فنی و عملی متعددی را به دنبال دارد. این مشکلات عمدتا مربوط به حفر تونل در زیر یا نزدیک ساختمان‌های موجود، به ویژه در مناطقی با خاک‌های ضعیف و اشباع از آب، و وقوع فرایندهای نامطلوب که بر ساختمان‌ها و سازه‌ها تاثیر می‌گذارد. هنگام حفاری تونل‌های زیرزمینی لازم است که پایداری ساختمان‌ها و سازه‌ها از قبل در مرحله طراحی و نقشه برداری برآورد شود.

مسیر جدید خط 3 مترو تبریز به طول حدود 10 کیلومتر در راستای شمالی- جنوبی از یک سری واحدهای رسوبی آواری و آذرآواری از پلیوسن تا عهدحاضر تشکیل شده است. در این مسیر شرایط زمین شناسی متفاوت بوده و از انواع سنگ‌های ضعیف رسوبی و رسوبات آبرفتی ریز و درشت دانه عبور می‌کند. مشکلات زمین شناختی مهمی مثل گسل، قنات، خاک روانگرا، خاک متورم شونده و خاک دستی، در طول مسیر دارد. مطالعات ژئوتکنیک این مسیر با حفر 31 گمانه 25 تا 45 متری و 14 حلقه چاهک دستی با عمق 8 تا 20 متر انجام شده است. عمق سطح آب زیرزمینی متفاوت بوده و بین 5 تا 30 متر در گمانه‌های حفاری شده مشاهده گردیده است. بر اساس نتایج این مطالعات، بخش میانی مسیر جدید خط 3 دارای رسوبات آبرفتی با تراکم کم و جنس لایه‌های ماسه‌ای غیرچسبنده و لای غیرچسبنده هستند که پتانسیل روانگرایی دارند.

بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین محدوده محتمل برای پدیده روانگرایی در مرکز شهر تبریز می‌باشد که از گمانه شماره 8 تا 14 و گمانه 28 تا 29 را شامل می‌شود. پتانسیل تورم در محدوده مورد مطالعه بر اساس رابطه چان، از حد کم تا زیاد (در حد متوسط) و بر اساس طبقه بندی آشتو، تورم از حد پایین تا بالا متغیر است. در مارن‌هایی که نزدیک سطح آب هستند، در گمانه‌های 18، 19، 21 و 22 و تا حدی در گمانه‌های3 و 4 این پتانسیل وجود دارد.

واژه‌های کلیدی

خط 3 مترو تبریز، مطالعات زمین شناسی مهندسی شهری، مخاطرات زمین شناسی، روانگرایی خاک، گسل

1. مقدمه

پروژه خط 3 مترو تبریز در راستای شمالی- جنوبی شهر تبریز ساخته می‌شود. مسیر تعیین شده برای خط 3 به طول تقریبي 10 کیلومتر دارای 11 ایستگاه خواهد بود. این خط از ترمینال بزرگ تبریز در جنوب شهر شروع و با عبور از خیابان شریعتی و بازار و سرخاب، در نهایت به ایستگاه پایانی واقع در رضوانشهر در شمال شهر می‌رسد (شکل 1). مسیر خط 3 بین دو بلندی در جنوب شهر (شروع مسیر) و شمال مسیر (انتهای مسیر) قرار گرفته است. پست‌ترین نقطه این مسیر در مرکز شهر مربوط به رودخانه مهران رود (کیلومتر 5 خط 3) می‌باشد.

شکل 1- مسیر خطوط مترو تبریز و امتداد مسیر جدید خط 3 (tabrizmetro.ir)

عدم قطعیت در مسائل زمین شناسی و شرایط غیرمنتظره زمین همیشه از جمله مشکلات مهم تونل زنی بوده است. بنابراین شناخت شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی مهمترین اصل برای برنامه ریزی و اجرای یک پروژه تونل سازی می‌باشد. نتایج حاصل از اطلاعات اکتشافی عملیات صحرایی و آزمایش‌ها نشان می‌دهدکه مسیر مورد مطالعه با توجه به عبور از مناطق مختلف شهر دارای ویژگی‌های ژئوتکنیکی متنوعی است.

از میان کلیه فعالیت‌هاي مهندسی عمران، حفر تونل و بطور کلی فضاهاي زیرزمینی، بیش از همه نیاز به شناسایی زمین و مطالعات زمین شناسی مهندسی دارد. این گونه سازه‌ها باید در زمینی مطمئن و مقاوم ایجاد شوند، ولی شرایط درون زمین بسیار متغیر است و بر خلاف سطح زمین، امکان شناسایی و دسترسی به تمام نقاط آن نیز وجود ندارد. بطور کلی طراح سازه‌هایی که قرار است در سطح زمین احداث شود، می‌توان به میل خود مصالح مورد نیاز را انتخاب کند، ولی طراح تونل مجبور است که سازه خود را در میان سنگ و خاکی که طبیعت در اختیار او قرار داده حفر نماید. با آگاهی از این واقعیت امروزه کوشش بر آن است تا در زمان حفاري از صدمه زدن به سنگ اجتناب شده و از آن به عنوان مصالح اصلی در ساختمان تونل استفاده گردد [1].

