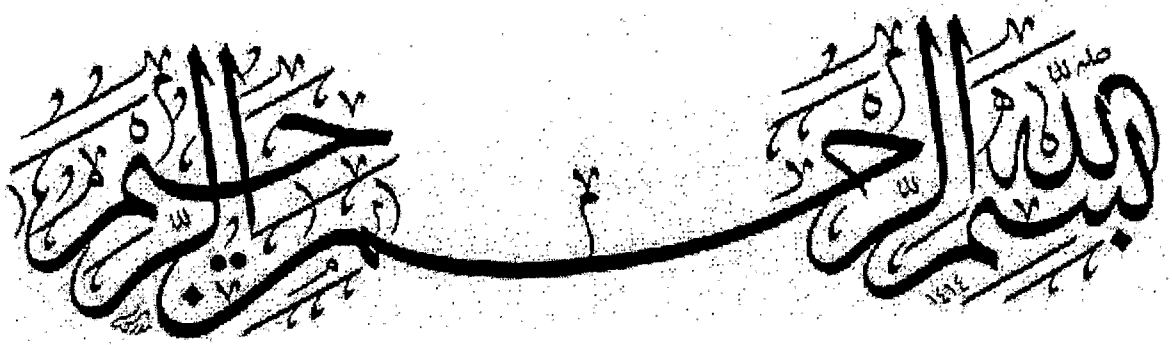
٨٧/١/١٠٦٣١٩
٨٧/١٢/٤



١٠٨٩٥٠

۸۷/۱/۱۰ ۹۳۱۹
۸۷/۱۲/۳

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دکتری سازه

رفتار دینامیکی پل های فولادی راه آهن تحت حرکت سریع قطار

استاد راهنما:

دکتر فرهاد دانشجو

استاد مشاور:

دکتر حمزه شکیب

تهیه کننده :

سجاد احمد حمیدی

۱۳۸۷/۱۱/۱۵

۱۰۸۹۵۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای سجاد احمدحمیدی رساله ۲۴ واحدی خود را **با عنوان رفتاردینامیکی پل های فولادی راه آهن تحت تاثیرحرکت سریع قطار** در تاریخ ۱۳۸۷/۶/۲۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی عمران - سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر فرهاد دانشجو	استاد	
استاد مشاور	دکتر حمزه شکیب	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید محرمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ناصر خاجی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر شروین ملکی	~~دانشیار~~ استاد	
استاد ناظر	دکتر شاهرخ مالك	دانشیار	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حمید محرمی	دانشیار	

این جانب با تشکر از نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

دستور العمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه:با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه وساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

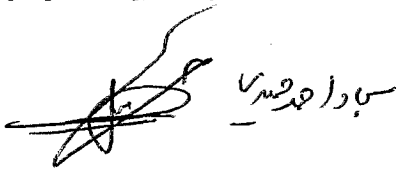
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه‌ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید ه و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته [redacted] است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده [redacted] دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر [redacted]، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [redacted] و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [redacted] از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب [redacted] دانشجوی رشته [redacted] مقطع [redacted]

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: [redacted]

تاریخ و امضا: [redacted]

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از رهنمودهای ارزنده جناب آقای پروفسور فرهاد دانشجو که در طول انجام مطالعات و تحقیقات، علیرغم عهده‌دار بودن مسؤولیت سنگین ریاست دانشگاه، همواره مشوق و راهنمای اینجانب بوده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از جناب آقای پروفسور حمزه شکیب به عنوان استاد مشاوره تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می نمایم.

برخود لازم می دانم که از همراهی و پشتیبانی بی دریغ همسرم در طول مدت تحصیل کمال قدردانی را بنمایم.

