نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی
Tunneling & Underground Space Engineering (TUSE)
tuse.shahroodut.ac.ir
دوره‌ی ۹- شماره‌ی۱/بهار ۱۳۹۹

کنترل نشست ناشی ازحفاری به وسیله *TBM-EPB* با نگرش *ADECO-RS* درمحیط شهری با استفاده ازروش عددی مطالعه موردی: تونل خط *A* متروی قم

پژوهشی

رضا پوریانی[*1]؛ علی عالی انوری[2]؛ مجید نوریان بیدگلی [3]

۱- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد؛ گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، *r.pouryani@yahoo.com*

۲- استادیار؛ گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، *ali_aalianvari@kashanu.ac.ir*

۳- استادیار؛ گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، *noriyan@kashanu.ac.ir*

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۷/۱۲/۰۹؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

شماره صفحات: ۱۷ تا ۳۱

شناسه دیجیتال (*DOI*): *10.22044/tuse.2020.8097.1355*

واژگان کلیدی

نشست

حفاری مکانیزه

EPB

ADECO-RS

تونل متروی قم

ابزاربندی

مدل‌سازی عددی

چکیده

کنترل نشست در اعماق کم و محیط‌های حساس یکی از مهم‌ترین عملیات مهندسی تونل است. در این تحقیق پس از تحلیل عددی نشست تونل خط *A* مترو قم به‌وسیله نرم‌افزار *FLAC 3D* که توسط *TBM-EPB* حفر شده است و به دنبال آن معرفی روش حفاری مناسبی که با توجه به امکانات موجود در داخل کشور، علاوه بر میزان نشست کم این امکان را بدهد که هزینه و زمان ساخت یک سازه زیرزمینی با درجه قابل قبولی از دقت پیش‌بینی شود، روش جدید حفاری که بر مبنای تحلیل تغییر شکل‌های کنترل‌شده در سنگ و خاک بنا شده است (*ADECO-RS*)، معرفی می‌شود. با تحلیل عددی نشست حفاری با نگرش *ADECO-RS*، نتایج حاصل از روش عددی و رفتار نگاری سطحی با یکدیگر مقایسه شده است. مقایسه نتایج مدل‌سازی و نتایج حاصل از ابزاربندی بیانگر صحت روند مدل‌سازی است. مقدار حداکثر نشست در مقطع ۷+۲۰۰ در حین حفاری با *TBM-EPB* در روش عددی ۷/۹۶۴ میلی‌متر و در واقعیت ۸/۸۴۵ میلی‌متر به‌دست آمده است. با توجه به رویکرد *ADECO-RS* در کنترل هسته-جبهه کار مقدار حداکثر نشست ۴/۰۵۴ میلی‌متر با کاهش تقریباً ۴ میلی‌متری نسبت به روش عددی حفاری با *TBM-EPB* به‌دست آمده است. به‌وسیله پروفیل طولی، در این روش مقدار حداکثر نشست تقریباًدر فاصله حدود ۱۵ متری در پشت جبهه کار، که نسبت به حفاری با *TBM-EPB* در فاصله حدود ۲۲/۵ متری در پشت جبهه کار ثابت شد که این کاهش ۷/۵ متری به‌وسیله روش *ADECO-RS* در پشت جبهه کار و همچنین کاهش ۱/۵ متری جلوی جبهه کار نشان‌دهنده صحت کنترل هسته-جبهه کار و درنتیجه صحت کنترل نشست است.

۱- پیش‌گفتار

امروزه رشد روزافزون توسعه شهری منجر به افزایش تقاضا جهت ساخت تونل‌هایی از قبیل تونل مترو، تونل راه شهری، تونل آب و فاضلاب و تونل خطوط مخابراتی شده است. به‌طورکلی حفر تونل در هر عمق از خاک و زمین سست منجر به تغییر سیستم توزیع تنش‌ها و همگرایی دهانه تونل و به‌وجود آمدن تغییر شکل‌هایی در سطح زمین می‌شود. این همگرایی قبل از رسیدن جبهه کار به مقطع موردنظر

* اصفهان؛ کاشان؛ کیلومتر ۶ بلوار قطب راوندی؛ دانشگاه کاشان؛ دانشکده‌ی مهندسی؛ گروه معدن؛ کدپستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۵۳؛ شماره‌ی تلفن: ۵۵۹۱۲۴۳۵-۰۳۱؛ دورنگار: ۵۵۵۱۱۱۲۱-۰۳۱

آغاز می‌شود که شروع فاصله آن از فاصله‌ای در حدود شعاع تونل از جبهه کار است و در فاصله‌ای در حدود دو برابر قطر تونل این تأثیر محو می‌شود. پس از عبور جبهه کار از مقطع موردنظر تغییر مکان‌ها زیاد می‌شود. ازآنجاکه حفر تونل در خاک معمولاً در اعماق کم صورت می‌گیرد، تأثیر آن می‌تواند تا سطح زمین گسترش یابد و یک گودی نشست در سطح زمین ایجاد می‌شود. این نشست برای سازه‌های موجود در مجاورت تونل خطراتی را به همراه دارد. در محیط‌های شهری این حرکت بر روی سازه‌های سطحی یا زیرسطحی تأثیرگذار است.

امروزه آنچه در پروژه‌های تونل مترو حساس و تعیین‌کننده است، روش حفاری و بسیاری از مسائل پیرامون آن است، بنابراین انتخاب روش حفاری مناسب نقشی تعیین‌کننده در سرعت حفاری و کنترل نشست در محیط‌های شهری دارد *(Lunardi, 2008)*. تعیین میدان جابجایی زمین در اطراف یک تونل به دلیل پیچیدگی‌های مربوط به این پدیده مشکل است، زیرا تعداد زیادی پارامتر بر روی آن تأثیرگذار است و همچنین اصولاً جابجایی در اطراف یک تونل یک پدیده سه‌بعدی است. بر همین اساس باهدف تعیین میزان نشست و جابجایی زمین روش‌های مختلفی ارائه شده است.

به‌طورکلی روش‌های تخمین نشست در سطح زمین به چهار دسته روش‌های تجربی، تحلیلی، عددی و آزمایشگاهی تقسیم‌بندی شده است *(Suwansawat, 2002)*. بنابراین با احداث یک تونل تغییر شکل‌هایی در زمین اطراف ایجاد می‌شود. در این صورت گودی نشست در سطح زمین تشکیل می‌شود و با پیشروی تونل تمایل به گسترش دارد که برای بررسی آن منحنی عرضی و طولی نشست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی عددی سه‌بعدی بررسی میزان نشست تونل خط *A* مترو قم در اثر حفاری به‌وسیله *TBM-EPB* با نگرش *ADECO-RS* و همچنین بدون در نظرگرفتن این نگرش توسط منحنی‌های عرضی و طولی در مقطع ۷+۲۰۰ مطالعه و بررسی شده است. از آنجایی که محیط دربرگیرنده تونل، محیط خاکی و پیوسته است، در این مطالعه نرم‌افزار *FLAC 3D* به‌کار برده شده است. این نرم‌افزار ابزار بسیار مناسبی برای تحلیل و مدل‌سازی شرایط تونل‌سازی با ماشین *EPB* است.

۲- مشخصات طرح

با توجه به مطالعات انجام‌شده، اجرای تونل‌های موجود در مسیر خط *A* مترو قم به دو روش مکانیزه و سنتی (*NATM*) است که مطابق **شکل ۱**، بخش حفاری مکانیزه از خط *A* مترو قم، حدفاصل انت‌های مسیر (شمال قلعه کامکار) تا ایستگاه *A3* (میدان ولیعصر)، به طول تقریبی ۱۰/۳ کیلومتر است. در این بخش حدفاصل قلعه کامکار تا ایستگاه *A9* (میدان مطهری، متراژ ۵۵۰۰) پشتیبانی حفاری از طریق ترانشه (*U-Wall*) واقع در منطقه قلعه کامکار انجام شده است. بخش حفاری سنتی (*NATM*) از خط *A* مترو قم، حد فاصل کیلومتر صفر (حوالی ایستگاه *A1* واقع درحوالی مسجد جمکران) تا ایستگاه *A3*، به طول تقریبی ۳۶۵۰ متر است.

شکل ۱- مسیر و ایستگاه‌های خط *A* مترو قم
(urban railway organization, 2012)

لایه‌های خاکی مسیر مترو به چهار گونه زمین‌شناسی مهندسی (دو واحد خاکی ریزدانه و دو واحد خاکی درشت‌دانه) تفکیک شده است. دو واحد خاکی درشت‌دانه *Qc-1* و *Qc-2* گسترش نسبتاً زیادی دارند و به‌صورت لایه‌هایی نسبتاً ضخیم و بعضاً به‌صورت لنزهای نسبتاً گسترده و ضخیم در میان واحدهای خاکی ریزدانه *Qf-1* و *Qf-2* قابل مشاهده است. نحوه گسترش این واحدهای خاکی در مسیر مترو، بر روی برش زمین‌شناسی مهندسی مسیر مشخص است که توصیف واحدهای خاکی موجود در

مسیر تونل در **جدول ۱**، نشان داده شده است *(urban railway organization, 2012)*.

