چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران
و بیست و هشتمین گردهمائی علوم زمین
۲۵ الی ۲۷ شهریور ماه ۱۳۸۹؛ دانشگاه ارومیه

بررسی نشت و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در ایستگاه‌های N7 و W7 خط ۷ مترو تهران

محمود شهبازی[۱]، محمد غفوری[۲]، غلام‌رضا لشکری‌پور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
Email: shahbazi.mahmood1980@gmail.com
۲ و ۳- استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

یکی از مشکلات مهم در ساخت ایستگاه‌های مترو در زیر سطح آب زیرزمینی، مشکل ورود آب به گود ایستگاه‌ها است. از ۲۵ ایستگاه خط ۷ مترو تهران حدود ۱۲ ایستگاه مشکل آب زیرزمینی دارد. سطح آب زیرزمینی در ایستگاه‌های N7 و W7 به‌ترتیب در اعماق ۱۹/۵ و ۴ متری قرار دارد. به منظور مقابله با آب زیرزمینی و جلوگیری از متأثرشدن برجهای مسکونی ۲۰ طبقه مجاور ایستگاه W7 در اثرگودبرداری و آبکشی، دیوار آب‌بند دیافراگمی احداث می‌گردد. در این‌صورت تراوش آب به درون گود فقط از کف امکان‌پذیر می‌باشد. برای محاسبه نشت از کف گود، از نرم‌افزار SEEP/W استفاده گردیده است. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته توسط این نرم‌افزار، دبی ورودی به ایستگاه در حدود ۲۲۵ m^3/day تخمین زده شده است. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و تخمین نرخ جریان در ایستگاه N7 با استفاده از نرم‌افزار SLIDE صورت پذیرفته است. براین اساس تحلیل آب‌های زیرزمینی در گود ایستگاه مترو مورد نظر با مقادیر مختلف ضریب تراوایی، در بازه 10^{-6} تا 10^{-4} سانتی‌متر در ثانیه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: نشت، نرم‌افزار SEEP/W، آب زیرزمینی، ایستگاه‌های N7 و W7.

Seepage analysis and modeling the underground water in Tehran metro line 7 stations, N7, W7

M. Shahbazi[1], M. Ghafouri[2] and G.R. Lashkaripour[3]

Abstract

One of the important problems of constructing underground stations underground water, is entering water into station excavations. This problem is in about 12 stations From 25 stations of Tehran line 7 project. Ground water tables are 19.5m and 4m depth orderly in stations N7 and W7. Accomplishment of diaphragm cut off wall is designed in contrast with groundwater and prevention of 20 floors residential towers impress vicinity of station W7 from lowering and drainage. In this case the seepage is possible from the bottom of the excavation. The SEEP/W has been used in order to calculate the seepage in the base. Based on the obtained analysis by the software, entrance discharge has been estimated that is 225 m3/day. Ground water modeling and flow estimation are conducted in the station N7 by using SLIDE software. Based on the ground water analysis in this excavation, different permeability coeffecient rates are determined between 10^{-4} to 10^{-6} cm/s.

Key words: Seepage, SEEP/W software, Ground water, Stations N7, W7.

۱- مقدمه

یکی از مشکلات مهم در ساخت ایستگاه‌های مترو در زیر سطح آب زیرزمینی، مشکل ورود آب زیرزمینی به گود ایستگاه است (شهبازی و اصغری، ۱۳۸۸). جریان آب در خاک یکی از مسائل اساسی در مهندسی ژئوتکنیک و مهندسی زمین- زیست‌محیطی می‌باشد. درحقیقت اگر آب در خاک ظاهر شود، نیاز به مهندسی ژئوتکنیک احساس می‌شود (Krahn, 2004). نشت در سازه‌های تونلی بسیار متداول است و مشکلات زیادی برای سازه‌ها و طراحی‌های تونل بوجود می‌آورد. جریان زیاد و ناگهانی نشت می‌تواند باعث تخریب تجهیزات و سازه‌ها گردد (Hung, 2007). اگرچه تخمین دقیق نشت مشکل است، اما طی ۴۰ سال اخیر تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. از این میان می‌توان به گودمن (۱۹۶۵)، فریز و چری (۱۹۷۹) و لی (۱۹۹۹) اشاره کرد که تئوری‌های خوبی در زمینه تخمین ورود آب زیرزمینی به فضاهای خالی زیرزمینی انجام داده‌اند. بر این اساس ژاکوب و لاهمن (۱۹۵۲) و مارشال و پروشت

(۲۰۰۳) راه‌حل‌هایی برای تخلیه سریع آب زیرزمینی انجام داده‌اند. پروشت (۲۰۰۵) و رنارد (۲۰۰۵) پیشنهاد ساده‌ای از راه‌حل ژاکوب و لاهمن ارائه دادند که این راه‌حل اگرچه در موارد ایده‌آل محدودی بکار می‌رود ولی می‌تواند خیلی مفید می‌باشد.

