

بررسی تاثیر مدل رفتاری خاک در تحلیل عددی ارتعاشات ناشی از حرکت قطار در حضور ترانشه مانع

علیرضا اردکانی*

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی مهندسی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

a.r.ardakani@gmail.com

ابراهیم سعادتفر

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

saadatfarab@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

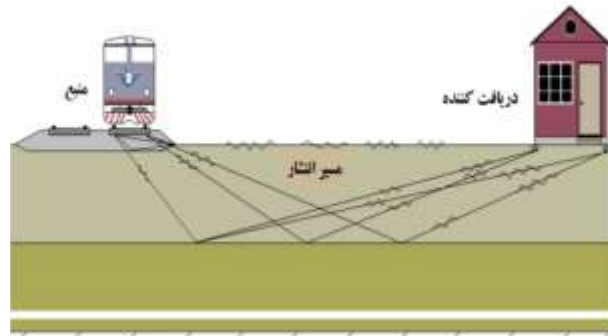
چکیده

لرزش‌های ناشی از حرکت قطار ممکن است باعث ناراحتی ساکنین ساختمان‌های کنار ریل شود. از طرفی ممکن است سطح لرزش‌ها به اندازه‌ای باشد که آسیب‌هایی در نازک‌کاری ساختمان و تاسیسات زیر بنایی مشاهده شود. از راه‌کارهای کاهش لرزش‌ها می‌توان به روش ترانشه^۱ باز اشاره کرد. با توجه به توسعه روش‌های عددی در زمینه ژئوتکنیک و استفاده از مدل رفتاری در مدل‌سازی‌های مختلف، در این راستا در تحقیق حاضر با استفاده از سه مدل رفتاری موهر کولمب (MC)، مدل خاک سخت شونده (HS) و مدل خاک سخت شونده با سختی ناشی از کرنش‌های کوچک (HSS) به بررسی تاثیر نوع مدل رفتاری بر نتایج شبیه‌سازی احداث یک ترانشه مانع می‌پردازیم. بدین منظور بار شبیه‌سازی شده حرکت قطار بر مدل خاکی در حضور ترانشه مانع به عمق ۵ متر و عرض ۰٫۵ متر اعمال شد و تغییر شکل‌های بوجود آمده در سطح زمین با ترانشه و بدون حضور ترانشه برای سه مدل رفتاری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها، حاکی از اینست که در حالت بدون ترانشه، بیشترین میزان جابجایی حداکثر ذره در مدل MC و کمترین مقدار آن در مدل HSS رخ می‌دهد. حضور ترانشه در خاک باعث کاهش دامنه لرزش‌ها شده که بیشترین کاهش PPD برای مدل HSS برابر ۳۸ درصد مشاهده شد. در مورد پارامتر PPA حداکثر کاهش در حضور ترانشه متعلق به مدل MC برابر ۳۶ درصد بوده است. حضور ترانشه در خاک موجب تغییر محتوی فرکانسی لرزش‌ها شده به طوری که در فرکانس اصلی برای مدل‌های HSS و HS بصورت افزایش دامنه و برای مدل MC کاهش دامنه فرکانس اصلی بوده است.

واژگان کلیدی: ارتعاشات، حرکت قطار، مدل رفتاری خاک، مدل سخت شونده، کرنش کوچک

۱. مقدمه

برای کاهش ارتعاشات در سازه‌ها ناشی از عامل بیرونی، سه جنبه منبع تولید لرزش، مسیر حرکت موج و دریافت کننده، مورد توجه است که از این میان، بررسی ویژه‌ای پیرامون مسیر انتشار در مباحث ژئوتکنیکی صورت می‌پذیرد. شکل ۱



شکل ۱. انتشار موج لرزش در محیط خاکی [۱]

روش ایجاد مانع موج ژئوتکنیکی یا اصطلاحاً پرده‌کشی، برای جلوگیری از رسیدن امواج لرزه‌ای ایجاد شده در محیط خاکی توسط اغتشاشات سطحی، برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ توسط بارکان بکار گرفته شد [۲]. دوینگ و نئومر (۱۹۶۳)، طرحی برای ایزولاسیون لرزشی کارخانه چوب در برلین با استفاده از ترانسه توپر ارائه کردند [۳]. استفاده از این روش باعث شد تا دامنه امواج رسیده به کارخانه پس از اجرای ترانسه به مقدار زیادی کاهش پیدا کند. مک نیل، مارگوسون و باب کوک (۱۹۶۵) طی گزارشی نتایج استفاده موفقیت آمیز از ترانسه برای ایزولاسیون یک آزمایشگاه حساس را ارائه دادند.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، استفاده از ترانسه مانع موج بعنوان یکی از روش‌های ژئوتکنیکی کارآمد برای کاهش لرزش‌های منتشر شده در زمین، پیشنهاد شده است. وودز (۱۹۶۷) تحقیقات بسیاری در مورد مسئله ایزولاسیون در برابر امواج سطحی با استفاده از ترانسه‌ها انجام داد و کار-های آزمایشگاهی بر روی ترانسه‌های فعال را توسعه داد [۴]. استفاده از روش‌های تجربی و آزمایشگاهی با وجود آنکه نتایج قابل اعتماد و واقعی ارائه می‌دهند اما از هزینه بالایی برخوردار می‌باشند، لذا در اوایل سال ۱۹۸۰ برای حل این مشکل روش‌های عددی نظیر روش المان‌های محدود^۴،

آنالیز المان‌های مرزی^۳، روش تفاضل محدود^۴ (FDM^۳) و دیگر روش‌ها بکار گرفته شد. از جمله محققینی که برای حل اینگونه مسائل از تکنیک‌های عددی استفاده کردند واس (۱۹۷۲) بوده است که برای محافظت بوسیله ترانسه در مقابل امواج برشی با استفاده از روش اجزا محدود از المان‌های مخصوصی که مرز جاذب را مدل می‌نمودند، استفاده کرد.

محققینی که روش‌های عددی را برای بررسی مسائل حوزه ژئوتکنیک انتخاب نموده‌اند، از مدل رفتاری مناسب برای پیش‌بینی رفتار خاک تحت شرایط مختلف در مدل‌های خود استفاده کرده‌اند. تاریخچه فعالیت‌های انجام گرفته در مورد ترانسه مانع و کارهای مشابه، با مطالعه مدل رفتاری استفاده شده در این تحقیقات مورد بررسی قرار گرفت. از این میان می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط احمد و همکاران (۱۹۹۶) اشاره کرد که بر روی ایزولاسیون فعال فونداسیون ماشین آلات با استفاده از ترانسه‌های باز، بررسی‌هایی انجام دادند [۵]. آنها در بررسی‌های خود از فرض نیم فضای ارتجاعی بهره بردند. آدام و همکاران (۲۰۰۰) نیز پاسخ گذاری ۲ و ۳ بعدی نیم فضای ارتجاعی را تحت بارهای خطی و بار قطار بدست آوردند [۶].

