



بررسی اندرکنش خاک و سازه در سازه ی ۱۶ طبقه مجاور تونلهای شهری به روش اجزای محدود

سیده منا دستوم

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
Mona_dastoom@yahoo.com

آرش غلامی

عضو هیات علمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد بندرعباس
gholami_arash@yahoo.com

چکیده

اکثر ساختمان های موجود بر اساس استانداردهای زلزله زمان خود قبل از احداث هرگونه تونل در زیر آن ها ساخته شده اند. افزایش جمعیت و به تبع آن کثرت ساختمان ها در شهرها موجب شده تا فضای کافی در محیط شهرها جهت حمل و نقل وجود نداشته باشد و به ناچار از تونل که اغلب موارد از زیر ساختمان های موجود عبور می کند استفاده شود. از طرفی در طراحی ساختمان ها بعضاً اثرات اندرکنش خاک و سازه لحاظ می گردد ولی اثرات حفر تونل در نظر گرفته نمی شود. حال ساختمان هایی که بدون لحاظ اثرات حفر تونل، طراحی و اجرا شده اند قطعاً با عبور تونل از زیر آنها تحت تاثیر عواملی از قبیل: الف) جابجایی سطح زمین و به تبع آن جابجایی سازه، ب) تغییر شتاب زلزله وارد بر سازه قرار خواهند گرفت. جابجایی سازه سبب تشدید نیروهای داخلی سازه و تغییر شتاب وارد بر سازه موجب تغییر نیروی زلزله می گردد. حال در ساختمان های موجودی که قبلاً این جابجایی ها لحاظ نشده و در مقابل این نیروی زلزله طراحی نشده اند ممکن است در هنگام وقوع زلزله، خسارت های زیادی به وجود آید. در این تحقیق با مدل سازی تونل در خاک و بکارگیری رکوردهای مختلف زلزله و با تمرکز بر روی سازه ی ۱۶ طبقه، سعی بر این است که شتاب وارد بر روی سازه، جابجایی افقی سازه، برش پایه و نیروی زلزله طبقات بررسی شده و در نهایت نیاز یا عدم نیاز به بهسازی لرزه ای آنها را مشخص نمود.

واژگان کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، اندرکنش تونل و سازه، سازه های بلند، تونل شهری.



مقدمه

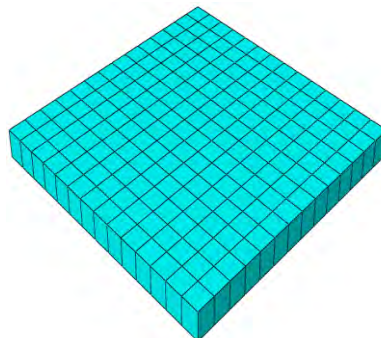
اکثر ساختمان‌های موجود بر اساس استانداردهای زلزله زمان خود قبل از احداث هرگونه تونل در زیر آن‌ها ساخته شده‌اند. افزایش جمعیت و به تبع آن کثرت ساختمان‌ها در شهرها موجب شده تا فضای کافی در محیط شهرها جهت حمل و نقل وجود نداشته باشد و به ناچار از تونل که اغلب موارد از زیر ساختمان‌های موجود عبور می‌کند استفاده شود. از طرفی در طراحی ساختمان‌ها بعضاً اثرات اندرکنش خاک-سازه لحاظ می‌گردد ولی اثرات حفر تونل در نظر گرفته نمی‌شود. حال ساختمان‌هایی که بدون لحاظ اثرات حفر تونل، طراحی و اجرا شده‌اند قطعاً با عبور تونل از زیر آن‌ها تحت تاثیر عواملی از قبیل: الف) جابجایی سطح زمین و به تبع آن جابجایی سازه، ب) تغییر شتاب زلزله وارد بر سازه، قرار خواهند گرفت. جابجایی سازه سبب تشدید نیروهای داخلی سازه و تغییر شتاب وارد بر سازه موجب تغییر نیروی زلزله می‌گردد. حال در ساختمان‌های موجودی که قبلاً این جابجایی‌ها لحاظ نشده و در مقابل این نیروی زلزله طراحی نشده‌اند ممکن است در هنگام وقوع زلزله، خسارت‌های زیادی به وجود آید. در این تحقیق با مدل‌سازی تونل در خاک، بکارگیری رکوردهای مختلف زلزله و با تمرکز بر روی سازه‌های بلند، سعی بر این است که شتاب وارد بر روی سازه، جابجایی، تنش فونمیز طبقه‌بندی شده و در نهایت نیاز یا عدم نیاز به بهسازی لرزه‌ای آن‌ها را مشخص نمود. وانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۲) نشست‌های بلند مدت خاک رس را در سطح زمین و به واسطه حفر تونل بررسی کردند و بیان کردند که نشست‌های بلند مدت بستگی به فشار زمین، تحکیم و خزش خاک دارد و در این بین، خزش خاک اثر بیشتری نسبت به سایر موارد دارد. همچنین بیان کردند که نشست بالای تونل‌های دارای پوشش نفوذناپذیر بیشتر از نشست تونل‌های دارای پوشش نفوذپذیر می‌باشد. در تمامی تحقیقات مذکور فرض شده‌است که سطح زمین به صورت افقی می‌باشد، این در حالی است که شیب‌دار بودن سطح زمین ممکن است بر پروفیل نشست و همچنین سایر موارد مرتبط با تونل تاثیرگذار باشد. در همین راستا برخی از محققین شیب سطح زمین را نیز لحاظ نموده و تاثیرات آن را بر نشست سطح زمین بررسی نمودند. آزادی و همکاری (۲۰۱۳) اندرکنش تونل و سازه مجاور را از طریق شبکه‌های عصبی و نرم‌افزار پلکسیس بررسی نمودند. ایشان با تغییر قطر تونل، عمق قرارگیری تونل، فاصله افقی از سازه و تغییر طبقات سازه به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله تونل از سازه میزان نشست سازه کاهش می‌یابد و با افزایش عمق قرارگیری تونل، میزان نشست سازه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد طبقات و قطر تونل میزان نشست سازه افزایش می‌یابد. میرحبیبی و سروش (۲۰۱۲) با مطالعه موردی اثرات تونل دوقلوی واقع در شیراز را با سازه‌های مجاور بررسی نمودند ایشان با لحاظ سازه، عمق قرارگیری تونل‌ها، فاصله دو تونل از یکدیگر و تغییر عرض ساختمان، اندرکنش تونل و سازه را بررسی نمودند و بیان کردند که وجود سازه باعث افزایش نشست قائم می‌شود. افزایش عرض سازه باعث کاهش نشست قائم سطح زمین می‌شود و افزایش عمق قرارگیری تونل باعث افزایش نشست قائم سطح زمین می‌شود. سان و وانگ (۲۰۱۲) با مطالعه بین شتاب سطح زمین در حالت با تونل و بدون تونل بیان کردند که وجود تونل باعث تغییر در شتاب سطح زمین خواهد شد. در مطالعاتی دیگر، بازیار و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و نرم‌افزاری، اثرات تونل مستطیلی را بر روی شتاب سطح زمین بررسی نمودند، ایشان با اعمال رکوردهای (شتاب) سینوسی و زلزله واقعی به کف خاک بیان کردند که تونل مستطیلی باعث کاهش طیف شتاب در زمان تناوب‌های کوتاه و افزایش طیف شتاب در زمان تناوب‌های بلند می‌شود. همچنین احداث تونل مستطیلی نیز باعث افزایش حداکثر شتاب زلزله در مقایسه با حالت بدون تونل می‌گردد و با توجه به اینکه رکورد زلزله‌های واقعی با یکدیگر متفاوت می‌باشند بنابراین اثرات تونل مستطیلی نیز بر روی رکورد شتاب زلزله متفاوت خواهد بود. بشارت و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر سازه‌های زیرزمینی را بر روی سطح زمین در هنگام زلزله بررسی نمودند و ایشان با مطالعه موردی بر روی تونل نیایش- صدر بیان کردند که حفر تونل باعث افزایش شتاب زلزله در سطح زمین و بالای تونل می‌شود. همچنین تنش‌های اطراف تونل نیز افزایش می‌یابد.

