«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال دوم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۴۱ الی ۴۷

گزارش فنی

استفاده از مهندسی ارزش در انتخاب قوس با شعاع کم- تونل مکانیزه خط ۳ قطار شهری مشهد

سید رضا حسنی‌زاوه[1*]، حسن شایسته عظیمیان[2]، حسین میرمحرابی[3]، حسن شمسی فراشاه[4]

۱- کارشناسی ارشد مکانیک سنگ دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۲- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه فردوسی مشهد و دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت پروژه دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران ۳- دکترای زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- کارشناسی ارشد مکانیک سنگ دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷)

چکیده

یکی از محدودیت‌های حفاری مکانیزه تونل در مقایسه با روش‌های حفاری سنتی، ایجاد قوس‌های تند است؛ علاوه بر این، در صورت توأم شدن قوس‌های دارای شعاع کم با معارضین سطحی و زیرسطحی، مشکلات و محدودیت‌های حفاری، دوچندان می‌گردد. به‌طورمعمول برای عبور ایمن از این معارضین گزینه‌هایی نظیر تغییر مسیر، پیشنهاد بهسازی و طرح‌های حفاظتی در فاز قبل از اجرا در دسترس طراحان است. با توجه به طراحی اولیه پلان و پروفیل در تونل غربی خط ۳ قطار شهری مشهد، اجرای بخشی از مسیر با چالش‌های مهمی ازجمله هم‌زمانی قوس ۳۰۰ متر با عبور از زیر ساختمان‌های اقامتی و تجاری بلندمرتبه در منطقه روبه‌رو بوده است. پس از مطالعات و بررسی‌های به‌عمل‌آمده، اجرای قوس با شعاع غیرمعمول ۲۷۰ متر در دستور کار قرار گرفت. برای پیشگیری از مشکلات حفاری در قوس تند، تمهیدات لازم به‌کارگیری شده است؛ برخی از این تمهیدات عبارت‌اند از اجرای طرح‌های حفاظتی ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی و ساختمان زیبا سازه، تعویض براش و ابزارهای برشی، تعیین موقعیت درست کلید در رینگ، طرح چینش ویژه اینورت‌ها و طراحی نوار نقاله که باعث حفاری باکیفیت مناسب در قوس گردید. ازنظر مهندسی ارزش نیز انتخاب و اجرای قوس با شعاع ۲۷۰ متر، معادل ۲۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی در پی داشته است.

کلیدواژه‌ها: تونل مکانیزه، قوس، مهندسی ارزش، کیفیت.

۱. مقدمه

حفاری تونل‌های دارای قوس تند با استفاده از TBM متداول نیست [۱]. حفاری تونل‌های مکانیزه در محدوده قوس‌های با شعاع کم همواره یکی از چالش‌های فنی و مهندسی پروژه‌های تونل سازی بوده است. در طراحی خطوط مترو شهری، معمولاً پذیرفته‌شده است که در شرایط قوس‌های تند با شعاع کم از توأم شدن شرایط نامساعد زمین‌شناسی و ساختمان‌های موجود در محدوده تأثیر اجتناب شود [۲ و ۳]. اگر چنانچه شعاع قوس کمتر از ۴۰ برابر قطر دستگاه حفار باشد، ریسک کیفیت و دشواری ساخت به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت [۴]. به‌طورکلی هرچه شعاع قوس کوچک‌تر باشد ریسک اضافه حفاری افزایش می‌یابد [۵]. بدیهی است که پیچیدگی حفاری در قوس‌های دارای شعاع کم در صورت توأم شدن با معارضین سطحی و زیرسطحی دوچندان می‌گردد. یکی از تهدیدات احداث سازه‌های زیرزمینی تأثیر آن برسازه‌های سطح زمین می‌باشد که طیف گسترده‌ای از انواع نشست را شامل می‌شود [۶]. عبور از زیر پی ساختمان‌های بلند، پل‌های بزرگ، مناطق مسکونی با تراکم زیاد، خیابان‌های اصلی شهری، بافت‌های تاریخی و دارای ارزش میراث فرهنگی، تونل‌های انرژی، تونل‌های فاضلاب، خطوط متروی در حال بهره‌برداری، تأسیسات شهری حساس ازجمله معارضین موجود در محیط کلان‌شهرها می‌باشند. به‌طورمعمول برای عبور ایمن از این موانع گزینه‌هایی نظیر تغییر مسیر و همچنین پیشنهاد بهسازی و طرح‌های حفاظتی در فاز قبل از اجرا در دسترس طراحان است.

