ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/268576085

Numerical study the effect of the ratio of distance between the center the central axis of the tunnel and center of structures to tunnel's diameter parameter on the interaction of...

Conference Paper · May 2014

DOI: 10.13140/2.1.4133.5362

0

READS
170

3 authors, including:

Mehdi Ghasemi
Dalhousie University
5 PUBLICATIONS **0** CITATIONS
SEE PROFILE

Mostafa Sharifzadeh
Curtin University
138 PUBLICATIONS **806** CITATIONS
SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project mobile app development View project

Project Geotechnical Project View project

All content following this page was uploaded by Mehdi Ghasemi on 28 November 2014.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

NUMERICAL STUDY THE EFFECT OF THE RATIO OF DISTANCE BETWEEN THE CENTER THE CENTRAL AXIS OF THE TUNNEL AND CENTER OF STRUCTURES TO TUNNEL'S DIAMETER PARAMETER ON THE INTERACTION OF THE TUNNEL-SURFACE STRUCTURES,

(CASE STUDY- NIAYESH TUNNEL, TEHRAN)

M.Ghasemi Ghodrat[1],M.Sharifzadeh[2] and M.Kazemi[3]

Extended Abstract

Population growth in most cities increases the need for building surface and subsurface infrastructures. Tunneling causes the deformation of the surface and subsurface structures. Also the structures have effects on ground movements that caused by tunneling influence. Therefore, evaluating the interaction between tunnels and surface structures, which have the effect of surface structure on the rate of settlement and horizontal displacement that caused by tunneling is so crucial. In recent decades, researchers have conducted studies that focus on a variety of factors and in recent years, some researchers have examined the impact of geometric parameters separately on the interaction tunnels and surface structures. However, due to the influence of the geometric parameters on each other's, Evaluation of combinations of these parameters with regard to the impact of each one's to others seems necessary. In this paper, the influence of distance between the center the central axis of the tunnel and center of structures to tunnel's diameter parameter on the settlement and horizontal displacement curves that cause by tunneling investigated. Therefore the numerical finite element method (FEM) has been used. Based on numerical modeling results, with decreasing of this ratio, the amount of settlement is reduced. It is also observed that by reducing of this the inflection point of the settlement curve's, from a distance of 38 meters is reduced to 28 meters distance from the tunnel axis, which means reducing the impacted area of the settlement. The variations of this parameter, has no impact on the longitudinal settlement curves above the central axis of the tunnel, this is due to the distance from the central axis of the tunnel structures. With decrease in this ratio, in the center of the structure, the maximum of longitudinal settlement increased; so that the maximum amount of longitudinal settlement with a ratio of 1.45 is 3.5 mm that with the reduction in the this ratio to 0.84, the maximum amount of longitudinal settlement increased to 8 mm. Also with decreases in this ratio, the amount of horizontal displacement increased.

Keywords: interaction of the tunnel-surface structures, Settlement, horizontal displacement, geometrical parameters, finite element method.

1-Dept. of Mining and Metallurgy Engineering, Amirkabir University of technology, Mehdi.ghasemi2007@gmail.com
2- Dept of Mining Engineering (WASM) Curtin University ,M.Sharifzadeh@curtin.edu.au
3- Dept. of Mining and Metallurgy Engineering, Amirkabir University of technology, mi_ad83@yahoo.com

تأثیر پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محورتونل به قطر تونل بر اندرکنش تونل و سازه‌های سطحی با استفاده از روش عددی اجزاء محدود(مطالعه موردی پروژه تونل نیایش)

مهدی قاسمی قدرت [۱]، مصطفی شریف‌زاده [۲]، میلاد کاظمی [۳]

چکیده بلند فارسی

رشد جمعیت در اکثر شهرها باعث افزایش نیاز به اجرای زیرساخت‌های سطحی و زیرسطحی شده است. حفر تونل باعث تغییرشکل در سازههای سطحی و زیرسطحی می‌شود. از طرفی وجود سازه‌ها نیز بر جابجایی‌های زمین در اثر تونلسازی تأثیر گذارند. لذا بررسی و برآورد اندرکنش بین تونل و سازه‌های سطحی، از لحاظ تأثیری که وجود سازه‌های سطحی بر میزان نشست و جابجایی‌های ناشی از تونلسازی دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دهه‌های اخیر محققین مطالعات خود را با تمرکز بر عوامل مختلفی انجام داده‌اند و در سال‌های اخیر برخی محققین به بررسی تاثیر پارامترهای هندسی به طور جداگانه بر اندرکنش تونل و سازه‌های سطحی پرداخته‌اند، اما با توجه به تاثیرپذیری این پارامترهای هندسی از یکدیگر، بررسی توامان این پارامترها با در نظر گرفتن تاثیر متقابل بر یکدیگر ضروری به نظر می‌رسد. دراین مقاله سعی شده تأثیر پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل بر منحنی‌های نشست و جابجایی سطح زمین در اثر حفر تونل بررسی گردد. بدین منظور از روش عددی اجزاء محدود (*FEM*) استفاده شده است. بر اساس نتایج مدلسازی‌های عددی، با کاهش نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل، از میزان نشست کاسته شده است. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش این نسبت نقطه عطف منحنی نشست، از فاصله ۳۸ متری به فاصله ۲۸ متری از محور تونل کاهش یافته است،که معنی کاهش محدوده تأثیر نشست نیز می‌باشد. تغییرات نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل، تاثیر زیادی بر منحنی نشست طولی در بالای محور تونل ندارد که این به دلیل فاصله‌ای است که سازه‌ها از محور مرکزی تونل دارند. با کاهش نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل،در زیر مرکز ثقل سازه، میزان حداکثر نشست طولی افزایش می‌یابد به طوریکه میزان حداکثر نشست به ازای نسبت ۱/٤٥ برابر ۳/٥ میلیمتر است که با کاهش این مقدار به ازای نسبت ۰/۸٤ به ۸ میلیمتر افزایش می-یابد. همچنین با کاهش نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل، بر میزان جابجایی‌های افقی افزوده خواهد شد.