¹ Wang & etl

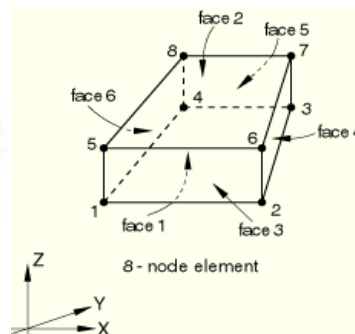


المان C3D8R

نرم افزار آباکوس از یک المان سه بعدی، C3D8R (از دسته المان های Solid) برای تحلیل رفتار غیرخطی مصالح استفاده می کند، این المان سه بعدی و هشت گره ای است. این المان از نوع Solid برای تحلیل تنش یا تغییر مکان است. الگوی المان C3D8R در شکل (۱) آورده شده است. جهت مش بندی فونداسیون از این المان استفاده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱- الف- الگوی المان C3D8R ، ب- مش بندی فونداسیون

المان C3D10M

نرم افزار آباکوس از یک المان سه بعدی، C3D10M (از دسته المان های Solid) برای تحلیل رفتار غیرخطی مصالح استفاده می کند، این المان سه بعدی و ده گره ای است. این المان از نوع Solid برای تحلیل تنش یا تغییر مکان است و مناسب برای تحلیل خاک می باشد.

المان B31

روش های مختلفی برای مدل سازی سازه در نرم افزار آباکوس وجود دارد که متناسب با اهداف مورد نظر می توان از آن ها استفاده کرد. در این تحقیق روش مدل سازی سازه اصلی با استفاده از المان های تیر (Beam) استفاده شده است. مزیت استفاده از این نوع المان ها سرعت مناسب در مدل سازی و حجم پایین مدل است. حجم مدل و تعداد مش های ایجاد شده در آن، در هنگام تحلیل تاثیر بسزایی بر سرعت تحلیل می گذارد.

مدل های هندسی، مشخصات مصالح و ویژگی های خاک و مدل

در این پژوهش مشخصات خاک در جدول (۱) آمده است که سعی بر آن است تا مشخصات ارائه شده به مصالح تونل های شهری احداث شده نزدیک باشد.

جدول ۱- ویژگی های مصالح خاک

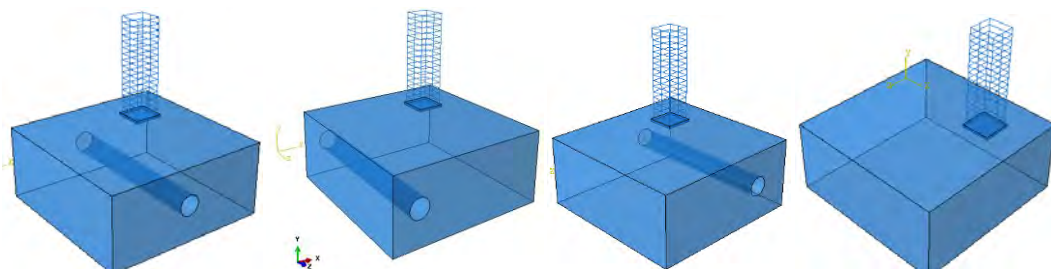
ویژگی خاک	مقدار پارامتر
چسبندگی خاک	$\cdot kg/m^3$
چگالی	$2100 kg/m^3$
زاویه اصطکاک داخلی خاک	۳۵ درجه
نسبت پواسون خاک	۰/۳

نمونه بررسی شده

در این مطالعه اندرکنش خاک و سازه و سازه با تونل را برای سازه های بلند مجاور تونل شهری بررسی می کنیم و می بایستی به مدل سازی ۴ بخش اصلی که شامل خاک محل، تونل، فونداسیون سازه و سازه ی مورد نظر است، پرداخته شود. گام اول: برای

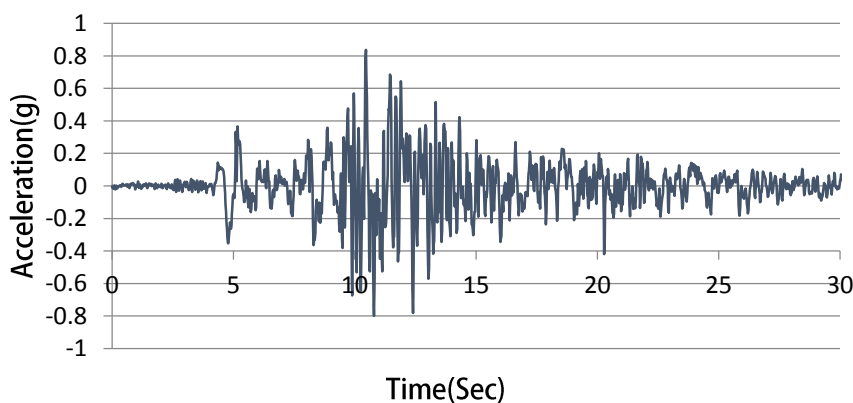
محل مورد نظر می‌بایستی مشخصات خاک از منابع معتبر استخراج شود. گام دوم: تونل مورد مطالعه‌ی خود را تونل دایره‌ای به قطر ۱۰ متر در عمق ۱۸ متری انتخاب گردید. و سپس به مدل‌سازی فونداسیون بتنی به عرض ۱۴ متر و با ضخامت ۱٫۲ متر و سازه‌ی ۱۶ طبقه با قاب خمشی پرداخته می‌شود که در هر دو جهت افقی به ابعاد ۱۲ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می‌باشد. گام سوم: نهایت با اعمال رکورد واقعی زلزله مدل را تحلیل دینامیکی کرده و پاسخ رکورد شتاب زلزله در سطح خاک استخراج می‌گردد.

در شکل (۲) موقعیت سازه و تونل در سازه‌ی ۱۶ طبقه نشان داده شده است.

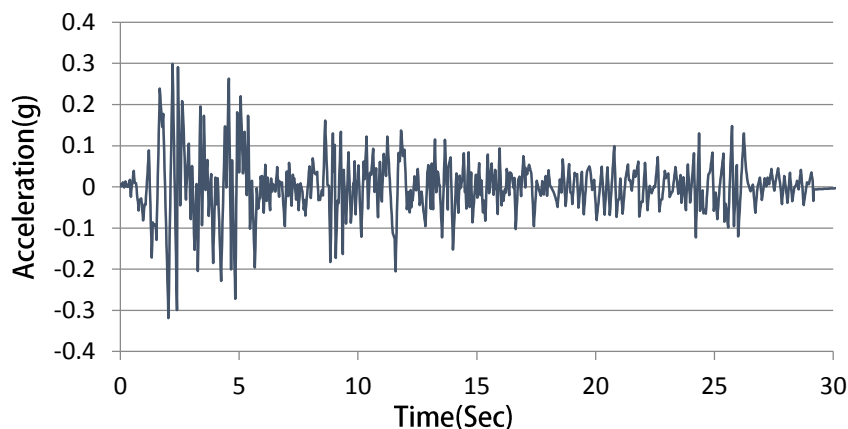


شکل ۲- موقعیت قرارگیری تونل و سازه در سازه ۱۶ طبقه

در اشکال (۳) و (۴) شتابنگاشت‌های مربوط به زلزله‌های طبس و السنترو مورد استفاده در نرم‌افزار جهت انجام مطالعات آورده شده است.