آقای مایلز (۱۹۷۲) ابداع‌کننده مهندس ارزش، آن را بدین‌صورت تعریف می‌کند: تحلیل ارزش، یک روش خلاق و سازمان‌یافته است که هدف آن شناسایی هزینه‌های غیرضروری است؛ هزینه‌هایی که کیفیت، کارایی و طول عمر محصول را افزایش نمی‌دهند، به چشم نمی‌آیند و موردعلاقه مشتری نیز نیستند [۷].

انجمن مهندسی ارزش آمریکا، مهندسی ارزش را بدین‌صورت تعریف کرده است: روشی سیستماتیک برای بهبود ارزش کالاها

* نویسنده مسئول: S.rezahassani@gmail.com@gmail.com

یا محصولات و خدمات با استفاده از بررسی عملکرد است. ارزش نسبت عملکرد به هزینه است؛ بنابراین ارزش را می‌توان با بهبود عملکرد یا کاهش هزینه ایجاد نمود. حفظ عملکردهای اساسی در فرایند بهبود ارزش، یکی از اصول اولیه مهندسی ارزش است [۸].

به‌طورکلی اهداف مدنظر در این پژوهش که در بندها و سرفصل‌های جداگانه بررسی می‌شود، شامل موارد زیر است:

- انتخاب شعاع قوس مناسب با دیدگاه مهندسی ارزش
- مطالعات و مدیریت خطرپذیری عبور از مجاورت ساختمان‌ها

۲. تعریف مسئله

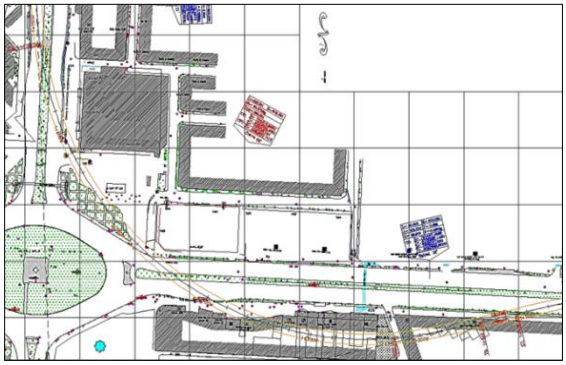
پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد به طول حدود ۲۸ کیلومتر حدفاصل انتهای بلوار امیریه در غرب و شهرک ابوذر در جنوب شرق شهر مقدس مشهد در حال احداث می‌باشد. احداث تونل این پروژه به‌وسیله دو دستگاه TBM از دو جبهه شرقی و غربی از محل شفت پشتیبان در مرکز مسیر آغازشده است. شکل (۱) نمایی از مسیر خط ۳ قطار شهری مشهد و محدوده اجرای قوس را نشان می‌دهد. شایان‌ذکر است قوس موردبررسی در کیلو متراژ ۱+۳۰۶ تا ۱+۶۹۶ تونل غربی قرار دارد.

شکل (۱). مسیر حفاری تونل خط ۳ و موقعیت قوس ۲۷۰

عبور از قوس و هم‌زمانی آن با عبور از مجاورت و زیر ساختمان‌ها و قنوات در زمان اجرا ممکن است با ایجاد ناپایداری در مستحدثات سطحی و زیرسطحی همراه باشد. به‌منظور کنترل ناپایداری می‌توان ضمن رعایت فواصل مجاز (از طریق انتخاب شعاع قوس مناسب) از روش‌های بهسازی نیز استفاده نمود.

در تونل غربی خط ۳ قطار شهری مشهد با توجه به موانع موجود در محدوده میدان جانباز و همچنین محدودیت‌های مربوط به اصول فنی طراحی پلان و پروفیل، با توجه به حداقل قوس معمول متروها (قوس‌های با شعاع حداقل ۳۰۰ متر) ادامه مسیر با چالش‌های مهمی ازجمله هم‌زمانی قوس ۳۰۰ با عبور از زیر ساختمان‌های اقامتی و تجاری بلندمرتبه در منطقه روبه‌رو بوده است؛ لذا دو گزینه تغییر شعاع قوس و بهسازی برای عبور از این محدوده مطرح شد.

