مطالعه عددی نشست تونل خط ۲ قطار شهری تبریز به‌دلیل حفاری‌های احتمالی در مجاورت مسیر مترو

میرهادی میرنقی زاده
دانشجوی دکتری خاک و پی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
پست الکترونیک:
mirnaghizadeh.mirhadi@stu.razi.ac.ir

محمد حاجی عزیزی*
دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
پست الکترونیک:
mhazizi@razi.ac.ir

امروزه حفاری، برای ساخت فونداسیون ساختمان‌های بلند، زیرزمین‌ها، پارکینگ‌ها و غیره مورد نیاز می‌باشد. از آنجاکه فضای موجود در مناطق شهری، محدود است؛ بنابراین برخی از این حفاری‌ها در مجاورت تونل مترو انجام می‌گیرد که ممکن است باعث جابه‌جایی اضافی پیش‌بینی نشده در تونل شده و در نتیجه عملکرد تونل را تحت تأثیر قرار دهد. در این مقاله، نشست احتمالی در کف و تاج تونل خط ۲ قطار شهری تبریز ناشی از حفاری‌های جدید احتمالی با فواصل افقی متفاوت از مترو و ابعاد مختلف حفاری با نرم‌افزار المان محدود مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد نشست رو به پایین تاج تونل، کاهش یافته ولی تغییرشکل رو به بالای کف تونل، افزایش پیدا می‌کند. تغییرشکل کف تونل از ۶۲ تا ۱۱۳ میلی‌متر و تغییرشکل تاج تونل از ۱۶ تا ۵۸ میلی‌متر با توجه به ابعاد حفاری و فاصله افقی از مترو متغیر می‌باشد.

واژگان کلیدی: حفاری، مترو تبریز، المان محدود، نشست.

۱- مقدمه

حفاری یکی از مسائل مهم در مهندسی ژئوتکنیک است. تا آنجاکه برای اجرای شالوده ساختمان‌های بلند یا زیرزمین و غیره انجام عملیات حفاری، ضروری است. در سال‌های اخیر در برخی از شهرها برای کاهش حجم ترافیک، توسعه مترو و فضاهای زیرزمینی در دستور کار متولیان شهری قرار گرفته است. توسعه ساخت‌وساز در شهرها لزوم اجرای حفاری در مجاورت و بالای مسیر تونل‌ها را باعث شده است. این نوع حفاری‌ها عملکرد تونل‌های موجود را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱ و ۲]. اثر این نوع حفاری‌ها بر تونل‌های مجاور، توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، لانگچوان[1]، اثرات ناشی از حفاری در تونل زیرین شانگهای را گزارش کرده است [۳]. تغییرشکل تونل‌های موجود، یک شاخص مهم به خاطر نظارت آسان در ارزیابی حفاری است؛ بنابراین تحقیقات مبنی بر پیش‌بینی تغییرشکل در این زمینه بسیار حیاتی می‌باشد. مطالعات مربوط را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

۱- روش‌های تحلیلی و یا نیمه تجربی [۴- ۶].
۲- مدل‌های آزمایشی و میدانی [۷- ۹].
۳- شبیه‌سازی عددی [۱۰- ۱۴].

شبیه‌سازی‌های عددی به‌طور گسترده برای مطالعه اندرکنش بین حفاری‌های جدید و تونل‌های موجود استفاده می‌شود. به‌منظور بررسی اثر حفاری‌ها در تونل‌های موجود، تحقیقات بسیاری انجام شده است. در

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۱۲، بازنگری ۱۳۹۶/۰۹/۲۵، پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۰۷.
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22091/cer.2017.1475.1059

[1]- Longchuan

برخی از موارد، نتایج نظارت شده با نتایج آنالیز عددی مقایسه گردیده و در برخی دیگر فقط شبیه‌سازی‌های عددی انجام گرفته است. در ادامه، به چند مورد از تحقیقاتی که مربوط به اثر حفاری‌ها در مجاورت متروهای سایر شهرهای جهان انجام گرفته است، اشاره می‌شود.

