رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122 - ISSN PRINT: 2588-6886، دوره ششم، شماره ۱، ۱۴۰۱، صفحه: ۱۰- ۲۱

ارزیابی اصول ساختمان سازی در مجاورت خطوط آهن

علیرضا اقائی فر [*۱]، رضا ضیاء توحیدی [۲]، سهیل قره [۳]، عباسعلی صادقی [۲]

[*۱] مربی، بخش فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (Aghaeifar.A@pnurazavi.ac.ir)

[۲] گروه مهندسی عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

[۳] دانشیار، بخش فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱)

چکیده

معمولا ارتعاشات ناشی از حرکت قطار بر روی خط، به دو دسته زمینی و هوایی تقسیم می‌شوند. ارتعاشات زمینی در محیط اطراف خط، درون زمین منتشر می‌شوند و در هر جسمی که به آن می‌رسند، ارتعاش ایجاد می‌کنند. این ارتعاشات در جسم به انواع دیگر ارتعاشات و جابجایی‌ها یا حرارت تبدیل می‌شوند، یا تغییراتی در محیط ایجاد می‌کنند. در برخی مناطق در مجاورت خط، ساختمان‌هایی وجود دارد، که ارتعاشات مذکور در آنها باعث ایجاد ارتعاشات ثانویه، معضلات سازه‌ای و سر و صدای آزار دهنده می‌شود. عوامل متعددی بر انتقال ارتعاشات ناشی از حرکت قطار به ساختمان‌های اطراف آن تاثیر گذار است. یکی از این عوامل طول مسیر انتقال است که با سطح ارتعاشات ایجاد شده در جسم، نسبت عکس دارد. در راستای کاهش ارتعاشات زمینی ناشی از حرکت قطارها در ساختمان‌ها، ابتدا به بررسی پیشینه‌ی ادبیات فنی موضوع پرداخته شده است. در ادامه، راهکارهایی در مسیر انتقال ارتعاش صورت پذیرفته و سپس این راهکارها با روش طوفان مغزی بسط داده شده‌اند و راهکارهای جدیدی ارائه گردیده است که در ادامه با توجه به مشابهت زلزله و ارتعاش قطار، راهکارهای خاص جهت افزایش میرایی با پیشنهاداتی در راستای ساختمان‌سازی مطرح شده که در نتایج برای بحرانی‌ترین حالت یعنی ساختمان ایستگاه راه آهن سریع السیر با چرخ آهنی روی ریل آهنی ذکر شده است.

کلمات کلیدی

اصول ساختمان سازی، ارتعاشات زمینی، ساختمان، خطوط آهن، قطار.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122 - ISSN PRINT: 2588-6886، دوره ششم، شماره ۱، ۱۴۰۱، صفحه: ۱۰- ۲۱

Evaluating the Principles of Building Construction in the Vicinity of Railways

Alireza Aghaeifar [1*], Reza Ziatohidi [2], Soheil Ghareh [3], Abbasali Sadeghi [2]

[1] Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran (Aghaeifar.A@pnurazavi.ac.ir)*

[2] Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

[3] Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

(Date of received: 28/01/2022, Date of accepted: 21/04/2022)

ABSTRACT

Usually the vibrations caused by the movement of the train on the line are divided into two categories: ground and air. Ground vibrations propagate around the line, inside the ground, and vibrate in any object they reach. These vibrations in the body are converted to other types of vibrations and displacements or heat, or changes in the environment. In some areas, there are buildings near the line, where the vibrations cause secondary vibrations, structural problems, and annoying noise. Several factors affect the transmission of vibrations due to the movement of the train to the surrounding buildings. One of these factors is the length of the transmission path, which is inversely proportional to the level of vibration created in the body. In order to reduce ground vibrations caused by the movement of trains in buildings, first, the background of the technical literature on the subject has been studied. In the following, some solutions have been developed in the path of vibration transmission and then these solutions have been expanded by the brainstorming method and new solutions have been presented. There are suggestions for construction that are mentioned in the results for the most critical situation, namely the construction of a high-speed railway station with an iron wheel on an iron railway.

Keywords:

Principles of building construction, Ground vibrations, Building, Railways, Train.

۱- مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهانی، جمعیت شهری نیز رو به افزایش است. در گذشته، در شهرها فرض بر این بوده است که برای ساختمان‌سازی همه زمین‌ها می‌تواند مناسب باشد. در حال حاضر باید در این رابطه مجددا اطمینان حاصل شود. به این دلیل که سازه‌ها مکررا در بالا یا دور یا مجاورت خطوط راه آهن ساخته شده‌اند، بنابراین مشکلات انتقال ارتعاشات و سر و صدا ازطریق سازه به ساختمان‌های مجاور ناشی از راه آهن، نیاز به بررسی دقیق دارد. این ارتعاشات ممکن است ناشی از عوامل مربوط به حرکت قطار مثلا نامیزانی حرکت قطار یا وزن قطار، سرعت قطار و... و یا ناشی از مجموعه چرخ و ریل و سطح تماس چرخ و ریل مثلا ناصافی سطح تماس و از حالت دایره درآمدن چرخ بر اثر فرسودگی و... باشد [۱].