در مقطع ۲۰۰+۷ شامل هر ۴ نوع خاک است که پارامترهای ژئوتکنیکی مورد نیاز برای طراحی واحدهای زمین شناسی در **جدول ۲**، آورده شده است.

جدول ۱- توصیف واحدهای خاکی موجود در مسیر تونل *(urban railway organization, 2012)*

واحدهای خاکی مسیر	*Qf-1*	*Qf-2*	*Qc-1*	*Qc-2*
توصیف	سیلت رسی با کمی ماسه	رس لای دار با کمی ماسه	شن ماسه‌ای و ماسه شن‌دار همراه مقداری ریزدانه	ماسه رسی- سیلتی همراه با شن
درصد عبوری از الک ۲۰۰	> ۵۰	> ۵۰	< ۳۵	< ۵۰
اندیس پلاستیسیته (درصد)	< ۱۰	۱۰-۱۲	-	-
طبقه‌بندی خاک *(USCS)*	*ML,CL-ML*	*CL*	*GP-GC,Gw-GM, GW*	*SC,SC-SM*

جدول ۲- پارامترهای ژئوتکنیکی واحدهای زمین‌شناسی *(Sahel Institute, 2017)*

گونه زمین‌شناسی	چسبندگی (*kpa*)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	مدول الاستیسیته (*MPa*)	نسبت پواسون	وزن مخصوص خشک خاک (g/cm^3)
Qf-1	۲۲/۵۰	۲۳	۸۷/۵	۰/۳۰	۱/۶۸
Qf-2	۱۵	۲۳	۸۷/۵	۰/۳۰	۱/۷۲
Qc-1	۲۱	۲۶/۵	۱۱۵	۰/۳۰	۱/۷۶
Qc-2	۱۵	۲۶/۵	۱۱۵	۰/۳۰	۱/۷۲

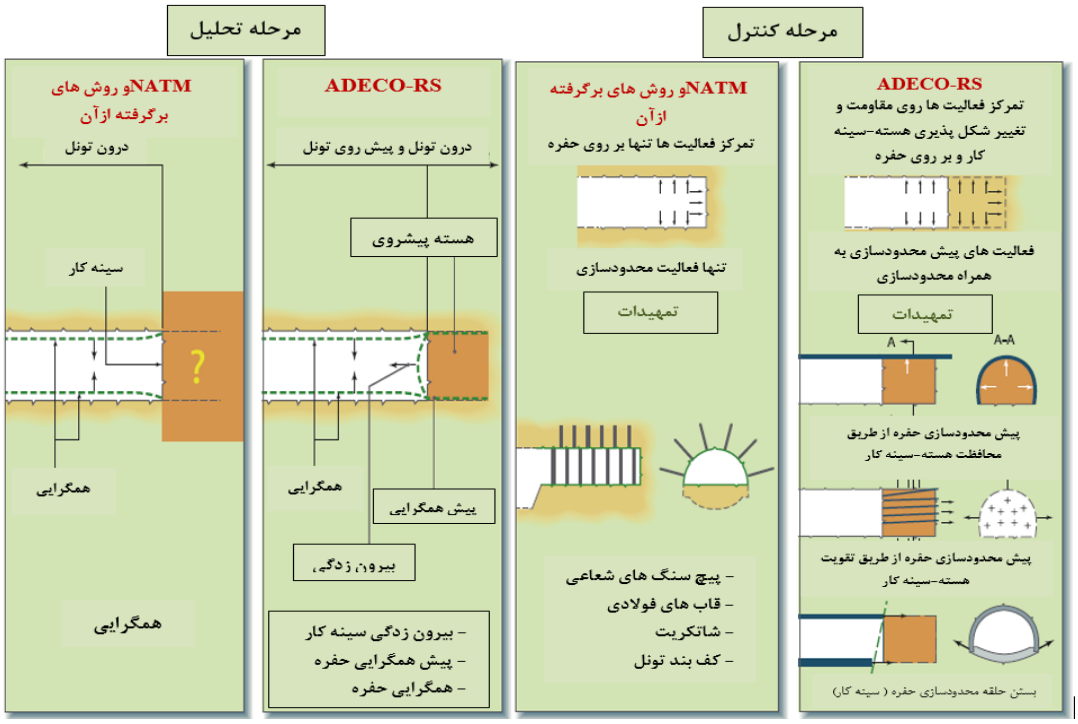
۳- حفاری با نگرش *ADECO-RS*

در روش *ADECO-RS* (*Analysis of Controlled Deformations in Rocks and Soils*) از طبقه‌بندی زمین جهت شناخت وضعیت سنگ و خاک اطراف تونل استفاده شده است. همچنین بر خلاف روش‌های دیگر تحلیل پایداری تونل که بیشتر معطوف به سقف و دیواره‌های تونل است در این روش علاوه بر سقف و دیواره‌ها به تحلیل پایداری جبهه کار توجه ویژه‌ای شده است.

در این خصوص اصطلاحات جدیدی مانند هسته-جبهه‌کار (*Core-face*) و هسته پیشروی (*Advance Core*) استفاده شده است *(Lunardi, 2008)*.

در روش *NATM* و حتی مکانیزه باتوجه به ماهیتشان نمی‌شود راه حلی ارائه گردد که قادر باشد در هر وضعیتی مراحل اجرایی طبق برنامه، از نظر مالی و برنامه‌ریزی و دیگر الزامات ضروری به‌طور شفاف و محتاطانه در جوامع مدرن، مدیریت شود. در این زمینه بود که روش تحلیل تغییر شکل‌های کنترل‌شده در سنگ و خاک *(ADECO-RS)* ارائه شده است. لونادری و تیم تحقیقاتی یک دوره طولانی از تحقیقات تئوریک و تجربی خارج از رویه‌های سنتی، این روش را تکمیل کرده‌اند. از ان پس اعتبار این روش در ساخت بیش از ۵۰۰ کیلومتر تونل که حداقل ۱۵۰ کیلومتر ان در شرایط بسیار سخت تنش-کرنش بوده آزمایش شده است *(Tonon, 2010)*.

برای رسیدن به درک درستی از اصول و مبنای روش *ADECO-RS*، مقایسه بین روش‌های حفاری *NATM* و *ADECO* در مرحله تحلیل و کنترل- پاسخ تغییر شکلی زمین در **شکل ۲**، به‌طور شماتیک آورده شده است *(Lunardi, 2008)*.



شکل ۲- مقایسه روش حفاری *NATM* و *ADECO-RS* در مرحله تحلیل و کنترل (پاسخ تغییر شکلی زمین) *(Lunardi, 2008)*

طبق نظرلوناردی نظریه مهندسی هسته (*The Core Engineering*) برای استفاده از هسته به عنوان یک روش پایدارسازی حفره مطرح شده است. بعضی از این موارد، راک بلت، شاتکریت و قطعات فولادی است که از آنها جهت پایدارسازی حفره استفاده شده است *(Tonon, 2011)*.

در ابتدا رابسویچ با تصور اینکه *NATM* الزاماً حفاری متوالی را شامل نمی‌شود، پیشروی تمام مقطع را مد نظر قرار داد، ولی دریافت که *NATM* این امکان را نمی‌دهد تا حفاری در شرایط تنش-کرنش سخت به‌صورت تمام‌مقطع پیشروی شود. تحقیقات و پروژه‌های انجام‌شده توسط لوناردی نشان داده است که به چه دلیل روش حفاری *NATM* نمی‌تواند در شرایط دشوار تونل‌سازی انجام شود. در این روش:

۱-رفتار هسته پیشروی نادیده گرفته شده است.

۲-به جای بی‌اثر کردن علل مختلف ناپایداری یعنی تغییر شکل هسته پیشروی، فقط سعی شده است تا همگرایی بی‌اثر شود.