مسیر قدیم خط 3 مترو تبریز از فرودگاه بین المللی تبریز واقع در بخش شمال غربی شهر شروع شده و با عبور از میدان آذربایجان، خیابان انقلاب، خیابان ثقه الاسلام و خیابان امام خمینی وارد خیابان ارتش و ملاصدرا شده و در انتهاي مسیر به ایستگاه پایانه مسافربري تبریز واقع در بخش جنوبی شهر می‌رسید [2]. مسیر قدیم خط 3 مترو از رسوبات آبرفتی جوان تشکیل شده و در سایر بخش‌های مسیر به لایه‌های مارن، گل سنگ، ماسه سنگ و همچنین شرایط مختلط نیز برخورد شده است که لزوم مطالعه دقیق پارامترهای ژئوتکنیکی و ویژگی‌های زمین شناسی را سبب می‌شود [3].

در مسیر خط 3 شرایط زمین شناسی متفاوت بوده و از انواع سنگ‌های ضعیف رسوبی و رسوبات آبرفتی ریز و درشت عبور می‌کند. همچنین مشکلات زمین شناختی مهمی مثل گسل، قنات، خاک روانگرا، خاک متورم شونده و خاک دستی دارد. با توجه به آسیب پذیر بودن سازه‌های زیرزمینی از وضعیت زمین با توجه به تجارب موجود، مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک از عوامل مهم در طراحی و تعیین نوع و شکل حفاری‌های زیرزمینی می‌باشد. احداث سیستم مترو در شرایط توسعه شهری موجود، به ویژه در شرایط سخت مهندسی و زمین شناسی، مشکلات علمی، فنی و عملی متعددی را به دنبال دارد. این مشکلات عمدتا

مربوط به حفر تونل در زیر یا نزدیک ساختمان‌های موجود، به ویژه در مناطقی با خاک‌های ضعیف و اشباع از آب، و وقوع فرایندهای نامطلوب که بر ساختمان‌ها و سازه‌ها تاثیر می‌گذارد [4]. هنگام حفاری تونل‌های شهری لازم است که پایداری ساختمان‌ها و سازه‌ها از قبل در مرحله طراحی و نقشه برداری برآورد شود. روانگرایی تحت تاثیر ارتعاشات دینامیکی و نشست از مسائل قابل توجه در این امر می‌باشد باید ارزیابی شود [5].
مهم‌ترین و حساس‌ترین نشست‌های ایجاد شده در تونل سازی، نشست‌های ایجاد شده در مناطق شهری است. نشست زمین در اثر حفر تونل به خصوصیات زمین شناسی مهندسی (شرایط زمین شناسی، ژئوتکنیکی و آب زیرزمینی)، عمق و هندسه تونل، روش احداث تونل و کیفیت محیط کار و مدیریت بستگی دارد [6]. خصوصیات زمین شناسی مهندسی مسیر تونل و مصالح موجود در آن یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در میزان و نوع نشست در اثر حفر تونل است [7].
خط 3 با خطوط 1 و 2 مترو تبریز در دو نقطه تلاقی دارد. ابتدا در محدوده دانشسرا که در این محل خط 3 از بالای خط 2 عبور خواهد کرد، سپس در محل تقاطع بین خیابان امام و خیابان خاقانی خط 3 از زیر خط 1 عبور خواهد کرد. زمانی که خط 3 به زیر تونل خط 1 می‌رسد تغییراتی در میزان نشست در اطراف تونل خط 1 می‌شود. همچنین خط 3 در زیر خط 2 باعث افزایش میزان نشست سطحی می‌شود. با توجه به فاصله قائم اندک که در بین تونل‌ها وجود دارد در هنگام حفر بایستی بهسازی زمین مورد توجه قرار گیرد [8].

