



بررسی کاهش اثر ارتعاشات و امواج زمین لرزه بر روی سازه‌های اطراف با مدل‌سازی عددی

هاشم شریعتمدار^۱، منصوره کدخدای بلقور^۲، حجت دهستانی^۳

۱- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۳- عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی قوچان

M_civil_k@yahoo.com

خلاصه

امروزه بحث حرکت شدید امواج ناشی از زمین لرزه، که در نواحی اطراف خاک انتشار می‌یابد، به واسطه خسارات ناشی از تاثیر این امواج بر روی سازه‌ها و شریان‌های حیاتی مهم و هزینه‌های هنگفت ناشی از بازسازی این موارد، با رویکرد ژئوتکنیکی و عمرانی مورد توجه محققین قرار گرفته است. برای جلوگیری از حرکت امواج تاکنون راهکارهای زیادی پیشنهاد شده است که در این مقاله به بحث عایق کردن محیط اطراف در برابر لرزش‌های دینامیکی پرداخته شده است. در این مقاله کاربرد ترانسه‌ها برای جلوگیری از حرکت امواج مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور برای دو شالوده با فاصله مشخص از هم، حالت‌های مختلف اثر ترانسه‌های باز (خالی) و پر شده با موادی نظیر بتن، بنتنیت و آب مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در این بررسی دامنه‌های ارتعاشی مختلفی نظیر ۱۰ Hz، ۵۰ Hz و ۹۵ Hz به کار برده شده است. سپس نتایج در قالب نمودارهایی بر حسب تغییر مکان شالوده و دامنه‌های مختلف ارتعاشی ارائه شده است. اندازه‌گیری‌ها و نتایج نشان داده است استفاده از ترانسه‌های باز و یا ترانسه‌های پر شده می‌تواند میزان ارتعاشات سازه و در نتیجه تنش‌های داخلی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

کلمات کلیدی: بارهای دینامیکی، عایق‌های لرزش، ترانسه‌های باز، ترانسه‌های پر

۱. مقدمه

قسمت اعظم انرژی لرزشی ایجاد شده توسط منابع دینامیکی بصورت امواج رایلی در خاک انتشار می‌یابد در نتیجه ممکن است با ایجاد جابجایی‌های بزرگ در زمین به سازه‌های اطراف تنش‌های ناشی از ارتعاشات را منتقل نماید و همچنین باعث سلب آسایش انسان‌ها در ساختمان‌های مسکونی گردد. برای حفاظت موثر ساختمان‌ها در برابر آسیب‌هایی که از بارهای دینامیکی ایجاد می‌شود، می‌توان تمهیدات زیادی در نظر گرفت. یکی از راهکارهای مناسب عایق کردن محیط در برابر لرزش‌های دینامیکی است. توجه ویژه به این مساله و کاربرد آن در عمران و مهندسی راه آهن باعث می‌شود روش‌های گوناگونی مثل روش‌های عددی، تحلیلی و روش نیمه تجربی برای عایق کردن محیط در برابر لرزش‌ها به کار رود [1-6]. کاهش پاسخ‌های سازه در برابر لرزش می‌تواند با روش‌های زیر صورت گیرد:

۱. به وسیله تنظیم فرکانس جسمی که تولید امواج می‌کند.
۲. با تغییر محل و جهت منبعی که تولید امواج می‌کند.
۳. اصلاح خصوصیات جذب و تلف شدن انرژی در خاک
۴. بکار بردن عایق در مسیر انتشار امواج.