شیرواستاوا (۲۰۰۲) با استفاده از روش اجزا محدود در حالت ارتجاعی، تاثیر حضور ترانسه را در کاهش اثر حاصل از بارهای تناوبی، مورد بررسی قرار داد [۷]. وی نتایج خود را بر حسب فاکتور نسبت کاهش دامنه^۵ تفسیر کرد. بنت و همکاران (۲۰۱۲) یک بررسی عددی پیرامون کاهش لرزش-های زمین ناشی از ریل راه آهن با استفاده از ترانسه در خاک‌های لایه‌ای در حالت ارتجاعی خطی انجام دادند. آنها در خاکی شامل رسوبات رودخانه‌ای با احداث یک ترانسه ۵ متری، کاهش ۴ دسی‌بل در فرکانس ۱۰ هرتز، و کاهش ۸ دسی‌بل در فرکانس ۱۴ هرتز را پیش‌بینی کردند [۸]. لشچینسکی و لینگ (۲۰۱۳) در مدل‌سازی عددی خود با بکارگیری مدل رفتاری دراگر پراگر، رفتار لایه بالاست را درحالتی که با ژئوسل^۶ محصور شده مورد بررسی قرار دادند [۹]. احمدی و همکاران (۱۳۸۹) برای بررسی تاثیر میزان

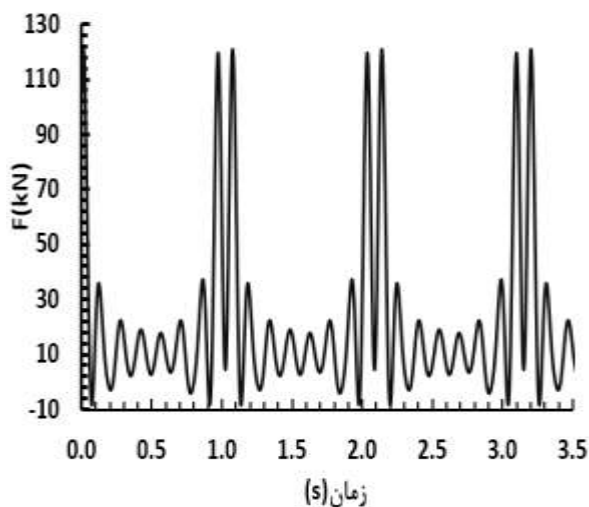
و احمدی (۲۰۱۲) در مطالعات خود مورد استفاده قرار دادند، بدست آمد [۱۴].

فرمولاسیون مورد استفاده در محاسبات بار بصورت معادلات ۱ و ۲ ارائه شده است. (۱)

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right)$$

$$f(w) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-iw \cdot t} dt \quad (2)$$

که a_0 و a_n و b_n ضرایب سری فوریه هستند. در شکل ۲ تابع دینامیکی بار قطار برای ۳ واگن با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. فرایند محاسبه بار دینامیکی شبیه سازی شده حرکت قطار، مطابق محاسبات مدل سازی بار قطار مطالعه انجام شده توسط سعادتفر و اردکانی (۱۳۹۴) می باشد [۱۱].



شکل ۲. تابع بار- زمان شبیه سازی شده حرکت قطار [۱۱]

جدول ۱. مشخصات واگن جهت مدل سازی بار قطار

لرزش ایجاد شده در سطح زمین ناشی از حرکت قطار در تونل مترو از مدل رفتاری موهر کولمب در مدل سازی خود استفاده کردند [۱۰]. سعادتفر و اردکانی (۱۳۹۳) با استفاده از مدل های ارتجاعی و خمیری به بررسی عددی اثر استفاده از ترانسه مانع در کاهش ارتعاشات ناشی از حرکت قطار پرداخته و همچنین اثرات آن بر طیف توان لرزش را بررسی کردند [۱۱]. با بررسی تاریخچه کارهای انجام شده، مشاهده شد که محققین تاکنون بیشتر از مدل ارتجاعی در مدل سازی های خود استفاده کرده اند که می توان یکی از دلایل آن را، صرفه جویی در زمان محاسبات کامپیوتری دانست. درباره تاثیر نوع مدل رفتاری در کاهش دامنه لرزش ناشی از منبع ارتعاش سطحی در حضور ترانسه در تحلیل های عددی، تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. در حالیکه با توسعه مدل های رفتاری، امکان پیش بینی و بررسی دقیق تر مسائل وجود خواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده، ضرورت مطالعه تاثیر مدل رفتاری بر دامنه تغییر شکل های ایجاد شده در سطح زمین در حضور ترانسه مانع موج مشخص می شود. بر این اساس در این مطالعه از سه مدل رفتاری موهر کولمب، خاک سخت شونده و مدل خاک سخت شونده با سختی ناشی از کرنش های کوچک برای بررسی میزان لرزش ایجاد شده در اثر حرکت قطار در حضور ترانسه مانع استفاده شد. بر اساس معیاری که استانداردهای مختلف بیان می کنند، پارامترهای تغییر مکان، حداکثر سرعت ذره^۷ و حداکثر شتاب ذره^۸ و همچنین تغییرات تابع طیف توان در برابر فرکانس معمولا مبنای سنجش ارتعاشات حاصل از حرکت است، (ISO14837^۹-1,2005) که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۱۲].

۲. ارائه مدل بار قطار

به منظور تعیین بار ناشی از حرکت قطار می توان با تقریب مناسبی تنها اثر وزن را مورد بررسی قرار داد [۱۳]. بار دینامیکی قطار در مدل سازی، با بکارگیری روش شبیه سازی تابع بار قطار با استفاده از روش های ریاضی که نجاتی

مدل‌های رفتاری ارائه شده، پارامترهای مورد نظر بر اساس مطالعه صورت گرفته توسط فنگ و همکاران (۲۰۰۹) مورد استفاده قرار گرفت [۱۵].

جدول ۲. مشخصات مصالح

مشخصات	بالاست	تراورس
وزن مخصوص (kN/m^3)	۲۱	۲۵
مدول ارتجاعی (MPa)	۳۰۰	۲۱۰۰۰
نسبت پواسون	۰/۳۵	۰/۲
چسبندگی (kPa)	۰/۰۰۱	-
زاویه اصطکاک ($^\circ$)	۴۵	-

۳-۱-۱. مدل موهر-کولمب

برای مدل کردن رفتار ارتجاعی خطی-پلاستیک کامل مصالح از مدل موهر-کولمب با تعداد ۵ پارامتر اصلی استفاده می‌شود. این مدل از ترکیب قانون هوک و معیار گسیختگی کولمب استفاده می‌کند.

جدول ۳. مشخصات خاک بستر جهت مدل سازی (فنگ و همکاران، ۲۰۰۹)

مدل HSS	مدل HS	مدل MC	پارامتر
۱۰	۱۰	۱۰	چسبندگی ($C \text{ (kN/m}^2)$)
۲۷/۵	۲۷/۵	۲۷/۵	زاویه اصطکاک ϕ
۰	۰	۰	زاویه اتساع ψ
۱۹	۱۹	۱۹	وزن مخصوص ($\gamma \text{ (kN/m}^3)$)
-	-	۳۰۰۰۰	مدول الاستیسیته خاک ($E \text{ (kN/m}^2)$)
۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	-	مدول مرجع مماسی در تنش معادل ۵۰٪ تنش نهایی ($E_{50}^{ref} \text{ (kN/m}^2)$)
۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	-	مدول مماسی در بارگذاری اودیومتری اولیه ($E_{oed}^{ref} \text{ (kN/m}^2)$)
۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	-	مدول باربرداری بارگذاری مجدد ($E_{ur}^{ref} \text{ (kN/m}^2)$)
۷۵۰۰۰	-	-	مدول برشی مرجع ($G_0^{ref} \text{ (kN/m}^2)$)
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	فشار مرجع ($p_{ref} \text{ (kN/m}^2)$)
۰/۰۰۰۱	-	-	کرنش برشی وقتی مدول برشی به $0.7G_0$ می‌رسد $\gamma_{0.7}$
۰/۲	۰/۲	۰/۳۰	نسبت پواسون ν
۰/۵	۰/۵	-	مقدار توانی برای وابسته ساختن سطوح تسلیم به سطح تنش m

پارامترهای ارتجاعی مدل عبارتند از: مدول یانگ (E) و ضریب پواسون (ν) و پارامترهای پلاستیک این مدل شامل

m	۲۳	طول واگن
km/h	۸۰	سرعت حرکت قطار
m	۰/۶	فاصله بین دو واگن
m	۱	فاصله بین محور های دو چرخ مجاور هم
ton	۱۰۰	وزن یک واگن به همراه مسافری و بار
kN	۱۲۲/۶	نیروی اعمال شده توسط یک چرخ واگن

۳. مدل سازی عددی

۳-۱. مشخصات مصالح

در مدل سازی صورت گرفته مصالح خاکی به صورت همگن در نظر گرفته شد.

