



بررسی رفتار لرزه‌ای تاج تونل تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک با رویکرد اجزاء محدود

کسری زهفروش^۱، علیرضا ناصری^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

^{۲*} دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (alinaseri@iaut.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۷/۲۵)

چکیده

امروزه استفاده از سازه‌های زیرزمینی و کاربری‌های متعدد آنها در نقل و انتقالات شهری و بین شهری اهمیت بسزایی را پیدا کرده است و یکی از موضوعات مورد بحث و تحقیق در بین مهندسين حوزه‌ی ساخت و عمران پیدا کرده است. یکی از مسائلی که در این سازه‌ها توجه محققین را به خود جلب کرده است تامین مقاومت این سازه‌ها رد برابر بارهای دینامیکی می‌باشد. از این رو در مقاله‌ی حاضر رفتار لرزه ای تونل تحت رکورد زلزله در حوزه نزدیک و با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تجزیه و تحلیل این پژوهش رفتار لرزه ای تونل خط ۲ قطار شهری تبریز انتخاب و با استفاده از نرم افزار آباکوس و گزارشات ژئوتکنیکی موجود خط ۲ قطار شهری تبریز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از این است که در صورت اعمال سربار میزان تغییر شکل و کرنش در تاج تونل افزایش می یابد که این افزایش متناسب با رکورد زلزله اعمالی می باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد رفتار تونل در صورت اعمال سربار نسبت به حالت فاقد سربار، تحت رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل حساس به لایه بندی خاک نبوده و میزان تغییر شکل تاج تونل تحت هر دو شتاب نگاشت بم و ورزقان در تمامی مقاطع توده خاکی نزدیک به هم بوده است. همچنین نتایج حاکی از این است که در مسیر خط ۲ قطار شهری تبریز با وجود تغییر در مشخصات توده خاکی در مسیر، رفتار تونل حساسیت چندانی به لایه بندی خاک در مسیر نداشته و در صورت قرارگیری تونل در عمق ۲۲ متری از تراز زمین تحت رکورد زلزله‌های اعمالی میزان تغییر شکل چندانی در تاج تونل رخ نمی دهد.

کلمات کلیدی

سازه‌های زیرزمینی، زلزله های حوزه نزدیک، رفتار لرزه‌ای، خط ۲ قطار شهری تبریز، نرم افزار آباکوس.



Study of the Tunnel Crown behavior Under the Influence of Near Field Earthquakes with Finite Element Method

Kasra Zehforoosh¹, Alireza Naseri^{2*}

¹ M.Sc. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

^{2*} Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (alinaseri@iaut.ac.ir)

(Date of received: 06/11/2017, Date of accepted: 17/10/2018)

ABSTRACT

Today, the use of underground structures and their numerous uses in urban and interurban transportation has been found to be of great importance and has become one of the topics discussed by engineers in the field of construction and civil engineering. One of the issues that have attracted the attention of the researchers in these structures is the resistance of these structures to the rejection of dynamic loads. Therefore, in the present article, the seismic behavior of the tunnel under the earthquake record in the near field has been studied with regard to overhead and overhead. To analyze this research, the seismic behavior of tunnel line 2 of Tabriz city trains was selected and using the abacus software and available geotechnical reports, the 2nd line of Tabriz city trains was studied. The results of this study indicate that, in case of overturning, the amount of deformation and strain in the tunnel crown increases, this increase is proportional to the earthquake record. The results also show that the behavior of the tunnel in case of overhead operation in relation to the non-overhead state is not under the earthquake record of the near-frontier zone, which is sensitive to soil layering, and the variation of the tunnel crown under both acceleration maps of Bam and Varzaghan in all sections of the Earth's crust is close to It has been. The results also indicate that on the route of line 2 of the city of Tabriz, despite the change in the characteristics of the soil mass in the path, the tunneling behavior has little sensitivity to soil layering in the path and if the tunnel is located at a depth of 22 meters from the ground level under the earthquake record There is not much deformation in the crown of the tunnel.

Keywords:

Underground structures, Near-field earthquakes, Seismic behavior, Tabriz Metro Line 2, Abaqus Software.



۱- مقدمه

با توجه به توسعه روزافزون سازه های زیرزمینی، کاربری های متعدد آنها، همچنین هزینه های فراوانی که برای ساخت هر یک از این سازه ها صرف می شود و نیز اهمیت آنها در شبکه حمل و نقل بین شهری و داخل شهری و با در نظر گرفتن خطراتی که در صورت آسیب دیدگی آنها متوجه جان مردم می شود لازم است که مقاومت این سازه ها در برابر بارهای دینامیکی مورد بررسی قرار گیرد چراکه اهمیت این موضوع اهمیت فراوانی در زندگی و کیفیت زندگی بین شهری و شهری افراد داشته است. برای سازه های زیرزمینی مانند تونل، رویکرد طراحی لرزه ای متفاوت از رویکرد مورد استفاده برای سازه های سطحی می باشد. برای طراحی سازه های سطحی بزرگ مثل پل ها، نیروهای ایجاد شده ناشی از زمین لرزه چندین برابر شدیدتر از نیروهای ناشی از علت های دیگر است. زلزله حالت خاصی از تغییر شکل توده های سنگی است که در آن پدیده های گسیختگی در مقیاس متفاوت رخ می دهد. به عبارت دیگر هر نوع لرزش زمین در اثر عبور امواج لرزه ای می باشد. عامل ایجاد امواج لرزه ای پاسخ زمین به انرژی های اندوخته می باشد. شریان های حیاتی در واقع خطوط ارتباطی جوامع مختلف بشری هستند. مواردی چون جاده ها، اتوبان های بین شهری، مترو، کانال ها، لوله های آب، فاضلاب، نفت و گاز، مجاری کابل های مخابراتی و برق و غیره در بردارنده ی این خطوط هستند که همه آنها برای دوام سطح مطلوب زندگی امروزی که جمعیت شهری است، اساسی می باشند و نقش حیاتی این شریان ها در اقتصاد امروزی ما در هزاران کیلومتر جاده ها و اتوبان ها در مناطق مختلف کشور بازتاب می یابد. این سیستم ها با خاک (زمین) در ارتباط مستقیم بوده و اکثراً به صورت مدفون در زیرزمین هستند و زلزله به عنوان عامل ویرانگر سازه ها بر روی آنها اثر مستقیم دارد [۱]. سوانساوات در سال ۲۰۰۲ در مقاله ی خود تغییر شکل های زمین در اثر تونل زنی را شامل دو بخش دانست. اول، تغییر شکل هایی که مستقیماً در اثر حفاری انجام می گیرد که افت زمین یا افت حجمی نامیده می شوند و بزرگ ترین و بحرانی ترین تغییر شکل ها را شامل می شوند. بخش دوم، نشست تحکیمی یا نشست بلند مدت است که در اثر افزایش تنش موثر در اطراف تونل انجام می شود [۲]. کیلینگر و همکاران در سال ۲۰۱۱ به این نتیجه دست یافتند که بررسی مطالعات مدلی از تاثیرات حرکات ورودی در رفتار لرزه ای تونل نشان می دهد که مقدار حداکثر شتاب ورودی نقشی حیاتی در حداکثر و نیروهای پوشش باقی مانده، که تونل تجربه می کند، دارد [۳]. فابوزی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به پیش بینی رفتار لرزه ای یک ایستگاه قطار زیرزمینی و یک تونل در ناپولی (ایتالیا) که توسط یک حفره بزرگ باز چند طرفه و یک تونل تقسیم دایره ای در یک منطقه متراکم شده در مرکز شهر ناپولی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که افزایش لرزه نیروهای داخلی در دیواره های دیافراگم ایستگاه و در پوشش بخش تونل نقش بسزایی دارد [۴]. باوو و همکاران در سال ۲۰۱۷ به تجزیه و تحلیل عددی رفتار لرزه ای یک تونل بزرگ مترو در زمین روانگرا پرداخته اند. این مطالعه به بررسی توسط یک تنش موثر بر خاک- آب انجام گرفته و به طور کامل توسط روش اجزای محدود (FE- FD) با در نظر گرفتن روند حفاری در طول ساخت و ساز سازه مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. ژو و همکارانش در سال ۲۰۱۵ برخی آزمایشات آزمایشگاهی برای کشف نقش خطوط ضعیف در آسیب های سنگ فرش در تونل ها انجام دادند. در مطالعات خود نقش صفحات ضعیف در آسیب ترکیدگی سنگ که در تونل های نیرو گاه برق آبی Jinping مشاهده می شود. با استفاده از مشاهده های بدست آمده از نتایج آزمایش برشی توضیح داده شده است. آنها اظهار داشتند که صفحات ضعیف می تواند در تونل ها با سه مکانیزم شامل لغزش زمین، تغییر شکل گسیختگی و کمانش باعث ایجاد صفحات ضعیف می شوند. [۶].