2. وضعیت زمین شناسی منطقه

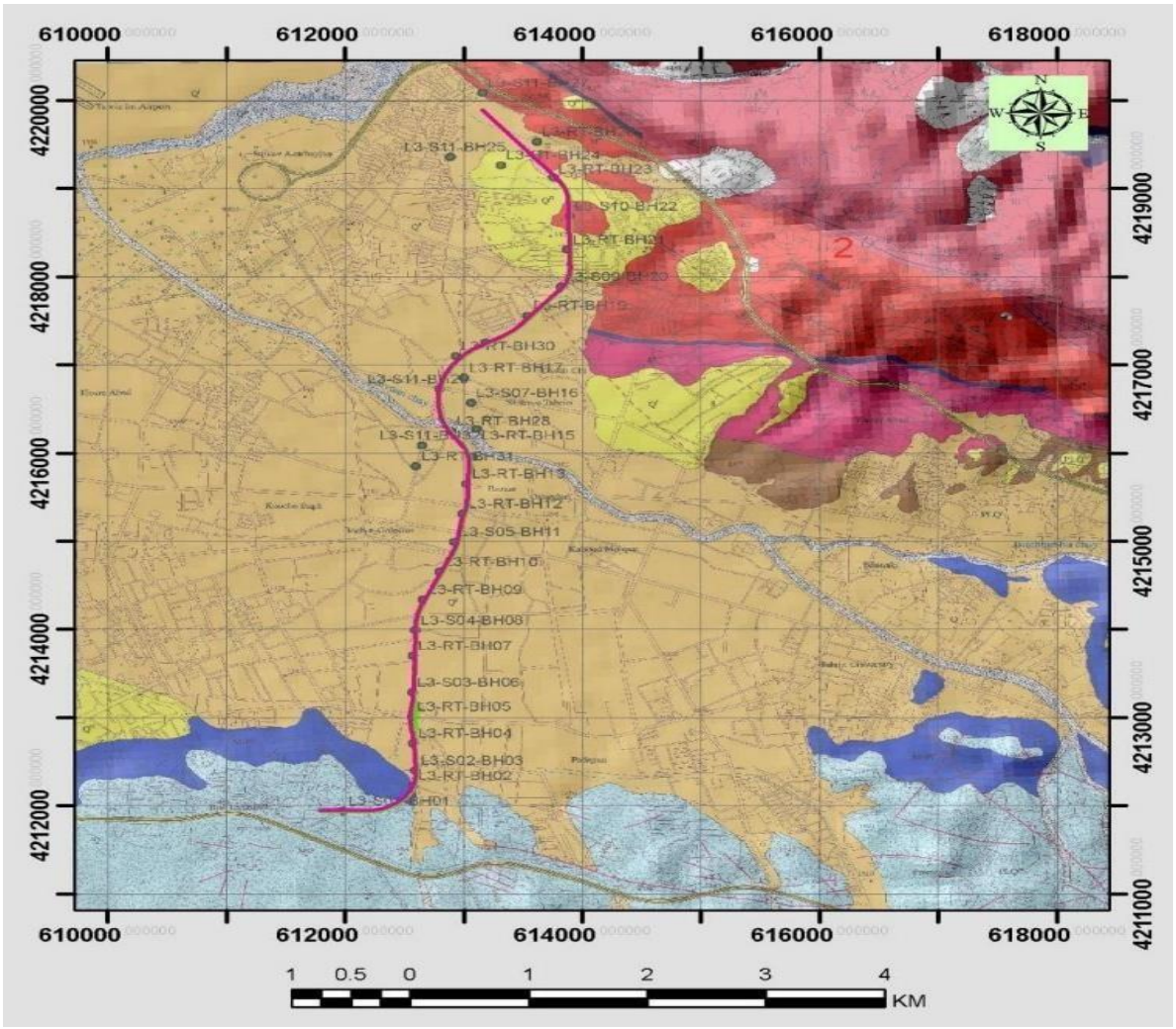
بر اساس تقسیم‌بندی نبوي [9] منطقهٔ مورد مطالعه در زون البرز- آذربایجان قرار دارد. همان طور که در نقشه زمین شناسی 1:25000 تبریز (شکل 2) نشان داده شده است یک سری واحدهای رسوبی آواری و آذرآواری از پلیوسن تا عهد حاضر مسیر خط 3 مترو را تشکیل می‌دهند. از نظر زمین شناسی قدیمی‌ترین واحد سنگی در این خط کنگلومرا، ماسه سنگ با میان لایه مارنی و لای سنگ می‌باشد که در قسمت شمالی (انتهای خط) مشاهده می‌شود. قدیمی‌ترین واحد سنگی قسمت جنوبی (ابتدای خط) واحدهای آذرآواری سهند شامل خاکسترهای توف، ماسه سنگ توفی، مارن و گاها کنگلومرا می‌باشند که سیمان ضعیفی را دارا بوده و با غوطه وری در آب، سست و تبدیل به خاک ریزدانه یا درشت دانه می‌شوند.

