فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۵): صص ۲۲-۱۱

بررسی اثر ارتعاشات قطار متروی شهر قم بر بنای تاریخی سردرب مدرسه غیاثیه

صفا پیمان[۱]، مرتضی حسین‌پور[۲]، احمد اکبری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۶

چکیده

فشردگی ترافیک در شهرهای بزرگ، نیاز بیش از پیش به استفاده از قطار شهری را سبب شده است. حرکت قطار بر روی ریل سبب ایجاد صدا و ارتعاشات می‌شود. صدا و ارتعاشات منتشرشده در محیط منتشره می‌تواند به مردم و ساختمان‌های محدوده آسیب برساند. در این مقاله اثر ارتعاشات ناشی از حرکت قطارهای مترو بر سردرب تاریخی مدرسه غیاثیه قم بررسی شده است. در این راستا، ابتدا با توجه به موقعیت این بنا نسبت به خط مترو، سرعت ذره‌ای زمین‌مکان بنا محاسبه شده، سپس با مقایسه این سرعت با حداکثر سرعت ذره‌ای مورد پذیرش آیین‌نامه FTA-VA-۹۰-۱۰۰۳-۰۶، و سایر منابع معتبر، اثر ارتعاشات بر آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که عبور قطار شهری قم از مجاورت مدرسه غیاثیه، اثر مخربی بر این سازه ندارد. با این حال در ادامه ،راهکارهای لازم برای کاهش اثرات مخرب احتمالی بر این بنای تاریخی، که عبارتند از کاهش سرعت حرکت قطار در محدوده سازه مورد بحث و نیز کاهش انتقال ارتعاش ایجادشده از ریل به بستر با استفاده از روش‌های مختلف، ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: ارتعاشات، سرعت قطار، سرعت ذره‌ای حداکثر، اثر تاریخی، لرزش زمین

۱- مربی دانشگاه جامع امام حسین (ع) - speyman@ihu.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- کارشناس مهندسین مشاور ساحل

۱- مقدمه

افزایش جمعیت، فشردگی ترافیکی و نبود جای پارک مناسب در شهرهای بزرگ، استفاده از قطارهای زیرزمینی را بیش از پیش ضروری نموده است. ارتعاشات ناشی از عبور قطارها در فاصله بین ایستگاه‌ها، می‌تواند سبب ایجاد لرزش و صدا و درپی آن، اخلال در زندگی مردم محدوده عبور خط مترو شود. علاوه‌براین، ارتعاشات مزبور ممکن است سبب آسیب رساندن به ساختمان‌ها و تجهیزات حساس شوند. بر این اساس، در طراحی مسیرهای جدید قطارهای زمینی و زیرزمینی، ارزیابی ارتعاشات ناشی از حرکت قطارها بر ساختمان‌های اطراف و ساکنان آن‌ها یکی از اصلی‌ترین پارامترها می‌باشد.

فرایند تولید، انتشار، دریافت و اثرات ارتعاشات ناشی از حرکت قطار، از مفاهیم پیچیده مهندسی است. لرزش‌های ناشی از حرکت قطارهای زیرزمینی می‌تواند بسیار بالا باشد، و این لرزش از طریق خاک تا مسافت زیادی انتقال می‌یابد. بسامد و سرعت انتقال این لرزش، به سرعت و وزن قطار، شرایط ریل، وضعیت زمین‌شناسی بستر ریل و میزان و نوع بالاستی که زیر خط آهن به‌کار می‌رود، بستگی دارد. افزون بر این، انتقال افقی و عمودی موج‌های لرزه نیز بسته به نوع خاک و شرایط زمین پیرامون، می‌تواند بسیار گسترده باشد [۱].

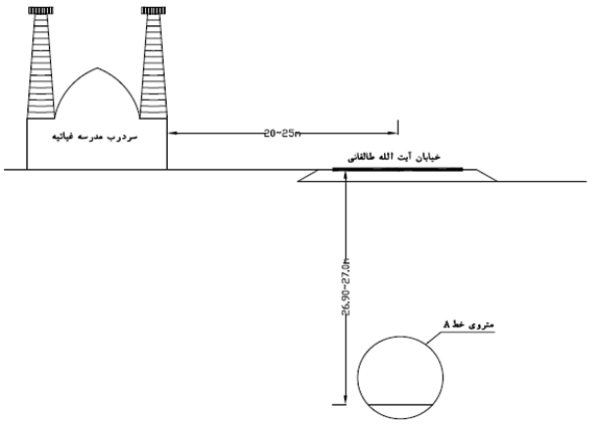
ارزیابی دقیق ارتعاشات ناشی از حرکت قطارهای مترو، نیازمند داشتن اطلاعات دقیق درباره جزئیات سیستم ریلی، زمین‌شناسی محل و دیگر اطلاعات درباره منابع تولید و انتقال ارتعاشات از خط مترو به ساختمان‌ها می‌باشد. بسیاری از این اطلاعات ممکن است در مراحل آغازین طراحی در دسترس نباشد. بنابراین، استفاده از فرضیات معقول و ساده‌کننده می‌تواند بسیار راهگشا باشد. از سوی دیگر، ارتعاشات انتقال‌یافته زمینی از تاثیرات مهم و شناخته‌شده سیستم‌های حمل‌ونقل به محیط اطراف می‌باشد، که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است [۲].

این پژوهش‌ها سبب می‌شود، بررسی ارتعاشات در مراحل آغازین طراحی و نبود اطلاعات کامل و دقیق قابل حصول باشد. در این پژوهش بر مبنای اطلاعات موجود درباره موقعیت و زمین‌شناسی محل و با توجه به بررسی پروژه‌های مشابه، اثر ارتعاشات ناشی از عبور قطار متروی شهر قم بر ساختمان‌های اطراف به ویژه بنای تاریخی سر درب مدرسه غیاثیه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این راستا ابتدا با توجه به موقعیت بنای مزبور نسبت به خط مترو، اطلاعات زمین‌شناسی محل، سرعت قطار و بررسی پروژه‌های مشابه با تجزیه‌وتحلیل مهندسی سرعت ذره‌ای زمین محاسبه می‌شود. سپس این سرعت با حداکثر سرعت ذره‌ای مورد پذیرش آیین‌نامه [۳] FTA-VA-۹۰-۱۰۰۳-۰۶، برای ساختمان‌های تاریخی مقایسه و اثر ارتعاشات بر آن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، راه‌کارهای لازم برای کاهش اثرات ارتعاشات ناشی از حرکت قطار زیرزمینی بر ساختمان‌های تاریخی ارائه می‌گردد.

۲-آثار با ارزش تاریخی اطراف مسیر متروی قم

خط A متروی شهر مقدس قم از ایستگاه A_1 نزدیک مسجد مقدس جمکران آغاز و به ایستگاه A_{14} در نزدیکی قلعه کامکار ختم می‌شود. در این مسیر، مکان‌های تاریخی با ارزشی همچون تپه قلی درویش، بازار کهنه، سردرب مدرسه غیاثیه و قلعه کامکار قرار گرفته است. برای حفظ و باقی ماندن این مکان‌ها، مسیر مترو با یک انحراف در حریمی که توسط سازمان میراث فرهنگی مشخص شده عبور می‌نماید. با این وجود، امکان دور شدن مسیر مترو از سر درب مدرسه غیاثیه وجود ندارد. بر این اساس، می‌بایست اثر ارتعاشات متروی قم بر این بنای تاریخی بررسی شود. سردرب مدرسه غیاثیه فاصله‌ای در حدود۲۰ الی ۲۵ متر به‌طور افقی و فاصله قائم ۲۷ متر را تا خط مترو دارا می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت سردرب مدرسه غیاثیه نسبت به تونل مترو

۳- تولید و انتقال ارتعاشات‌ناشی‌ازحرکت قطارهای مترو [۳]

تولید و انتقال ارتعاشات از قطار در حال حرکت به زمین پیرامون و بعد از آن، به ساختمان‌های مجاور و اثر آن بر افراد، موضوعی پیچیده است. ارتعاش مزبور، به سه عامل مهم منبع تولید ارتعاش،

مسیر انتشار و دریافت‌کننده ارتعاش بستگی دارد. در ادامه، درباره این عوامل بحث می‌شود.

