بررسی فنی و اقتصادی روش های اجرای عبور پر و خالی در توالی اجرای ایستگاه و تونل در خط هفت متروی تهران

سید امیرحسین قریشیان

پژوهشگر در مقطع دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران.

امین جفعرنیا

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران.

محمد فیاض *

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران.

سعید محمد

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶

چکیده

با توجه به گسترش فضاهای شهری و تراکم سازه های سطحی و همچنین کمبود فضای لازم برای حمل و نقل درون شهری، نیاز به اجرای مترو در محیط های شهری بیش از گذشته محسوس است. جهت احداث مترو لازم است سازه های زیرزمینی نظیر تونل و ایستگاه های متعدد احداث گردد. امروزه یکی از موضوعات مهم و چالش برانگیز ساخت و ساز در پروژه های مترو، تصمیم گیری در مورد توالی اجرای تونل یا ایستگاه می باشد. بدیهی است تخصیص مناسب منابع به بخش های مختلف، نیازمند بررسی دقیق فنی و اقتصادی گزینه های مختلف و توجه خاص به جنبه های مرتبط با برنامه ریزی کار می باشد. در این تحقیق ابتدا به بررسی دو روش توالی اجرای تونل یا ایستگاه در دو حالت کلی عبور پر و خالی پرداخته شده است. و در ادامه با توجه به اینکه هر یک از روش های فوق، نیازمند اتخاذ تدابیر و تمهیدات برای پیشگیری از مشکلات و تاخیرات احتمالی می باشد، در هر مورد این تمهیدات بیان شده است. در نهایت به بررسی و مقایسه اقتصادی توالی اجرای تونل(به روش مکانیزه) و ایستگاه در خط هفت متروی تهران پرداخته شده است. بررسی های انجام شده نشان گر آن است که اجرای تونل قبل از احداث ایستگاه دارای صرفه اقتصادی بیشتری نسبت به احداث ایستگاه قبل از احداث تونل می باشد. و این مساله میتواند برای کلان شهری مثل تهران که نیازمند اجرای تعداد زیاد خطوط مترو و ایستگاه می باشد، صرفه جویی اقتصادی بسیار زیادی را به همراه داشته باشد. همچنین آشنایی با هزینه ها، موانع و مشکلات هریک از روش های فوق الذکر می تواند در تصمیم گیری در مورد اتخاذ روش و قرارداد مناسب در شروع یک پروژه ریلی مفید واقع شود.

کلمات کلیدی

ایستگاه مترو، تونل، روش اجرای در توالی ایستگاه و تونل، خط هفت متروی تهران، حفاری مکانیز

Technical and economic analysis of full and empty crossing methods in the sequence of station and tunnel construction in Tehran metro line seven

Seyed Amirhossein Ghoreishian

Researcher of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Amin Jafarniya

MSc of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Mohammad Fayaz *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Saeed Mohammad

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

***Corresponding author's email address:**
m.fayyaz@modares.ac.ir

Abstract

Due to the expansion of urban spaces and the density of surface structures, as well as the lack of necessary spaces for intra-city transportation, the need for subway construction in urban areas is more acute than ever. In order to build a subway, it is necessary to build underground structures such as tunnels and several stations. Today, one of the most important and challenging construction issues in metro projects is deciding on the sequence of tunnel or station construction. Obviously, proper allocation of resources to different departments requires careful technical and economic consideration of different options and special attention to aspects related to work planning. In this research, two methods of tunnel or station execution sequence in two general cases of full and empty passage have been investigated. Furthermore, considering that each of the above methods requires the adoption of measures and arrangements to prevent possible problems and delays, these arrangements have been stated in each case. Finally, the economic comparison of the sequence of tunnel construction (mechanized method) and the station in the seven metro lines of Tehran has been studied. Studies show that the construction of the tunnel before the construction of the station is more economical than the construction of the station before the construction of the tunnel. And this can save a lot of money for a metropolis like Tehran, which needs to build a large number of subway lines and stations. Also, familiarity with the costs, obstacles and problems of each of the above methods can be useful in deciding on the appropriate method and contract to start a rail project.

Keywords

Metro station, tunnel, method of execution in the sequence of station and tunnel, Tehran metro line seven, mechanized drilling