واژه های کلیدی: تونلسازی شهری، اندرکنش تونل- سازه، نشست سطح زمین، جابجایی افقی، نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل ، روش عددی اجزاء محدود (*FEM*).

۱. کارشناسی‌ارشد مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، *Mehdi.ghasemi2007@gmail.com*، ۰۹۱۲۴۶۲۵۲۱۷
۲. *M.Sharifzadeh@curtin.edu.au ، Dept of Mining Engineering (WASM) Curtin University*
۳. کارشناسی‌ارشد مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، *mi_ad83@yahoo.com*

تأثیر پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه تا محورتونل به قطر تونل بر اندرکنش تونل و سازه‌های سطحی با استفاده از روش عددی اجزاء محدود
مطالعه موردی پروژه تونل نیایش

مهدی قاسمی قدرت [۱]، مصطفی شریف‌زاده [۲]، میلاد کاظمی [۳]

چکیده

رشد جمعیت در اکثر شهرها باعث افزایش نیاز به اجرای زیرساخت‌های سطحی و زیرسطحی شده است. حفر تونل باعث تغییرشکل در سازه‌های سطحی و زیرسطحی می‌شود. از طرفی وجود سازه‌ها نیز بر جابجایی‌های زمین در اثر تونلسازی تأثیر گذارند. لذا بررسی و برآورد اندرکنش بین تونل و سازه‌های سطحی، از لحاظ تأثیری که وجود سازه‌های سطحی بر میزان نشست و جابجایی‌های ناشی از تونلسازی دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دهه‌های اخیر محققین مطالعات خود را با تمرکز بر عوامل مختلفی انجام داده‌اند. دراین مقاله سعی شده تأثیر پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل (X/D) بر منحنی‌های نشست و جابجایی سطح زمین در اثر حفر تونل بررسی گردد. بدین منظور از روش عددی اجزاء محدود (FEM) استفاده شده است. بر اساس نتایج مدلسازی‌های عددی، با کاهش نسبت X/D از میزان نشست کاسته شده است. همچنین با کاهش این نسبت، محدوده تأثیر نشست نیز کاهش میابد. تغییرات نسبت X/D، تاثیر زیادی بر منحنی نشست طولی در بالای محور تونل ندارد اما با کاهش نسبت X/D در زیر مرکز ثقل سازه، میزان حداکثر نشست طولی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش نسبت X/D، بر میزان جابجایی‌های افقی افزوده خواهد شد.

واژه های کلیدی: تونلسازی شهری، اندرکنش تونل- سازه، نشست سطح زمین، جابجایی افقی، نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل ، روش عددی اجزاء محدود (FEM).

۱. کارشناسی‌ارشد مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، *Mehdi.ghasemi2007@gmail.com*، ۰۹۱۲۴۶۲۵۲۱۷
۲. *M.Sharifzadeh@curtin.edu.au ، Dept of Mining Engineering (WASM) Curtin University*
۳. کارشناسی‌ارشد مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، *mi_ad83@yahoo.com*

۱- مقدمه

رشد جمعیت در اکثر شهرها باعث افزایش نیاز به اجرای زیرساخت‌های سطحی و زیرسطحی شده است. هرچه که محیط‌های شهری شلوغ‌تر و فضای سطحی محدودتر می‌شود، نیاز به سازه‌های زیر-سطحی مانند تونل‌ها برای تأمین این زیرساخت‌ها، بیشتر احساس می‌شود. احداث تونل در زمین‌های سست شهری، باعث نشست و جابجایی محیط اطراف تونل می‌شود.

عوامل متعددی بر جابجایی‌های زمین در اثر ساخت تونل تأثیرگذار هستند. شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، روش تونلسازی، وجود یا عدم وجود ساختمان‌های سطحی یا زیرسطحی، ترتیب مراحل حفاری در روش‌های ساخت چند مرحله‌ای، هندسه تونل، عمق تونل، عوامل اجرایی، شرایط آب زیرزمینی و غیره، همگی از عواملی هستند که بر میزان نشست سطح زمین در حین ساخت تونل تأثیر دارند. تونلسازی باعث تغییر شکل در ساختمان‌های سطحی و زیرسطحی شده، از طرفی وجود این ساختمان‌ها نیز بر جابجایی زمین در اثر تونلسازی تأثیر گذارند[۱]. از این‌رو بررسی اندرکنش بین تونل و سازه‌های سطحی از نظر تأثیری که سازه‌های سطحی بر میزان تغییرشکل‌های ناشی از تونلسازی دارند، دارای اهمیت ویژه‌ای است.