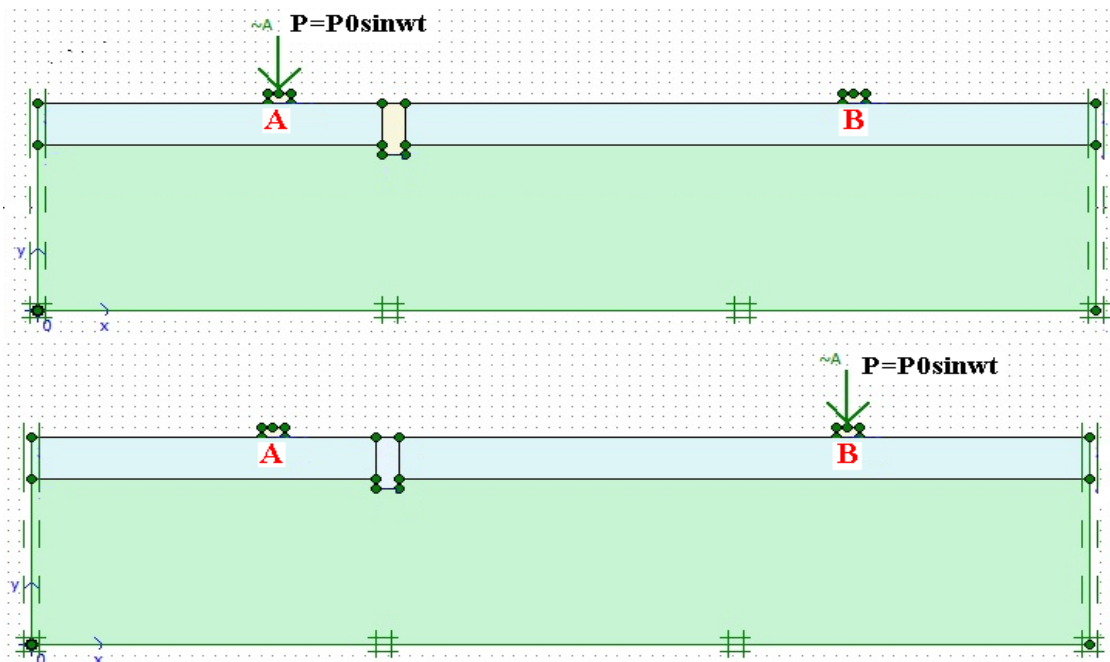
هنگامی که موانع در نزدیکی منبع ایجاد موج باشند به این نوع عایق‌ها و محافظ‌ها Active گفته می‌شود. هنگامی که موانع در فاصله‌ی دور از منبع ایجاد موج باشد ولی محافظت از اطراف سازه صورت گیرد به این نوع عایق‌ها و محافظ‌ها Passive گفته می‌شود. ترانسه‌های باز و ترانسه‌هایی که با مواد مناسب پر شده‌اند می‌توانند به عنوان این نوع عایق‌ها به کار روند. در این مقاله آزمایشی لرزاننده‌ی الکترو دینامیکی برای تولید لرزش هارمونیک قائم با فرکانس معین به کار می‌رود. در ادامه حالت‌های مختلف اثر ترانسه‌ها در عایق کردن محیط در برابر لرزش دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. تئوری حاکم بر موضوع

جهت دستیابی به نتایج دقیق آزمایشگاهی و مدلسازی لازم است خواص خاک محل برای تحقیق و اثر این عایق ها و موانع در برابر انتشار موج به طور دقیق مشخص شود. مساحت مکان مورد مطالعه $2/5 \text{ Km}^2$ است. محل مورد آزمایش از یک لایه ی آبرفتی با ضخامت زیاد که به وسیله ی رودخانه حمل شده است تشکیل شده است. سطح آب زیرزمینی معمولا ۱ تا ۳ متری سطح زمین است و در مواقع بارانی تقریبا به سطح زمین می رسد. گمانه ها برای بررسی حرکت موج های منتشر شده در زمین حفر شده اند. بدین صورت که حفر گمانه به وسیله ی مته نمونه برداری که از استوانه ی توخالی تشکیل شده است انجام می شود. زمین مورد نظر از شن و ماسه های رسی تشکیل شده است که دارای چگالی های متفاوت هستند. در این مقاله نتایج حاصل از مدلسازی با نتایج آزمایشگاه مقایسه شده است.