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود مطابق طرح اولیه با شعاع قوس ۳۰۰، در محدوده میدان جانباز مسیر از زیر ساختمان‌های جنوب بلوار فردوسی عبور می‌کند. با توجه به مخاطرات عبور از زیر ساختمان‌های متعدد (دارای زیرزمین و چاه‌های فراوان جذبی)، امکان‌سنجی طرح جایگزینی قوس با شعاع کمتر از ۳۰۰ متر در دستور کار قرار گرفت.



شکل (۲). پلان اولیه مسیر با شعاع قوس ۳۰۰ متر

پس از طراحی گزینه‌های پلان و پروفیل با شعاع‌های ۲۶۰ و ۲۷۰، بر اساس نتایج جداول امتیازدهی، قوس با شعاع ۲۷۰ متر نسبت به قوس با شعاع ۳۰۰ متر حائز امتیاز بیشتری گردید (شکل ۳).

شکل (۳). عکس هوایی از مسیر شعاع قوس ۲۷۰ متر

در ادامه برخی از مزایا و معایب قوس‌های با شعاع ۳۰۰ و ۲۷۰ متر ارائه‌شده است:

- **مزایا گزینه ۱ (قوس ۳۰۰):**

۱- راهبری و اجرای سگمنت گذاری راحت‌تر

۲- وجود تجربه قبلی اجرای تونل در خط ۲ قطار شهری مشهد

۳- سرعت و کیفیت اجرا مناسب‌تر

۴- شرایط مساعدتر برای رولینگ استاک و نوار نقاله

- **معایب گزینه ۱ (قوس ۳۰۰):**

۱- عبور از زیر ساختمان‌های ۳ تا ۸ طبقه ضلع جنوبی بلوار فردوسی

۲- طول قوس بیشتر

۳- هم‌زمانی قوس قائم و افقی (هم‌زمانی قوس افقی ۳۰۰ و شیب ۳/۵٪)

۴- برخورد با انکراژ ساختمان پاژ

- **گزینه ۲ (قوس ۲۷۰)**

- **مزایا:**

۱- عدم عبور از زیر ساختمان‌های ۳ تا ۸ طبقه ضلع جنوبی بلوار فردوسی

۲- طول قوس کمتر

۳- عدم هم‌زمانی قوس قائم و افقی

۴- عدم برخورد با انکراژ ساختمان پاژ

- **معایب:**

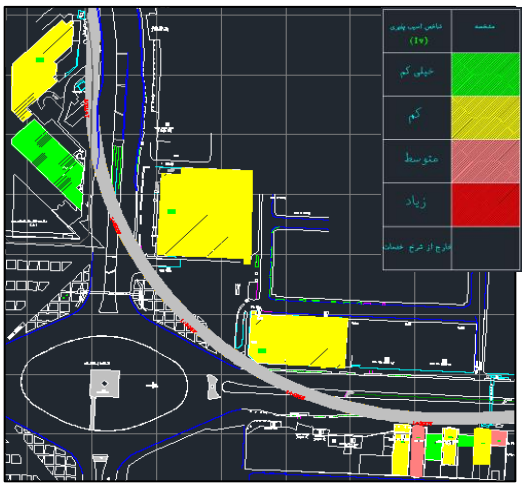
۱- راهبری و اجرای سگمنت گذاری سخت‌تر

۲- عدم وجود تجربه قبلی در سطح کشور

۳- شرایط نامساعدتر برای رولینگ استاک و نوار نقاله

۴- عبور قسمتی از تونل از زیر ساختمان پاژ (محوطه و پارکینگ)

در گزینه منتخب ساختمان‌های متعددی ازجمله ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی، ساختمان زیبا سازه موردبررسی و مطالعه قرارگرفته است. بر اساس تحلیل و بررسی ریسک انجام‌گرفته، این ساختمان‌ها به‌غیراز ساختمان جنوب خیابان فردوسی در رده آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرارگرفته‌اند (شکل ۴).



