



# پیشرفت‌ها، اخیر در مهندسی راه آهن

بسم تعالی

با سلام و احترام

بدینوسیله ضمن اعلام مراتب پاسکوزاری از شرکت حضرتعالی در دومین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه آهن

(ICRARE-2009) پذیرش مقاله با عنوان:

## ارزیابی اثر ارتعاشات قطار بر ساختمانهای مجاور خطوط آهن

نویسندگان: علیرضا آقایی فر، محمد علی رضوانی، جعفر بلوری بزاز

به استحضار می‌رسد، خواهشمند است برای آگاهی از زمان و چگونگی ارائه مقاله به وبگاه کنفرانس به آدرس [www.icrare.org](http://www.icrare.org) مراجعه فرمایید.

لازم به ذکر است که مطابق مصوبه کمیته علمی کنفرانس ارایه شفاهی مقاله (در مورد مقالات با پذیرش ارائه شفاهی) لازم است توسط مولف دارای بالاترین

مرتبه علمی از جمع مولفین مقاله ارائه گردد و ارائه شفاهی مقاله با ملحوظ نمودن این مصوبه اعلام گردیده است.

برای آگاهی از چگونگی ثبت نام نویسندگان برای دریافت مجموعه مقالات و بسته ویژه کنفرانس با دبیرخانه کنفرانس تماس حاصل فرمایید. حضور کلیه نویسندگان در

کنفرانس در محل دانشگاه علم و صنعت ایران در تاریخ ۶-۵ مهرماه ۱۳۸۸ مزید خوشحالی خواهد بود.

با سپاس

دکتر سید جواد میرمحمدصادقی

رئیس کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه آهن

حامی کنفرانس:  
شورکت مهندسی مشاور نقش ترسیم میلاد



Naqsh Tarsim Milad  
Consulting Engineers



## ارزیابی اثر ارتعاشات قطار بر ساختمانهای مجاور خطوط آهن

علیرضا آقائی<sup>۱</sup>، محمد علی رضوانی<sup>۲</sup>، جعفر بلوری بزازی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، علیرضا آقائی فر، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن، [araghaiefar@rail.iust.ac.ir](mailto:araghaiefar@rail.iust.ac.ir)

<sup>۲</sup>استاد یار، دکتر محمد علی رضوانی، دانشگاه علم صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن، [rezvani@mail.iust.ac.ir](mailto:rezvani@mail.iust.ac.ir)

<sup>۳</sup>استاد یار، دکتر جعفر بلوری بزازی، دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده مهندسی، گروه عمران، [bolouri@um.ac.ir](mailto:bolouri@um.ac.ir)

### چکیده

به این دلیل که سازه ها مکررا در بالا یا دور یا مجاورت خطوط راه آهن ساخته شده اند، بنابراین مشکلات انتقال ارتعاشات و سروصدا از طریق سازه به ساختمانهای مجاور ناشی از راه آهن، نیاز به بررسی دقیق دارد. [۱]

نوسانات حاصل از قطار به دو صورت ارتعاش و صدا منتشر می شود که می تواند از طریق هوا یا از طریق خاک بر ساختمان های مجاور ریل اثرگذار باشد. در این جا موضوع بحث ارتعاشاتی می باشد که از طریق زمین بر ساختمان های مجاور ریل تأثیرگذارند و بحث صدا مطرح نیست.

این ارتعاشات ممکن است ناشی از نامیزانی در حرکت قطار و یا ناشی از ناصافی سطح تماس چرخ و ریل باشند. ارتعاشات حاصل از قطار و منتقل شده از طریق خاک که به ساختمان های مجاور ریل اثر می گذارد، می تواند به سازه ساختمان اثرگذار باشد و یا می تواند از طریق ارتعاش اجزاء ساختمان و تولید صدا اثرگذار باشد و در نهایت ممکن است بر بهره برداران از سازه های مجاور ریل تأثیر بگذارد که در اینجا بحث تأثیرات بر سازه ساختمان های مجاور ریل مطرح است.

باتوجه به مباحث ایمنی سازه ساختمان های مجاور ریل، پر واضح است که موضوع فوق از اهمیت ویژه ای برخوردار است. دستاورد علمی این پژوهش مدل سازی ارتعاشات و همچنین مدلسازی خاک و ساختمان و اعمال ارتعاش در نهایت به ساختمان از طریق مدل میباشد. روش تحقیق نرم افزاری می باشد که ارتعاشات قطار به صورت نیرویی برحسب زمان به مدل نرم افزاری سیستم ریلی وارد شده و بعد از انتقال به خاک به ساختمان مجاور ریل وارد می شود. براساس مراجع معرفی شده محدوده آسیب به ساختمان مجاور ریل و محدوده خرابی ساختمان، باتوجه به خروجی نرم افزار قابل بررسی است. در این تحقیق به استاندارد 1 - ISO 14837 توجه ویژه ای داریم.