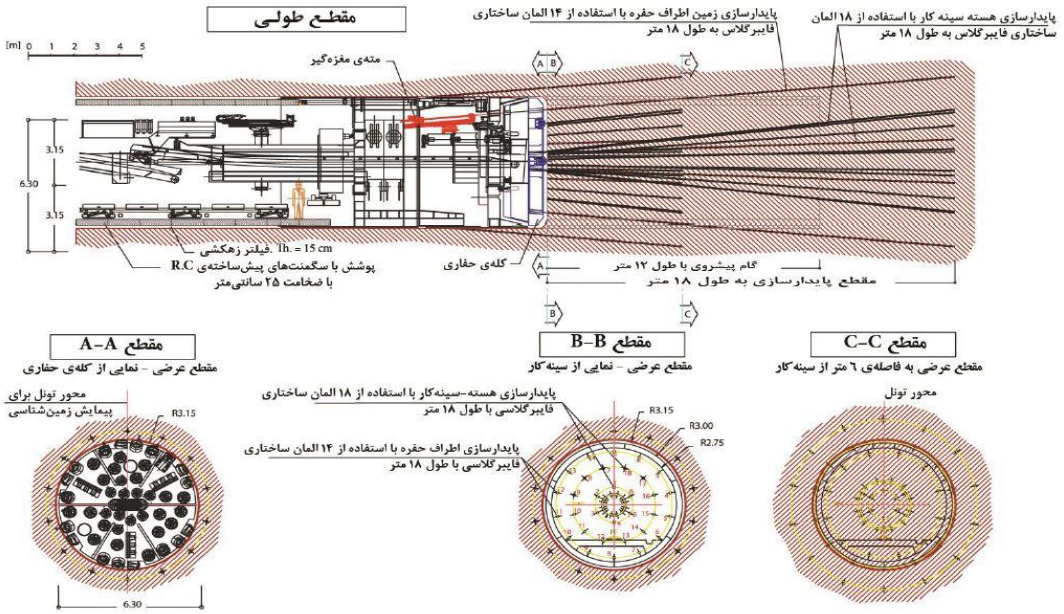
۳- از پوشش‌های تغییرشکل‌پذیر که اجازه می‌داد تا زمین تغییر شکل یافته و محدودسازی ناچیزی برای هسته فراهم شود، استفاده شده است.

۴-به زمین اجازه تغییر شکل داده می‌شود که این موضوع در شرایط مچاله‌شونده به زمین اجازه خزش می‌داد که یک پدیده برگشت‌ناپذیر است و کنترل آن تنها به وسیله حفره، بسیار مشکل می‌شود *(Lunardi, 2008)*. اکنون تکنولوژی‌های بسیار بهتری نسبت به سال‌های قبل در دسترس است (در مراحل بررسی، طراحی و ساخت) و می‌توان توان ساخت و محاسباتی بیشتری به‌کار برد و یک رویکرد طراحی و ساخت کامل، به‌وجود آورد که اجازه داده شود تا در تمام شرایط تنش-کرنش به‌صورت تمام‌مقطع پیشروی انجام شود. این رویکرد در بیش از ۵۰۰ کیلومتر از تونل‌هایی که عمده آن‌ها در شرایط سخت تونل‌سازی قرار داشته‌اند آزمایش شده است و این امکان را فراهم ساخته است تا با یک *TBM* و یا بدون آن کار پیشروی به اتمام برسد *(Lunardi, 2008)*.

از جمله تونل‌هایی که با این روش حفاری شد، تونل

خدماتی گینوری (*Ginori*) به سمت واگلیا (*Vaglia*) در ایتالیا است که کاربرد روش *ADECO* برای یک ماشین تمام مکانیزه *TBM*در حفر تونل به طول ۹/۲۶ کیلومتر و قطر داخلی ۵/۶ متر نشان داده شده است. با توجه به اینکه تونل خدماتی باید سریعاً از یک ورودی کامل می‌شده است و این مستلزم مقاوم بودن عملیات حفاری در تمام مدت، در برابر نفوذ آب است که از دستگاه حفاری تمام مکانیزه *TBM* استفاده شده است. از مشکلات زمین شناسی مسیر می توان به نوع زمین که از سنگ آهک تا آرژیلیت تغییر می کرده است، اشاره شود. تونل با یک *TBM* مجهز به تجهیزات حفاری، حفر گردیده است. به‌وسیله *TBM* از طریق سر برنده آن، حفاری و از طریق سپر، عملیات پیش‌محدودسازی انجام گرفته است و اطلاعات به‌دست آمده از هسته پیشروی توسط ژئورادار بررسی می شد. عملیات ساخت به موقع و با بودجه مناسب و سرعت پیشروی متوسط ۲۰ متر در روز تحت فشار آب ۵ بار به پایان رسیده است (*Lunardi, 2008*).

با توجه به **شکل ۳**، *TBM* طوری طراحی شد که ضمن پیشروی ، قابلیت بهسازی مطابق با شرایط مختلف ژئومکانیکی و عملیات مقاوم سازی هسته پیشروی و اطراف آن داشته است. تجهیزات حفاری در داخل سپر به گونه‌ای قرار گرفته شد که در حین پیشروی ماشین قابلیت حفر چال‌ها از میان روزنه‌های کاترهد وجود دارد و بر روی پوسته کاترهد امکاناتی به‌منظور بررسی، بهسازی و مقاوم سازی زمین (مطابق با اصول روش *ADECO-RS*) تعبیه شده است.



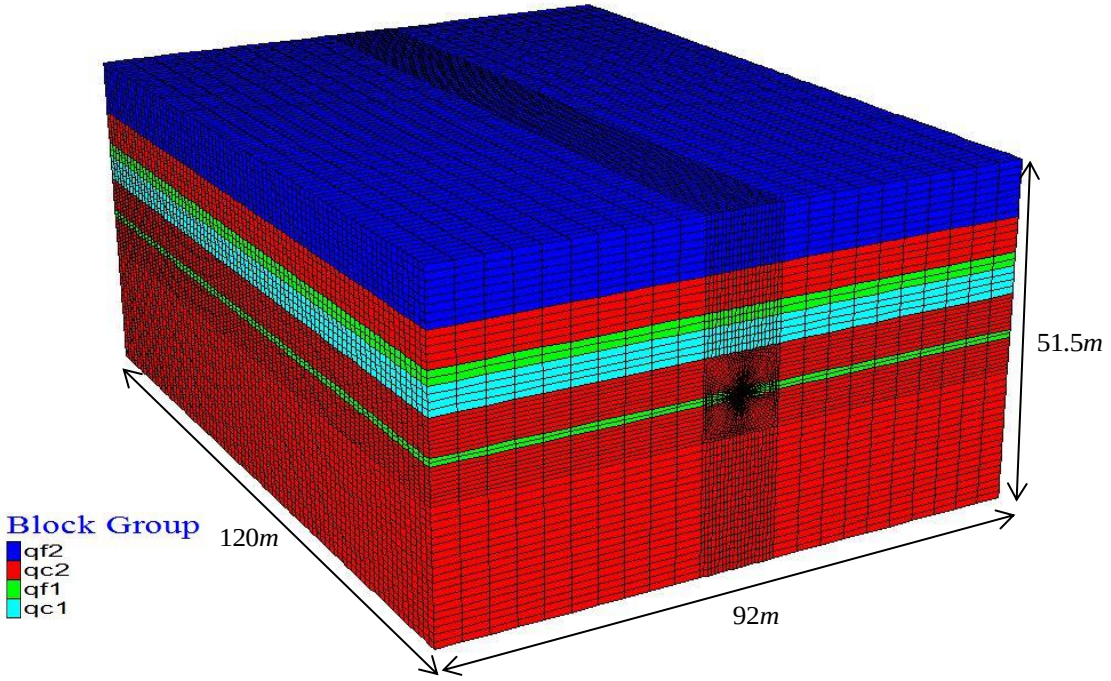
شکل ۳- حفاری مکانیزه تونل گینوری با روش *ADECO-RS*

برای اینکه تأثیر این روش حفاری بر نشست سطحی بررسی شود از داده‌های خط A مترو قم که به‌طور مکانیزه حفر شد، استفاده شده است. لازم به ذکر است که از آنجایی که حفاری در خط A مترو قم به‌صورت تعادلی با فشار زمین انجام شده است و فشار به سینه‌کار از بیرون زدگی هسته در جلوی جبهه کار جلوگیری می کند، پس برای کنترل هسته – جبهه کار با بررسی مرحله‌ای فشار سینه‌کار به‌وسیله *TBM-EPB* و با تمرکز بر روی کنترل همگرایی در اطراف هسته به پایداری حفره کمک شده است.

۴- مدل‌سازی عددی

در **شکل ۴**، مدل عددی ساخته شده در نرم‌افزار *FLAC 3D* نشان داده شده است. مشخصات و فرضیات در نظر گرفته شده در این مدل به شرح ذیل است.

