

ارزیابی اثر عمق ترانشه در کاهش ارتعاشات ناشی از عبور خودروهای سنگین

مقاله علمی - پژوهشی

ذوالفقار زارعی، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

سید جواد میرمحمد صادقی*، استاد، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

علیرضا سرکار، استادیار، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: javad_sadeghi@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵

صفحه ۱۲-۱

چکیده

یکی از چالش‌های استفاده از سیستم حمل و نقل جاده‌ای تأثیرات ارتعاشات ناشی از خودروها در هنگام عبور از سرعت‌گیرها و ناهمواری‌های سطح جاده بر روی ساختمان‌های مجاور آن‌ها است. این ارتعاشات در مقادیر بالا می‌تواند باعث بروز آسیب در ساختمان‌های حساس و تاریخی گردد. برخورد وسایل نقلیه سنگین با ناهمواری‌ها در سطح جاده باعث ایجاد بارهای دینامیکی می‌شوند که از طریق خاک‌های اطراف به ساختمان‌ها منتقل شده و باعث لرزش در آن‌ها می‌شود. در این مقاله به منظور بررسی تأثیر استفاده از ترانشه باز با عمق‌های مختلف بر میزان ارتعاشات، یک مدل عددی ۲/۵ بعدی توسعه داده شد. به این منظور ابتدا میزان بار محوری ناشی از عبور یک کامیون بر روی سرعت‌گیر در برنامه متلب شبیه‌سازی شد. سپس جهت ارزیابی ارتعاشاتی یک مدل المان محدود از مسیر موردنظر و محیط اطراف آن توسعه داده شد. اعتبارسنجی مدل با نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدانی لامبرت صورت گرفته است. بدین منظور با بررسی سرعت ذره و محتوای فرکانسی ارتعاشات در نقاط مختلف، اثر ترانشه مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل عددی نشان می‌دهد با افزایش عمق ترانشه، دامنه ارتعاشات کاهش بیشتری دارد و باعث کاهش دامنه فرکانس غالب ارتعاش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، ترانشه، حمل و نقل جاده‌ای، المان محدود

۱- مقدمه

بارهای دینامیکی را بر روی روسازی ایجاد می‌کنند. این بارها امواج ارتعاشی تولید می‌کنند که در خاک تکثیر می‌شوند و در نهایت به پایه‌های ساختمان‌های مجاور می‌رسند و باعث ارتعاش آن‌ها می‌شوند. ارتعاشات ترافیک عمدتاً ناشی از وسایل نقلیه سنگین مانند اتوبوس‌ها و کامیون‌ها است (Lak, Degrande, and Lombaert 2011; Lu et al. 2018). هنگامی که یک اتوبوس یا یک کامیون به یک ناهمواری در سطح جاده برخورد می‌کند، بار ضربه و بار نوسانی را ایجاد می‌کند. بار ضربه باعث ایجاد ارتعاشات زمین می‌شود. اگر فرکانس‌های طبیعی خاک با هر یک از فرکانس‌های طبیعی سازه ساختمان یا اجزای آن منطبق باشد، ارتعاشات تشدید خواهد

ارتعاشات ناشی از ترافیک جاده‌ای یکی از نگرانی‌های رایج در شهرها در سراسر جهان است. مالکان خانه‌ها ممکن است در مورد ناراحتی و صدمه زدن ارتعاشات به ساختمان‌ها شکایت کنند. نگرانی در مورد امکان اثرات بلندمدت ارتعاشات حمل و نقل بر ساختمان‌های تاریخی، به خصوص آن‌هایی که در شرایط ضعیفی قرار دارند، وجود دارد. ارتعاشات همچنین ممکن است در فرایندهای حساس مانند اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی علمی و صنایع دارای فناوری بالا اختلال ایجاد کنند (Hunaidi and Gallagher 2001). برخورد وسایل نقلیه با ناهمواری‌ها در سطح جاده (سرعت‌گیرها، چاله‌ها، ترک‌ها و درپوش کانال‌های فاضلاب)

ارایه دادند. به این نتیجه رسیدند که استفاده از یک ماده پرکننده نرم‌تر باعث ایجاد عایق‌بندی بهتر می‌شود (Adam and Von Estorff 2005). اولگن و تویگار مطالعه تجربی کامل انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ترانسه‌های پر شده با ژئوفوم می‌تواند ارتعاشات را کاهش دهد و تأثیر کاهش ارتعاش ترانسه‌های باز و ترانسه‌های پر شده با ژئوفوم بسیار نزدیک به هم است. دامنه‌های ارتعاش زمانی که عمق نرمال شده ۱ یا ۱,۵ باشد، می‌تواند تا ۶۷ درصد کاهش یابد (Ulgen and Toygar 2015). تامپسون و همکاران به‌صورت عددی امکان استفاده از ترانسه‌های پر شده با مواد نرم در کاهش ارتعاشات ناشی از قطار را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که عمق ترانسه^۱ پارامتر مؤثر در کاهش ارتعاشات است (Thompson et al. 2016). سیتارام و همکاران یک مطالعه میدانی و شبیه‌سازی عددی در خصوص عایق ارتعاش بر روی یک ساختمان حساس انجام دادند (Sitharam and Sebastian 2018). بارمان و همکاران یک تحقیق عددی در مورد تأثیر ترانسه‌های باز و پر شده با مخلوط لاستیک، شن و ماسه به‌عنوان جداساز ارتعاش برای به حداقل رساندن ارتعاش به سطح زمین را بررسی کردند (Barman, Sarkar, and Bhowmik 2021). در این مقاله، تأثیر استفاده از ترانسه باز با عمق‌های مختلف بر میزان ارتعاشات ناشی از عبور یک کامیون بررسی می‌شود. در این راستا با شبیه‌سازی حرکت مدل ۱/۴ خودرو بر روی دست‌انداز در محیط نرم‌افزاری، تحلیل ارتعاشاتی انجام شده و ارتعاشات وارده بر محیط مجاور آن تحت شرایط مختلف اندازه‌گیری می‌شود.