برای مدل سازی نرم افزارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت اما در نهایت از نرم افزار ANSYS استفاده شده است که قابلیت بررسی موضوع را دارد.

محاسبات نرم افزاری و بررسی ها در این تحقیق کلا در رابطه

در تحقیق حاضر سعی شده است اثرات ارتعاشات ریلی منتقل شده از زمین بر سازه ساختمان های مجاور ریل بررسی گردد. به عنوان مطالعه موردی، ساختمان هفت طبقه بتنی تالار شهر مشهد با کاربری فرهنگی و اداری که در مجاورت و بالای نزدیکترین ایستگاه قطار شهری به حرم مطهر (که در آینده تکمیل خواهد شد) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ورودی نرم افزار یکی از منحنی های موجود در متن استاندارد ISO 14837-1 به صورت منحنی خام استفاده شده که با تبدیلهای ریاضی آماده ورود به نرم افزار مورد نظر گردید. نتایج مدل نرم افزاری نشان می دهد که ارتعاشات آنی ناشی از عبور قطارها از ایستگاه بر ساختمان تالار شهر مشهد تأثیر قابل ملاحظه ای ندارد.

در مرحله دوم یک ساختمان فرضی یک طبقه با سازه ی بتنی به عنوان ساختمان مربوط به ایستگاه راه آهن بین شهری مدل شد، با توجه به محاسبات نرم افزاری مشابه مدل فوق الذکر، مشخص شد که احتمال آسیب به نازک کاری ساختمان وجود دارد.

در راستای راهکاری برای کاهش اثر ارتعاشات بر ساختمانهای مجاور ریل تکنولوژی دمپر که موجب کاهش اثرات ارتعاشات می گردد، مورد بررسی واقع شده است. نتایج مدل بیانگر کاهش اثر ارتعاشات قطار بر ساختمانهای مجاور ریل در صورت استفاده از چنین دمپرهایی استفاده کرد

**کلمات کلیدی:** نوسانات قطار، تماس چرخ و ریل، تحلیل فرکانسی، ایمنی سازه، حداکثر سرعت ذره

### مقدمه

جمعیت جهانی رو به افزایش است و جمعیت شهری نیز رو به افزایش است. در گذشته، در شهرها فرض بر این بوده است که برای ساختمان سازی همه زمینها می تواند مناسب باشند. در حال حاضر باید در این رابطه مجددا اطمینان حاصل شود.

با تاثیر ارتعاشات تحت بارهای آنی بر ساختمان میباید و بارگذاری مدت دار بررسی نشده است. لذا نتایجی که احتمال آسیب به ساختمان را مطرح خواهند کرد، حداقل آسیب میباید یا به عبارت دیگر در این تحقیق هر جا احتمال آسیب به ساختمان مشخص شود، حتی تخریب های بیشتر از آنچه مطرح شده است امکان بروز دارد.

## بدنه اصلی مقاله

### مفاهیم و اصطلاحات

حداکثر سرعت ذره یا حداکثر شتاب ذره: مبنای سنجش ارتعاشات حاصل از قطار که قابل اندازه گیری می باشد، سرعت یا شتاب ذره می باشد که به واحد متر بر ثانیه یا متر بر مجذور ثانیه و یا دسی بل بیان می شود.

دسی بل: کمیت دسی بل مطابق با رابطه زیر تعریف می گردد. که در آن  $X_0$  کمیت مرجع می باشد که بسته به نوع کشور و استاندارد مورد نظر سرعت یا شتاب ذره انتخاب می گردد. در آمریکا مقدار مرجع  $10e-6$  متر بر ثانیه به عنوان مقدار مرجع برای سرعت ذره در نظر گرفته می شود و در کشورهای اروپایی مقدار مرجع برای سرعت مرجع دارای مقادیر متفاوتی از جمله  $10e-8$ ،  $0.5*10e-8$ ،  $10e-9$

متر بر ثانیه مورد استفاده قرار می گیرد. برای مثال در استاندارد سوئد ((SS 460 48 61 (1992)) مقادیر  $10^{-9}$  متر بر ثانیه و  $10^{-6}$  متر بر مجذور ثانیه به ترتیب برای سرعت و شتاب مرجع مورد استفاده قرار می گیرد. [۲]

$$dB = 20 \cdot \log \left( \frac{X}{X_0} \right) \quad (1)$$

لازم به ذکر است در این تحقیق مقادیر  $10^{-9}$  متر بر ثانیه و  $10^{-6}$  متر بر مجذور ثانیه به ترتیب برای سرعت و شتاب مرجع مورد استفاده قرار می گیرد.

