

مقایسه روش های رینگ ناقص و سیستم قاب تکیه گاهی (push frame) به عنوان راهکارهای شروع حفاری در حفاری مکانیزه با نگاهی به پروژه خط ۲ قطار شهری

مشهد

کیانوش چنگی ۱ الیاس قصابیان ۲ امین مردانشاه ۳

- ۱- کارشناس ارشد عمران 'مهندسين مشاور پژوهش' خط ۲ قطار شهری مشهد
- ۲- کارشناس ارشد زمین شناسی 'مهندسين مشاور پژوهش' خط ۲ قطار شهری مشهد
- ۳- کارشناس عمران 'مهندسين مشاور پژوهش' خط ۲ قطار شهری مشهد

چکیده

در پروژه های تونلی که توسط ماشین حفار تونل (TBM) احداث می گردد 'شروع حرکت دستگاه TBM به دلیل نیروی قابل توجه لازم جهت نفوذ به خاک ، نیاز به تمهیدات خاص برای تامین تکیه گاه دستگاه دارد . این موضوع در پروژه های مترو با توجه به عبور دستگاه TBM از ایستگاههای میانی در حال ساخت و آغاز مجدد حرکت TBM جهت نفوذ به خاک در هر یک از این ایستگاهها، از اهمیت بیشتری برخوردار است . در نوشتار حاضر ، دو راهکار تامین تکیه گاه دستگاه TBM (روش رینگ ناقص و روش push frame) معرفی شده و نقاط ضعف و قوت هر دو روش با استفاده از تجربیات کسب شده در پروژه احداث خط ۲ قطار شهری مشهد و خط ۱ قطار شهری شیراز' مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس این تجربیات می توان گفت که اگر در طراحی روش رینگ ناقص، مشخصات فنی ماشین حفار و خاک به درستی دیده شود این متد به لحاظ اقتصادی، زمان بندی و سهولت اجرا می تواند جایگزین خوبی برای روش پوش فریم باشد.

واژه های کلیدی: خط ۲ قطار شهری مشهد، تی بی ام ، پوش فریم، رینگ ناقص

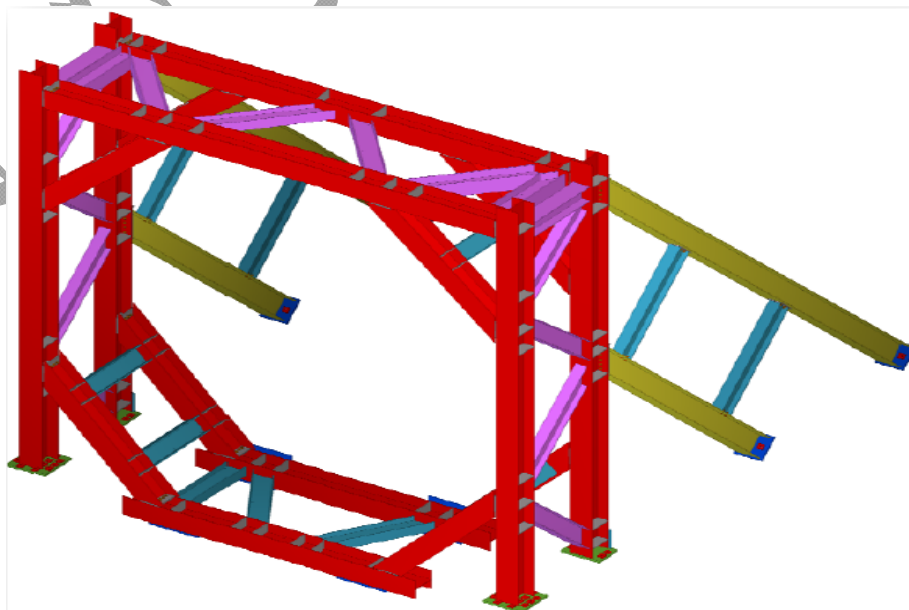
۱- مقدمه

مسیر خط دو قطار شهری مشهد از خیابان طبرسی شمالی (در شمال شرقی شهر) شروع و تا میدان کاوه (در جنوب شهر) ادامه می یابد. پروژه به طول کلی ۱۴/۳ کیلومتر و شامل ۱۳ ایستگاه زیرزمینی با اسامی A2 تا M2 است. بخش عمده حفاری با سیستم مکانیزه انجام می گردد که به وسیله دو دستگاه TBM از نوع متعادل کتنده فشار زمین (EPB) در حال اجرا می باشد. خلاصه وضعیت اجرایی بدین ترتیب بوده است که شروع حفاری دستگاه اول از نقطه ای در شمال ایستگاه A2 و دستگاه دوم از داخل ایستگاه M2 ، و هر دو بوسیله نصب پوش فریم انجام شد. TBM اول پس از حفاری تونل و رسیدن به ایستگاه A2 و گذر از طول ایستگاه، جهت نفوذ به خاک و آغاز مجدد حفاری تونل بین ایستگاه A2 و B2 از روش رینگ ناقص استفاده کرد. به دلیل زمان بری کمتر و صرفه جویی در هزینه ها ، ایده جایگزینی روش رینگ ناقص به جای پوش فریم در سایر ایستگاهها از سوی پیمانکار مطرح شد.