۲- توسعه مدل عددی

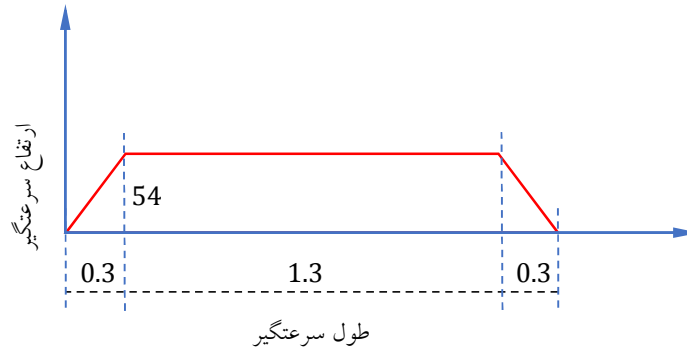
توسعه مدل عددی شامل دو بخش مدل خودرو و مدل زمین است. در ابتدا بارمحوری ناشی از ناهمواری (سرعت‌گیر) با استفاده از یک مدل ۱/۴ خودرو متشکل از فنرها، میراگرها و جرم محاسبه می‌شود. سپس مقدار بار دینامیکی حاصل به یک مدل دو و نیم بعدی برای ارزیابی ارتعاشات روسازی آسفالتی اعمال می‌گردد.

یافت. فرکانس‌های غالب و دامنه ارتعاش به عوامل زیادی از جمله شرایط جاده، وزن وسیله نقلیه، سرعت و سیستم تعلیق وسیله نقلیه، نوع خاک، فصل سال، فاصله از جاده، و نوع ساختمان بستگی دارد. (Bata 1971; François et al. 2007; Hunaidi, Guan, and Nicks 2000) ارتعاشات زمین معمولاً با تغییر فرکانس ارتعاش، تغییر محل منبع تولید ارتعاش یا تغییر ویژگی‌های زمین اطراف حاصل می‌شود. هنگامی که امکان اصلاح منبع تولید ارتعاش وجود ندارد، تنها روش مؤثر کاهش ارتعاشات استفاده از موانع موج است (Orehov 2012). قراردادن یک مانع در داخل زمین بین منبع تولید ارتعاش و گیرنده می‌تواند یک معیار مناسب برای کاهش میزان ارتعاشات باشد. استفاده از روش‌های مختلف ایجاد موانع از جمله ترانسه‌های باز و پر شده، بلوک افقی مانع موج و سپرهای فولادی برای کاهش ارتعاشات مؤثر هستند (Gao et al. 2017; Garinei, Risitano, and Scappaticci 2014; Majumder, Ghosh, and Sathiyamoorthy 2017; Woods 1968). استفاده از ترانسه باز مؤثرترین روش برای کاهش امواج سطحی است زیرا مرزهای بدون تنش آن به‌عنوان بازتاب‌کننده امواج عمل می‌کند (W. Yang, Yuan, and Wang 2018). تحقیقات متعددی در مورد تأثیر موانع موج مانند ترانسه‌های باز، ترانسه‌های پر شده، بلوک افقی مانع موج و سپرهای فولادی ارتعاشات انجام شده است. کاتیس و همکاران تأثیر موانع بر کاهش ارتعاشات با استفاده از ترانسه‌های باز و پر شده تحت شرایط کرنش صفحه با استفاده از روش المان مرزی را مورد مطالعه قرار دادند (Kattis, Polyzos, and Beskos 1999). یانگ و هانگ اثر سه موانع ترانسه توپر، ترانسه باز و فونداسیون الاستیک را در کاهش ارتعاشات ناشی از قطار با استفاده از شبیه‌سازی‌های عددی مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که هنگامی که از ترانسه‌های باز برای جداسازی استفاده می‌شود، تأثیر بیشتری در کاهش ارتعاشات دارند (Y. Yang and Hung 1997) اندرسن و نیلسن کاهش ارتعاشات ناشی از قطار را با استفاده از ترانسه بررسی کردند و تأثیر ترانسه‌ها را در کاهش ارتعاشات نشان دادند و دریافتند که ترانسه‌های باز در کاهش ارتعاشات فرکانس پایین کارآمدتر هستند (Andersen and Nielsen 2005). آدام و فون یک تحقیق عددی در مورد تأثیر ترانسه‌های باز و پر شده با بتن‌نیت را در کاهش ارتعاشات ساختمان ۶ طبقه به دلیل عبور قطارها

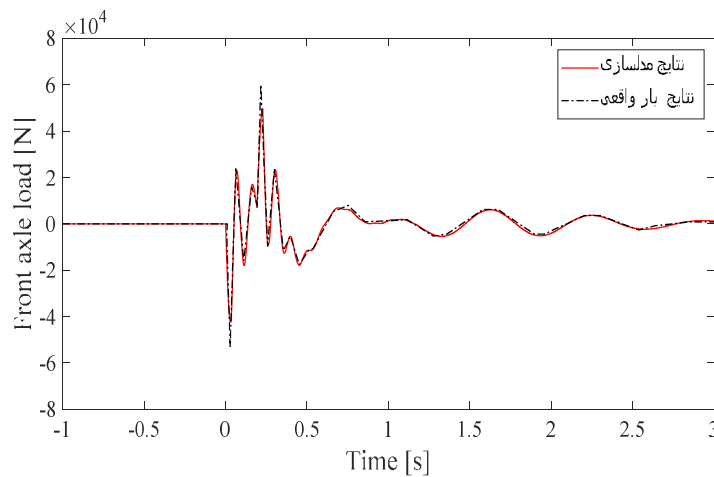
۱-۲- مدل خودرو

کامل خودرو هستند. در این مقاله از مدل یک‌چهارم خودرو برای تعیین پاسخ دینامیکی خودرو استفاده شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای مطالعه و ارزیابی ارتعاشات روسازی چندین مدل برای تعیین بارمخوری دینامیکی خودروها ارائه شده است این مدل‌ها شامل مدل یک‌چهارم خودرو، مدل یک‌دوم خودرو و مدل



شکل ۲. مشخصات مربوط به سرعت گیر



شکل ۳. بار محور جلو کامیون برای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت

۲-۲- مدل زمین

ایجاد شده است. بار کامیون در جهت عمود بر مدل به صورت اعمال بار محاسبه شده از برنامه متلب است. هندسه مدل شامل لایه آسفالت، اساس، زیراساس، لایه‌های خاک زیرین و خاک اطراف است که بر اساس مطالعات داده‌های میدانی لامبرت ساخته شده است و مشخصات لایه‌های روسازی در جدول ۲ و مشخصات لایه‌های خاک نیز در جدول ۳ آورده شده است.