شکل ۳- شتابنگاشت زلزله طبس

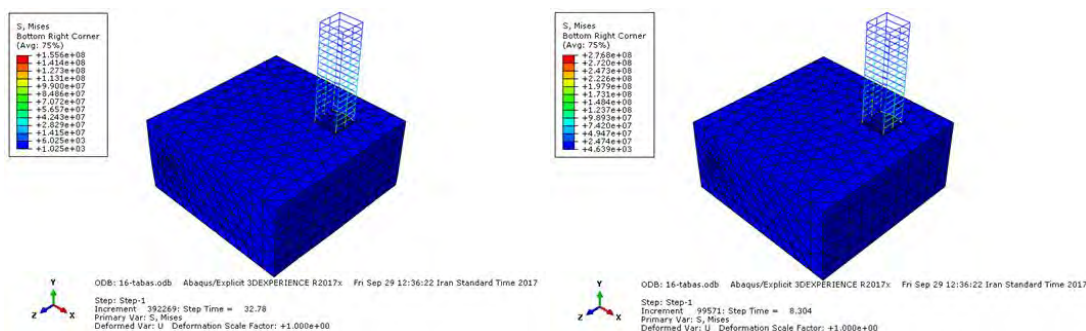


شکل ۴- شتابنگاشت زلزله السنترو

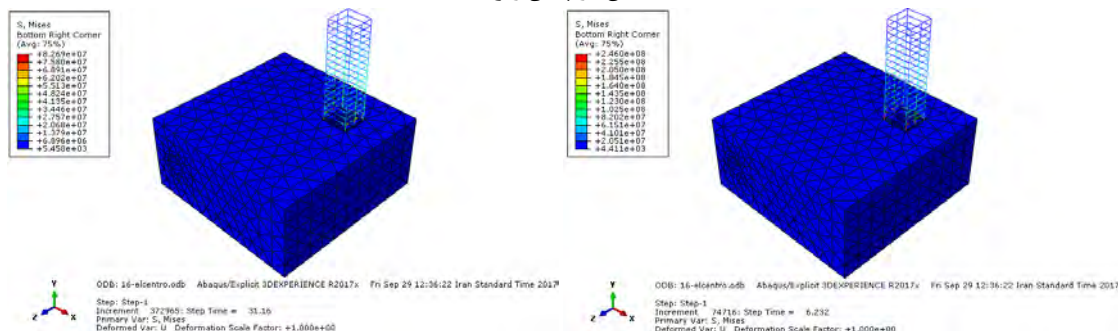


نتایج شبیه سازی

در این قسمت در یک ساختمان ۱۶ طبقه با تونل در فاصله ۴۵ متری را مدل می کنیم که مصالح و پارامترهای آن در قسمت قبل به آن اشاره شده است. در این مدل تونل را به صورت سراسری در نظر گرفتیم. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان ۸/۳۰۴ ثانیه برابر ۲۷۶/۸ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر ۱۵۵/۶ مگاپاسکال است. در شکل (۵) مقادیر تنش فونمیزر در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس نشان داده شده است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان ۶/۳۲ ثانیه برابر ۲۴۶/۰ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر ۸۲/۶۹ مگاپاسکال است. در شکل (۶) مقادیر تنش فونمیزر در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو نشان داده شده است. مهندسین طراح برای بررسی اینکه آیا طراحی شرایط بار ارائه شده را تحمل می کند به بررسی تنش فونمیزر می پردازند. مفهوم تنش فونمیزر از تئوری شکست انرژی اعوجاج ناشی می شود. با توجه به نظریه انرژی اعوجاج شکست زمانی رخ می دهد که، انرژی اعوجاج در صورت واقعی بیش از انرژی اعوجاج در مورد کشش ساده در زمان شکست باشد. لذا این مقادیر کمتر از مقدار نقطه عملکرد از فولاد است. بنابراین طراحی بی خطر است.



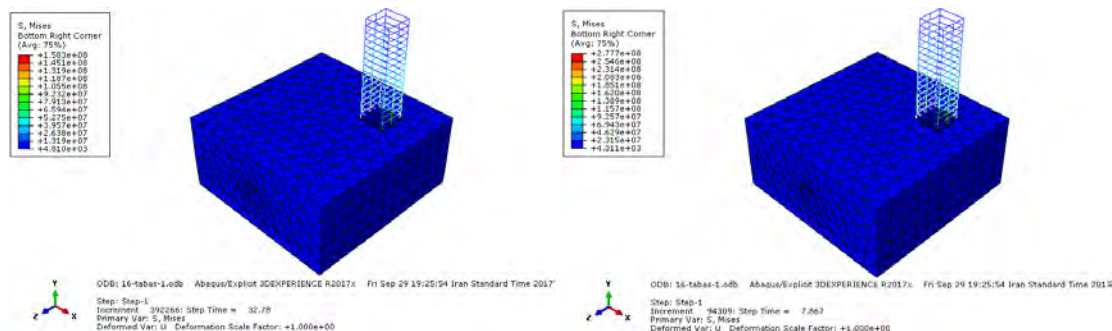
شکل ۵- تنش فونمیزر در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل با فاصله ۴۵ متری در زلزله طبس الف- ماکزیمم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله



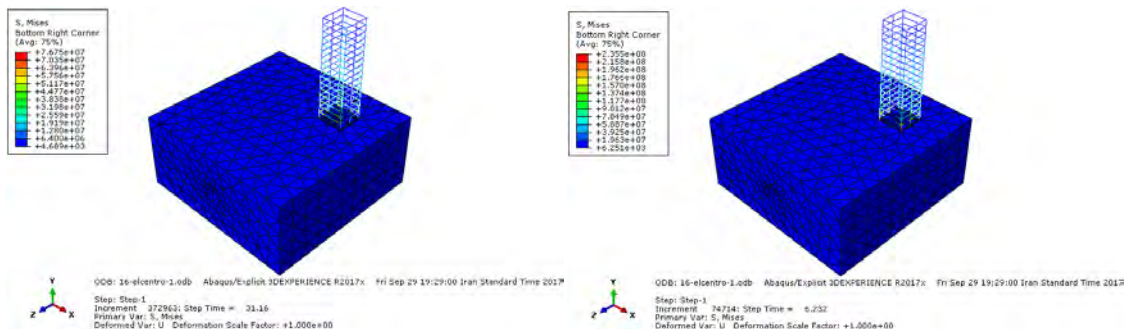
شکل ۶- تنش در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل با فاصله ۴۵ متری در زلزله السنترو الف- ماکزیمم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله

در ادامه به بررسی تنش فونمیزر در سازه و تونل با فاصله ۱۸ متری می پردازیم. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان ۷/۸۶۷ ثانیه برابر ۲۷۷/۷ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر ۱۵۸/۳ مگاپاسکال است. در شکل (۷) مقادیر تنش فونمیزر در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس نشان داده شده است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان ۶/۲۳۲ ثانیه برابر ۲۳۵/۵ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله

ماکزیم تنش فون میزز ۷۶/۷۵ مگاپاسکال است. در شکل (۸) مقادیر تنش فون میزز در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو نشان داده شده است.