چکیده

یکی از مواردی که در بحث دینامیک پل ها مورد توجه است، نحوه اثرگذاری بارهای ترافیک بر پاسخ المان های مختلف پل می باشد. در روش های متداول به جای تحلیل دینامیکی پل تحت تاثیر بارهای متحرک، این بارها به صورت استاتیکی لحاظ گردیده و اثرات دینامیکی بارهای متحرک با اعمال یک ضریب افزایشی به نام ضریب ضربه افزایش می یابد. علی رغم اینکه در کنار طول دهانه پل عوامل دیگری همچون سرعت حرکت قطار و فاصله محورهای قطار بر پاسخ دینامیکی پل های راه آهن تاثیر می گذارند ولی هنوز در آئین نامه های مختلف نحوه اثر دینامیکی بارهای ریلی بر پل های راه آهن نیز مشابه حالت پل های بزرگراه ها با معرفی یک ضریب ضربه وابسته به طول دهانه در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق با انجام تحلیل های دینامیکی برای شرایط مختلف سرعت حرکت، فاصله محورهای قطار و طول دهانه پل، به بررسی نحوه اثر گذاری هریک از پارامترهای فوق الذکر بر پاسخ های دینامیکی پلها و ضریب ضربه پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل های دینامیکی نشان می دهد که در بسیاری از شرایط بالاخص در سرعت های بالا، برای ضریب ضربه مقادیری بیش از مقادیر پیشنهادی آئین نامه ها بدست می آید و در نتیجه روابط پیشنهادی آئین نامه ها برای ضریب ضربه کفایت نمی کند. همچنین نشان داده شده است که سرعت حرکت قطار بر مقدار ضریب ضربه موثرمی باشد به نحوی که با افزایش سرعت مقادیر ضریب ضربه افزایش چشمگیری دارد. نسبت فاصلهٔ محورهای قطار به طول دهانه پل یکی دیگر از پارامترهای موثر بر ضریب ضربه است که با کاهش این نسبت مقدار ضریب ضربه افزایش می یابد. لذا براساس نتایج حاصل روابطی برای تعیین ضریب ضربه در پلهای فولادی راه آهن با در نظر گرفتن اثر همزمان سرعت و نسبت فاصله محورها به طول دهانه پل برای پل های با دهانه ساده و با طول ۱۰ تا ۲۵ متر و با سرعت های حرکت ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت ارائه گردیده است.

دقت پاسخ های حاصل از تحلیل دینامیکی پلها تحت بارهای متحرک بشدت متاثر از انتخاب مقدار گام زمانی در تحلیل می باشد. برای دست یابی به مقدار گام زمانی مناسب در تحلیل دینامیکی پل ها تحت بارهای متحرک، لازم است با انجام تحلیل های دینامیکی متعدد و با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت، نهایتا گام زمانی متناسب با طول دهانه و سرعت حرکت تعیین شود. در این تحقیق نحوه اثرگذاری پارامترهای مختلف مانند طول دهانه پل و سرعت حرکت در انتخاب گام زمانی مناسب، مطالعه گردیده و رابطه ای برای تعیین گام زمانی مناسب جهت تحلیل پلها تحت تاثیر بارهای متحرک ارائه شده است. با استفاده از این رابطه نیازی به انجام تحلیل های متعدد دینامیکی برای تعیین گام زمانی مناسب نمی باشد و مستقیما با استفاده از رابطه ارائه شده گام زمانی مناسب برای تحلیل مورد نظر مشخص می گردد.

کلمات کلیدی: ضریب ضربه، پل های راه آهن، گام زمانی، تحلیل دینامیکی، طول دهانه، فاصله محورها، سرعت حرکت

فهرست مطالب

عناوین	شماره صفحه
۱- اهداف، ساختار و روش تحقیق	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- اهداف تحقیق	۳
۱-۳- ساختار و روش تحقیق	۴
۲- تاریخچه تحقیقات و ضرورت انجام تحقیق	
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده	۹
۲-۳- ضرورت انجام تحقیق	۱۳
۳- ضریب ضربه، مدلسازی و روش های تحلیل	
۳-۱- ضریب ضربه	۲۳
۳-۱-۱- مقدمه	۲۳
۳-۱-۲- روابط ضریب ضربه در آئین نامه های مختلف	۲۶
۳-۲- مدل سازی پل و وسیله نقلیه	۳۰
۳-۲-۱- مقدمه	۳۰
۳-۲-۲- مدل های تحلیلی قطار	۳۰
الف- معرفی روش های مختلف مدل سازی قطار	۳۰
ب- انتخاب مدل قطار	۳۳