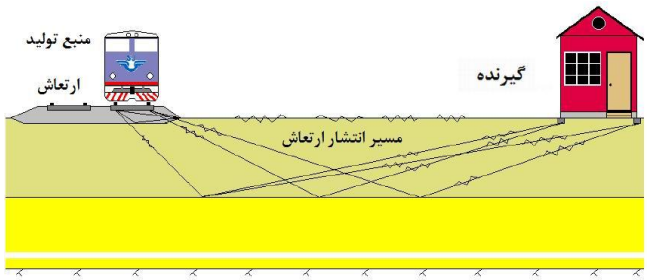
ارتعاشات ناشی از حرکت قطار یکی از معضلاتی است که بویژه در سرعت‌های بالای قطار نمایان می‌شود. این ارتعاشات بر دو نوع هوایی و زمینی است. اثر ارتعاشات زمینی که ناشی از برهم کنش چرخ و ریل است، در ساختمان‌های اطراف به صورت لرزش قابل احساس کف‌ها، سقف‌ها و پنجره‌ها، تکان خوردن اشیای روی قفسه‌های آویزان از سقف موجب هراس‌آوری برای ساکنان ساختمان، ظاهر می‌شود. اگر چه گاهی ترک خوردگی جزئی در ساختمان‌های نزدیک به خط مشاهده می‌گردد، اما در حالت عادی با وجود اقدامات پیشگیرانه، خرابی عمده در ساختمان‌ها در اثر ارتعاشات ناشی از حرکت وسایل نقلیه ریلی بسیار نادر است. بر عکس ارتعاش هوایی ناشی از انواع سیستم‌های حمل ونقل (معضل صدا)، ارتعاش زمینی معمولاً به عنوان معضل زیست محیطی محسوب نمی‌شود [۲].

در سال‌های اخیر در ایران هم در رابطه با موضوع ساختمان‌های مجاور و خطوط آهن تحقیقات بسیاری انجام شده است و همچنین پژوهش‌های آکادمیک و تجربی مختلفی توسط موسسات و بخش‌های علمی داخلی انجام شده است. در اینجا خلاصه‌ای از نتایج پژوهش‌های خارجی و داخلی به صورت مروری البته فقط در موضوع ارائه راهکارهای کاهش ارتعاش زمینی ریلی تاثیرگذار بر ساختمان مجاور خطوط آهن به همراه راهکارهایی که نگارنده چه از طریق نتایج حاصل از مدل نرم افزاری و چه از طریق سایر پژوهش‌ها و چه از طریق استفاده از روش طوفان مغزی کشف کرده و پی برده است، آمده است. ارتعاشات قطار از طریق زمین زیر بستر ریلی منتشر می‌شوند و به پی ساختمان‌های مجاور خطوط آهن منتقل می‌شوند.

مطابق شکل ۱، برای کاهش ارتعاشات زمینی ریلی تاثیرگذار بر ساختمان مجاور، می‌توان از سه گونه راهکار استفاده کرد:

- راهکار اول کاهش ارتعاشات در مبدا یعنی در محل تولید ارتعاش به عبارت دیگر کاهش ارتعاشات در خط و بستر و قطار و چرخ و ریل می‌باشد.
- راهکار دوم کاهش ارتعاشات در مسیر منتقل شده از قطار به ساختمان است که از طریق راهکارهایی در مسیر انتقال ارتعاشات به پی ساختمان است.
- راهکار سوم کاهش ارتعاشات در ساختمان می‌باشد که در موضوع اخیر عمده روش‌های کاهش ارتعاش در ساختمان در محل پی یا زیر پی می‌باشد.

در این تحقیق راهکارهای دوم و سوم که به اصول ساختمان سازی در مجاورت خطوط آهن مربوط می‌شود، آمده است.



شکل ۱: ساختمان مجاور خط آهن و منبع و مسیر و گیرنده ارتعاش زمینی [۳].

۲- فاکتورهای تاثیرگذار و تمهیدات کاهش ارتعاشات

ارتعاش از منبع ارتعاش به سمت گیرنده ارتعاش به سه صورت موج‌های فشاری، موج‌های برشی و موج‌های سطحی خصوصا موج رایلی منتقل می‌شوند. ساختمان‌های مجاور خطوط راه آهن معمولا در فاصله‌ای از خط قرار می‌گیرند که موج‌های فشاری و برشی تاثیر و انرژی خود را از دست می‌دهند ولی تاثیر موج‌های رایلی باقی می‌ماند [۴ و ۵]. یکی از مشکلات اصلی تخمین دقیق اثر ارتعاشات زمینی ناشی از حرکت قطار بر ساختمان‌ها، تعداد فاکتورهای مؤثر بسیار زیاد تاثیرگذار بر گیرنده ارتعاش می‌باشد. پارامترهای اصلی فیزیکی موثر در پدیده ارتعاش ناشی از حرکت وسایل نقلیه ریلی و به تبع آن روش‌های کاهش ارتعاشات خط به سه دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه به اختصار بررسی می گردد [۶-۸]:

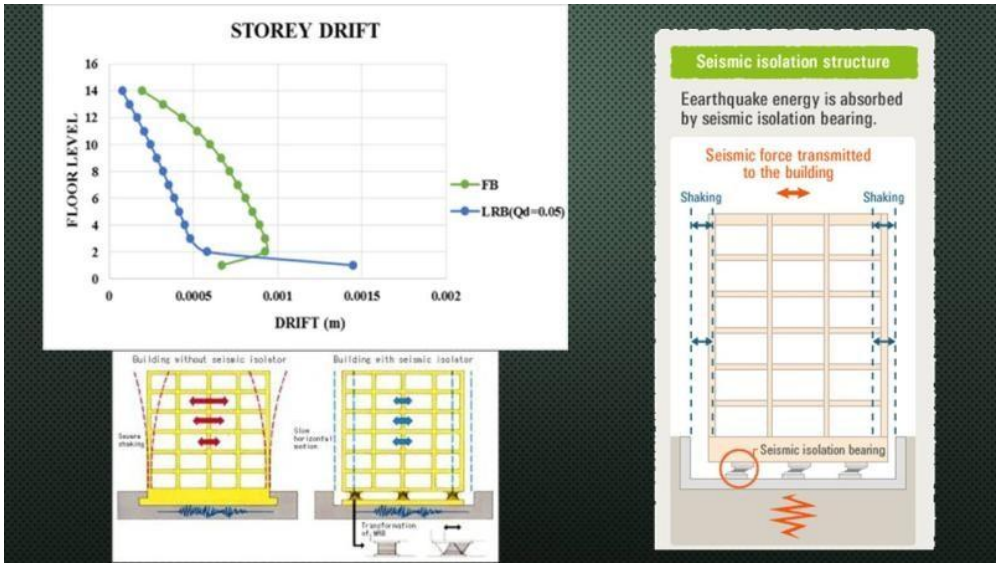
۲-۱- عوامل مؤثر بر منبع ارتعاش (خط و وسیله نقلیه)

- **سیستم تعلیق وسیله نقلیه:** در صورتیکه سختی سیستم تعلیق وسیله نقلیه در جهت قائم بزرگ باشد، نیروهای مؤثر ارتعاش بزرگتر خواهد بود. در واگن‌های حمل مسافر، تنها سیستم تعلیق اولیه بر سطح ارتعاش تاثیرگذار می‌باشد و سیستم تعلیق ثانویه که بدنه واگن را نگه می‌دارد تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.
- **نوع و وضعیت چرخ:** استفاده از چرخ‌های ارتجاعی بهترین راه جهت کنترل ارتعاش منتشر شونده درون زمین می‌باشد. به دلیل مزایای چرخ‌های فولادی استفاده از چرخ‌های ارتجاعی عادی در سیستم‌های ریلی مسافری معمولاً منطقی نیست.
- **سطح غلتش ریل:** خط و سطح غلتش ریل د ارای ناهمواری، اغلب باعث بوجود آمدن مشکلات ارتعاشی می‌گردد. نگهداری سطح ریل و حذف ناهمواری و پستی بلندی‌های کوچک تا حدی مشکل را مرتفع می‌سازد.
- **سیستم تکیه‌گاه خط:** در سیستم‌های ریلی، سیستم تکیه‌گاه خط یکی از المان‌های تعیین کننده در تعیین میزان بزرگی سطح ارتعاش زمینی می‌باشد. بزرگ‌ترین سطح ارتعاش در خطوطی که به صورت صلب متصل به بستر بتنی می‌شوند، به وجود می‌آید.
- **سرعت وسیله نقلیه:** همان طور که انتظار می‌رود، سرعت بیشتر باعث افزایش سطح ارتعاش می‌گردد. معمولاً دو برابر شدن سرعت باعث افزیش سطح ارتعاش بین ۴ تا ۶ دسی بل می‌باشد.
- **ابنیه فنی:** به عنوان یک قانون کلی با افزایش وزن ابنیه فنی تکیه گاه خط، بزرگی ارتعاش کاهش می‌گردد. سطوح ارتعاش در تونل‌های حفاری شده سبک معمولا بزرگ‌تر از تونل‌های زیر زمینی باکس بتنی سنگین‌تر می‌باشد.
- **عمق منبع ارتعاش:** تفاوت‌های زیادی در رابطه با ماهیت و خصوصیات منبع ارتعاش زیر زمینی نسبت به منابع سطحی ارتعاش وجود دارد .

۳- پیشینه ادبیات فنی

۳-۱- ادبیات موضوع با تاکید بر محل پی ساختمان

در نوع سوم از راهکارهای کاهش ارتعاشات، هدف کاهش ارتعاشات زمینی ریلی در هنگام رسیدن به پی ساختمان می‌باشد که با توجه به راهکارهایی که در مراجع در راستای کاهش اثر زلزله بر ساختمان مطرح شده است یکی از راهکارهای مناسب در این رابطه استفاده از "جداساز لرزه ای برای سازه‌ها" در محل پی یا زیر پی می‌باشد. مطابق شکل ۲، به‌واسطه جداساز لرزه‌ای عمده ارتعاشات مربوطه توسط جداساز مهار می‌شود و مقدار لرزش بسیار کمی تا ساختمان می‌رسد در حدی که لرزش ساختمان و ارتعاشات رسیده به ساختمان قابل صرف نظر کردن است [۹].



شکل۲: عملکرد جداساز لرزه ای در زیر پی ساختمان [۹].