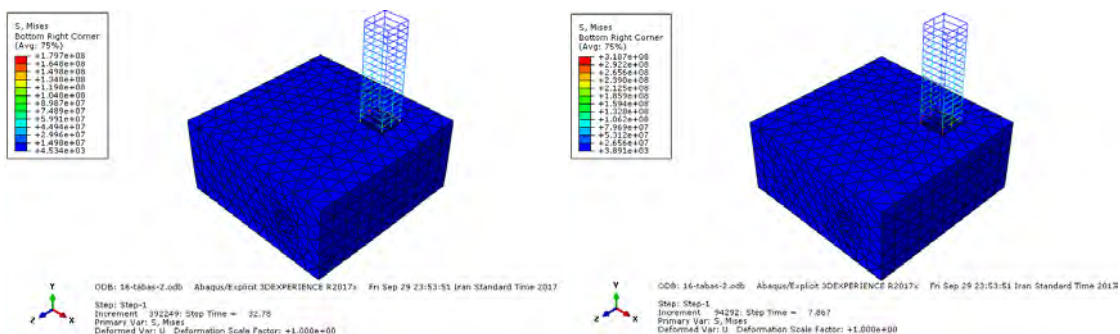


شکل ۷- تنش در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل با فاصله ۱۸ متری در زلزله طبس الف- ماکزیم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله

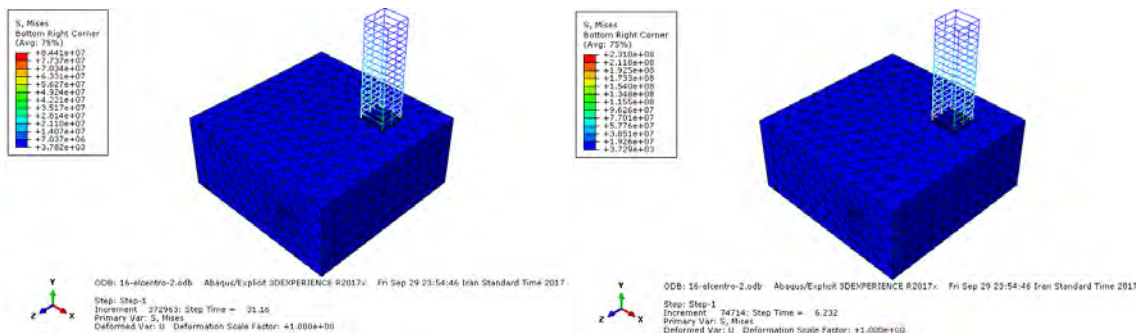


شکل ۸- تنش در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل با فاصله ۱۸ متری در زلزله السنترو الف- ماکزیم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله

در ادامه به بررسی تنش فون میزز در سازه و تونل در زیر سازه اصلی می پردازیم. ماکزیم تنش فون میزز ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان ۷/۸۶۷ ثانیه برابر ۳۱۸/۷ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیم تنش فون میزز ۱۷۹/۷ مگاپاسکال است. در شکل (۹) مقادیر تنش فون میزز در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس نشان داده شده است. ماکزیم تنش فون میزز ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان ۶/۲۳۲ ثانیه برابر ۲۳۱/۰ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیم تنش فون میزز ۸۴/۴ مگاپاسکال است. در شکل (۱۰) مقادیر تنش فون میزز در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو نشان داده شده است.

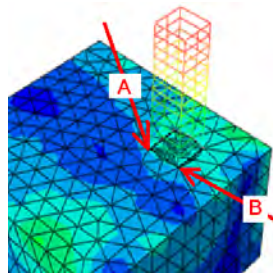


شکل ۹- تنش در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل در زیر سازه در زلزله طبس الف- ماکزیم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله



شکل ۱۰- تنش در سیستم با سازه ۱۶ طبقه و تونل در زیر سازه در زلزله السنترو الف- ماکزیمم مقدار تنش، ب- مقدار تنش در پایان زلزله

نشست خاک



شکل ۱۱- نشست نقاط A و B سازه

در این قسمت نتایج حاصل از تحلیل مدل در حالت های مختلف در فواصل افقی از مجاورت با سازه به دست آمده است تغییرات فواصل افقی صفر، ۱۸ و ۴۵ متر بوده است همان طوری که تحلیل نشان می دهد با افزایش فاصله افقی تونل از سازه تغییرات نشست بسیار کم می باشد. نشست نقاط A و B با توجه به شکل (۱۱) مشخص می شود.

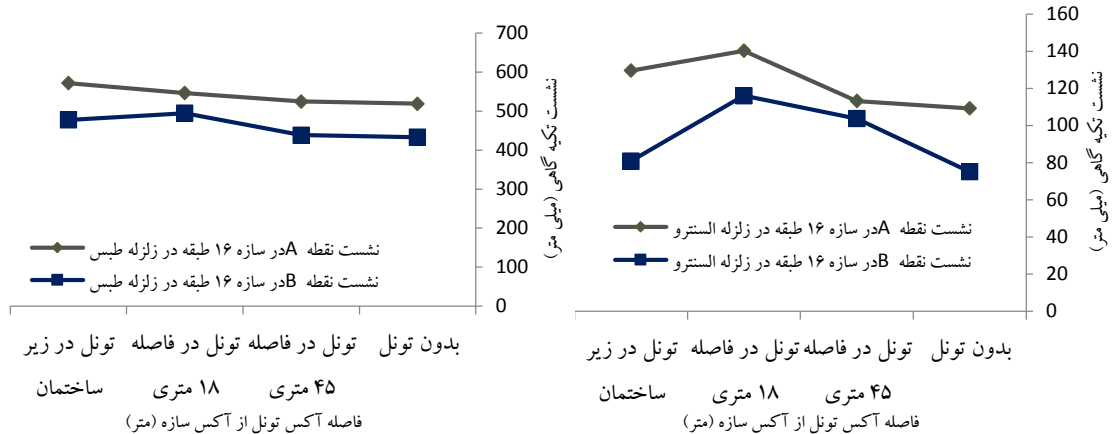
جدول ۲- میزان نشست سازه بر حسب فاصله تونل از سازه

تعداد طبقات	زلزله	فاصله آکس تونل از آکس سازه (متر)	نشست نقطه A (میلی متر)	نشست نقطه B (میلی متر)	نسبت نشست نقطه A به نشست سیستم بدون تونل	نسبت نشست نقطه B به نشست سیستم بدون تونل
۱۶	السنترو	---	۱۰۹,۱۸۶	۷۵,۱۰۴	۱	۱
۱۶		۴۵	۱۱۳,۱۹۳	۱۰۳,۶۸۱	۱,۰۴	۱,۳۸
۱۶		۱۸	۱۴۰,۳۳۹	۱۱۶,۰۰۸	۱,۲۸	۱,۵۴
۱۶		۰	۱۲۹,۵۰۸	۸۰,۸۸	۱,۱۹	۱,۰۸
۱۶	طیس	---	۵۱۹,۰۴۶	۴۳۳,۱۷۵	۱	۱
۱۶		۴۵	۵۲۵,۰۵۷	۴۳۸,۶۴۲	۱,۰۱	۱,۰۱
۱۶		۱۸	۵۴۶,۷۸۷	۴۹۴,۸۶۳	۱,۰۵	۱,۱۴
۱۶		۰	۵۷۲,۱۷۱	۴۷۷,۶۴۴	۱,۱۰	۱,۱۰

همانطور که از نتایج جدول (۲) مشخص است نشست در نقطه A از زلزله السنترو در سازه ۱۶ طبقه در حالات تونل با فاصله ۴۵ متری از سازه، تونل با فاصله ۱۸ متری از سازه و تونل در زیر سازه نسبت به حالت سیستم بدون تونل بترتیب بترتیب ۰.۴٪،