JECM
Journal of Engineering & Construction Management

5 (3) , 2020

دوره ۵، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی

۱- مقدمه

امروزه مسایل اقتصادی و فنی از مهمترین موضوعات در انتخاب روش احداث پروژه های مترو در ایران می باشد. خطوط مترو معمولاً از مناطق شهری با بافت مسکونی و تجاری متراکم عبور می کنند؛ از این رو ساخت تونل‌ها و ایستگاه‌های مترو باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر تامین پایداری فضای زیرزمینی، حداقل تاثیر را بر ساختمان‌های مجاور و نیز تاسیسات مهم شهری که در عمق کمی قرار گرفته‌اند، داشته باشند[۱]. انتخاب روش اجرا در ساخت ایستگاه‌های زیرزمینی با توجه به ابعاد و هندسه‌ی بزرگ این فضاها در مقایسه با تونل‌های حمل و نقل شهری دارای اهمیت زیادی است چرا که روش اجرا علاوه بر تاثیر اقتصادی، زیست محیطی و زمانی، تاثیر مستقیمی در میزان تغییرشکل‌ها و نشست‌های سطح زمین دارد. نشست‌های سطحی برای ساختمان‌های مجاور محدوده ساخت ایستگاه بسیار تاثیرگذار بوده و می‌تواند باعث آسیب جدی به این سازه‌ها شود[۲]. از طرف دیگر نحوه تخصیص منابع مالی به بخش های مختلف، یکی از پارامترهای مهم مدیریت مالی در پروژه های عمرانی است. بحث توالی ساخت تونل و ایستگاه ها در پروژه های قطار شهری نیز از جمله مباحث مهم و چالش برانگیز در این حوزه است که تحت تاثیر عوامل زیادی از جمله الزامات کارفرمایی، امکانات و توانایی های پیمانکاران، محدودیت های ترافیکی و تملک، جریان نقدینگی پروژه، مشکلات تهیه دستگاه TBM و همچنین میزان پیشرفت مهندسی پروژه در حوزه تونل و ایستگاه ها می باشد[۳]. بدیهی است تخصیص مناسب منابع، نیازمند بررسی دقیق فنی و اقتصادی گزینه های مختلف و توجه خاص به جنبه های مرتبط با برنامه ریزی کار می باشد.

همچنین یکی از موضوعات مهم و چالش برانگیز ساخت و ساز در پروژه های مترو، تصمیم گیری در مورد توالی اجرای تونل یا ایستگاه می باشد. توالی اجرای تونل یا ایستگاه در دو حالت کلی عبور پر و خالی امکان پذیر می باشد. در حالت اول(حالت پر)، ابتدا حفاری تونل انجام شده و پس از اتمام حفاری در محدوده ایستگاه ها، عملیات احداث ایستگاه ها انجام می پذیرد. به عبارت دیگر، به ساخت ایستگاه پس از حفر تونل و تخریب پوشش تونل در محوطه ایستگاه، در اصطلاح عبور پر اتلاق می شود. در حالت دوم(حالت خالی)، ابتدا ایستگاه تا عمق مناسب آماده سازی شده و سپس ماشین حفار از فضای خالی ایستگاه عبور می کند[۴]. اجرای تونل و ایستگاه در هر یک از این حالتها مستلزم اتخاذ تدابیر و تمهیداتی برای پیشگیری از مشکلات و تأخیرات احتمالی خواهد بود. در این مقاله ابتدا دو روش عبور TBM از ایستگاه ساخته شده و ساخته نشده بیان گردیده شده است و در نهایت به بررسی و مقایسه اقتصادی توالی اجرای تونل(به روش مکانیزه) و ایستگاه در خط هفت متروی تهران پرداخته شده است.

۲- روش های توالی اجرای تونل یا ایستگاه در پروژه های حفاری مکانیزه

به طور کلی دو رویکرد در اجرای پروژه های حفاری مکانیزه از منظر عبور ماشین حفار از ایستگاه وجود دارد[۵]:

(الف) عبور پر یا ساخت ایستگاه پس از حفر تونل و تخریب پوشش تونل در محوطه ایستگاه

(ب) عبور خالی و یا ساخت ایستگاه قبل از حفر تونل و عبور دستگاه حفار از ایستگاه ساخته شده.

۲-۱- روش عبور پر

همانطور که بیان گردید به ساخت ایستگاه پس از حفر تونل و تخریب پوشش تونل در محوطه ایستگاه، در اصطلاح روش عبور پر اتلاق می شود. دراین روش ابتدا تونل توسط TBM اجرا می گردد و پس از عبور دستگاه و جمع شدن تجهیزات پشتیبانی از موقعیت ایستگاه، با تخریب سگمنت تونل عملیات اجرایی ایستگاه تکمیل می گردد. این روش دارای مزیت هایی چون؛ اجرای تونل مطابق با برنامه زمانبندی پیشروی، حذف الزامات مورد نیاز برای عبور ماشین از ایستگاه ها، حفظ پیوستگی عملیات اجرایی تونل، ترخیص زودتر ماشین حفار برای استفاده در سایر پروژه ها (جلوگیری از خواب ماشین آلات)، پیشروی مستقل تونل از عملیات اجرای ایستگاه می باشد. همچنین این روش اجرا معایب و چالش هایی مانند تاخیر در اجرای ایستگاه به دلیل عدم امکان تخریب تونل تا پایان عملیات حفاری مکانیزه و مشکلات مربوط به تخریب ایمن سگمنت ها، را دارد.