۳-۱- منبع تولید ارتعاش

منابع تولید ارتعاش، قطار و ریل می‌باشند. در واقع، حرکت قطار در طول ریل و تاثیرات متقابل که میان چرخ‌ها، ریل و سازه ریل رخ می‌دهد، سبب ایجاد ارتعاش می‌شوند. قطارهای ساکن و در حال حرکت، هر دو تولید ارتعاش می‌نمایند. قطارهای ساکن، بسته به وزن خود نیرویی تولید می‌کنند که از چرخ یا ریل منتشر و توسط ریل، تراورس، مخلوط ریگ و سنگ به زمین انتشار می‌یابد. این بار می‌تواند به‌عنوان بار ایستا تعریف شود. هنگامی که قطار حرکت می‌کند، نیروی حاصله از بار ایستا در طول ریل همراه با قطار جابجا می‌شود. این بار بسته به اختلاف بخش‌های مختلف سیستم سازه‌ای قطار و ریل همچون ناهمواری سطح ریل و چرخ و مشخصات سازه‌های نگهدارنده زیر ریل تغییر خواهد کرد. پارامترهای بسیاری وجود دارد که بر سطح و ویژگی‌های ارتعاشات ناشی از حرکت قطار زیرزمینی تاثیرگذار هستند. وزن قطار و فاصله میان چرخ‌ها، شکل و مواد به‌کاررفته در ساخت قطار، سرعت قطار، نقص در چرخ (گریز از مرکز بودن ، بالانس نبودن و...)، حرکت نامنظم (لرزان، بالا و پائین رفتن، تکان خوردن، پیچ و تاب خوردن، ویژگی‌های موتور و ...)، وجود شتاب و عدم شتاب قطار، ارتعاشات در سازه‌های حفاظت‌کننده (تراورس، مخلوط ریگ و...) و حرارت از جمله این عوامل می‌باشند.

۳-۲- مسیر انتشار

ارتعاشات تولید شده، از طریق ریل و تراورس منتقل می‌شوند و به زیرساخت رسیده، و سپس از تونل به خارج انتشار می‌یابند. انرژی ارتعاش به‌عنوان امواج سطحی در طول و کف تونل به سمت دیوار و سقف انتشار می‌یابد و از طریق سنگ یا خاک محیط دربرگیرنده پوشش تونل به بیرون منتشر می‌شود. با توجه به مسیر حرکت ارتعاش، نوع خاک و سنگ و دیواره بتنی تونل و همچنین فاصله پیموده‌شده، ارتعاش کاهش یافته و دامنه کمتری پیدا می‌کند.

۳-۳- دریافت‌کننده

ارتعاشاتی که از طریق زمین پخش می‌شوند، سرانجام به یک دریافت‌کننده خواهند رسید. فونداسیون ساختمان‌های مجاور که با سطح زمین در تماس هستند، نخستین دریافت‌کننده ارتعاشات منتشرشده می‌باشند. ارتعاشات دریافت‌شده از طریق فونداسیون به دیگر بخش‌های ساختمان انتشار خواهد یافت. عناصر مقاوم دریافت‌کننده نیز بسته به میزان سختی و جرم خود، این ارتعاشات را دریافت و در مقابل آن مقاومت می‌کنند. نتیجه حاصل از این مقاومت به‌صورت لرزش ستون‌ها و دیوارها و سقف‌ها می‌باشد. با توجه به میزان ارتعاش، ساکنین، آن را به‌صورت‌های مختلف احساس می‌کنند. ارتعاشات دریافتی اعضای مختلف سازه در رقوم بالاتر، ممکن است سبب تکان خوردن اسباب منزل و یا اختلال در کارهای حساس مانند: دندانپزشکی، جراحی و ... شود. چنانچه این ارتعاش به حد بالایی برسد می‌تواند موجب خرابی سازه‌ها در سطوح مختلف از قبیل ترک خوردن، تغییر شکل عضوهای باربر، خارج شدن دیوارها از صفحه خود و خرابی‌های دیگر شود. به‌دلیل اینکه ساختمان در جهت افقی ضعیف‌تر است، کاهش ارتعاشات منتقل‌شده میان زمین و ساختمان برای نوسان عمودی بزرگتر از نوسان افقی می‌باشد.

۴- خسارت‌های وارد به ساختمان‌ها و تعیین فاصله ایمن

موج‌های لرزشی ناشی از حرکت قطار همراه با موج‌های ناشی از صدای قطار می‌توانند با تکان دادن فونداسیون‌ها، تاثیرات بسیار مخربی بر ساختمان‌های پیرامون بگذارند. موج لرزش در مسیر خود از زیر زمین، ذرات خاک را از هم جدا و همراه خود به جلو می‌راند و باعث کاهش چسبندگی خاک پیرامون تونل می‌شود. از آنجا که لرزش حرکت قطار همانند یک زمین‌لرزه خفیف ولی مستمر عمل می‌کند، ساختمان‌هایی که در مسیر این موج‌ها قرار دارند، در دراز مدت، تراکم و ثبات خاک بستر فونداسیون‌های خود را از دست می‌دهند. وقتی خاک بستر سست شود، فونداسیون نشست می‌کند و باعث شکستگی در ساختمان می‌گردد. همچنین لرزش مداوم خاک که به فونداسیون‌ها منتقل می‌شود، باعث لرزش پیوسته کل ساختمان می‌گردد. متناسب با استحکام و یکپارچگی ساختمان و میزان پایداری آن در برابر لرزه، ممکن است ساختمان ترک خورده و یا فرو بریزد. معمولا ساختمان‌های قدیمی از تکنولوژی مقاوم‌سازی ساختمان‌های نوین برای پایدار کردن آن‌ها در برابر زمین‌لرزه برخوردار نیستند و در معرض خطر بیشتری قرار دارند [۱ و ۲]. در سال ۱۹۸۷ لونت هال خسارت به ساختمان‌ها را به سه دسته خسارت جزئی، خسارت کلی و خسارت شدید، تقسیم نمود [۴].

۴-۱- خسارات جزئی

نتیجه آن، شکاف چند میلی‌متری در گچ‌ها یا شل شدن و از جا در آمدن کاشی‌ها و خرابی‌های کوچک می‌باشد. در واقع برای رفع این نوع خرابی، تنها تعمیرات ظاهری کافی است.

۴-۲- خسارات کلی

نتیجه آن، شکاف در دیوارها و درگاه‌ها است و می‌تواند منجر به حداکثر ۱۰ میلی‌متر شکاف در دیوارها و درگاه‌ها و یا افتادن گچ از سقف و پیچیدن پروفیل‌های درب و پنجره شود. رفع این نوع از خرابی، نیاز به تعمیرات حرفه‌ای دارد.

۴-۳- خسارات شدید

نتیجه آن، شکافی در حدود ۲۵ میلی‌متر می‌باشد و می‌تواند موجب تخریب بالقوه یک ساختمان گردد. برای حفظ شرایط مسکونی ساختمان‌های دارای این نوع خرابی، نیاز به تعمیرات اساسی و مقاوم‌سازی سازه‌ای وجود دارد.