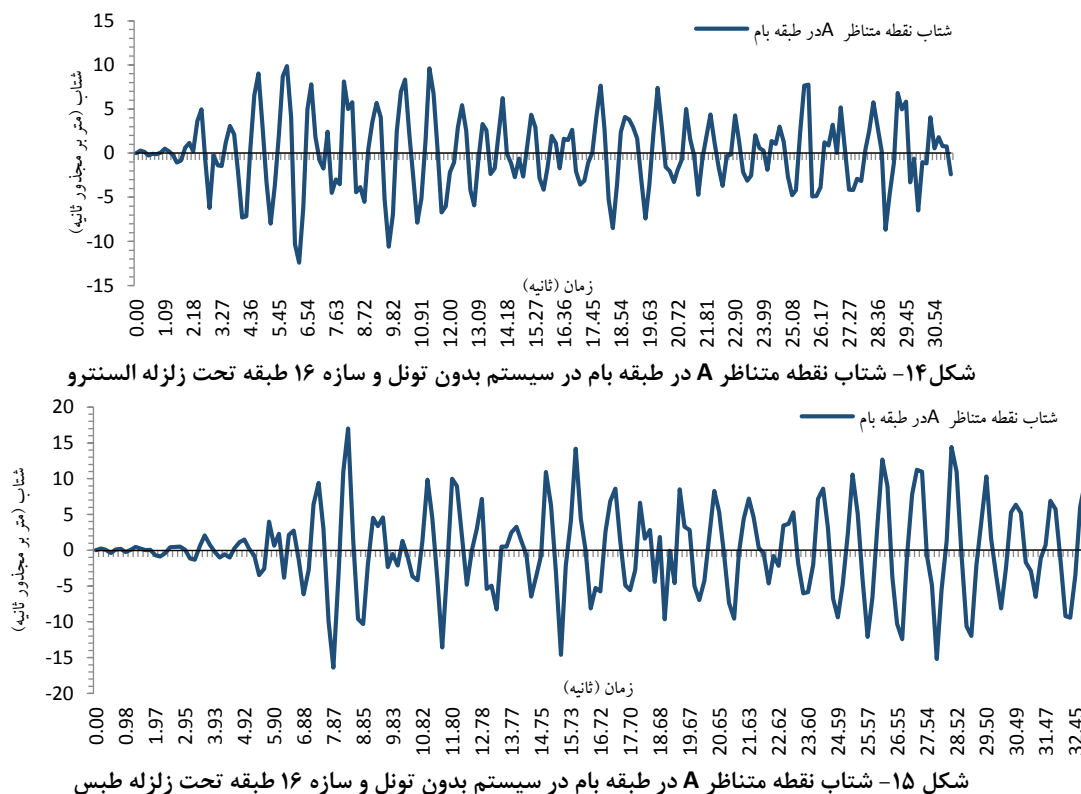
۲۸٪ و ۱۹٪ افزایش داشته است. با توجه به نتایج جدول مشخص است که با افزایش فاصله تونل از سازه نشست تکیه گاهی نیز کاهش داشته است. البته شایان ذکر است که در حالت تونل دقیقاً در زیر سازه رفتار نشست تکیه گاهی کمی متفاوت تر است.



اشکال (۱۲) و (۱۳) تغییرات نشست نقاط A و B در سازه ۱۶ طبقه با افزایش فاصله تونل از سازه را در زلزله های السنترو و طبیس نشان می دهد. با توجه به اشکال (۱۲) و (۱۳) با افزایش فاصله تونل از سازه نشست تکیه گاهی کاهش یافته است. شایان ذکر است که در اشکال فوق رفتار سازه زمانی که تونل دقیقاً در زیر سازه است کمی متفاوت است.

شتاب افقی تونل

در اشکال (۱۴) و (۱۵) شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم بدون تونل و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله های السنترو و طبیس آورده شده است.

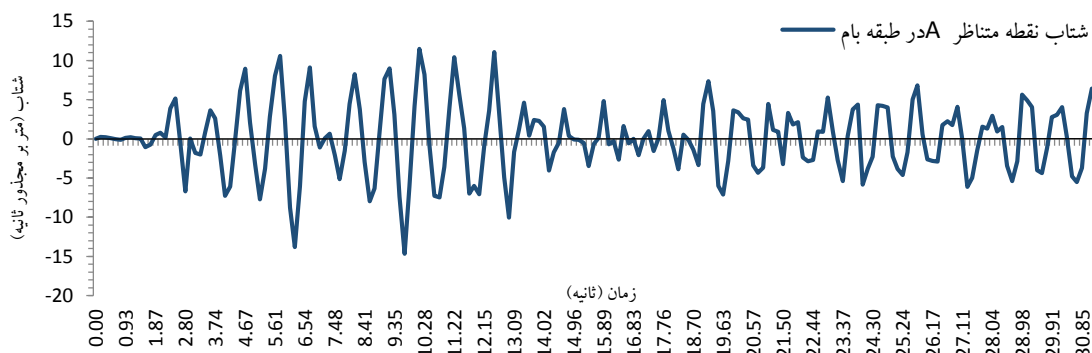




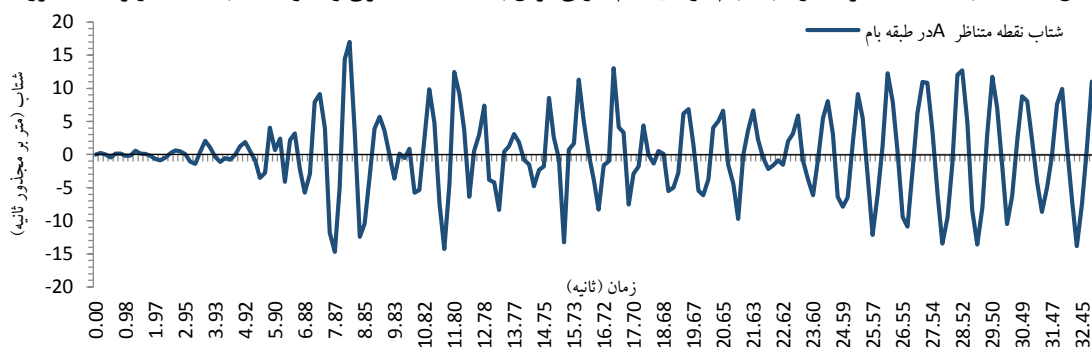
جدول ۳- مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام

موقعیت تونل	سازه ۱۶ طبقه			
	شتاب (متر بر مجذور ثانیه)			
	Elcentro		Tabas	
	Max	Min	Max	Min
سیستم بدون تونل	9.85	-12.40	16.99	-16.38

جدول (۳) مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام را برای سیستم بدون تونل در سازه ۱۶ طبقه نشان می دهد. در اشکال (۱۶) و (۱۷) شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله های السنترو و طیس آورده شده است.



شکل ۱۶- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل ۱۷- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طیس

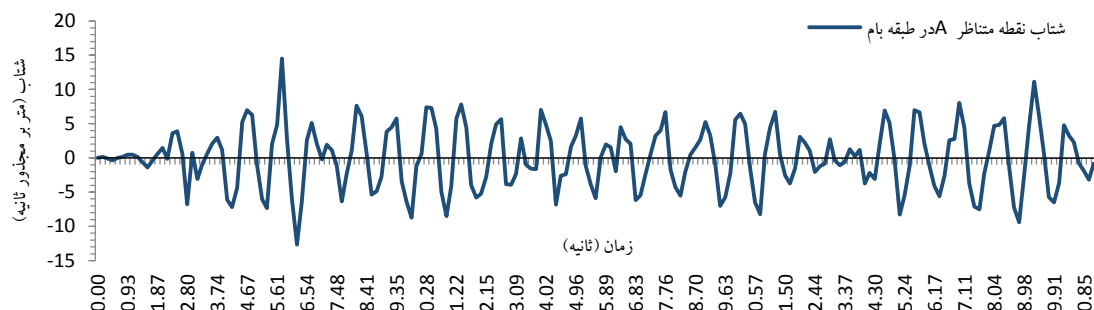
جدول ۴- مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام

موقعیت تونل	سازه ۱۶ طبقه			
	شتاب (متر بر مجذور ثانیه)			
	Elcentro		Tabas	
	Max	Min	Max	Min
تونل با فاصله ۴۵ متری	11.49	-14.67	16.99	-14.71

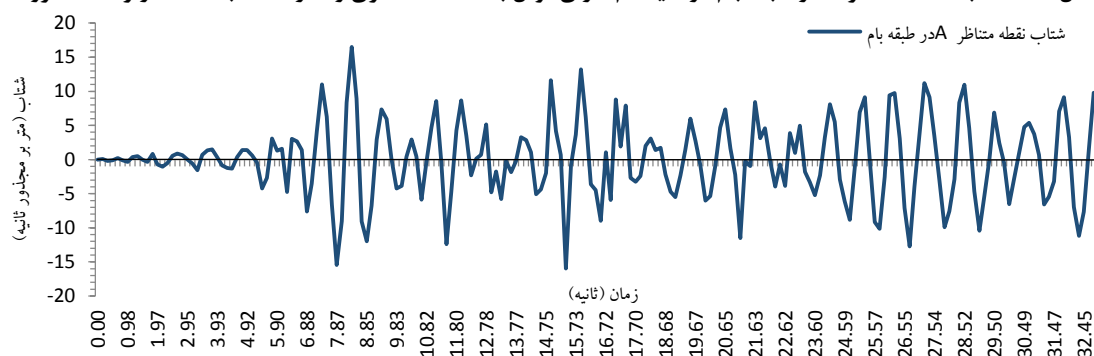
جدول (۴) مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام را برای سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری در سازه ۱۶ طبقه نشان می دهد.



