هشتمین کنفرانس بین‌المللی
پیشرفت های اخیر در مهندسی راه‌آهن
دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲ و۳ خردا ماه ۱۴۰۲

مهندسی ارزش در طراحی الگوی بهینه حفاری در عملیات اجرایی تونل در پروژه های راه آهن

پویا آقابیگی[1]، محمد امین خجسته قمری[2]، آرش قابوسیان[3]

۱. کارشناس ارشد عمران(سازه؛ موسسه عاشورا - تبریز

۲. دکتری تخصصی معماری؛ موسسه عاشورا - تبریز

۳. کارشناس ارشد مدیریت اجرایی؛ موسسه عاشورا - تبریز

چکیده

علیرغم پیشرفت روش‌های مکانیزه در حفر فضاهای زیرزمینی، عملیات چالزنی و آتشکاری به دلیل اقتصادی بودن و نیز قابلیت کاربرد در شرایط سخت زمین شناسی مورد استفاده طراحان قرار می گیرد، لذا طراحی بهینه الگوهای چالزنی و آتشکاری در جهت به حداقل رساندن هزینه و به حداکثر رساندن ایمنی کار و راندمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در این میان مفهوم مهندسی ارزش به عنوان یک مقوله بسیار مهم در ارزیابی میزان کاهش هزینه های اجرایی پروژه های عمرانی نیز مطرح می باشد. در بسیاری از پروژه‌های راه آهن با توجه به ماهیت و ساختگاه پروژه احداث تونل اجتناب ناپذیر بوده و بالتبع موجب افزایش هزینه‌های پروژه خواهد شد. بنابراین به کارگیری تمهیدات و راهکارهای مهندسی ارزش در این پروژه‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل تاثیرگذار در هزینه‌ی اجرای تونل‌ها، هزینه حفاری و انفجار است. در این مقاله به بررسی و پیشنهاداتی در خصوص تغییر الگوی حفاری و انفجار مورد استفاده در عملیات اجرای تونل‌ها در چارچوب مهندسی ارزش و با هدف کاهش هزینه‌ها پرداخته شده است. با اجرای عملیات حاصل از ایده پیشنهادی مهندسی ارزش، درتونل‌های پروژه مذکور، حجم حفاری ویژه و خرج ویژه کاسته شده و در نتیجه هزینه حفاری و مواد منفجره‌ی مصرفی کاهش بسیار زیادی را نشان می دهد. علاوه بر این، اضافه مقطع حفاری تونل در این حالت، کم شده که به طور چشمگیری در کاهش هزینه‌های پرکردن این فضا موثر است. بنابراین با در نظر گرفتن این سه عامل مهم (هزینه حفاری، هزینه مواد منفجره مصرفی و هزینه مصالح مورد نیاز جهت پرکردن اضافه مقاطع) هزینه هر متر پیشروی تونل کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده و تاثیر به کارگیری تکنیک مهندسی ارزش به خوبی مشهود است.

مقدمه

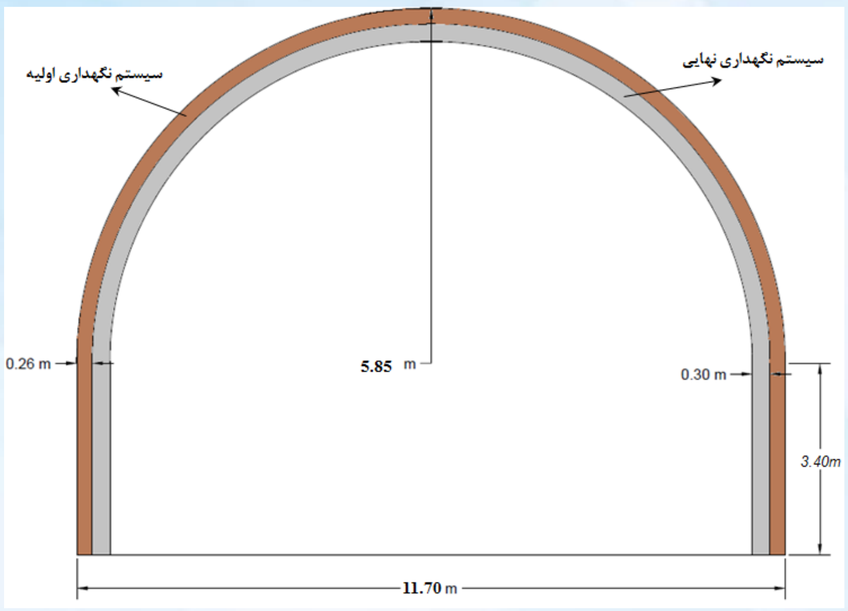
تعیین الگوی بهینه آتشکاری در تونل‌سازی از اهمیت بسزایی برخوردار است و عدم بکارگیری الگوی مناسب از نظر فنی و اقتصادی هزینه های اضافی به پروژه تحمیل می نماید. امروزه با وجود مزایای روش‌های حفاری مکانیزه، استفاده از روش چالزنی و آتشکاری در حفاری تونل‌ها، به ویژه در سنگ‌های سخت به دلایل مختلف از جمله انعطاف‌پذیری بالای این روش، سازگاری با تغییرات لیتولوژیک (سنگ شناختی) زمین و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کم، اولویت نخست می‌باشد. کارایی موثر روش چالزنی و آتشکاری مستلزم طراحی الگوی آتشکاری مناسب می‌باشد که به دو صورت برش‌های موازی و زاویه‌ای انجام می‌شود. مهندسی ارزش در عمل به شرح مطالعه ارزش بر روی یک پروژه یا محصول در حال توسعه می‌پردازد. یکی از اهداف عمده مهندسی ارزش حذف هزینه‌های غیر ضروری است. مهندسی ارزش هزینه پروژه را در حالیکه در فاز طراحی مفهومی است تحلیل می‌کند و با آنکه روش مهندسی ارزش را می توان در تمام مراحل یک پروژه اجرایی به کار گرفت، بیشترین مزایای آن زمانی حاصل می شود که در نخستین مراحل برنامه ریزی و طراحی به کار گرفته شود.با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌های بالای پروژه‌های عمرانی، مطالعه مهندسی ارزش در این پروژه نیز در دستور کار قرار گرفته و این مقاله نیز با بهره گیری از این مقوله و استفاده از تغییرات الگوی حفاری و انفجار در ساخت تونل ها به نتایج ارزشمندی دست یافته است. در روند اجرای مهندسی ارزش در پروژه های مختلف مراحل مختلفی باید طی شود. این مراحل مختلف بر اساس یک الگوی نظام مند که توسط سازمان مدیریت و برنامه ریزی تدوین شده است،انجام می گیرد.

