«مجله علمی تخصصی علوم و فنون سازندگی»
سال اول، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۷، صفحه ۱ الی ۷

مطالعه و بررسی روش اجرای اتصال گالری دسترسی به تونل مکانیزه در ایستگاه میدان شهید مطهری پروژه خط A متروی قم

احسان درویش‌پور[۱]، وحید گودرزی[۲]، عباس روستایی[۳]

۱- کارشناس ارشد فنی پروژه خط **A** متروی قم، ۲- مسئول فنی پروژه خط **A** متروی قم، ۳- معاونت فنی و مهندسی پروژه خط **A** متروی قم، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء(ص)، مؤسسه حرا

(دریافت: ۹۷/۰۳/۱۵، پذیرش: ۹۷/۰۵/۲۰)

چکیده

با توجه به طولانی بودن مسیر تونل مکانیزه (در حدود ۱۰۳۰۰ m)، ارایه خدمات و پشتیبانی به دستگاه حفاری تا پایان مسیر از طریق پرتال ورودی امکان‌پذیر نبوده و باعث کندی سرعت پیشروی دستگاه و کاهش راندمان حفاری می‌شد. لذا تصمیم بر این شد که قبل از رسیدن TBM به ایستگاه A9 (میدان شهید مطهری) در میانه مسیر (متراژ ۵۲۰۰ m) سایت پشتیبان دیگری احداث و از طریق گالری دسترسی با شیب ۱۳ درصد، پس از عبور TBM به تونل مکانیزه متصل شود. در این مقاله سعی شده است چگونگی اجرا و اتصال گالری دسترسی به روش سنتی (NATM) به متراژ ۱۲۵ m با محاسبه پایداری و در نظر گرفتن تحکیمات آن برای اتصال به سگمنت‌های تونل مکانیزه مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. کمترین و بیشترین روباره گالری دسترسی به ترتیب ۳/۵ m و ۱۹ m بوده که بایستی با عبور ۴۰ درصد از زیر بافت فرسوده و میادین قدیمی شهری با روباره حدود ۳/۵ m به تونل مکانیزه متصل شود. لازم به ذکر است که در آینده از این گالری ارتباطی برای اجرای طبقه سکوی ایستگاه A9 (میدان شهید مطهری) استفاده خواهد شد. پس از اتمام احداث ایستگاه نیز از آن می‌توان برای خروجی اضطراری یا پدافند غیرعامل استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: تونل مکانیزه، گالری دسترسی، پایداری، TBM

۱. مقدمه

خط A قطار شهری قم با طول حدود ۱۴۷۰۰ m از مسجد مقدس جمکران شروع‌شده که بعد از عبور از میدان بقیه‌الله (عج)، میدان ولی‌عصر (عج)، تقاطع خیابان شهید دل‌آذر، میدان پلیس، میدان میرزای قمی، تقاطع خیابان عمار یاسر، چهل اختران، میدان شهید مطهری، میدان سعیدی، میدان معصومیه، میدان سوم خرداد، میدان کشاورز، به قلعه کامکار و دپو پارکینگ ختم می‌شود. در مسیر خط A، ۱۴ ایستگاه در تقاطع‌ها و میدان‌های مهم در نظر گرفته شده با نام‌های A1 (مسجد مقدس جمکران) تا A14 (قلعه کامکار) نام‌گذاری شده است. بخش مکانیزه این تونل از دپو پارکینگ آغاز شده و تا ایستگاه میدان ولی‌عصر (عج) با طول ۱۰۳۰۰ m با دستگاه EPB-TBM حفاری شده است. از ایستگاه میدان ولی‌عصر(عج) تا ایستگاه مسجد مقدس جمکران نیز به طول تقریبی ۳۹۰۰ m حفاری به روش سنتی (NATM) اجرا خواهد شد، که در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های پروژه خط A قطار شهری قم نشان داده شده است.