شکل (۴). نتیجه رده‌بندی ریسک ارائه‌شده توسط مشاور کارفرما

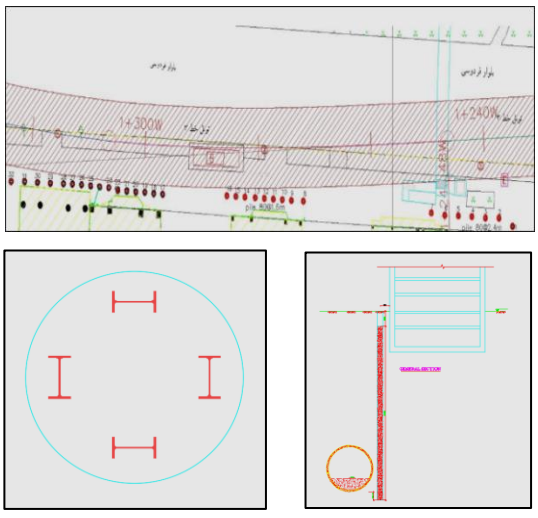
۳. ملاحظات اجرایی قبل از شروع حفاری قوس

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در خصوص اجرای قوس ۲۷۰ و حساسیت موضوع به دلیل شعاع کم و سازه‌های مجاور، اعمال تمهیدات قبل از شروع حفاری در این محدوده ضروری است.

۳-۱. طرح‌های حفاظتی ارائه‌شده

۳-۱-۱. ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی

با توجه به حساسیت و اهمیت سازه‌های مجاور قوس و با نظر کارفرمای پروژه اجرای طرح‌های حفاظتی برای رعایت جوانب احتیاط در دستور کار قرار گرفت. بر این مبنا طرح حفاظتی ارائه‌شده شامل ۳۲ شمع به عمق ۳۴ متر، ضخامت ۸۰ سانتی‌متر و فاصله مرکز به مرکز ۲ تا ۲/۵ متر (با توجه به موقعیت) به‌طور کامل اجراشده است. شکل (۵) موقعیت شمع‌ها نسبت به تونل و همچنین گزینه‌های نوع شمع آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به علت محدودیت‌های مکانی و عدم امکان گیج گذاری در شمع‌ها، گزینه اجرای شمع با H Pile اجرایی شده است. نحوه و مراحل اجرای این طرح حفاظتی در شکل (۶) نشان داده‌شده است.

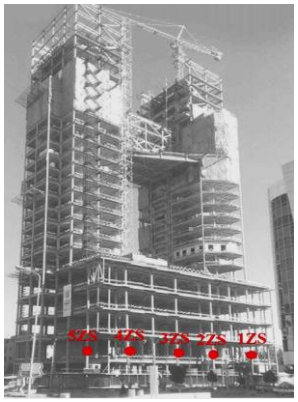


شکل (۵). موقعیت شمع‌های ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی

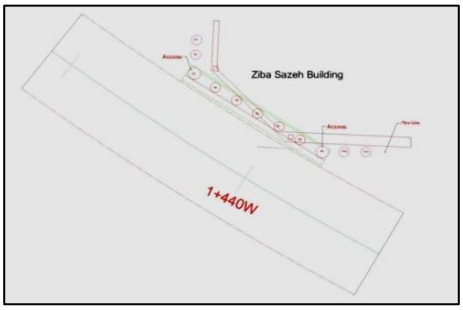
شکل (۶). اجرای طرح حفاظتی ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی

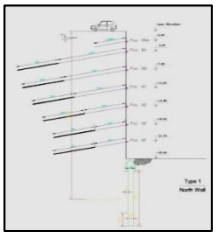
۳-۱-۲. ساختمان زیبا سازه

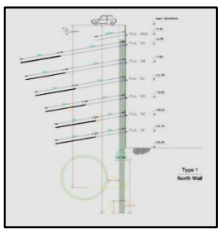
در تحلیل و بررسی خطرپذیری انجام‌گرفته برای این ساختمان، درجه آسیب‌پذیری کم پیش‌بینی‌شده است؛ اما در جهت اطمینان علاوه بر پیاده‌سازی طرح مانیتورینگ (شکل ۷)، طرح حفاظتی نیز اجرا گردید (شکل ۸ و ۹).