منوچهریان در سال ۲۰۱۶ از مدل های عددی برای مطالعه ترکیدگی سنگ در نزدیکی مناطق شکست در تونل های عمیق استفاده می کند. در این مطالعه نشان می دهد که صفحات ضعیف در اطراف یک تونل ممکن است سختی سیستم بارگذاری سنگ های شکسته را تغییر دهند و موجب برانگیختگی شوند. زیرا زمانی که یک صفحه ضعیف در نزدیکی بازشدگی زیرزمینی وجود دارد، حجم زیادی از سنگ قادر به حرکت آزادانه تر از حالت بدون صفحات ضعیف هستند. [۷].

توسعه شهرهای بزرگ نیاز به استفاده از مناطق زیرزمینی برای ساخت های حمل و نقل و آسان کردن زندگی است. در برخی از شهرها شرایط زیرزمینی و ژئوتکنیکی و ساخت تونل های جدید نزدیک به تونل های موجود را تحمیل میکنند. در موارد دیگر راه حل داشتن تونل های دوقلو مزایای عمده ای دارد، مانند کاهش قطر تونل ها و حرکت خاک که از ساخت تونل حاصل می شود. برای تجزیه و تحلیل اثر متقابل بین دو تونل از هر دو مدلسازی عددی و مشاهدات در محل استفاده شد. نتایج نشان می دهد که در برخی از اثرات متقابل تعامل عمدتا می تواند به نشست خاک و طراحی تونل دوقلو نیاز به تجزیه و تحلیل عددی مرتبط با نظارت در طول ساخت و ساز تونل منجر شود [۸].

۲- روش تحقیق

خسارات ناشی از بارگذاری لرزه ای در تاج تونل ممکن است باعث شود تا سازه های زیرزمینی به صورت شناور در آمده و در اثر کاهش ظرفیت باربری و افزایش فشار جانبی نشست کنند. سازه های زیرزمینی مثل تونل برای بهسازی و توسعه ای جاده و شبکه ای راه آهن، سیستم های متنوع شریان های حیاتی زیرزمینی، تسهیلات وسیع ذخیره سازی زیرزمینی برای سوخت های جامد و مایع و همچنین برای حفاظت از مردم با تجهیزات حساس نقش مهمی را در پیشرفت و توسعه ای یک کشور رقم می زنند. این گونه سازه ها باید به نوعی طراحی شوند که بتوانند در برابر بارهای دینامیکی یا امواج لرزه ای بدون هیچ گونه خطری، از خود مقاومت نشان دهند. آنالیز سازه های زیرزمینی به دلیل تعامل آنها با خاک اطراف به ویژه تحت شرایط دینامیکی سخت و دشوار می باشد. سازه های زیرزمینی یکی از مهمترین نیازهای شهرنشینی مدرن بوده که بررسی و تحلیل رفتار آنها در مقابل بارگذاری دینامیکی مانند امواج زلزله، امری ضروری می باشد. روانگرایی به عنوان یکی از پیامدهای زلزله، همواره یکی از نگرانی های اصلی مهندسی ژئوتکنیک در پروژه های مختلف بوده است. تونل هایی که در چنین لایه هایی ساخته می شوند تحت تأثیر پدیده روانگرایی قرار خواهند گرفت. در آذربایجان بر اثر حرکات درونی زمین، چین ها و شکست های متعدد و چندین گسل کوچک و بزرگ به وجود آمده است که این گسل ها سبب جابجایی و شکست طبقات گردیده اند. هدف از مقاله ای حاضر ارزیابی رفتار لرزه ای تاج تونل خط دو قطار شهری تبریز تحت زلزله های حوزه ای نزدیک، به روش اجزا محدود می باشد. برای این منظور، رفتار تاج تونل در ۵ مقطع طبق گزارش ارائه شده ژئوتکنیکی خط دو مترو تبریز که هر مقطع از چند لایه با مشخصات مکانیکی و ضخامت لایه های متفاوت تشکیل شده، مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است رفتار تونل در دو حالت با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار از لحاظ توزیع کرنش و تغییر شکل در تاج تونل مورد ارزیابی قرار گرفته است. رکورد زلزله های بم و ورزقان برای حوزه نزدیک گسل انتخاب گردیده است. با توجه به قرار گرفتن ساختگاه طرح، در کلانشهر تبریز با توجه به خطر لرزه خیزی بسیار زیاد این منطقه، در این مقاله تحلیل پایداری تاج تونل خط ۲ قطار شهری تبریز تحت رکورد زلزله های نزدیک با استفاده از نرم افزار ABAQUS صورت گرفته است که به بررسی تغییر شکل تاج تونل، تحت بارگذاری ناشی از زلزله بر تاج تونل، پرداخته شده است. با توجه به رشد روز افزون سفرهای درون شهری در تبریز و ضرورت استفاده از سامانه حمل و نقل ریلی در راستای کاهش مشکلات ترافیکی، مطالعات فاز یک و دو قطار شهری تبریز در سال



۱۳۸۰ آغاز و شبکه قطار شهری تبریز شامل ۴ مسیر جمعاً حدود ۶۰ کیلومتر طراحی گردیده است. خط یک، به طول ۱۷/۲ کیلومتر که شامل ۱۸ ایستگاه می‌باشد حدود ۸ کیلومتر از مسیر به صورت تونل عمیق طراحی شده است. خط دو، به طول حدود ۲۲/۴ کیلومتر شامل ۲۰ ایستگاه است. خط سه، به طول حدود ۱۵ کیلومتر و شامل ۱۴ ایستگاه و خط چهار، به طول ۱۰ کیلومتر و شامل ۱۰ ایستگاه می‌باشد. در این مقاله ۵ مقطع انتخاب شده مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش طبق گزارش ارائه شده ژئوتکنیکی خط دو مترو تبریز مدلسازی گردیده است که هر مقطع از چند لایه با مشخصات مکانیکی متفاوت و ضخامت لایه‌های متفاوت که مشخصات خاک برای هریک از توده های خاکی در جدولی که در ادامه ارائه شده است معرفی شده است. همچنین ضخامت هر لایه نیز در جداول مذکور آورده شده است. در ادامه مشخصات مقاطع ذکر شده در جداول ۱ تا ۵ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات مقطع ۱

نوع لایه	ضخامت لایه (متر)	دانسیتته (kg/m^3)	مدول بالک (Mpa)	مدول برشی (Mpa)	زاویه اصطکاک	چسبندگی (Kpa)	نفوذپذیری (m/s)
لایه ۱	۹	۱۸۰۰	۱۸	۶/۹	۳۵	۳	۰/۰۰۰۰۴۵
لایه ۲	۲۶	۲۰۵۰	۱۸	۶/۹	۳۵	۳	۰/۰۰۰۰۴۵
لایه ۳	۴۵	۲۰۵۰	۲۹	۱۱/۲	۲۸	۱۲۰	۰/۰۰۰۰۱۸