مدل جریان آب در خاک با استفاده از راه‌حل عددی می‌تواند خیلی پیچیده باشد. نهشته‌های خاک طبیعی به‌طور کلی هموژن و یا غیر هموژن می‌باشند. علاوه‌بر این، شرایط مرزی اغلب با زمان تغییر می‌کند و همیشه نمی‌تواند به‌طور مسلم با یک تعریف تحلیل گردد. در حقیقت گاهی شرایط مرزی درست می‌تواند بخشی از راه‌حل باشد. این پیچیدگی‌ها ضرورت استفاده از تحلیل‌های عددی برای بررسی مشکلات نشت برای تمام موارد بجز موارد ساده را بوجود می‌آورد. یک رویکرد متداول استفاده از روش‌های اجزاء محدود و SEEP/W، یک مثالی از ابزار عددی می‌باشد (Krahn, 2004).

۲- موقعیت جغرافیایی پروژه

پروژه خط ۷ قطار شهری (مترو) تهران از تقاطع بزرگراه‌های بسیج و شهید محلاتی در جنوب شرق‌تهران شروع شده و با حرکت به سمت شرق در راستای بزرگراه شهید محلاتی و خیابان مولوی به ایستگاه N7 در تقاطع خیابان هلال احمر و بزرگراه شهید نواب صفوی می رسد. از این نقطه مسیر حرکت به سمت شمال منحرف شده و پس از حرکت در راستای بزرگراه‌های شهید نواب صفوی و شهید دکتر چمران به سمت ایستگاه W7 واقع در میدان صنعت رسیده و با عبور از بلوار شهید پاکنژاد در سعادت آباد امتداد یافته و در انتها به میدان بوستان ختم می‌شود. طول این خط حدود ۲۶ کیلومتر بوده و دارای ۲۶ ایستگاه می‌باشد. این خط در امتداد شمال‌غرب به جنوب‌شرق تهران، مراکز مهم دانشگاهی، بیمارستانی و بازار تهران را به مناطق مسکونی متصل می‌کند و با تقاطع با سایر خطوط مترو مانند خط ۲، ۴ و ۱ به‌ترتیب در خیابان‌های آزادی، آذربایجان و میدان محمدیه، دسترسی به مناطق وسیعی از تهران را فراهم می‌کند. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های N7 و W7 در نقشه تهران ارائه شده است.

شکل ۱)- موقعیت ایستگاه‌های N7 و W7 در نقشه تهران.