در سیستم حفاری مکانیزه ' ماشین حفار جهت تامین نیروی رو به جلو از جک های تراست (thrust) بهره می برد که در حین حفاری از رینگهای قبل به عنوان تکیه گاه استفاده می کند و این عمل باعث می شود رینگ ها بصورت جانبی به یکدیگر فشرده (فیکس) شوند. در شروع حفاری به دلیل اینکه هنوز رینگ نصب نشده است ' جهت تامین یک تکیه گاه مطمئن می بایست سیستمی طراحی شود که قابلیت تحمل فشار ناشی از جک های جلو برنده را داشته باشد. ماشین حفار جهت حرکت رو به جلو می بایست توان غلبه بر نیروی اصطکاک بین شیلد (shield) و زمین ' تامین فشار سینه کار و نیروی مقاوم در برابر حفر شدن (contact force) را داشته باشد که همانطور که گفته شد به منظور تامین این نیرو ها از جک های تراست استفاده می کند. در دستگاه تی بی ام مشهد ' ۱۵ جفت جک تراست وجود دارد که هر جفت جک ' داخل یک پد (pad) قرار می گیرد. قطر حفاری تونل ۹/۴۳ متر است که با توجه به ضخامت ۳۵ سانتی متری سگمنت ها و فاصله ۱۶ سانتی متری شیلد و زمین ' قطر داخلی تونل پس از رینگ گذاری ۸/۴۱ متر می باشد.

۲- استفاده از push frame

سازه پوش فریم (تصویر ۱) عهده دار تامین شرایط تکیه گاهی برای انتقال نیروی رانش ماشین حفار به شالوده و زمین می باشد. به منظور امکان نصب رینگ کامل (طول هر رینگ در امتداد تونل ۱/۵ متر است) و همچنین تامین تکیه گاه جهت تحمل نیروی جلو برنده دستگاه، یک سازه فلزی به عنوان سازه تکیه گاهی (push frame) قبل از سپر انتهایی دستگاه حفار نصب می گردد. پوش فریم در مقاطع میانی جائیکه دستگاه وارد ایستگاه شده و میخواید از آن خارج شود نیز مورد استفاده قرار می گیرد. اما در نقطه شروع حفاری (محل مونتاژ دستگاه حفار) به دلیل عدم وجود رینگ های قبل در کف شفت ' ناگزیر به استفاده از پوش فریم هستیم که در خط ۲ قطار شهری مشهد نیز به این صورت عمل گردید.



تصویر ۱ - نمایی از push frame

جهت نصب سازه تکیه گاهی (push frame) و به علت نیروهای فشاری و گشتاور ایجاد شده از ناحیه سر دستگاه حفار، فونداسیون خاصی مورد نیاز می باشد. (تصویر ۲)



تصویر ۲ - نمایی از push frame نصب شده در شفت جنوبی پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد

۳- مزایا و معایب روش push frame

از مزایای های این روش می توان ضریب اطمینان بالا و نصب تعداد رینگ موقت کمتر را نام برد. معایب این روش هزینه ساخت سازه فلزی و ایجاد تمهیداتی در فونداسیون های بتنی کف و زمان بر بودن ساخت و نصب سازه فلزی تکیه گاهی را می توان ذکر نمود. [۱]

۴ - روش رینگ ناقص (رینگ گذاری بصورت پلکانی)

در این روش دستگاه حفار در محل ایستگاه که فونداسیون آن از قبل اجرا شده است بر روی بستری بتنی (cradle) متشکل از یک یا دو سگمنت (با توجه به ابعاد سگمنت و تامین فضای لازم نشیمنگاه لازم جهت جک های تراست پائین) که در کف نصب می شوند، حرکت و پیشروی می نمایند و نهایتاً قبل از زمانیکه سر دستگاه حفار به محل شروع حفاری برسد، رینگ های ناقص به تدریج به رینگ های کامل تبدیل می شود. در این روش، سازه تکیه گاهی (Push Frame) حذف گردیده و از چیدمان خود سگمنت ها به عنوان تکیه گاهی برای عبور سپر TBM استفاده می گردد (تصویر ۳) هر رینگ شامل هفت عدد سگمنت یونیورسال {A1 تا A7} بعلاوه یک سگمنت کلید و یک سگمنت اینورت می باشد. در ایستگاه A2 حرکت ماشین در ایستگاه تا رسیدن به تامپون جنوب ایستگاه توسط دو عدد سگمنت (کلید بعلاوه A7 یا A6) انجام شد و حدود ۶ متر مانده به تامپون، رینگ

های ناقص به تدریج از دو سگمنت به سه ' چهار و... افزایش یافت تا اینکه رینگ پنجم بصورت کامل نصب گردید (تصویر ۴).
آرایش سگمنت ها بصورت زیر می باشد.