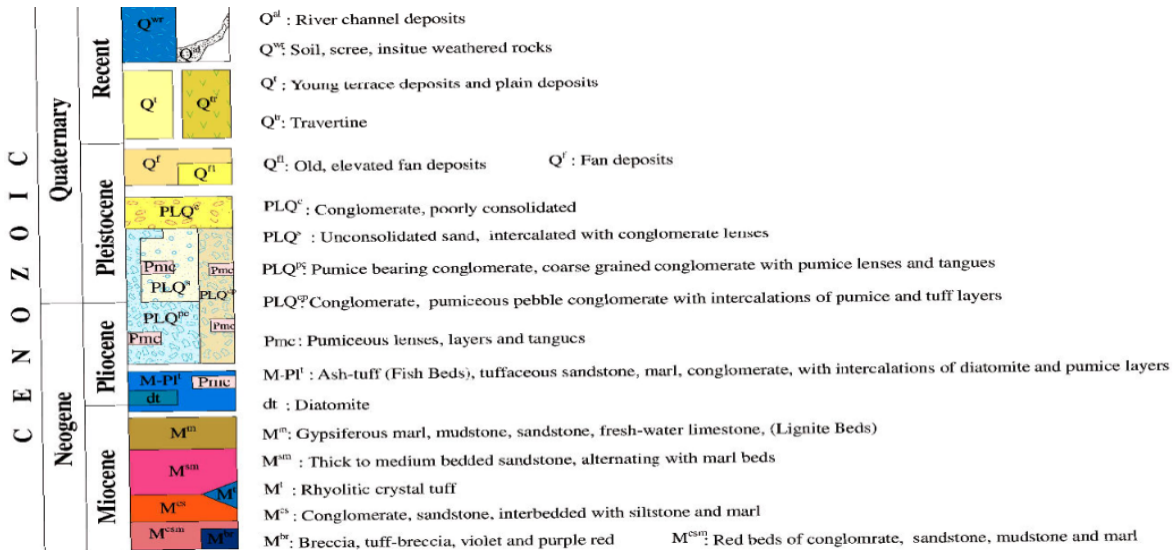
3. وضعیت لرزه خیزی و زمین ساخت منطقه

گسل‌های بزرگ و کوچک زیادی در منطقه وجود دارند که با توجه به فعالیت سیستم گسلی و زلزله‌های رخ داده در منطقه و مشاهده شکستگی‌ها در رسوبات جوان، منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کمربندهای لرزه خیز دنیا، کمربند آلپ- هیمالیا است که قسمتی از آن در ایران قرار گرفته است. آذربایجان نیز بر روی این کمربند واقع بوده و در گذشته زلزله‌های مخربی را تجربه کرده است[10]. گسل شمال تبریز با بیش از 90 کیلومتر طول یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین گسل‌های منطقه و مرز بین کوه‌های شمالی و دشت تبریز محسوب می شود. بر اساس آخرین داده‌ها آهنگ لغزش راستگرد گسل شمال تبریز حدود 7 میلی‌متر در سال بدست آمده است [11]. بر اساس آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله [12] منطقه مورد مطالعه در پهنه با خطر نسبي بسیار زیاد قرار گرفته است، لذا شتاب مبناي طرح آن 0/35g است. بررسی عملکرد لرزه‌ای این گسل برای شهر تبریز به عنوان بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی در شمالغرب ایران امری حیاتی است [13].

4. شرایط ژئوتکنیکی محدوده طرح

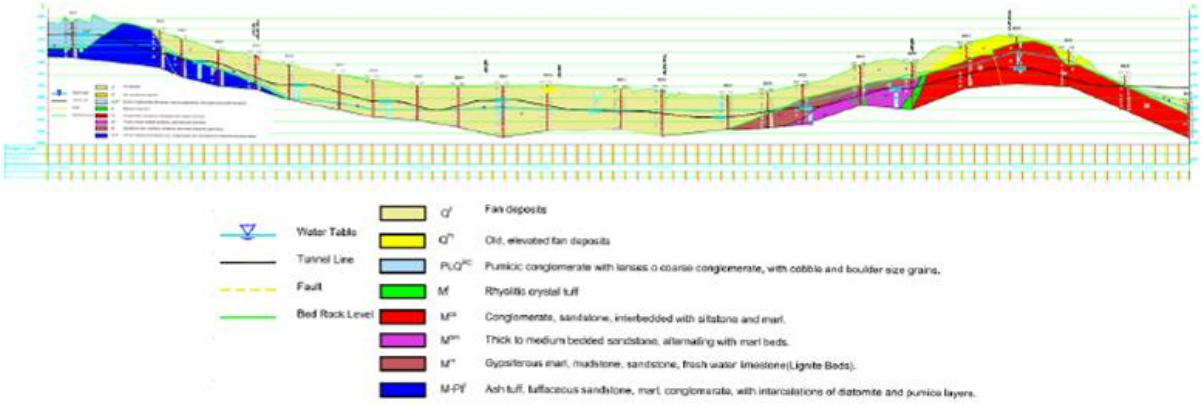
برای مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک و بررسی و شناخت لایه‌های زیرسطحی و تعیین پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک و سنگ کل مسیر خط 3 مترو، تعداد 31 گمانه ماشینی به روش مغزه‌گیری ممتد به وسیله شرکت مهندسان مشاور سد پایه بنا [14] حفاری شده است. محل گمانه‌ها در شکل 2 نشان داده شده است. عمق گمانه‌ها 25 تا 45 متر می‌باشد.





شکل 2- نقشه زمین شناسی منطقه به مقیاس 25/000 (سازمان زمین شناسی کشور، 1385) و مسیر خط 3 و محل گمانه‌های حفر شده [15]

همچنین 14 حلقه چاهک دستی با عمق 8 تا 20 متر حفاری شده است. بر اساس نتایج این مطالعات، بخش میانی مسیر دارای رسوبات آبرفتی با تراکم کم و جنس لایه‌های ماسه‌ای غیرچسبنده و لای غیرچسبنده هستند که کم و بیش پتانسیل روانگرایی دارند. مقطع زمین شناسی مسیر خط 3 در شکل 3 نشان داده شده است. در شکل 4 تصاویری از رسوبات آبرفتی و سنگهای مارنی مسیر نشان داده شده است.



شکل 3 - مقطع زمین شناسی مسیر خط 3 [14]

شکل 4 – تصاویری از لایه‌های زمین در مسیر خط 3

با توجه به این که در مسیر ابتدایی و انتهایی مسیر سنگ بستر (شبه سنگی) دارای عمق کم بوده و دارای دانسیته و تراکم خوبی

هستند وقوع پدیده روانگرایی در این بخش‌ها محتمل نمی‌باشد. در قسمت آبرفتی بخش‌های میانی مسیر مترو با توجه به میزان تراکم و جنس لایه‌های آن که اکثریت لایه‌های ماسه‌ای غیرچسبنده و لای غیرچسبنده هستند، ارزیابی این پدیده حائز اهمیت است. در بعضی از نقاط قلوه سنگ‌ها و قطعه سنگ‌هایی شناور در داخل آبرفت‌های تبریز در محدوده گمانه‌های شماره 1، 4، 31 و 32 مطالعات ژئوتکنیک مسیر وجود دارد که در حین حفاری تونل باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین در محدوده گمانه شماره 20 یک لایه آذرآواری توف ریولیتی با شاخص کیفی سنگ خوب وجود دارد که باید مدنظر قرار گیرد..

