

اصول و مبانی دینامیک حرکت قطارها

مؤلف:

اصغر نصر

(عضو هیات علمی دانشگاه علم و صنعت ایران)

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران

۱۳۸۹

سرشناسه
عنوان و نام پدیدآور
مشخصات نشر
مشخصات ظاهری
شابک
وضعیت فهرست نویسی
یادداشت
موضوع
شماره افزوده
رده بندی کنگره
رده بندی دیویی
شماره کتابشناسی ملی

نصر، اصغر، ۱۳۳۶-
اصول و مبانی دینامیک حرکت قطارها/ مولف اصغر نصر.
تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد تهران، ۱۳۸۹.
۲۴۲ص: مصور، جدول، نمودار.
978-600-133-020-9
فیبیا
برآژه نامه
براه آهن - قطارها - دینامیک
سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد تهران
۱۳۸۹ الف بن TF۵۵۷
۶۲۵/۱
۵۰۹۹۹۹۱۱



اصول و مبانی دینامیک حرکت قطارها

مؤلف: دکتر اصغر نصر
ویراستار: دکتر منصور خانکی
ناشر: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران
طراح جلد: سعید صحابی
صفحه‌آرایی: قاسمی (رها)
ناظر چاپ: احمد آرش
لیتوگرافی: زاویه نور
چاپ و صحافی: نقش نیاز
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۹۸۰۰۰۰ ریال
نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۸۹
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۰۲۰-۹

ISBN: 978-600-133-020-9

<http://nashr.jahat.ir>

Nashr@jahat.ir

تلفکس: ۶۶۴۹۰۷۴۲

نشانی: تهران - صندوق پستی ۱۸۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۶۶۴۱۸۴۹۹ - تلفکس: ۶۶۹۵۳۶۸

تلفن مراکز پخش: ۳-۶۶۴۹۰۷۴۰ - ۶۶۴۸۱۰۰۳

«ويزكيهم و يعلمهم الكتاب و الحکمة»

مقدمه ناشر

ایران امروز در اشتیاق توسعه و استقلال، گامهای محکم و استواری برمی دارد. همه روزه در گوشه و کنار میهن ما جوانه های خود کفایی علمی و فنی رخ نموده و با عنایت و یاری خداوند متعال و در سایه تلاش و کوشش جامعه علمی و دانشگاهی حرکت به سوی مرزهای دانش شتاب بیشتری به خود می گیرد. خدای را شکر می گویم که این فرصت را به ما ارزانی داشته تا گامهایی هر چند کوچک در راه رشد و نشر دستاوردهای علمی و فرهنگی کشور برداریم، باشد تا با یاری خداوند منان و در پرتو همت اندیشمندان، نویسندگان، مترجمان و متخصصان مومن و متعهد بتوانیم در اعتلاء علمی کشور عزیزمان ایران سهمی داشته باشیم.

انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران در راستای وظایف خویش و به منظور نیل به اهداف علمی - فرهنگی نظام جمهوری اسلامی مبادرت به انتشار آثار ارزشمند و مورد نیاز علمی و دانشگاهی می نماید. در این راه از کلیه اساتید، پژوهشگران، صاحبان قلم و اندیشه دعوت به مشارکت و همکاری می گردد.

پیشگفتار

توسعه همه جانبه و روزافزون تکنولوژی، ایمنی بیشتر، هزینه حمل و نقل کمتر، مصرف پایین تر انرژی و لذا آثار مخرب زیست محیطی کمتر و نیز بالاتر بودن ظرفیت حمل در سیستمهای مختلف حمل و نقل ریلی نسبت به دیگر سیستمهای حمل و نقل، روند استفاده از آنها در اغلب کشورهای پیشرفته و در حال توسعه را شتاب بیشتری داده است. از طرف دیگر ازدحام و رشد فوق العاده جمعیت در اکثر شهرهای بزرگ کشورهای مختلف و به دنبال آن کثرت استفاده از انواع خودروها موجب بروز مشکلات عدیده‌ای در زندگی مردم شده که از جمله می‌توان آلودگیهای زیست محیطی (آلودگی هوا، آلودگی صوتی و ...)، اتلاف انرژی و وقت را نام برد. از اینرو با وجود توجه به برنامه‌ریزی‌های بهتر، توزیع مقررات و آئین نامه‌های مناسبتر و نیز افزایش رانندمان و سطح تکنولوژی وسائط حمل و نقل جاده‌ای، توجه مسئولین امور حمل و نقل کلان شهرها به استفاده از سیستم حمل و نقل ریلی معطوف گشته است. به طوریکه هم‌اکنون در قریب به ۴۰۰ شهر بزرگ و متوسط جهان از سامانه‌های مختلف حمل و نقل ریلی شهری نظیر مترو، مونوریل و قطارهای سبک شهری در کنار حمل و نقل جاده‌ای استفاده می‌شود.

در کشور خودمان ایران نیز در کنار رشد همه جانبه کمی و کیفی راه آهن سراسری باری و مسافری در دهه‌های اخیر، رشد چشمگیر جمعیت در مراکز شهرها از یک طرف و تمرکز مراکز تجاری، خدماتی و حتی صنعتی در داخل و یا حوالی شهرهای بزرگ و نیز سطح پایتشر تکنولوژی خودروها و ... رفت و آمد هموطنان عزیزمان را با مشکلات عدیده محسوس و نامحسوس جسمی و روحی روبرو ساخته است. لذا مسئولان امور حمل و نقل شهرهای بزرگ کشور نظیر تهران، اصفهان، مشهد، شیراز، تبریز، اهواز، کرج و ... از دیرباز برنامه ریزی ساخت و استفاده از سیستمهای مختلف حمل و نقل ریلی درون شهری و حومه‌ای را در دستور کار خود قرار داده اند و در مواردی بهره برداری از اینگونه سیستم‌ها را نیز شاهد بوده‌ایم.

بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که چالش‌های تحقیقاتی در صنعت حمل و

نقل ریلی و بطور خاص در زمینه پدیده‌های مرتبط با دینامیک حرکت قطارها و اندرکنش آنها با خطوط و سازه‌های ریلی بسیار متعدد و گسترده می‌باشد. برای مثال در تحقیقات مشترک راه آهن‌های پیشرفته در کشورهای مختلف که در سال ۲۰۰۵ میلادی انجام گرفته بطور واضح و روشن اذعان شده است که با وجود موفقیتها و پیشرفتهای همه جانبه تکنولوژیکی حاصله، هنوز موضوعات و چالش‌های تحقیقاتی و آموزشی زیادی در سر راه پیشرفت صنعت حمل و نقل ریلی نیازمند پاسخ است. از این جمله می‌توان به بررسی همزمان دینامیک طولی، جانبی، و قائم حرکت وسائط نقلیه ریلی، بررسی مراحل مختلف تغییر پروفیل‌های چرخ و ریل و اندازه‌گیری‌های مربوطه، تعیین روابط مناسب و قابل قبول جهت تعیین نرخ سایش و خستگی چرخ و ریل، تأثیر جنس چرخ و ریل، خواص و ساختار متالورژیکی آنها در اندرکنش دینامیکی فی مابین آنها، تأثیر افزایش دما در فرایندهای اعمال نیروهای موثر ترمزی و کششی بر خرابی چرخ و ریل و تغییر فرم پلاستیک آنها، تأثیر کیفیت سطح چرخ و ریل بر اندرکنش تماس غلتشی آنها، نقش سازگاری پروفیل‌های چرخ و ریل بر پدیده هائی نظیر ایجاد صدا، موجی شدن سطح چرخ و ریل و بریدگی چرخ‌ها، تعیین روابط مناسب و قابل قبول جهت تعیین میزان تأثیر بار محوری و سرعت حرکت بر نیروهای تماسی، تعیین روابط تحلیلی - تجربی قابل قبول در رابطه با پدیده‌های مرتبط با حرکت وسائط نقلیه ریلی در قوسها، ... و تدوین و انجام روشهای جامع‌تر در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی جهت بررسی و تست رفتار دینامیکی وسائط نقلیه ریلی در کنار انجام شبیه سازی‌های کامپیوتری اشاره داشت.

موضوعات فوق الذکر مبین ضرورت اساسی فعالیت‌های تحقیقاتی بیشتر و گسترده‌تر در زمینه حمل و نقل ریلی و بطور خاص در رابطه با دینامیک حرکت وسائط نقلیه ریلی می‌باشد. در همین رابطه برای نیل به اهداف استراتژیک و پاسخ به توقعات بدیهی در داشتن صنعت حمل و نقل ریلی مدرن و قابل قبول در کشور خودمان باید شتاب بیشتری داشت. اگر چه در دهه اخیر با شروع فعالیت دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران در کنار دیگر دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور و انجام ده‌ها طرح تحقیقاتی مناسب خدمات شایسته و بسزانی به صنعت حمل و نقل ریلی کشورمان شده است اما به برنامه‌ریزی، تحقیق، آموزش و تلاش جدی‌تر و پویاتری نیاز است که جز با کوشش و احساس مسئولیت همه دست‌اندرکاران این صنعت برآورده نخواهد شد. تدوین کتاب حاضر با عنوان: مبانی دینامیک حرکت قطارها در همین راستا و نیز در

پاسخ به یک ضرورت اساسی در صنعت حمل و نقل ریلی کشورمان می‌باشد.

کتاب دینامیک حرکت قطارها در راستای کمک به روند تکاملی و شکوفایی آموزش و تحقیق در صنعت حمل و نقل ریلی کشورمان تهیه و تدوین شده است. امید است که با یاری خداوند متعال این کتاب بتواند به میزان هر چند ناچیز خلاء موجود در رابطه با کتب و مراجع داخلی و خارجی معتبر مورد نیاز در رابطه با موضوع را کم نموده، مورد استفاده مسئولین، کارشناسان، پژوهشگران و مربیان محترم صنعت حمل و نقل ریلی کشورمان و بخصوص دانشجویان عزیز دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران واقع شود.

مؤلف، صمیمانه از نواقص احتمالی این اثر پوزش طلبیده از هرگونه پیشنهاد و اظهار نظر سازنده توسط مطالعه کنندگان جهت رفع اشکالات احتمالی و ارتقاء کیفیت ویرایش‌های آتی پیشاپیش قدردانی می‌نماید.

و من الله التوفیق

احمد نصر

عضو هیات علمی دانشکده مهندسی راه آهن

دانشگاه علم و صنعت ایران

فهرست مطالب

مقدمه ناشر	۵
پیشگفتار	۷
تقدیم به	۱۱
فصل اول: مفاهیم و ملاحظات اولیه	۲۷
۱-۱- مقدمه	۲۷
۲-۱- اهمیت و مزایای حمل و نقل ریلی	۳۱
۳-۱- خلاصه‌ای از وضعیت فعلی راه آهن ایران	۳۲
۴-۱- اهمیت بررسی دینامیک حرکت و سائط نقلیه ریلی	۳۳
۵-۱- سایش و خستگی در چرخهای و سائط نقلیه ریلی	۳۴
۶-۱- مقاومت برخورد و سائط نقلیه ریلی	۴۰
۷-۱- اهداف و ضرورت‌های تدوین کتاب مبانی دینامیک حرکت قطارها	۴۱
۸-۱- ساختار کتاب مبانی دینامیک حرکت قطارها	۴۲
سؤالات فصل	۴۵
مراجع	۴۶
فصل دوم: اجزاء اصلی و سائط نقلیه ریلی مؤثر در دینامیک حرکت قطارها	۴۹
۱-۲- مقدمه	۴۹
۲-۲- انواع مختلف و سائط نقلیه ریلی	۴۹
۱-۲-۲- لکوموتیوها	۵۰
۲-۲-۲- انواع واگن‌ها	۵۰
۳-۲- اجزاء اصلی و عمومی و سائط نقلیه ریلی (لکوموتیوها و واگنها)	۵۲

۵۳	۱-۳-۲- بوژی
۵۵	۲-۳-۲- چرخ- محورها
۵۸	۳-۳-۲- سیستم‌های تعلیق بوژیها
۶۳	۴-۲-۳- باتاقان‌های سر محوره‌های وسائط نقلیه ریلی
۶۵	۵-۳-۲- سازه اصلی واگن‌ها و لکوموتیوها
۶۶	۶-۳-۲- قلاب و تامپون واگن‌ها و لکوموتیوها
۶۹	۴-۲- سیستم ترمز هوایی واگن‌ها و لکوموتیوها
۷۰	۱-۴-۲- انواع مختلف سیستمهای ترمز وسائط نقلیه ریلی
۷۲	۲-۴-۲- سیستم ترمز هوایی
۷۲	۳-۴-۲- سیستم ترمز هوایی با عملکرد مستقیم (غیر اتوماتیک)
۷۳	۴-۴-۲- سیستم ترمز هوایی اتوماتیک (ترمز هوایی با عملکرد غیرمستقیم)
۷۴	۵-۲- اجزاء اصلی لکوموتیوها
۸۴	۶-۲- قطارهای سریع‌السير
۸۶	مسائل فصل
۸۷	مراجع فصل
۸۹	فصل سوم: خطوط ریلی و دینامیک حرکت قطارها
۸۹	۱-۳- مقدمه
۹۰	۲-۳- پاره‌ای اصطلاحات و تعاریف مربوط به خطوط ریلی
۹۲	۳-۳- دسته‌بندی خطوط ریلی از نظر سازه خط
۹۷	۴-۳- اهداف اصلی مورد نظر در طراحی خطوط ریلی
۹۷	۵-۳- ویژگیها و مشخصات مختلف ریل‌ها
۱۱۳	۶-۳- تأثیر ناهمواریهای کلاسیک ریل‌ها بر رفتار دینامیکی قطارها
۱۱۶	۷-۳- نیروهای وارد بر ریل‌ها
۱۲۰	۸-۳- ملاحظات دیگر در رابطه با خطوط ریلی از نظر دینامیک حرکت قطارها
۱۲۱	۹-۳- ادوات روسازی خطوط ریلی
۱۲۴	۱۰-۳- دستگاه خطوط

۱۱-۳- تراورسها.....	۱۲۶
۱۲-۳- کیفیت خطوط ریلی.....	۱۲۹
۱۳-۳- مدلسازی دینامیکی خطوط ریلی.....	۱۲۹
مسائل فصل سوم.....	۱۳۲
مراجع فصل.....	۱۳۳
فصل چهارم: نیروهای مقاوم، کشی و ترمزی در حرکت قطارها.....	۱۳۵
۱-۴- مقدمه.....	۱۳۵
۲-۴- دسته‌بندی نیروهای مقاوم حرکت قطارها.....	۱۳۵
۱-۲-۴- نیروی مقاوم اصلی.....	۱۳۵
۲-۲-۴- نیروهای مقاوم فرعی.....	۱۳۹
۳-۴- روش‌های اندازه‌گیری نیروی مقاوم چرخشی وسائط نقلیه ریلی.....	۱۴۶
۴-۴- نیروی کششی مؤثر در حرکت قطارها.....	۱۴۷
۵-۴- چگونگی انتقال قدرت توسط تراکشن موتورها.....	۱۴۹
۶-۴- اندازه‌گیری نیروی کشش مؤثر در لکوموتیوها.....	۱۵۸
۷-۴- سیستمهای کنترل لغزش و نیروی کشش مؤثر.....	۱۵۹
۸-۴- دسته‌بندی سیستم‌های انتقال قدرت در لکوموتیوهای دیزل الکتریک.....	۱۶۰
۹-۴- مشخصات فنی لکوموتیوها بعنوان واحدهای مولد نیروی کشش مؤثر قطارها.....	۱۶۵
۱۰-۴- نیروهای ترمزی مؤثر در حرکت قطارها.....	۱۶۶
۱-۱۰-۴- انواع مختلف سیستمهای ترمز در وسائط نقلیه ریلی.....	۱۶۶
۲-۱۰-۴- سیستمهای ترمز سایشی (اصطکاکی).....	۱۶۷
۳-۱۰-۴- نیروی ترمزی در سیستم‌های ترمز هوایی.....	۱۷۲
۴-۱۰-۴- سیستمهای ترمز هیدرولیکی و الکترو هیدرولیکی.....	۱۷۳
۵-۱۰-۴- سیستمهای ترمز دینامیکی.....	۱۷۳
۶-۱۰-۴- سیستمهای ترمز هیدرودینامیکی.....	۱۷۶
۷-۱۰-۴- سیستمهای ترمز ترکیبی.....	۱۷۸
۸-۱۰-۴- روابط و محاسبات ترمزی.....	۱۷۹

۱۸۴.....	۴-۱۰-۹- تأخیر زمانی در ترمزگیری قطارها.....
۱۸۵.....	۴-۱۰-۱۰- شاخص های عملکردی سیستمهای ترمز در وسائط نقلیه ریلی.....
۱۸۷.....	مثال های حل شده فصل.....
۱۹۰.....	سؤالات و مسائل فصل.....
۱۹۳.....	مراجع فصل.....
۱۹۵.....	فصل پنجم: پدیده های آنرودینامیکی در حرکت قطارها.....
۱۹۵.....	۵-۱- مقدمه.....
۱۹۶.....	۵-۲- روشهای بررسی آنرودینامیک وسائط نقلیه ریلی.....
۱۹۷.....	۵-۳- چگونگی بررسی جریان هوا بر روی یک وسیله نقلیه ریلی.....
۲۰۰.....	۵-۴- تعاریف و اصطلاحات مهم آنرودینامیکی.....
۲۰۲.....	۵-۵- گشتاورهای آنرودینامیکی.....
۲۰۳.....	۵-۶- نیروهای مقاوم آنرودینامیکی کلی.....
۲۰۵.....	۵-۷- نیروهای جانبی آنرودینامیکی ناشی از وزش باد.....
۲۰۶.....	۵-۸- تأثیر طول و نوع قطار بر نیروی مقاوم آنرودینامیکی.....
۲۰۷.....	۵-۹- تأثیر وزش باد بر نیروی مقاوم آنرودینامیکی.....
۲۰۹.....	۵-۱۰- مدل تخمین پروفیل سرعت باد.....
۲۱۲.....	۵-۱۱- سرعت واژگونی باد.....
۲۱۴.....	۵-۱۲- آثار جانبی آنرودینامیکی در حرکت قطارها.....
۲۳۲.....	سؤالات فصل.....
۲۳۳.....	مراجع فصل.....
۲۳۵.....	فصل ششم: پدیده های مهم دینامیکی در حرکت قطارها.....
۲۳۵.....	۶-۱- مقدمه.....
۲۳۵.....	۶-۲- پدیده های مهم در حرکت قطارها در قوسها.....
۲۳۶.....	۶-۲-۱- مکانیزم و چگونگی حرکت وسائط نقلیه ریلی در قوس ها.....
۲۴۴.....	۶-۲-۲- ملاحظات معمول در رابطه با حرکت وسائط نقلیه ریلی در قوسها.....
۲۴۶.....	۶-۲-۳- اضافه عرض دینامیکی در قوسها.....

۲۵۱.....	۴-۲-۶- دور (بربلندی ریل بیرونی در قوسها)
۲۵۵.....	۵-۲-۶- سرعتهای حدی حرکت وسائط نقلیه در قوسها
۲۵۶.....	۶-۲-۶- روابط مربوط به تعیین حداکثر سرعت مجاز در قوسها
۲۵۷.....	۷-۲-۶- روابط مربوط به تعیین طول قوس اتصال
۲۵۸.....	۸-۲-۶- ماکزیمم مقدار دور واقعی و دورنقصانی
۲۵۹.....	۹-۲-۶- دور در خطوط مختلط
۲۵۹.....	۳-۶- خروج از خط وسائط نقلیه ریلی
۲۶۲.....	۱-۳-۶- عوامل و پارامترهای مؤثر در بالا رفتن چرخ از ریل
۲۶۴.....	۲-۳-۶- شاخص های معتبر در انواع خروج از خط
۲۶۴.....	۱-۲-۳-۶- شاخص خروج از خط L/v
۲۷۲.....	۲-۲-۳-۶- شاخص خروج از خط G (عرض خط)
۲۷۴.....	۳-۳-۶- خروج از خط ناشی از جابجایی مجموعه خط
۲۷۶.....	۴-۳-۶- راهکارهای پیش گیری از بروز خروج از خط
۲۷۸.....	۴-۶- حرکت متناوب عرضی چرخ- محورها
۲۷۹.....	۵-۶- پایداری جانبی وسائط نقلیه ریلی
۲۸۰.....	۶-۶- فرمانپذیری حرکت وسائط نقلیه ریلی
۲۸۰.....	۷-۶- ویژه گی های حرکت جانبی متناوب سیکل محدود چرخ - محورها (هانتینگ)
۲۸۶.....	۸-۶- حرکت متناوب جانبی بوژی
۲۸۶.....	۹-۶- تاثیر حرکت متناوب عرضی چرخ و محور بر سایش
۲۸۷.....	۱۰-۶- حرکت گهواره ای - دورانی وسیله نقلیه
۲۸۹.....	سؤالات فصل
۲۹۱.....	مراجع فصل
۲۹۳.....	فصل هفتم: سازگاری پروفیل های چرخ و ریل
۲۹۳.....	۱-۷- مقدمه
۲۹۶.....	۲-۷- مشخصات اصلی پروفیل چرخهای وسائط نقلیه ریلی
۲۹۶.....	۱-۲-۷- مشخصات هندسی (مستقیم) پروفیل چرخها

- ۲۹۸-۲-۲-۷- مشخصات عملکردی (غیر مستقیم) پروفیل چرخها.....
- ۲۹۹-۳-۲-۷- اختلاف شعاع غلتش در چرخهای یک چرخ- محور.....
- ۳۰۰-۴-۲-۷- تأثیر پروفیل چرخها بر اندرکنش چرخ و ریل.....
- ۳۰۲-۳-۷- تأثیر پروفیل چرخها بر شیب مخروطی.....
- ۳۰۳-۴-۷- تأثیر پروفیل چرخها بر نیروی مقاوم چرخشی.....
- ۳۰۵-۵-۷- تأثیر پروفیل چرخ بر اندازه و موقعیت تماس چرخ و ریل.....
- ۳۰۷-۶-۷- تأثیر پروفیل چرخ بر پایداری جانبی.....
- ۳۰۹-۷-۷- تأثیر پروفیل چرخ بر راحتی حرکت وسائط نقلیه ریلی.....
- ۳۰۹-۸-۷- تأثیر پروفیل چرخ بر سایش چرخ و ریل.....
- ۳۱۰-۹-۷- تأثیر پروفیل چرخ بر توزیع نقاط تماس، اختلاف شعاع غلتشی و شیب مخروطی.....
- ۳۱۴-۱۰-۷- روش تعیین پروفیل بهی نه چرخهای وسائط نقلیه ریلی.....
- ۳۱۷-۱۱-۷- تحلیل و آنالیز دقیق مشخصات پروفیل چرخها.....
- ۳۱۹-۱۲-۷- تعمیرات و نگهداری خطوط و تأثیر آن بر سازگاری پروفیل های چرخ و ریل.....
- ۳۲۰-۱۳-۷- نکات مهم در رابطه با طراحی پروفیل چرخها.....
- ۳۲۳- سؤالات فصل.....
- ۳۲۴- مراجع فصل.....
- ۳۲۵- فصل هشتم: چسبندگی و تماس غلتشی چرخ و ریل.....
- ۳۲۵-۱-۸- مقدمه.....
- ۳۲۶-۲-۸- مکانیزم چسبندگی در تماس غلتشی چرخ و ریل.....
- ۳۲۷-۳-۸- تأثیر ویژگی های سطوح در تماس غلتشی آنها.....
- ۳۳۱-۴-۸- ضریب چسبندگی و ضریب اصطکاک.....
- ۳۳۴-۵-۸- عوامل بهره برداری مؤثر بر میزان چسبندگی در تماس غلتشی چرخ و ریل.....
- ۳۳۴-۱-۵-۸- تأثیر دمای آب بر ضریب چسبندگی:.....
- ۳۳۵-۲-۵-۸- تأثیر روغن.....
- ۳۳۶-۳-۵-۸- تأثیر سرعت حرکت وسیله نقلیه.....
- ۳۳۷-۴-۵-۸- تأثیر سرعت لغزش بر چسبندگی.....

۳۳۹.....	۸-۵-۵- تأثیر بار محوری.....
۳۴۲.....	۸-۶- استفاده از شن جهت کنترل چسبندگی.....
۳۴۶.....	۸-۷- روابط معمول مربوط به ضریب چسبندگی.....
۳۴۷.....	۸-۸- مودها و نواحی مختلف تماس چرخ و ریل.....
۳۴۹.....	۸-۸-۱- مود یا ناحیه تماس A.....
۳۵۴.....	۸-۸-۲- مود یا ناحیه تماس غلشی B.....
۳۵۵.....	۸-۸-۳- مود یا ناحیه تماس C.....
۳۵۶.....	۸-۹- مراحل و حالات مختلف تماس چرخ و ریل.....
۳۵۹.....	سؤالات فصل.....
۳۶۰.....	مراجع فصل.....
۳۶۳.....	فصل نهم: مدل‌های تئوریک تماس چرخ و ریل.....
۳۶۳.....	۹-۱- مقدمه.....
۳۶۹.....	۹-۲- خزش در تماس غلشی چرخ و ریل.....
۳۷۱.....	۹-۳- نیروهای خزشی در تماس غلشی.....
۳۷۲.....	۹-۴- فرمولبندی تئوریهای تماس چرخ و ریل.....
۳۷۴.....	۹-۵- تشریح تئوریهای موجود در رابطه با تماس چرخ و ریل.....
۳۷۵.....	۹-۵-۱- تئوری کارتر.....
۳۷۷.....	۹-۵-۲- تئوری خطی کالکر.....
۳۸۲.....	۹-۵-۳- تئوری تجربی کالکر.....
۳۸۲.....	۹-۵-۴- تئوری جانسون- ورمولن.....
۳۸۳.....	۹-۵-۵- تئوری غیر خطی کالکر.....
۳۸۴.....	۹-۵-۶- تئوری شن.....
۳۸۴.....	۹-۵-۷- تئوری پلاج.....
۳۸۶.....	سؤالات فصل.....
۳۸۷.....	مراجع فصل.....

فصل دهم: شبیه سازی دینامیکی حرکت قطارها.....	۳۸۹
۱-۱- مقدمه.....	۳۸۹
۱-۲- اهداف مورد نظر در مدلسازی و شبیه سازی دینامیکی حرکت قطارها.....	۳۸۹
۱-۳- ملاحظات عمده در مدلسازی دینامیکی وسائط نقلیه ریلی.....	۳۹۳
۱-۳-۱- مدلسازی بوژی واگن های مسافری.....	۳۹۳
۱-۳-۲- مدلسازی بوژی واگن های باری.....	۳۹۴
۱-۳-۳- مدلسازی بوژی لکوموتیوها.....	۳۹۴
۱-۴- فرض های معمول در مدلسازی بوژی ها و واگن ها.....	۳۹۵
۱-۵- اهداف مورد نظر در مدلسازی دینامیکی واگنها و لکوموتیوها.....	۳۹۶
۱-۵-۱- مدل های بررسی پاسخ سیستم در خطوط مستقیم.....	۳۹۶
۱-۵-۲- مدل های بررسی پایداری وسائط نقلیه ریلی در خطوط مستقیم.....	۳۹۸
۱-۵-۳- مدل های بررسی پاسخ وسائط نقلیه ریلی در قوسها.....	۴۰۰
۱-۶- مدلسازی دینامیکی قطارها.....	۴۰۱
۱-۶-۱- مدل دینامیک طولی قطارها.....	۴۰۱
۱-۶-۲- مدل دینامیک جانبی قطارها.....	۴۰۲
۱-۶-۳- مدل دینامیک قائم قطارها.....	۴۰۳
۱-۶-۴- روش های مختلف مدلسازی دینامیکی قطارها.....	۴۰۳
۱-۷- ملاحظات مربوط به مدلسازی دینامیک طولی قطارها.....	۴۰۶
۱-۷-۱- سیستم کوپلینگ بین واگنها و لکوموتیوهای تشکیل دهنده قطارها.....	۴۰۷
۱-۷-۲- مدل ریاضی ضربه گیر با توجه به منحنی مشخصه آن.....	۴۱۱
۱-۷-۳- مدل اتصال قلاب اتوماتیک.....	۴۱۴
۱-۷-۴- مدل اتصال قلاب- تامپون.....	۴۱۵
۱-۷-۵- مدلسازی نیروهای مقاوم حرکت قطار.....	۴۱۶
۱-۸- شبیه سازی موردی.....	۴۱۶
۱-۸-۱- شرایط شبیه سازی ها.....	۴۱۷
۱-۸-۲- نتایج بدست آمده برای مود کششی.....	۴۱۸

۴۱۹.....	۱۰-۸-۳- نتایج بدست آمده برای مود کششی - فشاری
۴۲۰.....	۱۰-۸-۴- نتایج بدست آمده برای مود فشاری
۴۲۱.....	۱۰-۹- ملاحظات مربوط به مدلسازی دینامیک جانبی قطارها
۴۲۲.....	۱۰-۱۰- ملاحظات مربوط به مدلسازی دینامیک قائم قطارها
۴۲۳.....	۱۰-۱۱- ملاحظات مربوط به مدلسازی خطوط ریلی
۴۲۵.....	۱۰-۱۲- مقبولیت مدل‌های دینامیکی وسائط نقلیه ریلی
۴۲۶.....	۱۰-۱۳- شبیه سازی کامپیوتری دینامیک حرکت قطارها
۴۲۹.....	۱۰-۱۴- برنامه‌های تجاری شبیه سازی کامپیوتری
۴۳۰.....	۱۰-۱۴-۱- برنامه نرم افزاری ADAMS/Rail
۴۳۱.....	۱۰-۱۴-۲- برنامه نرم افزاری MEDYNA
۴۳۲.....	۱۰-۱۴-۳- برنامه نرم افزاری NUCARS
۴۳۳.....	۱۰-۱۴-۴- برنامه نرم افزاری VAMPIRE
۴۳۴.....	۱۰-۱۴-۵- برنامه نرم افزاری GENSYNS
۴۳۵.....	۱۰-۱۴-۶- برنامه نرم افزاری UM
۴۳۵.....	۱۰-۱۴-۷- برنامه نرم افزاری SIMPACK
۴۳۵.....	۱۰-۱۴-۸- برنامه نرم افزاری VOCO
۴۳۶.....	۱۰-۱۵- مزایا و معایب استفاده از نرم افزارهای تجاری شبیه سازی دینامیکی وسائط نقلیه ریلی
۴۳۷.....	۱۰-۱۶- ملاحظات دیگر در رابطه با برنامه‌های نرم افزاری دینامیک حرکت وسائط نقلیه ریلی
۴۳۹.....	سؤالات فصل
۴۴۰.....	مراجع فصل