شارما[۲] و همکاران، اثرات حفاری در مجاورت تونل دوقلو در سنگاپور را با استفاده از نرم‌افزار المان محدود CRISP بررسی کردند. نتایج نشان داد که جابه‌جایی محاسبه شده با نرم‌افزار، بزرگ‌تر از مقادیر مشاهده شده از ابزار دقیق است. همچنین مشخص شد سختی لاینینگ[۳] اثر قابل‌توجهی در جابه‌جایی‌های تونل ناشی از حفاری‌های مجاور دارد [۷]. در سال ۲۰۰۱، اثرات حفاری بر تونل زیرین با استفاده از نرم‌افزار المان محدود CRISP بررسی شد. نتایج نشان داد که حفاری‌ها اثر چشمگیری در عملکرد تونل دارد. همچنین مشاهده شد، توافق خوبی بین نتایج حاصل از آنالیز عددی و نتایج مانیتورینگ وجود دارد [۱۵]. محققینی دیگر نیز پاسخ سیستم حمل‌ونقل سریع (TRTS[۴]) تونل در مجاورت حفاری را مطالعه کردند. ملاحظه شد حرکاتی که توسط تونل در اثر حفاری، تحمل می‌شود به شکل تونل و لاینینگ تونل بستگی دارد [۱۶]. اثرات حفاری عمیق در مجاورت مترو شانگهای در سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برای کاوش‌های عمیق در خاک‌های اشباع نرم و نزدیک به مجاورت تونل‌های دوقلو مترو، بسیار مهم است که از طراحی و اندازه‌گیری ساخت‌وساز مبتنی بر کنترل تغییرشکل استفاده شود [۱۷]. کارکی[۵]، مطالعه پارامتریک در مورد اثرات حفاری در تونل دایره‌ای در خاک ریزدانه را با استفاده از نرم‌افزار المان محدود پلکسیس[۶] دوبعدی در سنگاپور انجام داد. براساس نتایج، مشاهده شد که این نرم‌افزار، ابزاری ارزشمند برای مدل‌سازی فرآیندهای فرآیندهای ساخت‌وساز در ارتباط با تونل‌زنی و کاوش‌های عمیق در محیط شهری می‌باشد [۱۸]. در سال ۲۰۰۸، آنالیز عددی در اثر حفاری گود در مجاورت تونل موجود با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس دوبعدی توسط پژوهشگران انجام گرفت. نتایج نشان داد که هر دو جابه‌جایی عمودی و افقی تونل با افزایش عمق تعبیه شده تونل در زیر حفاری، کاهش می‌یابد [۱۹]. چن[۷] و همکاران، مطالعه عددی بر روی حرکت در تونل موجود با توجه به حفاری در شانگهای را انجام دادند. در این مطالعه، نرم‌افزار المان محدود آباکوس دوبعدی برای شبیه‌سازی استفاده شد. مطالعه پارامتریک نشان داد که تقسیم کل حفاری به چند حفاری و نصب شمع‌های مقاوم در برابر تونل باعث کاهش جابه‌جایی قائم تونل می‌شود [۲۰]. هوانگ[۸] و همکاران نیز مطالعه‌ای پارامتریک بر روی تأثیر حفاری در نزدیکی تونل موجود شانگهای با استفاده از نرم‌افزار المان محدود پلکسیس سه‌بعدی را انجام دادند. براساس نتایج، مشاهده شد که تأثیر حفاری در تونل در فاصله‌ای حدود پنج برابر عرض حفاری در امتداد محور تونل، قابل‌توجه است [۲۱]. ونگ[۹] و همکاران، اثر حفاری در مجاورت مترو را با استفاده از نرم‌افزار المان محدود MIDAS\GTS3D مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق، جابه‌جایی و نیروی داخلی تونل با توجه به حفاری، بررسی شد و ملاحظه گردید، هنگامی‌که فاصله بین حفاری و تونل بیش از ۴ برابر قطر تونل می‌باشد؛ اثر حفاری بر رفتار تونل چشمگیر نیست [۲۲].

در مقاله حاضر، سعی شده است تا با توجه به فاصله کم تونل متروی خط ۲ قطار شهری تبریز نسبت به سطح زمین، اثر حفاری‌های احتمالی انجام گرفته در مجاورت مترو ارزیابی شود. بررسی اثرات حفاری‌های محتمل آتی در مسیر تونل از جمله گودبرداری‌ها و ترانشه‌ها برای

[2]- Sharma
[3]- Lining Stiffness
[4]- Taipei Rapid Transit System
[5]- Karki
[6]- PLAXIS
[7]- Chen
[8]- Huang
[9]- Wang

تأسیسات زیرزمینی در رفتار و نشست تونل حائز اهمیت می‌باشد و تاکنون مطالعاتی در این حوزه انجام نگرفته است. از این‌رو در این پژوهش، اثرات حفاری در فواصل مختلف نسبت به تونل متروی خط ۲ قطار شهری تبریز و ابعاد مختلف حفاری (مطالعه موردی) بررسی شده است.