۳. مشخصات مدل

طرح کلی از یک مولد، دوپی بتنی، مانع در برابر انتشار موج و دو نقطه ی اندازه گیری تشکیل شده است. لرزاننده ی الکترو دینامیکی که باعث ایجاد حرکت سینوسی می شود به عنوان یک منابع ثابت برای تولید بار هارمونیک قائم در بازه ی فرکانسی ۹۵-۱۰ هرتز به کار رفته است. ابعاد شالوده ها ($1^m * 1^m * 0.5^m$) می باشد. برای عایق کردن محیط ترانشه ای به عرض 1^m و عمق 2.5^m در مدلسازی لحاظ شده است. ترانشه یکبار با بتونیت- به عنوان ماده ی نرم تر از خاک - و یکبار با بتن - به عنوان ماده سخت تر از خاک - پر شده است. در حالت Active فاصله بین ترانشه و منبع تولید ارتعاش ۴ متر و در حالت Passive این فاصله به ۲۰ متر تغییر داده شده است. در شکل (۱) موقعیت شالوده ها و ترانشه در نرم افزار اجزای محدود plaxis نمایش داده شده است. در حالت Active منبع ارتعاش روی شالوده A قرار دارد و در حالت Passive منبع ارتعاش به شالوده B انتقال می یابد.



شکل ۱ - طرح کلی مدلسازی عایق های Active , Passive

دو حالت مختلف ترانشه برای بررسی اثر عایق انتخاب شده است. اندازه گیری ها برای ۴ نقطه و ۲ حالت خاص به صورت زیر انجام شده است: برای حالت Active نقطه ی A، نقطه ای که منبع لرزاننده بر روی پی قرار دارد، برای حالت Active نقطه ی B، نقطه ای که دور از منبع لرزاننده واقع



است. برای حالت Passive نقطه ی A ، نقطه ای که دور از منبع لرزاننده واقع است، برای حالت Passive نقطه ی B ، نقطه ای که منبع لرزاننده بر روی پی قرار دارد.

۴. تحلیل دینامیکی دو بعدی

در مدل کردن مسایل مربوط به ژئوتکنیک معمولاً ناحیه مورد نظر به اندازه ای بزرگ است که می توان آن را از نظر محاسباتی بینهایت فرض کرد. در صورتی که حفاری به سطح زمین نزدیک باشد، محیط تنها در سه جهت می تواند بزرگ و نامحدود تصور شود. از سوی دیگر در محاسبات عددی مربوط به آنالیز دینامیکی، مشکل مدل کردن یک ناحیه بی نهایت بزرگ وجود دارد. آنچه در عمل صورت می گیرد، المان بندی ناحیه محدودی از کل فضای بی نهایت بزرگ است. در مسائل استاتیکی، در صورتی که مرزهای این محیط محدود، به اندازه کافی از مرکز اغتشاش دور باشند، نتایج تحلیل دارای تقریب خوبی خواهند بود. در آنالیز مسائل دینامیکی مسأله به سادگی فوق نیست. وجود هرگونه مرز غیر واقعی در این گونه مسائل سبب می شود که امواج ایجاد شده پس از برخورد با این مرزها به داخل محیط محاسباتی برگشت کنند.

در صورتی که در شرایط واقعی این موج ها می توانند داخل محیط بی نهایت منتشر و جذب شوند و به محیط محاسباتی برگشتی نداشته باشند برای حل این مشکل، یک راه حل، معرفی میرایی و قرار دادن مرزهای محاسباتی در فواصل دور است که تا حدی سبب بهتر شدن نتایج می شود.

مدل ریاضی میرایی باید آنچنان انتخاب شود که انرژی مستهلک شده در محاسبات عددی مشابه انرژی تلف شده در سیستم فیزیکی باشد. میرایی در سنگ و خاک بصورت تاریخچه زمانی است و به مسیر بار گذاری بستگی دارد. از این رو مدل کردن عددی آن دشوار بوده و تفسیر نتایج بدست آمده نیز آسان نیست [7]. در روش اجزا محدود میرایی رایلی یک مدل مناسب است، زیرا اثرات میرایی را متناسب با جرم و سختی سیستم به آن اعمال می کند. طول موج رایلی λ_R ، یکی از پارامترهای مهم در تعیین تاثیر موانع در برابر انتشار امواج در لرزش های تولید شده است. حداقل عمق ترانسه های باز باید حدود $0.6 \lambda_R$ و فاصله ی بین نقطه ی اندازه گیری و ترانسه در حالت Active باید حدود $10 \lambda_R$ باشد. همچنین در حالت Passive حداقل عمق ترانسه های باز باید حدود $1/33 \lambda_R$ و فاصله بین نقطه ی اندازه گیری و ترانسه باید حدود ۲ تا $7 \lambda_R$ باشد. بر اساس تحقیق دانشمندان مختلف عرض ترانسه نیز باید حدود 0.1 تا $0.5 \lambda_R$ اختیار شود. [8-10]