۲-۲- روش عبور خالی

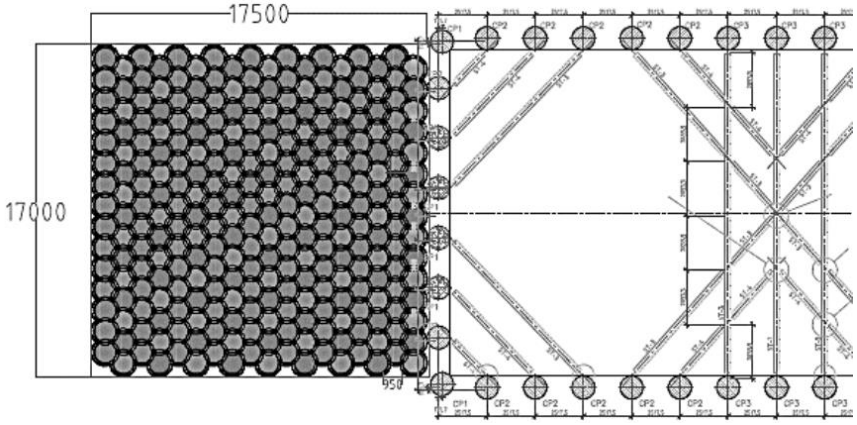
در روش دوم (عبور TBM پس از اجرای ایستگاه) پس از اجرای کامل ایستگاه و یا اتمام عملیات اجرای سازه نگهبان و خاکبرداری ایستگاه تا زیر کف تونل، به منظور اجرای تونل لازم است TBM از محل ایستگاه عبور نماید. از مزایا این روش می توان به اجرای ایستگاه مستقل از عملیات اجرایی تونل، امکان بازرسی و تعمیر TBM پس از رسیدن ماشین به محل ایستگاه ساخته شده و همچنین امکان استفاده از ایستگاه به عنوان شفت سرویس میانی (درصورتی که روش اجرای ایستگاه زیرزمینی نباشد) اشاره نمود. برخلاف مزایای این روش، نیاز به انجام تمهیدات خاصی از قبیل پایدارسازی دیواره ورودی و خروجیTBM و اجرای کریدل بتنی جهت عبور TBM چالش ها و مشکلاتی را به همراه دارد. به طورکلی عبور ماشین حفار تونل از ایستگاه اجرا شده در سه گام اصلی ورود TBM به ایستگاه ، عبور ماشین از طول ایستگاه ، شروع حفاری و خروج TBM از ایستگاه انجام می گردد. در ادامه برای مشخص نمودن هزینه های هر روش، به بیان هر یک از مراحل اصلی عبور دستگاه حفاری از ایستگاه پرداخته می شود که برای انجام گام های فوق الذکر لازم است در طول ایستگاه تمهیدات لازم از قبیل تامین پایداری دیواره های ایستگاه، آب بندی اطراف سپر در محل ورود و خروج TBM، احداث سازه بستر(کریدل) مناسب جهت عبور TBM و ایجاد تکیه گاه مناسب برای تأمین نیروی پیشران TBM مهیا گردد.

۲-۲-۱- پایداری دیواره ایستگاه و چشمه تونل

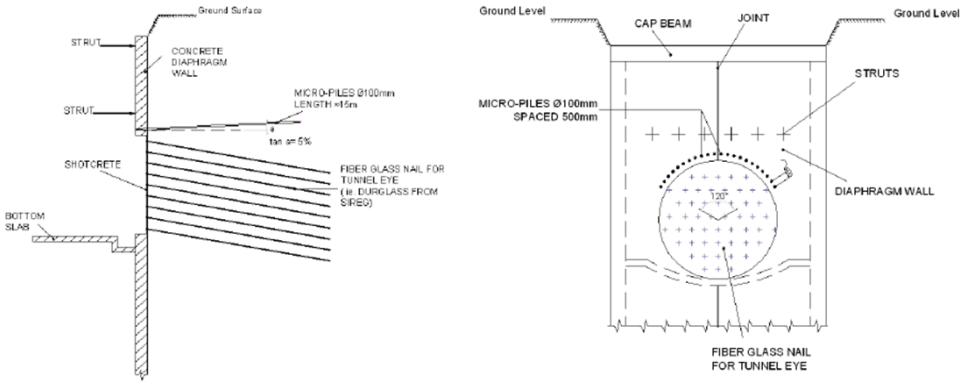
قبل از رسیدن TBM به ایستگاه، باید چشمه تونل در دیواره ایستگاه ایجاد و پایداری آن تامین شود. روش های متداول برای

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

پایداری و آب بندی چشمه تونل وجود دارد که طراحی سازه نگهبان و دیواره حایل ایستگاه با در نظر گرفتن موقعیت تونل و به گونه ای که امکان حفاری آن توسط TBM وجود داشته باشد، متنوع است[۶]. یکی از روش های پایداری و آب بندی چشمه تونل، تحکیم توسط جایگزین کردن زمین حفاری شده با بتن پلاستیک از سطح زمین با حفر شمع یا اجرای دیوار دیافراگمی(Tympanum) (مطابق تصویر شماره ۱-a) می باشد[۷]. روش دوم پایداری و آب بندی چشمه تونل میخکوبی جبهه کار با استفاده از بولتهای فایبرگلاس (مطابق تصویر شماره ۱-b) می باشد. در این روش هزینه و مدت زمان اجرای پروژه افزایش خواهد یافت. همچنین به جای استفاده از بولت برای مسلح کردن شمع ها یا دیواره ایستگاه، می توان از آرماتورهای فایبرگلاس (مطابق تصویر شماره ۱-c) نیز استفاده نمود. در روش دیگر استفاده از رینگ آب بندی خروج است که این رینگ متشکل از یک سازه فلزی استوانه ای با قطر کمی بیشتر از قطر سپراست که مجهز به یک یا دو ردیف نوار آب بند می باشد. شمای این روش در تصویر شماره ۱-d ارائه شده است. روش های دیگری از جمله بهسازی زمین به منظور کاهش نفوذپذیری با اجرای تزریق پایه سیمانی یا شیمیایی و زهکشی و کاهش تراز آب زیرزمینی نیز جهت پایدارسازی و آب بند کردن چشمه تونل وجود دارد که در تهران از این روش ها غالبا استفاده نمی شود.