### اثر ارتعاشات بر ساختمانهای مجاور ریل

کشورهای اسکاندیناوی از جمله کشورهای پیشرو در امر ارزیابی ارتعاشی ناشی از انواع سیستم های حمل و نقل از جمله قطار شهری می باشد. سوئد نیز از جمله کشورهایی است که به مقوله ارزیابی ارتعاشی سیستم های حمل و نقل ریلی بسیار پرداخته است، مرکز تحقیقات حمل و نقل سوئد در رابطه با بررسی ارتعاشی سیستم حمل و نقل ریلی مطلب زیر را ارائه داده است:

تجربیات بدست آمده از اندازه گیریهای متعدد نشان می دهند که در شرایط بسیار نادر ارتعاشات ناشی از حرکت قطار در فاصله ۱۵ متری از محور خط از ۴ تا حتی ۲ میلی متر بر ثانیه بیشتر می شوند. بنابراین امکان ایجاد آسیب ارتعاشی ناشی از عبور

قطار به ساختمان های مجاور خط بسیار پایین می باشد و در برخی موارد که ساختمان بسیار نزدیک به خط ریلی باشد، و شرایط ارتعاشی خط نیز بسیار بحرانی فرض گردد، آسیب به نازک کاری ساختمان مشاهده گردیده است. معمولاً حد بزرگی آستانه ارتعاشات زمینی جهت ایجاد آسیب به نازک کاری ساختمانها حداقل ۳ برابر بیشتر از بزرگی ارتعاش ناشی از ترافیک ریلی در فاصله ۱۵ متری از خط می باشد و بنابراین آسیب سازه ای در فاصله بیش از ۱۵ متر از محور خط برای قطارهای شهری و حتی قطارهای سریع السیر مصداق ندارد. [۲]

### استانداردهای مربوطه

در رابطه با موضوع مورد بحث بعضی از استانداردهای بین المللی و ملی مطالبی را ارائه میدهند که به عنوان نمونه استاندارد ISO14837-1 «تحت عنوان عمومی نوسانات مکانیکی ناشی از سیستم ریلی که از طریق خاک عبور می کند و شامل صدا و ارتعاش می باشد» مطرح است، در این استاندارد به طور کلی مبانی و نظرات عمده ای راجع به موضوع فوق بیان شده است و مخصوصاً در عناوینی و در متن استاندارد به طور کامل به بحث اثر ارتعاشات بر سازه ساختمان های مجاور ریل پرداخته است. [۳]

در این استاندارد مبنای بررسی اثر ارتعاشات برای ارزیابی خرابی ساختمان ها، حداکثر سرعت ذره می باشد که با واحد دسی بل مد نظر قرار گرفته است. قطاری که از روی ریل عبور می کند از دو طریق می تواند به خاک زیر ریل ارتعاش وارد کند

۱- در حرکت قطار و تجهیزات متحرک قطار در حین عبور می تواند نامیزانی به نسبت آن چه قطار در حالت نو و سالم و مناسب کار می کند، ایجاد شود که باعث به وجود آمدن ارتعاشاتی می شود و موضوع مورد بررسی در این تحقیق اثراتی از این ارتعاشات است که به سطح تماس چرخ و ریل می رسد.

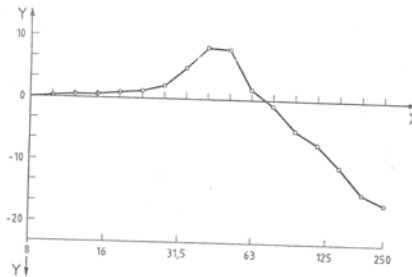
۲- باتوجه به طول عمر سیستم ریلی و با قطار، وجود ناصافی در سطح ریل و پخی در چرخ غیرقابل اجتناب است که قسمت عمده ارتعاشات تأثیرگذار بر زمین از این گونه ارتعاشات می باشد. ارتعاشاتی که تولید می شود دارای سرعت های ذره مختلفی می باشند و آن چه مبنای عمل است، حداکثر سرعت ذره می باشد.

این استاندارد در بحث اثر ارتعاشات، منحنی بخش ۵ از شکل ۲ را ارائه داده است که تغییرات ایجاد شده الگو در تماس چرخ و ریل می باشد. این نمودار در شکل ۱ آمده است. محور قائم نمودار دسی بل و محور افقی نمودار فرکانس می باشد.

جهت ارتباط نمودار شکل ۱ با حداکثر سرعت ذره، به تعریف دسی بل در بخش قبل مراجعه شود.

لذا نقطه حداکثر منحنی شکل ۱ معادل حداکثر سرعت ذره می باشد. در این تحقیق منحنی شکل فوق از استاندارد به عنوان منحنی خام جهت انجام محاسبات نرم افزاری مبنای عمل قرار گرفته است، که در رابطه با منحنی لازم به ذکر است باتوجه به شواهد موجود در متن استاندارد و مقادیر واقعی حداکثر سرعت ذره در

سطح تماس چرخ و ریل، محور قائم منحنی که بنا به توضیح شکل در متن استاندارد "تغییرات (افزایش) ایجاد شده الگو در تماس چرخ و ریل و پیش بینی شده در مدل قطار و خط" و همچنین توضیحات محور قائم در متن استاندارد "دسی بل: تغییر (افزایش) ایجاد شده در تماس چرخ و ریل وابسته به خط تعریف شده مینا"، لذا منحنی باید در راستای محور قائم انتقال یابد یا به عبارت دیگر سرعت ذره با نسبتی بزرگتر از عدد یک افزایش یابد، تا به منحنی مدنظر برای سرعت های معمولی قطار تبدیل شود.