مشخصات و نتایج عملیات اجرایی کلی تونل‌های مورد بررسی

اجرای تونل‌های پروژه به صورت نیم مقطع حفاری می‌شود به طوریکه به دو قسمت فوقانیو تحتانی تقسیم می‌شود که ابتدا مرحله فوقانی اجرا خواهد شد و پس از تمام شدن قسمت فوقانی تونل، قسمت تحتانی حفاری خواهد شد. بخش اول قسمت هدینگ تونل(نیم دایره فوقانی) به شعاع ۵.۸۵ متر و در بخش دوم بنچینگ تونل(مقطع زیر هدینگ) به عمق ۳.۴۰ متر حفاری می‌گردد (شکل شماره ۱) . در جدول شماره ۱ مشخصات کلی تونل ها درج گردیده است.

جدول شماره (۱)مشخصات کلی تونل های اجرا شده

شرح مشخصات	تونل ۱	تونل ۲	تونل ۳	تونل ۴	تونل ۵
مساحت مقطع (m2)	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴
طول تونل (m)	۶۹۲	۵۲۵	۶۵۱	۹۹	۵۱۰
مساحت نیمه مقطع بالایی (m2)	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
مساحت نیمه مقطع پایینی (m2)	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
عرض تونل (m)	۱۱.۷۰	۱۱.۷۰	۱۱.۷۰	۱۱.۷۰	۱۱.۷۰
ارتفاع دیواره (m)	۴۰/۳	۴۰/۳	۴۰/۳	۴۰/۳	۴۰/۳