برای کاهش اثر زلزله بر ساختمان‌ها در زیر ساختمان‌ها مواد یا تجهیزات ارتجاعی به کار می روند که باعث می‌شود در هنگام بروز زلزله ارتعاشات و لرزش‌های عمده زلزله توسط این جداگرها در زیر پی مهار شود و ساختمان دچار لرزش قابل ملاحظه‌ای نشود. جداساز لرزه‌ای انواع مختلفی دارد که می‌تواند شامل لاستیک، پاندول اصطکاکی و باربرهای لغزنده و وسیکوز یا لزجی و ارتجاعی و... باشد. از جداسازهای لرزه‌ای آنچه مخصوصا نگارنده راجع به آن از طریق مدل اجزاء محدود توسط نرم افزار انسیس به نتایجی رسیده است، استفاده از لایه‌های میراگر می‌باشد که با توجه به مشخصات نمونه‌ای که از شرکت آلمانی BSW تحویل شد مدل‌سازی نرم افزاری برای ساختمان مجاور خطوط آهن تحت اثر تردد عبور قطارها انجام شد که در نهایت مشاهده شد که جابجایی و سرعت ذره ارتعاش حاصله در ساختمان کاهش عمده‌ای نسبت به حالت بدون استفاده از لایه‌های میراگر داشت[۱۰]. در مدل نرم افزاری لایه‌های شرکت آلمانی BSW در زیر پی ساختمان پهن و گسترده شده وباعث کاهش ارتعاشات منتقل شده به ساختمان شد.

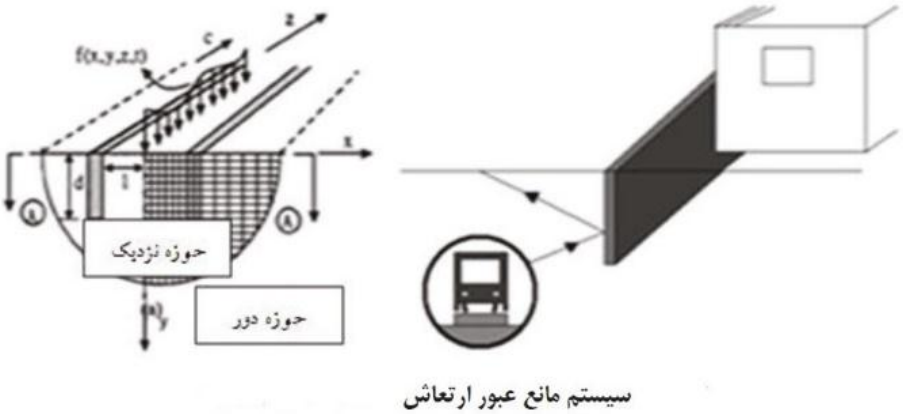
۳-۲- ادبیات موضوع با تاکید بر مشخصات ساختمان مجاور خطوط آهن

با افزایش وزن ساختمان میزان ارتعاشات دریافت شده در ساختمان به دلیل افزایش سطح تنش زیرساختمان، کاهش می‌یابد. همچنین اگر ساخت و ساز ساختمان به نحوی باشد که مدول الاستیسیته مصالح به کار رفته در ساختمان افزایش یابد، اثر ارتعاشات به ساختمان کاهش می‌یابد به طور مشابه در اندازه گیری ارتعاش به صورت تجربی مشاهده شده است که با افزایش مدول الاستیسیته خاک اطراف تونل که قطارها از آن تردد می‌کنند، میزان لرزش سطح زمین کاهش می‌یابد[۱۱].

۳-۳- ادبیات موضوع با تاکید بر کاهش ارتعاش در مسیر انتقال

۳-۳-۱- سنگرهای باز

در مقالات لاتین اصطلاحی به عنوان trench در موضوع مربوطه استفاده می شود که ترجمه این کلمه به فارسی کلمات چال، جان پناه یا استحکامات خندق می شود و در منابع فارسی اصطلاح آن را "سنگر باز" می گویند البته سنگرباز گاهی ترانشه باز نیز گفته می شود.[۱۲].

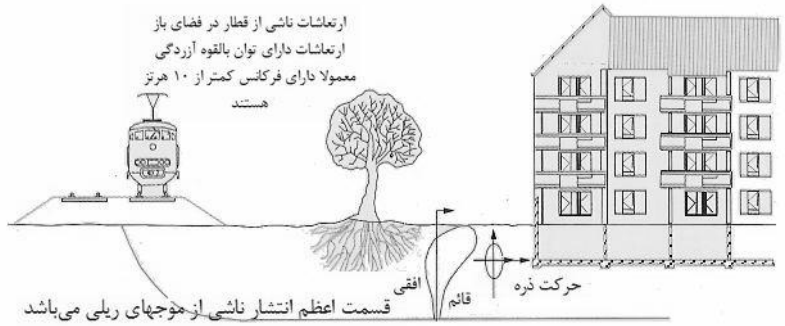


شکل۳: دیوار واقع در سنگر باز در مسیر انتقال ارتعاش زمینی ریلی به ساختمان [۱۲].