هندسه مدل - ابعاد مدل به قدر کافی بزرگ درنظرگرفته می‌شود تا از تأثیر مرزهای مدل بر نتایج به‌دست آمده و ایجاد خطا جلوگیری شود، این در حالی است که افزایش ابعاد مدل منجر به افزایش حجم و زمان محاسبات و کاهش راندمان شبیه سازی می‌شود. بنابراین انتخاب ابعاد بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است. برای تعیین ابعاد بلوک باید در نظرداشت که ابعاد بلوک باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که موقعیت تنش‌ها در اطراف مرز بلوک، مستقل از آشفتگی میدان تنش در اطراف حفاری باشند و مقدار آنها با تنش‌های اولیه قبل از انجام حفاری برابر باشد. طبق معادلات کرش در فاصله ای دورتر از ۵ برابر شعاع تونل از محور آن، تنش‌ها به حالت اولیه خود می‌رسند همچنین روابط کرش مبتنی بر فرض الاستیک بودن محیط‌اند *(Chakeri, et al., 2013)*.



شکل ۴- مدل ساخته شده در نرم‌افزار *FLAC 3D*

با توجه به اینکه محیط حفاری در واقعیت از این فرض تبعیت نمی‌کند، بلوک‌هایی با ابعاد مختلف ساخته شده است و وضعیت کنتورهای تنش، پس از عملیات حفاری بررسی و مشاهده شده است که در فاصله ی بیش از ۸ برابر شعاع تونل از مرکز آن، وضعیت کنتورهای تنش به حالت اولیه خود باز گردیده است. ابعاد مدل ساخته‌شده بر اساس روباره و با رعایت آنچه گفته شده است، در راستای x (۴۶ و ۴۶-) و در راستای z (۲۵/۷۵ و ۲۵/۷۵-) و در راستای y (۱۲۰ و ۰) در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن شرایط مرزی صفحات جانبی و تحتانی مدل به ترتیب در راستای افقی و عمودی ثابت شده است. برای ایجاد شرایط برجا تنش‌های برجای قائم در مدل به‌صورت ثقلی و نسبت تنش‌های افقی به قائم برابر با ضریب فشار خاک در حال سکون-$k=1$ $sin(\varphi)$در نظر گرفته شده که در آن، ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است *(Tahouni, 2000)*.

مدل رفتاری مصالح-مدل رفتاری لایه‌های خاکی به‌صورت الاستیک-کاملاً پلاستیک (با معیار شکست مور - کولمب) انتخاب شده است. این مدل، رفتار مصالح را به‌صورت ارتجاعی-خمیری کامل در نظر می‌گیرد. این مدل به پنج پارامتر:چسبندگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، زاویه اتساع، مدول حجمی و مدول برشی خاک برای تحلیل نیازمند است *(Itasca Group, 2006)*.

محدوده پارامترهای مقاومتی لایه بندی خاک و مصالح پوشش تونل که از مطالعات آزمایشگاهی و برجا به‌دست آمده است که این آزمون های مقاومتی خاک که برای تعیین ویژگی‌های مقاومتی خاک در دو مرحله از مطالعات به تعداد قابل توجه بر روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده برداشت‌شده از گمانه‌ها و چاهک‌های حفرشده در مسیر پروژه انجام شده‌اند. در مرحله اول مطالعات، تعداد ۲۴ آزمون تک‌محوری، ۳۵ آزمون سه‌محوری و ۵۲ آزمون برش مستقیم بر روی نمونه‌های اخذشده از واحدهای خاکی مختلف در مسیر پروژه انجام شده است و سپس در مرحله دوم مطالعات نیز تعداد ۶۲ آزمون تک‌محوری، ۵۳ آزمون سه محوری و ۱۲۶ آزمون برش مستقیم بر روی نمونه های برداشت شده از گمانه‌ها و چاهک‌ها انجام شده است. نتایج آزمونهای مقاومتی مراحل اول و دوم مطالعات، همراه با نتایج به دست آمده از آزمون‌های صحرایی برش برجا در دو مرحله از مطالعات، برای تعیین ویژگی‌های مقاومتی خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این راستا بعد از حذف داده های با مقادیر نامعقول از لیست داده ها، از داده های باقیمانده برای تعیین پارامترهای مختلف در هر واحد خاکی متوسط گیری شده است. سرانجام با مقایسه نتایج آزمون‌های مختلف با یکدیگر، توسط تیم تحقیقاتی ژئوتکنیک پروژه، مطابق **جدول ۲**، پارامترهای مقاومتی مناسب برای واحدهای خاکی مختلف پیشنهاد گردیده است *(Sahel Institute, 2017)*.

انتخاب اندازه ی مش‌ها و فواصل بین گره‌ها هم از نظر دقت پاسخ‌های به‌دست آمده و هم از نقطه نظر مدت زمان لازم برای حل مسئله دارای اهمیت است. در این پژوهش جهت رسیدن بـه یک حالت بهینه، مدل‌هایی با ابعاد مش بندی متفاوت ساخته شد. درنهایت برای رسیدن به دقت مناسب، در اطراف محدوده حفاری، به دلیل آشفتگی در میدان های بـر جای تنش و همینطورجابجایی های بزرگتر، ابعاد مش‌ها نسبت به سایر نقاط، در مقاطع عرضی کوچک‌تر انتخاب گردیده است. ابعاد مش بندی ایجادشده باید تا حد امکان به شکل هندسی مکعب نزدیک شود. مش بندی در اطراف تونل ریزتر است زیرا تحلیل این ناحیه حائز اهمیت است و در نواحی کم اهمیت‌تر همچون نواحی مرزی از مش بندی درشت‌تری استفاده می‌شود. طول المان‌ها با توجه به شرایط هندسی هر قسمت از مدل متغیر است و تنها در راستای محور y (محور تونل) با توجه به رینگ، برابر ۱/۵ متر و یا مضربی از آن در نظر گرفته شده است.

به‌طور کلی مدل‌سازی عددی همواره با فرضیات و اصولی همراه است که نتایج با توجه به آنها حاصل می‌شود و لذا در این قسمت اصولی که دراین مدل سازی مورد استفاده قرار گرفته است، ارائه شده است. مدل رفتاری خاک الاستیک–پلاستیک کامل و معیار شکست مور-کولمب است. گپ پشت شیلد تا خاک در تونل برابر ۲/۵ سانتی‌متر و فشارسینه‌کار در قسمت تاج تونل برابر ۰/۲ بار است، میزان چگالی خاک داخل چمبر برابر $^{kN}/_{m3}$ ۱۷ است، فشار سینه‌کار به‌صورت خطی با افزایش عمق افزایش می‌یابد، میزان چگالی دوغاب تزریق برابر $^{kN}/_{m3}$ ۱۳ است، فشار دوغاب به‌صورت خطی با افزایش عمق افزایش می‌یابد، سگمنت‌های یک رینگ به‌صورت یکپارچه و متصل به یکدیگر مدل شده است *(Sahel Institute, 2013)*.

پروسه حفاری تونل خط A مترو قم در چند گام (با گام حفاری ۱/۵ متر) مدل‌سازی شده است. به‌منظور مدل‌سازی وجود گپ ما بین سپر و جداره حفاری، این امکان فراهم شده تا نقاط شبکه‌ای واقع بر سطح حفاری حداکثر به میزان اضافه حفاری ایجاد شده توسط کاترهد (۲۵ میلی‌متر) جابجا شوند.

قطر حفاری تونل خط A متروی قم ۹/۴ متر و حداقل قطر خارجی سپر ۹/۳۵ متر است. لاینینگ پوشش تونل به‌صورت الاستیک و با استفاده از المان‌های سازه‌ای پوسته مدل‌سازی شده است که خواص پوشش سگمنی تونل در **جدول ۳**، ارائه شده است.

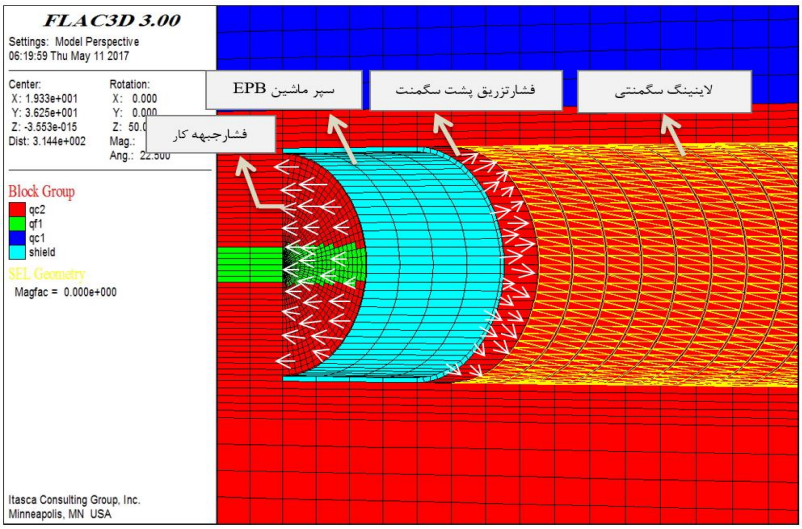
جدول ۳- خواص در نظر گرفته شده برای لاینینگ سگمنتی *(Sahel Institute, 2013)*

ضخامت (*cm*)	مدول الاستیته (*GPa*)	نسبت پواسون	دانسیته (Kg/m^3)
۳۲	۲۰	۰/۲	۲۵۰۰

به‌منظور مدل‌سازی برای اعمال فشار جبهه کار و تزریق پشت سگمنت فشار چمبر، جبهه کار حفاری با

اعمال بار گسترده خطی نگهداری شده است که مقادیر فشار جبهه‌کار وارد شده است. در مدل‌سازی عددی فشار بیشتری برای نگهداری جبهه کار نسبت به روش‌های تحلیلی و تجربی برآورد می‌شود *(Movahedi, et al., 2019)*.