در اشکال (۱۸) و (۱۹) شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۱۸ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله‌های السنترو و طیس آورده شده است.



شکل ۱۸- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۱۸ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو

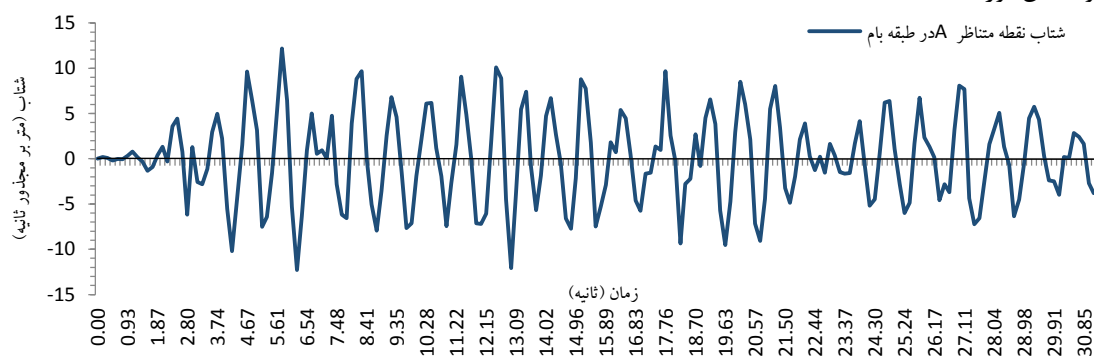


شکل ۱۹- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۱۸ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طیس

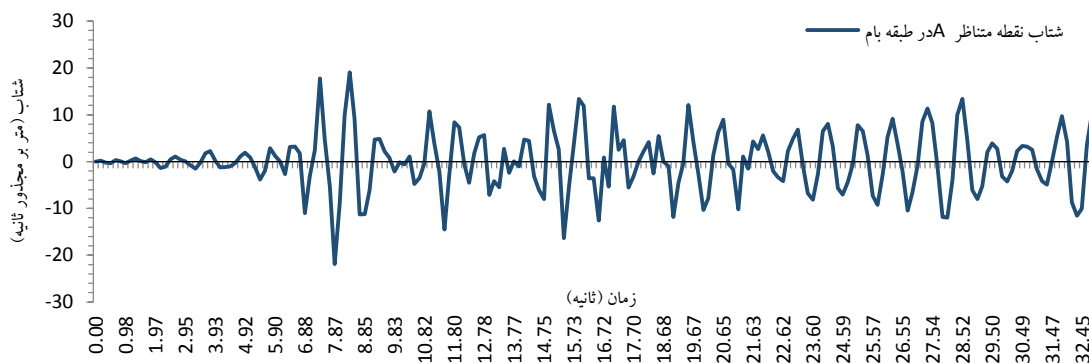
جدول ۵- مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام

موقعیت تونل	سازه ۱۶ طبقه			
	شتاب (متر بر مجذور ثانیه)			
	Elcentro		Tabas	
	Max	Min	Max	Min
تونل با فاصله ۱۸ متری	14.49	-12.67	16.49	-15.96

جدول (۵) مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام را برای سیستم بدون تونل در سازه ۱۶ طبقه نشان می‌دهد. در اشکال (۲۰) و (۲۱) شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل در زیر سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله‌های السنترو و طیس آورده شده است.



شکل ۲۰- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل در زیر سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو

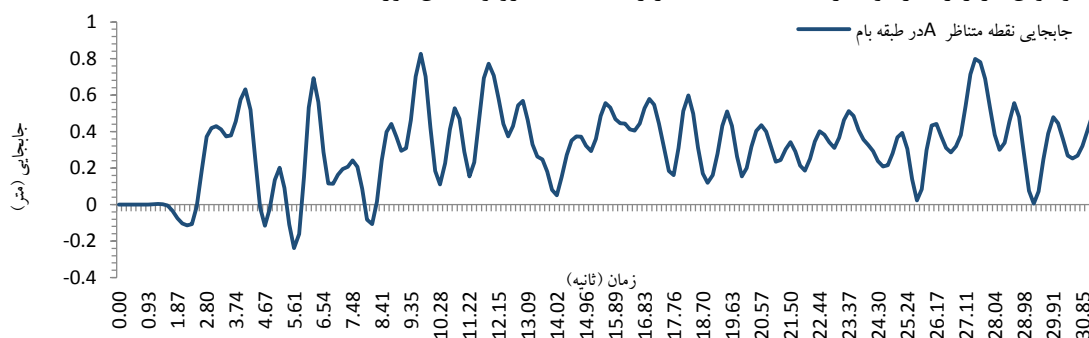


شکل ۲۱- شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل در زیر سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس

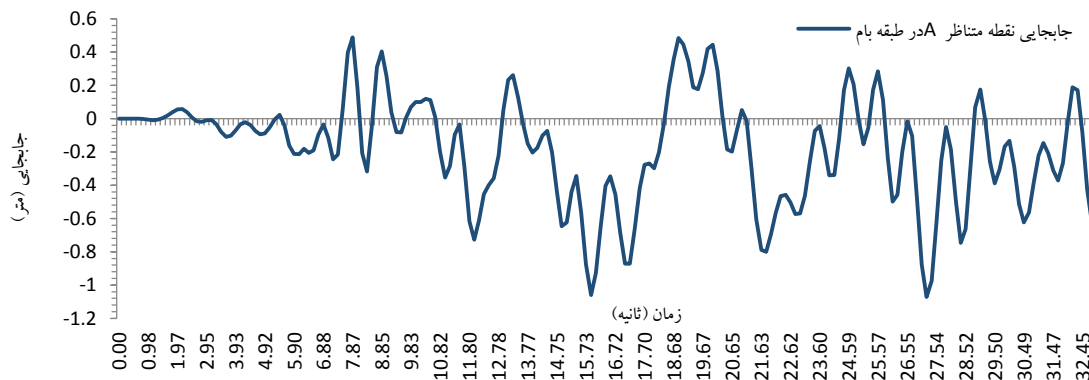
جدول ۶- مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام

موقعیت تونل	سازه ۱۲ طبقه			
	شتاب (متر بر مجذور ثانیه)			
	Elcentro		Tabas	
	Max	Min	Max	Min
تونل در زیر سازه	12.16	-12.27	19.06	-21.86

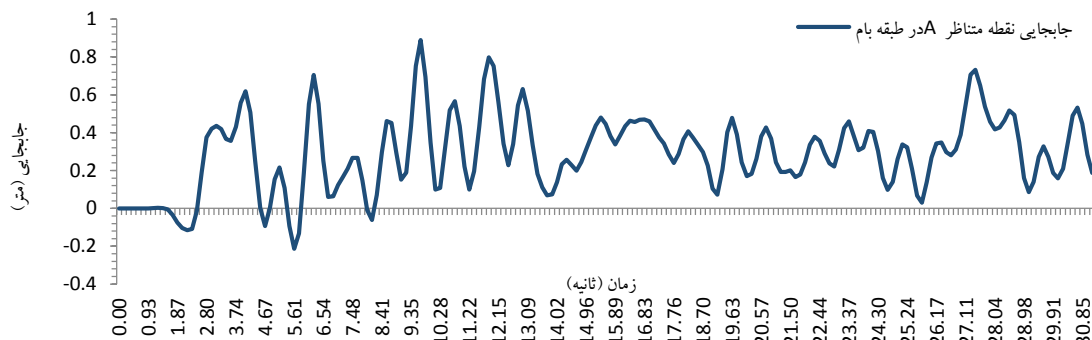
جدول (۶) مقادیر شتاب نقطه متناظر A در طبقه بام را برای سیستم دارای تونل در زیر سازه در سازه ۱۶ طبقه نشان می‌دهد. در اشکال (۲۲) تا (۲۹) جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم بدون تونل، تونل با فاصله ۴۵ متری، تونل با فاصله ۱۸ متری و تونل در زیر سازه و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله‌های السنترو و طبس آورده شده است.