شکل ۱-a) تحکیم توسط جایگزین کردن زمین حفاری شده با بتن پلاستیک از سطح زمین با حفر شمع(تیمپن)



شکل ۱-b) میخکوبی جبهه کار با استفاده از بولتهای فایبرگلاس

شکل ۱-c) مسلح کردن شمع ها یا دیواره ایستگاه باآرماتورهای های فایبرگلاس

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

۲-۲-۲- عبور ماشین از طول ایستگاه (TBM void crossing)

مسیر عبور TBM در طول ایستگاه باید کف سازی شده و بستر مناسب برای عبور TBM و سیستم پشتیبان BSU اجرا شود. در پروژه های مشابه و تجربیات موجود انواع کریدل(بستر) به صورت بتنی پیش ساخته، فلزی، بتن ریزی برجا می‌باشد[۸]. مطابق تصویر شماره ۲، با توجه به طراحی سیستم پشتیبانی استفاده از یک سگمنت و قرار دادن سگمنت کف بر روی آن برای عبور سیستم پشتیبان و همچنین سیستم ترابری کافی است.

۲-۲-۳- ایجاد تکیه گاه مناسب برای تأمین نیروی پیشران

متداول‌ترین راه جهت ایجاد تکیه گاه مناسب برای تأمین نیروی پیشران، استفاده از سازه قاب فشار[۱] است[۹]. روش‌های دیگری همچون استفاده از رینگ کامل سگمنت‌ها، با محاسبه تعداد رینگ-های لازم برای تأمین نیروی مورد نیاز نیز وجود دارد. تصویر شماره ۳ استفاده از رینگ‌های سگمنتی جهت شروع حفاری TBM از ایستگاه ساخته شده در خط ۷ مترو تهران را نمایش میدهد.

شکل ۱-d) استفاده از رینگ آببندی در هنگام ورود ماشین

شکل ۲ استفاده از کریدل بتنی جهت عبور TBM از ایستگاه ساخته شده (پروژه خط ۷ مترو ایستگاه W7)

شکل ۳ استفاده از رینگ‌های سگمنتی جهت شروع حفاری(پروژه خط 7ایستگاه U7)

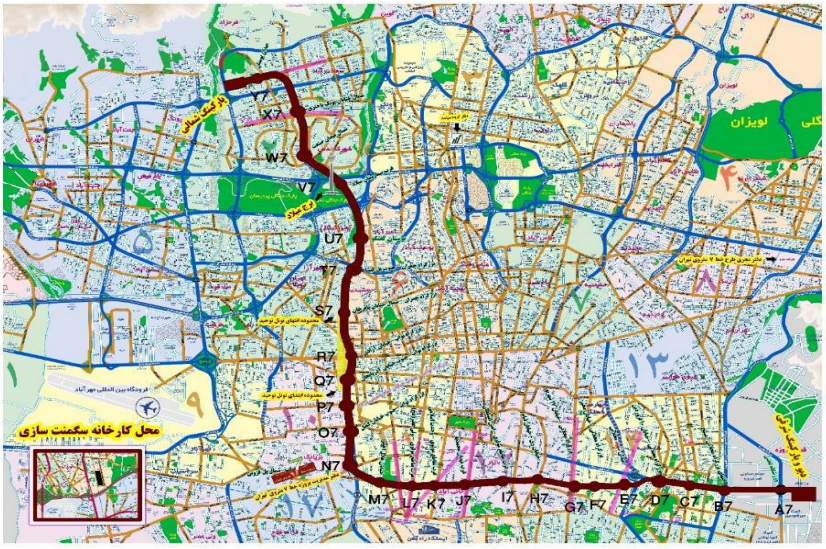
۳- معرفی خط ۷ قطار شهری تهران و حومه(مترو)