۳-۲-۳- مدل های تحلیلی پل ها ۳۹
الف- معرفی روش های مختلف مدلسازی پل ها ۳۹
ب- انتخاب مدل پل ۴۰
۳-۳- تحلیل دینامیکی پل ها تحت حرکت قطار ۴۰
۳-۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۳-۲- تحلیل دینامیکی (روش آنالیتیکال) ۴۱
۳-۳-۳- تحلیل دینامیکی (روش اجزای محدود) ۴۷
۳-۳-۳-۱- تحلیل دینامیکی (روش اجزای محدود)
با استفاده از سعی و خطا ۴۷
۳-۳-۳-۲- تحلیل دینامیکی (روش اجزای محدود)
با استفاده از فشرده سازی دینامیکی ۵۳
۳-۳-۴- معرفی روش انتخاب شده برای تحلیل دینامیکی
پل ها تحت بارهای متحرک ۵۷
۳-۴- طراحی و مدلسازی پل های انتخاب شده و انجام تحلیل دینامیکی ۶۰

۴- معرفی و تائید برنامه SPEED BRIDGE تدوین شده برای تحلیل دینامیکی تحقیق حاضر در فضای نرم افزار Matlab

۴-۱- معرفی برنامه تحلیل دینامیکی پل ها تحت بارهای متحرک ۶۳
۴-۲- تائید صحت برنامه SPEED BRIDGE ۶۹

۵- تعیین گام زمانی مناسب برای تحلیل دینامیکی پل ها تحت بارهای متحرک

۵-۱- مقدمه ۷۶
۵-۲- بررسی تاثیر گام زمانی بر پاسخ های دینامیکی پل ها به بارهای متحرک ۷۷
۵-۳- تعیین گام زمانی مناسب برای تحلیل دینامیکی پل ها تحت بارهای متحرک ۸۴
۵-۳-۱- پارامترهای موثر بر انتخاب مقدار گام زمانی مناسب ۸۴

۵-۳-۲- تعیین معیار خطاء برای انتخاب گام زمانی مناسب
در تحلیل های دینامیکی ۹۴
۵-۳-۳- تعیین گام زمانی مناسب برای تحلیل دینامیکی پل ها
تحت بارهای متحرک ۱۰۶
۵-۳-۴- تعیین مقدار ضریب k در رابطه گام زمانی مناسب برای
تحلیل دینامیکی پلها تحت بارهای متحرک ۱۰۷
۵-۴- جمع بندی ۱۱۸

۶- تعیین ضریب ضربه در پل های فولادی راه آهن

۶-۱- مقدمه ۱۲۲
۶-۲- نتایج تحلیل های دینامیکی ۱۲۴
۶-۲-۱- تاریخچه افت وسط دهانه پل ها در حین عبور محورهای قطار ۱۲۴
۶-۲-۲- محاسبه و مقایسهٔ ضریب ضربه حاصل از تحلیل های دینامیکی
با آئین نامه های موجود ۱۳۴
۶-۲-۳- بررسی تغییرات ضریب ضربه بر اساس تغییرات سرعت حرکت ۱۳۹
۶-۲-۴- بررسی تغییرات ضریب ضربه بر اساس نسبت فاصلهٔ محورها
به طول دهانه پل ۱۴۷
۶-۲-۵- اثر تعداد محورها بر مقدار ضریب ضربه ۱۴۹
۶-۳- ارائه روابط ضریب ضربه ۱۵۰
۶-۴- جمع بندی ۱۵۹

۷- نتایج و پیشنهادات

۷-۱- جمع بندی ۱۶۲
۷-۲- پیشنهادات ۱۶۷

۸- مراجع ۱۶۹

۹- ضمائم

ضمیمه (الف): جداول مقادیرضریب ضربه با در نظرگرفتن مقادیر مختلف برای گام زمانی ۱۷۶