شکل (۷). نمای ساختمان زیبا سازه و محل نصب تیلت‌مترها







شکل (۸). طرح حفاظتی ساختمان زیبا سازه

ب

الف

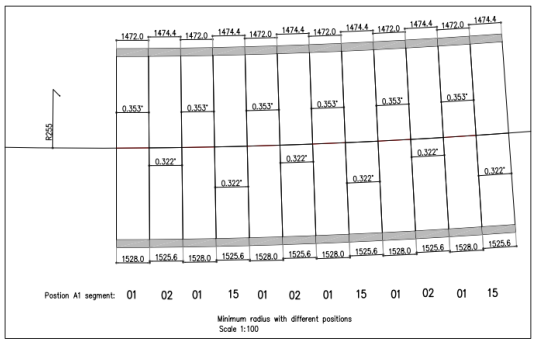
د

ج

شکل (۹). (الف و ب): اجرای عملیات شمع‌های اصلی (دسترسی)، (ج): اجرای گالری دسترسی شمع‌های ثانویه، (د): اجرای شمع‌های ثانویه

۳-۲. بررسی قابلیت دستگاه و شرایط هندسی سگمنت‌ها در اجرای قوس

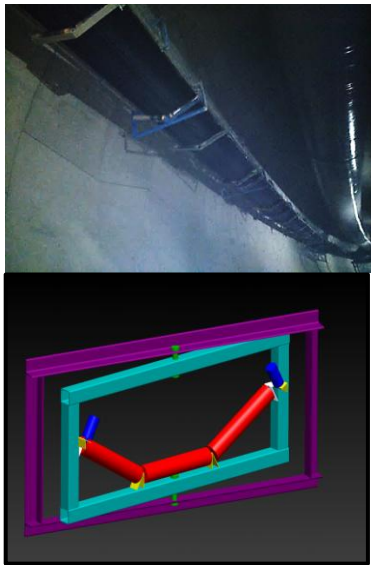
ماشین حفار مورداستفاده در تونل غربی خط ۳ قطار شهری مشهد بر اساس کاتالوگ آن قادر به حفاری در شعاع قوس ۲۷۰ متر است؛ همچنین بامطالعه طراحی هندسی سگمنت‌ها مشخص‌شده است که سگمنت‌های طراحی‌شده تا قوس با شعاع ۲۵۰ متر قابلیت نصب دارد (شکل ۱۰).



شکل (۱۰). قابلیت هندسی سگمنت‌ها برای نصب در قوس ۲۵۰ متر

۳-۳. نوار نقاله

در قوس ۲۷۰ برای پیشگیری از مشکلاتی اعم از رول شدن نوار و برگشت مصالح و ... طی چند مرحله زنجیرهای نوار نقاله اصلاح و نیز نگه‌دارنده‌های اصلاحی نصب‌شده است. شکل (۱۱) نمایی از نحوه قرارگیری زنجیرها و نگه‌دارنده‌های اصلاحی را نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت قوس (حدفاصل کیلو متراژ ۱+۳۰۶ تا ۱+۶۹۶) و به‌منظور کاهش ریسک پارگی نوار با در نظر گرفتن سایر ملاحظات فنی، بوستر در کیلو متراژ حدود ۲+۰۰۰ نصب‌شده است. قابل‌ذکر است در قوس‌ها به لحاظ فنی نصب بوستر صحیح نیست.



شکل (۱۱). رولیک و شاسی خودتنظیم نوار نقاله در قوس ۲۷۰

۴. ملاحظات اجرایی حین اجرای قوس ۲۷۰

۴-۱. پوشش نهایی تونل

از چالش‌های مهم دیگر حفاری در قوس‌های تند، نصب سیستم نگهداری است که آن‌هم متأثر از موقعیت کلید است. چنانچه موقعیت کلید درست انتخاب نشود باعث درگیر شدن شیلد با سگمنت، خراب شدن براش‌ها، خروج مورتار، افزایش تراست، پله‌داری، فاصله‌داری، شکستگی سگمنت‌ها و تأخیر پیشروی می‌شود. این چالش نیز با استفاده از اپراتور مجرب و اندازه‌گیری مداوم گپ‌ها (فاصله پشت رینگ با نقاط مختلف رینگ) حل‌شده است.