باتوجه به تجربیات موجود، احتمال آنکه ارتعاشات ناشی از قطار زیرزمینی به خودی خود باعث خسارت بر ساختمان‌ها گردد، کم است. به عبارت دیگر، سازه در اثر ترکیب ارتعاشات ناشی از حرکت قطار با دیگر فاکتورها، ممکن است دچار آسیب شود. در یک ساختمان، عواملی همچون سن بنا، ابعاد ساختمان، تغییر سطح آب زیرزمینی، فرسودگی ساختمان در اثر عوامل طبیعی و غیرطبیعی، داشتن بستر خاکی نامناسب، وجود نشست‌های درازمدت، بارگذاری غیرمتعارف ساختمان و ... موجود می‌باشد و ساختمان‌ها به‌طور طبیعی رو به تخریب هستند. ارتعاشات می‌تواند به پیشرفت تخریب طبیعی ساختمان در اثر عوامل اشاره‌شده کمک نماید [۱ و ۲].

اداره حمل‌ونقل فدرال، وابسته به کمیته حمل‌ونقل ایالات متحده آمریکا، معیارهایی را برای خسارت وارد به ساختمان‌ها در اثر ارتعاشات اتفاقی زمین ارائه نموده است [۳]. محدوده امن سرعت ذره‌ای بیشینه زمین با توجه به این معیارها، در جدول (۱) ارائه شده است. سرعت مزبور وابسته به سیستم سازه و مصالح استفاده‌شده در ساخت بنا است. مقادیری که در این جدول ارائه شده است، می‌بایست در مراحل ابتدایی طراحی مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، برای رسیدن به اطمینان از ایمنی ساختمان‌هایی که در معرض ارتعاشات قطار قرار دارند، بایستی طراحی دقیق‌تر آن‌ها در برابر ارتعاشات انجام شود.

جدول ۱- حریم ایمن برای ساختمان‌های در معرض ارتعاش قطار [۳]

حریم ایمن برای ساختمان های مختلف	
نوع کاربری	فاصله ایمن(PPV)
ساختمان‌های بتنی و فلزی	۱۲/۵ mm/s
ساختمان‌های بنایی مهندسی	۷/۵ mm/s
ساختمان‌های بنایی غیر مهندسی	۵/۰ mm/s
ساختمان‌های قدیمی و تاریخی	۳/۰ mm/s

۵- بررسی سرعت و شتاب موج لرزه‌ای زمین‌براثر عبور قطارهای سطحی و زیرزمینی [۱ و ۲].

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، سرعت موج ذره‌ای ایمن برای سازه‌های تاریخی و بنایی حدود ۳ میلی‌متر بر ثانیه است. با توجه به نبود برداشت‌های لرزه‌ای در محدوده طرح، متناسب با وضعیتی که هنگام عبور قطار شهری قم ایجاد می‌شود، از داده‌های مشابه سایر پروژه‌ها استفاده می‌گردد.

در یک آزمایش لرزه‌نگاری، ارتعاشات ناشی از حرکت یک قطار چهار کابینه با سرعت ۷۲ کیلومتر در ساعت بر روی یک ساختمان پنج طبقه، در نزدیکی متروی لندن ثبت گردید. در این آزمایش، لرزش عمودی، نیم میلی‌متر در ثانیه در زیرزمین و بیش از یک دهم میلی‌متر در ثانیه در طبقه دوم و بسامد موج لرزش تا ۶۰ هرتز ثبت شده بود. ولی لرزش افقی در سراسر ارتفاع ساختمان، یک دهم میلی‌متر در ثانیه و ثابت بود.

در سال‌های اخیر در مورد متروی پاریس که در حوالی دانشگاه پاریس قرار دارد، یک آزمایش لرزه‌نگاری برای قطاری با سرعت ۴۰ تا ۸۰ کیلومتر در ساعت و فاصله ۳۲ متری در یک ساختمان پنج طبقه انجام گرفت که لرزشی معادل سه دهم میلی‌متر در ثانیه و بسامد موج ۱۰۰ هرتز در این آزمایش ثبت شده است.

در ادامه، پژوهش‌هایی که درباره تغییرمکان، سرعت و شتاب زمین در فاصله‌های مختلف از قطارهای با سرعت بالا و متوسط در پنج بستر متفاوت انجام شده است، ارائه می‌شود. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که آثار ارتعاشات قطارها بر سازه‌های اطراف جز در مواردی که بستر زمین ریل دارای شرایط خاص باشد، خیلی شدید نمی‌باشد.

۵-۱- مشخصات پروژه‌های راه‌آهن مورد بررسی

پنج پروفیل زمین‌شناسی برای این پژوهش انتخاب شده است. سه پروفیل آن در منطقه جنوب کالیفرنیا و دو پروفیل دیگر در مناطق اروپایی قرار دارند. مشخصات این سایت‌ها در جدول (۲) آورده شده است. در این جدول، سرعت موج برشی بر حسب متر بر ثانیه، عمق خاک D بر حسب متر و جرم حجمی برحسب کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند.

جدول ۲- مشخصات پروفیل‌های زمین شناسی مورد بررسی

$\beta_1 = 1000$ $\rho_1 = 1400$ $D_1 =$	$\beta_1 = 150$ $\rho_1 = 1750$ $D_1 = 25$	$\beta_1 = 80$ $\rho_1 = 1500$ $D_1 = 1.4$	$\beta_1 = 200$ $\rho_1 = 2000$ $D_1 = 2$	$\beta_1 = 100$ $\rho_1 = 1500$ $D_1 = 2$
	$\beta_2 = 350$ $\rho_2 = 1750$ $D_1 =$	$\beta_2 = 133$ $\rho_2 = 1500$ $D_1 = 1.9$	$\beta_2 = 40$ $\rho_2 = 1500$ $D_1 = 5$	$\beta_2 = 180$ $\rho_2 = 1500$ $D_1 = 4$
		$\beta_3 = 266$ $\rho_3 = 1500$ $D_3 =$	$\beta_3 = 250$ $\rho_3 = 2000$ $D_3 =$	$\beta_3 = 300$ $\rho_3 = 2000$ $D_3 =$

۱- سایت سنگی در جنوب کالیفرنیا؛ این خاک را به خوبی می‌توان به‌صورت یک محیط نیمه‌بی‌نهایت با سرعت موج برشی ۱۰۰۰متر بر ثانیه در نظر گرفت [۵].

۲- خاک هوازده با ارتفاع ۲۵ متر و سرعت موج برشی ۱۵۰ متر بر ثانیه، بر بستری سخت‌تر با سرعت موج برشی ۳۵۰ متر بر ثانیه قرار گرفته است [۵].

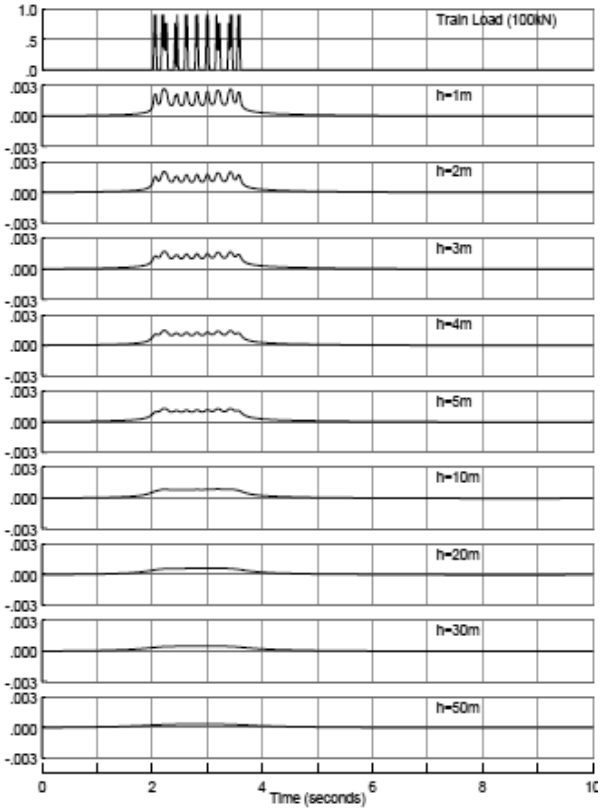
۳- خاک نرم با سرعت موج برشی ۸۰ متر بر ثانیه، برای راه آهنی که شهر پاریس را به بروکسل در بلژیک متصل می‌نماید. برای قطار سریع‌السیر با سرعت نزدیک به ۸۰ متر بر ثانیه یا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت، ممکن است موج شوک ایجاد شود [۶ و ۷].