شکل ۱- مقطع حفاری تونل

تفسیر موضوع

از مهمترین تغییرات حاصله در نتایج ناشی از تغییر الگو، می‌توان به افزایش مقدار گام پیشروی تونل در هر انفجار از ۲.۵۱متر به ۲.۹۴ متر در تونلهای ۳ و ۴، کاهش خرج ویژه(مصرف مواد ناریه به ازاء هر متر مکعب سنگبرداری)، کاهش حفاری ویژه(متراژ حفاری مورد نیاز به ازاء هر متر مکعب تونل)، کاهش اضافه مقطع حفاری تونل و در نتیجه کاهش هزینه‌های ثانویه ناشی از پرکردن فضای مازاد مقطع تونل، افزایش پیشروی تونل تا ۹۸٪ طول چال می‌باشد.با محاسبات صورت گرفته و مقادیر هزینه‌های اجرای تونل مجموع هزینه‌های حفاری و نیز مصرف مواد منفجره شامل امولایت پرانرژی، چاشنی نانل و فتیله کورتکس به میزان تقریبی ۶۶/۱۲٪ با استفاده از پترن اصلاحی برای تونلهای ۳ و ۵ کاهش می‌یابد. با تغییرات صورت گرفته در الگو اولیه میزان این فاکتور هزینه‌بر نیز کاهش یافته و در موارد بسیاری مقطع مورد نیاز تونل با خط کنتور تونل منطبق گردیده است (حداقل شدن فضای مازاد یا همان اضافه حفاری مقطع تونل). با در نظر گرفتن شعاع هدینگ تونل (۸۵/۵ متر) و بدون در نظر گرفتن رواداری، محیط نیم دایره‌ی هدینگ تونل برابر با ۴/۱۸ متر خواهد بود که در عمل محیط تونل به دلیل اضافه مقطع حفاری به ۲۰ متر نیز می‌رسد. در صورت در نظر گرفتن ۱۰ سانتی متر کاهش در شعاع تونل (کاهش ۱۰ سانتی متری اضافه مقطع تونل نسبت الگو اولیه) حجم مورد نیاز جهت پرکردن اضافه مقطع تونل در انجام لاینینگ آن برابر با ۰/۲ متر مکعب به ازاء هر متر پیشروی تونل خواهد شد که فقط با در نظر گرفتن هزینه مصالح مورد نیاز جهت لاینینگ تونل در شرایط اجرایی کارگاه در حدود ۱،۲۶۱،۶۷۸ ریال به ازاء هر متر مکعب بتن خواهد شد. مجموع هزینه‌ی تقلیل یافته به ازاء هر متر پیشروی تونل فقط از جنبه‌ی هزینه‌ی حفاری، انفجار و مصالح مورد نیاز جهت پر کردن فضای اضافه حفاری برابر با ۴،۲۵۱،۴۳۹ ریال می‌گردد. مقادیر محاسبه شده تونل در، فقط از منظر هزینه‌ی حفاری، هزینه‌ی مواد منفجره‌ی مصرفی و نیز هزینه‌ی مصالح مصرفی جهت پرکردن فضای مازاد می‌باشد. در عمل به دلیل تغییر در زمانبندی عملیات و کاهش هزینه‌های اجرایی (مثل استهلاک ماشین آلات، سوخت، نیروی انسانی و ...) هزینه‌ی اجرایی تونل به ازاء هر متر پیشروی تونل بیش از ۴،۶۸۱،۶۸۲ ریال کاهش خواهد داشت.

نتیجه گیری

مجموع هزینه‌ی تقلیل یافته

ردیف	مورد	هزینه واحد (ریال بر متر مکعب)	مقدار به ازاء هر مترپیشروی تونل (متر مکعب)	هزینه به ازاء هر متر پیشروی تونل (ریال)
1	میانگین کاهش هزینه حفاری و مواد منفجره مصرفی	۳۹،۹۶۹	۵۴	۲،۱۵۸،۳۲۶
2	هزینه مصالح مورد نیاز جهت پر کردن فضای مازاد مقطع تونل	۱،۲۶۱،۶۷۸	۲	۲،۵۲۳،۳۵۶
3	مجموع			۴،۶۸۱،۶۸۲

مقایسه فنی نتایج و عملکرد الگو اولیه و اصلاحی تونل ها

ردیف	مورد	الگو اولیه در تونلهای ۱ و ۲و ۳	الگو اصلاحی در تونلهای ۳ و ۵
۱	متراژ پیشروی میانگین (متر)	۵۱/۲	۹۴/۲
۲	مقطع تونل(کسر یا اضافه حفاری تونل)	در اغلب موارد دارای اضافه حفاری	به ندرت دارای اضافه حفاری- گاها دارای مقدار ناچیز کسری حفاری
۳	خردایش سنگ(دانه بندی)*	مناسب با سیستم بارگیری و باربری	مناسب با سیستم بارگیری و باربری
۴	حفاری ویژه (متر بر متر مکعب)	۸۱/۱	۴۴/۱
۵	خرج ویژه (مصرف امولایت پرانرژی- کیلوگرم بر متر مکعب)	۳۱/۱	۱۱/۱
۶	چاشنی نانل (چاشنی به ازاء هر متر مکعب)	۶۰۲/۰	۴۸۰/۰
۷	فتیله انفجاری کرتکس(متر بر متر مکعب)	۳۴۳/۰	۳۰۴/۰
۸	حداکثر فاصله پرتاب سنگ از سینه کار (متر)	۴۰	۶۰
۹	لرزش صدا	در الگو اصلاحی به دلیل کاهش ناچیز مواد مصرفی، کمتر شده است	
۱۰	لرزش زمین	در الگو اصلاحی به دلیل کاهش ناچیز مواد مصرفی، کمتر شده است	

مراجع

- Pal Roy, Rock Blasting Effects and Operation, BALKEMA Publisher, 2005.
- Bhabdari, S.1997. Engineering rock blasting operation. BALKEMA Publisher.
- Pal Roy. P, Singh, B. 1993. Blasting in ground excavation and mines. BALKEMA
- استوار، رحمت ا...، ۱۳۹۲، "آتشکاری در معادن"، جلد سوم ، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر ، تهران.
- گزارشات دفتر فنی کارگاه الموت- قطعه ۴ پروژه‌ی قزوین – الموت – تنکابن – گزارشات عملیاتی زمین شناسی و کنترل پروژه : زمستان ۹۵ .
- قهرمانی، ش.، ثروتی، م. ر، ۱۳۸۷، مطالعه ژئومورفولوژی و فرسایش در حوضه آبریز الموت‌رود، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۱۷، صفحات ۴۵-۶۱.