از لحاظ ژئوتکنیکی خاک‌های بیشتر مسیر در طبقه بندی SM, SC, GM, CH, ML,CL قرار می‌گیرند. در قسمت مرکزی خط لیتولوژی آبرفت، درشت دانه با طبقه بندی SM می‌باشند که با حرکت از قسمت میانی به شمال خط در میان این آبرفت درشت دانه، آبرفت‌های ریزدانه با طبقه بندی ML, CL, CL-ML مشاهده می‌شوند. بعد از این آبرفتها دوباره به لایه های آذرآواری، مارن، ماسه سنگ و لای سنگ که بیشتر حالت قرمز متمایل به قهوه‌ای و خاکستری هستند، برخورد می‌شود.

در حین حفاری گمانه‌های طول مسیر خط 3، نمونه برداری، آزمایش‌های درون گمانه‌ای ضربه نفوذ استاندارد (SPT)، لرزه نگاری دانهول، پرسیومتری، لوفران، بارگذاری صفحه‌ای، ژئوالکتریک و اندازه گیری سطح آب زیرزمینی انجام شده است. همچنین در چاهک‌های دستی، نمونه‌گیری و انجام آزمایش دانسیته در محل در اعماق مورد نظر انجام شده است. برای بدست آوردن میزان تراکم و یا سفتي خاک، آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) انجام شده است. بر اساس عدد SPT تراکم خاک‌های دانه‌ای متراکم و خاک‌های ریزدانه سفت می‌باشند. همچنین سرعت امواج برشی لایه‌های زمین تا عمق 30 متری بین 180 تا 620 متر بر ثانیه تغییر می‌کند. بر اساس سرعت موج برشی تا عمق 30 متری نوع زمین از نظر آئین نامه 2800 از نوع II یا III می‌باشد (جدول 1).

جدول 1- متوسط سرعت موج برشی وتیپ زمین در محل گمانه‌ها [14]

BH Number	سرعت متوسط موج برشی (m/s)	نوع زمین بر حسب آئین نامه ۲۸۰۰
L3-S01-BH01	448	II
L3-RT-BH02	491	II
L3-S02-BH03	434	II
L3-RT-BH04	429	II
L3-RT-BH05	444	II
L3-S03-BH06	428	II
L3-RT-BH07	419	II
L3-S04-BH08	364	III
L3-RT-BH09	401	II
L3-RT-BH10	418	II
L3-S05-BH11	440	II
L3-RT-BH12	426	II
L3-S06-BH14	414	II
L3-RT-BH15	416	II
L3-S07-BH16	428	II
L3-RT-BH17	370	III
L3-S08-BH18	372	III
L3-RT-BH19	534	II
L3-S09-BH20	373	III

نتایج به‌دست آمده از آزمایشات در اعماق مختلف جهت تعیین شرایط شیمیایی نشان می‌دهد که تغییرات اسیدیته (pH) نمونه‌های خاک 7/3 تا 8/9 و آب 6/9 تا 8 متغیر می‌باشد. همچنین مقدار یون کلر نمونه‌های خاک 0/01 تا 0/05 درصد متغیر می‌باشد و مقدار یون کلر آب زیرزمینی گمانه‌ها از 39 تا 1587 میلی‌گرم در لیتر دارای تغییرات می‌باشد. مقدار یون سولفات قابل حل در آب در نمونه‌های خاک دارای تغییرات 0/11 تا 0/55 درصد و میزان سولفات کل در خاک 0/25 تا 0/78 درصد می‌باشد و مقدار یون سولفات در آب زیرزمینی گمانه‌ها 55 تا 3335 میلی‌گرم در لیتر متغیر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد مقدار سولفات قابل حل در آب و محتوای کلر خاک در حد متوسط تا شدید می‌باشد.

مقادیر مقاومت محصور نشده در بخش آبرفت ریزدانه برابر 1/5 تا 6/5 و در بخش سنگی برابر 1/2 الی 12/1 کیلوگرم بر سانتیمترمربع می‌باشد. میانگین مقاومت تک محوری در آبرفت 3/3 و در سنگ 4/5 کیلوگرم بر سانتیمترمربع می‌باشد.

5. وضعیت آب زیرزمینی

ضروری است قبل از حفاری تونل، سطح آب زیرزمینی و تغییرات آن اندازه گیری شود تا در مراحل مختلف ساخت تونل، مشکلات ناخواسته ای پیش نیاید. روش‌های مناسب برای زهکشی در اجرای تونل وجود دارد. در کریدور تونل وجود سنگ بستر نفوذ ناپذیر مارنی و ماسه سنگ توفی به عنوان یک سد خوب برای تجمع آب و ایجاد سطح آب زیرزمینی آزاد در آبرفت‌های این مسیر شده

است. که به نظر می‌رسد رودخانه آجی چای و میدان چای این آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند. تراز آب زیرزمینی در این خط بین 5 تا 30 متر در تغییر است. این اختلاف به دلیل جنس رسوبات و عمق سنگ بستر و تغییرات توپوگرافی و وجود گسل‌های احتمالی می‌باشد. در ایستگاه‌هایی که زیرسطح آب زیرزمینی قرار دارند با توجه به جنس لایه‌های ماسه‌ای و روی هم قرارگیری متناوب لایه‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر و شیب لایه‌ها احتمال پدیده جوشش، بالاآمدگی و آرتزین وجود دارد که باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