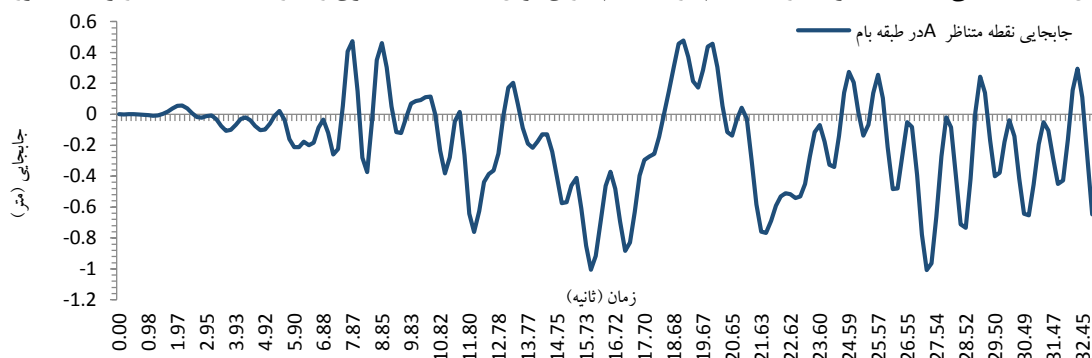
شکل ۲۲- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم بدون تونل و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو



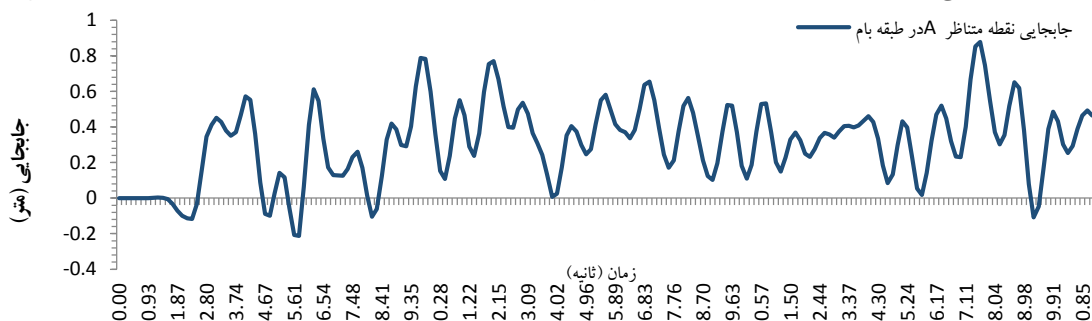
شکل ۲۳- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم بدون تونل و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس



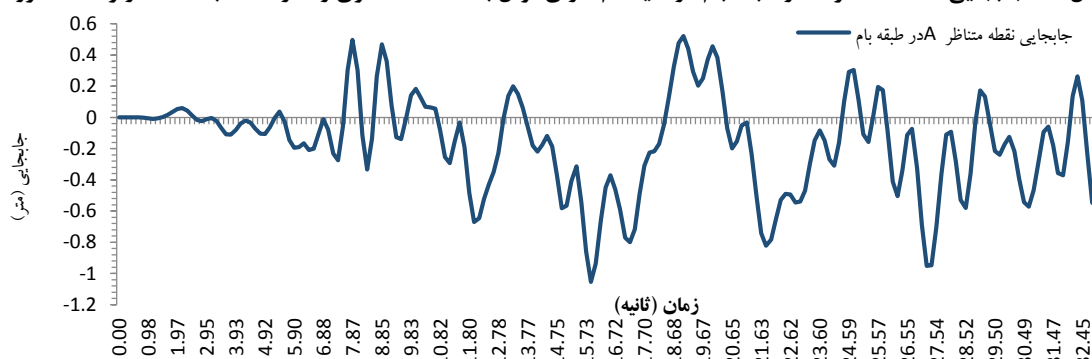
شکل ۲۴- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو



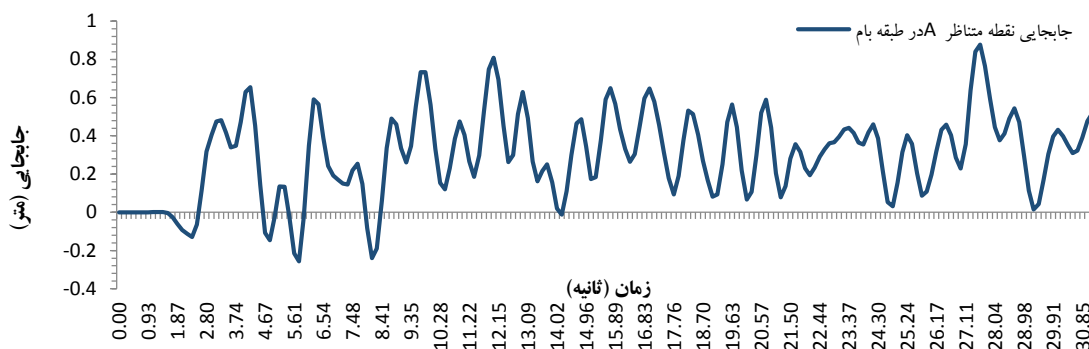
شکل ۲۵- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۴۵ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طیس



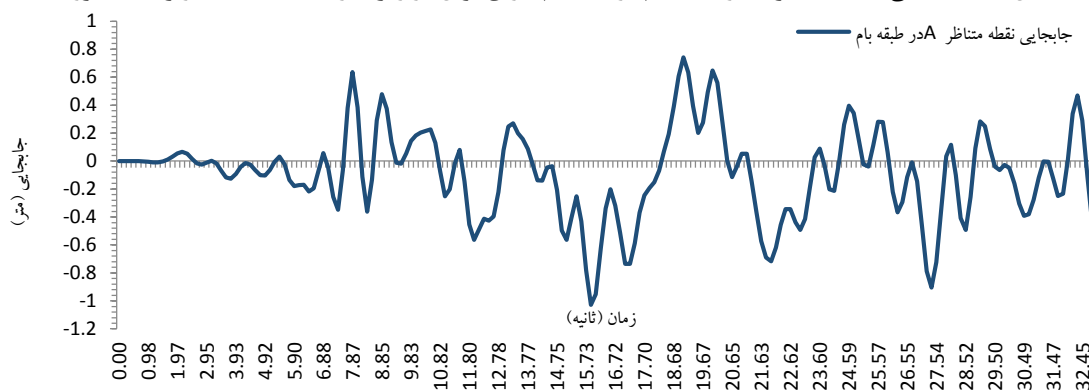
شکل ۲۶- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۱۸ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل ۲۷- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل با فاصله ۱۸ متری و سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طیس