ضمیمه (ب): جداول مربوط به تعیین ضریب k در رابطه δt_{proper} ۲۰۵

ضمیمه (ج): برنامه SPEED BRIDGE ۲۳۴

فهرست جداول

عناوین	شماره صفحه
۱-۱: مشخصه های قطار و تعداد تحلیل های دینامیکی برای هریک از پل های مورد نظر	۶
۳-۱: مقایسه رابطه ارائه شده توسط Cantieni برای طول دهانه با فرکانس ارتعاشی پل با رابطه $fL = 120$	۲۹
۳-۲: مشخصات پلهای مورد بررسی در تحقیق	۶۰
۳-۳: مشخصه های قطار و تعداد تحلیل های دینامیکی برای هریک از پل های مورد نظر	۶۲
۵-۱: مشخصه های قطار و تعداد تحلیل های دینامیکی برای هریک از پل های مورد نظر	۷۷
۵-۲: مشخصات پلهای مورد بررسی در تحقیق	۷۸
۵-۳: تعیین گام زمانی مناسب بر اساس نتایج تحلیل دینامیکی پل با گام های زمانی متفاوت	۹۵
۵-۴: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۹۶
۵-۵: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۹۷
۵-۶: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۹۸
۵-۷: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۹۹
۵-۸: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۱۰۰
۵-۹: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی	۱۰۱
۵-۱۰: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با	

در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۰۲
۵-۱۱: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با
در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۰۳
۵-۱۲: تعداد تحلیل های لازم در صورت استفاده از گام زمانی مناسب
و کوچکترین گام زمانی ۱۰۴
۵-۱۳: مقایسه تعداد تحلیل های لازم در صورت دسترسی به گام زمانی مناسب پیش از
انجام تحقیق با تعداد تحلیل های انجام گرفته در این تحقیق ۱۰۵
۵-۱۴ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۱۰ متر
و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۰۸
۵-۱۵ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۱۰ متر
و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۰۹
۵-۱۶ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۱۵ متر
و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۰
۵-۱۷ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۱۵ متر
و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۱
۵-۱۸ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۰ متر
و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۲
۵-۱۹ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۰ متر
و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۳
۵-۲۰ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۵ متر
و قطار با فاصله محورهای ۱۵ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۴
۵-۲۱ : مقایسه گام زمانی منتخب حاصل از تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۵ متر
و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر با مقدار L/V و تعیین ضریب k ۱۱۵
۵-۲۲: کمترین مقدار k در رابطه $\delta t_{proper} = k\frac{L}{V}$ حاصل از تحلیل های دینامیکی ۱۱۶
۵-۲۳: تائید رابطه گام زمانی δt برای شرایطی که در تعیین رابطه نقشی نداشته است ۱۱۸
۵-۲۴: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی
متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۱۹

۵-۲۵: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۱۹
۵-۲۶: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۱۹
۵-۲۷: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر با در نظر گرفتن گام های زمانی متفاوت در تحلیل های دینامیکی ۱۲۰
۶-۱: مشخصات پلهای مورد بررسی در تحقیق ۱۲۳
۶-۲: مشخصه های قطار و تعداد تحلیل های دینامیکی برای هریک از پل های مورد نظر ۱۲۳
۶-۳: مواردی که پاسخ های دینامیکی پل در حین عبور محورهای مختلف ثابت است ۱۳۲
۶-۴: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر ۱۳۵
۶-۵: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر ۱۳۶
۶-۶: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر ۱۳۷
۶-۷: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر ۱۳۸
۶-۸ : بررسی نقاط پیک در منحنی های ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فرکانس ارتعاشی ۱۲ هرتز ۱۴۴
۶-۹ : بررسی نقاط پیک در منحنی های ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فرکانس ارتعاشی ۸ هرتز ۱۴۵
۶-۱۰ : بررسی نقاط پیک در منحنی های ضریب ضربه برای پل دهانه ۲۰ متر و فرکانس ارتعاشی ۶ هرتز ۱۴۵
۶-۱۱ : بررسی نقاط پیک در منحنی های ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فرکانس ارتعاشی ۴/۸ هرتز ۱۴۶
۶-۱۲ : ضریب ضریه برای پل های ۲۰ و ۲۵ متری و قطار با فاصله محورهای ۱۴ متر و سرعت حرکت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت ۱۴۷
۶-۱۳: تائید روابط ضریب ارائه شده در تحقیق برای دو پل با دهانه ۱۲ و ۲۲ متر ۱۵۹

فهرست شکل ها

عناوین **شماره صفحه**

۲-۱: ارائه روابط ضریب ضربه توسط Zhang ۱۰

۲-۲: پاسخ دینامیکی پل با دهانه ساده به بار متحرک ۱۹۵ KN با سرعت ۲۲۰ Km/h ۱۵

۲-۳ : حداکثر افت وسط دهانه پل ۱۵ متری تحت بار متحرک با سرعت های مختلف ۱۶

۲-۴ : حداکثر افت در وسط دهانه نسبت به زمان برای حرکت قطار با سرعت های ۲۸۸ و ۳۶۰ کیلومتر بر ساعت ۱۷

۲-۵ : حداکثر افت وسط دهانه به ازای سرعت های مختلف حرکت قطار و بار منفرد ۱۷

۲-۶ : افت اندازه گیری شده در پل راه آهن سریع السیر مادرید- سیویل در زمان عبور قطار با سرعت ۲۱۹ Km/h ۱۹

۲-۷ : محدوده فرکانس ارتعاش پل برای دهانه های مختلف جهت استفاده از رابطه ضریب ضربه آئین نامه Eurocode ۲۰

۲-۸: مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی با فرض تکیه گاه ساده و اندازه گیری های صحرایی ۲۱

۲-۹ : مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی با فرض تکیه گاه الاستیک و اندازه گیری های صحرایی ۲۲

۳-۱: تیر با دهانه ساده تحت بار متمرکز متحرک ۲۴

۳-۲ : ضریب ضربه بر اساس آئین نامه های مختلف ۲۹

۳-۳: مدلسازی قطار به صورت بار متمرکز متحرک ۳۱

۳-۴: مدلسازی قطار به صورت جرم متمرکز متحرک ۳۱

۳-۵: مدلسازی قطار به صورت جرم و فنر در هر محور ۳۲

۳-۶: مدلسازی قطار به صورت جرم و فنر برای هر واگن ۳۲

۳-۷: روش های مختلف مدل سازی وسیله نقلیه ۳۳

۳-۸: پاسخ پل به بارهای متحرک با استفاده از مدل های مختلف برای وسیله نقلیه ۳۴
۳-۹ : پاسخ پل به حرکت بار با در نظر گرفتن مدل های مختلف برای وسیله نقلیه ۳۴
۳-۱۰: بررسی اثر اینرسی ناشی از جرم وسیله نقلیه و میرایی بر پاسخ های پل ۳۵
۳-۱۱: مدلسازی وسیله نقلیه با جرم نوسان گر ۳۵
۳-۱۲: مقایسه پاسخ های پل حاصل از مدل بارهای متمرکز و جرم نوسان گر ۳۶
۳-۱۳: مقایسه پاسخ های پل با لحاظ نمودن وسیله نقلیه به صورت بار متمرکز و جرم متحرک ۳۶
۳-۱۴: ضریب ضربه برای افت وسط دهانه پل با مدل های مختلف قطار ۳۷
۳-۱۵: ضریب ضربه برای افت وسط دهانه پل با مدل های مختلف قطار ۳۷
۳-۱۶: شرایط قرار گیری محورها در انواع قطارهای موجود ۳۸
۳-۱۷: مدلسازی پل به صورت تیر دو سر ساده ۳۹
۳-۱۸: مدلسازی پل به صورت تیر دو سر ساده با لحاظ نمودن ناصافی های مسیر ۳۹
۳-۱۹ : نمایی از یک تیر با تکیه گاههای الاستیک تحت بارهای متحرک ۴۱
۳-۲۰ : مدل ارتعاش آزاد تیر بر تکیه گاه الاستیک ۴۳
۳-۲۱ : سه مود اول ارتعاش تیر دو سر ساده ۴۴
۳-۲۲: مدلسازی قطار به صورت جرم و فنر در هر محور ۴۸
۳-۲۳: الگوریتم روش سعی و خطا در تحلیل دینامیکی پل تحت حرکت قطار ۵۲
۳-۲۴ : مدل دو بعدی قطار و درجات ازادی آن ۵۳
۳-۲۵ : نیروهای داخلی قطار ۵۴
۳-۲۶: مقایسه نتایج حاصل از روش آنالیتیکال با تحلیل های المان محدود برای پل با دهانه ۲۰ متر ۵۸
۳-۲۷: مقایسه نتایج حاصل از روش آنالیتیکال با تحلیل های المان محدود برای پل با دهانه ۲۳ متر ۵۹
۳-۲۸: مقایسه نتایج حاصل از روش آنالیتیکال با تحلیل های المان محدود برای پل با دهانه ۲۷ متر ۵۹
۳-۲۹ : نحوه مدلسازی و مشخصات پل های مورد بررسی ۶۱
۴-۱: فلوچارت برنامه تحلیل دینامیکی پل ها تحت بارهای متحرک ۶۸
۴-۲ : نمایی از مدل تحلیلی پل و قطار مورد استفاده برای تصدیق نتایج برنامه ۶۹

۴-۳ : نحوه مدلسازی بار متحرک در محیط نرم افزار ABAQUS ۷۱
۴-۴: چگونگی حرکت بار متحرک روی پل در محیط نرم افزار ABAQUS ۷۱
۴-۵ : پاسخ دینامیکی پل به عبورمحورهای قطار با سرعت ۲۸۸ کیلومتر بر ساعت ۷۲
۴-۶ : پاسخ دینامیکی پل به عبورمحورهای قطار با سرعت ۳۶۰ کیلومتر بر ساعت ۷۳
۴-۷ : نمایی از مدل تحلیلی پل و قطار conventional برای تصدیق نتایج برنامه ۷۳
۴-۸: پاسخ دینامیکی پل با دهانه ۲۰ متر به حرکت قطار با سرعت های ۲۶ و ۳۴ متربر ثانیه ۷۴
۴-۹: تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۰ متر تحت تاثیر حرکت قطار با سرعت
۲۶ متر بر ثانیه با برنامه SPEED BRIDGE ۷۴
۴-۱۰: تحلیل دینامیکی پل با دهانه ۲۰ متر تحت تاثیر حرکت قطار با سرعت
۳۴ متر بر ثانیه با برنامه SPEED BRIDGE ۷۵
۵-۱ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۷۸
۵-۲ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۷۹
۵-۳ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۷۹
۵-۴ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۷۹
۵-۵ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و قطار با فاصله محورهای۱۷ متر ۸۰
۵-۶ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۸۰
۵-۷ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۸۰
۵-۸ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۸۱
۵-۹ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۸۱
۵-۱۰ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۸۱
۵-۱۱ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۸۲
۵-۱۲ : ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر و قطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۸۲
۵-۱۳: مقادیر ضریب ضربه حاصل از تحلیل دینامیکی برای پل با دهانه ۱۵
متر وقطار با فاصله محورهای ۱۳ متر با گام های زمانی متفاوت ۸۳
۵-۱۴: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۸۵
۵-۱۵: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۴ متر ۸۵
۵-۱۶: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۵ متر ۸۵
۵-۱۷: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۶ متر ۸۶
۵-۱۸: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۸۶

۵-۱۹: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۲ متر ۸۶
۵-۲۰: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۸۷
۵-۲۱: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۸۷
۵-۲۲: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۴ متر ۸۷
۵-۲۳: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۵ متر ۸۸
۵-۲۴: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۶ متر ۸۸
۵-۲۵: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۸۸
۵-۲۶: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۲ متر ۸۹
۵-۲۷: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۸۹
۵-۲۸: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۸۹
۵-۲۹: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۴ متر ۹۰
۵-۳۰: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۵ متر ۹۰
۵-۳۱: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۶ متر ۹۰
۵-۳۲: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۹۱
۵-۳۳: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۲ متر ۹۱
۵-۳۴: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۹۱
۵-۳۵: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۳ متر ۹۲
۵-۳۶: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۴ متر ۹۲
۵-۳۷: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۵ متر ۹۲
۵-۳۸: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۶ متر ۹۳
۵-۳۹: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۱۷ متر ۹۳
۵-۴۰: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۲ متر ۹۳
۵-۴۱: مقادیر ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر وقطار با فاصله محورهای ۲۳ متر ۹۴
۶-۱: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۳ متر ۱۲۴
۶-۲: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۵ متر ۱۲۴
۶-۳: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۸ متر ۱۲۵
۶-۴: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فاصله محورهای قطار ۲۱ متر ۱۲۵

۶-۵: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۰ متر و فاصله محورهای قطار ۲۴ متر ۱۲۵
۶-۶: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۳ متر ۱۲۶
۶-۷: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۵ متر ۱۲۶
۶-۸: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۸ متر ۱۲۶
۶-۹: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصله محورهای قطار ۲۱ متر ۱۲۷
۶-۱۰: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصله محورهای قطار ۲۴ متر ۱۲۷
۶-۱۱: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۳ متر ۱۲۷
۶-۱۲: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۵ متر ۱۲۸
۶-۱۳: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصله محورهای قطار ۱۸ متر ۱۲۸
۶-۱۴: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصله محورهای قطار ۲۱ متر ۱۲۸
۶-۱۵: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصله محورهای قطار ۲۴ متر ۱۲۹
۶-۱۶: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۳ متر ۱۲۹
۶-۱۷: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۵ متر ۱۲۹
۶-۱۸: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصله محورهای قطار ۱۸ متر ۱۳۰
۶-۱۹: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصله محورهای قطار ۲۱ متر ۱۳۰
۶-۲۰: افت وسط دهانه برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصله محورهای قطار ۲۴ متر ۱۳۰
۶-۲۱ : تغییرات ضریب ضربه و نقاط پیک منحنی برای پل با دهانه ۲۰ متر و فاصلهٔ محورهای ۱۸ متر ۱۳۹
۶-۲۲ : تغییرات ضریب ضربه و نقاط پیک منحنی برای پل با دهانه ۱۵ متر و فاصلهٔ محورهای ۲۳ متر ۱۳۹
۶-۲۳ : تغییرات ضریب ضربه و نقاط پیک منحنی برای پل با دهانه ۲۵ متر و فاصلهٔ محورهای ۲۲ متر ۱۴۰
۶-۲۴: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۰ متر برای فواصل مختلف محورهای قطار ۱۴۲
۶-۲۵: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۱۵ متر برای فواصل مختلف محورهای قطار ۱۴۲
۶-۲۶: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۰ متر برای فواصل مختلف محورهای قطار ۱۴۳
۶-۲۷: ضریب ضربه برای پل با دهانه ۲۵ متر برای فواصل مختلف محورهای قطار ۱۴۳
۶-۲۸: ضریب ضربه برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۴۸

۶-۲۹: ضریب ضربه برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۴۸
۶-۳۰ : ماکزیمم افت وسط دهانه در ازاء عبور تعداد مختلف محورهای قطار ۱۵۰
۶-۳۱: ماکزیمم افت وسط دهانه در ازاء عبور تعداد مختلف محورهای قطار ۱۵۰
۶-۳۲: روابط ضریب ضربه برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۱
۶-۳۳: روابط ضریب ضربه برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۱
۶-۳۴: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۱۰ متر برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۳
۶-۳۵: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۱۵ متر برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۳
۶-۳۶: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۲۰ متر برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۴
۶-۳۷: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۲۵ متر برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۴
۶-۳۸: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۱۰ متر برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۵
۶-۳۹: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۱۵ متر برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۵
۶-۴۰: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۲۰ متر برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۶
۶-۴۱: مقایسه مقدار ضریب ضربه از آئین نامه AREMA و رابطه ارائه شده در تحقیق
برای پل با دهانه ۲۵ متر برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۶
۶-۴۲: مقایسه روابط ضریب ضربه حاصل از تحقیق با مقادیر ضریب ضربه در آئین نامه
AREMA برای سرعت های کمتر از ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۷
۶-۴۳: مقایسه روابط ضریب ضربه حاصل از تحقیق با مقادیر ضریب ضربه در آئین نامه
AREMA برای سرعت های ۱۸۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱۵۷