روش اجزا محدود به طرز گسترده‌ای جهت مدل‌سازی مسائل ارتعاشات خاک مورد استفاده قرار گرفته است. قابلیت مهم روش عددی امکان مدل‌سازی مسائل با هندسه پیچیده و مشخصات متنوع است. (G. Kouroussis, Connolly, and Verlinden 2014) هندسه مدل در نظر گرفته شده در این تحقیق به صورت دوبعدی با استفاده از نرم‌افزار آباکوس

جدول ۲. مشخصات لایه‌های مختلف روسازی (Lombaert and Degrande 2003)

نوع لایه	ضخامت لایه (m)	ضریب پواسون	وزن مخصوص (kg/m ³)	مدول الاستیسیته (MPa)
آسفالت	۰/۱۵	۰/۳۳	۲۱۰۰	۹۱۵۰
اساس	۰/۱۹	۰/۵	۲۰۰۰	۵۰۰
زیراساس	۰/۲۵	۰/۵	۱۸۰۰	۲۰۰

جدول ۳. مشخصات لایه‌های مختلف خاک (Lombaert and Degrande 2003)

شماره لایه	ضخامت لایه (m)	ضریب پواسون	وزن مخصوص (kg/m ³)	مدول الاستیسیته (MPa)	ضریب β
۱	۰/۴۶	۰/۳۳	۱۹۰۰	۵۷	۸×۱۰^{-۴}
۲	۰/۶۷	۰/۳۳	۱۹۰۰	۱۳۳	۶×۱۰^{-۴}
۳	۱/۳۵	۰/۳۳	۱۹۰۰	۲۲۳	۴×۱۰^{-۴}
۴	۵/۷۲	۰/۴۷	۲۰۰۰	۳۲۲	۴×۱۰^{-۴}
۵	∞	۰/۴۷	۲۰۰۰	۱۲۸۸	۴×۱۰^{-۴}

در دو رابطه اخیر w_1, w_2 به ترتیب فرکانس طبیعی اول و بیشترین فرکانس طبیعی موجود در سیستم است. مقدار ξ نیز نسبت میرایی مصالح است (Ducarne, Ainalis, and Kouroussis 2018). میرایی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است. به منظور جلوگیری از انعکاس امواج رسیده به مرز، در طرفین مدل از مرز با المان‌های نیمه بی‌نهایت خطی CINPE4 با ۴ گره مربعی شکل استفاده شده است. کف مدل نیز مقید فرض شده است. شکل ۴ مراحل کلی توسعه مدل را نشان می‌دهد.

هر چه اندازه مش‌بندی ریزتر و تعداد المان‌های داخل مدل بیشتر باشد، دقت حل مدل عددی بالاتر می‌رود ولی این موضوع تأثیر مستقیمی بر زمان حل دارد؛ لذا می‌بایست به روشی تعادلی میان تعداد المان و دقت مدل ایجاد کرد، تا از این طریق زمان حل در بهینه‌ترین وضعیت قرار بگیرد؛ لذا مقدار بعد مش برابر با ۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان مقدار بعد مناسب انتخاب گردید.

۳- اعتبارسنجی مدل

به منظور راستی‌آزمایی نتایج حاصل از مدل عددی، نمودار سرعت ذره در فواصل مختلف با نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدانی لامبرت مقایسه گردید (Lombaert and Degrande

امواج ایجاد شده در منبع تولید ارتعاش پس از اینکه در محیط منتشر می‌شوند به سمت مرزهای مدل عددی حرکت می‌کنند. مهم‌ترین عاملی که تأثیر در مورد انتشار ارتعاش ایجاد می‌کند، میرایی محیط است (Connolly et al. 2015). از میرایی رایلی در مدل استفاده شده است که به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود (Ducarne, Ainalis, and Kouroussis 2018):

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (۸)$$

که در آن، $[C]$ ماتریس میرایی، $[M]$ ماتریس جرم و $[K]$ ماتریس سختی است. α و β ضرایب میرایی رایلی هستند و لازم به توضیح است که α و β را به روش محاسباتی می‌توان از دو رابطه ۳-۱۳ و ۳-۱۴ نیز به دست آورد (Ducarne, Ainalis, and Kouroussis 2018):

$$\alpha = \frac{2\xi w_1 w_2}{w_1 + w_2} \quad (۹)$$

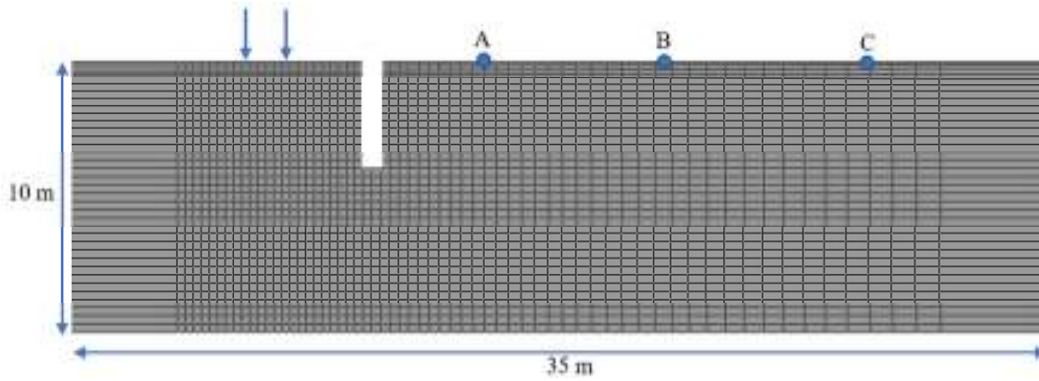
$$\beta = \frac{2\xi}{w_1 + w_2} \quad (۱۰)$$