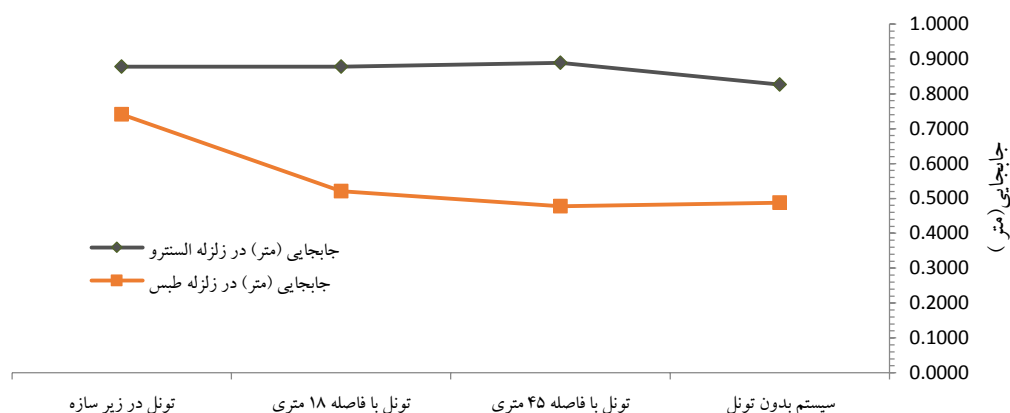
شکل ۲۸- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل در زیر سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل ۲۹- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سیستم دارای تونل در زیر سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله طبس

جدول ۷- مقادیر جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام

موقعیت تونل	سازه ۱۶ طبقه			
	جابجایی (متر)			
	Elcentro		Tabas	
	Max	Min	Max	Min
سیستم بدون تونل	0.8263	-0.2378	0.4873	-1.0721
تونل با فاصله ۴۵ متری	0.8888	-0.2131	0.4775	-1.0066
تونل با فاصله ۱۸ متری	0.8776	-0.2118	0.5203	-1.0538
تونل در زیر سازه	0.8776	-0.2568	0.7409	-1.0277



شکل ۳۰- جابجایی نقطه متناظر A در طبقه بام در سازه ۱۶ طبقه تحت زلزله السنترو و طبس

همانطور که از جدول (۷) و شکل (۳۰) مشخص است، با افزایش فاصله تونل از سازه جابجایی نهایی در نقطه متناظر A در طبقه بام در هر سازه ۱۶ طبقه کاهش داشته است. البته شایان ذکر است که در دو سیستم بدون تونل و تونل در فاصله ۴۵ متری از سازه جابجایی نهایی در نقطه متناظر A در طبقه بام تقریباً با هم برابر است.

نتیجه گیری

۱. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان $8/304$ ثانیه برابر $276/8$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $155/6$ مگاپاسکال است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان $6/32$ ثانیه برابر $246/0$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $82/69$ مگاپاسکال است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان $7/867$ ثانیه برابر $277/7$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $158/3$ مگاپاسکال است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان $6/232$ ثانیه برابر $235/5$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $76/75$ مگاپاسکال است.
۲. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله طبس در زمان $7/867$ ثانیه برابر $318/7$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $179/7$ مگاپاسکال است. ماکزیمم تنش فونمیزر ایجاد شده در سازه ۱۶ طبقه در زلزله السنترو در زمان $6/232$ ثانیه برابر $231/0$ مگاپاسکال است، و در پایان زلزله ماکزیمم تنش فونمیزر $84/4$ مگاپاسکال است.
۳. نشست در نقطه A از زلزله السنترو در سازه ۱۶ طبقه در حالات تونل با فاصله ۴۵ متری از سازه، تونل با فاصله ۱۸ متری از سازه و تونل در زیر سازه نسبت به حالت سیستم بدون تونل بترتیب بترتیب 4% ، 28% و 19% افزایش داشته است. با افزایش فاصله تونل از سازه نشست تکیه‌گاهی نیز کاهش داشته است. البته شایان ذکر است که در حالت تونل دقیقاً در زیر سازه رفتار نشست تکیه‌گاهی کمی متفاوت‌تر است.
۴. با افزایش فاصله تونل از سازه جابجایی نهایی در نقطه متناظر A در طبقه بام در سازه ۱۶ طبقه کاهش داشته است. البته شایان ذکر است که در دو سیستم بدون تونل و تونل در فاصله ۴۵ متری از سازه جابجایی نهایی در نقطه متناظر A در طبقه بام تقریباً با هم برابر است.



منابع

- خان محمدی، فرامرز، غیرتمند، چنگیز و تارپوردیلو، سعید (1391)، "بررسی تاثیر اندرکنش خاک و سازه بر بهینه سازی قاب های فولادی تحت قید فرکانس"، سومین کنفرانس ملی سازه و زلزله، 26، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
- خمیس حصار، سرگیس و غیرتمند، چنگیز (1392)، "تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ لرزه ای ساختمان های فولادی تحت زلزله دور و نزدیک"، کنفرانس بین المللی عمران،
- رحیم زاده، مسعود و پورشاء، مهدی و چناقلو، محمدرضا (1391)، "بررسی اثراندرکنش سازه و خاک بر پاسخ های لرزه ای قابهای خمشی فولادی کوتاه روی خاک نرم"، اولین کنفرانس ملی بهسازی ومقاومسازی بافتهای شهری درمجاورت گسلهای فعال .تبریز،ایران
- رضایی، مصطفی، خطیبی نیا، محسن، ساجقه، عیسی، ترکزاده، پیمان (1392)، "بررسی عملکرد لرزه ای قاب های خمشی ویژه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه"، چهارمین کنفرانس ملی سازه و زلزله، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
- محمد علینژاد، رضا و پاکباز، محمد سیروس (1390)، "اثرزلزله برروی تونلهای مستطیلی کم عمق"؛ ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
- Afifipour, M., Sharifzadeh, M., Shahriar, K., & Jamshidi, H. (2011). Interaction of twin tunnels and shallow foundation at Zand underpass, Shiraz metro, Iran. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(2), 356-363.
- Aviles, J., and Perez-Rocha, L. E. (1997). Site effects and soil-structure interaction in the valley of Mexico. *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 17, 29-39.
- El Ganainy, H., El Naggar, M.H. (2009) "Seismic performance of three-dimensional frame structure" *Int. J. Geomech.*, 4(2), 104-114.
- Finno, R. J., Calvello, M., & Bryson, S. L., (2002). Analysis and performance of excavation for the Chicago- State subway renovation project and its effect on adjacent structures, Technical Report of U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration,
- Kim, S. and Rosset, J.M. (2004), "Effect of nonlinear soil behavior on inelastic seismic response of a structure", *International Journal of Geomechanics*, 42, 104-114.
- Maleki, M., Sereshteh, H., Mousivand, M., & Bayat, M. (2011). An equivalent beam model for the analysis of tunnel-building interaction. *Tunneling and Underground Space Technology*, 26(4), 524-533.
- Massumi, A., & Tabatabaiefar, H. R. (2007). Effects of soil-structure interaction on seismic behavior of ductile reinforced concrete moment resisting frames. In *World Housing Congress on Affordable Quality Housing (WHC2007): Challenges and Issues in the Provision of Shelter for All*.
- Stewart, J.P. Kim, S. Bielak, J. Dobry, R. and Power, M. (2003), "Revisions to soil structure interaction procedures in NEHRP design provisions", *Journal of Earthquake Spectra*, 19, 677-96.
- Son, M. (2016) "Response analysis of nearby structures to tunneling-induced ground movements in clay soils", 90-104
- Tabatabaiefar, H. and Massumi, A. (2010), "A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil-structure interaction", *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1259-1267.
- Veletsos, A. S., and Prasad, A. M. (1989). Seismic interaction of structure and soils: Stochastic approach. *J. Struct. Eng.*, 115(4), 935-956
- Wakabayashi, M., (1985), "Design of Earthquake-Resistant Building", McGraw-Hill (TX).