۴- این پروفیل مربوط به سایتی در کشور سوئد است که در سال ۲۰۰۰ توسط دودینگ مورد بررسی قرار گرفته است [۸]. خاک مزبور ترکیبی از ۱/۴ متر لایه سخت شده با سرعت موج برشی ۲۰۰ متر بر ثانیه است که بر روی ۵ متر لایه معدنی رس با سرعت موج برشی ۴۰ متر بر ثانیه قرار گرفته است. بستر این دو لایه، لایه سخت‌تری با سرعت موج برشی ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر بر ثانیه می‌باشد.

۵- سایت معروف رینالدی در جنوب کالیفرنیا که لایه بالایی آن به ضخامت ۲ متر دارای سرعت موج برشی ۱۰۰ متر بر ثانیه، لایه دوم ۴ متر ضخامت دارد و دارای سرعت موج برشی ۱۸۰ متر بر ثانیه می‌باشد. این دو لایه بر بستری سخت‌تر با سرعت موج برشی ۳۰۰ متر بر ثانیه قرار دارند [۵].

۵-۲- تحلیل ارتعاشات زمین ناشی از حرکت قطار

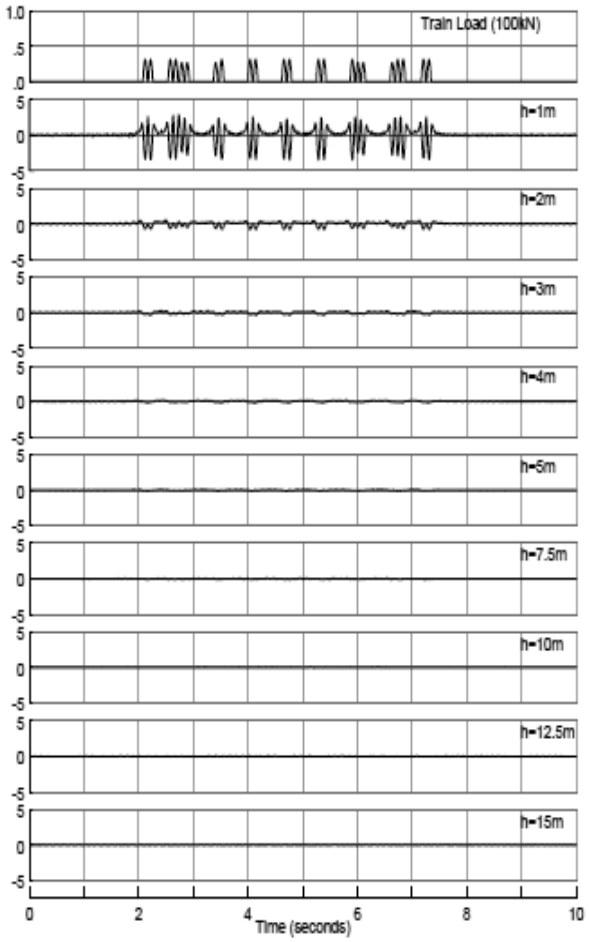
پروفیل شماره ۱ تحت اثر ارتعاشات قطاری سریع‌السیر با سرعت بیشینه ۱۰۰ متر بر ثانیه (۳۶۰ کیلومتر بر ساعت) و سرعت متوسط ۵۰ متر بر ثانیه (۱۸۰ کیلومتر بر ساعت) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مثال، میرایی خاک در محدوده ۱ تا ۴ درصد در نظر گرفته شده است. نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که مقدار میرایی بر دامنه ارتعاشات، اثرگذار نیست. نمودار تغییرمکان زمین در فاصله‌های مختلف از ریل برای این پروفیل تحت اثر ارتعاشات ناشی از قطار سریع‌السیر با سرعت ۱۰۰ متر برثانیه، در شکل (۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، تغییر مکان زمین در فاصله یک متری از ریل حدود ۰/۰۰۳ سانتی‌متر است و در فاصله دورتر از ۵ متر تقریبا از بین می‌رود. بررسی‌ها نشان می‌دهد، دامنه شتاب بیشینه در فاصله یک متری، کمتر از ۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه



شکل۲- تغییر مکان زمین پروفیل ۱ بر حسب سانتی‌متر، ایجادشده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۳۶۰ کیلومتر بر ساعت

می‌باشد. در فاصله ۵ متری، شتاب ناچیز و سرعت زمین نزدیک به ۵ میلی‌متر بر ثانیه است. این سرعت در محدوده ایمن ساختمان‌های بنایی غیر مهندسی می‌باشد. در فاصله‌های دورتر از ۲۰ متر، حتی ساختمان‌های قدیمی و تاریخی هم در محدوده امن مورد نظر آیین نامه‌های مربوطه قرار دارند .

در شکل (۳) شتاب زمین، ناشی از حرکت قطاری با سرعت ۱۰۸ کیلومتر بر ساعت، برای خاک هوازده پروفیل ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، فاصله از محور ریل بر دامنه بیشینه شتاب نیز اثرگذار است. همان‌گونه که در شکل (۳) دیده می‌شود، در فاصله یک متری از ریل، شتاب بیشینه زمین حدود ۵ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. این شتاب در فاصله سه متری بسیار کم



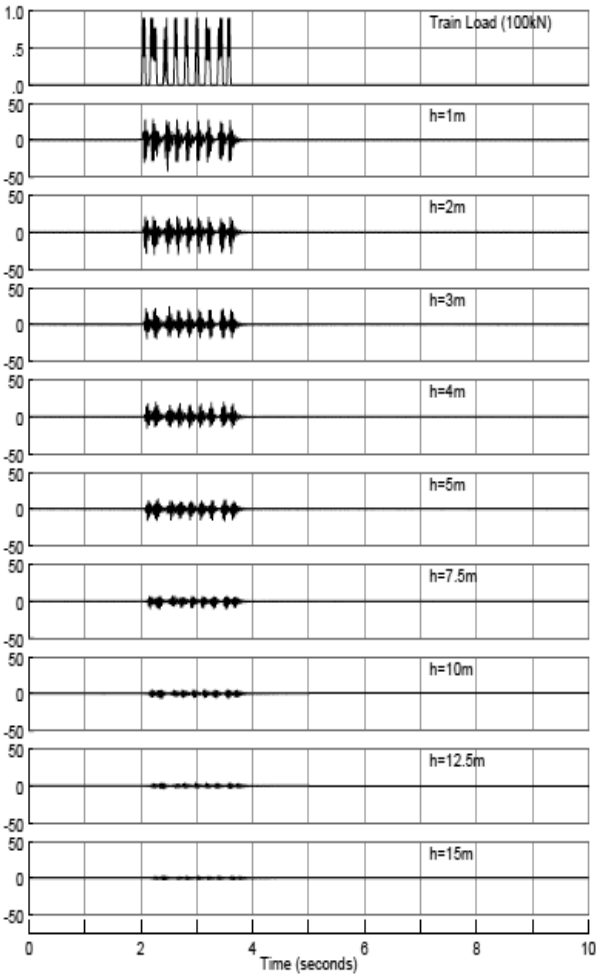
شکل۳- شتاب زمین پروفیل ۲ بر حسب سانتی متر بر ثانیه، ایجاد شده توسط قطار با سرعت ۱۰۸ کیلومتر بر ساعت

می‌شود، و در فاصله‌های دورتر از ۵ متر تقریبا از بین می‌رود. در فاصله ۵ متری، سرعت بیشینه زمین ۵ میلی‌متر بر ثانیه است. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که مخاطرات قطار مورد بررسی برای محیط زیست در این سایت قابل توجه نمی‌باشد.