خط ۷ متروی تهران بصورت L شکل بوده که از شهرک امیرالمومنین در شرق تهران شروع شده است و پس از عبور از بزرگراه بسیج و امتداد یافتن در طول بزرگراه شهید محلاتی، خیابان سعیدی، خیابان قیام و اتصال به میدان قیام و گسترش آن در امتداد خیابان مولوی و هلال احمر و اتصال به بزرگراه نواب صفوی، مسیر آن در امتداد شمالی جنوبی و در طول بزرگراه نواب تغییر می‌یابد، با قطع بزرگراه جلال آل احمد مسیر این خط در امتداد بزرگراه چمران امتداد یافته و پس از اتصال به میدان صنعت در امتداد بلوار شهید پاکنژاد و عبور از میدان سرو، مسیر تونل در امتداد سرو غربی تغییر یافته و تا میدان کاج ادامه می‌یابد. این خط در زمان انجام طراحی تونل ارتباطی خطوط شش و هفت متروی تهران شامل ۲۹ ایستگاه بوده که تمامی آنها زیرزمینی بوده اند. در حال حاضر تعداد ایستگاه به ۲۲ ایستگاه کاهش پیدا کرده است. طول مسیر خط ۷ از ابتدا تا انتها با احتساب طول ایستگاه‌ها در حدود ۲۵,۵ کیلومتر و طول سکوی ایستگاه‌ها ۱۶۸ متر می‌باشد. پلان مسیر خط ۷ مترو تهران در تصویر شماره ۴ نشان داده شده است. در خط ۷ متروی تهران بخشی از تونل که بصورت دستی انجام شده است با روش حفاری مرحله‌ایی (Sequential Excavation Method) و ایستگاه‌های زیرزمینی کلاً بصورت پیش تثبیت اجرا شده اند. در خط ۷ متروی تهران به دلیل یکپارچگی طراحی و اجرا، مطالعات و بررسی جامعی در روش‌های اجرایی خطوط قبلی مترو در ایران و جهان انجام شده است. این خط که عمیق‌ترین خط متروی تهران می‌باشد تمامی ایستگاه‌های آن بصورت زیرزمینی و با روش پیش تثبیت اجرا شده است.

۴- بررسی و مقایسه اقتصادی توالی اجرای تونل(به روش مکانیزه) و ایستگاه

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

در این قسمت از مقاله به منظور مقایسه اقتصادی توالی اجرای تونل به روش مکانیزه و ایستگاه، هزینه های اجرای تونل مکانیزه مستقل از اجرای ایستگاه با هزینه‌های انجام تمهیدات مورد نیاز جهت عبور TBM از یک ایستگاه که سازه نگهبان آن قبل از رسیدن TBM ساخته شده است مقایسه می گردد. لازم به ذکر است هزینه های ارائه شده مربوط به سال ۱۳۹۱ می باشد. در حالت کلی هزینه ساخت تونل به روش مکانیزه شامل هزینه های مرتبط با ماشین حفار و مواد مصرفی، هزینه های مرتبط با سیستم های ترابری و خدمات فنی، هزینه تمام شده برای هر رینگ سگمنت و ملحقات آن، هزینه گروت و هزینه پرسنل می شود. مطابق بند ۳-۱-۲ جدول شماره ۱(طبق الحاقیه شماره ۱ قرارداد) قیمت اجرای ۲۷ کیلومتر تونل برابر ۱۸۲,۱۱۱,۴۷۴ دلار بوده که بهای هر متر آن برابر ۶۷۴۴ دلار می باشد. که با توجه به نرخ برابری هر دلار به ریال به میزان ۱۲,۲۶۰ ریال[۱۰]، هزینه احداث هر متر طول تونل به میزان ۸۲,۶۹۲,۰۹۹ ریال می گردد. به منظور عبور TBM از ایستگاه به طول ۱۰۰ متر سازه کریدل بتنی در طول ایستگاه اجرای می شود که هزینه اجرایی آن شامل هزینه های قالب بندی، آرماتور فولادی، بتن ریزی و هزینه های حمل و نقل است که این موارد در جدول شماره ۲ بیان شده است. هزینه اجرای تحکیمات دهانه ورودی و خروجی TBM در ایستگاه با توجه به انجام فورپولینگ مطابق تصویر شماره ۵، شامل هزینه های تجهیز و حمل ماشین الات، حفاری چال، تهیه و مشبک کردن و نصب لوله داخل چال میباشد که ریز این مبالغ در جدول شماره ۳ ارائه شده است.



شکل ۴ مسیر خط هفت متروی تهران

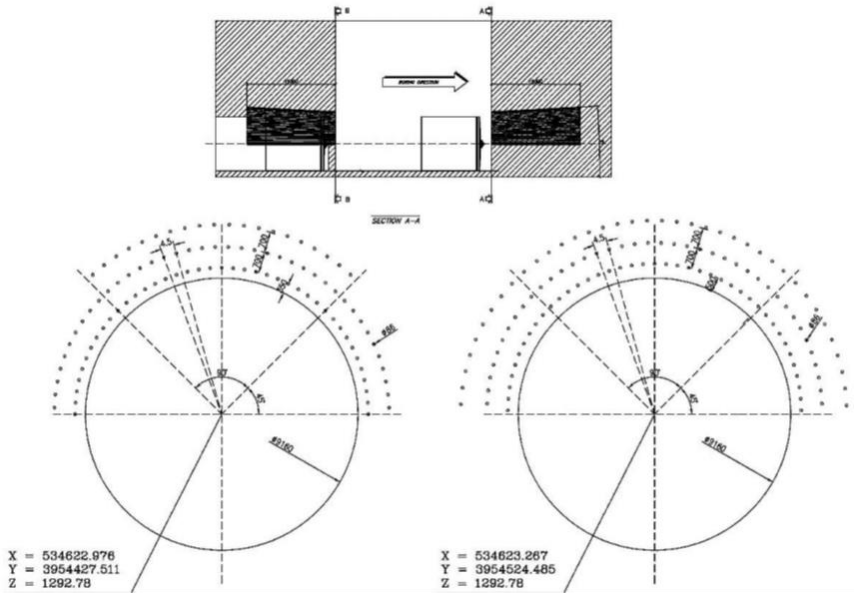
جدول ۱ ساختار شکست مالی بخش تونل خط ۷ متروی تهران