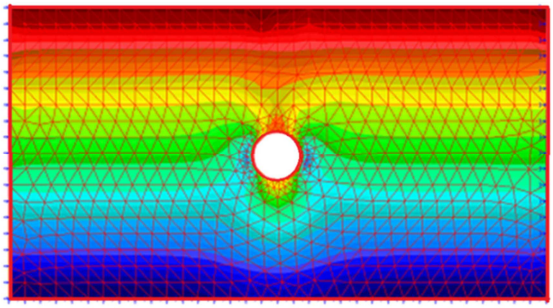
۲- روش تحقیق

در این مقاله، مدل‌سازی‌ها با نرم‌افزار المان محدود پلکسیس انجام شده است. این نرم‌افزار، یکی از نرم‌افزارهای قدرتمند در طراحی و حل مسائل ژئوتکنیکی (طراحی سدهای خاکی، دیوارهای نگهبان و حائل، شیروانی‌ها، حفاری، مترو و غیره) می‌باشد. در تحلیل عددی برای هر مسئله ژئوتکنیکی، مراحل مشخصی وجود دارد که رعایت آنها در تحلیل، ضروری است. این مراحل در تمامی نرم‌افزارهایی که با روش‌های عددی در حل مسائل ژئوتکنیکی به‌کار گرفته می‌شوند از جمله نرم‌افزار پلکسیس، دارای اصول مشابهی هستند که عبارتند از: تعریف هندسه مسئله، اعمال شرایط مرزی، مش‌بندی و حل مسئله. در این پژوهش، تأثیر حفاری‌های سطحی بر روی تغییرشکل تاج و کف تونل مترو تبریز بررسی شده است. لازم به ذکر است مدل رفتاری خاک با مدل موهرکولمب فرض شده و در اطراف تونل از مش‌بندی ریزتری نسبت به سایر نقاط استفاده شده است. حفاری‌هایی که در مسیر تونل مترو می‌تواند در فواصل مختلف ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ از مترو رخ دهد، با عرض‌های متغیر ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۴۰ و ارتفاع‌های ۴ و ۸ بررسی شده است.

۲-۱- صحت‌سنجی نرم‌افزار

برای تعیین صحت انجام محاسبات، یک مدل (تونل مترو خط ۳ قاهره) از مقاله مرجع [۲۳] انتخاب و مدل‌سازی شد. پارامترهای خواص ژئوتکنیکی به‌کار رفته در مدل‌سازی عددی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

در شکل ۱ مدل المان محدود از مترو قاهره نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل صحت‌سنجی براساس مقاله مرجع [۲۳]

جدول ۱- خواص مکانیکی لاینینگ تونل مترو خط ۳ قاهره

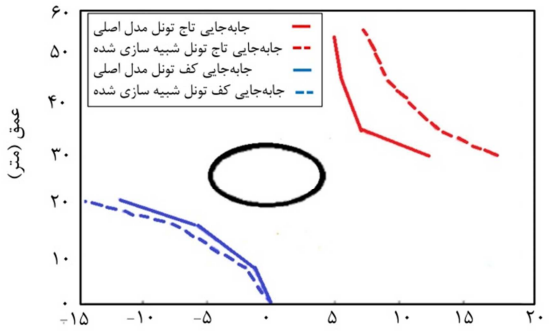
نوع	مدول الاستیسیته (t/m^2)	ضخامت (cm)	F_c (t/m^2)	وزن مخصوص (t/m^3)	ضریب پواسون
لاینر تونل	$۲/۱\times۱۰^{۶}$	۵۰	۴۰۰۰	۲/۵	۰/۲

جدول ۲- خواص ژئوتکنیکی در خط ۳ مرکز شهر قاهره

	خاک دستی	ماسه لایه بالایی	ماسه لایه وسط	رس سیلتی	ماسه لایه پایین
وزن مخصوص	۱/۷	۱/۹	۱/۹۵	۱/۸	۱/۹۵
ضریب پواسون	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳
زاویه مؤثر از اصطکاک اولیه	۲۷	۳۶	۳۸	۲۹	۳۸
چسبندگی	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
زاویه اصطکاک	۴-۲۰	۲۸	۳۲	۱۳-۱۵	۳۵

نتایج برنامه با مدل اصلی مقایسه شد، خروجی‌های برنامه همخوانی نسبتاً قابل قبولی با نتایج به‌دست‌آمده حاصل از مدل اصلی داشتند که در شکل ۲ نشان داده شده است. بنابراین می‌توان از خروجی‌های برنامه به‌عنوان اعداد معتبری استفاده کرد.