مطابق شکل ۳، در سنگرهای باز در خاک در مسیر انتقال ارتعاش، ساختمان مجاور خطوط آهن می توان از مصالحی همچون بتن، سنگ‌های متخلخل یا سنگ گچ، آب و... استفاده کرد که بتن اشاره شده در سنگر باز می‌تواند شامل دیوار بتنی یا شمع بتن و سنگ‌های اشاره شده در سنگر باز می تواند تحت عنوان بلوک باشد، همچنین پلاستیک ارتجاعی سخت می تواند در سنگرباز در قالب بلوک هایی موجود باشد. در برخی منابع اشاره شده است که از ترانشه‌های V شکل استفاده شود. همچنین در سنگر باز امکان دارد یک لایه خاک نرم در بین دو لایه خاک سخت‌تر قرار گیرد که سبب استهلاک و محبوس شدن انرژی حاصل از ارتعاش می شود. و در مواردی اشاره شده است که سنگرهای باز با خاک دست ریز یا حتی یونولیت یا پوکه های صنعتی پر شده است. اگر سنگر باز با آب پر شود، می‌توان کانال، عمق ۲ تا ۳ متر در حاشیه خط آهن و به موازات خط آهن ایجاد کرد که حد فاصل ریل و ساختمان های مجاور ریل قرار گیرد. در همه موارد اشاره شده سنگرهای باز به عنوان یک مانع جداسازی در کاهش لرزش ناشی از قطارها عملکرد خوبی دارند.

۳- ۳-۲- سایر عوامل کاهش ارتعاش در مسیر انتقال

در برخی از مراجع وجود خاکریز در مسیر انتقال ارتعاش عملکرد خوبی در کاهش لرزش ساختمان دارد خاک ریز ممکن است کوبیده شده یا دست ریز باشد [۱۳]. مطابق شکل ۴، ایجاد چند ردیف از درختان از گونه‌هایی که دارای ریشه‌های انبوه و به عمق ۲ تا ۳ متری باشند می‌تواند باعث جذب ارتعاشات و هدایت امواج ارتعاشی از زمین و انتقال آن به تنه‌ی درخت و سپس شاخه‌ها و برگ‌ها شود. همچنین باتوجه به تامین رطوبت خاک و ایجاد فاصله در ذرات خاک می‌تواند باعث جدا شدن امواج ارتعاشی شود.



شکل ۴: درخت و ریشه عمیق درخت در مسیر انتقال ارتعاش زمینی ریلی به ساختمان [۱۳].

۴- استفاده از طوفان مغزی

با به کارگیری روش طوفان مغزی راهکارهایی جدید پیشنهاد می‌شود که در ادامه ارائه شده است:

۴-۱- راهکارهای حاصل از روش طوفان مغزی با تاکید بر مسیر انتقال ارتعاش و همچنین محل پی

تحت عنوان مصالح جداگر لرزه‌ای در محل پی ساختمان یا مصالح پرکننده سنگرهای باز می توان از مواد احیانا با خاصیت شیمیایی خاص استفاده شود که انرژی حاصل از ارتعاش را جذب کند یا انرژی حاصل از ارتعاش به انرژی های دیگر تبدیل شود یا انرژی حاصل از ارتعاش به محل دیگری غیر از ساختمان منتقل شود.

همچنین در مسیر انتقال ارتعاش یا در محل جداگر لرزه‌ای می‌توان از روغن یا آب یا احیانا (بالشتک) هوای فشرده یا احیانا آب(مثلا در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالا است می‌تواند کاهش دهنده ارتعاشات باشد) استفاده شود که تحت عنوان جذب امواج ارتعاشی استفاده شوند.

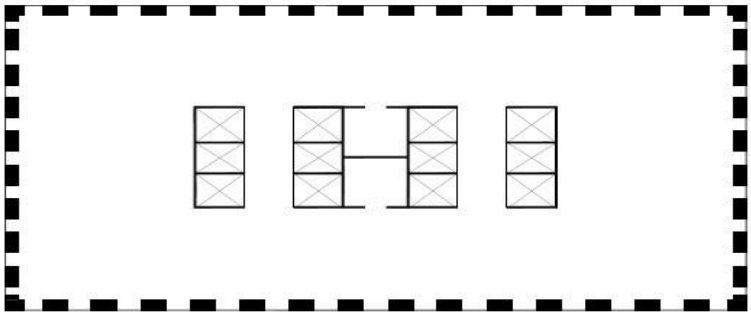
۴-۲- راهکارهای حاصل از روش طوفان مغزی با تاکید بر مشخصات ساختمان

قاعدتا در صورت افزایش ابعاد اجزاء ساختمان و همچنین افزایش ابعاد کلی ساختمان سطح ارتعاش اثرگذار در ساختمان کمتر می‌شود و احیانا افزایش ضخامت سقف‌ها و افزایش ضخامت دیوارها باعث کاهش ارتعاشات تاثیرگذار بر ساختمان شود. فشرده نبودن فضاهای موجود در ساختمان و به طور کلی افزایش حجم کلی ساختمان به موضوع کاهش ارتعاشات دریافت شده بر ساختمان تاثیرپذیر است.