طی چند دهه گذشته محققین متعددی از جمله کاتزباخ و برث (۱۹۸۱)، لی و روء (۱۹۹۱)، دساری و همکاران (۱۹۹٦)، آوگارد و همکاران (۱۹۹۸)، کومیا و همکاران (۱۹۹۹)، بورد و همکاران (۲۰۰۰)، تانگ و همکاران (۲۰۰۰)، دیاس و همکاران (۲۰۰۰)، گودز و سانتوس پریرا (۲۰۰۰) ، لی و ان جی (۲۰۰۲)، ورمر و همکاران (۲۰۰۲) مطالعات فراوانی در مورد نشست ناشی از تونلسازی در محیط شهری و عوامل موثر بر آن انجام داده‌اند. اکثر محققین با تمرکز بر عواملی از قبیل نوع خاک، خصوصیات زمین-شناسی، شرایط تنش اولیه، تأثیر ضریب فشار جانبی (K)، آنیزوتروپی خاک و روش تونلسازی، بیشتر در ارزیابی تأثیر حفاری تونل بر آسیب‌های وارده بر ساختمان تلاش نموده و کمتر به بررسی تأثیر وجود ساختمان‌ها و عوامل مرتبط با آن، بر منحنی نشست سطح زمین پرداخته‌اند [۲-۱۳]. شریف‌زاده و همکاران (۲۰۱۱)، مطالعاتی در خصوص تأثیر هندسه ساختمان‌ها بر نشست ناشی از تونلسازی مرحله-ای انجام داده‌اند. در این مطالعات تأثیر پارامترهای هندسی به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است[۱٤].

به همین دلیل در این مقاله سعی شده است تا از میان پارامترهای هندسی سازه‌ها، به بررسی تأثیر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل بر منحنی‌های نشست و جابجایی سطح زمین در اثر حفر تونل پرداخته شود. بدین منظور از روش عددی اجزاء محدود با استفاده از کد محاسباتی *Plaxis 3D Tunnel* استفاده شده است.

در ادامه پس از معرفی پروژه تونل نیایش و تشریح خصوصیات زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی و اجرایی پروژه، به ارزیابی تأثیر تغییر پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل بر منحنی‌های نشست و جابجایی‌های افقی سطح زمین پرداخته شده، و در نهایت با ارائه نتایج، بحث و نتیجه‌گیری انجام گرفته است.

۲- معرفی پروژه تونل نیایش

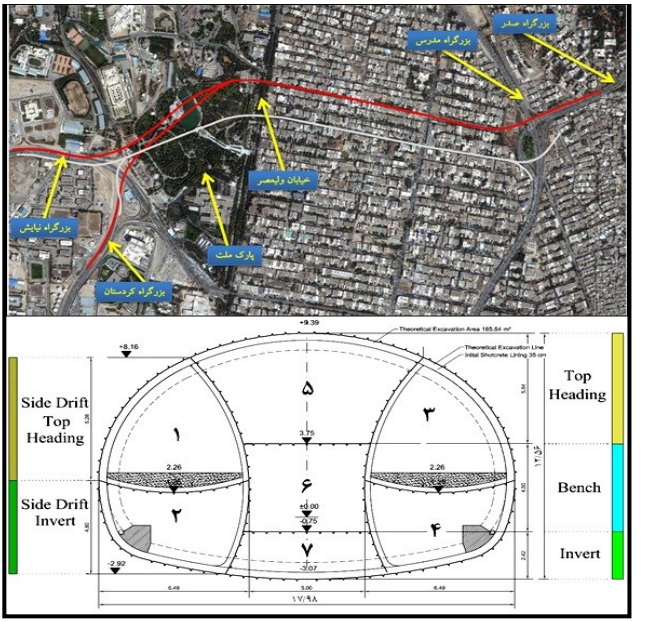
تونل نیایش در بخش شمالی شهر تهران و حد فاصل بزرگراه نیایش و بزرگراه کردستان در غرب و بزرگراه صدر در شرق احداث شده است. تونل نیایش با سطح مقطع حفاری حدود ۲۰۰ متر مربع و طول بیش از ٦/٧ کیلومتر، در زمره بلندترین تونل‌های شهری جهان محسوب می‌شود. مقطع اصلی تونل‌ها دارای عرض حدود ۱۸ متر و ارتفاع ۱۲/۵ متر می‌باشد. این تونل با توجه به سطح مقطع نسبتاً بزرگ و خصوصیات لایه‌های مختلف خاکی با استفاده از روش تونلسازی گالری‌های کناری (*Sidewall Drift Method*) حفاری شده است. هر کدام از گالری‌های کناری در دو مرحله پیشانی و کف، و گالری میانی در سه مرحله پیشانی، پله و کف حفاری شده است (شکل۱).