شکل ۱: مثالی از تغییرات ارتعاشات در سطح تماس چرخ و ریل که از استاندارد ISO 14837-1 اقتباس شده است. محور قائم بر حسب دسی بل و سرعت ذره ناشی از ارتعاش میباید محور افقی بر حسب فرکانس میباید

در این استاندارد به بحث های ارزیابی خرابی ساختمان های مجاور ریل و ریسک خرابی ساختمان های مجاور ریل تحت تأثیر ارتعاشات قطار منتقل شده از خاک، مستقیماً اشاره شده است که نشان دهنده اهمیت موضوع از لحاظ ایمنی می باشد. در بخش هایی از این استاندارد آمده است:

«نوعاً فرکانس های مهم از ۱۰۰ هرتز کمتر می باشد، زیرا آنها پاسخ ساختمان را مشخص می کند» و همچنین «محدوده مناسب فرکانس برای ارزیابی ریسک ارتعاشات وارد شده و تأثیرگذاری در خرابی سازه ها و ساختمان ها از ۱ هرتز تا ۵۰۰ هرتز می باشد، هرچند در موارد بسیاری ریسک بیشتر خرابی با فرکانس های پایین ارتباط دارد» و همچنین «بیشتر ساختمان ها تحت تأثیر فرکانس در محدوده ۱ تا ۱۵۰ هرتز در معرض خرابی قرار می گیرند» لذا در این تحقیق جهت بررسی خرابی ساختمان های مجاور ریل محدوده فرکانس ۱ تا ۱۰۰ هرتز مبنای عمل قرار گرفته است به طوری که حداکثر سرعت ذره مورد بررسی در ساختمان در این محدوده مبنای نتایج تحقیق می باشد.

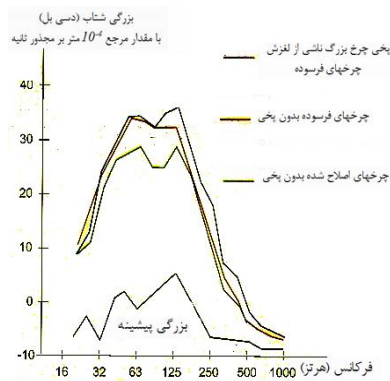
#### حد آسیب به ساختمان

اگر حداکثر سرعت ذره در ساختمان به ۲ میلی متر بر ثانیه برسد، نازک کاری ساختمان آسیب می بیند یا به عبارت دیگر در نازک کاری ترک ایجاد میشود یا ترکهای قدیمی دوباره باز

میشوند واگر ساختمان قدیمی و تاریخی باشد در این حد، دچار خرابی میشود. همچنین اگر حداکثر سرعت ذره به ۵۰ میلی متر بر ثانیه برسد خرابی سازه ای جدی در ساختمانها ایجاد میشود. [۴] مواردی از آزمایش انجام شده وارائه شده در مقالات آکادمیک در این رابطه آزمایشات فراوانی در سطح دنیا انجام شده است به گونه ای که شتاب ذره و یا سرعت ذره در فواصل مختلف از ریل و در ساختمان های مجاور ریل اندازه گیری شده است: مقایسه سیستم ریلی فرسوده ونو چندین آزمایش ارتعاشی توسط کمیته ORE D 151 انجام پذیرفته

است که در این قسمت به یکی از آنها اشاره می گردد. [۲] شکل زیر طیف شتاب اندازه گیری شده در طبقه اول یک ساختمان در حین عبور قطار به سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت را نمایش می دهد. در آزمایش سه وضعیت چرخ مورد بررسی قرار گرفت. چرخهایی با پروفیل اصلاحی نو و جدید، چرخهایی که حدود ۱۵۰۰۰۰ کیلومتر در سرویس بوده اند، و چرخهای فرسایش یافته با بهره برداری بیش از ۱۵۰۰۰۰ کیلومتر که در آنها پخی چرخ ناشی از لغزش چرخهای قطار مثلاً به علت ترمزگیری اضطراری شکل گرفته بود.