شکل (۱). موقعیت ایستگاه‌ها نسبت به شهر قم

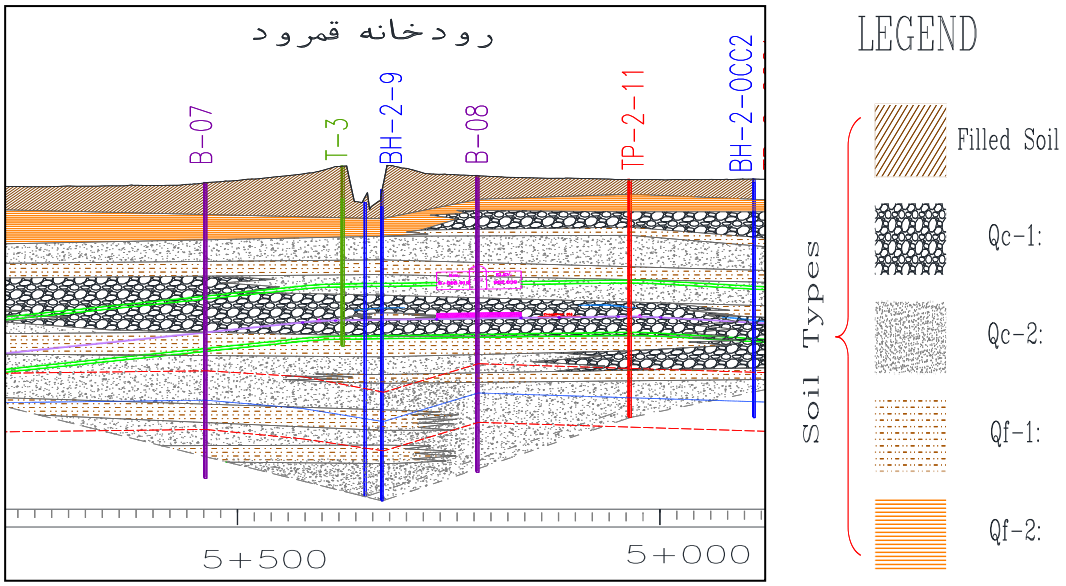
۲. مشخصات زمین‌شناسی مهندسی محدوده مورد بررسی

در مطالعات ژئوتکنیک و زمین‌شناسی مهندسی صورت گرفته در دو مرحله از مطالعات این پروژه، لایه‌های خاکی مسیر مترو به چهار گونه زمین‌شناسی مهندسی دو واحد خاکی ریزدانه Qf-1 و Qf-2 و دو واحد خاکی درشت دانه Qc-1 و Qc-2 تفکیک شده‌اند. عامل اصلی در تفکیک این واحدهای زمین‌شناسی مهندسی، دانه‌بندی و ویژگی‌های زمین‌شناسی خاک‌ها بوده است. داده‌های اولیه مورد نیاز برای شناسایی این ویژگی‌ها از طریق بررسی لوگ چاهک‌ها و گمانه‌های حفر شده در مسیر پروژه و انجام بازدیدهای صحرایی از رخنمون خاک‌ها به‌دست آمده است. تفکیک اولیه واحدهای خاکی با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی (منحنی‌های دانه‌بندی خاک‌های نمونه‌برداری شده) کنترل و تصحیحات لازم در مورد گسترش واحدهای خاکی صورت گرفته است. در محل ایستگاه A9 هر چهار واحد خاکی شناسایی شده در مسیر پروژه شامل واحدهای Qf-1، Qf-2، Qc-1 و Qc-2 به صورت لایه‌ها و لنزهایی با ضخامت و گسترش قابل توجه حضور دارند. نحوه گسترش این واحدهای خاکی در محل ایستگاه A9، در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه شده و در ادامه روی برش زمین‌شناسی مهندسی ایستگاه A9 نشان داده شده است.