با جایگزینی رابطه ۴ در رابطه ۵ خواهیم داشت:

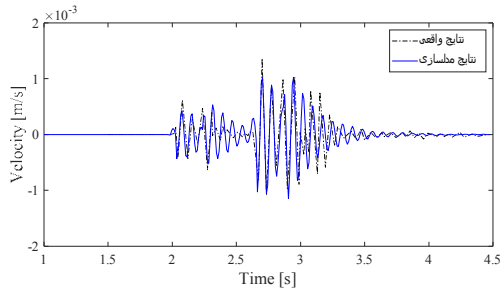
$$\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega} + \beta \omega \right) \quad (۱۱)$$

مدلسازی عددی است. ارتعاش حاصل از عبور چرخ‌های جلو و عقب به‌خوبی نشان داده شده است. فاصله بین محور جلو و محور عقب کامیون با توجه به سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت در شکل نیز مشخص است.

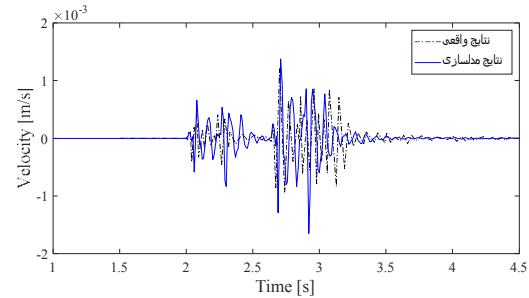
(2003). همان‌گونه که در شکل‌های ۵ تا ۷ مشخص است نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج حاصل از داده‌های میدانی تطابق خوبی دارند. نتایج در فواصل ۸ متر، ۱۶ متر و ۲۴ متر اندازه‌گیری شده‌اند. اختلاف حاصل از مدل عددی و نتایج میدانی کمتر از ۵ درصد است که نشان دهنده عملکرد مناسب



شکل ۴. مدل المان محدود/نامحدود با وجود ترانسه باز



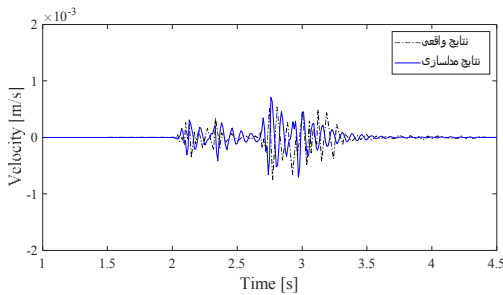
(ب)



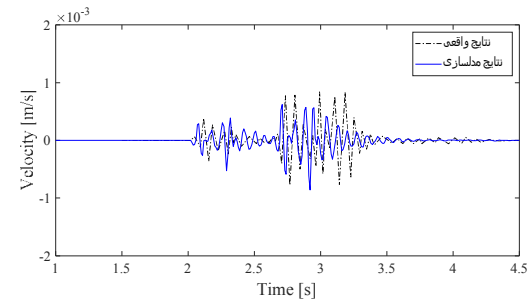
(الف)

شکل ۵. سرعت ذره در حوزه زمان در فاصله ۸ متر از محور جاده برای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت

(الف) سرعت ذره در جهت X (ب) سرعت ذره در جهت Y



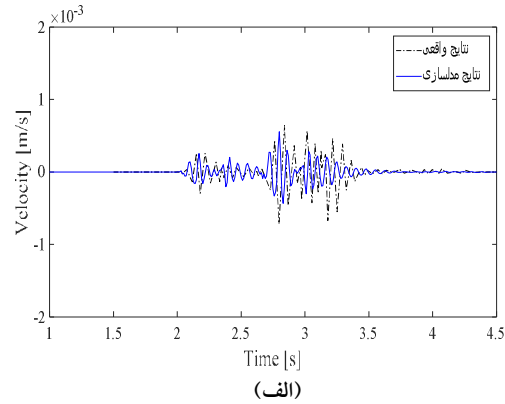
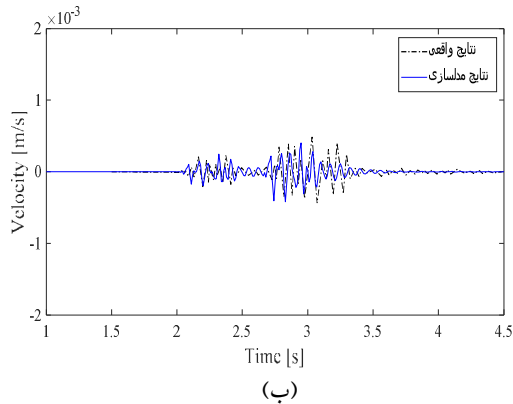
(ب)



(الف)

شکل ۶. سرعت ذره در حوزه زمان در فاصله ۱۶ متر از محور جاده برای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت

(الف) سرعت ذره در جهت X (ب) سرعت ذره در جهت Y



شکل ۷. سرعت ذره در حوزه زمان در فاصله ۲۴ متر از محور جاده برای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت
(الف) سرعت ذره در جهت X (ب) سرعت ذره در جهت Y

۴- تحلیل پارامتری

نمودار سرعت ذره در جهت X و Y در حوزه زمان و فرکانس در فاصله ۱۶ متر از محور جاده (نقطه B) در دو حالت بدون ترانسه و با ترانسه محاسبه گردید و نتایج آن در نمودارهای ۸ و ۹ به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشخص است در حضور ترانسه کاهش دامنه مشاهده می‌شود.

در شکل ۱۰ نمودار سرعت ذره (VX) در فاصله ۱۶ متری برای انواع ترانسه با عمق‌های مختلف نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است هرچه قدر میزان عمق ترانسه افزایش یابد، میزان ارتعاش کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که ترانسه با عمق ۵ متر بیشترین تأثیر را در کاهش ارتعاشات دارد و دلیل آن را می‌توان ناشی از سد کردن بیشتر امواج سطحی به‌وسیله ترانسه‌های عمیق‌تر دانست.