به منظور شناسایی لایه‌های زیرسطحی، تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی و ارزیابی سطح آب زیرزمینی، و نیز با توجه به احداث تونل در زیر محدوده پر جمعیت شهری و عبور تونل از زیر بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و دریاچه پارک‌ملت، مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی گسترده‌ای در این پروژه انجام گرفته است. بر این اساس تعداد ۲۰ گمانه با عمق ۲۵ تا ٤٥ متر و تعداد ٢٤ چاهک به عمق ۱۰ تا ۳۰ متر برای مطالعه شرایط زیرسطحی حفاری شده است. در گمانه‌های حفاری شده آزمایش نفوذ مخروط استاندارد *(SPT)* و آزمایش پرسیومتر انجام شده و همچنین نمونه‌های مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی اخذ گردیده است. آزمایش‌های دانسیته برجا و بارگذاری صفحه‌ای و برش مستقیم در چاهک‌ها انجام شده‌اند. آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده در این مطالعات شامل آزمایش دانه‌بندی، حدود اتربرگ، دانسیته، آزمایش برش مستقیم، آزمایش سه محوری و نفوذپذیری می‌باشند. با توجه به نتایج آزمایشها، بطور کلی خاک منطقه از شن ماسه‌ای متراکم و ماسه‌های متراکم تشکیل شده است که هر دوی آنها دارای مقداری سیلت و رس هستند *(GC, GM, SC, SM)* [۱۵].

بر اساس تقسیم‌بندی ترزاقی، خاک‌های ریزدانه پروژه حاضر در محدوده خاک‌های بسیار سخت قرار دارند. در حالیکه خاک‌های درشت دانه در محدوده خاک‌های خیلی متراکم قرار می‌گیرند [۱۵]. در شکل (۱) موقعیت پروژه، مشخصات هندسی و نمایی از مقطع تونل نیایش نمایش داده شده است. خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌های خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

۳- نحوه مدلسازی اجزا محدود تونل

نرم‌افزار *Plaxis 3D* که براساس روش اجزاء محدود پایه‌گذاری شده است، برای تحلیل تغییرات تنش- تغییرشکل در محیط‌های پیوسته خاکی و مسائل برهمکنش بین سازه‌ها در چنین محیط‌هائی، مورد استفاده قرار می‌گیرید. دلیل انتخاب این نرم‌افزار توانائی بالا همچنین تحلیل مسائل پیچیده برهمکنش سازه‌های سطحی- خاک- سازه‌های زیرسطحی، بوده است.



شکل ۱: پلان مسیر تونل نیایش، مقطع تونل و ترتیب مراحل حفاری.

جدول(۱): پارامترهای ژئوتکنیکی لایه‌های خاکی مدلسازی شده.

پارامتر	واحد	عمق ۱۵-۰ متر	عمق ۱۵< متر
وزن مخصوص غیر اشباع	(kN/m^3)	۱۶	۱۸
وزن مخصوص اشباع	(kN/m^3)	۱۷	۱۹
مدول الاستیسیته باربرداری	(kN/m^2)	۲/۴۲۳× ۱۰^{۵}	۲/۸۲۷× ۱۰^{۵}
مدول الاستیسیته سکانتی	(kN/m^2)	۸/۰۷۷ × ۱۰^{۴}	۹/۴۲۳ × ۱۰^{۴}
مدول الاستیسیته ادئومتر	(kN/m^2)	۸/۰۷۷ × ۱۰^{۴}	۹/۴۲۳ × ۱۰^{۴}
ضریب پواسون	---	۰/۲	۰/۲
چسبندگی	(kN/m^2)	۳۰	۴۰
زاویه اصطکاک داخلی	درجه	۳۴	۳۶
ضریب فشار جانبی	---	۰/۴۴	۰/۴۱

بمنظور مدلسازی این مسئله یک شبکه اجزاء محدود با استفاده از المان‌های ایزوپارامتریک ۱۵ گره‌ای در نظر گرفته شده است. برای اجتناب از تأثیر مرزهای مدل بر نتایج تحلیل، با توجه به عرض نسبتاً زیاد تونل (۱۸ متر)، از یک شبکه اجزاء محدود با عرض ۱۳۰ متر، طول ۱۰۰ متر و ارتفاع ٦٣ متر استفاده شده است.

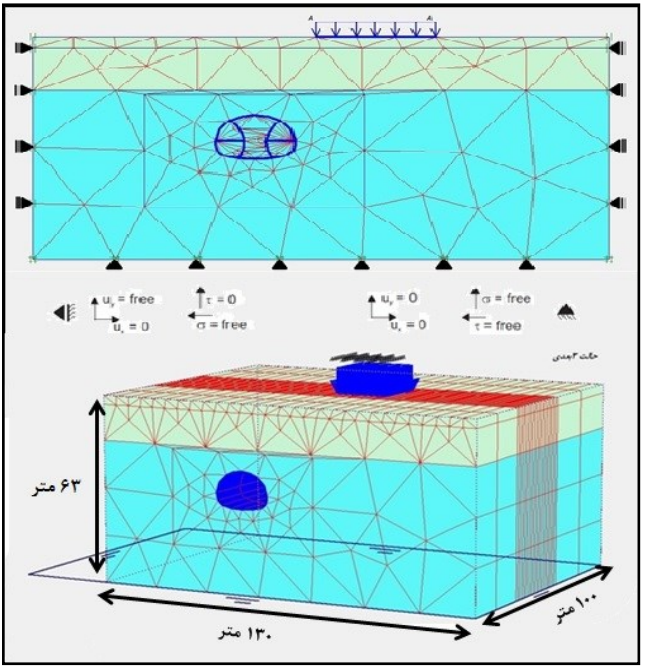
برای اعمال شرایط مرزی نیز از مرزهای استاندارد استفاده شده است. در این نوع شرایط مرزی، جابجایی مرزهای کناری در جهت y آزاد بوده و در جهت x ثابت می‌شوند. مرز پائین نیز در همه جهات ثابت، و مرز بالایی آزاد گذاشته می‌شود (شکل ۲). بمنظور مدلسازی رفتار خاک نیز از مدل رفتاری خاک سخت‌شونده استفاده شده است[۱۶].