6. نفوذپذیری خاک‌ها

ضریب نفوذپذیري خاک یکی از مهمترین پارامترهاي زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی تأثیرگذار در حفر تونل و انتخاب ماشین حفار مناسب و همچنین از نظر طراحی سیستم نگهداري آن می‌باشد به خصوص زمانی که تراز تونل زیر سطح آب زیرزمینی باشد، اهمیت بررسی این موضوع را افزون می‌کند. به طور کلی آزمایش نفوذپذیری در صحرا برای تمامی گمانه‌های مسیر خط 3 انجام گردید نتایج نشان داد که سنگ بستر (مارن، رس سنگ و لای سنگ) دارای نفوذپذیری کمی می‌باشند و مقدار آن 10^{-4} تا 10^{-8} متغیر است که مقادیر حداکثر آن مربوط به لای سنگ و حداقل آن مربوط به مارن سنگ و رس سنگ می‌باشد. سنگ بستر ماسه سنگی دارای مقادیر ضریب نفوذپذیری 10^{-4} تا 10^{-5} می‌باشد. آبرفت‌های ریزدانه دشت تبریز و خاک درجا از 10^{-5} تا 10^{-7} تقریبا دارای مقادیر مشابه نفوذپذیری با بسترهای سنگی مارنی و رس سنگی می‌باشند. آزمایش‌های انجام شده در آبرفت‌های درشت دانه که غالباً در محدوده تونل می‌باشند دارای مقادیر 10^{-3} تا 10^{-6} می‌باشند. مقادیر حداکثر مربوط به لایه‌های ماسه‌ای با تراکم متوسط و حداقل مربوط به لایه‌های ماسه‌ای خیلی متراکم و با محتوای ریزدانه زیاد می‌باشند.

7. بررسی پتانسیل تورم

خاک‌های ریزدانه رسی- سیلتی که در آنها کانی‌هایی مانند اسمکتیت و مونت موریونیت به مقدار زیادی وجود داشته باشد که با دریافت مقداری رطوبت تغییر حجم می‌دهند و متورم می‌شوند و با از دست دادن آب جذب شده، حجم خاک کاهش پیدا می‌کند. این افزایش و کاهش حجم می‌تواند باعث رخداد خساراتی در پی سازه‌ها شود. شناسایی این نوع خاک‌ها از راه بررسی شاخص خمیری بدست می‌آید. شاخص خمیری خاک‌های ریزدانه در عمقهای مختلف در گستره مورد نظر از 3 تا 40 درصد متغیر است. پتانسیل تورم در محدوده مورد مطالعه براساس رابطه چان، از حد کم تا زیاد (در حد متوسط) و بر اساس طبقه بندی آشتو، تورم از حد پایین تا بالا متغیر است. پدیده تورم به دلیل تغییرات سطح آب در طول سال وجود دارد که اثرات آن زیاد نیست، در مارن‌هایی که نزدیک سطح آب هستند در گمانه‌های 18، 19، 21 و 22 و تا حدی در گمانه‌های 3 و 4 این پتانسیل وجود دارد.

8. بررسی پتانسیل روانگرایی خاک

روانگرایی به واکنش خاک در برابر بارهای دینامیکی یا تحریک ناشی از امواج برشی اطلاق می‌شود که در نتیجه آن مقاومت خاک به طور کامل از بین رفته و خاک حالتی آبگونه به خود می‌گیرد و در نتیجه خاک توان باربری خود را از دست می‌دهد که منجر به ایجاد نشست، کج شدگی و واژگونی سازه‌ها می‌شود. در صورتی که یک ماسه اشباع به لرزه درآید متراکم شده و از حجم آن کاسته می‌شود. در چنین شرایطی اگر آب نتواند به سرعت از محیط خارج و به اصطلاح زهکشی شود، کاهش حجم، باعث افزایش فشار آب منفذی گردیده و وقتی که فشار آب منفذی برابر فشار سربار شد، تنش موثر بین ذرات خاک صفر شده، ماسه به طور کامل مقاومت برشی خود را از دست داده و در نتیجه حالت آبگونه پیدا می‌کند. طی 40 سال گذشته وقوع روانگرایی در هنگام لرزش‌های زمین، علت اصلی بسیاری از خرابی‌ها و تخریب ساختمان ها و شریان‌های حیاتی بوده است [16]. به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در برخی از مناطق شهر تبریز و در صورت وقوع زلزله‌های قوی روانگرایی محتمل خواهد بود. در ارزیابی مقاومت روانگرایی از سه نوع آزمایش صحرایی CPT, SPT و سرعت موج برشی استفاده می‌گردد. تحلیل روانگرایی به روش‌های مختلف با نرم افزارهای تخصصی مثل Liquify pro انجام می‌گردد. در نهایت نقشه زمین شناسی مسیر به همراه مقاطع زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی ارائه می‌شود. همچنین پهنه بندی خطرات زمین شناختی مسیر صورت می‌گیرد.
خاک‌های مستعد روانگرایی در صورتی که در عمق کمی از سطح زمین قرار داشته باشند می‌توانند با حفاری از محیط خارج شده و با خاک مناسب جایگزین شوند. این روش می‌تواند برای خاک‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد [17]. بیشترین محدوده محتمل برای پدیده روانگرایی در مرکز دشت تبریز در این خط می‌باشد که از گمانه شماره 8 تا 14 و گمانه 28 تا 29 را شامل می‌شود. بعضی از اعماق در گمانه‌های مذکور ضریب اطمینان روانگرایی بین 1 تا 1/3 دارند که بهتر است با توجه به نتایج پیوست این گمانه‌ها مدنظر قرار گیرند. با افزایش پارامترهای ضعیف زمین شناسی، وجود جابجایی افقی و عمودی تونل روند افزایشی در ساخت و سازهای سیستم های حمل و نقل زیرزمینی از خود نشان می‌دهد. محققان با استفاده از تجزیه و تحلیل حساسیت (مدول الاستیک و زاویه اصطکاک داخلی) از تاثیر شرایط زمین شناسی و تغییرات آن ها حین حفاری و ساخت و ساز، فرمول ها و مدل هایی را جهت پیش بینی حداکثر تغییر شکل و تاثیرپذیری پایداری سازه های زیرزمینی به دست آوردند، این روش‌ها در پروژه های آتی در طول مرحله برنامه ریزی و طراحی، به عنوان ابزار ارزیابی موثر قابل استفاده می‌باشد [18].
یکی از اساسی‌ترین موضوعات ساخت مترو، احداث ایستگاه‌ها است که با گودبرداری صورت می‌گیرد. گودبرداری در مناطق شهری از حساسیت بالایی برخوردار بوده و در ارتباط نزدیک با امنیت جانی و مسائل اقتصادی می‌باشد. سازه نگهبان جهت مهار گود و جلوگیری از ریزش دیواره گودبرداری و مرحله به مرحله متناسب با خاکبرداری، اجرا می‌گردد. شمع، انکر، نیل، استرات