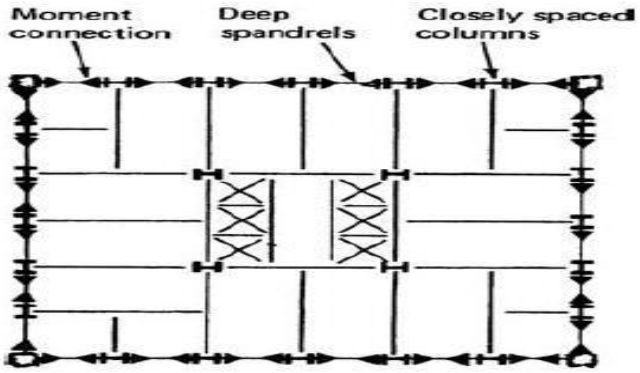
۵- استفاده از اصول ویژه ساختمان سازی در مقابل زلزله (مشابهت با ارتعاشات زمینی ریلی)

۵-۱- سیستم‌های سازه‌ای خاصّ و جدید

در ساختمان‌سازی برای تاثیر مناسب تر ساختمان‌ها در برابر زلزله از سیستم‌های سازه‌ای جدید مطابق شکل‌های ۵ و ۶ استفاده می‌شود با توجه به تشابه ارتعاشات زلزله و ارتعاشات حاصل از قطار که هر دو شامل ترکیب بارهای هارمونیک گوناگون می‌باشند (البته زمان زلزله کوتاه‌تر و شدت زلزله بیشتر است) لذا در مواقعی که ساختمان بسیار نزدیک خط ریلی می‌باشد (با فاصله حدود ۲ متر از خط ریلی) مثلا در ساختمان ایستگاه راه آهن سریع السیر با حرکت چرخ آهنی روی ریل آهنی اگر هدف، عدم آسیب به ساختمان باشد به طوری که حتی به نازک کاری ساختمان آسیب نرسد می توان از سیستم‌های سازه ای جدید استفاده کرد. سیستم های توصیه شده جدید برای ایستگاه‌های راه آهن که بسیار نزدیک به خطوط ریلی می‌باشند مخصوصا در قطارهای سریع البته حرکت آهن روی آهن در ساختمان‌های فولادی شامل سیستم‌های خرپای بازویی کمربندی، مهاربندی کمانش تاب، مهاربندهای دارای آلیاژ حافظه دار شکلی و همچنین سیستم‌های لوله شامل لوله‌های مهاربندی شده و لوله‌های دسته بندی شده و در نهایت قاب‌های کامپوزیت می‌باشد[۱۴-۱۸]. سیستم های توصیه شده برای ساختمان‌های بتن آرمه شامل سیستم دیوارهای همبسته و تیر، سیستم های لوله ای شامل لوله با دهانه‌های بزرگ، لوله‌های کوچک، لوله با هسته، لوله بیرونی با مهاربندی کلی، لوله های دسته بندی شده و همچنین سیستم‌های قاب خمشی با تیرهای ماهیچه‌ای و سازه‌های هسته‌ای (دارای هسته در مرکز ساختمان) می‌باشد.



شکل ۵: پلان سیستم سازه‌ای لوله برای ساختمان اسکلت بتنی.



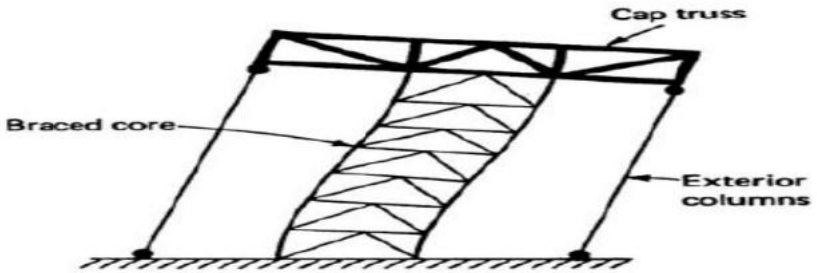
شکل ۶: پلان سیستم سازه‌ای لوله برای ساختمان اسکلت فولادی.

۵-۲- افزایش میرایی

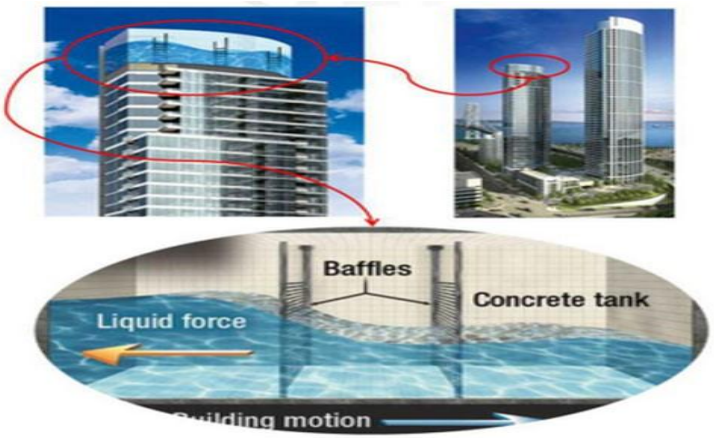
میرایی باعث استهلاک سیستم و کاهش ارتعاشات می شود یا به عبارت دیگر هر چه در ساختمان میرایی بیشتر باشد با کاهش بیشتر ارتعاشات ریلی زمینی که به ساختمان رسیده است مواجه می‌شوید و مناسب‌تر است برای افزایش میرایی در ساختمان راهکارهای زیادی وجود دارد اما در راستای افزایش میرایی در ساختمان به دو توصیه در اینجا بسنده می‌شود اول اینکه هرچه ارتفاع ساختمان کمتر باشد میرایی بیشتر است بنابراین توصیه می‌شود ساختمان‌های ایستگاههای راه آهن دارای تعداد طبقات زیاد نباشند و حداکثر در ۴ طبقه طراحی واجرا شوند. و دوم اینکه میرایی در سازه های اسکلت بتن بیشتر از میرایی در سازه های اسکلت فولادی است بنابراین توصیه می شود ساختمانهای ایستگاههای راه آهن از نوع اسکلت بتنی یا حتی احیانا اگر تعداد طبقه محدود است به دو طبقه از نوع سازه بنایی (به جهت افزایش قطر دیوارها در راستای کاهش ارتعاشات زمینی ریلی) باشد. لازم به ذکر است در سیستم‌های سازه‌ای خاص و جدید بایستی میرایی کم باشد اما به جهت اثر متقابل خاک و سازه در این ساختمان‌ها میرایی خاک به میرایی ساختمان اضافه می شود. لذا ساختمان‌ها با سیستم‌های سازه ای خاص و جدید برای ایستگاه‌های راه آهن (البته در هر مورد با توجه به طراحی خاص ساختمان تحت اثر ارتعاشات) توصیه می‌شود.