مشخصات تونل موردنظر براساس مشخصات زیر، قطر تونل (D) برابر ۹ و z_0 برابر ۲۰ متر و مشخصات لایه‌بندی خاک با گمانه BH-10 در جدول ۳ ارائه شده است [۲۴]. مشخصات لاینینگ تونل به‌کار رفته در پروژه خط ۲ قطار شهری نیز در جدول ۴ بیان شده است.



شکل ۲- مقایسه نتایج مدل عددی در مرجع [۲۳] و مدل عددی صحت‌سنجی.

جدول ۳- ویژگی‌های مهندسی و زمین‌شناسی لایه‌های خاکی گمانه BH-10

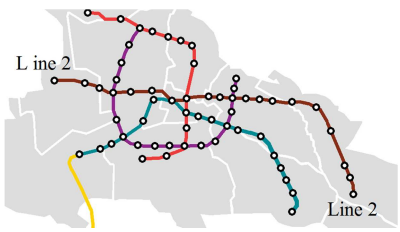
نام لایه	عمق (m)	دانسیته (kN/m^3)	مدول الاستیسیته (kN/m^2)	ضریب پواسون	چسبندگی (kN/m^2)	زاویه اصطکاک داخلی خاک
CL	صفر-۱	۱۳	۸۵۰۰	۰/۴	۸	۲۵
SM	۱-۲/۸	۱۶/۲	۱۹۰۰۰	۰/۳	۹	۲۹
CL	۲/۸-۶	۱۴	۹۰۰۰	۰/۴	۸	۲۵
ML	۶-۸	۱۶/۱	۱۱۰۰۰	۰/۳۵	۱۱	۲۷
SM	۸-۱۲/۵	۱۷/۴	۲۷۰۰۰	۰/۳۳	۷	۳۲
SC	۱۲/۵-۱۵/۵	۱۷/۵	۳۶۰۰۰	۰/۳۵	۱۴	۳۰
ML	۱۵/۵-۲۲	۱۶/۲	۱۳۰۰۰	۰/۳۵	۱۲	۲۷
SM	۲۲-۳۰	۱۷/۸	۴۱۰۰۰	۰/۳۵	۷	۳۳
ML	۳۰-۳۲	۱۶/۴	۱۶۰۰۰	۰/۳۵	۱۳	۳۰
CL	۳۲>	۱۵/۵	۱۴۰۰۰	۰/۴	۳۰	۲۲

جدول ۴- ویژگی‌های قطعات لاینینگ

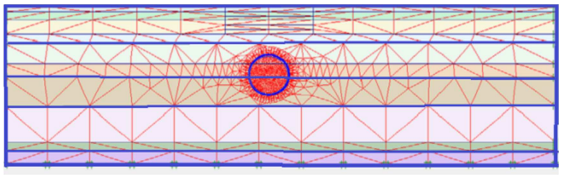
نوع	مدول الاستیسیته (t/m^2)	ضخامت (cm)	F_c (t/m^2)	وزن مخصوص (t/m^3)	ضریب پواسون
لاینر تونل	$۲/۱\times۱۰^{۶}$	۵۰	۴۰۰۰	۲/۵	۰/۲

۲-۲- نتایج

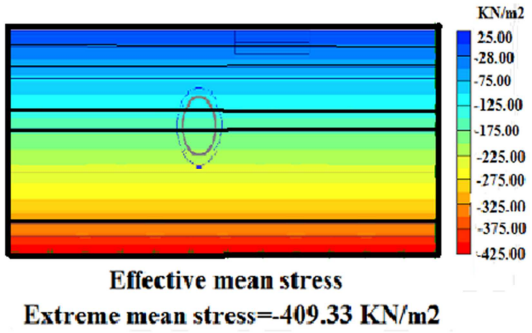
نقشه پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز در شکل ۳ به تصویر کشیده است. همچنین تنش مؤثر اولیه برای تونل خط ۲ مترو تبریز با مدل المان محدود در شکل ۴ و مش‌بندی المان محدود و ریز کردن المان‌ها در مجاورت تونل نسبت به سایر نقاط مدل نیز در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز

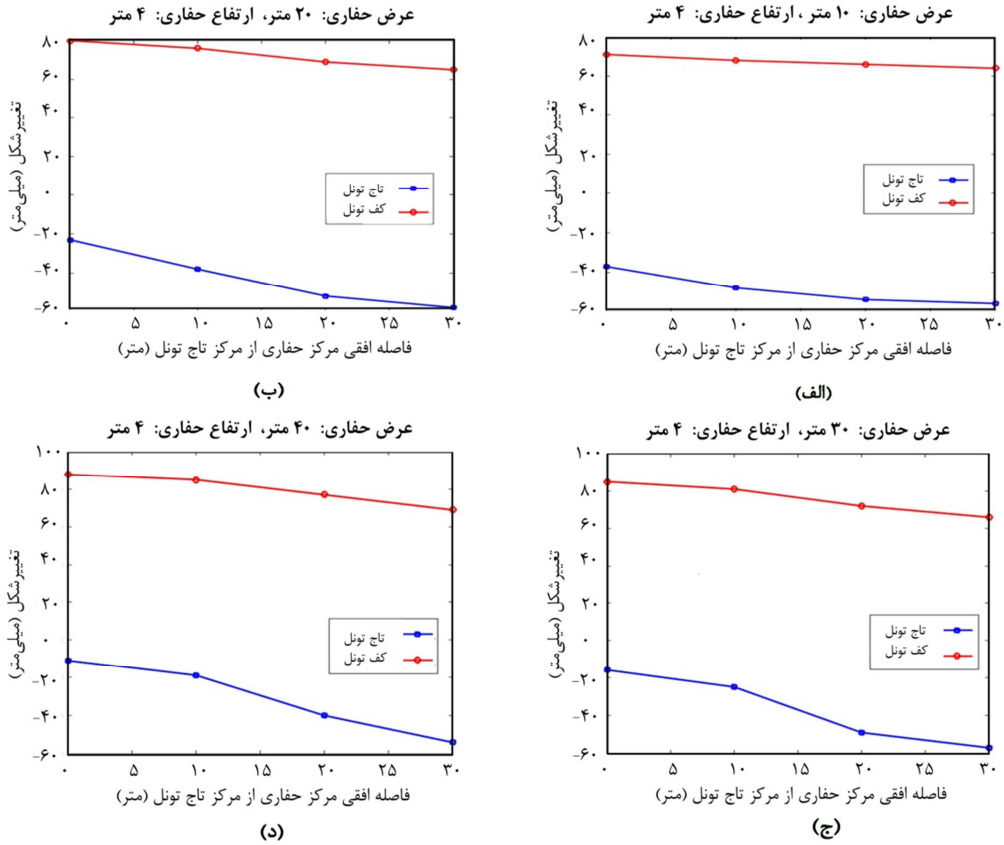


شکل ۵- مش‌بندی المان محدود و ریز کردن المان‌ها در مجاورت تونل



شکل ۴- تنش مؤثر اولیه برای تونل خط ۲ مترو تبریز

نمودارهای نشست تاج و کف تونل با فاصله افقی مرکز حفاری به عرض‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ و ارتفاع ۴ متر حفاری، نسبت به مرکز تاج تونل به‌ترتیب در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار نشست تاج و کف تونل با فاصله افقی مرز حفاری نسبت به مرکز تاج تونل و عرض متفاوت حفاری در ارتفاع ۴ متر.