حداکثر سرعت ذره در جهت Y برای سه فاصله ۸، ۱۶ و ۲۴ متر به‌صورت نمودار میله‌ای ترسیم شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به‌نمایش درآمده است. کاملاً واضح است که با افزایش عمق ترانسه حداکثر سرعت ذره کاهش می‌یابد. همان‌طور که در نمودار ۱۱ مشخص است، میزان کاهش حداکثر سرعت ذره در جهت Y در فاصله ۸ متر از محور جاده برای ترانسه با عمق ۱ متر نسبت به حالت بدون ترانسه ۴/۶ درصد است در شرایطی که این مقدار برای ترانسه‌های با عمق ۲/۵، ۳/۵ و ۵ متر به ترتیب برابر ۶/۱۷، ۱۷/۳۹ و ۳۹/۷۶ درصد است.

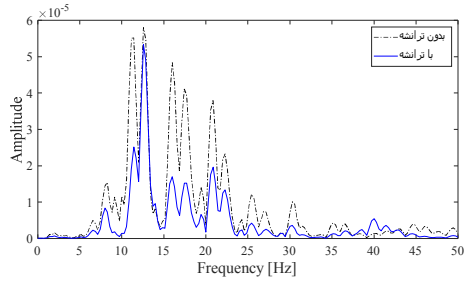
پس از اعتبارسنجی مدل عددی، اکنون می‌توان از آن، جهت بررسی تأثیر استفاده از ترانسه بر ارتعاشات زمینی ناشی از عبور کامیون استفاده کرد. ترانسه‌های با عمق‌های مختلف در مدل سازی قرار داده شد و تأثیر آن بر ارتعاشات در نقاط مختلف اندازه‌گیری شد. یکی از شاخص‌هایی که می‌توان از آن برای مقایسه میزان ارتعاشات استفاده کرد مقدار سرعت حداکثر ذره^۲ (PPV) است.

سرعت حداکثر ذره (PPV)، یک شاخص ساده اما کارآمد است که برای توصیف و مقایسه میزان سیگنال‌های ارتعاش استفاده می‌شود و به‌عنوان حداکثر مقدار مطلق سیگنال در یک دوره زمانی مشخص تعریف می‌شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است (Georges Kouroussis et al. 2014).

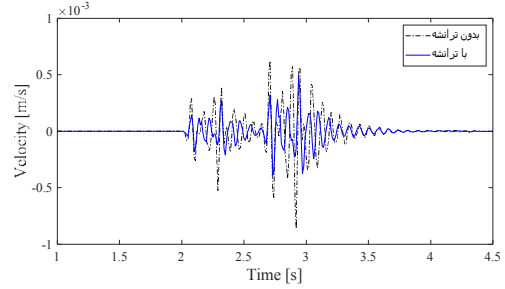
$$PPV = \max(|v(t)|) \quad (12)$$

۴-۱- تأثیر ترانسه با عمق‌های مختلف

در مدل‌سازی عددی انجام‌شده به بررسی مقدار ارتعاشات ناشی از حرکت کامیون در دو حالت بدون مانع موج و با مانع پرداخته شده است. فواصل اندازه‌گیری به ترتیب ۸، ۱۶ و ۲۴ متر است. همچنین به‌منظور بررسی تأثیر عمق، از ترانسه‌های با عمق‌های ۱، ۲/۵، ۳/۵ و ۵ متر استفاده شده است.

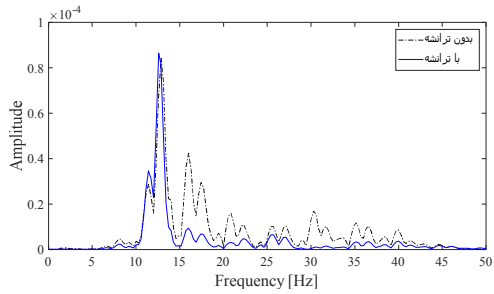


(ب)

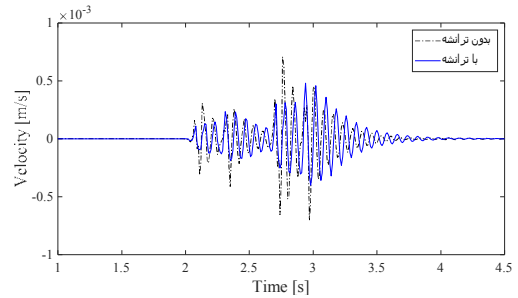


(الف)

شکل ۸. سرعت ذره در جهت X در حوزه زمان (الف) و در حوزه فرکانس (ب) در فاصله ۱۶ متر از محور جاده

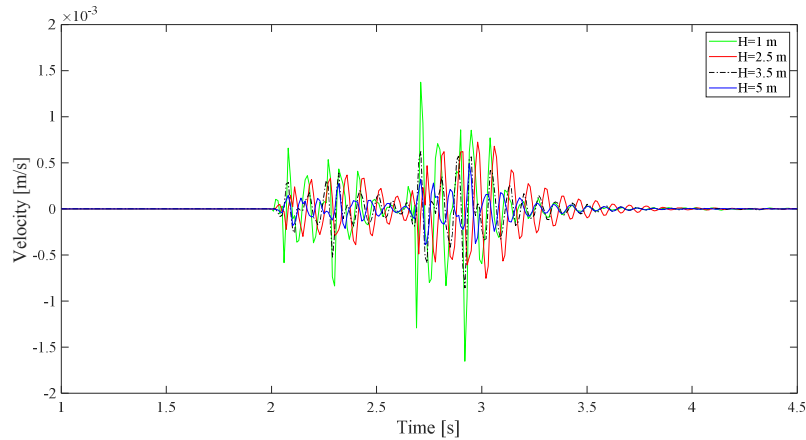


(ب)

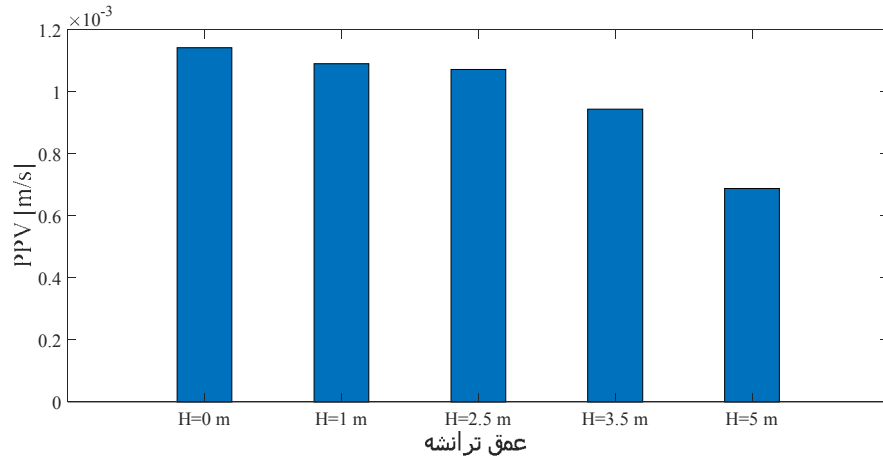


(الف)

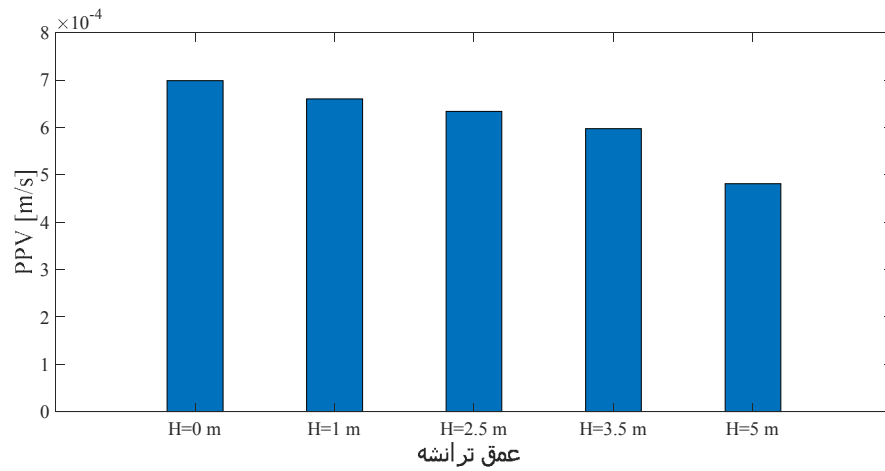
نمودار ۹. سرعت ذره در جهت Y در حوزه زمان (الف) و در حوزه فرکانس (ب) در فاصله ۱۶ متر از محور جاده



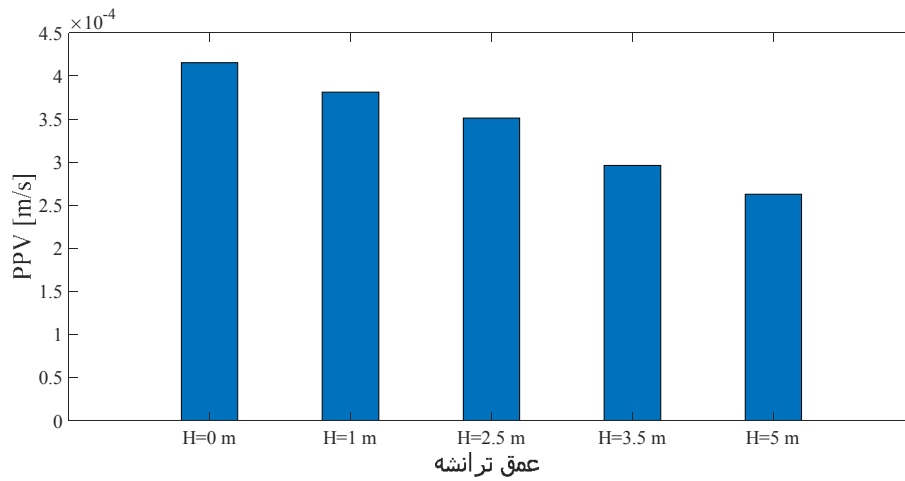
نمودار ۱۰. سرعت ذره در جهت X در حوزه زمان در فاصله ۱۶ متر از محور جاده برای ترانشه‌ها با عمق‌های مختلف



نمودار ۱۱. حداکثر سرعت ذره در جهت y در فاصله ۸ متر از محور جاده برای ترانشه‌های با عمق‌های مختلف



نمودار ۱۲. حداکثر سرعت ذره در جهت y در فاصله ۱۶ متر از محور جاده برای ترانشه‌های با عمق‌های مختلف

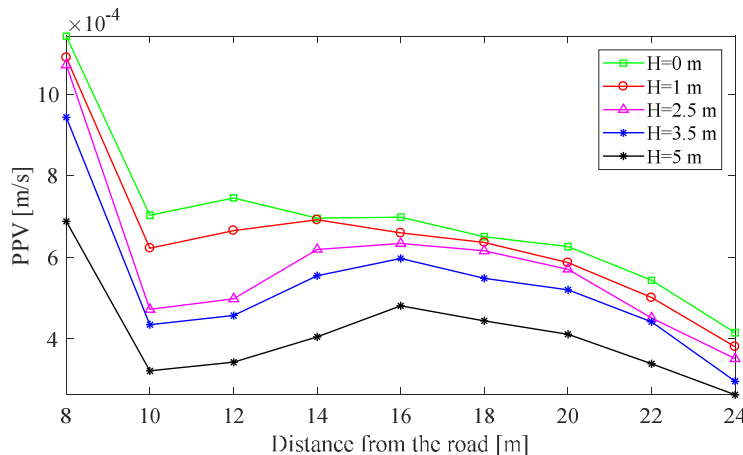


نمودار ۱۳. حداکثر سرعت ذره در جهت y در فاصله ۲۴ متر از محور جاده برای ترانشه‌های با عمق‌های مختلف

۴-۲- تأثیر عمق و فاصله مناسب ترانشه

به منظور بررسی عمق و فاصله مناسب ترانشه از دریافت کننده ارتعاش، از پارامتر حداکثر سرعت ذره در نقاط مختلف استفاده شده است که در شکل ۱۴ مشاهده می شود. باتوجه به شکل مشخص است که مقدار حداکثر سرعت ذره تا فاصله ۱۰ متر یک مقدار کاهشی دارد اما در فواصل بین ۱۲ تا ۱۶ متر مقدار PPV رو به افزایش است و از فاصله ۱۶ متر به بعد مجدداً رو به کاهش است. نرخ کاهش ارتعاش به عوامل هندسی و مکانیکی محیط اطراف وابسته است، علت این موضوع این است که در یک فاصله مشخص فرکانس غالب کامیون با فرکانس لایه بالایی خاک یکسان می شود.

نمودار ۱۲ نشان می دهد که میزان کاهش حداکثر سرعت ذره در جهت Y در فاصله ۱۶ متر از محور جاده برای ترانشه با عمق ۱ متر نسبت به حالت بدون ترانشه ۵/۵۴ درصد است در شرایطی که این مقدار برای ترانشه های با عمق ۲/۵، ۳/۵ و ۵ متر به ترتیب برابر ۹/۲۶، ۱۴/۵ و ۳۱/۱۶ درصد است. همان طور که در نمودار ۱۳ مشخص است، میزان کاهش حداکثر سرعت ذره در جهت Y در فاصله ۲۴ متر از محور جاده برای ترانشه با عمق ۱ متر نسبت به حالت بدون ترانشه ۸/۲۲ درصد است در شرایطی که این مقدار برای ترانشه های با عمق ۲/۵، ۳/۵ و ۵ متر به ترتیب برابر ۱۵/۳۹، ۲۸/۶۵ و ۳۶/۷ درصد است.



نمودار ۱۴. حداکثر سرعت ذره در جهت X در فواصل مختلف از محور جاده برای ترانشه های با عمق های مختلف

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، به منظور بررسی تأثیر استفاده از ترانشه باز با عمق های مختلف بر میزان ارتعاشات، یک مدل عددی دو مرحله ای ایجاد شد. در مرحله اول میزان بار محوری ناشی از عبور یک کامیون بر روی سرعت گیر در برنامه متلب شبیه سازی شد. جهت شبیه سازی بار دینامیکی کامیون از مدل ۱/۴ خودرو متشکل از جرم، فنرها و میراگرها استفاده شد. در مرحله دوم جهت ارزیابی ارتعاشاتی، یک مدل اجزای محدود 2.5D از مسیر و محیط اطراف توسعه داده شد. اعتبارسنجی مدل با نتایج حاصل از اندازه گیری میدانی لامبرت صورت گرفته است. پس از اعتبارسنجی مدل تأثیر ترانشه های با عمق های ۱، ۲/۵، ۳/۵ و ۵ متر بر میزان ارتعاشات ناشی از حرکت کامیون پرداخته شد.

به عبارتی در فاصله ۱۲ تا ۱۶ متری فرکانس تحریک غالب کامیون با فرکانس طبیعی لایه بالایی خاک یکسان شده و از این رو در محدوده این فاصله تشدید رخ داده است. همان طور که مشخص است میزان PPV برای ترانشه های مختلف با افزایش عمق کاهش می یابد ترانشه های با عمق کمتر باعث می شوند تا امواج از زیر این ترانشه ها حرکت کرده و به نقاط پس از آن منتقل شوند، انتخاب عمق و فاصله مناسب ترانشه به میزان حساس بودن ساختمان دریافت کننده ارتعاش بستگی دارد. فاصله و عمق ترانشه باید به گونه ای طراحی گردد که حداکثر کاهش ارتعاش را در پی داشته باشد.

Sand-Crumb Rubber Mixture”, Lecture Notes in Civil Engineering 116 LNCE(January): pp.269-82.

-Bata, Miloslav, (1971), “Effects on Buildings of Vibrations Caused by Traffic”, Building Science 6(4), pp.221-46.

-Connolly, D. P. et al., (2015), “Benchmarking Railway Vibrations - Track, Vehicle, Ground and Building Effects”, Construction and Building Materials 92, pp.64-81.

-Ducarne, Loïc, Daniel Ainalis, and Georges Kouroussis, (2018), “Assessing the Ground Vibrations Produced by a Heavy Vehicle Traversing a Traffic Obstacle” Science of The Total Environment 612, pp.1568-76. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.08.226>.

-François, S., L. Pyl, H. R. Masoumi, and G. Degrande, (2007), “The Influence of Dynamic Soil-Structure Interaction on Traffic Induced Vibrations in Buildings”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27(7), pp.655-74.

-Gao, Guangyun et al., (2017), “Numerical Study on the Active Vibration Isolation by Wave Impeding Block in Saturated Soils under Vertical Loading”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 93(April 2016), pp.99-112.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.12.006>.

-Garinei, A., G. Risitano, and L. Scappaticci. (2014), “Experimental Evaluation of the Efficiency of Trenches for the Mitigation of Train-Induced Vibrations”, Transportation Research Part D: Transport and Environment 32: pp.303-15.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2014.08.016>.

-Hunaidi, O., W. Guan, and J. Nicks, (2000), “Building Vibrations and Dynamic Pavement Loads Induced by Transit Buses.” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19(6), pp.435-53.

-Hunaidi, O, and JF Gallagher, (2001), "Solplan Review Traffic Vibrations in Houses", <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=shwart&index=an&req=5751989>.

-Kattis, S. E., D. Polyzos, and D. E. Beskos. (1999), “Modelling of Pile Wave Barriers by Effective Trenches and Their Screening Effectiveness”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 18(1), pp.1-10.

-Kouroussis, G., D. P. Connolly, and O. Verlinden, (2014), “Railway-Induced Ground Vibrations – a Review of Vehicle Effects”, International Journal of Rail Transportation 2(2), pp. 69-110.

مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- تحلیل عددی نشان می‌دهد که حداکثر سرعت ذره در جهت X و Y با افزایش عمق ترانشه کاهش می‌یابد و استفاده از ترانشه با عمق ۵ متر در مسیر انتشار ارتعاش باعث کاهش بیشتر لرزش در مدل شده است.

- حداکثر سرعت ذره در نقاط مختلف از محور جاده به دست آمد و نشان داد که با افزایش میزان ارتعاش کاهش می‌یابد

- ایجاد ترانشه باز باعث تغییر در محتوای فرکانسی ارتعاش نسبت به حالت بدون ترانشه گردید و حضور ترانشه باعث ایجاد یک سد در مسیر امواج سطحی به محیط اطراف می‌شود و نتایج به دست آمده این را تأیید می‌کند.

- در بررسی اثر پارامتر ارتفاع ترانشه نتایج نشان می‌دهد که اثر افزایش عمق در کاهش میزان پاسخ ارتعاشات در ترانشه با عمق ۵ متر نسبت به حالت بدون ترانشه به صورت متوسط تا ۳۵٪ تأثیرگذارتر است.

- تجزیه و تحلیل عددی نشان می‌دهد که انواع ترانشه با عمق‌های مختلف دامنه و فرکانس ارتعاشات ناشی از سیستم حمل و نقل جاده‌ای را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. همچنین برای بررسی بیشتر مقدار ارتعاشات عمود بر جاده از ۸ تا ۲۴ متر نیز ثبت گردید. استفاده از مدل عددی نیز می‌تواند برای تجزیه و تحلیل ارتعاشات ناشی از ترافیک بر روی محیط مجاور استفاده کرد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Trench
2. Peak Particle Velocity (PPV)

۷- مراجع

-Adam, M., and O. Von Estorff., (2005), “Reduction of Train-Induced Building Vibrations by Using Open and Filled Trenches.” Computers and Structures 83(1): pp.11-24.

-Andersen, L., and S. R.K. Nielsen, (2005), “Reduction of Ground Vibration by Means of Barriers or Soil Improvement along a Railway Track”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25(7-10), pp.701-16.

-Barman, Rahul, Abir Sarkar, and Debjit Bhowmik, (2021), “Numerical Study on Vibration Screening Using Trench Filled with

- Qin, Tianhao et al., (2018), "Effects of Sensor Location on Dynamic Load Estimation in Weigh-in-Motion System", *Sensors (Switzerland)* 18(9).
- Sitharam, T G, and Resmi Sebastian, (2018), "Vibration Isolation of Buildings Housed with Sensitive Equipment Using Open Trenches – Case Study and Numerical Simulations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 115(October 2017), pp.344–51. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.08.033>.
- Thompson, D. J. et al., (2016), "Reducing Railway-Induced Ground-Borne Vibration by Using Open Trenches and Soft-Filled Barriers", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 88(May), pp.45–59.
- Ulgen, D., and O. Toygar, (2015), "Screening Effectiveness of Open and In-Filled Wave Barriers: A Full-Scale Experimental Study", *Construction and Building Materials* 86, pp.12–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.03.098>.
- Woods, Richard D., (1968), "Screening of Surface Wave in Soils", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 94(4): pp.951–79.
- Yang, Wenbo, Ran Yuan, and Juan Wang. 2018, "Vibration Induced by Subway Trains: Open-Trench Mitigation Analysis in the Time and Frequency Domains", *Shock and Vibration*.
- Yang, Yeong Bin, and Hsiao Hui Hung, (1997), "A Parametric Study of Wave Barriers for Reduction of Train induced Vibrations", *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 40(20), pp.3729–47. <http://dx.doi.org/10.1080/23248378.2014.897791>.
- Kouroussis, Georges et al. 2014. "Building Vibrations Induced by Railways: An Analysis of Commonly Used Evaluation Standards." 21st International Congress on Sound and Vibration 2014, ICSV 2014 1, pp.375–82.
- Lak, M. A., G. Degrande, and G. Lombaert. (2011), "The Effect of Road Unevenness on the Dynamic Vehicle Response and Ground-Borne Vibrations Due to Road Traffic", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31(10): pp.1357–77.
- Lombaert, G., and G. Degrande, (2003), "The Experimental Validation of a Numerical Model for the Prediction of the Vibrations in the Free Field Produced by Road Traffic." *Journal of Sound and Vibration* 262(2), pp.309–31.
- Lu, Zheng, Zhi Hu, Hai lin Yao, and Jie Liu. (2018), "Field Evaluation and Analysis of Road Subgrade Dynamic Responses under Heavy Duty Vehicle." *International Journal of Pavement Engineering* 19(12), pp.1077–86. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2016.1240560> (January 25, 2021).
- Majumder, Mainak, Priyanka Ghosh, and Rajesh Sathiyamoorthy, (2017), "An Innovative Vibration Barrier by Intermittent Geofam – A Numerical Study." *Geomechanics and Engineering* 13(2), pp.269–84.
- Orehov, V V., (2012), "Investigation Effects of Trench Barrier on the Reducing Energy of Surface Waves in Soils", 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon Portugal.

Investigation in to the Effect of Trench Depth on Reducing Vibrations Caused by the Passage of Heavy Vehicles

Zolfaghar Zarei, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Seyed Javad Mir Mohammad Sadeghi, Professor, School of Rail Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Alireza Sarkar, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: javad_sadeghi@iust.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

Inevitably, vibrations induced by vehicles passing over bumps and surface irregularities affect adjacent buildings. High-amplitude vibrations can be damaging to monumental and historic buildings. The passage of heavy vehicles on irregular road pavement surfaces generates dynamic loads that are transmitted to the buildings through the surrounding soils and cause them to vibrate. To address the aforementioned challenge, herein, a 2.5-dimensional numerical model was developed to investigate the effect of open-trenches with different depths on the amplitude of vibrations. For this purpose, initially, the axial load caused by a truck hurtling over a speed bump was simulated in MATLAB program. Then, a finite element model of the road and its surroundings was developed to evaluate the vibrations. The model was then validated by the results from Lambert field measurements. To evaluate the effect of trench depth, the particle velocity and the frequency content of vibrations at different points were investigated. Numerical analysis indicates that greater trench depth leads to more reduction in the vibrations' amplitude and a decline in the amplitude of the dominant vibration frequency.

Keywords: Vibration, Trench, Road Transportation, Finite Element