جدول (۱). مشخصات ژئوتکنیکی واحدهای خاکی دربرگیرنده مسیر تونل

واحد خاکی	توصیف ژئوتکنیکی	ضخامت واحدها (m)	عمق (m)
Fill	خاک دستی	۴	۰-۴
Qf-2	رس لای‌دار با کمی ماسه	۲	۴-۶
Qc-1	شن ماسه‌ای و ماسه شن‌دار همراه با مقداری ریزدانه	۳	۶-۹
Qf-1	سیلت رسی با کمی ماسه	۱	۹-۱۰
Qc-2	ماسه رسی- سیلتی همراه با شن	۴	۱۰-۱۴
Qf-1	سیلت رسی با کمی ماسه	۲/۵	۱۴-۱۶/۵
Qc-2	ماسه رسی- سیلتی همراه با شن	۳/۵	۱۶/۵-۲۰
Qc-1	شن ماسه‌ای و ماسه شن‌دار همراه با مقداری ریزدانه	۷	۲۰-۲۷
Qf-1	سیلت رسی با کمی ماسه	۲/۵	۲۷-۲۹/۵
Qc-2	ماسه رسی- سیلتی همراه با شن	۳/۵	۲۹/۵-۳۳

پروفیل زمین‌شناسی واحدهای خاکی مسیر تونل در محل تقاطع مورد بررسی نسبتاً متغیر بوده و به طور متناوب در سینه کار با هر چهار نوع واحد خاکی برخورد می‌شود (شکل ۲).



شکل (۲). پروفیل زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل در تقاطع تونل دسترسی با اصلی

۳. وضعیت آب زیرزمینی

در حال حاضر سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از تراز کف پروژه و در اعماق بیشتر از ۳۵ m قرار دارد. هیدروگراف تراز آب زیرزمینی پیزومترها در سطح شهر قم را نشان می‌دهد که تراز سطح آب زیرزمینی رو به کاهش است و عمق آب در حال افزایش است.

بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که هیچگاه تراز آب زیرزمینی بالاتر از تراز فعلی نخواهد بود. بنابراین، توصیه می‌شود که پروفیل خاک در مسیر مترو و از جمله در محل این سازه به دو بخش شامل منطقه اشباع و منطقه غیر اشباع تقسیم شود و پارامترهای خاک در هر بخش به طور جداگانه محاسبه و پیشنهاد شود. با توجه به تراز فعلی سطح آب می‌توان عمق ۳۵ m را با دقت خوبی به عنوان مرز این دو منطقه پیشنهاد کرد.

۴. موقعیت سایت پشتیبان A9 شهید مطهری

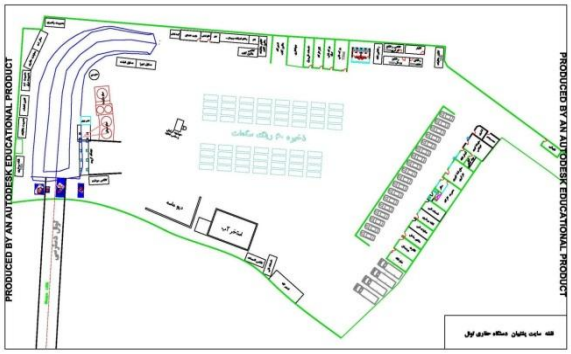
موقعیت سایت پشتیبان در محدوده ایستگاه A9 (میدان شهید مطهری) و متراژ حدودی ۵۲۰۰ در کارگاه عمران و خدمات موتوری شهری قم با مساحت حدود $10000\ cm^2$ در موقعیت شمال ایستگاه است (شکل ۳). به‌منظور پیشگیری از تخریب سگمنت‌های تونل اصلی، محل برخورد تونل دسترسی با تونل اصلی در موقعیت ایستگاه A9 در نظر گرفته شده است، که در زمان اجرای ایستگاه A9، بازشو ایجاد شده در این محدوده به طور کامل تخریب شده و سازه ایستگاه اجرا شده است. بنابراین، تونل دسترسی و سازه‌های مربوط به آن موقتی بوده و پس از اتمام حفاری تونل مکانیزه یا سازه‌های اصلی ایستگاه جایگزین خواهد شد.