همانطور که از شکل زیر نیز برآورد می گردد، فرکانس های اندازه گیری شده در محدوده ۳۰ الی ۲۵۰ هرتز هستند. طوقه های چرخ سایش یافته در سرویس تأثیر قابل ملاحظه ای بر بزرگی ارتعاش نسبت به چرخهای با پروفیل اصلاح شده و نو دارند. پخ شدگی چرخ نیز افزایش بیشتر ارتعاش در فرکانس های بیش از ۶۰ هرتز بوجود می آورد. ارتعاشات بوجود آمده ناشی از ضربات پخ شدگی های چرخ با فرکانس بالاتری به ساختمان های مجاور منتقل می گردد و اثر اکوستیک دارد.



شکل ۲: ارتعاش اندازه گیری شده در یک ساختمان نزدیک به یک راه آهن زیر زمینی

افزایش ارتعاش در اثر ناهمواریهای ریل نیز مثلاً وجود درز ریل یا خرابیهای ناشی از غلنتک زنی ریل، متصور می باشد. به علت موج کوتاه خرابیها و ناهمواریهای ریل آنها سهم زیادی در ارتعاشات با فرکانس پایین ندارند. با توجه به منحنی فوق حداکثر شتاب ذره تأثیر گذار بر خرابی

هنوز تکمیل نشده است.

نقشه های ساختمان هفت طبقه و ایستگاه (که در زمان مدل سازی تحقیق حاضر) در حد نقشه های معماری آماده شده بود، از مدیریت محترم طرح میدان شهدا اخذ شد و همچنین کلیه مشخصات موردنیاز جهت مدل سازی مثلاً شامل مشخصات خاک محل، مشخصات سیستم ریلی و... در همکاری با شرکت محترم قطار شهری مشهد اخذ شد.

در مطالعه موردی، سرعت قطار سبک شهری ۸۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد و فرض شده که دو قطار در یک جهت همزمان از ایستگاه عبور کنند، یا به عبارت دیگر بد بینانه ترین حالتی که امکان عبور دو قطار در ایستگاه با حد اکثر سرعت و در یک جهت میباشد فرض شده است.

مورد دوم ساختمان ایستگاه بین راهی فرضی که از هر طرف آن یک خط ریلی عبور می کند در نظر گرفته شد. قطار موردنظر سریع السیر با بیشترین سرعت آزمایش شده در جهان در خطوط عادی تا سال ۲۰۰۷ فرض شده است که این سرعت ۵۷۴.۸ کیلومتر بر ساعت میباشد. [۶]

هدف از مدل سازی ارزیابی اثر ارتعاشات قطار بر سازه ساختمان تالار شهر مشهد و ساختمان ایستگاه بین راهی فرضی می باشد.

در مدل سوم ونهایی ارتعاشات اثرگذار به ایستگاه بین راهی فرضی با تکنولوژی دمپر کاهش می یابد.

ورودی نرم افزار

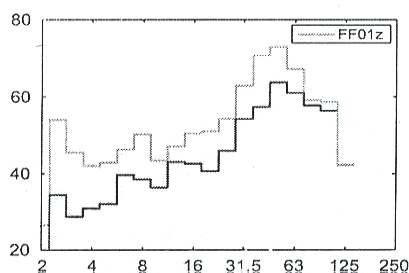
ورودی نرم افزار قاعدتاً باید ارتعاشات حاصل از قطار باشد. همان طور که در فصل قبل آمد، جهت ورودی نرم افزار از منحنی شکل 2-e از استاندارد ISO 14837 - 1 به عنوان منحنی خام استفاده شده است. این منحنی مثالی از تغییرات سرعت ذره ارتعاش برحسب دسی بل را در مقابل فرکانس ترسیم کرده است که ارتعاشات در نقطه تماس چرخ و ریل ارائه شده اند. همانطور که در قبل توضیح داده شد باتوجه به متن استاندارد که مثالی از تغییرات ارتعاشات قطار را به شکل ۱ مطرح می کند، اعداد محور قائم باید در ضریبی مناسب ضرب شود تا با افزایش ارتعاشات به ورودی نرم افزار برسیم.

آن چه در اثر ارتعاش قطار بر ساختمان مجاور ریل مبنای عمل می باشد، حداکثر سرعت ذره می باشد لذا برای تعیین منحنی واقعی ارتعاش در سطح تماس چرخ و ریل، به اندازه واقعی حداکثر سرعت ذره برای سرعت های قطار در دو نوع مدل نیاز داریم. باتوجه به تحقیقات انجام شده و ارائه شده در مقالات، شکل ۴ که طبق آزمایشات انجام گرفته در لندن حداکثر سرعت ذره را برحسب سرعت قطار در محل تماس چرخ و ریل ارائه می دهد مبنای محاسبات قرار گرفت. [۷]

ساختمان در محدوده ۱ تا ۱۰۰ هرتز برای حالت سیستم ریلی فرسوده حدود ۲۰ درصد بیش از سیستم ریلی نو میباشد. اما بر اساس مقدار مرجع شتاب در این تحقیق و بر مبنای محاسبات از شکل منحنی ۲، نتیجه میشود که حداکثر شتاب ذره و به طور مشابه حداکثر سرعت ذره تاثیر گذار بر خرابی ساختمان در محدوده ۱ تا ۱۰۰ هرتز برای حالت سیستم ریلی فرسوده حدود ۱۰ درصد بیش از سیستم ریلی نو میباشد. بنابراین حداکثر سرعت ذره (بر مبنای واحد دسی بل) هم در این محدوده جهت مقایسه نسبت سیستم ریلی فرسوده به نو حدود از ۱.۱ میباشد.