- 1- A6+A4
- 2- A7+A5+A3
- 3- A6+A4+A2+A1
- 4- A7+A5+A3+A2+A1
- 5- A6+A5+A4+A3+A2+A1
- 6- COMPLETE RING



تصویر ۳ - چیدمان سگمنت ها از دو سگمنت (بستر بتنی) تا رینگ کامل

جهت جلوگیری از جابجائی رینگها تمهیداتی انجام گردید که عبارت بود از: نصب ساپورت در اطراف رینگها (تصویر ۵)، کابل کشی دور رینگ ها، نصب پلیت داخل سگمنت های اولین رینگ کامل که این پلیت ها توسط تسمه به شکل ضربدری به هم جوش داده شد و رینگ یکپارچه ایجاد شد (تصویر ۶) و همچنین سگمنت های بالای آخرین رینگ ناقص توسط کابل به استرات های سازه نگهبان ایستگاه مهار شد.

یکی از نکات مهمی که در استفاده از روش رینگ ناقص مطرح می باشد امکان تامین نیروی تراست کافی توسط جک های پایین می باشد [۲]. با توجه به اینکه حفاری از رینگ ناقصی آغاز گردید که دارای چهار سگمنت بود و امکان درگیر شدن ۶ پد (۱۲ جک) وجود داشت و از طرف دیگر هر جک تی بی ام موجود توانائی ایجاد ۲۶۰۰ کیلو نیوتن نیرو را دارد بنابراین از جهت تامین نیروی تراست جهت غلبه بر اصطکاک و حفاری تامپون (دیواره انتهائی) که به نیروئی در حدود ۸۰۰۰ کیلو نیوتن (۸۰۰ تن) نیاز دارد مشکلی وجود نداشت.



تصویر ۴ - نمایی از اجرای روش رینگ ناقص در ایستگاه A2 مشهد



تصویر ۵ - مهار رینگ ها جهت جلوگیری از حرکت رینگ و انحراف ماشین حفار در ایستگاه A2 مشهد

مسائل دیگری که وقوع آنها در روش رینگ ناقص محتمل می باشد عبارتند از:

الف - نشست زمین به علت پایین بودن تراست و در نتیجه تامین نشدن فشار سینه کار (در مترو شیراز به علت نصب

تعداد رینگ های کامل موقت بیشتر امکان تامین فشار سینه کار وجود داشت)

ب - انحراف ماشین حفار و بروز **roll , pitch***

* **roll** دوران حول محور دستگاه و **pitch** دوران عمود بر محور دستگاه

ج - خارج شدگی و پله کردن سگمنت ها در محل اتصال به یکدیگر

د - ایجاد ترک و شکستگی در سگمنت ها



تصویر ۶ - نصب پلیت و جوشکاری توسط تسمه جهت ایجاد رینگ یکپارچه در ایستگاه A2 مشهد

چنانچه حفاری در مناطقی با زمینهای خود ایستا یا به عبارت بهتر زمین های با مشخصات ژئو تکنیکی خوب انجام شود ، مورد (الف) کمتر امکان بروز خواهد داشت چون می توان حفاری را تا محدوده ای بدون اعمال فشار EPB انجام داد و در نتیجه تراست کمتری مورد نیاز خواهد بود.

در شروع عملیات حفاری، ماشین با گشتاور (**torque**) حدود ۱۰۰۰ کیلو نیوتن متر و نیروی تراست حدود ۵۵۰۰ کیلونیوتن و سرعت دورانی کم و حدود **1.2 RPM** (دور در دقیقه) پیشروی را شروع کرد و با خروج بیشتر شیلد از ایستگاه و ورود به تامپون و افزایش اصطکاک ، نیروی تراست مورد نیاز افزایش یافت بطوریکه در زمان خروج کامل شیلد از ایستگاه تراست به حدود ۸۵۰۰ کیلونیوتن (۸۵۰ تن) رسید [۲].