از موارد مهم دیگر نحوه نصب سگمنت Invert در قوس است. جهت نصب صحیح و پیش‌بینی رواداری بسیار کم محل قرارگیری ریل‌های لوکوموتیو و گنتری‌های دستگاه و عدم برخورد گنتری با دیواره تونل در محل قوس، برای نصب اینورت‌ها تمهیدات ویژه‌ای در نظر گرفته‌شده است (ازجمله ایجاد فاصله عمدی در بخش خارجی قوس). در شکل (۱۲) نحوه نصب سگمنت‌های Invert نشان داده‌شده است.

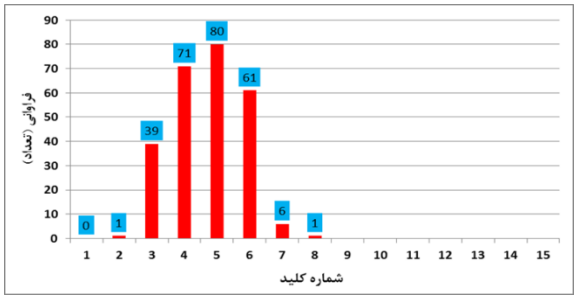
شکل (۱۲). ایجاد فاصله عمدی بین سگمنت‌های Invert در سمت بیرونی قوس جهت ایجاد قوس یکنواخت در ریل‌ها

۴-۲. موقعیت نصب کلید

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده موقعیت نصب کلید رابطه مستقیمی با میزان شکستگی‌های سگمنت دارد. با توجه به محاسبات تئوری برای عبور از این قوس می‌بایست گروه جک‌های ۲ تا ۶ انتخاب شود. همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود بیشترین موقعیت نصب کلیدها گروه جک‌های ۳ تا ۶ است.

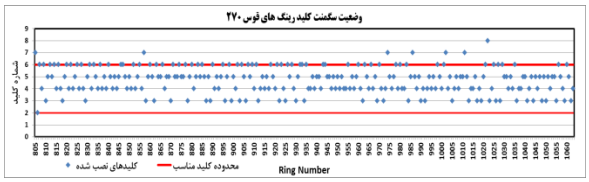
۴-۲-۱. کنترل انطباق مسیر تونل اجراشده با پلان و پروفیل مسیر

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، هدایت صحیح دستگاه بر روی انحنای مسیر طراحی‌شده است. وضعیت انحراف از مسیر در راستای افقی و قائم در زمان حفاری قوس ۲۷۰ (PPS دستگاه) نشان می‌دهد بیشتر مسیر هدایت دستگاه مشکلی نداشته است اما در انتهای مسیر، به دلیل خرابی جک‌های آرتیکولیشن و به هم ریختن آفست شیلد انتهایی، جهت جلوگیری از تماس سگمنت به شیلد مجبور به انحراف عمدی مسیر حفاری به بیرون قوس به میزان ۷۴ میلی‌متر شده است (شکل ۱۵).

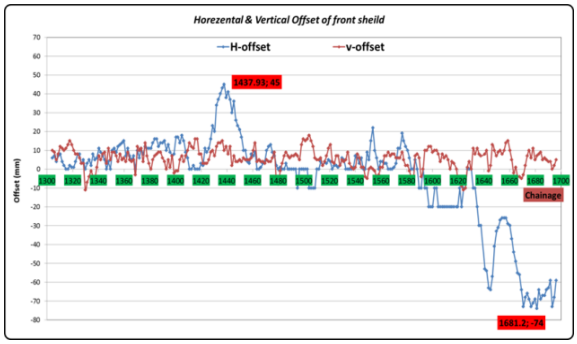


شکل (۱۳). فراوانی موقعیت نصب کلید در محدوده اجرای قوس ۲۷۰

شکل (۱۴) موقعیت نصب کلید در مسیر اجرای قوس را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴). محدوده مجاز موقعیت نصب کلید

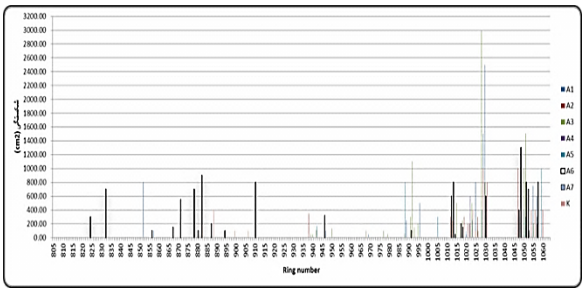


شکل (۱۵). بررسی انحراف از مسیر در طول حفاری

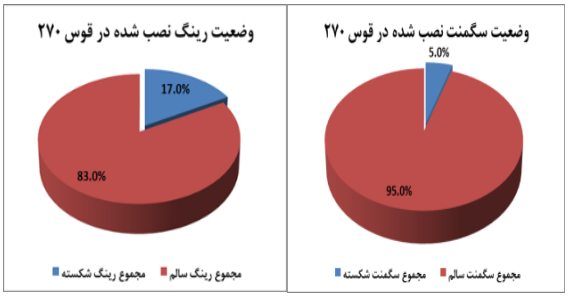
۴-۲-۲. کیفیت رینگ

یکی از پارامترهای سنجش کیفیت اجرای قوس، بررسی میزان شکستگی رینگ‌ها در طول قوس می‌باشد.

در شکل (۱۶) میزان شکستگی سگمنت‌های نصب‌شده و میزان فراوانی آن‌ها آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان شکستگی سگمنت‌های نصب‌شده در محدوده قوس ۲۷۰، به میزان $3000\ cm^2$ و در بخش انتهایی قوس به دلیل خرابی جک‌های آرتیکولیشن بوده است. شکل (۱۷) نشان می‌دهد باوجود شعاع کم، درمجموع کیفیت قوس اجراشده مطلوب است.



شکل (۱۶). مساحت شکستگی سگمنت‌ها



شکل (۱۷). وضعیت کیفیت سگمنت‌ها و رینگ‌های نصب‌شده در قوس ۲۷۰ متر

۵. کیفیت قوس اجراشده

قابل‌ذکر است در محدوده اجرای قوس، در تمام رینگ‌ها میزان فاصله‌داری و پله‌داری در محدوده مجاز بوده است (حد مجاز فاصله‌داری ۶ میلی‌متر و حد مجاز پله‌داری در قوس ۱۵ میلی‌متر بوده است).

۶. مزایای انتخاب قوس ۲۷۰ از دیدگاه مهندسی ارزش

با انتخاب و حفاری قوس با شعاع ۲۷۰ متر (نسبت به اجرای قوس با شعاع ۳۰۰ متر) خطرهای متعددی از پروژه رفع و یا تعدیل‌یافته است. درمجموع ارزش‌گذاری ریالی حذف خطرپذیری‌های ناشی از این انتخاب معادل ۲۰ میلیارد ریال برآورد شده است (جدول ۱).

جدول (۱). ارزش‌گذاری ریالی رفع ریسک‌های ناشی از تغییر شعاع قوس (بر مبنای سه‌ماهه دوم سال ۹۶)

نوع خطرپذیری	ارزش ریالی صرفه‌جویی ناشی از حذف رفع خطرپذیری (ریال)	توضیحات
جابه‌جایی چاه‌ها	۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	جابه‌جایی ۲۶ چاه
هزینه تخلیه و اسکان ساختمان‌ها	۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	یک ماه با توجه به اینکه خسارت یک ماه عدم مسافر پذیری هتل هم باید لحاظ شود.
کلیم حقوقی ساختمان‌ها	۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	دو نفر کارشناس حقوقی به مدت شش ماه
هزینه بیمه ساختمان‌ها	۱/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰	-
هزینه توقف دستگاه	۵/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	حدود یک ماه هزینه کارکنان
مابه‌التفاوت هزینه طرح‌های حفاظتی ساختمان‌ها	۵/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰	با توجه به تزریق‌هایی که توسط پیمانکاران خاص انجام می‌شود.
هزینه کاهش طول مسیر	۴/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	کاهش حدود ۱۲ متر از طول مسیر
مجموع	۲۰/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	حدود ۲ میلیارد تومان