بالاست و بر روی آن تراورس^{۱۰} (قطعات بتنی مسلح)، مطابق مشخصات ارائه شده در جدول ۲ مدل شد. برای مدل سازی از ۳ مدل رفتاری موهر کولمب^{۱۱}، مدل خاک سخت شونده^{۱۲} و مدل خاک سخت شونده با سختی ناشی از کرنش‌های کوچک^{۱۳} استفاده شد.

در جدول ۳ مشخصات در نظر گرفته شده برای محیط خاکی برای مدل‌های رفتاری مختلف نشان داده شده است. برای

پارامترهای مورد استفاده در این مدل به دو دسته پارامترهای ارتجاعی و پلاستیک تقسیم می‌شوند.

زاویه اصطکاک داخلی (φ) و چسبندگی (C) و زاویه اتساع (ψ) می‌باشند.

سطح تسلیم مدل سخت شونده در فضای تنش‌های سه-بعدی، در شکل ۳ نشان داده شده‌اند [۱۷].

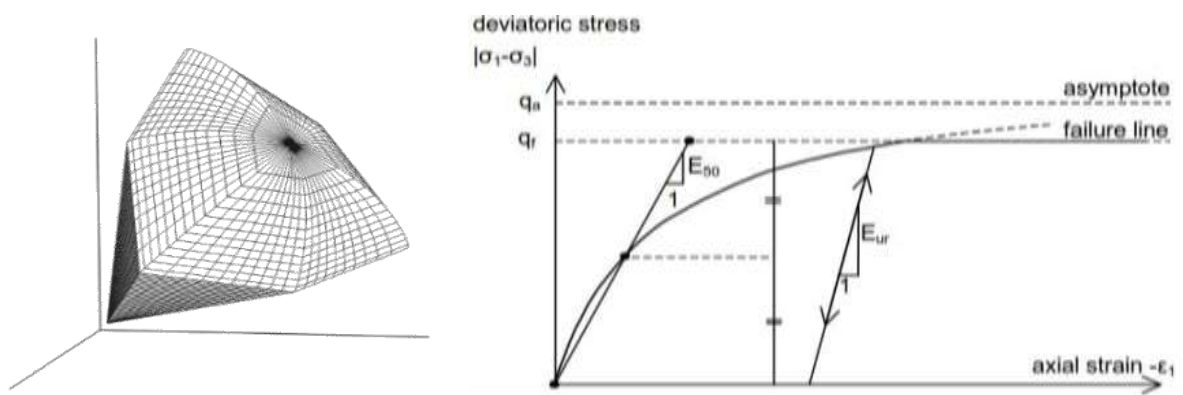
۳-۱-۲. مدل خاک سخت شونده (HS)

مدل خاک سخت شونده یک مدل رفتاری پیشرفته برای شبیه‌سازی رفتار انواع خاک‌های سخت و نرم می‌باشد [۱۶]. از جمله ویژگی‌های مهم این مدل می‌توان به وجود دو نوع سخت شوندگی برشی و فشاری و نیز عدم ثابت بودن سطح تسلیم مدل و تغییر آن با افزایش کرنش‌های پلاستیک اشاره کرد. به عنوان یکی از تفاوت‌های اصلی مدل سخت شونده با مدل موهر-کولمب، می‌توان به وجود سختی وابسته به سطح تنش در این مدل اشاره کرد. ایده اصلی برای فرمول بندی این مدل رابطه هیپربولیک مابین کرنش محوری و تنش انحرافی در بارگذاری سه محوری می‌باشد. پارامترهای اصلی مدل عبارتند از: پارامترهای مقاومتی φ و C و E_{50}^{ref} پارامترهای کنترل کننده سختی خاک شامل: E_{50}^{ref} و E_{oed}^{ref} که رفتار حجمی خاک را کنترل می‌کنند و قبلاً در جدول ۲ و ۳ معرفی شده‌اند و مدول مرجع باربرداری بارگذاری مجدد E_{ur}^{ref} . میزان وابستگی سختی به سطح تنش نیز از طریق فاکتور m تعیین می‌گردد. بر اساس مطالعات وون سون (۱۹۸۰) مقدار m در بازه‌ی صفر تا یک قرار می‌گیرد. رابطه بین تنش و کرنش و نیز

۳-۱-۳. مدل خاک سخت شونده با اثر سختی ناشی از کرنش‌های کوچک (HSS)

مدل خاک سخت شونده با اثر سختی ناشی از کرنش‌های کوچک توسعه یافته مدل خاک سخت شونده می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شده مصالح خاکی در کرنش‌های کوچک سختی بالاتری را نشان می‌دهند. ولی این مساله در اکثر مدل‌های رفتاری مورد استفاده مانند مدل موهر-کولمب و خاک سخت شونده، نادیده گرفته می‌شود. بنز (۲۰۰۷) با انجام اصلاحاتی روی مدل خاک سخت شونده اثر سختی بالای مصالح در کرنش‌های کوچک را در نظر گرفت [۱۷].

برای وارد کردن اثر افزایش غیرخطی سختی در کرنش‌های کوچکتر از کرنش‌های مهندسی، دو پارامتر G_0 و $Y_{0.7}$ علاوه بر پارامترهای قبلی وارد مدل HS شدند و مدل جدید HSS نامیده شد. G_0 عبارت است از مدول برشی اولیه و $Y_{0.7}$ عبارت است از کرنش برشی زمانیکه مقدار مدول برشی G_0 به 0.7 رسیده باشد. تفاوت اصلی مدل HSS با HS استفاده از یک معیار تسلیم و نیز قانون جریان اصلاح شده می‌باشد. به همین دلیل مدل HSS در مقایسه با مدل HS تنش گسیختگی کمتری را نشان می‌دهد.