و شاتکریت از المان های سازه نگهبان هستند که به صورت تکی و یا ترکیبی از آنها (بسته به عمق خاکبرداری، جنس و شرایط محل) طراحی و اجرا می‌گردد [19]. همچنین طراحی چندگانه با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی همه مسیر در گودبرداری، پایداری دیواره ی گود و پوشش و پایداری تونل می تواند تا حد چشمگیری از مخاطرات احتمالی جلوگیری به عمل آورد [20]. هجوم شن‌های روان در ساخت تونل‌ها به خصوص در مناطق دشت سیلابی و کم ارتفاع، یکی از مخاطرات عمده می باشد که با آب بندی شیمیایی، آبگیری مصنوعی، استفاده از کیسون و انجماد از روش های موثر پیشگیری و کاربردی می باشد. شناوری سازه های مربوط به سیستم مترو (ایستگاه‌ها)، در مناطق سیل زده یا نزدیکی رودخانه‌ها نیز با تقویت سازه‌ها قابل حل می‌باشد [21].

9. نتیجه گیری

مسیر خط 3 مترو تبریز به طول حدود 10 کیلومتر دارای راستای شمالی- جنوبی بوده و به وسیله رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. در زیر رسوبات سنگهای نرم از قبیل مارن، رس سنگ و ماسه سنگ دیده می‌شود. عمق سطح آب زیرزمینی در طول خط متفاوت بوده و بین 5 تا 30 متر در گمانه‌های حفاری شده مشاهده گردیده است. گسل مهمی مسیر خط را قطع نمی‌کند ولی گسلهای کوچک زیادی در بخشهای جنوبی و شمالی مسیر وجود دارد. بر اساس اطلاعات حفاری 31 گمانه، مسیر خط 3 به 3 ناحیه ژئوتکنیکی کلی به شرح زیر قابل تقسیم است:

ناحیه اول گمانه 1 تا 6 را شامل می‌شود که در این قسمت سنگ بستر (مارنی، ماسه سنگ، رس‌سنگ و..) که از لحاظ تراکم در رده بسیار متراکم یا از لحاظ استحکام در رده سخت می‌باشند. در ناحیه 2 گمانه‌های 7 تا 14 و 2 تا 29 قرار دارند در این محدوده، گمانه‌ها تا عمق حفاری شده به سنگ بستر برخورد نداشته و تا کیلومتر 5 کل عمق آنها درگیر آبرفت دشت تبریز می‌باشد و بعد از آن لایه آبرفتی ریزدانه گستردگی بیشتری تا انتهای این ناحیه دارند. ناحیه 3 گمانه‌های 1 تا 23 و 26 تا 27 و 30 را شامل می‌شود در این ناحیه به رخنمون‌های سنگی برخورد شده و یا سنگ بستر در اعماق سطحی قرار دارند. جنس سنگ بستر (مارنی، ماسه سنگ، رس‌سنگ، گاهاً کنگلومرایی و یک لایه توف- ریولیت و...) می‌باشد. از لحاظ تراکم در رده متراکم تا بسیار متراکم یا از لحاظ استحکام در رده خیلی سفت تا سخت می‌باشند. ضخامت خاک دستی در این ناحیه 0/2 تا 11 متر می‌باشد. بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی، بیشترین محدوده محتمل برای پدیده روانگرایی خاک با توجه به جنس رسوبات و عمق آب زیرزمینی، در محدوده مرکز شهر تبریز می‌باشد که از گمانه شماره 8 تا 14 و از گمانه شماره 28 تا 29 را شامل می‌شود. در موقع احداث تونل مترو این خط موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

1- محل عبور قنات‌ها و چاه‌ها و کوره‌های فاضلاب در محل باید قبل از آغاز عملیات به دقت شناسایی و تمهیدات لازم جهت پرکردن، انحراف یا بازسازی و تقویت کلیه کانالها و حفرات زیرزمینی اندیشیده شود.