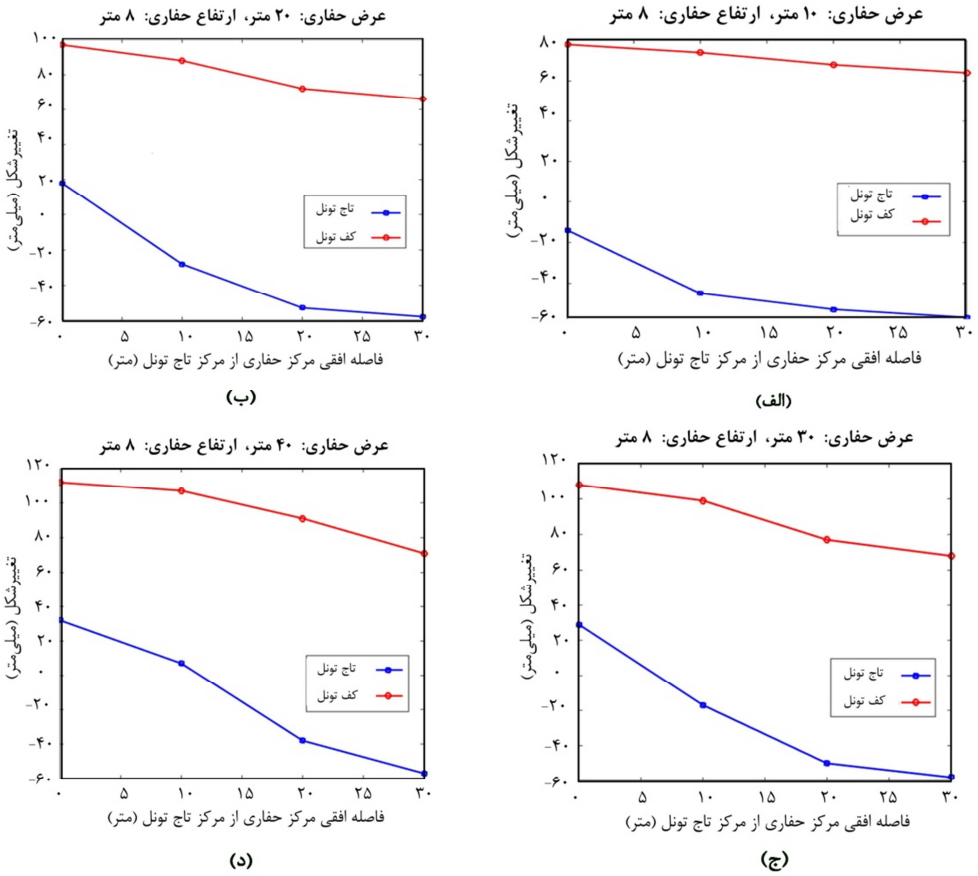
در شکل ۷، نمودارهای تغییرشکل تاج و کف تونل نیز با فاصله افقی متغیر مرکز حفاری نسبت به مرکز تاج تونل با عرض‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ و ارتفاع ۸ متر حفاری، قابل مشاهده است.

۳- بحث

حفاری‌هایی که در مجاورت مترو انجام می‌گیرد، اثرات نامطلوبی بر عملکرد و تغییرشکل مترو خواهد گذاشت. در این مطالعه سعی شده اثر فاصله حفاری از خط ۲ متروی تبریز ارزیابی شود.

همان‌طور که از اشکال ۶ و ۷ مشاهده می‌شود با افزایش فاصله افقی مرکز حفاری از مرکز تاج تونل (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰) نشست تاج تونل که رو به پایین است کاهش می‌یابد؛ ولی تغییرشکل کف تونل که رو به بالا است

افزایش پیدا می‌کند. همچنین هرچه ابعاد حفاری بزرگ‌تر شود میزان کاهش نشست تاج تونل و میزان افزایش تغییرشکل کف تونل بیشتر خواهد شد. درنتیجه، اثرات حفاری‌های کوچک‌تر در مقایسه با حفاری‌های بزرگ در تغییرشکل مترو، کمتر است.



شکل ۷- نمودار نشست تاج و کف تونل با فاصله افقی مرز حفاری نسبت به مرکز تاج تونل و عرض متفاوت حفاری در ارتفاع ۸ متر.

حفاری در بالای تونل تغییرشکل‌های نسبتاً بزرگی در تاج و کف تونل ایجاد می‌کند که باعث اثرات منفی در عملکرد خط ۲ متروی تبریز می‌شود. تغییرشکل کف تونل از ۶۲ میلی‌متر تا ۱۱۳ میلی‌متر و نشست تاج تونل از ۱۶ میلی‌متر تا ۵۸ میلی‌متر با توجه به ابعاد حفاری و فاصله افقی از مترو متغیر می‌باشد که اعداد قابل‌توجهی است. این مقدار بر عملکرد مترو تأثیرگذار بوده و بایستی اقدامات احتیاطی لازم در صورت حفاری انجام گیرد.