جدول ۲: مشخصات مقطع ۲

نوع لایه	ضخامت لایه (متر)	دانسیتته (kg/m^3)	مدول بالک (Mpa)	مدول برشی (Mpa)	زاویه اصطکاک	چسبندگی (Kpa)	نفوذپذیری (m/s)
لایه ۱	۷/۵	۱۸۰۰	۷۲/۵	۲۴	۲۷	۱۰	۰/۰۰۰۰۱۲
لایه ۲	۱۵	۱۸۵۰	۱۰۰	۳۳	۳۱	۸	۰/۰۰۰۰۳۶
لایه ۳	۲۱	۱۹۰۰	۸۳	۲۸	۲۶	۱۴	۰/۰۰۰۰۱۲
لایه ۴	۳۰	۱۹۰۰	۱۴۰	۵۲	۳۲	۸	۰/۰۰۰۰۳۶
لایه ۵	۳۶	۲۱۰۰	۱۴۰	۵۲	۳۰	۱۱	۰/۰۰۰۰۰۲۶
لایه ۶	۴۵	۲۱۰۰	۱۴	۵۲	۳۲	۸	۰/۰۰۰۰۰۶۱

جدول ۳: مشخصات مقطع ۳

نوع لایه	ضخامت لایه (متر)	دانسیتته (kg/m^3)	مدول بالک (Mpa)	مدول برشی (Mpa)	زاویه اصطکاک	چسبندگی (Kpa)	نفوذپذیری (m/s)
لایه ۱	۷/۵	۱۹۰۰	۱۶	۵/۳	۱۸	۲۰	۰/۰۰۰۰۳۶
لایه ۲	۱۵	۲۰۵۰	۳۲	۱۰/۷	۱۷	۷۰	۰/۰۰۰۰۰۹
لایه ۳	۴۵	۲۱۰۰	۵۰	۱۶/۶	۱۹	۱۰۰	۰/۰۰۰۰۰۵۱



جدول ۴: مشخصات مقطع ۴

نوع لایه	ضخامت لایه (متر)	دانسیته (kg/m^3)	مدول بالک (Mpa)	مدول برشی (Mpa)	زاویه اصطکاک	چسبندگی (Kpa)	نفوذپذیری (m/s)
لایه ۱	۶	۱۹۰۰	۲۲	۸/۶۵	۳۵	۷	۰/۰۰۰۰۸۴
لایه ۲	۱۸	۲۱۰۰	۵۵	۱۸/۵	۲۸	۱۷	۰/۰۰۰۰۰۲
لایه ۳	۲۷	۲۱۸۰	۶۶	۲۲	۱۷	۸۰	۰/۰۰۰۰۲۸
لایه ۴	۴۵	۲۲۳۰	۶۶	۲۴/۲	۲۲	۲۰	۰/۰۰۰۰۱۹

جدول ۵: مشخصات مقطع ۵

نوع لایه	ضخامت لایه (متر)	دانسیته (kg/m^3)	مدول بالک (Mpa)	مدول برشی (Mpa)	زاویه اصطکاک	چسبندگی (Kpa)	نفوذپذیری (m/s)
لایه ۱	۹	۱۹۰۰	۲۲	۷/۴	۲۵	۵۰	۰/۰۰۰۰۷۴
لایه ۲	۱۲	۱۹۵۰	۲۲	۷/۴	۲۵	۵۰	۰/۰۰۰۰۷۴
لایه ۳	۱۵	۱۹۵۰	۴۲	۱۶/۱	۳۲	۹	۰/۰۰۰۰۷۴
لایه ۴	۴۵	۲۰۸۰	۴۲	۱۶/۱	۳۲	۶	۰/۰۰۰۰۷۴

روش پیشنهادی به صورت دینامیکی و در دو حالت با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار و در حوزه‌ی نزدیک مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است همچنین روش ارائه شده در این مقاله در تمامی مقاطع معرفی شده مورد بررسی قرار گرفت که در مطالعات پیشین بررسی صورت گرفته در مقاطع مختلف انجام نگرفته بودند از این رو بررسی مقاطع مختلف در این زمینه به عنوان کاری نو در این پژوهش معرفی شده است. همینطور روش ارائه شده به بررسی لایه‌های خاکی متفاوت و مصالح خاکی متفاوت پرداخته است که در مقالات پیشین توسط سایر محققین مورد توجه قرار نگرفته است. می‌توان از موارد ذکر شده در این قسمت به عنوان موارد جدیدی یاد کرد که در مطالعات پیشین مورد توجه و بررسی قرار نگرفته است. برای مدلسازی رفتار بتن از مدل خسارت آسیب پلاستیک بتن استفاده شده است که مشخصات آن به صورت جدول ۶ ارائه شده است. همچنین مشخصات مکانیکی فولاد به صورت الاستیک و پلاستیک به صورت جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶: مشخصات پلاستیک بتن

Plasticity				
Dilation Angle	Eccentricity	f_{b0}/f_c	K	Viscosity Parameter
15	0.1	1.16	0.67	0.001



جدول ۷: مشخصات پلاستیک فولاد

کرنش پلاستیک	تنش جاری شدن (Pa)
0	۲۰۰۲۰۰۰۰۰
۰/۰۲۳۷	۲۴۶۰۰۰۰۰۰
۰/۰۴۷۸	۲۹۴۰۰۰۰۰۰
۰/۰۹۴۴	۳۷۴۰۰۰۰۰۰
۰/۱۳۸۸	۴۳۷۰۰۰۰۰۰
۰/۱۸۱۴	۴۸۰۰۰۰۰۰۰

جدول ۸: مشخصات دوغاب

چگالی (kg/m ³)	مدول الاستیسیته (MPa)	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک	زاویه اتساع	تنش چسبندگی (MPa)
۱۵۰۰	۴۰	۰/۲۵	۳۵	۳	۶۰

۱-۲- شتابنگاشت انتخابی

تحلیل دینامیکی خطی و غیرخطی سازه ها با استفاده از شتابنگاشت های زلزله، روشی مرسوم در تحقیق های مهندسی زلزله و نیز در طراحی سازه های مهم است. امروزه بر اساس آیین نامه های زلزله، الزام است تا در وهله اول شتابنگاشت ها سازگار باشند و سپس به مقیاس درآیند جهت تحلیل تاریخچه زمانی، شتاب نگاشت زلزله مطابق جدول ۹ استخراج گردیده در این جدول مشخصات زلزله های مورد نظر گردآوری شده است.

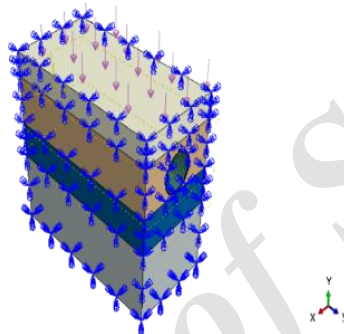
جدول ۹: لیست شتاب نگاشت های انتخاب شده به همراه مشخصات آنها

شتاب نگاشت	ایستگاه ثبت زلزله	شدت زلزله	فاصله (Km)	Vs30(m/s)	PGA	
					مولفه X	مولفه Y
Bam Iran 2003	Bam	6.6	6	302.64	0.74036 g	0.61125g
Arasbaran 2012	Satar khan Dam2	6.1	8	246	0.2528 g	0.2507 g



۲-۲- مدلسازی تونل

در مقاله‌ی حاضر تونل ایجاد شده در مکان‌های مختلف که متشکل از لایه بندی‌های متفاوت خاک می‌باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این تونل تحت رکوردهای زلزله تحلیل دینامیکی شده است. در این تحلیل ۵ مقطع در نظر گرفته شده که مشخصات مکانیکی آنها به صورت تجربی بدست آمده، مورد استفاده قرار گرفته است. ابعاد کلی خاک برای هر حالت $45 \times 50 \times 25$ مترمربع می‌باشد. همچنین در تمام حالات، تونل مترو که در ارتفاع ۲۵ متری تاج تونل از سطح زمین می‌باشد، ایجاد گردیده است. این تونل از سه لایه دوغاب، فولاد و بتن از لایه خارجی تا لایه داخلی می‌باشد. ضخامت این لایه‌ها به ترتیب برابر $0/15$ ، $0/1$ و $0/35$ متر می‌باشد. به منظور شبیه سازی مواد خاک در شرایط دینامیکی از رابطه دراگر-پراگر استفاده شده است.