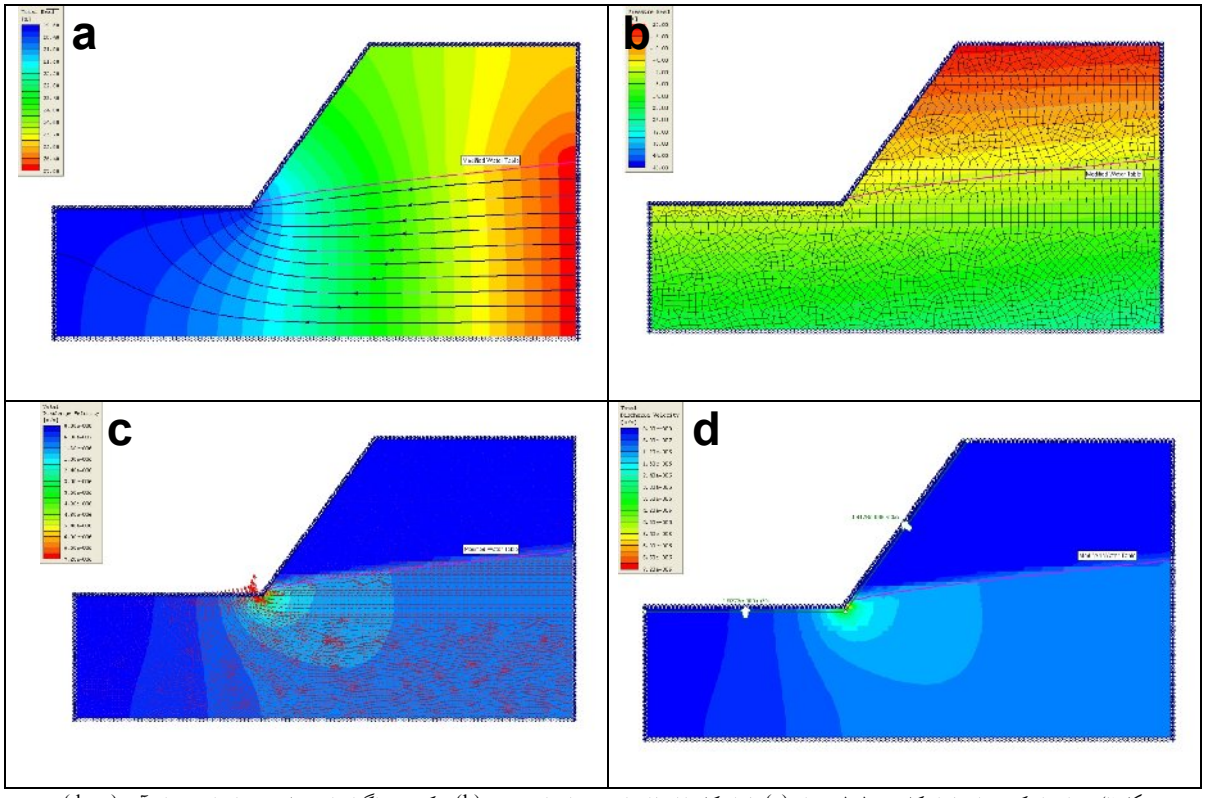
۳- زمین شناسی منطقه

محدوده ساختگاه ایستگاه‌های N7 و W7 از رسوبات آبرفتی دامنه‌ای متعلق به دوران کواترنری تشکیل گردیده که به سازند آبرفتی تهران (آبرفت‌های سری C) موسوم می‌باشد. سازند C از لحاظ دانه‌بندی از ذرات در حد سیلت تا حداکثر قطر ۲۰ سانتی‌متر تشکیل شده است. بخش مهمی از شهر تهران بر روی این سازند ساخته شده است. از بارزترین ویژگی‌های آبرفت‌های محدوده مورد مطالعه می‌توان به کاهش تدریجی و کم و بیش منظم اندازه ذرات از نواحی شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق اشاره نمود.

در ساختگاه ایستگاه W7 دانه‌بندی ذرات خاک در گستره وسیعی از اجزاء درشت تا رس‌های کلوئیدی، قرار می‌گیرد. براساس مطالعات انجام گرفته بر روی نمونه‌های حاصل از حفاری گمانه‌ها، با افزایش عمق، درصد رس افزایش یافته بطوریکه در اعماق ۱۸ تا ۲۵ متری، به حدود ۸۵٪ رسیده و تنها ۱۵٪ ذرات تشکیل دهنده آن‌ها قطعات ماسه و گراول می‌باشد. در ساختگاه ایستگاه N7 دانه‌بندی ذرات خاک عمدتاً به‌صورت ریزدانه می‌باشد. محدوده ساختگاه ایستگاه‌های مورد نظر از دو نوع خاک دستی و طبیعی تشکیل شده است. سطح تراز آب زیرزمینی در این ایستگاه‌ها به ترتیب در اعماق ۴ و ۱۹/۵ متری از سطح زمین قرار گرفته است (مهندسین مشاور زمین فن‌آوران، ۱۳۸۷).

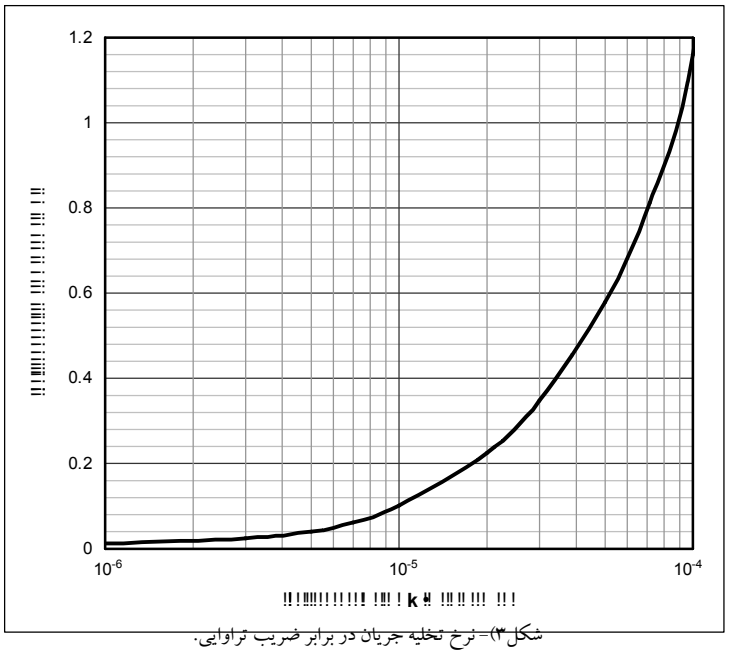
۴- مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و تخمین نرخ جریان در ایستگاه N7 با استفاده از نرم‌افزار SLIDE