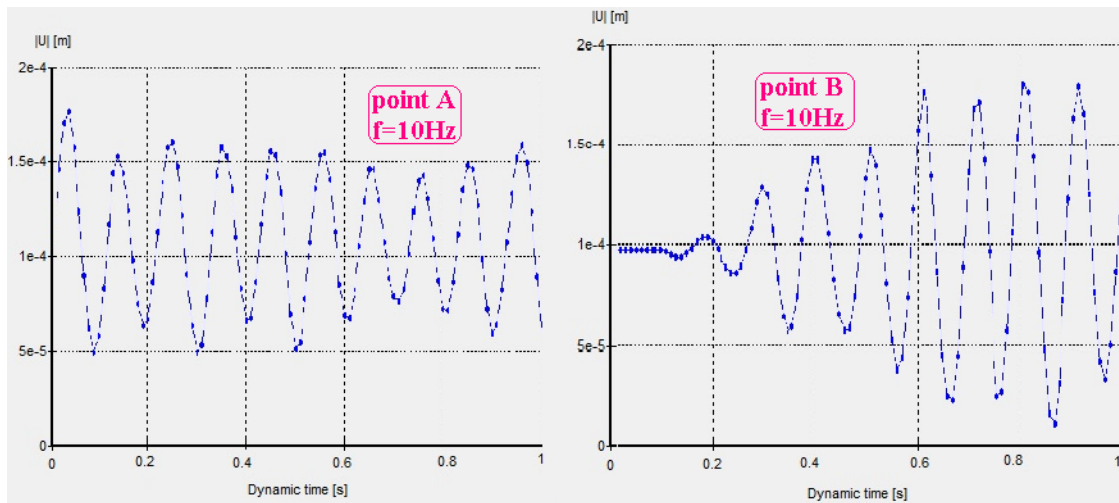
در این مقاله برای بار گذاری دینامیکی از بار گذاری هارمونیک به معادله (1) استفاده شده است.

$$F = 10 \sin(\omega t) \quad (1)$$

برای استهلاک انرژی در مدلسازی، استفاده از میراگرهای مستقل در گرگه های مرزی سبب می شود تا انرژی موج حجمی ورودی، تقریباً بطور کامل جذب شود و انعکاسی صورت نگیرد [11].

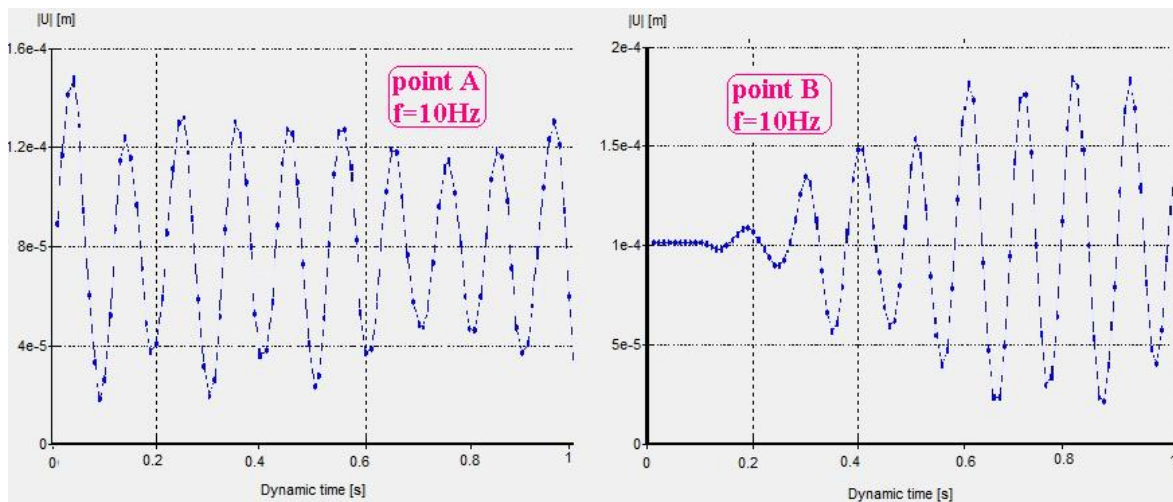
۱.۴. اندازه گیری های نقاط A و B برای حالت Active