جهت مدلسازی پوشش اولیه تونل از المانهای الاستیک صفحه‌ای *(Plate)* با ضخامت ۳۰ سانتیمتر استفاده شده که خصوصیات آن در جدول ۲ ارائه شده است. مدلسازی حفاری قسمت‌های مختلف تونل با غیر فعال کردن المان‌های خاک قسمت مورد نظر و مدلسازی سیستم نگهداری تونل با فعال کردن المان‌های تعریف شده برای پوشش، انجام گرفته است.

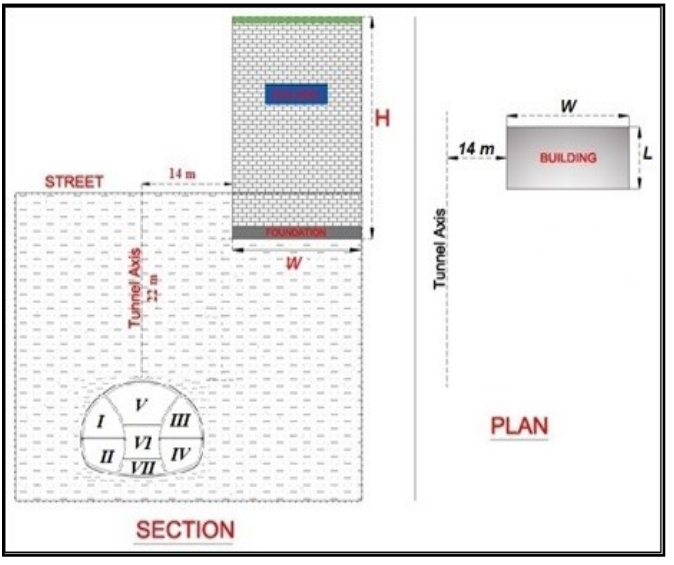
جدول(۲): پارامترهای پوشش اولیه تونل استفاده شده به منظور مدلسازی عددی.

سختی محوری *EA (kN/m)*	سختی خمشی *EI (kNm2/m)*	نوع المان	ضخامت معادل *d (m)*	وزن حجمی *W (kN/m/m)*	ضریب پواسون υ
۵/۴× ۱۰ ^۶	۴/۰۵× ۱۰ ^۴	*Elastic*	۰/۳	۷/۵	۰/۲
Eshotecrete =18 GPa					

به منظور بررسی تأثیر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل ، در مدلسازی صورت گرفته، مشابه مقطع مورد مطالعه از پروژه موردنظر، تونل در عمق ۲۲ متری از سطح زمین قرار دارد. بالای تاج تونل سازه‌ای وجود ندارد و فاصله افقی سازه‌های سطحی از محور تونل ۱٤متر است (شکل ۳). سازه‌های ۲، ٤ و ۸ طبقه در مدلسازی در نظر گرفته شده است. البته با توجه به اینکه در نرم‌افزار *Plaxis* نمی‌توان ارتفاع سازه را مدل کرد از بار معادل به جای ارتفاع سازه‌ها استفاده شده است. برای هر طبقه با ارتفاع ۳ متر، بار معادل ۱۰ کیلوپاسکال در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به نوع سازه‌های محل پروژه، پی سازه‌ها گسترده در نظر گرفته شده است (جدول ۳).



شکل ۲: شبکه اجزاء محدود و شرایط مرزی اعمالی.



شکل ۳: پلان مربوط به وضعیت تونل نیایش و سازه‌ها نسبت به یکدیگر.

جدول(۳): پارامترهای پی ساختمان استفاده شده در مدلسازی عددی.

تعداد طبقات	d ضخامت پی (m)	سختی محوری EA (kN/m)	سختی خمشی EI (kNm^2/m)	وزن طبقات (بار گسترده) (KN)	ضریب پواسون U	نوع المان
۲	۰/۵	۱/۰۵×۱۰۷	۲/۱۸۷×۱۰۵	۲۰	۰/۲	*Elastic*
۴	۰/۸	۱/۶۸×۱۰۷	۸/۹۶×۱۰۵	۴۰	۰/۲	*Elastic*
۸	۱/۵	۳/۱۵×۱۰۷	۵/۹×۱۰۶	۸۰	۰/۲	*Elastic*