2- تونل خط 3 در بسیاری از قسمتها از زیر سطح آب عبور می‌کند که در این موقعیت‌ها قطعا تراوش آب و ریزش ماسه به درون تونل وجود خواهد داشت.

3- با توجه به جنس لایه‌های خاک و میزان تراکم آن ها با در نظر گرفتن شتاب 0.35g و بزرگی زلزله 7/5 ریشتر، احتمال پدیده روانگرایی در موقع زلزله‌های شدید در محدوده بعضی ازگمانه‌ها وجود دارد.

4- با توجه به این که تونل در موقعیت‌هایی از داخل لایه مارنی که دارای هوازدگی سریع و پتانسیل تورم پذیری دارند، توصیه می‌شود که فاصله زمانی بین حفاری و ایجاد پوشش به حداقل برسد.

منابع

[1] معماریان، ح. 1392، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

[2] شایان، ف. 1395، بررسی زمین شناسی مهندسی و انتخاب روش حفاری مناسب تونل خط 3 متروی تبریز، پایان نامه ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

[3] شایان، ف.، برزگری، ق. و چاکری، ح. 1395، بررسی ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی مسیر خط 3 متروی تبریز، نهمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست

[4] Iegupov, V., Strizhelchik, G., Kupreychyk, A., Ubiyvovk, A., (2018). Geological Hazards During Construction and Operation of Shallow Subway Stations and Tunnels by the Example of the Kharkiv Metro (1968–2018). DOI: 10.15273/ijge.2018.04.030.

[5] Niu, Y., Wang, Q., Ma, F., (2023). Study on the Influence of Foundation Pit Excavation on the Deformation of Adjacent Subway Tunnel in the Affected Area of Fault Zones. Sustainability, 15, 9462. https://doi.org/10.3390/su15129462.

[6] Leca E., New B. (2007), Settlements induced by tunneling in Soft Ground, Tunneling and Underground Space Technology, vs.22, 119-149. (ITA/AITES Report 2006)

[7] باغبان، م. ح.، نیکودل، م. ح. و ارومیه‌ای، ع. 1395، بررسی تاثیر عوامل زمین شناسی مهندسی بر پارامترهای مرتبط با ارزیابی تجربی نشست زمین در اثر حفر تونل ابوذر تهران، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد 10، شماره 3

[8] محمدپور ریحان، ح.، چاکری، ح. 1398، بررسی اندرکنش بین تونلهای خطوط 1، 2 و 3 مترو تبریز، مجله مدل سازی در مهندسی سال هفدهم، شماره 58

[9] نبوی، م. ح. 1355، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شنا سی ایران

[10] درویش زاده، ع. 1370، زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر
[11] Djamour, Y. Vernant, PH. Nankali, H.R., Tavakoli, F. (2011), NW Iran-eastern Turkey present-daykinematics, Results from the Iranian permanent GPS network. Earth and Planetary Science, Letters, 307 (1-2), 27-34
[12] مرکز تحقیقات راه و شهرسازی، 1392، آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد 2800)، ویرایش چهارم
[13] Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M., Feghhi, K. and Solaymani, S. (2003), Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
[14] شرکت مهندسان مشاور سد پایه بنا، 1401، گزارش مطالعات ژئوتکنیک تجمیعی تونل و ایستگاه های پروژه مسیر اصلاحی خط 3 متروی تبریز- جلد بیست و یکم
[15] سازمان زمین شناسی کشور، 1385، نقشه زمین شناسی تبریز به مقیاس1: 25/000
[16] Orense, R. P. (2005), Assessment of liquefaction potential based on peak ground motion parameters, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 225-240
[17] Andrus, R. and Chung, R. M. (1995), Ground Improvement Techniques for Liquefaction Remediation Near Existing Lifelines", Building and fire Research Laboratory National Institute of Standard and Technology Gaithersburg, MD 20899
[18] Zhang, Q.; Wang, Y.F.; Li, J.C.; Zhang, B.; Xu, J. (2021), Safety evaluation method of deep foundation pit adjacent to subway tunnel. China Saf. Sci. J., 31, 95–104
[19] سلیمی چشمه منتش، م. و اصغری کلجاهی، ا. 1396، مشکلات ژئوتکنیکی اتوبان پاسداران تبریز و بهسازی بستر باند شمالی در محدوده ایده لو، دهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور
[20] Zhao, X.; Wang, H.X.; Li, Z.W.; Dai, G.L.; Yin, Z.W.; Cao, S.N.; Zhou, J. (2022), Numerical Study on the Deformation of Tunnels by Excavation of Foundation Pit Adjacent to the Subway. J. Appl. Sci., 12, 4752.
[21] Buildings and Structures on Undermined Territories and Slumping Soils (2012), SP 21.13330.2012. Moscow, Standartinform, 68p. (in Russian).