نتایج تغییر مکان قائم برای نقاط A و B در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. شکل کلی انتشار امواج در تمام حالات یکسان است. فاصله ی L_1 یعنی فاصله ی نقطه ی اندازه گیری تا مانع یا ترانسه ی مورد نظر تاثیر و اهمیت زیادی بر انتشار امواج دارد. باید فاصله ی L_1 حدود 10 برابر طول موج رایلی باشد تا کاهش قابل ملاحظه ای برای نتایج لرزش صورت گیرد. نتایج یکبار برای فرکانس پایین (۱۰ هرتز) و یکبار برای فرکانس بالا (۹۵ هرتز) محاسبه شده است. در حالت Active رفتار بتن و بتونیت مشابه است. همانطور که مشاهده می شود در نقطه B بدلیل عبور از مسیر طولانی اطراف ترانسه امواج تاخیر زمانی قابل توجهی دارند. برای فرکانس های بالا میزان تغییر مکان کاهش می یابد. شکل ۴ تغییر مکان دو نوع ترانسه را تحت فرکانس ۹۵ هرتز نمایش می دهد.



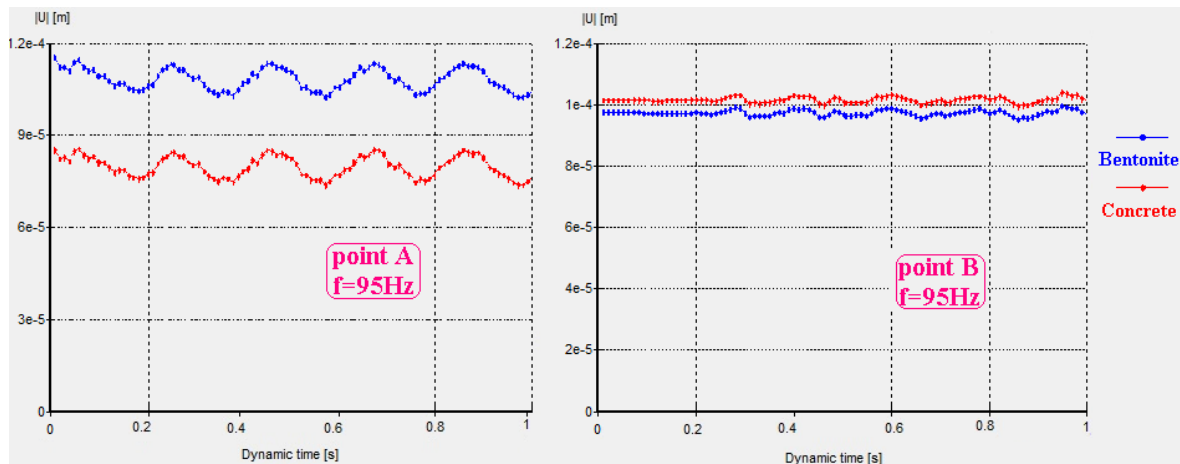
شکل ۲- نتایج حاصل از تغییر مکان نقاط A و B برای ترانسه پرشده با بتونیت در حالت Active

در حالت Active بدلیل نزدیک بودن ترانسه به نقطه A و منبع ارتعاش، بتونیت بعنوان یک ماده نرم تغییر شکل بیشتری نسبت به بتن از خود نشان می دهد. ولی در نقطه B بدلیل دور بودن از ترانسه در هر دو حالت رفتار خاک مشابه بوده در نتیجه تغییر مکان یکسان است. هنگامی که فرکانس ارتعاشات بسیار زیاد است خاک فرصت تغییر شکل ندارد. لذا نمودار مربوط به فرکانس ۹۵ هرتز نسبت به فرکانس ۱۰ هرتز یکنواخت تر می باشد. در این شرایط نسبت فرکانس خاک به فرکانس دینامیکی به سمت صفر میل می کند در نتیجه می توان تغییر شکل بدست آمده را به عنوان تغییر شکل اولیه خاک در نظر گرفت. زیرا اجازه ارتعاش به خاک داده نشده است.



شکل ۳- نتایج حاصل از تغییر مکان نقاط A و B برای ترانسه پرشده با بتن در حالت Active

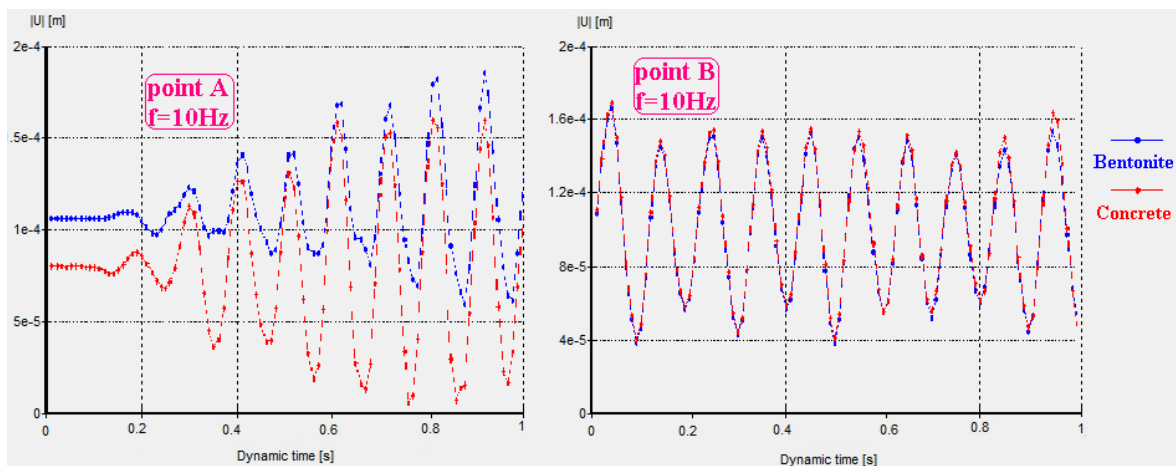
در نقطه A ترانسه پرشده با بتونیت تغییر مکان بیشتری نسبت به بتن داده است در صورتی که در نقطه B بتن تغییر مکان بیشتری دارد. این تغییر رفتار را اینگونه می توان تفسیر نمود که در نقطه A علی رغم بالا بودن فرکانس ارتعاش، بدلیل نزدیک بودن میدان ارتعاش خاک دچار تغییر شکل می شود و سخت تر بودن بتن باعث می شود تغییر شکل کمتری نسبت به بتونیت داشته باشد. در نقطه B میدان ارتعاش از نقطه مورد نظر دور بوده و پارامتر موثر سرعت و فرکانس انتشار موج است.



شکل ۴- نتایج حاصل از تغییر مکان نقاط A و B برای ترانسه پرشده با بنتونیت و بتن در فرکانس ۹۵ هرتز در حالت Active

