بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی مهندسی، گروه برق

(M.Sc)پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش: الکترونیک

عنوان :

طراحی کنترل کننده لغزش بهینه جهت بهبود عملکرد وسایل نقلیه ریلی الکتریکی

استاد راهنما:

دکتر شهرام جوادی

استاد مشاور:

دکتر رضاصباغی ندوشن

پژوهشگر:

امیر شیرعلی پور نودوزقی

بهار ۱۳۹۲

تقدی‌م به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌های‌شان گذشتند، سختی‌ها را به جان خری‌دند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملای‌مات کردند تا من به جای‌گاهی که اکنون در آن ای‌ستاده‌ام برسم.

تشکر و قدردانی:

بر خود واجب می‌دانم از اساتی‌د راهنما و مشاور فرهی‌خته‌ام جناب آقای دکتر شهرام جوادی و جناب آقای دکتر رضا صباغی که در طول مدت انجام ای‌ن پای‌ان‌نامه از رهنمودهای علمی و اخلاقی ای‌شان بهره‌مند شدم، تشکر و قدردانی کرده و درگاه خداوند بزرگ را شاکرم که افتخار شاگردی ای‌شان را نصی‌بم نمود.

چکیده

با توجه به رونق روز افزون وسایل نقلیه ریلی الکتریکی و نیز اهمیت آن در سیستم حمل و نقل عمومی و همچنین هزینه‌های گزاف تعمیر و نگهداری قطار های الکتریکی و بستر های ریلی، نیاز به استفاده از سیستم‌های کنترلی مناسب جهت بهبود عملکرد این گونه قطارها بیش از پیش احساس می‌شود. از جمله پدیده‌هایی که بر نحوه‌ی عملکرد قطار های الکتریکی تأثیر بسزایی می‌گذارد ، می‌توان به پدیده لغزش میان چرخ قطار و ریل اشاره نمود. لغزش باعث ساییدگی سطح ریل و همچنین کاهش قطر چرخ و در نتیجه اختلال در عملکرد قطارها می‌گردد. از اینرو در این پایان نامه اقدام به معرفی عوامل موثر بر لغزش میان چرخ و ریل و نیز تمهیدات لازم جهت کاهش اثرات مخرب این پدیده نموده‌ایم. از جمله تمهیدات لازم جهت کاهش اثرات نامطلوب پدیده لغزش می‌توان به استفاده از کنترل کننده‌های ضد لغزش اشاره نمود. ابتدا مدل دینامیکی قطار الکتریکی مورد نظر را که در این جا قطارTM3 که مورد استفاده در خط متروی تهران – گلشهر می‌باشد را به کمک سیمولینک نرم افزار متلب شبیه سازی کرده و سپس اقدام به قرار دادن یک سیستم کنترل کننده سرعت از نوع تناسبی – انتگرالی نموده و میزان لغزش به وجود آمده در لحظات اولیه شتاب گیری را بررسی می‌کنیم، سپس اقدام به قرار دادن سیستم کنترل ضد لغزش فازی نموده و میزان بهبود در عملکرد قطار را مشاهده کرده و آن را با حالت بدون استفاده از سیستم کنترل ضد لغزش مقایسه می‌کنیم. در نهایت اقدام به طراحی کنترل کننده ضد لغزش با استفاده از سیستم‌های استنتاج تطبیقی عصبی– فازی[1] کرده و پارامترهای مربوط به کنترل کننده سرعت از جمله زمان صعود، زمان نشست و درصد فراجهش و همچنین پارامترهای مربوط به کنترل کننده ضد لغزش از جمله سرعت زاویه‌ای موتور، گشتاور خروجی موتور، درصد لغزش، و نیز مدت زمان ناپایدار بودن سیستم را بررسی و با حالت‌های قبل مقایسه می‌کنیم.