از این کارگاه برای دسترسی مناسب جهت انتقال گروت، و سایر مواد و مصالح مورد نیاز حفاری، امکان تردد پرسنل به تونل و نیز تأمین آب و برق مورد نیاز تونل استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که تخلیه خاک از تونل دسترسی در نظر گرفته نشده است، در صورتی که به هر دلیل تخلیه خاک از این دسترسی مورد نیاز باشد، به شرط فراهم کردن امکان جانمایی جعبه نوار نقاله در داخل تونل یا استفاده از نوار نقاله جانبی، از نظر هندسی امکان جانمایی نوار نقاله دوم و تخلیه خاک از این تونل وجود دارد. همچنین با توجه به موقعیت آن، که در حوالی حرم و در مرکز شهر احداث شده، جابجایی خاک به علت شلوغی جمعیت و محدودیت‌های ترافیکی و با توجه به حجم بالای خاک و شرایط آن امکان‌پذیر نیست.

شکل (۳). موقعیت سایت پشتیبان و مسیر تونل

۵. جانمایی تجهیزات در موقعیت پشتیبان A9

در طرح تجهیز موقعیت پشتیبان مطابق شکل (۴)، موقعیت بچینگ گروت در روی ترانشه و در ضلع شرقی آن است. همچنین امکان ذخیره ۶۰ رینگ در محدوده وسط سایت وجود دارد. تراز ارتفاعی ورودی ترانشه ۹۲۵/۲۰ و تراز اصلی با در نظر گرفتن بتن‌ریزی به ارتفاع ۲/۱۰ m در حدود ۹۰۱/۶۰ است.

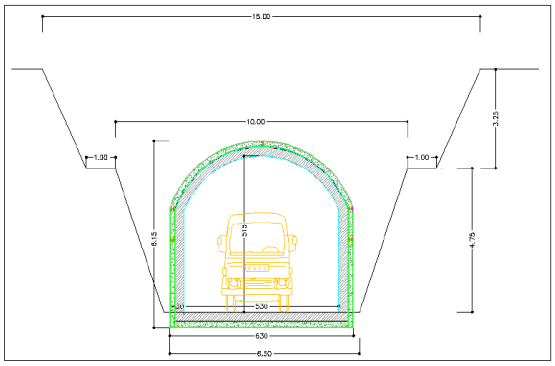


شکل (۴). پلان تجهیز سایت پشتیبان

همچنین پلان تونل دسترسی و اتصال آن به تونل اصلی در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل (۵). پلان تونل دسترسی و اتصال آن به تونل اصلی

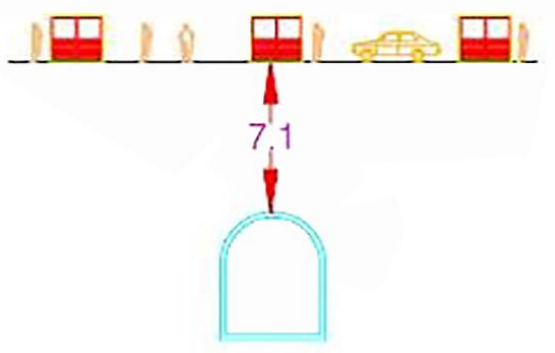
برای دسترسی به تونل اصلی از تراز ۹۲۵/۲۰ و پس از طی مسافت ۴۰/۴ m با شیب ۱۳٪، به تراز ۹۲۰/۱۵ خواهیم رسید. از این تراز به بعد و تا رسیدن به تراز ۹۰۱/۶۰ (تراز روی کف‌سازی تونل اصلی)، ترانشه و تونل دسترسی به طول ۱۲۵ m احداث شده است و به تونل اصلی و انتهای موقعیت ایستگاه A9 می‌رسد. مشخصات هندسی تونل دسترسی در شکل (۶) نشان داده شده است. از این تونل برای انتقال گروت و تجهیزات مورد نیاز حفاری استفاده شده است.