۵-۳- راهکارهای ویژه برای کاهش ارتعاشات در ساختمان

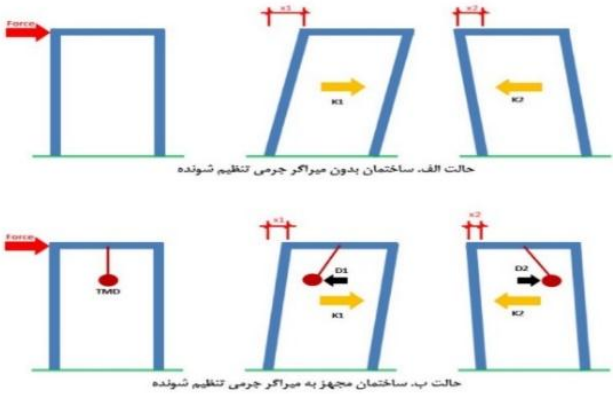
در راستای کاهش ارتعاشات ریلی در ساختمان راهکارهایی که عمدتا در موضوع مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در مقابل زلزله کاربرد دارد، در اینجا نیز می تواند موثر باشد که مطابق شکل‌های ۷ تا ۱۰، شامل استفاده از انواع میراگر رایج در ساختمان و همچنین راهکارهایی همچون طراحی استفاده از پاندول در بام ساختمان و یا تعبیه خرپا در بالای ساختمان و یا طراحی مناسب منابع ذخیره آب در بام یا ایجاد استخر در بام اشاره کرد.



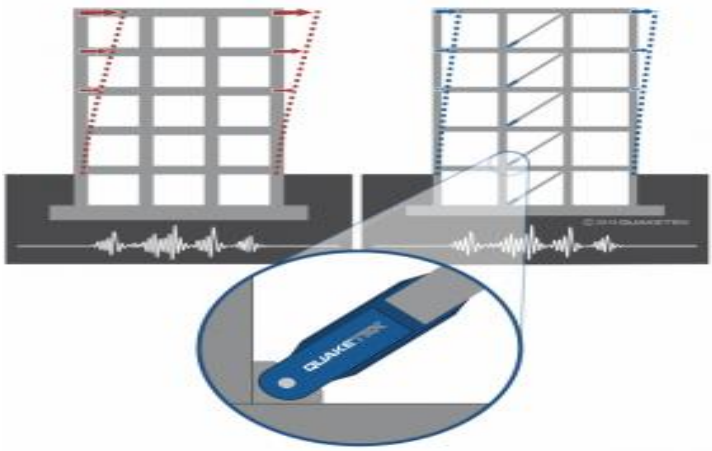
شکل ۷: خرپا در بالای ساختمان برای کاهش ارتعاشات وارد شده به ساختمان.



شکل ۸: منبع آب در بام ساختمان جهت کاهش ارتعاشات وارد شده به ساختمان.



شکل ۹: پاندول در بالای ساختمان جهت کاهش ارتعاشات وارد شده در ساختمان.



شکل ۱۰: میراگر در محل اتصال بادبند جهت کاهش ارتعاشات وارد بر ساختمان.

در ساختمان‌های بتنی هم ورق‌های FRP می‌تواند در راستای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در مقابل ارتعاش ریلی چه در اعضاء جدید ساختمان و چه در اعضاء فرسوده ساختمان اشاره کرد.

۶- بحرانی ترین ساختمان

ساختمانی که به ریل نزدیک‌تر باشد بحرانی‌تر است و هرچه سرعت قطارها بیشتر باشد ارتعاشات بیشتری به ساختمان واردمی شود. قطارهای با سرعت بیش از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت، سریع السیر می‌باشند که سرعت قطارها تا حدود بیش از ۶۰۰ کیلومتر بر ساعت با سیستم حرکت چرخ آهنی روی ریل آهن در دنیا وجود دارند، با توجه به این توضیحات بحرانی‌ترین ساختمان ایستگاه راه آهن سریع السیر با چرخ آهنی روی ریل آهنی می‌باشد.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در رابطه با ساختمان‌های مجاور خطوط آهن بحرانی‌ترین حالت، که تمام تمهیدات رانیاز دارد، برای ساختمان ایستگاه راه آهن سریع السیر با چرخ آهنی روی ریل آهنی می‌باشد . لذا توصیه‌هایی در راستای ساختمان‌سازی این ساختمان ایستگاه سریع السیر پیشنهاد می‌شود.