مقایسه نتایج محاسبات عددی با آزمایش

بر اساس مقایسه نتیجه محاسبات تعیین حداکثر سرعت ذره ارتعاشات زمینی حاصل از قطار به روش اجزا محدود با اندازه گیریها در فاصله معینی از خط (اندازه گیری شده در لندن) منحنی زیر ارائه شده است [۵]



شکل ۳: مقایسه نتایج محاسبات (منحنی سیاه رنگ) با آزمایش (منحنی خاکستری رنگ) که محور قائم کمیت مجذور میانگین مربعات (rms) مربوط به سرعت ذره با واحد دسی بل (با مقدار مرجع  $10e-8$ ) و محور افقی فرکانس میباشد

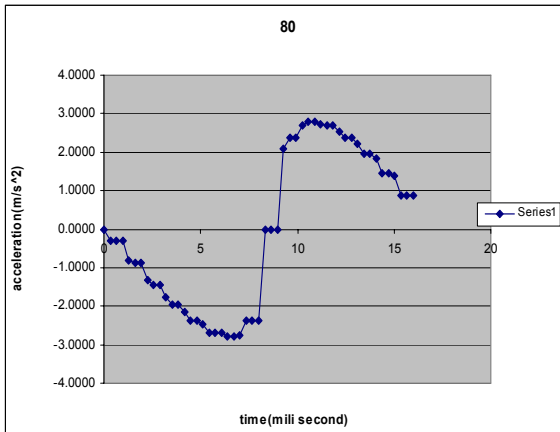
بر اساس مقایسه نتایج محاسبات با آزمایش که در شکل ۳ ارائه شده است، حداکثر سرعت ذره جهت مقایسه نسبت نتایج آزمایش به نتایج محاسبات عددی در محدوده مورد آزمایش تقریباً ۱.۱۵ میباشد، اما بر اساس مقدار مرجع سرعت ذره در این تحقیق و بر مبنای محاسبات از شکل منحنی ۲، نتیجه میشود که ضریب افزایش از نتایج محاسبات عددی به واقعیت بر مبنای واحد دسی بل برابر ۱.۱۱ میباشد.

تشریح روش مدلسازی

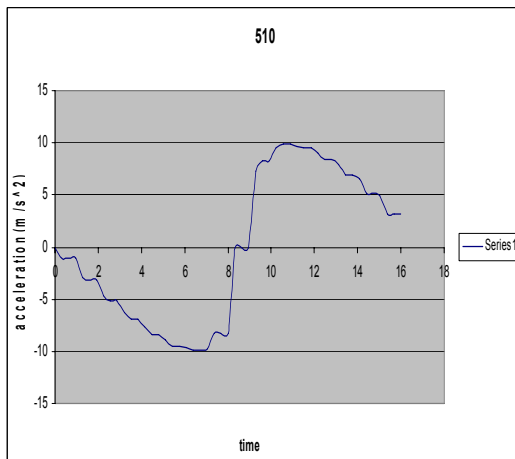
کلیات مدل‌های مورد بررسی

در این تحقیق در رابطه با دو مورد، مدل سازی انجام شده است.

مورد اول که به عنوان مطالعه موردی محسوب می شود، ساختمان هفت طبقه بتنی تالار شهر مشهد با کاربری فرهنگی و اداری می باشد که باتوجه به مطالعات انجام شده در مجاورت و در بالای نزدیک ترین ایستگاه قطار سبک شهری به حرم مطهر امام رضا (ع) در میدان شهدا در مشهد تکمیل خواهد شد. ایستگاه قطار شهری مدنظر، به نام ایستگاه G2 نام گذاری شده است که



شکل ۶: شتاب برحسب زمان ناشی از ارتعاش در نقطه تماس چرخ و ریل برای قطار سبک

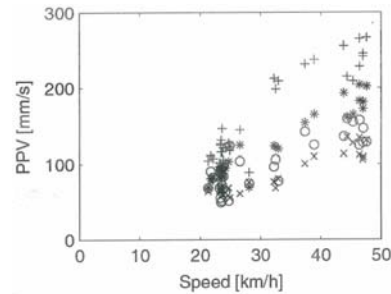


شکل ۷: شتاب برحسب زمان ناشی از ارتعاش در نقطه تماس چرخ و ریل برای قطار سریع

وزن قطار در قطار سبک شهری مشهد ۲۵۰ تن و وزن قطار سریع السیر ۸۰۰ تن در نظر گرفته شد که باتوجه به فرمول زیر از روی منحنی شتاب برحسب زمان ، منحنی نیرو بر حسب زمان به دست می آید که به صورت سینوسی فرض می شود.