شکل ۳. رابطه تنش-کرنش و سطح تسلیم مدل خاک سخت شونده [۱۷]

۳-۲. هندسه مدل

در مطالعه حاضر با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis 8.5 برای مدل‌سازی عددی و در نظر گرفتن

$$L_{max} = \left(\frac{1}{5}\right)\lambda_{min} \quad (3)$$

$$\lambda_{min} = \frac{V_s}{f_{max}} \quad (4)$$

در این رابطه L_{max} طول موج است که دارای بیشترین فرکانس می‌باشد. f_{max} و V_s نیز بترتیب سرعت موج برشی در مدل و حداکثر فرکانس ناشی از بار وارده می‌باشد. از میرایی رایلی^{۱۴} در مدل استفاده شد. ماتریس میرایی [C] به صورت زیر توسط ماتریس سختی [K] و ماتریس جرم [M] و ضرایب رایلی تعریف می‌شود، رابطه ۵.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5)$$

که آلفا (α) و بتا (β) ضرایب میرایی رایلی هستند. طبق رابطه ۶، ضرایب میرایی رایلی به نسبت میرایی (ξ_i) و فرکانس طبیعی وابسته اند [۱۹].

$$\alpha + \beta\omega^2 = 2\omega_i^2 \xi_i \quad (6)$$

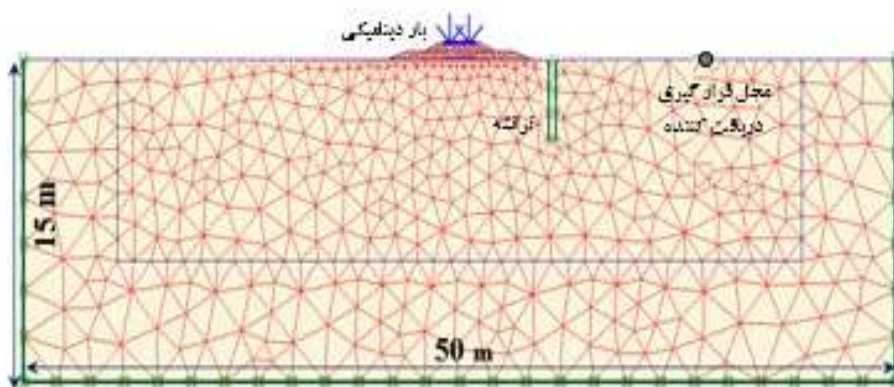
ضرایب میرایی رایلی وابسته به فرکانس هستند. فرکانس طبیعی خاک، با انجام تحلیل مودال در نرم افزار آباکوس برای مدهای اصلی مدل بدست آمد. می‌توان مقادیر ضرایب میرایی رایلی را برای یک سیستم چند درجه آزادی در هر مد نوسانی با سرعت زاویه‌ای، نسبت میرایی ξ_i و با فرض میرایی ۵ درصد از رابطه ۶ محاسبه کرد [۱۹].

شرایط کرنش صفحه‌ای تحلیل‌های مورد نظر انجام گرفت. در مدل‌سازی، مقطع تراورس بصورت تیر به عرض ۰,۲۵ متر و ارتفاع ۰,۲۰ متر و طول ۲,۵ متر منظور شده و فاصله دو بار دینامیکی برابر با ۱,۵ متر (فاصله محور به محور ریل قطار)، در نظر گرفته شد. همچنین لایه بالاست به ضخامت ۷۵ سانتیمتر و عرض و عمق ترانشه به ترتیب ۰,۵ و ۵ متر بوده و فاصله ترانشه از مرکز مدل، برابر ۳ متر در نظر گرفته شد. نقطه مورد بررسی روی سطح در فاصله ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی قرار گرفته است.

۳-۳. جزئیات مدل‌سازی

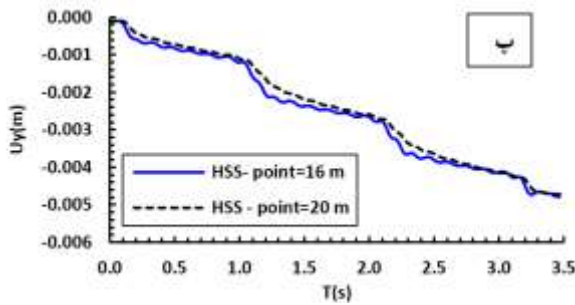
با استفاده از المان مثلثی، مدل مش‌بندی شد. برای جلوگیری از انعکاس امواج، از المان مرز جاذب به نحوی که القا کننده فضای بی‌انتهای باشد، در مرزهای سیستم استفاده شد. در ترسیم شکل هندسی المان در مدل، از ابعاد مش‌بندی ریزتر در محل‌های نزدیک به نقطه اثر بار، استفاده شده است، شکل ۴.

به طور کلی برای انتقال مناسب امواج دینامیکی در شبکه المان‌های مدل، و جلوگیری از به تله افتادن امواج، بعد هر المان بایستی حداقل یک پنجم طول موج باشد [۱۸]، رابطه ۳ و ۴.



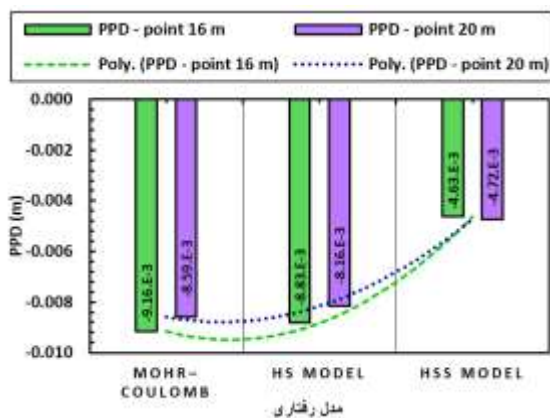
شکل ۴. مدل‌سازی و مش‌بندی انجام شده در نرم افزار

۴. تحلیل نتایج



شکل ۵. تغییر شکل های نقاط ۱۶ و ۲۰ متری از مرکز مدل سازی بدون حضور ترانشه برای ۳ مدل رفتاری الف (HS)، ب (MC) و پ (HSS)

مشاهده می شود که با پیشرفت موج لرزش در محیط خاکی از نقطه ۱۶ متری به ۲۰ متری مرکز مدل، به غیر از مدل HSS در دو مدل دیگر، دامنه تاریخچه زمانی جابجایی، کاهش می یابد.



شکل ۶. مقادیر PPD در نقاط ۱۶ و ۲۰ متری از مرکز مدل سازی برای ۳ مدل رفتاری MC، HS و HSS بدون حضور ترانشه.

با توجه به شکل ۶، مقدار کاهش دامنه برای مدل MC برابر ۶،۲ درصد و برای مدل HS برابر ۷،۶ درصد بدست آمد و برای مدل HSS روند مشخصی مشاهده نشد، بیشترین مقدار حداکثر جابجایی ذره یا همان PPD، در مدل موهر کولمب، و کمترین مقدار PPD، در مدل HSS اتفاق افتاد. این مطلب با توجه به اینکه مدل HSS مدول الاستیسیته بیشتری در کرنش های کوچک در نظر می گیرد و روابط غیر خطی با آن دارد، قابل توجیه است.

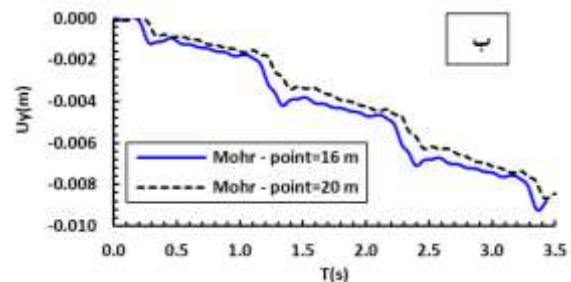
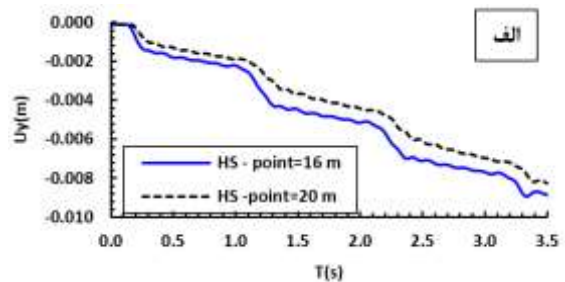
با توجه به مدل سازی های انجام شده، مقایسه نتایج بدست آمده برای مدل های بدون حضور ترانشه و در حضور ترانشه، با در نظر گرفتن سه مدل رفتاری MC، HS و HSS صورت گرفت. محسوس بودن لرزش ها توسط انسان، در محدوده های فرکانس های پایین، به شتاب حداکثر بستگی دارد، در حالیکه در فرکانس های بالاتر جابجایی تعیین کننده است [۲۰]. بنابر این نتایج بررسی ها، علاوه بر مولفه تغییر مکان، در قالب مولفه های شتاب ذره و حداکثر شتاب ذره (PPA) نیز ارائه خواهد شد.