در طول حرکت ماشین، انحرافات قائم و افقی ناچیز (قابل اغماض) بود و از **2cm** تجاوز نکرد که مهارت اپراتور و مهارت دقیق رینگها در این خصوص موثر واقع شد. عملیات آب بندی اطراف شیلد پس از **۱۴** متر خروج دستگاه از ایستگاه و نصب **۴** رینگ دائمی انجام شد و سپس شرایط جهت تزریق گروت و اعمال فشار سینه کار مهیا گردید.

۵- مزایا و معایب روش رینگ ناقص

مزایای این روش عبارتند از [۱]:

- اقتصادی بودن این روش به علت حذف سازه تکیه گاهی (push frame)، حذف تمهیدات مورد نیاز در فونداسیون های مربوطه، بتن ریزی های مضاعف و لوازم ساخت این ادوات مانند جرثقیل های بزرگ و...
- ساده تر بودن اجرا
- معایب این روش را نیز در چند مورد می توان خلاصه نمود:
- نیاز به دقت زیاد در نصب سگمنت ها و مهارت پرسنل در راهبری قسمت های مختلف
- نیاز به قطعات پیش ساخته بیشتر جهت اجرای این روش
- تخریب سگمنت های موقت بیشتر که کاری دشوار می باشد *

* در ایستگاه A2 مشاهد تعداد رینگ کامل موقت نصب شده نسبت به مترو شیراز کمتر بود و همانطور که ذکر گردید حفاری از رینگ های ناقص آغاز گردید که این حالت ریسک کار را بالا میبرد و زمان اجرا را پائین می آورد. به عبارت دیگر در صورتیکه با خاک پایدار و خود ایستا روبه رو باشیم می توان تعداد رینگ موقت کمتری را نسبت به سیستم پوش فریم نصب کرد اما در صورت سست بودن خاک و خصوصا بالا بودن سطح آب زیر زمینی (نظیر حالتی که در شیراز وجود داشته است) طبعا می بایست تعداد رینگ بیشتری را نصب و پس از خروج کامل دستگاه از ایستگاه تخریب نمود.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به تجربیات کسب شده در خط ۲ مترو مشهد و سایر پروژه ها استفاده از رینگ ناقص از نظر اقتصادی و زمان بندی دارای ارجحیت نسبت به استفاده از (Push Frame) می باشد. (مقایسه روش Push Frame با روش رینگ ناقص در جدول ۱ درج شده است) اما از نظر فنی در صورتیکه تعیین مشخصات فنی سیستم رینگ ناقص مثلا تعداد رینگ کامل موقت، بدون در نظر گرفتن مشخصات فنی خاک و ماشین حفار انجام شود می تواند مشکلاتی از قبیل انحراف دستگاه، نشست زمین و... را به دنبال داشته باشد. به عنوان پیشنهاد می توان جهت افزایش اطمینان از عدم انحراف ماشین و همچنین پایداری سینه کار، حفاری را از رینگ های کامل شروع کرد و حتی تعداد رینگ های کامل را قبل از رسیدن کاترهد به تامپون افزایش داد. به این شکل به علت توانایی رینگ ها در تحمل فشار های بالاتر، تامین فشار سینه کار نیز مقدور خواهد بود.

ردیف	ویژگی ها	روش پوش فریم	روش رینگ ناقص
۱	امکان اجرا در شفت مونتاژ	بلی	خیر
۲	امکان اجرا در ایستگاههای میانی	بلی	بلی
۳	نیاز به فونداسیون خاص	نیاز دارد	نیاز ندارد
۴	حجم کارهای فولادی و مصرف آهن آلات	زیاد	کم
۵	هزینه اجرا	بیشتر	کمتر
۶	مدت زمان اجرا	بیشتر	کمتر
۷	سهولت اجرا	اجرای پیچیده	اجرای ساده
۸	مهارت اپراتور	مهارت عادی	مهارت زیاد
۹	نصب و تخریب قطعات سگمنت	حداقل تعداد	تعداد زیاد
۱۰	ریسک نشست زمین	ریسک کم	ریسک زیاد برای خاک های سست
۱۱	ریسک انحراف مسیر	ریسک کم	ریسک زیاد در صورت عدم راهبری دقیق

جدول ۱ - مقایسه روش های **Push frame** و رینگ ناقص به لحاظ پیش نیاز های اجرائی و مزایا و معایب [۳]

۷-منابع

[۱] پویا علامیر و همکاران، روش نوین گذر **TBM** های سپردار از فضای باز (مطالعه موردی **TBM** های مترو شیراز) ، هفتمین کنفرانس تونل

ایران

[۲] مجموعه مدارک فنی خط ۲ قطار شهری مشهد، پیمانکار پروژه و مهندسین مشاور پژوهش

[۳] تجربیات مهندسین مشاور پژوهش در پروژه های خط سه و خط هفت مترو تهران

پایان