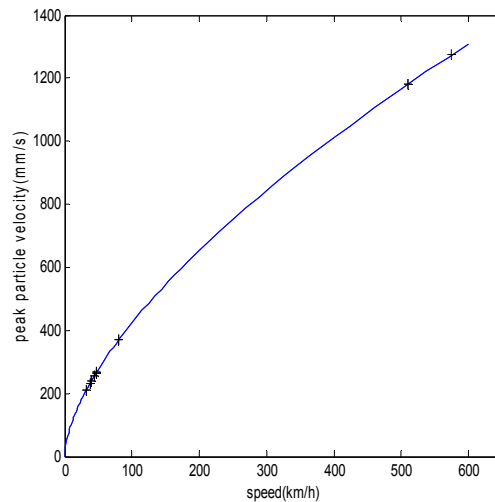
$$F = ma \quad (2)$$

در نرم افزار ANSYS جهت بارهای سینوسی می توان از آنالیز هارمونیک استفاده شود و ورودی نرم افزار فرکانس و حداکثر مقدار بار می باشد که باتوجه به نیروی حاصله به صورت شبه سینوسی برحسب زمان در این جا فرکانس برابر ۳۴۹ هرتز و حداکثر نیرو به ترتیب برای یک قطار سبک شهری و یک قطار سریع السیر برابر ۷۰۰۰۰۰ و ۷۹۳۶۰۰۰ نیوتن می باشند. این نیرو به طور یکنواخت در گره هایی که در مدل برای ریل ها تعریف شده است



شکل ۴: سرعت ذره ناشی از ارتعاش قطار برحسب سرعت قطار در نقطه تماس چرخ و ریل براساس آزمایشات در لندن

نقاط حداکثر شکل ۴ باتوجه به مبانی محاسبات به صورت منحنی ریاضی تعریف شد که منحنی شکل ۵ حاصل شد. طبق منحنی جدید حداکثر سرعت ذره برای سرعت قطار معادل ۸۰ کیلومتر بر ساعت در نقطه تماس چرخ و ریل برابر ۳۶۹.۲۹۷ میلی متر بر ثانیه و همچنین حداکثر سرعت ذره برای سرعت قطار معادل ۵۴۷.۸ کیلومتر بر ساعت در نقطه تماس چرخ و ریل برابر ۱۲۷۳.۱۷۵ میلی متر بر ثانیه تعیین شد



شکل ۵: ادامه منحنی شکل ۴ براساس تعریف ریاضی منحنی

باتوجه به توضیحات فوق منحنی خام موجود در استاندارد با تبدیل لگاریتمی برای سرعت های ۸۰ و ۵۷۴.۸ کیلومتر بر ساعت به منحنی سرعت ذره (متر بر ثانیه) برحسب فرکانس تبدیل شد. با تبدیل "فوریه معکوس" از منحنی سرعت ذره بر حسب فرکانس ، منحنی سرعت برحسب زمان حاصل شد. سپس از منحنی سرعت برحسب زمان ، دیفرانسیل گرفته شد که منحنی شتاب برحسب زمان که تقریباً حالت منفی سینوس دارد حاصل شد که در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

وارد شد.

F	N، نیرو
m	kg، جرم
a	$m/s^2$ ، شتاب
db	حداکثر سرعت ذره، دسی بل
X	حداکثر سرعت ذره، m/s
X0	کمیت مرجع، m/s

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

احداث خطوط ریلی در مجاورت ساختمان‌ها یا احداث ساختمان‌ها در مجاورت خطوط ریلی و همچنین تغییرات در سیستم‌های ریلی باتوجه به جهت‌گیری کشور ایران به سمت استفاده از قطارهای سریع‌السیر بیم‌آزردگی ناشی از انتقال ارتعاش از طریق خاک به سازه‌های مجاور ریل را افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از سرعت قطار سریع‌السیر فرضی و شرایط مدل ایستگاه بین‌راهی، در شرایط عادی و معقول سیستم ریلی از نظر فنی، فعلاً تا مدتی برای ایستگاه‌های بین‌راهی ایران خطری از لحاظ سازه‌ای وجود نخواهد داشت، اما در صورت تصمیم‌گیری برای ورود آخرین تکنولوژی آزمایشی در خطوط عادی حتی خرابی سازه‌ای ایستگاه‌های بین‌راهی که عموماً بسیار قدیمی می‌باشند، محتمل است.

در نهایت لازم به ذکر است با توجه به اینکه در مدل‌های نرم‌افزاری شرایط واقعی به طور کامل لحاظ نشده است، لذا احتمال آسیب‌های بیشتری برای سازه‌های مدل شده وجود دارد، بنابراین بر اساس حداکثر ارتعاش در ساختمان پیشنهاد میشود در زیر ساختمان هفت طبقه بتنی تالار شهر مشهد از دمپر استفاده شود.