به‌منظور تخمین نرخ جریان آب به درون گود ایستگاه در خلال عملیات ساختمانی طرح، مدل‌سازی کامل آب‌های زیرزمینی با روش اجزاء محدود و در شرایط جریان در حالت ثابت (Steady State)، با بکار گرفتن نرم‌افزار SLIDE 5.0 انجام پذیرفت. در استفاده از این نرم‌افزار، ابتدا شبکه دو بعدی اجزاء محدود تشکیل داده شده، سپس شرایط حدی برای حل مشکل مورد نظر، با در نظر گرفتن بالاترین سطح ایستابی اندازه‌گیری شده، بصورت شرایط حدی ایستایی کل (Total Head) تعریف گردید. همچنین برای تکمیل مدل آب‌های زیرزمینی، ویژگی‌های هیدرولیکی (تراوایی) مواد شیب وارد مدل گردیده است. پس از محاسبه مدل اجزاء محدود، سطح ایستابی واقعی تغییر یافته، با منحنی میزان مرزی ایستایی فشاری (Pressure Head) برابر صفر تعریف گردید. در مدل نهایی آب‌های زیرزمینی، تعدادی مقطع تخلیه (Discharge Sections) به مدل اضافه گردید. از این طریق، نرخ جریان حجمی در حالت جریان ثابت، عمود بر مقاطع تخلیه، محاسبه می‌گردد. بر این اساس بیشترین فشار و جریان آب در کف گود می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲)- نمایی از کنتورهای فشار کل و خطوط جریان (a)، فشار کل با استفاده از روش اجزاء محدود (b) و کنتور دیاگرام‌های تخلیه و بردارهای جریان آب (c و d).

تحلیل آب‌های زیرزمینی در گود ایستگاه مترو مورد نظر با مقادیر مختلف ضریب تراوایی، در بازه $۱۰^{-۶}$ تا $۱۰^{-۴}$ سانتی‌متر در ثانیه، صورت گرفته و نتایج تحلیل‌های انجام شده بصورت نمودار نرخ تخلیه در برابر ضریب تراوایی ارائه شده است. بطوریکه در نمودار مزبور آشکار است، به‌دلیل تراوایی پائین خاک محل، نرخ تخلیه آب‌های زیرزمینی به درون گود در محدوده ساختگاه، چندان در خور توجه نمی‌باشد (شکل ۳).



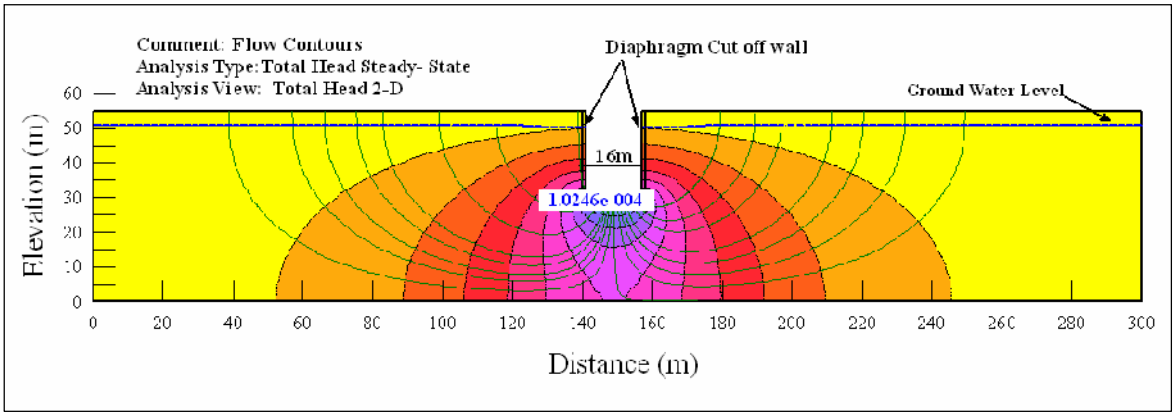
شکل۳)- نرخ تخلیه جریان در برابر ضریب تراوایی.