1.ANFIS

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : بیان مسئله

۱-۱. انگیزه و هدف تحقیق ۲
۱-۲. پیشینه موضوع ۳
۱-۳. رئوس مطالب موجود در پایان نامه ٤

فصل دوم: قطار های الکتریکی

۲-۱. مقدمه ٦
۲-۲. علت استفاده از قطار در سفرها ٦
۲-۳. ویژگی‌های مسیر های راه آهن ۸
۲-۳-۱. ریل ۸
۲-۳-۲. زیر لایه‌ی ریل و اتصالات ۹
۲-۳-۳. تراورس ها ۹
۲-۳-٤. لایه‌های سنگی و زیر لایه‌های سنگی ۱۰
۲-٤. بررسی عوامل مؤثر بر زمان رانش و مصرف انرژی ۱۰
۲-٤-۱. وزن قطار ۱۱
۲-٤-۲. برنامه ریزی سرعت ۱۱
۲-٤-۳. ویژگی‌های محور های موتوری ۱۲
۲-٤-٤. قلهٔ توان ۱۲
۲-٤-٥. مشخصات موتور ۱۳
۲-٤-٦. لغزش ۱۳
۲-٥. معرفی قطار های مورد استفاده در سیستم مترو خط ۵ تهران (تهران – گلشهر) ۱۳
۲-٥-۱. مشخصات کلی قطار های مترو خط ۵ تهران ۱۳
۲-٥-۲. مشخصات ریل موجود در این خط ۱٤
۲-٥-۳. انواع قطار مورد استفاده در خط ۵ مترو ۱٤
۲-٥-٤. مشخصات فنی لکوموتیوهای الکتریکی TM3 ..... ۱٥
۲-٥-٥. شماتیک لکوموتیو های TM3 ..... ۱٦
۲-٥-٦. موتورهای رانش ۱۷
۲-٥-٦-۱. موتور رانش لکوموتیو TM3 ..... ۱۸
۲-٥-٦-۱-۱. ساختمان موتور رانش ZD107 ..... ۲۰
۲-٥-۷. واگن‌های دو طبقه مورد استفاده در خط ۵ مترو ۲٥

۲-۵-۷-۱. مشخصات واگن‌های دوطبقه ۲۶

فصل سوم : معرفی پدیده لغزش و پارامترهای آن

۳-۱. چه چیزی باعث حرکت رو به جلو وسایل نقلیه ریلی می‌گردد؟ ۲۸
۳-۲. نیروی چسبندگی ۲۹
۳-۳. لغزش، سرعت لغزش و منحنی لغزش ۳۱
۳-٤. فرموله سازی مسئله ۳۱

فصل چهارم: معرفی کنترل کننده‌ها و کاربرد آن‌ها در کنترل لغزش قطار

٤-۱. معرفی کنترل کننده‌ها ۳٤
٤-۱-۱. کنترل کننده‌های کلاسیک ۳٤
٤-۱-۱-۱.مفاهیم اساسی در کنترل کنندهPID ۳٤
٤-۱-۲.کنترل فازی ۳۸
٤-۱-۲-۱. تعریف اساسی ۳۸
٤-۱-۲-۲. توابع عضویت ۳۹
٤-۱-۲-۳. انواع سیستم های استنتاج فازی ٤۰
٤-۱-۳.سیستم‌های استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ٤۳
٤-۱-۳-۱.ساختار سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ٤۳
٤-۲. کاربرد کنترل کننده‌ها در کنترل لغزش قطار ٤٥
٤-۲-۱. شبکه‌های عصبی ٤٦
٤-۲-۱-۱. بررسی اثر تغییرات ضریب اصطکاک بر روی مدل دینامیکی قطار ٤٦
٤-۲-۱-۲. تخمین ضریب اصطکاک به کمک شبکه‌های عصبی ٤۹
٤-۲-۱-۳. الگوریتم پس انتشار خطا ٥۰
٤-۲-۲. الگوریتم تشخیصی ٥۳
٤-۲-۳. تشخیص لغزش از طریق تفاوت در جریان موتورها ٥۳
٤-۲-٤. روش تندترین شیب ٥٤
٤-۲-٥. کنترل‌کننده PID و محدودیت‌های آن جهت کنترل لغزش ٥٤
٤-۲-٦. کنترل کننده فازی ٥٦
٤-۲-٦-۱. طراحی کنترل کننده ٥٦
٤-۲-٦-۲. شرح مختصری درباره عملکرد کنترل کننده ٥۷
٤-۲-٦-۳. نتایج شبیه سازی ٥۹

فصل پنجم : شبیه سازی

٥-۱. مدل سازی دینامیکی قطار TM3 ..... ٦۰
٥-۱-۱. مدل دینامیکی مربوط به چرخ ٦۰

۵-۱-۲. *مدل دینامیکی مربوط به قطار* ٦٢
۵-۱-۳. *مدل نیروی کشش* ٦٤
۵-۱-٤. *مدل موتور جریان مستقیم و سری ZD107* ٦٦
۵-۲. شبیه سازی حرکت قطار با استفاده از سیستم کنترل سرعت و لغزش ٦٨
۵-۲-۱. *شبیه سازی حرکت قطار با سرعت مرجع ٦٠km/h بدون کنترل کننده سرعت* ٦٨
۵-۲-۱-۱. بررسی نمودار سرعت قطار ٦٩
۵-۲-۲. *شبیه سازی حرکت قطار با سرعت مرجع ٦٠km/h به همراه کنترل کننده سرعت* ٧٠
۵-۲-۲-۱. بررسی نمودار سرعت قطار ٧١
۵-۲-۲-۲. بررسی پارامترهای مربوط به لغزش در قطار ٧٢
۵-۲-۳. *شبیه سازی حرکت قطار با سرعت مرجع ٦٠km/h به همراه کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی* ٧٦
۵-۲-۳-۱. بررسی نمودار سرعت قطار ٧٧
۵-۲-۳-۳. بررسی پارامترهای مربوط به لغزش در قطار ٨١
۵-۲-٤. *شبیه سازی حرکت قطار با سرعت مرجع ٦٠km/h به همراه کنترل کننده سرعتPI و کنترل کننده لغزشANFIS* ٨٥
۵-۲-٤-۱. بررسی نمودار سرعت قطار ٨٦
۵-۲-٤-۳. بررسی پارامترهای مربوط به لغزش در قطار ٩١

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

٦-١. مقدمه ٩٩
٦-٢. نتایج ١٠٠
٦-٣. ارائه پیشنهادات ١٠٩

منابع ١١٠

ضمائم

ضمیمه الف : محاسبات عددی مربوط به مدل دینامیکی قطار ١١٤
ضمیمه ب: نمایش بلوک دیاگرام‌های شبیه سازی شده قطارTM3 در سیمولینک متلب ١١٦

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۲-۱. خارج شدن قطار از ریل ۷
شکل۲-۲.اجزای متفاوت یک مسیر راه آهن ۸
شکل۲-۳. مشخصه مصرف انرژی بر حسب برنامه ریزی سرعت برای فواصل و توان‌های متفاوت ۱۲
شکل۲-٤. منحنی کاهش سریع مصرف انرژی با زمان رانش کوچک ۱۲
شکل۲-۵. لکوموتیو نوع TM1 ۱٤
شکل۲-٦. لکوموتیو نوع TM2 ۱٤
شکل۲-۷. لکوموتیو نوع TM3 ۱٤
شکل۲-۸.شماتیک لکوموتیو TM3 ۱٦
شکل۲-۹. ساختمان یک موتور DC ۱۸
شکل۲-۱۰. شکل موج جریان ورودی به موتور پالسی ۱۸
شکل۲-۱۱. موتور رانش ZD107 ۱۹
شکل۲-۱۲.منحنی مشخصه موتور رانش ZD107 ۲۰
شکل۲-۱۳. ساختمان موتور رانش ZD107 ۲۰
شکل۲-۱٤. .واگن‌های دو طبقه مورد استفاده در خط ۵ مترو ۲۵
شکل۳-۱.چگونگی تغییر شکل تایر اتومبیل به دلیل نیروی نرمال واکنشی N برای حرکت افقی ۲۸
شکل۳-۲. چگونگی ایجاد لغزش بین چرخ و ریل ۲۹
شکل۳-۳. چگونگی تغییرات ضریب چسبندگی با تغییر در سرعت وسیله نقلیه ۳۰
شکل۳-٤. منحنی چسبندگی بین ریل و چرخ بر حسب لغزش ۳۱
شکل۳-۵. اثرات نامطلوب لغزش چرخ قطار TM3 بر روی ریل ۳۲
شکل٤-۱.ساختار یک کنترل کننده PID ۳۵
شکل٤-۲.کنترل کننده فازی ٤۱
شکل٤-۳. ساختار پایه ANFIS ٤٤
شکل٤-٤. بلوک دیاگرام مدل قطار در سیمولینک ٤۷
شکل٤-۵. منحنی لغزش- ضریب اصطکاک (ورمولن& جانسون) ٤۷
شکل٤-٦. سرعت حرکت قطار و چرخ ٤۸
شکل٤-۷. لغزش بر حسب زمان ٤۸
شکل٤-۸. شتاب زاویه‌ای چرخ بر حسب زمان ٤۹
شکل٤-۹. ساختار داخلی شبکه عصبی جهت تخمین μ ۵۰
شکل٤-۱۰. بلوک دیاگرام الگوریتم آموزش شبکه عصبی ۵۱

شکل٤-١١. ضریب اصطکاک تخمین زده شده با استفاده از شبکه عصبی و ضرایب اصطکاک واقعی ٥١
شکل٤-١٢. ضریب اصطکاک تخمین زده شده به صورت متعارف و ضرایب اصطکاک واقعی ٥٢
شکل٤-١٣. بلوک دیاگرام الگوریتم آموزش (روش متعارف+ شبکه عصبی)..... ٥٢
شکل٤-١٤.ضریب اصطکاک تخمین زده شده به کمک (شبکه عصبی + روش متعارف) و ضریب اصطکاک واقعی..٥٣
شکل٤-١٥. بلوک دیاگرام سیستم کنترل فازی ضد لغزش..... ٥٦
شکل٤-١٦. توابع عضویت مربوط به متغیرها..... ٥٧
شکل٤-١٧. سطح کنترلی..... ٥٨
شکل٥-١. بلوک دیاگرام مدل دینامیکی چرخ..... ٦١
شکل٥-٢. بلوک دیاگرام مدل دینامیکی قطار..... ٦٢
شکل٥-٣. پیاده سازی مدل دینامیکی قطار TM3..... ٦٣
شکل٥-٤. مدل نیروی کشش ٦٤
شکل٥-٥. منحنی ضریب چسبندگی بر حسب درصد لغزش به ازای شرایط محیطی مختلف ٦٥
شکل٥-٦. بلوک دیاگرام موتور ZD107 در سیمولینک..... ٦٧
شکل٥-٧. بلوک دیاگرام حلقه بسته قطار بدون کنترل کننده سرعت..... ٦٨
شکل٥-٨. سرعت مرجع اعمال شده به سیستم بر حسب km/h..... ٦٩
شکل٥-٩. سرعت قطار بر حسب km/h..... ٦٩
شکل٥-١٠. بلوک دیاگرام حلقه بسته قطار به همراه کنترل کننده سرعت..... ٧٠
شکل٥-١١. سرعت قطار بر حسب km/h..... ٧١
شکل٥-١٢. سرعت زاویه‌ای موتور رانش بر حسب rad/sec..... ٧٢
شکل٥-١٣. گشتاور خروجی موتور رانش بر حسب (نیوتن متر)..... ٧٢
شکل٥-١٤.. سرعت خطی چرخ و سرعت خطی قطار بر حسب (km/h)..... ٧٣
شکل٥-١٥. منحنی لغزش بین چرخ قطار و ریل ٧٤
شکل٥-١٦. منحنی ضریب چسبندگی بین چرخ قطار و ریل..... ٧٥
شکل٥-١٧. بلوک دیاگرام حلقه بسته قطار به همراه کنترل کننده سرعتPI و لغزش فازی..... ٧٦
شکل٥-١٨. منحنی سرعت قطار بر حسبkm/h ٧٧
شکل٥-١٩. توابع عضویت مربوط به ورودی اول(تفاضل لغزش فعلی با لغزش بهینه)..... ٧٩
شکل٥-٢٠. توابع عضویت مربوط به ورودی دوم(مشتق خطا)..... ٧٩
شکل٥-٢١. توابع عضویت مربوط به خروجی..... ٨٠
شکل٥-٢٢. سطح کنترلی مربوط به کنترل کننده لغزش فازی..... ٨٠
شکل٥-٢٣. سرعت زاویه‌ای موتور رانش بر حسب rad/sec..... ٨١
شکل٥-٢٤.گشتاور خروجی موتور رانش بر حسب (نیوتن متر) ٨١
شکل٥-٢٥.سرعت خطی چرخ و قطار بر حسب (km/h) ٨٢

شکل۵-۲۶.منحنی درصد لغزش چرخ قطار و ریل ۸۳
شکل۵-۲۷. منحنی ضریب چسبندگی بین چرخ قطار و ریل..... ۸۳
شکل۵-۲۸. بلوک دیاگرام حلقه بسته قطار به همراه کنترل کننده سرعتPI و لغزش ANFIS..... ۸۵
شکل۵-۲۹. منحنی سرعت قطار بر حسبkm/h ۸۶
شکل۵-۳۰. منحنی داده‌های آموزشی ۸۷
شکل۵-۳۱. ساختار داخلی ANFIS ۸۸
شکل۵-۳۲. توابع عضویت مربوط به ورودی اول(تفاضل لغزش فعلی با لغزش بهینه)..... ۸۸
شکل۵-۳۳. توابع عضویت مربوط به ورودی دوم(مشتق خطا)..... ۸۹
شکل۵-۳۴. سطح کنترلی مربوط به کنترل کننده ANFIS ۸۹
شکل۵-۳۵. منحنی داده‌های آزمایشی..... ۹۰
شکل۵-۳۶. سرعت زاویه‌ای موتور رانش بر حسب rad/sec..... ۹۱
شکل۵-۳۷.گشتاور خروجی موتور رانش بر حسب (نیوتن متر) ۹۲
شکل۵-۳۸.سرعت خطی چرخ و قطار بر حسب (km/h) ۹۲
شکل۵-۳۹.منحنی درصد لغزش چرخ قطار و ریل ۹۳
شکل۵-۴۰. منحنی ضریب چسبندگی بین چرخ قطار و ریل..... ۹۴
شکل۵-۴۱. سرعت‌های مرجع اعمال شده به قطار در مدت زمان ۵۰۰ ثانیه ۹۵
شکل۵-۴۲. سرعت قطار به ازای سرعت‌های مرجع مختلف بر حسب (km/h)..... ۹۵
شکل۵-۴۳. منحنی درصد لغزش بین چرخ قطار و ریل به ازای سرعت‌های مرجع مختلف ۹۶
شکل۵-۴۴. منحنی ضریب چسبندگی بین چرخ قطار و ریل به ازای سرعت‌های مرجع مختلف ۹۷
شکل۶-۱. نمودار سرعت قطار برای حالت الف: بدون استفاده از کنترل کننده سرعت ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- د: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS..... ۱۰۱
شکل۶-۲. نمودار سرعت زاویه‌ای موتور برای حالت الف: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS..... ۱۰۲
شکل۶-۳. نمودار گشتاور خروجی موتور برای حالت الف: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS..... ۱۰۳
شکل۶-۴. نمودار سرعت خطی قطار و چرخ برای حالت الف: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS..... ۱۰۴

شکل٦-٥. نمودار درصد لغزش بین چرخ قطار و ریل برای حالت الف: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS ١٠٥
شکل٦-٦. نمودار ضریب چسبندگی بین چرخ قطار و ریل برای حالت الف: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI – ب: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش فازی- ج: با استفاده از کنترل کننده سرعت PI و کنترل کننده لغزش ANFIS..... ١٠٦
شکل ب-١. شبیه سازی قطار به همراه کنترل کننده سرعت درسیمولینک متلب..... ١١٦
شکل ب-٢. شبیه سازی لکوموتیوهای MASTER و SLAVE قطار در سیمولینک متلب ١١٦
شکل ب-٣. شبیه سازی هر ٤ محور لکوموتیو SLAVE قطار در سیمولینک متلب..... ١١٧
شکل ب-٤. شبیه سازی چرخ و موتور مربوط به یکی از محور های لکوموتیو قطار در سیمولینک متلب..... ١١٧

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱. مشخصات فنی لکوموتیوهای برقی TM3 ۱۵
جدول ۲-۲. مشخصات فنی موتور رانش ۲٤
جدول۲-۳. مشخصات واگن های دو طبقه ۲٦
جدول ٤-۱. تأثیر افزایش پارامترهای جبران ساز PID بر پاسخ سیستم ۳۷
جدول ٤-۲. جدول قوانین فازی ۵۸
جدول ۵-۱. مقادیر ضرایب فرمول ضریب چسبندگی در شرایط محیطی مختلف ٦۵
جدول ۵-۲ قوانین فازی کنترل کننده لغزش ۷۸
جدول ٦-۱. مقایسه پارامترهای مربوط به کنترل سرعت ۱۰۷
جدول ٦-۲. پارامترهای مربوط به لغزش در قطار ۱۰۸

فصل اول : بیان مسئله

۱-۱. انگیزه و هدف تحقیق

با توجه به رشد روز افزون صنایع نقلیه ریلی و نیز اهمیت کاهش مصرف انرژی و بالابردن بازده و کارآیی در این صنایع، در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در جهت رفع عوامل مختل کننده سیستم حرکتی وسایل نقلیه ریلی انجام گرفته است. از جمله این عوامل مختل کننده می‌توان به لغزش میان چرخ و ریل در قطارها اشاره نمود که به سبب آن اثرات مخربی مانند: سایش سطح چرخ و ریل حرکتی به مرور زمان و افزایش مصرف انرژی و نیز افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خطوط ریلی و کاهش کیفیت و نیز کاهش قطر چرخ و بروز خطراتی چون از خط خارج شدن[1] وسیله نقلیه ریلی و آسیب مسافران و کاهش رضایت عمومی از این وسایل ایجاد می‌گردد. لذا بکارگیری سیستم‌های کنترل در جهت مرتفع ساختن لغزش نامطلوب و بهینه ساختن آن در جهت افزایش نیروی کششی در لوکوموتیو ضروری می باشد. از آنجائیکه لغزش و چسبندگی بین ریل و چرخ وسایل نقلیه ریلی با توجه به شرایط محیطی متفاوت تغییر می کند لذا روش های کنترلی معمول و کلاسیک نیاز ما را برآورده نکرده و الزاماً ما را به سمت استفاده از روش های کنترل هوشمند و سیستم های پیش گویی لغزش و چسبدگی سوق می دهد.

1.Derail

۱-۲. پیشینه موضوع

با توجه به رونق و توسعه روز افزون وسایل نقلیه ریلی الکتریکی و نیز اهمیت آن در سیستم حمل و نقل عمومی و همچنین هزینه‌های گزاف تعمیر و نگهداری قطار های الکتریکی و بستر های ریلی، نیاز به استفاده از سیستم‌های کنترلی مناسب جهت بهبود عملکرد قطارها بیش از پیش احساس می‌شود. از گذشته تا کنون انواع سیستم‌های کنترلی هوشمند و غیر هوشمند بر روی این قطارها پیاده سازی شده است که در این بخش به بیان پیشینه‌ای در زمینه بکارگیری سیستم‌های کنترل لغزش[1] در قطارهای الکتریکی می‌پردازیم :

در سال ۱۹۹۷ مقاله‌ای جهت تخمین ضریب اصطکاک[2] بین ریل و چرخ قطار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه گردید. با توجه به تغییرات ضریب اصطکاک بین ریل و چرخ قطار در شرایط متفاوت محیطی و جوی و نیز وابستگی شدید لغزش بین ریل و چرخ قطار به ضریب چسبندگی ، تخمین صحیح این ضریب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و از آنجایی که شبکه‌های عصبی از قابلیت پیش بینی برخوردار می‌باشند لذا بکارگیری این گونه شبکه‌های هوشمند در تخمین پارامترهایی که دائماً در حال تغییر می‌باشند از جمله ضریب چسبندگی می‌تواند بسیار کارآمد باشد [۱].

در همان سال ۱۹۹۷ مقاله‌ای دیگر، استفاده از کنترل کننده‌های مبتنی بر منطق فازی را جهت کنترل لغزش بین ریل و چرخ قطار پیشنهاد داده است. با توجه به این که رفتار دینامیکی یک قطار به صورت غیر خطی می‌باشد لذا بکارگیری کنترل کننده‌های خطی جهت کنترل لغزش در قطارها خواسته ما را برآورده نمی کند از اینرو می توان از منطق فازی و کنترل کننده های مبتنی بر آن جهت این امر استفاده نمود[۲].

در سال ۲۰۰۳ مقاله ای به بررسی روش های کنترلی متفاوت جهت کنترل لغزش در قطار های الکتریکی پرداخته است همچنین با ترکیب انواع روش های کنترلی با یکدیگر به نتایج قابل قبولی دست پیدا کرده است. از جمله مهمترین آن می توان به ترکیب کنترل کننده تناسبی – انتگرالی[3] و کنترل کننده فازی[4] با یکدیگر اشاره نمود[۳].

1.Slip
2.Friction Coefficient
3.PI
4.Fuzzy

در سال ۲۰۱۱ مقاله ای دیگر اقدام به بکارگیری کنترل کننده فازی جهت تعیین مقدار لغزش بهینه[1] در شرایط جوی متفاوت نمود و از آن برای کنترل لغزش قطار در شرایط آب و هوایی خشک و مرطوب استفاده کرد و نیز ثابت نمود که با استفاده از کنترل کننده لغزش مناسب می توان مانع از ناپایداری حرکتی قطار حتی در شرایط نامطلوب محیطی شد[٤].

۱-۳. رئوس مطالب موجود در پایان نامه

این پایان نامه داری شش فصل است. همان‌گونه که مشاهده شد، فصل اول به طرح مسئله اختصاص یافته است. در فصل دوم به معرفی و بررسی قطار های الکتریکی به خصوص قطارهای الکتریکی مورد استفاده در سیستم متروی خط ۵(تهران –گلشهر)[2] می‌پردازیم. در فصل سوم ، لغزش بین چرخ قطار و ریل حرکتی را معرفی کرده و به عوامل موثر در آن می‌پردازیم. فصل چهارم، کنترل کننده‌های متعارف، کنترل کننده‌های فازی و سیستم‌های استنتاج تطبیقی عصبی- فازی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل پنجم اقدام به طراحی مدل دینامیکی قطار کرده و سپس روش‌های کنترلی مورد نظر روی این مدل دینامیکی پیاده سازی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت، فصل ششم به مقایسه نتایج بین کنترل کننده‌های مورد استفاده و نیز ارائه پیشنهادات اختصاص می‌یابد.

1.Optimal Slip

2.TM3 Locomotives

فصل دوم: قطار های الکتریکی

۲-۱.مقدمه

با توجه به فن آوری موجود، چند راه عملی برای حمل و نقل مسافر و انتقال بار وجود دارد که عبارتند از:

* جاده زمینی
* مسیرهوایی
* راه آهن
* راه‌های آبی

شیوه‌های حمل و نقل سریع به صورت روش‌هایی تعریف می‌گردند که حداقل میانگین سرعت عملیاتی آن‌ها بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت باشد. این بدان معناست که مسیرهوایی و راه آهن با وجود قطارهای سرعت بالا تنها شیوه‌های حمل و نقل سریع هستند. بنا برآنچه گفته شد، پرداختن به حمل و نقل ریلی به عنوان یکی از مهم‌ترین و سریع‌ترین و در عین حال امن ترین شیوه‌های حمل و نقل عمومی امری ضروری به نظر می‌رسد[۵].

۲-۲.علت استفاده از قطار در سفرها

سفرهای ریلی بدون شک یکی از مطمئن‌ترین شیوه‌های حمل و نقل است. با این حال، حوادث و سوانح همچنان در هر سیستم فنی وجود دارد و تقاضا برای بهبود عملکرد این نوع از دستگاه‌های حمل و نقل وجود دارد[٦].

علاوه بر این با افزایش روز افزون سرعت قطارها، افزایش ایمنی در عملیات راه آهن از اهداف مورد نظر است. در صنعت راه آهن موضوع ایمنی به وسیله به حداقل رسیدن خطر ارزیابی می‌گردد. در طی این سال‌ها، دو شاخه مکمل ایمنی در صنایع راه آهن پدید آمده است[٦]:

۱- ایمنی فعال: روش‌هایی که باعث کاهش احتمال حوادث می‌گردد. (حفاظت و کنترل خودکار قطارها[1]، سیگنالینگ، بازرسی ریل و چرخ از نظر ترک و شکاف)

1.Automatic Train Control

۲- ایمنی غیر فعال: روش‌هایی که در به حداقل رساندن عواقب ناشی از تصادفات و سوانح ما را یاری می‌دهند.

یکی از مقدمات لازم جهت ایمنی فعال، کنترل و حفاظت ویژه قطار به صورت خودکار است که عملاً موجب حذف سانحه خارج شدن قطار از خط که ناشی از سرعت بیش از حد قطار و یا برخورد قطار های سرعت بالا با یکدیگر است می‌گردد. اما دلایل خاص دیگری برای خارج شدن قطار از خط وجود دارد که نمی‌توان به کمک ایمنی فعال مانع از بروز آن‌ها شد. از آن جمله می‌توان به خارج شدن قطار از خط که ناشی از خراب کاری تبهکاران و تروریسم که به موجب قرار دادن اشیاء روی خط و یا سایر اقدامات عمدی رخ می‌دهد و یا عوامل محیطی شامل ریزش کوه و زلزله و غیره اشاره نمود. نمونه‌ای از تصاویر خارج شدن قطار از خط را می‌توان در شکل ۲-۱ مشاهده کرد[٦].

شکل ۲-۱. خارج شدن قطار از ریل

مبحث ایمنی غیر فعال در سال‌های اخیر به ویژه در اتحادیه اروپا از طریق پروژه هایی مانند صنایع ترن کلمبیا، ایمنی قطار، قطار های ایمن، ایمنی درونی و غیره به شدت مورد توجه قرار گرفته است. اغلب ایمنی غیر فعال به صورت مترادف با "crashworthiness" به کار برده می‌شود، که دلالت بر توانایی قطار برای محافظت از مسافران و خدمه پس از برخورد دارد. در این مورد دو استاندارد وجود دارند که در اروپا در حال تکامل هستند:

۱: TSI[1]

۲: استاندارد اروپایی[2]

1.Transportation Safety Institute

2.Euronorm