فشار تزریق پشت سگمنت در سقف، ۰/۵ بار (۵۰ کیلو پاسگال) بیشتر از فشار نگهداری جبهه کار در تاج در نظر گرفته شده است که با فرض وزن مخصوص ۱۸ کیلو نیوتن بر مترمکعب به‌صورت بار گسترده خطی، به طول ۱/۵ متر (طول یک حلقه سگمنت) از سطح حفاری اعمال شده است. طریقه اعمال فشارجبهه کارو تزریق پشت سگمنت در این مدل‌سازی در **شکل ۵**، نشان داده شده است *(Sahel Institute, 2013)*.



شکل ۵- اعمال فشارجبهه کارو تزریق پشت سگمنت و مدل‌سازی لاینینگ در مدل عددی

بنابراین مراحل مختلف مدل‌سازی سه‌بعدی تونل که در ۷۵ گام ۱/۵ متری حفاری گردیده است، به‌ترتیب زیر انجام شده است:

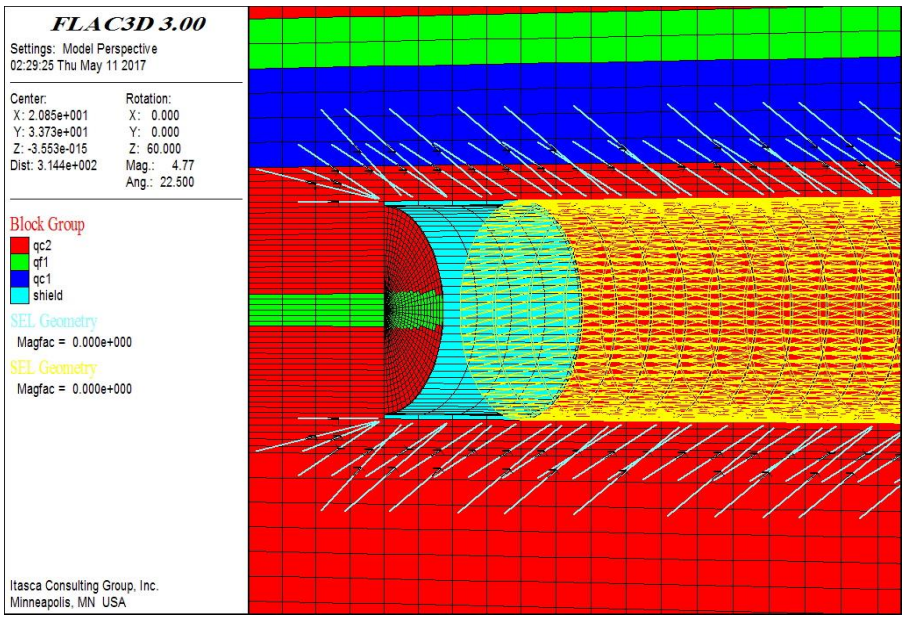
حفاری تونل به اندازه یک رینگ، اعمال فشار سینه کار، اجرای مدل تا ایجاد جابجایی به اندازه گپ بین شیلد و زمین، حرکت شیلد به جلو به اندازه یک رینگ در قسمت انتهایی شیلد، اجرای مدل تا ایجاد تعادل، حذف فشار تزریق، نصب سگمنت در قسمت انتهایی شیلد (در همان قسمتی که تزریق شده بود)، اجرای مدل تا ایجاد تعادل.

مهم‌ترین اصلی که در مورد روش *ADECO-RS* باید مورد توجه قرارگرفته شود، استفاده از هسته-جبهه کار به عنوان یک روش پایدارسازی حفره است. بعضی از این موارد، راک بولت، شاتکریت و قطعات فولادی است که از آنها جهت پایدارسازی حفره استفاده می‌شود. از آنجایی که در روش حفاری به‌وسیله *TBM-EPB*، فشار به سینه‌کار از بیرون‌زدگی هسته در جلوی جبهه کار جلوگیری می‌شود، پس تمرکز بر روی کنترل همگرایی در اطراف هسته است.

باتوجه به استفاده از داده‌های روش پیش نگهداری در بخشی از تونل پروژه مترو کرج که از نظر شرایط ژئوتکنیکی مسیر به شرایط پروژه قم نزدیک است از داده‌های پیش نگهداری این پروژه استفاده شده است. برای تقویت اطراف هسته این تونل از فایبرگلاس در پیشروی تونل به کار گرفته شده است *(Pardisan Institute, 2014)*.

برای مدل‌سازی حفاری روش *ADECO-RS* همانند فرضیات و اصولی که در روش حفاری با *TBM-EPB* بیان شد، در نظرگرفته شده است. مراحل مختلف مدل‌سازی سه‌بعدی تونل با توجه به نگرش *ADECO-RS* تمام مراحل بالاست با این تفاوت که پس از حرکت شیلد به جلو به اندازه یک رینگ در قسمت انتهایی شیلد، تزریق لوله‌های فایبرگلاس درهنگام حرکت شیلد به جلو برای پایدار سازی حفره انجام شده است و سپس ادامه مراحل صورت گرفته است. در مدل‌سازی *ADECO-RS* همانند تونل خدماتی گینوری به سمت واگلیا فرض بر تعبیه لوله‌های تزریق در داخل پوسته سپر دنباله و تزریق از انتهای سپر

است *(Lunardi, 2008)*. به این ترتیب امکان تزریق بلافاصله و همزمان با پیش روی سپر وجود دارد. طول فایبرگلاس تقریباًبرابر با ۳ متر (۲ برابر پوشش سگمنتی) در نظرگرفته شده است که در **شکل ۶**، چگونگی تزریق لوله‌های فایبرگلاس و پوشش سگمنتی به کار رفته در این تونل نشان داده شده است. در مدل‌سازی لوله‌های فایبرگلاس استفاده شده در روش *ADECO-RS* از المان ساختاری کابل استفاده شده است که خصوصیات المان ساختاری مدل در **جدول ۴**، ارائه شده است *(Itasca Group, 2006)*.



شکل ۶-حفاری با نگرش *ADECO-RS*

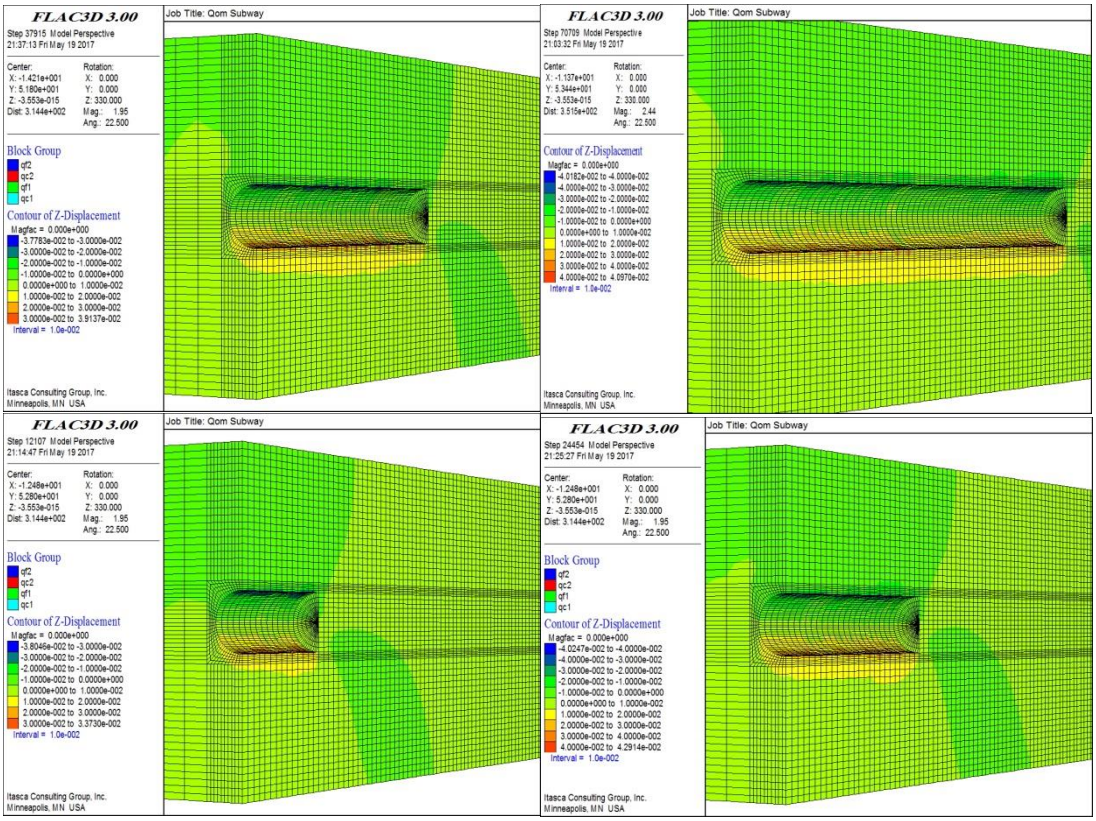
جدول ۴- خواص المان ساختاری کابل استفاده شده در مدل (خواص لوله‌های فایبرگلاس)
(Pardisan Institute, 2014)