هرچه ابعاد حفاری (عرض حفاری تا ۴ برابر و ارتفاع حفاری ۲ برابر) بیشتر شود، تقریباً تغییرشکل حداکثر کف تونل از ۷ میلی‌متر به ۱۱۰ میلی‌متر که رو به بالاست، ۶۷ درصد افزایش می‌یابد و نشست تاج تونل از ۴۱ میلی‌متر که رو به پایین است به ۳۲ میلی‌متر به جهت بالا تغییر جهت می‌دهد. هنگامی‌که ابعاد حفاری برابر عرض ۴۰ و ارتفاع حفاری ۴ متر می‌باشد، با افزایش فاصله افقی حفاری از تونل، تغییرشکل کف تونل که رو به بالاست از ۸۷ میلی‌متر به ۷۰ میلی‌متر کاهش و نشست تاج تونل از ۱۱ میلی‌متر به ۲۷ میلی‌متر افزایش پیدا می‌کند. همچنین زمانی‌که ابعاد حفاری به صورت عرض ۴۰ و ارتفاع حفاری ۸ متر در نظر گرفته می‌شود (این ابعاد، بسیار نزدیک به تونل می‌باشد)، با افزایش فاصله افقی حفاری از تونل، تغییرشکل کف تونل که رو به بالاست از ۸۷ میلی‌متر به ۷۰ میلی‌متر کاهش و تغییرشکل تاج تونل از ۳۲ میلی‌متر که رو به بالاست است به ۲۹ میلی‌متر رو به پایین تغییر می‌کند. درنتیجه هرچقدر فاصله حفاری از مترو کمتر باشد

تغییرشکل مترو بیشتر شده و بنابراین اثرات نامطلوبی بر مترو خواهد گذاشت.

۴- نتیجه‌گیری

حفاری یکی از مسائل مهم در مهندسی عمران ژئوتکنیک است. ازجمله در ساخت شالوده ساختمان‌های بلند یا زیرزمین و غیره ناگزیر به استفاده از حفاری می‌باشیم. در سال‌های اخیر، برخی از شهرها به توسعه مترو برای کاهش فشار ترافیک اقدام نموده‌اند. ازآنجاکه فضای موجود در مناطق شهری محدود می‌باشد، در این مقاله نشست‌های کف و تاج تونل خط ۲ مترو تبریز ناشی از حفاری‌های جدید احتمالی با فواصل افقی مختلف از مترو و ابعاد مختلف حفاری با نرم‌افزار المان محدود پلکسیس بررسی شده است. حفاری‌هایی در بالای تونل‌های موجود انجام می‌گیرد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله افقی مرکز حفاری (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر) از مرکز تاج تونل با در نظر گرفتن ابعاد مختلف حفاری، نشست تاج تونل که رو به پایین است کاهش‌یافته ولی نشست کف تونل که رو به بالا است افزایش پیدا می‌کند. تغییرشکل کف تونل از ۶۲ میلی‌متر تا ۱۱۳ میلی‌متر و تغییرشکل تاج تونل از ۱۶ میلی‌متر تا ۵۸ میلی‌متر با توجه به ابعاد حفاری و فاصله افقی از مترو متغیر می‌باشد که اعداد قابل‌توجهی بوده و بر عملکرد مترو مؤثر می‌باشد. همچنین هرچه ابعاد حفاری بزرگ‌تر شود میزان کاهش نشست تاج تونل و میزان افزایش تغییرشکل کف تونل بیشتر خواهد شد.

مراجع

[1] Attewell, P. B۵ Yeates, J., & Selby, A. R. (1986). Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures.

[2] Iwasaki, Y., Watanabe, H., Fukuda, M., Hirata, A., & Hori, Y. (1994). “Construction control for underpinning piles and their behaviour”, *Geotechnique*, *44*(4), 681-689.

[3] Longchuan, K. (2000). “Influence of construction of deep foundation pit on tunnels of metro”, *CHINESE JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING-CHINESE EDITION-*, *22*(3), 284-288.

[4] Peck, R. B. (1969). “Deep excavations and tunnelling in soft ground”, In *Proc. 7th int. conf. on SMFE*, 225-290.

[5] Clough, G. W., & O'Rourke, T. D. (1990). “Construction induced movements of insitu walls”, In *Design and Performance of Earth Retaining Structures*, ASCE, 439-470.

[6] Fu, J., Yang, J., Klapperich, H., & Wang, S. (2015). “Analytical prediction of ground movements due to a nonuniform deforming tunnel”, *International Journal of Geomechanics*, *16*(4), 04015089.

[7] Sharma, J. S., Hefny, A. M., Zhao, J., & Chan, C. W. (2001). “Effect of large excavation on deformation of adjacent MRT tunnels”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, *16*(2), 93-98.

[8] Jiang, Z. H. (2013). Study of mechanical response on adjacent tunnel in processes of foundation excavation Ph.D. thesis, Chongqing University. Chongqing, China.

[9] Chen, J. J., Zhu, Y. F., Li, M. G., & Wen, S. L. (2014). “Novel excavation and construction method of an underground highway tunnel above operating metro tunnels”, *Journal of Aerospace Engineering*, *28*(6), A4014003.

