

۲۰۱۲۹۳۵

دینامیک وسیله نقلیه روی پل

با کاربرد ویژه در مهندسی راه آهن

دکتر دهمتی رضوانی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی ایران

مهندس محسن غضنفری

مهندس احمد رحمتی علایی



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

۳۲۱

دینامیک وسیله نقلیه وی پل با کاربرد ویژه در مهندسی راه آهن

تألیف محمدعلی رضوانی، محسن غضنفری، احمد رحمتی علایی

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چاپ اول: ۱۳۹۸

شمارگان: ۲۰۰

بها: ۳۰۰۰ تومان

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-212-4

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۱۲-۴

نماین: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۰۱۳۱۲۹

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۸۷ - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

فروش اینترنتی: book.sharif.ir

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

موضوع: پل‌های راه آهن
موضوع: Railroad bridges
موضوع: پل‌ها - بارهای متحرک
موضوع: Bridges - Live loads
شناسه افزوده: غضنفری، محسن، ۱۳۶۹
شناسه افزوده: رحمتی علایی، احمد، ۱۳۶۸
شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف
شناسه افزوده: Sharif University of Technology
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۷ ۶۵۹ TL۲۴۳/۶۵۹
رده‌بندی دیویی: ۶۲۹/۲۳
شماره کتابشناسی ملی: ۵۳۷۹۱۵۲

سرشناسه: رضوانی، محمدعلی، ۱۳۳۹
عنوان و نام‌پدیدآور: دینامیک وسیله نقلیه روی پل با کاربرد ویژه در مهندسی راه آهن
/ تألیف محمدعلی رضوانی، محسن غضنفری، احمد رحمتی علایی
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری: ۲۰۸ ص. مصور، جدول
شابک: 978-964-208-212-4
وضعیت فهرست‌نویسی: فیا
یادداشت: واژه‌نامه
موضوع: وسایل نقلیه - دینامیک
موضوع: Vehicles - Dynamics

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

هفت

پیشگفتار

۱	فصل ۱. کلیات
۱	۱-۱ مقدمه
۶	۲-۱ مدل‌های وسیلهٔ ریلیه
۹	۳-۱ مدل‌های پل
۱۱	۴-۱ وسایل نقلیه و پل‌های ریلی
۱۲	۵-۱ روش‌های حل
۱۶	۶-۱ ضریب تأثیر و پارامتر سرعت
۱۹	۷-۱ مرور مطالب فصل
۲۱	فصل ۲. تیر ساده تحت عبور بار متحرک تکی و بار قطار
۲۲	۱-۲ مقدمه
۲۴	۲-۲ ارتعاش خمشی تیرها و شرایط مرزی آن
۲۸	۳-۲ مُدهای طبیعی تیر تحت تأثیر ارتعاش خمشی
۳۲	۴-۲ تعامل مُدهای طبیعی، قضیهٔ بسط
۳۹	۵-۲ تیر ساده تحت بار متحرک تکی
۴۴	۶-۲ ضریب تأثیر برای جابه‌جایی نقطهٔ میانی
۴۶	۷-۲ ضریب تأثیر برای گشتاور خمشی نقطهٔ میانی
۴۷	۸-۲ ضریب تأثیر برای نیروی برش انتهایی
۴۸	۹-۲ تیر ساده تحت مجموعه‌ای از بارهای متحرک
۶۲	۱۰-۲ مرور مطالب فصل

۶۳	فصل ۳. پل با تکیه‌گاه‌های کشسان تحت بارهای متحرک قطار
۶۴	۱-۳ مقدمه
۶۵	۲-۳ معادله حرکت
۶۶	۳-۳ بسامد پایه تیر
۶۸	۴-۳ تحلیل پاسخ دینامیکی
۷۰	۵-۳ پدیده‌های تشدید و حذف
۷۴	۶-۳ اثر میرایی سازه‌ای
۷۹	۷-۳ پوش معادلات پاسخ تشدید
۸۱	۸-۳ ضربه، تیر و تأثیر و پوش معادلات ضربه
۸۲	۹-۳ مرور مطالب فصل
۸۳	فصل ۴. تیرهای با تکیه‌گاه کشسان تحت شرایط تشدید و حذف
۸۴	۱-۴ مقدمه
۸۵	۲-۴ روابط نظری
۸۹	۳-۴ شرایط تشدید و حذف
۹۲	۴-۴ سازوکار تشدید و حذف
۹۳	۵-۴ مرور مطالب فصل
۹۵	فصل ۵. تأثیر بارهای متحرک عمودی و افقی روی تیرهای منحنی
۹۶	۱-۵ مقدمه
۹۷	۲-۵ معادلات دیفرانسیل حاکم
۹۹	۳-۵ تیر منحنی در معرض یک بار متحرک
۱۰۹	۴-۵ عبارت واحد برای ارتعاشات عمودی و شعاعی
۱۱۰	۵-۵ پاسخ ارتعاشات تیر تحت چندین بار متحرک
۱۱۲	۶-۵ شرایط تشدید و حذف
۱۱۳	۷-۵ ضربه تأثیر ناشی از بارهای متحرک
۱۱۴	۸-۵ مسئله ویژه مقدار، روش اجزای محدود، حالتی از روش ریلی-ریتز
۱۱۷	۹-۵ توابع درونیابی با درجه بالاتر گره‌های داخلی
۱۱۹	۱۰-۵ روش سلسله‌مراتبی اجزای محدود
۱۲۱	۱۱-۵ مرور مطالب فصل

۱۲۳	فصل ۶. برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۲۴	۱-۶ مقدمه
۱۲۶	۲-۶ معادلات حرکت برای وسیله نقلیه و پل
۱۳۰	۳-۶ معادلات مربوط به المان براساس نمو حرکت
۱۳۱	۴-۶ معادله سختی معادل برای وسیله نقلیه
۱۳۳	۵-۶ المان برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۳۶	۶-۶ تحلیل دینامیکی جزءبه‌جزء با انجام تکرار
۱۴۲	۷-۶ مطالعات پارامتری
۱۴۶	۸-۶ مرور مطالب فصل
۱۴۹	فصل ۷. تأثیر چرخش -۱ محور عرضی بر برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۵۰	۱-۷ مقدمه
۱۵۲	۲-۷ معادلات حرکت برای وسیله نقلیه و پل
۱۵۷	۳-۷ المان برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۶۲	۴-۷ معادلات حرکت برای سامانه برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۶۶	۵-۷ مرور مطالب فصل
۱۶۹	فصل ۸. بررسی مفهوم نیروهای برهم‌کنش در مدل سازی برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۷۰	۱-۸ مقدمه
۱۷۲	۲-۸ معادلات وسیله نقلیه و نیروهای برهم‌کنش
۱۷۶	۳-۸ روش حل نیروهای برهم‌کنش از معادلات حاکم بر وسیله نقلیه
۱۷۷	۴-۸ المان برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل فقط با در نظر گرفتن نیروهای برهم‌کنش عمودی
۱۷۹	۵-۸ المان برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل با در نظر گرفتن نیروهای عمودی و افقی
۱۸۱	۶-۸ معادلات سامانه و میرایی سازه‌ای
۱۸۳	۷-۸ روش تحلیل تاریخچه زمانی برای سامانه‌های برهم‌کنش وسیله نقلیه-پل
۱۸۵	۸-۸ مرور مطالب فصل
۱۸۷	منابع
۱۹۱	واژه‌نامه فارسی-انگلیسی
۱۹۳	فهرست نمادها
۱۹۹	فهرست راهنما

پیشگفتار

این کتاب به بررسی برهم‌کنش دینامیکی وسیله نقلیه روی پل با کاربرد ویژه در مهندسی راه‌آهن (قطار و پل) می‌پردازد. زمانی که وسیله نقلیه از روی پلی عبور می‌کند، موجب اعمال بار ضربه یا اثر دینامیکی روی آن می‌شود که باید در طراحی پل مدنظر قرار گیرد. در این کتاب به‌منظور به دست آوردن تخمین ارتعاشات پل از سه مدل وسیله نقلیه ساده تا پیچیده شامل بار متحرک، جرم متحرک و جرم فنربندی‌شده متحرک استفاده شده است. از موضوعات مهم دیگر این کتاب علاوه بر مدل‌سازی تفاوت برای پل و وسیله نقلیه، تمرکز بر برهم‌کنش دینامیکی پل و وسیله نقلیه است. هم‌اکنون ده جزء پیشین موجب کویل‌شدن دو مجموعه معادلات دیفرانسیل غیرخطی مربوط به وسیله نقلیه و پل می‌شود.

در فصل اول، عوامل کلیدی که در برهم‌کنش دینامیکی پل و وسیله نقلیه متحرک دخالت دارند و نیز انواع مدل‌های وسیله نقلیه و پل مطرح شده است. یکی از اساسی‌ترین مسائلی که باید در بررسی ارتعاشات ناشی از وسیله نقلیه روی پل بررسی شود، پاسخ دینامیکی تیر با تکیه‌گاه ساده تحت اثر یک بار تکی متحرک است. در فصل دوم روابط مربوط به تغییرشکل، گشتاور خمشی و نیروی برشی یک تیر ساده تحت یک بار متحرک تکی استخراج شده است. در فصل سوم، پاسخ دینامیکی تیر با تکیه‌گاه کشسان تحت اثر همان متحرک قطار با استفاده از روش تحلیلی بررسی شده است.

فصل چهارم کتاب را می‌توان به‌عنوان فصل تکمیلی برای تیرهای با تکیه‌گاه کشسان درنظر گرفت. هدف پیش‌رو مشخص نمودن سازوکار دربرگیرنده پدیده‌های تشدید و حذف ناشی از عبور و مرور قطارها بر تیرهای با تکیه‌گاه کشسان است که برای کاهش ارتعاشات ناشی از قطار بسیار کارآمد است. بار متحرک افقی را می‌توان به‌عنوان نیروی گریزازمرکز ایجادشده توسط وسایل نقلیه‌ای درنظر گرفت که در حال حرکت در امتداد یک مسیر منحنی‌شکل است. لذا در فصل پنجم، پاسخ‌های تحلیلی برای یک تیر خمیده افقی که در معرض بارهای متحرک افقی و عمودی قرار گرفته، محاسبه شده است.

از فصل ششم به بعد، علاوه بر دقیق‌تر شدن مدل تیر و قطار، جزء مرتبط‌کننده این دو نیز معرفی می‌شود. نقطه‌ضعف مدل ارائه‌شده در فصل ششم این است که اثر چرخش حول محور عرضی بدنه واگن به‌دلیل تغییرشکل‌های متفاوت سامانه تعلیق به‌موقع درنظر گرفته نمی‌شود. برای رفع این مورد در فصل هفتم المان‌های برهم‌کنش وسیله نقلیه - پل صلب به‌دست‌آمده با

در نظر گرفتن به موقع اثر چرخش حول محور عرضی نه تنها برای محاسبه پاسخ پل بلکه برای پاسخ وسیله نقلیه به کار گرفته می شود. در فصل هشتم، برخلاف فصل ششم که برهم کنش وسیله نقلیه - پل به وسیله انقباض درجات آزادی وسیله نقلیه به درجات آزادی پل برقرار می گردد، روشی معرفی می شود که از نیروهای برهم کنشی به عنوان رابطی برای حل مسئله مشابه فصل ششم بهره می گیرد. فرمول بندی ارائه شده، به کارگیری روش تفاضل محدود نیومارک برای گسسته سازی معادلات حرکت وسیله نقلیه است که توسط آن نیروهای برهم کنش به دست می آیند و براساس جابه جایی های چرخ بیان می شوند.

این کتاب می تواند به عنوان منبع درسی برای مقاطع تحصیلی کارشناسی ارشد و دکتری در زمینه بررسی ارتعاشات وسیله نقلیه و پل معرفی شود. دانش عمومی در مورد مفاهیم ارتعاشات سامانه های گسسته - ممتد و همچنین روش اجزای محدود برای مطالعه این کتاب و رسیدن به اهداف مدنظر هیئت اربابان مدل های مختلف معرفی شده برای برهم کنش وسیله نقلیه و پل در بهبود عملکرد وسیله نقلیه در صنعت ریلی قابل استفاده است. برای افزایش غنای این اثر از مباحث مربوط به برهم کنش وسیله نقلیه ریلی و پل نظیر دینامیک پل و قطار با کاربرد در راه آهن پرسرعت تألیف یانگ، یائو و رو؛ دینامیک پل های راه آهن تألیف فرایبا؛ مبانی تحلیل ارتعاشات تألیف میروویچ؛ و ارتعاشات غیرخطی تألیف شمیته و تندل نیز استفاده شده است.

مباحث موجود در این کتاب توسط دکتر محمدعلی رضوانی با عنوان «ارتعاشات غیرخطی با کاربرد در راه آهن» طی سال های متوالی در دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران تدریس می شود. همچنین در زمینه تقابل اثر دینامیکی قطار و پل، مسائل مرتبط با ارتعاشات ناوگان ریلی و مدل سازی عددی اجزای محدود با نرم افزار LS-DYNA پژوهش های گسترده ای توسط مؤلفان این کتاب صورت گرفته است. از دانشجویان کارشناسی، اساتید و صاحب نظران درخواست می شود با ارائه دیدگاه ها و پیشنهاد های خود به منظور بهبود هر چه بهتر این کتاب در ویراست های آینده مؤلفان را یاری رسانند.

مؤلفان

vbi.authors@gmail.com

۱۳۹۸