خاک پروفیل شماره ۳ مربوط به سایت قطار سریع‌السیر پاریس به بروکسل می‌باشد. سرعت موج برشی لایه بالایی این خاک ۸۰ متر بر ثانیه است، که به سرعت قطار سریع‌السیر ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت نزدیک می‌باشد. در این آزمایش عددی، قطارهای با سرعت ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ متر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه از سرعت بیشینه قطار مورد استفاده بیشتر است، و فقط برای بررسی انتشار موج با ماخ ۱/۲۵ آورده می‌شود. ماخ ۱/۲۵ به معنی آن است، که سرعت قطار ۱/۲۵ برابر سرعت موج برشی خاک است.

شتاب بیشینه زمین، وقتی قطار سرعت ۱۰۰متر بر ثانیه دارد، در فاصله ۳ متری حدود ۳۰ متر برمجذور ثانیه و در فاصله ۱۰ متری، ۱۵ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. این شتاب در فاصله ۲۰ متر، حدود ۳ متر بر مجذور ثانیه است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد، وقتی سرعت قطار از سرعت موج برشی زمین بیشتر باشد، اندازه شتاب زمین بسیار بالا خواهد بود. وقتی سرعت قطار ۸۰ متر بر ثانیه باشد، با وجود نزدیک بودن این سرعت به سرعت موج برشی زمین، شتاب زمین در فاصله ۳ متری، حدود ۱۰ متر بر مجذور ثانیه، و در فاصله ۱۰ متری نزدیک به ۰/۵ متر بر مجذور ثانیه است. برای سرعت‌های ۶۰ و ۴۰ متر بر ثانیه، شتاب زمین در فاصله ۳ متری به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۰۲ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد.سرعت بیشینه زمین برای قطارهای با سرعت ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ متر بر ثانیه، به ترتیب ۳۰، ۶، ۲ و ۰/۱ سانتی‌متر بر ثانیه است. سرعت ۳۰ متر بر ثانیه، نزدیک به سرعت زمین در هنگام یک زلزله بزرگ می‌باشد.

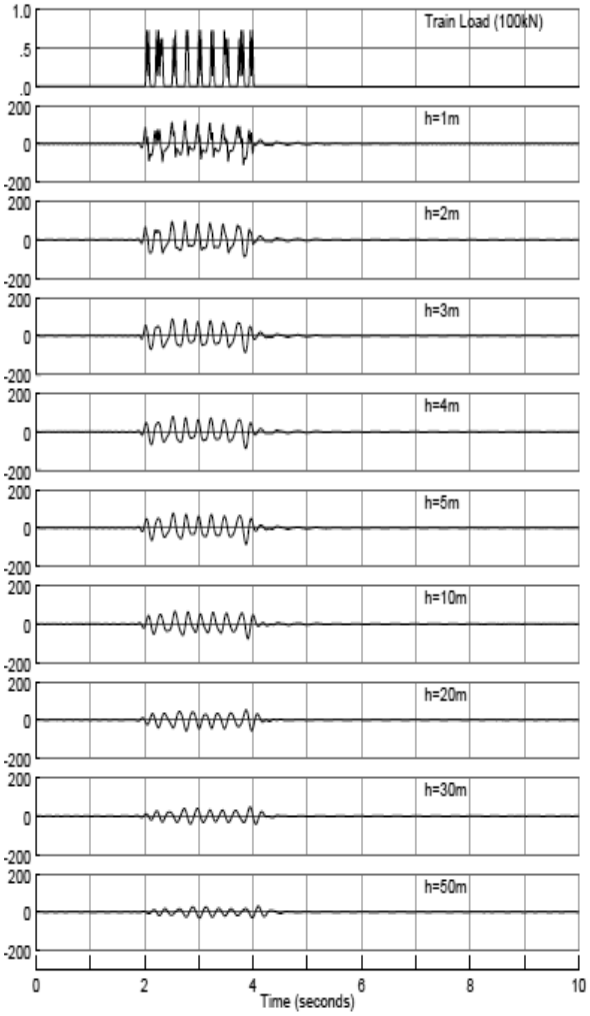
در شکل (۴) نمودار سرعت بیشینه زمین ناشی از حرکت قطار با سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه، برای خاک پروفیل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، سرعت بیشینه زمین در فاصله دورتر از ۱۵ متر تقریبا از بین می‌رود.



شکل ۴- سرعت زمین پروفیل ۳ بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، ایجاد شده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه

پروفیل شماره ۴ مربوط به سایت راه آهنی در کشور سوئد است. نتایج تحلیل داده‌های مربوط به این پروفیل، جالب‌تر از دیگر پروفیل‌های مورد بررسی است. موج محبوس در لایه میانی (لایه مابین دو لایه بالایی و پایینی) خاک این پروفیل در فاصله‌های دورتری نسبت به دیگر پروفیل‌ها بررسی شده است.

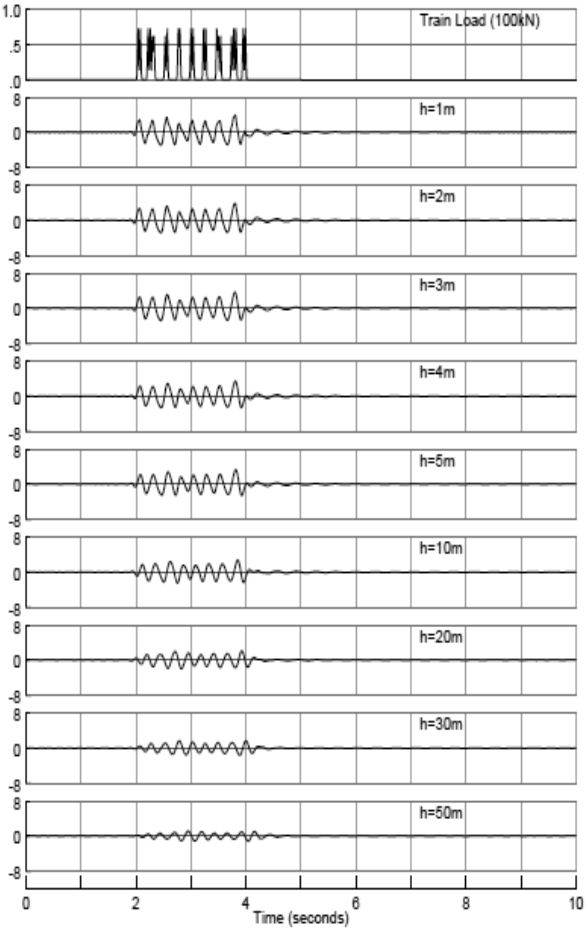
در شکل (۵)، شتاب زمین ناشی از حرکت قطار با سرعت ۸۰ متر بر ثانیه برای این خاک نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که سرعت بیشینه حدود ۲۰۰ متر بر مجذور ثانیه نزدیک قطار در فاصله ۵۰ متری، هنوز حدود ۴۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه است. این شتاب ۲۰ درصد شتاب حداکثر زمین در نزدیکی محور قطار است. به‌عبارت دیگر، برای این خاک، تاثیر فاصله از محور ریل بر کاهش دامنه شتاب نسبت به خاک‌های دیگر بسیار کمتر شده است. با توجه به قرارگیری یک لایه ضعیف در بین دو لایه سخت‌تر، می‌توان گفت انرژی در بین دو لایه خاک حبس می‌شود و استهلاک آن دیرتر صورت می‌پذیرد.