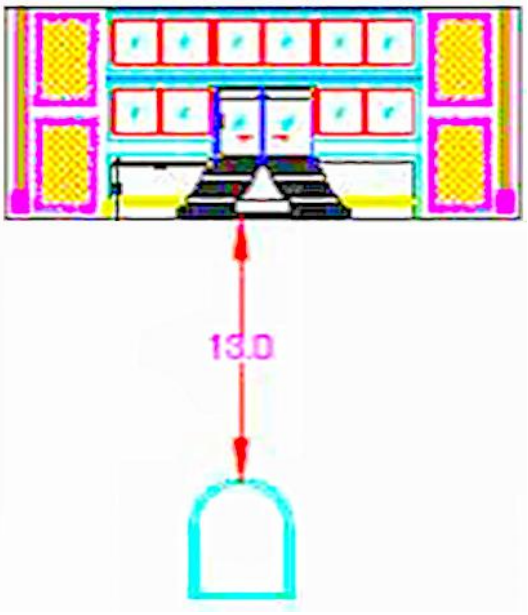
شکل (۶). موقعیت و ابعاد ترانشه و تونل دسترسی

در شکل (۷) پلان کلی محدوده سایت پشتیبانی و محل قرارگیری میدان میوه و ترەبار و پاساژ قائم (عج) ارائه شده است. همچنین، در شکل‌های (۸-۱۰) مقاطع شماتیک مختلفی از بخش‌های مسیر در هنگام عبور از زیر میدان میوه و ترەبار، پاساژ قائم (عج) و سطح خیابان تونل دسترسی نشان داده شده است.

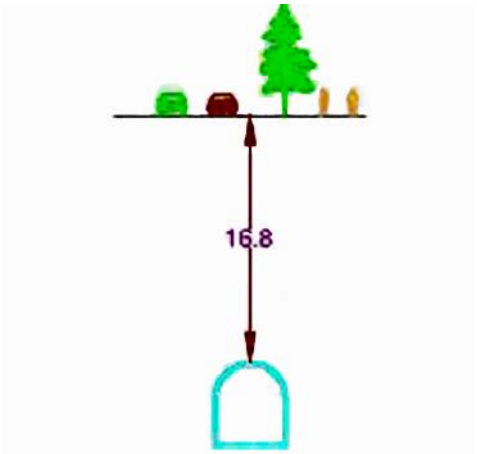
شکل (۷). پلان کلی محدوده سایت پشتیبانی و محل قرارگیری میدان میوه و ترەبار و پاساژ قائم(عج)



شکل (۸). مقطع ***A-A′*** مقطع شماتیکی از تونل دسترسی در محل میدان میوه و ترەبار



شکل (۹). مقطع ***B-B′*** مقطع شماتیکی از تونل دسترسی در محل پاساژ قائم (عج)



شکل (۱۰). مقطع ***C-C′*** مقطع شماتیکی از تونل دسترسی در محل سطح خیابان هدف

۶. روش اجرای پرتال ترانشه تونل دسترسی

برای احداث تونل دسترسی، نیاز به احداث ترانشه برای رسیدن به تراز مورد نیاز برای حفاری تونل است. این ترانشه به عنوان مسیر تردد پرسنل و عبور کامیون حمل مصالح و تجهیزات مورد استفاده قرار گرفته است. مهمترین مسئله پیش رو در احداث ترانشه، حفظ پایداری دیواره‌ها است. بر اساس طراحی انجام شده توسط مشاور همکار برای تأمین این پایداری، دیواره‌های ترانشه به صورت شیب‌دار مطابق شکل (۶) طراحی شده است. با توجه به شرایط خاک و فضای سطح زمین، حجم خاک برداشته شده حدود $1400\ m^3$ بوده و حداکثر عمق حفاری از بالاترین تراز تا کف ترانشه حدود ۸ m است.

مراحل اجرای ترانشه به‌صورت زیر است:

۱- خاک‌برداری ترانشه؛
۲- تحکیم دیواره‌های ترانشه با مش و شاتکریت همراه با پیشرفت حفاری ترانشه.

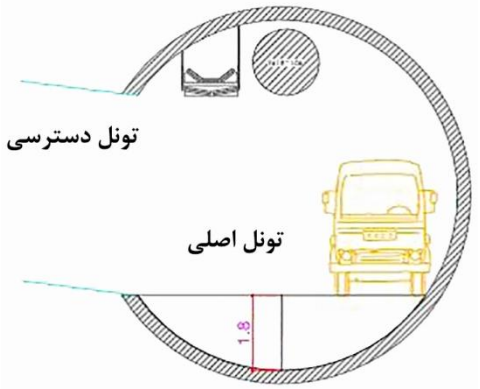
با توجه به مشخصات زمین‌شناسی، حفاری ترانشه به روش مکانیکی و با ماشین‌آلاتی مانند بیل و لودر انجام شده است. پیش از اجرای ترانشه موقعیت سر ترانشه‌ها توسط گروه نقشه‌برداری روی زمین پیاده شده تا اجرای ترانشه با دقت بیشتری انجام شود.