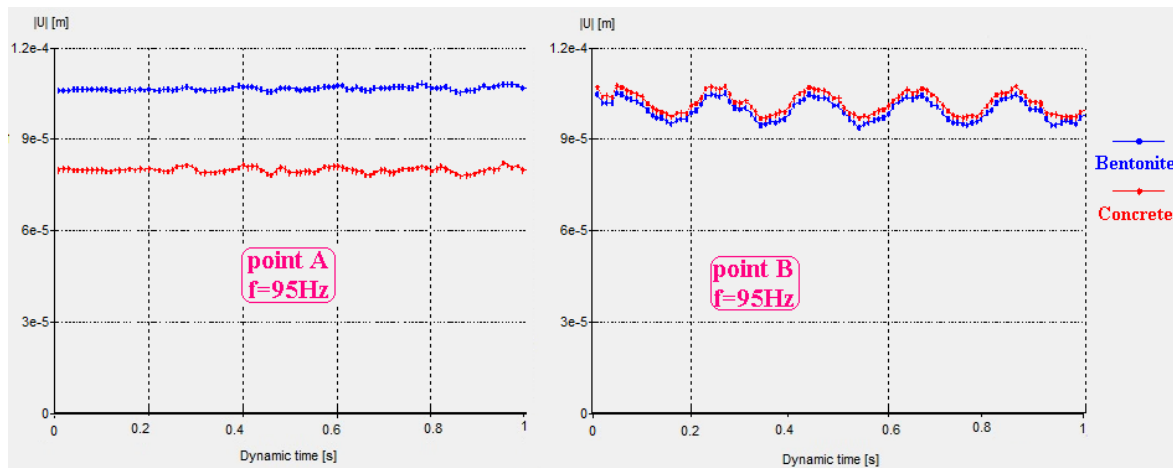
۲.۴. اندازه گیری های نقاط A و B برای حالت Passive

نتایج تغییر مکان قائم برای نقاط A و B در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. مواد پر شده ی مختلف باعث کاهش اثر لرزش در خاک می شود. در فرکانس های بالا مثلاً در فرکانس ۹۵ هرتز نتایج تمام حالات تقریباً مشابه است. تغییر مکان ها برای حالات مختلف ترانسه در فرکانس پایین پراکنده و در فرکانس های بالا تقریباً یکسان و برابر هستند. در فرکانس های بالا امواج به سطح زمین انتشار یافته و مانند امواج صدا منتشر می شوند. همچنین الگوی موج با توجه به مکانیسم پیچیده انعکاس موج تغییر شکل خاک رفتار منظمی از خود نشان می دهد. لایه های خاک در سطح زمین بسیار ناهمگن هستند به همین دلیل الگوی موج برای لایه های زیرین خاک در فرکانس های پایین مشخص تر است.



شکل ۵- نتایج حاصل از تغییر مکان نقاط A و B برای ترانسه پرشده با بنتونیت و بتن در فرکانس 10 هرتز در حالت Passive

در حالت Passive بعث دور بودن نقطه B از ترانسه ها، نوع ماده پر کنند تاثیری در میزان تغییر شکل خاک ندارد و نمودارها بر روی هم منطبق می شوند. در نقطه A مانند حالت Active بنتونیت تغییرات بیشتری از خود نشان می دهد. در فرکانس های بالا در حالت Passive نقطه B در نزدیکی میدان ارتعاش واقع بوده و انتظار می رود خاک در این نقطه نسبت به نقطه A ارتعاش بیشتری از خود نشان دهد.



شکل ۶- نتایج حاصل از تغییر مکان نقاط A و B برای ترانسه پر شده با بنتونیت و بتن در فرکانس ۹۵ هرتز در حالت Passive

جدول ۱ بر اساس آنالیز عددی و نتایج آزمایشگاهی ترانسه پر شده با مصالح بتنی را با ترانسه باز مقایسه می کند.

جدول ۱- مقایسه نتایج حاصل آنالیز عددی و نتایج آزمایشگاهی ترانسه پر شده با مصالح بتنی و ترانسه باز در حالت Passive

ضریب کاهش (A_f)			پارامتر اصلاح شده			وضعیت ترانسه
Ref[14]	Ref[13]	Ref[12]	L_t/λ_R	B_t/λ_R	H_t/λ_R	
0.27	0.35	0.28	5	0.26	0.64	ترانسه باز
0.50	0.47	0.54	7.5	0.40	0.96	ترانسه پر شده با بتن

در جدول فوق برای امکان مقایسه پارامترهای زیر اصلاح شده اند: نسبت عمق ترانسه به طول موج رایلی (H_t/λ_R)، نسبت عرض ترانسه به طول موج رایلی (B_t/λ_R)، نسبت فاصله از منبع ارتعاش به طول موج رایلی (L_t/λ_R). در نهایت میزان ضریب کاهش دامنه محاسبه شده است. ضریب کاهش دامنه نسبتی از دامنه ی تغییر مکان های عمودی در نقطه مورد نظر است.