شکل ۵- شتاب بیشینه زمین پروفیل ۴ بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، ایجادشده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۸۰ متر بر ثانیه

سرعت بیشینه زمین در فواصل مختلف برای پروفیل مورد بررسی و برای همان قطار در شکل (۶) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، روند کاهش سرعت زمین، با فاصله از قطار نسبت به شتاب، پایین‌تر است. به‌طوری‌که سرعت بیشینه زمین در فاصله ۵۰ متری از قطار، حدود ۳۰ درصد سرعت بیشینه زمین در نزدیکی محور قطار می‌باشد. اهمیت این موضوع، زمانی است که اثر ارتعاشات ناشی از حرکت قطار بر ساختمان‌های اطراف آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به داده‌های ارائه‌شده در جدول (۱)،

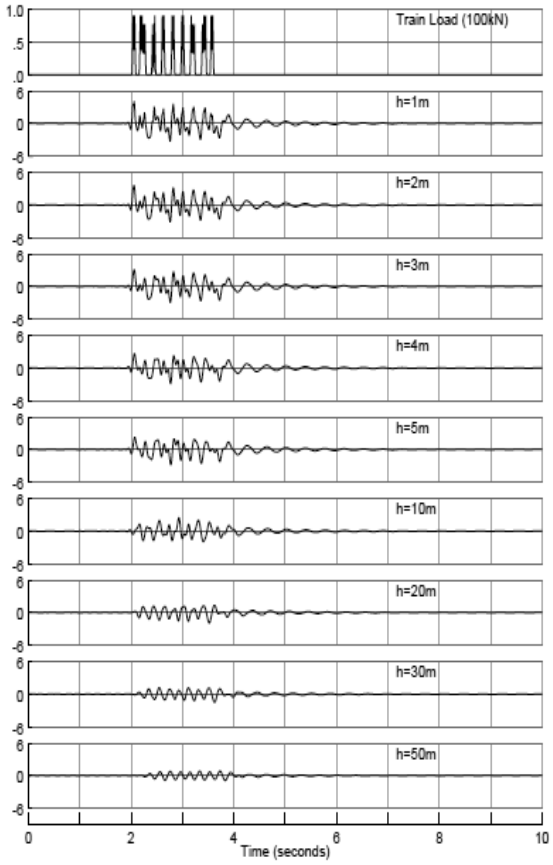
که در آن، حریم ایمن سرعت بیشینه زمین برای ساختمان‌های در معرض ارتعاش قطار آورده شده است، مشاهده می‌شود که حتی ساختمان‌های بتنی و فلزی دارای طراحی و ساخت بر مبنای اصول مهندسی نیز در فاصله ۵۰ متری از مسیر قطار سریع‌السیر سایت مزبور در معرض خطر قرار دارند.



شکل۶- سرعت بیشینه زمین پروفیل ۴ بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، ایجادشده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۸۰ متر بر ثانیه

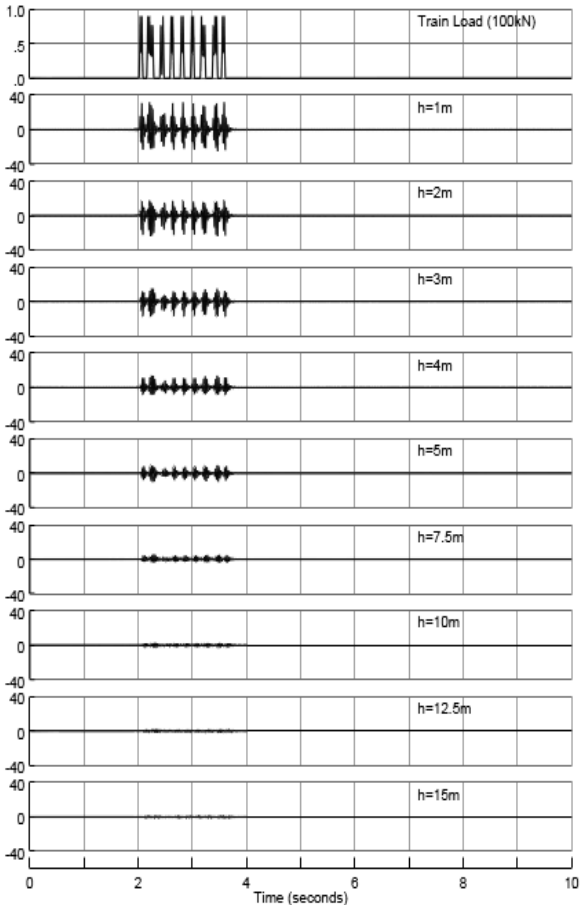
این موضوع نشان می‌دهد، برای بررسی اثر ارتعاشات قطار بر ساختمان‌های اطراف، شناسایی دقیق لایه‌های خاک، مسیر حرکت قطار از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه‌براین، برای سازه‌های خاص و دارای اهمیت، یا بناهای قدیمی و تاریخی، لازم است وضعیت زمین اطراف بنا مورد بررسی قرار گرفته و آزمایش‌های مورد نیاز برای استخراج پارامترهای تاثیرگذار بر ارتعاش صورت بگیرد.

در شکل(۷) نمودار سرعت بیشینه زمین سایت مورد نظر برای قطار با سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه، نشان داده شده است. این سرعت، از سرعت واقعی قطاری که در راه‌آهن مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد، بالاتر است. به عبارت دیگر، این شکل فقط برای بررسی نظری موضوع، تهیه و آورده شده است. مشاهده می‌شود که سرعت بیشینه زمین در این حالت از اغتشاش بیشتری نسبت به شکل (۶) برخوردار است.



شکل۷- سرعت بیشینه زمین پروفیل ۴ بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، ایجادشده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه

با بررسی شکل‌های (۶ و ۷) مشاهده می‌شود که دامنه‌ی سرعت تا حدودی هارمونیک می‌شود، و فرکانس سرعت در فاصله دورتر از ۳۰ متر حدود ۲/۵ دور بر ثانیه است. این فرکانس به فرکانس طبیعی یک ساختمان چهار طبقه با پریود طبیعی ۰/۴ ثانیه یا فرکانس طبیعی ۲/۵ دور بر ثانیه نزدیک است و ممکن است سبب پدیده تشدید شود.



شکل۸- سرعت بیشینه‌زمین پروفیل ۵ بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، ایجادشده توسط قطار سریع‌السیر دارای سرعت ۸۰ متر بر ثانیه شده

به‌عبارت دیگر، در بررسی آثار ارتعاش ناشی از حرکت قطار بر یک ساختمان، محاسبه پریود ارتعاش زمین یا پریود تحریک و پریود طبیعی سازه مورد بررسی یک ضرورت است.

خاطر نشان می‌شود که با توجه به تجربیات مهندسی، پریود طبیعی یک ساختمان منظم طبقاتی نزدیک به یک دهم تعداد طبقات آن می‌باشد.

در شکل (۸) برای قطار با سرعت ۸۰ متر بر ثانیه، نمودار سرعت بیشینه‌زمین سایت شماره ۵ نشان داده شده است. سرعت بیشینه زمین در فاصله ۱ متری حدود ۳۰ متر بر ثانیه، در فاصله ۵ متری ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه و در فاصله ۲۰ متری ۲ میلی‌متر بر ثانیه می‌باشد.

مشاهده می‌شود، برای این پروفیل هم، با دور شدن از محور قطار آثار ارتعاشاتی آن به شدت کم می‌شود.

با بررسی پروفیل‌های ۳ تا ۵ می‌توان نتیجه گرفت که در خاک‌های لایه‌ای، قرار گرفتن یک لایه خاک با سرعت موج برشی پایین در بین دو لایه دارای سرعت موج برشی بیشتر، سبب حبس انرژی و تشدید ارتعاش زمین، به‌خصوص در فاصله‌های دورتر می‌گردد.