۷. روش اجرای تونل دسترسی و اتصال آن به تونل اصلی

انتخاب روش حفاری مناسب تونل به مشخصات زمین‌شناسی، پارامترهای ژئوتکنیکی خاک مسیر تونل و طول تونل بستگی دارد. با توجه به طول، ابعاد و مشخصات تونل و زمین دربرگیرنده آن، حفر تونل به روش دستی و با استفاده از بیل مکانیکی و ماشین‌آلات مانند لودر با گام پیشروی کوتاه و نصب نگهداری موقت، انجام شده است. حفاری تونل در دو مرحله انجام شده است، در مرحله اول حفاری بخش فوقانی (TOP) انجام شده و پوشش آن نصب می‌شود. در مرحله دوم بخش تحتانی (BENCH) حفاری می‌شود. و سپس پوشش موقت آن تکمیل می‌شود. مراحل اجرای تونل در این روش را می‌توان به‌صورت ذیل خلاصه کرد:

- حفاری بخش فوقانی (TOP)
- اجرای پوشش بخش فوقانی
- حفاری بخش تحتانی (BENCH)
- اجرای پوشش بخش تحتانی و تکمیل پوشش تونل

علاوه‌بر حفاری تونل دسترسی باید در داخل تونل اصلی، زیرسازی به طول ۱۴۰ m و ارتفاع ۱/۸ m و عرضی در حدود ۷ m در داخل تونل اصلی ایجاد شود، که تخلیه سگمنت‌ها از روی کامیون و بارگیری آنها روی MSV به راحتی انجام شود.



شکل (۱۱). طرح تونل اصلی در محل تقاطع با تونل دسترسی

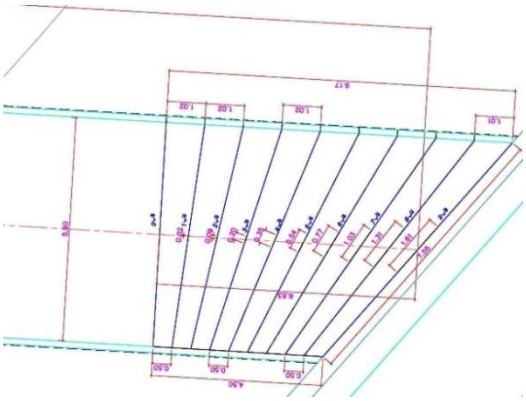
تونل دسترسی به عمق ۱۳ m از زیر پاساژ قائم [عج] عبور کرده است، مهمترین اقداماتی که در حین عبور تونل دسترسی از زیر این پاساژ صورت گرفت عبارتند از:

- ایجاد ایستگاه‌های ابزار دقیق مناسب
- کاهش گام پیشروی از ۷۵ cm به ۵۰ cm
- حفاری کنترل شده در زیر ساختمان
- نصب سریع سامانه نگهداری