[10] Hou, Y. M., Wang, J. H., & Zhang, L. L. (2009). “Finite-element modeling of a complex deep excavation in Shanghai”, *Acta Geotechnica*, *4*(1), 7-16.

[11] Yang, F., & Yang, J. S. (2010). “Stability of shallow tunnel using rigid blocks and finite-element upper bound solutions”, *International Journal of Geomechanics*, *10*(6), 242-247.

[12] Liu, H., Li, P., & Liu, J. (2011). “Numerical investigation of underlying tunnel heave during a new tunnel construction”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, *26*(2), 276-283.

[13] Huang, X., Schweiger, H. F., & Huang, H. (2011). “Influence of deep excavations on nearby existing tunnels”, *International Journal of Geomechanics*, *13*(2), 170-180.

[14] Shi, J., Ng, C. W. W., & Chen, Y. (2015). “Three-dimensional numerical parametric study of the influence of basement excavation on existing tunnel”, *Computers and Geotechnics*, *63*, 146-158.
[15] Doležalová, M. (2001). “Tunnel complex unloaded by a deep excavation”, *Computers and Geotechnics*, *28*(6), 469-493.
[16] Chang, C. T., Sun, C. W., Duann, S. W., & Hwang, R. N. (2001). “Response of a Taipei Rapid Transit System (TRTS) tunnel to adjacent excavation”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, *16*(3), 151-158.
[17] Hu, Z. F., Yue, Z. Q., Zhou, J., & Tham, L. G. (2003). “Design and construction of a deep excavation in soft soils adjacent to the Shanghai Metro tunnels”, *Canadian Geotechnical Journal*, *40*(5), 933-948.
[18] Karki, R. (2006). Effects of deep excavations on circular tunnels in fine-grained soils. Doctoral dissertation.
[19] Zheng, G., & Wei, S. W. (2008). “Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels”, *Journal of central south university of technology*, *15*(2), 69-75.
[20] Chen, J. J., Wang, J. H., Xiang, G. W., Wen, S. L., & Du, Y. (2011). “Numerical study on the movement of existing tunnel due to deep excavation in Shanghai”, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, *42*(3), 30-40.
[21] Huang, X., Schweiger, H. F., & Huang, H. (2011). “Influence of deep excavations on nearby existing tunnels”, *International Journal of Geomechanics*, *13*(2), 170-180.
[22] Wang, W. D., Wu, J. B., & Weng, Q. P. (2004). “Numerical modeling of affection of foundation pit excavation on metro tunnel [J]”, *Rock and Soil Mechanics*, *25*(2), 251-255.
[23] Mazek, S. A., & Almannaei, H. A. (2013). “Finite element model of Cairo metro tunnel-Line 3 performance”, *Ain Shams Engineering Journal*, *4*(4), 709-716.
[۲۴] کاتبی، ه.، سعدین، م. (۱۳۸۹). "تحلیل و پیش‌بینی نشست سطحی زمین ناشی از تونل‌سازی (مطالعه موردی: پروژه خط ۲ قطار شهری تبریز)"، مجله مهندسی حمل و نقل، دوره ۱، شماره ۴، ش.ص. ۶۷-۸۵.

Numerical Study of Tabriz Urban Railway Line 2 Tunnel Settlement

M.H. Mirnaghizadeh

Ph.D Student, Geotechnical Engineering, Department of Engineering, Razi University.

e-mail: mirnaghizadeh.mirhadi@stu.razi.ac.ir

M. Hajiazizi*

Associate Professor, Geotechnical Engineering, Department of Engineering, Razi University.

e-mail: mhazizi@razi.ac.ir

Today, the foundation excavation for the construction of tall buildings, Undergrounds, parking etc. are required. Because space is limited in urban areas, So some of these excavations are in the vicinity of the metro tunnel and may cause an unexpected additional displacement in the tunnel and as a result, it affects the performance of the tunnel. In this article, a possible settlement on the floor and the crown tunnel of the 2 line of the city train of Tabriz due to possible new excavations with different horizontal distances from the subway and various dimensions of the excavation with finite element software has been studied. The results indicate that tunnel crown settlement that downward is decreased but the tunnel floor deformation that upward increase. Deformation of the tunnel floor from 62 to 113 mm and deformation of the tunnel crown from 11 to 58 mm with regards to the size of the drilling and the horizontal distance of the metro varies.

Keywords: Excavation, Tabriz Tunnel, Finite Element, Settlement.

* Corresponding author