پارامتر	مدول یانگ	مقاومت چسبندگی دوغاب	زاویه اصطکاک دوغاب	سختی دوغاب	مقاومت تراکم تسلیمی	مقاومت کششی تسلیمی	محیط آشکار دوغاب	سطح مقطع لوله
مقدار	۱۰۰e۹	۱e۱۱	۲۰	۷e۹	۱e۱۰	۱e۲۰	۰/۲۳۹	۴/۵e-۳

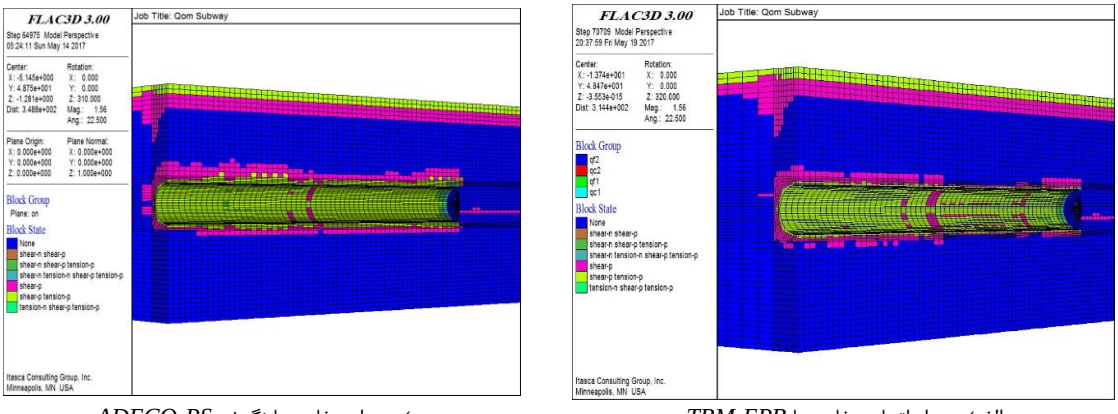
بنابراین با توجه به **شکل ۷**، کانتورهای جابجایی عمودی مدل درگام‌های مختلف حفاری در روش *ADECO-RS*، میزان جابجایی سینه‌کار کمتر از ۱ سانتی‌متر است که نشان‌گر صحت اعمال فشار سینه‌کار در مراحل مختلف حفاری است. همچنین میزان تغییرات کم وتقریباًثابت جابجایی عمودی در طول حفاری و سگمنت گذاری نشان‌دهنده درستی عملکرد حفاری کنترل شده به‌وسیله *TBM-EPB* با نگرش *ADECO-RS* است.

با توجه به محدوده زون پلاستیک در مقطع طولی پس از حفاری و نگهداری تونل با *TBM-EPB* ملاحظه می‌شود که گسترش زون پلاستیک قابل توجه است. همان‌طور که در **شکل ۸**، قابل مشاهده است با بررسی دقیقتر زون پلاستیک ایجاد شده بعد از حفاری، محدوده زون پلاستیک برشی حدودا تا ۵ الی ۶ متر اطراف تونل و تقریباً به ضخامت ۴ متر بعد از محدوده پلاستیک کششی تحت این محدوده می باشد. همچنین داخل تونل و تقریباً ۱/۷۵ متر از سطح زمین

تحت تأثیر زون پلاستیک کششی قرار می‌گیرد، که این زون نقش اصلی در میزان جابجایی‌های منجر به نشست را دارد، ولی در محدوده زون پلاستیک در مقطع طولی پس از حفاری تونل در روش *ADECO-RS* ملاحظه می‌شود که گسترش زون پلاستیک برشی حدودا تا ۱ الی ۲ متر اطراف تونل و تقریبأبه ضخامت ۳ متر بعد از محدوده پلاستیک کششی است. همچنین داخل تونل و تقریباً ۲ متراز سطح زمین تحت تأثیر زون پلاستیک کششی قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده تأثیر این روش در زون‌ها است.



شکل ۷-کانتورهای جابجایی عمودی مدل در گام‌های مختلف حفاری با نگرش *ADECO-RS*



الف) بعد از اتمام حفاری با *TBM-EPB*

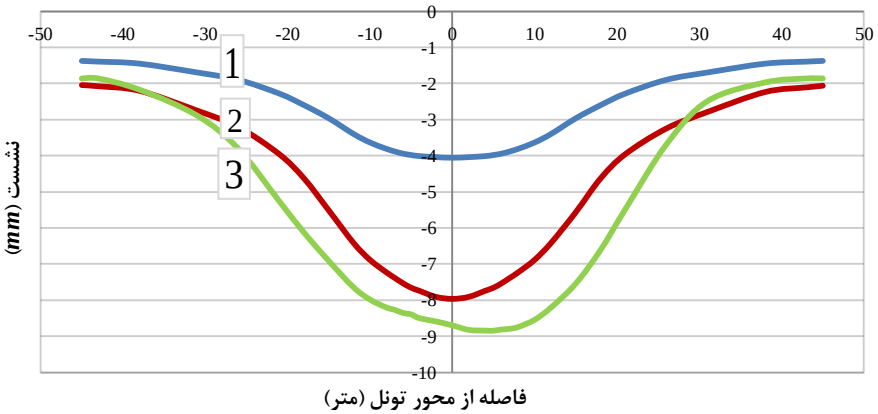
ب) بعد از حفاری با نگرش *ADECO-RS*

شکل ۸- گسترش زون پلاستیک مقطع طولی تونل

بررسی رفتار یک سازه زیرزمینی مانند تونل، در زمان اجرا و حین بهره‌برداری از طریق ابزاربندی صورت می‌گیرد. ابزاربندی و رفتارنگاری سطح اجازه نظارت بر تغییر شکل‌ها و جابجایی‌ها در زمین و سازه‌های اطراف را در مراحل مختلف پروژه می‌دهد. در پایان به‌منظور اعتبارسنجی تحلیل‌های نشست حاصل از روش عددی از داده‌های رفتارنگاری جمع‌آوری‌شده توسط تیم رفتارنگاری قطار شهری قم استفاده می‌شود. مطابق شکل ۹ پروفیل عرضی نشست سطح زمین درحفاری با *TBM-EPB* وحفاری با نگرش *ADECO-RS* که در بخش‌های قبلی به‌دست آمده بود با پروفیل رفتارنگاری مقایسه شده است.

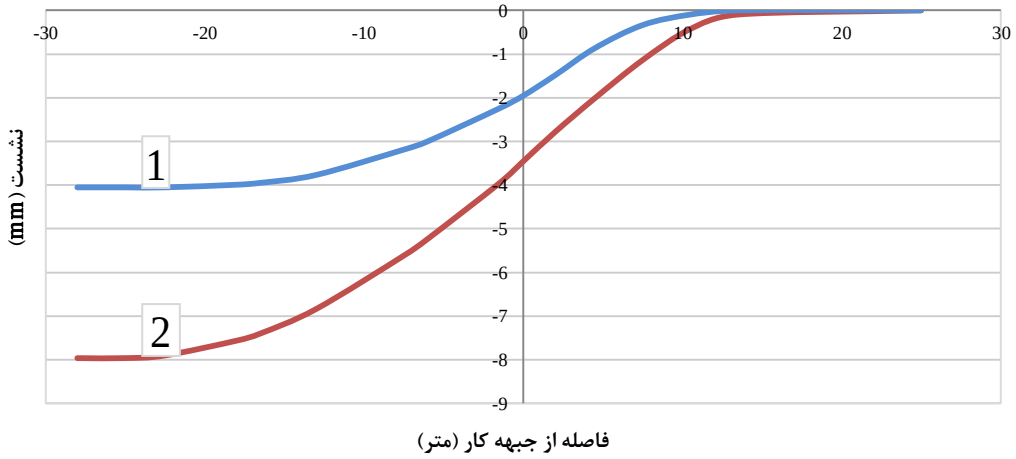
با حرکت از جبهه کار به سمت بخش‌های حفاری‌شده، از تغییرات پهنای گودی نشست کاسته ولی به مقدار نشست حداکثر افزوده شده است. این افزایش به تدریج تا مقطع نشست حداکثر (فاصله‌ی $3D$ پشت جبهه کار) ادامه می‌یابد ولی از این فاصله به بعد با دور شدن از جبهه کار از مقدار نشست حداکثر در مقطع عرضی اندکی کاسته شده و سرانجام اندازه‌ی نشست به یک مقدار پایدار میل نموده است *(Rahmannejad, et al., 2013)*.