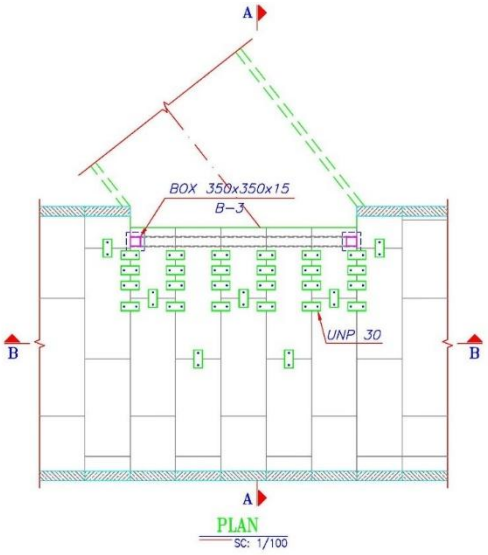
نشست‌های اتفاق افتاده در محدوده پاساژ کم بوده و در حدود ۳ mm است که تأثیری بر ساختمان نداشته، خاطر نشان می‌شود در محدوده پاساژ چندین چاه جذبی و فاضلاب بوده که چاه فاضلاب مربوط به ساختمان قبل از رسیدن تونل تخلیه و چاه جایگزین دیگری در محدوده خارج از مسیر تونل احداث شده و مسیر آن منحرف شد. افزایش سرعت عمل در این محدوده و کاهش فاصله بین حفاری قسمت بالا و پایین و همچنین اجرای سریع کف‌بند، باعث کاهش میزان مخاطرات و نشست سطحی شد.

با توجه به زاویه ۵۲ درجه‌ای در ۷ m انتهاییِ محل تقاطع تونل دسترسی به تونل مکانیزه، چیدمان و قرار دادن قاب تحکیم اولیه تونل دسترسی همراه با تغییر ابعاد و اندازه و گام حفاری مختلف مطابق شکل (۱۲) انجام شد. بدین صورت که سمت چپ با گام ۵۰ cm حفاری و سمت راست با گام ۱/۲ m حفاری و قاب‌های آن با افزایش حداقل ۲ cm تا ۱/۶۱ cm در قسمت بالایی تاج تونل نصب و اجرا شد. تونل دسترسی با شیب ۱۳٪ اجرا شده که بسیار مناسب و مطلوب است. تمام تحکیمات اولیه تونل دسترسی با نصب قاب IPE 160، دولایه مش ۶ و ضخامت ۲۵ cm شاتکریت و با حداقل گام ۵۰ cm و حداکثر ۷۵ cm با توجه به وجود بافت فرسوده و ساختمان‌های قدیمی خشتی و آجری، در مدت زمان ۳ ماه و با رعایت اصول ایمنی و مهندسی انجام شد. لازم به ذکر است که به منظور حفظ پایداری و تحکیم دیواره تونل در محل اتصال به تونل دسترسی، مهمترین اقدامات لازم انجام شده عبارت است از موارد ذیل که در شکل (۱۳) نیز به روند اجرای آن اشاره شده است:

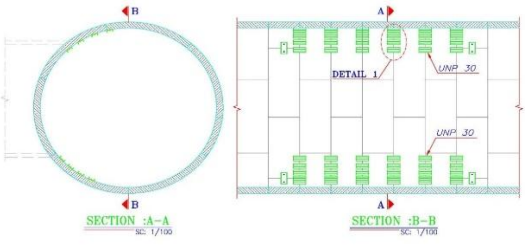
۱- بستن رینگ‌ها به هم با کمک المان‌های ناودانی و کاشت آرماتور
۲- اجرای پایه فلزی در موقعیت بازشو
۳- بریدن سگمنت‌ها
۴- اجرای قاب فلزی در محل بازشو
۵- برچیدن پایه‌های فلزی
۶- تکمیل اجرای تونل دسترسی برای اتصال به تونل اصلی



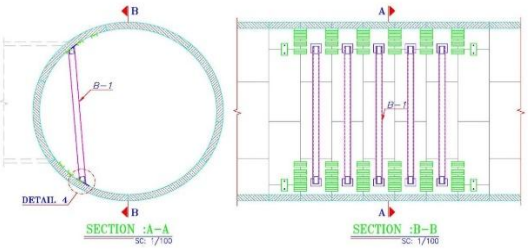
شکل (۱۲). نمایی از چیدمان قاب‌ها در ۷ متر انتهایی برای اتصال به تونل اصلی