۶- سرعت موج لرزه‌ای زمین اطراف متروی قم بر اثر عبور قطار

بر اساس تقسیم‌بندی ارائه‌شده توسط آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مقادیر سرعت موج برشی در مسیر پروژه و با توجه به اینکه متوسط سرعت موج برشی در عمق تونل غالباً بیشتر از ۳۵۰ متر بر ثانیه می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تمام طول مسیر خط A متروی قم در رده زمین‌های نوع II یا خاک‌های سخت قابل تقسیم‌بندی می‌باشد. همچنین می‌توان با توجه به تغییرات متوسط سرعت موج برشی و مدول برشی در اعماق مختلف تونل (بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های دانهول) دو ناحیه عمقی مندرج در جدول (۳) را برای کل مسیر پروژه پیشنهاد نمود.

جدول ۳- سرعت موج برشی و مدول برشی خاک متروی قم

عمق زمین	سرعت موج برشی متر بر ثانیه	مدول برشی مگاپاسکال
۱۰ >	۲۶۷	۱۵۹
۱۰-۳۰	۴۶۵	۴۴۲

از نظر ساختگاه زمین‌شناسی، این خاک همانند پروفیل شماره ۲ از دو لایه خاک با سرعت موج برشی متناسب تشکیل یافته و عمق لایه اول آن‌ها نیز قابل توجه است. از سوی دیگر، این خاک وضعیت مناسب‌تری نسبت به خاک هوازده‌ای مزبور دارد.

به این ترتیب، به عنوان یک قضاوت اولیه و با توجه به مناسب بودن وضعیت خاک مورد بررسی، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت زمین در فاصله دورتر از ۲۰ متر، کمتر از سرعت بیشینه ایمن زمین برای ساختمان‌های تاریخی، یعنی ۳ میلی‌متر بر ثانیه خواهد بود.

با توجه به سرعت قطار و وضعیت زمین‌شناسی سایت مورد نظر، نتیجه گرفته می‌شود.که سازه‌های تاریخی با فاصله بیش از ۱۰ متر از ریل قطارهای با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، در معرض ارتعاش قابل توجهی قرار ندارند.

از ریل قطارهای با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، در معرض

ارتعاش قابل توجهی قرار ندارند. با این وجود، نبود اطلاعات ارتعاشی کافی، ضریب اطمینان بالایی را طلب می‌نماید. به این ترتیب، فاصله موجود، در محدوده امن برای بنای تاریخی سر درب مدرسه غیاثیه قم می‌باشد.با توجه به بررسی منابع و مراجع موجود و آنچه که در بالا آمد، به نظر می‌رسد، قطار شهری قم خطری جدی برای سازه‌های تاریخی اطراف ریل در فاصله‌های دورتر از ۳۰ متر نداشته باشد.

۷-کم‌کردن اثرات ارتعاشات ایجادشده در اثر عبور قطار [۱ و ۲].

همچنان که در بخش پیشین ملاحظه شد، ارتعاشات و امواج تولید شده‌از قطارهای شهری تا فاصله ۳۰ متر، خطر تخریب را برای ساختمان‌های اطراف ایجاد نمی‌کند.

آستانه درک(احساس) انسان‌ها بسیار بالاتر ازساختمان‌های اطراف می‌باشد؛ همچنین ارتعاشات تولیدی به سبب حرکت قطار ممکن است در درازمدت روند فرسایشی ساختمان‌های با ارزش تاریخی را تسریع بخشد. بر این اساس، برای جلوگیری از به‌وجود آمدن اختلال در روند معمول زندگی انسان‌های ساکن و جلوگیری از فرسایش درازمدت ساختمان‌ها و بناهای تاریخی در منطقه اطراف قطار، لازم است اقدامات متقابلی که در زیر به آن اشاره می‌شود، برحسب مورد و توانایی اجرای آن مورد بررسی و انجام قرار گیرد.

اقدامات مختلفی می‌توانند در هر مکانی در طی مسیر انتشار به‌کارگرفته شوند. این اقدامات می‌توانند در منبع، در طول مسیر و درنهایت، در دریافت‌کننده ارتعاش صورت پذیرند. سودمندترین اقدام از بین مواردی که به آن‌ها اشاره شد، اقداماتی است که در منبع تولید ارتعاش یا در ریل صورت پذیرد.

مهم‌ترین عواملی که در منبع وجود دارند و تاثیر بسیار زیادی در انتقال ارتعاش دارند، عواملی هستند که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود.

۷-۱- کاهش در سرعت قطار

سرعت قطار، یک عامل مهم در ارتعاشات ناشی از عبور قطار می‌باشد. برطبق نتایج بررسی‌های محققین، با افزایش دو برابری در سرعت قطار، ارتعاشات سطح زمین ۴ تا ۶ دسی‌بل افزایش می‌یابد. لذا با کم کردن سرعت در محدوده‌های خاص و با ارزش می‌توان از انتشار حداقلی ارتعاشات نیز به بناهای تاریخی جلوگیری کرد.

۷-۲- عوامل انتقال ارتعاش به بستر

- سطح ریل
- پدهای ریلی
- بست‌های ریل
- زیرسازی (بسترسازی و فرش کردن) سنگ‌ریزه‌ها
- سیستم جرم – فنر

۷-۲-۱- سطح ریل

شناخت اثر کیفیت سطح ریل بر ارتعاشات ناشی از حرکت قطار، بسیار مهم است. بی‌نظمی‌های مختلف همچون موج‌های (شیارهای) کوتاه و بلند، شیب، اتصالات، تعداد آن‌ها و دیگر نقص‌های سطح ریل، به دلیل عبور متعدد قطارها نقش مهمی را در افزایش دامنه ارتعاش ناشی از حرکت قطار ایفا می‌کنند.

کازاماکی و واتانابه در سال ۱۹۷۵ با انجام آزمایش نشان دادند که یک اختلاف ۱۰ دسی بلی، میان ریل‌ها و چرخ‌های جدید، در مقایسه با ریل‌ها و چرخ‌های فرسوده وجود دارد [۹].

لذا داشتن یک برنامه خوب جهت حفظ و نگهداری ریل‌ها و حتی استفاده از فولاد پرمقاومت در ساخت آن‌ها، اقدامی مناسب جهت کاهش ارتعاشات محسوب می‌گردد.

۷-۲-۲- پدهای ریلی

پدهای ریلی مابین ریل و ریل‌بندهای بتنی (تراورس) قرار می‌گیرند. آن‌ها، معمولا از لاستیک ساخته می‌شوند و نقش اصلی آنها کاهش شکاف‌های زیاد در ریل‌بندها می‌باشد.

به علت ساختار لاستیکی و داشتن انعطاف‌پذیری، می‌توان با به‌کارگیری این‌گونه پدها در مسیرهای خاص که در نزدیکی اماکن باارزش، مابین ایستگاه A7 و A8 قرار دارند، ارتعاشات حداقلی را نیز تا حد زیادی کاهش داد. استفاده از پدهای با سختی‌های بیشتر در این محدوده، اثر ارتعاشات را بیشتر کاهش می‌دهد.

۷-۲-۳- بست‌های ریلی

برای نگه داشتن ریل در محل مشخص‌شده خود بر روی ریل‌بند، از بست‌های ریلی استفاده می‌شود. انواع مختلفی از بست‌های ریلی وجود دارد که برای شرایط مختلف کاری مفید می‌باشند. با استفاده و بهره‌مندی از انعطاف زیاد این بست‌ها، می‌توان مقاومت مکانیکی ساختارهای رویی و در نتیجه، ارتعاشات را تا حد قابل توجهی کاهش داد. دیشل و همکاران تصریح کردند که با به‌کارگیری

۷-۲-۴- زیرسازی (بسترسازی و فرش کردن سنگ‌ریزه‌ها)
زیرسازی سنگ‌ریزه‌ها یا زیرسازی زیرمخلوط ریگ و سنگ‌ریزه، لایه‌های الاستیکی هستند که زیر یا درون بستر (زیربنای سنگ‌ریزه‌ها) قرارداده می‌شوند. مشاهده شده است که با استفاده از زیرسازی مخلوط ریگ و سنگ تا ضخامت ۸۰ میلی‌متر، ارتعاشات ۱۶ تا ۵۰ هرتز کاهش یافته است. دیشل و همکاران [۱۰]، و همچنین کازاماکی و واتانابه [۹] نیز کاهش ۵ تا ۸ دسی‌بلی را در صورت استفاده از زیرسازی سنگ‌ریزه‌ها، تایید کرده‌اند.