۵. نتیجه گیری

جزئیات رفتار کاهش ارتعاشات شالوده تحت بار هارمونیک که توسط منبع ارتعاش تولید می شود با بکار بردن موانعی بصورت ترانسه مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر تغییر مکانهای وابسته به زمان در هر دو حالت Active و Passive کاهش یافتند استفاده از ترانسه های باز و یا ترانسه های پر شده می تواند میزان ارتعاشات سازه و در نتیجه تنش های داخلی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. استفاده از ترانسه باز در مواردی که شالوده ها کم عمق هستند بسیار مفید است و در شالوده های عمیق استفاده از مواد نرم مانند بنتونیت تاثیر بهتری روی کاهش ارتعاشات دارند. موانع در حالت Passive در مقایسه با حالت Active برای هر دو نقطه A و B تاثیر بهتری از خود نشان دادند. پارامترهای دیگری مانند بازگشت موج و انکسار در لایه های جدا شونده و ماهیت ناهمگن خاک نقش بسزایی در نتایج دارند. لازم بذکر است با داشتن اطلاعات کامل تر از نوع و مشخصات خاک و شرایط صحرایی می توان نتایج بهتری را دنبال نمود.

۱۲. مراجع

1. Adam M, Pflanz G, Schmid G. Two-and three-dimensional modelling of half-space and train-track embankment under dynamic loading. Soil Dyn Earth-quake Eng 2000; 19(8): 559-73.
2. Yang B Y, Hung H H. A 2.5D finite/infinite element approach for modelling visco-elastic bodies subjected to moving loads. Int J Numer Methods Eng 2001; 240: 1317-36.



3. Bode C, Hirschauer R, Savadis S A. Soil-structure interaction in the time domain using half-space Green's functions. *Soil Dyn Earthquake Eng* 2002; 22(4): 283-95.
4. Celebi E, Schmid G. Investigation of ground vibrations induced by moving loads. *Eng Struct* 2005; 27: 1981-98.
5. Celebi E. Three-dimensional modelling of train-track and sub-soil analysis for surface vibrations due to moving loads. *Appl Math Comput* 2006; 179: 209-30.
6. Beskos DE, Dasgupta G, Vardoulakis IG. Vibration isolation using open or filled trenches part 1: 2-D homogeneous soil. *Comput Mech* 1986; 1(1): 43-63.
7. Cundall, P. A. "Explicit Finite Difference Methods in Geomechanics," in *Numerical Methods in Engineering (Proceedings of the EF Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Blacksburg, Virginia, June, 1976), Vol. 1, pp. 132-150, 1976*
8. Woods RD. Screening of surface waves in soils. *J Soil Mech Found Engrg Div ASCE* 1986; 94 (4): 951-79.
9. Haupt WA. Model tests on screening of surface waves. In: *Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mech- found- engr. Vol. 3. Stockholm: 1981. p. 215-220.*
10. Ahmad S, Al-Hussaini TM. Simplified design for vibration screening by open and infilled trenches. *J Geotech Engrg* 1991; 117 (1): 67-88.
11. Lysmer, J., and R. L. Kuhlemeyer. "Finite Dynamic Model for Infinite Media," *J. Eng. Mech.*, 95(EM4), 859-877, 1969.
12. Beskos DE, Dasgupta G, Vardoulakis IG. Vibration isolation using open or filled trenches part 1: 2-D homogeneous soil. *Comput Mech* 1986; 1(1): 43-63
13. Haupt WA. Model tests on screening of surface waves. In: *Proceedings of the Tenth International Conference on soil mech. found. engr. Vol. 3. Stockholm: 1981. p. 215-22.*
14. Ahmad S, Al-Hussaini TM. Simplified design for vibration screening by open and infilled trenches. *J Geotech Engrg* 1991; 117(1): 67-88.