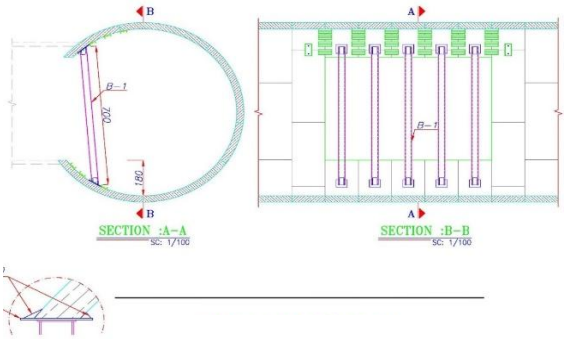
مرحله اول: بستن رینگ‌ها به هم با کمک المان‌های ناودانی و کاشت آرماتور



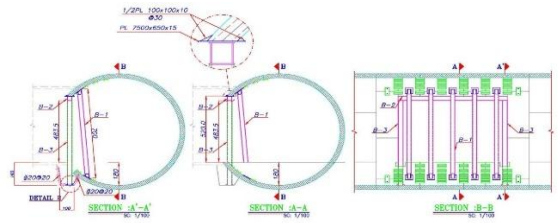
مرحله دوم: اجرای پایه فلزی موقت در موقعیت بازشو



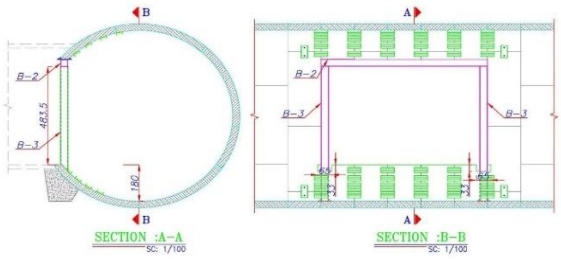
مرحله سوم: بریدن سگمنت‌ها



مرحله چهارم: اجرای قاب فلزی در محل بازشو



مرحله پنجم: برچیدن پایه‌های فلزی



شکل (۱۳). نمایی از روند اجرای محل تقاطع تونل دسترسی با تونل اصلی

۸. نتیجه‌گیری

۱- محل اتصال تونل دسترسی به تونل اصلی با تخریب سگمنت‌های دهانه ورودی و با استفاده از دستگاه کرگیری انجام شده است.

۲- برای درآوردن سگمنت‌های بریده شده، از بیل مکانیکی با چکش هیدرولیک استفاده شد.

۳- برای پایه‌های حائل نصب‌شده جهت نگهداری موقت سگمنت‌ها از تیرآهن‌های ۲۰ دوبل شده است.

۴- برای نگهداری سگمنت‌های دهانه ورودی، از قاب فلزی (تیر ورق) به عرض ۳۵ cm با ارتفاع مفید پایه ۶/۱ m و طول تیر ۷/۵ m در محل مورد نظر استفاده شد.

۵- حفاری تونل دسترسی با حداقل گام ۵۰ cm و حداکثر ۷۵ cm با توجه به وجود بافت فرسوده و ساختمان‌های قدیمی خشتی و

آجری در مدت زمان ۳ ماه و با رعایت اصول ایمنی و مهندسی انجام شد.

۶- برای سیستم نگهداری موقت تونل از مش و قاب فلزی (IPE160) و شاتکریت (با عیار سیمان ۴۰۰ kg/m^3) استفاده شده است.

۷- با رعایت اصول مهندسی و دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های حفاظتی و ایمنی و با انجام حفاری حساب شده و اجرای به‌موقع تحکیمات اولیه و طراحی مناسب، عبور از پاساژ قدیمی و فرسوده قائم(عج) به صورت ایمن و بدون هیچگونه مشکلی و با حداقل نشست (۳ mm) انجام شد.

۹. مراجع

۱. مدنی، حسن، استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱.

۲. جروم بی، ا، مترجمین، اسماعیلی، م، بابایی، ع، یوسفی مجیر، پ، راهنمای طراحی، ساخت و نظارت بر تونل‌سازی، تهران، پلیکان، ۱۳۸۷.

۳. گزارش سایت پشتیبان ایستگاه A9، پروژه خط A متروی قم، مهندسین مشاور ساحل، مردادماه ۱۳۹۴.

4. L. Langmaack, "Application of new TBM Conditioning Additives," MBT International, Underground Construction Group, Zürich, Schweiz.