۴- نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل

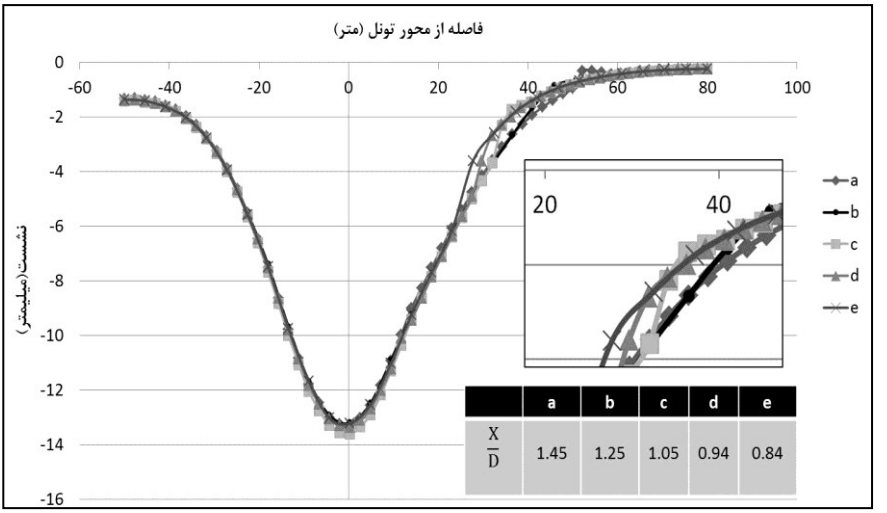
با توجه با اینکه فاصله سازه نسبت به محور تونل، بر اندرکنش تونل و سازه تاثیر قابل توجهی دارد این پارامتر برای ارزش‌گذاری سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. اما این پارامتر متأثر از قطر تونل نیز می‌باشد بنابراین در ارزش‌گذاری سازه بهتر است این دو پارامتر با یکدیگر بررسی شوند. در این قسمت به بررسی پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه تا محور مرکزی تونل(X) به قطر تونل(D) می‌پردازیم.

٤-١ تاثیر تغییر نسبت $\frac{X}{D}$ بر نشست عرضی

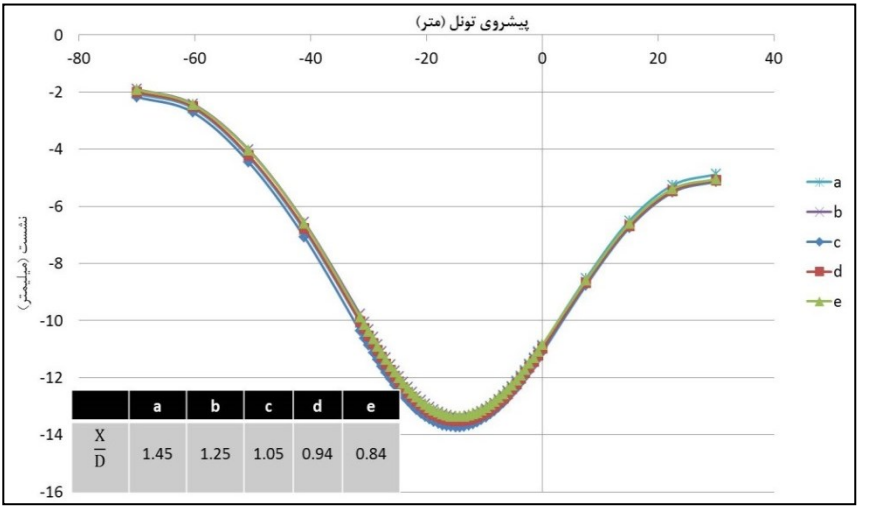
بررسی منحنی‌های نشست عرضی در شکل ٤ نشان می‌دهد با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$، از میزان نشست عرضی کاسته شده است. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش این نسبت نقطه عطف منحنی نشست، از فاصله ۳۸ متری به فاصله ۲۸ متری از محور تونل کاهش یافته است،که معنی کاهش محدوده تأثیر نشست نیز می‌باشد. با توجه به فاصله‌ای که سازه‌ها از محور تونل دارند، این تغییرات تأثیر زیادی بر میزان نشست حداکثر نخواهد داشت.

٤-٢ تاثیر تغییر نسبت $\frac{X}{D}$ بر نشست طولی

در شکل ٥ و ٦ منحنی‌های تغییرات نشست طولی، بالای محور تونل و در زیر مرکز ثقل سازه نشان داده شده است. در شکل ٥ مشاهده می‌شود که تغییرات نسبت $\frac{X}{D}$، تاثیر زیادی بر منحنی نشست طولی در بالای محور تونل ندارد که به دلیل فاصله‌ای است که سازه‌ها از محور مرکزی تونل دارند.



شکل ٤: تغییرات منحنی نشست عرضی به ازای تغییر نسبت $\frac{X}{D}$

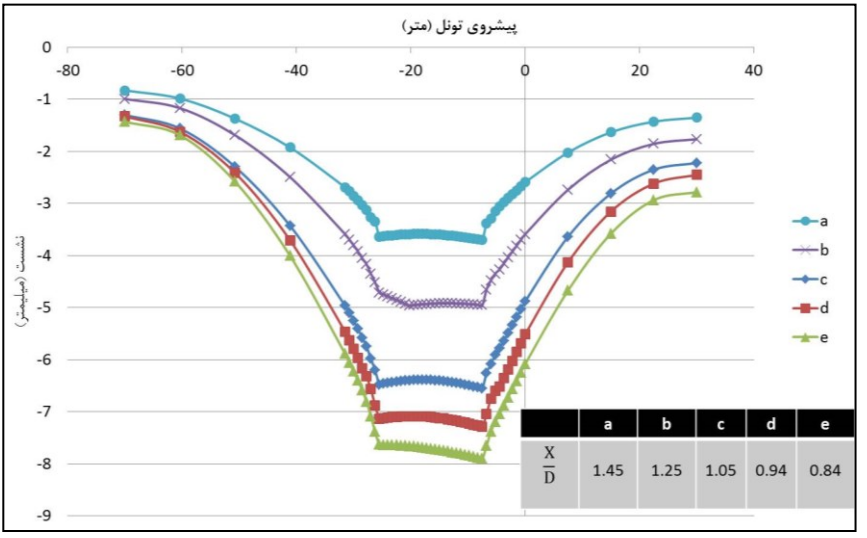


شکل ٤: تغییرات منحنی نشست طولی به ازای تغییر نسبت $\frac{X}{D}$ و در بالای محور تونل.