۷-۲-۵- سیستم جرم – فنر
سیستم جرم– فنر، از موثرترین اقدامات برای کاهش ارتعاشات ناشی از حرکت قطارهای زیرزمینی محسوب می‌شود. سیستم جرم- فنر، یک نوسان‌گر هارمونیک خطی است که فرکانس طبیعی بسیار پایینی دارد.

نوسان‌گر فوق، یک سیستم دال– فنر می‌باشد. در این سیستم، یک دال بتنی سنگین (بستر ریل) به‌وسیله پدهای پلاستیکی یا فنرهای فولادی از تونل جدا می‌شود. دال فوق با داشتن فرکانس طبیعی بسیار پایین این توانایی را دارد تا ارتعاشات تولیدی را تا حد ممکن کاهش دهد.

۸- نتیجه‌گیری
پژوهش حاضر در راستای روشن‌تر شدن آثار حرکت قطارها بر ساختمان‌های اطراف انجام شده است. نتایج دارای اهمیت این تحقیق را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱- از مهم‌ترین مولفه‌هایی که بر میزان ارتعاشات تولیدی موثر است، سرعت حرکت قطار را می‌توان نام برد، که کنترل آن بیشترین تاثیر را در کاهش ارتعاشات تولیدی دارد. از سوی دیگر، کاهش سرعت حرکت قطارها در مقایسه با سایر روش‌ها، بسیار ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است و می‌توان در هر قسمت از مسیر که احتمال آسیب رسیدن به سازه‌های خاص وجود دارد، با کاهش سرعت حرکت قطار، از هرگونه آسیب احتمالی، با موثرترین روش، جلوگیری کرد. برای بیشتر پروفیل‌های مورد بررسی، نرخ تضعیف جابه‌جایی، سرعت و شتاب زمین با فاصله گرفتن از قطار زیاد است.

۲- قرار گرفتن یک لایه خاک نرم در بین دو لایه خاک سخت‌تر، سبب محبوس شدن انرژی می‌شود. برای این نوع خاک، نرخ تضعیف آثار حرکت قطارها نسبت به فاصله کم است و بر این اساس، برای این نوع زمین‌ها مطالعات دقیق‌تری باید صورت بگیرد.

۳- تولید و انتقال ارتعاشات از قطار در حال حرکت به زمین پیرامون و بعد از آن به ساختمان‌های مجاور، به سه عامل مهم منبع تولید ارتعاش، مسیر انتشار و دریافت کننده ارتعاش وابستگی دارد.

۴- با توجه به ضعف سازه‌ای ساختمان‌های تاریخی، خستگی ناشی از ارتعاش مداوم قطار می‌تواند برای این سازه‌ها بسیار خطرناک باشد. لذا توصیه می‌شود، خط مترو، تا حد امکان از این بناها دور شود، یا مطالعات تکمیلی درباره اثر ارتعاشات بر این سازه‌ها بطور دقیق انجام پذیرد.

۵- برای جلوگیری از به‌وجود آمدن اختلال در روند معمول زندگی انسان‌ها در منطقه و جلوگیری از فرسایش درازمدت ساختمان‌ها و بناهای تاریخی، به جهت کاهش انتشار و انتقال ارتعاش از ریل به زمین اطراف، لزوم انجام مطالعات تکمیلی احساس می‌شود. این اقدامات می‌توانند در منبع، در طول مسیر و نهایت، در دریافت‌کننده ارتعاش صورت پذیرند. سودمندترین اقدام از بین مواردی که به آن‌ها اشاره شد، اقداماتی است که در منبع تولید ارتعاش یا در ریل صورت پذیرد.

۶- برای بررسی انتشار ارتعاشات ناشی از حرکت قطار، می‌توان از پژوهش‌های گسترده‌ای که درباره انتشار امواج ناشی از زلزله و انفجار در زمین انجام شده است، بهره برد.

۷- هنگام بررسی اثر ارتعاشات بر یک بنای با ارزش یا قدیمی، بررسی دقیق زمین اطراف ساختمان، و تعیین مشخصات مکانیکی خاک آن دارای اهمیت اساسی است. علاوه‌براین، لازم است که پریود طبیعی ساختمان محاسبه و با پریود حرکت زمین در نزدیکی آن مقایسه شود.

۸- پیشنهاد می‌شود، مدل‌سازی سازه‌ای بنا بر یک بستر الاستیک انجام شود و تحلیل آن تحت اثر ارتعاش زمین محل صورت بگیرد.

۹- مراجع

1. Transit Noise and Vibration Impact Assessment, FTA-VA-90-1003-06, 2006.
2. A. S. Suhairy, “Prediction of Ground Vibration from Railways,” Swedish National Testing and Research Institute Acoustics, SP Report 2000: 25.
3. A. Eitzenberger, “Train induced Vibration in Tunnels,” Lulea University of Technology, 2008.
4. H. G. Leventhall, “Low frequency traffic noise and vibration,” London, 1997.

5. H. L. Wong, "Analysis of Vibration and Infrastructure Deterioration Caused by High-Speed Rail Transit," Final Report Metrans Project 01-3, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Southern California.

6. G. Degerande and G. Lombaert, "High-speed train induced free field vibrations: in situ measurements and numerical modeling," Proceedings of the International Workshop Wave 2000, Wave propagation, Moving load, Vibration reduction, pp. 29-41, 2000.

7. G. Degerande and L. Schillemans, "Free Field Vibrations During the Passage of a Thalys High-Speed Train at Variable Speed," Journal of Sound and Vibration, vol. 247, no. 1, pp. 131-144, 2001.

8. C. H. Dowding, "Effects of Ground Motions from High Speed Trains on Structures," Instruments and Humans Proceedings of International Workshop Wave, Bochum Germany, 2000.

9. T. Kazamaki and T. Watanabe, "Reduction of solid borne sound from a subway," International Conferences on Noise Control Engineering, Sendai, Japan, 1975.

10. F. Dishel, L. Eisenmann, and L. Steinbeisser, "Vibration problems in structures," Railways In., 1995.

Investigation of the Effects of Noise and Vibration of Qom Metro Train into Entrance of Ghiyasieh Madrasseh

S. Peyman*, M. Hoseinpour, A. Akbari

Abstract

Traffic jam in big cities has prompted using underground metro trains more than ever. Train moving along railway is causing noise and vibrations. The generated vibrations cause damage to nearby people and buildings. In this study the effects of noise and vibration of Qom metro train into entrance of Ghiyasieh Madrasseh are studied. Thus, primarily partial velocity is calculated, according to the location of this building to the lining, and then in compare with the comparative method with index of USA (FTA-VA-90-1003-06) and other references, the effects of vibrations on this structure are evaluated. Consequently the results showed that Qom metro lining has in-considerable effects on entrance of Ghiyasieh Madrasseh. Nonetheless, there are proposed some approaches, such as reducing trains speed and transfer generated vibrations through railways, for mitigating probable damages to this historic structure .

Key Words: *Vibration, Train Speed, Peak Particle Velocity, Historical Building, Ground Vibration*

*Imam Hussein Comprehensive University - (speyman@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge