بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

تحلیل تنشهای مکانیکی و حرارتی در چرخ S شکل قطارهای مسافربری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

بهنام رهنمایی

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

استاد راهنما

دکتر سید حسن موسوی

۱۳۸۱

٤٨٥٠٠

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک (طراحی کاربردی) آقای بهنام رهنمایی

تحت عنوان

تحلیل تنشهای مکانیکی و حرارتی در چرخ S شکل قطارهای مسافربری

در تاریخ ۱۳۸۱/۶/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید حسن موسوی
۲- استاد مشارر پایان نامه	دکتر محسن اصفهانیان
۳- استاد مشارر پایان نامه	دکتر مهران مرادی
٤- استاد داور	دکتر سعید ضیایی راد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر پیشه ور

پس از حمد و ستایش خداوند متعال که توفیق کسب علم و دانش را به ما عطا نمود، بدینوسیله مراتب تقدیر و تشکر خویش را از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر موسوی، که در طی دوره کارشناسی ارشد و خصوصاً در طی این تحقیق با راهنمایی های ارزنده خویش همواره راهگشای اینجانب بوده اند، ابراز می دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـــات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پـایـــان نامه (رساله) متعلق به دانشگـــاه صنعتـــی اصفهان می باشد.

به یاد مادر عزیزم

و

تقدیم به

پدر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول : سیستم حمل و نقل ریلی

۱-۱- تاریخچه ۲

۱-۲- عصر طلایی راه آهن ۳

۱-۳- راه آهن و سایر سیستمهای حمل و نقل رقیب ٤

۱-٤- تحول در سازمان راه آهن ها ٥

۱-٥-خصوصیات حمل و نقل ریلی ٦

فصل دوم : سیستم زیروبند واگن و ترمزگیری

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- اجزاء بوژی ۱۰

۲-۲-۱- قاب ۱۰

۲-۲-۲- چرخ ۱۰
۲-۲-۳- محور ۱۱
۲-۲-٤- یاتاقان ۱۱
۲-۲-٥- یاتاقان لغزشی لینکها ۱۲
۲-۲-٦- جعبه یاتاقان ۱۳
۲-۲-۷- ترمزگیری قطار ۱۳
۲-۲-۸- فنرهای هوایی ۱۳
۲-۲-۹- مستهلک کننده ها ۱۳

فصل سوم : تئوری اجزاء محدود درتحلیل چرخ قطار

۳-۱- مقدمه ۱۹
۳-۲- تحلیل به کمک المانهای سه بعدی ۱۹
۳-۳- مسائل انتقال حرارت ۱۹
۳-۳-۱- سیستم صفحه ای ۱۹
۳-۳-۲- مسائل انتقال حرارت با تقارن محوری ۱۹

فصل چهارم : مطالعات انجام شده بر روی چرخ قطار

٤-۱- مقدمه ٤۱
٤-۲- سابقه مطالعات ٤۳
٤-۳- جنس چرخ ٥۲
٤-٤- روش ساخت چرخ قطار ٥٥
٤-٥- چرخهای Sشکل ٥٦
٤-٦- آسیبهای حرارتی چرخ قطار ٥۷

فصل پنجم : شرایط مرزی، تجزیه و تحلیل، و بررسی نتایج

٥-۱- مقدمه ٦۰

۵-۲- نیروهای وارد بر چرخ ۶۰
۵-۳- تعریف شرایط مرزی مکانیکی و حرارتی ۶۳
۵-۳-۱- محاسبه نیروی عمودی وارد بر چرخ در حالت سکون و حرکت ۶۳
۵-۳-۲- محاسبه نیروی اصطکاک بین چرخ و ریل ۶۳
۵-۳-۳- محاسبه نیروی جانب مرکز وارد بر چرخ ۶۳
۵-۳-٤- شرایط بوجود آمده هنگام ترمز ٦٤
۵-۳-۵- محاسبه زاویه اعمال نیروی عمودی بر چرخ ٦٤
۵-۳-٦- مدلسازی ٦۵

فصل پنجم : بررسی نتایج

٦-۱- بارگذاری در حالت استاتیک ٦۷
٦-۲- بارگذاری در لحظه راه افتادن قطار ٦۹
٦-۳- بارگذاری دینامیک ٦۹
٦-٤- بارگذاری جانبی ۷۰
٦-۵- بارگذاری در حالت ترمزگیری ۷۱
٦-٦- بارگذاری حرارتی ۷۱
٦-۷- مقایسه چرخ Sشکل با چرخ بدنه سهمی ۷۲
٦-۸- نتیجه گیری و پیشنهاد ۱۲۰

ضمیمه ها ۱۲۱
مراجع ۱۲٤

چکیده

صنعت حمل و نقل ریلی بدلیل مزایای متعددی که بطور نسبی برخوردار است، همواره بعنوان صنعتی پویا و در حال رشد مطرح بوده است.

ازجمله اجزایی که در راستای توسعه حمل و نقل ریلی مورد توجه قرار گرفته است، چرخ قطار می باشد. در مطالعات انجام شده بر روی چرخ قطار همواره دو موضوع مدنظر محققان بوده است: پروفیل بدنه چرخ و پروفیل محل تماس چرخ و ریل.

هدف از پایان نامه حاضر بررسی میدانهای تنش و دما در چرخ منوبلوک Sشکل می باشد. مدل مذکور، پیشنهادی است که در راستای بهبود وضعیت میدانهای تنش و دما، حین عملکرد چرخ مطرح شده است. بارگذاریهای درنظر گرفته شده شامل اعمال بار دینامیکی درحین حرکت قطار و بارگذاری حرارتی ناشی از ترمزگیری می باشد. نتایج این بررسی برای دو مدل چرخ بدنه مستقیم و بدنه Sشکل ارائه و مقایسه شده است و در نهایت برتری پروفیل Sشکل در بارگذاریهای کم و ترمزگیریهای زیاد (مانند قطارهای سبک شهری) نتیجه شده است.

فصل اول

۱- سیستم حمل ونقل ریلی

۱-۱-تاریخچه

از سپیده دم فعالیتهای بشری تا به امروز حمل و نقل ایمن و سریع انسان و کالا هدف همیشگی هر جامعه سازمان یافته‌ای بوده است. تحولات اساسی شناخته شده در توسعه حمل و نقل عبارت بوده‌اند از اختراع چرخ، راه‌آهن و هواپیما. راه‌آهن به شکل امروزی برای اولین بار در اوایل قرن نوزدهم و در معادن انگلیس ظاهر شد. خصوصیت اصلی آن تأمین حرکت هدایت شده چرخ توسط خط و با تماس فلز به فلز است، به طوریکه تنها یک درجه آزادی را برای وسیله نقلیه ریلی فراهم می‌آورد.

به هر حال پیشتازان راه‌آهن امروزی خیلی زودتر از قرن نوزدهم ظاهر شدند. حرکت گاریها و واگنها بر روی ریلهای فلزی دریک نقاشی مربوطه به سال ۱۵۵۰ میلادی، که در شهر باسل[۱] سوئیس پیدا شده و روشهای حمل ونقل در معادن آلسس[۲] را نشان می‌دهد، به تصویر کشیده شده است. حرکت هدایت

۱- Basel

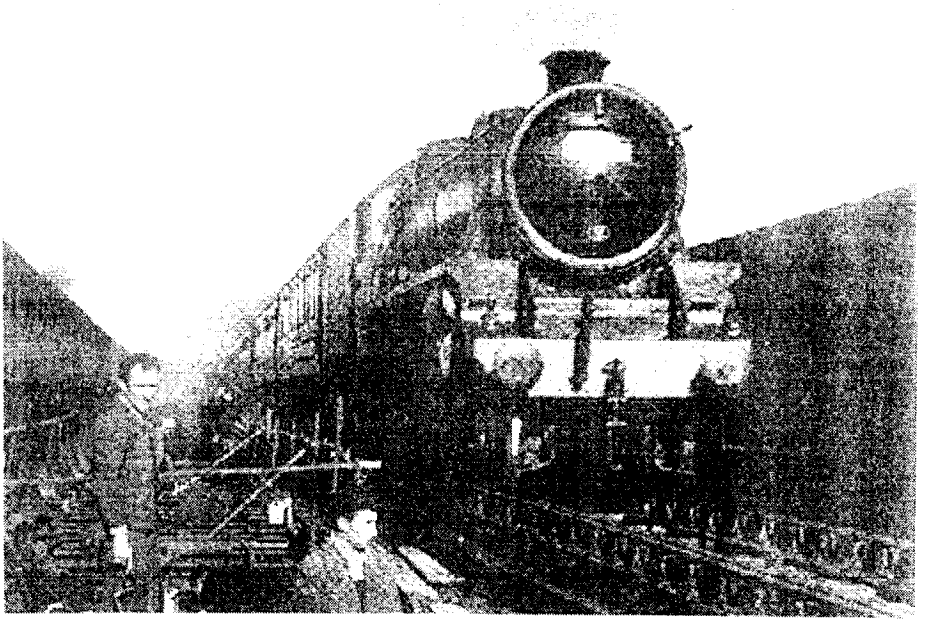
۲- Alasce

شده گاریها به طور کلی، آنگونه که از شیارهای ایجاد شده روی سنگفرشها برای تسهیل و تسریع حرکت گاریها بر می‌آید، در زمان رومی‌ها نیز شناخته شده است.

در مونت پنتلی نزدیک آتن، که سنگهای مرمر سفید برای پارتنن[۱] و سایر بناهای تاریخی از آنجا تأمین شده است. شیارهای عمیق موجود در زمینهای صخره‌ای روشهای مورد استفاده توسط یونانیها باستان برای انتقال تخته سنگهای مرمرین به محلهای ساخت را آشکار می‌کند. علاوه بر این، حرکت هدایت شده با قرار دادن ناودانیهای چوبی بر روی راههای لجن‌زار و هدایت کالسکه‌ها در یونان باستان مورد استفاده قرار می گرفته است[۱].

۱-۲- عصر طلائی راه‌آهن

توسعه راه‌آهن به نحو شگفت‌انگیزی تحت تاثیر انقلاب صنعتی، کشف قوه بخار و بهره‌برداری وسیع از معادن زغال سنگ و سنگ‌آهن قرار گرفت. اولین خطوط راه‌آهن در کشورهای اروپایی حدود سالهای ۱۸۳۰ به کار افتاد(شکل ۱-۱) و شبکه‌های راه‌آهن در اوایل قرن بیستم به حداکثر تراکم خود رسید.



شکل ۱-۱- تصویر نمونه ای از قطارهای اولیه[۲]

۱- Parthenon

عاملی که باعث رشد سریع راه‌آهن گردید، سرعت زیاد(با استانداردهای آن زمان) بود که ارتباطات سریع را باعث می‌شد. موتورهای بخار در مراحل آزمایشی عملکردهای شگفتی را نشان می‌دادند: سال ۱۸۳۵ سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت در انگلستان ، سال ۱۸۹۰ سرعت ۱٤٤ کیلومتر در ساعت در فرانسه، سال ۱۹۳۰ سرعت ۲۱۳ کیلومتر در ساعت در آلمان. اگر چه حداکثر سرعت در عمل بسیار کمتر بود ($\frac{1}{2}$ تا $\frac{2}{3}$ سرعت آزمایشی)، ولی به رشد سریع حمل و نقل ریلی کمک زیادی نمود.

بکارگیری توان کشش برقی در اوایل قرن بیستم، توسعه بیشتر راه‌آهن را میسر ساخت. در حالیکه توسعه ارسال علائم[1] و کنترل از راه دور به صورت مرکزی قبل از جنگ جهانی دوم چهره امروزی راه‌آهن را در سال ۱۹۵۰ ترسیم نمود.

پیرو توسعه صنعت راه‌آهن در سر تا سر دنیا، در کشور ما نیز حدود ٦۰ سال پیش، اولین خط راه‌آهن بین تهران و ری احداث گردید. اکنون کشور ما به خاطر موقعیت خاص خود، پل ارتباطی کشورهایی آسیایی میانه با آبهای آزاد به شمار می‌رود و هم اینکه امروزه راه‌آهن به عنوان ایمن ترین و کاراترین وسیله زمینی حمل کالا در جهان شناخته شده است، لذا گسترش توان حمل کالا توسط راه‌آهن در کشورمان کلید موفقیت در کسب درآمدهای ارزی از طریق ترانزیت کالا می‌باشد. در این میان مخارج سنگین احداث و نگهداری بزرگراهها، نیاز به تولید خودرو، تهیه قطعات یدکی، آلودگی زیست محیطی، افزایش روز افزون مصرف انرژی، خسارتهای جانبی و مالی ناشی از تصادفات، زمان زیاد تردد از مراکز شهرها به فرودگاهها، هزینه سنگین مسافرتهای هوائی، انتخاب ناصحیح سیستم ترابری به دلیل ساختار زیر سیستم‌ها وهزینه و اثرات آن بر اقتصاد کشورها و چندین و چند عامل دیگر از جمله مواردی می‌باشند که ضرورت توجه به این صنعت را بیشترمی نماید.

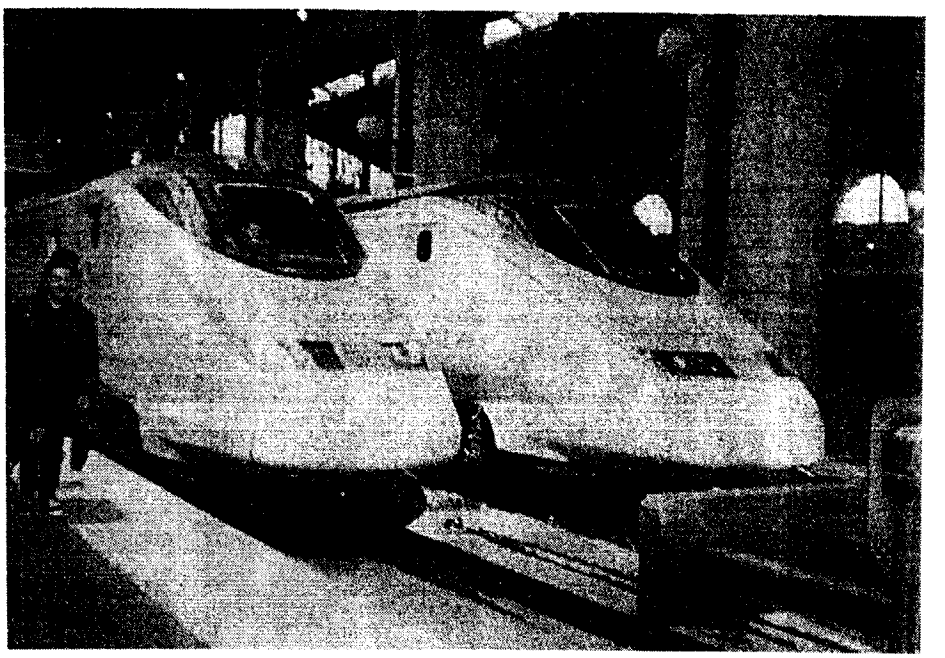
۱-۳- راه‌آهن و سایر سیستمهای حمل و نقل رقیب

به هر حال زمان تغییر کرده است و آن چیزی که در اوایل قرن بیستم بسیار جذاب بود به زودی از مطلوبیت کمتر و کمتری برخوردار گردید. هواپیماها و اتومبیلهای شخصی در حال ارائه خدمات حمل ونقلی در مقیاسهای مختلف بودند. تحت تاثیر فشار ناشی از رقابت، راه‌آهن نیز به اجبار باید راه توسعه و نوگرایی را، در رابطه با سرعت، کاهش هزینه‌های حمل و نقل، سازماندهی بهتر و بهبود خدمات ارائه شده، انتخاب می‌نمود. بنابراین به دوران راه‌آهنهای سریع‌السیر حرکت با سرعتهای ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در ساعت، حمل و نقل ترکیبی(ترکیب حمل و نقل جاده‌ای و راه‌آهن)، جابجایی حجم زیاد مسافر و کالا میرسیم.

---

[1]- Signaling

با این وجود، همگام با راه‌آهنهای سنتی (که بر اساس تماس فلز و فلز قرار دارد)، از اواسط سالهای ۱۹۷۰ تجارب مختلف برای توسعه تکنیکهایی که با حفظ حرکت هدایت شده(مانند راه‌آهن) بتوان از هر گونه تماس مستقیم وسیله در حال حرکت و زیرسازه نگهدارنده اجتناب نمود، شروع گردید. این کوششها شامل قطار هوارو[۱] و قطار مغناطیسی[۲] می‌شود، که در مراحل آزمایشی سرعتهایی در حدود ٤٢٢ کیلومتر در ساعت رابرای قطار هوارو در سال ۱۹٦۹ و ٦۰۰ کیلومتر در ساعت را برای قطار مغناطیسی درسال ۱۹۹۱ به ارمغان آورد.



شکل ۱-۲- تصویر نمونه ای از قطارهای پیشرفته

۱-٤ تحول در سازمان راه‌آهنها

مسئله مهمی که در ایجاد خطوط راه‌آهن مطرح می‌شود و در واقع از موانع مهم گسترش شبکه حمل و نقلی ریلی می‌باشد، مسئله سرمایه‌گذاری در راه‌آهن و عدم سودآوری آن در صورت عدم توجه به هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات می‌باشد. از آنجایی که برای ایجاد شبکه خطوط اصلی و فرعی و

---

[۱]- Aerotrain

[۲]- Magnetic Levitation (Maglev)

تاسیسات جنبی، سرمایه‌گذاری پرحجم و با توان اجرائی بالا نیاز است و با توجه به محدودیت منابع مالی بخصوص در کشورهای در حال توسعه، افزایش خدمات راه‌آهن جز از طریق بهبود و افزایش کارآیی تجهیزات امکان‌پذیر نمی‌باشد.

تشکیلات شرکتهای راه‌آهن در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم به صورت فعالیتهای کوچک تجاری خصوصی شروع گردید. اهمیت استراتژیک راه‌آهن کشورهای مختلف از نظر اقتصادی و امنیتی، و همچنین مشکلات اقتصادی به وجود آمده، بین سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۶۰ بسیاری از دولتها را به سمت ملی کردن راه‌آهنهای خود سوق داد. بنابراین بعد از سالهای دهه ۱۹۵۰ بسیاری از راه‌آهنها، جزئی از تشکیلات مدیریتی دولتی شدند، این مساله از یک طرف توسعه سازمان یافته حمل و نقل ریلی را در مقیاس ملی، و از طرف دیگر عدم تمایل و بی‌تفاوتی نسبت به نوگرایی و در نتیجه افزایش زیانهای اقتصادی را به دنبال داشت(سالهای ۱۹۶۰تا ۱۹۸۰).

توسعه بازار حمل و نقل در اواخر سالهای ۱۹۸۰(یعنی آزادسازی تدریجی فعالیتهای حمل و نقلی از چهارچوب قانونی که بیش از سه دهه در محدوده آن عمل می‌شد)، سازمانهای راه‌آهن را وادار ساخت تا در سازمان دهی خدمات حمل و نقلی خود، کاهش هزینه‌های حمل ونقلی، استفاده از فن‌آوری جدید، بکارگیری بهتر استعدادهای خود، و نوگرایی به منظور داشتن توان رقابت در بازار حمل و نقل، انعطاف پذیری بیشتری نشان دهد. از همان سالها بعضی از کشورها مانند ژاپن، انگلستان، سوئد و...، خصوصی‌سازی راه‌آهنهای ملی خود را شروع کرده بودند. از نقطه نظر بازار حمل و نقل ، هر گونه فن‌آوری و نوسازی تنها به دلیل رقابت و کارآیی اقتصادی، در مقایسه با خدمات ارائه شده توسط سایر سیستمهای حمل و نقلی (جاده‌ای ، هوایی) قابل توجیه است.[۱و۳]

۱-۵- خصوصیات حمل ونقل ریلی

مشخصه اصلی حمل ونقل ریلی قابلیت به هم پیوستن چندین واحد حمل ونقل به صورت یک قطار می‌باشد. بنابراین در حمل ونقل بار، قطارهایی با وزن ناخالص حدود ۱۵۰۰۰ تن با اتصالهای چندگانه به طور روزانه در ایالات متحده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

در خدمات مسافری نیز راه‌آهن قابلیت حمل تعداد زیاد مسافر را دارد. قطارهای سریع‌السیر شینکانسن[۱] در راه‌آهن ژاپن ۵۲۰۰۰۰ مسافر را در یک روز بین توکیو و اوزاکا جابجا می نماید(مسافت حدود ۵/۵ کیلومتر).

---

[۱]- Shinkansen