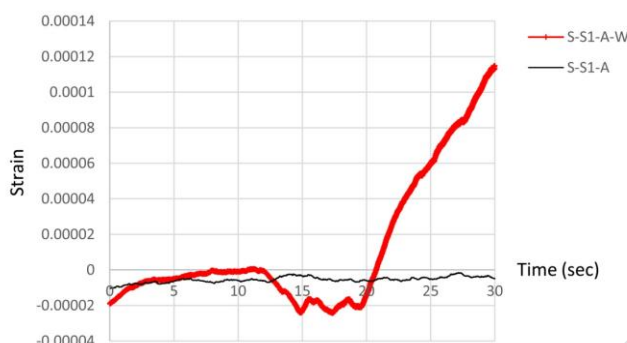


شکل ۱: شرایط مرزی و نیروی اعمالی در خاک

در این مرحله شرایط مرزی و نیرویی در سیستم اعمال می‌شود و شکل ۱ نمایش شرایط اعمالی بر خاک می‌باشد. بروی سطح بالا و آزاد خاک نیرویی برابر با ۴۰۰۰ نیوتون بر مترمربع وارد شده است. همچنین شتاب جاذبه زمین نیز به منظور وارد کردن نیروی چگالی آورده شده است. شرایط مرزی در این سیستم نیز بدین صورت می‌باشد که سطح زیرین خاک در تمام جهات بسته شده و اطراف خاک نیز تنها در جهات طولی آزاد می‌باشند.

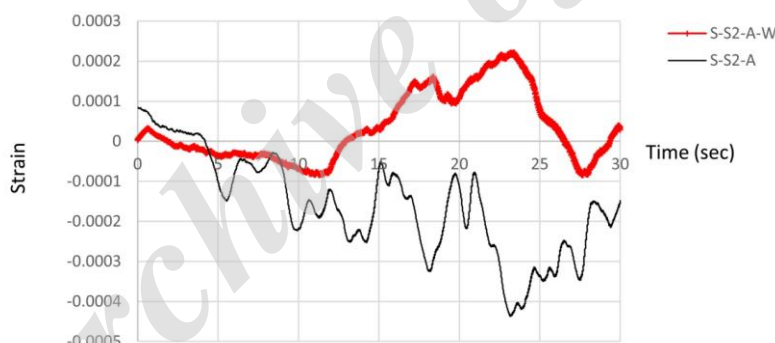
۳- نتایج

در مقاله‌ی حاضر رفتار تونل در دو حالت با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار از لحاظ کرنش و تغییرشکل در تاج تونل در مقاطع S1, S2, S3, S4, S5 مورد ارزیابی قرار گرفته است که رکورد زلزله‌های بم و ارسباران برای حوزه نزدیک گسل انتخاب گردیده و مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج حاصل در ادامه ارائه شده است. در این قسمت نتایج مربوط به کرنش و تغییر شکل موجود در تاج تونل حاصل از بررسی زلزله‌ی بم تحت ۵ مقطع و سپس رکورد زلزله‌ی ارسباران تحت مقاطع پنج گانه مورد بررسی قرار گرفته است.



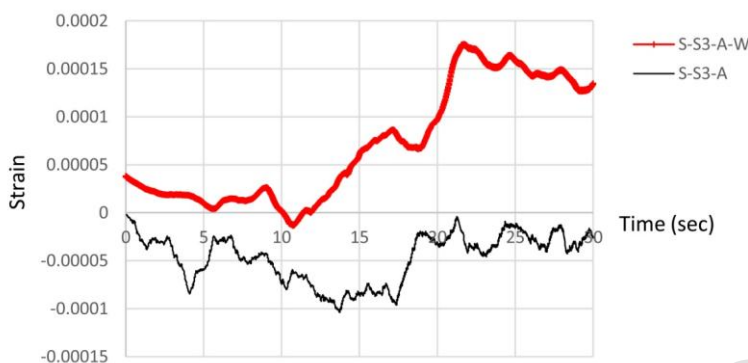
شکل ۲: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۲) نشان دهنده‌ی مقایسه‌ی کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در حالت اعمال سربار کرنش کشیدگی و جود ندارد و کرنش جمع شدگی 1.043×10^{-4} می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 0.000114924 و کرنش جمع شدگی -2.43×10^{-5} می‌باشد. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S1 افزایش $4/29$ برابری تجربه کرده است.



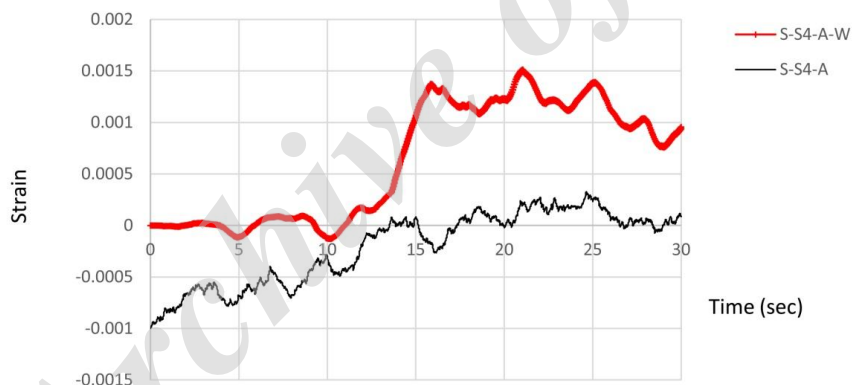
شکل ۳: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۳) مقایسه‌ی کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است در حالت اعمال سربار کرنش کشیدگی 8.48×10^{-5} و کرنش جمع شدگی -0.00044 می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 0.00022118 و کرنش جمع شدگی 8.51×10^{-5} می‌باشد. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S2 افزایش $5/17$ برابری تجربه کرده است.



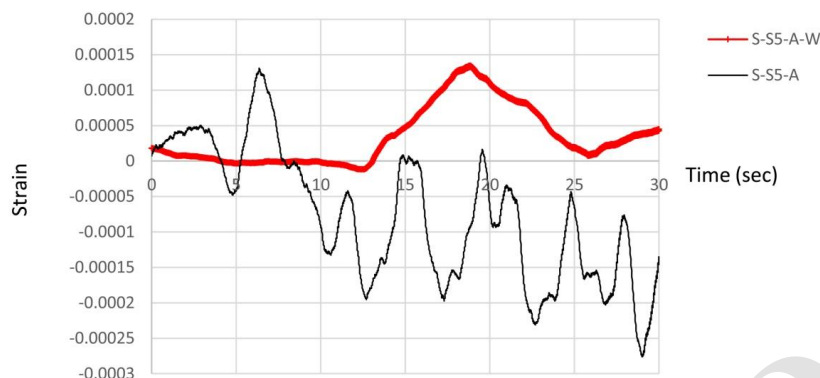
شکل ۴: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۴) نشان‌دهنده‌ی مقایسه‌ی کرنش موجود در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در حالت اعمال سربار کرنش کشیدگی وجود ندارد و کرنش جمع شدگی 0.00010376 می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 0.000175891 و کرنش جمع شدگی 1.35×10^{-5} می‌باشد. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S3 افزایش $7/69$ برابری تجربه کرده است.



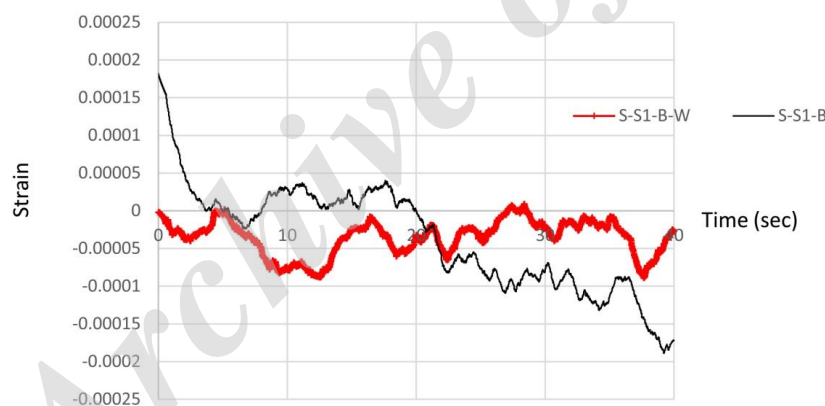
شکل ۵: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۵) مقایسه‌ی کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است در حالت اعمال سربار مقدار کرنش کشیدگی برابر با 0.000151303 و میزان کرنش جمع شدگی 0.00013 می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار مقدار بدست آمده برای کرنش کشیدگی و کرنش جمع شدگی به ترتیب برابر با 3.249×10^{-4} و 0.0001 می‌باشند. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S4 افزایش $4/66$ برابری تجربه کرده است.



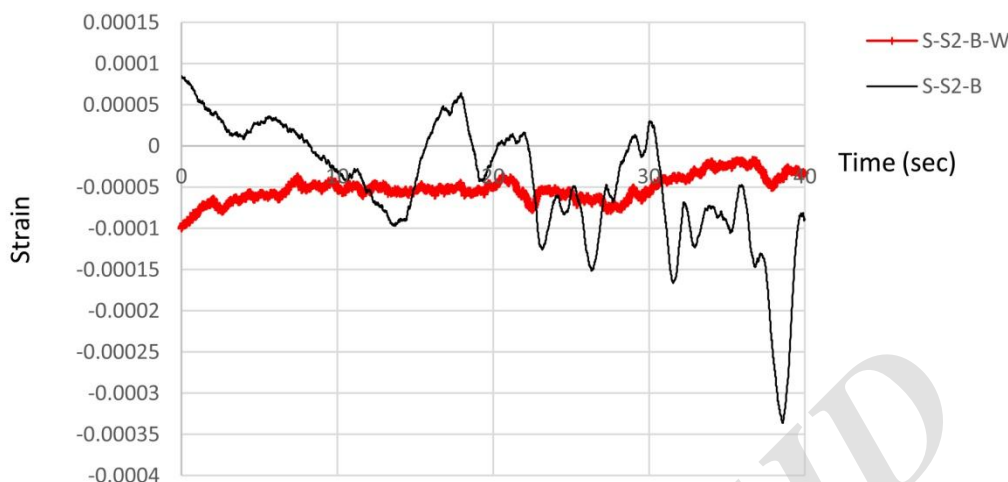
شکل ۶: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۶) نمودار مقایسه ای کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار نشان داده شده است. در حالت اعمال سربار مقادیر مربوط به کرنش کشیدگی و کرنش جمع شدگی به صورت $0/00131$ و $-0/0002757$ حاصل شده است. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی $0/000135$ و کرنش جمع شدگی -1.18×10^{-4} می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S5 افزایش $2/34$ برابری تجربه کرده است.



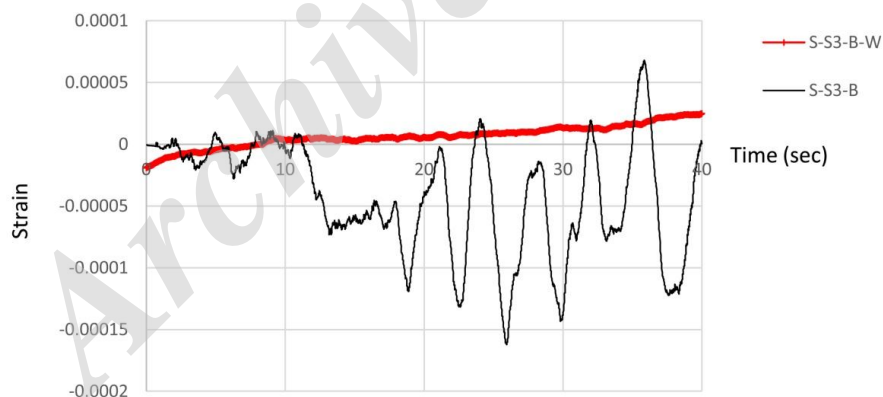
شکل ۷: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۷) نمودار مقایسه ای کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. ملاحظه می گردد در حالت اعمال سربار کرنش کشیدگی 0.000182 و کرنش جمع شدگی $-0/00019$ می باشد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 8.89×10^{-6} و کرنش جمع شدگی -8.94×10^{-5} می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S1 افزایش $2/13$ برابری تجربه کرده است.



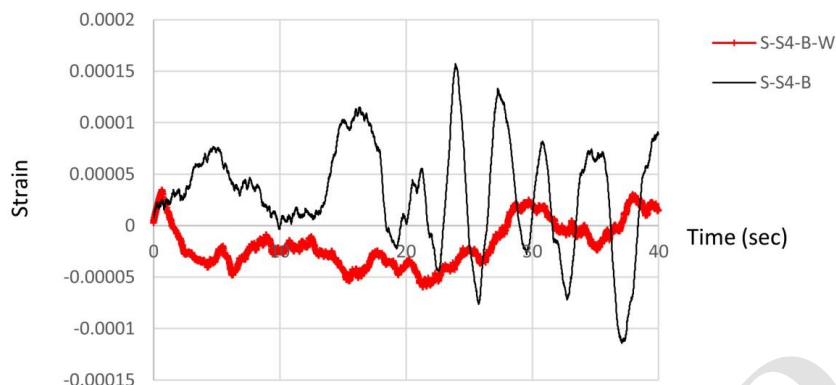
شکل ۸: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۸) نشان‌دهنده‌ی نمودار مقایسه‌ی کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می‌باشد همانطور که مشاهده می‌شود در حالت اعمال سربار کرنش کشیدگی 8.48×10^{-5} و کرنش جمع شدگی -0.0003361 می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی وجود ندارد و کرنش جمع شدگی -0.0001 می‌باشد. با مشاهده نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S2 افزایش $3/361$ برابری تجربه کرده است.



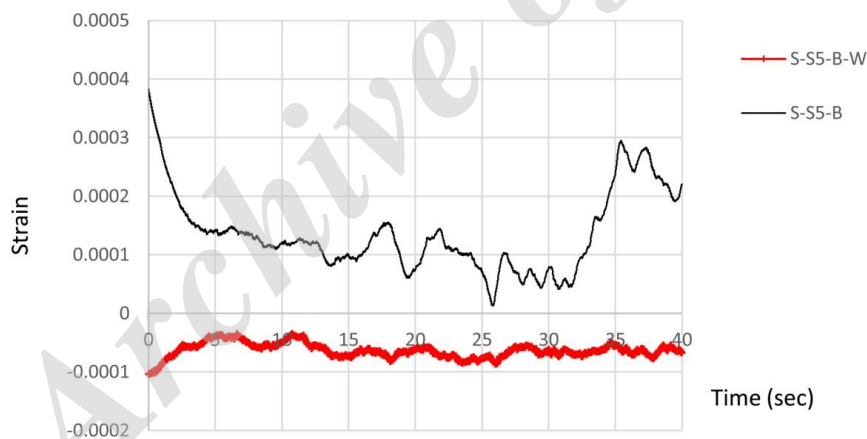
شکل ۹: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

نمودار شکل (۹) نشان‌دهنده‌ی نمودار مقایسه‌ی کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می‌باشد. ملاحظه می‌گردد در حالت اعمال سربار مقادیر کرنش کشیدگی و کرنش جمع شدگی برابر با 6.81×10^{-5} و -0.00016218 می‌باشند. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 2.52×10^{-5} و کرنش جمع شدگی -1.91×10^{-5} می‌باشد. با مشاهده نمودار مقایسه‌ی ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S3 افزایش $8/49$ برابری تجربه کرده است.



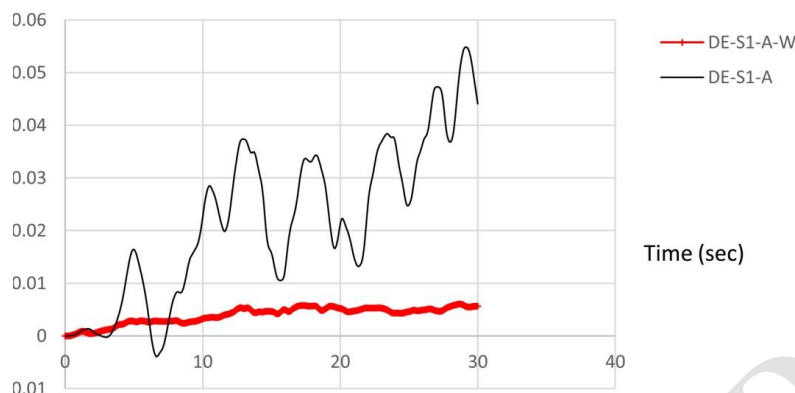
شکل ۱۰: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۱۰) نمودار مقایسه ای کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می باشد. همانطور که در شکل نیز ملاحظه می گردد در حالت اعمال سربار مقدار کرنش کشیدگی ۰/۰۰۰۱۵۷ و همچنین مقدار کرنش جمع شدگی ۰/۰۰۰۱۱۴۱۹- حاصل گردید است. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی 3.48×10^{-5} و کرنش جمع شدگی 5.97×10^{-5} می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می شود که با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان کرنش در تاج تونل مقطع S4 افزایش ۴/۵۱ برابری تجربه کرده است.



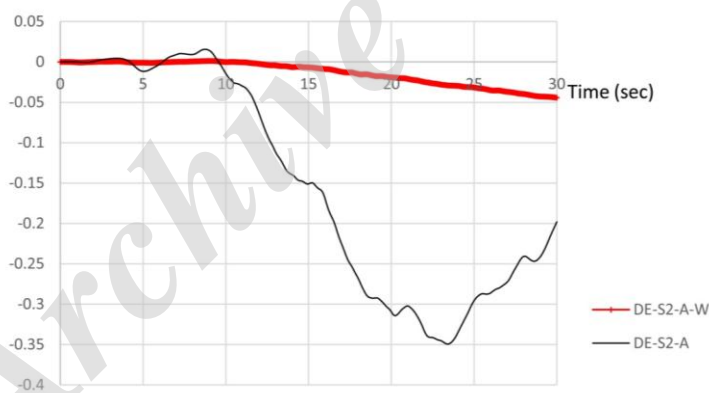
شکل ۱۱: کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۱) نمودار مقایسه ای کرنش در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. در حالت اعمال سربار مقدار کرنش کشیدگی برابر با ۰/۰۰۰۳۸۳ بوده و کرنش جمع شدگی وجود ندارد. همچنین در حالت بدون سربار کرنش کشیدگی وجود ندارد و کرنش جمع شدگی برابر با 1.0426×10^{-4} می باشد.



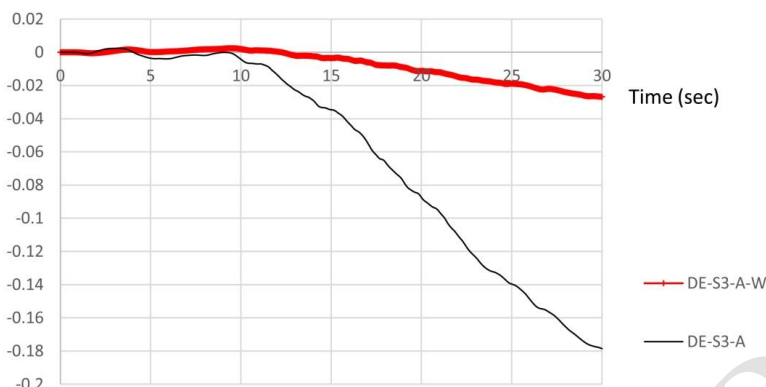
شکل ۱۲: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

نمودار (۱۱) نشان‌دهنده‌ی نمودار مقایسه‌ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می‌باشد. ملاحظه می‌گردد در حالت اعمال سربار دچار $0/054817$ سانتیمتر انبساط و $-0/00395$ سانتیمتر انقباض می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار $0/006067$ سانتیمتر انبساط و بدون انقباض می‌باشد. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ای ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S1 افزایش $9/04$ برابری تجربه کرده است.



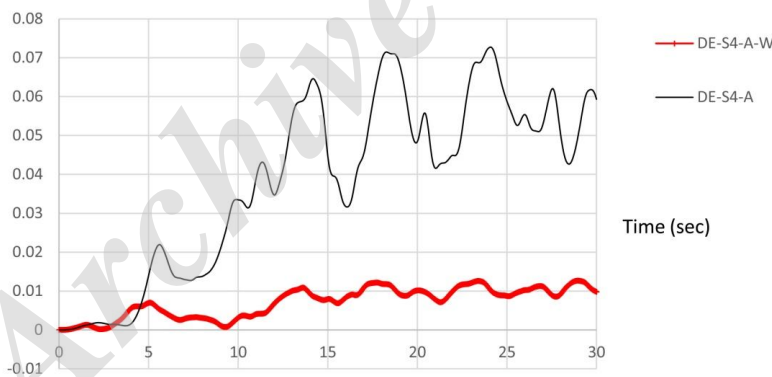
شکل ۱۳: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۳) نمودار مقایسه‌ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. ملاحظه می‌گردد در حالت اعمال سربار دچار $0/015$ سانتیمتر انبساط و $-0/034$ سانتیمتر انقباض می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار $0/01236$ سانتیمتر انبساط و $-0/044$ سانتیمتر انقباض می‌باشد. با مشاهده‌ی نمودار مقایسه‌ای ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S2 افزایش $12/59$ برابری تجربه کرده است.



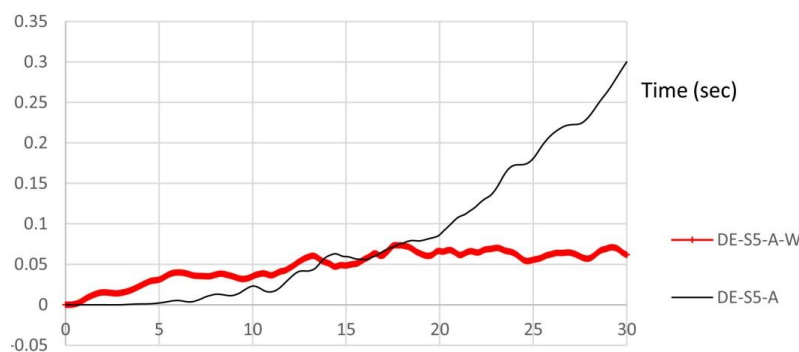
شکل ۱۴: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۴) نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار نشانه داده شده است. همانطور که در شکل نیز ملاحظه می گردد در حالت اعمال سربار دچار 0.002446 سانتیمتر انبساط و 0.017 - سانتیمتر انقباض می باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار 0.002464 سانتیمتر انقباض و 0.02685 - سانتیمتر انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S3 افزایش $6/65$ برابری تجربه کرده است.



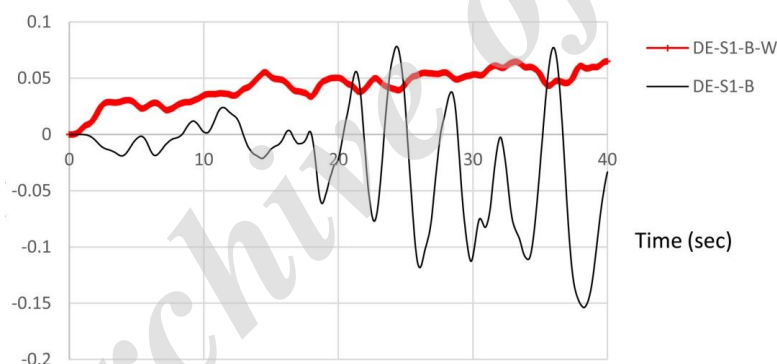
شکل ۱۵: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۵) نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است در حالت اعمال سربار دچار 0.0072744 سانتیمتر انقباض و بدون سربار دچار 0.012648 سانتیمتر انقباض و بدون انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S4 افزایش $5/75$ برابری تجربه کرده است.



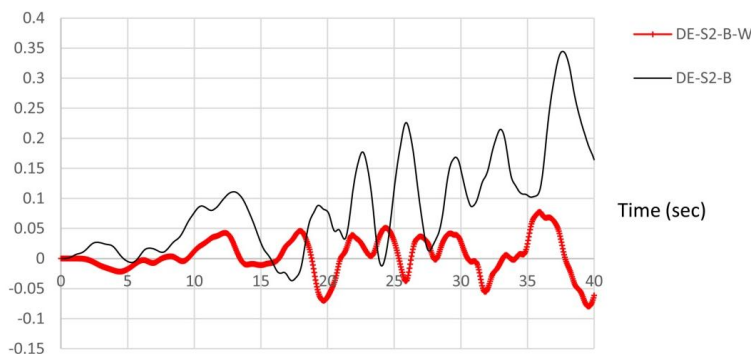
شکل ۱۶: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۶) نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله ارسباران با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. در حالت اعمال سربار دچار 0.300045 cm انبساط و $-2.44 \times 10^{-5} \text{ cm}$ انقباض می باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار 0.073541 cm انبساط و بدون انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به حالت بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S5 افزایش 4.29 تجربه کرده است.



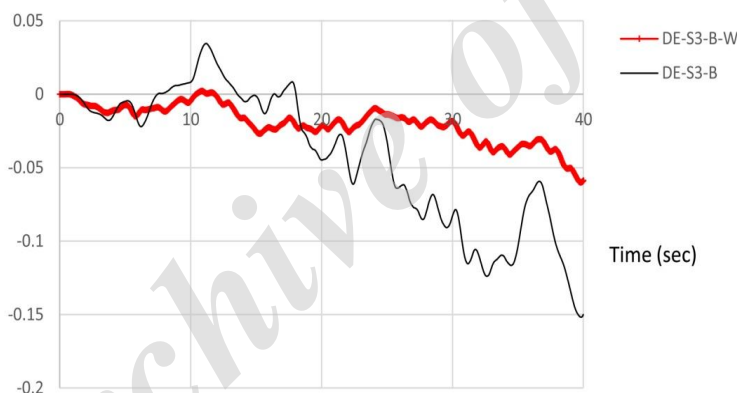
شکل ۱۷: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۱۷) نشان دهنده ی نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S1 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می باشد. ملاحظه می شود که در حالت اعمال سربار دچار 0.078257 سانتیمتر انبساط و -0.15385 سانتیمتر انقباض می باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار 0.065047 سانتیمتر انبساط و بدون انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S1 افزایش ۱/۲۰ برابری تجربه کرده است.



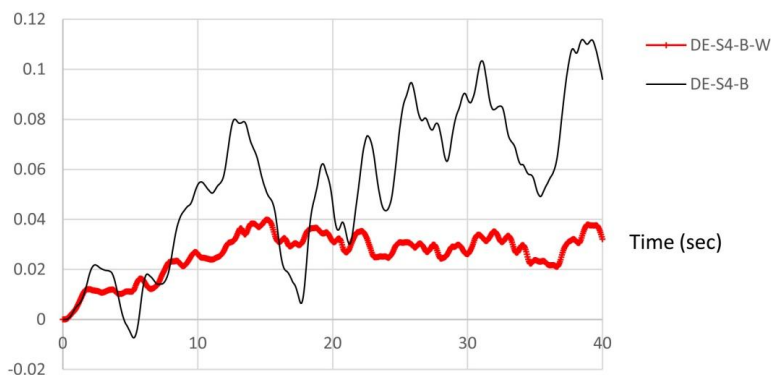
شکل ۱۸: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۱۸) نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S2 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار را نشان می دهد. همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است در حالت اعمال سربار دچار $0/34427$ سانتیمتر انبساط و $0/3678$ - سانتیمتر انقباض می باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار $0/077445$ سانتیمتر انبساط و $0/07981$ - سانتیمتر انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S2 افزایش $4/45$ برابری تجربه کرده است.



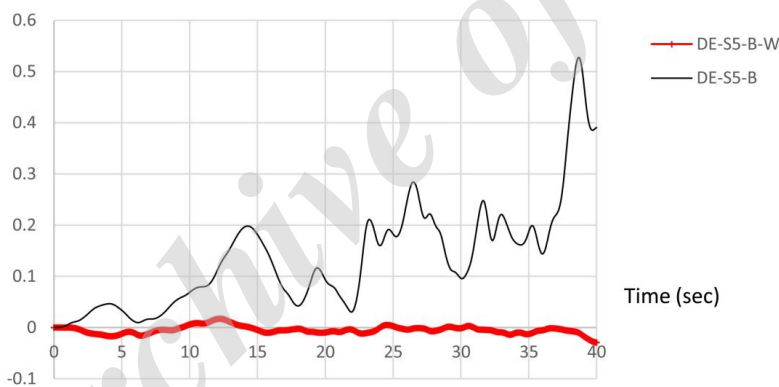
شکل ۱۹: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

در شکل (۱۹) نمودار مقایسه ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S3 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار آورده شده است. ملاحظه می گردد در حالت اعمال سربار دچار $0/034608$ سانتیمتر انبساط و $0/06$ - سانتیمتر انقباض می باشد. با مشاهده ی نمودار مقایسه ای ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S3 افزایش $15/5$ برابری تجربه کرده است.



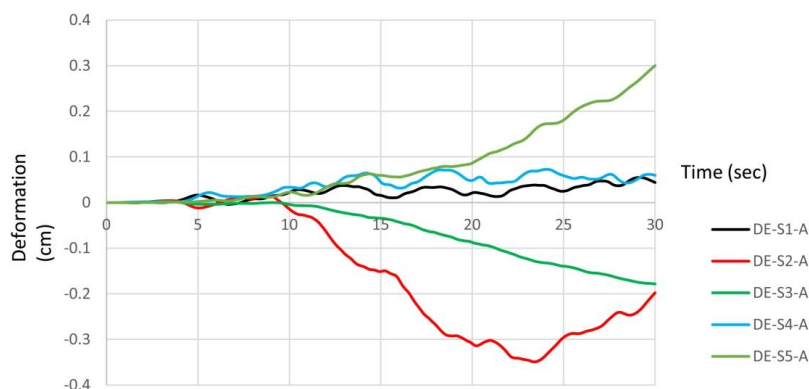
شکل ۲۰: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۲۰) نمودار مقایسه‌ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S4 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد در حالت اعمال سربار دچار $0/11192$ سانتیمتر انبساط و $0/073$ سانتیمتر انقباض می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار $0/39859$ سانتیمتر انبساط و بدون انقباض می‌باشد. با مشاهده نمودار مقایسه‌ای ملاحظه می‌شود با در نظر گرفتن سربار نسبت به بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S4 افزایش $2/81$ برابری تجربه کرده است.