همان‌طور که در پروفیل‌های **شکل ۹**، نشان داده‌شده است در پروفیل ۲ میزان حداکثر نشست محاسبه‌شده با روش عددی در سطح زمین پس از انجام مراحل حفاری با *TBM-EPB* ۷/۹۶۴ میلی متر است و در مقایسه با پروفیل ۳ که حداکثر نشست رخداده در واقعیت را نشان داده است و مقدار آن ۸/۸۴۵ میلی‌متر می باشد، مقدار قابل قبولی است. همچنین مطابق پروفیل ۱ در روش *ADECO-RS* نشست رخداده در سطح زمین ۴/۰۵۴ میلی‌متر می باشد که به اندازه ۳/۹۱ میلی‌متر نشست حاصل از روش عددی *TBM* را کاهش داده است. مشاهده می‌شود که مقادیر نشست در مدل‌سازی عددی حفاری با *TBM-EPB* نزدیک به مقادیر نشست رخداده در واقعیت هستند که نشان‌دهنده صحت نتایج عددی است.



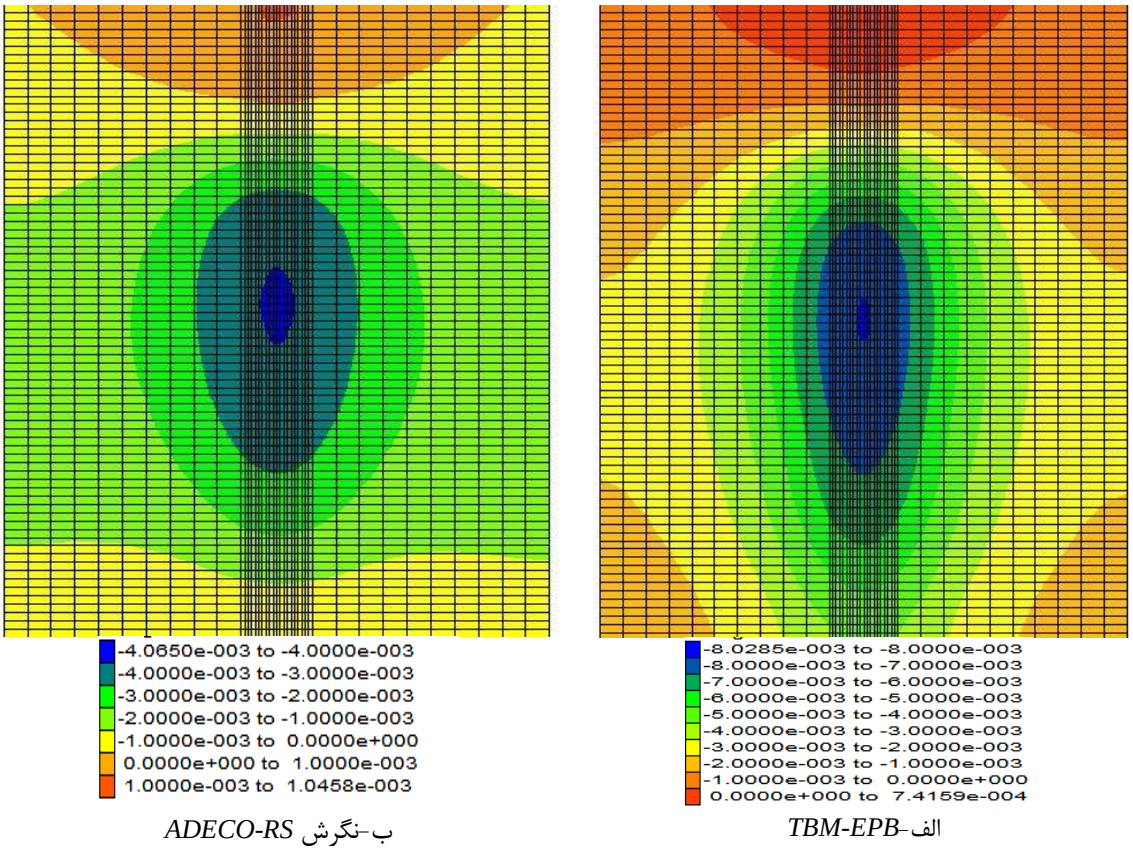
شکل ۹- مقایسه پروفیل عرضی نشست سطح زمین

همان‌طور که در پروفیل‌های طولی **شکل ۱۰**، نشان داده‌شده است مقدار حداکثر نشست در پروفیل ۲ که مربوط به حفاری با *TBM-EPB* تقریباًدر فاصله حدود ۲۲/۵ متری در پشت جبهه کار ثابت می‌شود. همچنین ملاحظه می‌شود تقریباً در فاصله ۱۲متری جلوی جبهه کار نشست زمین آغاز می‌شود. مطابق پروفیل ۱ در شکل ۱۰ که مربوط به حفاری با نگرش *ADECO-RS* است و مقدار حداکثر نشست تقریباً در فاصله حدود ۱۵ متری در پشت جبهه کار ثابت می‌شود. همچنین تقریباً در فاصله ۱۰/۵ متری جلوی جبهه کار نشست زمین آغاز می‌شود. از آنجایی که روش *ADECO-RS* با نگرش کنترل هسته-جبهه کار مورد توجه قرار می‌گیرد و همچنین در روش حفاری به‌وسیله *TBM-EPB*، فشار به سینه‌کار از بیرون زدگی هسته در جلوی جبهه کار جلوگیری می کند، پس تمرکز فقط بر روی کنترل همگرایی در اطراف هسته قرار گرفته است، که این کاهش ۷/۵ متری به‌وسیله روش *ADECO-RS* در پشت جبهه کار نشان‌دهنده تقویت اطراف هسته بوده و در این روش کاهش ۱/۵ متری جلوی جبهه کار نیز وجود داشته است.



شکل ۱۰- مقایسه پروفیل طولی نشست سطح زمین

کانتور نشست سطح زمین که با عبور *TBM* و حفر تونل، با روش‌های حفاری به‌وسیله *TBM-EPB* و همچنین با نگرش *ADECO-RS* در سطح زمین ایجاد شد، در **شکل ۱۱**، نشان داده شده است.



ب-نگرش *ADECO-RS* الف-*TBM-EPB*

شکل ۱۱- کانتور نشست سطحی زمین دراثر حفاری تونل

با توجه به **شکل ۱۱**، در حفاری به روش *TBM-EPB* حداکثر نشست سطح زمین تقریباً برابر ۸/۳۶ میلی‌متر است. همچنین در اثر حفاری تونل به طریق *ADECO-RS* حداکثر نشست سطح زمین تقریباًبرابر ۴/۰۶۵ میلی‌متر است و گسترش زون بیضی شکل نشست ۷ الی ۸ میلی‌متری حین حفاری به روش *TBM-EPB* بدون در نظر گرفتن روش *ADECO-RS* در ابعاد ۴۴×۱۶ متری رخ داده است که زون نشست ۳ الی ۸ میلی‌متری در ابعاد ۹۱×۶۰ متری رخ می‌دهد. با کنترل نشست و در واقع کنترل هسته توسط روش *ADECO-RS* ، حالت بیضی شکل کانتور نشست به سمت دایره‌ای شدن با شدت مقدار نشست تقریباً نصف روش حفاری با *TBM-EPB*، در زون نشست ۳ الی ۴ میلی‌متری به ابعاد تقریبی ۴۰×۱۸ متری پیش رفته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پروژه ابتدا به بررسی نشست توسط نرم‌افزار عددی*FLAC3D* برای حفاری مکانیزه خط *A* متروی قم که توسط *TBM-EPB* حفر گردیده است، پرداخته شد. سپس با در نظر گرفتن رویکرد *ADECO-RS* در حفاری خط *A* متروی قم بررسی عددی نشست توسط همان نرم‌افزار انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های عددی در قالب پروفیل‌های عرضی و طولی نشست برای مقطع مورد نظرارائه شد.