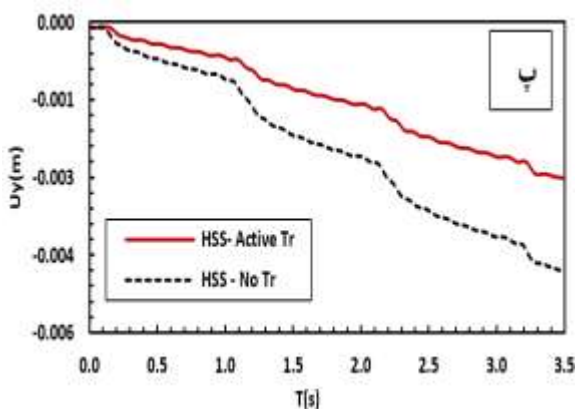
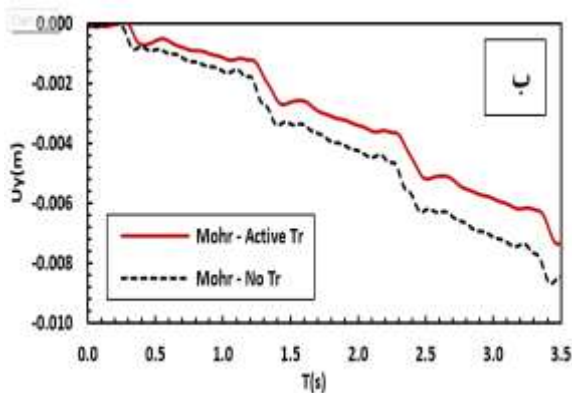
۴-۱. تاثیر مدل رفتاری بر جابجایی بدون ترانشه

با توجه به تئوری انتشار موج در محیط نیم فضای بینهایت خاک، با فاصله گرفتن از مرکز اثر بار، بدلیل کاهش چگالی موج، با تخفیف دامنه تغییر شکل ها مواجه هستیم. از طرفی لغزش دانه های خاک روی یکدیگر در فرآیند انتشار موج در محیط، کاهش دوباره دامنه موج را ناشی می شود که در قالب میرایی رایلی بیان می شود [۲۱].

ابتدا میزان کاهش دامنه لرزش ها ناشی از میرایی های رایلی و تشعشعی، بررسی شد.

شکل ۵ مقادیر تاریخچه زمانی تغییر شکل ها را در نقاط ۱۶ و ۲۰ متری از مرکز مدل، ناشی از حرکت قطار نشان می دهد.





شکل ۷. تغییر شکل های نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل سازی در حضور ترانشه برای ۳ مدل رفتاری الف (HS ، ب) MC و HSS پ)

با توجه به شکل می توان دریافت که مقادیر حداکثر جابجایی ذره (PPD)، در حضور و بدون حضور ترانشه برای مدل HSS، کمترین مقدار در بین ۳ مدل رفتاری بکار گرفته شده است.

تفاوت نتایج بدست آمده برای مدل های رفتاری HS و HSS در مقایسه با مدل رفتاری MC بصورت زیر است: - درغیاب ترانشه مقدار PPD برای مدل های HS و HSS به ترتیب ۵ و ۴۵ درصد کمتر از مقادیر مدل MC است.

- در حضور ترانشه مقدار PPD برای مدل های HS و HSS به ترتیب ۲۳ و ۵۹ درصد کمتر از مقادیر مدل MC است.

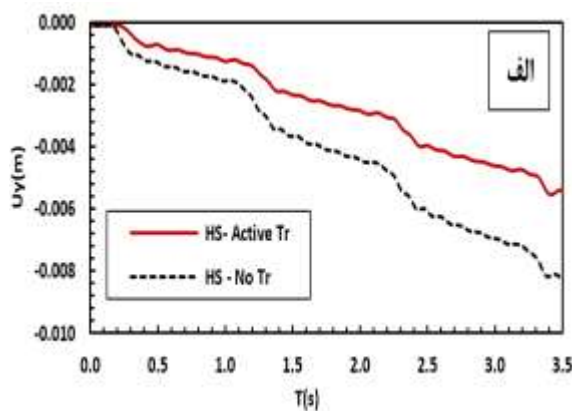
همچنین نتایج مدل HS همخوانی بیشتری با مدل موهر کولمب داشت. و آن را می توان ناشی از شبیه بودن رفتار هر دو مدل در کرنش های کمتر از کرنش پلاستیک دانست.

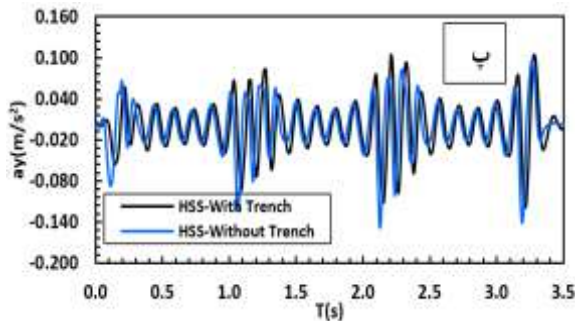
۴-۲. تاثیر مدل رفتاری در حضور ترانشه باز

با قرار گیری ترانشه با عمق ۵ و عرض ۰٫۵ متر در فاصله ۳ متری از مرکز مدل سازی، کاهش دامنه جابجایی و سرعت ذره در سطح زمین در نقاط بعد از ترانشه مشاهده شد. ادامه نتایج بدست آمده در بکارگیری ۳ مدل رفتاری MC، HS و HSS ارائه شده است.

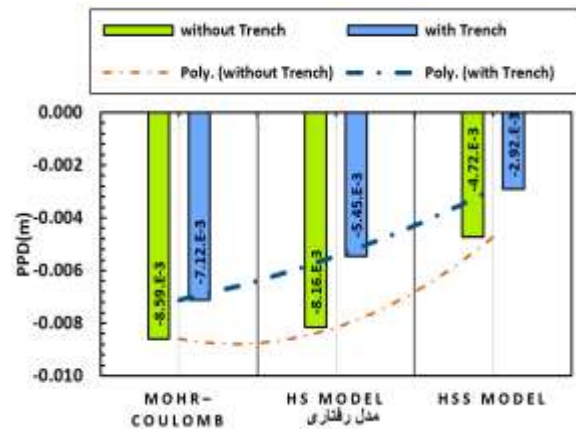
۴-۲-۱. تاثیر مدل رفتاری بر PPD^{۱۰}

در نمودار شکل ۷ تاریخچه زمانی جابجایی سطح زمین در نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل سازی با در نظر گرفتن ۳ مدل رفتاری MC ، HS و HSS، نمایش داده شده است. با توجه به شکل می توان کاهش رخ داده در دامنه جابجایی قائم، در حضور ترانشه را مشاهده کرد. کاهش دامنه رخ داده بدلیل عملکرد سد کنندگی ترانشه باز در برابر امواج سطحی و بخشی از امواج حجمی می باشد. اما مقدار کاهش دامنه جابجایی قائم (Uy) به وجود آمده در مدل سازی عددی بدلیل استفاده از مدل رفتاری مختلف، برای مدل رفتاری MC در حدود ۱۷ درصد و برای مدل HS در حدود ۳۳ درصد و برای مدل HSS در حدود ۳۸ درصد بدست آمد. شکل ۸ مقادیر حداکثر جابجایی ذره در حضور ترانشه و بدون حضور ترانشه را نشان می دهد که برای سه مدل رفتاری به تفکیک ارائه شده است.