۵- بررسی نشت در ایستگاه W7 با استفاده از نرم‌افزار SEEP/W

مدل عددی، یک شبیه‌سازی عددی از فرایندهای فیزیکی است. SEEP/W یک مدل عددی می‌باشد که می‌تواند فرایند واقعی فیزیکی نشت آب را به‌صورت ریاضی شبیه‌سازی کند (Krahn, 2004). نرم‌افزار SEEP/W، از مجموعه Geo Studio، مربوط به بررسی شرایط تراوش و جریان آب در خاک است. از قابلیت‌های این بخش از برنامه، ترسیم تراز آب عبوری از درون خاک و بردارهای سرعت و ترسیم خطوط جریان و هم پتانسیل و محاسبه دبی عبوری برای مقطع مشخصی از خاک است. همچنین این برنامه این قابلیت را دارد که در شرایط جریان ماندگار (Steady State) آنالیز انجام دهد و شرایط آب و خاک را در حالت‌های مرحله‌ای بررسی کند (امین‌جواهری و پاک نیت، ۱۳۸۸).

برای محاسبه نشت در کف گود ایستگاه W7، با توجه به تراز آب زیرزمینی و نتایج حاصل از آزمایشات لفران، از نرم‌افزار SEEP/W استفاده گردیده است. در این ایستگاه به‌منظور کنترل نشت آب دیواره‌های گود، از دیوار دیافراگمی به طول ۱۶۰، عرض ۱۶، ضخامت ۰/۸ و عمق ۲۵ متر استفاده گریده است که در این صورت تراوش آب فقط از کف گود امکان‌پذیر می‌باشد. سطح تراز آب زیرزمینی در ایستگاه مذکور در عمق ۴ متری قرار دارد. نفوذپذیری افقی خاک در کف گود 5×10^{-6} m/s و نفوذپذیری دیوار دیافراگمی 10^{-9} m/s می‌باشد. در این تحلیل با توجه به این‌که نفوذپذیری دیوار ناچیز بوده و نشت آب فقط از کف گود اتفاق می‌افتد، برای محاسبه نشت فقط از داده‌های نفوذپذیری کف گود استفاده می‌گردد.

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزار، میزان آبگذری در یک متر طول خاک کف گود، برابر 10^{-4} m/s ۱/۰۲۴۶ محاسبه گردیده است (شکل ۴). از حاصلضرب مقدار مذکور در مساحت کف گود (۱۶m ۱۶۰m 10^{-4} cm/s ۱/۰۲۴۶)، دبی ورودی به ایستگاه در حدود ۰/۰۰۲۶ m^3/s (۲۲۴ m^3/day) بدست آمده است.



شکل ۴)- مقطع عرضی ایستگاه W7 و تحلیل نشت آن توسط نرم‌افزار SEEP/W.

۶- روش‌های مقابله با آب زیرزمینی

به‌منظور مقابله با آب‌های زیرزمینی، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از دیواره آب‌بند است. به این منظور از دیواره آب‌بند دیافراگمی در ایستگاه W7 استفاده گردیده که با وجود تراوایی بسیار کم آن، تراوش آب فقط از کف گود امکان‌پذیر می‌باشد. این دیوار به‌صورت بتن مسلح می‌باشد که در این‌صورت علاوه‌بر آب‌بندی دیواره‌های گود، نقش حفاظت و پایدارسازی از آن‌را نیز بر عهده خواهد داشت. به‌منظور جلوگیری از ورود آب از کف گود نیز از چاه‌های زهکشی استفاده می گردد که با این وجود احداث ایستگاه بدون وجود مشکل آب زیرزمینی انجام می گردد.

مشکل آب زیرزمینی در ایستگاه N7 نسبت به W7 کمتر می‌باشد. در این ایستگاه تراز آب ۶ متر بالاتر از کف گود قرار دارد. به‌منظور برطرف کردن این مشکل، کانالی تا عمق ۲ متر پایین‌تر از کف گود ایجاد گردیده و با نصب لوله‌های زهکشی و قرار دادن مصالح نفوذپذیر در اطراف آن، سطح آب زیرزمینی پس از زهکشی، به پایین‌تر از کف گود منتقل می گردد (شکل ۵). در این ایستگاه علاوه‌بر استفاده از روش مذکور، از چاه‌های زهکشی به مانند ایستگاه W7، برای مقابله با آب زیرزمینی استفاده می گردد.