- ساختمان اسکلت بتنی و اگر تعداد طبقات محدود تا ۲ طبقه باشد، ساختمان می‌تواند ازنوع سازه بنایی با دیوارهای ضخیم باربر ساخته شود.
- اگر سازه ساختمان اسکلت دارد یکی از سیستم‌های سازه‌ای خاص وجدید طراحی وساخته می‌شود.
- درمسیر انتقال ارتعاش بین خطوط ریلی وساختمان موانعی مثلا خاکریز، ترانشه، دیواره بتنی و... ایجاد می‌شود.
- در زیر پی ساختمان از جداگر لرزه‌ای استفاده شود.
- از راهکارهای ویژه کاهش ارتعاش زلزله همچون ایجاد پاندول در بالای ساختمان استفاده شود.
- حتی الامکان ساختمان به گونه ای طراحی شود که تعداد طبقات ساختمان حداکثر حدود به ۴ طبقه محدود شود.
- در قسمت‌های مختلف ساختمان از میراگر استفاده شود.
- در طراحی و ساخت از مصالح سنگین‌تر استفاده شود.
- ساختمان طوری طراحی شود که ابعاد ساختمان و فضاها فشرده نباشد.
- ضخامت سقف و دیواره‌ها و سایر موارد بیشتر ازحالت معمول باشد.

۸- مراجع

[1]- Al Suhairy, 2000, **Prediction of ground vibration from railways**, Swedish National Testing and Research Institute.
[2]- Karimnezhad, Y., Asadi, E., Sharifi Moghaddam Kakhki, S. M., 2019, **Impact of train movement vibrations on nearby buildings**, in The 8th International Conference on Civil, Architectural, Environmental and Urban Management, London.
[3]- FTA, 2006, **Transit noise and vibration impact assessment**, Department of Transportation, FTA (Federal Transient Administration), USA.
[5]- ISO 14837-1, 2005, **Mechanical vibration—Ground-borne noise and vibration arising from rail systems– Part 1: General Guidance**., International Organization for Standardization (ISO), Geneva.
[6]- BS/ISO 4866, 2010, **Mechanical vibration and shock-Vibration of fixed structures-Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures**, ISO.
[7]-DIN 4150-3, 1999, **Structural Vibration–Part 3: Effects of vibration on structures**, DIN, German Institute for Standardisation, Berlin.
[8]- ISO 2631-1, 1997, **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements**, International Organization for Standardization.
[9]- Mehdizadeh, K., Hashemi, S., Sadeghi, A., Shobeyri, G., 2020, **Investigation of the Base Isolation in Improving the Behavior of Steel Buildings subjected to Earthquakes applied with Different Angles**, Analysis of Structure and Earthquake, 17(3), 1-12.
[10]- Luts Auersch, 2020, **simple and fast prediction of train-induced brad forces grand and building vibration**, Railway Engineering Science 28(3), 4-12.
[11]- DIN 4150-2, 1999, **Structural vibrations – Part 2: Human exposure to vibration in buildings**, DIN, German Institute for Standardisation.
[12]- Transit Noise and Vibration Impact Assessment, 2006, US Federal Transient Administration (FTA), Washington DC, USA.
[13]- Adam, O. V. E. M., 2005, **Reduction of train-induced building vibrations by using open and filled trenches**, Computers & structures, vol. Vol. 83, no. No.1, pp. PP. 11-24.
[14]- ISO 2631-2, 2003, **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)**, International Organization for Standardization.
[15]- Hashemi, S., Pouraminian, M., Sadeghi, A. 2021, **Seismic Fragility Curve Development of Frames with BRB's Equipped with Smart Materials subjected to Mainshock-Aftershock Ground Motion**, Journal of Structural and Construction Engineering, 8(9), 76-95.
[16]- Khizab, B., Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K., Nasseri, H. 2021. **Investigation the performance of Dual Systems Moment-Resisting Frame with Steel Plate Shear Wall Subjected to Blast Loading**, Journal of Structural and Construction Engineering, 8(8), 102-127.
[17]-Pouraminian, M., Hashemi, S., Sadeghi, A., Pourbakhshian, S. 2021, **Probabilistic Assessment the Seismic Collapse Capacity of Buckling-Restrained Braced Frames Equipped with Shape Memory Alloys**, Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 2).

[18]-Mehdizadeh, K., Sadeghi, A., Hashemi, S. 2021, **The Performance Investigation of Steel Moment Frames With Knee Braces Subjected to Vehicle Collision**, Journal of Structural and Construction Engineering, 8(5), 215-236.
[19]- Mehdizadeh, K., Hashemi, S., Sadeghi, A. 2019, **Investigation of Shear Lag Phenomenon in High-Rise Reinforced Concrete Structures with Tube-in-Tube System under the Effect of Wind Load**, Analysis of Structure and Earthquake, 16(3), 51-63.