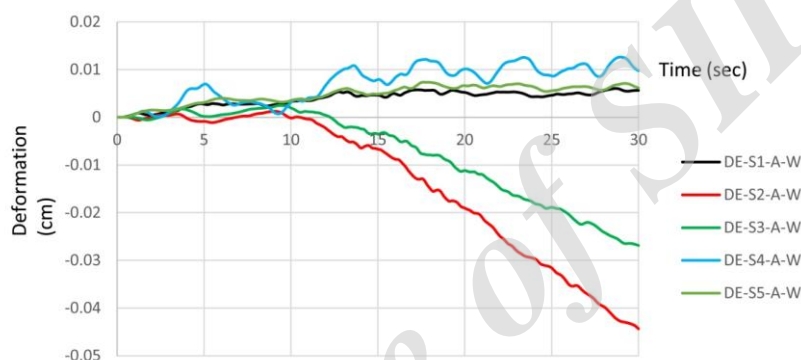


شکل ۲۱: تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار و بدون سربار

شکل (۲۱) نمودار مقایسه‌ای تغییر شکل در طی بارگذاری تاج تونل مقطع S5 تحت رکورد زلزله بم با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در حالت اعمال سربار دچار $0/5271$ سانتیمتر انبساط و بدون انقباض می‌باشد. همچنین در حالت بدون سربار دچار $0/17172$ سانتیمتر انبساط و $0/2917$ - سانتیمتر انقباض می‌باشد. با مشاهده نمودار مقایسه‌ای ملاحظه می‌گردد با در نظر گرفتن سربار نسبت به بدون سربار میزان تغییر شکل در تاج تونل مقطع S5 افزایش $30/69$ برابری تجربه کرده است.

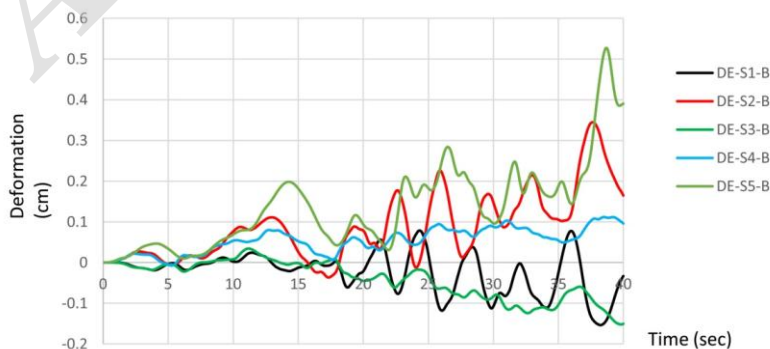


شکل ۲۲: مقایسه تغییرشکل در تاج تونل تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار

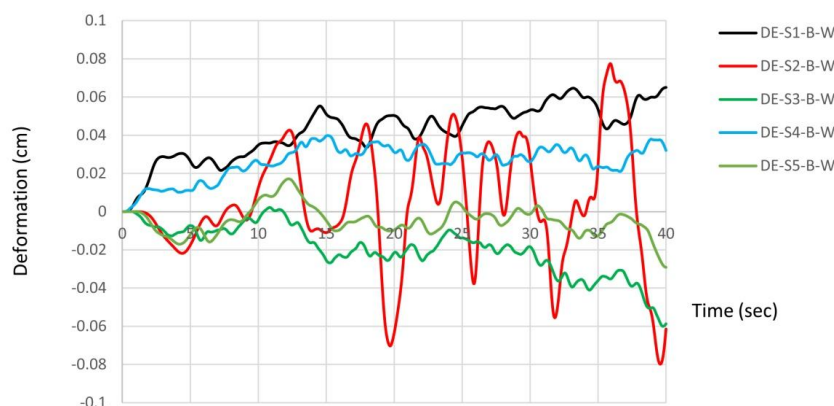


شکل ۲۳: مقایسه تغییرشکل در تاج تونل تحت رکورد زلزله ارسباران فاقد سربار

شکل های (۲۲) و (۲۳) مربوط به نمودارهای مقایسه تغییرشکل در تاج تونل مقاطع S1 الی S5 با تغییر در مشخصات توده خاک در دو حالت با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار می باشند. ملاحظه می شود تحت رکورد زلزله ارسباران با اعمال سربار، رفتار دو مقطع S1 و S4 با وجود تغییر در توده خاکی نزدیک به هم می باشد. همچنین در مقطع S3 اعمال سربار یا حذف سربار تاثیر چندانی بر رفتار تونل از لحاظ تغییرشکل نداشته و تقریباً نمودارهای تغییرشکل مقطع S3 در هر دو حالت نزدیک به هم می باشد.



شکل ۲۴: مقایسه تغییرشکل در تاج تونل تحت رکورد زلزله بهم با اعمال سربار



شکل ۲۵: مقایسه تغییرشکل در تاج تونل تحت رکورد زلزله بم فاقد سربار

شکل های (۲۴) و (۲۵) نشان دهنده مقایسه تغییرشکل در تاج تونل تحت رکورد زلزله بم در حالت با و بدون سربار می باشند. ملاحظه می شود تحت رکورد زلزله بم با اعمال سربار، رفتار دو مقطع S2 و S5 با وجود تغییر در توده خاکی نزدیک به هم می باشد. همچنین در دو مقطع S3 و S4 اعمال سربار یا حذف سربار تاثیر چندانی بر رفتار تونل از لحاظ تغییرشکل نداشته و تقریباً نمودارهای تغییرشکل دو مقطع S3 و S4 در هر دو حالت نزدیک به هم می باشد.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

هدف از مقاله حاضر بررسی رفتار لرزه ای تاج تونل تحت اثر زلزله های حوزه نزدیک با رویکرد اجزا محدود می باشد. برای این منظور رفتار تاج تونل در ۵ مقطع مطابق گزارش ارائه شده ژئوتکنیکی خط ۲ مترو تبریز که هر مقطع از چند لایه با مشخصات مکانیکی و ضخامت لایه های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است رفتار تاج تونل در ۲ حالت با در نظر گرفتن سربار و بدون سربار از لحاظ کرنش و تغییر شکل مورد بحث و ارزیابی قرار گرفت. همچنین رکورد زلزله های بم و ارسباران برای حوزه نزدیک در این مقاله انتخاب شده است. نتایج حاصل از مطالعات نشان داد که در صورت اعمال سربار میزان تغییرشکل افزایش می یابد که این افزایش متناسب با رکورد زلزله اعمالی می باشد. میزان تغییرشکل تاج تونل در صورت اعمال سربار نسبت به حالت بدون سربار تحت رکورد زلزله نزدیک از گسل حساس به اختلاف تراز آب زیرزمینی در لایه های خاکی دارد.

۵- مراجع

[1]-Moller, S. and Vermeer, P., (2010). **Tunneling and Underground Space Technology**, Vol.23, pp. 461-475.

[2]-Suwansawat, S., (2002). **Earth Pressure Balance (EPB) shield Tunneling in Bangkok: Ground response and prediction of surface settlements Using Artificial Neural Networks**. Doc. Of Science in Civil and Env. Eng., Massachusetts institute of Technology.

[3]- Cilingir, U. and Gopal Madabhushi, S. (2011). **A model study on the effects of input motion on the seismic behaviour of tunnels**. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.31, No.3, pp.12-35.



- [4]-Fabozzi, S., Licata, V., Autuori, S., & Bilotta, E. (2017). **Prediction of the seismic behavior of an underground railway station and a tunnel in Napoli (Italy)**. *Underground Space*, Vol.2, No.2, pp. 45-61
- [5]- Bao, X., Xia, Z., and Ye, G. (2017). **Numerical analysis on the seismic behavior of a large metro subway tunnel in liquefiable ground**. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol.6, No.6., pp.35-52.
- [6]-Zhou H, Meng F, Zhang C, Hu D, Yang F, Lu J. (2015). **Analysis of rockburst mechanisms induced by structural planes in deep tunnels**. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.74, No.4, pp.1435-1451.
- [7]-Manouchehrian A. and Cai M. (2016). **Simulation of unstable rock failure under unloading conditions**. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.53, No.1, pp.22-34.
- [8]- Zhang, Z. and Huang, M. (2014). **Geotechnical influence on existing subway tunnels induced by multiline tunneling in Shanghai soft soil**, *Computers and Geotechnics*, Vol.56, pp.121-132.