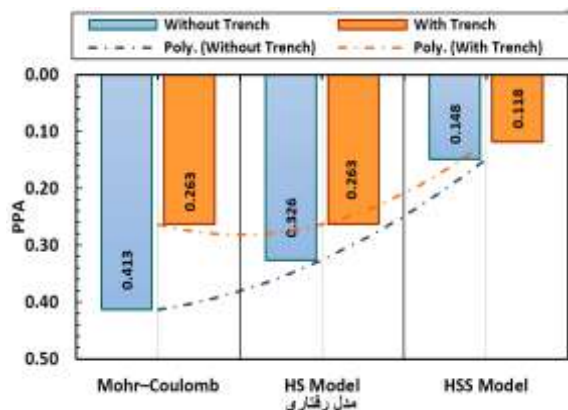


شکل ۹. تاریخچه زمانی سرعت ذره نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی در حضور ترانشه، برای ۳ مدل رفتاری الف (MC، ب) HS و پ) HSS.



شکل ۸. مقادیر PPD در نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی برای ۳ مدل رفتاری MC، HS و HSS در حضور ترانشه.

همچنین در شکل ۱۰ درباره حداکثر شتاب ذره (PPA) می‌توان گفت که کمترین مقدار PPA در حضور ترانشه و بدون ترانشه مربوط به مدل رفتاری HSS است و بیشترین مقدار PPA در مدل بدون ترانشه مربوط به مدل رفتاری MC و در حضور ترانشه بیشترین مقدار PPA متعلق به مدل رفتاری HS می‌باشد.



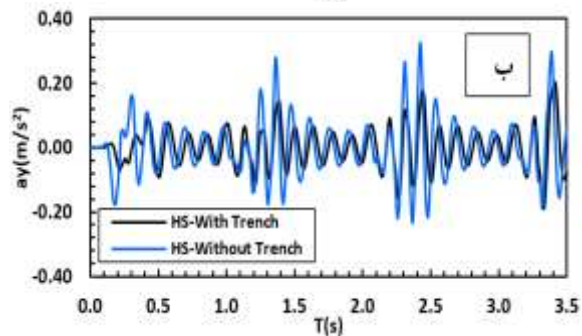
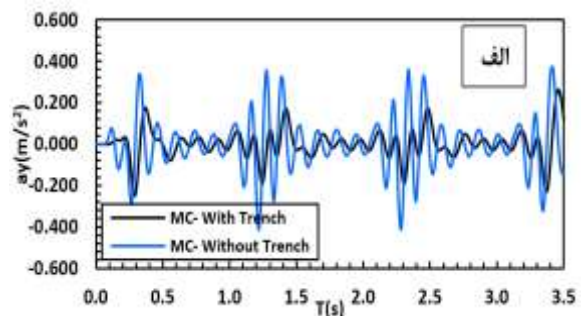
شکل ۱۰. مقادیر PPA در نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی برای مدل‌های رفتاری MC، HS و HSS در حضور ترانشه.

۴-۲-۳. تاثیر مدل رفتاری بر محتوی فرکانسی لرزش‌ها

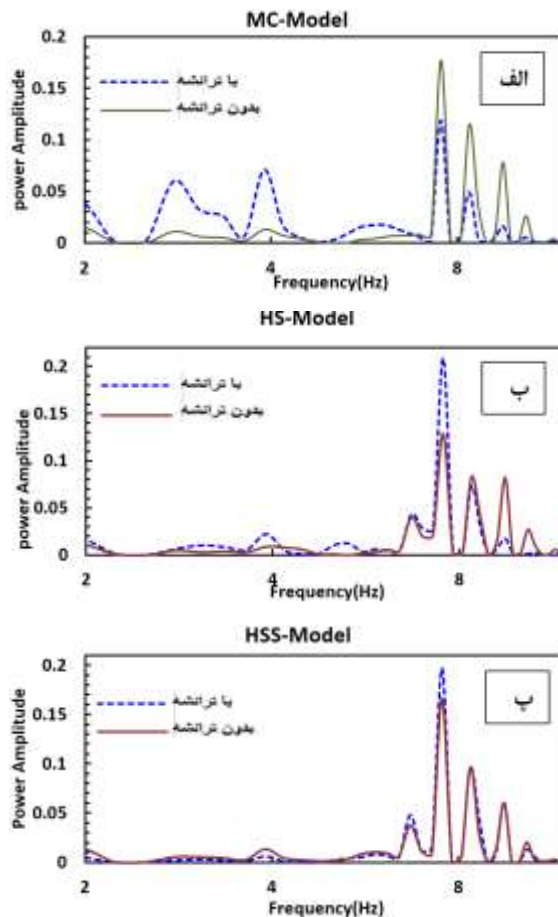
در این بخش اثر انتخاب مدل رفتاری بر شکل و محتوی فرکانسی لرزش‌های بوجود آمده، در حضور و عدم حضور ترانشه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱۱ و ۱۲ تغییرات بوجود آمده در محتوی فرکانسی لرزش‌ها، برای مدل‌های رفتاری مختلف نشان داده شده است. در شکل ۱۱ تاکید بر تاثیر حضور ترانشه بر محتوی فرکانسی لرزش‌ها می‌باشد و

۴-۲-۴. تاثیر مدل رفتاری بر PPA

در نمودار شکل ۹ تاریخچه زمانی شتاب ذره سطح زمین در نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی با در نظر گرفتن ۳ مدل رفتاری MC، HS و HSS، نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۹ و ۱۰ مشخص است که دامنه شتاب ذره در حضور ترانشه در همه مدل‌های رفتاری مورد بحث، کاهش یافته است. مقادیر کاهش دامنه شتاب ذره برای مدل‌های رفتاری MC، HS و HSS، به ترتیب برابر با ۳۶، ۱۹ و ۲۰ درصد است.



برای مدل‌های رفتاری مورد بررسی، بطور مجزا ترسیم شده است.



شکل ۱۱. اثر حضور ترانسه بر محتوی فرکانسی در نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل‌سازی برای ۳ مدل رفتاری الف) MC، ب) HS و پ) HSS.