ردیف	آیتم ساختار شکست بخش مسیر و تونل خط ۷ مترو	درصد از کل(٪)	قیمت قرارداد (دلار)
۱	پروژه تونل خط ۷ متروی تهران	۱۰۰	۲۹۰,۰۷۸,۸۰۶
۲	طراحی مهندسی طبق قرارداد	۲	۵,۸۰۱,۵۷۶
۳	تجهیز و ساخت مسیر	۹۸	۲۸۴,۲۷۷,۲۳۰
۳-۱	تجهیز تونل	۱۲	۳۴,۸۰۹,۴۵۷
۳-۱-۱	تامین و راه اندازی دستگاه حفار اول	۶	۱۷,۴۰۴,۷۲۸
۳-۱-۲	تامین و راه اندازی دستگاه حفار دوم	۶	۱۷,۴۰۴,۷۲۸
۳-۲	ساخت مسیر	۸۶	۲۴۹,۴۶۷,۷۷۳
۳-۲-۱	ساخت تونل	۶۲,۷۸	۱۸۲,۱۱۱,۴۷۴
۳-۲-۲	زیرسازی و روسازی	۱۷,۲۰	۴۹,۸۹۳,۵۵۵
۳-۲-۳	شفت های تهویه میان تونلی	۶,۰۲	۱۷,۴۶۲,۷۴۴

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

جدول ۲ هزینه احداث سازه بتنی کریدل

ردیف	آیتم اصلی	ریز آیتم	واحد	مقدار	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	قالب بندی	قالب بندی	متر مربع	۳۳۳,۸۳	۹۸,۰۰۰	۳۲,۷۱۵,۳۴۰
۲	کار فولادی	آرماتور سایز۱۲-۱۸ میلیمتر	کیلوگرم	۹۲۷۶۷,۲	۶,۵۶۰	۶۰۸,۵۵۲,۸۳۲
		آرماتور سایز ۲۰ میلیمتر و بیشتر	کیلوگرم	۳۲۳۰,۷۶	۶,۴۲۰	۲۰,۷۴۱,۴۷۹
		تهیه و ساخت و بکار بردن قطعات اتصالی از تیر آهن، ناودانی، نبشی و	کیلوگرم	۱۴۴۰۶,۷	۱۷,۶۰۰	۲۵۳,۵۵۸,۰۰۸
۳	بتن درجا	بتن با عیار ۱۵۰ کیلو گرم سیمان	متر مکعب	۳۶۶,۶۹	۲۸۰,۰۰۰	۱۰۲,۶۷۳,۲۰۰
		بتن با عیار ۳۵۰ کیلو گرم سیمان	متر مکعب	۱۸۷۰,۶۶	۴۸۸,۰۰۰	۹۱۲,۸۸۴,۵۲۰
		اضافه بها جهت استفاده از بتن مسلح	کیلوگرم	۱۸۷۰,۶۶	۵,۵۲۰	۱۰,۳۲۶,۰۷۱
		اضافه بها جهت ایتفاده از سیمان نوع ۵ به جای نوع ۱ در بتن	متر مکعب	۷۰۹۷۳۶,۲۵	۳۲	۲۲,۷۱۱,۵۶۰
		مواد افزودنی و روان کننده بتن	متر مکعب	۲۸۰۵,۹	۷۴,۸۴۴	۲۱۰,۰۱۲,۰۷۷
		حمل بتن	متر مکعب - کیلومتر	۲۲۳۷,۳	۱۶۹۰	۳,۷۸۱,۱۳۰
			جمع کل			**۲,۲۷۳,۰۷۴,۸۶۵**



شکل ۵ اجرای تحکیمات دهانه ورودی و خروجی TBM

جدول ۳ هزینها جرای تحکیمات دهانه ورودی و خروجی TBM در ایستگاه

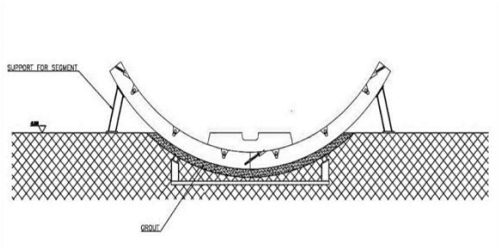
ردیف	شرح عملیات	واحد	مقدار	بهای واحد(ریال)	جمع(ریال)
۱	تجهیز و حمل ماشین الات	مقطوع	۱	۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	حفاری چال با قطر ۸۶ میلیمتر و تا عمق ۱۰ متر	متر طول	۲۰۴۰	۷۸۰,۰۰	۱,۵۹۱,۲۰۰,۰۰۰
۳	حفاری چال با قطر ۸۶ میلیمتر از عمق ۱۰ تا ۱۵ متر	متر طول	۱۲۰	۸۸۰,۰۰۰	۸۹۷,۶۰۰,۰۰۰
۴	تهیه، مشبک کردن و نصب لوله داخل چال	متر طول	۳۰۶۰	۱۵۰,۰۰۰	۴۵۹,۰۰۰,۰۰۰
۵	ساخت دوغاب	متر طول	۳۰۶۰	۹۵,۰۰۰	۲۹۰,۷۰۰,۰۰۰
		جمع کل (ریال)			**۳,۲۸۸,۵۰۰,۰۰۰**

به منظور حرکت TBM بر روی کریدل لازم است دو سگمنت به همراه یک سگمنت اینورت در روی بستر کریدل مطابق تصویر شماره ۶ قرار گیرد. هزینه سگمنت های مصرفی به شرح جدول شماره ۴ می باشد.