به‌منظور مقایسه مقادیر تحلیل‌های نشست حاصل از روش عددی و همچنین اعتبار بخشیدن به آن از نتایج رفتارنگاری استفاده شد. مقدار حداکثر نشست در حین حفاری با *TBM-EPB* در روش عددی ۷/۹۶۴ میلی‌متر در واقعیت ۸/۸۴۵ میلی‌متر به‌دست آمد، که اختلاف کم روش عددی با واقعیت نشان از صحت انجام مدل‌سازی می باشد.

با توجه به رویکرد *ADECO-RS* در کنترل هسته-جبهه کار مقدار حداکثر نشست ۴/۰۵۴ میلی‌متر با کاهش تقریباً ۴ میلی‌متری نسبت به روش عددی حفاری با *TBM-EPB* (۷/۹۶۴ میلیمتر) به‌دست آمد. به‌وسیله پروفیل طولی، در این روش مقدار حداکثر نشست تقریباًدر فاصله حدود ۱۵ متری در پشت جبهه کار، که نسبت به حفاری با*TBM-EPB* در فاصله حدود ۲۲/۵ متری در پشت جبهه کار ثابت شد. این کاهش ۷/۵ متری به‌وسیله روش *ADECO-RS* در پشت جبهه کار و همچنین کاهش ۱/۵ متری جلوی جبهه کار نشان‌دهنده صحت کنترل هسته-جبهه کار و درنتیجه صحت کنترل نشست می باشد.

با توجه به کانتور نشست سطحی زمین در روش حفاری با نگرش *ADECO-RS*، تمرکز میدان نشست در طول تونل کمتر شده است و این باعث می‌شود تونل‌سازی با ایمنی بالاتری نسبت به روش حفاری *TBM-EPB* انجام شود.

باتوجه به اطلاعاتی که از متروی قم اعم از خصوصیات زمین‌شناسی و دسترسی به داده‌های رفتارنگاری موجود بود و نیز استفاده از داده‌های روش پیش‌نگهداری در بخشی از تونل پروژه مترو کرج که از نظر شرایط ژئوتکنیکی مسیر به شرایط پروژه قم نزدیک است، باعث شد تا علاوه بر بررسی نشست حاصل از حفاری با *TBM-EPB*، بررسی روش *ADECO-RS* را در حفاری مکانیزه با *TBM-EPB* که خود مکانیزم تعادلی با زمین را دارا می باشد و کنترل نشست خیلی بالایی نسبت به روش *NATM* را دارد، انجام شود. بنابراین هدف نشان دادن کاهش میزان نشست و همچنین کنترل آن بوده است.

با توجه به نتایج این پژوهش و ۵۰۰ کیلومتر تونلی که در اروپا با حالات مختلف روش *ADECO-RS* انجام شد، می‌توان گفت که صنعتی سازی فرآیند تونل‌سازی با ایجاد نرخ تولید خطی، معتبر و قابل اجرا بودن این روش در تمامی انواع زمین تحت شرایط گوناگون استاتیکی و دارای قابلیت تفکیک مرحله یا زمان طراحی از مرحله یا زمان ساخت، از ویژگی‌های آن است.

بررسی نشست در این پروژه نشان داد که می‌توان با کنترل نشست توسط روش *ADECO-RS*، حتی مشکلات ناشی از نشست در احداث تونل‌های با روباره‌های خیلی کمتر از این مقطع مورد مطالعه از متروی قم، را به حداقل رساند.

به خاطر قابلیت طراحی و برنامه‌ریزی پروژه‌ها با قابلیت اطمینان بالا به لحاظ تخمین زمان نسبی و هزینه‌ها در مرحله طراحی و کنترل ساخت در این روش، می‌توان به نتایج درست و قابل اتکایی در بحث زمان‌بندی مربوط بین کارفرما و پیمانکار رسید.

۶- مراجع

Chakeri. H., Ozcelik. Y., Unver.B. (2013). Effects of important factors on surface settlement prediction for metro tunnel excavated by EPB. Tunnelling and Underground Space Technology, pp 14-23.

Itasca Consulting Group Inc.(2006). Minneapolis, MN User's Manual,Version 3.00-257.

Lunardi. P. (2008). Design and Construction of Tunnels, Analysis of Controlled Deformations in Rock and Soils (ADECO-RS), Springer.

Movahedi. F., Soltani. F., Jalalifar. H., Mohammadi. H. (2019). Investigation of Jamming Possibility of Tunnel Boring Machine (TBM) –A Case Study: Qom Metro Project. Tunneling & Underground Space Engineering.

Pardisan Consulting Engineers Institute.(2014). Excavation and monitoring data Reports of Karaj Metro Tunnel.

Qom urban railway organization.(2012). Geological and Geotechnical Report of Qom Metro Tunnel.

Rahmannejad. R., Esfandiary. M., Namazi. E., Jamshidi. H. (2013). Numerical Analysis of Longitudinal and Transverse Surface Settlement Induced by EPB Tunneling- A Case Study: Shiraz Subway Tunnels. Tunneling & Underground Space Engineering.

Suwansawat. S.(2002). PhD. Thesis. Earth pressure balance (EPB) shield tunneling in Bangkok: Ground Response and Prediction of Surface Settlements Using Artificial Neural Networks. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Sahel Consulting Engineers Institute. (2017). lining segment Report of Qom Metro Tunnel

Sahel Consulting Engineers Institute. (2018). Excavation and monitoring data Reports of Qom Metro Tunnel.

Tonon. F.(2010). Sequential excavation, NATM and ADECO: What they have in common and how they differ. Tunnelling and Underground Space Technology, pp 245-265.

Tonon. F. (2011). Sequential excavation, ADECO full-face tunnel excavation of two 260 m2 tubes in clays with sub-horizontal jet-grouting under minimal urban cover. Tunnelling and Underground Space Technology, pp 235-266.

Tahouni. S. (2000). Geotechnical Engineering, soil mechanic.

tuse.shahroodut.ac.ir

Tunneling & Underground Space Engineering

(TUSE)

Volume 9-Issue 1\Spring 2020

نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی

Control of Settlement Affected Excavation by TBM-EPB with ADECO-RS Approach in Urban Area using Numerical Analysis – A Case Study: Qom Subway Line A

R. Pouryani[1]*; A. Alianvari[2]; M. Noriyan[3]

1- M.Sc. Student of Mining Engineering; Faculty of Engineering, Kashan University, r.pouryani@yahoo.com

2- Assistant Professor; Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Kashan University, ali_aalianvari@kashanu.ac.ir

3- Assistant Professor; Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Kashan University ,noriyan@kashanu.ac.ir

Received: 28 Feb 2019; Accepted: 12 Sep 2019

DOI: 10.22044/tuse.2020.8097.1355

Keywords

Settlement
Mechanized tunneling
EPB
ADECO-RS
Qom Subway tunnel
Instrumention data
Numerical modeling

Extended Abstract

Summary

A major concern about construction of tunnels is to predict and control ground displacement. Settlement control of shallow depth and sensitive environment is one of the most tunneling issues. Numerical simulation is commonly used in many tunneling projects to predict surface settlements. Since the excavation environment is continuous, to analyze the excavated tunnel based on the numerical method, we used the Flac 3D software. The Qom metro project is one of important urban tunneling projects in Iran. In this project, about 10 kilometers of the entire tunnel are excavated by an earth pressure balance (EPB) shield TBM.

Introduction

Qom Subway line A project has been excavated by an earth pressure balance (EPB) machine. New excavation method has been introduced, which is based on controlled core-face tunnel that is indeed controlled deformation rocks and soils (ADECO-RS) in tunnel. Numerical simulations are used to predict surface settlement for the Qom tunnel by TBM-EPB with and without considering ADECO-RS approach. The longitudinal, transverse and contour surface settlements obtained by numerical analyses are compared with each other. The obtained numerical results for excavation with TBM-EPB have been confirmed by the monitoring data using the installed instruments in the site.

Methodology and Approaches

In this study, the Flac3D software has been employed for carrying out three-dimensional (3D) numerical modeling of control settlement. In addition, the Mohr-Coulomb criterion has been considered for geo-mechanical behavior of soil material surrounding the tunnel. The results of numerical modeling have been verified by the data obtained from monitoring instruments installed in the site.

Results and Conclusions

The numerical results have shown that the maximum transverse surface settlement of excavation by TBM-EPB with ADECO-RS approach is around 50% of the maximum surface settlement of the excavation by TBM-EPB. In addition, longitudinal profiles have shown that maximum surface settlement occurred due to excavation by TBM-EPB with ADECO-RS approach is about 15 m behind face of the tunnel that is a decrease of 7.5 m in the surface settlement without ADECO-RS approach. The results have shown that control of core face leads to control of surface settlement, and the ADECO-RS approach can be used for control of surface settlement trough induced by tunneling in the similar ground and excavation conditions as Qom subway tunnels.