در شکل ٦، با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$ در زیر مرکز ثقل سازه، میزان حداکثر نشست طولی افزایش می‌یابد به طوریکه که میزان حداکثر نشست به ازای نسبت ۱/٤٥ برابر ۳/٥ میلیمتر است که با این مقدار به ازای نسبت ۰/۸٤ به ۸ میلیمتر افزایش می‌یابد.

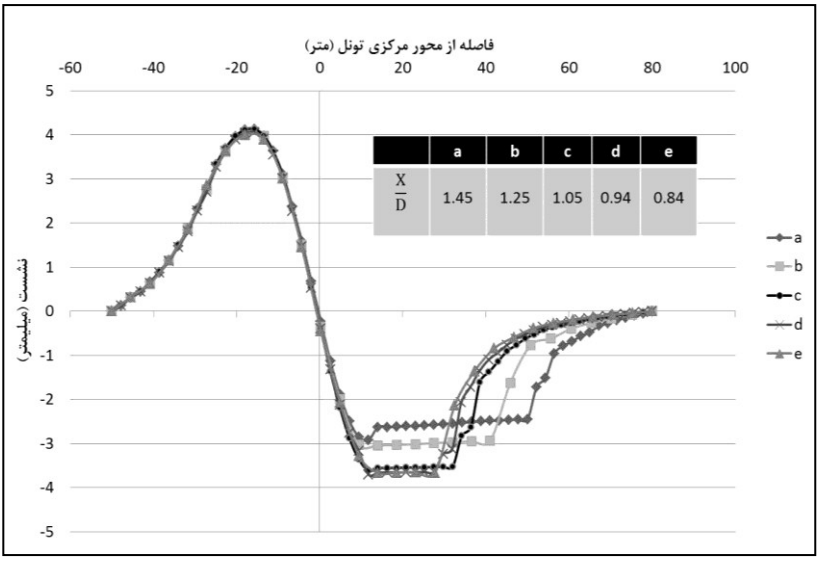
٤-٣ تاثیر تغییر نسبت $\frac{X}{D}$ بر جابجایی افقی

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود میزان جابجایی‌های افقی با تغییر در نسبت $\frac{X}{D}$، تغییر می‌کنند. شکل ۷ نشان می‌دهد که میزان حداکثر جابجایی افقی به ازای نسبت ۱/٤٥ در حدود ۲/٥ میلیمتر می‌باشد که با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$ به ۰/۸٤ مقدار جابجایی‌ها به ۳/٥ میلیمتر می‌رسد. این روند نشان می‌دهدکه با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$، بر میزان جابجایی‌های افقی افزوده خواهد شد.



شکل ٥: تغییرات منحنی نشست طولی به ازای تغییر نسبت $\frac{X}{D}$ و در زیر مرکز ثقل سازه.

از بررسی این پارامتر نتیجه می‌گیریم که تغییرات $\frac{X}{D}$، از فاکتورهای مهم و موثر در اندرکنش بین تونل و سازه بوده و در ارزیابی‌ها و ارزش‌گذاری سازه این پارامتر باید مورد توجه قرار گیرد. هرچند در جدول ارزش‌گذاری سازه‌ها تاثیر پارامتر X و D به طور مجزا بررسی شده است اما با توجه به اینکه $\frac{X}{D}$، یک پارامتر بی‌بعد است و تاثیر همزمان این دو پارامتر را باهم در نظر می‌گیرد لذا در ارزش‌گذاری‌ها بهتر است از این پارامتر استفاده شود.

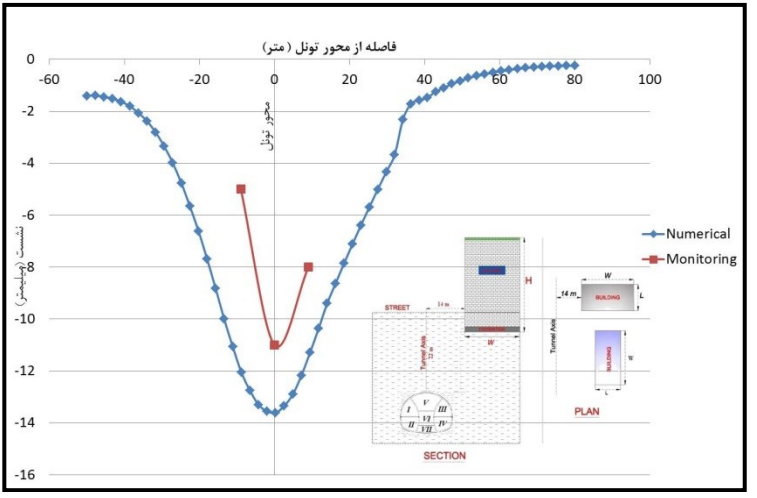


شکل ٦: تغییرات منحنی جابجایی افقی به ازای تغییر نسبت $\frac{X}{D}$

۵- بحث و نتیجه

در این تحقیق تأثیر تغییر در پارامتر نسبت فاصله مرکز ثقل سازه از محور مرکزی تونل به قطر تونل که در تحقیق‌های پیشین محققین کمتر مورد توجه قرار گرفته بود، مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت جهت اعتبار سنجی مدلسازی عددی، نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از ابزاربندی، مقایسه و ارزیابی گردید که در شکل ۸ نمایش داده شده است. از مقایسه این نتایج با نتایج مدلسازی عددی مشاهده می‌شود که شکل منحنی نشست و روند تغییرات هر دو از تطابق خوبی با یکدیگر برخوردارند و یکدیگر را تایید می-کنند.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$، از میزان نشست کاسته شده است. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش این نسبت نقطه عطف منحنی نشست، از فاصله ۳۸ متری به فاصله ۲۸ متری از محور تونل کاهش یافته است،که معنی کاهش محدوده تأثیر نشست نیز می‌باشد. تغییرات نسبت $\frac{X}{D}$، تاثیر زیادی بر منحنی نشست طولی در بالای محور تونل ندارد که این به دلیل فاصله‌ای است که سازه-ها از محور مرکزی تونل دارند. با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$ در زیر مرکز ثقل سازه، میزان حداکثر نشست طولی افزایش می‌یابد به طوریکه که میزان حداکثر نشست به ازای نسبت ۱/٤٥ برابر ۳/٥ میلیمتر است که با این مقدار به ازای نسبت ۰/۸٤ به ۸ میلیمتر افزایش می‌یابد. با کاهش نسبت $\frac{X}{D}$، بر میزان جابجایی‌های افقی افزوده خواهد شد. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، تاثیر تغییرات این پارامتر در اندرکنش بین تونل و سازه را بیش از پیش باید مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد چراکه در برخی موارد این تغییرات سبب بروز خسارات جبران ناپذیری به سازه‌ها و یا حتی تونل خواهد شد.



شکل ۷: مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی عددی و نتایج ابزاربندی.

۶- مراجع

[1] *Jan Nikolas Franzius, "**Behavior of building due to tunnel induced settlement"**, PHD thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, 2003.*

[2] *Augarde, C. E., Burd, H. J., & Houlsby, G. T., **Some experience of modelling tunneling in soft ground using three-dimensional finite elements**. Pages 603-612 of: 4th European.*

[3] *Desari, G. R., Rawlings, C. G., & Bolton, M. D., Burd, H. J., Houlsby, G. T., Augarde, C. E., & Liu, G., **Modelling tunnelling-induced settlement of masonry buildings**. Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech. Engineering, 143, 17-29, 2000.*

[4] *Desari, G. R., Rawlings, C. G., & Bolton, M. D., **Numerical modelling of a NATM tunnel construction in london clay**. Pages 491-496 of: Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam, 1996..*

[5] *Dias, D., Kastner, R., & Maghazi, M. **Three dimensional simulation of slurry shield in tunnelling**. Pages 351-356 of: Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam, 2000.*

[6] *Guedes, P. F. M., & Santos Pereira, C., **The role of the soil K0 value in numerical analysis of shallow tunnels**. Pages 379-384 of: Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam, 2000.*

[7] *Katzenbach, R., & Breth, H.,* ***Nonlinear 3d analysis for NATM in Frankfurt Clay****. Pages 315-318 of: Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., vol. 1. Balkema, Rotterdam, 1981.*

[8] *Kimura, T., & Mair, R. J.,* ***Centrifugal testing of model tunnels in soft clay****. Pages 319-322 of: Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., vol. 1. Balkema, Rotterdam, 1981.*

[9] *Komiya, K., Soga, K., Akagi, H., Hagiwara, T., & Bolton, M. D.,* ***Finite element modelling of excavation and advancement process of a shield tunnelling machine****. 39(3),37-52, 1999.*

[10] *Lee, G. T. K., & Ng, C. W. W.,* ***Three-dimensional analysis of ground settlements due to tunnelling: Role of K0 and stiffness anisotropy****. Pages 617-622 of: Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Specifique, Lyon, 2002.*

[11] *Lee, K. M., & Rowe, R. K.,* ***An analysis of three-dimensional ground movements: the Thunder Bay tunnel****. Canadian Geotechnical Journal, 28, 25-41, 1991.*

[12] *Tang, D. K. W., Lee, K. M., & Ng, C. W. W.,* ***Stress paths around a 3-D numerically simulated NATM tunnel in stiff clay.*** *Pages 443-449 of: Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam, 2000.*

[13] *Vermeer, P. A., Bonnier, P. G., & MÄoller, S. C.,* ***On a smart use of 3D-FEM in tunnelling****. Pages 361-366 of: Proceedings of the 8th international symposium on numerical models in geomechanics, NUMOG VIII. Balkema, Rotterdam, 2002****.***

[۱۴]شریف‌زاده، م، کولیوند، ف، قربانی، م، ۱۳۹۰، **ارزیابی تأثیر هندسه و وزن ساختمان بر نشست سطح زمین ناشی از تونلسازی مرحله‌ای با استفاده از روش عددی اجزاء محدود**، مطالعه موردی پروژه تونل نیایش، نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران.

[۱۵]شرکت مهندسین مشاور عمران راهوار،۱۳۹۱، گزارش مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی پی پروژه تونل صدر- نیایش.

*[16]R.B.J. Brinkgreve & P.A. Vermeer , "****PLAXIS 3D TUNNEL user manual****" , TOKYO. A.A. Balkema, 2001.*

View publication stats