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

جدول ۴ هزینه اجرای تحکیمات دهانه ورودی و خروجی TBM در ایستگاه

ردیف	آیتم اصلی	مقدار
۱	هزینه تمام شده یک رینگ کامل سگمنت (ریال)	۷۹,۹۲۶,۶۱۸
۲	هزینه یک مترمکعب سگمنت تولید شده (ریال)	۸,۵۴۸,۳۰۱
۳	هزینه تولید یک سگمنت بزرگ (ریال)	۱۸,۹۲۵,۹۳۹
۴	هزینه تولید سگمنت اینورت (ریال)	۹,۹۷۵,۷۱۶
۵	تعداد سگمنت مورد استفاده در طول ایستگاه	۱۳۴
۶	تعداد سگمنت اینورت مورد استفاده در طول ایستگاه	۶۷
	هزینه استفاده از سگمنت ها در روی کریدل به منظور عبور TBM & BU (ریال)	۳,۱۳۷,۴۴۸,۸۵۸



شکل ۶ استفاده سگمنت ها بر روی کریدل بتنی(تکیه گاه پیشران در طول ایستگاه)

جهت شروع مجدد TBM و خروج آن از ایستگاه نیاز به احداث سازه اتکایی می باشد که از رینگ های سگمنتی استفاده شده است. هزینه استفاده از رینگ های سگمنتی به عنوان سازه اتکایی در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ هزینه استفاده از رینگ های سگمنتی به عنوان سازه اتکایی

ردیف	آیتم اصلی	مقدار
۱	هزینه تمام شده یک رینگ کامل سگمنت (ریال)	۷۹,۹۲۶,۶۱۸
۲	هزینه یک مترمکعب سگمنت تولید شده (ریال)	۸,۵۴۸,۳۰۱
۳	هزینه تولید یک سگمنت بزرگ (ریال)	۱۸,۹۲۵,۹۳۹
۴	هزینه تولید سگمنت اینورت (ریال)	۹,۹۷۵,۷۱۶
۵	تعداد رینگ کامل مورد استفاده مورد استفاده	۲
۶	تعداد سگمنت مورد استفاده در رینگ های ناقص (۴ رینگ ناقص و در هر رینگ ۴ عدد سگمت استفاده شده)	۱۶
	جمع کل (ریال)	**۴۶۲,۶۶۸,۲۶۳**

مقایسه اقتصادی توالی اجرای تونل (به روش مکانیزه) و ایستگاه:
با توجه به موارد فوق، در شرایطی ایستگاه پیش از رسیدن TBM احداث شده است می توان به طور خلاصه مجموع هزینه هایی که برای عبور دستگاه از طول ۱۰۰ متری ایستگاه انجام شده است که مطابق جدول شماره ۶ بیان شده است.

جدول ۶ مجموع هزینه های تمهیدات لازم جهت عبورTBM از محدوده شفت U7

ردیف	شرح آیتم	مقدار
۱	هزینه احداث سازه بتنی کریدل	۲,۲۷۳,۰۷۴,۸۶۵
۲	هزینه پایدارسازی دیواره های ورودی و خروجی TBM	۳,۲۸۸,۵۰۰,۰۰۰
۳	استفاده از سگمنت ها در روی کریدل به منظور عبور TBM & BU	۳,۱۳۷,۴۴۸,۸۵۸
۴	استفاده از رینگ های سگمنتی به عنوان سازه اتکایی	۴۶۲,۶۶۸,۲۶۳
	جمع کل بدون ضریب بالاسری	**۹,۱۶۱,۶۹۱,۹۸۷**
	جمع کل با ۲۰ درصد ضریب بالاسری	**۱۰,۹۹۴,۰۳۰,۳۸۴**

درصورتی اگر قبل از احداث ایستگاه ، محدوده آن به طول ۱۰۰ متر توسط TBM حفاری شود، هزینه تمام شده آن طبق قرارداد به شرح جدول شماره ۷ می باشد.