### فهرست علائم

### مراجع

- [1] Osmar, Hassan, "Train-induced Ground-borne vibration and Noise in Building" ISBN 090, 2007
- [2] یلداشخان، ماهان، "ارزیابی و تحلیل ارتعاشات ناشی از قطار و راهکارهای کاهش ارتعاش"، سمینار کارشناسی ارشد عمرن راه و ترابری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۳
- [3] ISO 14837-1, "mechanical vibration – Ground-borne noise and vibration arising from rail system—part1: General guidance", 2005
- [4] Hildebrand, Robert, "COUNTERMEASURES AGAINST RAILWAY GROUND AND TRACK VIBRATIONS", 2001
- [5] Gupta, S., and Degrande, G., and Lombaert, G., "Experimental validation of a numerical model for subway induced vibration", journal of sound vibration, Vol321, pp 768-812, 2009

مدل مطالعه موردی  
با توجه به عملیات محاسباتی بر روی حداکثر جابجایی ساختمان در خروجی نرم‌افزار، و اعمال ضرایب افزایش جهت تبدیل محاسبات به واقعیت و همچنین جهت تبدیل به سیستم ریلی فرسوده، حداکثر سرعت ذره در ساختمان به مقدار ۰.۷۸۵ میلی‌متر بر ثانیه می‌رسد.

مدل ایستگاه بین‌راهی  
بدون استفاده از دمپر  
با فرضیات مشابه مدل مطالعه موردی حداکثر سرعت ذره در ساختمان د به مقدار ۱.۸ میلی‌متر بر ثانیه می‌رسد.  
بامدل کردن دمپر  
با مدل کردن دمپر در زیر ساختمان با خصوصیات و مشخصات لایه‌های دمپر که از شرکت ساختمانی "BSW" (در آلمان مشغول فعالیت می‌باشد) اخذ شد، حداکثر سرعت ذره به مقدار ۰.۳۶۸ میلی‌متر بر ثانیه می‌رسد.

### نتایج

#### تحلیل فرکانسی

با توجه به ISO14837-1 حداکثر سرعت ذره در محدوده فرکانسی ۱ تا ۱۰۰ هرتز مبنای خرابی ساختمان‌های مجاور ریل می‌باشد. بر اساس مشابهنه منحنی ورودی به نرم‌افزار با منحنی خروجی، حداکثر سرعت‌های ذره حاصل از خروجی نرم‌افزار در محدوده خرابی ساختمان مد نظر قرار گرفته‌اند.

بر اساس مطالب عنوان شده در بخش ۴ حد آسیب به نازک کاری ساختمان برای حداکثر سرعت ذره برابر ۲ میلی‌متر بر ثانیه می‌باشد که در این حد سازه ساختمان‌های قدیمی و تاریخی دچار خرابی میشوند. با توجه به نتیجه تحقیق که حداکثر سرعت ذره در بدبینانه‌ترین حالت تردد قطارهای عبوری منتقل شده به ساختمان حتی کمتر از حد آسیب به نازک کاری است، نتایج نشان می‌دهد که ارتعاشات بر ساختمان هفت طبقه که فونداسیون آن کمی بیش از ۱۵ متر از ریل فاصله دارد تحت بارگذاری لحظه‌ای حاصل از ارتعاشات عبور قطارها تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد، اما در رابطه با ایستگاه بین‌راهی فرضی بر اساس مقدار حداکثر سرعت ذره به احتمال ۹۰ درصد (۲/۱۸=۰.۹) به نازک کاری ساختمان آسیب می‌رسد به طوری که ترک‌هایی در نازک کاری ایجاد میشود یا ترک‌های قدیمی دوباره باز میشوند و در صورتیکه ساختمان قدیمی و تاریخی باشد، به احتمال ۹۰ درصد در ساختمان خرابی حاصل میشود. که با استفاده از لایه دمپر در زیر ساختمان خطرات فوق‌تر رفع میشود.

با توجه به بخش ۲، مرکز تحقیقات حمل و نقل سوئد نیز در رابطه با بررسی ارتعاشی سیستم حمل و نقل ریلی نتایج مشابهی را ارائه منتشر کرده است.

[ ۶ ] افتخاری،سید مجید،و ناصری،داود، "از مطالب  
ارائه شده در پشت جلد نشریه فنی و تخصصی پیام  
رجا"، شرکت قطارهای مسافربری رجا،سال هشتم ،  
شماره ۲۳ ، شهریور ۱۳۸۶

[7] Degrande,G., and Schevenels,M., and Chatterjee  
,P., "vibration due to a test train at variable in a  
deep bored tunnel embedded in London clay",  
journal of sound vibration ,Vol 293,pp 626-  
644,2006