شکل ۵)- نمایی از کانال احداث شده در کف گود ایستگاه N7 به‌منظور زهکشی و پایین آوردن تراز آب زیرزمینی.

۷- خلاصه و نتیجه گیری

محدوده ساختگاه ایستگاه‌های N7 و W7 از رسوبات آبرفتی دامنه‌ای متعلق به دوران کواترنری تشکیل یافته‌اند که به سازند آبرفتی تهران (آبرفت‌های سری C) موسوم می‌باشد. در ساختگاه ایستگاه W7 دانه‌بندی ذرات خاک در گستره وسیعی از اجزاء درشت تا رس‌های کلوئیدی قرار می‌گیرد. با افزایش عمق، درصد رس افزایش یافته بطوریکه در اعماق ۱۸ تا ۲۵ متر تنها ۱۵٪ ذرات تشکیل دهنده آن‌ها قطعات ماسه و گراول می‌باشد. در ساختگاه ایستگاه N7 دانه‌بندی ذرات خاک عمدتاً به‌صورت ریزدانه می‌باشد. محدوده ساختگاه ایستگاه‌های مورد نظر از دو نوع خاک دستی و طبیعی تشکیل گردیده است. سطح تراز آب زیرزمینی در این ایستگاه‌ها به ترتیب در اعماق ۴ و ۱۹/۵ متری از سطح زمین قرار گرفته است. به‌منظور مقابله با آبهای زیرزمینی در ایستگاه W7 از دیواره آب‌بند دیافراگمی استفاده گردیده که با وجود تراوایی بسیار کم آن، تراوش آب فقط از کف گود امکان‌پذیر می‌باشد. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزار SEEP/W، دبی ورودی به این ایستگاه در حدود ۲۲۵ m^3/day محاسبه گردیده است. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و تخمین نرخ جریان در ایستگاه N7 با استفاده از نرم‌افزار SLIDE صورت گرفته است. براین اساس تحلیل آب‌های زیرزمینی در گود ایستگاه مترو مورد نظر با مقادیر مختلف ضریب تراوایی، در بازه 10^{-6} تا 10^{-4} سانتی‌متر در ثانیه تعیین شده است. به‌منظور برطرف کردن مشکل ورود آب به ایستگاه W7، از چاه‌های زهکشی استفاده می‌گردد. در ایستگاه N7 علاوه‌بر روش مذکور از یک کانال زهکشی نیز استفاده می‌گردد.

۸- مراجع

امین جواهری، ا. و پاک نیت، ا. (۱۳۸۸). تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از Geo Studio، چاپ اول، انتشارات نشر علم عمران.

شهبازی، م. و اصغری، ا. (۱۳۸۸). استفاده از دیوار آب‌بند در ساخت ایستگاه‌های مترو (مطالعه موردی ایستگاه میدان صنعت تهران)، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مهندسین مشاور زمین فن‌آوران، (۱۳۸۷). گزارش مطالعات ژئوتکنیکی ایستگاه N7 خط ۷ مترو تهران، ۷۹ ص.

مهندسین مشاور زمین فن‌آوران، (۱۳۸۸). گزارش مطالعات ژئوتکنیکی ایستگاه W7 خط ۷ مترو تهران، ۸۱ ص.

Freeze, R.A., Cherry, J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Goodman, R. (1965) Groundwater inflows during tunnel driving. Engineering Geology 2 (2), 39–56.

Jacob, C.E., Lohman, S.W. (1952) Non steady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. Transactions of the American Geophysical Union 33 (4), 559–569.

Krahn, J. (2004) Seepage Modeling with SEEP/W an Engineering Methodology, 1th edition.

Lei, F.Z. (1999) Applied Mathematics in Hydrogeology. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. Marechal, J.C., Perrochet, P., 2003. New analytical solution for the study of hydraulic interaction between Alpine tunnels and groundwater. Bulletin De La Societe Geologique De France 174 (5), 441– 448.

Perochet, P. (2005) A simple solution to tunnel or well discharge under constant drawdown. Hydrogeology Journal 13, 886–888.

Renard, P. (2005) Approximate discharge for constant head test with recharging boundary. Ground Water 43 (3), 439–442.