جدول ۷ هزینه تمام شده ۱۰۰ متر حفاری که کارفرما خط ۷، طبق قرارداد پرداختی به پیمانکار

هزینه اجرای هر متر تونل بر طبق طبق قرارداد (ریال)	۸۲,۶۹۲,۰۹۹
طول ایستگاه (متر)	۱۰۰
جمع کل هزینه (ریال)	۸,۲۶۹,۲۰۹,۹۱۲

۵- نتیجه و جمع بندی

در این مقاله هزینه های اجرای به روش حفاری مکانیزه و ساخت ایستگاه در دو حالت کلی عبور پر و خالی برای ۱۰۰ متر برآورد شد. با توجه به بررسی های صورت گرفته و همچنین اهمیت مدیریت هزینه در پروژه های مترویی که به روش حفاری مکانیزه اجرا می شوند، به خوبی مشخص گردید که پروژه های مترویی که حفاری تونل توسط TBM صورت می گیرد، اجرای تونل قبل از احداث ایستگاه دارای صرفه اقتصادی بیشتری نسبت به احداث ایستگاه قبل از احداث تونل می باشد. و این مساله میتواند برای کلان شهری مثل تهران که نیازمند اجرای تعداد زیاد خطوط مترو و ایستگاه می باشد، صرفه جویی اقتصادی بسیار زیادی را به همراه داشته باشد. اما باید این موضوع را در نظر گرفت که آماده سازی ایستگاه‌ها قبل از رسیدن دستگاه حفار به آنها و عبور ماشین حفار از فضای ایستگاه (عبور خالی)، مزیت اجرای ایستگاه ها به صورت مستقل از عملیات حفاری مکانیزه، امکان بازرسی، تعمیر و نگهداری ماشین پس از رسیدن به ایستگاه را دارا می‌باشد و می‌توان از ایستگاه ها به عنوان شفت دسترسی میانی جهت انتقال بخشی از تجهیزات کارگاه مانند فن های تهویه و سیستم بچینگ استفاده نمود که می تواند باعث کاهش هزینه ها شود.

توجه به اینکه بسیار مهم است که در روش عبور خالی، امکان توقف دستگاه حفارTBM در اثر آماده نبودن ایستگاه‌ها، پشت ایستگاه وجود دارد. که در بررسی های این مقاله این موضوع در نظر گرفته نشده است و هزینه های ناشی از توقف ماشین حفار پشت ایستگاه، سبب تشدید افزایش هزینه ناشی از عبور پر خواهد بود که این مورد باعث غیر اقتصادی‌تر شدن این روش می شود. در حالت کلی حفظ

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
5 (3) , 2020
دوره ۵، شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹
فصلنامه پژوهشی

پیوستگی عملیات حفاری مکانیزه در میزان بهره وری آن بسیار موثر خواهد بود و در صورتی که پیوستگی عملیات در پروژه حفاری حفظ نگردد، عملا عملا هزینه های زیادی به پروژه اعلام خواهد شد. علت این موضوع هم آن است که هزینه سرمایه ای و هزینه‌های درگیر در پروژه در صورت تاخیر در عملیات اجرایی، به صورت فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت.

شایان به ذکر است که موانع و مشکلات هریک از روش های فوق الذکر در تصمیم گیری در مورد اتخاذ انتخابی بسیار مهم است که با توجه به تجربیات حاصل از اجرای خط ۷ مترو تهران، ابتدا حفاری وسپس حفاری محدوده ایستگاه ها (عبور پر) از نظر فنی و عملیاتی و همچنین تداخلات اجرایی بسیار مناسب تر بوده است و این نتیجه میتواند پروژه ریلی شهری مشابه بسیار مفید واقع شود.

۶- مراجع

[۱] حیدری، علی، زارعی، محمدحسین، لاجوردی، عرفان.(۱۳۹۱). قراردادهای EPC از منظر حقوق اقتصادی، پایان نامه جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد رشته حقوق اقتصادی، دانشکده حقوق، دانشگاه شهید بهشتی.

[۲] مدنی، حسن.۱۳۷۷، (تونلسازی طراحی و اجرا)، جلد اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر

[3] Alder, A. Dhanda, D.Hillyar, W. & Runacres, A. 2010. Extending London's Docklands Light Railway to Woolwich. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Civil Engineering163, 81–90.

[4] Newman, T. Bellhouse, M. Corcoran, J. Sutherden, R. & Karaouzene, R. 2016. TBM performance through the engineering geology of the Lee Tunnel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering169, 299–313.

[۵] کریمی و همکاران، بررسی اقتصادی توالی اجرای تونل و ایستگاه ها در پروژه های قطار شهری به روش حفاری مکانیزه، دهمین کنفرانس تونل،۱۳۹۲

[6] Azhar, S. 2011."Building information modeling (BIM): Trends, bene-fits, risks, and challenges for the AEC industry."Leadership Manage.Eng.11 (3): 241–252.

[7] Barton, N. 2012."Reducing risk in long deep tunnels by using TBM anddrill-and-blast methods in the same project—The hybrid solution."J. Rock Mech. Geotech. Eng.4 (2): 115–126.

[8] Guclucan, Z., Meric, S., Palakci, Y., Bilgin, N., Balci, C., Tumac, D., Algan, M., Namli, M.,Bilgin, A.R., 2008. The use of a TBM in difficult ground conditions in Istanbul(Beykoz–Kavacik) sewerage, World Tunnel Congress, September 22–24, Agra,India, pp. 1630–1638.

[9] Liu, H., Li, P., Liu, J., 2011. Numerical investigation of underlying tunnel heaveduring a new tunnel construction. Tunn. Undergr. Space Technol. 26, 276–283.

[10] AITES-ITA Working Group No. 14, 2000. Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines (TBMs).

[۱۱] نرخ ارز مرجع بانک مرکزی در بهمن و اسفند سال ۹۱، وبسایت www.eghtesadonline.com

[1] Push frame