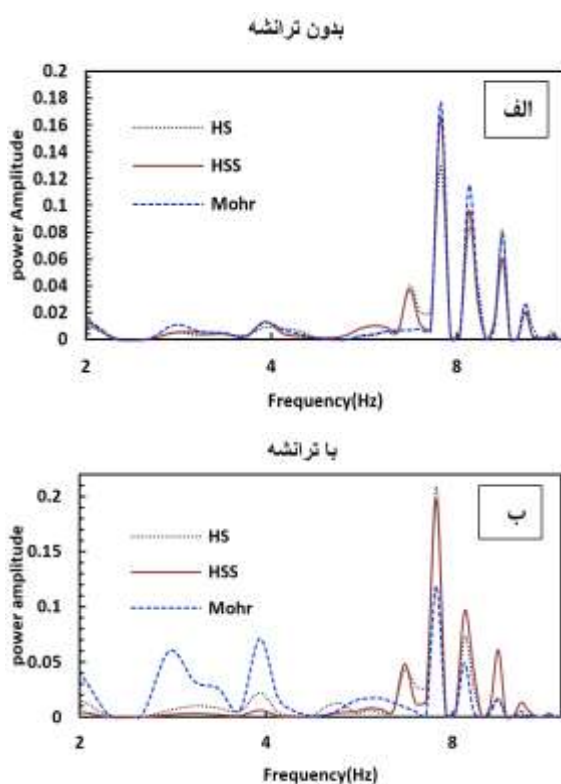
با توجه به شکل ۱۱ می‌بینیم حضور ترانسه باعث تغییر در محتوی فرکانسی لرزش‌ها شده و این تغییر برای مدل‌های HS و HSS بصورت افزایش دامنه فرکانس اصلی^{۱۶} و برای مدل MC به صورت کاهش دامنه فرکانس اصلی بدست آمد. به طور مثال برای مدل MC مقدار کاهش دامنه برابر با ۳۲ درصد مشاهده شد. همچنین افزایش دامنه بدست آمده برای مدل‌های HS و HSS به ترتیب برابر ۶۲ و ۱۹ درصد می‌باشد.

در هر سه مدل رفتاری، در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس اصلی در حضور ترانسه، کاهش دامنه مشاهده شد. کاهش دامنه برای مدل MC بیشتر و برای دو مدل دیگر مقادیر

کمتری بود.

در فرکانس‌های کمتر از فرکانس اصلی در مدل موهر کولمب افزایش دامنه در حضور ترانسه مشاهده شد. در حالیکه برای دو مدل رفتاری دیگر روند مشخصی دیده نشد. افزایش دامنه برای مدل MC در حدود ۸۱ درصد بدست آمد.

در شکل ۱۲ محتوی فرکانسی لرزش‌ها بصورت مجزا برای حالت بدون ترانسه و حالت با ترانسه ارائه شده است. با توجه به شکل مورد نظر می‌بینیم که در حالت بدون ترانسه، فرکانس با دامنه حداکثر برای مدل رفتاری MC، ۳۷ درصد بیشتر از مدل رفتاری HS بدست آمد.



شکل ۱۲. مقایسه محتوی فرکانسی نقطه ۲۰ متری از مرکز مدل-

سازی در سطح، برای ۳ مدل رفتاری MC، HS و HSS الف) عدم حضور ترانسه ب) در حضور ترانسه.

۵. اعتبار سنجی مدل

لمب (۱۹۰۴) وضعیت انتشار موج در یک محیط نیمه بینهایت ارتجاعی که در معرض یک نیروی ضربه‌ای در سطح قرار گرفته را مورد مطالعه قرار داد. در این بخش،

۶. نتیجه گیری

در این مقاله تلاش بر این بود که اثر انتخاب مدل رفتاری در مدل سازی عددی استفاده از ترانشه مانع در کاهش لرزش های ناشی از حرکت قطار، بررسی شود. بدین منظور ۳ مدل رفتاری موهر کولمب (MC)، مدل خاک سخت شونده (HS) و مدل خاک سخت شونده با سختی ناشی از کرنش های کوچک (HSS) مورد توجه قرار گرفت. نتایج بدست آمده در سه زمینه حداکثر جابجایی ذره، حداکثر شتاب ذره و محتوا فرکانسی لرزش بوجود آمده، دسته بندی شد.

تاثیر مدل رفتاری بر PPD

- با پیشرفت موج در محیط خاکی و فاصله گرفتن از منبع ایجاد لرزش، در تاریخچه زمانی جابجایی، در دو مدل رفتاری MC و HS کاهش دامنه به ترتیب در حدود ۶,۲ و ۷,۶ درصد و در مدل HSS روند مشخصی مشاهده نشد. بیشترین مقدار PPD در مدل MC و کمترین مقدار آن در مدل HSS اتفاق افتاد. همچنین نتایج مدل HS همخوانی بیشتری با مدل MC داشت، که می توان ناشی از شبیه بودن رفتار هر دو مدل در کرنش های کمتر از کرنش پلاستیک دانست.

- قرارگیری ترانشه در خاک در مسیر انتشار لرزش، باعث کاهش دامنه لرزش در نقاط بعد از ترانشه می شود. که کمترین مقدار دامنه لرزش ناشی از حضور ترانشه، در مدل HSS مشاهده شد. بیشترین تفاوت در حداکثر دامنه لرزش ها یعنی PPD در حالت حضور ترانشه در مقایسه با عدم حضور ترانشه، در مدل رفتاری HS دیده شد.

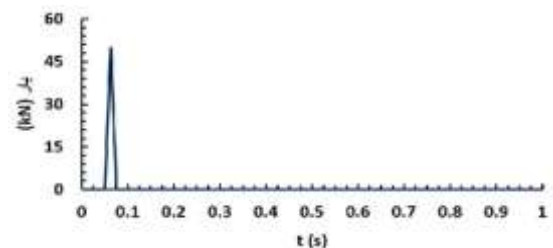
تاثیر مدل رفتاری بر PPA

- دامنه شتاب ذره در همه مدل های رفتاری مورد بحث در حضور ترانشه، کاهش یافته است. که بیشترین کاهش مربوط به مدل MC و کمترین کاهش مربوط به مدل HS است.

- در مورد مقادیر PPA در حضور و بدون حضور ترانشه کمترین مقدار مربوط به مدل رفتاری HS است. بیشترین افت مقادیر PPA با قرار گیری ترانشه در خاک

برای حل مسئله حوزه دور لمب، بین نتایج این مطالعه و نتایج بدست آمده از راه حل بسته معرفی شده توسط فوین کونینس و روزت (۲۰۰۰)، جهت صحت سنجی مقایسه های انجام شده است.

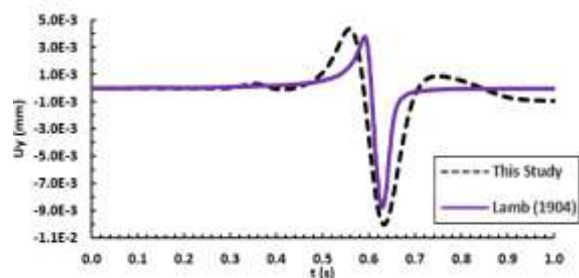
مسئله حوزه دور لمب با استفاده از هندسه متقارن محوری^{۱۷} که تا ۱۰۰ متر در راستای شعاعی و ۳۰ متر در راستای عمودی گسترش یافته است، شبیه سازی می شود. فرض بر این است که این ساختار از خاک ارتجاعی خطی و مدول یانگ ۵۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع و نسبت پواسون ۰,۲۵ و وزن مخصوص ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر مکعب تشکیل شده است. این ساختار در معرض بار نقطه ای اعمالی در مرکز تقارن می باشد. توزیع زمانی بار پالسی به صورت یک توزیع مثلثی در مدت زمان ۰,۰۲۵ و دامنه نو سان ۵۰ کیلو نیوتن در نظر گرفته می شود. بارگذاری پس از ۰,۰۵ ثانیه آغاز می شود، در شکل ۱۳ بار پالسی اعمال شده بر مدل نشان داده شده و مرزهای جاذب انرژی در پایین و سمت راست مدل در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۳. بار پالسی استفاده شده در مدل سازی مسئله لمب

تغییر مکان قائم ذره ناشی از بار مذکور در نقطه ۵۰ متری از مرکز مدل در سطح در برابر نتایج حل تحلیلی و فرمول بندی ارائه شده توسط فوین کونینس و دیگران (۲۰۰۰) در شکل ۱۴ نمایش داده شده است.