۷. نتیجه‌گیری

با توجه طراحی اولیه پلان و پروفیل در تونل غربی خط ۳ قطار شهری مشهد، اجرای بخشی از مسیر با چالش‌های مهمی ازجمله هم‌زمانی قوس ۳۰۰ متر با عبور از زیر ساختمان‌های اقامتی و تجاری بلندمرتبه در منطقه روبه‌رو بوده است؛ به همین دلیل طرح قوس با شعاع ۲۷۰ متر پیشنهاد و اجرا گردید. با تمهیدات در نظر گرفته‌شده قبل از شروع حفاری قوس (ازجمله اجرای طرح حفاظتی ساختمان‌های جنوبی بلوار فردوسی و ساختمان زیبا سازه، تعویض براش و ابزارها، طراحی جدید نوار نقاله و ...) و در زمان اجرا (ازجمله تعیین موقعیت درست کلید در قوس و طرح چینش اینورت‌ها) حفاری قوس بدون مشکل خاص و باکیفیت مناسب به پایان رسید؛ همچنین ازنظر مهندسی ارزش انتخاب و اجرای قوس با شعاع ۲۷۰ متر، معادل ۲۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی در پی داشته است.

۸. مراجع

[1] T. Thomas, "A Head of Curve in Bangkok," North American Tunnelling Journal, vol. June-July, p. 14, 2019.

[2] S. Li, G. Gu, P. Li, M. Zhang, and G. Wang, "Numerical simulation of mechanical properties of the segments for a curved shield tunnel during construction stage: a case study," in IACGE 2018: Geotechnical and Seismic Research and Practices for Sustainability: American Society of Civil Engineers Reston, VA, 2019, pp. 61-69.

[3] S. Qiao, P. Xu, R .Liu, and G. Wang, "Study on the Horizontal Axis Deviation of a Small Radius TBM Tunnel Based on Winkler Foundation Model," Applied Sciences, vol. 10, no. 3, p. 784, 2020.

[4] M. Sugimoto, A. Sramoon, S. Konishi, and Y. Sato, "Simulation of shield tunneling behavior along a curved alignment in a multilayered ground," Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, vol. 133, no. 6, pp. 684-694, 2007.

[5] V. Guglielmetti, P. Grasso, A. Mahtab, and S. Xu, Mechanized tunnelling in urban areas: design methodology and construction control. Taylor & Francis, 2008.

[6] M. Karimi, M. R. Arab, M. Eslami, and O. Roshani, "Interaction of cavities and underground structures on subsidence," Construction science and technology, vol. 1, no. 4, pp. 35-42, 2021. (In Persian)

[7] L. D. Miles, Techniques of value analysis and engineering. Miles Value Foundation, 2015.

[8] S. Standard, "Value Standard and Body of Knowledge," SAVE, United States of America, 2007.

Using Value Engineering in Choosing Small Radius Curve: a Case Study in Mechanized Tunnel of Mashhad Urban Railway Line 3

S. R. Hasanizade*, H. Shayeste Azimian, H. Mirmehrabi, H. Shamsifarashah

Abstract

One of the limitations of mechanized tunnel excavation compared to traditional excavation methods is the creation of tight curve. In addition, excavation problems and limitations are doubled if small radius curves are combined with surface and subsurface obstacles. Typically, there are options available to designers to deal with these obstacles, such as rerouting, proposing remodeling and improvement, and protection plans in the pre-construction phase. According to the initial design of the plan and profile in the western tunnel of the Mashhad urban railway line 3 project, some part of the implementation of the route has faced important challenges, including the synchronization of the 300-meter curve with passing high-rise residential and commercial structures in the region. After studies and investigations, the implementation of the curve with an unusual radius of 270 meters was put on the agenda. Necessary actions have been taken to prevent excavation problems in the tight curve. Some of these actions include the implementation of protection plans for the southern buildings of Ferdowsi Avenue and the Ziba Sazeh building, replacement of brushes and cutting tools, determining the correct position of the key in the ring, special arrangement of inverts and conveyor design that resulted in high quality excavation in the curve. In terms of value engineering, the selection and implementation of a curve with a radius of 270 meters, is equivalent to 20 billion rials in savings.

Keywords: Mechanized Tunnel; curve; value engineering; Quality.

Corresponding author E-mail: S.rezahassani@gmail.com@gmail.com