با توجه به نمودار شکل ۱۴ تطابق خوبی بین نتایج مطالعه حاضر و حل تحلیلی بدست آمد.



شکل ۱۴. مقایسه جابجایی قائم دو روش

انتخاب مدل رفتاری

در این تحقیق نشان داده شد، انتخاب مدل رفتاری خاک می‌تواند در برآورد ارتعاشات حرکت قطار موثر باشد. به طبع، هر چه مدل رفتاری پیشرفته تر و پارامترهای بیشتری در آن دخیل باشد، رفتار واقع بینانه تری از خاک را می‌تواند شبیه‌سازی کند. لیکن نیاز به مطالعات ژئوتکنیک کامل تر و تلاش محاسباتی بیشتر، از جمله عوامل محدودکننده استفاده از مدل‌های رفتاری جدیدتر، در مطالعات گذشته بوده است.

تاثیر مدل رفتاری بر محتوی فرکانسی لرزش‌ها

حضور ترانشه باعث تغییر در محتوای فرکانسی لرزش‌ها شده و این تغییر برای مدل‌های HS و HSS به صورت افزایش دامنه فرکانس اصلی و برای مدل MC بصورت کاهش دامنه فرکانس اصلی بدست آمد. در هر سه مدل رفتاری، در فرکانس‌های بزرگتر از فرکانس اصلی در حضور ترانشه، کاهش دامنه مشاهده شد. بیشترین افت دامنه برای مدل MC به دست آمد.

۷. مآخذ

- [1] Bahrekazemi, M., "Train-Induced Ground Vibration and Its Prediction", Stockholm, 2004.
- [2] Barkan, D. D., "Dynamics of Bases and Foundations", McGraw-Hill. 1962.
- [3] Dominguez, J., J. M. Roesset, "Dynamic Stiffness of Rectangular Foundations", *Research report R78-20 Department of Civil Engineering, MIT*. 1978.
- [4] Woods, R. D., "Screening of Surface Waves by Trenches", Ph.D Thesis University of Michigan, 1967.
- [5] Ahmad, S., T. M. Al-Hussaini, K. L. Fishman, "Investigation on active isolation of machine foundations by open trenches," *Geot. Eng* Vol.122, No.6, 1996, pp.454-461.
- [6] Adam, M., T. G. Pflanz, G. Schmid, "Two and three dimensional transient responses of half-space under dynamic strip loads and train track loads", *12 WCEE., Cairo, Egypt - Bochum, Germany-0568*. 2000
- [7] Shrivastavaa, K., Rao Kameswara, "Response of soil media due to impulse loads and isolation using trenches", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 22, 2002, pp.695-702.
- [8] Bennett, A.G., C.J.C. Jones, D. J. Thompson, "A numerical investigation of railway ground vibration mitigation using a trench in a layered soil", *Noise and Vibration Mitigation for Rail Trans. Sys.*, Vol.118, 2012, pp.315-322.
- [9] Leshchinsky, B. and H. I. Ling, "Numerical modeling of behavior of railway ballasted structure with geocell confinement", *Geotextiles and Geomembranes* Vol.36, 2013, pp.33-34.
- [۱۰] احمدی، م.، ح. هاشم‌الحسینی، ح. نجاتی، "شبیه‌سازی بار دینامیک قطار و بررسی تاثیر آن بر لرزش سطح زمین"، *فصلنامه حمل و نقل* س.۲، ش. ۱، ۱۳۸۹.
- [۱۱] سعادتفر، ا.، ع. اردکانی "بررسی عددی اثر پارامترهای هندسی ترانشه باز بر کاهش ارتعاشات ناشی از حرکت قطار با استفاده از مدل شبیه‌سازی بار قطار" *فصلنامه اساس*، س.۱۷، ش. ۴۰، ۱۳۹۴.
- [12] ISO 14837-1:2005 "Mechanical Vibration Ground Borne Noise and Vibration Arising from Rail System", *part1: General guidance*.
- [13] Lars, H. "Simulations and analyses of train-induced ground vibrations in finite element models", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 23, 2003, p.p.403-413.
- [14] Nejati, H., M. Ahmadi, M. "Numerical analysis of ground surface vibration induced by underground train movement", *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol.29, 2012, pp.1-9.
- [15] Feng, X., X. H. Xia, and J. H. Wang, "The Application of small strain model in excavation", *The National Natural Science Foundation of China*, No.50679041, 2009.
- [16] Vermeer, P. A., T. Schanz, and P. G. Bonnier, "The hardening soil model formulation and verification," *Proceedings of Plaxis Symposium on Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Amsterdam, Rotterdam, Balkema*, 1999, pp 281- 296.

- [17] Benz, T., "Small-strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences", Ph. D. Thesis, Institut fur Geotechnik, Universitat Stuttgart, Germany, 2007
- [18] Kuhlmeier R L, J. Lysmer, "Finite element method accuracy for wave propagation problems", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, (SM5), Vol.99, 1973, pp.421-427.
- [19] Chopra, A. K., "Dynamics of Structure", First Edit., New Jersey, Prentice hall. 1995.
- [۲۰] بازیار، م. و ز قناد، دینامیک خاک، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۱.
- [21] Woods, R., "Dynamic effects of pile installations on adjacent structures", Washington: NCHRP_Syn_253, 1997.

فهرست علائم:

Uy = جابجایی در راستای قائم	T = دوره تناوب	MC = مدل رفتاری موهر-کولمب
ay = شتاب در راستای قائم	λ_{min} = طول موج مولفه ای از امواج که بیشترین فرکانس را دارد.	HS = مدل رفتاری خاک سخت شونده
PPD = حداکثر جابجایی ذره	V_s = سرعت موج برشی در خاک	HSS = مدل رفتاری خاک سخت شونده با اثر سختی ناشی از کرنشهای کوچک
PPA = حداکثر شتاب ذره	ω_i = سرعت زاویه‌ای	$f(t)$ = تابع شبیه سازی بار حرکت قطار
Arr = فاکتور نسبت کاهش دامنه	ξ_i = نسبت میرایی	t = زمان

پی نوشت:

1. Trench
2. Finite element methods (FEM)
3. Boundary element methods (BEM)
4. Finite difference methods (FDM)
5. Amplitude reduction ratio (Arr)
6. Geocell
7. Peak particle velocity (PPV)
8. Peak particle acceleration (PPA)
9. ISO14837-1, 2005. Mechanical vibration. Ground-borne noise and vibration arising from rail systems -- Part 1: General guidance
10. Sleeper
11. Mohr-Coulomb model
12. Hardening Soil model
13. Hardening Small Strain soil model
14. Reighley damping
15. Peak particle displacement (PPD)
17. Axisymmetric

۱۶. فرکانسی از موج که بیشترین دامنه را به خود اختصاص می دهد.